

第2版

GB/T

1800.1~4-1997~1999

1801-1999

5371-2004

几何公差应用技术问答

JIHE GONGCHA YINGYONG JISHU WENDA

傅成昌 傅晓燕 等编著

内容全★资料新★查询易

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

几何公差应用 技术问答

第 2 版

傅成昌 傅晓燕 等编著



机械工业出版社

本书采用最新国家标准，全面、系统地介绍了几何公差及误差的基本概念、术语定义、符号代号及标注方法，几何特征项目及公差原则，几何误差的检测及评定方法。全书内容密切联系生产实际，并配有形象的插图和生产中常用数表，通俗易懂，实用性强，便于在工作中学习、查阅。

本书可供机械工人、工程技术人员和有关院校师生作为技能培训学习资料和在工作中查阅，也可供标准化工作者参考。

图书在版编目（CIP）数据

几何公差应用技术问答/傅成昌等编著. —2 版. —北京：机械工业出版社，2017.5

ISBN 978-7-111-56873-5

I . ①几 … II . ①傅 … III . ①形位公差-问题解答 IV . ① TG801-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 108561 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王晓洁 责任编辑：王晓洁 杨璇

责任校对：肖琳 封面设计：马精明

责任印制：李昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017 年 7 月第 2 版第 1 次印刷

140mm×203mm · 15.875 印张 · 417 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-56873-5

定价：52.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

前　　言

旧国家标准中的“形状和位置公差”在新国家标准《产品几何技术规范(GPS) 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》(GB/T 1182—2008) 中已改为几何公差。几何公差国家标准是机械工业一项重要的技术基础标准。它对实现互换性生产，提高产品性能，保证产品质量具有重要作用。我国自1980年颁布这项标准以来，对推动机械工业发展起到了积极的作用。为适应国际化生产发展的需要，遵循与国际标准接轨的原则，近年来又陆续对该标准进行了修订、充实、完善。目前已初步建立起包括几何公差术语、定义，特征项目，标注方法和几何误差检测等内容的较完整的标准体系。

为满足广大机械工人和技术人员学习和贯彻几何公差标准的要求，正确理解和掌握有关标准规定，并能在实际生产中贯彻、执行，我们根据最新国家标准规定，结合生产实际需要，重新修订《几何公差应用技术问答》一书。

本书以问答的形式，简明地介绍了几何公差及几何误差的基本概念，系统地介绍了几何公差特征项目、标注方法，以及几何误差的检测原则、检测方法和评定原则。本书以通俗的语言、形象的插图，结合生产中典型实例，深入浅出地对几何公差及其误差检测的应用技术做了全面介绍，以帮助读者正确地掌握新标准，并能在生产实践中熟练地应用。

本书主要由傅成昌和傅晓燕编写，参加本书编写的还有李亮、何芝兰、张光林、吴瑞斌、曹溢函、戚灏洋。在本书修订过程中得到有关单位帮助，在此一并表示感谢。

由于我们水平所限，书中难免存在错误与不妥之处，恳请读者批评、指正。

编　者

· III ·

目 录

前言

概述	1
1. 什么是产品几何量？几何特性对互换性有何重要作用？	1
2. 什么是几何公差？它对产品质量有何重要意义？	2
3. 什么是几何误差？影响几何误差的因素有哪些？	3
4. 公差与误差在概念上有何不同？	6
5. 为什么要制定“几何公差”国家标准？现行标准有哪些内容？	7
基本概念	10
6. 什么是要素？什么是组成要素、导出要素？	10
7. 什么是公称要素？公称要素分为哪两种类型？	11
8. 什么是提取要素？提取要素分为哪两种类型？	12
9. 什么是拟合要素？拟合要素分为哪两种类型？	13
10. 几何要素定义之间的相互关系是怎样的？	14
11. 什么是被测要素？被测要素有哪些类型？	15
12. 什么是基准要素？基准要素有哪些类型？	17
13. 什么是单一要素？什么是关联要素？	19
14. 什么是几何公差带？确定几何公差带的四个要素是什么？	19
15. 评定几何误差的基本原则是什么？	23
几何公差的标注	27
16. 什么是公差框格标注法？它包括哪些内容？	27
17. 标注公差框格及带箭头的指引线有哪些规定？	28
18. 什么是几何特征符号？标准中规定有哪些几何特征符号？	31
19. 几何公差公差值的标注有哪些规定？	34
20. 怎样标注框格外的说明性内容？	36
21. 图样上怎样标注基准要素？	37
22. 什么是三基面体系？怎样标注三基面体系？	40
23. 什么是基准目标？怎样标注基准目标？	42



24. 什么是公共公差带？怎样标注公共公差带？	44
25. 什么是延伸公差带？怎样标注延伸公差带？	45
26. 什么是非刚性零件？怎样标注非刚性零件几何公差？	50
27. 怎样标注螺纹、齿轮、花键的几何公差要求？	53
28. 几何公差有哪些简化标注方法？	54
29. 新标准中已废止的标注方法有哪些？	56
30. 几何公差的标注原则是什么？	59
形状公差	61
31. 什么是形状公差？形状公差可分为哪些项目？	61
32. 什么是直线度？直线度公差有哪些不同形式的要求？	62
33. 怎样正确标注直线度公差？	63
34. 怎样选择直线度公差值？	67
35. 什么是平面度？平面度公差有哪些不同形式的要求？	69
36. 怎样正确标注平面度公差？	70
37. 怎样选择平面度公差值？	73
38. 什么是圆度？怎样正确标注圆度公差？	73
39. 怎样选择圆度公差值？	75
40. 什么是圆柱度？怎样正确标注圆柱度公差？	77
41. 怎样选择圆柱度公差值？	79
42. 什么是线轮廓度？线轮廓度有哪两类不同性质的要求？	79
43. 怎样正确标注线轮廓度公差？	80
44. 什么是面轮廓度？面轮廓度有哪两类不同性质的要求？	82
45. 怎样正确标注面轮廓度公差要求？	83
方向公差	86
46. 什么是方向公差？方向公差分为哪些几何特征项目？	86
47. 什么是平行度？平行度公差有哪些不同形式的要求？	86
48. 怎样正确标注平行度公差？	88
49. 怎样选择平行度公差值？	93
50. 什么是垂直度？垂直度公差有哪些不同形式的要求？	95
51. 怎样正确标注垂直度公差？	97
52. 怎样选择垂直度公差值？	102
53. 什么是倾斜度？倾斜度有哪些不同形式的要求？	103
54. 怎样正确标注倾斜度公差？	105



55. 怎样选择倾斜度公差值?	110
位置公差	111
56. 什么是位置公差? 位置公差分为哪些特征项目?	111
57. 什么是同轴度? 怎样正确标注同轴度公差?	111
58. 怎样选择同轴度公差值?	116
59. 什么是对称度? 对称度公差有哪些不同形式的要求?	117
60. 怎样正确标注对称度公差?	118
61. 怎样选择对称度公差值?	121
62. 什么是理论正确尺寸? 它是怎样标注的?	122
63. 什么是位置度? 位置度公差有哪些不同形式的要求?	123
64. 怎样正确标注位置度公差?	125
65. 什么是几何图框? 什么是复合位置度要求?	132
66. 怎样选择位置度公差值?	135
跳动公差	136
67. 什么是跳动公差? 跳动公差分为哪些特征项目?	136
68. 什么是圆跳动? 圆跳动公差有哪些不同形式的要求?	136
69. 怎样正确标注圆跳动公差? 怎样选择圆跳动公差值?	137
70. 什么是全跳动? 全跳动公差有哪些不同形式的要求?	141
71. 怎样正确标注全跳动公差? 怎样选择全跳动公差值?	141
公差原则	143
72. 什么是公差原则? 它对生产有何重要意义?	143
73. 什么是最大实体状态? 什么是最大实体尺寸? 什么是最大实体边界?	144
74. 什么是最小实体状态? 什么是最小实体尺寸? 什么是最小实体边界?	144
75. 什么是最大实体实效尺寸? 什么是最大实体实效状态? 什么是最大实体实效边界?	145
76. 什么是最小实体实效尺寸? 什么是最小实体实效状态? 什么是最小实体实效边界?	146
77. 什么是独立原则? 独立原则应用范围有哪些?	148
78. 什么是包容要求? 图样上怎样标注包容要求?	150
79. 包容要求的应用范围有哪些?	151
80. 什么是最大实体要求? 图样上怎样标注最大实体要求?	152



81. 应用最大实体要求规定有哪些规则?	153
82. 什么是最小实体要求? 图样上怎样标注最小实体要求?	158
83. 应用最小实体要求规定有哪些规则?	158
84. 什么是可逆要求? 可逆要求的应用范围有哪些?	162
85. 独立原则与相关要求的应用有何不同?	166
几何公差的应用	168
86. 几何公差的选择包括哪些内容?	168
87. 怎样正确选择几何公差项目?	168
88. 怎样选择基准?	170
89. 怎样选择公差值?	172
90. 什么是未注公差值? 未注公差值有哪些规定?	175
91. 未注公差值怎样在图样上表示? 它在生产中有何重要意义?	178
92. 怎样选择公差原则?	179
93. 怎样标注圆锥面几何公差要求?	180
94. 键联结几何公差要求有哪些规定?	185
95. 滚动轴承配合件几何公差要求有哪些规定?	187
96. 齿轮传动件几何公差要求有哪些规定?	189
几何误差检测基本概念	194
97. 什么是几何误差? 什么是几何误差检测?	194
98. 国家标准《产品几何量技术规范 (GPS) 形状和位置公差 检测规定》包括哪些内容? 它对生产有何重要意义?	195
99. 几何误差检测基本规则有哪些规定?	196
100. 什么是几何误差检测原则? 标准中规定有哪些检测原则?	197
101. 什么是几何误差检测方案? 检测方案代号表示什么意义?	200
102. 几何误差检测包括哪些过程?	202
103. 什么是测量误差? 测量误差分哪几类?	203
104. 测量误差对生产有何重大影响? 怎样选择适宜的测量精度?	205
105. 几何误差评定的仲裁原则是怎样规定的?	206
几何误差检测用测量器具	207
106. 什么是测量器具? 常用测量器具有哪些种类?	207
107. 测量器具基本计量参数有哪些?	210
108. 什么是测量方法? 测量方法的选择原则是什么?	212
109. 什么是量块? 怎样正确使用量块?	214



110. 什么是塞尺？怎样正确使用塞尺？	217
111. 什么是游标量具？游标量具常用有哪些构造形式？	218
112. 游标量具的读数原理是什么？怎样正确读数？	221
113. 怎样正确使用游标量具？	224
114. 什么是微动螺旋副式量具？该类量具有哪些构造形式？	225
115. 微动螺旋副式量具读数原理是什么？怎样正确读数？	228
116. 怎样正确使用测微螺旋副式量具？	229
117. 什么是机械式测微量仪？其常用有哪些构造形式？	230
118. 指示表的工作原理是什么？怎样正确使用指示表？	232
119. 杠杆指示表的工作原理是什么？怎样正确使用杠杆指示表？ ..	235
120. 内径指示表的工作原理是什么？怎样正确使用内径指示表？ ..	237
121. 什么是水平仪？水平仪的构造与工作原理是怎样的？	238
122. 什么是自准直仪？其基本构造与工作原理是怎样的？	240
123. 什么是投影仪？投影仪的基本构造与工作原理是怎样的？	243
124. 什么是圆度仪？圆度仪的基本构造与工作原理是怎样的？	245
125. 什么是平台测量？平台测量分为哪两种方法？	246
126. 平台测量常用哪些设备和工具？	248
127. 怎样正确选用测量器具？	253
形状误差及其检测方法	254
128. 什么是形状误差？评定形状误差的基本原则是什么？	254
129. 什么是最小区域？怎样判别最小区域？	255
130. 什么是直线度误差？直线度误差检测方法分为哪几类？	260
131. 直线度误差有哪些直接检测方法？	260
132. 直线度误差有哪些间接检测方法？	266
133. 直线度误差有哪些组合检测方法？	271
134. 什么是直线度量规检测法？	275
135. 直线度误差评定方法有哪些？	277
136. 什么是平面度误差？平面度误差检测方法分为哪几类？	284
137. 什么是测量布点形式？平面度误差检测常用布点形式 有哪些？	284
138. 平面度误差有哪些直接检测方法？	287
139. 平面度误差有哪些间接检测方法？	291
140. 平面度误差有哪些组合检测方法？	295



141. 怎样进行平面度误差测量示值数据处理?	297
142. 平面度误差有哪些评定方法?	300
143. 什么是圆度误差? 圆度误差的检测方法有哪些?	302
144. 圆度误差有哪些评定方法?	307
145. 什么是圆柱度误差? 圆柱度误差的检测方法有哪些?	310
146. 什么是线轮廓度误差? 线轮廓度误差的检测方法有哪些?	312
147. 什么是面轮廓度误差? 面轮廓度误差的检测方法有哪些?	315
基准的建立与体现	319
148. 什么是基准、基准要素? 基准的建立原则是什么?	319
149. 怎样由单一基准要素建立基准?	320
150. 怎样由组合基准要素建立基准?	322
151. 怎样由基准实际要素建立三基面体系?	324
152. 什么是基准体现方法? 基准体现方法有哪些种类?	327
153. 怎样用模拟法体现基准?	328
154. 怎样用直接法体现基准?	333
155. 怎样用分析法体现基准?	334
156. 怎样用目标法体现基准?	336
157. 怎样体现三基面体系?	336
方向误差及其检测方法	339
158. 什么是方向误差? 评定方向误差的基本原则是什么?	339
159. 什么是定向最小区域? 怎样判别定向最小区域?	339
160. 怎样检测面对面的平行度误差?	344
161. 怎样检测线对面的平行度误差?	347
162. 怎样检测面对线的平行度误差?	348
163. 怎样检测线对线的平行度误差?	350
164. 怎样用综合量规法检验零件的平行度误差?	354
165. 怎样检测面对面的垂直度误差?	354
166. 怎样检测线对面的垂直度误差?	359
167. 怎样检测面对线的垂直度误差?	363
168. 怎样检测线对线的垂直度误差?	364
169. 怎样用综合量规法检测垂直度误差?	369
170. 怎样检测面对面的倾斜度误差?	370
171. 怎样检测线对面的倾斜度误差?	371



172. 怎样检测面对线的倾斜度误差?	372
173. 怎样检测线对线的倾斜度误差?	373
位置误差及其检测方法	377
174. 什么是位置误差? 评定位置误差的基本原则是什么?	377
175. 什么是定位最小区域? 怎样判别定位最小区域?	378
176. 怎样检测轴对轴的轴线间同轴度误差?	379
177. 怎样检测孔对孔的轴线间同轴度误差?	382
178. 怎样检测孔与轴的轴线间同轴度误差?	383
179. 怎样检测以公共轴线为基准的同轴度误差?	385
180. 怎样用综合量规法检测同轴度误差?	386
181. 怎样检测面对面的对称度误差?	387
182. 怎样检测面对线的对称度误差?	389
183. 怎样检测线对面的对称度误差?	390
184. 怎样用综合量规法检测对称度误差?	391
185. 怎样检测点的位置度误差?	392
186. 怎样检测线的位置度误差?	393
187. 怎样检测多孔孔组的位置度误差?	395
188. 怎样检测以极坐标标注的位置度误差?	397
189. 怎样检测面的位置度误差?	401
190. 怎样用综合量规法检测位置度误差?	402
跳动误差及其检测方法	404
191. 什么是跳动误差? 跳动误差的检测原则是什么?	404
192. 怎样检测外圆表面径向圆跳动误差?	405
193. 怎样检测内孔表面径向圆跳动误差?	407
194. 怎样检测内、外圆柱面间径向圆跳动误差?	407
195. 怎样检测轴向圆跳动误差?	409
196. 怎样检测斜向圆跳动误差?	410
197. 怎样检测径向全跳动误差?	412
198. 怎样检测轴向全跳动误差?	413
附录 几何误差检测方案 (GB/T 1958—2004)	414

概 述

1. 什么是产品几何量？几何特性对互换性有何重要作用？

答：产品几何量是指构成机械零件几何要素的特性量。所有的机械零件都是由各种几何要素，按不同尺寸、形状和位置有机地组合而成的。如图 1 所示喷油泵凸轮轴，其是由若干个直径为 $\phi 30\text{mm}$ 、 $\phi 37\text{mm}$ 的圆柱体、锥度为 $1:5$ 的圆锥体和由特征曲线构成的非圆曲面体等，按一定排列顺序和方位，沿同一轴线组合在一起构成的。这是根据零件的功能要求所确定的。

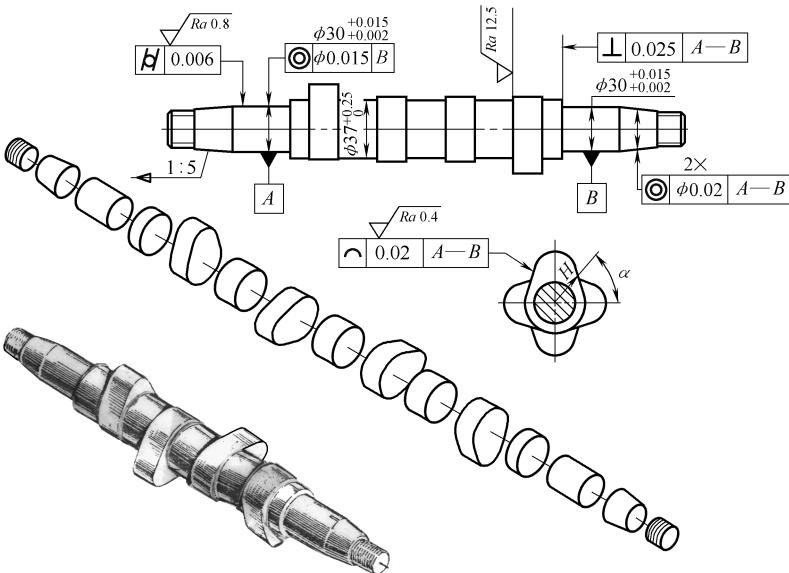


图 1 喷油泵凸轮轴

现代机械工业生产的特点是生产规模越来越大，技术要求高，生产协作广泛，为此，必须采用互换性原则进行生产。所谓



互换性即从大批量生产出的同一规格零件中任意取出一件，不需要再经任何选择或修配，便可直接安装到机器所在部位上去，并能完全符合规定的使用功能要求。

实现互换性生产，除要满足零件的材质特性要求外，还必须保证零件的几何特性符合一定要求。零件的几何特性是指零件的实际要素对其几何理想要素的偏离状态。它包括尺寸偏差、零件要素的几何误差、表面粗糙度和表面波纹度等。

所有零件都是通过各种不同加工方法制作而成的，由于受加工设备、工具及工作环境和操作者技术水平等条件的限制，加工出的零件不可能与图样上给出的几何量完全一致，必然会产生加工误差。为满足零件的功能要求，必须对其几何特性给出一定限制要求，使各类误差控制在一定范围内，才能满足互换性要求。为此，图样上给出了多种几何特性要求，如图1中所示的尺寸公差 ($\phi 30^{+0.015}_{-0.002}$ mm、 $\phi 37^{+0.25}_0$ mm)、形状公差（圆柱度 0.006mm、线轮廓度 0.02mm）、位置公差（同轴度 $\phi 0.015$ mm）、方向公差（垂直度 0.025mm）和表面粗糙度 ($Ra0.4$ 、 $Ra0.8$ 、 $Ra12.5$) 等技术要求，生产中零件几何特性必须达到图样上的规定要求，方可满足零件的功能需要。由此可见，几何特性是实现互换性必不可少的重要条件。

2. 什么是几何公差？它对产品质量有何重要意义？

答：几何公差在旧标准中称为形状和位置公差（简称形位公差）是零件上各要素的实际形状、方向和位置，相对于理想形状、方向和位置偏离程度的控制要求。

生产中加工出的零件几何量，不可能与图样上给出的理想几何量完全一致。从零件功能要求讲，只要将误差控制在一定范围内，便可满足其需要。为此，在图样上给出了各种几何特性公差要求。其中，几何公差是为了保证零件上各要素的形状、方向和位置精度所给出的规定要求。生产中通过几何公差各项要求的控制，以达到必要的几何精度，从而保证产品零件的工作性能。

以图1所示喷油泵凸轮轴为例，该零件的功用是借助于轴上



凸轮升程 H 的变化，驱动喷油泵柱塞往复运动，以实现定时、定量、定压向燃烧室内喷射燃油。该轴是通过两端 $\phi 30^{+0.015}_{-0.002}$ mm 轴颈支承在泵体的轴承座孔内，左侧 1:5 锥体处安装有传动齿轮，以驱动其旋转。喷油泵柱塞则通过滚轮挺柱直接与各凸轮表面相接触。工作时，随着凸轮轴的转动，凸轮升程发生变化，从而驱动柱塞往复运动。

为满足上述工作性能要求，首先应保持凸轮轴转动平稳，为此应保证两支承轴颈和锥体轴的轴线同轴，故给出旋转轴线（以 A、B 轴颈公共轴线为基准）的同轴度公差要求；同时为控制各缸供油量和供油压力均匀、一致，对各凸轮外形给出线轮廓度公差要求。

由此可见，几何公差要求对产品的工作性能、工作精度、使用寿命、可靠性和制造成本的经济性将产生重要影响。

3. 什么是几何误差？影响几何误差的因素有哪些？

答：零件上各要素的实际形状、方向和位置相对于理想形状、方向和位置的偏离量，称为几何误差。

生产中按照产品图样加工零件。图样中所给出的零件上各要素的形状和相对位置都是理想的几何形状和位置。加工过程中由于受到各种因素的影响，不可能达到理想的形状和位置，必然要产生误差。影响零件几何误差的主要因素有：

1) 加工设备的精度。零件是通过各种加工设备加工完成的，由于加工设备本身存在误差，致使零件在加工过程中产生几何误差。如图 2a 所示，由于机床主轴与尾座顶尖之间连线（作为工件加工轴线定位）与机床导轨（作为刀具移动定位面）不平行，造成加工过程中背吃刀量（旧称切削深度）沿轴向变化，产生零件圆柱度误差。

如图 2b 所示，由于刨床滑枕导轨与工作台定位面间不平行，造成侧吃刀量（旧称切削厚度）不均匀，产生零件平行度误差。

如图 2c 所示，由于钻头轴线与工作台定位面间存在垂直度误差，加工出的零件孔的轴线与零件端面间产生垂直度误差。

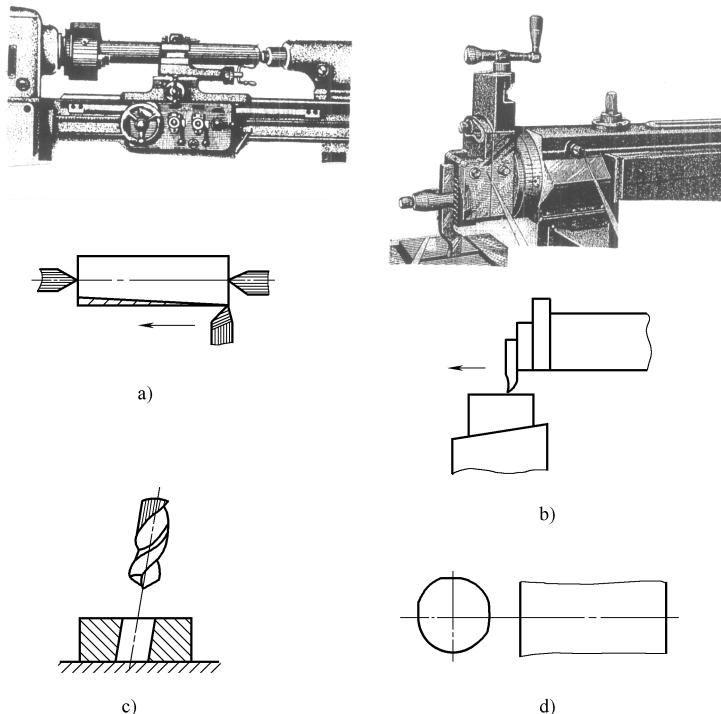


图 2 加工设备的精度对几何误差的影响

如图 2d 所示, 由于机床振动严重, 使主轴回转精度受到影响, 加工出的零件会产生圆度和圆柱度误差。

2) 加工用工艺装备的精度。零件加工时, 通常采用各种工艺装备对零件进行定位、夹紧和切削, 如夹具、钻模、刀具等。由于所使用的工装精度的影响, 致使加工过程产生几何误差。如图 3a 所示, 由于夹具两定位面之间不垂直, 且刚性较差, 在切削力作用下, 使夹具产生变形, 导致背吃刀量发生变化, 造成加工出的零件表面产生垂直度误差。如图 3b 所示, 采用钻模加工零件上的孔, 由于钻模套之间存在位置和方向误差, 加工后零件

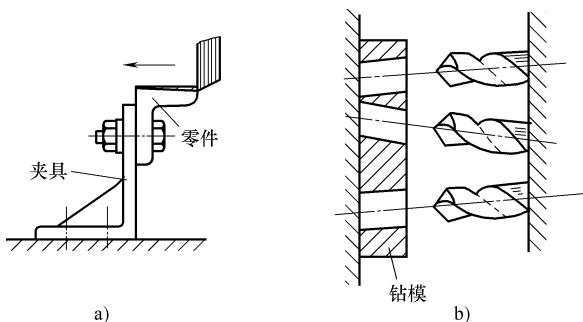


图 3 加工用工艺装备的精度对几何误差的影响

各孔之间产生位置度误差。

3) 加工工艺方法或加工操作不当。零件加工应根据其结构特点选择合理的加工工艺方法。若选用加工工艺方法或加工操作不当,会使零件产生较大的几何误差。如图 4a 所示,在加工细长零件时,仅采用两端支承,加工时在两端夹紧力和切削力的作用下,工件产生弯曲变形,造成吃刀量不均匀而产生圆柱度误差。如图 4b 所示,在悬臂状态下加工工件时,工件在切削力作用下产生弯曲变形,因吃刀量不同而造成圆柱度误差。如图 4c 所示,加工时工件固定在工作台上,由于夹紧方法不当,使工件发生变形,造成加工后两孔轴线间产生平行度误差。如图 4d 所示,加工一薄壁零件,加工时采用自定心卡盘夹紧,由于受夹紧力的作用,工件产生变形,加工后零件产生圆度误差。如图 4e 所示,加工一阶梯轴零件,调头加工另一端轴颈时,由于定位基准的变化,加工后产生同轴度误差。

综上所述,工件在加工过程中,因受各种因素的影响而产生几何误差。为满足工件的功能要求,就必须采用合理的加工工艺方法,选用适宜精度的加工设备和工艺装备,以确保其加工精度要求。

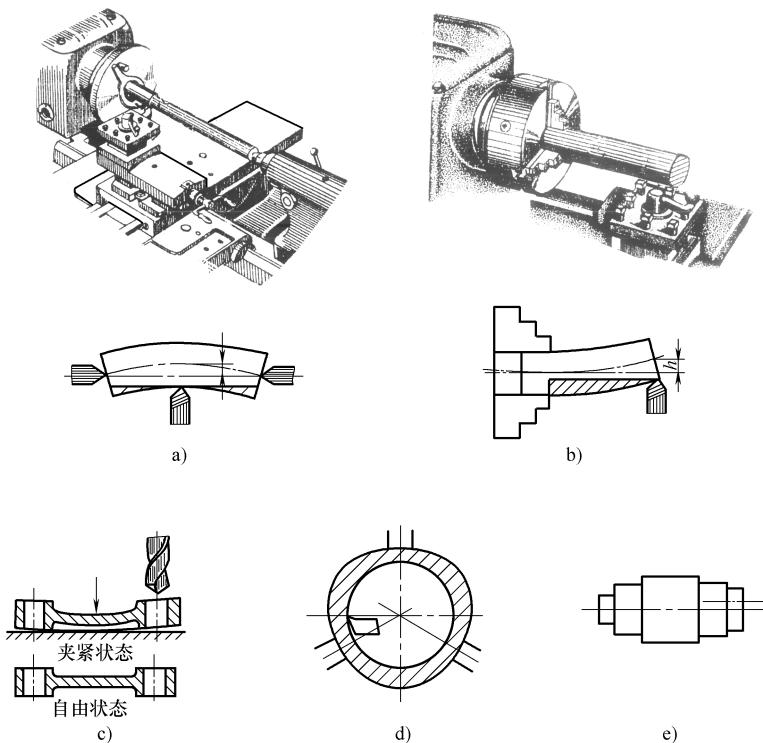


图 4 加工工艺方法或加工操作不当对几何误差的影响

4. 公差与误差在概念上有何不同?

答：公差与误差是两种完全不同的概念。公差是根据零件的功能需求及其构造特点，在图样上给出的技术要求，是图样上给定值，用来控制误差的变动范围。而误差是零件实际存在的状况，是指加工完成后零件的实际形状和位置相对于理想形状和位置的偏离量。它反映着每个具体零件的形状和位置等精度。

在生产过程中，应根据图样上给出的几何公差要求，采用适宜的工艺方法完成零件的加工。加工好的零件必须按照图样要求，采用适宜的检测方法，判别其几何误差的大小。当误差值小于或等于所给定的公差值时，该零件为合格品；若误差值大于公



差值时，则为不合格品。

5. 为什么要制定“几何公差”国家标准？现行标准有哪些内容？

答：几何公差是实现互换性生产，保证产品工作性能和工作精度，提高使用寿命和可靠性，降低制造成本的重要技术要求。因此，在现代机械工业生产中得到广泛应用。

为在图样和技术文件中确切地表示出几何公差要求，使设计、制造、检验等部门取得统一认识和统一解释，以确保产品质量，我国制定了统一的“几何公差”国家标准。

“几何公差”国家标准中对几何公差术语、定义、标注方法、公差等级及检测原则、检测方法等均做了统一规定，生产中都必须严格执行。

“几何公差”国家标准等效采用了国际标准（ISO），为国际间技术交流创造了方便条件，有利于推动我国现代机械工业的发展。

现行“几何公差”国家标准及部分行业标准有以下项目：

- 1) GB/T 1182—2008《产品几何技术规范（GPS） 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》。
- 2) GB/T 1184—1996《形状和位置公差 未注公差值》。
- 3) GB/T 4249—2009《产品几何技术规范（GPS） 公差原则》。
- 4) GB/T 16671—2009《产品几何技术规范（GPS） 几何公差 最大实体要求、最小实体要求和可逆要求》。
- 5) GB/T 17851—2010《产品几何技术规范（GPS） 几何公差 基准和基准体系》。
- 6) GB/T 17852—1999《形状和位置公差 轮廓的尺寸和公差注法》。
- 7) GB/T 16892—1997《形状和位置公差 非刚性零件注法》。
- 8) GB/T 17773—1999《形状和位置公差 延伸公差带及其



表示法》。

9) GB/T 18780.1—2002《产品几何量技术规范(GPS)
几何要素 第1部分：基本术语和定义》。

10) GB/T 18780.2—2003《产品几何量技术规范(GPS)
几何要素 第2部分：圆柱面和圆锥面的提取中心线、平行平面
的提取中心面、提取要素的局部尺寸》。

11) GB/T 24630.1—2009《产品几何技术规范(GPS) 平
面度 第1部分：词汇和参数》。

12) GB/T 24630.2—2009《产品几何技术规范(GPS) 平
面度 第2部分：规范操作集》。

13) GB/T 24631.1—2009《产品几何技术规范(GPS) 直
线度 第1部分：词汇和参数》。

14) GB/T 24631.2—2009《产品几何技术规范(GPS) 直
线度 第2部分：规范操作集》。

15) GB/T 24632.1—2009《产品几何技术规范(GPS) 圆
度 第1部分：词汇和参数》。

16) GB/T 24632.2—2009《产品几何技术规范(GPS) 圆
度 第2部分：规范操作集》。

17) GB/T 24633.1—2009《产品几何技术规范(GPS) 圆
柱度 第1部分：词汇和参数》。

18) GB/T 24632.2—2009《产品几何技术规范(GPS) 圆
柱度 第2部分：规范操作集》。

19) GB/T 13319—2003《产品几何量技术规范(GPS) 几
何公差 位置度公差注法》。

为了便于生产中对工件几何误差的检测和评定，还制定有一
系列几何误差检测标准，主要有：

1) GB/T 1958—2004《产品几何量技术规范(GPS) 形状
和位置公差 检测规定》。

2) GB/T 18779.1—2002《产品几何量技术规范(GPS)
工件与测量设备的测量检验 第1部分：按规范检验合格或不合



格的判定规则》。

- 3) GB/T 18779. 2—2004 《产品几何量技术规范 (GPS) 工件与测量设备的测量检验 第 2 部分：测量设备校准和产品检验中 GPS 测量的不确定度评定指南》。
- 4) GB/T 19765—2005 《产品几何量技术规范 (GPS) 产品几何量技术规范和检验的标准参考温度》。
- 5) GB/T 24637. 2—2009 《产品几何量技术规范 (GPS) 通用概念 第 2 部分：基本原则、规范、操作集和不确定度》。
- 6) GB/T 11336—2004 《直线度误差检测》。
- 7) GB/T 11337—2004 《平面度误差检测》。
- 8) GB/T 7234—2004 《产品几何量技术规范 (GPS) 圆度测量 术语、定义及参数》。
- 9) GB/T 7235—2004 《产品几何量技术规范 (GPS) 评定圆度误差的方法 半径变化量测量》。
- 10) GB/T 4380—2004 《圆度误差的评定 两点、三点法》。
- 11) JB/T 5996—1992 《圆度测量 三测点法及其仪器的精度评定》。
- 12) JB/T 7557—1994 《同轴度误差检测》。
- 13) GB/T 8069—1998 《功能量规》。

基本概念

6. 什么是要素？什么是组成要素、导出要素？

答：构成机械零件几何体的点、线、面，称为机械零件要素（简称要素）。

任何机械零件都是由各种要素有机地组合在一起的。如图 5 所示手柄，是由球面、素线、轴线、圆柱面、圆锥面和平面等要素构成。

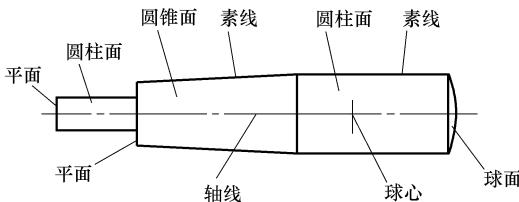


图 5 手柄

要素根据其几何特性不同，可分为以下类型：

1) 点要素是指只占有位置，而无大小的基本几何元素。在机械零件上体现有圆心、球心、中心点和交点等。

2) 线要素是指点的运动轨迹。它只有长度和方位量，而不占有面积。在机械零件上体现有素线、曲线、轴线和中心线等。

3) 面要素是指限定零件与周围介质分界的要素，在机械零件上体现有平面、曲面、圆柱面、圆锥面、球面和中心面等。

上述各类要素按其存在状态，又可分为组成要素和导出要素两大类型。

1) 组成要素。组成要素是指构成零件的外形，能够直接感知到的面或面上的线要素，如图 5 所示圆柱面和圆锥面及其素线、平面、球面等要素。



2) 导出要素。导出要素是指具有对称关系的一个或几个组成要素按照几何关系所确定的中心点、轴线或中心面。如图 6 所示,由圆球面所确定的球心(图 6a)、由圆柱面所确定的轴线(图 6b)、由两平行平面所确定的中心面(图 6c)等均为导出要素。

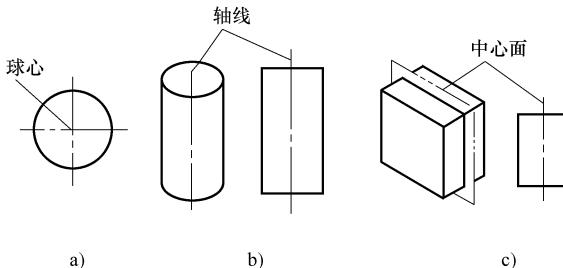


图 6 导出要素

导出要素虽也是客观存在的,但不能为人们直接感触到,必须通过其相应的组成要素才能确定。导出要素对零件的形状和位置精度往往起到至关重要的作用,因此在几何公差中占有重要位置。

7. 什么是公称要素? 公称要素分为哪两种类型?

答: 公称要素是指由图样上给出的确定的几何形状。它是没有任何误差完全正确的几何要素,故又称为理想要素。

公称要素按其存在状态可分为以下两种类型。

1) 公称组成要素。由图样或其他方法确定的理论正确组成要素。如图 1 所示 $\phi 30^{+0.015}_{+0.002}$ mm 圆柱面和 1:5 圆锥面,它们是由线性尺寸或角度(锥度)确定的理论正确的几何形状,故称为公称组成要素。

2) 公称导出要素。由一个或几个公称组成要素导出的中心点、轴线或中心平面。如图 1 所示 $\phi 30^{+0.015}_{+0.002}$ mm 圆柱面的轴线,它是由 $\phi 30^{+0.015}_{+0.002}$ mm 圆柱面公称组成要素所确定,故称为公称导出要素。



8. 什么是提取要素？提取要素分为哪两种类型？

答：提取要素是指零件加工完成后，按规定方法通过检测手段所得到的要素，故又称为测得要素。

零件加工完成后所得到的实际存在的要素，称为实际要素。虽然实际要素是客观存在着的，但要如实地认识它却十分困难，因为它的实际状态必须通过实际测量才能得到。由于测量手段的限制和测量误差的存在，不可能将其客观存在状态如实地反映出来，况且实际导出要素也不存在。为此，标准中规定以通过检测手段获取的提取要素取代相应的实际要素。

提取要素按其存在状态可分为以下两种类型。

1) 提取组成要素。按规定方法，由实际（组成）要素提取有限数目的点所形成的实际（组成）要素的近似替代，称为提取组成要素。该替代的方法，由要素所要求的功能确定。每个实际（组成）要素可以有几个这种替代。

2) 提取导出要素。由一个或几个提取组成要素得到的中心点、轴线或中心面，称为提取导出要素。提取导出要素包括以下几种形式。

① 圆柱面的提取导出要素是指圆柱面各横截面中心点的轨迹，如图 7 所示。此时，各截面的中心点就是拟合圆圆心 6。各截面均应垂直于拟合圆柱面轴线 3。拟合圆和拟合圆柱面均按最小二乘法确定。

上述规定表示：在确定提取要素圆柱面的轴线时，首先应根据所测得的圆柱面提取表面 1，按照最小二乘法确定拟合圆柱面 2（理论正确的圆柱面）及其拟合圆柱面轴线 3。然后按垂直于拟合圆柱面轴线的方向，测得该横截面上圆的提取线 7，根据提取线按最小二乘法确定该截面上拟合圆 5，其圆心即为该圆柱面提取轴线的一个点。由若干个截面所得到的拟合圆圆心组合在一起，便构成该圆柱面的提取轴线。

② 圆锥面的提取导出要素是指圆锥面各横截面中心点的轨迹。此时，各横截面的中心点就是各拟合圆圆心，各横截面应垂



直于拟合圆锥面的轴线。该规定表述的含义与上述圆柱面相同。

③ 提取中心面是指在对应的提取面上，各组对应点连线的中心点的轨迹。如图 8 所示，各组对应点之间的连线均应垂直于拟合中心面。拟合中心面是两个拟合平面的中心平面。两平行拟合平面是由提取表面按照最小二乘法获得。

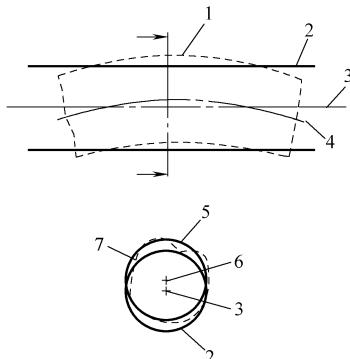


图 7 圆柱面的提取导出要素

- 1—提取表面 2—拟合圆柱面
- 3—拟合圆柱面轴线 4—提取中心线
- 5—拟合圆 6—拟合圆心 7—提取线

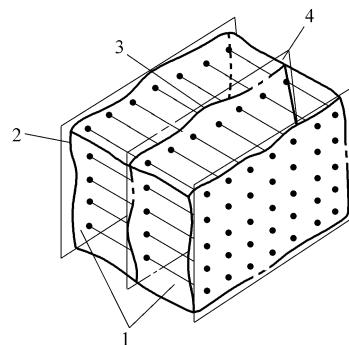


图 8 提取的中心面

- 1—提取表面 2—拟合平面
- 3—提取中心面 4—拟合中心面

9. 什么是拟合要素？拟合要素分为哪两种类型？

答：拟合要素是指按规定方法由提取要素形成的并具有理想形状的几何要素。通常由提取要素形成拟合要素时，两者之间应按照最小二乘法获得。

拟合要素按其存在状态可分为以下两种类型。

1) 拟合组成要素。按规定方法由提取组成要素形成的并具有理想形状的几何要素。如图 7 所示，根据测得的圆柱面（组成要素）提取表面 1，按照最小二乘法确定拟合圆柱面 2（理论正确的几何圆柱面）。

2) 拟合导出要素。由一个或几个拟合组成要素导出的中心点、轴线、中心面，称为拟合导出要素。如图 8 所示，由两个拟



合平面 2, 导出拟合中心面 4。

10. 几何要素定义之间的相互关系是怎样的?

答: 几何要素定义之间的相互关系, 如图 9 所示。

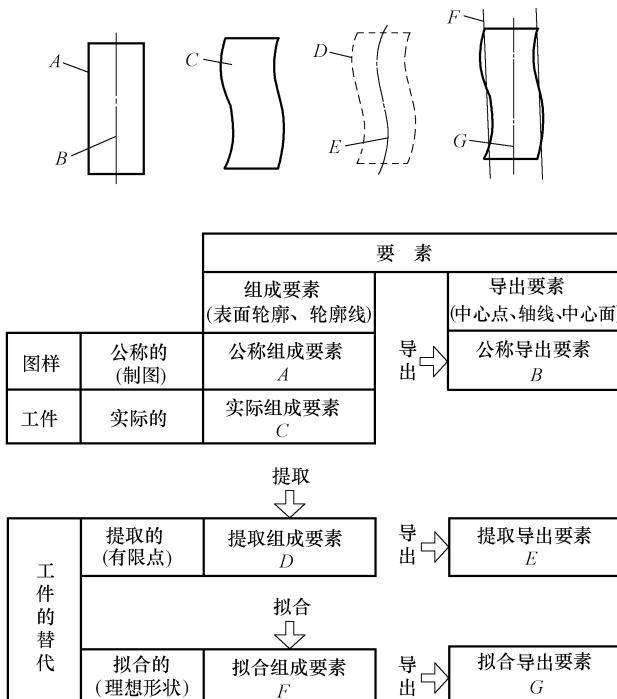


图 9 几何要素定义之间的相互关系

要素可分为组成要素 (表面轮廓、轮廓线) 和导出要素 (中心点、轴线、中心面) 导出要素是由一个或几个组成要素所确定的。

在图样上给出的是理论正确的公称要素, 包括公称组成要素 A 和公称导出要素 B。公称导出要素是由一个或几个公称组成要素所确定的。

生产中实际加工好的工件上客观存在的要素为实际 (组成)



要素 C 。没有实际导出要素。实际要素虽客观存在着，但要确切认知却十分困难。

生产中采用一定的检测方法，从实际组成要素上提取有限数目的点来近似替代实际组成要素，即为提取组成要素 D 。由一个或几个提取组成要素所确定的导出要素即为提取导出要素 E 。

为了认知实际要素的几何精度状况，按规定方法由提取组成要素形成理想形状，即为拟合组成要素 F 。由一个或几个拟合组成要素导出的中心点、轴线、中心平面即为拟合导出要素 G 。

几何公差实质上就是对构成零件各要素的形状和相对位置给出的精度要求。

11. 什么是被测要素？被测要素有哪些类型？

答：给出几何公差的要素，称为被测要素。图样中几何公差要求应采用国家标准统一规定的符号及框格标注法，正确标注出来。

根据零件的功能需要和结构特点，被测要素可分为以下几种类型。

1) 被测要素为整体组成要素，其公差带适用于整个被测要素。如图 10a 所示，给出 $\phi 25\text{mm}$ 圆柱面圆柱度公差要求，该要求是对其全长范围 (40mm) 内整个圆柱面的要求，公差带适用于整个圆柱面。

该类公差带是生产中最常用的一种形式。

2) 被测要素为局部范围内的组成要素，其公差带仅适用于给定范围。如图 10b 所示，给出的平面度公差要求，不是对整个平面，而仅仅是对 30mm 范围，该公差带也仅适用于给定的局部范围。

该类公差带要求是根据零件的功能要求确定的，其可以简化加工工艺，提高经济效益。

3) 被测要素为断续的组成要素，并由同一公差带控制。如

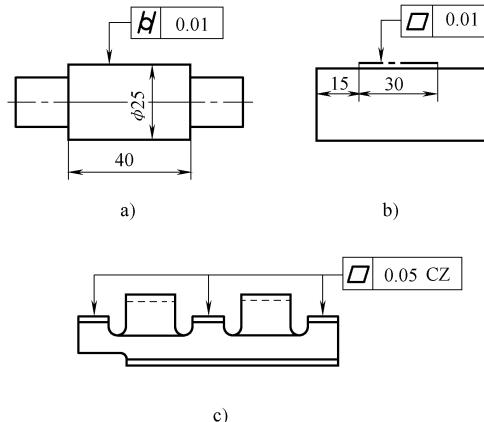


图 10 被测组成要素

图 10c 所示，同时给出三个平面的平面度要求，并在框格内公差值后加注“CZ”字样，其表示三个平面应位于同一平面，且用同一公差带控制其平面度误差。

4) 被测要素为导出要素。如图 11a 所示，给出直线度公差要求，该被测要素为 $\phi 25\text{mm}$ 圆柱面的轴线，而不是圆柱面；又如图 11b 所示，给出对称度公差要求，该被测要素为键槽两侧面的中心面，而不是两侧表面。

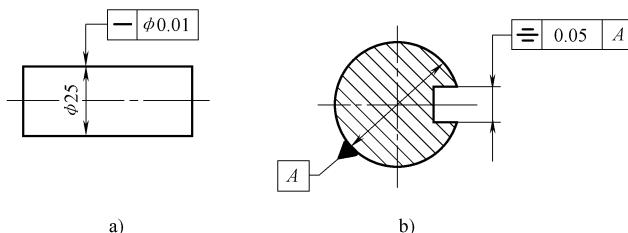


图 11 被测导出要素

上述各种不同类型的被测要素，均通过标准中规定的不同标注方法（详见后述）表示出来。



生产中对图样中给出的被测要素必须逐项进行检测，以判断其是否合格。

12. 什么是基准要素？基准要素有哪些类型？

答：用来确定被测要素的方向或（和）位置的要素，称为基准要素。在图样上用基准符号标注出基准要素，以作为评定被测要素的方向和位置误差的依据。

根据零件的功能需要和结构特点，基准要素有以下不同类型。

(1) 单一基准要素 是指以零件上一个要素作为基准要素，可以是组成要素或导出要素，如图 12 所示。

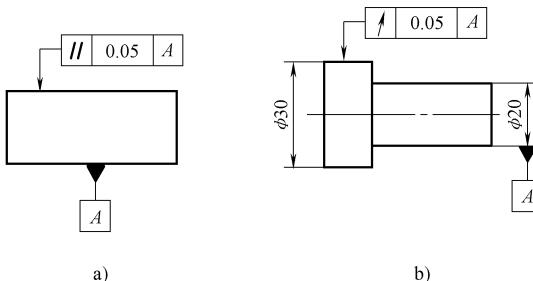


图 12 单一基准要素

图 12a 中平行度公差要求是指以底平面为基准，表示上表面对其平行度误差的控制要求。又如图 12b 所示，给出 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱表面圆跳动公差要求，其基准为 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面轴线。

(2) 组合基准要素 是指作为单一基准使用的一组要素，是由零件上两个或两个以上要素组成的公共基准。

如图 13 所示，给出同轴度公差要求，其基准标注为 “A—B”，表示由两端 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面的轴线与 $\phi 15\text{mm}$ 圆柱面轴线共同组成一公共轴线作为基准要素。

(3) 多基准组合体系 是指由零件上三个要素建立起空间相互垂直的三个平面所构成的基准体系，并通过理论正确尺寸，

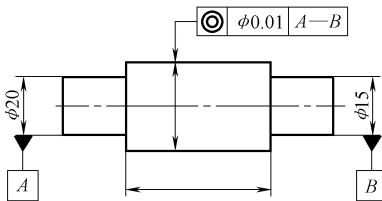


图 13 组合基准要素

确定被测要素的理想位置。

如图 14a 所示的位置度公差要求，同时给出了 A 、 B 、 C 三个基准。该基准是以 A 、 B 、 C 三个基准表面，建立起三个相互垂直的基准平面，如图 14b 所示。给出位置度公差的 $\phi 15$ mm 通孔的轴线理论正确位置，则由相对于 A 、 B 、 C 三个基准表面的理论正确尺寸 25 、 20 所确定。

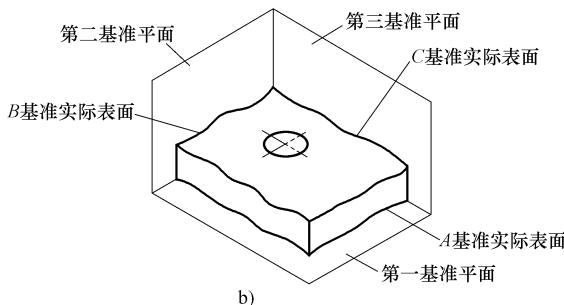
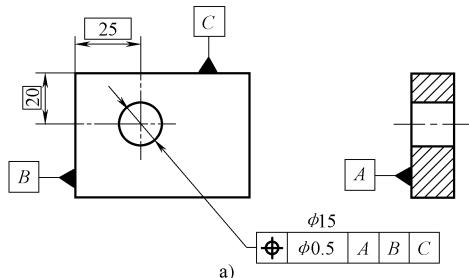


图 14 多基准组合体系



多基准组合体系可根据零件的功能和结构特点，采用不同形式给出。标准中规定有三基面体系（见 22 题）、基准目标（见 23 题）。

图样上必须按规定的基准符号，明确标出基准要素。生产中应按基准要素检测被测要素的定位或定向误差，以判定其是否合格。

13. 什么是单一要素？什么是关联要素？

答：仅对其本身给出几何公差要求的要素，称为单一要素。如图 15a 所示，给出 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面轴线直线度公差要求，其仅对轴线本身误差进行控制，而与其他要素无关；又如图 15b 所示，给出零件上表面平面度公差要求，其仅对上表面误差进行控制，也与其他要素无关。上述被测轴线及上表面均为单一要素。

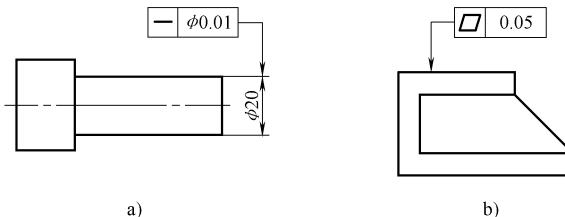


图 15 单一要素

对其他要素有功能（方向、位置）要求的要素，称为关联要素。如图 16a 所示，给出 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面轴线同轴度公差要求。该轴线的理论正确位置是由基准轴线 A 所确定。又如图 16b 所示，给出上表面平行度公差要求，该表面的理论正确方向是由基准平面 A 所确定。此时，被测要素轴线及上表面均为关联要素。

单一要素与关联要素，主要是为误差判别分析方便而进行的分类（详见 15 题）。

14. 什么是几何公差带？确定几何公差带的四个要素是什么？

答：由一个或几个理想的几何线或面所限定的，由线性公差

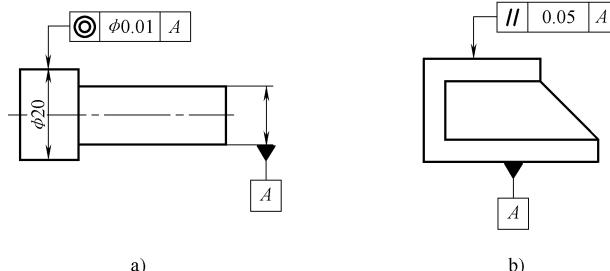


图 16 关联要素

值表示其大小的区域称为几何公差带。

按照产品功能要求，对几何误差加以合理的控制，以保证零件加工和装配达到一定的精度要求，这就需要在产品图样上提出几何公差要求。

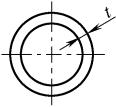
图样中给出的几何公差要求是由公差带概念来确定的，其与尺寸公差带概念是一致的，但它比尺寸公差带复杂得多。尺寸公差带仅是对单一线性尺寸的控制，而几何公差带涉及零件要素的形状、方向、位置等因素。

几何公差带由以下四个要素所构成。

(1) 公差带的形状 是指由几何要素所组成的一种特定的几何图形，构成了控制几何误差变动的区域。

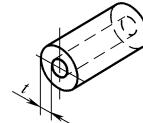
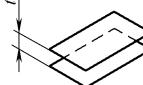
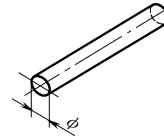
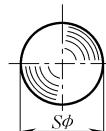
常用公差带的形状，见表 1。

表 1 常用公差带的形状

特 征	公 差 带
一个圆内的区域	
两同心圆之间的区域	



(续)

特征	公差带
两同轴圆柱面之间的区域	
两平行直线之间的区域	
两等距曲线之间的区域	
两平行平面之间的区域	
两等距曲面之间的区域	
一个圆柱面内的区域	
一个球内的区域	



公差带呈何种形状，取决于被测要素的特征和设计要求（包括几何公差项目要求和给定方向等）。图样上给出的几何公差要求，其公差带形状可根据以下因素确定。

1) 由几何公差项目所确定的唯一公差带形状，如圆度公差带为两同心圆，圆柱公差带为两同轴圆柱面等。

2) 由被测要素的特征，确定了公差带的形状，如被测要素是平面，其公差带必然是两平行平面；如被测要素是非圆曲线或曲面，则其公差带必然是两条等距曲线或等距曲面。

3) 根据零件的功能要求及要素特征，由设计者给出的公差带。如被测要素为一轴线，根据设计要求其公差带可以是两平行平面，也可以是与基准垂直的两平面或圆柱面。

(2) 公差带的方向 是指公差带放置的方向，该方向直接影响着误差评定的准确性。

公差带的方向按几何公差项目的性质不同，分别按下述方法确定。

1) 对于形状公差的公差带，其放置方向应符合最小条件（见15题）。

2) 对于方向公差的公差带，其放置方向由被测要素与基准的几何关系（垂直、平行或给定倾斜角度）确定。

3) 对于位置公差的公差带，其放置方向由相对于基准的理论正确尺寸确定。其中同轴度、对称度分别由基准轴线、基准中心平面来确定（即理论正确尺寸为零）。而位置度则由三坐标体系中给出的理论正确尺寸确定。

(3) 公差带的位置 是指公差带应处的位置。形状公差没有位置要求，其只用来限制被测要素的形状误差，如圆度公差带只用来限制被测圆截面的轮廓形状，至于该轮廓在哪个位置上，直径大小如何，都不影响实际轮廓圆度误差的数值。但形状公差带应在相应的尺寸公差带内浮动。

方向和位置公差带是相对于基准的要求，其位置是由相对于基准的尺寸公差或理论正确尺寸确定的。由尺寸公差定位的方向



公差，被测要素只要位于尺寸公差带内，且不超出给定的位置公差值，即为合格，如平行度公差带位置，可在相应尺寸公差带范围内上下浮动。位置公差带则是由理论正确尺寸定位，其位置是固定不变的，如同轴度公差带是由基准轴线所确定。

(4) 公差带的大小 是指公差带的宽度或直径值，其是控制零件几何精度的重要指标。其数值是根据零件的功能需求，按国家标准规定选取适宜的公差等级确定的。

公差带的数值是宽度还是直径，取决于被测要素的形状和设计的功能要求。对于圆度、圆柱度、线(面)轮廓度、平面度和跳动等，所给定的公差值只能是公差带的宽度值；对于同轴度和任意方向上轴线的直线度、平行度、倾斜度及位置度，所给出的公差值则是圆或圆柱面的直径；对于点的位置度所给出的公差值是圆或球的直径值。

15. 评定几何误差的基本原则是什么？

答：评定几何误差的基本原则是符合最小条件。所谓最小条件是指在评定几何误差时，应将被测实际要素与相应理想要素比较，两者之间的最大偏离量，即为其误差值。但是，理想要素与被测实际要素相对位置不同时，两者之间的最大偏离量(即误差值)也不相同。为此规定：只有两者位于使其最大偏离量为最小时，作为误差评定的标准，即符合最小条件要求。

如图 17a 所示，在评定被测实际线的直线度误差时，针对该被测实际要素可以作多条不同方向的理想线，如 $A_1—B_1$ 、 $A_2—B_2$ 、 $A_3—B_3$ 、 \dots 、 $A_n—B_n$ 。按不同方向的理想线与被测实际要素相比较，所得误差值也各不相同。

误差值可由包容区的宽度或直径来表示。所谓包容区是指用被测要素给出的相应公差带形状(图 17a 所示为两平行直线)紧紧地将被测实际要素包容在中间所形成的区域。

上述不同方向的理想线所形成的包容区，其宽度各不相同，分别为 h_1 、 h_2 、 h_3 ，且 $h_1 < h_2 < h_3$ 。其中宽度最小的包容区，称

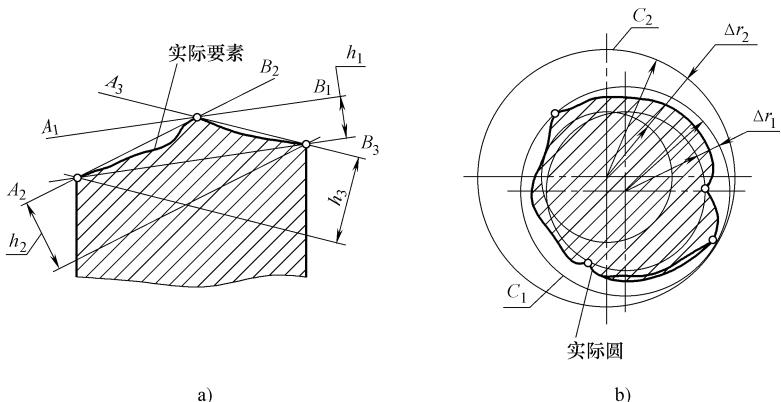


图 17 最小条件

为最小包容区。该最小包容区的宽度值 h_1 ，即为该被测实际要素的直线度误差。

又如图 17b 所示，评定被测实际圆的圆度误差时，用一组同心圆（圆度公差带形状）将其包容，可以作多组不同的同心圆 C_1 、 C_2 、…、 C_3 ，其中只有一组同心圆 C_1 的半径差 Δr_1 为最小，即符合最小条件。由 C_1 同心圆所形成的最小包容区，其半径差即为该被测圆的圆度误差。

评定方向和位置误差时，因被测要素为关联要素，其与基准要素之间有定向或定位要求的限制，因此，确定最小包容区时，应首先满足所给定的方位要求。

评定方向误差时，首先应使包容区符合给定的方向（平行、垂直、给定的倾斜角）的要求，然后使其包容区最小，称为定向最小包容区。

如图 18a 所示，评定被测实际平面对基准平面平行度误差时，必须使包容区（两平行平面）与基准平面保持平行，且使两平行平面间的距离 f 为最小，两包容区间的距离 f ，即为被测实际平面对基准平面的平行度误差。

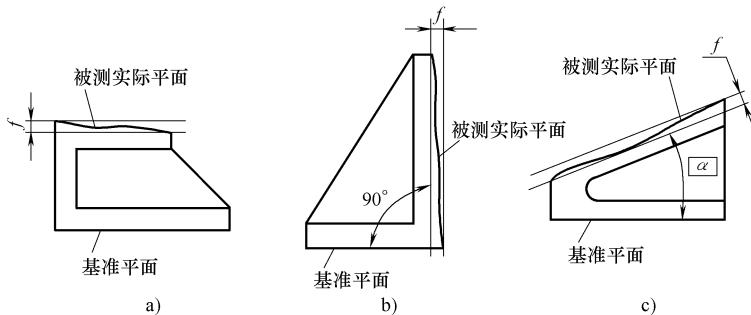


图 18 定向最小包容区

如图 18b 所示, 评定被测实际平面对基准平面垂直度误差时, 应用两平行平面包容被测实际平面, 该两平行平面应垂直于基准平面, 且使其距离 f 为最小。此时, 该包容平行面间的距离即为该被测实际平面的垂直度误差。

如图 18c 所示, 评定被测实际平面对基准平面倾斜度误差时, 应用两平行平面包容被测实际平面, 该两平行平面应与基准平面间保持给定的理想角度 α , 且使两平行平面间的距离为最小。此时, 该包容平行平面间的距离 f , 即为该被测实际平面的倾斜度误差。

评定位置误差时, 首先应使包容区符合给定的理论正确位置, 然后使包容区最小, 称为定位最小包容区。

如图 19a 所示, 评定被测实际轴线对基准轴线的同轴度误差时, 首先确定基准轴线的位置, 然后以此为中心作一几何圆柱面包容被测实际轴线, 且使其直径值 ϕf 为最小。该定位最小包容区的直径值, 即为该被测轴线的同轴度误差。

如图 19b 所示, 评定被测实际中心面对基准中心面对称度误差时, 首先要确定基准中心面的位置, 然后以此为中心作两平行平面包容被测实际中心面, 且使其距离为最小, 该定位最小包容区的宽度 f , 即为该被测实际中心面的对称度误差。

如图 19c 所示, 评定被测孔的轴线对由三基面体系所确定的

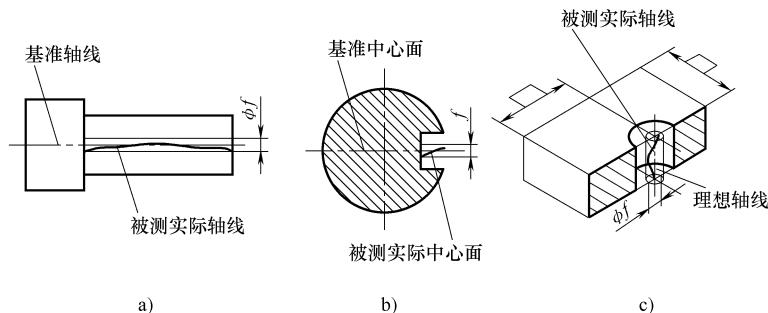


图 19 定位最小包容区

理想位置的位置度误差。首先根据基准要素所确定的三基面体系和给定的理论正确尺寸，确定理想轴线的位置，然后依此为中心作一几何圆柱面包容被测实际轴线，且使其直径值 ϕf 为最小。该定位最小包容区的直径值 ϕf ，即为该被测实际轴线的位置度误差。

按照上述最小条件的评定误差原则，可使误差评定标准一致，且获得唯一的评定结果。按照这一原则评定几何误差，可在满足零件功能要求的前提下，达到最大限度通过合格件的目的。因此国际标准（ISO）和世界各国均采用这一误差评定原则，有利于国际技术交流。

几何公差的标注

16. 什么是公差框格标注法？它包括哪些内容？

答：标准中规定用公差框格标注几何公差。公差框格标注法是指在划分成两格或多格的矩形框格内，按照规定要求依次注出几何公差要求的内容。

公差框格标注法准确而唯一的表示出被控制要素的几何公差要求，是国际上统一规定的几何公差标注方法。

公差框格标注法主要包括以下内容，如图 20a 所示。

(1) 公差框格 为矩形框格，其内划分成两格或多格。各格按从左至右顺序标注以下内容（图 20b）。

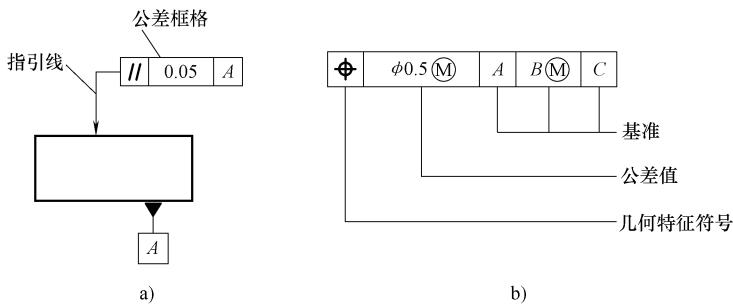


图 20 公差框格标注法

第一格：几何特征符号。

第二格：公差值，以线性尺寸表示的量值（单位 mm）。

第三格及以后各格：基准，用一个字母表示单个基准，用几个字母表示基准体系或公共基准。

(2) 带箭头的指引线 引自框格的任意一侧，终端带一箭头，确切地指示出被测要素。



(3) 基准符号 利用规定的图形符号确切地指示出基准要素。

上述标注内容及格式要求，标准中均进行了详细规定（详见后述）。

17. 标注公差框格及带箭头的指引线有哪些规定？

答：图样中采用公差框格标注几何公差时，应按有关规定要求绘制。

(1) 公差框格的绘制 框格尺寸应根据图纸幅面大小、图形绘制空间来确定。公差框格推荐尺寸见表2。

表2 公差框格及基准目标符号推荐尺寸

特征	推荐尺寸					
框格高度 H	7	10	14	20	28	40
字体高度 h	3.5	5	7	10	14	20
线条粗细 d	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4
基准目标符号直径 D	14	20	28	40	56	80

框格内各小格的宽度应为：

第一格等于框格的高度。

第二格应与标注内容相适应。框格两端的竖线与标注内容之间的距离应至少为线条粗细的两倍，且不得少于0.7mm。

第三格及以后各格也须与字母或标注内容相适应。两端竖线与字母间间隔要求与第二格相同。



公差框格一般应水平放置（图 21a），特殊需要时（如标注空间所限）也可垂直放置（图 21b）。垂直放置时框格内容应按尺寸标注方位依次从下至上标注。任何情况下公差框格均不得倾斜放置。

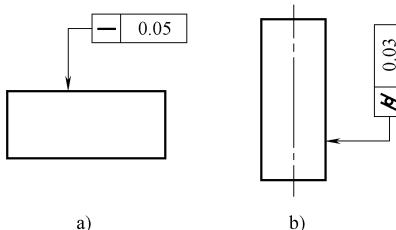


图 21 公差框格放置方向

(2) 带箭头的指引线标注 指引线用于连接被测要素和公差框格。指引线引自框格的任意一侧，且与框格边线垂直，其终端带有一箭头与被测要素相连。箭头指示方向应与被测要素公差带方向一致。

根据被测要素几何特征不同，指引线应按以下不同方式标注。

1) 当被测要素为轮廓线或轮廓面时，箭头应指向该要素的轮廓线或其延长线上，且与尺寸线明显地错开。如图 22 所示，给出 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面素线的直线度公差要求，其指引线箭头可直接指向被测轮廓线（图 22a），也可指向被测轮廓线的延长线（图 22b），但均应与尺寸线错开。

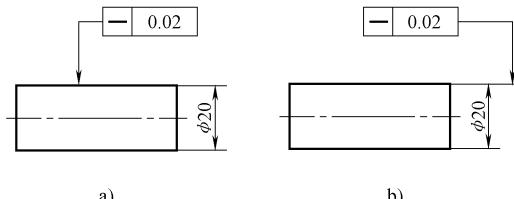


图 22 被测轮廓要素的标注



2) 被测要素为中心线、中心面或中心点时，箭头应位于相应尺寸线的延长线上。如图 23a 所示，指引线箭头与 $\phi 20\text{mm}$ 尺寸线的延长线重合，表示该被测要素为 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面的轴线。如图 23b 所示，指引线箭头位于 10mm 槽宽的尺寸线延长线上，该被测要素为 10mm 槽两侧面的中心面。

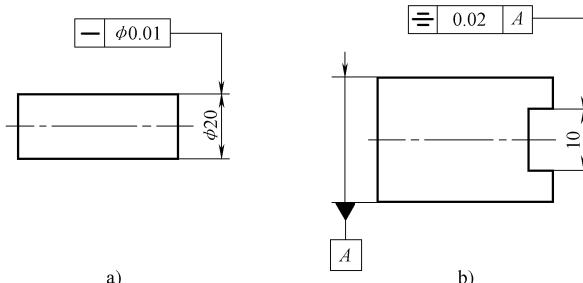


图 23 被测中心要素的标注

当指引线箭头与尺寸线箭头重叠时，指引线箭头可同时代替尺寸线箭头（图 23b）。

3) 被测要素为视图中实际表面时，箭头也可指向引出线的水平线上，引出线引自被测面。如图 24 所示，给出的平面度公差，其被测要素为 $\phi 20\text{mm}$ 圆内的平面。

(3) 全周符号 在指引线转折处绘出一粗实线小圆，表示该轮廓度公差要求适用于整周轮廓线或整周表面。

如图 25 所示，给出线轮廓度公差要求，且其指引线处标注有全周符号（图 25a），该要求表示所给出的线轮廓度公差要求适用于横截面的整周轮廓（即不仅仅对上曲线，同时包括两侧垂线和底边水平线，如图 25b 所示）。

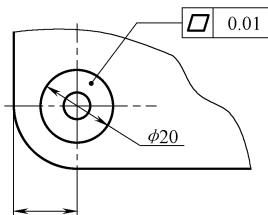


图 24 被测实际表面的标注

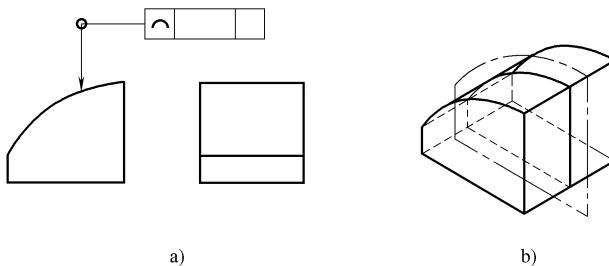


图 25 全周符号用于线轮廓度

如图 26 所示, 给出面轮廓度公差要求, 其指引线处标有全周符号 (图 26a), 该要求表示所给出的面轮廓度公差要求适用于该轮廓所示的整周表面 (即不仅仅对上曲面, 同时包括两侧垂直面和底面, 如图 26b 所示)。

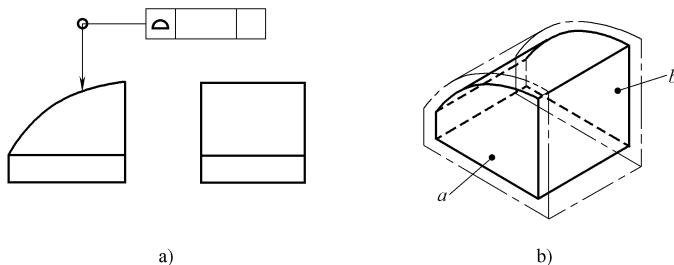


图 26 全周符号用于面轮廓度

应当指出: 全周符号并不包括整个工件的所有表面, 只包括由轮廓和公差标注所表示的各个表面, 如图 26b 所示, 该面轮廓度要求不包括两端面 a 、 b 。

18. 什么是几何特征符号? 标准中规定有哪些几何特征符号?

答: 根据零件的结构特点和功能要求不同, 对其几何误差的控制要求也不一样。标准中根据被测要素的几何特征, 规定了多种几何公差项目, 并采用简单、形象的几何图形分别表示各自不同的公差项目, 称为几何特征符号。



几何特征符号见表3。表中根据几何公差特征将其分为形状公差、方向公差、位置公差和跳动公差四个类型，每种类型中规定有多种公差项目。其中线轮廓度和面轮廓度根据其控制要求不同（如有无基准、是否有固定位置要求），可分别列入形状、方向和位置公差中，但其几何特征符号相同。

几何特征符号的绘制方法，如图27所示，其尺寸比例应与框格尺寸协调一致（见表2）。

表3 几何特征符号

公差类型	几何特征	符号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度	□	无
	圆度	○	无
	圆柱度	◐	无
	线轮廓度	⌒	无
	面轮廓度	▷	无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度	∠	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	▷	有
位置公差	位置度	⊕	有或无
	同心度(用于中心点)	◎	有
	同轴度(用于轴线)	◎	有



(续)

公差类型	几何特征	符 号	有无基准
位置公差	对称度	\equiv	有
	线轮廓度	\textcirclearrowleft	有
	面轮廓度	\textsf{D}	有
跳动公差	圆跳动	\nearrow	有
	全跳动	$\curvearrowleft \curvearrowright$	有

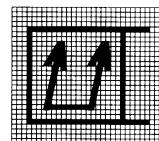
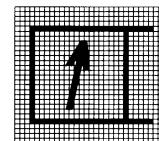
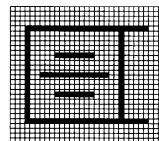
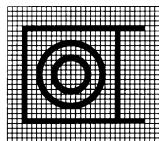
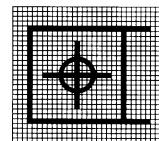
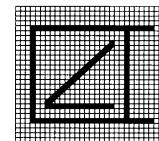
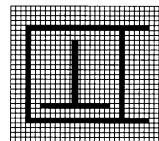
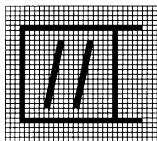
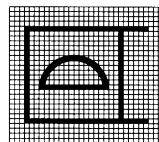
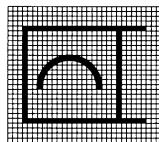
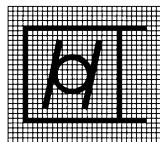
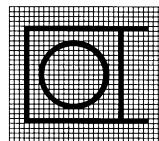
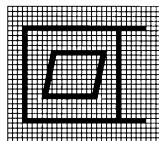
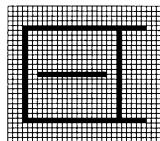


图 27 几何特征符号的绘制方法



19. 几何公差公差值的标注有哪些规定?

答: 几何公差公差值是以线性尺寸单位 (mm) 表示的量值, 标注在公差框格第二格内, 表示所给出的公差带宽度或直径大小。

公差值是根据被测要素的特征及精度要求确定。根据工件功能要求及公差带的特性, 分别采用以下不同形式标注。

1) 若公差带适用于整个被测要素时, 可直接注出公差值, 如图 28 所示。可直接注出公差带宽度值 (图 28a); 如果公差带为圆形或圆柱形, 公差值前应加注符号 “ ϕ ” (图 28b); 如果公差带为圆球形, 公差值前应加注符号 “ $S\phi$ ” (图 28c)。

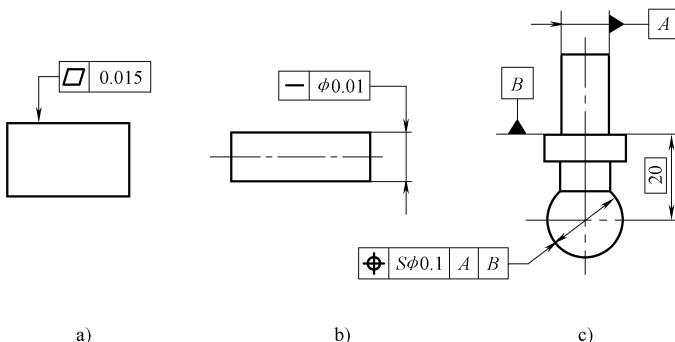


图 28 公差带适用于整个被测要素时公差值的标注

各几何公差特征项目公差值标注形式, 见表 4。

表 4 各几何公差特征项目公差值标注形式

几何公差特征项目	公差值标注	说 明
直线度	$t, \phi t$	对轴线任意方向要求注 ϕt
平面度	t	
圆度	t	t 为半径差
圆柱度	t	t 为半径差
线轮廓度	t	小圆直径 $\phi d = t$



(续)

几何公差特征项目	公差值标注	说 明
面轮廓度	t	小球直径 $S\phi d=t$
平行度	$t, \phi t$	对轴线任意方向要求注 ϕt , 仅用于轴线对轴线
垂直度	$t, \phi t$	对轴线任意方向要求注 ϕt , 仅用于轴线对平面
倾斜度	$t, \phi t$	对轴线任意方向要求注 ϕt , 仅用于轴线对平面
同轴度	ϕt	
对称度	t	
位置度	$t, \phi t, S\phi t$	对轴线任意方向要求注 ϕt , 对点的三维任意方向要求注 $S\phi t$
圆跳动	t	
全跳动	t	

2) 需要对整个被测要素上任意限定范围标注同样的几何特征公差时, 可在公差值的后面加注限定范围的线性尺寸值, 并在两者之间用斜线隔开, 如图 29a 所示。图中要求表示在被测要素全长上, 任意 200mm 范围内直线度误差均不得大于 0.05mm。

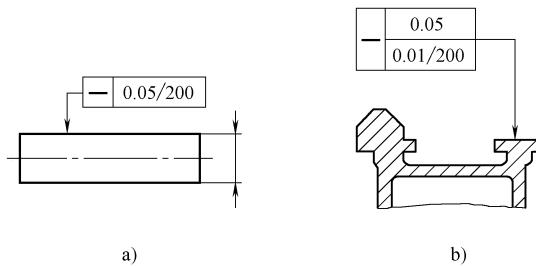


图 29 限定性要求公差值的标注

如果标注的是两项或两项以上同样几何特征的公差, 可直接在整个要素公差框格的下方放置另一个公差框格, 如图 29b 所示。图中要求表示在被测要素全长范围内直线度误差不得大于 0.05mm, 同时该被测要素任一 200mm 范围内直线度误差不得大



于 0.01mm。

3) 如对被测要素给出的几何公差有附加要求时, 应在公差值后面加注相应规定的附加符号。标准中规定的几何公差附加符号见表 5。

表 5 几何公差附加符号

说 明	符 号
延伸公差带	(P)
最大实体要求	(M)
最小实体要求	(L)
自由状态条件(非刚性零件)	(F)
包容要求	(E)
可逆要求	(R)
公共公差带	CZ
小径	LD
大径	MD
中径、节径	PD
线素	LE
不凸起	NC
任意横截面	ACS

如若干个分离要素给出单一公差带时, 可在公差框格内公差值的后面加注公共公差带的符号 CZ (详见 24 题)。

20. 怎样标注框格外的说明性内容?

答: 当几何公差框格内所示内容需指出适用处数及有其他说明性内容时, 可在公差框格上方或下方按标准规定标注出来。

当某项公差应用于几个相同要素时, 应在公差框格的上方被测要素的尺寸之前注明要素的个数, 并在两者之间加上符号“×”。

如图 30a 所示, 圆度公差框格上方注有 “2×” 字样, 其表示该轴两端 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面具有相同的圆度公差要求。

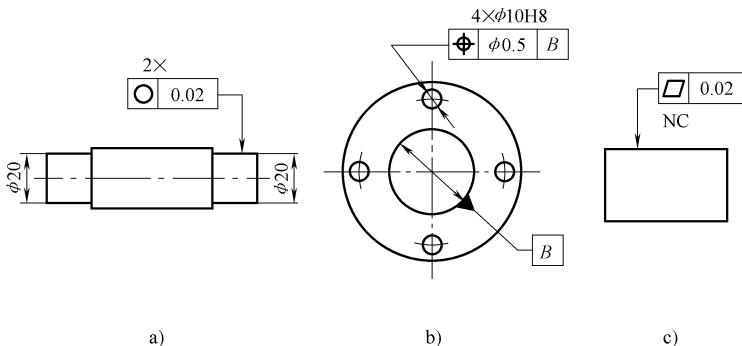


图 30 公差框格外的附加说明

图 30b 所示位置度公差要求，其框格上方注有“ $4 \times \phi 10H8$ ”字样，表示 4 个 $\phi 10H8$ 孔具有相同的位置度公差要求。

对其他说明性内容应标注在框格下方，如图 30c 所示，在框格下方注有“NC”字样，其表示被测要素在给定的平面度公差带范围内中间位置处不得凸起。

21. 图样上怎样标注基准要素？

答：标准中规定：与被测要素相关的基准用一个大写字母表示（不建议用字母 I、O、Q 和 X 也可连续重复用同样的字母，如 BB）。字母标注在基准方格内，与一个涂黑的或空白的三角形相连以表示基准，如图 31a 所示。涂黑的和空白的基准三角形含意相同。

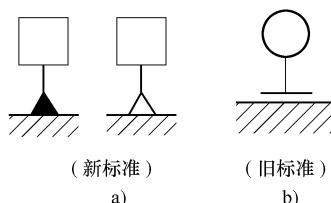


图 31 基准符号

在旧标准（GB/T 1182—1996）中规定的基准符号为一圆圈和粗短线相连，如图 31b 所示，其含意与上述三角形标注含义相同。

- 当基准要素是轮廓线或轮廓面时，基准三角形放置在要



素的轮廓线或其延长线上，且与尺寸线明显地错开，如图 32a 所示。基准三角形也可放置在该轮廓面引出线的水平线上，如图 32b 所示，基准 A 是指 $\phi 30\text{mm}$ 范围内的平面。

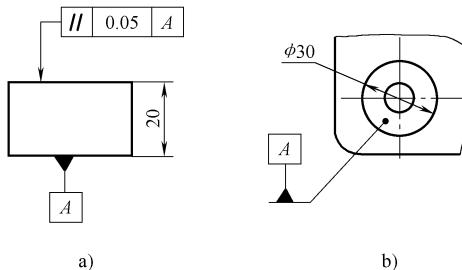


图 32 基准是轮廓要素时的标注

2) 当基准是尺寸要素确定的轴线、中心平面或中心点时，基准三角形应放置在该尺寸线的延长线上，如图 33 所示。如果没有足够的位置标注基准要素尺寸的两个尺寸箭头，则其中一个箭头可用基准三角形代替（图 33b、c）。

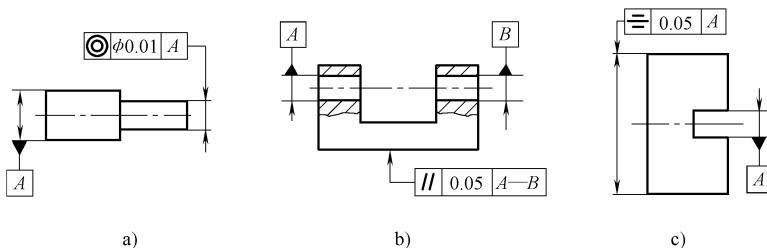


图 33 基准是中心要素时的标注

3) 如果只以要素的某一局部作基准，则应用粗点画线示出该局部的范围并加注尺寸，如图 34 所示。

4) 以单个要素作基准时，用一个字母表示（图 35a）。以两个要素建立公共基准时，用中间加连字符的两

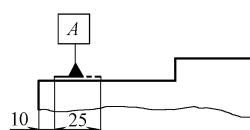


图 34 以要素某一局部作基准的标注



个大写字母表示（图 35b）。以两个或三个基准建立基准体系（即采用多基准）时，表示基准的大写字母按基准的优先顺序自左至右填写在各框格内（图 35c）。

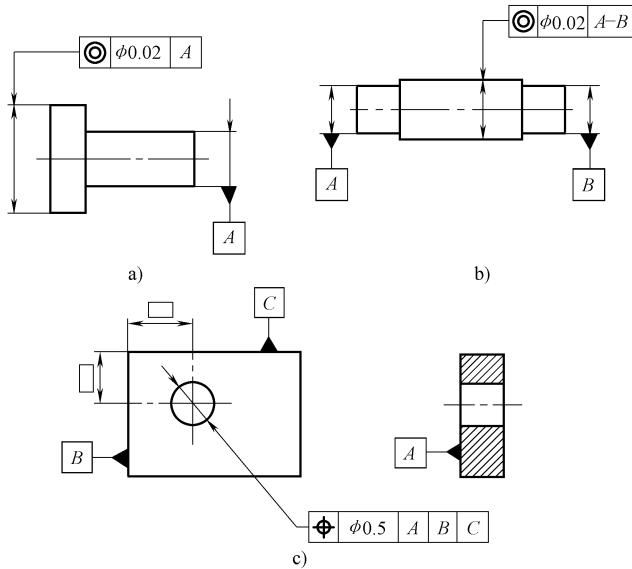


图 35 不同数量基准要素的标注

5) 以螺纹轴线为基准要素时，默认为螺纹中径圆柱的轴线，否则应在基准方格下方标出相应的附加符号。如图 36a 所示，在基准方格下方注有“MD”附加符号，其表示基准 A 是指螺纹大径。

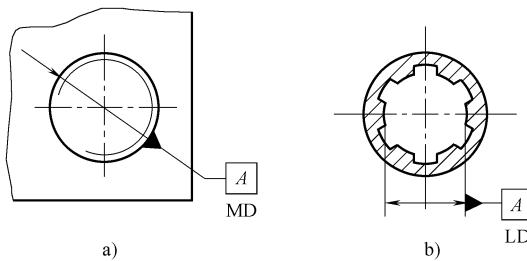


图 36 基准标注附加符号



以齿轮、花键轴线为基准要素时，必须在基准方格下方用规定的附加符号说明所指的要素，即用“PD”表示节径，用“MD”表示大径，用“LD”表示小径，如图36b所示。

22. 什么是三基面体系？怎样标注三基面体系？

答：根据零件上给定的基准要素，由空间相互垂直的三个平面所构成的基准平面体系，称为三基面体系。根据零件功能的要求，需要在三维空间确立被测要素位置时，应采用三基面体系。

三基面体系是由三个基准要素组成；或由两个基准要素组成，但其中一个基准要素必须是轴线。标注三基面体系时，应将各基准要素分别用基准符号注出，各基准应采用不同字母代号，并按第一、第二……基准要素顺序，依次将字母代号填入公差框格第三、第四……格内。基准要素的前后顺序，表示其精度要求控制的顺序，这是由零件功能要求确定的。

如图37a所示，根据功能要求，该零件上 $\phi 15H8$ 孔的轴线首先要求与A基准面保持垂直，其次其位置还受到B、C基准面的严格控制。为此图中给出位置度公差要求，并依次给出A、B、C三个基准要素。

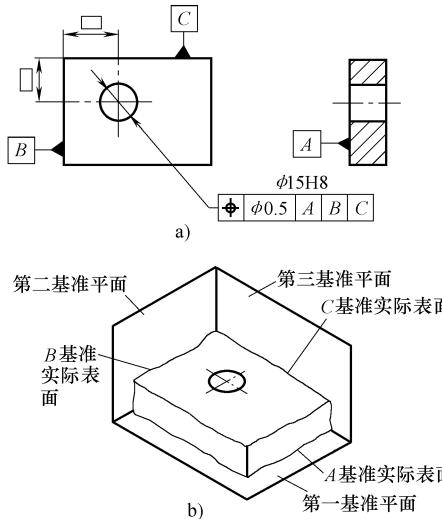


图37 三基面体系



上述要求表示：该被测轴线的理论正确位置应首先垂直于基准平面 A，然后由第二、三基准平面按给定的理论正确尺寸确定该垂直线的位置，即为该被测轴线的理论正确位置。以此轴线为中心，以给定的公差值为直径所作的圆柱面内的区域即为其公差带。

上述被测轴线的位置度误差，则应由三个实际基准表面建立起来的三基面体系来评定。如图 37b 所示。首先应依据 A 基准实际表面建立第一基准平面，它们之间相对位置应符合最小条件，即第一基准平面为第一基准实际表面的理想平面；然后再由 B 基准实际表面建立第二基准平面，因其必须保持与第一基准平面垂直，故其只能以垂直定向最小包容区的关系来确定，即第二基准平面为 B 基准实际表面的垂直理想平面；最后由 C 基准实际表面建立起第三基准平面，要求其与第一、二基准平面均保持垂直，故其仅能保持与 C 基准实际表面相接触。由此可见，基准顺序不同，所建立起的三基面体系也不一样。

三基面体系也可由两个基准要素组成，但其中一个基准要素必须是轴线，如图 38a 所示。图中给出的位置度公差为 A、B 两个

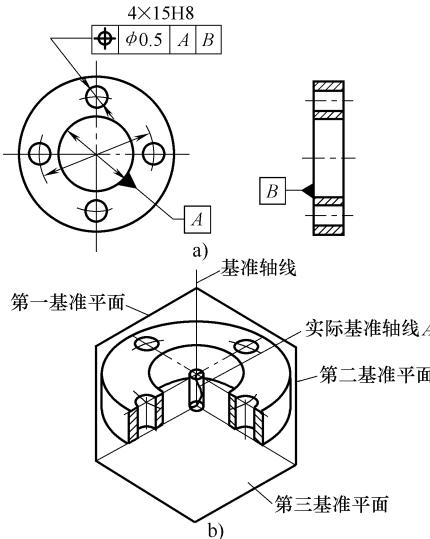


图 38 由基准轴线建立三基面体系



基准要素，由此建立起三基面体系。第一基准为一轴线，以此作为两相互垂直平面的交线，建立起第一、二基准平面；再由 B 基准实际表面作一平面分别垂直于第一、第二基准平面，建立起第三基准平面，由此构成该被测要素的三基面体系（图 38b）。

23. 什么是基准目标？怎样标注基准目标？

答：指定基准要素上某些点、线或局部表面来体现各基准平面，这些被指定的点、线、局部表面，称为基准目标。

生产中，有些零件若选择面积较大或表面较粗糙、形状复杂的表面作为基准要素，往往会造成加工、检验结果不一致，不可能取得一致的误差评定结果，使加工好的零件难以满足使用要求。因此，必须采用基准目标的方法，选择基准要素上的某些点、线或局部表面来体现各基准平面，以建立起三基面体系，使加工与检验基准统一，取得一致的误差评定结果。基准目标一般在大型零件上采用。

基准目标按下列方法标注在图样上，如图 39 所示。

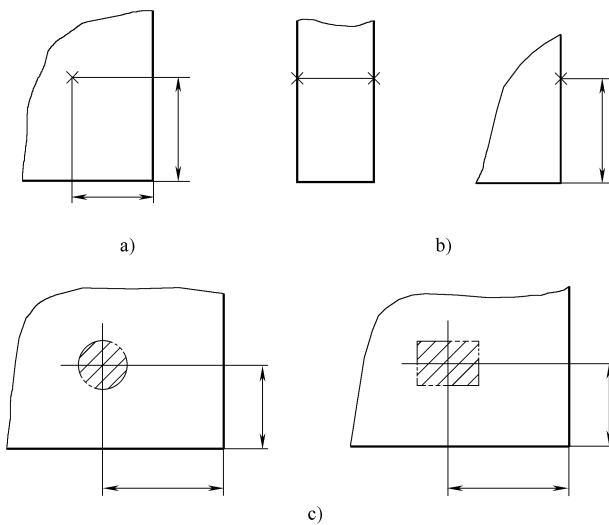


图 39 基准目标标注方法



- 1) 当基准目标为点时, 用“ \times ”表示 (图 39a)。
- 2) 当基准目标为线时, 用细实线表示, 并在棱边上加“ \times ”(图 39b)。
- 3) 当基准目标为局部表面时, 用双点画线给出该局部表面的图形, 并画上与水平线成 45° 的细实线 (图 39c)。

图样上采用基准目标时, 应用基准目标符号表示, 如图 40 所示。

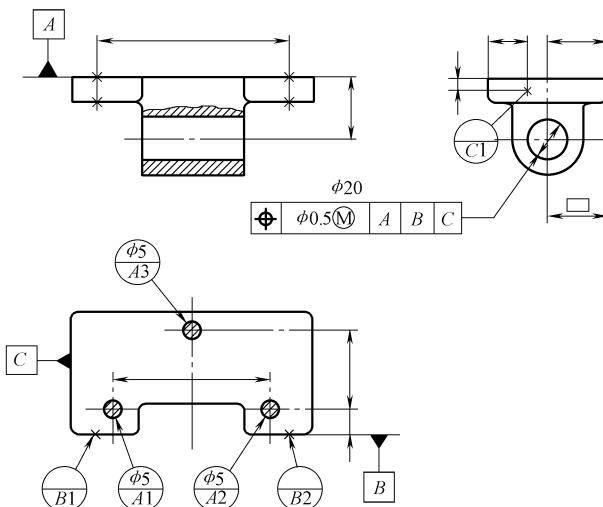


图 40 用基准目标符号标注基准

基准目标符号为一用细实线绘制的直径为框格高度两倍的圆 (见表 2), 中间用水平方向的直径将其分为上、下两部分。上半部填写一些附加信息, 如给定目标区域的尺寸 (直径或边长 \times 边长), 对于点和线目标上半部空白不填。下半部填写基准的字母和基准目标序号, 同一基准要素上的字母应相同, 并在其后按自然数顺序注出序号。从圆的外缘沿径向引出指引线, 其末端用箭头指向目标位置。

如图 40 所示, 对 $\phi 20\text{mm}$ 孔的轴线给出的位置度公差要求, 基准为由 A、B、C 三个基准要素上指定的基准目标所建立起的三



基面体系。基准 A 是由顶面上 A1、A2 和 A3 三处直径为 5mm 小圆所确定的第一基准平面；基准 B 是由前端面上 B1 和 B2 所确定的与第一基准平面垂直的第二基准平面；基准 C 则是由左侧面 C1 点所确定的同时与第一、二基准平面垂直的第三基准平面，从而由图样上给定的基准目标建立起三基面体系。零件加工和检验时，均应以给定的基准目标定位。

24. 什么是公共公差带？怎样标注公共公差带？

答：同时控制多个被测要素误差变动范围的同一个公差带，称为公共公差带。

生产中经常遇到有些零件因结构需要，将几何特性和使用性能要求相同的要素分隔成几个要素，但从功能要求讲，它仍起到一个整体要素的作用，为获得其功能所要求的精度，需用同一公差带来控制其几何误差变动范围，故采用公共公差带来满足这一要求。

如图 41 所示，机座上表面在同一平面上，但中间被立柱隔开，形成三个平面要素。从其功能要求应保持该三段平面在同一平面内，为保证其使用精度要求，故图样上给出同一公差带同时控制三个平面的精度。

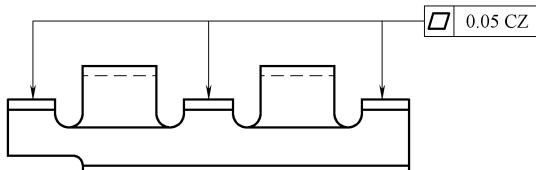


图 41 公共公差带

公共公差带的标注方法，通常是用同一公差框格引出多条指引线，分别指向各被测要素，并在公差框格内公差值的后面加注公共公差带的符号“CZ”。

上述要求表示：3 个被测平面要素的实际表面，应控制在同一个平面度公差带范围内。

凡对若干个分离要素给出单一公差带时，均应按上述规定



标注。

25. 什么是延伸公差带？怎样标注延伸公差带？

答：为满足特殊的功能要求，将几何公差带延伸到被测要素实体之外，称为延伸公差带。延伸公差带一般用于键、螺栓、螺柱、销等紧固件，使其在装配时避免干涉。

延伸公差带是为了满足零件特殊功能要求所规定的一种公差带设置方法。国家标准 GB/T 17773—1999《形状和位置公差 延伸公差带及其表示法》中规定了延伸公差带的含义，符号及图样上的标注形式。

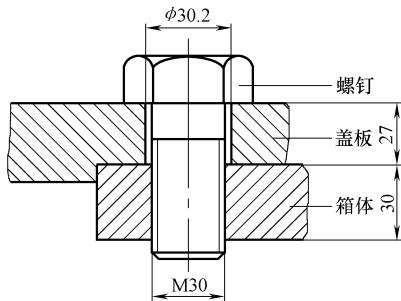
(1) 延伸公差带的含义 图样上给出的几何公差要求所指被测范围，都是指引线箭头所示被测要素整个表面或全长，即表示公差带均位于零件实体范围内。

但是，有些零件几何公差要求具有特殊功能作用。如图 42a 所示，螺钉穿过盖板上的光孔旋紧在箱体的螺孔内，将其联接在一起。为使螺钉能顺利穿过光孔旋入螺孔内，螺孔与光孔必须保持正确位置。为此，图样上分别对各孔给出位置度公差要求(图 42b)。根据上述要求螺孔与光孔轴线的理论正确位置是完全一致的，而各自位置度公差带则分别位于各孔实体(厚度)范围内，即螺孔的公差带在 30mm 范围内；光孔的公差带在 27mm 范围内。实际孔的轴线位置只要控制在相应公差带范围内，不论其方向如何，均为合格。当孔的实际轴线在公差带范围内出现偏斜现象时(图 42c)，装配时联接件之间发生干涉，无法保证正常装配。

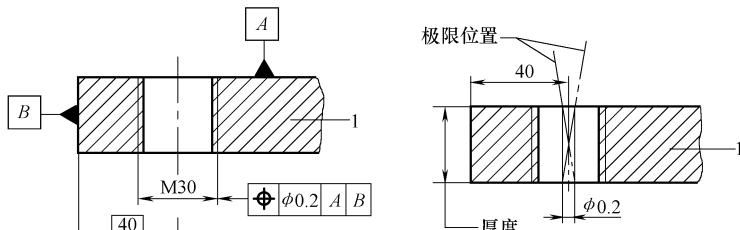
为消除干涉现象，可采用将位置度公差收紧或增加垂直度公差，但又会给生产带来不便。

从上述零件功能要求可以看出：螺孔轴线位置度公差的控制作用，不是在螺孔的实体内，而应是在与其相连的光孔内。由此可见，只要将螺孔轴线的位置度公差带延伸到光孔位置上进行控制，便可避免装配时出现干涉。

为此，螺孔轴线位置度公差要求可采用延伸公差带，如图



a)



b)

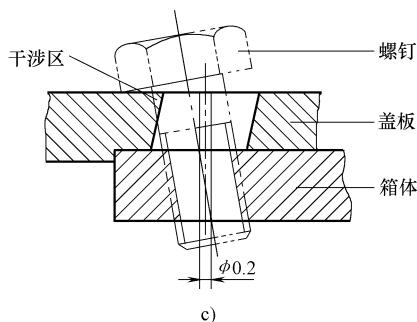


图 42 公差带干涉现象

43a 所示, 给出 M30 螺孔位置度公差, 该公差值右侧标记有符号



②，表示为延伸公差带要求（见后述），即该公差带位于孔端面以上 27mm 范围，如图 43b 所示。螺孔实际轴线的延长线只要控制在该公差带内，即为合格。由此控制的螺孔轴线位置，不会产生干涉，如图 43c 所示。

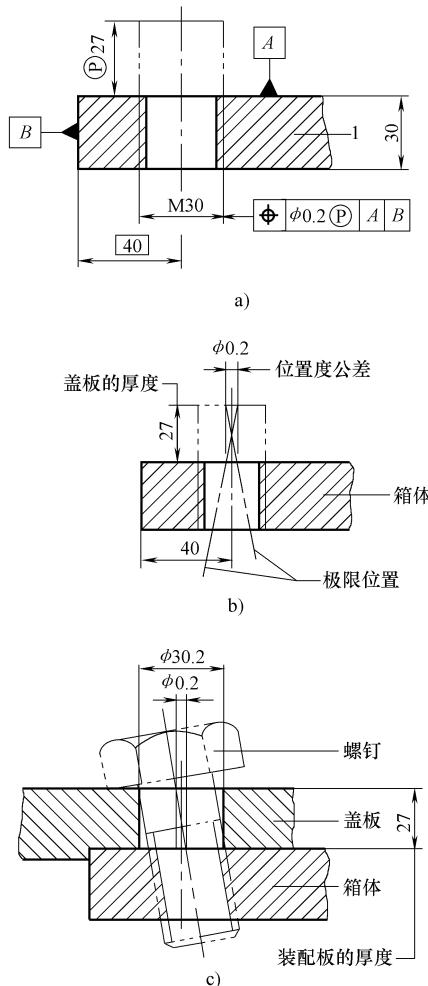


图 43 延伸公差带



(2) 延伸公差带的符号及标注 采用延伸公差带时，应加注延伸公差带符号①。在图样上除在几何公差框格中公差值右侧加注符号①外，还应用双点画线绘出公差带延伸部位，并注出相应尺寸，在该尺寸数字前加注符号①（图 43a）。

(3) 延伸公差带的应用

1) 用于控制螺孔的位置度。如上所述，螺孔的位置度的控制作用实际上是在联接件光孔的范围内，故应采用延伸公差带，以防止出现干涉。生产中有多种螺纹联接形式，其延伸公差带的要求也不相同，常见有以下几种形式。

① 直接联接，如图 43a 所示。此时螺孔轴线的延伸公差带是由螺孔端面延伸至光孔厚度尺寸位置。

② 跨距联接，如图 44 所示。该联接件螺孔端面与联接件光孔端面间离开一段距离 L 。此时公差带也应向上移动相应距离，即延伸公差带仍应置于光孔厚度 L_1 范围内。

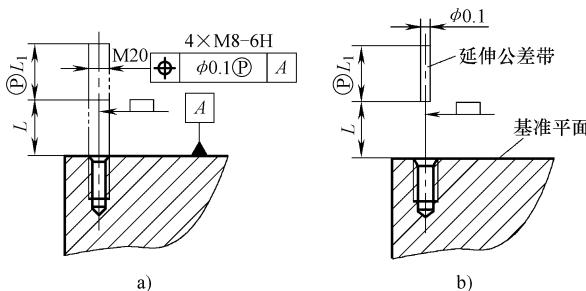


图 44 跨距联接的延伸公差带

该形式延伸公差带标注时，仍应从被测螺孔处用双点画线绘出公差带延伸部位，并分别注出跨距尺寸 L 和公差带范围尺寸 L_1 及符号①。

③ 螺柱联接，如图 45 所示螺柱联接通常是将双头螺柱固定端先旋紧在箱体螺孔中，然后将被联接件上的光孔穿过螺柱外伸端，外伸端用螺母旋紧。由此可见，影响其装配性的范围应为螺



柱伸出长度 L_1 ，故其延伸公差带应由螺柱伸出长度 L_1 确定，如图 45b 所示。

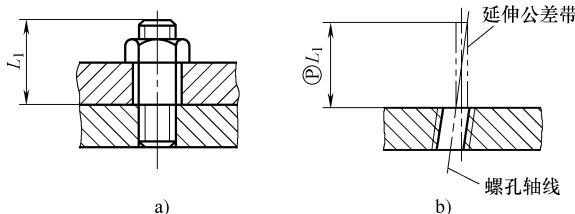


图 45 螺柱联接的延伸公差带

如上所述，延伸公差带应根据其结构及功能要求确定其功能长度的位置和范围。延伸公差带的功能长度应取最小值，当紧固件为螺钉时，其最小功能长度是被联接件的最大允许厚度（图 43、图 44）；当紧固件为螺柱时，其最小功能长度是螺柱延伸部分的最大长度（图 45）。

2) 用于控制两轴线在任意方向的垂直相交的位置度。生产中经常遇到两轴线垂直相交的结构，如两正交锥齿轮，内燃机气缸套座孔与主轴座孔等。为满足其功能要求，通常采用位置度公差保证其垂直相交的要求。

如图 46 所示，要求 $\phi 40\text{mm}$ 孔的轴线与 $A-B$ 公共轴线垂直相交，故给出位置度公差要求。上述要求的公差带不是在 $\phi 40\text{mm}$ 孔的实体范围 L 内，而是在与公共基准轴线相会的位置处（图 46a），故应采用延伸公差带，将公差带移至 L_1 范围内（图 46b），以确保两轴线在任意方向的垂直相交位置度。

3) 用于控制两个方向对称度。如图 47 所示，要求 10mm 键槽中心面与上下两端面中心面对称，其功能是要求键槽装入导向键后应保证上下端面的对称位置。由此可见，影响安装后对称位置精度的键槽中心面公差带不是在键槽实体内，而是在与其相配的导向键配合高度 10mm 的范围内，故应给出延伸公差带的要

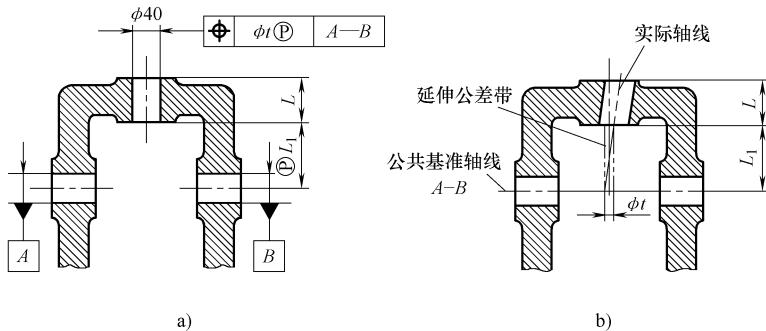


图 46 两轴线间的延伸公差带

求，其延伸公差带的功能长度应为导向键延伸部分的最大长度 $\textcircled{P} 10$ 和最大导向移动范围 $\textcircled{P} 25$ ，如图 47b 所示。

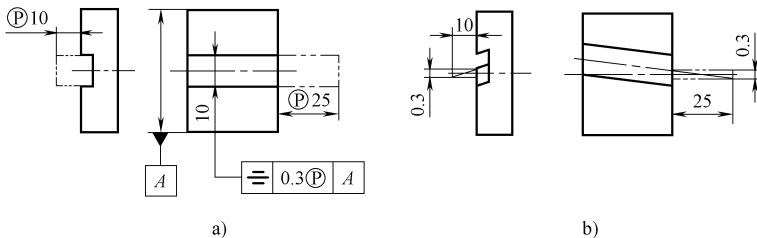


图 47 两个方向对称度延伸公差带

26. 什么是非刚性零件？怎样标注非刚性零件几何公差？

答：在自由状态下相对其处于约束状态下会产生显著变形的零件，称为非刚性零件，如金属薄壁件、挠性材质（橡胶、塑料等）零件。非刚性零件用“NR”表示。

非刚性零件在加工或装配时，由于受外力影响，其要素处于受约束的状态，几何误差较小。一旦去除外力，其几何误差值会大大超出受力时的状态。如何判断该类零件的几何误差合格与否，是生产中经常出现的问题。为此国家标准 GB/T 16892—1997《形状和位置公差 非刚性零件注法》中，规定了非刚性



零件的定义及几何公差标注方法，解决了这类零件误废的问题。

(1) 非刚性零件的状态 由于非刚性零件受各种因素的影响，都会发生变形，因此，在给出几何公差要求及误差检测时，必须首先明确其所处状态。

1) 自由状态：是指零件只受到重力时的状态。非刚性零件在自由状态下，虽摆脱了外力的影响，但仍受着自身重力的影响，仍会产生变形。此时，零件的放置方向是影响其几何误差的重要因素。因此，非刚性零件在自由状态下给出几何公差时，必须注明造成零件变形的各种因素，如重力方向、支承状态等。

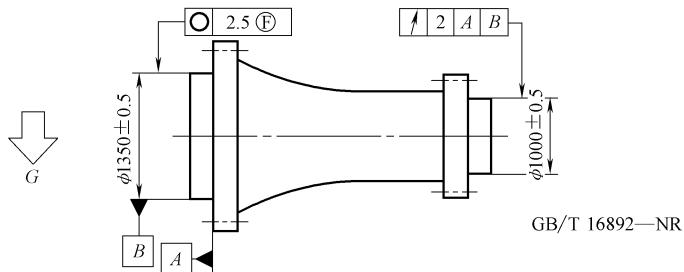
2) 约束状态：是指零件在加工或装配时，受到外力作用时的状态。非刚性零件在外力作用下必然会产生明显的变形，外力作用不同，其变形状况也不一样。因此，图样上给出约束状态下的几何公差要求时，必须确切地给出外力作用的约束条件。

(2) 非刚性零件的符号及标注方法 非刚性零件根据其功能需要和结构特点，通常需给出在自由状态下的几何公差要求；有时可同时给出约束状态和自由状态下的几何公差要求。

1) 非刚性零件在自由状态下给出几何公差要求时，应在公差值右侧加注符号⑤。当重力是零件产生变形的重要因素时，应用双线箭头注明重力方向，并在箭头下加注“G”字样。如图48所示，给出 $\phi 1350 \pm 0.5$ mm圆柱面的圆度公差要求，其公差值标注为 2.5⑤ ，其表示该零件在自由状态且处于左侧双线箭头G所示重力方向作用下，被测要素圆度公差为 2.5mm 。

2) 非刚性零件在约束状态下给出几何公差要求时，应在标题栏附近注明“GB/T 16892—NR”。此时，图样上所有不加注⑤的几何公差要求，均应认为是它们处于约束状态下的要求。此时应在图样下面注明所要求的约束条件。如图48所示跳动公差要求，其公差值后未注符号⑤，而在标题栏处注有“GB/T 16892—NR”字样。该要求表示被测非刚性零件在图下注出的约束条件下，径向圆跳动公差为 2mm 。

3) 对非刚性零件同一被测要素同时给出自由状态和约束状

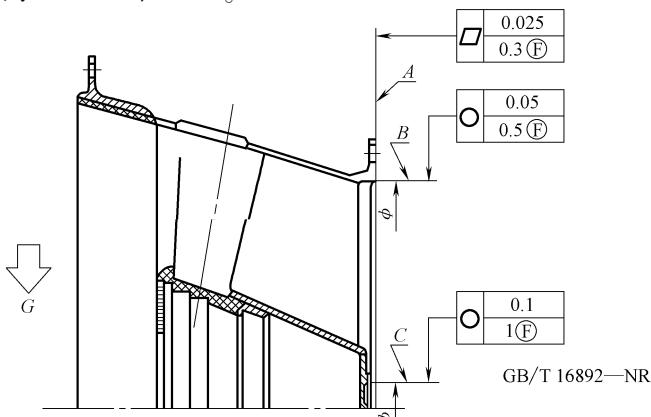


GB/T 16892—NR

约束条件: 基准平面A是固定面(用64个M6的螺栓以9~15N·m的力矩固定),
基准B由其相应的最大实体边界约束。

图 48 非刚性零件的几何公差标注

态下的几何公差要求时, 同一项目公差框格中公差值一格内分成上下两部分, 上部填写约束状态下的公差值, 下部填写自由状态下的公差值, 其标注方法与上述相同, 如图 49 所示。图中要求表示当零件处于约束状态时, 端面 A 的平面度误差不得大于 0.025mm, B 面和 C 面的圆度误差分别不得大于 0.05mm 和 0.1mm; 当零件处于自由状态, 并按图示重力方向放置时, 端面 A 为平面度误差不得大于 0.3mm, B 面和 C 面的圆度误差分别不得大于 0.5mm 和 1mm。



GB/T 16892—NR

约束条件: 基准平面A是固定面(用120个M20的螺栓以18~20N·m的力矩固定),
基准B由其相应的最大实体边界约束。

图 49 同时给出自由状态与约束状态公差要求



27. 怎样标注螺纹、齿轮、花键的几何公差要求？

答：螺纹、齿轮和花键是机械零件中常见的结构要素，根据其工作性能需要，都具有较高的配合精度要求，除要素本身结构精度外，通常要控制轴线与其他要素间的位置关系。

(1) 螺纹几何公差的标注 对螺纹几何公差的要求，通常是控制其轴线与其他要素之间位置精度。根据其功能要求不同，可分别以螺纹的中径、大径或小径的轴线，作为被测要素或基准要素，应分别采用以下不同方法标注，如图 50 所示。

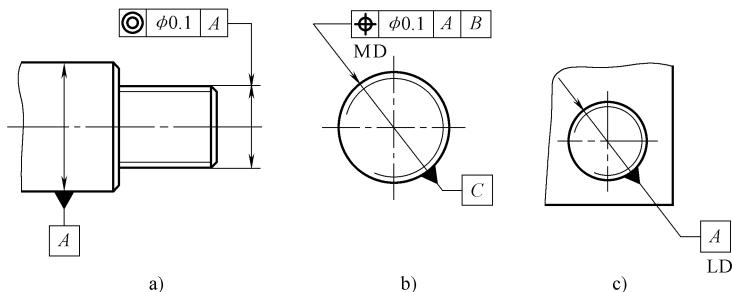


图 50 螺纹几何公差的标注

当以螺纹中径轴线作为被测要素或基准要素时，指引线箭头或基准符号应直接与螺纹尺寸线对齐，不需另加说明（图 50a）。

当以螺纹大径轴线作为被测要素或基准要素时，应在框格下方或基准方格下方加注“MD”（图 50b）。

当以螺纹小径轴线作为被测要素或基准要素时，应在框格下方或基准方格下方加注“LD”（图 50c）。

(2) 齿轮和花键几何公差的标注 齿轮和花键的几何公差要求，根据其功能要求不同，可分别以其节径、大径（对外齿轮是齿顶圆直径，内齿轮是齿根圆直径）或小径（对外齿轮是齿根圆直径，内齿轮是齿顶圆直径）的轴线作为被测要素或基准要素，应采用以下不同方法标注，如图 51 所示。

当以齿轮和花键节径轴线作为被测要素或基准要素时，应在框格下方或基准方格下方加注“PD”（图 51a）。

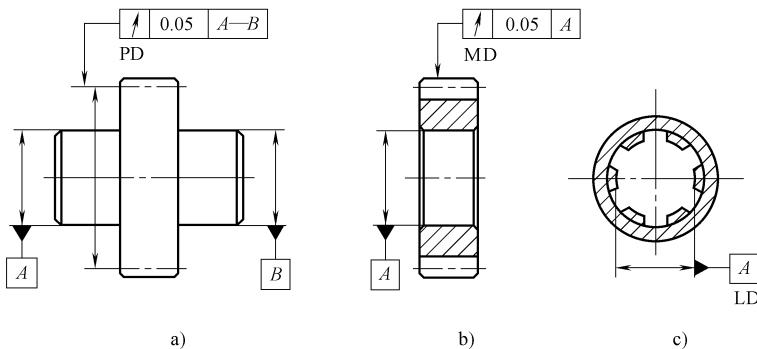


图 51 齿轮和花键几何公差的标注

当以齿轮和花键大径轴线或小径轴线作为被测要素或基准要素时，则应分别加注“MD”（图 51b）或“LD”（图 51c）。

28. 几何公差有哪些简化标注方法？

答：为了保持图样清晰，在不影响读图的前提下，可采用以下简化标注方法。

(1) 同一被测要素有多项几何公差要求的简化标注 可将多项几何公差上下重叠在一起，由框格一端引出一条指引线指向被测要素。如图 52 所示，标注要求表示对 $\phi 20\text{mm}$ 内孔圆柱面同时给出轴剖面素线间的平行度公差和横剖面圆度公差两项要求。

(2) 多个被测要素具有相同几何公差要求的简化标注 当几个要素有相同几何公差要求时，可以从框格的同一端引出多个指示箭头，分别指向各被测要素。如图 53 所示，其表示 $\phi 40\text{mm}$ 与 $\phi 36\text{mm}$ 圆柱面有相同的径向圆跳动公差要求。

对于相同结构要素具有相同的几何公差要求时，可只在一处标注并在框格上方用文字说明适用数量（图 30）。

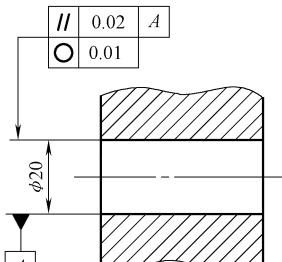


图 52 多项几何公差的简化标注

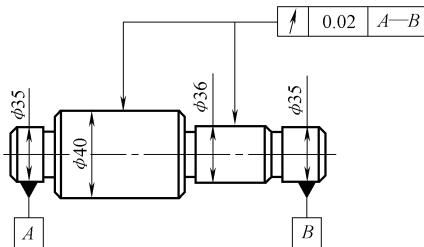


图 53 相同几何公差的简化标注

(3) 多个被测要素具有相同的多项几何公差要求的简化标注 可按上述简化方法将多项几何公差框格上下重叠绘制在一起，然后从框格一端引出多个指示箭头分别指向各被测要素，如图 54 所示。

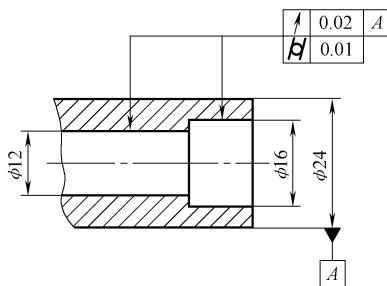


图 54 多部位多项相同几何公差的简化标注

(4) 以中心孔为基准要素时的简化标注 当以中心孔为基准要素时，可以从中心孔轴线和端面的交点处引出标注，如图 55 所示径向圆跳动公差的基准要素是 A、B 两端中心孔的公共轴线。

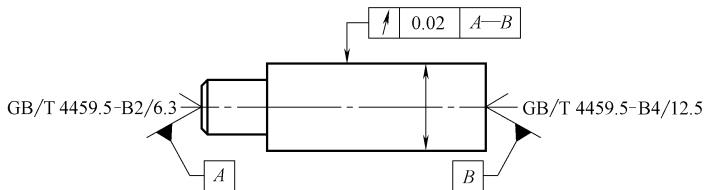


图 55 中心孔为基准要素时的简化标注



29. 新标准中已废止的标注方法有哪些？

答：为保证图样上给出的几何公差解释的唯一性，一些容易混淆或含意模糊的标注方法，在新标准（GB/T 1182—2008）中已明确废止，以往旧标准中曾经使用的这类标注方法不再使用。

1) 被测要素为中心要素时，必须使指引线箭头与相应尺寸线对齐，不得直接指向中心要素。

① 被测要素为单个轴线或单个中心面时，如图 56 所示 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面轴线直线度公差要求，标注时不得将指引线箭头直接指向轴线（图 56a），必须与相应的尺寸线对齐（图 56b）。

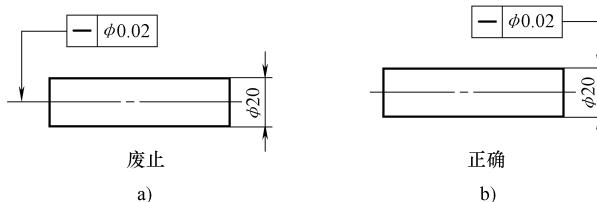


图 56 单一被测中心要素的标注

② 被测要素为多个要素的公共轴线时，如图 57 所示 $\phi 30\text{mm}$ 和 $\phi 20\text{mm}$ 两圆柱面公共轴线的直线度公差要求，标注时不得将指引线箭头直接指向轴线（图 57a），必须从框格指引线引出多

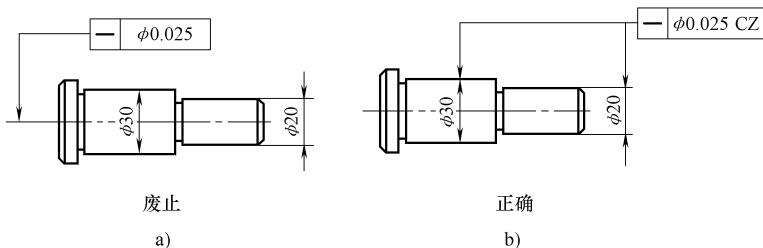


图 57 被测公共轴线的标注



个指示箭头，分别与被测各尺寸线对齐，并在框格内公差值后面加注“CZ”字样。

2) 基准要素必须用完整的基准符号标注，并在框格中注出相应的字母代号，不得从框格中引出线与基准要素处的短横线直接相连。

① 基准为轮廓要素时，如图 58 所示上台阶面对下台阶面平行度公差要求，标注时不得用指引线将标注在轮廓线或其延长线上的短横线与框格直接相连（图 58a），而必须标出完整的基准符号，并在框格中注出相应的字母代号（图 58b）。

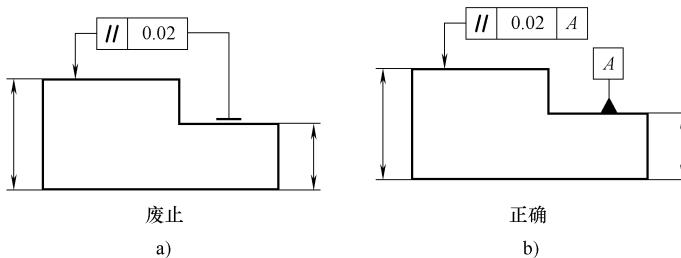


图 58 轮廓基准要素的标注

② 基准为中心要素时，如图 59 所示 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面轴线对 $\phi 20\text{mm}$ 圆柱面轴线同轴度公差要求，标注时不得用指引线将框格与标注在基准要素尺寸线处的短横线直接相连（图 59a），

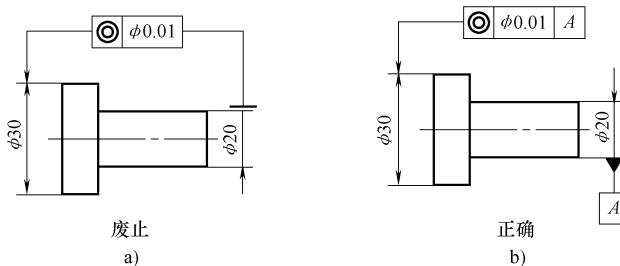


图 59 中心基准要素的标注



必须在尺寸线处绘出完整的基准符号，并在框格中注出相应的字母代号（图 59b）。

③ 基准为公共轴线或公共中心面时，如图 60 所示底平面对两侧 $\phi 20\text{mm}$ 孔的公共轴线平行度公差要求，标注时不能将短横线标注在中心线处，并用指引线直接与框格相连（图 60a），而必须用基准符号分别标注出各基准要素，并在框格内用公共基准代号注法，标注出相应基准字母代号（图 60b）。

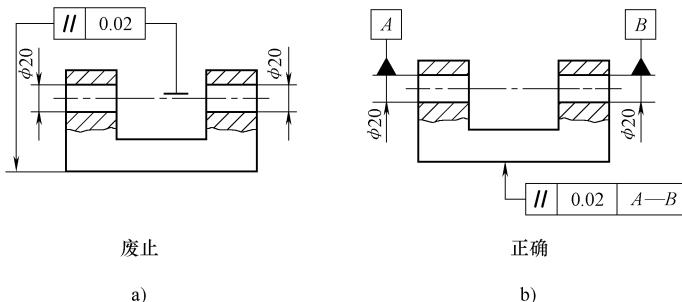


图 60 公共基准要素的标注

3) 中心孔公共轴线为基准时，如图 61 所示 $\phi 40\text{mm}$ 圆柱面对中心孔公共轴线径向圆跳动公差要求，标注时不能将中心孔处

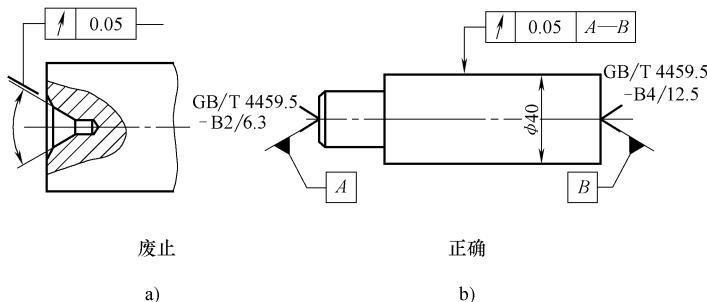


图 61 中心孔公共轴线为基准时的标注



短横线用指引线直接与框格相连（图 61a），应用完整的基准符号标注出两端中心孔基准要素，并在框格内用公共基准代号注法，标注出相应基准字母代号（图 61b）。

4) 取消用字母代号标注被测要素的标注方法。如图 62 所示，对若干个被测要素分别给出相同的公差带时，不再使用字母代号 A 进行标注（图 62a），而应从框格处引出多个指引线箭头分别指向各被测要素（图 62b）。

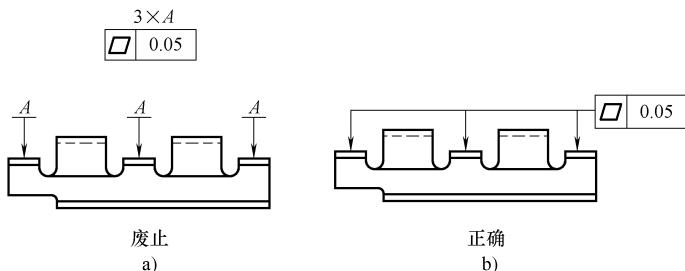


图 62 若干个被测要素有相同公差带的标注法

同样对若干个被测要素给出同一公差带时，也不再使用字母代号和公差框格上方注写公共公差带的方法，而应采用图 41 所示方法。

30. 几何公差的标注原则是什么？

答：图样中几何公差要求应按照国家标准统一规定的符号及框格标注法进行标注，并应遵循以下原则。

- 1) 在大多数情况下，零件要素的几何公差可由机床和工艺保证，不需要在图样中给出（详见 90 题），只有在高于所保证的精度时，才需要给出几何公差要求。
- 2) 图样上给出的几何公差带，适用于整个被测要素，否则应在图样上表示出所要求的被测要素范围。
- 3) 几何公差给定的方向，就是公差带的宽度和直径方向，应垂直于被测要素。否则在图样上应注明。



4) 图样上给定的几何公差要求,若不加注任何附加符号,均视为遵循独立原则。只有当尺寸和形状、位置之间有相关要求时,才需给出相关要求符号(详见“公差原则”一节)。

5) 图样上给出的几何公差要求,均根据零件的功能需要确定,是产品性能、质量的重要保证。因此,生产中对给出的几何公差要求必须进行检验。

形状公差

31. 什么是形状公差？形状公差可分为哪些项目？

答：单一实际要素所允许的变动全量，称为形状公差。

如图 63a 所示销轴，该零件外圆柱面素线为单一要素，其理想形状为一几何直线。加工后所得实际素线称为单一实际要素。如前所述，由于在加工过程中各种误差因素的影响，实际素线不可能做成完全正确的几何直线，往往产生不规则的弯曲形状，如图 63b 所示。为保证零件的使用功能要求，在销轴的整个长度 L 上，其最大的弯曲程度不能超过一个规定值 t ，此规定值即为允许的变动全量。全量是指相对于整个长度而言的。

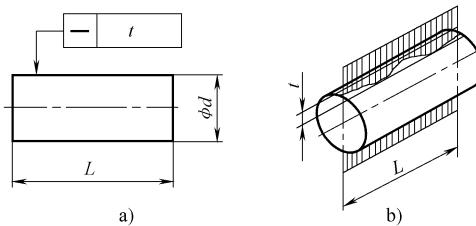


图 63 形状公差

根据零件上要素的不同几何特征，形状公差可分为直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度和面轮廓度六个项目，各公差特征项目符号见表 3。

上述六个项目中，线轮廓度和面轮廓度可以是无基准要求的单一要素，属于形状公差；也可以是有基准要求的关联要素，则属于方向或位置公差范围。



32. 什么是直线度？直线度公差有哪些不同形式的要求？

答：直线度是表示零件上的直线要素保持理想直线的状态，即通常所说的平直程度。

直线度公差是实际线对理想直线所允许的最大变动量。

零件上的直线要素有多种多样的形式，常见的有圆柱（锥）面及平面的素线、圆柱（锥）面的轴线、平面与平面相交的棱线以及平面上指定的直线（如标尺刻线）等。各种直线要素具有不同的结构特点和功能要求，因此，图样上应根据需要给出不同形式的直线度公差要求。

常见直线度公差要求有以下几种形式。

(1) 给定平面内 是指对图样上限定平面内的直线要素给出的直线度公差要求。如常见的圆柱（锥）面素线是指其轴剖面与圆柱（锥）表面的交线；平面素线是指视图所示垂直剖面与被测平面的交线；平面上所指定的刻线是指该指定平面上的直线等。上述直线要素都是由给定平面（如轴剖面、垂直剖面等）所限定的，故其公差带应是给定平面内间距等于公差值 t 的两平行直线所限定的区域。

(2) 给定方向上 是指图样上所限定方向上给出的直线度公差。此时，被测直线要素应为一空间要素，其直线度误差可沿空间任意方向上变动。根据零件的功能要求，可控制其在一个或两个相互垂直方向上的误差变动范围。

1) 给定一个方向是指图样上所限定的一个方向上给出直线度公差。该公差只要求控制被测直线要素在给定方向上的误差变动量，而对其他方向不加控制，故其公差带应是沿给定方向上间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域。

2) 给定两个垂直方向是指图样上所限定的两个相互垂直方向上，分别给出直线度公差。如同上述给定一个方向上直线度公差要求一样，将两个垂直方向分别进行控制。其公差带为沿给定方向间距等于公差值 t_1 的两平行平面所限定的区域及沿与其垂直方向间距等于公差值 t_2 的两平行平面所限定的区域。被测要



素直线度误差则由上述两组公差带分别进行控制。

(3) 任意方向 是指被测直线要求沿空间任意方向给出相同的直线度公差要素。该公差要求被测要素通常是指轴线，因轴线为一空间要素，它可沿空间任意方向发生变动，从功能要求上讲，任意方向上的误差变动对其产生相同影响，故应对其给出任意方向的直线度公差要求。该直线度公差带为直径为公差值 t 的圆柱面所限定的区域。

33. 怎样正确标注直线度公差？

答：如上所述，零件上的直线要素，应根据其结构特点和功能要求不同，分别给出不同形式的直线度公差要求，以构成不同的公差带（如两平行直线、两平行平面、圆柱面）。在图样上则应采用不同的标注方法表示出来。

(1) 给定平面直线度公差要求 通常是对零件上各种素线的精度要求。如图 64a 所示圆锥滚子轴承内圈，该零件外圆锥面为滚柱的运动支承面，为保持其均匀线接触，以达到运动平稳，受力均匀的目的，图中给出外圆锥面素线的直线度公差要求。标注时应将框格指引线箭头垂直指向被测要素轮廓线或其延长线上（与尺寸线明显分开）。该要求表示：被测要素圆柱面素线的直线度公差为 0.005mm。公差带如图 64b 所示，即在轴剖面内，间距等于公差值 0.005mm 的两平行直线所限定的区域。

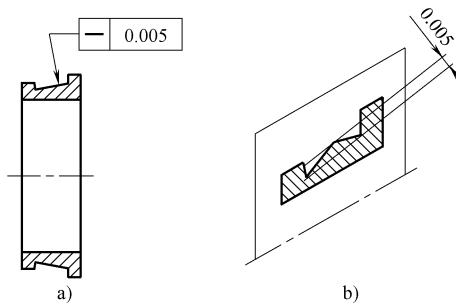


图 64 圆锥表面素线直线度公差标注



如图 65a 所示机床床身，该零件上端导轨表面为刀具移动的导向面，为保证其加工精度，要求该表面必须保持平直，为此图中给出两项直线度公差要求。标注时，各项要求应分别标注在相应的视图处，且框格指引线箭头应垂直指向被测表面轮廓线或其延长线上（与尺寸线明显地分开）。该要求表示：沿导轨长向（左侧视图）直线度公差为 0.1mm；沿导轨短向（右侧视图）直线度公差为 0.05mm。公差带如图 65b 所示，即沿长向纵剖面内，间距等于公差值 0.1mm 的两平行直线所限定的区域；沿短向横剖面内，距离等于公差值 0.05mm 的两平行直线所限定的区域。

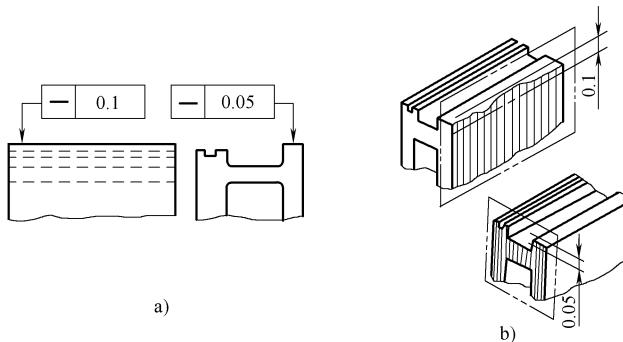


图 65 平面素线直线度公差标注

(2) 给定方向直线度公差要求 根据零件的结构特点和功能要求，有以下两种要求形式。

1) 给定一个方向直线度公差要求。通常用于两平面相交棱线要素所给出的形状精度要求。如图 66a 所示刀口尺，其上端刃部是由两平面相交产生的棱线，其功用是作为直线度误差检测基准，要求其在测量方向上具有很高的直线度精度，为此图中给出沿其测量工作方向上的直线度公差要求。标注时，应在相应视图（图中左侧长向）处标注公差框格，并将指引线沿被测方向指向被测轮廓线或其延长线上。该要求表示：在图示方向上，刃部直



线度公差为 0.005mm 。公差带如图 66b 所示，即在给定方向上，间距等于公差值 0.005mm 的两平行平面所限定的区域。

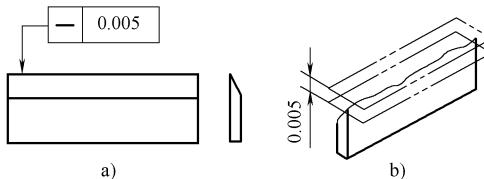


图 66 给定一个方向直线度公差标注

2) 给定相互垂直两个方向的直线度公差要求。如图 67a 所示三棱直尺棱边直线，其功用是检测直线度误差的基准，为此应给出直线度公差要求，除沿其测量工作方向给出较高精度的直线度公差外，沿其垂直方向（图示水平方向）的误差也将给测量精度产生影响，故同时给出该方向上的直线度公差。标注时，应在视图相应位置处，分别进行框格标注，并将指引线箭头沿被测方向指向被测要素轮廓线或其延长线上。该要求表示：三棱直尺棱边线沿垂直方向直线度公差为 0.01mm ；沿水平方向直线度公差为 0.05mm 。公差带如图 67b 所示，即在垂直方向上，间距等于公差值 0.01mm 两平行平面所限定的区域；在水平方向上，间距等于公差值 0.05mm 两平行平面所限定的区域。

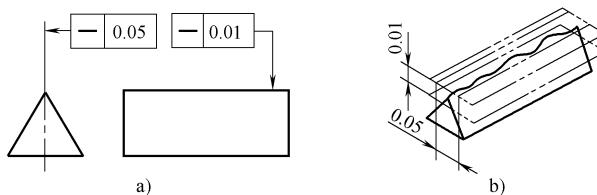


图 67 相互垂直两个方向直线度公差标注

(3) 任意方向直线度公差要求 通常是对轴线的直线度误差的控制要求，从其构造上讲轴线为一空间要素，其沿任意方向上均可产生误差，且其对零件工作性能的影响是相同的，为此应



对其任意方向的误差均规定相同的限制要求。如图 68a 所示圆柱销，该零件的功用是保持两联接件间正确的位置，故要求其轴线在任何方向均保持正直，为此图中给出任意方向直线度公差要求。标注时，应在公差值前加注“ ϕ ”（即表示圆柱形公差带的直径），同时指引线箭头应与被测要素尺寸线对齐。该要求表示：圆柱销轴线直线度公差在任意方向上均为 $\phi 0.02\text{mm}$ 。公差带如图 68b 所示，即直径为公差值 0.02mm 的圆柱面所限定的区域。

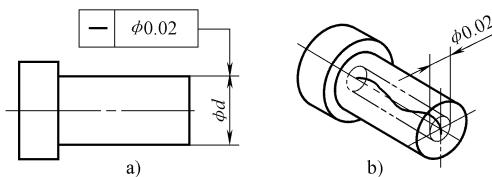


图 68 任意方向直线度公差标注

(4) 共线要求 是指在同一轴线上的两个或两个以上圆柱(锥)面的轴线，其公共轴线的直线度公差要求。如图 69a 所示控制阀柱塞，该零件上 $\phi 20\text{mm}$ 和 $\phi 25\text{mm}$ 两圆柱面均与相应座孔紧密配合，为保证工作时沿轴向移动灵活，且保持配合面间配合严密，故要求两圆柱面的轴线必须保持在同一直线上(即共线)，为此图样上给出两轴线的公共公差带的要求，即由同一个直线度公差带，同时控制两个或两个以上圆柱(锥)面轴线的直线度误差。标注时，应由同一框格引出多个指引线箭头，分别指向各被测要素尺寸线，在公差值前加注“ ϕ ”，并在框格内公差值后面注出“CZ”字样。图 69 中要求表示 $\phi 20\text{mm}$ 和 $\phi 25\text{mm}$ 圆柱面的公共轴线直线度公差为 $\phi 0.02\text{mm}$ 。公差带如图 69b 所示，即直径为 0.02mm ，长度为所有被测轴线范围内圆柱面所限定的区域。

应特别指出：上述共线要求的标注方法，与多个要素具有相同直线度公差要求的标注基本相同，其区别在于框格内公差值后面有无“CZ”字样，但两者的含意完全不同。如图 70a 所示，

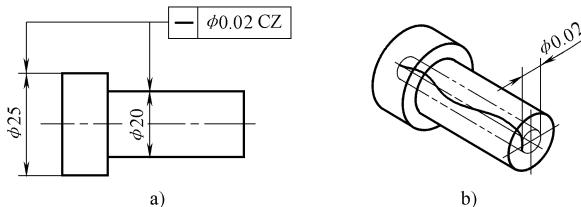


图 69 共线要求

要求 $\phi 20\text{mm}$ 和 $\phi 25\text{mm}$ 圆柱面轴线的直线度公差值均为 $\phi 0.02\text{mm}$ ，而两者之间没有控制关系，其公差带应在各自圆柱带范围内控制，如图 70b 所示。两个独立的公差带可能会出现不在一个方位状况。

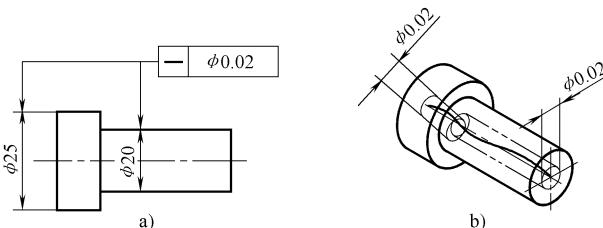


图 70 多个要素具有相同直线度公差标注

34. 怎样选择直线度公差值？

答：零件直线度公差要求中的公差值，是根据零件的功能要求，并考虑加工的经济性和零件的结构、刚性等情况，按照标准规定选择适当的等级来确定的。

国家标准 GB/T 1184—1996 中对直线度公差规定有 12 个公差等级，见表 6。其中 1 级精度最高，依次降低，12 级精度最低。

按标准规定选取公差值时，应首先确定被测要素主参数。所谓主参数是指影响零件误差值最大的尺寸范围。直线度公差值数系主参数如图 71 所示：对单一要素是指被测要素全长 L （图 71a、b）；对公共公差带是指所有被测要素的全长 L （图 71c）。



表 6 直线度、平面度公差值数系

主参数 L /mm	公 差 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
公差值/ μm												
≤ 10	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
$> 10 \sim 16$	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
$> 16 \sim 25$	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100
$> 25 \sim 40$	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
$> 40 \sim 63$	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
$> 63 \sim 100$	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
$> 100 \sim 160$	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
$> 160 \sim 250$	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
$> 250 \sim 400$	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200	400
$> 400 \sim 630$	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250	500
$> 630 \sim 1000$	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300	600
$> 1000 \sim 1600$	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400	800
$> 1600 \sim 2500$	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500	1000
$> 2500 \sim 4000$	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600	1200
$> 4000 \sim 6300$	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1500
$> 6300 \sim 10000$	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000	2000

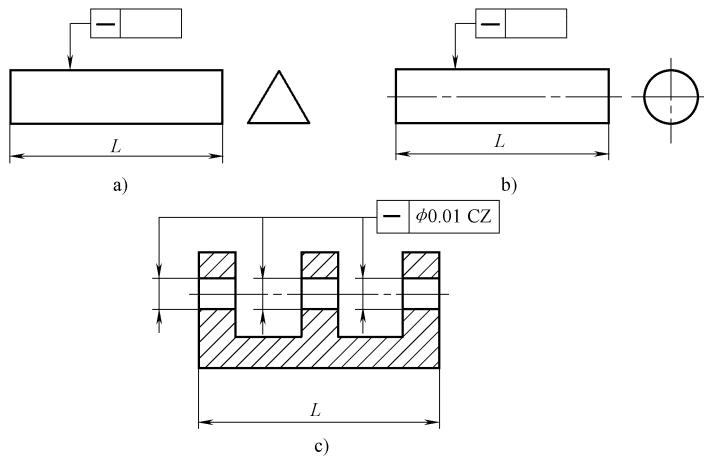


图 71 直线度公差值数系主参数



选择直线度公差值时，除依据主参数外，还应考虑其他参数及加工难易程度的影响（详见 89 题）。

常用加工方法可达到的直线度公差等级，见表 7。

表 7 常用加工方法可达到的直线度、平面度公差等级

加工方法		直线度、平面度公差等级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
车	粗											○	○
	细								○	○			
	精				○	○	○	○					
铣	粗											○	○
	细									○	○		
	精					○	○	○	○				
刨	粗											○	○
	细								○	○			
	精					○	○	○	○				
磨	粗									○	○	○	
	细						○	○	○				
	精	○	○	○	○	○	○	○					
研磨	粗				○	○							
	细			○									
	精	○	○										
刮研	粗						○	○					
	细				○	○							
	精	○	○	○									

35. 什么是平面度？平面度公差有哪些不同形式的要求？

答：平面度是表示零件上的平面要素实际形状保持理想平面的状况，即通常所说的平面要素的平整程度。

平面度公差是实际表面对理想平面所允许的最大变动量。

零件上平面要素很多，如平板、工作台表面，零件端面、箱



体接合面等。零件上各种平面要素，不论其所处位置、外形轮廓如何变化，其几何特性则是完全相同的。因此，平面度公差带只有一种形式，即间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域。

但在生产中，根据零件的功能要求及结构特点不同，对平面度公差要求出现多种不同形式。

1) 对整个被测要素的平面度公差要求。是指对被测平面要素整个范围的要求，其公差带为在整个被测要素范围内，间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域。

2) 对被测要素局部范围内的附加要求。是指图样上在给出对整个被测要素的平面度公差要求外，同时又给出任意一局部范围内进一步的平面度公差要求。公差带有两部分组成：一是在整个被测要素范围内，间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域；另一是在上述公差带范围内，由任意给定的局部范围所限定的，间距等于局部范围公差值 t_1 的两平行平面所限定的区域。

3) 共面要求。是指在同一平面上的若干个被测要素，用同一个平面度公差带同时控制其平面度误差变动的要求。公差带为在所有被测要素范围内，间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域。

36. 怎样正确标注平面度公差？

答：零件上的平面要素，根据其结构特性和功能要求不同，应分别给出不同形式的平面度公差要求。在图样上则应采用不同的标注方法确切地表示出来。

1) 整个被测要素的平面度公差要求，是对零件上整体连续平面的精度控制，如箱体上接合平面、支架支承面、法兰端面及轴肩端面等。如图 72a 所示支架，其底面作为整个零件的支承面，用以确定上部座孔正确安装位置，要求其支承稳固、定位准确，为此图中给出平面度公差要求。标注时，将框格指引线箭头垂直指向被测轮廓线或其延长线上（与尺寸线明显地分开）。该要求表示：整个支架底面平面度公差为 0.02mm。公差带为间距等于公差值 0.02mm 的两平行平面所限定的区域（图 72b）。

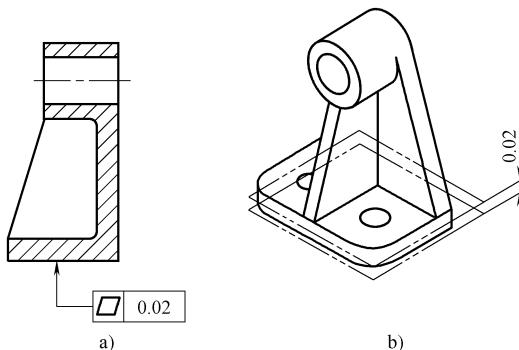


图 72 整个被测要素平面度公差标注

2) 对被测要素局部范围的附加要求，是对零件上较大的平面要素，根据其功能需要对其上局部范围给出更高的平面度精度要求。如图 73a 所示平板，该零件上表面为工作面，作为生产中检测、划线的基准平面，为保持检测和划线时定位准确，要求其必须保持平整，故给出平面度公差要求。为适应各种不同零件的需要，通常平板表面面积很大，而在实际使用过程中经常只使用其上较小局部范围。为提高其使用精度，在图样上除给出整个平板表面平面度公差外，又对其局部范围给出进一步限制要求。标注时，将框格公差值一格分成上下两部分：上部标注整个被测要素的公差值要求；下部标注局部范围公差值要求，并在其后注明局部范围尺寸，两者之间用斜线相隔。该要求表示：该零件上表面整体的平面度公差为 0.05mm ；同时其上任意 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 范围内的平面度公差为 0.02mm 。公差带由两部分构成：一个是在整个被测表面间距等于公差值 0.05mm 两平行平面所限定的区域；另一个是在任意 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 范围内间距等于公差值 0.02mm 两平行平面所限定的区域。

3) 共面要求。是指零件上若干个要素保持在同一平面上的精度要求。如图 74a 所示机床床身上表面，因结构原因将其分割成多个平面，但从其功能要求来看，它们同时与箱体底面相连，

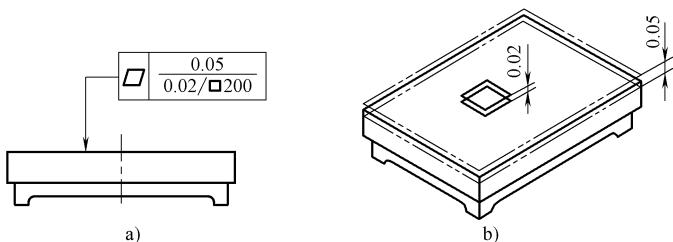


图 73 被测要素局部范围附加要求的平面度公差标注

为保持其支承平稳，结合面严密，故要求被分割开的多个平面仍应保持在同一平面上，为此图样上给出共面要求，即用同一个平面度公差带同时控制多个被测表面平面度误差变动量。标注时，应用细实线将各表面相连，将公差框格指引线指向被测表面，或同一框格处引出多个指引线箭头，分别指向多个被测表面，并在框格内公差值后面加注“CZ”字样。该要求表示：多个被测要素应保持在同一平面上，其平面度公差为 0.02mm。公差带为在所有被测要素范围内，间距等于公差值 0.02mm 的两平行平面所限定的区域（图 74b）。

应特别指出：当多个被测要素具有相同的平面度公差要求时，其标注方法与上述共面要求基本相同，只是在公差值后不标

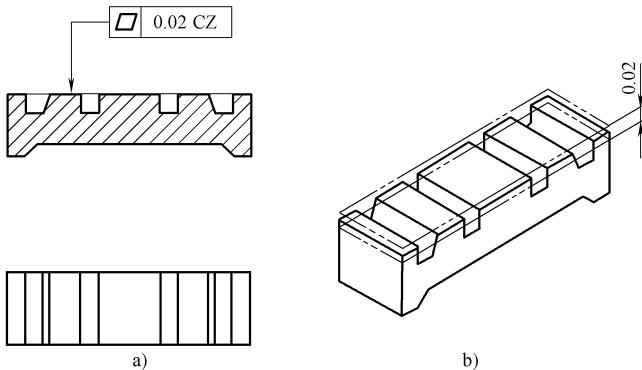


图 74 共面要求标注



注“CZ”字样，如图 75a 所示，但该要求与上述共面要求的含义完全不同。它是对多个要素分别单独给出的平面度公差要求，其公差带则分别在各要素被测范围内，间距等于公差值的两平行平面所限定的区域，各被测要素之间没有连带关系，故不可能控制其共面关系，如图 75b 所示。

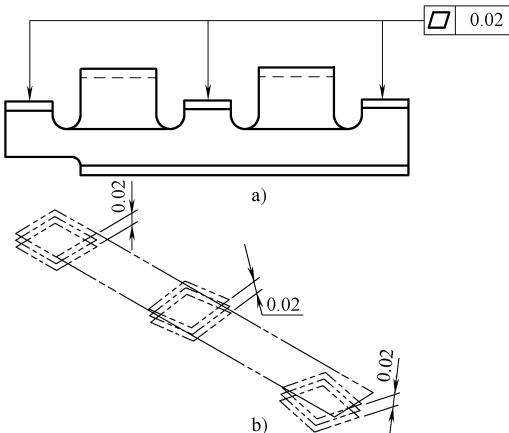


图 75 多个要素相同平面度公差要求标注

37. 怎样选择平面度公差值？

答：零件上所给出的平面度公差值也是根据零件的功能要求和结构特点，并按照标准中规定的公差等级进行选择确定的。平面度公差值数系与上述直线度相同（见表 6）。

按标准选择平面度公差值时，也应先确定被测要素主参数。因平面要素具有各种不同形式，其主参数应按其最大长度尺寸确定，如图 76 所示。对单一要素是指最长边 L 或最大直径（图 76a）；对共面要求是指所有被测要素间最大距离 L （图 76b）。

常用加工方法可达到的平面度公差等级，见表 7。

38. 什么是圆度？怎样正确标注圆度公差？

答：圆度是指零件上圆要素的实际形状与其中心保持等距的状态，即通常所说圆整程度。

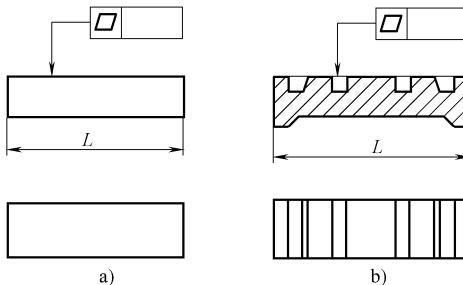


图 76 平面度公差值数系主参数

圆度公差是指在同一横截面上，实际圆对理想圆所允许的最大变动量。

圆度公差用于控制回转零件正截面（即垂直于回转轴线的截面）上轮廓形状误差。圆度公差带只有一种形状，即在给定横截面内，半径差等于公差值 t 的两同心圆所限定的区域。

零件上圆要素通常是指圆柱、圆锥横截面上的轮廓线、球形任意截面的轮廓线等。圆度公差通常用于控制旋转件轴颈（孔）、定位件等形状误差，以保持其配合间隙均匀，定位位置精确。如图 77a 所示滚轮在工作时，外圆表面绕中心轴做旋转运动，为保持外圆表面运动平稳，图样中给出圆度公差要求。标注时应将指引线箭头沿垂直于轴线方向指向被测轮廓线或其延长线上（图 77a）；或在正剖面视图上，将指引线箭头沿被测圆径向指向轮廓线上，均应与尺寸线明显地分开（图 77b）。该要求表

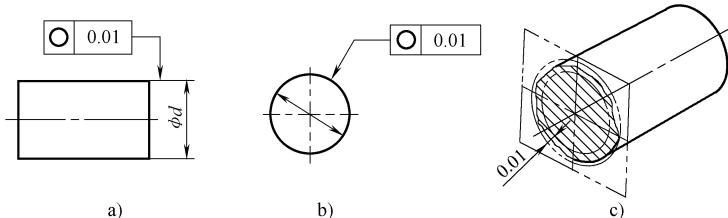


图 77 圆度公差标注



示：被测圆柱面的任一横截面上的圆度公差为 0.01mm。公差带为在给定横截面内，半径差为公差值 0.01mm 的两同心圆所限定的区域（图 77c）。

39. 怎样选择圆度公差值？

答：圆度公差值也是根据零件的功能要求，按照标准中规定的圆度公差值数系选择适宜的公差等级确定的。国家标准中对圆度公差规定了 0~12 十三个公差等级，见表 8。

圆度（圆柱度）公差值数系中主参数是指外圆柱表面直径 d （图 78a）或内圆柱表面直径 D （图 78b）。

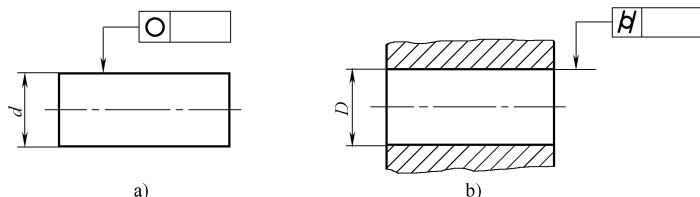


图 78 圆度、圆柱度公差值数系主参数

选择圆度公差值时，除依据主参数外，还应考虑其配合长度及加工难易程度的影响（详见 89 题）。

常用加工方法可达到的圆度公差等级，见表 9。

表 8 圆度、圆柱度公差值数系

主参数 $d(D)$ /mm	公 差 等 级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm												
≤ 3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25
$>3 \sim 6$	0.1	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30
$>6 \sim 10$	0.12	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36
$>10 \sim 18$	0.15	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
$>18 \sim 30$	0.2	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
$>30 \sim 50$	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
$>50 \sim 80$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
$>80 \sim 120$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87



(续)

主参数 $d(D)$ /mm	公 差 等 级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm												
>120~180	0.6	1	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100
>180~250	0.8	1.2	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115
>250~315	1.0	1.6	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130
>315~400	1.2	2	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140
>400~500	1.5	2.5	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155

表 9 常用加工方法可达到的圆度、圆柱度公差等级

表面	加工方法	公 差 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	精密车削			○	○	○							
	普通车削					○	○	○	○	○	○		
轴	普通立车	粗					○	○	○	○	○		
		细				○	○	○					
	自动、半自动车	粗							○	○			
		细						○	○				
		精					○	○					
	外圆磨	粗				○	○	○					
		细			○	○	○						
		精	○	○	○								
	无心磨	粗					○	○					
		细	○	○	○	○							
	研磨		○	○	○	○							
	精磨	○	○										
孔	钻							○	○	○	○	○	○
	镗	普通镗	粗					○	○	○	○		
			细				○	○	○	○			
			精			○	○						



(续)

表面	加工方法			公 差 等 级										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
孔	镗	金刚石镗	细			○	○							
			精	○	○	○								
	铰孔							○	○	○				
	扩孔							○	○	○				
	内圆磨	内圆磨	细				○	○						
			精			○	○							
	研磨	研磨	细				○	○	○					
			精	○	○	○	○							
	珩磨							○	○	○				

40. 什么是圆柱度？怎样正确标注圆柱度公差？

答：圆柱度是表示零件上圆柱面要素外形轮廓各点对其轴线保持等距的状况。

圆柱度公差是指实际圆柱面对理想圆柱面所允许的最大变动量。

圆柱度公差仅适用于圆柱面一种要素的形状误差控制，其公差带也只有一种形式，即半径差等于公差值 t 的两同轴圆柱面所限定的区域。

由于圆柱度公差体现了对圆柱面要素的横截面、轴截面轮廓线和轴线的形状误差综合控制要求，所以它能最直接体现出零件的配合精度和使用性能要求。

生产中零件上圆柱面要素很多，且多为重要的配合部位，其精度直接影响着机器的使用性能。如动力机械主轴的轴颈、液压件的柱塞等，为满足其功能要求，均应给出圆柱度公差要求。

如图 79 所示内燃机曲轴主轴颈，其功用是支撑曲柄连杆机构，传输动力负荷，承受着高速、高负荷的作用。为此要求其圆柱表面与座孔间应保持均匀的配合间隙，以保证足够的承载面



积，防止局部产生严重磨损。为满足上述使用要求，必须使其具有精确的圆柱形状，故图样上给出圆柱度公差要求。标注时，框格指引线箭头应垂直指向被测轮廓线或其延长线上（与尺寸线明显错开）。图 79a 表示：被测 $\phi 160\text{mm}$ 圆柱面圆柱度公差要求为 0.01mm 。公差带如图 79b 所示，即半径差等于公差值 0.01mm 的两同轴圆柱面所限定的区域。

如图 80 所示喷油泵柱塞，该零件的功用是：在喷油泵凸轮的驱动下，沿套筒内孔上下往复运动，以使燃油产生很高压力，定时送到燃烧室内。为满足上述功能要求，必须使柱塞外圆柱面

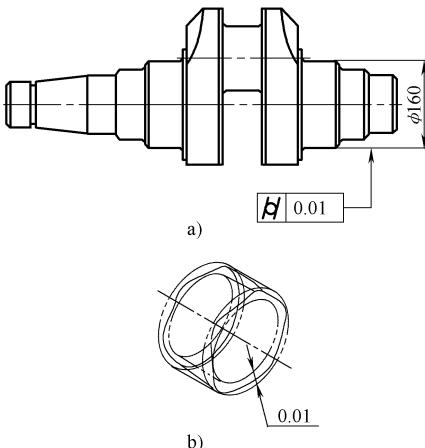


图 79 圆柱度公差标注

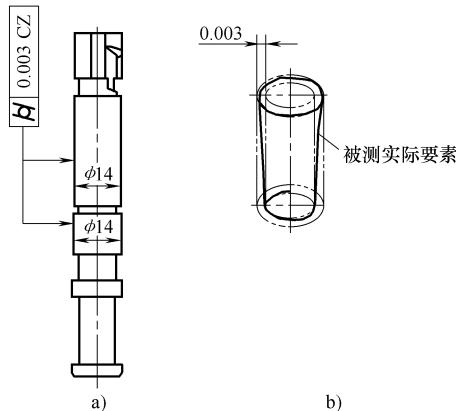


图 80 带附加符号的圆柱度公差标注



与套筒孔间严密配合，为此图中给出圆柱度公差要求。由于 $\phi 14\text{mm}$ 配合面是由若干个具有相同几何特征和公差值的分离要素组成，故应给出单一公差带，图 80 中在公差值后加注“CZ”字样，其要求表示：各 $\phi 14\text{mm}$ 圆柱面给出同一个公差带的圆柱度公差 0.003mm 。公差带如图 80b 所示，即半径差等于公差值 0.003mm 的两同轴圆柱面所限定的区域。

41. 怎样选择圆柱度公差值？

答：圆柱度公差值是根据零件的功能要求，按照标准中规定的圆柱度公差值数系选择适宜的公差等级确定的。国家标准中圆柱度公差与上述圆度公差规定了完全相同的公差等级（见表 8）。

圆柱度公差值数系中主参数与圆度完全相同（图 78）。但在选择圆柱度公差时，除依据主参数外，应特别注意其配合长度的影响（详见 89 题）。

常用加工方法可达到的圆柱度公差等级，见表 9。

42. 什么是线轮廓度？线轮廓度有哪两类不同性质的要求？

答：线轮廓度是表示在零件的给定平面上，任意形状的曲线保持理想形状的状况。

线轮廓度公差是指非圆曲线的实际轮廓线对理想轮廓线允许的变动量，用于控制零件上的平面曲线的截面轮廓线的形状误差。

生产中常见零件的非圆曲线有凸轮轮廓线、涡轮叶片截面轮廓线、非圆曲线样板或靠模工作面等。非圆曲线形状都比较复杂，图样上通常采用理论正确尺寸来确定其理想形状。所谓理论正确尺寸是指用来确定被测要素的理想形状、方向、位置所给定的尺寸，该尺寸不带公差是完全正确的。为了与不带公差的其他尺寸区别，理论正确尺寸应用长方框框起来。如图 81 所示，该零件上方曲线是由半径 $R25$ 的圆弧和距其中心 22 且与其相切的圆弧 $R10$ 所构成。

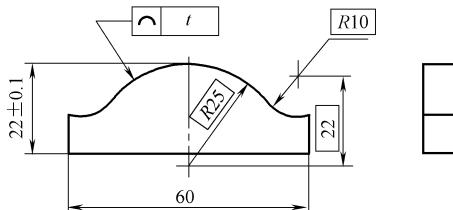


图 81 理想形状的标注

根据零件的功能需要，线轮廓度有两类不同性质的要求。

1) 无基准要求的线轮廓度公差是指被测轮廓线为单一要素，即仅对其本身给出形状公差要求，没有任何基准要求。其公差带为直径等于公差值 t ，圆心位于具有理论正确几何形状上的一系列圆的两包络线所限定的区域。

2) 相对于基准体系的线轮廓度公差是指被测轮廓线为关联要素，即其形状相对于基准有位置要求。该理想轮廓线相对于基准为理想位置。其公差带也是包络一系列直径为公差值 t 的圆的两包络线所限定的区域，但诸圆的圆心位于相对于基准为理想位置的理论正确几何形状的线上。该公差要求属于方向或位置公差。

43. 怎样正确标注线轮廓度公差？

答：线轮廓度公差要求应根据零件的功能要求，确定其是否有基准要求，采用不同的标注方法进行标注。

(1) 无基准要求的线轮廓度公差标注 如图 82 所示曲线样板，该零件上端曲线作为检验加工件表面形状精度的依据，要求其具有理想的曲线形状，使用时没有位置基准要求，故图样上给出无基准要求的线轮廓度公差。标注时首先应用理论正确尺寸 **R25**、**R10** 和 **22** 确定被测曲线的理论正确形状，然后将框格指引线箭头沿被测要素轮廓线法线方向指在被测轮廓线上。图 82 中要求表示：被测轮廓线线轮廓度公差为 0.04mm (图 82a)。公差带为在平行于图样所示投影面的任意截面上，包络一系列直径



为公差值 0.04mm，且圆心位于具有理论正确几何线上的两包络线所限定的区域（图 82b）。

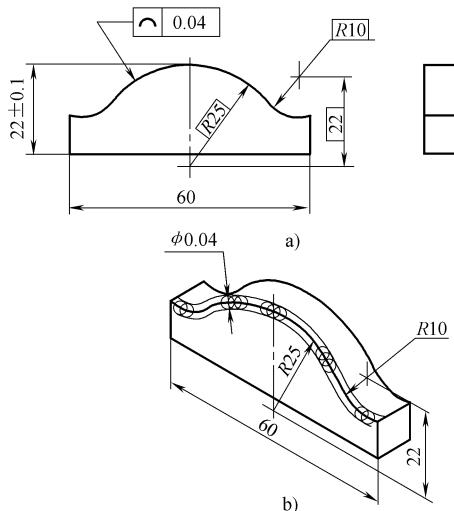


图 82 无基准要求的线轮廓度公差标注

(2) 相对于基准体系的线轮廓度公差标注 该类零件从其功能要求上讲，被测线受到基准要素的控制。如图 83 所示喷油泵凸轮轴上的凸轮，该零件工作时，是绕 A、B 两轴颈的公共轴线为中心旋转，从而改变凸轮轮廓线的方位，使其与被驱动件接触点处升程发生变动，以驱动其按一定规律上下移动。凸轮升程的变化直接影响机器的工作性能，为此要求保持凸轮轮廓线形状正确，故图样上给出线轮廓度公差要求。喷油泵凸轮升程的变化量是根据基准轴线 “A—B” 确定的，因此该零件上凸轮轮廓线的理想形状，应以 “A—B” 基准轴线确定，故该公差应给出基准要求。

标注时，首先用基准符号标出基准要素 A、B，并以理论正确尺寸 $[R20]$ 、 $[H]$ 、 α 确定相对基准要素的理论正确形状（图中理论正确位置尺寸为零）。然后在公差框格内注出相应基准要素

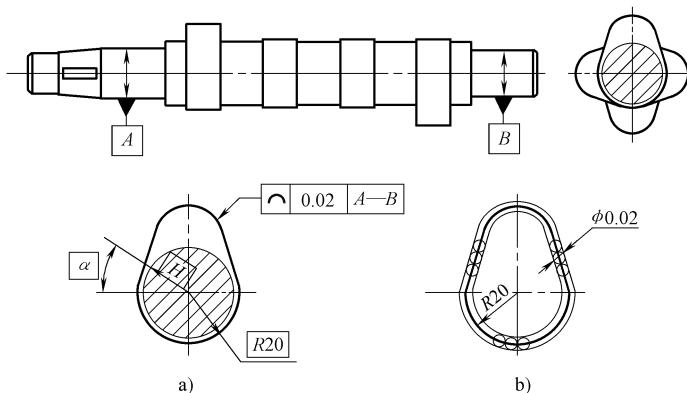


图 83 相对于基准体系的线轮廓度公差标注

代号字母“ $A—B$ ”。将框格指引线箭头沿被测要素法向指向被测要素轮廓线（图 83a）。公差带是以基准轴线“ $A—B$ ”为理想位置，由理论正确尺寸所确定的理想轮廓线上的各点为圆心，以公差值 0.02mm 为直径作出的一系列圆的两包络线所限定的区域（图 83b）。

由于非圆曲线形状复杂，其功能要求和加工方法各不相同，故难以确定其误差变动的规律，因此标准中没有给出线轮廓度公差值数系，生产中可根据具体零件功能要求，参照类似零件的要求按类比法来选择适宜的公差值。

44. 什么是面轮廓度？面轮廓度有哪两类不同性质的要求？

答：面轮廓度是表示非圆柱曲面形状，保持其理想形状的状况。

面轮廓度公差是被测实际轮廓面相对于理想轮廓面的最大允许变动量。它是用于控制零件上非圆柱曲面的形状误差。

生产中常见零件上的非圆柱曲面有圆锥体锥面、中凸活塞导向轮廓面、涡轮叶片曲面等，这些曲面形状都比较复杂，图样上也采用理论正确尺寸来确定其理想形状。

根据零件的功能需要，面轮廓度也有两类不同性质的要求。



1) 无基准要求的面轮廓度公差是指被测轮廓面为单一要素，即仅对其本身给出形状公差要求，没有任何基准要求。该被测轮廓要素由理论正确尺寸确定其理想轮廓面，其公差带为直径等于公差值 t ，球心位于被测要素理论正确形状上的一系列圆球的两包络面所限定的区域。

2) 相对于基准体系的面轮廓度公差是指被测轮廓面为关联要素，其形状相对于基准有位置要求，即被测轮廓面是相对于基准为理想位置，由理论正确尺寸确定其理想轮廓面，其公差带为直径等于公差值 t ，球心位于由基准确定的被测要素理论正确形状上的一系列圆球的两包络面所限定的区域。

45. 怎样正确标注面轮廓度公差要求？

答：面轮廓度公差应根据零件的功能要求，选用不同类型的要求，并采用相应的标注方法标注在图样上。

(1) 无基准要求的面轮廓度公差标注 如图 84 所示圆锥滚子轴承中的滚锥，该零件为一圆锥体，其功能是装在轴承内外圈之间的滚道内，与其精密配合，工作时用于支承轴类件，并在重载作用下高速运转。为保证其工作精度和承载能力，要求其外圆锥面必须与内外环滚道表面精确配合，为此给出面轮廓度公差要求，且无基准要求。标注时，首先应以理论正确尺寸 $\phi 10$ 、 $1:50$ 标注出该被测轮廓面的理论正确形状，然后将框格指引线箭头垂直指向被测轮廓线或其延长线上（图 84a）。该要求表示：被测圆锥面面轮廓度公差为 0.015mm。公差带如图 84b 所示，即为包容一系列直径为公差值 0.015mm 的球的两包络面所限定的区域，诸球的球心应位于由理论正确尺寸 $\phi 10$ 和 $1:50$ 所确定的理论正确几何形状的面上。

(2) 相对于基准体系的面轮廓度公差标注 如图 85 所示曲轴左端圆锥面，该要素的功用是连接飞轮联接器，工作时由曲柄连杆机构驱动绕 “A—B” 公共轴线旋转，对外输出功率。为保证工作时旋转平稳，并承受较大负荷作用，要求该圆锥面与联接

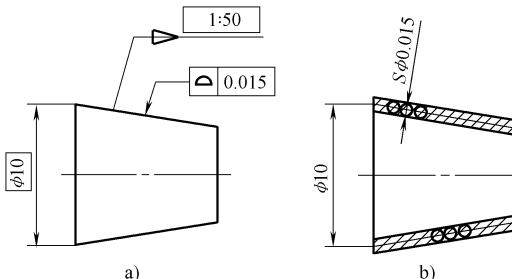


图 84 无基准要求的面轮廓度公差标注

器锥孔间配合严密，且相对于基准“ $A—B$ ”间保持正确位置。为满足上述要求图样上给出面轮廓度公差要求，且提出基准要求。

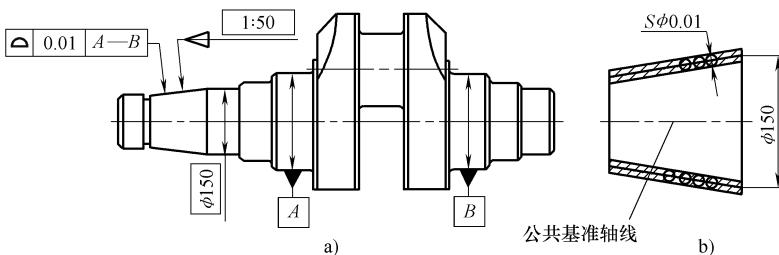


图 85 相对于基准体系的面轮廓度公差标注

标注时，首先应用基准符号标注出基准要素 A 、 B ，并在公差框格中注出相应的基准符号字母“ $A—B$ ”（指公共基准轴线）。然后依据基准要素位置采用理论正确尺寸 $\boxed{\phi 150}$ 、 $\boxed{1:50}$ ，确定该被测要素理论正确形状。框格指引线则应沿法向指向被测要素轮廓线或其延长线上（图 85a）。该要求表示：被测圆锥面相对于基准“ $A—B$ ”的面轮廓度公差为 0.01mm 。公差带如图 85b 所示，即以基准轴线“ $A—B$ ”为理想位置，按理论正确尺寸 $\boxed{\phi 150}$ 、 $\boxed{1:50}$ 所确定的理论正确几何形状的面上的诸点为球



心，以公差值 0.01mm 为直径的一系列球的两包络面所限定的区域。

标准中同样也没有给出面轮廓度公差值数系，生产中可根据零件的功能要求，参照类似零件要求，用类比法选择适宜的公差值。

方向公差

46. 什么是方向公差？方向公差分为哪些几何特征项目？

答：关联实际要素相对于基准给定的理想方向上所允许的变动全量，称为方向公差。所谓关联实际要素是指与基准要素相联系的实际要素。

方向公差是用于控制工件上被测实际要素相对于基准要素在给定方向上的误差变动范围。按工件上关联要素间方向关系特征，方向公差分为以下三种几何特征项目。

(1) 平行度 用于限定被测要素相对基准要素平行方向(夹角 0°)上的误差变动。

(2) 垂直度 用于限定被测要素相对基准要素垂直方向(夹角 90°)上的误差变动。

(3) 倾斜度 用于限定被测要素相对基准要素在任一给定角度方向上的误差变动。

47. 什么是平行度？平行度公差有哪些不同形式的要求？

答：平行度是表示零件上两平行要素间保持等距离的状况。

平行度公差是指被测要素的实际方向与基准要素相平行的理想方向之间所允许的最大变动量。

零件上处于相互平行位置的要素很多，可以是平面要素，也可以是直线要素，如机油泵体内腔底平面与端面之间(图86a)，支架上轴承座孔轴线与支承平面间(图86b)，连杆大、小头孔轴线间(图86c)等。

零件上不同的平行要素，具有不同的结构特点和功能要求，因此对它们提出的平行度公差要求具有多种形式，常见有：

(1) 面对基准面的平行度公差 是指被测要素与基准要素均为平面(图86a)。该平行度公差带是间距等于公差值t，且平

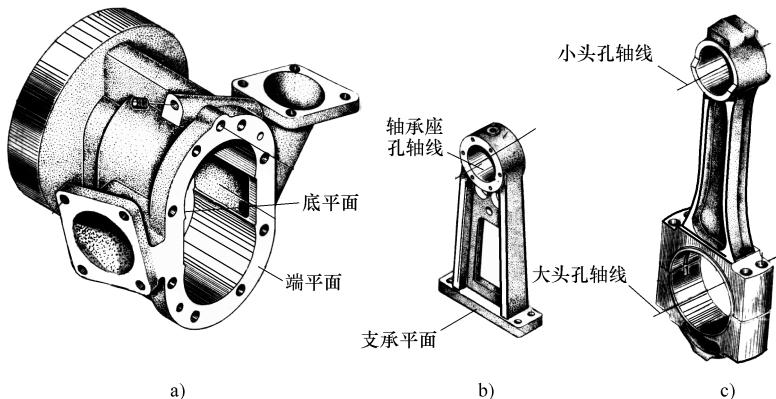


图 86 零件上平行位置要素

行于基准平面的两平行平面所限定的区域。

(2) 线对基准面的平行度公差 是指被测要素为一直线(轴线)，基准要素为一平面(图 86b)。该平行度公差带是间距等于公差值 t ，且平行于基准平面的两平行平面所限定的区域。

(3) 面对基准线(轴线)的平行度公差 是指被测要素为一平面，基准要素为直线(轴线)。该平行度公差带是间距等于公差值 t ，且平行于基准轴线的两平行平面所限定的区域。

(4) 线对基准线(轴线)的平行度公差 是指被测要素与基准要素都是直线(轴线)，如图 86c 所示。因被测轴线在空间 360° 方向上均可产生对基准轴线的平行度误差，生产中则应根据零件的功能要求，给出以下不同形式的公差带。

1) 给定一个方向上平行度公差要求 是指仅对其图样上给定视图方向上平行度误差的控制要求。该公差带是间距等于公差值 t ，且平行于基准轴线，与给定方向平行的两平行平面所限定的区域。

2) 给定相互垂直的两个方向上平行度公差要求 是指图样上沿视图上给定两个相互垂直方向，分别对其平行度误差的控制要求。该公差带是相互垂直的间距分别等于相应公差值 t_1 和 t_2 ，



且平行于基准轴线的两对平行平面所限定的区域。

3) 任意方向上平行度公差要求是指被测轴线对基准轴线在任意方向上，平行度误差均应控制在同一精度范围内。该公差带是直径为公差值 t ，且平行于基准轴线的圆柱面所限定的区域。

48. 怎样正确标注平行度公差？

答：根据零件上平行要素不同的结构特点和功能要求，应分别给出不同形式的平行度公差要求，图样上则应采用不同形式标注。

(1) 面对面的平行度公差标注 零件上两平行平面要素非常多，如箱体两端面，齿轮两端面、泵体两密封端面等。图 87 所示机油泵体的内腔底面与外端面为两平行平面，使用时，机油泵齿轮装在座孔内，外端面处用泵盖密封，构成工作空间。为保证两端面密封性，并防止发生碰撞现象，故给出外端面对内腔底面平行度公差要求。

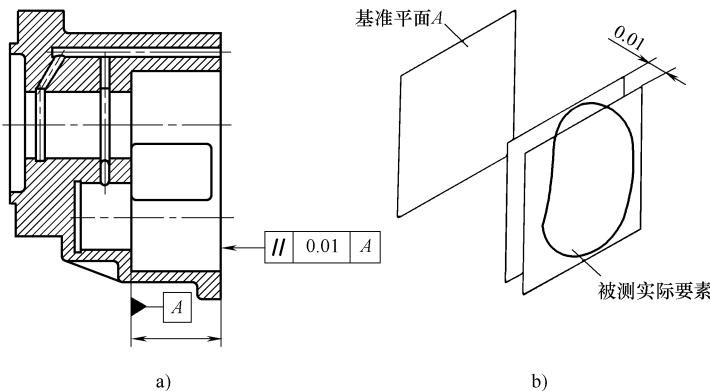


图 87 面对面的平行度公差标注

标注时，首先用基准符号标出基准要素 A ，并在公差框格内注出相应的基准字母 A 。然后将框格指引线箭头指向被测要素轮廓线或其延长线上，如图 87a 所示。该标注表示：泵体外端面对底面平行度公差为 0.01mm 。公差带是间距等于公差值 0.01mm ，



且平行于基准平面 A 的两平行平面所限定的区域，如图 87b 所示。

(2) 线对面的平行度公差标注 零件上线与面的平行要素也很多，通常线要素多为孔的轴线，如各种支架轴承座孔与底平面、机床尾座套筒孔与底平面、各种箱体座孔与底平面间等。如图 88 所示机床主轴箱，该零件上主轴承座孔 $\phi 80\text{mm}$ 用于支承主轴，其底平面则固定在床身导轨表面，为保证机床加工精度，要求主轴轴线与导轨面保持精密的平行精度，为此图样上给出平行度公差要求。

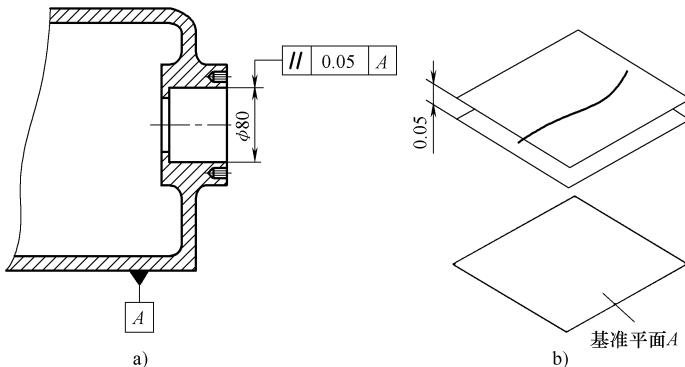


图 88 线对面的平行度公差标注

标注时，首先用基准符号标注出基准平面 A，并在公差框格内注出相应的基准字母。框格指引线箭头应对准被测要素尺寸线，如图 88a 所示。该要求表示： $\phi 80\text{mm}$ 孔的轴线对基准平面 A 的平行度公差为 0.05mm 。公差带是间距等于公差值 0.05mm ，且平行于基准平面 A 的两平行平面所限定的区域（图 88b）。

(3) 面对线的平行度公差标注 该要求与上述 (2) 同样是线与面之间的平行关系，其区别是平面为被测要素，而直线为基准要素。

生产中选择哪个要素作为基准要素，应根据零件的功能要求和加工检测需要来确定。如图 89 所示机油泵体的功用是支撑两



油泵齿轮，并通过主动齿轮外伸端的传动齿轮驱动其运转。为此，必须保持各齿轮间正确啮合，要求各齿轮轴线间应保持平行。其中传动齿轮与齿轮系间是靠上支承面定位联接来保持其正确啮合位置，因此应给出顶平面与主动齿轮轴线间的平行度公差要求。又考虑到主动齿轮轴线同时还应保持与从动齿轮轴线平行，故可选择以主动齿轮轴线为基准，分别给出顶平面和从动齿轮对其平行度的要求。

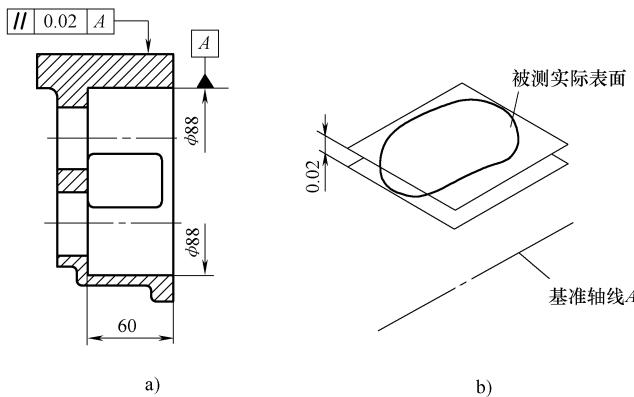


图 89 面对线的平行度公差标注

标注时，首先应在基准要素的尺寸线位置处标注出基准符号，并在框格内注出相应的基准字母 A ，然后将框格指引线箭头垂直指向被测要素表面轮廓线或其延长线上，如图 89a 所示。该要求表示：零件的顶平面对基准轴线 A 的平行度公差为 0.02mm 。公差带是间距等于公差值 0.02mm ，且平行于基准轴线 A 的两平行平面所限定的区域，如图 89b 所示。

(4) 线对线的平行度公差标注 零件上线与线平行要素间，根据其功能要求不同，有多种不同形式的平行度公差要求，在图样上必须采用不同的方法标注出来。

1) 给定一个方向上线对线的平行度公差标注。图 90 所示平面拉杆的功用是通过两端 $\phi 15\text{mm}$ 和 $\phi 12\text{mm}$ 孔与传动件相铰接，用以传递运动。为保持工作时传动运动位移准确，不产生卡

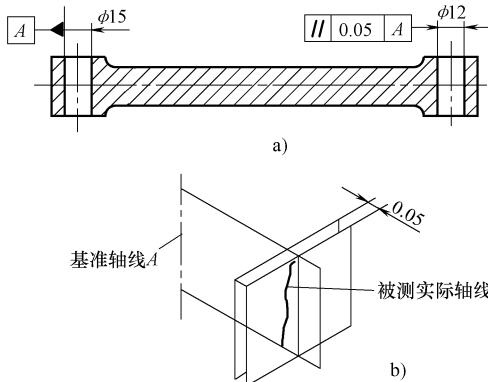


图 90 给定一个方向上上线对线平行度公差标注

滞现象，两孔轴线必须保持在两孔连线方向上平行，为此给出一个方向上平行度公差要求。

标注时，首先在基准要素尺寸线 $\phi 15\text{mm}$ 位置处用基准符号标出基准轴线 A ，并在公差框格内注出相应的基准字母，然后将框格指引线箭头沿给定方向（图示零件为两孔中心连线方向）指向被测要素尺寸线位置，如图 90a 所示。该要求表示： $\phi 12\text{mm}$ 孔的轴线在图示方向上对 $\phi 15\text{mm}$ 孔轴线的平行度公差为 0.05mm 。公差带是间距等于公差值 0.05mm ，且沿给定方向上平行于基准轴线的两平行平面所限定的区域，如图 90b 所示。

2) 给定相互垂直的两个方向上上线对线的平行度公差标注。该要求通常应用于两轴线间在不同方向上均有平行度精度要求，但从其功能需要来讲，不同方向上要求精度不同。图 91 所示内燃机连杆上下两座孔的轴线平行，其功用是一端孔与曲轴连杆轴颈相连，另一端孔通过活塞销与活塞相连。工作时活塞沿气缸套内壁往复运动，通过连杆驱动曲轴旋转。两座孔轴线在任意方向上的平行度误差，均对其配合关系和使用性能产生影响，但沿不同方向上的误差对其功能影响的作用不同。沿图 91 所示垂直方向上的平行度误差，造成活塞安装位置发生倾斜，直接影响与气缸套的配合，为此应给出较高精度的平行度公差；而沿水平方向

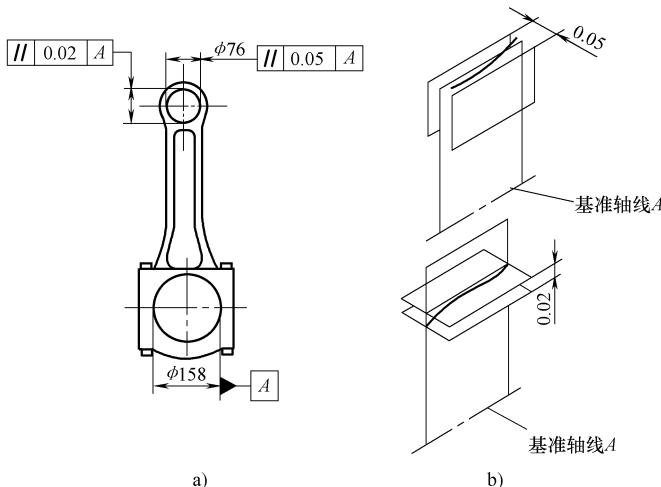


图 91 给定相互垂直的两个方向上线对线平行度公差标注

的平行度误差，仅使活塞安装位置发生扭转，对与气缸套的配合关系影响不大，只对其作用负荷方位产生影响，为此只需给出较低精度的平行度公差即可。

标注时，首先应在基准要素尺寸线位置处，用基准符号标注出基准轴线 A ，然后用两个公差框格分别标注出相互垂直两个方向上各自平行度公差要求，框格指引线则应沿各自给定方向上指向被测要素尺寸线上（其中一个可绘成空白尺寸线），如图 91a 所示。该要求表示：被测孔 $\phi 76\text{mm}$ 的轴线对基准孔 $\phi 158\text{mm}$ 轴线平行度公差，沿铅垂方向为 0.02mm ；沿水平方向为 0.05mm 。公差带是由两部分组成：一是沿水平方向平行于基准轴线，间距等于公差值 0.05mm 的两平行平面间的区域；另一是沿铅垂方向平行于基准轴线，间距等于公差值 0.02mm 的两平行平面所限定的区域，如图 91b 所示。

3) 任意方向上线对线的平行度公差标注。该要求通常应用于两轴线间在任意方向上有相同的平行度精度要求。图 92 所示为曲轴，该零件连杆轴颈轴线与主轴颈轴线平行，工作时，连杆

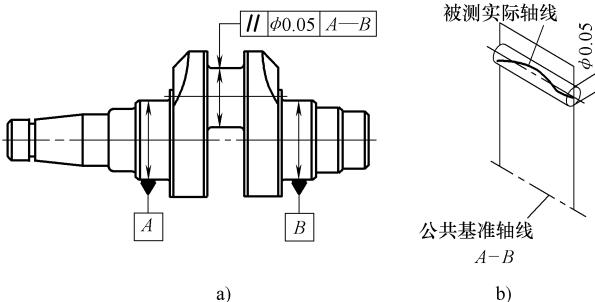


图 92 任意方向上线对线的平行度公差标注

大头与连杆轴颈铰接在一起，并绕主轴颈轴线高速旋转，为保持连杆轴颈在任何位置上与连杆轴承保持均匀的配合间隙，要求连杆轴颈轴线对主轴颈轴线在任意方向上均保持较高精度的平行度，为此图样上给出任意方向上平行度的要求。

标注时首先用基准符号注出基准要素，工作时因曲轴是以各段主轴颈公共轴线为中心进行旋转，故选择“ $A-B$ ”公共轴线作为基准要素，在公差框格内以公共基准形式注出相应的基准字母，同时应在公差值前加注“ ϕ ”。框格指引线箭头则应指向被测要素尺寸线，如图 92a 所示。该要求表示：连杆轴颈轴线对主轴颈公共基准轴线在任意方向上平行度公差均为 $\phi 0.05\text{mm}$ 。公差带是直径为公差值 0.05mm ，且平行于公共基准轴线的圆柱面所限定区域，如图 92b 所示。

49. 怎样选择平行度公差值？

答：应根据零件的功能要求，并考虑零件的结构、刚性和加工的经济性等情况，按照国家标准规定的平行度公差值数系，选择适宜的平行度公差等级。

国家标准平行度公差规定了十二个公差等级，见表 10。表中所列主参数是指被测要素最大尺寸范围，如图 93 所示。面对面平行度公差值数系主参数是指整个被测表面形状中最大长度尺寸 L （图 93b）；线对面平行度公差值数系主参数则是指被测轴线最大长度尺寸 L （图 93a）。

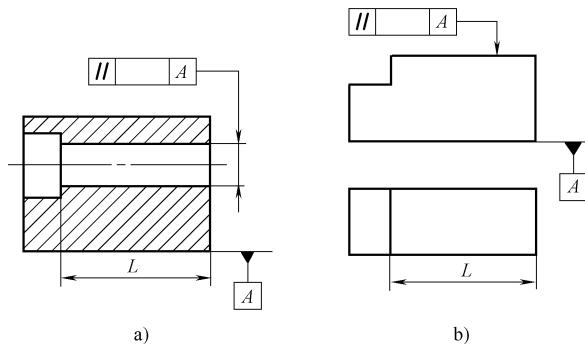


图 93 平行度公差值数系主参数

表 10 平行度、垂直度、倾斜度公差值数系

主参数 $L, d(D)/\text{mm}$	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm											
≤ 10	0.4	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120
$> 10 \sim 16$	0.5	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150
$> 16 \sim 25$	0.6	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200
$> 25 \sim 40$	0.8	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250
$> 40 \sim 63$	1	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300
$> 63 \sim 100$	1.2	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400
$> 100 \sim 160$	1.5	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500
$> 160 \sim 250$	2	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600
$> 250 \sim 400$	2.5	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800
$> 400 \sim 630$	3	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000
$> 630 \sim 1000$	4	8	15	30	50	80	120	200	300	500	800	1200
$> 1000 \sim 1600$	5	10	20	40	60	100	150	250	400	600	1000	1500
$> 1600 \sim 2500$	6	12	25	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000
$> 2500 \sim 4000$	8	15	30	60	100	150	250	400	600	1000	1500	2500
$> 4000 \sim 6300$	10	20	40	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000
$> 6300 \sim 10000$	12	25	50	100	150	250	400	600	1000	1500	2500	4000

选择平行度公差值时，除依据主参数外，还应考虑零件上其他参数的影响和加工工艺的实际情况（详见后述）。

常用加工方法可达到的平行度公差等级，见表 11。



表 11 常用加工方法可达到的平行度、垂直度公差等级

加工方法	平行度、垂直度公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
面 对 面												
研磨	○	○	○	○								
刮	○	○	○	○	○	○						
磨	粗				○	○	○	○				
	细			○	○	○						
	精		○	○	○							
铣					○	○	○	○	○	○		
刨						○	○	○	○	○		
拉						○	○	○				
插						○	○					
轴线对轴线(或平面)												
磨	粗						○	○				
	细			○	○	○	○					
镗	粗							○	○	○		
	细						○	○				
	精					○	○					
金刚石镗			○	○	○							
车	粗								○	○		
	细						○	○	○	○		
铣					○	○	○	○	○			
钻								○	○	○	○	

50. 什么是垂直度？垂直度公差有哪些不同形式的要求？

答：垂直度是表示零件上两要素间保持 90° 方向的状况，即通常所说的两要素间保持正交的程度。

垂直度公差是被测要素的实际方向对与基准相垂直的理想方向之间所允许的最大变动量。

零件上处于相互垂直位置的要素很多，可以是平面要素，也可以是直线要素，如机床工作台上平面与侧平面之间（图 94a）、曲轴止推面与主轴颈轴线间（图 94b）、正交锥齿轮两支承座孔间（图 94c）等。



. 96 .

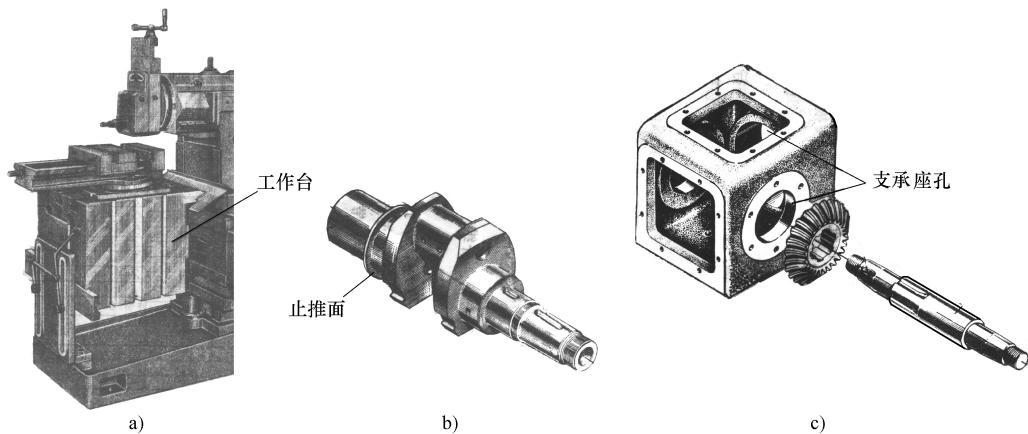


图 94 零件上垂直位置要素



零件上不同的垂直要素具有不同的结构特点和功能要求，因此对它们提出的垂直度公差要求具有多种形式，常见有：

(1) 面对基准面的垂直度公差要求 指被测要素与基准要素均为平面(图94a)。该垂直度公差带是间距等于公差值 t ，且垂直于基准面的两平行平面所限定的区域。

(2) 面对基准线(轴线)的垂直度公差要求 指被测要素为一平面，基准要素为直线(图94b)。该公差带是间距等于公差值 t ，且垂直于基准轴线的两平行平面所限定的区域。

(3) 线对基准面的垂直度公差要求 指被测要素为一轴线，基准要素为一平面。因被测轴线在空间 360° 方向上均可产生对基准平面的垂直度误差。生产中则应根据零件的功能要求，给出以下不同形式的公差带。

1) 给定一个方向上线对面的垂直度公差要求。指仅对图样上给定视图方向上垂直度误差控制要求。该公差带是间距等于公差值 t ，且沿给定方向垂直于基准面的两平行平面所限定的区域。

2) 给定相互垂直两个方向上线对面的垂直度公差要求。指图样上沿视图上给定两个相互垂直方向，分别对其垂直度误差进行控制的要求。它是由两个公差带分别进行控制，其公差带是相互垂直的间距分别等于公差值 t_1 和 t_2 ，且垂直于基准面的两对平行平面所限定的区域。

3) 任意方向上线对面的垂直度公差要求。指被测轴线对基准平面在任意方向上垂直度误差均应控制在同一精度范围内。该公差带是直径为公差值 t ，且垂直于基准面的圆柱面所限定的区域。

(4) 线对线的垂直度公差要求 指被测要素与基准要素均为直线。该垂直度公差带是间距等于公差值 t ，垂直于基准轴线的两平行平面所限定的区域。

51. 怎样正确标注垂直度公差？

答：根据零件上垂直要素不同的结构特点和功能要求，应分别给出不同形式的垂直度公差要求，图样上则应采用不同形式进

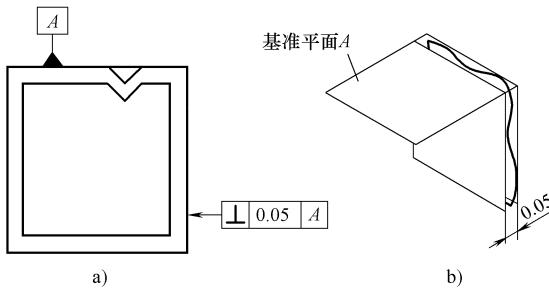


图 95 面对面的垂直度公差标注

行标注。

(1) 面对面的垂直度公差标注 图 95 所示机床工作台的上平面与侧面为两垂直平面，均作为零件加工时定位基准，为保证加工精度，要求两平面间保持垂直，为此给出垂直度公差要求。

标注时，首先用基准符号注出基准平面 A，并在框格内注出相应的基准字母，然后将框格指引线箭头指向被测要素轮廓线或其延长线上，如图 95a 所示。该要求表示：工作台侧面对上平面垂直度公差为 0.05mm。公差带是距离为公差值 0.05mm，且垂直于基准平面 A 的两平行平面间的区域，如图 95b 所示。

(2) 面对线的垂直度公差标注 图 96 所示曲轴的左侧曲柄上的凸台端面为防止曲轴轴向窜动的止推面，它与机体上的止推轴承相配合，为保持其配合间隙均匀，使其受力均匀，要求其与主轴颈轴线垂直，为此图样上给出垂直度公差要求。

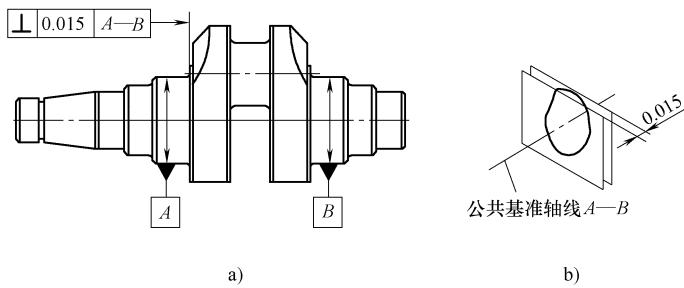


图 96 面对线的垂直度公差标注



标注时，首先用基准符号注出基准轴线，图 96 中分别在曲轴两端主轴颈尺寸线上分别注出 A、B 基准，并采用“ $A-B$ ”公共基准标注在公差框格内，然后将框格指引线箭头沿与被测要素垂直方向指向被测要素轮廓线或其延长线上，如图 96a 所示。该要求表示：曲轴上的止推面对其公共基准轴线“ $A-B$ ”的垂直度公差为 0.015mm。公差带是间距等于公差值 0.015mm，且垂直于公共基准轴线的两平行平面所限定的区域，如图 96b 所示。

(3) 线对面的垂直度公差标注。该要求与上述(2)同样是线与面之间的垂直关系，其区别是被测要素为直线(轴线)，而基准要素为平面。此时轴线作为被测要素，可沿 360° 方向任意方向产生垂直度误差。根据零件的功能要求不同，则可采用多种形式控制其误差变动范围，在图样上必须采用不同方法进行标注。

1) 给定一个方向上线对面的垂直度公差标注。如图 97 所示，导向柱销的垂直方向与一导向槽相配合，用作配合件运动导向。为保持柱销与槽之间均匀配合，以保证其导向精度，故要求柱销轴线与支承面 A 间保持垂直。由于沿图样视图水平方向直接影响两者配合状况故应给出垂直度公差要求；而沿视图垂直方向对与导向槽间配合没有影响，故不必给出垂直度公差要求。故图样上给出给定一个方向的垂直度公差。

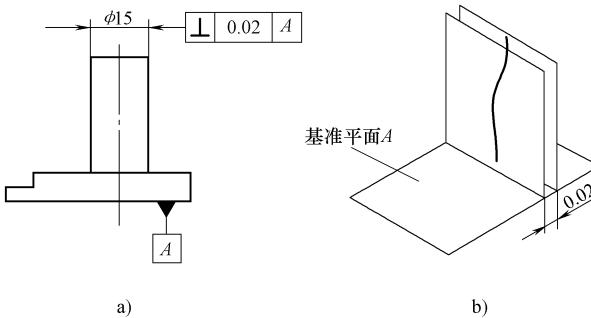


图 97 给定一个方向上线对面的垂直度公差标注



标注时，首先用基准符号注出基准平面A，并在公差框格内注出相应的基准字母，然后在相应视图给定方向上，将框格指引线箭头与被测要素尺寸线对齐，如图97a所示。该要求表示： $\phi 15\text{mm}$ 圆柱面轴线，沿视图给定方向上对基准平面A的垂直度公差为0.02mm。公差带是在给定方向上间距等于公差值0.02mm，且垂直于基准平面A的两平行平面所限定的区域，如图97b所示。

2) 给定相互垂直两个方向上线对面的垂直度公差标注。如图98所示支承板上有一定位孔 $\phi 15\text{mm}$ ，其功用是通过定位销将被联接件精确地支承在前端面上。为保持精确定位，且使接合面间均匀接触，要求定位孔轴线对前端面保持精确的垂直状态。考虑到支承板前端面为一狭长平面，定位孔轴线沿板面长向与短向垂直度误差对其配合精度影响不同，故应给出不同精度的垂直度公差要求。

标注时，首先用基准符号注出基准平面A，并在相应公差框

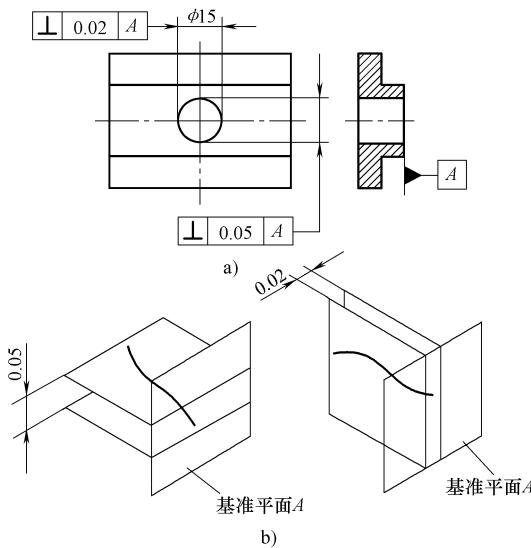


图98 给定相互垂直两个方向上线对面的垂直度公差标注



格内注出基准字母，然后在相应视图内标注两个公差框格，其指引线箭头一个沿水平方向与被测要素尺寸线对齐；另一个沿铅垂方向与被测要素尺寸线对齐（其中一个可绘成空白尺寸线），如图 98a 所示。该要求表示： $\phi 15\text{mm}$ 定位孔轴线对基准平面 A 的垂直度公差分别要求为：沿水平方向为 0.02mm ；沿铅垂方向为 0.05mm 。公差带由两部分组成：一是沿铅垂方向上，间距等于公差值 0.05mm ，且垂直于基准平面 A 的两平行平面所限定的区域；另一是沿图示水平方向上，间距等于公差值 0.02mm ，且垂直于基准平面 A 的两平行平面所限定的区域，如图 98b 所示。

3) 任意方向上线对面的垂直度公差标注。图 99 所示中间齿轮座，用于支承中间齿轮，工作时，中间齿轮通过衬套支承在 $\phi 25\text{mm}$ 轴颈上并绕其轴线旋转，为防止其轴向窜动，A 端面用作止推面。为保持止推面与齿轮端面均匀配合，必须使 $\phi 25\text{mm}$ 轴线与止推面保持垂直位置，且轴线在 360° 范围内任意方向的垂直度误差对其影响作用是一样的，为此，图样上给出任意方向垂直度公差要求。

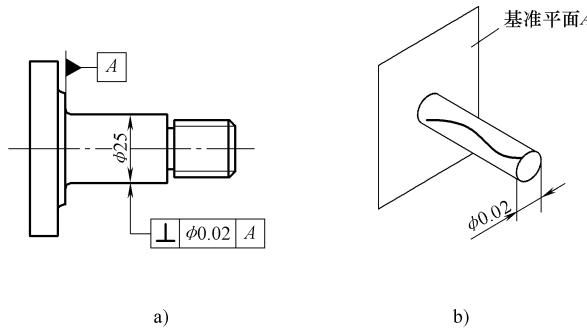


图 99 任意方向上线对面的垂直度公差标注

标注时，首先用基准符号注出基准平面 A，并在公差框格内注出相应的基准字母，同时应在公差值前加注字母“ ϕ ”，然后将框格指引线箭头对准被测要素尺寸线，如图 99a 所示。该要求表示： $\phi 25\text{mm}$ 圆柱面轴线在任意方向上对基准平面 A 的垂直度



公差为 $\phi 0.02\text{mm}$ 。公差带是直径为公差值，且垂直于基准面 A 的圆柱面所限定的区域。

(4) 线对线的公差要求 图 100 所示零件内上方孔的轴线要求与水平孔的轴线保持垂直。

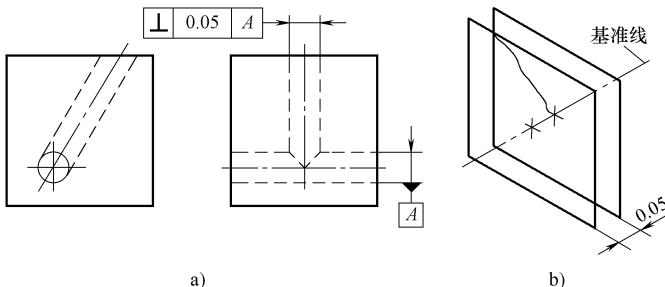


图 100 线对线的垂直度公差标注

标注时，首先用基准符号，标出基准轴线 A ，并在相应公差框格内注出基准字母代号。公差框格指引线箭头应与被测要素尺寸线对齐，如图 100a 所示。图中要求被测孔的实际轴线应限定在间距等于 0.05mm 且垂直于基准轴线 A 的两平行平面之间，如图 100b 所示。

52. 怎样选择垂直度公差值？

答：垂直度公差值应根据零件的功能要求，考虑零件的结构、刚性和加工的经济性等情况，并按照国家标准规定的垂直度公差值，选择适宜的公差等级。

国家标准对垂直度公差与平行度公差规定为同一数系（见表 10）。表中所列主参数也是指被测要素最大尺寸范围，如图 101 所示。如线对面垂直度公差主参数 L 是指被测轴线最大长度（图 101a）；面对线的垂直度公差主参数是指被测面的最大外形尺寸 D （图 101b）；孔的轴线对面的垂直度公差主参数是指孔轴线的最大长度 L （图 101c）。

选择垂直度公差值时，除依据主参数外，还应考虑零件上其

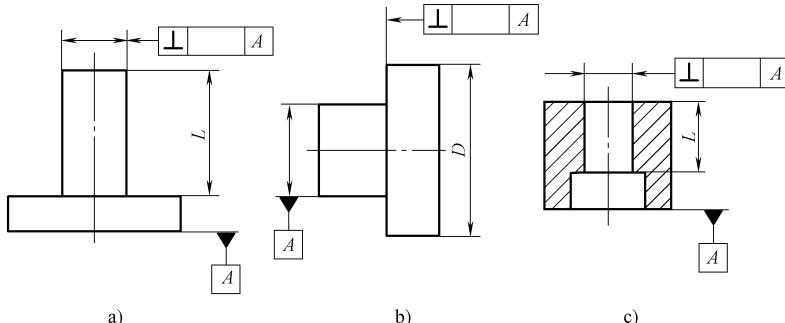


图 101 垂直度公差值数系主参数

他参数的影响和加工工艺的实际情况（详见后述）。

常用加工方法可达到的垂直度公差等级与平行度公差等级基本相同（见表 11）。

53. 什么是倾斜度？倾斜度有哪些不同形式的要求？

答：倾斜度是表示零件上被测要素相对基准保持任一给定角度的状况。其中两要素间给定角度为 0° 或 90° 时，即为上述平行度、垂直度。由此可见倾斜度为方向公差的一种普遍形式。生产中通常对夹角为 0° 和 90° 的定向要求，分别采用平行度和垂直度，而对其他夹角的定向要求采用倾斜度。

倾斜度公差是指被测要素的实际方向，对与基准成给定角度的理想方向之间，所允许的最大变动量。

零件上处于任意角度位置上的要素也很多，可以是平面要素，也可以是直线要素。如图 102 所示，楔形键下表面与上表面（图 102a），柴油机预燃室孔板通气孔轴线与定位面（图 102b），喷油器喷孔轴线与密封锥面轴线之间（图 102c）等。

零件上不同的倾斜要素具有不同的结构特点和功能要求，因此对它们提出的倾斜度公差要求具有多种不同形式，常见有：

(1) 面对基准面的倾斜度公差 被测要素与基准要素均为平面（图 102a），该倾斜度公差带是间距等于公差值 t ，且与基准面成给定角度的两平行平面所限定的区域。

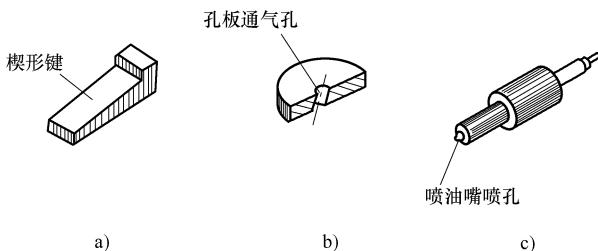


图 102 零件上任意角度位置上的要素

(2) 面对基准线(轴线)的倾斜度公差 被测要素为平面, 基准要素为轴线, 该倾斜度公差带是间距等于公差值 t , 且与基准线成给定角度的两平行平面所限定的区域。

(3) 线对基准面的倾斜度公差 被测要素为一轴线, 基准要素为一平面(图 102b), 因被测轴线在空间 360° 方向上均可产生对基准平面的倾斜度误差, 生产中则应根据零件的功能要求, 给出以下不同形式的公差带。

1) 给定方向上线对面的倾斜度公差是指仅对其图样上给定视图方向上倾斜度误差的控制要求。该公差带是间距等于公差值 t , 并且在给定方向上与基准面成给定角度的两平行平面所限定的区域。

2) 任意方向上线对面的倾斜度公差是指在任意方向上对其倾斜度误差具有相同精度的控制要求。该公差带是直径为公差值 t , 轴线与基准平面呈给定角度的圆柱面所限定的区域。

(4) 线对基准线的倾斜度公差 被测要素与基准要素均为直线(轴线), 根据零件结构不同, 两倾斜直线要素可以在同一平面内, 也可不在同一平面内, 其公差带分别为:

1) 在同一平面内线对线的倾斜度公差带是间距等于公差值 t , 且与基准线成给定角度的两平行平面所限定的区域。

2) 不在同一平面内线对线的倾斜度公差带也是间距等于公差值 t , 且与基准线成给定角度的两平行平面所限定的区域。但此时被测线应投影到包含基准轴线并平行于被测线的平面上, 公



差带则是相对于投影到该平面的线而言。

54. 怎样正确标注倾斜度公差？

答：根据零件上倾斜要素不同的结构特点和功能要求，应分别给出不同形式的倾斜度公差要求，图样上则应采用不同形式进行标注。

(1) 面对面的倾斜度公差标注 如图 103 所示的楔形键，该零件上、下表面与被联接件紧密配合，以实现扭矩负荷传递，因此要求其与联接件配合准确，为此给出倾斜度公差要求。

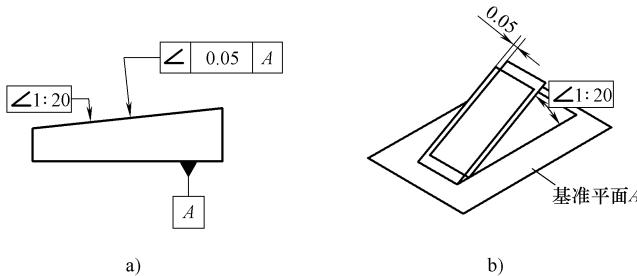


图 103 面对面倾斜度公差标注

标注时，首先用基准符号注出基准要素 A ，并用理论正确尺寸标注出被测要素与基准要素间给定的理论正确方向 $\angle 1:20$ （采用角度值或斜度值均可），并在公差框格内注出相应的基准字母 A ，然后将框格指引线箭头沿垂直被测要素方向指向被测要素轮廓线或其延长线上，如图 103a 所示。该要求表示：被测要素上表面对下表面倾斜度公差为 0.05mm 。公差带是间距等于公差值 0.05mm ，且与基准平面成 $1:20$ 斜度的两平行平面所限定的区域，如图 103b 所示。

(2) 面对线的倾斜度公差标注 如图 104 所示平面凸轮，该零件左侧斜面绕 $\phi 20\text{mm}$ 轴线旋转，斜面上各位置处随之产生轴向位置变动，用以驱动零件轴向位移。为保持位移精度，图样上给出斜平面对轴线倾斜度公差。

标注时，首先用理论正确尺寸 75° 注出两要素间给定方向，

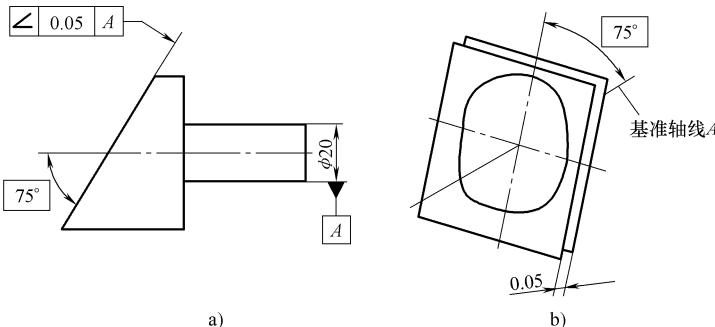


图 104 面对线的倾斜度公差标注

再用基准符号对准 $\phi 20\text{mm}$ 轴的尺寸位置，注出基准轴线 A ，并在公差框格内注出相应的基准字母，然后将框格指引线箭头沿垂直被测要素方向指向被测轮廓线或其延长线上，如图 104a 所示。该要求表示：被测斜平面对基准轴线 A 倾斜度公差为 0.05mm 。公差带是间距等于公差值 0.05mm ，且与基准轴线成 75° 的两平行平面所限定的区域，如图 104b 所示。

(3) 线对面的倾斜度公差标注 根据零件功能要求不同，有以下两种不同形式。

1) 给定方向上线对面的倾斜度公差标注。如图 105a 所示的孔板，为保持该零件上 $\phi 8\text{mm}$ 孔在视图给定方向上与基准平面 A 间 75° 夹角正确方向，图中给出倾斜度公差要求。

标注时，首先用理论正确尺寸注出两要素间夹角尺寸 75° ，并用基准符号标注出基准平面 A ，在公差框格内注出相应的基准字母，然后将框格指引线箭头与被测孔的尺寸线对齐，如图 105a 所示。该要求表示：在视图给定方向上， $\phi 8\text{mm}$ 孔的轴线在对基准平面 A 夹角 75° 方向上的倾斜度公差为 0.05mm 。公差带是间距等于公差值 0.05mm ，且与基准平面成 75° 角的两平行平面所限定的区域，如图 105b 所示。



2) 任意方向上线对面的倾斜度公差标注。图 105c 所示的柴油机预燃室上的 $\phi 10\text{mm}$ 燃气喷孔，工作时燃气沿该孔喷入燃烧室，其沿任意方向上的误差均将影响其工作性能。为此，图样上给出任意方向上线对面的倾斜度公差。

标注时，首先用理论正确尺寸 60° 注出两要素间的夹角尺寸，并用基准符号注出基准平面 A 和 B （由此确定被测要素的理论正确位置），同时在公差框格内注出相应基准字母，在公差值前加注“ ϕ ”，然后将框格指引线箭头与被测孔的尺寸线对齐，如图 105c 所示。该要求表示： $\phi 10\text{mm}$ 孔的轴线在任意方向上相对基准平面 A 呈给定夹角 60° 且与基准平面 B 平行方位的倾斜度公差为 $\phi 0.05\text{mm}$ 。公差带是直径为公差值 0.05mm ，其轴线与基准平面 B 平行，且与基准平面 A 呈 60° 角的圆柱面所限定的区域，如图 105d 所示。

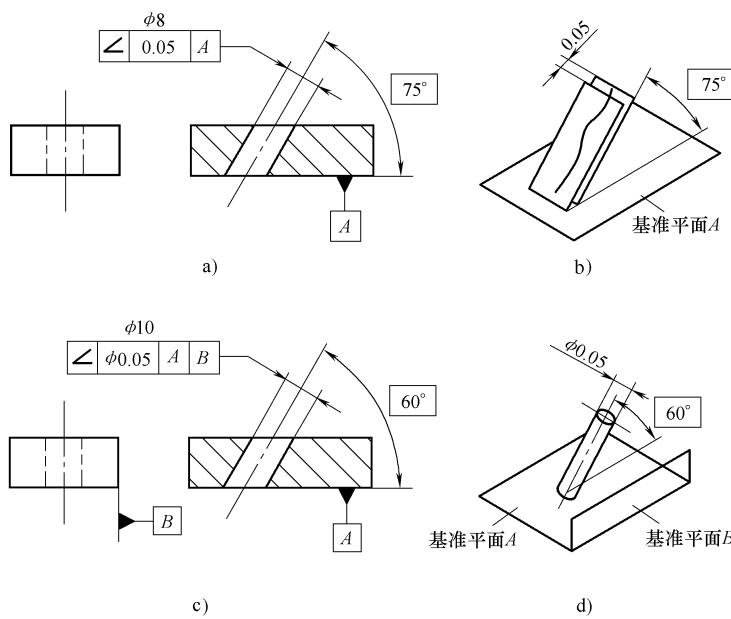


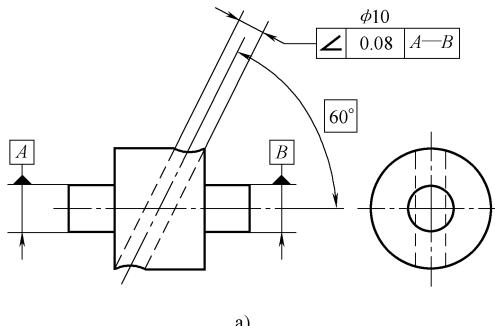
图 105 线对面的倾斜度公差标注



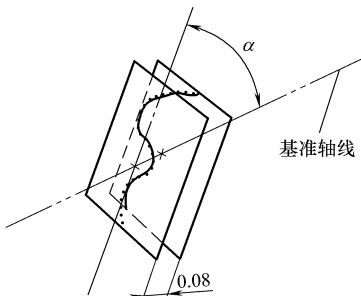
(4) 线对线的倾斜度公差标注 零件上呈一定夹角的线与线的要素很多，根据其结构几何特征可分为以下两种形式。

1) 在同一平面内线对线的倾斜度公差标注 被测线与基准线为在同一平面内的相交直线。如图 106 所示，图中要求 $\phi 10\text{mm}$ 孔的轴线相对 “A—B” 公共轴线间保持 60° 夹角的正确位置。 $\phi 10\text{mm}$ 孔的轴线与 “A—B” 公共轴线位于同一平面内。

标注时，首先用理论正确尺寸 60° 注出两轴线间夹角尺寸，并将基准符号与基准要素尺寸线对齐，注出基准轴线，并在公差框格内注出相应的基准字母，然后将框格指引线箭头与被测孔尺寸线对齐，如图 106a 所示。该要求表示：被测孔 $\phi 10\text{mm}$ 轴线对公共基准轴线 A—B 的倾斜度公差为 0.08mm 。被测实际轴线应



a)



b)

图 106 在同一平面内线对线倾斜度公差标注



限定在间距等于 0.08mm 的两平行平面之间。该两平行平面按理论正确角度 60° 倾斜于公共基准轴线 “A—B”，如图 106b 所示。

2) 不在同一平面内的线对线倾斜度公差标注。被测线与基准线为一空间角度线。两线不在同一平面内，故不相交。如图 107 所示的柱塞销上加工有一与 $\phi 60$ mm 轴线成 60° 夹角的斜孔 $\phi 18$ mm，且该孔与 $\phi 60$ mm 轴线不在同一平面上。为保持两轴线间的正确方向，故给出倾斜度公差要求。

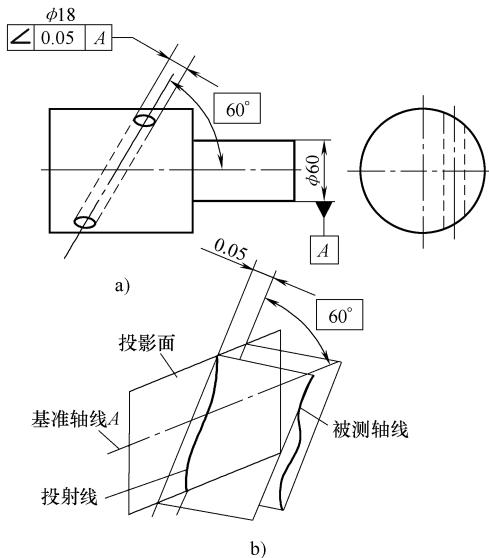


图 107 不在同一平面内的线对线的倾斜度公差标注

标注时，先用理论正确尺寸注出两轴线间的夹角 60° ，再用基准符号注出基准轴线，并在公差框格内注出基准字母，然后将框格指引线箭头与被测要素尺寸线对齐，如图 107a 所示。该要求表示： $\phi 18$ mm 孔的轴线对 $\phi 60$ mm 轴线倾斜度公差为 0.05mm。公差带是间距等于公差值 0.05mm，且与基准轴线成给定角度 60° 的两平行平面所限定的区域。该公差带是对被测轴线投影到



包含基准轴线，且平行于被测轴线的投影面的投射线而言，如图 107b 所示。

55. 怎样选择倾斜度公差值？

答：如同前述平行度和垂直度一样，倾斜度与其同属于方向公差，因此，选择倾斜度公差也可以按同样方法考虑，且国家标准给出了与平行度、垂直度相同的公差值（见表 10）。生产中应根据零件的功能要求，选择适当公差等级来确定倾斜度公差。

倾斜度公差数系中主参数应按零件夹角方向被测要素最大长度尺寸确定，如图 108 所示。被测要素为平面时，其主参数应为在斜角方向上最大直线尺寸 L （图 108a）；被测要素为轴线时，其主参数应为在斜角方向上轴线最大长度尺寸 L （图 108b）。

应当指出：零件上倾斜要素加工时难度较大，受设备精度、加工工艺方法及操作技术水平的影响，难以确定某种加工方法可以达到的公差等级，生产中可根据具体情况分析，在选择倾斜度公差值时应予以适当考虑。

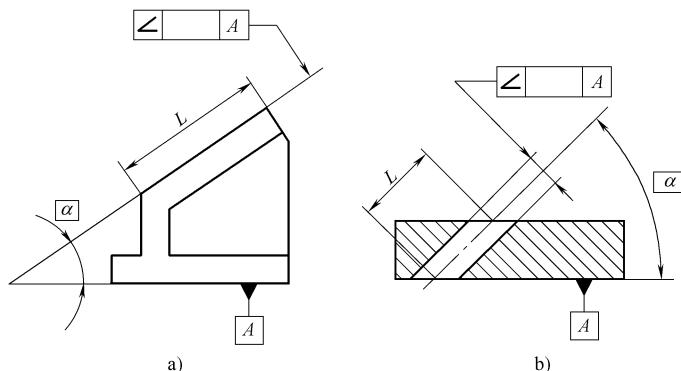


图 108 倾斜度公差值系主参数

位置公差

56. 什么是位置公差？位置公差分为哪些特征项目？

答：关联实际要素相对于基准体系给定的理想位置所允许的变动全量，称为位置公差。

位置公差用于控制工件上被测实际要素相对于基准要素确定的理想位置的误差变动范围。基准的理想位置是由基准体系的理论正确尺寸确定。按工件上关联要素间位置关系特征，位置公差可分为以下三种几何特征项目。

(1) 同轴度 用于限定被测实际轴线相对于在同一直线上的基准轴线（即理论正确尺寸为0）的误差变动。

(2) 对称度 用于限定被测中心面（线）相对于在同一平面（直线）的基准中心面（线）（即理论正确尺寸为0）的误差变动。

(3) 位置度 用于限定被测实际要素相对于基准体系由理论正确尺寸所确定的基准要素的误差变动。

57. 什么是同轴度？怎样正确标注同轴度公差？

答：同轴度是表示两个轴线保持在同一直线的状况，即通常所说的共轴状况。

同轴度公差是被测实际轴线相对于基准轴线所允许的最大变动量。

零件上同轴位置的要素很多，如图109所示。中间齿轮轴上定位圆柱面轴线与齿轮支承圆柱面轴线间（图109a）、衬套内孔轴线与外圆柱面轴线间（图109b）、曲轴飞轮连接锥面轴线与主轴颈轴线间（图109c）及箱体支承孔各轴线间（图109d）等。

各种零件结构形式虽然不同，但其同轴关系几何特征都完全

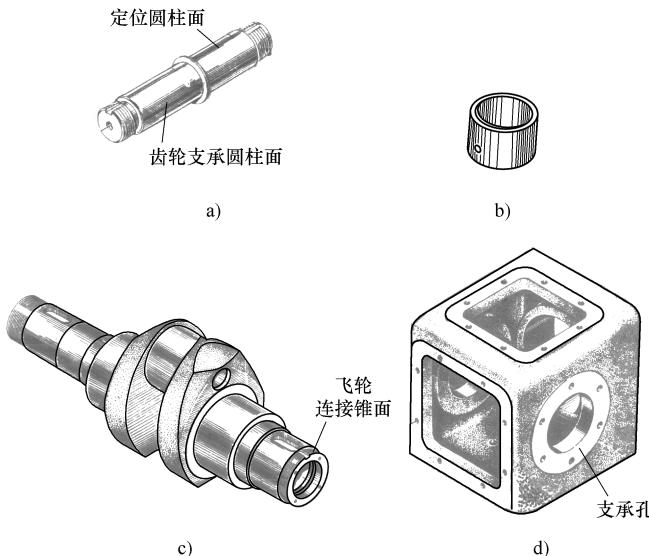


图 109 零件上同轴位置要素

一样。因此，控制同轴度误差变动范围的公差带形式只有一种，即直径为公差值 t ，且与基准轴线同轴的圆柱面所限定的区域。

同轴要素结构形式多种多样，其功能要求也各不相同，为此应给出不同形式的同轴度公差要求，且采用不同方法进行标注。

应当指出：无论哪种形式的同轴度公差要求，其被测与基准要素均为中心要素（轴线），故在标注时框格指引线箭头和基准符号均应与相应的尺寸线对齐。

(1) 单一基准要素同轴度公差标注 基准要素为单一轴线要素。如图 110 所示的中间齿轮轴座用于支承中间齿轮，为保证安装在其上的中间齿轮与齿轮系相关齿轮间正确啮合，必须使其安装位置正确。该零件上 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面作为安装定位面，而 $\phi 32\text{mm}$ 圆柱面是中间齿轮回转中心面，因而必须保持两轴线间同轴，才能保证其正确的啮合位置，故给出同轴度公差。

标注时，首先与基准要素尺寸线对齐注出基准符号，以确定



基准轴线，并在公差框格内注出相应的基准字母，同时在公差值前加注“ ϕ ”，然后将框格指引线箭头与被测要素尺寸线 $\phi 32\text{mm}$ 对齐，注明被测轴线，如图 110a 所示。该要求表示： $\phi 32\text{mm}$ 圆柱面轴线对 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面轴线同轴度公差为 $\phi 0.03\text{mm}$ 。公差带为以 $\phi 30\text{mm}$ 轴线为中心，公差值 0.03mm 为直径的圆柱面所限定的区域，如图 110b 所示。

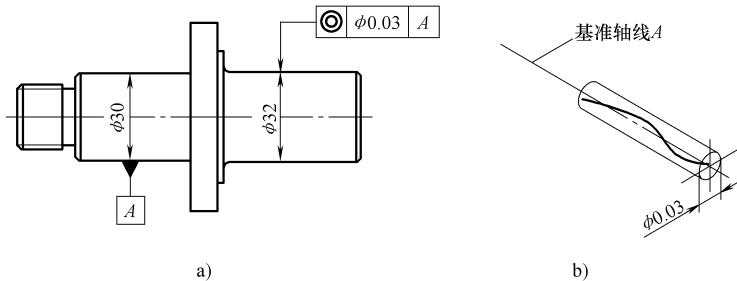


图 110 单一基准要素同轴度公差标注

(2) 带有辅助基准的同轴度公差标注 当基准轴线长度很小，难以确定其轴向方位时，采用第二基准作为辅助基准，以确定基准轴线的方位。图 111 所示中间齿轮轴座的功能要求与上述图 110 所示完全相同，但其结构上不同。主要区别是 $\phi 30\text{mm}$ 定位圆柱面长度很小，只能起到中心点位置定位作用，而轴向方向难以确定。实际应用时，通过中间法兰固定，且以法兰左侧面定位。因而定位轴颈的方向即由该定位面确定。为此，在给出同轴度公差时，可选定该定位面作为第二基准，以确定基准轴线的方位。

标注时，仍按图 110 所示方法进行标注，只是增加第二基准要素 B ，如图 111a 所示。该要求表示：以 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面轴线作为中心定位，与基准平面 B 垂直的线作为基准轴线， $\phi 25\text{mm}$ 轴线对该轴线的同轴度公差为 $\phi 0.03\text{mm}$ 。公差带为以过 $\phi 30\text{mm}$ 中心与 B 面垂直的直线为轴线，直径为公差值 0.03mm 的圆柱面所限定的区域，如图 111b 所示。

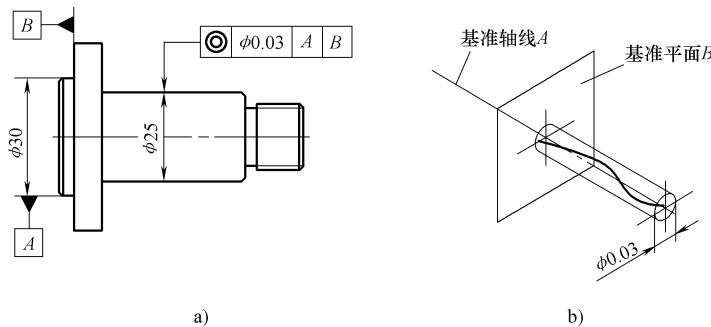


图 111 带有辅助基准的同轴度公差标注

(3) 公共轴线为基准的同轴度公差标注 以两个或两个以上轴线要素的公共轴线作为基准要素。如图 112 所示传动轴工作时，两端 $\phi 25\text{mm}$ 轴颈支承在箱体轴承上，安装在中间 $\phi 30\text{mm}$ 上的传动件绕其旋转。该旋转中心应为两端轴线构成的公共轴线。为保证传动件运转正常，防止因偏心产生振动，故给出同轴度公差。

标注时，首先应注出 A 、 B 两基准要素，并在公差框格内注出公共基准字母“ $A—B$ ”，同时应在公差值前加注“ ϕ ”，然后将框格指引线箭头与被测要素尺寸线对齐，如图 112a 所示。该要求表示： $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面轴线对 A 、 B 两圆柱面公共基准轴线的同轴度公差为 $\phi 0.02\text{mm}$ 。公差带是直径为公差值 0.02mm ，且轴线与“ $A—B$ ”公共基准轴线同轴的圆柱面所限定的区域，如图 112b 所示。

由多个轴线要素构成的公共轴线基准给出的同轴度公差要求。如图 113 所示内燃机曲轴箱，该零件上有三个 $\phi 100\text{mm}$ 座孔，用于支承曲轴。为保持各轴颈均匀的配合间隙，要求各孔轴线同轴。从其功能要求来看，三孔轴线同时组成曲轴回转中心，而各孔对该中心保持同轴，故给出以三孔公共轴线为基准，各孔对其同轴度公差的要求。

标注方式与上述两要素公共基准基本相同，主要区别是将各

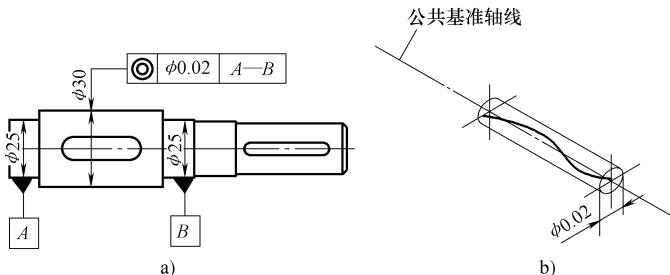


图 112 公共轴线为基准的同轴度公差标注

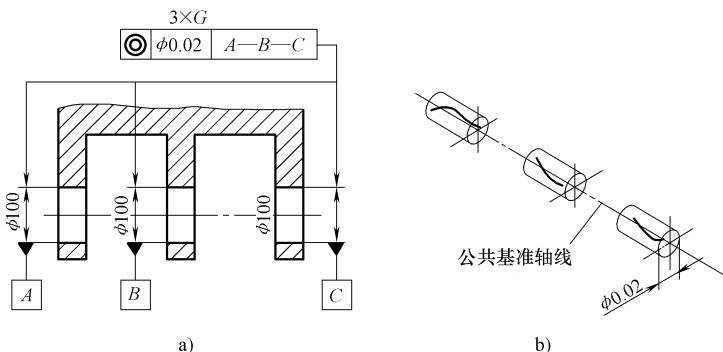


图 113 多要素公共基准的同轴度公差标注

基准要素均用基准符号注出，并在公差框格内注出公共基准字母“ $A—B—C$ ”，由框格引出多条指引线分别指向被测要素，同时在公差框格上方注出数量“ $3 \times G$ ”，如图 113a 所示。该要求表示：三处 $\phi 100\text{mm}$ 孔的轴线对公共基准轴线“ $A—B—C$ ”的同轴度公差为 $\phi 0.02\text{mm}$ ，如图 113b 所示。

同心度是表示在同一平面内两个圆的圆心保持在同一点的状况。

同心度公差是被测实际圆心相对于基准圆心所允许的最大变动量，其公差带为直径为公差值 t 且与基准圆心同心的圆所限定的区域。

同心度与同轴度为同类性质的公差要求，故在图样上采用同一几何特征代号，标注方法也完全相同。



58. 怎样选择同轴度公差值?

答：同轴度公差值同样是根据零件的功能要求，并考虑零件的结构、刚性及加工经济性等因素的影响，按照国家标准中规定的同轴度公差值数系，选取适宜的公差等级来确定。

国家标准同轴度公差值数系，见表 12，其主参数均指被测要素的直径，如图 114 所示。

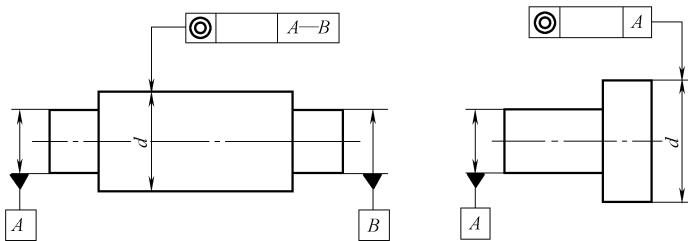


图 114 同轴度公差值数系主参数

表 12 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差值数系

主参数 $d(D)、B、L$ /mm	公 差 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 1	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60
$>1\sim 3$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	20	40	60	120
$>3\sim 6$	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	25	50	80	150
$>6\sim 10$	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	30	60	100	200
$>10\sim 18$	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	40	80	120	250
$>18\sim 30$	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	50	100	150	300
$>30\sim 50$	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60	120	200	400
$>50\sim 120$	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80	150	250	500
$>120\sim 250$	2	3	5	8	12	20	30	50	100	200	300	600
$>250\sim 500$	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120	250	400	800
$>500\sim 800$	3	5	8	12	20	30	50	80	150	300	500	1000
$>800\sim 1250$	4	6	10	15	25	40	60	100	200	400	600	1200



(续)

主参数 $d(D)、B、L$ /mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm											
>1250~2000	5	8	12	20	30	50	80	120	250	500	800	1500
>2000~3150	6	10	15	25	40	60	100	150	300	600	1000	2000
>3150~5000	8	12	20	30	50	80	120	200	400	800	1200	2500
>5000~8000	10	15	25	40	60	100	150	250	500	1000	1500	3000
>8000~10000	12	20	30	50	80	120	200	300	600	1200	2000	4000

应当指出：选择同轴度公差等级时，除主参数外，其他参数（如长度、被测与基准要素之间相对位置等）及加工的难易程度，均对其影响较大，应予以考虑（详见后述）。

常用加工方法可达到的同轴度公差等级，见表 13。

表 13 常用加工方法可达到的同轴度、圆跳动公差等级

加工方法		公差等级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
车、镗	加工孔				○	○	○	○	○	○			
	加工轴			○	○	○	○	○	○				
铰					○	○	○						
磨	孔		○	○	○	○	○	○					
	轴	○	○	○	○	○	○						
珩磨			○	○	○								
研磨	○	○	○										

59. 什么是对称度？对称度公差有哪些不同形式的要求？

答：对称度是表示零件上两对称中心要素保持在同一平面内的状况。

对称度公差是被测实际中心要素相对于基准中心要素所允许的最大变动量。

零件上对称结构要素很多，如图 115 所示，导向块上下两平面与中间凹槽上下面间（图 115a）、滑块两侧导向面与中间轴轴



线间（图 115b）、轴上键槽两侧面与轴线间（图 115c 左侧）、轴上轴线与定位孔轴线间（图 115c 右侧）等。

根据零件的结构特点和功能要求不同，对其对称度公差提出多种不同形式的要求。

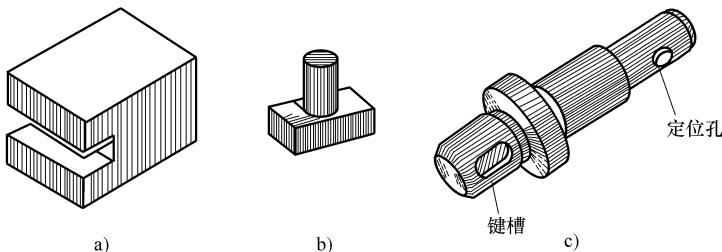


图 115 零件上对称结构要素

(1) 中心面对基准中心面的对称度公差 是指被测要素与基准要素均为平面所构成的对称中心面（图 115a）。公差带是间距等于公差值 t ，且相对于基准的中心平面对称配置的两平行平面所限定的区域。

(2) 中心面对基准轴线的对称度公差 是指被测要素是由两平面所构成的中心面，基准要素则为一轴线（图 115b、图 115c 左侧）。公差带是间距等于公差值 t ，且相对于基准轴线对称配置的两平行平面所限定的区域。

(3) 轴线对基准平面的对称度公差 是指被测要素为一轴线，基准要素为两平行平面构成的中心面。其公差带是间距等于公差值，且相对于基准中心对称配置的两平行平面所限定的区域。

(4) 轴线对基准轴线的对称度公差 是指被测与基准要素均为轴线（图 115c 右侧）。公差带是间距等于公差值 t ，且相对于基准轴线对称配置的两平行平面所限定的区域。

60. 怎样正确标注对称度公差？

答：根据零件的结构形式和功能要求不同，对零件上对称要素间应给出不同形式的对称度公差要求，并采用不同方法标注在



图样上。

由于对称度公差要求所指被测与基准要素均为中心要素(对称中心面或轴线)，因此标注时被测要素框格指引线箭头与基准符号均应与相应要素的尺寸线对齐，且其公差带均为与基准中心要素对称分布的两平行平面之间的区域，故公差值前均不带“ ϕ ”字样。

(1) 中心面对基准中心面的对称度公差标注 如图 116 所示导向块，该零件上下两平面与中间凹槽上下两平面的中心平面位于同一平面上，用以保持与其相配零件的正确安装位置，为此给出对称度公差要求。

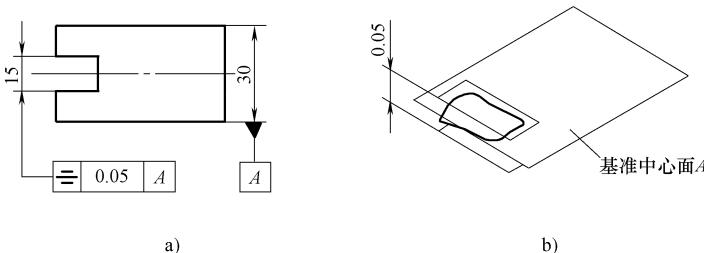


图 116 中心面对基准中心面的对称度公差标注

标注时，首先将基准符号与基准要素尺寸线对齐，注出基准中心面 A ，然后将框格指引线箭头对准被测要素尺寸线，如图 116a 所示。该要求表示：距离 15mm 凹槽两平面的对称中心面对距离为 30mm 两平面的对称中心面的对称度公差为 0.05mm。公差带是间距等于公差值 0.05mm，且相对于基准中心面对称分布的两平行平面所限定的区域，如图 116b 所示。

(2) 中心面对基准轴线的对称度公差标注 如图 117 所示传动轴上加工有 12mm 键槽，其通过平键与传动件相连，用于传递负荷。为保证键联结位置正确，以便于装配和键侧面受载均匀，故给出键槽两侧面中心面对轴线对称度公差。

标注时，首先将基准符号对准基准要素尺寸线位置，注出基

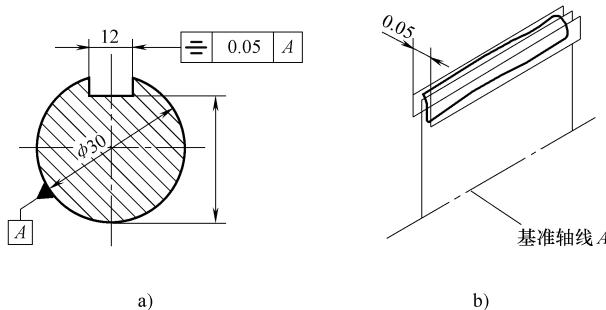


图 117 中心面对基准轴线的对称度公差标注

准轴线 A，并在框格内注出相应的基准字母，然后将框格指引线箭头与被测要素尺寸线对齐，如图 117a 所示。该要求表示：键槽两侧面中心面对 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面轴线对称度公差为 0.05mm 。公差带是间距等于公差值 0.05mm ，且相对于基准轴线 A 对称配置的两平行平面所限定的区域，如图 117b 所示。

(3) 轴线对基准平面对称度公差标注 如图 118 所示滑块，该零件上左右两侧 12mm 导向槽的中心面与中间 $\phi 12\text{mm}$ 圆孔轴线位于同一平面上，为保持其安装位置正确，要给出对称度公差要求。

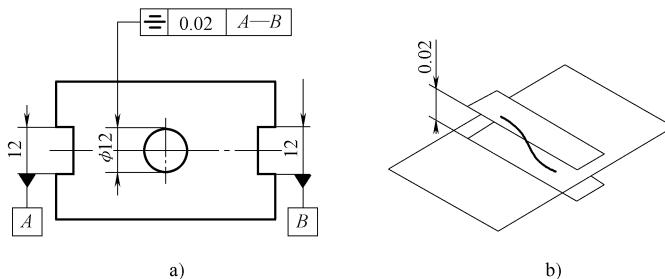


图 118 轴线对基准平面对称度公差标注

标注时，首先考虑两侧定位位置是由两中心要素的公共基准所确定，故应按公共基准方法，分别注出 A、B 基准要素，并在



框格内注出公共基准字母“ $A-B$ ”，然后沿垂直方向将框格指引线箭头对准被测要素尺寸线，如图 118a 所示。该要求表示： $\phi 12\text{mm}$ 圆柱面轴线对“ $A-B$ ”公共基准中心面对称度公差为 0.02mm 。公差带是间距等于公差值 0.02mm ，且相对于“ $A-B$ ”公共基准中心面对称配置的两平行平面所限定的区域，如图 118b 所示。

(4) 轴线对基准轴线的对称度公差标注 如图 119 所示轴，零件上 $\phi 10\text{mm}$ 孔为一定位孔，为保证联接件安装位置正确，图 119a 中给出两轴线间对称度公差要求。

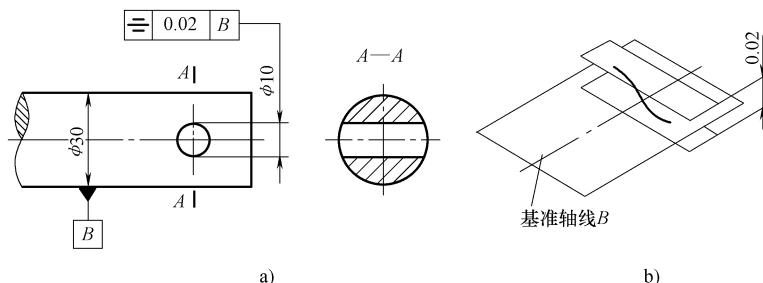


图 119 轴线对基准轴线的对称度公差标注

标注时应将基准符号及框格指引线箭头分别与基准和被测尺寸线对齐，如图 119a 所示。该要求表示： $\phi 10\text{mm}$ 孔的轴线对 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面轴线对称度公差为 0.02mm 。公差带是间距等于公差值 0.02mm ，且相对于基准轴线 B 对称配置的两平行平面所限定的区域，如图 119b 所示。

61. 怎样选择对称度公差值？

答：对称度公差值是根据零件的功能要求，并考虑零件的结构及加工经济性等因素的影响，按照国家标准中规定的对称度公差值数系，选取适宜的公差等级来确定。

国家标准对称度公差值与上述同轴度完全相同（见表 12），其主参数是指被测平行平面要素的宽度 B （图 120a、b）或对称轴线要素的间距 L （图 120c）。

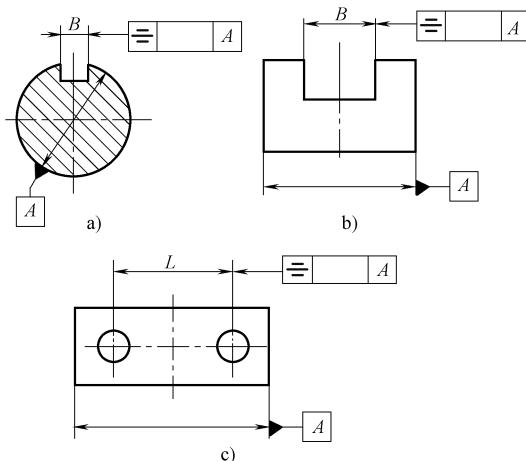


图 120 对称度公差值系主参数

除主参数外，零件上其他参数（如中心平面的长度等）及加工方法均对其产生较大影响，应予以考虑（详见后述）。

62. 什么是理论正确尺寸？它是怎样标注的？

答：图样上给出的不带有公差绝对正确的尺寸，称为理论正确尺寸。它可以是线性尺寸，也可以是角度尺寸。

理论正确尺寸是用来确定被测要素的位置、轮廓或角度的理想正确状态。通常用于轮廓度（见 43、45 题）、倾斜度（见 54 题）和位置度公差要求标注中。在位置度公差标注中，理论正确尺寸是确定各要素理想位置的尺寸。

标准规定：理论正确尺寸应围以矩形框格标注。如图 121a 所示，被测要素斜平面相对于基准平面 A 的位置是由线性尺寸 [15] 和角度尺寸 [105°] 所确定，故该两尺寸应为理论正确尺寸，在各尺寸外均围以矩形框格来表示。

图样标注时，对含有 0°、90°、180° 或 0 距离的理论正确尺寸可省略不标注。如图 121b 所示， $3 \times \phi 10\text{mm}$ 孔的轴线理想位置，除由图中标注出的孔间位置的理论正确尺寸 [25] 外，同时三

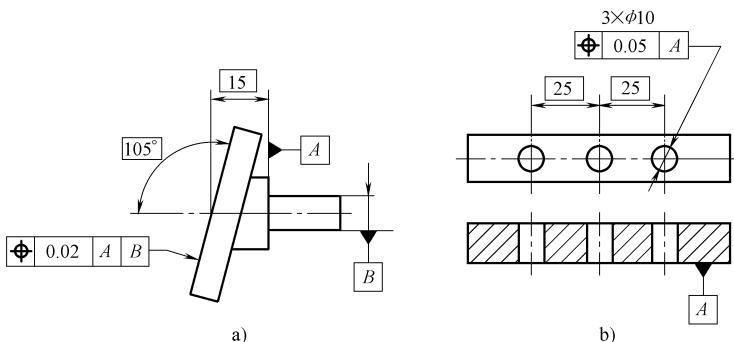


图 121 理论正确尺寸的标注

孔轴线应垂直于基准平面 A （即夹角为 90° ），沿水平方向上三轴线应在同一平面内（即 0 距离），其均为确定被测轴线理想位置的理论正确尺寸，按标准规定均可省略不标注。

理论正确尺寸通常是以基准要素为依据给出相应位置尺寸，只有在采用几何图框要求时，没有基准要求（详见 65 题）。

63. 什么是位置度？位置度公差有哪些不同形式的要求？

答：位置度是表示零件上的点、线或面要素相对其理想位置的准确程度。

位置度公差是被测要素的实际位置，相对于理想位置所允许的最大变动量。该理想位置是由理论正确尺寸所确定的。

如前所述，所有零件都是由点、线、面要素有机地组合构成，相互之间都有给定的位置，如图 122 所示。摇臂凸头下端 $S\phi 15mm$ 球面的球心是由上端定位面定位（图 122a）；盖板上三个 $\phi 10mm$ 孔的轴线是由中间转子轴孔定位（图 122b）；V 形柴油机气缸套座孔轴线则是由主轴承孔轴线定位（图 122c）。各种零件根据其功能要求，对其上各要素间要求保持一定的位置精度，故给出位置度公差要求。

各种零件的结构形式和功能要求各不相同，其上各要素间位置度公差要求的形式也各不相同。由于位置度公差都是理论正确

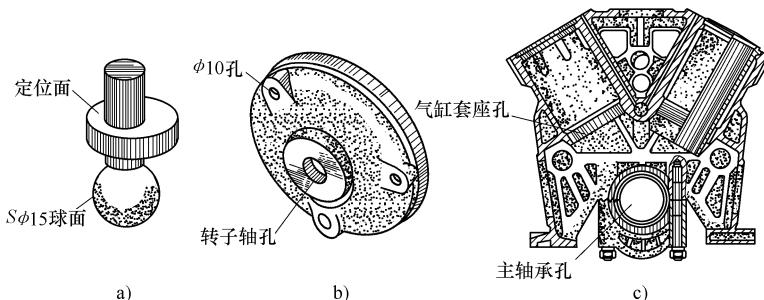


图 122 零件上的点、线、面要素的定位

位置确定的，故其公差带均为相对于理论正确位置对称分布。

(1) 点的位置度公差 被测要素为点，常见有以下两种形式。

1) 在给定平面内点的位置度公差，其公差带是直径为公差值 t 的圆所限定的区域。该圆公差带的中心点位置是由基准的理论正确尺寸所确定。标注时应在公差值前加注“ ϕ ”。

2) 在空间上点的位置度公差，其公差带是直径为公差值 t 的球内的区域。该球公差带中心点的位置，是由相对于基准的理论正确尺寸所确定。标注时应在公差值前加注“ $S\phi$ ”。

(2) 线的位置度公差 被测要素为一直线（中心线），根据零件功能要求不同，线的位置度公差要求有以下几种形式。

1) 给定在一个方向上线的位置度公差，其公差带是以线的理想位置为中心对称配置的两平行直线所限定的区域。该中心线的位置是由相对于基准的理论正确尺寸确定，公差带的宽度方向是框格指引线箭头所指的方向。

2) 给定在相互垂直的两个方向上线的位置度公差，其公差带是两对相互垂直的，间距分别等于公差值 t_1 和 t_2 ，且以线的理想位置为中心对称配置的两平行平面所限定的区域。两公差值可以不相等或相等。该线的理想位置是由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定的。

3) 在任意方向上线的位置度公差，其公差带是直径为公差



值 t 的圆柱面所限定的区域。公差带的轴线位置是由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定。标注时应在公差值前加“ ϕ ”。

(3) 面的位置度公差 被测要素为一平面或中心平面, 其公差带是间距等于公差值 t , 且以面的理想位置为中心, 对称配置的两平行平面所限定的区域。面的理想位置是由相对于三基面体系的理论正确尺寸确定。

64. 怎样正确标注位置度公差?

答: 位置度公差要求应用范围较广, 且要求形式多种多样, 标注方法也各不相同, 为便于生产中正确应用, 国家标准 GB/T 13319—2003《产品几何量技术规范 (GPS) 几何公差 位置度公差注法》对位置度公差的应用进行了详细规定。

位置度公差标注主要由理论正确尺寸、公差框格和基准等部分构成。

图样上需给出位置度公差要求时, 首先应根据零件的结构特点和功能要求, 确定基准要素, 然后通过理论正确尺寸确定被测要素的理想位置, 根据精度要求给出适当的公差带。

根据零件结构特点和功能要求不同, 常见有以下不同形式的位置度公差标注。

(1) 点的位置度公差标注

1) 给定平面内点的位置度公差标注。图 123 所示为仪表板上的仪表安装座孔, 中间 $\phi 40\text{mm}$ 为仪表体的定位孔, $2 \times \phi 8$ 为两个固定螺栓孔。为保证安装时仪表装入后, 两侧螺栓孔与仪表上的孔位置对正, 以顺利安装, 故给出位置度公差要求。标注时, 首先确定以 $\phi 40\text{mm}$ 孔的中心为基准, 然后相对于基准用理论正确尺寸 [32] 确定两个被测孔的理想位置。公差框格内除应注出相应基准字母外, 还应在公差值前加注“ ϕ ”, 框格指引线箭头应指向被测孔的直径尺寸线方向, 如图 123a 所示。该要求表示: 两个 $\phi 8\text{mm}$ 孔相对于由基准 A 和理论正确尺寸 [32] 所确定的理想位置的位置度公差为 $\phi 0.5\text{mm}$ 。由于仪表板厚度较薄, 可不考虑

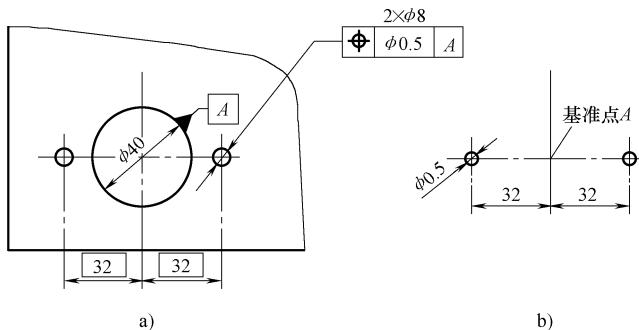


图 123 给定平面内点的位置度公差标注

各孔轴向误差的影响，因而可视为给定平面内各圆心点的位置度要求。故其公差带为以 $\phi 40\text{mm}$ 圆心点和过此点三孔圆心在同一直线上（即为零距离，不标注）作为基准，由理论正确尺寸 [32] 所确定的理想中心点为圆心，直径为公差值 0.5mm 圆所限定的区域，如图 123b 所示。

2) 空间点的位置度公差标注。图 124 所示的摇臂凸头是内燃机气门驱动机构中的一个传递件，其上定位面 A 与球面中心间的相对位置，直接影响整个传动链配合尺寸精度，为此图中给

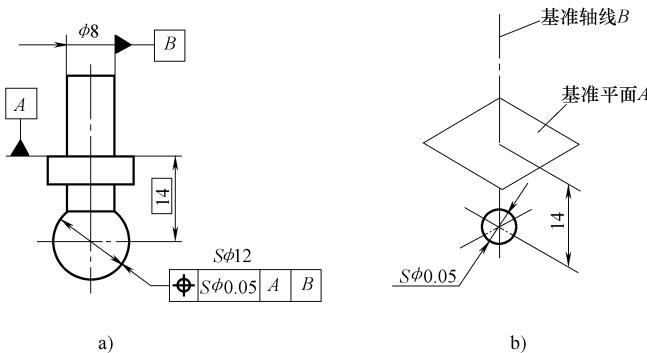


图 124 空间点的位置度公差标注



出 $S\phi 12\text{mm}$ 球心位置度公差要求。标注时，首先选择安装定位平面 A 为第一基准，同时选用 $\phi 8\text{mm}$ 轴线 B 作为第二基准，由此建立起三基面体系，然后通过理论正确尺寸 **[14]**、确定球心点的理想位置。公差框格内除按顺序注出第一、二基准字母外，还应在公差值前加注“ $S\phi$ ”，框格指引线箭头应指向球面直径尺寸线位置处，如图 124a 所示。该要求表示： $S\phi 12\text{mm}$ 球心点相对其理想位置的位置度公差为 $S\phi 0.05\text{mm}$ 。公差带是直径为公差值 0.05mm 的球面所限定的区域，该球面公差带的中心点位置，是由相对于基准 A 、 B 的理论正确尺寸 **[14]** 确定，如图 124b 所示。

(2) 线的位置度公差标注

1) 给定一个方向上线的位置度公差标注。图 125 所示游标卡尺尺身上的分度刻线，为长度尺寸测量基准，故其刻线位置应有很高的精度要求，因刻线均在尺身同一平面上，故应给出给定一个方向位置度公差要求。标注时应首先确定固定量爪测量面为基准 A ，然后注出被测刻线相对于基准 A 的理论正确尺寸 **[10]**、

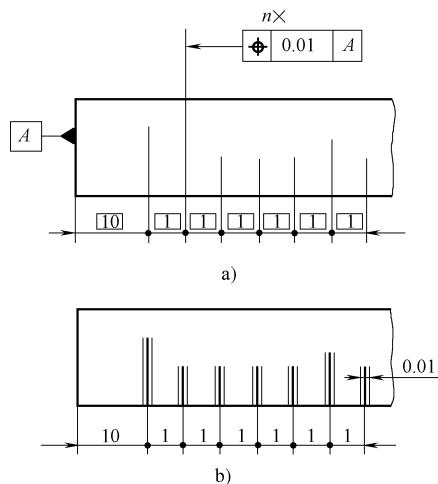


图 125 给定一个方向上线的位置度公差标注



1, 由此确定被测要素的理想位置。框格指引线箭头应垂直于被测线方向指向刻线（或其延长线）上。因被测刻线有 n 条，且有相同的位置度公差要求，故在框格上方注出“ $n \times$ ”字样，如图 125a 所示。该要求表示：每条刻线相对其理想位置的位置度公差为 0.01mm。公差带是间距等于给定的公差值 0.01mm，且以理论位置为中心对称分布的两平行直线所限定的区域，公差带的宽度方向是框格指引线箭头所指的方向，如图 125b 所示。

应当指出：当理论正确尺寸排成尺寸链时（图 125a），位置度公差不积累。

2) 给定在相互垂直的两个方向上线的位置度公差标注。图 126 所示的阀体上 $2 \times \phi 25\text{mm}$ 两油孔轴线位于 $\phi 30\text{mm}$ 滑阀座孔轴线垂直相交位置，其功用是通过装在 $\phi 30\text{mm}$ 孔内的滑阀轴向位移，使滑阀上的油槽与 $2 \times \phi 25\text{mm}$ 油孔相对位置变动，以控制油路的启闭。由于油路启闭时间要求严格，故两个 $\phi 25\text{mm}$ 孔沿

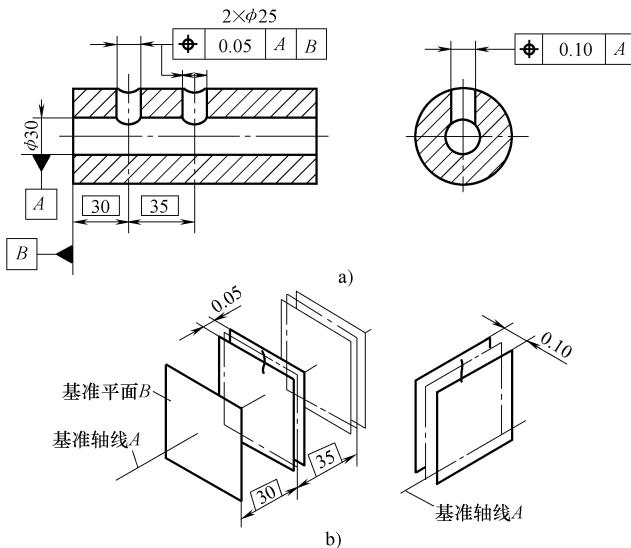


图 126 给定在相互垂直的两个方向上线的位置度公差标注



$\phi 30\text{mm}$ 孔的轴向位置有严格要求；而沿垂直方向位置误差，仅对油路方位产生影响，故要求其位置精度较低。为此图 126a 中给出 $2 \times \phi 25\text{mm}$ 孔在两个垂直方向上不同的位置度公差要求。标注时首先确定 $\phi 30\text{mm}$ 孔的轴线 A 为第一基准，并以滑阀轴向定位的端面 B 作为第二基准，由此建立起三基面体系，然后依据基准注出理论正确尺寸 [30]、[35]（两轴线夹角 90° 可不标注），确定被测要素的理想位置。在图样上两个垂直方向视图上分别用框格标注出两个相互垂直方向上各自位置度公差（两个公差值可以不相等或相等），如图 126a 所示。该要求表示，两个 $\phi 25\text{mm}$ 油孔轴线相对其理想位置沿 $\phi 30\text{mm}$ 轴线方向位置度公差为 0.05mm ；沿与其垂直方向上位置度公差为 0.10mm 。公差带为两相互垂直的间距分别等于公差值 0.05mm 和 0.10mm ，且以轴线的理想位置为中心对称配置的两平行平面所限定的区域，如图 126b 所示。

3) 在任意方向上线的位置度公差标注。图 127 所示端盖用于轴端密封，为保证安装时 $4 \times \phi 10\text{mm}$ 孔与箱体上相应孔对正，以便于安装，故给出位置度公差要求。标注时考虑到孔位置是以 $\phi 56\text{mm}$ 凸缘定位，故首先选定 $\phi 56\text{mm}$ 轴线第一基准，然后以端盖左端面 B 为第二基准，由此建立起三基面体系（见题 22）。由此依据所给出的理论正确尺寸 $[\phi 80]$ ，确定各孔轴线的理想位置。

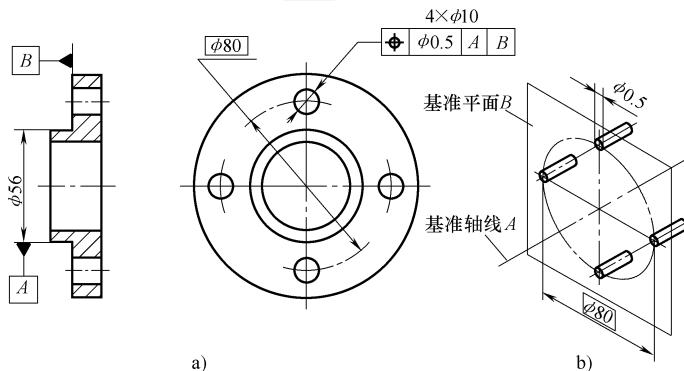


图 127 在任意方向上线的位置度公差标注



标准中规定：被注位置度公差要素，除另有说明，通常为均匀分布。故图 127 所示四个 $\phi 10\text{mm}$ 孔的轴线理想位置应在 $\boxed{\phi 80}$ 均匀分布位置上。

公差框格可标注在任一孔处，指引线应指向该孔直径尺寸线处，框格内注出相应的基准字母 A、B，且在公差值前加注“ ϕ ”。在框格上方注出“ $4 \times \phi 10$ ”，表示直径为 10mm 的四个孔具有相同的位置度公差要求，如图 127a 所示。该要求表示，四个 $\phi 10\text{mm}$ 孔的轴线应各自限定在直径等于 $\phi 0.5\text{mm}$ 的圆柱面内。该圆柱面的轴线应处于由基准 A、B 所建立起的三基面体系和理论正确尺寸 $\boxed{\phi 80}$ 确定的各孔轴线的理论正确位置上，如图 127b 所示。

生产中经常遇到两相交轴线位置精度要求，如内燃机机体上气缸套座孔与主轴承座孔间；锥齿轮箱体上两传动轴轴线间等。为满足其功能要求，都要求保持两轴线间严格的位置精度，故通常采用给出两轴线间任意方向上的位置度公差来保证其所需装配精度要求。如图 128 所示锥齿轮箱体，该零件上 A、B 及上端座孔用于支承两锥齿轮传动轴，为保证锥齿轮间正确啮合运转，其传动轴支承座孔轴线间必须保持正确的垂直相交位置，为此给出任意方向上位置度公差要求。标注时首先确定一个传动轴支承座

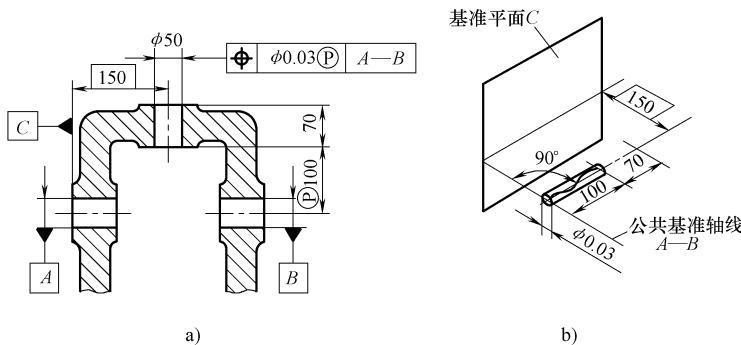


图 128 两轴线间任意方向上的位置度公差标注



孔 A 和 B 的公共轴线和端面 C 作为基准，并通过注出的理论正确尺寸 **[150]** 和省略注出的两轴线夹角 **[90°]**、相交（零距离），确定被测轴线的理想位置。

由于两轴线间的位置精度对两锥齿轮正确啮合的影响是在两轴线交点处，而不仅仅局限于 $\phi 50\text{mm}$ 孔的实体范围内，故应采用延伸公差带注出延伸尺寸 100mm ，框格内注出公共基准字母“**A—B**”和基准平面 **C**，且在公差值前加注“**φ**”，公差值后加注延伸公差带代号 **(P)**，框格指引线箭头指向 $\phi 50\text{mm}$ 孔的尺寸线位置处，如图 128a 所示。该要求表示： $\phi 50\text{mm}$ 孔的轴线在延伸局部范围尺寸 100mm 范围内对“**A—B**”公共轴线和基准平面 **C** 的位置度公差为 $\phi 0.03\text{mm}$ 。公差带是直径为 0.03mm 圆柱面所限定的区域，公差带范围应延伸至 100mm 范围内。公差带的轴线位置是由相对于“**A—B**”公共基准轴线和基准平面 **C** 建立起的三基面体系与理论正确尺寸 **[150]** 以及省略注出的 **[90°]**、0 距离所确定，如图 128b 所示。

(3) 面的位置度公差标注 图 129 所示花键的功用是联接传动件（如齿轮等）以传递运动。为此，要求相配合的内外花键间各键齿应准确、精密地配合在一起，故对各键齿中心面给出位置度公差要求。标注时，首先确定以定心圆 $\phi 32\text{mm}$ 的轴线为基准，以六键齿均布位置角度为理论正确尺寸（**[60°]** 可省略不注），确定各键齿中心面的理想位置，公差框格内注出相应的基准字母 **A**，并在框格上方注明“**6×8h8**”字样，框格指引线箭头指向键齿宽尺寸线位置，如图 129a 所示。该要求表示：该花键六个键齿中心面，相对于基准轴线 **A** 和理论正确尺寸 **[60°]** 所确定的理想位置的位置度公差为 0.02mm 。公差带是间距等于公差值 0.02mm ，且以面的理想位置为中心对称配置的两平行平面所限定的区域，面的理想位置是由基准轴线 **A** 和各键齿间未注理论正确尺寸 **[60°]** 所确定的。各齿有相同的位置度公差要求，如图



129b 所示。

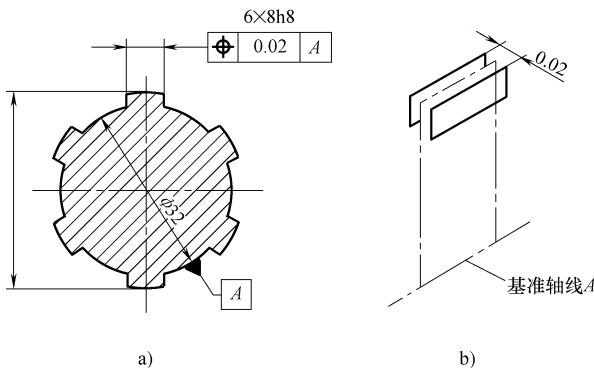


图 129 面的位置度公差标注

65. 什么是几何图框？什么是复合位置度要求？

答：多个要素由理论正确尺寸确定其相互间的理想位置，而与其他要素无基准关系时所构成的理想几何图形，称为几何图框。图 130 所示盖板用于箱体端面观察口的密封，为便于装配，其上八个 $\phi 10$ mm 螺钉孔要求与箱体上相应螺孔位置对正即可，而其整体位置对其他要素间没有控制要求。为此图样上仅注出理

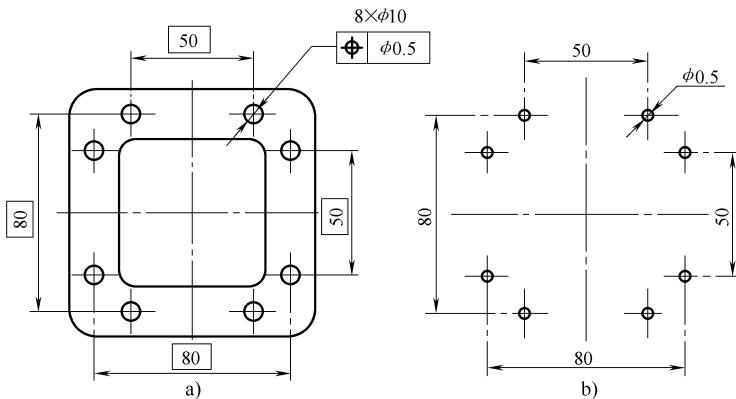


图 130 几何图框



论正确尺寸 50 、 80 ，并给出各孔轴线位置度公差 $\phi 0.5\text{mm}$ 要求，如图 130a 所示。该要求表示：相对于由理论正确尺寸 50 、 80 构成理想图框确定的各孔轴线的理想位置，其位置度公差为 $\phi 0.5\text{mm}$ ，如图 130b 所示。该几何图框相对零件上其他要素间的位置没有控制要求，故其可刚性地（即几何图框不变）产生位置变动，仍可满足装配要求。

如果一组要素相互间的位置关系用位置度公差标注，且整组要素（几何图框）相对其他要素也用位置度公差定位，称为复合位置度要求。

复合位置度要求对一组要素内的位置度公差和整组要素的位置度公差，应分别满足各自要求。

复合位置度公差标注可由上、下两个框格组成：上框格给出整组要素的定位公差；下框格给出一组要素内各要素相互间的位置度公差。图 131 所示模板用于加工孔时定位，根据被加工件功能需要，其上四个 $\phi 8\text{mm}$ 孔相互之间具有严格的位置精度要求，故应给出严格的位置度精度要求；而四孔相对于两端面基准 B 、 C 也有一定的定位位置精度要求，为此图中给出复合位置度公差要求。标注时，首先注出四孔间的理论正确尺寸 30 、 35 ，构成该组要素的理想图框。然后注出基准要素 A 、 B 、 C 三相互垂直平面，建立起三基面体系。同时又注出理论正确尺寸 15 ，以确定四孔要素相对于三基面体系定位理想位置。公差框格由上、下两个框格组成：上框格给出整组要素的定位公差 $\phi 0.2\text{mm}$ ，同时注出基准字母 A 、 B 、 C ；下框格则给出四孔要素内各要素相互间位置度公差 $\phi 0.05\text{mm}$ 。为保持孔的轴线与底面 A 垂直，故同时注出基准字母 A ，如图 131a 所示。

上述标注的两项位置度公差应分别满足要求，即下框格标注要求表示：四孔的每一个孔的实际轴线，应位于直径 0.05mm 圆柱形公差带内。各位置度公差带相互间以 30 、 35 理论正确位置

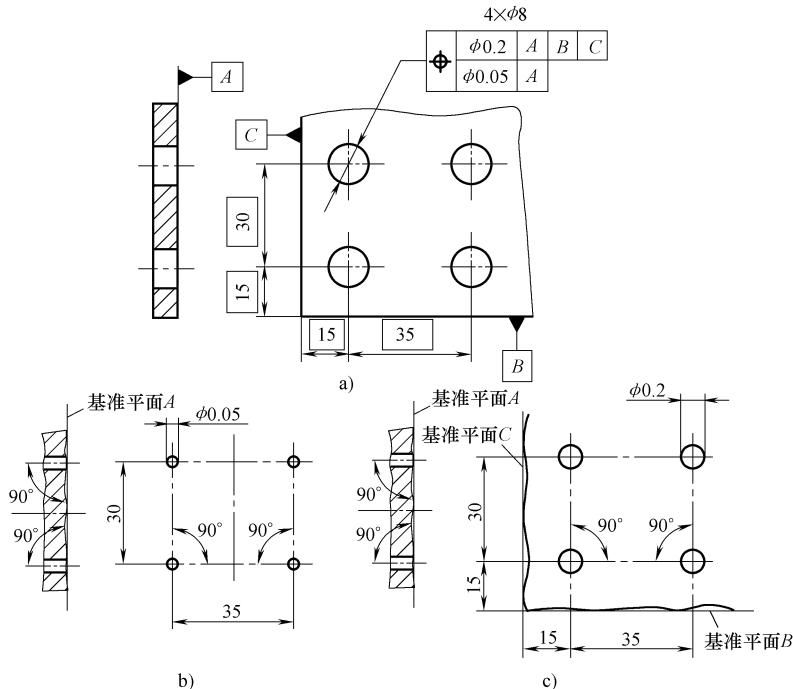


图 131 复合位置度公差标注

定位，并垂直于基准平面 A ，如图 131b 所示。上框格标注要求表示：四孔的第一个孔的实际轴线还应位于直径 0.2mm 的圆柱形公差带内，其位置度公差带应以 A 、 B 、 C 三个基准平面所建立起的三基面体系及理论正确尺寸定位。

上述要求表示：四孔实际轴线的位置，只允许在几何图框所确定的 $\phi 0.05\text{mm}$ 公差带范围内变动，而整组要素可以刚性地（几何图框不变）在定位公差带 $\phi 0.2\text{mm}$ 范围内变动，如图 131c 所示。

应当指出：标准中不再推荐以前一直沿用的一组要素用位置度公差标注，而整组要素的位置又用尺寸公差定位的复合标注，如图 132 所示，而应采用标准中规定的复合位置度公差注法（图 131a）。

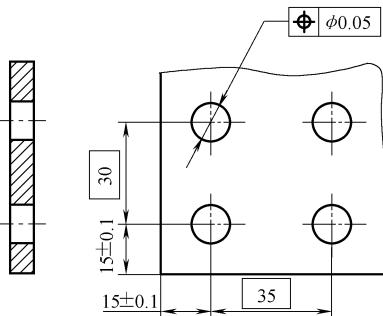


图 132 不再采用的尺寸公
差定位复合注法

66. 怎样选择位置度公差值?

答：选择位置度公差值应根据零件的功能要求和结构、刚性状况，并考虑加工的经济性来确定。由于位置度公差要求涉及面较广，要求形式多种多样，控制范围和精度差异较大，难以像前述其他位置公差那样按照主参数尺寸分段，规定不同公差等级的公差值数系。生产中只能根据设计要求自行选择适宜的公差值。

为使自行选择的位置度公差值统一规范，标准中规定了位置度公差值数系。选择公差时应按表 14 中规定数值确定。

表 14 位置度公差值数系 (单位: μm)

1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
1×10^n	1.2×10^n	1.5×10^n	2×10^n	2.5×10^n	3×10^n	4×10^n	5×10^n	6×10^n	8×10^n

注: n 为正整数。

跳 动 公 差

67. 什么是跳动公差？跳动公差分为哪些特征项目？

答：回转表面在限定的测量面内相对于基准轴线所允许的变动全量，称为跳动公差。

跳动公差是以测量方法为基础的一种几何公差要求。它既能满足工件功能需求，又方便生产中检测，因此在生产中广泛应用。根据检测要求不同，跳动公差可分为以下两种特征项目。

(1) 圆跳动 用于限定被测表面在固定测量面内相对基准轴线的误差变动。根据测量方向不同又分为：径向圆跳动（测量方向垂直于基准轴线）、轴向圆跳动（测量方向与基准轴线平行）和斜向圆跳动（测量方向与基准轴线成给定角度）。

(2) 全跳动 用于限定整个被测表面相对基准轴线的误差变动。根据测量方向不同又分为：径向全跳动（测量方向垂直于基准轴线）和轴向全跳动（测量方向与基准轴线平行）。

68. 什么是圆跳动？圆跳动公差有哪些不同形式的要求？

答：圆跳动是表示零件上的回转表面，在限定的测量面内，相对于基准轴线保持固定位置的状况。

圆跳动公差是被测要素绕基准轴线无轴向移动地旋转一周，在限定的测量面内所允许的最大变动量 t 。圆跳动公差适用于被测要素上每一个不同测量位置。

圆跳动可能包括圆度、同轴度、垂直度或平面度误差，这些误差的总值不能超过给定的圆跳动公差。由此可见，圆跳动公差综合地控制了被测要素形状和位置公差。由于它是某一特定的测量方式建立的位置公差要求，实际生产中便于检测，故应用较为广泛。

圆跳动公差根据其测量方向不同，可分为以下三种不同



形式。

(1) 径向圆跳动 是指测量面垂直于基准轴线，即误差测量方向垂直于基准轴线，其公差带是垂直于基准轴线的任一测量面内，半径差为公差值 t 且圆心在基准轴线上的两同心圆所限定的区域。

(2) 轴向圆跳动 是指测量面为与基准轴线同轴的圆柱面，即误差测量方向平行于基准轴线，其公差带是在与基准同轴的任一半径位置的测量圆柱面上，间距等于公差值 t 的两圆所限定的区域。

(3) 斜向圆跳动 是指测量面为与基准轴线同轴的圆锥面，即误差测量方向与基准轴线成一定的夹角，其公差带是与基准同轴的任一测量圆锥面上，间距等于公差值 t 的两圆所限定的区域。除另有规定，其测量方向应与被测面垂直。

69. 怎样正确标注圆跳动公差？怎样选择圆跳动公差值？

答：圆跳动公差的基准要素均为一轴线，可以是单一要素的轴线，也可以是由多个要素构成的公共基准轴线。根据零件的功能要求和结构特点选定好基准后，再按其不同要求给出不同形式的圆跳动公差要求。

(1) 径向圆跳动公差标注 图 133 所示水泵轴用于驱动水泵叶轮工作，两侧 $\phi 35\text{mm}$ 轴颈通过滚动轴承支承在泵体上，其外伸端 $\phi 30\text{mm}$ 轴颈上装有水泵叶轮，由两支承间传动齿轮驱动其运转。为保证叶轮转动平稳，故应给出圆跳动公差要求。标注时，首先确定以两侧支承轴颈的公共轴线 “ $A—B$ ” 为基准，然后在框格内注出公共基准字母 “ $A—B$ ”，框格指引线箭头指向被测表面 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面轮廓线处，且与尺寸线明显地分开，如图 133a 所示。该要求表示： $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面对 “ $A—B$ ” 公共基准轴线径向圆跳动公差为 0.03mm ，即 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱面绕 “ $A—B$ ” 公共基准轴线做无轴向移动地回转一周时，在其全长范围内任一测量面内的径向圆跳动量均不得大于公差值 0.03mm 。公差带是在垂直于公共基准轴线的任一测量面内，半径差为公差值



0.03mm，且圆心在公共基准轴线上的两同心圆所限定的区域，如图 133b 所示。

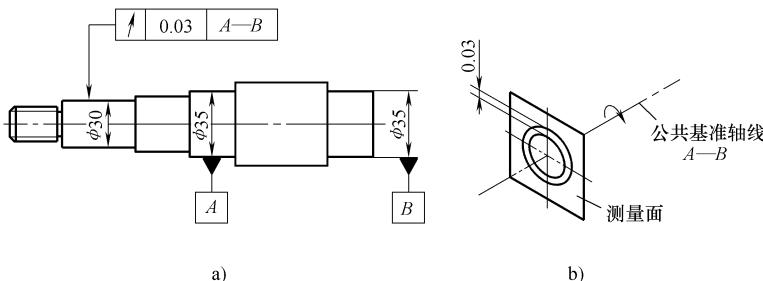


图 133 径向圆跳动公差标注

(2) 轴向圆跳动公差标注 图 134 所示飞轮固定在曲轴外伸端，工作时随曲轴一起高速旋转，以保持发动机匀速运转。为保持运转过程中平稳转动，不产生摆动现象，故给出轴向圆跳动公差要求。标注时首先确定其安装孔 $\phi 95$ mm 的轴线为基准，在框格内相应注出基准字母 A ，框格指引线箭头应指向被测端面轮廓线或其延长线上，且与尺寸线明显地分开，如图 134a 所示。该要求表示：飞轮端面对基准轴线 A 的轴向圆跳动公差为 0.08mm。公差带是与基准轴线 A 同轴的任意半径位置的测量圆柱面上，间距等于公差值 0.08mm 的两圆所限定的区域，如图 134b 所示。

(3) 斜向圆跳动公差标注 图 135 所示曲轴驱动端为一圆锥配合面，用于与联接器相连，为保持联接器运转平稳，故给出斜向圆跳动公差要求。标注时首先确定主轴颈公共基准轴线 “ $A—B$ ”，并在框格内注出相应的基准字母，公差框格指引线箭头应垂直圆锥素线方向指向轮廓线（图 135a）。该要求表示：被测圆锥面在任一测量圆锥面上斜向圆跳动公差为 0.02mm。公差带是在与基准同轴的任一测量圆锥面上，间距等于公差值 0.02mm 的两圆所限定的区域，如图 135b 所示。

标准中规定：除另有规定，其测量方向应与被测面垂直。

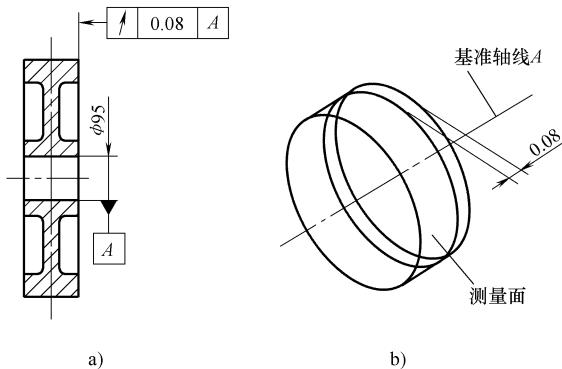


图 134 轴向圆跳动公差标注

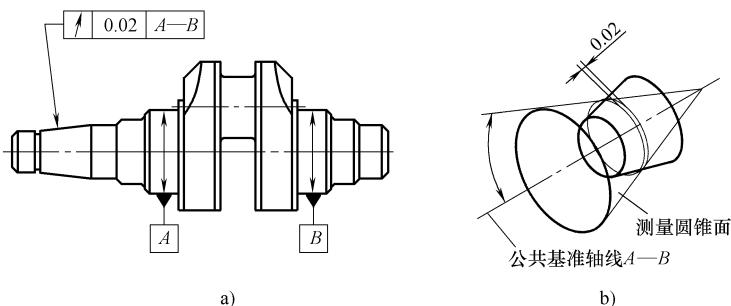


图 135 斜向圆跳动公差标注

根据零件的功能要求和构造特点，也可给定测量方向，如图 136 所示一曲线回转表面，给出框格指引线箭头方向与基准轴线间的夹角 60° ，表示给定测量方向（图 136a），其测量面则为给定夹角圆锥面，公差带是与基准同轴的给定角度的测量圆锥面上，间距等于公差值 0.1mm 两圆所限定的区域，如图 136b 所示。

圆跳动公差值同样是根据零件的功能要求，按照国家标准中规定的圆跳动公差值数系（见表 12），选取适宜的公差等级来确定。

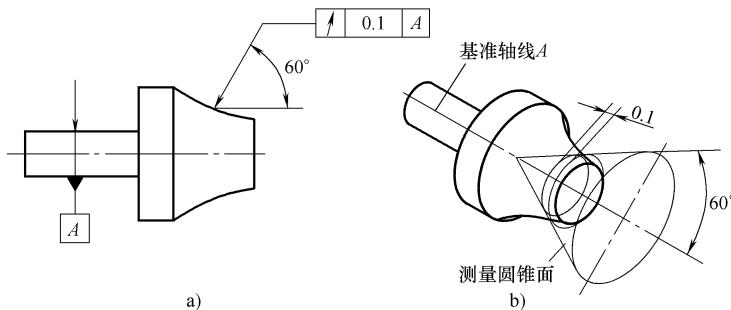


图 136 给定测量方向斜向圆跳动公差标注

圆跳动公差值数系主参数，如图 137 所示。其中径向圆跳动主参数为被测圆柱面的直径 d （图 137a、b）；轴向圆跳动主参数为被测端面最大测量圆柱面直径 d （图 137c）；斜向圆跳动主参数为被测圆锥面大小头直径的平均值，即 $d = \frac{d_1+d_2}{2}$ （图 137d）。

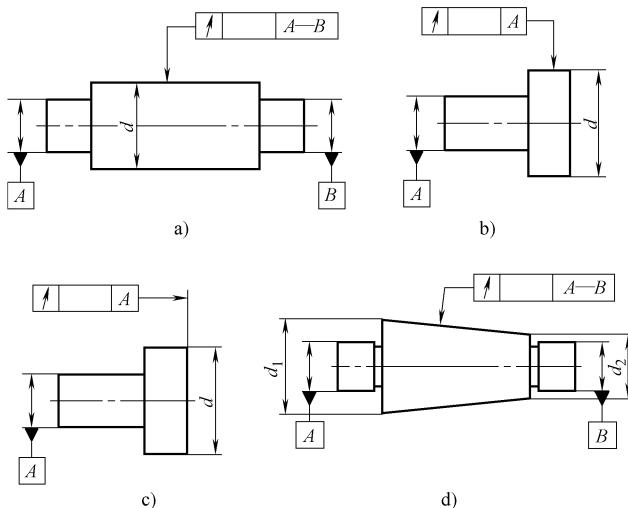


图 137 圆跳动公差值数系主参数



70. 什么是全跳动？全跳动公差有哪些不同形式的要求？

答：全跳动是表示零件上的回转表面绕基准轴线旋转时，沿整个被测表面上的跳动量。

全跳动公差是被测要素绕基准轴线连续旋转，并在测量仪器与工件间同时做轴向或径向的相对移动时所允许的最大跳动量。

全跳动根据测量方向不同，可分为以下两种形式。

(1) 径向全跳动 是指测量方向垂直于基准轴线，被测要素绕基准轴线做若干次旋转，并且测量仪器与工件间同时做轴向相对移动时，被测要素上各点间的示值差。公差带是半径差为公差值 t ，且与基准同轴的两圆柱面所限定的区域。

(2) 轴向全跳动 是指测量方向平行于基准轴线，被测要素绕基准轴线做若干次旋转，并且测量仪器与工件间做径向相对移动时，被测要素上各点间的示值差。公差带是间距等于公差值 t 且与基准垂直的两平行平面所限定的区域。

71. 怎样正确标注全跳动公差？怎样选择全跳动公差值？

答：全跳动公差标注与上述圆跳动基本相同，首先确定基准轴线，然后按其不同要求给出不同形式的全跳动公差要求。

(1) 径向全跳动公差标注 图 138 所示曲轴，用于内燃机曲柄连杆机构，其中间主轴颈支承在主轴承上，工作时绕其高速转动，为保证与轴承座孔间均匀间隙，故给出径向全跳动要求。标注时首先确定以两端主轴颈轴线构成的公共轴线“ $A-B$ ”作为基准，在公差框格内注出该公共轴线基准字母“ $A-B$ ”，框格指引线箭头应垂直被测表面轮廓线，在框格上方注出“ $5\times$ ”字样，表示中间五个主轴颈均有相同要求，如图 138a 所示。该要求表示：曲轴中间五个主轴颈相对于公共基准轴线全跳动公差为 0.03mm 。公差带是半径差为公差值 0.03mm ，且与公共基准轴线“ $A-B$ ”同轴的两圆柱面所限定的区域，如图 138b 所示。

(2) 轴向全跳动公差标注 图 139 所示支座用于支承斜齿轮的中间轮，工作时其凸台端面承受齿轮轴向推力作用，为保持端面受力均匀，故给出轴向全跳动公差要求。标注时应首先确定

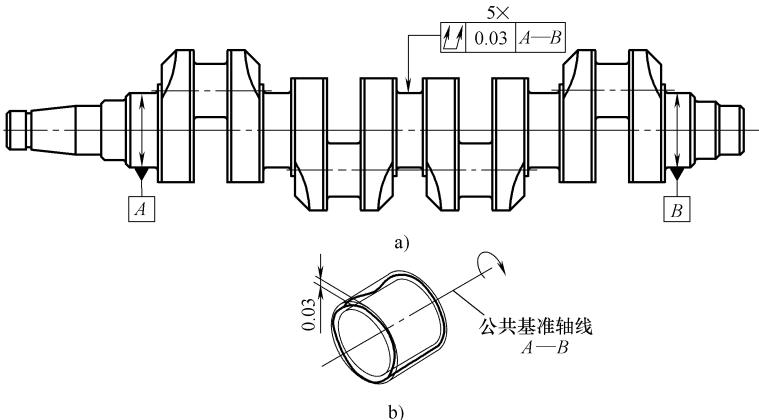


图 138 径向全跳动公差标注

以齿轮支承圆柱面的轴线 A 为基准，并在公差框格内注出相应的基准字母 A ，框格指引线箭头则应垂直指向被测表面轮廓线或其延长线上，如图 139a 所示。该要求表示：支座止推端面对基准轴线 A 全跳动公差为 0.02mm 。公差带是间距等于公差值 0.02mm ，且与基准垂直的两平行平面所限定的区域，如图 139b 所示。

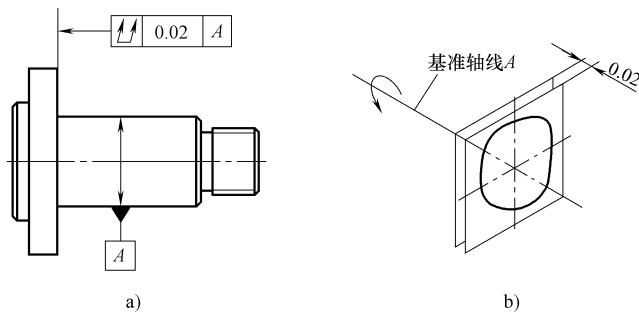


图 139 轴向全跳动公差标注

全跳动公差值的选择及公差值数系的主参数与前述圆跳动相同（见 69 题）。

公差原则

72. 什么是公差原则？它对生产有何重要意义？

答：用于确定尺寸（线性尺寸和角度尺寸）公差和几何公差之间相互关系的原则，称为公差原则。

如前所述，为满足零件的功能要求，图样上除给出尺寸公差要求外，同时还给出几何公差要求，以确定零件要素的大小、形状和位置特征。这些要求从不同角度影响着零件的精度和使用性能。它们之间既各有特性，又相互产生影响。要判断零件是否符合功能要求，就必须明确它们之间的内在联系和相互关系。

根据零件的功能要求和结构特点不同，对尺寸公差和几何公差间的影响关系，可以给出几种不同的要求，对此标准中规定了两大原则要求。

(1) 独立原则 图样上给定的每一个尺寸公差和几何公差要求均是独立的，应分别满足要求。独立原则是尺寸公差和几何公差相互关系遵循的基本原则。

(2) 相关要求 图样上给定的尺寸公差和几何公差之间相互关系，应遵循一些特定关系，以获得相互控制或补偿的目的。

根据零件的功能要求，标准中规定了四种相关要求。

- 1) 包容要求：由尺寸公差来控制几何公差。
- 2) 最大实体要求：由尺寸公差补偿给几何公差。
- 3) 最小实体要求：由几何公差补偿给尺寸公差。
- 4) 可逆要求：尺寸公差与几何公差相互补偿。

公差原则对生产具有重要意义。

1) 明确了图样上尺寸公差与几何公差之间的关系，统一了概念。

2) 在满足零件功能要求的前提下，采用相关要求可扩大零



件合格率，获得良好的经济效益。

3) 使设计、制造、检验工作统一，协调一致。

73. 什么是最大实体状态？什么是最大实体尺寸？什么是最大实体边界？

答：提取组成要素的局部尺寸位于极限尺寸，且使其具有最大实体时的状态，即材料最多的状态，称为最大实体状态。

确定要素最大实体状态的尺寸，称为最大实体尺寸。对外尺寸要素（如轴、凸台等）的最大实体尺寸为上极限尺寸；对内尺寸要素（如孔、槽等）的最大实体尺寸为下极限尺寸。

最大实体状态的理想形状的包容面，称为最大实体边界。

如图 140a 所示 $\phi 50^{+0.02}_{-0.05}$ mm 轴，为外尺寸要素，故其最大实体尺寸为上极限尺寸 $\phi 49.98$ mm。该轴最大实体边界为以 $\phi 49.98$ mm 为直径的理想圆柱面（图 140b）。

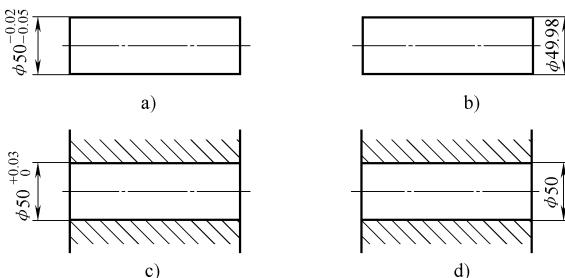


图 140 最大实体状态

如图 140c 所示 $\phi 50^{+0.03}_{-0.00}$ mm 孔，为内尺寸要素，故其最大实体尺寸为下极限尺寸 $\phi 50$ mm。该孔最大实体边界为以 $\phi 50$ mm 为直径的理想圆柱面（图 140d）。

74. 什么是最小实体状态？什么是最小实体尺寸？什么是最小实体边界？

答：提取组成要素的局部尺寸位于极限尺寸，且使其具有最小实体时的状态，即材料最少的状态，称为最小实体状态。

确定要素最小实体状态的尺寸，称为最小实体尺寸。对外尺



寸要素的最小实体尺寸为下极限尺寸；对内尺寸要素的最小实体尺寸为上极限尺寸。

最小实体状态的理想形状的包容面，称为最小实体边界。

如图 141a 所示 $\phi 50_{-0.05}^{+0.02}$ mm 轴，为外尺寸要素，故其最小实体尺寸为下极限尺寸 $\phi 49.95$ mm。该轴最小实体边界为以 $\phi 49.95$ mm 为直径的理想圆柱面（图 141b）。

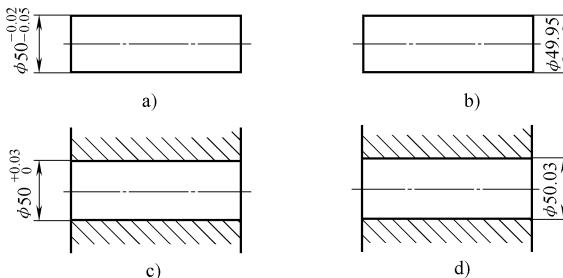


图 141 最小实体状态

如图 141c 所示 $\phi 50^{+0.03}_0$ mm 孔，为内尺寸要素，故其最小实体尺寸为上极限尺寸 $\phi 50.03$ mm。该孔最小实体边界为以 $\phi 50.03$ mm 为直径的理想圆柱面（图 141d）。

75. 什么是最 大 实 体 实 效 尺 寸？什么是最 大 实 体 实 效 状 态？什么是最 大 实 体 实 效 边 界？

答：最大实体实效尺寸是指要素的最大实体尺寸与其导出要素的几何公差共同作用所产生的尺寸。其中：

外尺寸要素的最大实体实效尺寸=最大实体尺寸+几何公差

内尺寸要素的最大实体实效尺寸=最大实体尺寸-几何公差

拟合要素的尺寸为最大实体实效尺寸时的状态，称为最大实体实效状态。

最大实体实效状态对应的极限包容面称为最大实体实效边界。

当几何公差是方向公差时，最大实体实效状态和最大实体实效边界受其方向所约束；当几何公差是位置公差时，最大实体实



效状态和最大实体实效边界受其位置所约束。

如图 142a 所示 $\phi 30_{-0.1}^{+0.1}$ mm 轴，给出该轴轴线直线度公差为 $\phi 0.03$ mm，其最大实体实效尺寸应为 $\phi 30\text{mm} + \phi 0.03\text{mm} = \phi 30.03\text{mm}$ 。故该轴最大实体实效边界为以 $\phi 30.03\text{mm}$ 为直径的理想圆柱面（图 142b）。

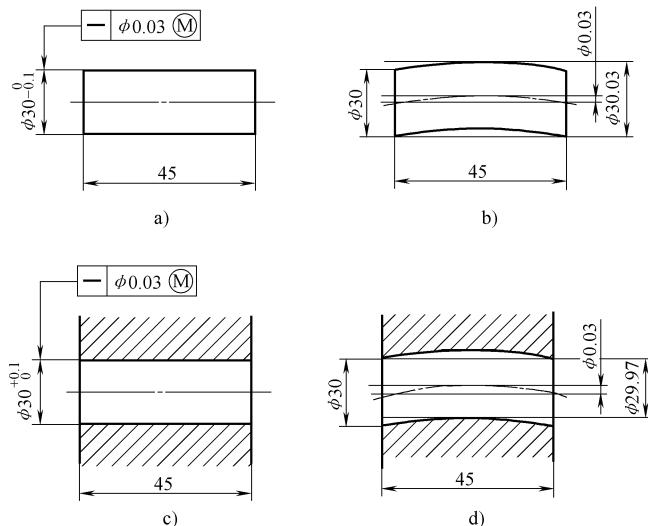


图 142 最大实体实效状态

如图 142c 所示 $\phi 30^{+0.1}_{-0.1}$ mm 孔，给出该孔轴线直线度公差为 $\phi 0.03$ mm，其最大实体实效尺寸应为 $\phi 30\text{mm} - \phi 0.03\text{mm} = \phi 29.97\text{mm}$ 。该孔最大实体实效边界为以 $\phi 29.97\text{mm}$ 为直径的理想圆柱面（图 142d）。

76. 什么是最小实体实效尺寸？什么是最小实体实效状态？什么是最小实体实效边界？

答：最小实体实效尺寸是指尺寸要素的最小实体尺寸与其导出要素的几何公差共同作用产生的尺寸。其中：

外尺寸要素的最小实体实效尺寸=最小实体尺寸-几何公差
内尺寸要素的最小实体实效尺寸=最小实体尺寸+几何公差



拟合要素的尺寸为最小实体实效尺寸时的状态，称为最小实体实效状态。

最小实体实效状态对应的极限包容面称为最小实体实效边界。

当几何公差是方向公差时，最小实体实效状态和最小实体实效边界受其方向约束；当几何公差是位置公差时，最小实体实效状态和最小实体实效边界受其位置所约束。

如图 143a 所示 $\phi 30_{-0.1}^0$ mm 轴，给出该轴轴线直线度公差为 $\phi 0.03$ mm，其最小实体实效尺寸应为 $\phi 29.9$ mm - $\phi 0.03$ mm = $\phi 29.87$ mm。故该轴最小实体实效边界为以 $\phi 29.87$ mm 为直径的理想圆柱面（图 143b）。

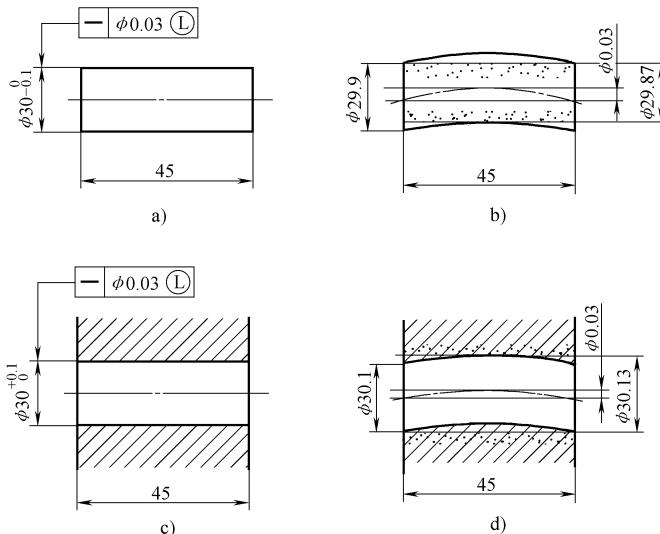


图 143 最小实体实效状态

如图 143c 所示 $\phi 30^{+0.1}_0$ mm 孔，给出该孔轴线直线度公差为 $\phi 0.03$ mm，其最小实体实效尺寸为 $\phi 30.1$ mm + $\phi 0.03$ mm = $\phi 30.13$ mm。该孔最小实体实效边界为以 $\phi 30.13$ mm 为直径的理想圆柱面（图 143d）。



77. 什么是独立原则？独立原则应用范围有哪些？

答：独立原则是指图样上给定的每一个尺寸（线性尺寸和角度尺寸）和几何（形状、方向或位置）要求均是独立的，应分别满足要求。

独立原则是尺寸公差和几何公差相互关系应遵循的基本原则。在图样上不加任何附加标注。

如图 144a 所示圆柱体，图样上给出直径尺寸及极限偏差为 $\phi 150_{-0.04}^0$ mm；同时又给出圆柱面素线的直线度公差 0.06mm，横截面圆度公差 0.02mm。图样上给出的所有尺寸公差和形状公差均无附加标注，故表示应遵循独立原则要求之规定，即图样中给出的线性尺寸公差 $\phi 150_{-0.04}^0$ mm 仅控制要素的局部实际尺寸（两点法测量），即实际轴的局部实际尺寸必须位于 $\phi 149.96$ mm 和 $\phi 150$ mm 之间，线性尺寸公差（0.04mm）不控制要素本身的形状误差（图 144b）。

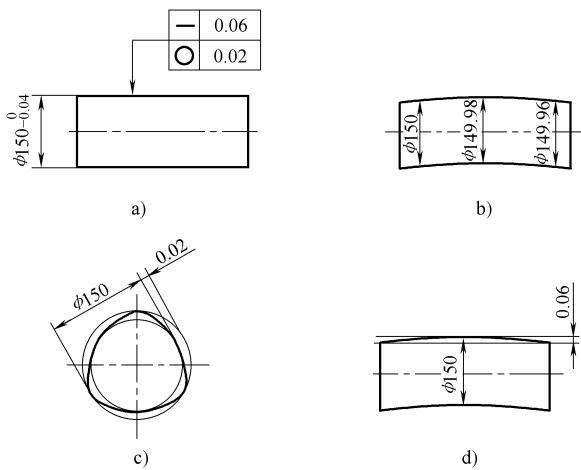


图 144 独立原则

不论被测要素的实际尺寸如何，独立原则下的被测要素均应位于给定的几何公差带内。如图 144c 所示，虽然尺寸已达到极



限尺寸 150mm，仍允许 0.02mm 的圆度误差，又如图 144d 所示，虽然尺寸已达到极限尺寸 150mm，仍允许存在 0.06mm 的直线度误差。

综上所述：轴的局部实际尺寸应在上极限尺寸与下极限尺寸之间，轴的形状误差应在给定的形状公差之内。不论轴的局部尺寸如何，其形状误差允许达到给定的公差值。

独立原则是机械设计中处理尺寸公差和几何公差时应遵守的基本原则，检测时应分别进行，以满足各自的要求。独立原则没有综合控制边界，只有各自的控制极限。

独立原则作为图样标注时通用的统一概念，使图样要求具有统一解释，可适用于一切要素的尺寸和公差标注，并可根据零件的功能要求，分别给出适宜的尺寸公差和几何公差，两者在数值之间不存在固定关系，从而简化加工工艺，提高加工效率和降低成本。使设计要求与制造方式和检验控制协调一致。因此独立原则在生产中应用最广泛。

独立原则的应用范围主要有：

1) 尺寸精度要求高，而几何精度要求低的要素。如图 145a 所示液压阀体，该零件上 $\phi 8H8$ 孔为一通油孔，不需要配合，但需保证一定的尺寸精度以控制油的流量，而孔的形状公差（直线度、圆度等）要求较低，均由未注公差控制（详见 90 题）。

2) 几何精度要求高，但尺寸精度要求较低的要素。如图 145b 所示测量平板的上平面用于模拟零件基准的平面，要求较高的平面度，而平板的厚度尺寸则对其功能没有什么影响，采用未注尺寸公差。

3) 尺寸与几何精度均要求较高，但不允许补偿或反补偿。如图 145c 所示连杆上 $\phi 12.5^{+0.008}_{-0.007}$ mm 连杆小头座孔用于与活塞销配合，内圆尺寸精度与形状精度均要求较高，且不允许两者相互补偿，故采用独立原则分别给出尺寸公差和圆柱度公差要求。

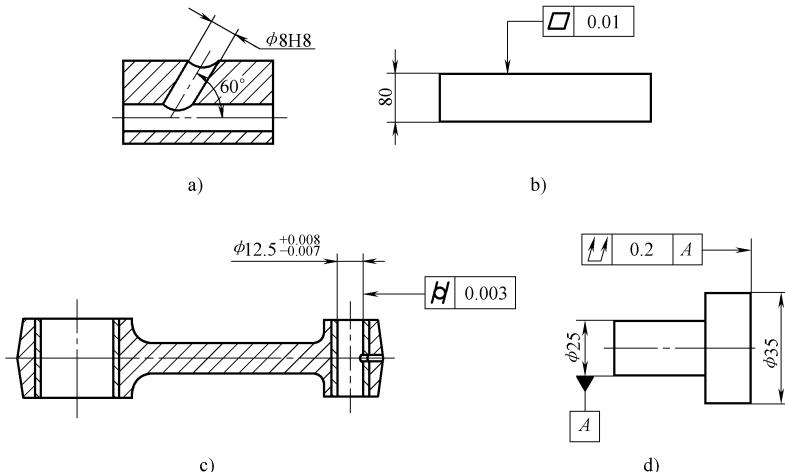


图 145 独立原则的应用

4) 几何精度与尺寸本身无必然联系的要素。如图 145d 所示轴类零件是由 $\phi 25\text{mm}$ 和 $\phi 35\text{mm}$ 两同轴圆柱体构成, 给出 $\phi 35\text{mm}$ 圆柱体外端面对 $\phi 25\text{mm}$ 轴线轴向全跳动公差 0.2mm 要求, 该要求与两轴的实际尺寸无关, 故采用独立原则, 分别给出要求。

5) 几何精度与尺寸均要求较低的非配合要素, 如手轮、手柄、箱体、轴端等外露件。

78. 什么是包容要求? 图样上怎样标注包容要求?

答: 提取组成要素不得超越其最大实体边界, 其局部尺寸不得超出最小实体尺寸的要求, 称为包容要求。

包容要求适用于圆柱表面或两平行平面。采用包容要求的尺寸要素, 应在其尺寸极限偏差或公差带代号之后加注符号“◎”。

如图 146 所示, 要求

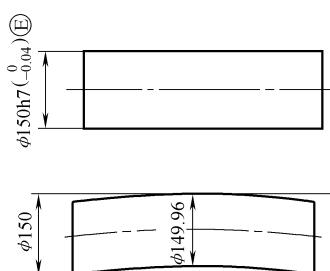


图 146 包容要求



$\phi 150\text{ h}7$ (${}^0_{-0.04}$) 圆柱表面应遵守包容要求，即该圆柱表面必须受其最大实体边界控制。最大实体边界是直径为最大实体尺寸 $\phi 150\text{mm}$ 的理想圆柱面。提取圆柱面应在最大实体边界之内，且其局部尺寸不得小于其最小实体尺寸，即 $\phi 150\text{mm}-\phi 0.04\text{mm}=\phi 149.96\text{mm}$ 。

上述要求表示：实际圆柱表面在其最大实体边界内纵横截面可以呈任意形状，如图 147 所示。

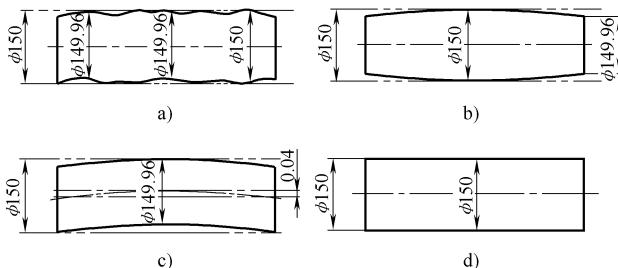


图 147 包容要求实际表面的形体变化

79. 包容要求的应用范围有哪些？

答：包容要求仅适用于单一尺寸要素，即圆柱面或两平行平面，用于保证零件的配合性质和公差配置要求的场合。对于精度或配合有严格要求的孔轴系统应采用包容要求。

(1) 高精度零件
如图 148a 所示塞规，其测杆外圆用于检测零件加工精度，故给出高精度尺寸公差和包容要求，图样上标注为 $\phi 25\text{ }{}^0_{-0.0024}\text{ }①$ 。该要求表示：被测圆柱面必

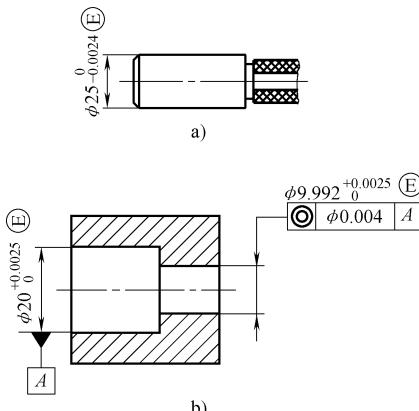


图 148 包容要求用于高精度零件



须在以其最大实体尺寸 $\phi 25\text{mm}$ 为直径的最大实体边界内，且局部尺寸不得超出最小实体尺寸 $\phi 25\text{mm} - \phi 0.0024\text{mm} = \phi 24.9976\text{mm}$ 。

又如图 148b 所示用于检测两轴间同轴度误差的同轴度量规，为此图样上除给出两测量孔轴线间高精度的同轴度公差 $\phi 0.004$ 要求外，为保证测量精度对两测量孔又分别采用包容要求。

(2) 精密配合零件 如图 149a 所示花键轴，花键联接采用小径定心，为保证其与内花键间精确配合，故定心小径采用包容要求，即标注为 $\phi 42_{-0.050}^{+0.025} \text{⑤}$ 。

又如图 149b 所示铣床丝杠，以 $\phi 40\text{js6}$ 轴颈支承定位，为

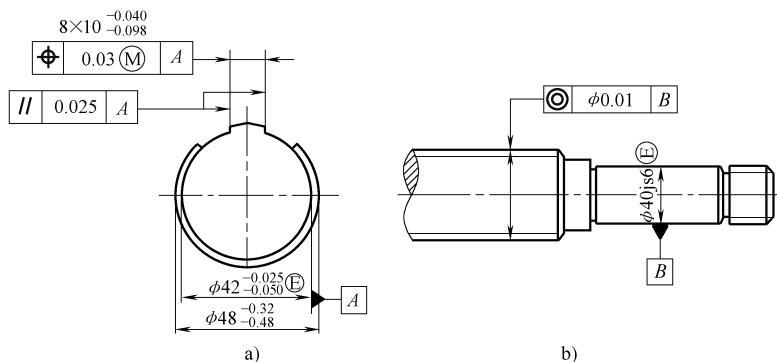


图 149 包容要求用于精密配合零件

保证其定位面精密配合，该轴颈采用包容要求，标注为 $\phi 40\text{js6} \text{⑤}$ 。

80. 什么是最实体要求？图样上怎样标注最大实体要求？

答：被测要素的实际轮廓不得超越其最大实体实效边界，当其实际尺寸偏离最大实体尺寸时，允许几何误差值超出在最大实体状态下给出的公差值的一种要求，称为最大实体要求。

最大实体要求是一种几何公差与尺寸公差间的相关要求。当被测要素或基准要素偏离其最大实体状态时，几何公差可获得补偿值，即所允许的几何误差值，可以在原设计的基础上增大。

最大实体要求适用于中心要素。采用最大实体要求应在几何



公差框格中公差值或（和）基准字母后加注符号“ \oplus ”。

81. 应用最大实体要求规定有哪些规则？

答：最大实体要求适用于中心要素，可用于形状公差（直线度）、方向公差（平行度、垂直度、倾斜度）、位置公差（同轴度、对称度、位置度）。从零件功能要求来讲，只要求满足装配要求但无严格的配合要求时，可采用最大实体要求，如螺栓孔轴线的位置度。

最大实体要求可用于被测要素，也可用于基准要素。

(1) 最大实体要求应用于被测要素。应用于被测要素时，应在被测要素几何公差框格中的公差值后标注符号 \oplus （图 150、151）。此时，被测要素的几何公差值是在该要素处于最大实体状态时给出的，当被测要素的实际轮廓偏离最大实体状态，即其实际尺寸偏离最大实体尺寸时，几何误差值可超出在最大实体状态下给出的公差值（即图样上给出的几何公差值），此时的几何公差值可从尺寸公差中得到补偿而增大。

最大实体要求用于注有公差的被测要素时，对被测要素规定了以下规则。

1) 注有公差的被测要素的提取局部尺寸要：

① 对于外尺寸要素应小于或等于最大实体尺寸；且应大于或等于最小实体尺寸。

② 对于内尺寸要素应大于或等于最大实体尺寸；且应小于或等于最小实体尺寸。

2) 注有公差的被测要素的提取组成要素不得违反其最大实体实效状态或其最大实体实效边界。当几何公差为形状公差时，标注 \oplus 与 \ominus 意义相同。

3) 当一个以上注有公差的被测要素用同一公差标注，或注有公差的被测要素的导出要素标注方向或位置公差时，其最大实体实效状态或最大实体实效边界与各自基准的理论正确方向或位置相一致。

如图 150a 所示，公差框格内标注为 $\phi 0.1 \oplus$ ，表示轴



$\phi 20_{-0.3}^0$ mm轴线的直线度公差采用最大实体要求。为此该轴应满足以下要求。

- 1) 轴的提取要素各处的局部直径应为 19.7~20mm。
- 2) 轴的提取要素不得超出最大实体实效边界，即其拟合组成要素不大于最大实体实效尺寸，即 $\phi 20\text{mm} + \phi 0.1\text{mm} = \phi 20.1\text{mm}$ 。

上述要求表示：当被测要素处于最大实体状态时，其轴线直线度公差为图样上给定的公差值 $\phi 0.1\text{mm}$ （图 150b）；当该轴处于最小实体状态时，其轴线直线度误差可得到补偿，允许达到最大值，即等于图样上给出的直线度公差值（ $\phi 0.1\text{mm}$ ）与轴的尺寸公差（ $\phi 0.3\text{mm}$ ）之和（ $\phi 0.4\text{mm}$ ）。当被测轴处于最大实体与最小实体之间任意状态时，其轴线直线度误差可以得到相应的补偿，如图 150c 所示该关系的动态公差图。

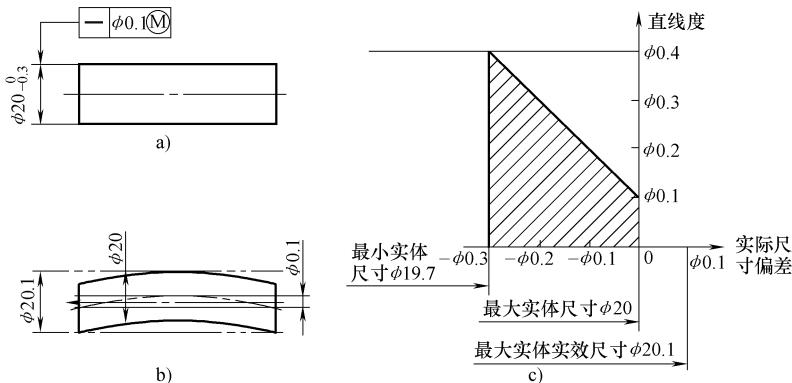


图 150 轴的最大实体要求

又如图 151a 所示，公差框格内标注为 $\phi 0.08\text{@M}$ ，表示孔 $\phi 50^{+0.13}_0$ mm 轴线的垂直度公差采用最大实体要求。为此该孔应满足以下要求。

- 1) 孔的提取要素各处的局部直径应为 50~50.13mm。
- 2) 孔的提取要素不得超出关联最大实体实效边界，其最大



实体实效边界应与其基准 A 垂直，即孔的提取要素尺寸不小于关联最大实体实效尺寸，即 $\phi 50\text{mm} - \phi 0.08\text{mm} = \phi 49.92\text{mm}$ ，如图 151b 所示。

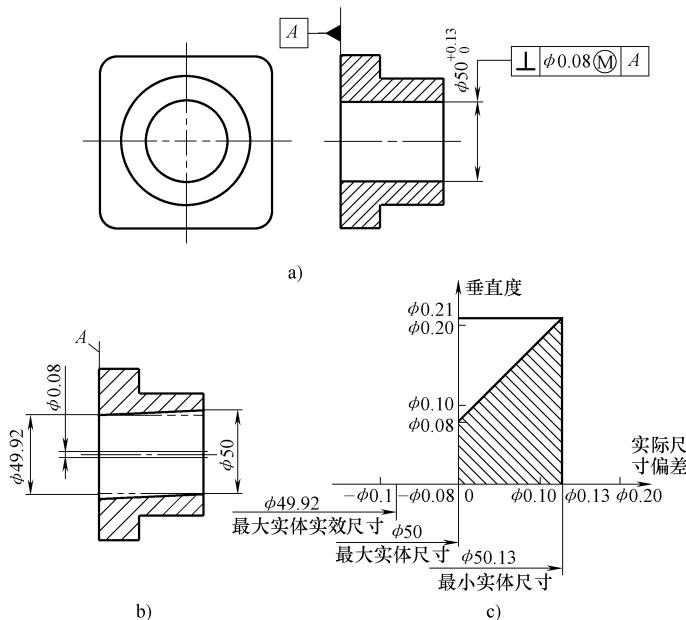


图 151 孔的最大实体要求

上述要求表示：当该孔处于最小实体状态时，其轴线对 A 基准的垂直度误差允许达到最大值，即等于图样给出的垂直度公差 ($\phi 0.08\text{mm}$) 与孔的尺寸公差 ($\phi 0.13\text{mm}$) 之和 ($\phi 0.21\text{mm}$)。当被测要素孔处于最大实体与最小实体之间任意状态时，其轴线垂直度误差可以得到相应的补偿，如图 151c 所示该关系的动态公差图。

(2) 最大实体要求应用于基准要素 此时基准要素应遵守相应的边界。若基准要素的实际轮廓偏离其相应的边界，即其拟合组成要素尺寸偏离其相应的边界尺寸，则允许基准要素在一定



范围内浮动，其浮动范围等于基准要素的拟合组成要素尺寸与其相应的边界尺寸之差。

最大实体要求很少单独用于基准要素，通常是同时用于被测和基准要素。

最大实体要求应用于基准要素时，对基准要素规定了以下规则。

1) 基准要素的提取组成要素不得违反基准要素的最大实体实效状态或最大实体实效边界。

2) 当基准要素的导出要素没有标注几何公差要求或者注有几何公差但其后没有符号@时，基准要素的最大实体实效尺寸为最大实体尺寸。

3) 当基准要素的导出要素注有形状公差且其后有符号@时，基准要素的最大实体实效尺寸由最大实体尺寸加上（对外部要素）或减去（对内部要素）该形状公差值。

如图 152a 所示，给出 $\phi 12_{-0.05}^0$ mm 轴线对 $\phi 25_{-0.05}^0$ mm 轴线间同轴度公差要求，且在公差框格内标注同轴度公差为 $\phi 0.04 @$ ，基准字母为 A@。该要求表示最大实体要求同时应用于被测要素和基准要素。为此该被测轴应满足以下要求。

1) 外尺寸要素的提取要素应为 $\phi 11.95 \sim \phi 12$ mm。
2) 外尺寸要素的提取要素不得违反其最大实体实效边界，即其最大实体实效尺寸 $\phi 12\text{mm} + \phi 0.04\text{mm} = \phi 12.04\text{mm}$ ，如图 152b 所示。

3) 被测要素最大实体实效状态的位置与基准要素最大实体实效状态的位置应同轴。

4) 基准要素的提取要素不得违反其最大实体实效状态，其直径为最大实体尺寸 $\phi 25$ mm。

5) 图 152a 中被测要素轴线相对于基准要素同轴度公差为 $\phi 0.04$ mm，是该外尺寸要素及其基准要素为其最大实体实效状态时给定的。若外尺寸要素为其最小尺寸实效状态且基准要素仍为其最大实体实效状态时，被测要素的同轴度误差允许达到

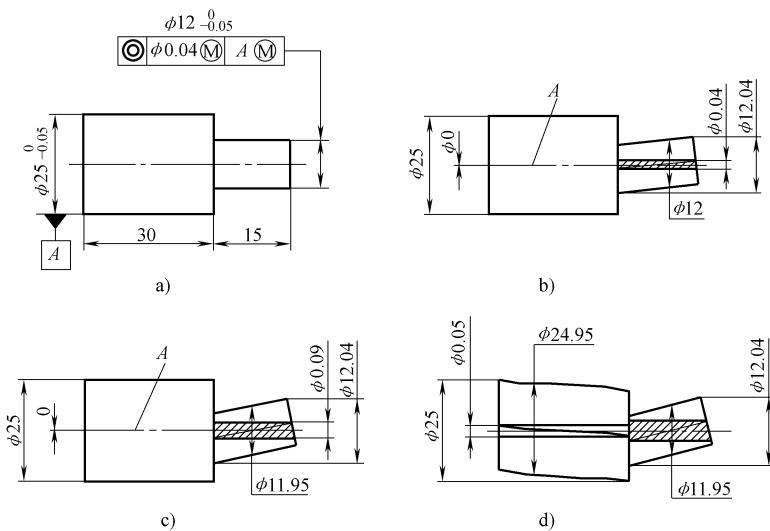


图 152 最大实体要求同时应用于被测要素和基准要素

最大值，可为给定的同轴度公差（ $\phi 0.04\text{mm}$ ）与其尺寸公差（ $\phi 0.05\text{mm}$ ）之和即 $\phi 0.09\text{mm}$ ，如图 152c 所示。

若被测要素处于最大实体实效状态与最小实体实效状态之间，基准要素仍为其最大实体实效状态，其轴线同轴度公差应在 $\phi 0.04 \sim \phi 0.09\text{mm}$ 之间变化。

6) 若基准要素偏离其最大实体实效状态，由此可使其轴线相对其理论正确位置有一些浮动（偏移、倾斜或弯曲）；若基准要素为其最小实体实效状态时，其轴线相对其理论正确位置的最大浮动量可以达到最大值 $\phi 0.05\text{mm}$ ，如图 152d 所示。在此情况下被测要素为其最小实体实效状态时，其轴线与基准要素的同轴度误差，可能会超过 $\phi 0.14\text{mm}$ （图 152a 中给定的同轴度公差 $\phi 0.04\text{mm}$ 、被测要素的尺寸公差 $\phi 0.05\text{mm}$ 与基准要素的尺寸公差 $\phi 0.05\text{mm}$ 三者之和），同轴度误差的最大值可以根据零件的具体结构尺寸近似估算。



82. 什么是最小实体要求？图样上怎样标注最小实体要求？

答：被测要素的实际轮廓应遵守其最小实体实效边界，当其实际尺寸偏离最小实体尺寸时，允许其几何误差值超出在最小实体状态下给出的公差值的一种要求，称为最小实体要求。

最小实体要求与前述最大实体要求一样，也是几何公差与尺寸公差间的一种相关要求，所不同的是最小实体要求规定当被测要素或基准要素偏离其最小实体状态而不是最大实体状态时，几何公差可获得补偿值，此时允许几何公差值增大。

最小实体要求适用于中心要素。采用最小实体要求应在公差框格中的公差值或基准字母后加注符号“①”。

83. 应用最小实体要求规定有哪些规则？

答：最小实体要求适用于中心要素，可用于被测要素，也可用于基准要素。

(1) 最小实体要求用于注有公差的被测要素时 对被测要素规定了以下规则

1) 注有公差的被测要素的提取局部尺寸要：

对于外尺寸要素应大于或等于最小实体尺寸；且应小于或等于最大实体尺寸。

对于内尺寸要素应小于或等于最小实体尺寸；且应大于或等于最大实体尺寸。

2) 注有公差的被测要素的提取组成要素不得违反其最小实体实效状态或其最小实体实效边界。

3) 当一个以上注有公差的被测要素用同一公差标注或者注有公差的被测要素的导出要素标注有方向或位置公差时，其最小实体实效状态或最小实体实效边界要与各自基准的理论正确方向或位置相一致。

图 153 所示零件的预期功能是承受内压并防止崩裂。

图 153 中内外圆分别标注有位置度公差，公差值一栏标注为 $\phi 0.1$ ①。该标注按照上述规则规定应满足以下要求。

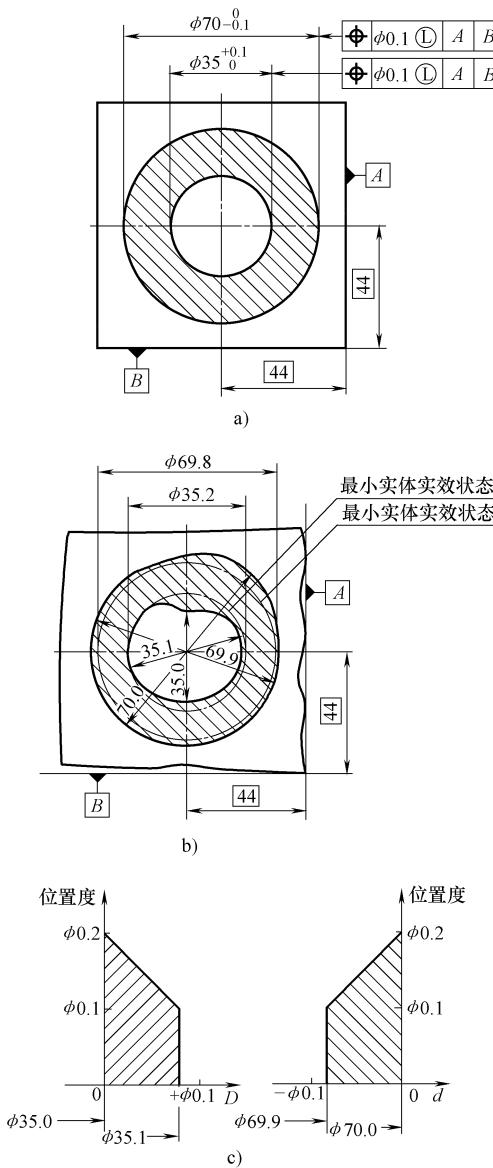


图 153 最小实体要求用于注有公差的被测要素



1) 外圆柱要素的提取组成要素不得违反其最小实体实效状态，其直径为 $\phi 69.8\text{mm}$ ；且其各处的直径应小于或等于 $\phi 70\text{mm}$ 。

2) 内圆柱要素的提取组成要素不得违反其最小实体实效状态，其直径为 $\phi 35.2\text{mm}$ ；且其各处的直径应大于或等于 $\phi 35.0\text{mm}$ 。

3) 内、外圆柱要素的最小实体实效状态的理论正确方向和位置处于距基准 A 和 B 各为 44mm 处。

4) 图 153 中给出的内、外圆柱要素轴线的位置度公差 ($\phi 0.1\text{mm}$) 均为其最小实体实效状态时给定的；若此内、外圆柱要素均为其最大实体实效状态时，其轴线位置度误差均允许达到最大值，可为图中给定的位置度公差 ($\phi 0.1\text{mm}$) 与其尺寸公差 ($\phi 0.1\text{mm}$) 之和 $\phi 0.2\text{mm}$ 。若此内、外圆柱要素处于各自的最小实体实效状态与最大实体实效状态之间，各自轴线的位置度公差都在 $\phi 0.1 \sim \phi 0.2\text{mm}$ 之间变化，如图 153c 所示。

(2) 最小实体要求应用于基准要素时 对基准要素规定了以下规则

1) 基准要素的提取组成要素不得违反基准要素的最小实体实效状态或最小实体实效边界。

2) 当基准要素的导出要素没有标注几何公差要求或者注有公差要求但其后没有符号①时，基准要素的最小实体实效尺寸为最小实体尺寸。

3) 当基准要素的导出要素注有形状公差且其后有符号①时，基准要素的最小实体实效尺寸由最小实体尺寸减去（对外部要素）或加上（对内部要素）该形状公差值。

图 154 所示零件的预期功能是承受内压并防止崩裂。

图 154 中外圆标注有对内圆轴线同轴度公差，且公差框格内分别标注出 $\phi 0.1$ ① 和 A ①。该标注按照上述规则规定应满足以下要求。

1) 外圆柱要素的提取要素（各处的局部尺寸）应小于或等于 $\phi 70.0\text{mm}$ 且应大于或等于 $\phi 69.9\text{mm}$ 。

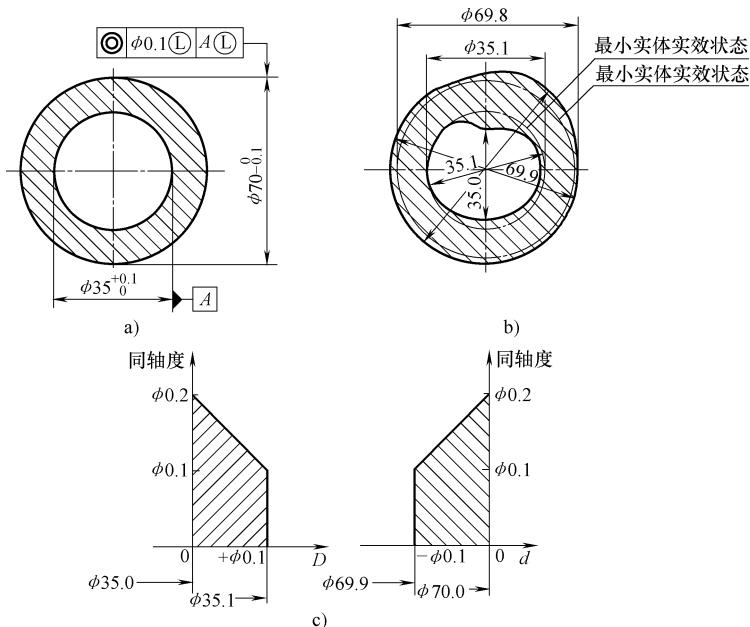


图 154 最小实体要求应用于基准要素

- 2) 外圆柱要素的提取组成要素不得违反其最小实体实效状态，其直径为 $\phi 69.8\text{mm}$ 。
- 3) 内圆柱要素（基准要素）的提取组成要素各处的局部直径应大于或等于 $\phi 35.0\text{mm}$ ，且应小于或等于 $\phi 35.1\text{mm}$ 。
- 4) 外圆柱要素的最小实体实效状态位于内圆柱要素（基准要素）轴线的理论正确位置。

5) 外圆柱要素轴线相对内圆柱要素（基准要素）的同轴度公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 是它们均为最小实体实效状态时给定的；若外圆柱要素为最大实体实效状态，内圆柱要素（基准要素）仍为最小实体实效状态，外圆柱要素的同轴度误差允许达到的最大值为给定的公差 ($\phi 0.1\text{mm}$) 与尺寸公差 ($\phi 0.1\text{mm}$) 之和 $\phi 0.2\text{mm}$ ；若外圆柱要素处于最小实体实效状态与最大实体实效状态之间，内圆柱要素仍为最小实体实效状态，其轴线的同轴度公差在



$\phi 0.1 \sim \phi 0.2\text{mm}$ 之间变化。若内圆柱要素（基准要素）偏离其最小实体实效状态，由此可使其轴线相对于理论正确位置有一些浮动；若内圆柱要素（基准要素）为其最大实体实效状态时，其轴线相对于理论正确位置的最大浮动量可以达到最大值 $\phi 0.1\text{mm}$ ($\phi 35.1 \sim \phi 35.0\text{mm}$)，在此情况下，若外圆柱要素也为其最大实体实效状态，其轴线与内圆柱要素（基准要素）的同轴度误差会超过 $\phi 0.3\text{mm}$ （即同轴度公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 、外圆柱要素的尺寸公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 和内圆柱要素的尺寸公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 三者之和）。同轴度误差的最大值可以根据零件的具体结构尺寸近似算出。

84. 什么是可逆要求？可逆要求的应用范围有哪些？

答：当被测要素的几何误差值小于给出的公差值时，在满足零件功能要求的前提下，允许其相应的尺寸公差增大的一种相关要求，称为可逆要求。

可逆要求既允许尺寸公差补偿给几何公差，也允许几何公差反过来补偿尺寸公差，两者的综合边界只要在控制边界内就是合格的。

可逆要求仅适用于中心要素，采用可逆要求时应标注符号 \textcircled{R} 。

可逆要求本身不能单独使用，也没有自己的边界，其必须与最大实体要求或最小实体要求一起使用。当它与最大实体要求合用时，应将符号 \textcircled{R} 注在最大实体符号后面，即在公差值后面加注“ $\textcircled{M} \textcircled{R}$ ”。与最小实体要求合用时，应将符号 \textcircled{R} 标注在最小实体符号 \textcircled{L} 的后面，即在公差值后面加注“ $\textcircled{L} \textcircled{R}$ ”。

可逆要求仅适用于注有公差的被测要素，不能用于基准要素。

(1) 可逆要求用于最大实体要求 当公差框格中公差值后标注有“ $\textcircled{M} \textcircled{R}$ ”时，表示被测要素同时采用最大实体要求与可逆要求，其被测要素的实际轮廓受最大实体实效边界控制，即实际轮廓尺寸可在最小实体尺寸与最大实体实效尺寸之间变化，不



仅允许尺寸公差补偿给几何公差，也允许几何公差反过来补偿给尺寸公差。

可逆要求用于最大实体要求时，通过以下规则改变注有公差被测要素的最大实体要求。

1) 原最大实体要求规则中规定的“提取局部尺寸对外尺寸要素应小于或等于最大实体尺寸；对内尺寸要素应大于或等于最大实体尺寸”不再适用。因该尺寸在可逆要求中可获得几何公差补偿。

2) 其他规则与最大实体要求完全一致。

如图 155a 所示，给出 $\phi 20_{-0.1}^0$ mm 的轴线对基准面 D 的垂直度公差要求，且框格内标注为 $\phi 0.2 @R$ ，该要求表示既采用最大实体要求，又同时采用可逆要求。为此该被测要素（轴）应满足以下要求。

1) 轴的实际直径不能小于最小实体尺寸 $\phi 19.9$ mm。

2) 被测轴的实际轮廓面不得超出最大实体实效边界，即其拟合组成要素尺寸不超出最大实体实效尺寸 $\phi 20\text{mm} + \phi 0.2\text{mm} = \phi 20.2\text{mm}$ ，如图 155b 所示。

上述要求表示：当轴的所有局部实际尺寸都是最小实体尺寸 $\phi 19.9$ mm 时，按照最大实体要求，其轴线的垂直度误差可得到尺寸公差最大补偿值 $\phi 0.1\text{mm}$ ，此时垂直度误差允许达到最大值 $\phi 0.2\text{mm} + \phi 0.1\text{mm} = \phi 0.3\text{mm}$ ，如图 155c 所示。

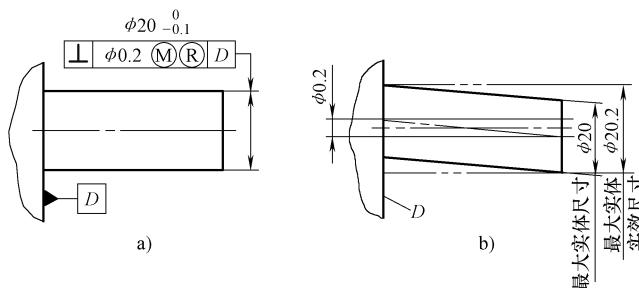


图 155 可逆要求用于最大实体要求

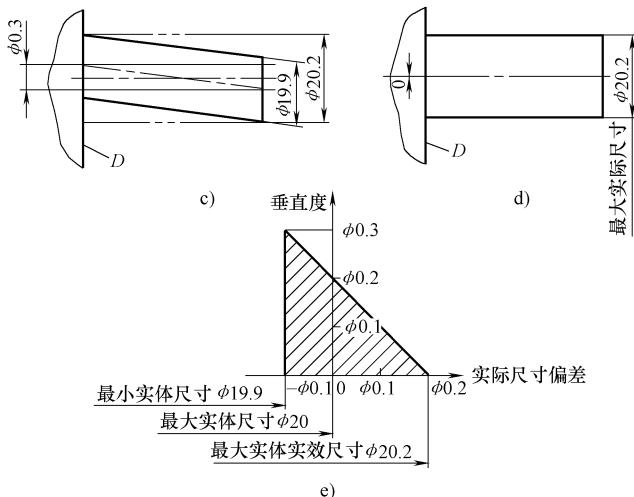


图 155 可逆要求用于最大实体要求（续）

当垂直度误差为 $\phi 0\text{mm}$ 时，按照可逆要求，其实际直径可得到垂直度公差最大补偿值 $\phi 0.2\text{mm}$ ，此时局部实际尺寸可为 $\phi 20\text{mm} + \phi 0.2\text{mm} = \phi 20.2\text{mm}$ ，如图 155d 所示。

垂直度误差和实际尺寸无论怎样变化，其实际轮廓均不能超出其控制边界，它们之间的变化见表 15，其动态图如图 155e 所示。

表 15 可逆要求用于最大实体要求时实际尺寸与几何误差间关系
(单位: mm)

轴实际直径	允许的轴线垂直度误差
$\phi 19.9$	$\phi 0.3$
$\phi 20.0$	$\phi 0.2$
$\phi 20.05$	$\phi 0.15$
$\phi 20.10$	$\phi 0.1$
$\phi 20.20$	$\phi 0$

可逆要求用于最大实体要求，仅允许实际尺寸超越给出的尺寸公差范围，但不破坏其最大实体实效边界，因此仍能保证其装配要求。

(2) 可逆要求用于最小实体要求 当公差框格中公差值后



注有“① ②”时，表示被测要素同时采用最小实体要求与可逆要求，其被测要素的实际轮廓受最小实体实效边界控制，即被测要素的实际轮廓尺寸可在最大实体尺寸和最小实体实效尺寸之间变化，不仅允许尺寸公差补偿给几何公差，也允许几何公差反过来补偿给尺寸公差。

可逆要求用于最小实体要求时，通过以下规则改变注有公差被测要素的最小实体要求。

1) 原最小实体要求规则中规定的“提取局部尺寸对外尺寸要素应大于或等于最小实体尺寸；对内尺寸要素应小于或等于最小实体尺寸”不再适用。因该尺寸在可逆要求中可获得几何公差补偿。

2) 其他规则与最小实体要求完全一致。

如图 156 所示，给出外圆柱面 $\phi 70_{-0.1}^0$ mm 轴线对内圆柱面 ϕD 轴线的位置度公差 $\phi 0.1$ mm 要求，且在框格内标注为 $\phi 0.1$ ① ②。该标注按照上述规则规定应满足以下要求。

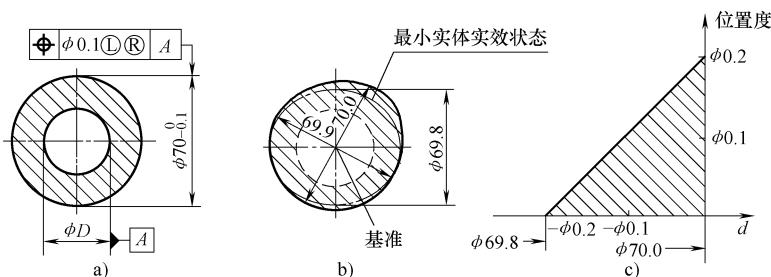


图 156 可逆要求用于最小实体要求

1) 外尺寸要素的提取组成要素不得违反其最小实体实效状态，其直径为 $\phi 69.8$ mm。

2) 外尺寸要素的提取组成要素各处的局部直径应小于最大实体尺寸 $\phi 70$ mm，可逆要求允许其局部直径从最小实体尺寸 $\phi 69.9$ mm 减少至最小实体实效尺寸 $\phi 69.8$ mm。

3) 最小实体实效的方向与基准 A 平行，并且其位置在与基准 A 同轴的理论正确位置上。



4) 图 156 中轴线的位置度公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 是该外尺寸要素为其最小实体实效状态时给定的：若该外尺寸要素为其最大实体实效状态时，其轴线位置度误差允许达到最大值 $\phi 0.2\text{mm}$ ，即为给定的轴线位置度公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 与该外尺寸要素尺寸公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 之和；若该外尺寸要素处于最小实体实效状态与最大实体实效状态之间，其轴线位置度公差则在 $\phi 0.1\sim\phi 0.2\text{mm}$ 之间变化。

图 156 中附加了可逆要求，因此如果轴线位置度误差小于给定的公差 $\phi 0.1\text{mm}$ 时，该外尺寸要素的公差允许大于 $\phi 0.1\text{mm}$ ，即其提取组成要素各处的局部直径均可小于它的最小实体尺寸 $\phi 69.9\text{mm}$ ；如果其轴线位置度误差为 $\phi 0\text{mm}$ ，则其局部直径允许减小至 $\phi 69.8\text{mm}$ 。图 156c 所示为表述上述关系的动态图。

85. 独立原则与相关要求的应用有何不同？

答：如上所述，国家标准“公差原则”中对几何公差与尺寸公差之间关系所应遵循的原则规定了独立原则和相关要求，这些原则的应用范围、功能要求和图样上标注方法各不相同，为便于工作中使用，表 11 中列出独立原则与相关要求综合对比，以便公差原则在生产中应用。

表 16 独立原则与相关要求综合对比

公差原则	符号	应用要素	应用项目	功能要求	控制边界	允许几何误差变动范围	允许尺寸变化范围	检测方法	
								几何误差	实际尺寸
独立原则	无	轮廓要素及中心要素	各种几何公差项目	各种功能但不能相关联	无边界，何误差和尺寸满足要求	按图样中或未注尺寸公差要求	按图样中或未注尺寸公差的公差要求	通用量仪	两点法测量
相关要求 包容要求	◎	单一要素(圆、圆柱面、两平行平面)	形状公差(线、面轮廓度除外)	配合要求	最大实体边界	各项误差不能超出控制界限	最大尺寸不能超出制图界限，而实际尺寸不能越小	通端量规及极限量规专用量具	通端量规最大尺寸，极限量规最小尺寸



(续)

公差原则	符号	应用要素	应用项目	功能要求	控制边界	允许几何误差变动范围	允许实际尺寸变化范围	检测方法	
								几何误差	实际尺寸
最大实体要求	Ⓜ	中心要素(轴线及中心平面)	直线度、倾斜度、平行度、垂直度、同轴度、对称度、位置度	满足要求但无严格配合时要采用,如螺栓孔轴线的位臵度,两轴线的平行度等	最大实体实效边界	当局部实际尺寸偏离其最大实体尺寸时,几何公差可获得补偿值(增大)	其局部尺寸不能超出公差的允许范围	综合量规(功能量规及专用量仪)	两点法测量
相关要求	①	中心要素(轴线及中心平面)	直线度、垂直度、同轴度、位置度等	满足设计值的要求,以控制最小壁厚,提高对中度,满足最小强度的要求	最小实体实效边界	当局部实际尺寸偏离其最小实体尺寸时,几何公差可获得补偿值(增大)	其尺寸不能超出尺寸公差的允许范围	通用量仪	两点法测量
可逆要求	Ⓜ② ①②	中心要素(轴线及中心平面)	适用于①的各项项目	对最大实体尺寸没有严格的要求的场合	最大实体实效边界	当与②同时使用时,几何变化同②	当几何误差小于给出的公差时,可补偿尺寸公差,使尺寸增加,其局部尺寸超出给定范围	综合量规或量具控制最大实体实效边界	仅用两点法测量实体尺寸
			适用于①的各项项目	对最小实体尺寸没有严格的要求的场合	最小实体实效边界	当与①同时使用时,几何变化同①	当尺寸差超出最大实体尺寸超出范围	三坐标或专用量具控制最小实体实效边界	仅用两点法测量最大实体尺寸

几何公差的应用

86. 几何公差的选择包括哪些内容？

答：几何公差的选择包括以下内容。

(1) 几何公差项目的选择 根据零件的具体结构、被测要素的几何特征和功能要求，按照 GB/T 1182—2008 标准中规定的十四种几何特征符号（见表 3），选取适宜的项目。

(2) 基准的选择 对于关联要素的几何公差要求，根据零件的结构特点和功能要求，选择不同基准形式（单一基准、组合基准、三基面体系及基准目标），以确定相应的基准要素。

(3) 公差值的选择 图样中的几何公差值有两种表达形式：一种是在框格内注出公差值；一种是不在图样中注出，采用 GB/T 1184—1996 中规定的未注公差值。注出公差值应根据零件的功能和精度要求，按照 GB/T 1184 标准中规定的公差值数系选择适宜的精度确定。未注公差值则应按照 GB/T 1184 中的规定，在图样技术要求中说明（详见 90 题）。

(4) 公差原则的选择 根据零件功能要求，按照 GB/T 4249—2009《公差原则》的规定，充分考虑发挥给出公差对零件功能作用，确定适当的公差原则要求。

87. 怎样正确选择几何公差项目？

答：几何公差项目应根据零件的具体结构和功能要求来选择。选择原则是在保证零件功能要求的前提下，应使控制几何误差的方法简便，生产中检测方法简单，尽量减少图样上注出的几何公差项目。

1) 根据零件要素的几何特征，按照标准中规定的十四个几何特征项目的误差控制特性，选取适宜项目，如圆柱形要素可选用圆度、圆柱度，平面要素可选用平面度等。



2) 当用尺寸公差控制几何误差已能满足精度要求，且又经济时，则可只给出尺寸公差，而不另给几何公差，此时尺寸公差应按包容要求给出。如图 157a 所示，给出圆柱销尺寸公差要求 $\phi 20^0_{-0.021} \text{E}$ ，该零件用于装配定位，故给出较高尺寸精度要求，且采用包容要求，其实体受到最大实体边界控制，故其在给定的尺寸公差范围内可控制其几何误差变动，且完全可满足功能要求，无须另给出几何公差要求，如图 157b 所示。

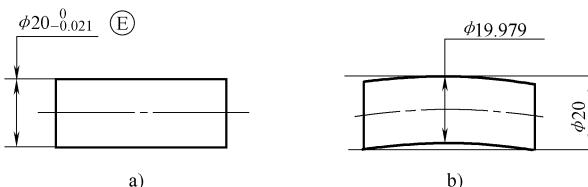


图 157 采用包容要求控制形位误差

3) 当根据零件功能要求，其尺寸精度要求低，而几何精度要求高时，应独立给出几何公差要求。图 158 所示的印刷机滚筒，使用时其直径 ϕd 无严格的精度要求，故可按未注尺寸公差来处理，但为保证印刷清晰，对其圆柱度应有较高要求，故应单独给出圆柱度公差。由于圆柱度是一项独立的精度要求，与直径尺寸大小无关，故可获得最佳的经济效益。

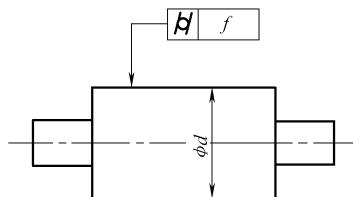


图 158 印刷机滚筒形状公差要求

4) 标准中规定的十四個几何特征项目中，有单一控制作用的，如直线度、平面度、圆度等；也有综合控制作用的，如圆柱度、位置度等。选用时应充分考虑综合公差的功能，以减少图样上给出的几何公差项目，减轻生产中误差检测工作量。

5) 在同样能够满足功能要求时，应选用测量简便的项目代替测量较难的项目，如同轴度公差可以用径向圆跳动或径向全跳动公差代替；端面对轴线的垂直度公差可以用轴向圆跳动或轴向



全跳动公差代替，这样对测量带来极大方便。应当指出：径向圆跳动是由同轴度误差与圆柱面形状误差的综合结果，故采用径向圆跳动代替同轴度时，给出的径向圆跳动公差值应略大于同轴度公差值，否则就会要求过严。用轴向圆跳动代替端面垂直度时，会产生不同作用，而轴向全跳动与端面垂直度两者公差带完全相同，故可以等价替换。

6) 选择几何公差项目时，也应考虑几何公差之间的相互关系。要素的几何精度可由一个或几个公差项目来控制。当要素的几何精度由某一特征的公差限定时，某些情况下该要素的其他误差也同时被该公差控制，如平面度公差可同时控制直线度误差，平面对平面的平行度公差则可同时控制被测平面的平面度误差。在此情况下，只要能满足功能要求，则不要再给出第二公差项目要求，以免产生多余或矛盾公差要求。

88. 怎样选择基准？

答：关联要素之间的方向、位置和跳动精度要求，必须确定一基准作为评定其位置精度的依据。基准的选择主要依据零件的功能要求和结构特点来确定。

(1) 根据零件的功能作用选择基准 如图 159a 所示的传动

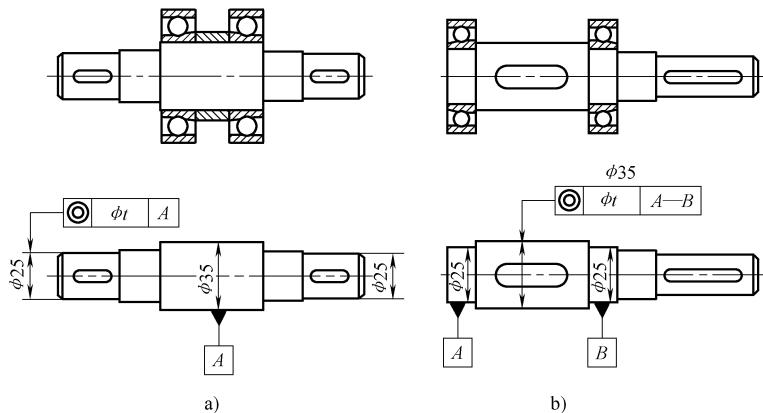


图 159 根据零件的功能作用选择基准



轴，通过中间 $\phi 35\text{mm}$ 轴颈支承在箱体座孔内轴承上，两端 $\phi 25\text{mm}$ 轴颈处分别固定有传动件，用以传递运动。工作时两传动件绕传动轴轴线旋转，为保持运动平稳，故选择以 $\phi 35\text{mm}$ 轴线为基准，给出同轴度公差要求。

又如图 159b 所示中间轴，该轴两端 $\phi 25\text{mm}$ 轴颈通过轴承支承在箱体座孔内，中间 $\phi 35\text{mm}$ 轴颈上固定着传动件，故应选择两端轴颈的公共轴线“ $A-B$ ”为基准。

(2) 根据零件的结构特点选择基准 如图 160 所示的中间轮轴用于齿轮传动机构中间齿轮支承，为保证齿轮正确啮合位置，在零件左侧加工有 $\phi 25\text{mm}$ 定位圆柱面，以确保齿轮安装位置正确，为此给出 $\phi 20\text{mm}$ 轴线对 $\phi 25\text{mm}$ 轴线同轴度公差要求。但是， $\phi 25\text{mm}$ 圆柱面长度很短，仅能确定一个正确定位点，而其轴线的方向具有很大的不确定度，为此又给出定位面 B 作为第二基准，由此确定基准轴线应为由 $\phi 25\text{mm}$ 中心所确定的位置，同时垂直于基准 B 平面的直线。故应选用 A 、 B 两个基准。

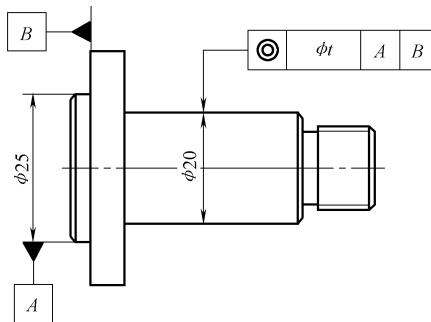


图 160 根据零件的结构特点选择基准

(3) 根据公差项目的特点选择基准 如位置度公差通常选择构成三基面体系的要素作为基准要素。

(4) 根据误差检测要求选择基准 如毛坯面或粗加工面采用基准目标，对细小的传动件可选用两端中心孔的公共轴线作为基准。



(5) 应尽量选择结构尺寸较大的要素作为基准，如较大面积的平面或两个相距较远的平面组成的公共面；轴线较长或直径较大的圆柱面轴线或两个距离较大的圆柱面的公共轴线。这样可以减小基准方位的不确定性，也便于生产中检测。

89. 怎样选择公差值？

答：零件要素的几何公差值决定几何公差带的宽度或直径，是控制零件制造精度的重要指标。合理地给出公差值，对于保证产品的功能、提高产品质量、降低生产成本具有重要意义。

国家标准中规定，几何公差要求在图样上有两种表达形式：一种是用公差框格的形式直接在框格内注出公差值；另一种是不在图样中注出，而是由在图样上技术要求说明，或由有关技术文件中规定所给出，称为未注公差值（详见 90 题）。在图样上无论是注出公差值还是未注公差值，零件上所有要素都有几何精度要求。只是给出公差值大小不同，控制其不同精度要求，以满足零件功能要求。

公差值的选用原则是：根据零件的功能要求，并考虑加工的经济性和零件的结构、刚性等情况，按照标准中规定的公差值，选择合理的公差等级来确定。

标准中除线轮廓度和面轮廓度外其余十二个公差项目都规定了公差值数系，其中除位置度公差外，其余十一个项目还划分了公差等级。圆度和圆柱度划分为十三个等级，即 0 级、1 级、…、12 级，其中 0 级精度最高，其余精度依次降低（见表 8）；其余项目划分为十二个等级，即 1 级、2 级、…、12 级，其中 1 级精度最高，其余精度依次降低（见表 6、表 10、表 12）。

在选择公差值时还应考虑下列情况。

1) 在同一要素上给出的形状公差值应小于方向、位置和跳动公差值，如要求平行的两个平面，其平面度公差值应小于平行度公差值。

2) 圆柱形零件的形状公差值（轴线的直线度除外）一般情况下应小于尺寸公差值。



3) 平行度公差值应小于其相应的尺寸公差值。

4) 对于下列情况, 考虑到加工的难易程度和除主参数外其他参数的影响, 在满足零件功能的要求下, 适当降低 1~2 级使用。

- ① 孔相对于轴。
- ② 长径比较大的轴或孔。
- ③ 距离较大的轴或孔。
- ④ 宽度较大 (一般大于 $1/2$ 长度) 的零件表面。
- ⑤ 线对线和线对面相对于面对面的平行度。
- ⑥ 线对线和线对面相对于面对面的垂直度。

几何公差值可用类比的方法选择。表 17~表 20 列出了几何公差等级的应用举例, 供选择几何公差值时参考。

表 17 直线度、平面度公差等级应用

公差等级	应用举例
5	1 级平板, 2 级宽平尺, 平面磨床的纵导轨、垂直导轨、立柱导轨及工作台, 液压龙门刨床床身导轨和转塔车床床身导轨, 柴油机进、排气阀门导杆
6	普通机床导轨, 如卧式车床、龙门刨床、滚齿机、自动车床等的床身导轨、立柱导轨, 柴油机壳体
7	2 级平板, 机床主轴箱, 摆臂钻床底座和工作台, 镗床工作台, 液压泵盖, 减速箱壳体接合面
8	机床传动箱, 交换齿轮箱体, 车床溜板箱体, 柴油机气缸体, 连杆分离面, 缸盖结合面, 汽车发动机缸盖、曲轴箱结合面, 液压管件和法兰连接面
9	3 级平板, 自动车床床身底面, 摩托车曲轴箱体, 汽车变速器壳体, 手动机械的支承面

表 18 圆度、圆柱度公差等级应用

公差等级	应用举例
5	一般计量仪器主轴, 测杆外圆柱面, 陀螺仪轴颈, 一般机床主轴轴颈及主轴承孔, 柴油机、汽油机活塞、活塞销, 与 P6 级滚动轴承配合的轴颈
6	仪表端盖外圆柱面, 一般机床主轴及前轴承孔, 泵、压缩机的活塞、气缸, 汽油发动机凸轮轴, 纺织锭子, 减速传动轴轴颈, 高速船用柴油机主轴颈, 与 P6 级滚动轴承配合的外壳孔, 与 P0 级滚动轴承配合的轴颈



(续)

公差等级	应用举例
7	大功率低速柴油机曲轴轴颈、活塞、活塞销、连杆、气缸,高速柴油机机体轴承孔,千斤顶或压力油缸活塞,机车传动轴,水泵及通用减速器转轴轴颈,与 P0 级滚动轴承配合的轴颈
8	低速发动机大功率曲柄轴轴颈,压气机连杆盖、体,拖拉机气缸、活塞,炼胶机冷铸轴辊,印刷机传墨辊,内燃机曲轴轴颈,柴油机凸轮轴承孔、凸轮轴,拖拉机、小型船用柴油机气缸套
9	空气压缩机缸体,液压传动筒,通用机械杠杆与拉杆用套筒销子,拖拉机活塞环、套筒孔

表 19 平行度、垂直度、倾斜度公差等级应用

公差等级	应用举例
4、5	卧式车床导轨,重要支承面,机床主轴孔对基准的平行度,计量仪器、量具、模具的基准面和工作面,精密机床重要零件,主轴箱体重要孔,通用减速器壳体孔,齿轮泵的油孔端面,发动机轴和离合器的凸缘,气缸支承端面,安装精密滚动轴承的壳体孔的凸肩
6、7、8	一般机床的基准面和工作面,压力机和锻锤的工作面,中等精度钻模的工作面,机床一般轴承孔对基准面的平行度,变速箱体孔,主轴花键对定心直径部位轴线的平行度,重型机械轴承盖端面,卷扬机、手动传动装置中的传动轴,一般导轨,主轴箱体孔,刀架,砂轮架,气缸配合面对基准轴线,活塞销孔对活塞中心线的垂直度,滚动轴承内、外圈端面对轴线的垂直度
9、10	低精度零件,重型机械滚动轴承端盖,柴油机、煤气发动机箱体曲轴孔、曲轴颈,花键轴和轴肩端平面,带输送机法兰盘等端面对轴线的垂直度,手动卷扬机及传动装置中的轴承端面,减速器壳体平面

表 20 同轴度、对称度、跳动公差等级应用

公差等级	应用举例
5、6、7	这是应用范围较广的公差等级,用于几何精度要求较高、尺寸公差等级高于或等于 IT8 级的零件。5 级常用于机床轴颈,计量仪器的测量杆,汽轮机主轴,柱塞油泵转子,高精度滚动轴承外圈,一般精度滚动轴承内圈,回转工作台轴向跳动。6、7 级用于内燃机曲轴、凸轮轴、齿轮轴、水泵轴,汽车后轮输出轴,电动转子,印刷机传墨辊的轴颈,链槽
8、9	常用于几何精度要求一般,尺寸公差等级为 IT9~IT11 的零件。8 级用于拖拉机发动机分配轴轴颈,与 9 级精度以下齿轮相配的轴,水泵叶轮,离心泵体,棉花精梳机前后滚子,键槽等。9 级用于内燃机气缸套配合面,自行车中轴



90. 什么是未注公差值？未注公差值有哪些规定？

答：零件上所有要素都有几何公差精度要求，但其中大部分要素的几何公差值应是工厂中常用设备能保证的精度，因此不需在图样中用框格给出几何公差要求，注出其公差值。而是按照 GB/T 1184 标准规定在标题栏附近或在技术要求、技术文件（如企业标准）中注出公差等级代号及所确定的公差值即可。该类公差值称为未注公差值。它适用于所有没有单独标注几何公差的要素。

国家标准 GB/T 1184—1996《形状和位置公差 未注公差值》中，分别规定了以下各项目未注公差值。

1) 直线度和平面度的未注公差值见表 21，规定有 H、K、L 三个未注公差等级，公称长度范围是指被测要素主参数值，对于直线度应按其相应被测线的长度选择，对于平面度应按被测表面较长一边的长度或圆表面的直径选择。

表 21 直线度和平面度的未注公差值

(单位：mm)

公差等级	公称长度范围					
	≤10	>10~30	>30~100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

2) 圆度的未注公差值为其相应的直径尺寸公差值，但不能大于表 24 中的径向圆跳动未注公差值。因为径向圆跳动值是几何误差的综合反映，圆度误差就会直接反映到径向圆跳动值中去。

如图 161a 所示，给出圆的直径尺寸及其极限偏差 $\phi 25^{\text{0}}_{-0.1}\text{ mm}$ ，则其圆度未注公差值应等于尺寸公差值 0.1mm。

又如图 161b 所示，给出圆的直径未注公差尺寸 $\phi 25\text{ mm}$ ，且注明 GB/T 1804-m 和 GB/T 1184-K。该要求表示：其尺寸公差为一般公差 m 级，极限偏差为 $\pm 0.2\text{ mm}$ ，公差为 0.4mm。同时其

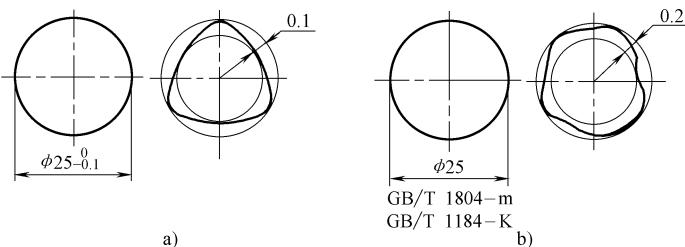


图 161 圆度的未注公差值示例

几何公差未注公差值为 K 级，若按圆度未注公差值等于尺寸公差值则应为 0.4mm，但 K 级径向圆跳动未注公差值为 0.2mm（表 24），故该圆度未注公差值应为 0.2mm。

3) 圆柱度的未注公差值标准中未做规定。由于圆柱度误差是由圆度、直线度和相对素线的平行度三部分误差组成，而其中每一项误差均由它们的注出公差或未注公差控制，因此它们综合形成的未注公差值应小于上述三种公差值的综合结果。在生产中为了简单起见，可采用包容要求⑥或注出圆柱度公差，较为适宜。

4) 线、面轮廓度未注公差值标准中未做具体规定。因为线、面轮廓度误差与其相应的尺寸公差或角度公差有关，故其可由各要素的注出或未注的线性尺寸公差或角度公差控制。

5) 平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值，或是直线度和平面度未注公差值中的相应公差值取较大者。两平行要素中应取较长者作为基准，若两要素的长度相等则可选任一要素为基准。

由于几何公差采用公差带概念，故其平行度误差可由尺寸（距离）公差值控制，如图 162a 所示；如果要素处处均为最大实体尺寸，此时无法用尺寸公差控制，则可由直线度、平面度未注公差值控制，如图 162b 所示。

6) 垂直度的未注公差值见表 22，规定有 H、K、L 三个未

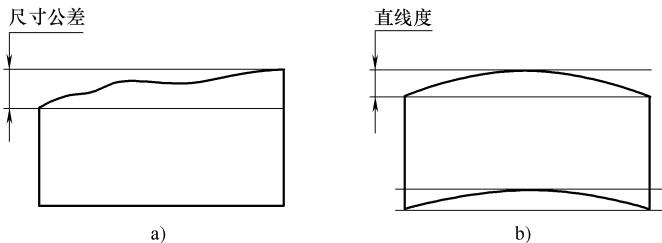


图 162 平行度未注公差值示例

注公差等级。两垂直要素中取较长者作为基准，较短者作为被测要素；若两要素长度相等则可取其中的任一要素作为基准。表 22 中公称长度范围则指被测要素最大长度尺寸。

表 22 垂直度的未注公差值 (单位：mm)

公差等级	公称长度范围			
	≤100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
H	0.2	0.3	0.4	0.5
K	0.4	0.6	0.8	1
L	0.6	1.0	1.5	2

7) 倾斜度未注公差值在标准中未做规定，可由注出或未注角度公差控制。

8) 同轴度未注公差值标准中未做规定。由于同轴度误差可以直接反映在径向圆跳动误差值中，而径向圆跳动误差除包括同轴度误差外，还包括圆度误差，因此，在极限状况下，同轴度未注公差值可按径向圆跳动未注公差值确定（表 24）。两同轴要素间应选其中较长者为基准，若两要素相等则可选任一要素为基准。

9) 对称度的未注公差值见表 23，规定了 H、K、L 三个未注公差等级。两对称要素中应取较长者作为基准，较短者作为被测要素；若两要素长度相等则可取其中的任一要素作为基准。表 23 中公称长度范围是指被测要素最大长度。

10) 位置度未注公差值标准中未做规定。因为位置度误差



是一项综合性误差，是各项误差的综合反映，故不需要另行规定位置度的未注公差值。

表 23 对称度的未注公差值 (单位: mm)

公差等级	公称长度范围			
	≤100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
H	0.5			
K	0.6		0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

11) 圆跳动的未注公差值见表 24，其适用于径向、轴向和斜向圆跳动。

表 24 圆跳动的未注公差值

公差等级	圆跳动公差值	公差等级	圆跳动公差值
H	0.1	L	0.5
K	0.2		

对于圆跳动未注公差值，应选择设计给出的支承轴线作为基准要素。如无法选择基准轴线则应取两要素中较长者为基准，若两要素的长度相等则可取任一要素为基准。对于轴向和斜向圆跳动，其基准必然是支撑它的轴线。

91. 未注公差值怎样在图样上表示？它在生产中有何重要意义？

答：为明确图样中零件各要素的未注公差值，应按标准规定选择合适的未注公差等级，并在标题栏附近或在技术要求、技术文件（如企业标准）中注出标准号及公差等级代号。如“未注几何公差采用 GB/T 1184-H”，也可简化为“GB/T 1184-H”，表示图中所示零件上没有标注几何公差的要素，其几何误差应满足 GB/T 1184《形位和位置公差 未注公差值》标准中规定的公差等级为 H 级所规定的要求。

未注公差值在同一图样中应采用同一个等级。未注公差值也可在企业标准中做出统一规定，以省去图样中的说明。



未注公差值的应用给生产带来极大方便，具有重要意义。

- 1) 使图样简明易读，既节省绘图时间，又能高效地信息交换。
- 2) 节省设计时间，设计者只需对零件上极少数影响其功能要求的关键要素用框格标注法给出公差值，其余均按未注公差值要求即可。
- 3) 图样上用框格注出几何公差值的要素，都是为满足其功能要求给出精度较高公差要求，重点突出。在安排生产和质量控制、检查和验收中会集中精力，保证重点，以确保产品质量。
- 4) 图样中很清楚地指出哪些要素为未注公差值要求，由于工厂设备一般加工方法均可满足未注公差值要求，一般不需要对这些要素进行检测，给工厂制造带来经济效益。
- 5) 采用未注公差值只有在仲裁时才需要检查。为了解设备精度，可以对批量生产的零件进行首检或抽检，以保证工厂常用精度不被破坏。

由于零件功能允许的公差值经常大于几何公差的未注公差值，实际上零件的功能往往并不因为零件某一要素超出（或偶尔超出）几何公差的未注公差值而被破坏。因此要视其超差是否影响零件的功能，才确定拒收与否。一般情况下不必拒收。

92. 怎样选择公差原则？

答：在选择几何公差要求时，应同时考虑给出的几何公差与相关尺寸公差间的关系。如前所述，标准中规定的公差原则包括有独立原则和相关要求。其中独立原则是尺寸公差与几何公差间相互关系应遵循的基本原则，在图样上不加任何标注，生产中应用最广泛。如果尺寸和形状、位置之间的相互关系有特定要求时，应在图样上做出规定。

选择公差原则首先应熟知公差原则中各种要求的功能、适用场合（参见表 16），并根据被测要素的功能要求，充分发挥给出公差的功能和采用该公差原则的可行性与经济性。表 25 中列出



公差原则的应用场合和示例，供选择公差原则时参考。

表 25 公差原则选择参考表

公差原则	应用场合	示例
独立原则	尺寸精度与几何精度需要分别满足要求	齿轮箱体孔的尺寸精度与两孔轴线的平行度；连杆销孔的尺寸精度与圆柱度，滚动轴承内、外圈滚道的尺寸精度与形状精度
	尺寸精度与几何精度要求相差较大	滚筒类零件尺寸精度要求很低，外形精度要求较高；平板的形状精度要求很高，尺寸精度无要求；冲模架的下模座尺寸精度无要求，平行度要求较高；通油孔的尺寸精度有一定要求，形状精度无要求
	尺寸精度与几何精度无联系	滚子链条的套筒或滚子内、外圆柱面的轴线同轴度与尺寸精度；齿轮孔的尺寸精度与孔轴线间的位置精度；发动机连杆大小头孔的尺寸精度与孔轴线间的位置精度
	保证运动精度	导轨的形状精度要求严格，尺寸精度要求次要
	保证密封性	气缸套的形状精度要求严格，尺寸精度要求次要
	未注公差	凡未注尺寸公差与未注几何公差都采用独立原则，如退刀槽、倒角、圆角等非功能要素
包容要求	保证《极限与配合》规定的配合性质	$\phi 20H7\text{⑤}$ 孔与 $\phi 20h6\text{⑥}$ 轴的配合，可以保证配合的最小间隙等于零
	几何公差与尺寸公差间无严格比例关系要求	一般的孔与轴配合，只要求拟合组成要素不超越最大实体尺寸，实际尺寸不超越最小实体尺寸
	保证关联拟合组成要素不超越最大实体尺寸	关联要素的孔与轴有配合性质要求，标注 0④
最大实体要求	被测中心要素	保证自由装配，如轴承盖上用于穿过螺钉的通孔，法兰盘上用于穿过螺栓的通孔
	基准中心要素	基准轴线或中心平面相对于理想边界的中心允许偏离时，如同轴度的基准轴线

93. 怎样标注圆锥面几何公差要求？

答：圆锥配合是由相同锥度的内、外圆锥面相结合的机械连接形式。它具有对中性好，易保证配合的同轴性，间隙和过盈可以调整，密封性好等特点，在机械零件结构中应用很广泛。



圆锥面和圆柱面一样均为单一要素，都是由母线绕轴线旋转而形成的。两者不同点只是圆柱面的母线平行于轴线，而圆锥面的母线与轴线呈一定角度。理想圆锥面是一个理想轮廓面，因而用面轮廓度控制是最适宜的。

如前所述，理想轮廓面是由理论正确尺寸建立的，其面轮廓度公差带是包络一系列直径为公差值 t 的球的两包络面所限定的区域，诸球的球心应位于具有理论正确几何形状的轮廓面上。这样所形成的公差带轴线必然与理想轮廓面的轴线一致，以此来控制实际圆锥面对理想圆锥面的偏离状况。检测时只需判断实际轮廓面是否处于公差带内，以确定合格与否。

有配合要求的圆锥面通常均采用上述面轮廓度法标注其几何公差要求。根据圆锥面要素的功能要求不同，通常有以下几种标注方法。

1) 给定圆锥角 α (或锥度 C) 与大端圆锥直径 D (或小端圆锥直径 d)，用面轮廓度标注圆锥公差。如图 163a 所示，给出理论正确尺寸 α 和 D ，由其确定了该基本圆锥面的理想形状。同时给出面轮廓度公差 t ，该要求表示如图 163b 所示，即沿基本圆锥面分别向内外两侧移动 $t/2$ ，构成两个极限圆锥面，该两极限圆锥面所限定的区域即为该圆锥面给定的公差带，该被测实际圆锥面均应在此公差带范围内。

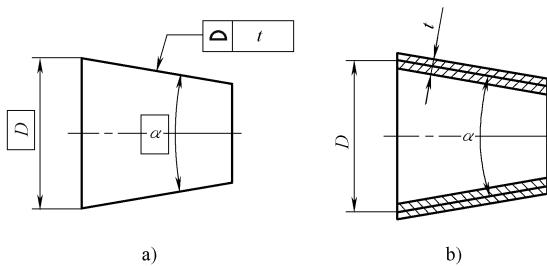


图 163 基本圆锥面面轮廓度标注法



2) 给定锥度 C (或圆锥角 α) 与轴向位置尺寸 L_x 和 D_x ，用面轮廓度标注圆锥公差。如图 164a 所示，给出理论正确尺寸 L_x 、 D_x 和 C ，由此确定了被测圆锥面的理想形状，同时又给出面轮廓度公差 t 的要求，该要求的含义与上述图 163 所示基本相同，只是理想圆锥面的确定方式不同，如图 164b 所示。

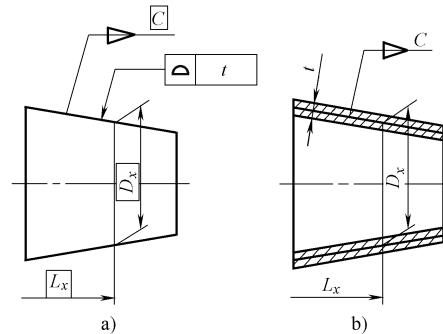


图 164 给定轴向位置尺寸的面轮廓度标注法

3) 给定锥度 C (或 α) 与轴向位置尺寸和公差 $L_x \pm \delta_x$ 及直径 d_x ，用面轮廓度标注公差。如图 165a 所示，给出锥度 C 及轴向位置处截面直径 d_x 的理论正确尺寸，而轴向位置尺寸则是以尺寸公差形式给出。该要求表示如图 165b 所示，即由 C 和

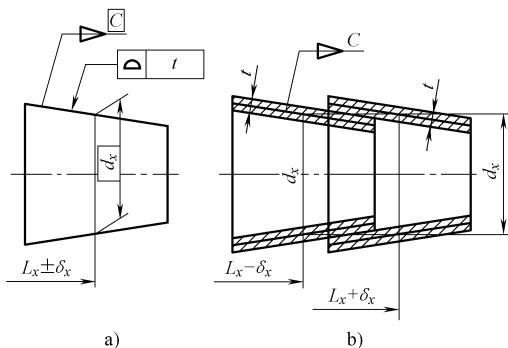


图 165 给定轴向位置公差尺寸的面轮廓度标注法



d_x 构成的理想形状，其圆锥面的面轮廓度公差带与图 163b 所示一样，但圆锥面公差带的位置应随 L_x 的实际尺寸位置在 $\pm\delta_x$ 范围内轴向变动。

4) 与基准有关圆锥公差的注法。如图 166a 所示，给出锥角 α 和大端圆锥直径 D ，用面轮廓度标注圆锥公差，且在框格内给出基准 A 的要求。该要求表示：由 α 和 D 所构成的理想形状，其轴线应位于基准 A 的轴线处，该圆锥面轮廓度公差带与图 163b 所示完全一样，只是理想形状位置应受到基准 A 的控制。

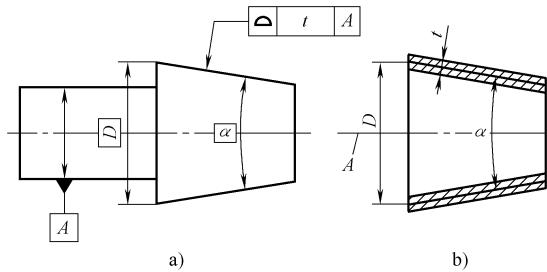


图 166 与基准有关圆锥公差的注法

5) 给出限定条件圆锥公差的注法。如图 167a 所示，给出

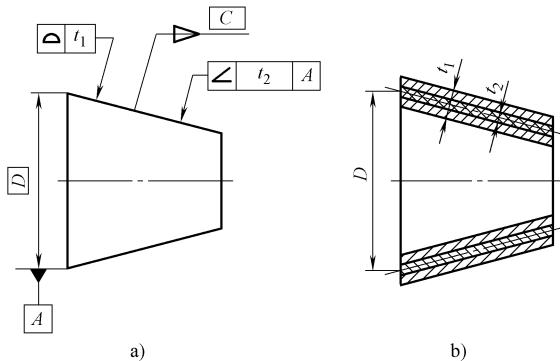


图 167 给出限定条件圆锥公差的注法



C和**D**，且又同时给出圆锥面的面轮廓度公差 t_1 和相对于基准轴线 A 的倾斜度公差 t_2 。其中面轮廓度公差带与上述图 163b 所示完全一样；而倾斜度公差则是指圆锥表面素线相对于基准轴线的定向公差要求，其公差带应为与基准轴线成理想夹角距离为公差值 t_2 的两平行直线间的区域，如图 167b 所示。该要求表示对圆锥面的形状公差有更高要求，即在面轮廓度公差带范围内进一步控制其锥角误差变动范围，因此该倾斜度公差仅占面轮廓度公差带的一部分，且可在其公差带内浮动。

除上述采用面轮廓度法给出圆锥公差外，还可采用公差锥度法。如图 168a 所示，给出圆锥的最大直径及其公差 $D \pm \delta$ 和理论正确锥度 **C**，同时又给出圆锥面素线相对于基准轴线 A 的倾斜度公差 t 。该要求表示：由圆锥直径公差 $\pm \delta$ 确定的两个极限圆直径 D_{\max} 和 D_{\min} ，与理论正确锥度 **C** 确定了两个极限圆锥，构成该圆锥公差带，如图 168b 所示。图 168 中给出的倾斜度公差则是对圆锥形状公差给出的进一步限制要求，即圆锥面的素线对基准轴线的倾斜度误差应在距离为给定公差值 t ，且与基准轴线成理论正确夹角的两平行线之间区域，该公差带可在上述两理想圆锥面所形成的公差带内浮动。

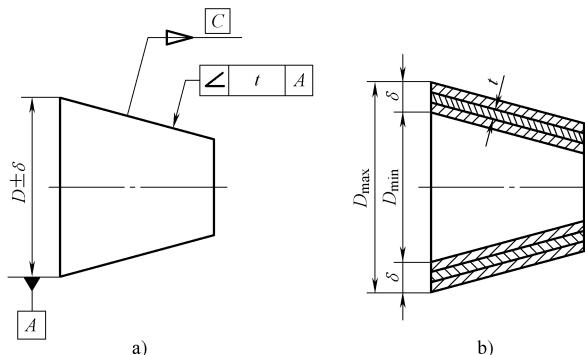


图 168 公差锥度法标注圆锥公差



生产中应根据圆锥要素功能要求，选择适宜的公差要求标注方式。由于面轮廓度标准中没有规定公差值数系，应用时可通过设计计算或类比法选择适宜的公差值。

94. 键联结几何公差要求有哪些规定？

答：键联结是机械产品中常用联接方式之一。为便于生产，国家标准对各种形式键联结的尺寸及精度要求均做出统一规定。由于键联结配合的特点要求，对其几何公差均规定有具体要求。

(1) 平键联结的几何公差要求 平键联结是靠键与键槽之间的精密配合实现其功能要求的，为保证两者之间配合精度，以保持其足够的接触面积并避免装配困难，标准中对轴槽及轮毂槽的宽度 b 对轴及轮毂孔轴线的对称度规定：一般可按 GB/T 1184 中对称度公差值数系 7~9 级选取（见表 12）。选取时主参数应按槽宽 b 来确定，但应考虑键槽长度的影响，键槽长度较大时，应选择较低精度的公差值。

上述对称度公差要求应用框格直接标注在键宽尺寸线延长线位置处，如图 169 所示。

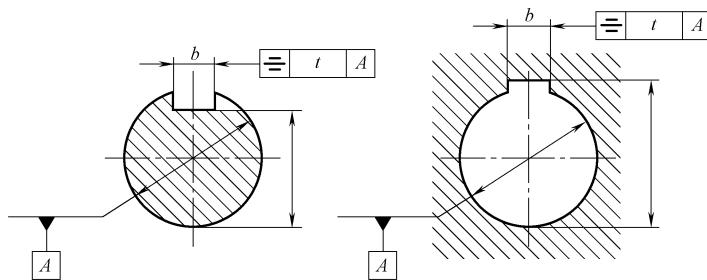


图 169 平键联结几何公差标注

(2) 矩形花键的几何公差要求 矩形花键国家标准 GB/T 1144 中规定了公称尺寸系列和相应的精度要求，其中对几何公差要求规定如下。

1) 标准中规定矩形花键以小径定心，小径的极限尺寸应遵守 GB/T 4249 规定的包容要求。



2) 采用综合检验法(详见后述)时,花键的位置度公差应采用最大实体要求进行标注,如图170所示,其公差值 t_1 按表26的规定。

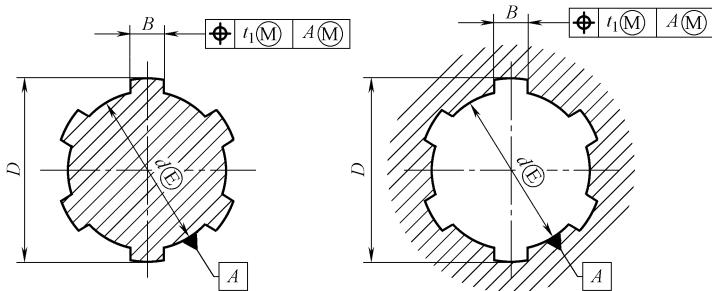


图170 采用综合检验法花键位置度公差标注

表26 矩形花键位置度公差值 (单位: mm)

键槽宽或键宽 B		3	3.5~6	7~10	12~18
t_1	键槽宽	0.010	0.015	0.020	0.025
	键宽 滑动、固定	0.010	0.015	0.020	0.025
	紧滑动	0.006	0.010	0.013	0.016

3) 采用单项检验法时,花键的位置精度应分别给出对称度和等分度公差要求,并采用独立原则规定,如图171所示。键槽

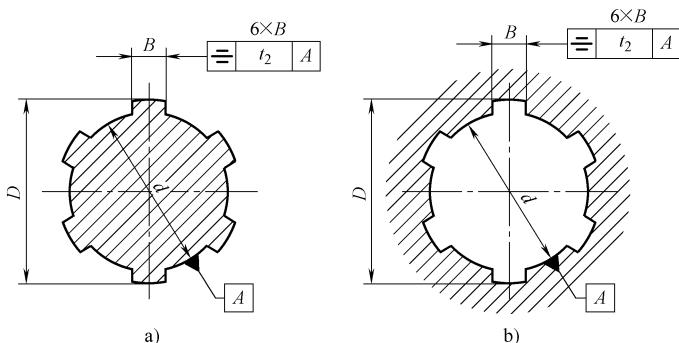


图171 采用单项检验法花键位置精度标注



宽或键宽对称度公差值见表 27。键槽宽或键宽的等分度公差值等于其对称度公差值。

表 27 花键对称度公差值 (单位: mm)

键槽宽或键宽 B		3	3.5~6	7~10	12~18
t_2	一般用	0.010	0.012	0.015	0.018
	精密传动用	0.006	0.008	0.009	0.011

95. 滚动轴承配合件几何公差要求有哪些规定?

答: 滚动轴承是机械产品中最常见的运动支承件。为满足不同用途的需要, 国家标准规定了多种不同形式的滚动轴承系列, 并按其尺寸公差与旋转精度要求不同, 划分有不同公差等级(参见 GB/T 307)。生产中除根据不同用途选用不同型号和适宜公差等级的轴承外, 还应合理地选择与其内孔配合的轴及与外圈配合的外壳孔的尺寸公差与几何公差要求, 以保证其满足运转精度要求, 提高使用寿命。

与轴承配合的轴与外壳孔的尺寸公差等级, 应根据轴承精度选择。通常与 P_0 级精度轴承配合的轴, 其公差等级一般为 IT6, 外壳孔一般为 IT7。对旋转精度和运转的平稳性有较高要求的场合(如电动机等), 轴的公差等级应为 IT5, 外壳孔应为 IT6。

与此相应的轴颈与外壳孔表面还应给出圆柱度公差以及轴肩和外壳孔肩的轴向圆跳动公差, 如图 172 所示, 其公差值均应不超过表 28 中数值。

表 28 与通用轴承配合的轴和外壳孔的几何公差值数系

公称尺寸 /mm		圆柱度 $t/\mu\text{m}$				轴向圆跳动 $t_1/\mu\text{m}$			
		轴颈		外壳孔		轴肩		外壳孔肩	
超过	到	轴承公差等级							
		P_0	$P_6(P_{6x})$	P_0	$P_6(P_{6x})$	P_0	$P_6(P_{6x})$	P_0	$P_6(P_{6x})$
6	6	2.5	1.5	4	2.5	5	3	8	5
6	10	3.0	1.5	4	2.5	6	4	10	6
10	18	3.0	2.0	5	3.0	8	5	12	8



(续)

公称尺寸 /mm		圆柱度 $t/\mu\text{m}$				轴向圆跳动 $t_1/\mu\text{m}$			
		轴颈		外壳孔		轴肩		外壳孔肩	
超过	到	轴承公差等级							
		P_0	$P_6(P_{6x})$	P_0	$P_6(P_{6x})$	P_0	$P_6(P_{6x})$	P_0	$P_6(P_{6x})$
18	30	4.0	2.5	6	4.0	10	6	15	10
30	50	4.0	2.5	7	4.0	12	8	20	12
50	80	5.0	3.0	8	5.0	15	10	25	15
80	120	6.0	4.0	10	6.0	15	10	25	15
120	180	8.0	5.0	12	8.0	20	12	30	20
180	250	10.0	7.0	14	10.0	20	12	30	20
250	315	12.0	8.0	16	12.0	25	15	40	25
315	400	13.0	9.0	18	13.0	25	15	40	25
400	500	15.0	10.0	20	15.0	25	15	40	25

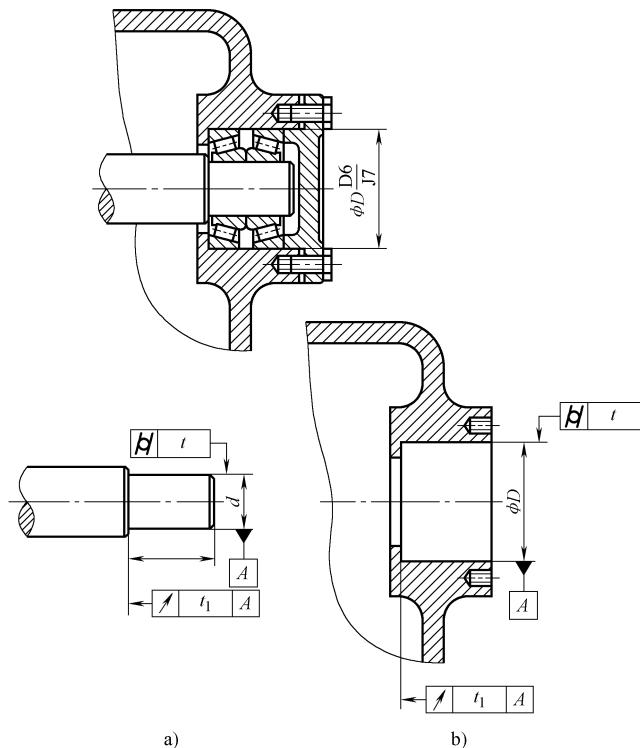


图 172 通用轴承轴和外壳孔的几何公差



关节轴承与其相应的轴颈与外壳孔表面的几何公差见表 29 所示。

表 29 关节轴承配合件表面的几何公差

轴承公称直径 /mm	超过	圆柱度 $t/\mu\text{m}$		轴向圆跳动 $t_1/\mu\text{m}$		垫圈两端面 平行度 $t_2/\mu\text{m}$
		轴颈	外壳孔	轴颈	外壳孔	
到		max				
3	6	4	—	8	—	12
6	10	4	4	9	9	15
10	18	5	5	11	11	18
18	30	6	6	13	13	21
30	50	7	7	16	16	25
50	80	8	8	19	19	30
80	120	10	10	22	22	35
120	150	12	12	25	25	40
150	180	12	12	25	25	40
180	250	14	14	29	29	46
250	315	16	16	32	32	52
315	400	18	18	36	36	57
400	500	20	20	40	40	63
500	630	22	22	44	44	70
630	800	25	25	50	50	80
800	1000	28	28	56	56	92

96. 齿轮传动件几何公差要求有哪些规定?

答: 齿轮传动除有关齿轮轮齿精度(如齿廓、齿距、螺旋线偏差等)的参数数值,在《渐开线圆柱齿轮 精度》(GB/T 10095)等国家标准中已有明确规定外,对齿轮坯和齿轮箱体上影响其正常工作的有关要素,也应给出相应的精度要求。

齿轮坯是指轮齿载体各要素所构成的齿轮零件实体,其上主要要素如图 173 所示,包括齿轮孔 d_i (或轴颈)、端面 S_i 、齿轮外圆 D_i (或齿顶

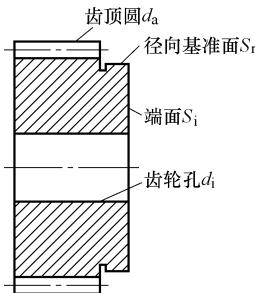


图 173 齿轮坯要素



圆 d_a) 等。

在齿轮坯上，影响齿轮加工、检验和齿轮传动质量的要素主要有：

(1) 基准轴线 是指用来加工、检验零件确定轮齿几何形状的轴线，是由设计者在图样上明确注出的基准面的中心确定的。

齿轮结构形式多种多样，其基准轴线的选取方法也不一样，常用选取基准轴线的方法有以下几种，如图 174 所示。

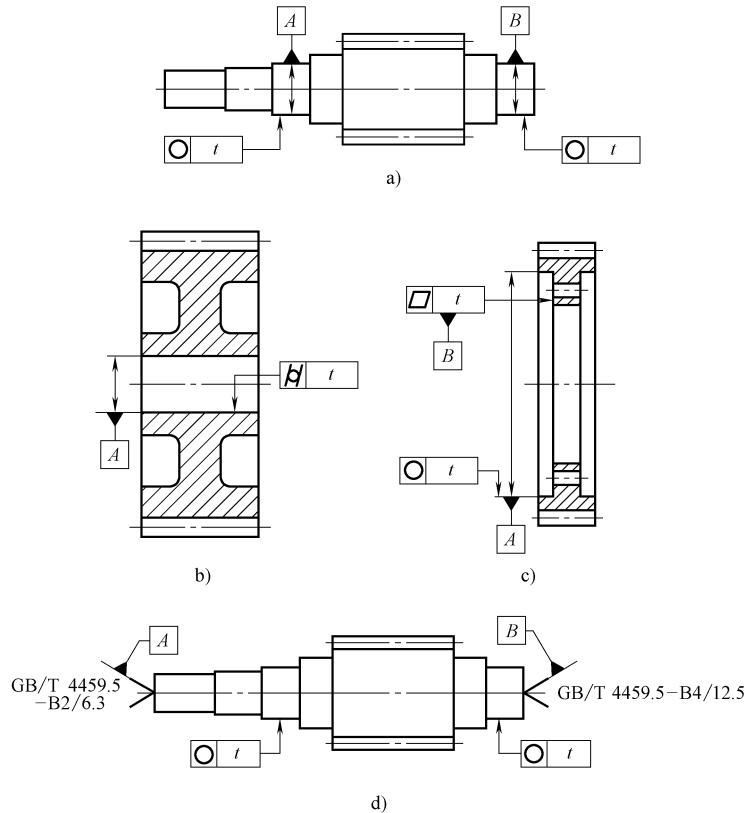


图 174 齿轮的基准轴线



1) 用两个短的圆柱或圆锥形基准面上设定的两个圆的圆心，来确定轴线上的两个点。如图 174a 所示，选取两端圆柱面 A 与 B 的公共轴线作为基准轴线。采取这种方法，圆柱或圆锥形基准面，其轴向长度应很短，以免产生由其中一个要素会单独确定另一条轴线。

2) 用一个长的圆柱或圆锥形的基准面来同时确定轴线的位置和方向。如图 174b 所示，选取孔 A 的中心要素作为基准轴线。采用这种方法基准面应有足够长度。在加工和检测齿轮时，用与之相匹配正确的心轴来体现。

3) 轴线的位置用一个短的圆柱形基准面上的一个圆的圆心来确定，其方向则用垂直于此轴线的一个基准端面来确定。如图 174c 所示，以孔 A 基准圆柱面上一个圆的圆心定位，以垂直于该圆柱面轴线的基准平面 B 确定方向。采用这种方法基准圆柱面轴向尺寸应短，而基准面的直径越大越好。

4) 与轴做成一体的小齿轮，利用轴两端的两个中心孔确定其基准轴线。如图 174d 所示，该零件加工与检验时，均将中心孔置于顶尖上来体现基准轴线。

齿轮基准轴线是加工和检测的依据，也是轮齿精度的基准。但齿轮工作时是绕其工作轴线旋转，为保证齿轮工作时能正确啮合和平稳运转，在选择齿轮基准轴线时，应与工作轴线一致，即将安装面（如与轴承配合的轴颈）作为基准面。若因结构原因两者不能取得一致时，则必须给出两者之间精度要求。

(2) 带孔齿轮的孔（或轴齿轮的轴径）的直径偏差和形状误差 该孔（或轴）是齿轮加工、检验、安装的基准面，其轴线是齿轮的工作轴线，若误差过大，将影响齿圈径向圆跳动，进而影响齿轮传动质量。

(3) 齿轮坯上轴向定位端面 S_i （图 173） 当该端面紧靠配合轴的轴肩时，其端面对基准轴线的跳动误差会使齿轮安装歪斜，齿轮回转时会产生摇摆而影响承载能力。若加工时作为定位面，会影响其齿向精度。



(4) 径向基准面 S_r 和齿顶圆 d_a 该两要素虽不直接参与齿轮啮合，但在齿轮加工或检测时，常作为齿坯的安装基准或齿厚的测量基准，其直径偏差和对基准轴线的径向圆跳动，就会造成加工误差和测量误差。

由此可见，齿轮坯上基准面的精度直接影响齿轮精度和工作性能，为此标准中规定了基准面的精度要求，其极限值大大紧于单个轮齿的极限值。所有基准面的形状误差均不得大于表 30 所规定的数值。

表 30 齿轮基准面与安装面的形状公差

确定轴线的 基准面	公 差 项 目		
	圆 度	圆 柱 度	平 面 度
两个短的圆柱 或圆锥形基准面	0.04(L/b) F_β 或 0.1 F_p 取两者中小值		
一个长的圆柱 或圆锥形基准面		0.04(L/b) F_β 或 0.1 F_p 取两者中小值	
一个短的圆柱 面和一个端面	0.06 F_p		0.06(D_α/b) F_p

注：1. 齿轮坯的公差应减至能经济制造的最小值。

2. L —两轴承跨距的大值。

3. b —齿宽。

4. D_α —基准面直径。

5. F_β —齿向公差值（参见 GB/T 10095）。

6. F_p —齿距累积公差值（参见 GB/T 10095）。

当基准轴线与工作轴线不重合时，其工作安装面相对于基准轴线应给出跳动公差要求，其公差值应不大于表 31 中规定数值。

表 31 安装面的跳动公差

确定轴线的 基准面	跳 动 量(总的指示幅度)	
	径 向	轴 向
仅圆柱或圆 锥形基准面	0.15(L/b) F_β 或 0.3 F_p 取两者中大值	
一圆柱基准面 和一端面基准面	0.3 F_p	0.2(D_α/b) F_β

注：同表 30。



在齿轮箱体上齿轮副两安装轴线的中心距偏差和轴线平行度误差都直接影响齿轮的啮合精度。

中心距偏差是指在轴线平面内实际中心距与公称中心距之差。它直接影响着相啮合两齿轮间的侧隙。

轴线平行度误差是指齿轮副中一轴线相对于另一轴线理想平行位置的偏移量。由于两轴线在不同方向上的平行度误差对齿轮副啮合精度的影响大不相同，故标准中给出两个垂直方向上不同的公差要求，如图 175 所示。

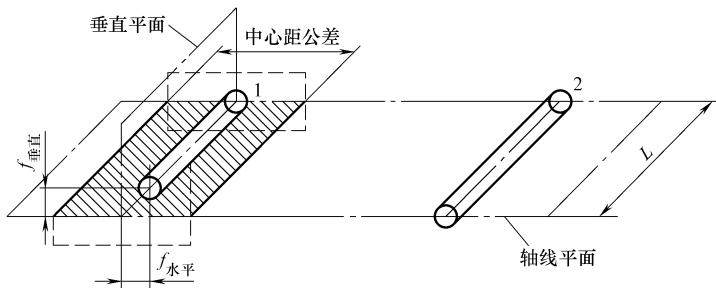


图 175 齿轮副轴线平行度误差

一是在垂直平面上的平行度误差 $f_{\Sigma\beta}$ ($f_{\text{垂直}}$)，是指垂直于两轴线的公共平面上所测得平行度误差，其推荐最大值为

$$f_{\Sigma\beta} = 0.5 \left(\frac{L}{b} \right) F_\beta$$

式中 L ——两轴承间最长跨距 (mm)；

b ——齿宽 (mm)；

F_β ——齿向公差值 (μm ，参见 GB/T 10095)。

二是在轴线平面上的平行度误差 $f_{\Sigma\delta}$ ($f_{\text{水平}}$)，是指在两轴线的公共平面上所测得的平行度误差，其推荐最大值为

$$f_{\Sigma\delta} = 2f_{\Sigma\beta}$$

几何误差检测基本概念

97. 什么是几何误差？什么是几何误差检测？

答：几何误差是指被测提取要素对其拟合要素的变动量。

提取要素是提取组成要素和提取导出要素（见 8 题）的统称，即通过测量从实际要素上测出有限数目的点所形成的要素或由此导出的中心要素，来代替实际要素或实际中心要素。

实际要素或由实际要素导出的中心要素虽然是客观存在的，但要真正认识它却十分困难，为此生产中只能通过测量手段得到提取要素，依此来作为判断该被测实际要素几何误差的依据。

拟合要素是指由测得的轮廓要素或由此导出的中心要素，通过数据处理所获得的具有理想形状的要素。

几何误差检测就是利用各种量仪，通过适当的检测方法，测得实际要素适当数量的点，从而得到被测提取要素，以此作为被测要素，并按照标准规定的误差评定原则与其相应的理想要素相比较，求得其最大变动量，即为该被测实际要素的几何误差。由此可判定其是否在给定的公差带范围内。

几何误差检测目的是：

1) 判别零件的几何误差是否在图样上给定的公差带范围内，以评定该零件是否合格。

2) 根据测得的几何误差实际状况，可分析误差产生原因，以便采取有效措施改进加工工艺，确保产品质量。

几何误差检测是生产中必不可少的重要环节。为满足生产需要，几何误差检测首先要求保证测量结果的准确性，即能够较准确反映出实际状况；同时还要考虑其经济性，因几何误差都要通过一定检测手段来实现，其所用量仪、检测设备较为复杂，误差评定周期较长，故成为产品经济指标中不可忽视的组成部分。因



此要求在保证产品质量的前提下，应尽量采用简便易行的检测方法，以取得较好的经济效果。

98. 国家标准《产品几何量技术规范（GPS）形状和位置公差 检测规定》包括哪些内容？它对生产有何重要意义？

答：国家标准《产品几何量技术规范（GPS）形状和位置公差 检测规定》（GB/T 1958）是一项基础技术标准，是几何误差检测工作的技术依据。该标准中规定了几何误差的检测原则、检测条件、评定方法及检测方案。它适用于与前述十四项几何公差特征项目相对应的几何误差检测，其主要内容有：

(1) 一般规定 规定了几何误差的基本概念，几何误差检测基本规则、检测原则，以保证在概念上、测量精度要求的一致性。

(2) 几何误差及其评定 规定了形状误差的基本概念及评定原则，以达到对几何误差检测评定的统一认识。

(3) 有基准的几何误差及其评定 按不同特性分别对方向误差、位置误差和跳动误差的基本概念及评定原则做出统一规定。

(4) 基准的建立和体现 规定了建立基准的基本原则是基准应符合最小条件，并且基本原则对点、线、面各类基准要素建立基准时，分别做出规定，同时还规定了基准体现方法有模拟法、直接法、分析法和目标法四种，从而把方向、位置和跳动误差的基本概念与检测中的实际运用统一起来，为经济、合理地进行检测提供了具体实施办法。

(5) 附录 列出了生产中各种几何误差检测方案 108 种，为正确贯彻实施标准提供了方便条件。

上述标准对生产具有重要意义，它不仅对几何误差基本概念做了统一规定，使生产中有了统一认识，且明确规定了几何误差检测的基本原则、原理和方法，便于生产中正确评定零件的几何精度，以取得几何误差检测的准确性与经济性的统一，从而可保证几何公差各项标准在实际生产中正确地贯彻、实施，以确保产



品质量。

99. 几何误差检测基本规则有哪些规定？

答：为了保持几何误差检测过程中在基本概念和测量结果上的一致性，并考虑到测量的方便和经济性，标准中对几何误差检测基本规则做了以下规定，作为拟定检测方案和进行测量时的基本依据。

1) 测量几何误差时的标准条件。

- ① 标准温度为 20℃。
- ② 标准测量力为零。

必要时应进行偏离标准条件对测量结果影响的测量不确定度评估。

2) 测量截面的布置、测量点的数目及其布置方法，应根据被测要素的结构特征、功能要求和加工工艺等因素决定。

评定几何误差时，用测得要素作为实际要素。虽然实际要素是客观存在的，但要完全认识它却又十分困难。从生产实际需要和经济性要求考虑，只要对实际要素的认识保持在一定精度范围内，即可满足零件的精度要求。在实际检测过程中，并不需要对被测要素的所有部位都进行测量，只要选择适当的测量截面、测量点，并有合理的布置即可。如采用布点测量时，若没有足够的测点数，往往不能真实地反映被测表面的实际情况，引起较大的测量误差；而选取过多测点数，又会造成测量不便。测点数目的多少，则应根据被测表面积的大小、加工方法以及测量精度要求等来确定。如经磨削或研磨加工的表面，一般可取较少的测点。选取过多的测点对其测量精度影响不大，反而增加测量工作量，影响经济性。对于平面度状况较差的表面（如刨削加工表面），如采用较多测点，不仅加大检测工作量，而且并不一定能获得较高的测量精度。若采用拖表法进行测量，取其“极差”作为平面度误差，反而能得到较高的测量精度。

3) 测量几何误差时，表面粗糙度、划痕、擦伤以及塌边等其他外观缺陷，应排除在外。



4) 选择测量方案时应按 GB/T 18779.2 的规定进行测量不确定度评估。

测量不确定度是指由于测量时所用量具误差、测量环境偏离标准条件产生的误差等所产生对测量结果综合影响程度。

标准中规定：测量不确定度允许占给定公差值的 10% ~ 33%。各公差等级允许的不确定度见表 32。

表 32 各公差等级允许的不确定度

被测要素的公差等级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测量不确定度占几何公差的百分比(%)	33			25		20		15		12.5		10	

100. 什么是几何误差检测原则？标准中规定有哪些检测原则？

答：几何误差的项目很多，根据被测零件的结构特点、精度要求及检测设备等因素的不同，几何误差检测有多种不同方法。对几何误差测量方法按不同性质分类，所规定的几何误差测量的基本几何基础，称为检测原则。

生产中几何误差涉及面很广泛，又有多种多样形式的要求，误差检测又很复杂，标准中不可能对所有具体项目的检测方法都做出具体规定，而仅规定了五种检测原则，生产中可根据零件的具体要求和设备条件，按检测原则规定制定出具体检测方案。

标准中规定的五种检测原则是：

(1) 第 1 检测原则——与拟合要素比较原则 将被测提取要素与其拟合要素相比较，量值由直接法或间接法获得。拟合要素用模拟法获得。

如图 176a 所示，检测被测要素平面度误差时，是以平板平面作为模拟理想平面（拟合要素），通过指示器对被测要素按一定布点进行测量，测得指示器最大与最小示值的差值，便可直接测得其平面度误差（详见 138 题）。

又如图 176b 所示，用自准直仪检测平板平面的平面度误差，



是以自准直仪射出的光线模拟理想平面，通过反射镜按照一定布点测得各测量点垂直方向变动量，根据测得值按最小条件要求计算后间接求得平面度误差（详见139题）。

与拟合要素比较原则是按几何误差定义提出的检测原理，用被测要素直接与理想要素比较测得其误差。按照定义，理想要素是指要素的几何形状，生产中难以得到。因此，在实际检测过程中则采用模拟的理想要素来体现。生产中常用的模拟理想直线有一束光线、拉紧的弦线、两平面的交线（如刀口尺的刃口、平板上的截交线）等。模拟理想平面有平板、平台、水平面、光扫描平面等。

按与拟合要素比较原则进行检测，可得到与误差定义一致的几何误差值，是几何误差检测的基本原则，在生产中应用最为广泛。

(2) 第2检测原则——测量坐标值原则 测量提取要素的坐标值（如直角坐标值、极坐标值、圆柱面坐标值），并经过数据处理获得的几何误差值。

如图177所示，测量一圆截面的圆度误差，用坐标测量装置按一定布点测出该截面内的各点坐标值 x 、 y 。按最小条件计算得到该截面的圆度误差（详见143题）。

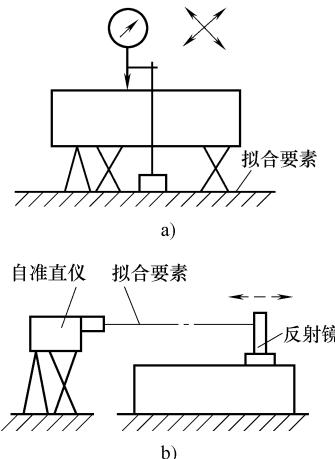


图176 与拟合要素比较原则

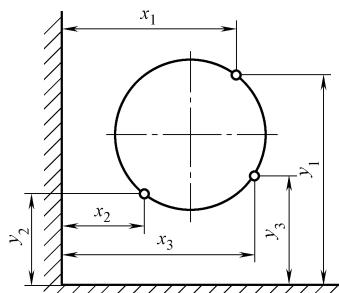


图177 测量坐标值原则



随着近代检测设备日趋完善，为生产提供有多种高精度坐标测量装置（如三坐标测量仪等），为采用测量坐标值原则检测几何误差的应用创造了条件。无论是平面要素还是空间要素，都可以精确地测得其几何误差。

(3) 第3检测原则——测量特征参数原则 测量被测提取要素上具有代表性的参数（即特征参数）来表示几何误差值。

如图178所示，用两点法测量圆度特征参数。测量时将被测零件放在V形块上，使其轴线垂直于测量截面，同时固定轴向位置。在被测零件回转一周过程中，指示器示值的最大差值与反映系数 K 之商，作为该截面的圆度误差（详见143题）。

用测量特征参数原则检测几何误差，所需检测设备简单，测量过程大大简化，易于操作，从而提高了测量效率，可获得较好经济效益。虽其误差评定不够严密，但由于在生产中简便易行，且能满足生产要求，在实际生产中应用广泛。

(4) 第4检测原则——测量跳动原则 被测提取要素在绕基准轴线回转过程中，沿给定方向测量其对某参考点或线的变动量。变动量是指指示器最大最小示值之差。

如图179所示，测量圆柱面径向圆跳动误差。测量时将两端基准轴放在V形架上，并在轴向定位，由V形架模拟公共基准轴线。在被测零件回转一周的过程中，指示器示值差值即为该测量面上的径向圆跳动误差（详见192题）。

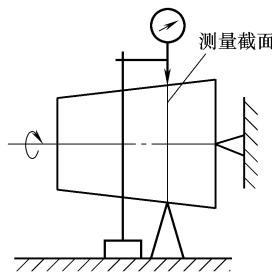


图178 测量特征参数原则

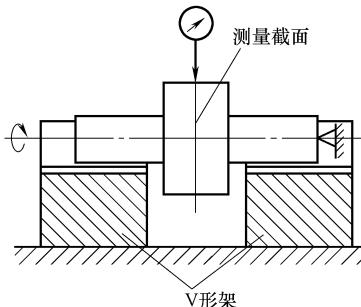


图179 测量跳动原则



测量跳动原则是根据跳动误差的定义提出的，主要用于圆跳动和全跳动误差检测。根据该原则所实施的检测方法很简单，便于生产中应用。在满足功能要求的前提下，该原则还可用于同轴度误差检测。

(5) 第5检测原则——控制实效边界原则 检验被测提取要素是否超过实效边界，以判断合格与否。

如图180所示，检测两孔的同轴度误差。用具有实效尺寸的综合量规插入两孔内，根据量规是否能通过被测零件来判断其同轴度误差是否在给定的公差范围内，以判定其是否合格(详见180题)。

控制实效边界原则仅适用于有相关要求的零件，检验结果也只能判别被测零件合格与否，而测不出误差的具体数值。生产中采用综合量规检测零件的几何误差，能够满足产品功能要求，保证产品质量，且可以提高检测效率，在成批或大量生产中得到广泛应用。

101. 什么是几何误差检测方案？检测方案代号表示什么意义？

答：根据被测要素的结构特点、精度要求、加工工艺方法和设备条件等因素，为实现几何误差检测的目的，所拟定的具体检测实施方法，称为检测方案。

检测方案的内容包括：被测零件所需检测的几何公差项目及其公差带；检测方法；测量用仪器、设备；测得数据的处理方法、误差判定等有关说明。它是在一定条件下对检测原则的具体应用。

为便于生产中选择检测方案，在国家标准《产品几何量技术规范(GPS) 形状和位置公差 检测规定》(GB/T 1958)的附录中，按照五种检测原则对几何公差各特征项目分别提供了多种误差检测方案(见本书附录)，生产中可根据具体情况选用。

标准中所列举的检测方案，仅为生产中常用的典型检测方

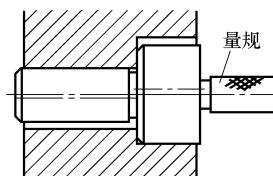


图180 控制实效边界原则



法，因实际生产中零件的结构状况和几何公差要求多种多样，不可能将所有方案一一列举。生产中只要按照五种检测原则要求，能够达到检测目的，获得正确评定结果的各种检测方案，都可以应用。

标准中各种检测方案示例，均用接触测量表示，实际使用时也包括非接触测量。各方案示例中，测量设备的类型和准确度，可按具体要求和条件选择。

在各检测方案的说明中，要求在检测前对有关要素调直、调平、调同轴等都是指“大致的定性”。对直线最近两点调直，对平面由最近三点调平或对角线调平，目的是为了使测量结果能够接近评定条件或者便于简化数据处理。

检测方案中常用符号及说明见表 33。

表 33 检测方案中常用符号及说明

序号	符 号	说 明	序号	符 号	说 明
1		平板、平台(或测量平面)	7		连续转动(不超过一周)
2		固定支承	8		间断转动(不超过一周)
3		可调支承	9		旋转
4		连续直线移动	10		指示计
5		间断直线移动	11		带有指示计的测量架(测量架的符号,根据测量设备的用途,可画成其他式样)
6		沿几个方向直线移动			

标准中提供的检测方案是按几何公差项目和采用的检测原则进行分类列出的。每种检测方案都规定了固定代号。该代号由两个数字组成：前一个数字表示检测原则（见 100 题）；后一个数



字表示检测方法，两数字之间用短画“-”隔开。每一检测方案都对应一固定的代号，不可随意更改。例如，平面度误差检测方案1-4，表示平面度误差按第一种检测原则，第四种检测方法进行。

102. 几何误差检测包括哪些过程？

答：几何误差检测包括测量过程和评定过程两部分。

(1) 测量过程 测量是指把被测的几何量与具有计量单位的标准量进行比较，以确定被测量的量值的过程。

几何误差测量过程是指利用适当的测量器具，按照一定的布点要求测得被测点数值，以得到被测提取要素作为被测实际要素，供误差评定用。

测量过程包括以下四个要素。

1) 测量对象：几何误差测量是指零件上的被测要素。

2) 测量单位：即计量单位的标准量，国家标准规定长度计量基本单位为m。几何误差常用的长度单位为mm和 μm 。

3) 测量方法：是指在进行测量时所采用的计量器具和测量条件的综合要求，包括测量原理、测量方式、测量器具、被测零件特性（如精度、尺寸大小、材质、数量等）以及测量的环境条件等。

4) 测量精度：是指测量结果与真值的一致程度。

测量过程的任务就是根据测量对象的特点和质量要求，拟定合理的测量方法，选择适宜的计量器具，把被测量与标准量进行比较，从而获得具有一定测量精度的测量结果。

(2) 评定过程 将测量过程所得到的测量结果，按照误差评定原则求得其实际误差值。

几何误差测量过程中，很难直接确定符合误差评定原则的测量位置，因此所测得数值通常不能表示实际误差，通常经过数据处理，方可得到真正的误差值。

有些误差项目（如跳动误差）本身就是以误差检测方法定义，故可直接通过测量过程得到误差值。实际生产中有时采用调直、调平、调同轴的方法，大致调至符合误差评定原则测量位



置，然后直接取其测量值作为误差值，这在满足零件功能要求的前提下是允许的，但也必须对其测量过程可能造成的影响因素进行分析，以免造成“误判”。

103. 什么是测量误差？测量误差分哪几类？

答：测量误差是指被测量的测得值与其真值之差。

被测量的真值是指没有任何误差的绝对准确的测量方法所测得的值。真值虽是客观存在，但由于计量器具本身的误差、测量方法的不完善、测量环境的限制等各方面因素影响，无法获得被测几何量的真值。测量实践表明，即使在相同的条件下对同一被测量进行多次重复测量，各次测得值也不完全相同。因此每一测得值只能在一定程度上近似于真值，这种偏离真值的程度在数值上则表现为测量误差。

根据误差的特征，测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

(1) 系统误差 系统误差是指在一定测量条件下，对同一被测量进行重复测量时，其数值大小和符号基本保持不变，或按一定规律变化的测量误差。前者称为定值系统误差，如量块检定后的实际偏差、千分尺零位不正确而引起的测量误差；后者称为变值系统误差，如分度盘因偏心引起的周期变化的测量误差。

系统误差一般是在进行测量之前就存在，其产生原因是：

1) 由于量具、量仪在设计、制造和使用调整中，存在不正确状况而引起的误差。如将非线性值用线性值代替所引起的误差；量仪制造时所产生的刻度误差；使用千分尺时没有进行零位调整引起的误差等。

2) 由于测量方法不完善而引起的误差。如测量时被测件安置不正确（没有调平等）引起的误差；细长件支承不正确引起的误差；不遵守温度规范引起的误差等。

减小或消除系统误差的方法有：

1) 消除引起系统误差产生的根源。如因量具或量仪的零位偏移产生的误差，可事先检查和调整零位，再进行测量；为消除



安置误差的影响，可在测量前仔细地进行调平；对温度变化的影响，应避免测量时可能出现的局部和瞬时热变化。

2) 修正方法。对某些固定的系统误差，如事先能用精度较高的量仪检定出来，并制出相应的修正表或修正曲线，便可对测得值进行修正，以消除该部分系统误差的影响。

(2) 随机误差 随机误差是指在相同的测量条件下，多次重复测量同一量值时，误差的大小与方向（正或负）不是按一定规律变化的测量误差。

随机误差产生的原因主要是由许多连续变化的微小因素造成，如量仪中传动链的间隙、连接件的弹性变形和摩擦力的变化等。此外，测量者的感官缺陷和精神状态，周围环境条件（如照明、周围介质的波动等）的变动，都会引起随机误差。

随机误差是测量过程中偶然出现的，对测量结果的影响又无预知规律。因此，难以像系统误差那样预先找出消除方法。通过大量实测实践证明，随机误差具有以下特性。

- 1) 绝对值相等的正、负随机误差出现的可能性相同。
- 2) 绝对值小的随机误差出现的可能性大；绝对值大的随机误差出现的可能性小。
- 3) 对一定的测量方法，随机误差的绝对值实际上不会超出一定界限。

根据上述特性，可用概率论和统计数学的方法对其进行数据处理，以减小随机误差对测量结果的影响。实际生产中可采用多次重复测量取其平均值的方法消除随机误差的影响。

(3) 粗大误差 粗大误差是指超出在规定条件下预计的，并且显著改变测量结果的大误差。它是由于测量过程中的过失所造成的测量误差。

产生粗大误差的原因是：操作者缺乏经验、粗心大意或疲劳所引起的，如发生不正确读数，错误的数据记录，不正确操作或没有掌握量仪的使用原理就进行测量等。此外，测量条件的瞬时变化，如机械冲击、外界条件的波动、仪器的停滞现象等，都会



造成粗大误差的产生。

在正常情况下，测量结果中不应含有粗大误差。因此要求操作者在测量中，必须严肃认真，仔细操作，精心观察。在分析测量误差和处理数据时应剔除粗大误差。

104. 测量误差对生产有何重大影响？怎样选择适宜的测量精度？

答：测量的目的在于保证产品质量，生产中通过测量所得的数据，来判别被测零件是否在给定的公差范围内。然而，任何测量都不可避免地存在测量误差，它将影响测量结果的准确性和生产的经济性。在验收产品时，测量误差很容易造成误判：把部分超出公差范围的废品误为合格品而误收；或把接近于公差界限的合格件误判为不合格品而误废。产品误收或误废将直接影响产品质量和生产经济效益。

从理论上讲，采用使测量误差最小的测量方法，可消除或减少误判现象。但在实际生产中对测量设备精度和测量条件提出极高的要求，显然是不经济的，在一般生产条件下也难以实现。

能否合理选择测量方法和测量器具，使测量误差对生产不会造成明显的影响，确保产品功能要求，是正确进行检测工作的前提。

根据生产需要和目前检测技术水平的可能，标准中规定：测量不确定度允许占给定公差值的 10%~33%。同时根据不同公差等级要求，规定了不同的百分比（见表 32）。

表 32 中所指测量不确定度包括以下三方面误差的综合结果。

1) 测量设备、测量温度和测量力等因素引起的误差，是产生测量误差的主要因素。

2) 以测得要素作为实际要素所引起的误差，如由于布点所引起的误差等。该误差计算十分困难，只有通过试验才能确定。若能采用合理的布点、布线方法，此项误差可以忽略不计。



3) 采用近似法评定时所引起的误差。若采用最小条件评定几何误差，此值为零。若采用近似法进行评定，其对测量误差的影响一般按经验值估算。

选择检测方案时应按 GB/T 18779. 2 的规定进行测量不确定度的评估。

105. 几何误差评定的仲裁原则是怎样规定的？

答：生产中对同一几何公差要求可采用多种检测方案进行检查。测量过程中采用的量仪、量具的精度，环境条件等也不相同，因而常常出现不同的检测结果，造成对误差评定发生争议。为此，标准中规定以下仲裁原则。

- 1) 当发生争议时，按 GB/T 18779. 1 的规定进行仲裁。
- 2) 当由于采用不同方法评定几何误差而引起争议时，对于形状误差、方向误差、位置误差分别以最小区域、定向最小区域和定位最小区域的宽度（或直径）所表示的误差值作为仲裁依据。
- 3) 当图样中已给定检测方案时，则按该方案进行仲裁。

几何误差检测用测量器具

106. 什么是测量器具？常用测量器具有哪些种类？

答：能测出被测对象量值的测量仪器和测量工具总称为测量器具。通常把具有传动放大系统的测量器具称为测量仪器，简称量仪，如机械比较仪、投影仪、指示表等；把没有传动放大系统的测量器具称为测量工具，简称量具，如游标卡尺、外径千分尺、量规等。

常用测量器具按其结构和用途不同可分为以下三类。

(1) 标准测量器具 指测量时体现标准量的计量器具，主要用来检定和校准其他测量器具，或直接用于精密测量，如量块、基准米尺、直角尺等。

(2) 通用测量器具 指测量时将被测的量值转换成可直接观察的指示值或等效信息的量具。该类量具通用性大，可用来测量某一范围内的各种尺寸（或其他几何量），并能获得具体数值，是生产中使用最广泛的计量器具。

通用测量器具按其构造特点、工作原理，又可分为以下几种类型。

1) 游标式量具：是应用游标读数原理（见 112 题）制成的量具。生产中常用的游标式量具有游标卡尺（图 181a）、游标深度卡尺（图 181b）、游标高度卡尺（图 181c）等，可分别用于测量外径、内径、长度、厚度、宽度、高度、深度和孔距等。游标式量具的特点是：结构简单、使用方便、坚固耐用、测量尺寸范围大，具有一定的测量精度。生产中广泛用于测量一般精度要求的尺寸。

2) 微动螺旋副式量具：是应用测微螺旋副传动原理制成的一种精密量具（见 115 题）。生产中常用的有外径千分尺（图

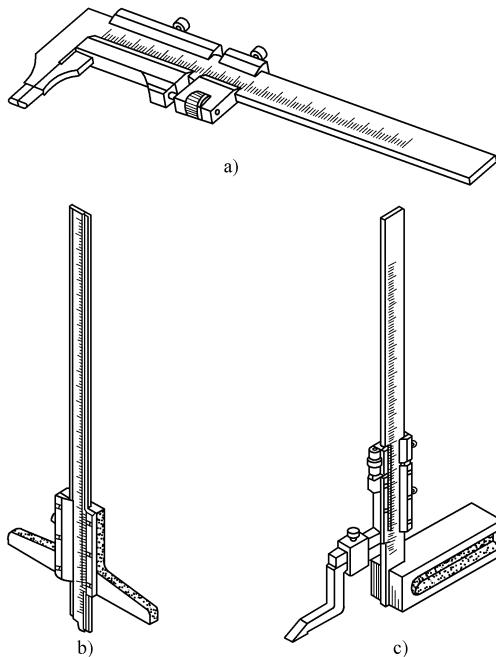


图 181 游标式量具

182a)、内径千分尺（图 182b）、深度千分尺（图 182c）等，可分别用于测量外径、内径、厚度及深度等尺寸。该类量具的特点是：测量精度高，但结构较复杂、测量范围较窄。生产中主要用于测量精度要求较高的尺寸。

3) 机械式测量仪：通过机械放大机构，将被测尺寸的微小变化进行放大，然后由指针在刻度盘上指示出来（详见 118 题）。生产中常用机械式测量仪有指示表（图 183a）、杠杆指示表（图 183b）、内径指示表（图 183c）和机械式比较仪等。这类量仪的特点是：测量精度高、使用操作方便，是几何误差检测用主要量仪。

4) 光学量仪：指用光学方法来实现原始信号转换和放大的测量器具。生产中常用的有自准直仪、光学比较仪、万能工具显

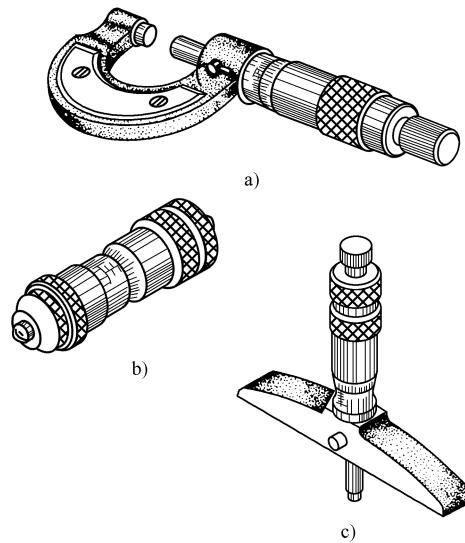


图 182 微动螺旋副式量具

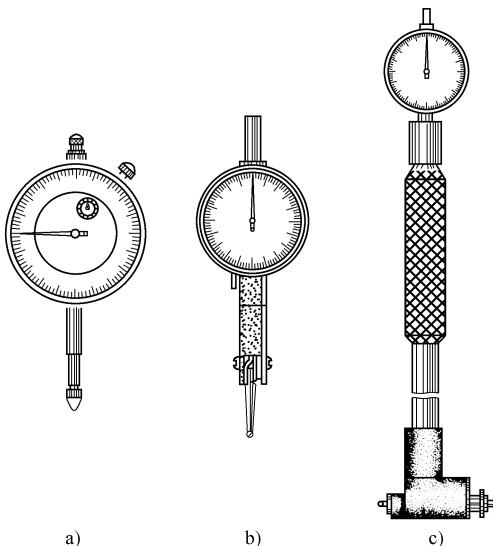


图 183 机械式测量仪



微镜、投影仪、光学分度头等。该类量仪的特点是：精度高、性能稳定，是几何误差检测中常用量仪。

(3) 专用测量器具：指专门用来测量某个或某种特定几何量的计量器具。生产中常用的专用测量器具有圆度仪（用于检测圆度、圆柱度误差）、量规（用于检测具有相关要求的几何公差）及检验夹具等。该类测量器具的特点是：只限定于指定量的误差检测、精度高、检测效率高，是某些几何误差检测常用器具。

107. 测量器具基本计量参数有哪些？

答：测量器具的计量参数是表征测量器具的性能和功用的指标。一定的测量器具只能在一定范围内使用，其适用范围取决于测量器具的计量参数和本身固有的内在特性，这些是选择和使用测量器具的依据。只有掌握这些参数，才能正确、合理地选择和使用测量器具。

测量器具的主要计量参数有：

(1) 分度值（旧称刻度值） 是指测量器具的刻度尺或度盘上，相邻两刻度（即每一小格刻度）所代表的被测量的数值。如百分表的分度值是 0.01mm，即每一格刻度表示被测尺寸为 0.01mm。在长度测量中，常用的分度值为 0.1mm、0.01mm、0.02mm、0.05mm、0.001mm 等几种。当测量器具上有多个刻度尺且其分度值又不相同时，通常以其中最小的分度值表示该测量器具的分度值。如指示表上有两种分度值，其中最小的为 0.01mm，此即为百分表的分度值。

测量器具的分度值和测量精度在数值上是相对应的，即分度值越小，通常表示测量器具的精度越高。

(2) 标尺间距 是指测量器具的标尺上，相邻两刻线中心距离。通常在整个标尺上都是等距刻度的。为了读数方便，特别是估读刻线间的小数部分比较准确，标尺间距不宜太小。但是，由于受仪器结构和标尺范围的限制也不能太大，一般为 0.75~2.5mm。

(3) 标尺范围 是指测量器具所能显示或指示的最小值到



最大值（即起始值到终止值）的范围。如千分尺的标尺范围一般是 25mm。

(4) 测量范围 是指测量器具所能测量的最大几何量值的范围。量具的测量范围与标尺范围是两个不同概念，如千分尺的测量范围有 0~25mm、25~50mm、50~75mm、75~100mm 等多种规格，而它们的标尺范围均为 25mm。

(5) 灵敏度 是指量仪对被测量微小变化的敏感程度。如果被测量变化 ΔL ，而量仪示值相应地变化为 Δx ，则灵敏度 S 为

$$S = \frac{\Delta x}{\Delta L}$$

当分子和分母为同一类量时，灵敏度也称放大比。一般地讲分度值越小，灵敏度就越高。一般不能用灵敏度低的量仪来测量精密工件。

(6) 示值误差 是指测量器具的示值与被测几何量的真值之间的差值。示值误差是代数值，有正负之分。示值误差是测量器具本身的误差，是由于量具的制造、安装、调整和刻度不准等原因造成的。示值误差可通过测量器具的检定得到。测量器具的示值误差在其产品标准中都规定有极限值。一般来说，示值误差越小，测量器具的精度越高。

(7) 修正值 是指与示值误差绝对值相等而符号相反的数值。修正值一般是通过检定获得，并在相应测量器具上做出标记。使用该测量器具时，需用代数法加到示值上，以取得正确的结果，如示值误差为 -0.005mm，修正值则为 +0.005mm。

(8) 重复精度 是指在相同条件下，如按同一方法，由同一操作者用同一测量器具，在同一测量地点于很短的时间间隔内，对同一被测量连续进行多次测量时，所测得值的分散范围。一般以测量重复性误差的极限（正负偏差）来表达。

(9) 测量力 是指在测量过程中，测量器具与被测表面之间的接触力。在标准中规定测量力应为零，这只有在非接触测量中才能实现。而在接触测量中，为保证量仪与被测表面之间



可靠的接触，则需要有适当的测量力，但不能过大，以免引起变形，使测得值不准确，甚至损坏被测件和量具。为此，在精密量具上，一般都设有控制测量力大小的机构，如千分尺上的棘轮装置。

108. 什么是测量方法？测量方法的选择原则是什么？

答：测量方法是指对测量方式、测量条件和测量器具的综合要求，也就是通常所说获得测得值的方法。按照生产中要求不同，测量方法可分为以下几类。

1) 按照测量结果的获得途径，可分为直接测量和间接测量。

直接测量是指通过量具或量仪直接测得被测几何量的数值，如用游标卡尺、千分尺测量轴径。

间接测量是指被测量的数值是由实测几何量的数值，按一定的函数关系式运算后获得。如利用两个直径分别为 D_1 和 D_2 的钢球测量锥孔的圆锥角，实测几何量为钢球顶点到基面的距离 H_1 和 H_2 ，根据几何关系便可计算出该锥孔的实际锥度值。

2) 按照测量时是否与基准量比较，可分为绝对测量和相对测量。

绝对测量是指由量具或量仪直接读得被测量数值，如用千分尺测量轴径等。

间接测量是指先用基准件校准量具的零位，然后放上被测件测得被测几何量与校准量具之间的偏差。被测几何量的数值等于基准量和量具标尺上读数值的代数和，如用内径百分表测量孔径。

3) 按照测量时是否有机械测量力，可分为接触测量和非接触测量。

接触测量是指量具或量仪的测头与被测零件的表面直接接触，并有机械作用的测量力存在。目前大部分测量方法属于接触测量。

非接触测量是指量具或量仪测量元件与被测零件的表面不发



生机械接触，即测量力为零，如用投影仪测量零件。

4) 按照同时测量几何量的多少，可分为单项测量和综合测量。

单项测量是指分别而独立地测量工件上各个几何量，如测量圆柱面的直径尺寸和圆度误差。

综合测量是指同时测量工件上某些相关几何量的综合效应，以判断其综合结果是否合格，如用综合量规检测两孔的同轴度误差，同时也测得相应孔径最大实体尺寸是否合格。

5) 按照测量在加工过程中所起的作用，可分为主动测量和被动测量。

主动测量是指在加工过程中对工件进行测量，用来控制工件的加工过程，决定是否需要继续加工或调整机床，及时防止废品产生。

被动测量是指在加工后对工件进行测量，其测量结果主要用来发现并剔除废品。

6) 根据测量时工件所处状态，可分为静态测量和动态测量。

静态测量是指工件在静止状态下进行测量，是生产中最常用的测量方法。

动态测量是指工件在运动中进行测量和读取读数，如数控机床上所设自动测量装置。动态测量生产率高，并能测出工件上一些参数连续变化的情况。

测量方法及测量器具多种多样，生产中必须根据具体情况，如生产规模、零件的几何精度要求、生产率要求和工厂的实际条件等进行选择，其选择原则是：

1) 测量方法与测量器具应与测量目的、生产批量、工件结构尺寸及精度要求、材质、重量等相适应。如测量的目的是为了分析工艺原因，则一般采用单项测量；而在成批大量生产条件下，为了提高测量效率，常用量规、检验夹具等专用测量器具进行综合测量；在单件小批生产中则常用通用量具、量仪；被测工



件的材质硬，多用接触测量，反之则用非接触测量。

2) 测量器具的选择，首先应使其规格指标能满足被测工件的要求，即所选用测量器具的测量范围、标尺范围、分度值、测量力应能满足被测工件的要求。测量器具的精度应能适应被测几何要素的精度要求。

109. 什么是量块？怎样正确使用量块？

答：量块是一种横截面为矩形，并具有一对相互平行测量面的实物量具。它用耐磨材料制成，其线胀系数小，不易变形，且耐磨性好。

量块的形状通常为截面呈矩形的六面体，如图 184 所示。其上、下为两个平行的测量面，周边为四个非测量面。两测量面是极为光滑平整的平行平面，两测量面间具有精确尺寸，称为标称长度。每个量块上均标记有标称长度数码，标称长度不大于 5.5mm 的量块，其标称长度数码刻印在上测量面上；标称长度大于 5.5mm 的量块，其标称长度数码刻印在面积较大的侧面上。

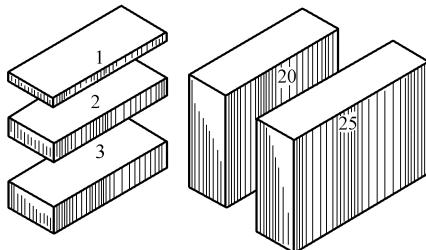


图 184 量块

量块的标称长度是指用以表明与主单位（m）之间关系的量值，也称为量块长度的示值。

量块的中心长度是指量块上测量面中心点的量块长度，如图 185 所示，即由上测量面的中心点（两对角线的交点）至与另一测量面相研合的辅助体（如平晶）表面的垂直距离。

为满足生产中不同的要求，标准中规定有两种精度划分标



准：一种是以其长度测量不确定度分等，共分为1、2、3、4、5五等；另一种是以量块长度的偏差分级，共分为K、0、1、2、3五级。标准中对各等、级量块长度变动量和其他性能均规定有相应要求（见JJG 146—2011《量块》）。上述等、级的精度依次从高至低排列。

量块是一种端面长度标准，主要用作尺寸传递系统中的工作基准，作为检定准确度基准或检定工作测量器具（如游标卡尺、千分尺等），也用于精密定位、划线和精密机床的调整，有时也直接用于测量精密零件和量规。

量块都是按一定尺寸系列成套生产的，每一套由一定数量的不同标称尺寸的量块组成，根据生产需要可选用不同规格的成组量块。表34中列出91块一套的量块组成。

表34 91块一套的量块组成

尺寸系列/mm	间隔/mm	块数
1.01~1.49	0.01	49
1.5~1.9	0.1	5
2.0~9.5	0.5	16
10~100	10	10
1.001~1.009	0.001	9
1	—	1
5	—	1

成套量块装在同一盒中，如图186所示。使用时通常不可能从已有量块中直接找到所需尺寸，而需要通过量块的研合性选取两块或更多量块组合构成所需尺寸。

研合性是指量块的一个测量面与另一量块测量面，通过分子力作用而相互粘合的性能。

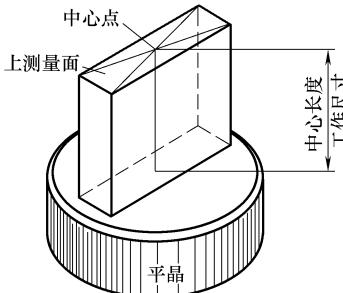


图185 量块的中心长度

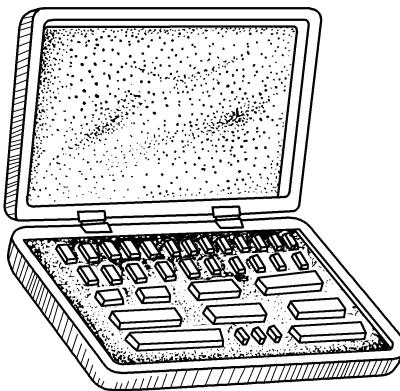


图 186 成套量块

选取组合量块时，为保证其精度，选取的块数应尽量少些。选取时应遵循以下原则：首先应选取能去除最小位数的量块，然后依次选取较大位数的量块，每选一次应能使所要组成的量块组尺寸至少减少一位。

例如，要组成 37.545mm 的量块组，选用量块的方法如下。

选用第一块量块尺寸 1.005mm

剩余尺寸 36.54mm

选用第二块量块尺寸 1.04mm

剩余尺寸 35.5mm

选用第三块量块尺寸 5.5mm

剩余为第四块量块尺寸 30mm

组成量块尺寸 37.545mm

量块是极精密的量具，使用时应注意以下事项。

1) 使用前用汽油清洗干净（洗去防锈油），再用清洁的麂皮或软绸擦干。测量面上不得有灰尘、纤维或明显的油迹。

2) 清洗后的量块，不要用手直接去拿，而应用软绸衬起来拿。量块放在工作台上时，应使非工作面与台面接触。



3) 量块的研合方法如图 187 所示。将两量块呈 30° 交叉贴合在一起，用手前后微量地移动上面的量块（图 187a），同时旋转使两量块的测量面转到平行方向（图 187b），然后沿测量面长边方向平行向前推动量块直到两测量面完全贴合在一起（图 187c）。

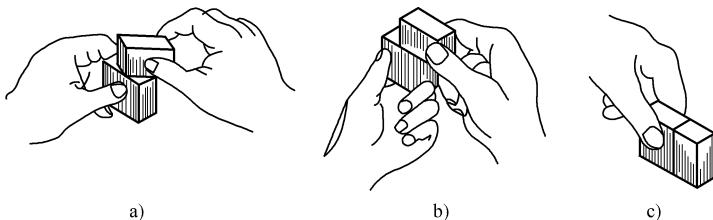


图 187 量块的研合方法

正常情况下，在研合过程中手指能感到研合力，两量块不必用压力就能贴附在一起。如研合力不强，在旋转和推进研合时，可施加一定的压力，但用力不宜过大，以免使小尺寸量块变形。研合过程中如有打滑、阻滞或刮磨感觉时，应立即停止研合，检查测量面是否有灰尘、污物或毛刺。

用小于 5mm 的量块与大尺寸量块研合时，应将小量块放在上面，以免损坏小量块。不得将非工作面与工作面放在一起研合。

4) 量块用完后，应及时将研合在一起的量块拆开，放到汽油中清洗干净，擦干后涂上防锈油，放到专用的盒内。若经常使用时，清洗后可不涂防锈油，直接放入干燥缸内保存。绝不允许将量块长时间研合在一起，以免产生金属粘接损伤量块工作面。

110. 什么是塞尺？怎样正确使用塞尺？

答：塞尺是由一组厚度不等的金属薄片组成的量具，如图 188 所示，主要用于测量两表面间较小间隙的尺寸大小，其测量

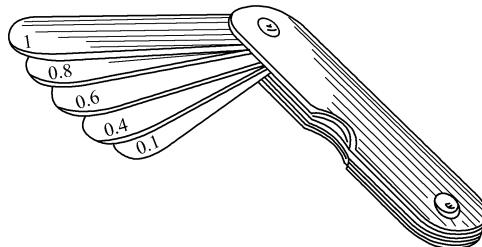


图 188 塞尺

范围（厚度范围）一般是 $0.02\sim1\text{mm}$ 。

每片塞尺上都标记有它的工作尺寸，为了便于保管和使用，通常将一组厚薄不等的塞尺按其工作尺寸大小顺序排列，同时铰接在金属锁夹内。使用时，根据被测间隙大小，选择适宜厚度的塞尺塞入被测间隙。若能很方便地塞入，且能任意在被测间隙内活动时，表示所选用的塞尺厚度太小；若塞尺不能塞入被测间隙时，表示所选塞尺厚度太大。只有当塞尺塞入间隙内后，移动时有轻微的阻滞感觉，此时塞尺的厚度即为被测间隙尺寸。

使用塞尺时应注意以下事项。

- 1) 塞尺工作面应擦拭干净，不得有弯折、不平的现象。
- 2) 使用时不可硬塞、硬拔，以免损伤工作面。若不能塞入时，应更换较薄的再试，直到适宜的厚度。
- 3) 测量时尽量选用一片适宜厚度的塞尺，以保证检测精度，必要时也可采用两片塞尺组合在一起进行检测。
- 4) 测量时应将塞尺塞入整个被测间隙内，几何误差检测时可塞入局部最大间隙处。

111. 什么是游标量具？游标量具常用有哪些构造形式？

答：游标量具是利用游标原理读数的一类通用量具。

游标量具根据测量要求不同，具有多种构造形式。

- (1) 游标卡尺 用于测量外径、内径、长度、宽度、厚度和深度。



1) 测量范围为 0~125mm 的三用游标卡尺，其构造如图 189 所示，主要由尺身 1 和尺框 4 等构成。内侧固定量爪 2 和外侧固定量爪 9 与尺身 1 制成一体；内侧活动量爪 3 和外侧活动量爪 8 则与尺框 4 制成一体。尺框套装在尺身上，可沿尺身长向移动。深度尺 6 置于尺身背面的长槽中，其一端固定在尺框上，随尺框一起移动。

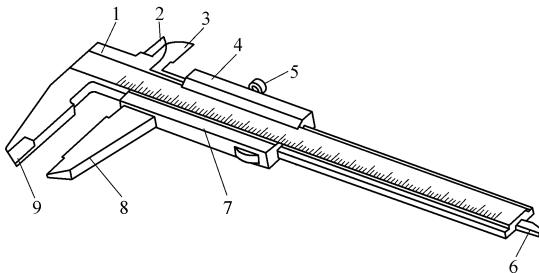


图 189 三用游标卡尺

1—尺身 2—内侧固定量爪 3—内侧活动量爪 4—尺框
5—紧固螺钉 6—深度尺 7—游标
8—外侧活动量爪 9—外侧固定量爪

测量时，移动游标使固定量爪和活动量爪测量面与被测要素相接触，通过游标 7 与尺身 1 的刻线对应位置，直接读得测量值。

2) 测量范围为 0~200mm 和 0~300mm 或更大尺寸范围的带有微动装置的游标卡尺，其构造如图 190 所示，主要由尺身 1、游标（尺框）3 和微动尺框 5 等构成。该游标卡尺与上述三用游标卡尺基本相同，主要区别是在游标（尺框）的右侧装有微动尺框 5，测量时，微动尺框可用紧固螺钉 6 固紧在尺身上，旋动微动螺母 4，可使游标（尺框）沿尺身微动，使量爪与测量面间更精密接触，以取得更精确的测量结果。

(2) 游标高度卡尺 用于测量零件的高度尺寸或划线，其构造如图 191 所示，主要由底座 1、尺身 2、游标（尺框）3、微

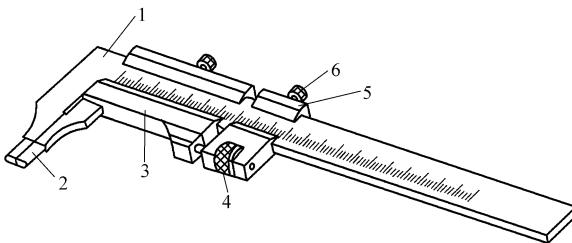


图 190 带有微动装置的游标卡尺

1—尺身 2—量爪 3—游标 (尺框) 4—微动螺母 5—微动尺框 6—紧固螺钉

动尺框 4 和量爪 8 等构成。尺身与底座沿垂直方向牢固地连接在一起，量爪 8 或划线量爪 7 通过夹持器 6 固定在尺框上。其测量工作原理与上述游标卡尺完全相同。

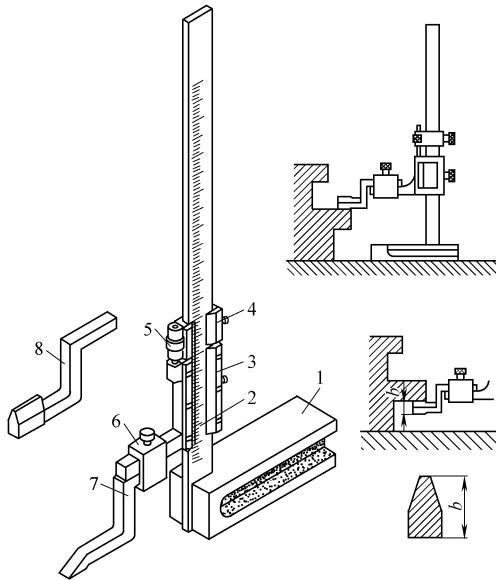


图 191 游标高度卡尺

1—底座 2—尺身 3—游标 (尺框) 4—微动尺框 5—微动螺母

6—夹持器 7—划线量爪 8—量爪



(3) 游标深度卡尺 用于测量零件上的深度尺寸，其构造如图 192 所示，主要由尺身 1、游标 2 和尺座 3 构成，尺座与游标制成一体，可同时沿尺身上下移动，以改变尺身下端测量面与尺座底部测量面间的相对位置，用以测量各种深度尺寸，其测量工作原理与上述游标卡尺完全相同。

112. 游标量具的读数原理是什么？怎样正确读数？

答：如上所述，游标量具的构造形式多种多样，但其读数机构基本相同，都是由主标尺与游标尺两部分组成。主标尺与游标尺的标尺间隔不同，通常主标尺的标尺间隔为 1mm，而游标尺的标尺间隔则根据测量精度不同分为多种形式。

(1) 分度值为 0.1mm 的游标尺 如图 193 所示游标尺的标尺间隔为 0.9mm，主标尺的标尺间隔为 1mm，两者标尺间隔差为 $1\text{mm}-0.9\text{mm}=0.1\text{mm}$ 。

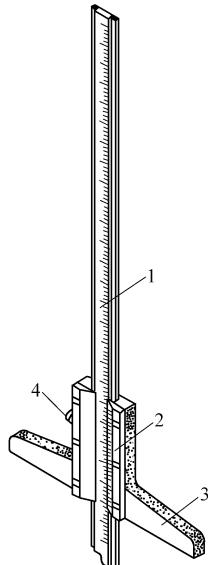


图 192 游标深度卡尺

1—尺身 2—游标（尺框）

3—尺座 4—紧固螺钉

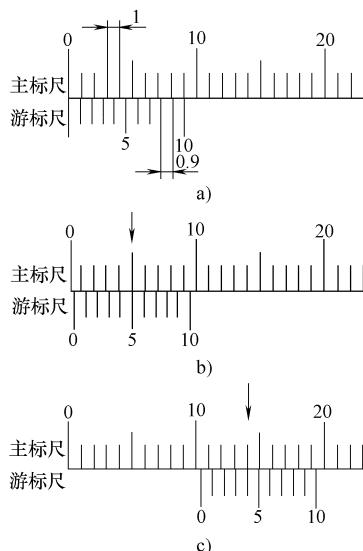


图 193 分度值为 0.1mm

游标卡尺的读数原理



当活动量爪与固定量爪贴合在一起时，游标尺上的零标记正好对准主标尺上的零标记（图 193a）。此时游标尺第 1 条标记相对主标尺第 1 条标记向左偏移 0.1mm，第 2 条标记相对偏移 0.2mm……依此类推，到游标尺第 10 条刻线恰好相对于主标尺第 10 条标记向左偏移 1mm，与主标尺的第 9 条标记对齐。

由此可知，当游标尺第 1 条标记与主标尺第 1 条标记对齐时（此时游标尺上其余标记均不会与主标尺标记对齐），则游标尺向右移 0.1mm；若游标尺第 5 条标记与主标尺第 5 条刻线对齐时（图 193b），则使游标尺向右移 0.5mm。

根据上述原理，采用上述标尺的游标卡尺进行测量时，便可准确读出分度值为 0.1mm 的数值。测量时读数方法是：先从游标零标记所指示主标尺标记位置，读出被测实际尺寸的整数值部分，再沿游标尺标记找出与主标尺标记对齐的位置，该游标尺标记位置读数即为小数点后一位数值。如图 193c 所示，该游标零标记指示位置，由主标尺上读得 10mm，再找出游标尺上第 4 条标记与主标尺标记对齐，故该被测尺寸为 10.4mm。

为了便于读数，有的游标尺的标尺间隔由 0.9mm 扩大为 1.9mm，使主标尺标记上两格间距与游标尺标记一格间隔差为 $2\text{mm} - 1.9\text{mm} = 0.1\text{mm}$ ，如图 194 所示，其分度值仍为 0.1mm，读数方法与上述完全相同。

(2) 分度值为 0.05mm 的游标尺 如图 195 所示，其主标尺的标尺间隔为 1mm，而游标尺将主标尺 19 格标记均分为 20 等份（图 195a），其标尺间隔则为 $19\text{mm} \div 20 = 0.95\text{mm}$ ，即

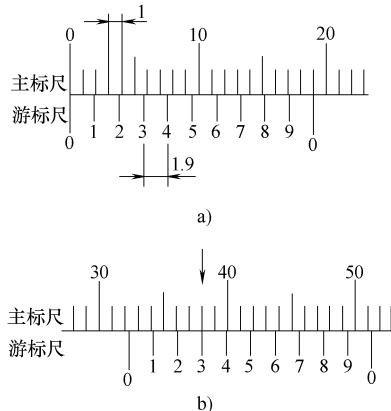


图 194 游标尺的标尺间隔为
1.9mm 的读数原理



主标尺标记 1 格与游标尺标记之差为 $1\text{mm} - 0.95\text{mm} = 0.05\text{mm}$ 。游标尺标记与主标尺标记对齐位置所示数值即为小数点后长度值（每格表示 0.05mm ）。其读数方法与上述相同，如图 195b 所示，先由主标尺标记读得 32mm ，然后查得游标尺标记与主标尺标记对正位置在游标尺标记 55 位置，故该被测长度为 32.55mm 。

同样，为了读数方便，游标尺间隔可为 1.95mm ，如图 196 所示，即在主标尺标记 39mm 范围内，将游标尺标记分为 20 等份（图 196a），其标尺间隔为 $39\text{mm} \div 20 = 1.95\text{mm}$ ，主标尺每两格与游标尺一格之差为 $2\text{mm} - 1.95\text{mm} = 0.05\text{mm}$ ，故其分度值也是 0.05mm 。其读数方法与上述完全相同，如图 196b 所示，由主标尺读得 32mm ，游标尺与标尺标记对齐位置为 75 ，故该被测长度为 32.75mm 。

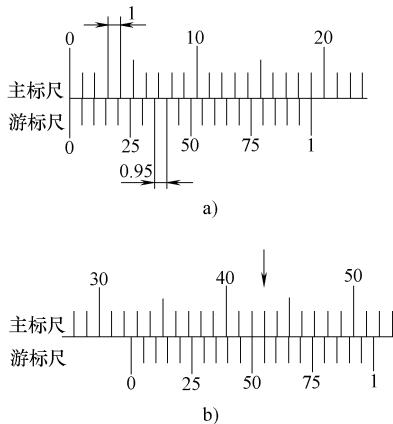


图 195 游标尺的标尺间隔为
 0.95mm 的读数原理

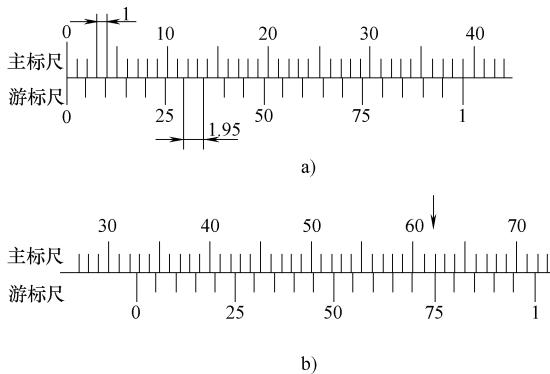


图 196 游标尺的标尺间隔为 1.95mm 的读数原理



(3) 分度值为 0.02mm 的游标尺 如图 197 所示, 其主标尺的标尺间隔为 1mm, 游标尺则是将尺身 49 格标记均分为 50 等份(图 197a), 故其游标尺的标尺间隔为 $49\text{mm} \div 50 = 0.98\text{mm}$, 即主标尺标记与游标尺标记每格间相差 $1\text{mm} - 0.98\text{mm} = 0.02\text{mm}$, 故其分度值为 0.02mm。它的读数方法与上述基本相同。如图 197b 所示, 由主标尺身标记读得 32mm, 由游标尺标记与主标尺标记对齐位置在“2”的右侧一格, 故该被测长度为 32.22mm。

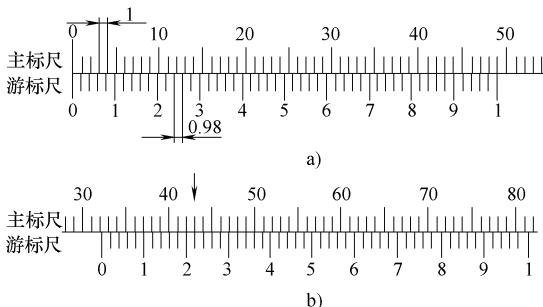


图 197 游标尺的标尺间隔为 0.98mm 的读数原理

113. 怎样正确使用游标量具?

答: 游标量具使用方法是否正确, 直接影响测量精度, 使用时应注意以下事项。

- 1) 使用前应将游标量具擦拭干净, 然后拉动尺框, 其沿尺身移动应灵活、平稳, 不得有时松时紧或卡滞现象。用紧固螺钉固定尺框时, 读数不应发生变化。
- 2) 检查零位。游标卡尺应轻轻推动尺框, 使两测量爪测量面合拢, 检查两测量面接触情况, 不得有明显漏光现象。同时检查尺身与游标的零刻线是否对齐。游标高度卡尺和游标深度卡尺零件检查应在平板上进行, 将底座(或尺座)底面紧压在平板上, 推下尺框(或尺身), 使其测量面与平板紧密接触, 此时, 游标与尺身零标记应对齐。
- 3) 被测表面应擦拭干净, 测量时用手轻轻推或拉动尺框,



使量爪轻轻与被测表面接触，带有微动尺框构造的应固定微动尺框，旋转微动螺母，使测量面紧密接触。游标量具没有测力机构，操作时不得用力过大，以免影响测量精度。

4) 测量时，测量面与被测表面位置应放正确，通常两测量面连线应垂直被测表面，不得倾斜。

5) 读数时，应用紧固螺钉将尺框位置锁定，轻轻从工件上取下，将游标量具水平拿着，朝向光亮方向，使视线正对刻线表面，然后按读数方法仔细辨认指示位置，以免视线不正造成读数误差。

用下量爪外侧表面测量内径，或游标高度卡尺用量爪上表面测量尺寸时，读取结果一定要把量爪的厚度尺寸加进去。

114. 什么是微动螺旋副式量具？该类量具有哪些构造形式？

答：利用螺旋副的螺纹升程原理制成的一类精密测量工具，称为微动螺旋副式量具。

根据测量要求不同，微动螺旋副式量具可分为多种构造形式。

(1) 外径千分尺 用于测量外径、厚度、长度等外表面尺寸，其构造如图 198 所示，主要由尺架、测微螺旋机构和测力装置等构成。

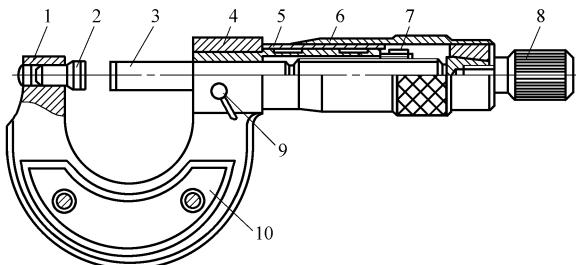


图 198 外径千分尺

1—尺架 2—固定测砧 3—测微螺杆 4—螺纹轴套 5—固定套筒

6—微分筒 7—螺母 8—测力装置 9—制动器 10—隔热板



尺架 1 为一 U 形刚性件，其一端安装着固定测砧 2，另一端则安装着测微螺旋机构和测力装置，尺架下方两侧装有隔热板 10。

测微螺旋机构由螺纹轴套 4、测微螺杆 3、微分筒 6 等构成。螺纹轴套固定在尺架上，测微螺杆装在轴套内，两者之间通过高精度的螺纹配合旋装在一起。测微螺杆外伸端为测量杆，其端面与固定测砧端面为两测量面。当测微螺杆在轴套内旋转时，通过螺纹作用使测微螺杆产生轴向移动，从而改变两测量面间的距离。当测微螺杆旋转一周时，两测量面之间距离改变一个螺距。微分筒 6 与测微螺杆固定在一起，其左端圆周斜面上，刻有 50 条等分线。而固定在尺架上的固定套筒 5 上刻有一条纵向线，在线的上、下方各刻有 25 个标尺标记，标尺间隔 1mm，上排刻线的起始位置与下排刻线错开 0.5mm，由此构成读数机构（详见 115 题）。

测力装置 8 为棘轮机构，测力装置的外伸旋柄通过棘轮与测微螺杆相连。测量时，用手转动测力装置旋柄，便带动测微螺杆和微分筒一起转动。当测微螺杆的测量面与被测表面相接触，达到一定测量力后，棘轮开始空转，并发出响声，从而控制千分尺的测量力。

制动器 9 用于锁紧测微螺杆，以便于从被测零件上取下千分尺进行读数。

千分尺测微螺杆的精度要求很高，要测量较大的尺寸范围，就要求螺杆很长，给加工带来困难，为此千分尺的测量范围一般为 25mm。为了扩大测量范围，可将尺架增大，以得到不同的测量范围。

(2) 杠杆千分尺 用于测量精度要求高的直径、厚度、长度尺寸，其构造与上述外径千分尺相似，如图 199 所示，其中测微螺旋机构部分两者完全相同，主要区别是：外径千分尺的固定测砧处改为微动测杆 1，并通过杠杆齿轮传动机构，把微动测杆的直线位移转变为指针 8 的角位移，并由度盘 9 上指示出读数。



度盘上的分度值有 0.002mm 和 0.001mm 两种。

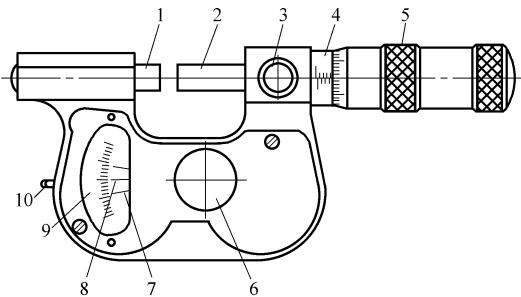


图 199 杠杆千分尺

1—微动测杆 2—测微螺杆 3—制动器 4—固定套筒 5—微分筒
6—保护帽 7—公差指针 8—指针 9—度盘 10—拨叉

为了测量工作方便，杠杆千分尺上还装有公差指针 7 和拨叉 10。使用前，先按照零件的公称尺寸校对指针零位，然后根据给定的尺寸上、下极限偏差，调整公差指针位置。测量时，只要指针 8 指示在两公差指针之间，即为合格。

(3) 内径千分尺 用于测量孔径、槽宽等内表面尺寸，其构造如图 200 所示，主要由测头体 2、测微螺杆 4 和球形测头 1 等构成。其中由测微螺杆和微分筒等构成的测微螺旋机构与上述外径千分尺完全相同，不同点是没有尺架，而是在测头体和微分筒外侧各装一个球形测头，以两测头外端点作为两测量面。为了扩大其测量范围，还可配以不同长度的接长杆，用以测量不同长度范围的内表面尺寸。

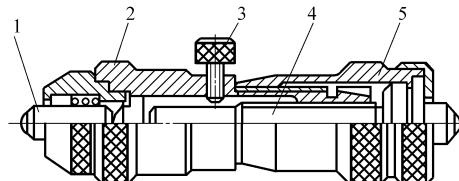


图 200 内径千分尺

1—球形测头 2—测头体 3—锁紧装置 4—测微螺杆 5—微分筒



(4) 深度千分尺 用于测量零件的深度、高度尺寸，其构造如图 201 所示，主要由测量杆 6、微分筒 2 和固定套筒 3 组成的测微螺旋机构和底座 4 等构成。测微螺旋机构固定在底座 4 上，其构造与外径千分尺完全相同。它以底座下表面和测量杆端面作为测量面。

115. 微动螺旋副式量具读数原理是什么？怎样正确读数？

答：微动螺旋副式量具有多种不同构造形式，但其读数机构则完全相同，都是由固定套筒和微分筒上的标尺标记构成，如图 202 所示。在固定套筒上刻有一条纵向线，在线的上、下方各有 25 条标尺间隔为 1mm 的标记，上下排标记起始位置错开 0.5mm。常用测微螺杆螺距为 0.5mm，因此，与测微螺杆连在一起的微分筒每转动一圈，测微螺杆便轴向移动 0.5mm。

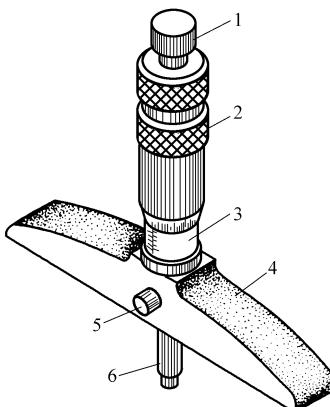


图 201 深度千分尺

1—测力装置 2—微分筒 3—固定套筒
4—底座 5—制动器 6—测量杆

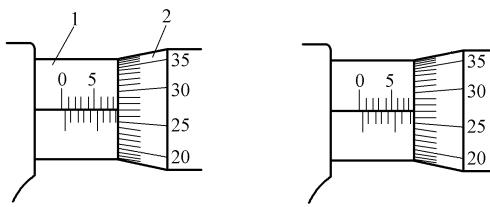


图 202 千分尺的读数机构

1—固定套筒 2—微分筒

在微分筒的圆周斜面上，沿周圈刻有 50 条等分线，由于测微螺杆的螺距为 0.5mm，所以，微分筒上标尺标记的分度值为 $\frac{0.5}{50} \text{mm} =$



0.01mm，即微分筒每转动一个标尺间隔，测微螺杆的移动量为0.01mm。微分筒的转动量不足一个标尺间隔时，可根据偏移量大小估计读数。

微分筒的转动圈数是由固定套筒上的标尺标记指示，微分筒的端面棱线作为固定套筒上毫米整数的读数指示线。读数时，首先根据微分筒棱边指示位置，读出被测尺寸整数值，然后再根据微分筒周圈刻线与固定套筒上的纵刻线对应位置，读出小数值。注意：读小数值时一定要从固定套筒纵向线下方标尺标记读起，判别微分筒旋转位置是否超过半格，以便正确确定其小数值。

如图202a所示，其读数整数值为8mm，然后从固定套筒纵向线下方标尺标记判别其小数值是在0.5mm之上还是之下，从图中看出8mm刻线右下方刻线没有示出，表示该小数值小于0.5mm，微分筒标尺标记指示值0.27mm即为其读数的小数值，故该被测尺寸为8.27mm。

又如图202b所示被测尺寸，在固定套筒8mm标记右下方标记已露出，表示其小数部分大于0.5mm，其小数部分除从微分筒标尺标记读得0.27mm外，还应加0.5mm，故该被测实际尺寸应为 $8\text{mm}+0.5\text{mm}+0.27\text{mm}=8.77\text{mm}$ 。

116. 怎样正确使用测微螺旋副式量具？

答：测微螺旋副式量具是生产中应用广泛的精密量具，为保证其测量精度，使用时应注意以下事项。

1) 使用前应将测量面擦拭干净。转动测力装置时，微分筒应转动灵活，不得有卡滞现象。

2) 零位校对。测微螺旋副式量具不同构造形式，其零位校对方法各不相同。

外径千分尺的零位校对：转动测力装置，使两测量面接触，对于测量范围大于25mm的千分尺，应在两测量面之间放入校对棒或相应尺寸的量块，如图203所示。检查时应先观察测量面处接触状况，不得有漏光现象。然后检查微分筒上的零标记应与固

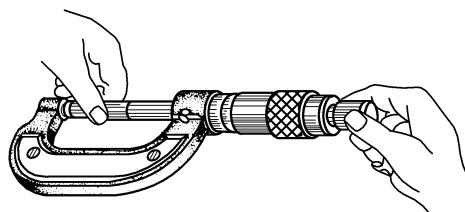


图 203 外径千分尺的零位校对

定套筒上的纵标尺标记对正。

内径千分尺是一种带有可换接杆的内表面尺寸量具，其采用校对量规来检验测量下限示值是否正确。

深度千分尺的零位校对：先将其微分筒旋至零标记之外，然后把底座测量面放到平板上，并用手压紧使两平面紧密贴合，用另一只手转动测力装置。当测量杆端面与平板接触后，测力装置的棘轮开始空转并发出声响，此时微分筒的零标记应与固定套筒的纵标记对齐。

3) 测量时应使测量面与零件表面良好地接触，并使测量杆轴线方向与被测尺寸方向保持一致。

4) 测量时应用测力装置旋转测量杆，以保持标准测量力。没有测力装置的内径千分尺则靠手感掌握，以使测头与被测表面刚好接触为止。

5) 读数时最好直接在零件上读取，以免取下时磨损测量面。如需取下读取时，应将制动器扳下，然后轻轻从零件上取下。注意：读数时不要忘记分辨 0.5mm 指示数值。

6) 为防止人体温传给千分尺影响测量精度，测量时应手持隔热板。

117. 什么是机械式测微量仪？其常用有哪些构造形式？

答：利用机械式放大机构，将测量杆上的微小直线位移进行放大后，转变为指针上的角位移，由指针在度盘上指示出相应示值的一类测量器具，称为机械式测微量仪。



机械式测微量仪是生产中广泛应用的高精度测量器具，是几何误差检测主要的测量工具。根据测量要求不同，机械式测微量仪有多种构造形式。

(1) 指示表(百分表) 用于测量零件外表面尺寸变动量，其构造如图 204 所示，主要由表体 1、度盘 3、指针 9、测量杆 7 和内部传动系统等构成。测量可沿套筒 6 上下移动，通过表内传动齿轮带动指针 9 转动。在度盘 3 的圆周上刻有 100 个等分刻线，测量杆每移动 1mm，指针转动一圈。因此，指针转动一格，表示测量杆移动 0.01mm。指示表上还设有一个转数指示盘 10，当指针转动一圈时，转数指示盘上的小指针转过一格，因此，转数指示盘上每格代表 1mm。

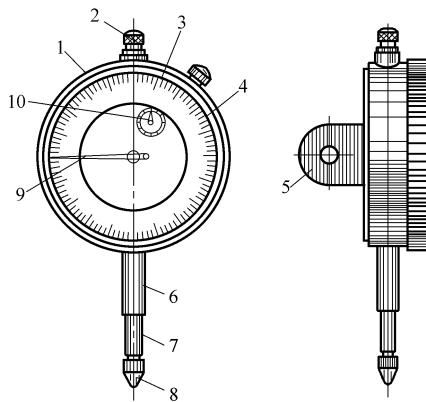


图 204 指示表

1—表体 2—圆头 3—度盘 4—表圈 5—耳座 6—套筒
7—测量杆 8—测头 9—指针 10—转数指示盘

(2) 杠杆指示表 主要用于测量尺寸较小的孔、窄槽等零件表面的尺寸变动量，其构造如图 205 所示，主要由表体 4、度盘 3、指针 2、测头 5、换向器 6 和内部杠杆齿轮机构等构成。当测头绕其支承轴摆动时，通过杠杆齿轮机构带动指针旋转。测头沿垂直其中心轴线每移动 0.01mm，指针沿度盘转过一格。



(3) 内径指示表 用于测量内径、槽宽等内表面尺寸，其构造如图 206 所示。它是由杠杆式测量架和指示表两部分组合而成，是一种比较测量量仪，其以可换测头 9 和活动测头 5 的外端作为测量面，使用时先通过标准环规或外径千分尺进行定位，再放入被测尺寸表面处，通过内部杠杆机构，由指示表处指示出与标准尺寸的差异，以确定被测尺寸。

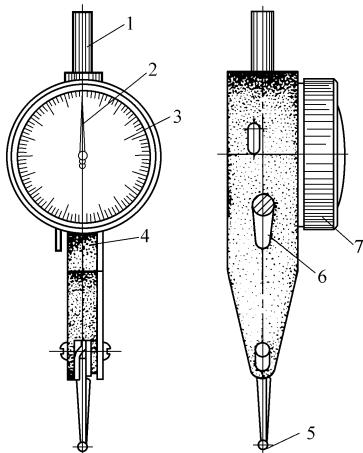


图 205 杠杆指示表
1—连接杆 2—指针 3—度盘
4—表体 5—测头
6—换向器 7—表圈

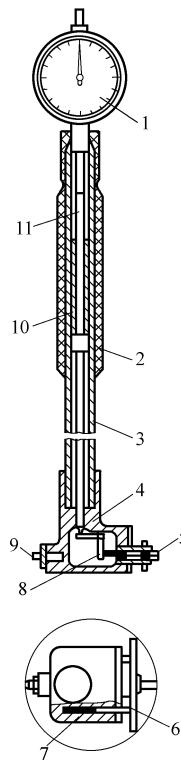


图 206 内径指示表
1—度盘 2—隔热手柄 3—表杆
4—三通管 5—活动测头 6—定位桥
7、10—弹簧 8—杠杆 9—可换测头
11—活动杆

118. 指示表的工作原理是什么？怎样正确使用指示表？

答：指示表是一种指示式量仪，它通过齿轮传动机构，将被测尺寸的微小变化进行放大，通过指针在度盘上指示出来。

指示表内部传动系统如图 207 所示，带有齿条结构的测量杆



1 和齿轮系 $z_1 \sim z_4$ 构成传动系统，在齿轮 z_3 上固定着指针 2。当测量杆上下移动时，通过齿轮 z_1 、 z_2 带动齿轮 z_3 转动，指针也随之转动。测量杆移动 1mm，指针恰好转动一圈。在指针指示的度盘周围刻有 100 个等分线，因此指针转动一格，表示测量杆移动 0.01mm，由此可测得被测表面尺寸的微小变动量。

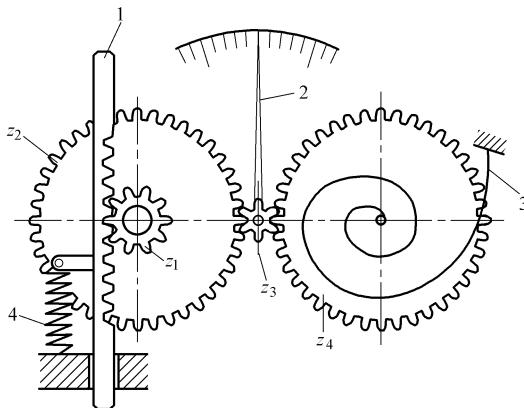


图 207 指示表传动系统示意图

1—测量杆 2—指针 3—游丝 4—测力弹簧

为了减少齿轮啮合间隙引起测量误差，指示表齿轮系还装有补偿齿轮 z_4 ，该齿轮上装有游丝 3，通过游丝扭力矩作用，使传动机构的齿轮副在正反行程时，始终保持在单向齿廓啮合状态，消除了啮合间隙的影响。指示表的测量力则由测力弹簧 4 控制。

指示表是一种生产中常用精密量仪，是几何误差检测最基本的测量工具，使用时应注意以下事项。

1) 使用指示表时，应将其固定在稳定的表架上，如图 208 所示。常用指示表表架有：万能表架（图 208a），可放在平板或机床导轨上进行测量；磁力表架（图 208b），它利用磁力可吸附在铁合金零件上进行测量。此外，当用于大批零件检测时，可制

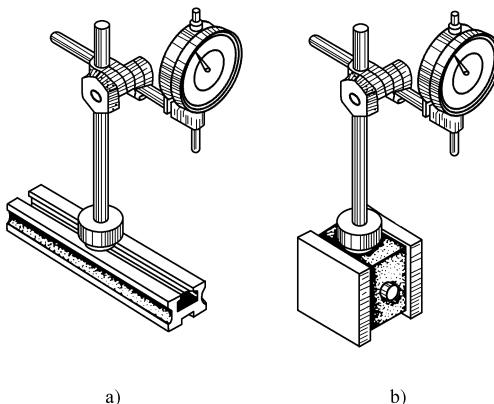


图 208 指示表表架

成专用固定式表架。

2) 使用前, 应仔细清除表体、测量杆上的油脂、污物, 并擦拭干净。

检查测量杆活动的灵活性, 即用手轻轻推动测量杆, 查看其移动是否灵活, 不得有卡滞现象, 且在每次放开测量杆后, 指针应回复到原指示位置。

3) 根据被测零件的形状和材质选用适宜的测头。通常平面或圆柱形零件应选用球面测头, 球形零件应选用平面测头, 凹形或复杂形状表面则应选用尖测头, 但软金属材料不宜用尖测头。

4) 测量时, 测量杆轴线必须垂直于被测表面, 如图 209 所示, 保持其与被测尺寸方向一致, 以免产生测量误差。

5) 应控制被测尺寸范围, 不得使测量杆的行程超出规定的测量范围。

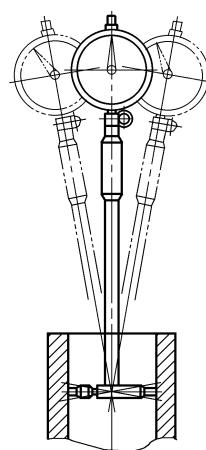


图 209 指示表的测量方法



应避免冲击和振动的影响，不得把零件强行推入测头下，也不得用指示表测量粗糙表面。

6) 在测头与被测表面接触时，应使指示表有 $0.3\sim1\text{mm}$ 的初始压缩量（即使指针转过半圆左右），然后转动表圈使指针指向零位，并轻轻拉动测量杆上端的圆头，反复检查几次，观察指针零位有无变化，待稳定后再进行测量。

7) 耳座5和套筒6（图204）是指示表在表架上的装夹部位。用套筒固定指示表时，夹紧力不要过大，以免引起套筒变形，造成测量杆卡死。

8) 测量完成后，应使测量杆恢复到自由状态放置，以免表内弹簧失效。应保持表的清洁，防止水及污物进入表内。

119. 杠杆指示表的工作原理是什么？怎样正确使用杠杆指示表？

答：杠杆指示表是利用杠杆齿轮机构，将测量杆的微小摆动放大，转变为指针的回转运动，通过指针在度盘上指示出来。杠杆指示表的工作原理如图210所示，球面测量端1外伸球头为测量面，其另一端与杠杆2相连，杠杆上端固定有扇形齿轮3，其与齿轮4相啮合。齿轮4与指针5固定在同一轴上。

当球面测量端产生微小的摆动时，通过杠杆带动扇形齿轮产生摆动。同时，与扇形齿轮相啮合的齿轮被带动回转，与齿轮固定在同一轴上的指针便指示出相应的示值。测头摆动 0.01mm ，指针转动一小格，即杠杆指示表的分度值为 0.01mm 。

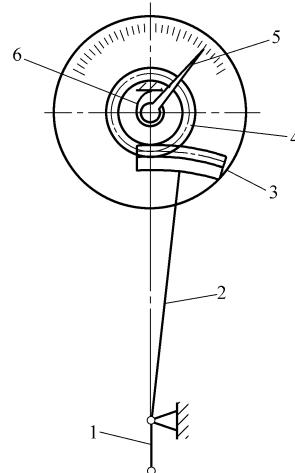


图210 杠杆指示表的工作原理
1—球面测量端 2—杠杆 3—扇形齿轮 4—齿轮 5—指针 6—游丝



杠杆指示表也是检测几何误差的一种常用量仪，由于它的体积小，且能改变测量杆的运动方向，生产中用于校正和检验零件尺寸变化比用指示表更方便。它能够测量用普通指示表难以接近的表面。如图 211 所示，用杠杆指示表测量凹槽和小孔等内表面时，可将球面测量端伸入被测表面上。

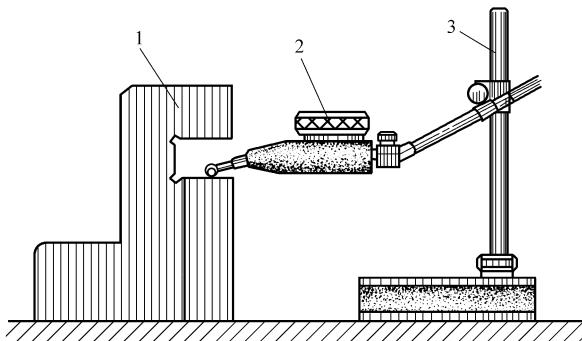


图 211 杠杆指示表的使用

1—被测零件 2—杠杆指示表 3—表架

杠杆指示表的使用注意事项与前述指示表基本相同。但杠杆指示表的测量范围小，一般仅为 $\pm 0.4\text{mm}$ ，表内零件又很精密，使用时应特别注意防止碰撞和超出测量范围。

使用时，测量方向应与测头中心线垂直，以免产生测量误差。使用时可通过换向器调整测头方向，如图 212a 所示。若因某种原因不能使测头中心线与测量方向垂直时，将产生测量误差，如图 212b 所示，为消除此误差，可按下式计算求得被测实际尺寸

$$L_{\text{实际}} = L_{\text{读}} \cos\alpha$$

式中 $L_{\text{实际}}$ ——被测实际值 (mm)；

$L_{\text{读}}$ ——被测读数值 (mm)；

α ——测量倾斜角 ($^{\circ}$)。

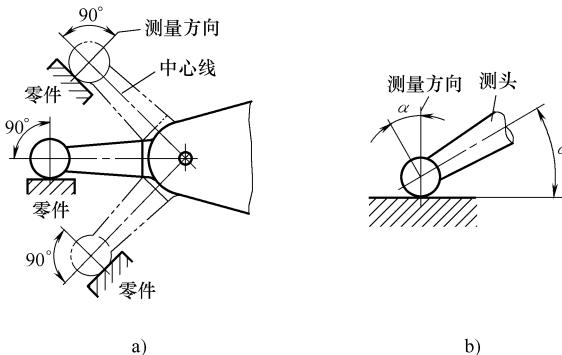


图 212 杠杆指示表测量方法

120. 内径指示表的工作原理是什么？怎样正确使用内径指示表？

答：内径指示表由杠杆式测量架和指示表两部分构成（图206）。由表杆3和三通管4构成的测量架内，装有由杠杆8和活动杆11构成的杠杆式传动装置。三通管的右侧装有活动测头5，其内端与杠杆8相接触；左侧装有可换测头9，可根据被测实际尺寸更换适宜长度的测头。

当活动测头沿水平方向移动时，便推动杠杆8产生转动。同时杠杆的另一端又推动活动杆，带动与其上端相接的指示表测量杆上下移动，由指示表指针指示出读数。

由于杠杆8的两端触点到回转轴线间是等距的，因此，活动测头水平方向移动距离与活动杆垂直方向的移动距离完全相同，所以由指示表指示出的位移量等于活动测头的位移量，即被测实际尺寸的变动量。

内径指示表是一种比较测量量仪，其使用方法是：

1) 使用前根据被测尺寸选择相应长度的可换测头。每只表均备有一组可换测头，适用于一定的测量范围（在测头上均标有测量范围数值）。

选好可换测头后，将其安装在三通管座孔内并用旋紧螺母将其锁紧固定。然后用规定尺寸的标准环规或外径千分尺调整内径



指示表的零位，如图 213 所示。调整时将内径指示表测头两测量面放到校好的外径千分尺两测量面之间（或专用环规内），对好测量位置稍做摆动找到最小指示位置，转动指示表度盘使指针与零标记对齐，即可取出进行测量。换取可换测头及调整其伸出量时，应使被测尺寸在活动测头总移动量的中间位置。

2) 测量孔内径时，应使内径指示表的测量线位于被测孔的直径方向上。在测头处设有定位护桥 6（图 206）定心机构，应使其与被测圆弧面紧密贴合，然后将表杆在被测孔的轴向平面内缓慢地来回摆动（参见图 209），取其最小指示值作为测量结果。

测量槽宽时，则应同时在径向和轴向找出其最小值作为测量结果。

121. 什么是水平仪？水平仪的构造与工作原理是怎样的？

答：水平仪是利用液体中的气泡向高处移动的原理，指示平面高度差值的一种常用量仪。水平仪主要用于测量零件上的水平或垂直要素角度变化数值。

水平仪构造形式多种多样，如图 214 所示。生产中常用的有钳工水平仪（图 214a）、框式水平仪（图 214b）和合像水平仪（图 214c）等。

钳工水平仪和框式水平仪构造比较简单，都是由水平仪体和装在体内的水准泡构成。通常都装有主水准泡和横向水准泡，前者用于指示水平面内的被测要素角度差，其测量精度较高；后者是用于检测时调整水平仪的横向放置位置，以保持测量精度，但其本身精度较低。

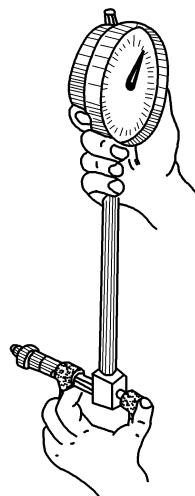


图 213 内径指示表校对方法

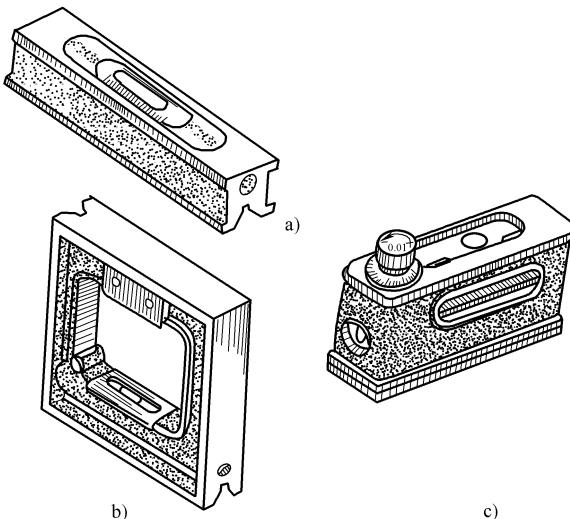


图 214 水平仪

水准泡是一个封闭的玻璃管，内装有乙醚（或酒精），管内留有稀薄的空气。管的外壁至少刻有八条间距为 2mm 的刻线。水平仪无论放在什么位置，气泡总是向水准的最高处移动，移动的数值可从玻璃管上的刻线读出。根据测量精度不同，水平仪的分度值可为 $0.02 \sim 0.05 \text{ mm/m}$ 。如分度值为 0.02 mm/m ，表示气泡每移动一格，在被测长度 1m 的两端高度差为 0.02mm（即倾斜角为 $4''$ ）。

钳工水平仪为一简单的长方形箱体，因此只能用于测量水平方向上的角度差值。框式水平仪则为相邻两平面具有很高垂直度精度的立体框架，其不仅能测量水平面，还可用于测量垂直面的角度差值。

合像水平仪的构造比较复杂，如图 215 所示，主要由底板 1、壳体 4 以及装在内部的水准架 7、杠杆 2、棱镜 6 和放大镜 5 等构成。

水准架 7 上的水准泡可通过放大镜 5 观察到，通过测微螺杆

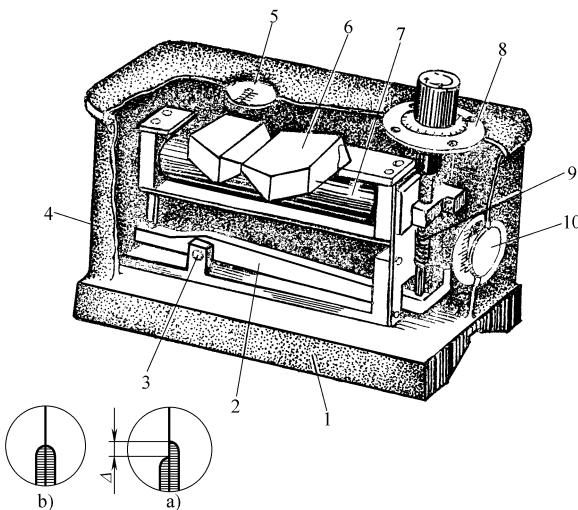


图 215 合像水平仪

1—底板 2—杠杆 3—支点 4—壳体 5、10—放大镜
6—棱镜 7—水准架 8—度盘 9—测微螺杆

9可改变它的位置。使用时，将合像水平仪放在被测表面上，从放大镜中观察气泡的像位，开始时出现如图 215a 所示位置。旋转上方的旋钮来转动测微螺杆，使气泡影像逐渐重合，直至图 215b 所示位置。此时便可读数：先从放大镜 10 处读取 mm/m 的整数值，再由测微螺杆旋钮处读取 mm/m 的小数值。合像水平仪采用光学系统读数，提高其读数精度，其分度值为 $0.01 \text{ mm}/\text{m}$ ，其上设有测微螺旋副机构，使测量范围大大超过钳工水平仪和框式水平仪，可达 $\pm 10 \text{ mm}$ 范围。

水平仪用于检测较大零件的形状误差（如导轨表面的直线度误差、平板表面的平面度误差等）和方向误差。

122. 什么是自准直仪？其基本构造与工作原理是怎样的？

答：自准直仪是利用光学原理测量微小角度变化的一种精密



量仪。

自准直仪如图 216 所示，它是由自准直仪本体和反射镜两部分组成。

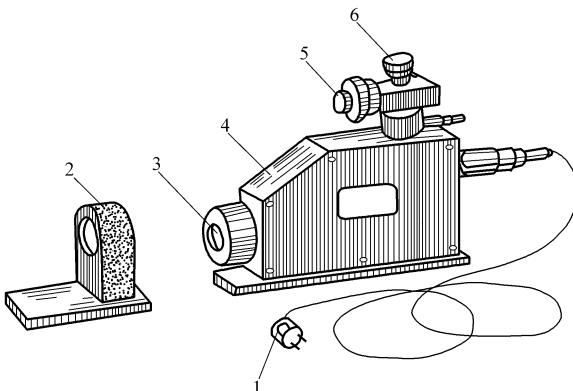


图 216 自准直仪

1—电源插头 2—反射镜 3—物镜 4—箱体
5—测微鼓轮 6—目镜

自准直仪的工作原理如图 217 所示。它是由光源 12、滤光片 11、指示分划板 10、立方棱镜 4、反射镜 3 和 13、物镜 2 等构成。

工作时，由光源 12 射出的光线，经滤光片 11 照到指示分划板 10 上。在指示分划板上刻有十字形透光标记，位于物镜的焦平面上。为了提高仪器的测量精度，要求尽量增长物镜的焦距，但仪器又不可能做成很长，故采用两个反射镜 3 与 13 使光线转折，用以延长物镜的焦距。

中间位置处的立方棱镜 4 是由两个直角棱镜胶合在一起构成，其中一个直角棱镜的胶合斜面上镀有折光膜，是半透明的。在立方棱镜上方有目镜 7、固定分划板 5 和可动分划板 6。两分划板的分划面均在两板中间相对面上，中间距离很小（一般为 0.8mm），并根据视差要求调整好，使分划面同时位于物镜 2 的

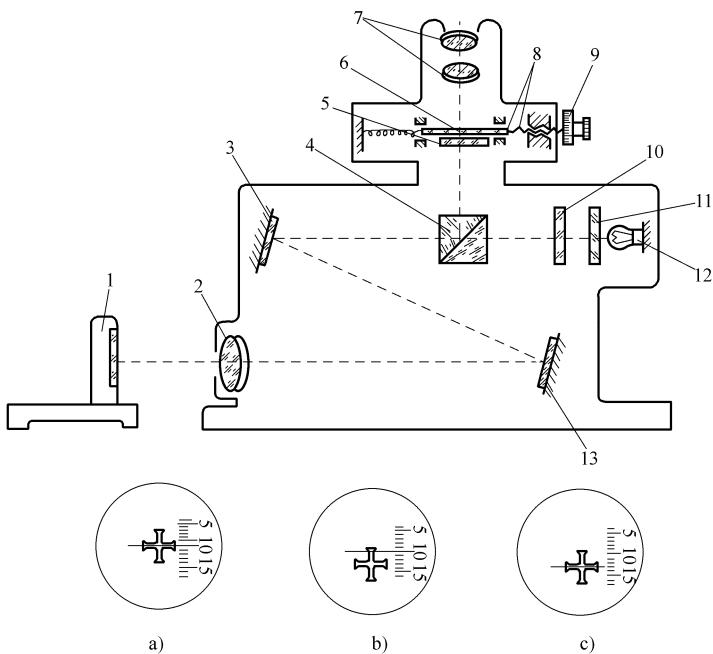


图 217 自准直仪的工作原理

1、3、13—反射镜 2—物镜 4—立方棱镜
5—固定分划板 6—可动分划板 7—目镜
8—测微螺杆 9—测微鼓轮 10—指示分划板
11—滤光片 12—光源

焦平面和目镜 7 的物方焦平面上。

指示分划板 10 上的十字形标记成像于固定分划板 5 上。在固定分划板上有刻度尺，并刻有数字 5、10、15 字样。在可动分划板上，有一较长的单刻线，可通过测微螺杆 8 带动左右移动。测微鼓轮 9 固定在测微螺杆外端，沿其周围刻有 100 等分线。测微鼓轮转一圈，可动分划板上的刻线沿固定分划板移动一格，即该标尺间距与螺杆螺距相等。

测微鼓轮的分度值一般采用线性值，常见分度值有



0.005mm/1000mm、0.001mm/1000mm 和 0.0005mm/1000mm 等几种，其表示在 1000mm 的长度上，两端高度差值。如分度值 0.005mm/1000mm 表示在 1000mm 长度上，两端高度差为 0.005mm。若平面反射镜的镜面底座（或加有平尺）的两支承点之间的距离为 200mm，则测微鼓轮每转动一格，两支承点间的高度差为 0.001mm。

测量时，应先将自准直仪固定，再将平面反射镜放到被测面上。当反射镜面垂直于自准直仪射出的光轴时，从目镜 7 看到可动分划板上的长刻线与固定分划板上数字 10 的刻线重合，如图 217a 所示，指示分划板上映出的十字成像也与其重合。当反射镜两支承点不等高时，镜面相对于光轴发生倾斜，从目镜上观察，十字线成像偏离长刻线，如图 217b 所示。此时旋转测微鼓轮移动可动分划板，使单线与十字线成像重合，如图 217c 所示。调好后，从可动分划板长线相对于固定分划板刻线移动格数，以及测微鼓轮移动的标记位置，测得反射镜两支承点的高度差。

自准直仪是几何误差检测常用量具之一，主要用于测量较大零件的平面度、直线度等形状误差以及平行度、垂直度和同轴度等方向与位置误差。

123. 什么是投影仪？投影仪的基本构造与工作原理是怎样的？

答：用强光照射零件（或零件上被测部分），将其投影放大，在投影屏上得到放大的清晰实像，用以进行测量的一种光学量仪，称为投影仪。

投影仪的构造如图 218 所示，主要是由透射光源 10、反射光源 8、物镜 2、反射镜 6 和投影屏 3 等所组成的光学系统，以及工作台 1 和基座 5 等构成。

投影仪的工作原理如图 219 所示。测量时，将被测零件放到透明的工作台 4 的玻璃板上，利用两套不同的光学系统进行放大投影。

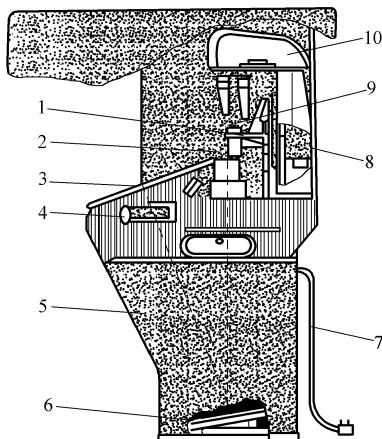


图 218 投影仪

- 1—工作台 2—物镜 3—投影屏
4—调焦手轮 5—基座 6—反射镜
7—电源接线 8—反射光源
9—被测零件 10—透射光源

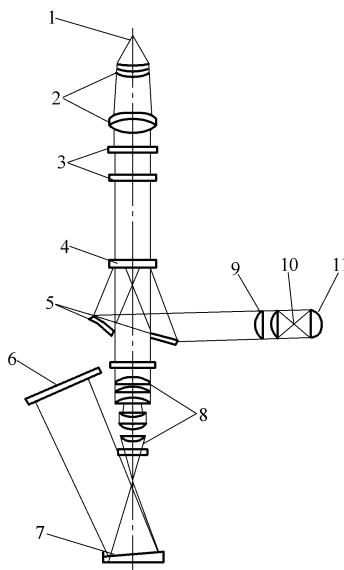


图 219 投影仪的工作原理

- 1—透射光源 2、9—聚光镜 3—滤色片
4—工作台 5—小反射镜 6—投影屏
7—反射镜 8—物镜 10—反射光源
11—凹面反射镜

一套是利用透射光源组成的投影光学系统。将小反射镜 5 推到图 219 所示的右侧位置，顶部透射光源 1 发出的光，经聚光镜 2 向下射出平行光束，照射到放在工作台 4 上的零件上，透过工作台的玻璃射向下方，经物镜 8 放大，将零件的外形轮廓投影到基座底部的反射镜 7 上，经反射镜反射，将被测零件经放大后的外形图像投影到投影屏 6 上。投影屏为一斜放着的长方形台面，由此观察到放大的成像，可进行读数或检测。

成像时，可转动调焦手轮 4（图 218）使工作台上升，将工作台上的零件调整到物镜工作平面上，以得到均匀、清晰的图像。



另一套是利用反射光源组成的投影光学系统。将小反射镜 5 推至图 219 所示的左侧位置，利用仪器后侧反射光源 10 发出的光，由凹面反射镜 11 照射到聚光镜 9 上，射出平行光线，经小反射镜 5 反射到工作台玻璃板上，照亮被测零件表面。反射光进入物镜 8 放大成像，经反射镜 7 投射到投影屏上。

投影仪为非接触测量，具体测量方法有以下两种方式。

(1) 绝对测量法 调整工作台的位置，使投影仪上的十字(或米字)线与被测零件外形轮廓边缘对齐，借助于读数机构读数，也可以在投影屏上用透明刻度尺对准投影屏上的放大影像的被测位置直接进行测量。

(2) 相对测量法 将放大的零件影像与按同样比例绘制成的标准图形(可带有公差带)进行比较，判别零件是否合格。

投影仪主要用于测量尺寸小而形状复杂的零件轮廓度等形状误差。使用时，可以更换不同的物镜，得到 10、20、50 和 100 不同的放大倍数。

124. 什么是圆度仪？圆度仪的基本构造与工作原理是怎样的？

答：利用标准主轴旋转一周所形成的标准圆，与被测实际圆相比较，将两者之间半径上的差值，通过传感器将其转化为电信号，用仪表或记录器指示出来，用以检测圆柱零件的圆度和圆柱度误差的专用量仪，称为圆度仪。

圆度仪的构造如图 220 所示，主要由底座 7、立柱 1、升降箱 2、工作台 6、测量主轴 3、电传感器 4 和记录器等构成。

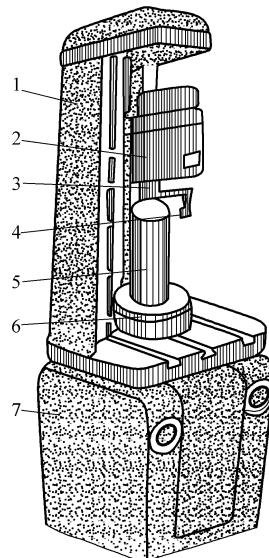


图 220 圆度仪

1—立柱 2—升降箱 3—测量主轴
4—电传感器 5—被测零件
6—工作台 7—底座



圆度仪的工作原理：由高精度的测量主轴 3 带动电传感器 4 旋转一周，形成标准轴心。电传感器的触端在旋转过程中所描绘的轨迹为一标准圆。

测量时，被测零件放在工作台 6 上，调整电传感器使其触端与被测零件接触，并与记录器相连通。当主轴旋转一周时，被测零件表面的圆度误差引起传感线圈的电感量发生变化，将此变化量放大传至记录器上，把放大的实际轮廓图形记录下来，由此测得圆度误差（详见 143 题）。

圆度仪主要用于测量圆度和圆柱度误差。

125. 什么是平台测量？平台测量分为哪两种方法？

答：在检验平台上，利用通用量具和辅助量具进行测量的方法，称为平台测量。

平台测量一般是采用相对测量，即将被测尺寸与已知长度量的长度尺寸（如长度量块）进行比较，测出被测尺寸相对于标准尺寸的差值，从而得到被测尺寸。平台测量是生产中检测零件几何误差最常用的方法。

根据相对测量所采用的工具不同，平台测量方法一般可分为指示表法和光隙法两种。

指示表法是利用指示表等指示量仪对被测尺寸与标准尺寸进行比较的一种测量方法，如图 221 所示，检验被测零件 3 的直径。将被测零件与量块 4 同时放在检验平台 5 上，通过已知高度尺寸的量块 4，把指示表调整到适当高度与量块表面相接触，并调整指示为零，然后沿平板表面移动表架，使指示表测头与圆柱表面最顶端相接触，从指示表读数得到被测零件与量块间的尺寸差值 ΔL 。根据已知量块的高度尺寸 L ，可求得零件的直径尺寸为 $L+\Delta L$ 。

光隙法平台测量是用高精度的刀口尺或平尺作为基准，对被测尺寸与标准尺寸进行比较，测出两尺寸之差，从而求得被测尺寸大小的一种测量方法，如图 222 所示，测量被测零件直径尺寸。将被测零件 2 和已知高度尺寸的量块 4 放到同一平台上，把

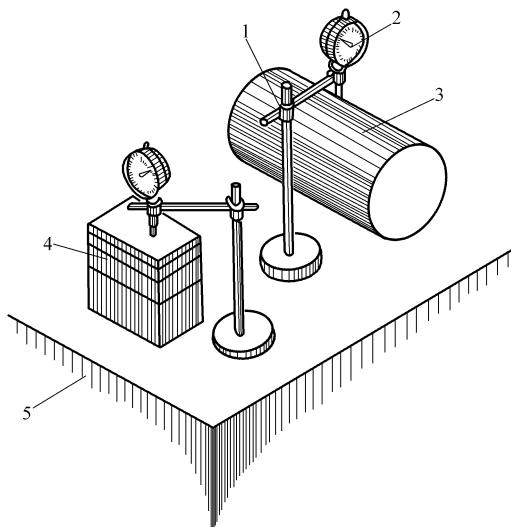


图 221 指示表法平台测量

1—表架 2—指示表 3—被测零件 4—量块 5—检验平台

刀口尺 1 置于量块上，与量块上表面紧密贴合，其外伸端刃部与被测零件之间产生一间隙 ΔL ，测量此间隙值便可得出零件与量块之间的尺寸差值，由此可求得零件的直径尺寸。

为了准确判断间隙大小，可将被测间隙与

标准光隙相比较来确定。标准光隙如图 223 所示。在平晶或研磨平板的平面上，研合上 $1.001 \sim 1.005\text{mm}$ 范围内的若干量块，两端放两块 1.005mm 量块，中间依次放置 1.004mm 、 1.003mm 、

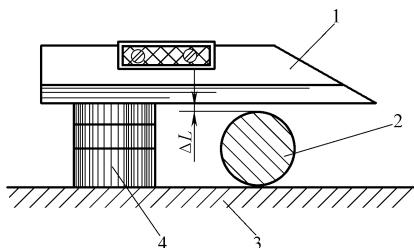


图 222 光隙法平台测量

1—刀口尺 2—被测零件
3—检验平台 4—量块

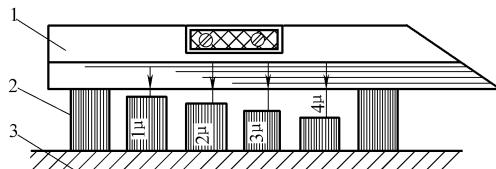


图 223 标准光隙

1—刀口尺 2—量块 3—平晶或研磨平板

1. 0.002mm、1.001mm 的量块。将刀口尺放在两端量块上，使其刃部与不同尺寸的量块构成 0.001mm、0.002mm、0.003mm、0.004mm 的标准光隙。在其后面相距 100~200mm 处放一个 60W 灯泡光源，从前面对着光源观看，可以发现不同光隙产生不同颜色的光线，以此作为微小间隙尺寸判断的标准依据。

测量时，将测得间隙与标准间隙比较，便可得到被测尺寸与标准尺寸之差。根据量块的已知尺寸，便可求得被测尺寸数值。

126. 平台测量常用哪些设备和工具？

答：平台测量是通过各种量具和工具在检验平台上进行不同的组合来进行测量。它所用的设备和工具种类很多，常用的有以下几种。

(1) 检验平板 是平台测量最基本的工具，其结构如图 224 所示。它用灰铸铁制成，具有很高的刚性，其上表面为工作面，

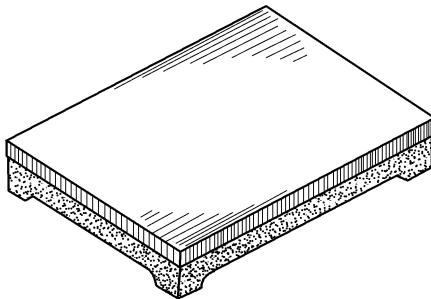


图 224 检验平板



为一平面度精度很高的精密平面。根据平板工作面的平面度精度高低，可分为 0、1、2 和 3 级四个精度等级，其中 0 级精度最高。生产中一般取 0~2 级作为检验平板，而 3 级用作划线平板。

按平板工作面尺寸大小不同，可分为 $100\text{mm} \times 200\text{mm}$ ~ $1000\text{mm} \times 1800\text{mm}$ 多种不同规格，生产中可根据被测零件大小和不同使用要求选用。

(2) 直角座和方箱 是平台测量主要辅助工具，其结构如图 225 所示。直角座和方箱都具有垂直度精度很高的相邻平面，用作测量的辅助基准，可将被测零件在平板上调转 90° 方向，为测量提供方便条件。直角座的结构比较简单（图 225a），只有一个相邻的两垂直面作为工作面。方箱则有四个相邻面均可作为工作面（图 225b）。直角座和方箱按其精度不同分为检测用和划线用两种，其中检测用具有较高精度。

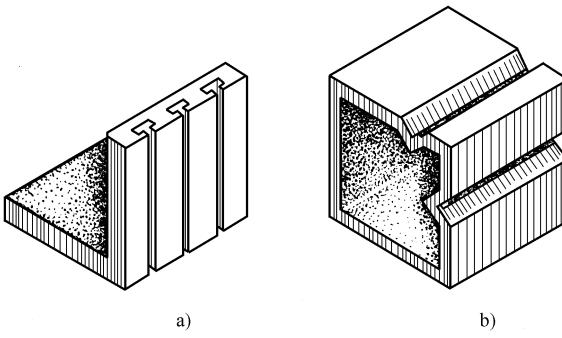


图 225 直角座和方箱

(3) V 形架和支承 用于平台测量时支承被测零件，其结构如图 226 所示。V 形架用于支承外圆柱表面（图 226a），其中间为一 V 形槽，检测时可将被测零件外圆柱表面放到 V 形槽内，以确定圆柱面的轴线位置，还可用来装夹零件。

支承用于支承被测零件的平面或任意形状表面，其分为固定支承（如图 226b 所示，支承高度不变）和可调支承（如图 226c

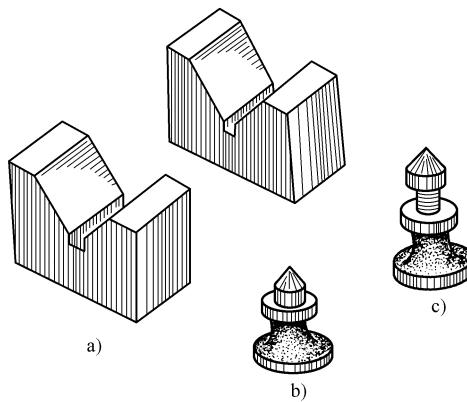


图 226 V 形架和支承

所示，支承高度可根据需要进行调整)。

(4) 顶尖平板 是由两个等高的顶尖架和平板组成，其构造如图 227 所示，用于支承带有中心孔的零件。

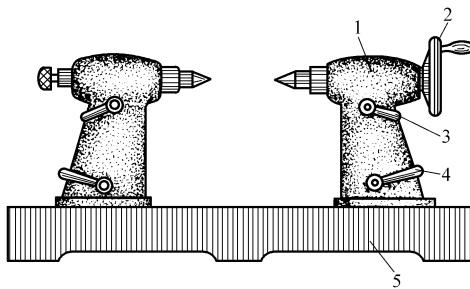


图 227 顶尖平板

1—顶尖架 2—手轮 3、4—锁紧手柄 5—平板

使用时，首先根据被测零件尺寸，调整两顶尖架 1 之间相对位置，并通过锁紧手柄 4 将其固定在平板 5 上。然后通过手轮 2 调节两顶尖之间的距离，把带有中心孔的零件稳固地夹持在两顶



尖中间，并用锁紧手柄 3 将其固定。测量时，可在平板上安放指示表架或其他量仪。

(5) 心轴 是在平台测量时用于体现孔的轴线位置的常用工具，其构造如图 228 所示。测量时，将心轴装入被测零件的相应孔中，以心轴的表面素线来体现被测孔要素，以测得孔的坐标尺寸及方向和位置误差。心轴与孔的配合应紧密，以减少测量误差。但也不能配合过紧，以免损伤零件和给检测过程装拆带来不便。

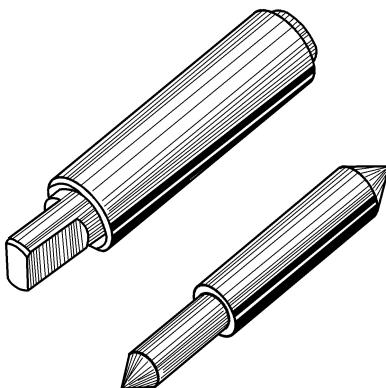


图 228 心轴

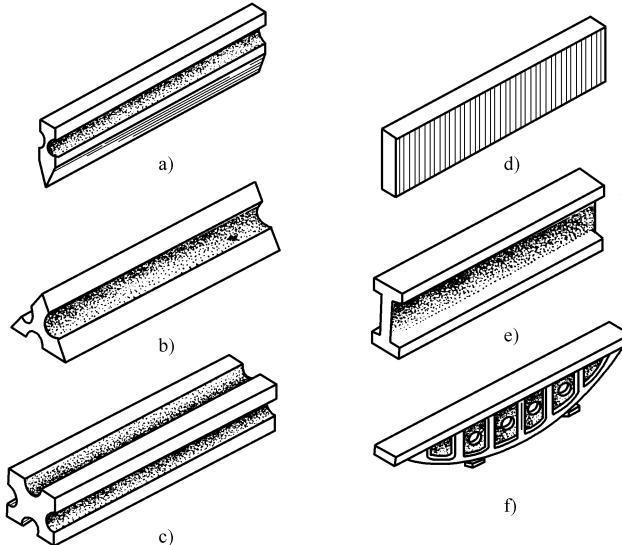


图 229 平尺



(6) 平尺 用于检测直线度、平面度误差，作为模拟理想直线要素。根据不同需要，平尺的结构形式多种多样，如图 229 所示。常用的有刀口平尺（图 229a）、三棱平尺（图 229b）、四棱平尺（图 229c）和矩形平尺（图 229d）等，一般用于以光隙法进行比较测量的基准。此外还有工字平尺（图 229e）和桥形平尺（图 229f），这些平尺一般用于指示表法或涂色法进行检测。

(7) 圆柱角尺和直角尺 是用于检测零件垂直度误差所依据的模拟理想要素，其结构如图 230 所示。圆柱角尺（图 230a）是以圆柱面素线与底面之间较高的垂直精度作为测量基准。使用时，将其底面放到平板上，由圆柱面素线与平板平面构成模拟理想垂直位置。直角尺（图 230b）则是以基座底平面与立尺外侧面作为模拟理想垂直位置。

(8) 表架 用于安装指示表等指示量仪的固定支架，其构造如图 231 所示。它是由底座 4、支柱 3、支杆 2 和夹头 1 等构成，其中支杆与支柱、夹头与支杆之间均套装在一起用螺钉锁紧，使用时可根据零件测量部位和要求，调整不同安装位置。安装指示表时，应保持稳妥牢固，不得有任何晃动现象，以免引起测量误差。

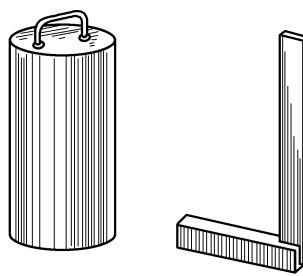


图 230 圆柱角尺和直角尺

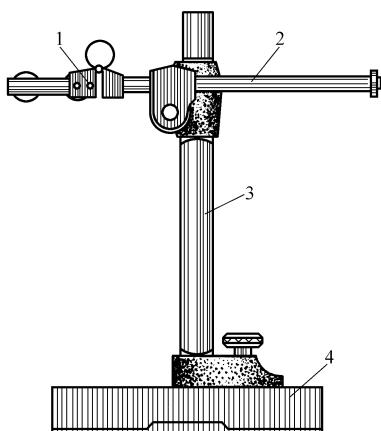


图 231 表架

1—夹头 2—支杆 3—支柱 4—底座



127. 怎样正确选用测量器具?

答：检测用测量器具具有多种形式。生产中，能否正确地选用这些测量器具，不仅影响着测量精度，同时与生产的经济效益和劳动生产率也有着密切关系。所以，正确选用测量器具，是搞好检测工作的首要条件。

1) 首先应根据被测要素的尺寸大小、结构形状和精度要求，选用度量指标（包括测量范围、标尺范围、示值误差等）适宜的量具、量仪。

2) 在保证测量精度的前提下，应选择较经济的量具或量仪。选择过高或过低精度的量具、量仪都是不合理的。精度过高会增大检测成本，且易使量具、量仪精度迅速下降，缩短其使用寿命；精度过低则使检测误差加大，容易产生误判，不能满足生产的需要。

3) 应充分考虑被测零件的特性，如零件尺寸的大小、结构形状、材质、重量、结构刚性和表面粗糙度等。例如，零件的尺寸公差虽然较大，但分组要求较高时，应选用精度较高、且标尺范围较大的量仪。又如零件的材质较软、刚性较差时，应选用非接触式量仪，而不能选用测力较大的量仪。若零件较重、尺寸较大时，就不能将零件置于测量器具上测量，而应选择能放到零件上进行测量的量具或量仪。

4) 应根据零件的加工方法、测量目的、生产批量来选择测量器具。例如，测量目的是为了分析工艺原因，则一般采用单项测量；在成批和大量生产条件下，为了提高生产率，常用检验夹具等专用测量器具；在单件小批生产中则常用通用量具、量仪。

5) 测量器具的选择应考虑工厂的具体条件。测量器具的选择是一项复杂的综合性问题，必须结合实际生产的具体情况进行分析，并充分考虑利用现有设备条件，提高现有设备的测量精度，最大限度地扩大其使用范围，使之能更经济地达到检测目的。

形状误差及其检测方法

128. 什么是形状误差？评定形状误差的基本原则是什么？

答：被测实际要素相对其理想要素的变动量，称为形状误差。该理想要素相对实际要素的位置应符合最小条件。

根据标准中规定的形状公差特征项目，相对应的规定有直线度误差、平面度误差、圆度误差、圆柱度误差、线轮廓度误差和面轮廓度误差六项形状误差。

评定形状误差时，应首先确定被测实际要素与理想要素之间的相对位置。两者相对位置不同，相比较时所反映的变动量也不同。为此标准中规定：评定形状误差的基本原则是理想要素的位置应符合最小条件。

所谓最小条件是指被测实际要素对其理想要素最大偏离量为最小时的状态。如图 232 所示，在评定平面内一实际线的直线度误差时，若将理想直线 AB 放在实际要素之外任一位置处（图 232a），将实际要素与该理想直线进行比较时，各不同位置处的偏离量 h_1 、 h_2 、 \cdots 、 h_n 均不相同，其中有一最大偏离值 h ，即表示在该相对位置上的最大偏离量，但它并不是该实际线的直线

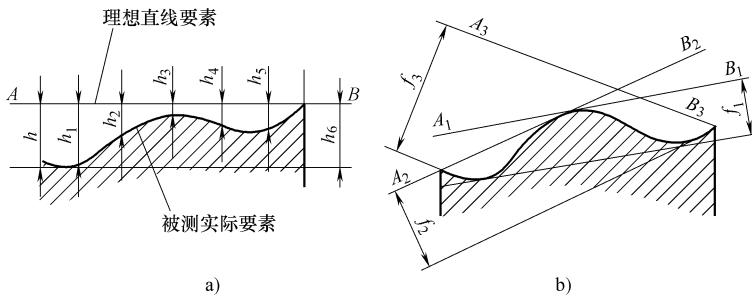


图 232 最小条件



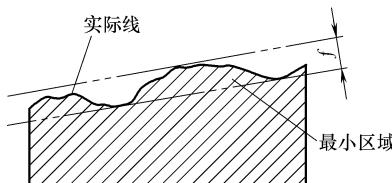
度误差。

因为理想直线可以放在实际线材料之外 A_1B_1 、 A_2B_2 、 A_3B_3 等不同的位置（图 232b），在各个不同位置处，均可找出其相应的大偏差量，分别为 f_1 、 f_2 、 f_3 。其中必然有一个最大偏差量为最小的位置，如图 232b 所示 $f_1 < f_2 < f_3$ ，则 A_1B_1 即为符合最小条件的位置。该位置上被测实际要素相对其理想要素的最大偏差量，即为该实际线的直线度误差。

最小条件是评定形状误差的基本原则，但在生产中若要完全符合最小条件来评定形状误差非常困难，为此标准中规定：在满足零件功能要求的前提下，允许采用近似方法来评定形状误差。

129. 什么是最小区域？怎样判别最小区域？

答：用与相应的公差带相一致的几何形状，将被测实际要素紧紧包容，使其宽度或直径为最小，该包容区域称为最小包容区域，简称最小区域。如图 233a 所示，表示在给定平面内被测实际线直线度误差的最小包容区域。它是由两条平行线包容实际线，



a)

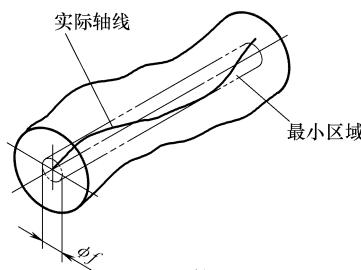


图 233 最小区域



且使其宽度 f 为最小。该两平行线之间所包容的区域，即为该实际线的最小区域。又如图 233b 所示，表示在任意方向上被测实际轴线直线度误差的最小包容区域。它是由一圆柱面包容实际轴线，且使直径 ϕf 为最小。此圆柱面所包容的区域，即为该实际轴线的最小区域。

最小区域是按最小条件的要求，表示形状误差的一种方法。最小区域的宽度或直径，则为符合最小条件的形状误差值。

应当指出：最小区域与前述几何公差公差带是两个不同概念，公差带是图样上给定的用以控制被测要素变动的范围，其宽度或直径是给定值；而最小区域则由被测要素的实际状态确定，为一变化值。最小区域的宽度或直径即为被测实际要素的误差值。它可直接与图样上给定的公差值比较，以判别该零件是否合格。

被测要素的实际形状多种多样，生产中根据测量所得被测要素的实际形状，确定其最小区域的方法，称为最小区域判别准则。根据形状公差项目特点和实际要素特征，可遵循以下准则进行判别。

(1) 直线度误差最小区域判别法 凡符合下列条件之一者，表示被测实际要素已为最小区域所包容。

1) 在给定平面内，由两平行直线包容被测实际要素时，成高低相间三点接触，称为相间准则。两平行线分别过被测实际线的两个最低点和一个最高点，且最高点位于两最低点之间（图 234a）；或两平行线分别过被测实际线的两个最高点和一个最低

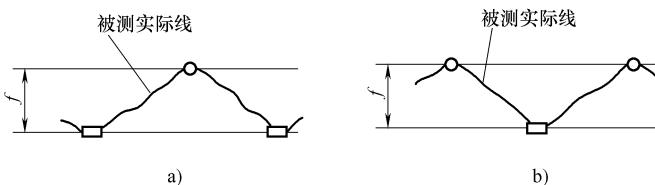


图 234 相间准则



点，且最低点位于两最高点之间（图 234b），该两平行线即为其最小区域。

2) 在给定方向上，由两平行平面包容被测实际线时，沿主方向（长度方向）上成高、低相间三点接触，如图 235 所示。为了判别方便，可将被测实际线投影到辅助平面上。辅助平面由测量方向决定，与包容面相垂直。将被测实际线投影到辅助平面上，然后在辅助平面内用两平行线包容被测实际线的投影，使两者之间成高低相间的三点接触，该两平行平面间包容区即为其最小区域。同样它也可分为高-低-高（图 235a）和低-高-低（图 235b）两种形式。

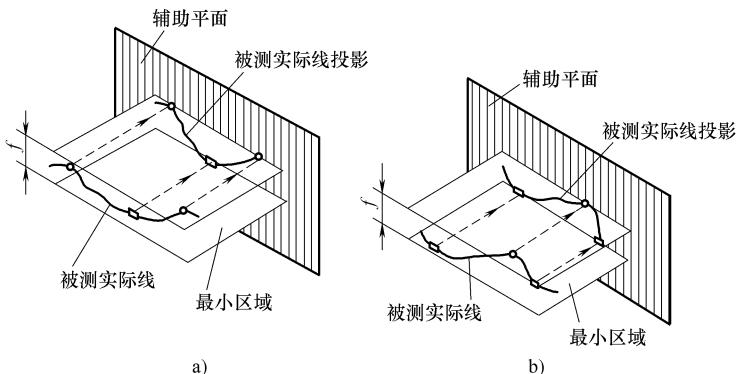


图 235 在给定方向上直线度误差判别准则

3) 任意方向上的直线度误差，其最小区域的形状为一圆柱面。判别圆柱形最小区域比较复杂，因为被测实际线是在空间任意方向上变动，被测实际线与包容面之间可能产生多种接触形式。判别时只能根据某些具有特征的接触形式来确定其最小区域。生产中最常用的是三点接触形式，如图 236 所示，即包容圆柱面与被测实际轴线至少有三个点接触，三个接触点又必须在圆柱面的同一轴剖面上相间分布，从图中可以看出 1、3 两点沿轴线方向的投影重合在一起，即 1 与 3 两点在同一素线上，该圆柱面即为被测实际轴线的最小区域。

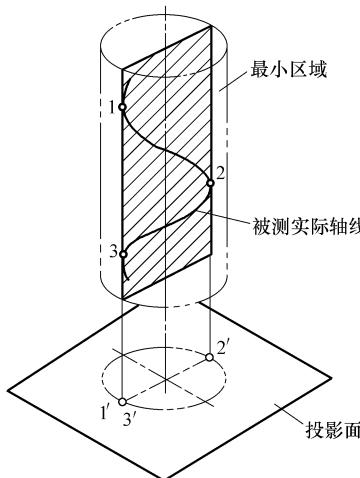


图 236 任意方向上直线度误差三点式判别准则

除上述三点接触式外，任意方向上直线度误差最小区域判别，还有四点接触式、五点接触式等多种判别形式。

(2) 平面度误差最小区域判别法 平面度误差的最小区域形状为两平行平面，用其包容被测实际表面时，至少有三点或四点与其接触。其中上包容面与实际表面接触点为最高点；下包容面与实际表面接触点为最低点。当最高、最低点的位置符合下列条件之一时，该包容面即为平面度误差的最小区域。

1) 三角形准则。如图 237 所示，由三个最高点组成的三角形中间有一个最低点（图 237a、c），或由三个最低点组成的三角形中间有一个最高点（图 237b）。

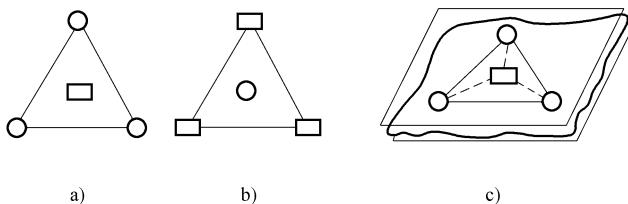


图 237 三角形准则



2) 交叉准则。如图 238 所示, 两个最高点的连线和两个最低点的连线相互交叉。

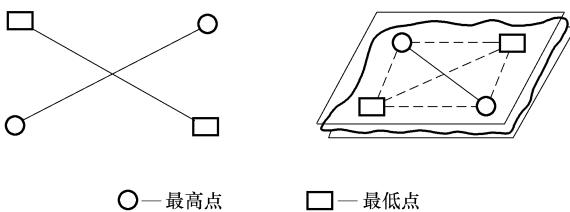


图 238 交叉准则

3) 直线准则。如图 239 所示, 在两个最高点连线上有一个最低点 (图 239a), 或两个最低点连线上有一个最高点 (图 239b)。

(3) 圆度误差最小区域判别法

圆度误差最小区域的形状为两同心圆。由两同心圆包容被测实际轮廓时, 至少有四个实测点内外相间地在两个圆周上, 如图 240 所示。

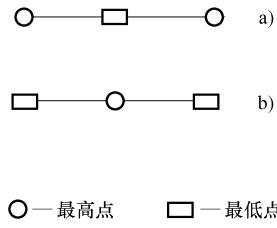


图 239 直线准则

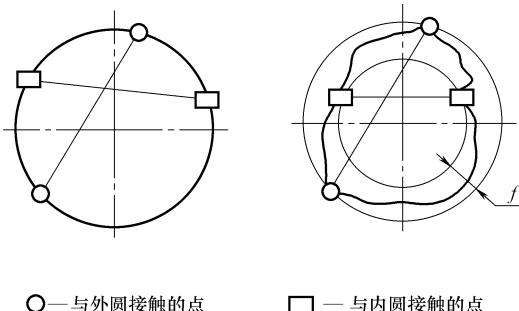


图 240 圆度误差最小区域判别法



130. 什么是直线度误差？直线度误差检测方法分为哪几类？

答：直线度误差是指实际直线对其理想直线的变动量，理想直线的位置应符合最小条件，即用直线度最小包容区的宽度或直径表示的数值。

直线度误差是通过检测确定的。首先应通过测量器具按规定的测量方法，由实际直线提取有限数目的点形成测得直线。然后用测得直线代替实际直线，通过误差判别法求得其误差值。

在测量过程中，获得测量值的参考线，称为测量基线，如直尺的测量面、自准直仪的光轴等。

直线度误差检测方法按测量原理、测量器具等分为以下几类。

1) 直接检测方法。通过测量可直接获得测得直线各点坐标值或直接评定直线度误差值的测量方法，如间隙法、指示器法、光轴法等。

2) 间接检测方法。通过测量不能直接获得测得直线各点坐标值，需经过数据处理获得各点坐标值的测量方法，如水平仪法、自准直仪法、表桥法等。

3) 组合检测方法。通过两次测量，利用误差分离技术，消除测量基线本身直线度误差，从而提高测量精度的测量方法，如反向消差法、移位消差法、多测头消差法等。

4) 直线度量规检测法。用直线度量规判断被测零件是否超越实效边界的检测方法。

131. 直线度误差有哪些直接检测方法？

答：直线度误差直接检测方法有以下几种。

(1) 间隙法 将被测直线和测量基线间形成的光隙与标准光隙相比较，直接评定直线度误差值的方法。

检测方法如图 241 所示，将样板直尺 2 与被测零件 1 直接接触，并置于光源 4 和观察者之间的适当位置。调整样板直尺与零件接触处位置，使最大光隙尽可能最小。与标准光隙（图 223）相比较，估读出所求直线度误差。测量时，测量基准通常用样板



直尺（刀口尺）、平尺类量具体现。应在相同条件下观察标准光隙和被测零件光隙。

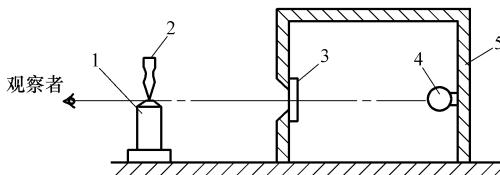


图 241 间隙法

1—被测零件 2—样板直尺 3—毛玻璃 4—光源 5—灯光箱

该方法适用于磨削或研磨加工的小平面及短圆柱（锥）面素线的直线度误差测量，且应同时测量被测表面上若干条素线，取其中最大值作为该零件的直线度误差。

此方法用于低精度被测零件直线度误差测量时，可用量块或塞尺测量被测直线与测量基线之间的间隙，直接测得直线度误差值。

(2) 指示器法 用带指示器（百分表等）的测量装置，测出被测直线相对测量基线的偏离量，进而评定直线度误差值的方法。

此类检测方法通常采用平板或精密导轨等体现测量基线。

1) 给定平面的直线度误差测量。如图 242 所示，检测一圆

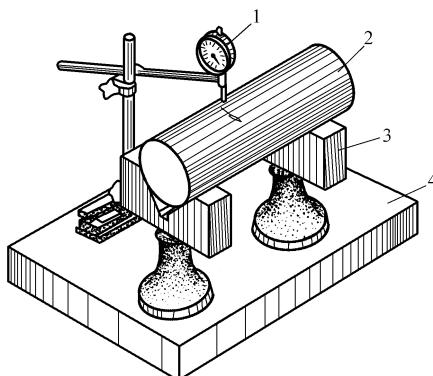


图 242 指示器法

1—指示器 2—被测零件 3—V形架 4—平板



柱面素线的直线度误差。测量时，将被测零件2置于平板4的V形架3上，调整指示器1使其与被测零件上端素线相接触。调整V形架的高度，将被测直线的两端点连线与测量基线大致调平行。沿被测直线移动指示器，按适当的间距确定若干个测点，用指示器测得各测点的读数并做记录。

根据记录读数形成测得直线，按误差评定方法进行数据处理（详见135题），求出该条素线直线度误差值。

按上述方法测量若干条素线，取其中最大值作为该被测零件的直线度误差值。

2) 对任意方向的轴线直线度误差测量。如图243所示，用一个指示器测量轴线直线度误差（横截面法）。测量方法是：将被测零件3安装在平行于平板4且具有精密分度装置1的两同轴顶尖之间。确定横向测量截面数及各截面上等分测量点数。转动被测零件，在各横向截面上对等分测量点逐一进行测量，并记录各点的示值。

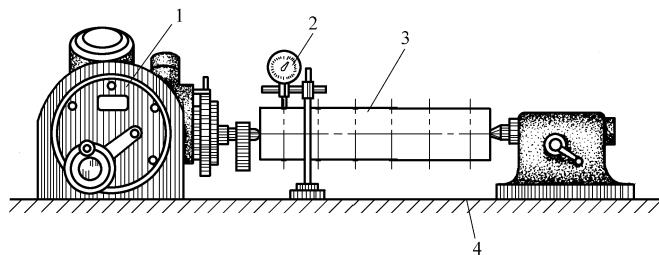
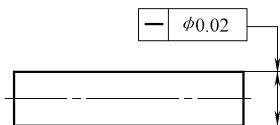


图243 用一个指示器测量轴线直线度误差

1—精密分度装置 2—指示器 3—被测零件 4—平板

将各截面上各点的示值绘制在极坐标图上，如图244所示。



按最小区域法或最小二乘法确定各截面中心坐标值。由各截面测得的实际中心构成测得中心线。按误差评定方法进行数据处理，求出轴线的直线度误差值（详见 135 题）。

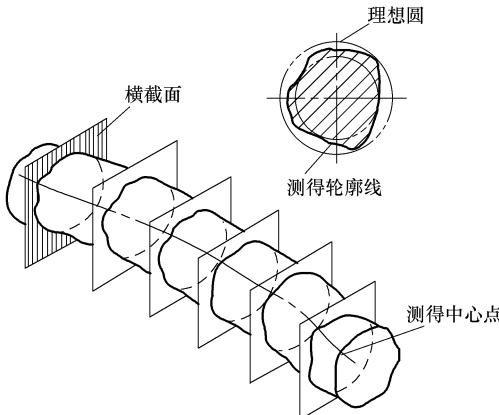


图 244 被测实际轴线

又如图 245 所示，也可用两个指示器测量轴线直线度误差（轴截面法）。测量方法是：将被测零件 2 安装在平行于平板 5 的两同轴顶尖架 1 之间，由两顶尖连线体现测量基准。然后将固定在同一测量架上的两个指示器 3 与 4，对径放置于被测零件铅垂轴截面的上、下两侧。沿铅垂轴截面的两条素线移动测量架进行测量，同时分别记录两指示器在各测点的示值 M_{ai} 、 M_{bi} ，并求出其差值

$$\Delta_i = M_{ai} - M_{bi}$$

取各测得点示值差 Δ_i 中最大值 Δ_{\max} 和最小值 Δ_{\min} 之差的一半，作为该轴截面轴线直线度误差近似值 f' ，即

$$f' = \frac{1}{2} (\Delta_{\max} - \Delta_{\min})$$

转动被测零件，在若干个轴截面上重复上述测量，测得各截面上的轴线直线度误差值，取其中最大值作为该零件的轴线直线度误差近似值。

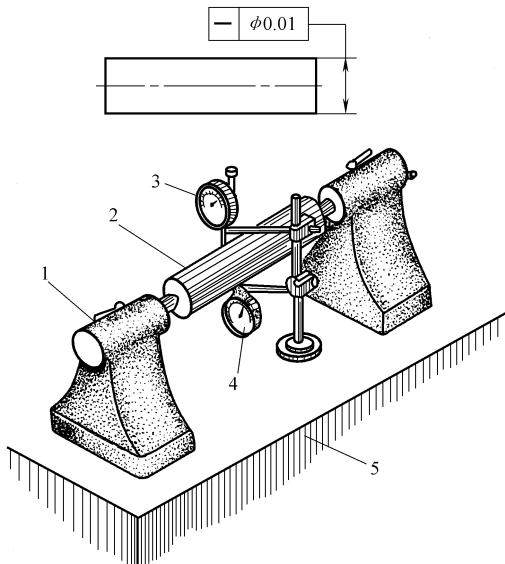


图 245 轴截面法

1—顶尖架 2—被测零件 3、4—指示器 5—平板

(3) 干涉法 利用光波干涉原理，根据干涉条纹的形状或干涉带条数，来评定误差值的一种检测方法。

检测方法如图 246 所示，将平晶工作面与被测面接触，在单色光下平晶上显示出明暗相间的干涉条纹，根据干涉条纹的形状和数量，可判别出被测面的直线度误差近似值 f' 。

当干涉条纹呈现均匀弯曲干涉带（图 246a）时，其直线度误差近似值为

$$f' = \frac{\gamma\lambda}{2\omega}$$

式中 ω ——干涉带间距；

γ ——干涉带弯曲量；

λ ——光波波长（白

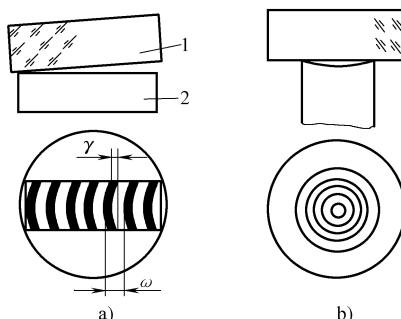


图 246 干涉法

1—平面平晶 2—被测零件



光下 $\lambda = 0.3\mu\text{m}$)。

当干涉条纹呈现环形干涉带(图 246b)时,其直线度误差近似值为

$$f' = \frac{\lambda}{2} n$$

式中 n —环形干涉带数量。

该方法适用于精研表面的直线度误差测量。

(4) 光轴法 以几何光轴作为测量基线,测出被测直线相对该基线的偏离量,进而评定直线度误差值的方法。

检测方法如图 247 所示,检测零件上各同轴孔轴线的共线(直线度)误差。测量时,先将被测直线的两端点连线与光轴测量基线大致调平行。沿被测直线移动瞄准靶 2,同时记录各点示值。由各点示值得到测得直线,按误差评定方法进行数据处理,

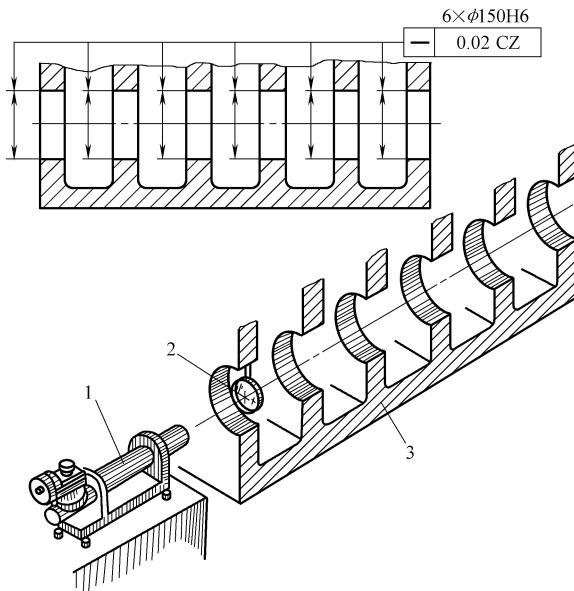


图 247 光轴法

1—准直望远镜 2—瞄准靶 3—被测零件



求出直线度误差值（详见 135 题）。

该方法适用于大、中型平面的素线和孔、轴的轴线直线度误差测量。

(5) 钢丝法 以张紧的优质钢丝作为测量基线，测出被测直线相对测量基线的偏离量，进而评定直线度误差的方法。

检测方法如图 248 所示，测量机床导轨的直线度误差。先将直径为 0.1~0.16mm 的钢丝 2 的一端固定在主轴上，另一端通过滑轮 3 用重锤 4 将其拉紧，然后将测量显微镜 1 固定在刀架上。测量时，先调整钢丝，使其两端点连线与被测导轨大致平行。沿被测直线移动显示装置，同时记录各点示值。

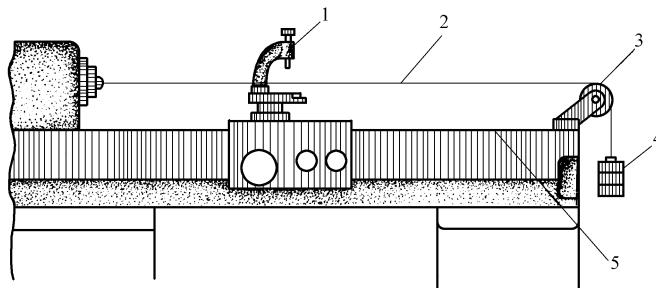


图 248 钢丝法

1—测量显微镜 2—钢丝 3—滑轮 4—重锤 5—被测零件

由各点示值得到测得直线，按误差评定方法进行数据处理，求出直线度误差值（详见 135 题）。

该方法适用于测量较大零件水平方向的直线度误差。

132. 直线度误差有哪些间接检测方法？

答：直线度误差间接检测方法有以下几种。

(1) 水平仪法 将固定有水平仪的桥板放置在被测直线上，等跨距首尾相接地拖动桥板，测出被测直线各相邻两点连线相对于水平面的倾斜角，通过数据处理，求出直线度误差的方法。

如图 249 所示，测量一平面素线的直线度误差的方法是：先根据被测直线的长度，确定分段数和桥板跨距 l （一般取 200~



500mm)。用水平仪将被测直线大致调成水平。然后沿被测直线等跨距首尾衔接地拖动桥板，同时记录各点示值。最后根据测得示值，按累计计算求得各测点坐标值。由此取得测得直线，按误差评定方法求得其直线度误差值(详见135题)。

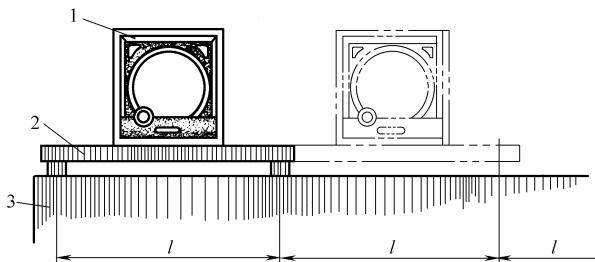


图 249 水平仪法

1—水平仪 2—桥板 3—被测零件

如有一长5m的导轨，用分度值为0.02mm/m的水平仪测量其直线度误差。首先确定分段数n=10，采用跨距为500mm的桥板，由此可知置于该桥板上的水平仪每移动一格，则表示桥板两支承点处高度差为0.01mm。然后从导轨的一端开始，依次测量各跨距位置处读数，并进行折算，求得各被测点坐标值，见表35。

表 35 水平仪法直线度误差测量记录

序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
桥板后支承点到导轨端点距离/mm	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
水平仪气泡移动格数	0	+6	+3.5	-1	-1.5	-1	+1	+3	+6	+4	-2
相对零点移动格数	0	6	9.5	8.5	7	6	7	10	16	20	18
相对零件升高量/ μm	0	60	95	85	70	60	70	100	160	200	180

也可采用作图法求出各点坐标值，如图250所示。选择适当比例绘出直角坐标，水平坐标表示各测点位置，垂直坐标表示水平仪示值，起始点0位于坐标原点。按水平仪测量原理，依次绘出各测点相对于前一测点示值位置，示值为正，绘在相对点之

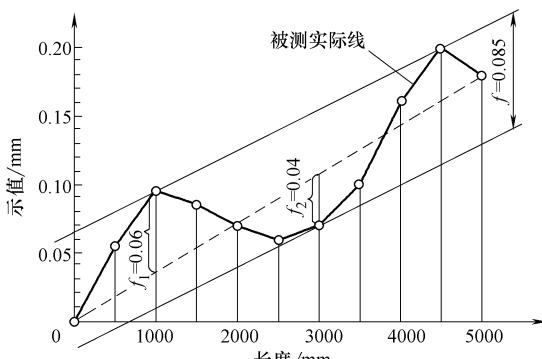


图 250 作图法

上，为负绘在相对点之下，由此可得各测得点的坐标值（水平仪格值）。连接图中各测得点，得到测得直线图形。

无论用上述计算法还是作图法，求得测得直线后，均应按误差评定方法进行数据处理后，方可求得直线度误差值（详见135题）。

该方法适用于大、中型零件垂直截面内的直线度误差检测。

(2) 自准直仪法 将固定有反射镜的桥板置于被测直线上，等跨距首尾相接地拖动桥板，测出被测直线各相邻两点连线相对主光轴的倾斜角，通过数据处理求出直线度误差值的检测方法。

如图 251 所示，测量时先安置好自准直仪 1，安置方法可根据零件大小等具体情况，或直接置于零件的一端，或固定在单独设置的支架上。再调整自准直仪和反射镜 3 的相对位置，以保持返回的像进入仪器的视野范围内。然后按测量长度 L 确定分段数 n 和桥板跨距 $l = \frac{L}{n}$ 。沿被测直线等跨距首尾衔接地拖动桥板，记录各测点的示值。

根据各测点示值，按与上述水平仪法同样方法求得测得直线，经数据处理，求出直线度误差值（详见 135 题）。

该方法适用于大、中型零件的直线度误差检测。

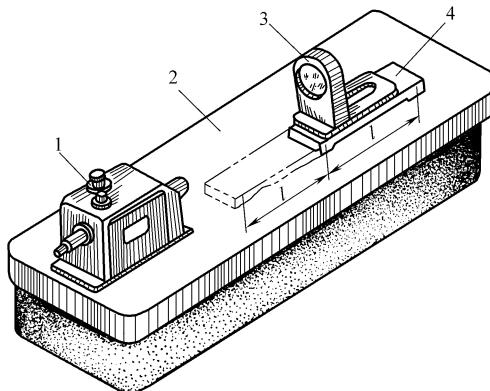


图 251 自准直仪法

1—自准直仪 2—被测零件 3—反射镜 4—桥板

(3) 跨步仪法 以跨步仪两固定支承点连线作为测量基线，测出第三点相对测量基线的偏离量，通过数据处理求出直线度误差值的检测方法。如图 252 所示，首先根据被测直线长度 L 确定分段数 n 和跨步仪跨距 l （即跨步仪两固定支承点的中心距）。将跨步仪放在研磨平尺上，使指示器示值对零。沿被测直线等

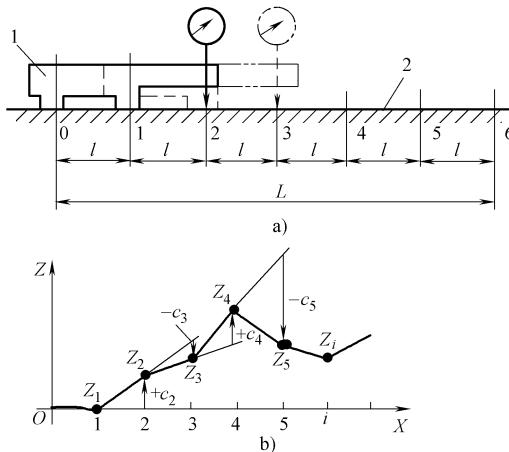


图 252 跨步仪法

1—跨步仪 2—被测零件



跨距首尾相接地移动跨步仪（图 252a），同时记录各点的示值 c_i ($i=2, 3 \cdots, n$)。采用作图法或计算法求出各测点的坐标值 Z_i ，得到测得直线，如图 252b 所示。用作图法求测得直线：选择适当比例，以跨步仪起始位置的两固定支承点（0、1 两点）连线作为 X 轴，建立直角坐标系，即 $Z_0 = Z_1 = 0$ 。

各点示值 c_i 是相对两个固定支承点连线（测量基线）的偏离量。当 c_i 为正值时，第 i 点的 Z 坐标值应在 Z_{i-2} 和 Z_{i-1} 两点连线的上方，距离为 c_i （沿 Z 方向量取）处绘出 Z_i 点；当 c_i 为负值时，应在其下方。

连接各测点得到测得直线图形。

根据测得直线按误差评定方法，求出直线度误差值（详见 135 题）。

(4) 表桥法 以表桥两固定支承点的连线作为测量基线，测出中间点相对测量基线的偏离量，通过数据处理，求出直线度误差的检测方法。

检测方法如图 253 所示，首先根据被测直线长度 L ，确定分

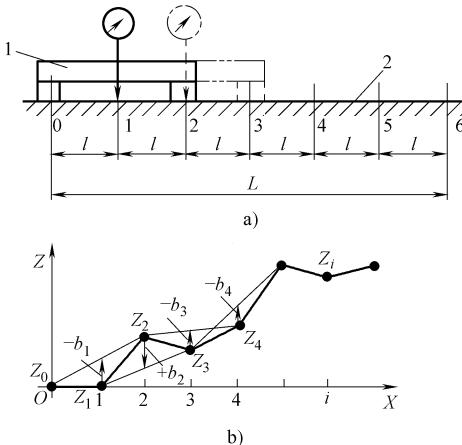


图 253 表桥法

1—表桥 2—被测零件



段数 n 和表桥跨距 l (其跨距为表桥两固定支承点中心距离之半)。将表桥放在研磨平尺上, 使指示器示值对零。然后沿被测直线等跨距、首尾相接地移动表桥 (图 253a), 同时记录各点示值 b_i ($i=1, 2 \cdots, n-1$)。采用作图法或计算法求出各点的坐标值 Z_i 。

如图 253b 所示, 用作图法求测得直线。

选择适当比例, 以表桥起始位置固定支承点 (O) 和测头点 1 的连线作为 X 轴, 建立直角坐标系, 即 $Z_0 = Z_1 = 0$ 。

各点示值 b_i 是相对前后两点连线 (测量基线) 的偏离量, 当 b_i 为正值时, 在 Z_i 点向下绘制; 为负值时, 在 Z_i 点向上绘制。

连接各测点得到测得直线图形。

根据测得直线按误差评定方法, 求出直线度误差值 (详见 135 题)。

上述跨步仪法和表桥法均适用于大、中型零件的直线度误差检测。

133. 直线度误差有哪些组合检测方法?

答: 组合检测方法是为了消除测量基线本身直线度误差, 从而提高测量精度的测量方法, 因而它仅适用于高精度零件的直线度误差检测。常用有以下几种检测方法。

(1) 反向消差法 通过正反 (翻转 180°) 两次测量, 经数据处理消除测量基线本身的直线度误差, 求出被测零件直线度误差的方法。

1) 用一个指示器进行反向消差测量。测量方法如图 254 所示, 先按前述指示器法沿被测直线逐点顺序测量 (图 254a), 同时记录各点示值 h_{Ii} 。然后将被测零件翻转 180° (图 254b), 并尽可能与翻转前处于相同轴向位置 (k 、 e 点之间), 按上述相同方法, 测得与第一次测量对应点处的第二次测量示值 h_{IIi} 。

求出各测点的坐标值 Z_i , 即

$$Z_i = (h_{Ii} + h_{IIi}) / 2$$

由测点的坐标值可得测得直线, 按误差评定方法进行数据处

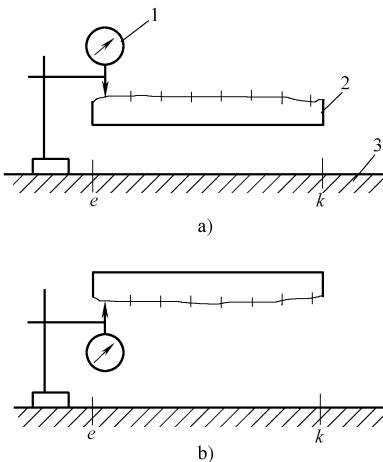


图 254 反向消差法

1—指示器 2—被测零件 3—平板

理，求出直线度误差。

2) 用两个指示器对两个相同被测零件进行反向消差测量。测量方法如图 255 所示，首先将被测零件 A 和 B 的被测面同向安

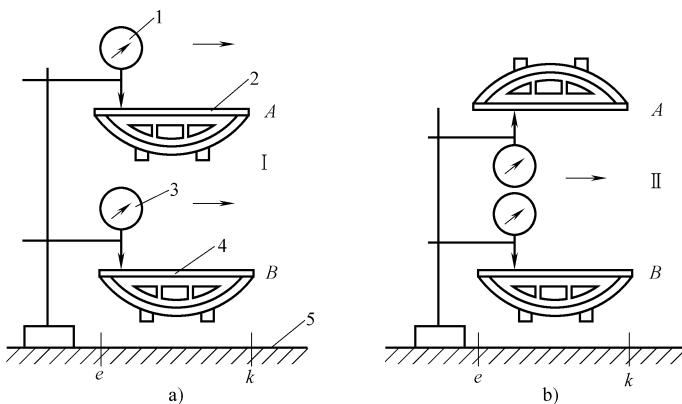


图 255 用两个指示器反向消差测量

1、3—指示器 2—被测零件 A 4—被测零件 B 5—平板



装（图 255a），使指示器 1 和 3 分别与两被测面相接触。调整两被测面，使其两端示值大致相等。然后沿被测直线逐点顺序测量，同时分别记录两指示器的示值 $h_{A\text{I}i}$ 、 $h_{B\text{I}i}$ ，完成第一次测量。

再将被测要素 A 翻转 180°（图 255b），并尽可能与翻转前处于相同的轴向位置（ k 、 e 点对齐），然后重复上述操作，获得 A、B 两被测直线上与第一次测量对应点处的第二次测量示值 $h_{A\text{II}i}$ 、 $h_{B\text{II}i}$ 。

按下式求出 A、B 两被测直线上各测点的坐标值，即

$$Z_{Ai} = [(h_{A\text{II}i} + h_{B\text{II}i}) + (h_{A\text{I}i} - h_{B\text{I}i})]/2$$

$$Z_{Bi} = [(h_{A\text{II}i} + h_{B\text{II}i}) - (h_{A\text{I}i} - h_{B\text{I}i})]/2$$

根据上述求得的各测点坐标值，可分别取得 A、B 两测得直线，依次按照误差评定方法进行数据处理，分别求出 A、B 两被测直线的直线度误差值。

3) 用一个平尺和两个指示器对被测零件进行反向消差测量。测量方法如图 256 所示，首先按测量要求将平尺分成 n 段，并测出各测点处平尺的厚度尺寸 H_i ($i=0, 1, 2 \dots, n$)。将平尺 2 和被测零件 4 放置在平板上，通过固定在同一测量架上的两个指示器 1 和 3，分别调整平尺和被测零件，使其两端点的示值大致相等。然后沿平尺和被测直线逐点顺序测量，同时分别记录

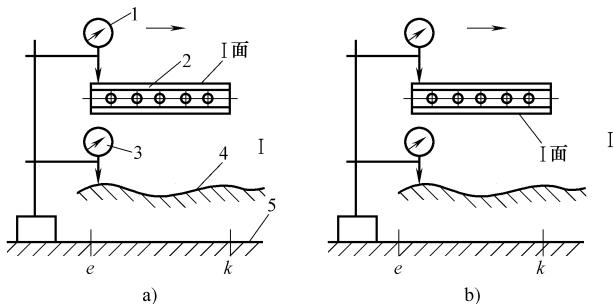


图 256 用平尺进行反向消差测量

1—指示器 1 2—平尺 3—指示器 2 4—被测零件 5—平板



平尺上指示器的示值 h_{1i} 和被测直线上指示器的示值 h_{Ii} ，完成第一次测量，如图 256a 所示。

将平尺翻转 180°，并尽可能与翻转前处于相同轴向位置（ k 、 e 点对齐，如图 256b 所示）。重复上述操作，测得平尺和被测直线上与第一次测量对应点处的第二次测量示值 h_{2i} 和 h_{IIi} 。

按下列公式求出各测点坐标值，即

$$Z_i = [A_i - (h_{1i} - h_{Ii}) - (h_{2i} - h_{IIi})]/2$$

式中 $A_i = H_i - (i/n) - H_0(n-i)/n$ 。

由各测点坐标值得测得直线，按误差评定方法进行数据处理，求得被测直线的直线度误差。

该方法适用于被测零件难以翻转的高精度直线度误差测量。

(2) 移位消差法 通过起始测量位置的变动进行两次测量，经数据处理消除测量基线本身的直线度误差，求出被测零件直线度误差的检测方法。

检测方法如图 257 所示。首先将被测零件 2 分为 n 段，并固定在平板 3 上。用指示器 1 将被测直线大致调整与平板平行。然后沿测量方向依次对各测点进行第 I 次测量（图 257a），同时记录各点示值 h_{1i} ($i=0, 1, 2, \dots, n$)。

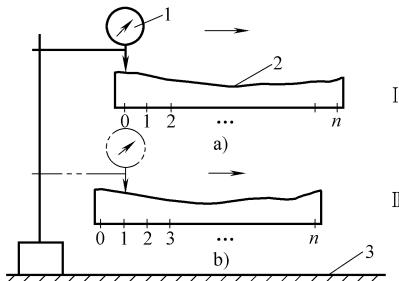


图 257 移位消差法

1—指示器 2—被测零件 3—平板

将零件逆测量方向平移一个跨距（图 257b），从第一点开始进行第 II 次测量，同时记录各点示值 h_{IIi} ($i=1, 2, 3, \dots, n$)。

根据上述两次测量所得各点示值，按下列公式求出各测点坐标值，即

$$Z_0 = h_{10}$$

$$Z_i = Z_{i-1} + h_{IIi} - h_{1(i-1)} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

由上述测点坐标值，求得测得直线，按误差评定方法进行数



据处理，求出直线度误差值。

(3) 多测头消差法 通过两个测头同时测量，经数据处理消除测量基线本身的直线度误差，求出被测零件直线度误差的检测方法。

检测方法如图 258 所示。首先将被测零件 2 分为 n 段，并支承在平板 3 上。调整被测直线，使其两端点示值大致相等。将固定在同一测量架上的两个指示器 A 与 B 的两测头调整至相距为一个跨距位置。然后沿被测直线移动指示器，逐点顺序测量，同时分别记录 A、B 两指示器上的示值 h_{Ai} ($i=0, 1, 2, \dots, n$) 和 h_{Bi} ($i=1, 2, 3, \dots, n$)。

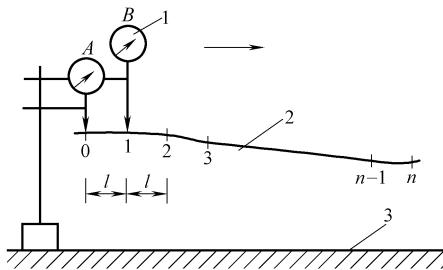


图 258 多测头消差法

1—指示器 2—被测零件 3—平板

根据所测得示值，按下列公式求得各测点坐标值，即

$$Z_i = Z'_i + h_{Ai} - h_{A0} \quad (i=0, 1, 2, \dots, n)$$

式中 $Z'_0 = 0$ ；

$$Z'_i = Z'_{i-1} + h_{Bi} - h_{Ai} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)。$$

由上述所得各测点坐标值，求得测得直线，按误差评定方法进行数据处理，求出直线度误差。

134. 什么是直线度量规检测法？

答：用直线度量规判断被测零件是否超越实效边界的检测方法，称为直线度量规检测法。

直线度量规检测法仅适用于检测轴线直线度公差遵守最大实体要求的零件。它是采用一种没有分度值的综合量规作为检测器具来



进行检测。它只能判别零件是否合格，而不能测得实际误差值。

检测方法如图 259 所示。给出的孔或轴的轴线直线度公差均遵守最大实体要求，故可采用量规检测法进行检测。对其中孔类零件采用塞规 2（图 259a），其测量部位的基本尺寸 d_{BM} 为

$$d_{BM} = D_{VC} - t$$

式中 D_{VC} ——被测零件内表面的实际尺寸；

D_{min} ——被测零件孔的下极限尺寸（即孔的最大实体尺寸）；

t ——框格中给出的轴线直线度公差。

对轴类零件则采用环规 3（图 259b）或槽形规 4（图

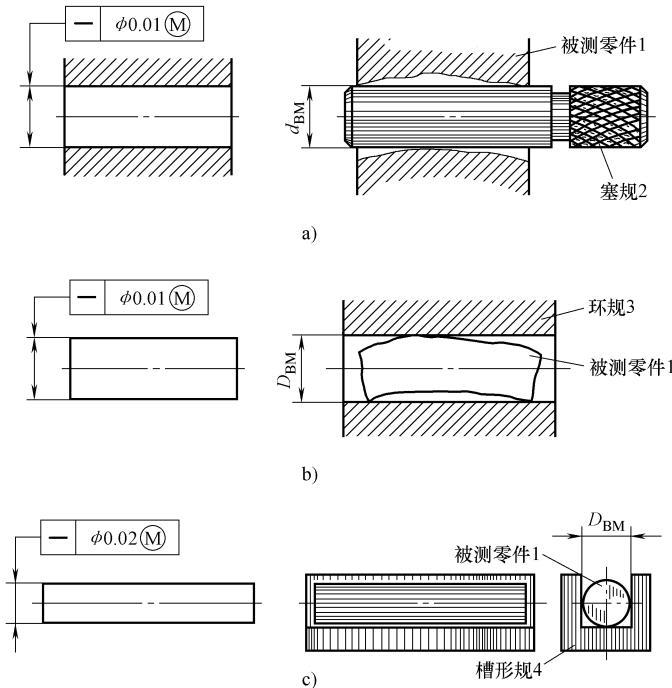


图 259 直线度量规检测法



259c)，其测量部位的基本尺寸 D_{BM} 为

$$D_{BM} = d_{VC} = d_{max} + t$$

式中 d_{VC} ——被测零件外表面的实效尺寸；

d_{max} ——被测零件轴的上极限尺寸（即轴的最大实体尺寸）；

t ——框格中给出的轴线直线度公差。

上述直线度量规的公差要求见 GB/T 8069 的规定。

采用量规检测直线度误差时，可将直线度量规置入被测零件：若量规能通过，则表示被测零件未超越规定的理想边界，为合格件；否则零件不合格。

槽形规通常用于被测轴较长或结构上不允许穿过环规时。检测时，被测零件应在槽内自由滚动，方为合格。但该种量规忽略了同时存在于不同方向上误差的综合影响，故其检测精度较低，使用时应特别注意。

135. 直线度误差评定方法有哪些？

答：如上所述，通过各种检测方法，首先获得被测点坐标值，但并不能直接得到直线度误差值，而必须按照误差评定原则，根据误差评定精度需要（即满足生产要求）选用不同的评定方法，按作图法或计算法进行数据处理，方可求出相应的直线度误差值。

直线度误差评定方法有以下几种。

(1) 最小包容区域法 以最小区域线作为评定基线的方法。此法最符合误差评定原则（最小条件），其评定结果小于下述最小二乘法和两端点连线法。

最小区域线是指构成直线度最小包容区域的两平行理想线之一或轴线。它根据测得要素按最小包容区域判别法来确定（见 129 题）。

最小包容区域的宽度或直径即为直线度误差值（具体评定方法见 GB/T 11336《直线度误差检测》6.1 节）。

(2) 最小二乘法 以最小二乘中线作为评定基线（或基线



方向) 求得直线度误差的评定方法。

最小二乘中线是指使实际直线上各点到该直线的距离平方和为最小的一条理想直线。它是根据测得点求得最小二乘中线，然后由实测点相对该线最大变动量求得直线度误差值(具体评定方法见 GB/T 11336《直线度误差检测》6.2 节)。

(3) 两端点连线法 以两端点连线作为评定基线(或基线方向)的直线度误差评定方法。

两端点连线是指实际直线上首末两点的连线。该评定方法简便，生产中应用最广泛。但由于其不符合最小条件判别原则，故在生产中出现争议时，仍应以最小包容区域法进行仲裁。

按两端点连线法评定直线误差的方法有：

1) 作图法。将测点的坐标值，按一定比例绘制在坐标图上，并顺序连接各点得测得直线图形，按不同要求分别用下述方法求出直线度误差值。

① 在给定平面上，如图 260 所示。首先在测得图形上绘出首末两点 B 、 E 的连线 l_{BE} ，然后沿 Z 方向量出各点在两端点连线 l_{BE} 上、下方最大、最小偏离量 d_{\max} 和 d_{\min} 。按下式计算得直线度误差值，即

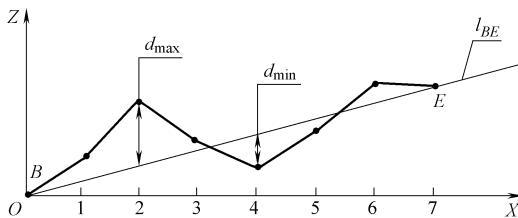


图 260 在给定平面上两端点连线法

$$f_{BE} = d_{\max} - d_{\min}$$

② 在任意方向上，如图 261 所示。首先将各测点的坐标值 (X_i, Y_i, Z_i) 按一定比例分别绘制在 XOZ 坐标平面(图 261a)和 YOZ 坐标平面(图 261b)上，得到两个投影面内的测得直线



图形，并分别连接两坐标图上首末两点 B 、 E ，得到两端点连线 l_{BE} 在两坐标平面上的投射线 $l_{BE}|XOZ$ 和 $l_{BE}|YOZ$ 。

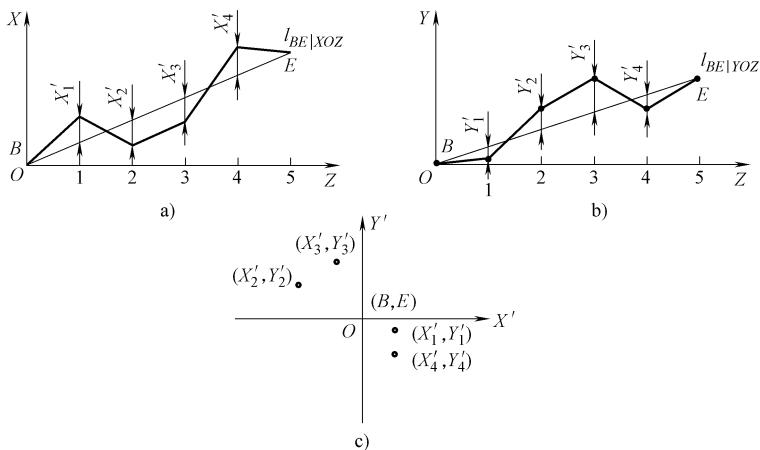


图 261 在任意方向上两端点连线法

然后沿 X 、 Y 方向分别量取各测点到两端点连线 l_{BE} 的距离 X'_i 和 Y'_i ，且找出 X'_i 和 Y'_i 中的最大、最小值 X'_{\max} 、 X'_{\min} 、 Y'_{\max} 、 Y'_{\min} 。

将上述两投影面上最大、最小值点，投射到垂直于两端点连线 l_{BE} 的平面 $X'OY'$ 上（图 261c）。

按下述最大、最小值不同情况，采用不同作图方法，求出直线度误差值 ϕf_{BE} 。

a. 两点情况。指两个坐标图中有一个坐标平面上的最大、最小值均为零，如图 262 所示。在 XOZ 坐标图上的最大、最小值为双向（图 262a）或单向（图 262b）分布，而在 YOZ 坐标图上最大/最小值均为零（图 262c）。此时在单向或双向测得直线图形上，其纵坐标方向上的最大与最小值之差，即为其直线度误差值 ϕf_{BE} （图 262d、e）。

b. 三点情况。在两个坐标平面上的最大、最小值均为单向

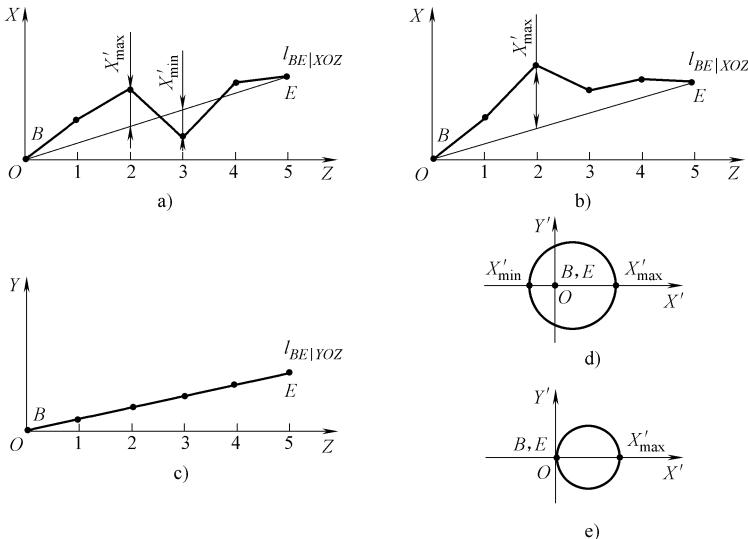


图 262 两点情况

分布，如图 263 所示。在 XOZ 坐标平面（图 263a）和 YOZ 坐标平面（图 263b）上的投影线均在两端点连线 BE 一个方向上。此时可按两坐标面内最大、最小值点在 $X'OY'$ 投影面上的投影点来判别其误差值：当以距离最远两点的连线为直径作圆，如另一点位于该圆内时，则该圆直径即为其直线度误差值 ϕf_{BE} （图 263c）；如另一点不在圆内时，则应过三点作圆，其直径即为其直线度误差值 ϕf_{BE} （图 263d）。

c. 四点情况。一个坐标平面上最大、最小值为单向，而另外坐标平面上为双向分布，如图 264 所示。 XOZ 坐标平面上为单向（图 264a）； YOZ 坐标平面上为双向（图 264b）。先在 $X'OY'$ 坐标图上连接三个最大、最小值对应点和坐标原点构成四边形 $OA_3A_1A_2$ （图 264c）。作四边形对角线，并以两对角线中较长者为直径作圆。若另外两对角点位于该圆内，则该圆的直径 ϕf_{BE} 即为直线度误差值；若另外两对角点中有一个位于圆外，则应以对角线两点与圆外点三

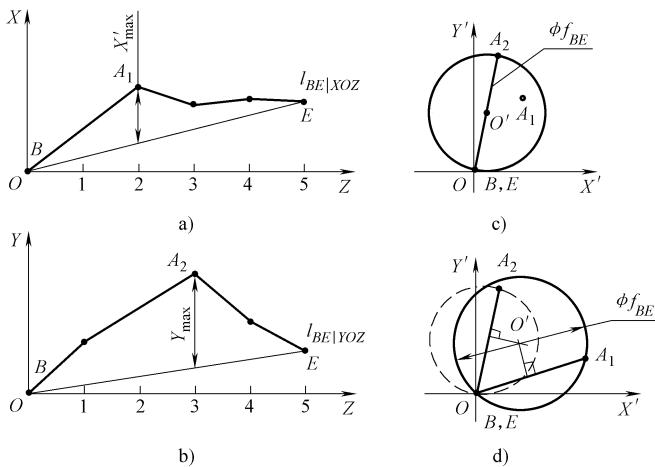


图 263 三点情况

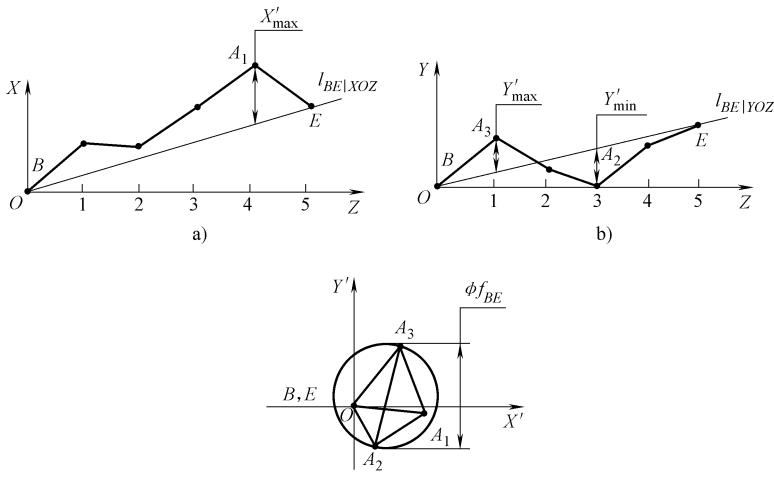


图 264 四点情况

点作圆，该圆直径为其直线度误差 ϕf_{BE} 。

d. 五点情况。两个坐标平面上的最大、最小值均为双向，如图 265 所示。 XOZ 坐标平面（图 265a）和 YOZ 坐标平面（图 265b）均



为双向分布。评定其误差值时首先在 $X'Y'$ 坐标图上连接四个最大、最小值点（图 265c），形成一个四边形，若坐标原点在该四边形之内，则按上述四点作图方法求出直线度误差值 ϕf_{BE} 。

若坐标原点不在该四边形之内（图 265d），则应连接五个点形成一个五边形，参照四点或三点作图法步骤，求出直线度误差值 ϕf_{BE} 。

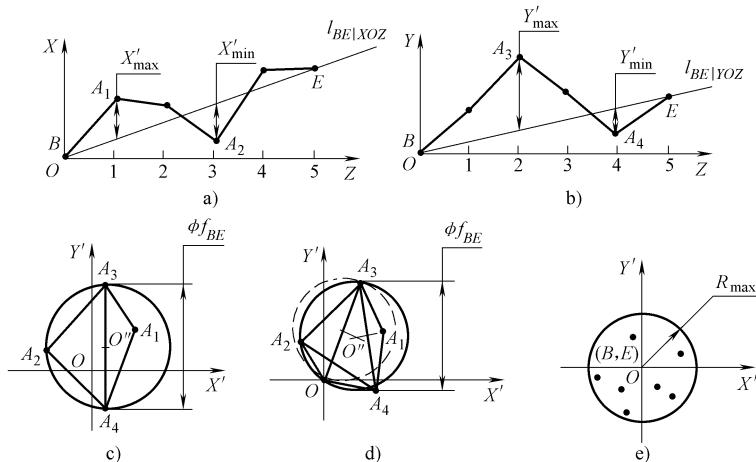


图 265 五点情况

若各测点较均匀地落在 $X'Y'$ 平面上多个象限内（图 265e），则可求出各点距两端点连线的半径距离 R_i ，即

$$R_i = \sqrt{(X'_i)^2 + (Y'_i)^2}$$

取其中最大值 R_{\max} 的两倍，作为直线度误差值 ϕf_{BE} 的近似值。

2) 计算法。通过坐标转换求得直线度误差值。

① 在给定平面（或给定方向、任意方向的投影）上。评定方法是：将两端点连线的始点定在原点上，列出各测点的坐标值，然后将测点坐标值 Z_i ，按下式转换为新的坐标值 d_i ，即

$$d_i = Z_i - qX_i = Z_i - \frac{Z_E}{n}i$$

式中 Z_E ——末端点坐标值；



$$q \text{——方程系数, } q = \frac{Z_E}{X_E};$$

n ——分段数。

根据各测点转换后新坐标值 d_i , 找出最大与最小值, 两者之差即为该直线度误差值, 即

$$f_{BE} = d_{\max} - d_{\min}$$

用两端点连线计算法求直线度误差过程示例见表 36。

表 36 用两端点连线计算法求直线度误差过程示例 (单位: μm)

测量点序号 i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量点坐标值 Z_i	0	60	95	85	70	60	70	100	160	200	180
系数 Z_E/n	180 ÷ 10 = 18										
等差数 $\frac{Z_E}{n} i$	0	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180
新坐标值 d_i	0	42	59	31	-2	-30	-38	-26	16	38	0
直线度误差值 f_{BE}	59 - (-38) = 97										

② 在任意方向上。首先将起始点 B 定在原点上, 如图 266 所示。然后根据各测点的坐标值, 求出两端点连线 l_{BE} 的方程系数 q 、 p , 即

$$q = \frac{X_E}{Z_E} \quad p = \frac{Y_E}{Z_E}$$

式中 X_E 、 Y_E 、 Z_E ——末端点 E 的坐标值。

将各测点的坐标值代入下式, 求出各测点距两端点连线 l_{BE} 的半径距离 R_i , 即

$$R_i = [(X_i - qZ_i)^2 + (Y_i - pZ_i)^2]^{\frac{1}{2}}$$

找出 R_i 中的最大值 f_1 , 取其两倍 ($2f_1$), 即为该直线度误差值 ϕf_{BE} 。

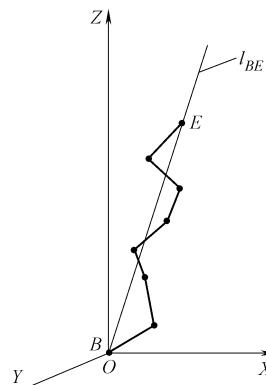


图 266 任意方向上计算法求直线度误差



136. 什么是平面度误差？平面度误差检测方法分为哪几类？

答：平面度误差是指实际平面对其理想平面的变动量，理想平面的位置应符合最小条件，即用平面度最小包容区域的宽度 f 表示的数值。

实际平面是零件上实际存在的平面。在评定平面度误差时，均用测得平面代替实际平面。所谓测得平面是指按规定方法，由实际平面提取有限数目的点所形成的平面。

生产中通过各种测量方法获取测得平面，按误差评定原则经数据处理后，与评定基面（理想平面）比较求得其误差值。

在测量过程中，获得测量值的参考面，称为测量基面，如平板的测量面、自准直仪光轴扫过的平面、水平面等。

平面度误差检测方法按测量原理、测量器具等分为以下几类。

1) 直接检测方法。通过测量可直接获得测得平面各点坐标值或直接评定平面度误差值的方法，如间隙法、指示器法、光轴法等。

2) 间接检测方法。通过测量不能直接获得测得平面各点坐标值，需经过数据处理后方可获得各点坐标值的测量方法，如水平仪法、自准直仪法、跨步仪法等。

3) 组合检测方法。通过误差分离技术，消除测量基面本身平面度误差的测量方法，如反向消差法等。

137. 什么是测量布点形式？平面度误差检测常用布点形式有哪些？

答：测量布点形式是指在整个被测要素上，按一定规律确定测量点的位置和顺序。测量时，应按布点要求依次测得各测量点处读数，再根据测得值进行数据处理，求得误差值。

常用的测量布点形式有以下几种。

(1) 网格布点 这种布点形式呈封闭的网状布局，按其测量顺序不同，有以下几种形式。

1) 矩形平面环形布点法。如图 267 所示，它是由封闭的矩



形 $ABCD$ 和中间若干条测量线 PP'_1 、 \dots 、 $P_{n-1}P'_{n-1}$ 上的测量点组成。测量顺序为：① $A \rightarrow B \rightarrow C$ ；② $A \rightarrow D \rightarrow C$ ；③ $P_1 \rightarrow P'_1 \dots P_{n-1} \rightarrow P'_{n-1}$ 。该布点形式适用于公差等级较高的平面。

2) 矩形平面平行线布点法。如图 268 所示，它是由 AD 、 $P_1P'_1 \dots BC$ 等若干条横向测量线组成。测量顺序为：① $A \rightarrow B \rightarrow C$ ；② $A \rightarrow D$ ；③ $P_1 \rightarrow P'_1 \dots P_{n-1} \rightarrow P'_{n-1}$ 。该布点形式适用于公差等级较低的平面。

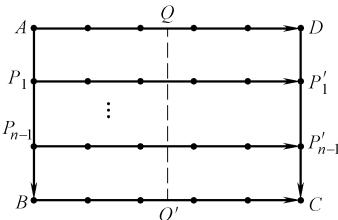


图 267 矩形平面环形布点法

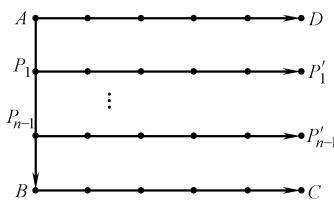


图 268 矩形平面平行线布点法

3) 圆形平面布点法。如图 269 所示，它是由圆形平面构成，测量顺序与矩形平面相似（图 269a），必要时可以从 $ABCD$ 矩形向外延伸布点（图 269b）。

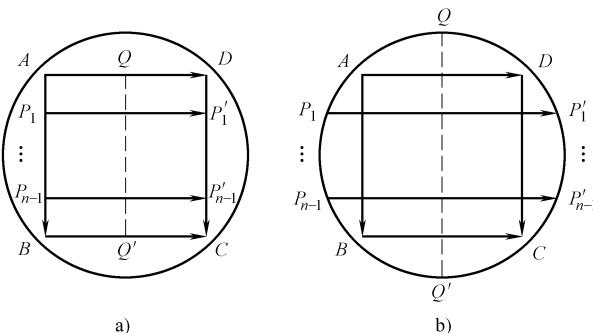


图 269 圆形平面布点法

采用网格布点法其横向测量线的数目可随被测平面的大小及测量精度要求增减。必要时，可适当增加纵向测量线，如图 267



和图 269 所示 QQ' 线。

(2) 对角线布点 这种布点形式呈封闭的米字状，按其测量顺序不同，可分为：

1) 矩形平面对角线布点法。如图 270 所示，它是由封闭的矩形 $ABCD$ 、两对角线 AC 、 BD 和若干条横向测量线 $P_1P'_1 \cdots P_{n-1}P'_{n-1}$ 等组成（图 270a）。测量顺序为：① $A \rightarrow C$ ；② $B \rightarrow D$ ；③ $A \rightarrow B$ ；④ $D \rightarrow C$ ；⑤ $A \rightarrow D$ ；⑥ $P_1 \rightarrow P'_1 \cdots P_{n-1}P'_{n-1}$ ；⑦ $B \rightarrow C$ 。

对于小平面，可直接简化成图 270b 所示的布点形式。

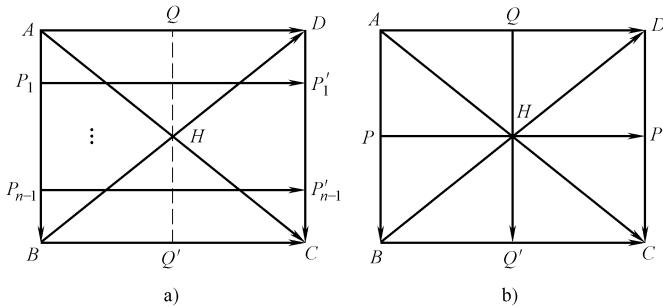


图 270 矩形平面对角线布点法

2) 圆形平面对角线布点法。如图 271 所示，它是由圆形平面构成，其测量顺序与矩形平面相似（图 271a）；必要时可从 $ABCD$ 矩形向外延伸布点（图 271b）。

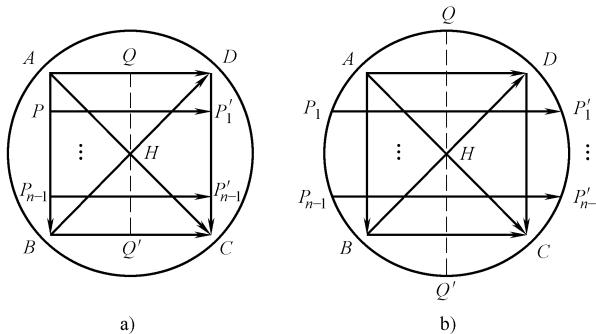


图 271 圆形平面对角线布点法



(3) 圆环形平面布点 这种布点方式呈同心圆状, 如图 272 所示。按被测平面尺寸大小及测量顺序不同, 有以下几种布点方式。

方式一: 由两个或两个以上同心圆组成 (图 272a), 适用于圆环面较宽的表面。圆环线数目可根据圆环面宽度和测量精度要求适当增减, 其测量顺序为: ① $A \rightarrow A$ 圆环线; ② $B \rightarrow B$ 圆环线; ③ $A \rightarrow B$ 。

方式二: 由同心圆内网格组成 (图 272b)。测量顺序为: ① $A \rightarrow B \rightarrow C$; ② $A \rightarrow D \rightarrow C$; ③ $P_1 \rightarrow P'_1 \cdots P_{n-1} \rightarrow P'_{n-1}$ 。

方式三: 是由两同心圆内一矩形 ABCD 组成 (图 272c), 适用于圆环面较窄的表面, 其测量顺序为: ① $A \rightarrow B \rightarrow C$; ② $A \rightarrow D \rightarrow C$ 。

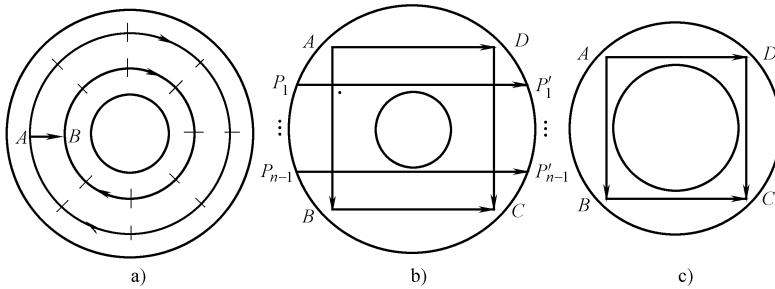


图 272 圆环形平面布点法

圆环形平面布点一般仅适用于水平仪或与水平仪工作原理相似的仪器进行测量的场合。

138. 平面度误差有哪些直接检测方法?

答: 按测量原理、测量器具等分类, 平面度误差直接检测方法分为以下种类。

(1) 间隙法 按 131 题 (1) 所述直线度误差间隙法, 根据被测平面形状, 沿多个方向进行测量, 如图 273 所示, 测得不同方向上若干个截面的直线度误差值, 取其中最大值作为平面度误差近似值。该方法适用于磨削或研磨加工的小平面平面度误差的测量。

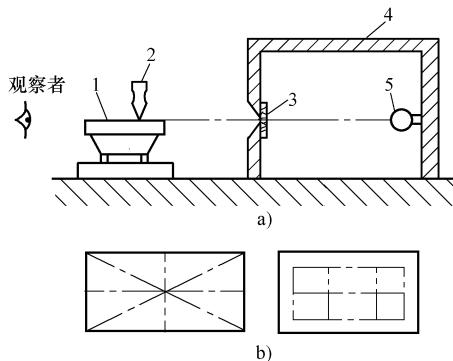


图 273 平面度误差间隙检测法

1—被测零件 2—刀口尺 3—毛玻璃 4—灯光箱 5—光源

(2) 指示器法 用带指示器的测量装置或坐标测量仪，测出被测平面相对测量基面的偏离量，进而评定平面度误差值的方法。

检测方法如图 274 所示。将被测零件 2 支承到平板 3 上，首先通过可调支承 4 将被测平面上两对角线的角点分别调成等高，

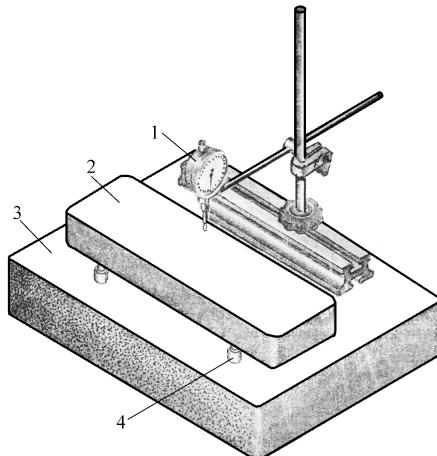


图 274 平面度误差指示器检测法

1—指示器 2—被测零件 3—平板 4—可调支承



或将被测平面上三远点调成等高。然后按一定布点形式（便于数据处理）逐点移动指示器 1，同时记录各测点示值 h_i 。取其中各测点中最大与最小示值之差 $h_{\max} - h_{\min}$ 作为该被测平面的平面度误差值。

(3) 光轴法 以几何光轴建立测量基面，测出被测平面相对测量基面的偏离量，进而评定平面度误差值的方法。

检测方法如图 275 所示。将瞄准靶 1 放到被测零件 4 上，首先将被测平面上两对角线的角点分别调成等高，或将被测平面上任意三远点调成等高。然后按一定布点形式移动瞄准靶，逐点进行测量，同时记录各点示值 h_{ij} ，即可得各测量点相对测量基面（由准直望远镜形成）的坐标值 $Z_{ij} = h_{ij}$ 。取各测点中最大与最小示值之差 $h_{\max} - h_{\min}$ 作为该被测平面的平面度误差值。也可按误差评定方法求得更精确的误差值。该方法适用于一般精度大平面平面度误差测量。

(4) 干涉法 利用光波干涉原理，根据干涉条纹形状、条数来确定平面度误差值的方法。

检测方法与 131 题 (3) 所述直线度误差干涉检测方法完全相同。该方法适用于精研表面的平面度误差测量。

(5) 液面法 以液体构成的水平面作为测量基面，测出被测平面相对测量基面的偏离量，进而评定平面度误差值的方法。

检测方法如图 276 所示。先将一个连通罐置于被测一角 A 处，由指示器 2 组成的传感器测出罐内液面高度，再将另一连通罐分别移至相互间隔最远的两点 B、C 处，调整被测零件 6 使最远点 A、B、C 三处连通管液面高度相等。此时水平面即为测量基面。按一定布点形式移动连通罐，利用液面高度测量装置测得

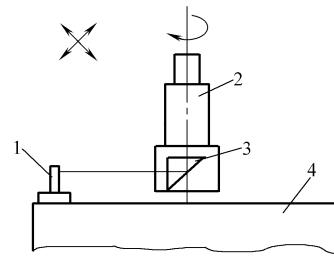


图 275 平面度误差光轴检测法
1—瞄准靶 2—转向棱镜 3—准直望远镜 4—被测零件

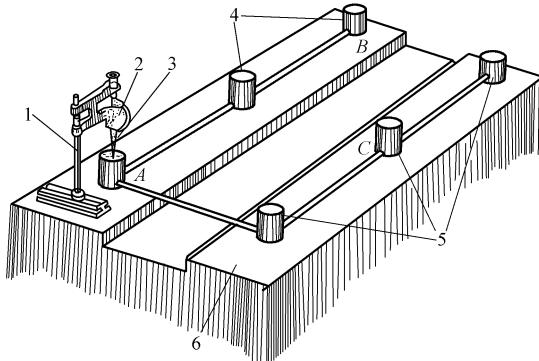


图 276 液面法

1—支架 2—指示器 3—触头 4、5—连通罐 6—被测零件

各测量点处液面高度变化。将测量示值与零位示值之差 h_{ij} 乘以 2 并做记录，即获得各测点相对测量基面的坐标值 $Z_{ij} = 2h_{ij}$ 。取各测点中最大、最小示值之差的两倍，即 $2(h_{\max} - h_{\min})$ 为该平面度误差值。该方法适用于大平面的平面度误差测量。

液面法所采用的液面高度测量装置如图 277 所示，是由支架 1、托架 2 和指示器 7 等构成。测量时通过旋柄 3 转动齿轮 4，带动螺杆 5 旋转，驱动指示器上的量头 6 上下移动，触头 8 也随之产生上下位移，用以调整触头与连通罐内导电液体相接触。当触头与液面接触的瞬间，电路接通，通过信号灯（或电表）显示出来，此时可读取指示器上的读数。

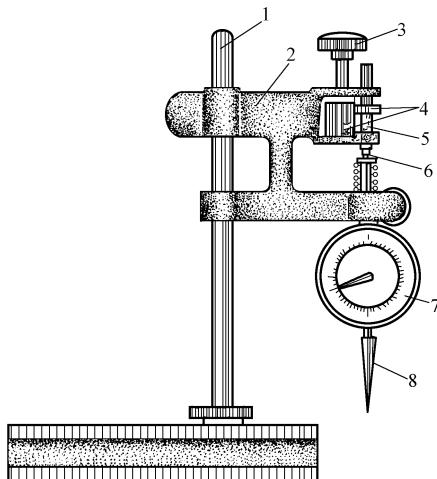


图 277 液面高度测量装置

1—支架 2—托架 3—旋柄 4—齿轮
5—螺杆 6—量头 7—指示器 8—触头



139. 平面度误差有哪些间接检测方法?

答: 通过测量不能直接测得平面各点坐标值, 而需经过数据处理方可获得的测量方法称为间接测量法。常用平面度误差间接测量法有以下几种。

(1) 水平仪法 将固定有水平仪的桥板置于被测平面上, 按一定的布点形式首尾衔接地拖动桥板, 测出被测平面相邻两点连线相对测量基线的倾斜角, 通过数据处理求出平面度误差值的方法, 称为水平仪检测法。

检测方法如图 278 所示。将固定有水平仪 1 的桥板 2 置于被测平面上。根据被测平面的形状、尺寸, 选择布点形式, 并确定

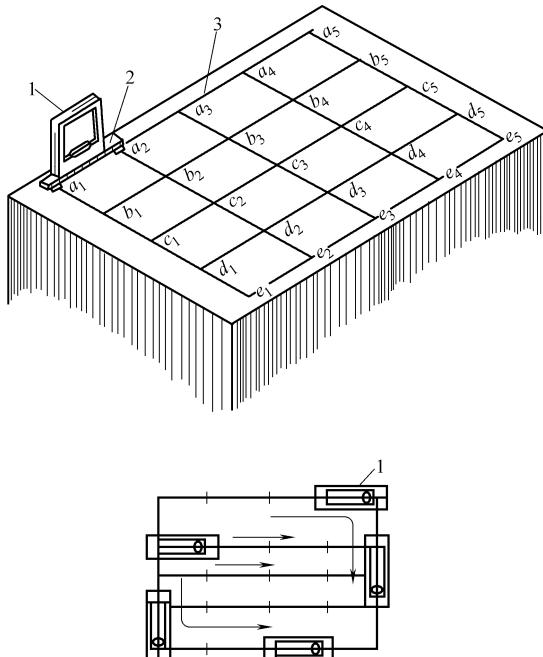


图 278 平面度误差水平仪检测法

1—水平仪 2—桥板 3—被测零件



各个方向的分段数及桥板跨距。然后将被测平面大致调水平（对自然水平面的倾斜角不大于 $10'$ ），按选定的布点方法，依测量顺序和方向（图 278b 中箭头所示）逐线首尾衔接地进行测量，并同时记录各点示值 a_{ij} ($a_{oo}=0$)。表 37 中为水平仪测量示值记录。

表 37 水平仪测量示值记录

测量截面	位置	测得示值/格	累计值/格	相对测量基面偏差/格
$a_1 e_1$	a_1	0	0	0
	b_1	-5	-5	(-5)
	c_1	+3	-2	(-2)
	d_1	+1	-1	(-1)
	e_1	+1	0	0
$e_1 e_5$	e_2	-2	-2	-2
	e_3	+3	+1	+1
	e_4	+2	+3	+3
	e_5	-3	0	0
$a_1 a_5$	a_1	0	0	0
	a_2	+5	+5	+5
	a_3	+1	+6	+6
	a_4	+4	+10	+10
	a_5	-2	+8	+8
$a_5 e_5$	b_5	0	+8	+8
	c_5	0	+8	+8
	d_5	-2	+6	+6
	e_5	+6	0	0
$b_1 b_4$	b_1	0	0	(-5)
	b_2	+2	+2	-3
	b_3	+2	+4	+1
	b_4	+3	+7	+8
$c_1 c_4$	c_1	0	0	(-2)
	c_2	0	0	-2
	c_3	+1	+1	-1
	c_4	+5	+6	+5
$d_1 d_4$	d_1	0	0	(-1)
	d_2	0	0	-1
	d_3	+2	+2	1
	d_4	0	+2	+3



按测量示值处理方法将示值 a_{ij} 转换成各点坐标值 Z_{ij} (详见 141 题)。按误差评定方法对坐标值 Z_{ij} 进行数据处理, 求出平面度误差值 (详见 142 题)。

该方法适用于大、中型平面的平面度误差检测。

(2) 自准直仪法 将固定有反射镜的桥板置于被测平面上, 按对角线布点形式拖动桥板, 测出被测平面上相邻两点连线相对测量基面的倾斜角, 通过数据处理求出误差值的方法。

检测方法如图 279 所示。将固定有反射镜 2 的桥板 3 置于被测平面上 (图 279a), 根据被测平面的形状、尺寸, 选择对角线

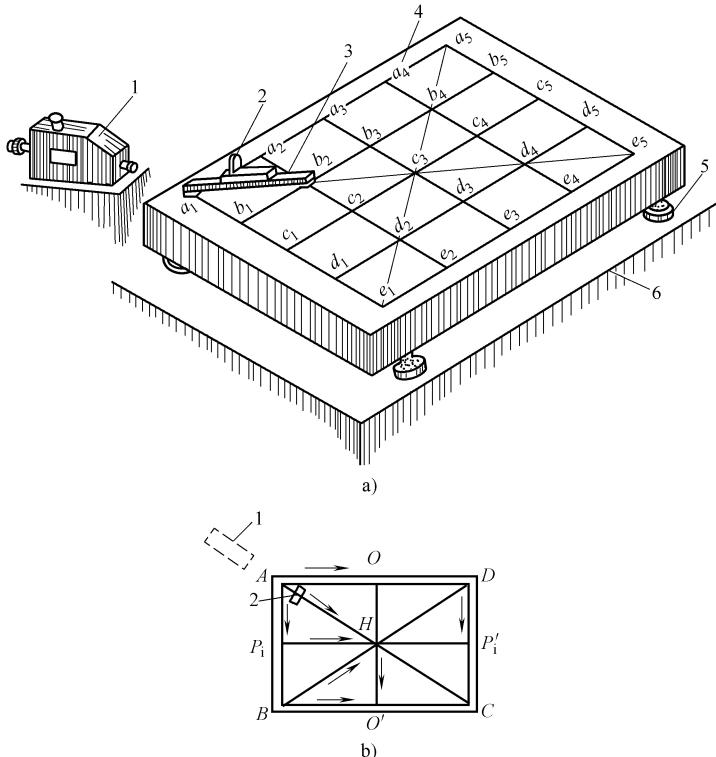


图 279 平面度误差自准直仪检测法

1—自准直仪 2—反射镜 3—桥板 4—被测零件 5—可调支承 6—平板



布点形式，确定各个方向的分段数及桥板的跨距。将被测平面大致调水平，然后按测量顺序和方向（图 279b 中箭头所示）逐线进行测量，并同时记录各点示值 a_{ij} ($a_{\infty}=1$)。

按测量示值处理方法将示值 a_{ij} 转换成各点坐标值 Z_{ij} （详见 141 题）。

按误差评定方法对各点坐标值 Z_{ij} 进行数据处理，求出平面度误差值（详见 142 题）。

该方法适用于大、中型平面的平面度误差检测。

(3) 跨步仪法 以跨步仪相邻两支点连线为测量基线，按对角线布点形式，测出第三点相对测量基线的偏离量，通过数据处理求出平面度误差值的检测方法。

检测时，首先根据被测平面的形状、尺寸选择布点形式，确定各方向的分段数及跨步仪的跨距，如图 280 所示。然后按照直线度误差跨步仪法（见 132 题）沿测量方向逐段测量，同时记录各点示值 c_{ij} 。

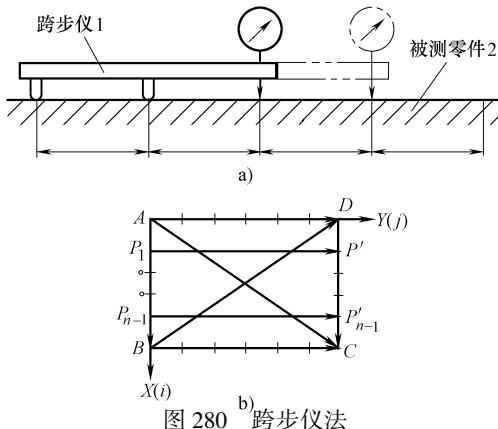


图 280 b) 跨步仪法

按示值处理方法将各点示值 c_{ij} 转换成坐标值。

按误差评定方法对各点坐标值进行数据处理，求出平面度误差值。

(4) 表桥法 以表桥两支点的连线为测量基线，按对角线



布点形式，测出中间点相对测量基线的偏移量，如图 281 所示。通过数据处理求出平面度误差值的检测方法。

该方法检测过程与上述跨步仪法基本相同，只是采用按直线度误差表桥法来测得各测点示值，然后经数据处理求得其平面度误差。

上述跨步仪法和表桥法均适用于大、中平面的平面度误差检测。

140. 平面度误差有哪些组合检测方法？

答：平面度误差组合检测方法通常采用反向消差法。它是通过正反（翻转 180°）两个方向测量，经数据处理消除测量基线本身的直线度误差，获得被测平面上各条测量线上测量值，求出被测零件平面度误差值的方法。

1) 用一个指示器进行反向消差测量。检测方法如图 282 所示。将被测零件放置在平板上，并调整使三远点示值大致相等（图 282a）。

按网格布置形式（图 282c），沿 Y 方向测量线 AD 、 $P_iP'_i$ 和 BC 逐点顺序测量，同时记录指示器的示值 h_{Iij} ($i = 0, 1, 2, \dots, n$; $j = 0, 1, 2, \dots, m$)。

将测量方向转 90°，测量 AB 、 DC 测量线，各点示值为 h_{io} 、 h_{im} 。

将零件翻转 180°（图 282b），并尽可能保证翻转前后在 X、Y 两个方向分别使用同一段导轨。重复上述操作步骤，测得被测平面翻转后对应点处指示器示值 h_{IIij} 。

用下式求出各条测量线上各测点的示值 h_{ij} ，即

$$h_{ij} = \frac{h_{Iij} + h_{IIij}}{2}$$

通过坐标的平移和旋转，使 $P_iP'_i$ 测量线上的首末点与 AB 、

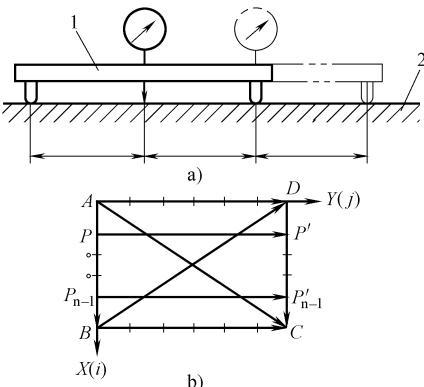


图 281 表桥法检测平面度误差

1—表桥 2—被测平面

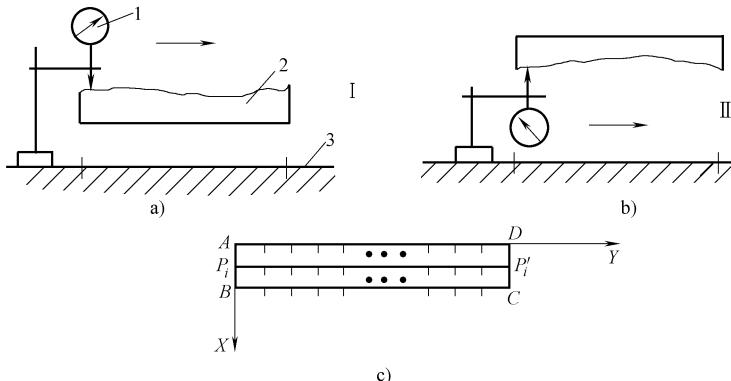


图 282 平面度误差反向消差检测法

1—指示器 2—被测零件 3—平板

DC 测量线上对应点的坐标值 h_{io} 和 h_{im} 等值，同时变换 $P_iP'_i$ 测量线上其余各点的示值，求出各点的坐标值 Z_{ij} 。

其中， $Z_{io} = h_{io}$ 、 $Z_{im} = h_{im}$ （即 AB 、 DC 两条测量线上各点测得值等于转换后的坐标值）。

根据各点坐标值 Z_{ij} ，按误差评定方法进行数据处理，求出平面度误差值。

2) 用两个指示器对两个被测表面进行反向消差测量。检测方法如图 283 所示。将被测零件 A 、 B 放置在平板 5 上，两指示器 1、3 固定在同一支架上（图 283a）。

第一次测量将被测件被测表面同向放置，移动指示器分别调整两被测件，使其被测表面上三远点大致相等。

按网格布点形式（图 283c）沿 $P_iP'_i$ 各条测量线逐点顺序测量，同时记录两指示器的示值 h_{A1ij} 、 h_{B1ij} ($i=0, 1, 2, \dots, n$ ； $j=0, 1, 2, \dots, m$)。

将测量方向转 90° ，测量所有测量线上各点测得值。

将被测零件 A 翻转 180° （图 283b），并尽可能与翻转前处于相同轴向位置（ k 、 e 点），即翻转前后 X 、 Y 两个方向分别用同一段导轨。重复上述操作，测得被测零件 A 、 B 与第一次测量对

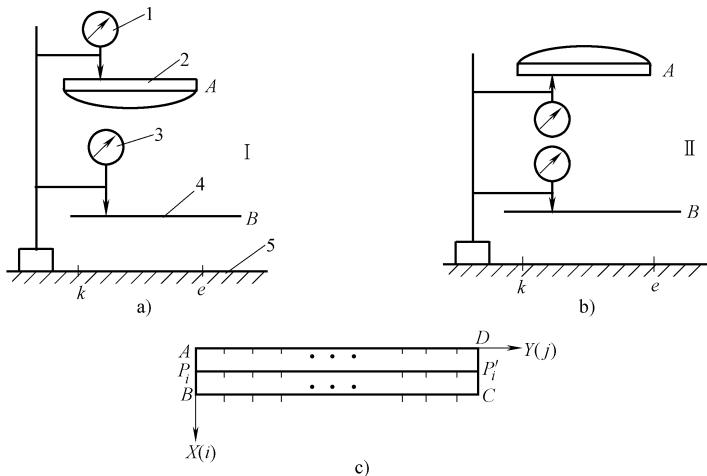


图 283 两个指示器进行反向消差测量

1—指示器 1 2—被测零件 A 3—指示器 2 4—被测零件 B 5—平板

应点处的第二次测得示值 $h_{A \text{ II } ij}$ 、 $h_{B \text{ II } ij}$ 。

用下式求出两被测零件上各条 $P_iP'_i$ 测量线上各测点的坐标值 Z'_{ij} ，即

$$Z'_{Aij} = \frac{(h_{A \text{ I } ij} - h_{B \text{ I } ij}) + (h_{A \text{ II } ij} + h_{B \text{ II } ij})}{2}$$

$$Z'_{Bij} = \frac{-(h_{A \text{ I } ij} - h_{B \text{ I } ij}) + (h_{A \text{ II } ij} + h_{B \text{ II } ij})}{2}$$

通过坐标的平移和旋转，分别使被测零件 A、B 的 $P_iP'_i$ 线上的首末两点与各自的 AB、DC 测量线上相应点的坐标值 Z'_{io} 和 Z'_{im} 等值，同时变换 $P_iP'_i$ 测量线上其余各点的坐标值，求出各点的坐标值 Z_{ij} ，其中 $Z_{io} = Z'_{io}$ 、 $Z_{im} = Z'_{im}$ 。

按误差评定方法对 Z_{ij} 进行数据处理，求出平面度误差值。

反向消差检测法适用于窄长工件的高精度平面度误差检测。

141. 怎样进行平面度误差测量示值数据处理？

答：采用直接检测方法时，通过测量可直接获得测得平面各点坐标值；而采用间接检测方法时，所得示值则需进行数据处



理，方可按误差评定方法求得其误差值。

当用水平仪、自准直仪法进行等跨距测量时，可直接用示值进行数据处理，最后将处理结果乘以系数 K 换算成线性值；也可先将示值乘以系数 K 换算成线性值后，再进行处理。

仪器分度值 τ 单位为毫米每米 (mm/m) 时，系数 $K = \tau \times L$ (K 的单位为 μm)；仪器分度值 τ' 单位为角度值秒 ($''$) 时，系数 $K = 0.048\tau' \times L$ (K 的单位为 μm)。式中 L 为桥板跨距 (单位为 mm)。

按照不同布点方式，分别将布点测量示值转换成坐标值。

(1) 网格布点的测量示值转换成坐标值 方法是：以过起始点 A 的水平面作为转换基面，按测量顺序逐点累加，即可获得相对转换基面的坐标值 Z_{ij} 。如图 284 所示，测得一组测点的示值 (图 284a)，按累加的办法得到各测点的坐标值 (图 284b)。

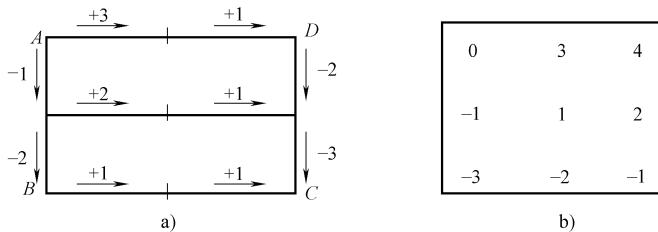


图 284 网格布点的数据处理

网格布点整个测量过程是封闭的 (图 284a)，从两个测量方向 ($A \rightarrow D \rightarrow C$ 和 $A \rightarrow B \rightarrow C$) 累加所得 C 点坐标值 Z_C 理论上应相等。但因存在测量误差，两测量方向累加所得 Z_C 可能不同，其差值称为 C 点闭合差 Δ 。

当 Δ (线性值) 绝对值小于或等于不确定度允许值 u_0 时，可取两个 Z_C 的平均值为其坐标值，进行平差处理。平差处理后应将 a'_{ij} 重新转换成 Z_{ij} 。当 Δ 绝对值大于 u_0 时，一般应重新测量。

平差处理可按下式进行计算：

1) 对 $A \rightarrow D \rightarrow C$ 测量线：

$$a'_{ij(ADC)} = a_{ij(ADC)} + \frac{\Delta}{2(n+m)}$$



2) 对 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 测量线:

$$a'_{ij}(ABC) = a_{ij}(ABC) + \frac{\Delta}{2(n+m)}$$

式中 a'_{ij} 、 a_{ij} ——平差处理后与前各点示值。
 n 、 m ——纵、横方向布点数。

(2) 对角线布点的测量示值转换成坐标值 如图 279b 所示, 先将各测量线上测点的示值按测量顺序逐点累加的方法求得各点过渡坐标值 Z'_i 。通过平移和旋转, 使 AB 测量线的 B 点末值与对角线 BD 的 B 点初始值相等; 对角线 BD 的中点值与对角线 AC 的中点值相等, 构成平行或通过 A 、 B 点和对角线交点 H 三点的一个平面, 同时算出 AB 、 AC 、 BD 测量线上其余各点的坐标值。

通过平移和旋转, 使 AD 、 BC 、 DC 测量线上的首末两点与转换后的 AB 、 AC 、 BD 测量线上的相应首末点等值, 同时算出 AD 、 BC 、 DC 测量线上其余各点的坐标值。

通过平移和旋转, 使 $P_iP'_i$ 测量线上的首末点与转换后的 AB 、 DC 测量线上的相应点等值, 同时算出 $P_iP'_i$ 测量线上其余各点的坐标值。

上述坐标值旋转变换方法如图 285 所示, 其变换步骤是: 首

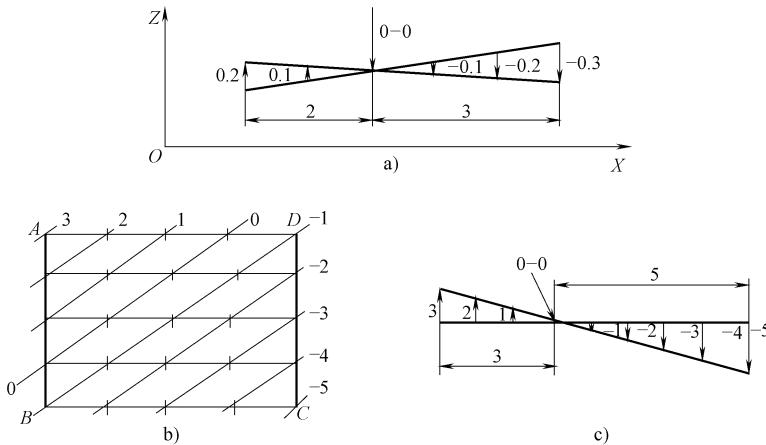


图 285 坐标值旋转变换方法



先确定旋转轴 0—0，按下式算出旋转系数 K_a ，即

$$K_a = \frac{|Z_A| + |Z_B|}{L_A + L_B}$$

式中 $|Z_A|$ ——A 点变换前后的坐标差之绝对值；

$|Z_B|$ ——B 点变换前后的坐标差之绝对值；

L_A ——A 点距转轴 0—0 的距离；

L_B ——B 点距转轴 0—0 的距离。

按下式求出各测点的旋转量，升高者取正值，降低者取负值，即

$$Q_k = \pm K_a L_k$$

式中 L_k ——各旋转点至转轴的距离。

按下式求出各点旋转变换后的坐标值，即

$$Z'_{ij} = Z_{ij} + Q_k$$

式中 Z_{ij} ——各测点旋转变换前的坐标值。

面的旋转变换方法与上述基本相同，如图 285b、c 所示，以 0—0 为转轴面的旋转变换示例。

142. 平面度误差有哪些评定方法？

答：如前所述，获得被测点坐标值后，根据需要选用不同的评定方法，按作图法或计算法进行数据处理后，方可求出相应的平面度误差。

平面度误差的评定方法有最小区域法、最小二乘法、对角线平面法和三远点平面法等。

(1) 最小区域法 以最小区域面作为评定基面，求得平面度误差值的评定方法。该方法符合误差评定原则（最小条件）要求，其评定结果小于或等于其他三种评定方法。

平面度误差最小区域判别法见 129 题 (2)，其数据处理采用变操作图法、旋转变换法或计算法，具体步骤见 GB/T 11337《平面度误差检测》6.2.1 一节。

(2) 最小二乘法 通过计算求出最小二乘平面上各点坐标值，进而求出平面度误差的评定方法。

最小二乘平面是指使实际平面上各点到该平面的距离平方和



为最小的理想平面。

按最小二乘法评定平面度误差时数据处理方法，见 GB/T 11337《平面度误差检测》6.2.2一节。

上述两种评定方法通常用于高精度平面度误差评定或作为仲裁评定。

(3) 对角线平面法 以被测平面对角线上四个角点的坐标值构成评定基面，求出平面度误差值的评定方法。

测量时，若以对角线上四个角点调整测量基面，即将每条对角线上的两个角点的测量值分别调至相等，则测得各点坐标值中最大值和最小值之差，即为其平面度误差。

也可采用旋转变换法，通过坐标适当的旋转变换，使两对角线上两个角点的坐标值分别相等，进而求出平面度误差。

旋转变换步骤：任选一对角线为转轴进行旋转，使另一条对角线上两角点的坐标值变换为等值；以上述等值对角线为转轴进行旋转，使另一条对角线上的两个角点坐标值转变为等值。在上述两次旋转变换后，应相应变换其他各测点的坐标值。

找出旋转变换后各坐标值中的最大值和最小值，两者之差即为其平面度误差。

(4) 三远点平面法 以被测平面上三远点的坐标值构成评定基面，求出平面度误差值的评定方法。

测量时，若将三远点的坐标值调成等值，以此作为测量基面，则测得的各坐标值中最大值与最小值之差，即为平面度误差近似值。

也可采用旋转变换法，通过适当的旋转变换，使三远点的坐标值相等，进而求出平面度误差值。

旋转变换步骤：选定任一条线为旋转轴进行旋转，使两个远点的坐标值变换为等值；以上述等值远点连线为旋转轴进行旋转，使另一个远点的坐标值旋转变换为等值。在上述两次旋转变换后，应相应变换其他各测点的坐标值。

找出旋转变换后各坐标值中的最大值和最小值，两者之差即为其平面度误差。



上述对角线平面法和三远点平面法评定平面度误差，是生产中最常用方法。

143. 什么是圆度误差？圆度误差的检测方法有哪些？

答：圆度误差是指圆形零件的实际轮廓对其相应基准圆的变动量。

实际轮廓是指垂直于回转零件轴线的平面与实际表面相交所形成的轮廓。基准圆是指与零件的实际轮廓具有规定的相关关系的理想圆。基准圆的位置应符合最小条件。

圆度误差检测方法按测量原理、测量器具等可分为以下几类方法。

(1) 半径变化量检测方法 以圆形零件的轴线为中心，计量器沿垂直于该轴线的平面内回转一周，测出零件轮廓径向变化量，通过数据处理求出圆度误差的检测方法。

1) 圆度仪法如图 286 所示。它是以精密回转主轴 1 的轴线

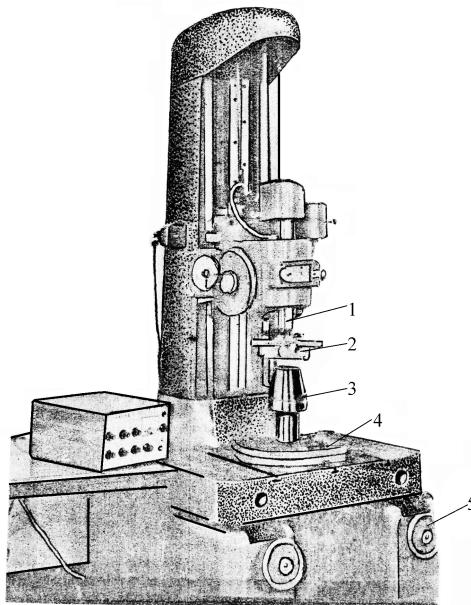


图 286 圆度仪法

1—主轴 2—传感器 3—被测零件 4—工作台 5—调节手柄



作为测量基准，通过固定在主轴上的传感器 2 沿主轴轴线回转一周，测得圆形轮廓径向变化量，并通过放大将其记录下来，经数据处理求出圆度误差值。

测量时，首先选择适当的定位基准将被测零件 3 固定在工作台 4 上，通过调节手柄 5 调整使被测零件中心与圆度仪主轴轴线对中。选择适宜的测杆长度、测头半径，调好测量力和作用方向，调整好测量截面的位置，使测量截面与主轴轴线垂直。

然后选择适当的放大倍数。放大倍数应根据被测零件公差值大小，放大器不同档位所对应记录器记录范围确定。与放大倍数相对应的记录纸上一个格值，应为被测零件圆度公差的 $1/3 \sim 1/10$ 之间。

操纵主轴转动，使测头相对零件转动一周。测量结果有两种输出方式。

① 图形记录式。在记录器圆盘上放上记录纸，在极坐标记录纸上描绘出一个完整的测量截面轮廓图形，如图 287 所示，按误差评定方法进行数据处理，求出圆度误差值。

② 参数直接显示式。通过圆度仪上专用电子计算机，对实

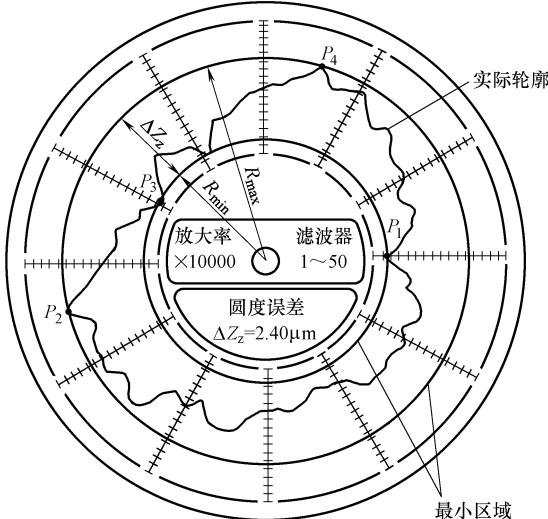


图 287 圆度仪图形记录



测轮廓自动进行数据处理，按误差评定方法直接显示出误差值。

按上述方法，沿零件轴向选择适当数量的测量截面，分别测得各截面的圆度误差值，取其中最大值作为该零件的圆度误差。

2) 也可采用分度装置，测得被测表面半径的变动量，求得圆度误差，如图 288 所示。先将被测零件 2 与分度装置回转轴线大致调整同轴，并固定在一起。根据零件的定位方式不同，分度装置可分别选用分度头 1 (图 288a) 或分度台 4 (图 288b)。

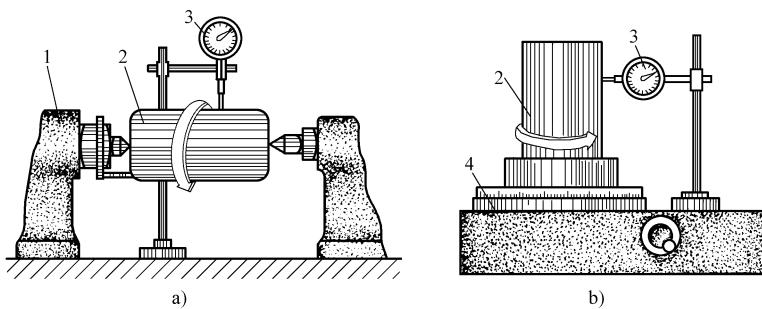


图 288 用分度装置检测圆度误差

1—分度头 2—被测零件 3—指示器 4—分度台

测量时，由分度装置带动被测零件转动，用指示器 3 测出被测表面在同一测量截面上半径变化量，每隔一定等分角度记录其读数，并根据测得值作实际轮廓极坐标图，按误差评定方法求得该截面圆度误差。以同样方法测量若干截面，取其中最大误差值作为该零件的圆度误差。

(2) 两点检测法 用两点接触式量仪，直接测得被测零件上同一横截面内的直径变动量，进而评定圆度误差的检测方法。

如图 289 所示，用千分尺 2 沿垂直于零件轴线的同一截面内，测出直径变动量，取其中最大与最小直径之差的一半，作为该被测截面的圆度误差，即 $f = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}$ 。

按上述方法测量若干个截面，取其中最大的误差值，作为该被测零件的圆度误差。

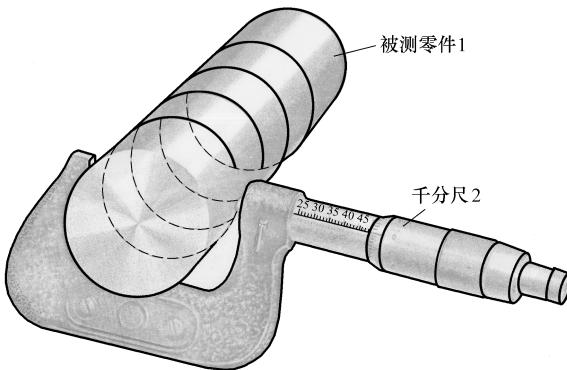


图 289 圆度误差两点检测法

如图 290 所示，也可采用指示器测量同一截面上直径变化量。检测时，应固定被测零件的轴向位置，使指示器沿被测截面径向与被测表面接触，转动被测零件一周，测得最大、最小示值。取最大与最小示值之差的一半，作为该被测截面的圆度误差。同样应测取多个截面，取其中最大值，作为该零件的圆度误差。

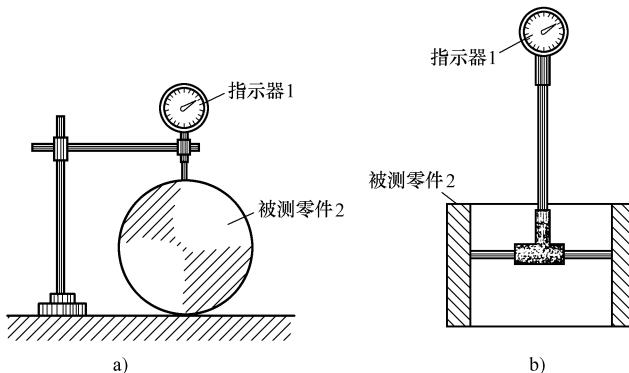


图 290 圆度误差指示器检测法

用两点法测量圆度误差方法简便，生产中应用较多，但该方法对圆度误差评定不符合最小条件要求，仅为近似值，故仅适用



于公差要求不严格的零件，且被测零件截面形状呈偶数棱圆形状。

(3) 三点检测法 将被测零件放在 V 形块上，由指示器测得其回转一周过程中被测表面的径向变动量，以评定圆度误差的检测方法。

检测方法如图 291 所示。将被测零件 2 放在 V 形块 3 上，且固定其轴向位置。使指示器沿 V 形块中心面方向与被测表面接触。转动被测零件（或转动量具），在回转一周过程中，从指示器上读得最大与最小示值，按下式求得该截面的圆度误差值，即

$$f = \frac{\Delta F_{\max} - \Delta F_{\min}}{K}$$

式中 ΔF_{\max} 、 ΔF_{\min} ——指示器上最大、最小示值；

K ——反映系数。

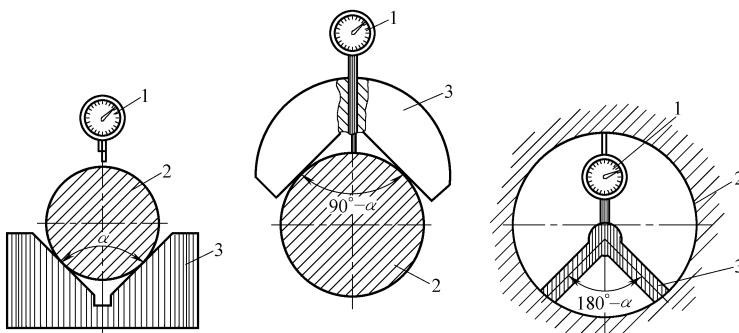


图 291 三点检测法

1—指示器 2—被测零件 3—V形块

由上式可知，用三点法测量圆度误差时，指示器示值，并不直接反映圆度误差值，还需由反映系数 K 换算后方可求得。

反映系数 K 表示圆度误差在 V 形测量装置上反映出的明显程度，由 V 形块夹角 α 、测量轴线偏角 β 以及被测圆柱面的实际轮廓棱数 n 等因素确定。



当测量轴线偏角 $\beta=0$ (表示测量轴线与 V 形槽中心面在同一平面内) 时, 其反映系数 K 见表 38。

表 38 对称安置 ($\beta=0$) 三点法测量反映系数 K

反映系数 K V 形块夹角 α	棱数 n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60°	—	3	—	—	3	—	0.8	3	—	—
90°	1	2	0.4	2	1	—	2.4	—	1	—
120°	1.6	1	0.4	2	—	2	0.4	1	1.6	—

注: 表中未标出数值属于没有对应的测量值, 或反映系数极小的情况。

反映系数表示指示器示值精确程度, 其值越大示值越明显, 当 $K>1$ 时, 表示 V 形测量装置对圆度误差起放大作用; $K<1$ 时则起缩小作用。

生产中被测零件的实际形状棱数一般难以确定, 通常与加工条件有关, 如采用无心磨加工, 多出现三、五、七棱; 采用顶尖装夹进行车、磨加工多出现椭圆形。为此, 生产中通常取 $K=2$ 来计算其圆度误差值。

同样, 应沿被测零件轴向测量若干个截面, 取其中最大误差值作为该零件的圆度误差。

144. 圆度误差有哪些评定方法?

答: 圆度误差的评定是指根据测得的被测实际轮廓线, 确定其圆度误差的方法。

如前所述, 圆度公差的公差带为两同心圆之间的区域。为此, 标准中规定: 以下列任一圆心 (基准圆的中心) 得出的被测零件轮廓的最大半径和最小半径之差来确定被测截面的圆度误差。

- a) 最小区域圆心 (代号 ΔZ_z)。
- b) 最小二乘圆圆心 (代号 ΔZ_q)。
- c) 最小外接圆圆心 (代号 ΔZ_e)。



d) 最大内切圆圆心 (代号 ΔZ_i)。

按照上述规定, 圆度误差判别方法分别为:

(1) 最小区域法 按圆度误差最小区域判别法 (见 129 题) 确定其最小包容区域。如图 287 所示, 由两个同心圆包容实际轮廓时, 实测点 P_1 、 P_3 和 P_2 、 P_4 内外相间地在半径分别为 R_{\max} 和 R_{\min} 的两个圆周上, 故该两圆之间区域即为该被测轮廓最小包容区域, 其圆度误差则为 $R_{\max} - R_{\min}$ 。

(2) 最小二乘圆法 最小二乘圆是指实际轮廓到该圆距离的平方和为最小的一个圆。最小二乘圆可用足够精确的有限条间距适当的径向线来确定。

如图 292 所示, 实际轮廓与各径向线的交点分别为 $P_1 \sim P_{12}$, 各点到最小二乘圆距离的平方和为最小。

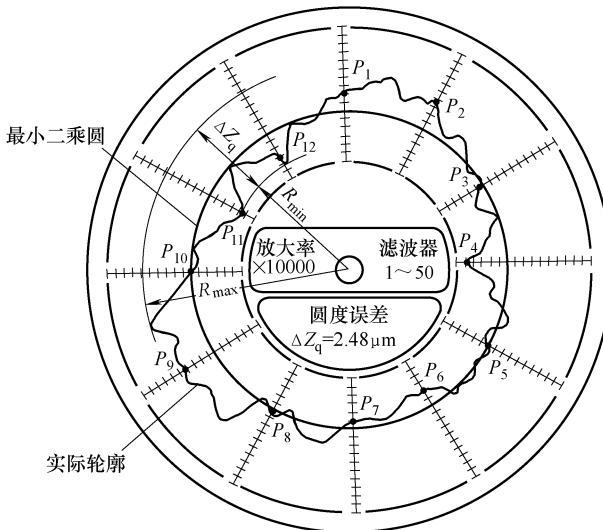


图 292 以最小二乘圆评定圆度误差 ΔZ_q

实际轮廓到最小二乘圆中心距离分别为 R_i , 其中最大距离为 R_{\max} , 最小距离为 R_{\min} , 其圆度误差值即为 $R_{\max} - R_{\min}$ 。

(3) 最小外接圆法 最小外接圆是指外接于轴的实际轮廓



且半径为最小的圆。最小外接圆可通过作图法或用同心模板放在实际轮廓图上，移动模板，在实际轮廓外找一圈，使两者有两点相接触，且半径为最小来确定。作图法是用圆规采用缩小半径试凑法，找出最小外接圆。

如图 293 所示，采用最小外接圆评定其圆度误差，首先根据被测实际轮廓找出其最小外接圆，然后测量实际轮廓上各点到最小外接圆中心的距离，取其中最大距离 R_{\max} 与最小距离 R_{\min} 之差，作为该实际轮廓圆度误差值。

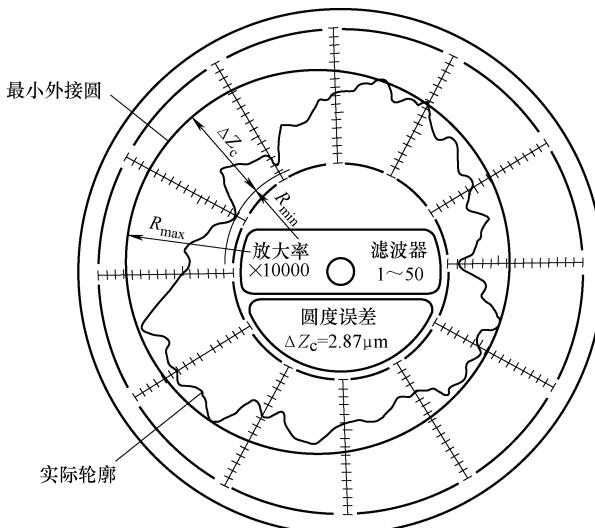
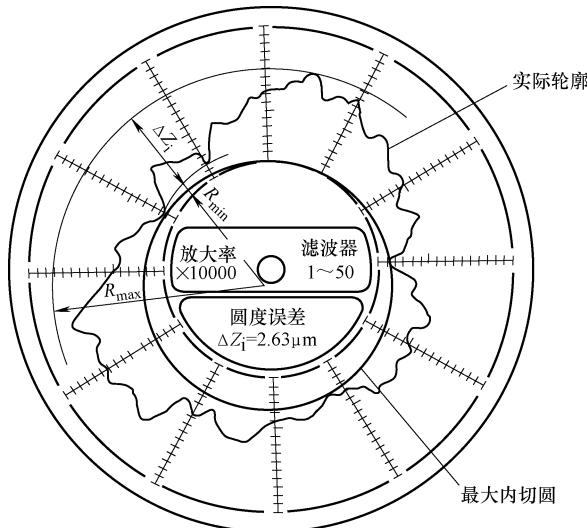


图 293 以最小外接圆评定圆度误差 ΔZ_c

用最小外接圆法评定圆度误差，仅适用于零件上的外圆表面。

(4) 最大内切圆法 最大内切圆是指内切于孔的实际轮廓且半径为最大的圆。最大内切圆同样也可采用作图法或用同心模板来确定。

如图 294 所示，采用最大内切圆评定其圆度误差，首先根据被测实际轮廓找出其最大内切圆，然后测量实际轮廓上各点到最

图 294 以最大内切圆评定圆度误差 ΔZ_i

大内切圆中心的距离，取其中最大距离 R_{\max} 与最小距离 R_{\min} 之差，作为该实际轮廓圆度误差值。

用最大内切圆法评定圆度误差，仅适用于零件上内圆表面。

145. 什么是圆柱度误差？圆柱度误差的检测方法有哪些？

答：圆柱度误差是指实际圆柱面对其理想圆柱面的变动量，理想圆柱面的位置应符合最小条件，即用圆柱度最小包容区的两同轴圆柱面半径差 f 表示的数值。

圆柱度误差检测方法与上述圆度误差基本相同，主要区别是误差评定方法不同，主要有：

(1) 半径变化量法 利用圆度仪（或分度装置）在测头没有径向偏移的情况下，测量被测圆柱面上若干个横截面（测头也可沿螺旋线移动），记录所有各测点半径差值，并绘于同一坐标图上（图 286、图 288）。

根据各测点半径差值，由计算机按最小条件确定圆柱度误差



值，也可用极坐标图通过作图法或透明同心圆模板，近似地求出圆柱度误差值。

(2) 三点法 利用 V 形块测量圆柱轮廓径向变动量，以评定其误差值的方法。

检测方法如图 295 所示，将被测零件放在平板上的 V 形块内，V 形块的长度应大于被测要素的长度。在被测零件回转一周过程中，测得一个横截面上的最大与最小示值。

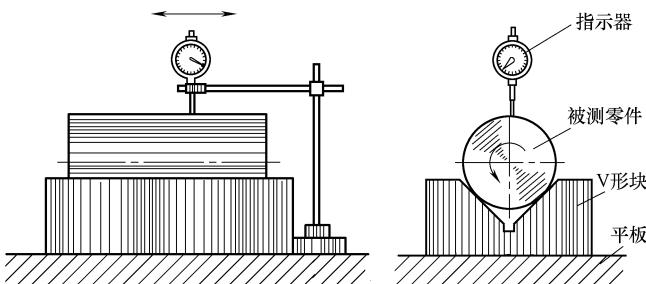


图 295 三点法检测圆柱度误差

按上述方法连续测量若干个横截面，然后取各截面所测得的所有示值中，最大与最小示值的差值之半，作为该零件的圆柱度误差。

为测量准确，通常应使用夹角 $\alpha=90^\circ$ 和 $\alpha=120^\circ$ 的两个 V 形块分别测量。

此方法适用于测量外表面为奇数棱形状误差。

(3) 两点法 利用指示器测得被测圆柱面径向示值变动量，以测得其圆柱度误差的方法。

检测方法如图 296 所示，将被测零件放在平板上的直角座内，并紧靠直角座两垂直面。使指示器的测量轴线位于垂直轴平面上（即使指示器示值最大位置）。在被测零件紧靠直角面回转一周过程中，测得一个横截面上的最大与最小示值。

按上述方法测量若干个横截面，取各截面内所测得的所有示值中最大与最小示值差之半，作为该零件的圆柱度误差。

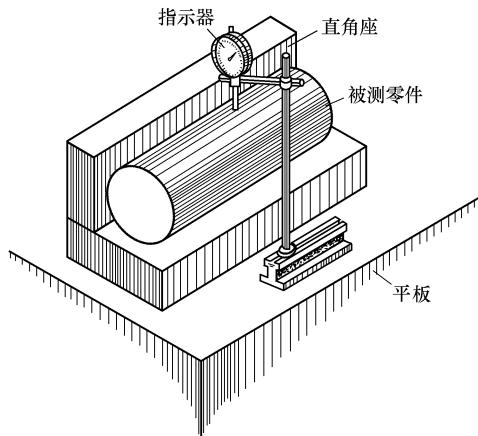


图 296 两点法测量圆柱度误差

146. 什么是线轮廓度误差？线轮廓度误差的检测方法有哪些？

答：线轮廓度误差是指实际轮廓线对其理想轮廓线的变动量。理想轮廓线是由图样上给定的理论正确尺寸确定，其误差是由相对于理想轮廓线对称分布的两等距离理想线之间的宽度 f 表示。

常用线轮廓度误差检测方法有以下几种。

(1) 样板法 利用精度很高的轮廓样板与实际轮廓线对比，测出两者之间变动量的误差检测方法。

检测方法如图 297 所示，将轮廓样板按规定方向放置在被测零件上，根据光隙法估读间隙的大小，取其中最大间隙 f 作为该

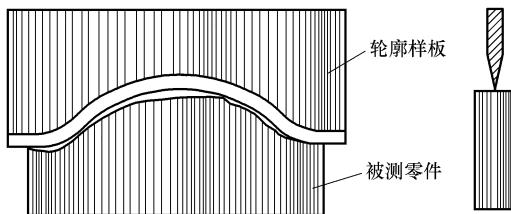


图 297 样板法检测线轮廓度误差



零件的线轮廓度误差值。

检测时，使轮廓样板与被测实际轮廓紧密接触。当被测实际轮廓中间凸起时，应使轮廓样板在被测实际轮廓上摆动，调整使两端点处的光隙 h 相等，然后取其最大间隙 f ；当两者在两端点处接触时，可直接取中间最大间隙 f ，作为该轮廓度误差。

(2) 投影法 用投影仪将实际轮廓投影在投影屏上，与极限轮廓比较，检测实际轮廓是否在极限轮廓之间，以判定其是否合格。

检测方法如图 298 所示，将被测零件放到投影仪上，取适当放大比例将实际轮廓投影到影屏上。然后取按图样上规定的公差带及相同放大比例作出的等距轮廓线透明模板，放到投影轮廓线上进行比较。当实际轮廓线位于两极限轮廓线内，即为合格，否则为不合格。

此法适用于测量尺寸较小和薄的零件。

(3) 仿形法 用按图样给出的理想轮廓制作一精度很高的轮廓样板，将被测轮廓与其比较，测得两者之间的变动量，以测出其误差的检测方法。

检测方法如图 299 所示，将被测零件 1 和轮廓样板 4 分别放置在两端的支承 5 上，通过支承调整两者之间的相对位置。调整方法可按最小条件或两端点法进行。然后将仿形测量装置仿形测头 3 与轮廓样板表面接触，指示器测头端部与被测轮廓相接触，将指示器调零。使仿形测头在轮廓样板上移动，由指示器上读取示值。取其最大数值的两倍作为该零件线轮廓度误差。

为保证测量精度，指示器测头应与仿形测头形状相同。

应当指出：根据线轮廓度公差定义规定，两等距曲线间的距

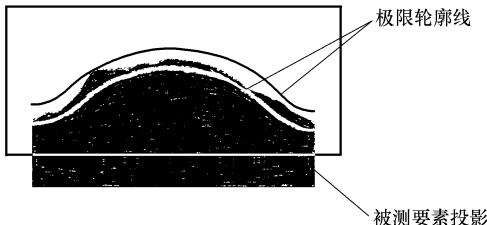


图 298 投影法检测线轮廓度误差

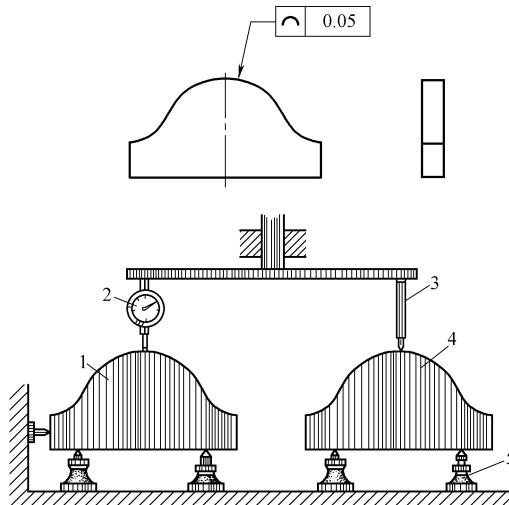


图 299 仿形法检测线轮廓度误差

1—被测零件 2—指示器 3—仿形测头 4—轮廓样板 5—支承

离是指其法向尺寸，如图 300a 所示，轮廓线上各点的法向相互间都不在一个方向上，而采用仿形法测量时的示值方向均为垂直方向，因此，实际轮廓度误差应将测得值换算成垂直于理想轮廓方向（法向）上的数值后评定其误差。

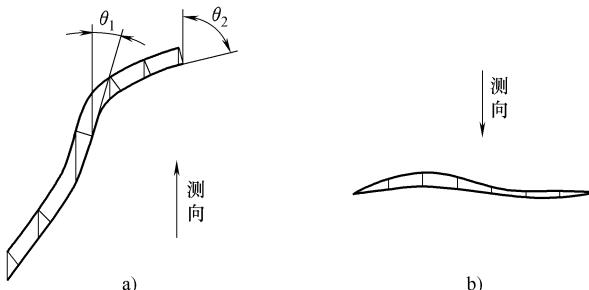


图 300 仿形法误差值的换算

当轮廓线上各测点相对于测量方向之间倾角 θ 都接近直角时（图 300b），则不必进行换算，直接取示值来评定其线轮廓



度误差。

(4) 坐标测量法 这是用坐标测量装置测量被测轮廓上各点的坐标，同时记录其示值并绘出实际轮廓图形，依此评定线轮廓度误差的检测方法。

如图 301 所示，利用有分度装置的转台测量线轮廓度误差。检测时，将被测零件放置在转台上，同时调整被测零件的中心使其与转台的回转轴线同轴。使转台带动被测零件转动，按需要通过分度装置以一定角度布点，分别测出各测量点的极坐标值。将各测点实测值与相应的理论值进行比较，取两者之差中最大值的两倍，作为该零件的线轮廓度误差。

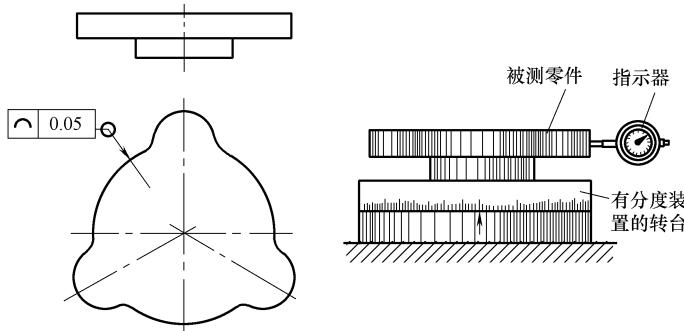


图 301 坐标测量法检测线轮廓度误差

此方法适用于图样上以极坐标形式给出理想轮廓尺寸的线轮廓度误差检测。

147. 什么是面轮廓度误差？面轮廓度误差的检测方法有哪些？

答：面轮廓度误差是指实际轮廓面对其理想轮廓面的变动量。理想轮廓面是由图样上给定的理论正确尺寸确定，面轮廓度误差是由相对于理想轮廓面对称分布的两等距离理想面之间的宽度 f 表示。

常用面轮廓度误差检测方法有以下几种。

(1) 样板法 此方法与上述线轮廓度样板检测方法基本相



同，主要区别是：测量线轮廓度误差只需要一个样板，而检测面轮廓度误差则需在被测面轮廓要素上取若干个截面，按各截面与理想面轮廓交线，制作若干截面轮廓样板分别进行检测。

检测方法如图 302 所示，将若干截面轮廓样板 1 放置在各指定位置上，根据光隙法估读间隙大小，取所有截面中最大间隙值 f ，作为该零件的面轮廓度误差。

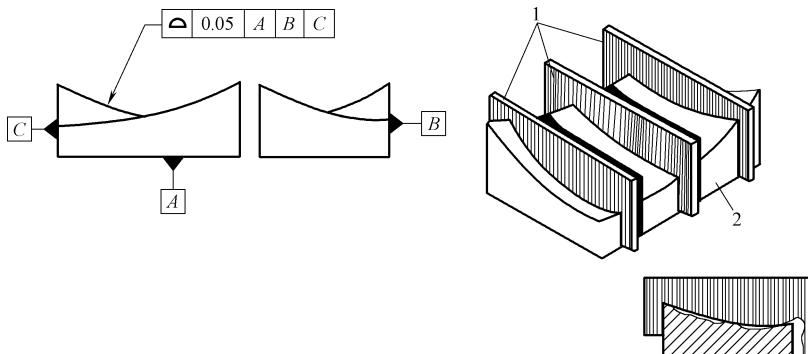


图 302 样板法检测面轮廓度误差

1—轮廓样板 2—被测零件

(2) 仿形法 此方法与上述线轮廓度误差仿形检测法基本相同，两者主要区别是：线轮廓为一平面坐标图形，只需采用测量两个方向坐标即可，而面轮廓为一空间坐标图形，需要在三个方向上测出坐标值，故需采用三坐标测量装置。

检测方法如图 303 所示，将被测零件和轮廓样板分别放置在支承上，按下述方法调整两者之间相对位置。

1) 三点法。取实际轮廓面上相距最远的三点，与轮廓样板上相应的三点调至等高。

2) 四点法。取实际轮廓面上两对角线端点，与轮廓样板上相对应的对角线端点分别调至等高。

再将指示器调零，使仿形测头在轮廓样板上移动，由指示器读取示值，取其中最大示值的两倍，作为该零件的面轮廓度

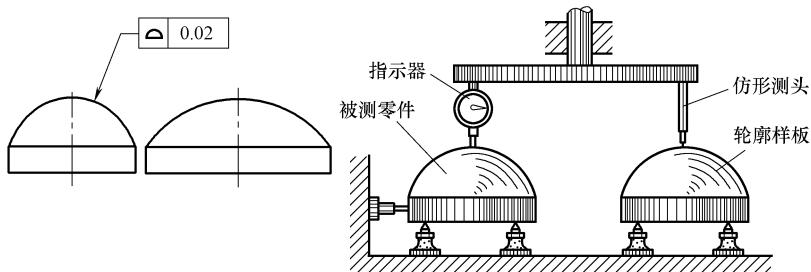


图 303 仿形法检测面轮廓度误差

误差。

必要时将各测点示值换算成理想轮廓相应点法线方向上的数值后评定误差。

(3) 测量坐标值法 用三坐标测量装置测得实际面轮廓的空间坐标值，与理想轮廓坐标值进行比较，以评定面轮廓度误差的一种检测方法。

检测方法如图 304 所示，将被测零件放置在工作台上，并进行正确定位。通过三坐标测量装置测出若干点的坐标值，并将测得的坐标值与理论轮廓的坐标值进行比较，取其中差值最大的绝对值的两倍，作为该零件的面轮廓度误差。

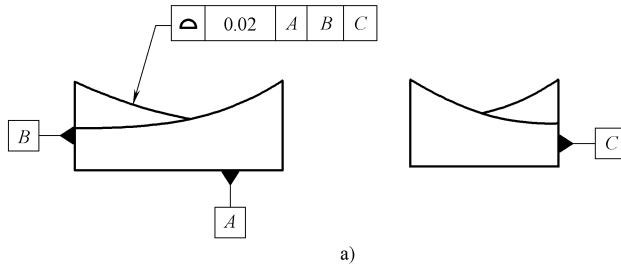
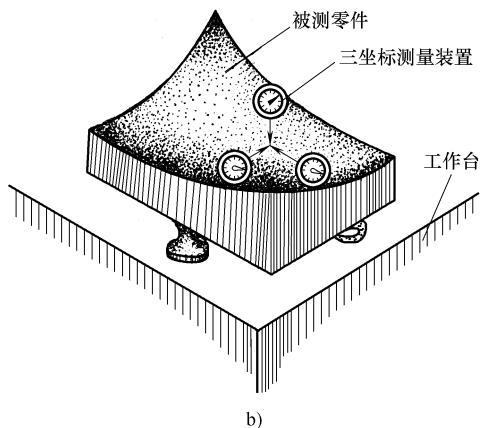


图 304 测量坐标值法检测面轮廓度误差



b)

图 304 测量坐标值法检测面轮廓度误差（续）

基准的建立与体现

148. 什么是基准、基准要素？基准的建立原则是什么？

答：用来定义公差带的位置和（或）方向，或用来定义实体状态的位置和（或）方向（当有相关要求时，如最大实体要求）的一个（组）方位要素，称为基准。

方位要素是指能确定要素方向和（或）位置的点、直线或螺旋线类要素。

基准要素是指零件上用来建立基准并实际起基准作用的实际（组成）要素（如一条边、一个表面或一个孔）。

在图样上基准要素应用基准符号标注出来，作为评定位置和方向误差的依据。

基准要素按几何特征可分为：

- 1) 点基准。以零件上点要素作为基准，如球心、圆心等。
- 2) 线基准。以零件上线要素作为基准，如指定的线、轴线（中心线）等。
- 3) 面基准。以零件上面要素作为基准，如指定的表面、中心面等。

按基准的组成状态可分为：

- 1) 单一基准要素。作为基准使用的单一要素。如图 305a 所示基准 A，该基准为单一要素（一个平面）。
- 2) 组合基准要素。作为单一基准要素使用的一组要素。如图 305b 所示基准 “A—B”，是由 A 基准和 B 基准组成的公共基准要素。

基准实际要素本身也不可避免地存在有形状误差，若直接以其作为评定误差的依据，不可能得到确切、统一的认识。如图 306a 所示，要评定上表面被测实际要素对下表面基准实际要素

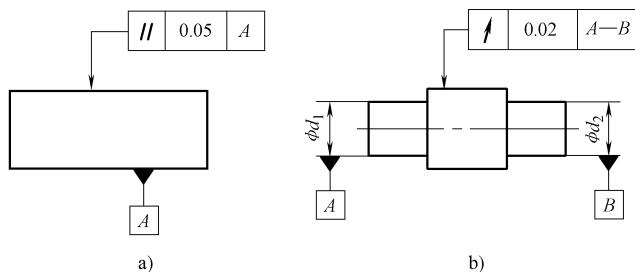


图 305 单一基准要素与组合基准要素

间平行度误差，若以基准实际要素为依据，就难以确定被测实际要素的理想方向。为此，必须依据基准实际要素，建立一个相应的方位确切的理想要素，作为被测实际要素定向或定位的基准。

基准建立的原则是：由基准实际要素建立基准时，应以该实际要素相应的理想要素来取代，该理想要素相对于实际要素的位置应符合最小条件。如图 306b 所示，以零件下表面实际要素建立基准时，应以一理想平面取代，其位置相对于基准实际要素应符合最小条件。

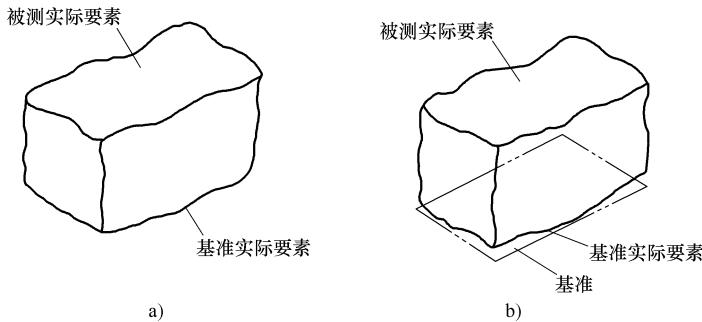


图 306 基准的建立原则

149. 怎样由单一基准要素建立基准？

答：按基准建立原则要求，不同形式的单一基准要素由实际



要素建立基准的方法是：

(1) 基准点的建立 点的基准要素通常是指球心或圆心。实际球面的球心，是指包容实际球面且直径为最小的理想球面的球心；实际圆的圆心，是指包容实际圆且直径为最小的理想圆的圆心。由此可见，实际球心（或圆心）与理想球心（或圆心）是重合一致的。因此，由实际球心（或圆心）建立点基准时，即为该实际球面的球心（或圆的圆心）。

(2) 基准线的建立 由基准实际线建立基准直线时，基准直线应为一理想直线，其位置应符合最小条件，如图 307 所示。

(3) 基准轴线（基准中心线）的建立 由实际轴线建立基准轴线时，该基准轴线应为由实际轴线所确定的理想轴线。如图 308a 所示，即用一圆柱面包容实际轴线，且使其直径为最小。该包容圆柱面的轴线即为由实际轴线所建立的基准轴线。

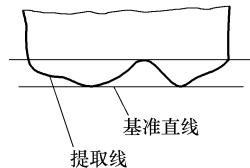


图 307 基准线的建立

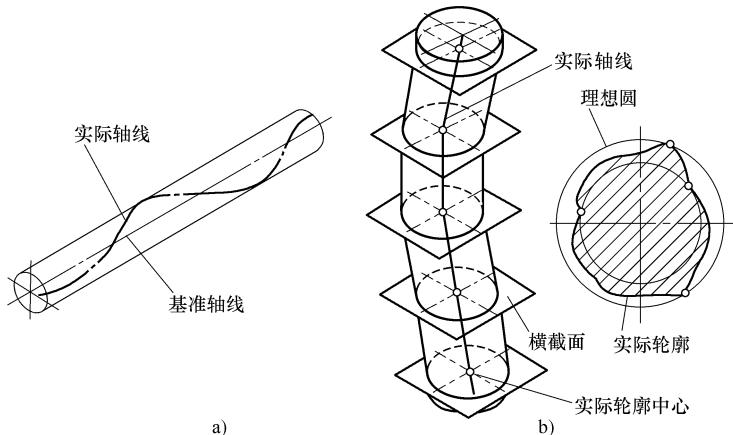


图 308 基准轴线的建立



实际轴线是由实际圆柱面的形状确定，确定方法如图 308b 所示。在实际圆柱面的轴向取若干个横截面，测得各横截面上实际轮廓的中心点（即实际轮廓理想圆的圆心）。依次连接各横截面上的中心点，得实际轴线。

(4) 基准平面的建立 由实际表面建立基准平面时，应以一理想平面取代该实际表面，如图 309 所示。该理想平面应位于实际表面的实体之外，其位置应符合最小条件。

(5) 基准中心平面的建立 由实际中心面建立基准中心平面时，应以由实际中心面所确定的一理想平面取代，如图 310a 所示。该理想平面应为包容实际中心面，且使其距离为最小的两平行平面的中心平面。

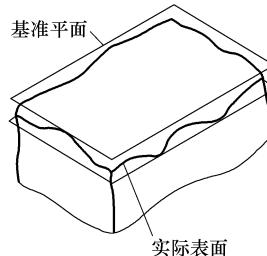


图 309 基准平面的建立

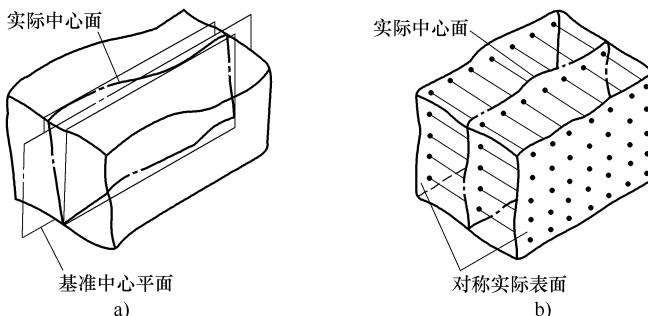


图 310 基准中心平面的建立

实际中心面是在两对称的实际表面上测得的各对应点连线中点所构成的面，如图 310b 所示。

150. 怎样由组合基准要素建立基准？

答：组合基准要素是指由两个或两个以上要素共同组成一个



要素。根据要素结构形式不同，组合基准要素有以下建立方法。

(1) 公共基准轴线的建立 由两条或两条以上实际轴线建立公共基准轴线时，应由一条理想轴线取代，该理想轴线是包容组合基准的所有实际轴线，且直径为最小的圆柱面的轴线。如图 311 所示，由实际轴线 A 和 B 所建立的公共基准轴线“ $A-B$ ”应为包容两实际轴线且直径 ϕf 为最小的圆柱面的轴线。

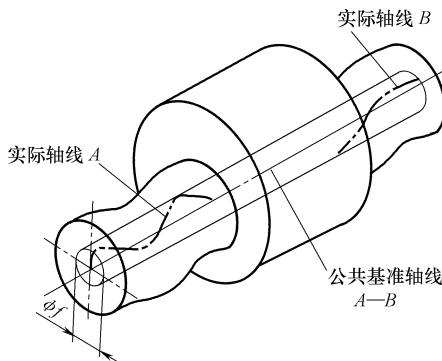


图 311 公共基准轴线的建立

(2) 公共基准平面的建立 由两个或两个以上实际表面建立公共基准平面时，应由一理想平面来取代。该理想平面应为包容组合基准要素的所有实际表面，且距离为最小的两平行平面中，位于零件实体之外的平面。如图 312 所示，由实际表面 A、B 和 C 建立公共基准平面时，应由两平行平面包容三个实际表面，且使两平行平面距离 f 为最小，其位于实体之外的一平面即为其公共基准平面。

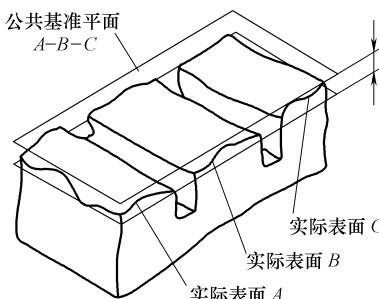


图 312 公共基准平面的建立



(3) 公共基准中心平面的建立 由两个或两个以上实际中心面建立公共基准中心平面时，应由一理想中心平面来取代。该理想中心平面应为包容组合基准的所有实际中心面，且距离为最小的两平行平面的中心平面。如图 313 所示，由实际中心面 A 和 B 建立公共基准中心平面时，由两平行面包容两实际中心面，且使其距离 f 为最小，该两平行面的中心平面即为该公共基准中心平面。

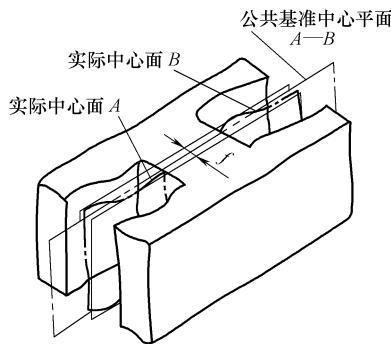


图 313 公共基准中心平面的建立

151. 怎样由基准实际要素建立三基面体系？

答：三基面体系是由三个相互垂直的平面组成。这三个平面按功能要求分别称为第一基准平面、第二基准平面和第三基准平面，如图 314 所示。

根据图样上给定的基准要素不同，由实际要素建立三基面体系的方法也不相同。

(1) 由实际表面建立三基面体系 如图 315 所示，给出 $\phi 15\text{mm}$ 孔的轴线位置度公差要求，其基准为 A、B、C 三基准平面，其位置度误差则应由三个实际表面建立起来的三基面体系来评定。该三基面体系建立方法是：首先由第一基准实际表面建立第一基准平面，它们之间的相对位置应符合最小条件，即第一基准平面为第一基准实际表面的理想平面；再由第二基准实际表面建立第二基准平面。由于基准实际表面不可避免地存在有平面度

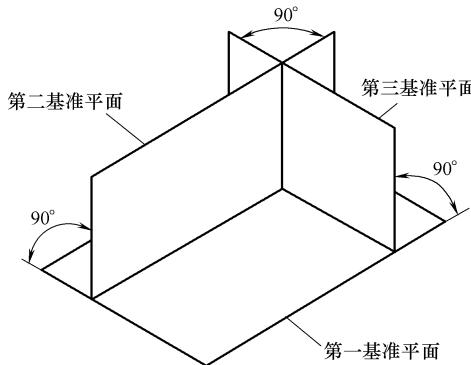


图 314 三基面体系

误差和垂直度误差，故它们之间相对位置只能保持垂直定向最小包容区的关系，即第二基准平面为第二基准实际表面的垂直定向理想平面；最后由第三基准实际表面建立第三基准平面，此时只能要求该理想平面与实际表面相接触，且与第一、二两个基准平面保持垂直关系。

(2) 由实际轴线建立三基面体系 如图 316 所示，给出的 $4 \times \phi 15\text{mm}$ 孔位置度公差要求，其基准为 A 、 B 两个要素。其中第一基准 A 为中间圆孔的轴线；第二基准 B 为底平面。该零件位置度误差应由 A 的实际轴线和 B 的实际表面所建立的三基面体系进行评定。

该基准体系的建立方法是：首先由实际基准轴线建立的基准轴线，构成第一和第二基准平面的交线，然后由垂直于第一、二基准平面，且与实际基准表面相接触的平面，构成第三基准平面。

当基准轴线为第二基准时，则应首先以实际基准表面按最小条件确定第一基准平面，然后由实际基准轴线按定向最小包容区域确定的垂直于第一基准平面的基准轴线构成第二和第三基准平面的交线。



• 326 •

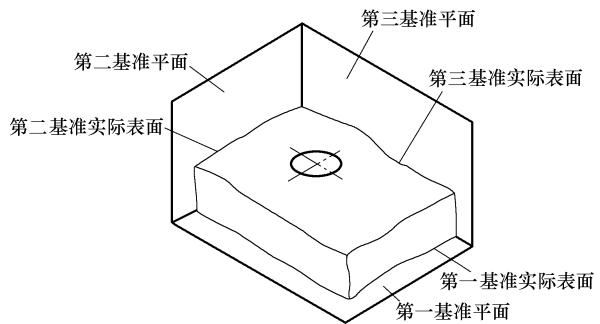
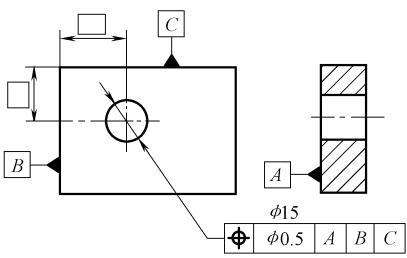


图 315 由实际表面建立三基面体系

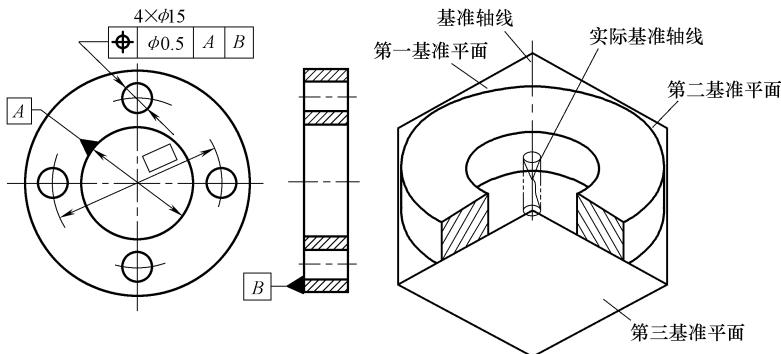


图 316 由实际轴线建立三基面体系

152. 什么是基准体现方法？基准体现方法有哪些种类？

答：按照基准的建立原则，在一定条件下检测方向和位置误差时，采用近似的方法体现出基准的作法，称为基准体现方法。

基准应为理想要素，但实际要素不可能制作的绝对准确。在检测位置误差时，则需要通过基准体现方法，来代替实际基准要素，以作为误差检测的依据。

根据零件的结构、方向和位置公差特征项目及精度要求不同，常用基准体现方法有以下四种。

1) 模拟法。采用具有足够精确形状的表面，来体现基准平面、基准轴线、基准点等。

2) 直接法。当实际基准要素具有足够的形状精度时，直接用它作为基准，以测量被测要素误差。

3) 分析法。测量误差时，对实际基准要素与被测要素同时进行测量，根据测得数据用图解或计算法确定基准的位置。

4) 目标法。由基准目标建立基准时，基准“点目标”可用球端支承体现；基准“线目标”可用刃口状支承或由圆棒素线体现；基准“面目标”按图样上规定的形状，用具有相应形状的平面支承来体现。各支承的位置，应按图样规定布置。



153. 怎样用模拟法体现基准?

答: 根据零件的构造和基准要素的几何特点, 可采用以下各种模拟法来体现基准。

(1) 用模拟法体现基准点 如图 317 所示, 给出的基准 D 为一球面的球心。检测时, 用两个 V 形块, 使其两 V 形槽中心面相互垂直地将实际球面夹在中间, 形成四点接触, 以 V 形块所确定的中心来体现球心, 即为基准点 D 。

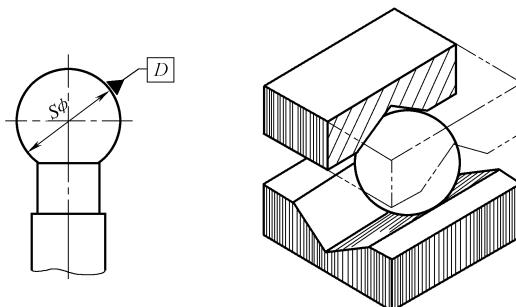


图 317 球心的模拟基准

(2) 用模拟法体现基准线 轴的素线基准要素可采用与其实际要素相接触的平板或平台工作面来体现模拟基准要素。如图 318 所示, 给出的基准 D 是指轴的素线。检测时, 可将轴平放在平板或平台工作面上, 使其外圆表面与平板或平台工作面相接触, 必要时可按最小条件调整两者位置, 此时轴的素线(基准线)可由平板或平台的工作面来体现。

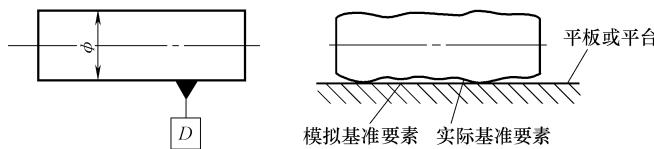


图 318 轴的素线模拟基准

孔的素线基准要素可采用与其实际要素相接触的圆柱形心轴



的素线来体现模拟基准要素。如图 319 所示，给出基准 C 是指孔的素线。检测时，可用一直径小于孔的心轴穿入孔内，该心轴应具有较高的形状精度，使心轴与孔的实际表面接触，必要时按最小条件要求调整两者相互位置。此时，孔的素线（基准线）可由心轴的素线来体现。

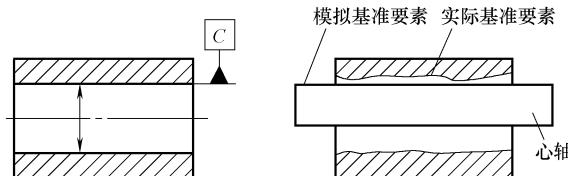


图 319 孔的素线模拟基准

(3) 用模拟法体现基准轴线 孔的轴线模拟基准可由心轴的轴线来体现。如图 320 所示，给出基准 D 是指孔的轴线（图 320a）。检测时，可用一精度很高的心轴装入孔内，心轴与孔之间应为无间隙紧密配合状态（图 320b），此时，基准孔的轴线可由心轴的轴线来体现。

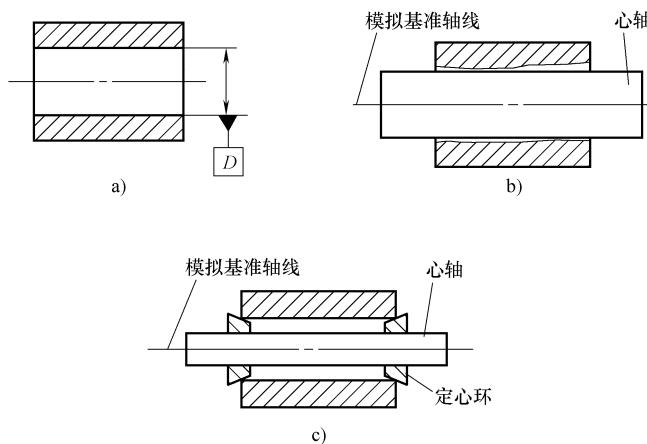


图 320 孔的轴线模拟基准



上述心轴也可采用可胀式心轴或带有锥度定心环的心轴结构形式（图320c）。

轴的轴线模拟基准可用定位套筒的轴线或V形槽中心面位置来体现。如图321所示，给出的基准C是指轴的轴线（图321a）。检测时，可用一与该轴成无间隙配合的定位套筒（图321b）或可胀式套筒的轴线来体现；也可将基准轴直接放在V形块（或L形块）上，使轴的表面与V形槽的两侧面接触（图321c），此时基准轴线可由V形槽中心面位置来体现。

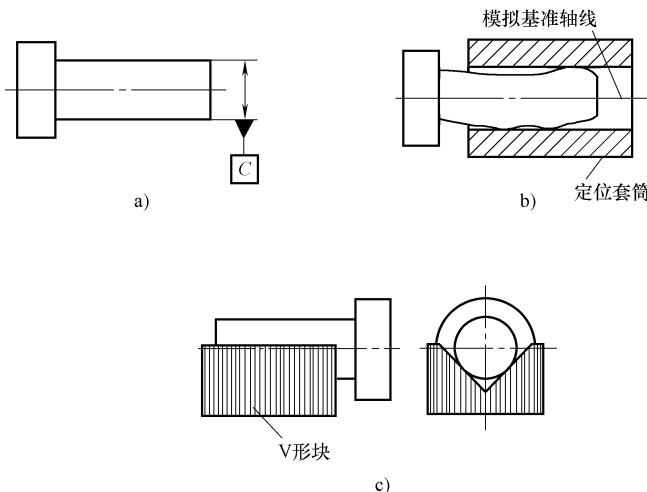


图321 轴的轴线模拟基准

(4) 用模拟法体现公共基准轴线 公共基准轴线可用两个同轴的定位套筒或两个等高的V形块，同时支承在两基准要素上来体现。如图322所示，给出的基准“C—D”是指由两端C和D轴线所组成的公共基准轴线（图322a）。检测时，可将两端轴颈分别装入两个同轴的定位套筒内，以两套筒的轴线体现“C—D”公共基准轴线（图322b）；也可将C、D两轴颈分别放到两个等高的V形块上，使两轴颈分别与两V形槽面接触，此时可由V形槽的中心面来体现“C—D”公共基准轴线（图322c）。

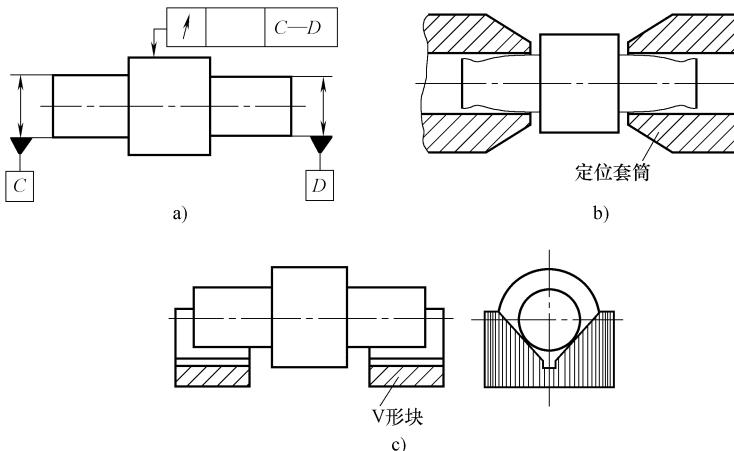


图 322 公共基准轴线的体现方法

中心孔公共基准轴线的体现方法，如图 323 所示。给出的基准“ $A-B$ ”是指由两端中心孔的轴线所组成的公共基准轴线。检测时，可用两同轴顶尖的轴线来体现。

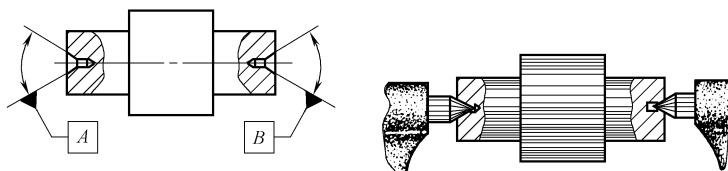


图 323 中心孔公共基准轴线的体现方法

(5) 用模拟法体现基准平面 基准平面可直接用平板或平台的工作面来体现。如图 324 所示，给出的基准 A 是指底平面。检

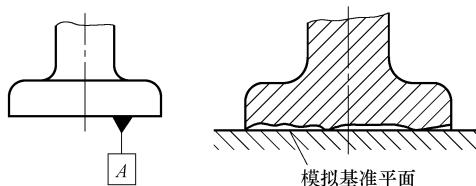


图 324 基准平面的体现方法



测时，可将底平面直接平放到平板或平台的工作面上，使两表面紧密贴合在一起。必要时，可将两接触面之间的相对位置调整到符合最小条件要求。此时基准平面可由平板或平台的工作面体现。

(6) 用模拟法体现基准中心平面 内槽中心面可用定位块来体现。如图 325 所示，给出基准 A 是指槽的中心平面。检测时，可将一与槽的实际轮廓成无间隙配合的定位块放入槽内，使其紧密配合在一起。定位块上、下两配合面应具有较高的几何精度。此时可由定位块的中心平面来体现实际槽的基准中心平面。

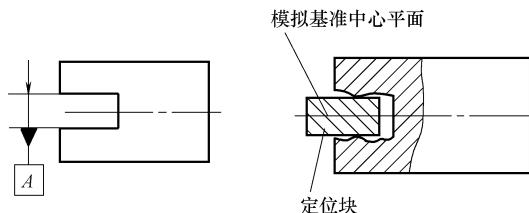


图 325 内槽基准中心平面的体现方法

外形基准中心平面可由两平行的平板间中心平面来体现。如图 326 所示，给出的基准 A 是指零件上下表面的中心平面。检测时，可用两个平板的工作面，分别与零件的上、下表面紧密地贴合在一起，且使两平板工作面相互平行。此时零件上下表面的中心平面，可由两平板工作面的中心平面体现。

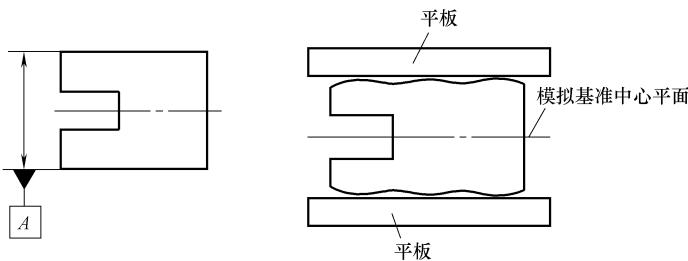


图 326 外形基准中心平面的体现方法



模拟法是方向和位置误差检测最常用的一种基准体现方法。采用模拟法实际基准要素与模拟基准要素接触时，可能形成“稳定接触”，也可能形成“非稳定接触”。如图 327 所示模拟平面的接触状况：当实际基准面与模拟基准平面间呈稳定接触时（图 327a），两者之间相对位置不会发生变动，此时自然形成符合最小条件的相对位置关系；当两者呈不稳定接触时（图 327b），可能有多种位置关系，测量时应做调整，使实际基准要素与模拟基准要素之间尽可能达到符合最小条件的位置关系。

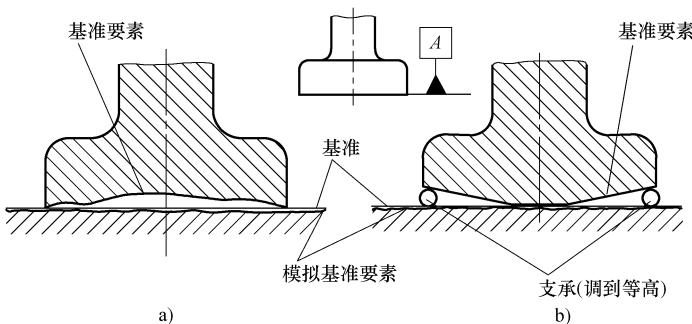


图 327 模拟平面的稳定接触与非稳定接触

又如图 328 所示模拟孔的轴线与实际孔的接触状况。当心轴表面与孔表面间呈稳定接触时（图 328a），两者之间位置不会发生变动，此时自然形成符合最小条件的相对位置关系；当两者呈不稳定接触时（图 328b），可能有多种位置关系，测量时应做调整，使两者位置尽可能达到符合最小条件位置关系。

154. 怎样用直接法体现基准？

答：直接法是用实际基准要素直接作为检测基准使用，以测得被测要素的误差。如图 329 所示，给出零件的上台阶面对下台阶面的平行度公差。检测时，将指示器表架直接放在下台阶面上，以该实际表面要素作为基准，测得两台阶面之间距离的最大变动量，作为该零件的平行度误差。

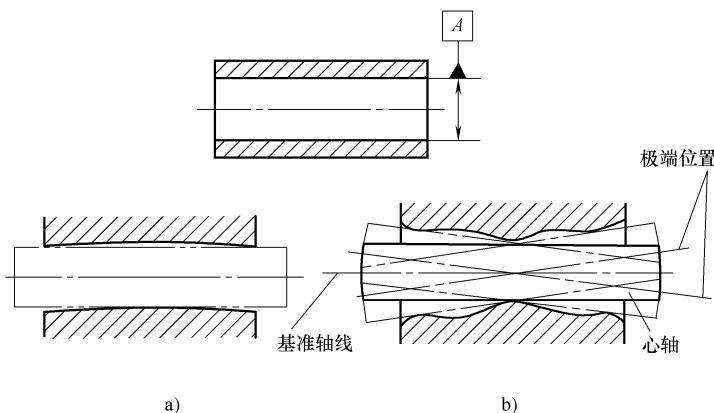


图 328 模拟孔的轴线稳定接触与非稳定接触

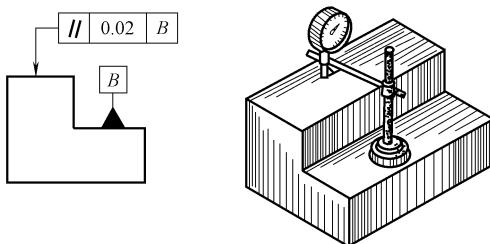


图 329 直接法体现基准

采用直接法体现基准，方法简便、易行，可简化检测工作。但这种方法将实际基准要素存在的形状误差直接反映到测量结果中，对被测要素的误差有夸大或缩小的可能。为保证误差检测的准确性，采用直接法体现基准的先决条件是：基准要素必须具有足够的形状精度。对多基准要素，各基准要素间还应具有较高的定向精度。

155. 怎样用分析法体现基准？

答：用分析法体现基准，必须对实际基准要素进行测量后，根据测得数据用图解或计算法确定基准的位置。



(1) 用分析法体现轮廓要素基准 如图 330 所示, 给出零件的上台阶面对下台阶面 (基准 D) 平行度公差。检测时, 用同一测量基准 (如平板工作面) 分别测得上、下台阶表面对测量基准的高度尺寸变动量, 用作图法分别作出被测实际表面和实际基准表面的变化曲线 (图 330 右下方)。然后, 先根据实际基准表面曲线, 按最小条件判别准则找出基准平面位置。再按此确定的基准方向, 求出被测实际要素的定向最小区域 (详见 159 题), 由此求得该零件的平行度误差 f 。

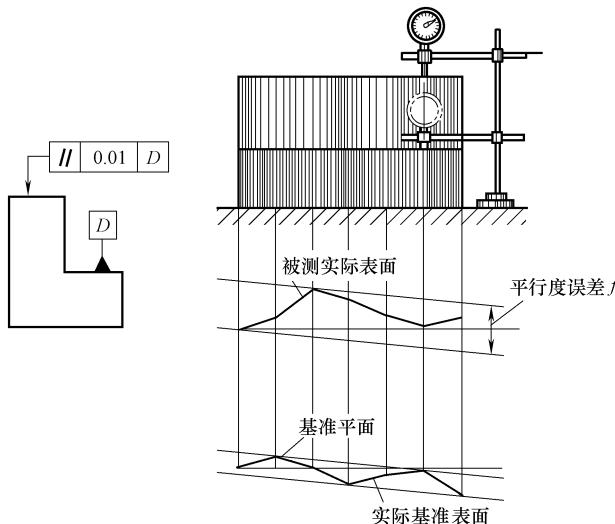


图 330 用分析法体现轮廓要素基准

(2) 用分析法体现中心要素 对于基准轴线应先按其实际轴线的检测方法 (图 308) 求得实际轴线, 再按最小条件要求确定该实际轴线的最小区域, 由最小区域的轴线来体现基准轴线。

分析法体现基准是一种精确的误差评定方法。该方法必须对实际基准要素进行精确地测量, 并对测得数据通过复杂的数据处理才能确定。这种基准体现方法虽然检测精度高, 但检测效率低, 故适用于测量精度要求高或受被测零件结构限制不能采用模



拟法体现基准时。

156. 怎样用目标法体现基准?

答：目标法体现基准仅限于图样上给出基准目标（见 23 题）时使用。具体方法是：基准点目标可用球端支承来体现；基准线目标可用刃口状支承或圆柱棒素线来体现；基准面目标则应按图样上规定的目标准形，用具有相应形状的平面支承来体现。所有各支承间的相对位置，必须按图样上规定的尺寸确定。

按图样上给出的基准目标体现基准，一方面可以满足设计要求，另一方面实现测量的可重复性，给生产带来很大方便。

157. 怎样体现三基面体系?

答：图样上给出多基准要求时，评定其误差必须由三基面体系体现，即由三个相互垂直的平面体现实际基准要素。

生产中通常采用模拟法体现三个基准平面。模拟的各基准平面与实际基准要素之间的关系，应符合三基面体系建立原则（见 151 题）。通常采用机床或量仪的工作台表面，以及装备上纵横方向的运动轨迹体现三个基准平面。

体现三基面体系时，必须注意基准的顺序，如图 331 所示。应先使模拟第一基准平面与零件的第一实际表面至少有三点接触，并调整至符合最小条件位置。其次使模拟第二基准平面与第

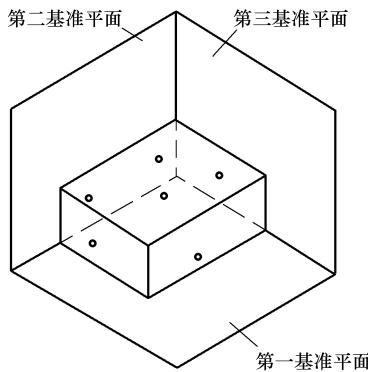


图 331 三基面体系的体现



二实际基准表面至少有两点接触。最后应使模拟第三基准平面与第三实际基准表面至少有一点接触。由此用模拟法体现出三基面体系。

在满足零件功能要求的前提下，当第一、第二基准平面与基准实际要素间为非稳定接触时，允许其自然接触。

体现三基面体系时，必须按图样上给定的顺序，否则会得出结果完全不同的基准体系。如图 332 所示，同样是以 C 和 D 两个基准对 $4 \times \phi 10$ 孔给出位置度公差，但给出的基准顺序不同：一个是以 C 为第一基准（图 332a）；另一个是以 D 为第一基准（图 332b）。按两种不同基准顺序要求，可得出两个完全不同的基准体系。前者在建立三基面体系时（图 332a 右侧视图），应

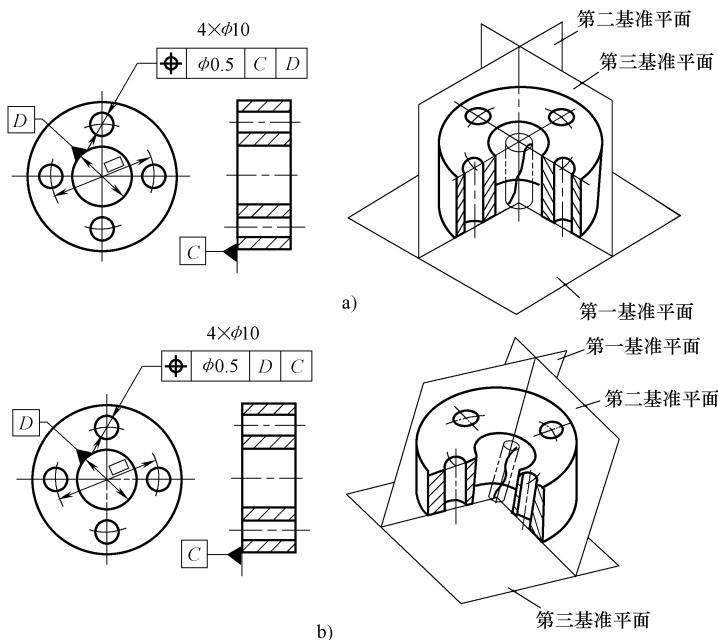


图 332 基准顺序的体现



首先以基准 C 实际表面按最小条件要求确定第一基准平面，然后由基准 D 实际轴线按定向最小包容区确定基准轴线位置，以此作为第二、三基准平面交线，确定第二、第三基准平面。后者在建立三基面体系时（图 332b 右侧视图），应首先以基准 D 实际轴线按最小条件要求确定基准轴线，以此作为第一、二基准平面的交线，确定第一、第二基准平面，然后由基准 C 实际表面作垂直于基准轴线的平面，确定第三基准平面。

由此可见，基准顺序不同，所建立的三基面体系也不相同，以此所测得的位置度误差也不一样。

方向误差及其检测方法

158. 什么是方向误差？评定方向误差的基本原则是什么？

答：被测提取要素相对具有确定方向的拟合要素的变动量，称为方向误差。该拟合要素的方向是由基准确定的。

方向误差根据所给定的方向不同，分为以下三个项目（图 333）。

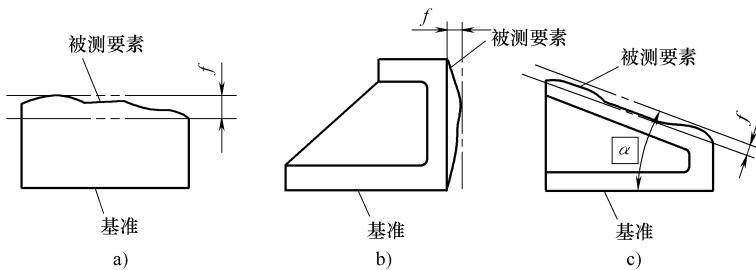


图 333 方向误差

(1) 平行度误差 被测提取要素相对于基准平行方向上的变动量 f (图 333a)。

(2) 垂直度误差 被测提取要素相对于基准垂直方向上的变动量 f (图 333b)。

(3) 倾斜度误差 被测提取要素相对于与基准成给定夹角 α 方向上的变动量 f (图 333c)。

评定方向误差的基本原则是定向最小包容区域（简称定向最小区域），即方向误差值用定向最小区域的宽度或直径表示。

159. 什么是定向最小区域？怎样判别定向最小区域？

答：定向最小区域是指按拟合要素的方向包容被测提取要素



时，具有最小宽度 f 或直径 ϕf 的包容区域，如图 334 所示。

评定被测零件上表面对基准平面的平行度误差（图 334a），应先按最小条件要求，由实际基准要素（下表面）确定出基准平面，然后用与基准平面平行的两平行平面包容被测实际表面，且使两平行平面间的距离 f 为最小。该两平行平面之间的包容区域，即为该平行度定向最小区域，其宽度 f 则为被测零件的平行度误差。

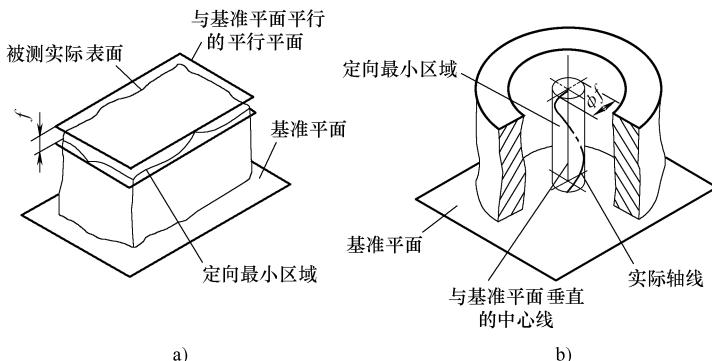


图 334 定向最小区域

评定被测零件内孔轴线对下端面的垂直度误差时（图 334b），应先由实际基准要素（下端面）确定基准平面，然后用圆柱形包容面将实际轴线紧紧包容，该包容面轴线应垂直于基准平面，且使其直径 ϕf 为最小，该圆柱形包容面即为该垂直度定向最小区域，其直径 ϕf 即为被测轴线的垂直度误差。

确定各项方向误差的定向最小区域的方法是：以与相应的公差带相同的几何形状作为包容面，使包容面与给定方向一致，将被测提取要素紧紧包容，且使其宽度或直径为最小，由此便可确定被测要素的定向最小区域。

根据方向误差要求形式和被测要素、基准要素的几何特点不同，定向最小区域可按下列判别法确定。

(1) 平行度误差判别法 平行度误差是由平行度定向最小区域确定。



1) 平面或直线对基准平面平行度定向最小区域, 是由平行于基准平面的两平行平面构成, 如图 335 所示。对于面对面平行度误差, 由定向两平行平面包容被测实际表面时, 至少有两个实测点与其相接触: 一个为最高点, 一个为最低点 (图 335a)。线对面平行度误差, 由定向两平行平面包容被测实际线时, 也应至少有两个实测点与其相接触: 一个为最高点, 一个为最低点 (图 335b)。该判别法称为高低准则。

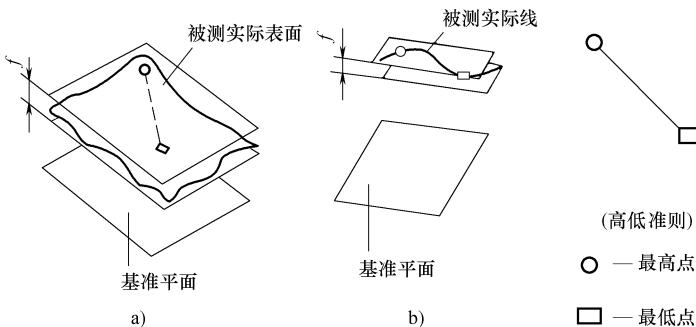


图 335 平面或直线对基准平面平行度定向最小区域判别

2) 平面对基准直线平行度定向最小区域, 是由平行于基准直线的两平行平面构成, 如图 336 所示。由定向两平行平面包容被测实际表面时, 至少有两点或三点与其相接触 (图 336a)。接触点在垂直于基准直线的投影面上的投影, 凡具有下列形式之一者, 即为其定向最小区域 (图 336b): 两最高点中间一最低点; 两最低点中间一最高点; 一最高点和一最低点在投影面内的同一垂线上。

3) 直线对基准直线 (任意方向上) 平行度定向最小区域, 是由平行于基准直线的圆柱面构成, 如图 337 所示。由定向圆柱面包容被测实际线时, 至少有两点或三点与其接触, 接触点在垂直于基准直线的投影面的投影, 凡具有下列形式之一者, 即为其定向最小区域: 两点接触时, 接触点的投影应在圆柱面投影的直径上 (图 337a); 三点接触时, 接触点的投影连线所构成的三角



形，应使圆柱面投影的圆心位于其中间（图 337b）。

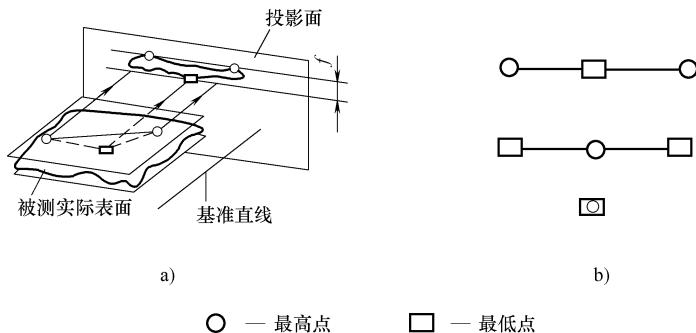


图 336 平面对基准直线平行度定向最小区域判别

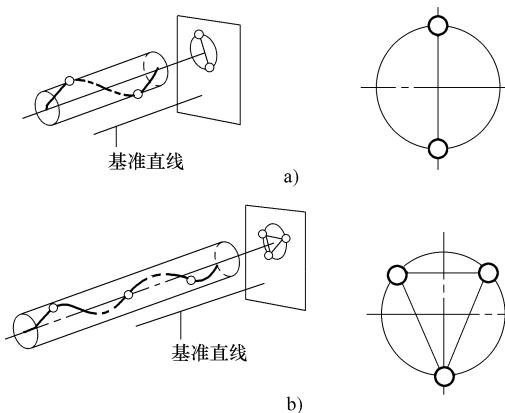


图 337 直线对基准直线平行度定向最小区域判别

(2) 垂直度误差判别法 垂直度误差是由垂直度定向最小区域确定。

1) 平面对基准平面垂直度定向最小区域，是由垂直于基准平面的两平行平面构成，如图 338 所示。由定向两平行平面包容被测实际表面时，至少有两点或三点与其接触（图 338a）。接触点在基准平面上的投影，凡具有下列形式之一者，即为其定向最



小区域（图 338b）：两最左点中间为一最右边点；两最右点中间为一最左点；最左点与最右点在基准平面上同一垂线方向上。

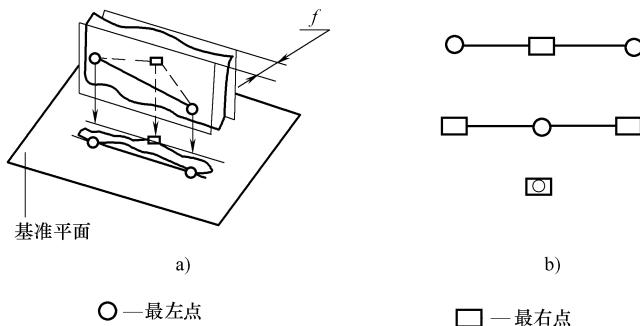


图 338 平面对基准平面垂直度定向最小区域判别

2) 直线对基准平面(任意方向)垂直度定向最小区域，是由垂直于基准平面的圆柱面构成，如图 339 所示。由定向圆柱面包容被测实际线时，至少有两点或三点与其相接触。接触点在基准平面上的投影，具有下列形式之一者，即为其定向最小区域：两点接触投影在圆的同一直径上（图 339a）；三点接触其包容面投影的圆心，位于三接触点投影的连线所构成的三角形内（图 339b）。

(3) 平面（或直线）对基准直线垂直度定向最小

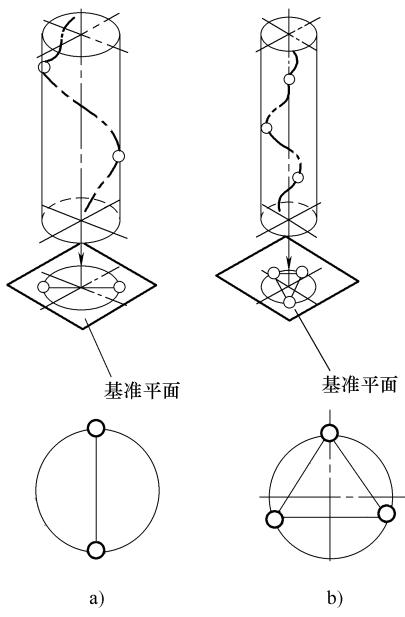


图 339 直线对基准平面垂直度定向最小区域判别



区域，是由垂直于基准轴线的两平行平面构成。如图 340 所示，由定向两平行平面包容被测实际表面（或实际线）时，至少有两个点与其相接触：一个为最左点；一个为最右点。

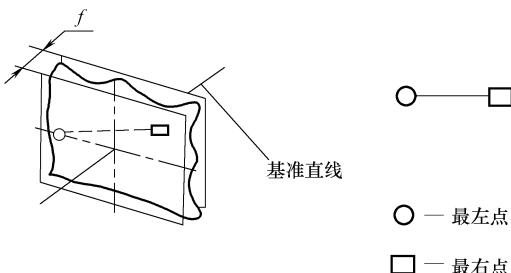


图 340 平面（或直线）对基准直线垂直度定向最小区域判别

160. 怎样检测面对面的平行度误差？

答：根据零件的结构特点和尺寸大小、精度要求不同，被测平面对基准平面的平行度误差可采用以下方法进行检测。

（1）直接法 通过测量可直接获得被测表面各点相对基准平面变动量，从而可直接评定其误差值的检测方法。

生产中通常采用带指示器的测量装置，测出被测表面相对基准平面的变动量，由此测得平行度误差值。

如图 341 所示，检测零件上两外表面间平行度误差。图样上给出零件的上表面对底平面 D 的平行度公差要求。检测时，将被测零件放置在平板上，使基准表面与平板工作面紧密贴合，两者之间尽量调整符合最小条件位置。以平板工作面作为模拟基准，用指示器测量整个被测表面，取指示器最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差。

又如图 342 所示，检测内槽表面两平行面间平行度误差。图样上给出槽的上表面对下基准平面 D 平行度公差要求。检测时，采用直接法体现基准，即以实际基准要素作为测量基准面，将带指示器的测量架放在基准要素表面上移动，测得整个被测表面上最大与最小示值之差，作为该零件的平行度误差。此方法适用于基准表

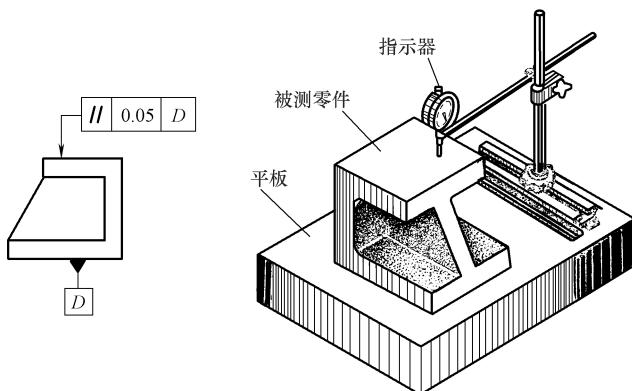


图 341 指示器法测量面对面平行度误差

面形状误差相对于平行度公差较小的零件。

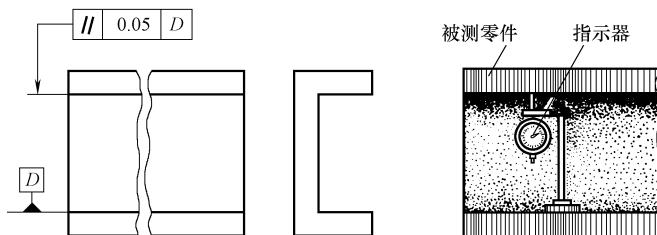


图 342 内槽表面平行度误差检测

(2) 间接法 通过测量不能直接获得被测要素相对基准要素各点坐标值，需经过数据处理方可求得其平行度误差值的检测方法。

如图 343 所示，用水平仪检测两平面间平行度误差，给出零件上台阶面对下台阶面 D 的平行度公差（图 343a）。检测时，通过支承 3 将被测零件大致调整至水平位置，然后分别在基准表面上和被测表面上沿长向分段首尾相接进行测量，并记录各测量点上水平仪读数，将水平仪读数角度值换算成线值（图 343b）。

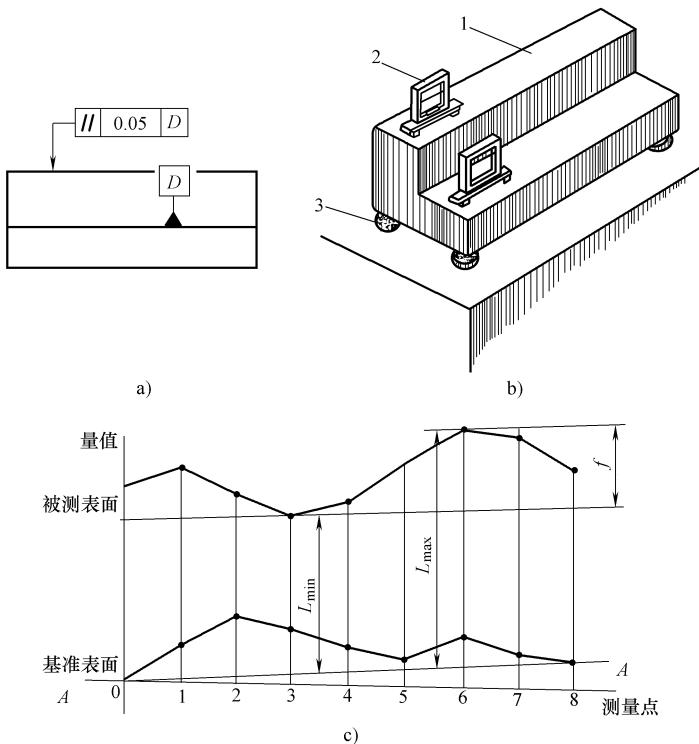


图 343 用水平仪测量面对面平行度误差

1—被测零件 2—水平仪 3—支承

根据记录读数，用图解法或计算法求出其平行度误差。如图 343c 所示，首先根据测得值绘出基准表面和被测表面近似轮廓。由基准表面轮廓按最小条件要求找出基准平面位置 A—A。然后再找出被测表面轮廓各测点沿垂直坐标方向到 A—A 基准间最大距离 L_{\max} 和最小距离 L_{\min} ，由此求得该零件的平行度误差为

$$f = L_{\max} - L_{\min}$$

此方法适用于测量窄长平面。



161. 怎样检测线对面的平行度误差?

答：线对面的平行度误差通常采用直接法进行检测。如图 344 所示，采用指示器法进行测量。图 344 中给出孔的轴线对底面 A 的平行度公差要求。检测时，将被测零件 3 直接放置在平板 4 上，使其基准底面 A 与平板工作面紧密贴合，以平板工作面作为模拟基准。在被测孔内插入心轴 2，心轴与被测孔间应紧密配合（可采用可胀式或与孔成无间隙配合的轴），该轴应具有较高的形状精度，用其模拟轴线。使指示器 1 与心轴上端素线相接触，测得两端相距 L_2 的两测点示值 M_1 和 M_2 ，按下式换算求得该零件的平行度误差，即

$$f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

式中 L_1 ——被测轴线长度（或给定长度）；

L_2 ——测量长度；

M_1 、 M_2 ——测量长度两端指示器示值。

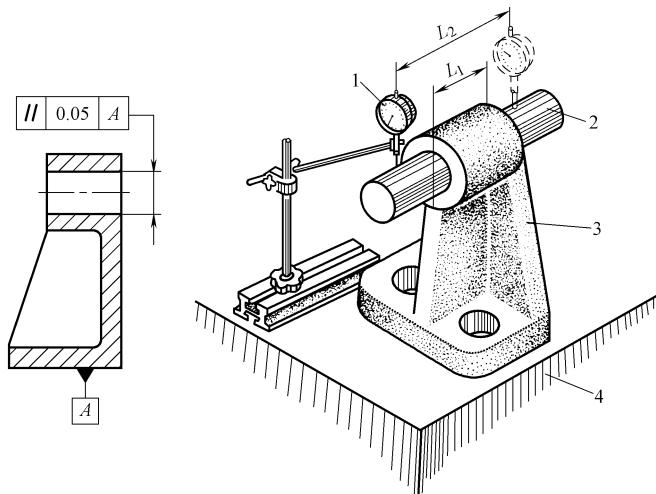


图 344 用指示器法检测线对面平行度误差

1—指示器 2—心轴 3—被测零件 4—平板



又如图 345 所示，用杠杆千分表直接测量被测孔的上下素线，测量线对面平行度误差。测量时，将被测零件 1 放置在平板 3 上，将杠杆千分表 2（或电感测头）直接伸入孔内，在若干个横截面位置处，分别测得孔的上下素线处千分表示值 M_1 和 M_2 ，记录每个测位上的示值差 $(M_1 - M_2)$ ，取其中最大值与最小值代入下式，求得该零件的平行度误差，即

$$f = \frac{1}{2} |(M_1 - M_2)_{\max} - (M_1 - M_2)_{\min}|$$

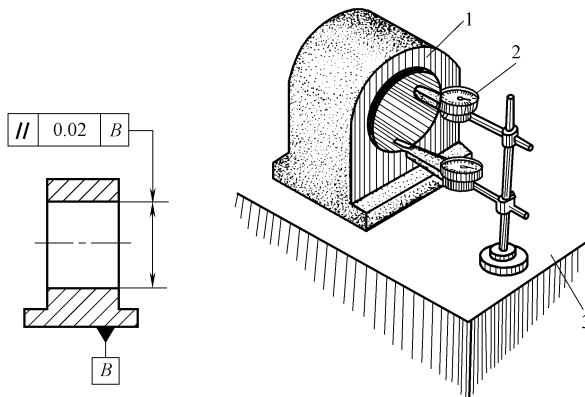


图 345 直接法测量线对面平行度误差

1—被测零件 2—杠杆千分表 3—平板

162. 怎样检测面对线的平行度误差？

答：面对线的平行度误差通常采用直接法进行检测。如图 346 所示，给出零件的上表面相对于基准轴线 B 的平行度公差。测量时，将心轴 3 插入基准孔 B 中，以心轴模拟基准轴线。将心轴两外伸端放在两等高支承 4 上。使被测零件绕心轴轴线转动，调整被测表面在同一横截面上的两点 a 和 b 与平板工作面间距离相等。然后用指示器沿整个被测表面进行测量，取整个测量过程中指示器的最大与最小示值之差，作为该零件的平行度误差。

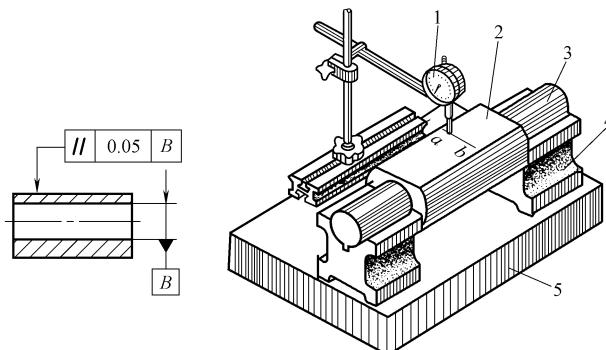


图 346 面对面的平行度误差检测

1—指示器 2—被测零件 3—心轴 4—等高支承 5—平板

又如图 347 所示内槽平面对外圆轴线的平行度误差检测。图样中给出键槽的两侧面对外圆轴线基准 B 的平行度公差。检测时，将被测零件 2 放到平台 4 上，并与方箱 1 靠紧，用杠杆千分表 3 先调整使被测表面同一横截面上的 a、b 两点等高，然后测

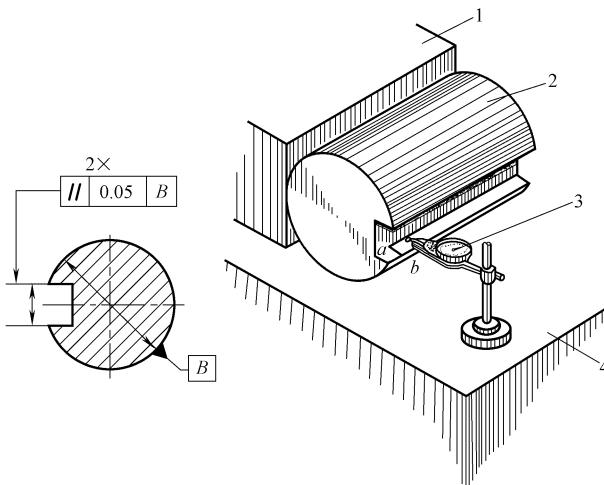


图 347 内槽平面对轴线平行度误差检测

1—方箱 2—被测零件 3—杠杆千分表 4—平台



量整个被测表面，并记录示值。取整个测量过程中杠杆千分表的最大与最小示值之差，作为该零件的平行度误差。

163. 怎样检测线对线的平行度误差？

答：线对线的平行度公差，通常是对两轴线间定向精度要求，如各种箱体零件上座孔轴线间、连杆大小头孔轴线间、曲轴连杆轴颈与主轴颈轴线间等。根据零件的结构及其功能要求不同，图样上给出多种形式的平行度公差要求，生产中则应采用不同检测方法评定。

(1) 给定方向上线对线平行度误差检测 如图 348 所示，给出连杆小头孔对大头孔基准 B 的轴线间，在垂直方向上的平行度公差（即通常所说的弯曲度）。检测时，基准轴线和被测轴线分别由心轴 3 和心轴 4 模拟。将模拟基准轴线的心轴 4 支承在等高 V 形块 5 上。调整两轴线位于垂直于平板工作面的同一垂直面上。用指示器 1 测量被测心轴上端素线相距为 L_2 位置处，分别测得数值为 M_1 和 M_2 ，按下式求得该零件在给定方向上的平行度误差，即

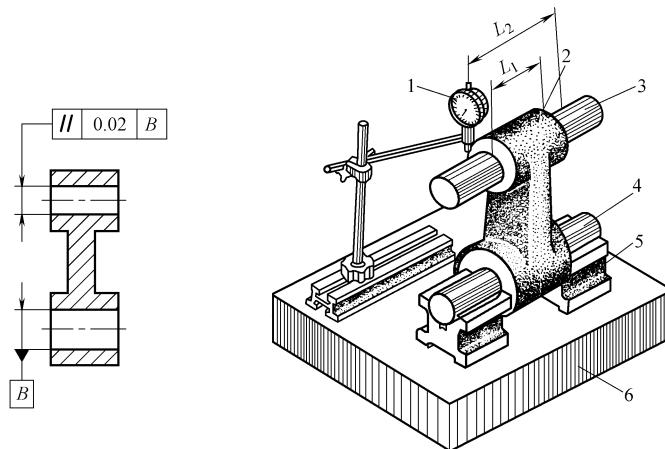


图 348 垂直方向上线对线平行度误差检测

1—指示器 2—被测零件 3、4—心轴 5—等高 V 形块 6—平板



$$f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

式中 L_1 ——被测轴线长度（或给定长度）；

L_2 ——测量长度；

M_1 、 M_2 ——在测量长度两端读数值。

又如图 349 所示，给出连杆大、小头孔的轴线沿水平方向上的平行度公差（即通常所说的扭曲度）。该零件平行度误差检测与上述垂直方向平行度误差检测基本相同，两者区别是测量方向不同，水平方向上的平行度误差应将被测轴线与基准轴线放到与平板工作面相平行的平面上（即将垂直方向绕基准轴线转 90°）。被测心轴可通过垫铁 6 调整至水平位置。用指示器测量被测心轴上端素线相距 L_2 两个位置上的数值分别为 M_1 和 M_2 。同样以公

式 $f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$ 求得该零件水平方向上的平行度误差。

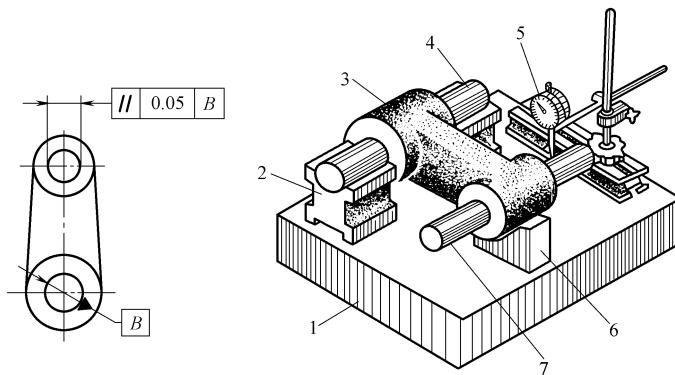


图 349 水平方向线对线平行度误差检测

1—平板 2—等高 V 形块 3—被测零件 4—基准心轴

5—指示器 6—垫铁 7—被测心轴

给定方向上线对线平行度误差还可采用间接法进行测量。如图 350 所示，给出被测零件上、下两座孔轴线在垂直方向上的平



行度公差。测量时，基准轴线与被测轴线分别由基准心轴4和被测心轴3模拟。首先将基准心轴调整至大致水平位置，然后把水平仪2分别放在基准心轴和被测心轴上，并记录示值 A_1 和 A_2 。按下式求得其平行度误差，即

$$f = |A_1 - A_2| / LC$$

式中 C ——水平仪分度值（线值）；

L ——被测轴线长度；

A_1 、 A_2 ——两心轴上水平仪示值。

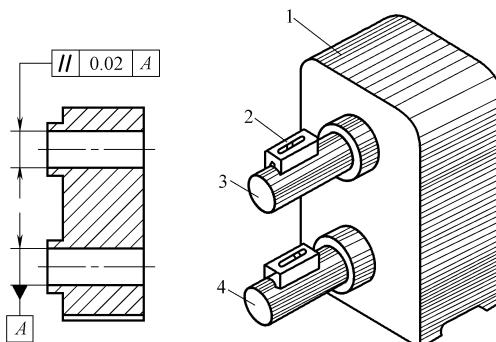


图 350 用水平仪测量垂直方向线对线平行度误差

1—被测零件 2—水平仪 3—被测心轴 4—基准心轴

又如图351所示，图中给出上、下两座孔轴线在水平方向的平行度公差。测量时，基准轴线与被测轴线分别由基准心轴4和被测心轴3模拟。将直角尺5的直角边紧靠在两心轴上，在直角尺水平面上放置水平仪，在相距为被测长度 L 的位置处，分别测得水平仪读数 A_1 和 A_2 ，按上述垂直方向相同方法计算求得该零件水平方向上的平行度误差。

(2) 任意方向上线对线平行度误差检测 如图352所示，给出曲轴的连杆轴颈对主轴颈C—D公共轴线的平行度公差要求。该零件被测要素与基准要素均为外圆轴线，检测时可直接由

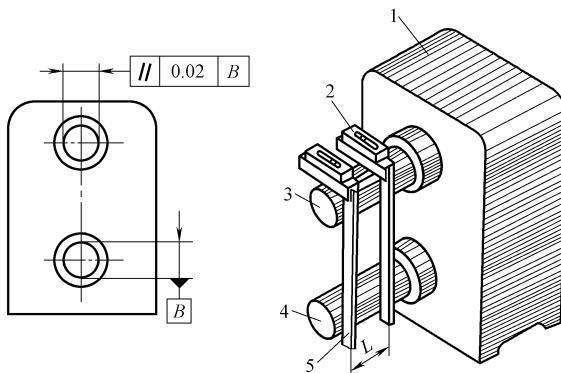


图 351 用水平仪测量水平方向上线对线平行度误差

1—被测零件 2—水平仪 3—被测心轴 4—基准心轴 5—直角尺

实际圆柱面来体现轴线要素。首先将 C 与 D 主轴颈分别放在等高 V 形块 3 上，并调整其轴线与平板平行，以 V 形块中心面模拟公共基准轴线。然后使安装在同一垂直方向上的两个指示器沿被测轴颈上、下两条素线移动，同时记录两指示器示值，求出读

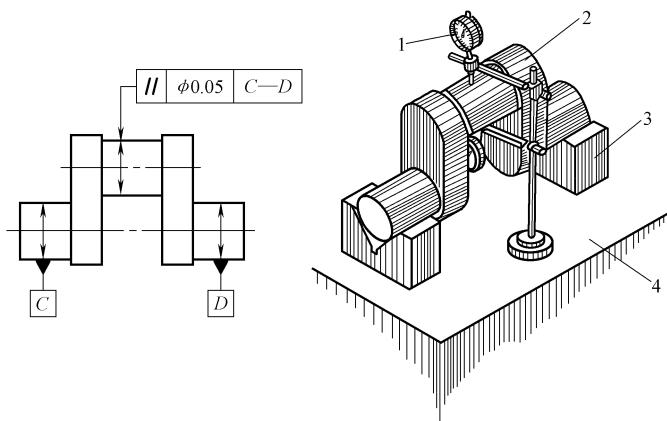


图 352 任意方向上线对线平行度误差检测

1—指示器 2—被测零件 3—等高 V 形块 4—平板



数差值之半，取其中最大值作为该测量方向上的平行度误差。

以 C—D 公共轴线为中心，在 0~180° 范围内转动曲轴，分别测得若干不同角度位置上的平行度误差，取其中最大值作为该零件任意方向的平行度误差。

任意方向平行度误差也可按上述给定两垂直方向分别测得的误差值 f_x 和 f_y ，再按公式 $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ 算出的值，作为该零件任意方向的平行度误差。

164. 怎样用综合量规法检验零件的平行度误差？

答：当图样上给出的平行度公差，对其被测要素和基准要素均给出最大实体要求时，该零件的平行度误差可采用综合量规进行检验。

综合量规是与被测零件相配合，且具有正确的定向或定位精度要求的几何偶件，其基准偶件尺寸等于基准要素的最大实体尺寸；被测要素偶件尺寸则为其实效尺寸。

如图 353 所示，给出连杆上端孔轴线对下端孔 A 轴线的平行度公差，且其被测要素与基准要素均提出相关要求 M。该零件采用综合量规检验时，应首先根据零件的尺寸及位置公差制作出相应的专用综合量规。它是由固定支座 3、固定销 5、塞规 1 和活动支座 2 等组成。固定销的直径等于基准孔的最大实体尺寸，其牢固地固定在固定支座上，且与固定支座工作面保持垂直。塞规 1 的直径等于被测孔的实效尺寸，活动支座上两孔应与塞规紧密配合，且其轴线应垂直于固定支座工作面。

检测时，将被测零件基准孔套在量规的固定销上，然后穿过活动支座孔插入被测孔内。若塞规能自由通过被测孔，则该零件合格，否则为不合格。

综合量规法仅适用检验被测要素与基准要素均为最大实体要求的零件。它只能判别零件是否合格，而不能测出误差的具体数值。

165. 怎样检测面对面的垂直度误差？

答：根据零件的结构特点和尺寸大小、精度要求不同，被测

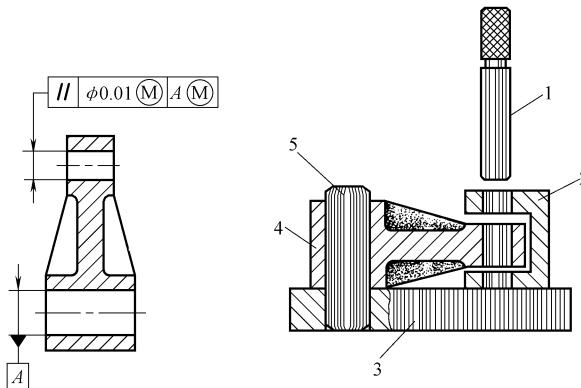


图 353 综合量规法检验线对线平行度误差

1—塞规 2—活动支座 3—固定支座 4—被测零件 5—固定销

平面对基准平面间垂直度误差可采用以下方法进行检测。

(1) 直接检测方法

1) 光隙法。利用直角量具与被测要素比较，通过光隙（或塞尺）直接测得垂直度误差。

如图 354 所示，给出零件上右侧面对底平面 A 的垂直度公差（图 354a）。检测时，将直角尺的一个面放到基准面 A 上，使两表面紧密贴合（图 354b），必要时可调整至符合最小条件位置。然后把直角尺的垂直边与被测实际表面相接触，此时两者之间最大间隙 f ，即为该零件的垂直度误差。该间隙值可通过光隙法或用塞尺直接测得。

被测实际要素与直角尺间的变动量，也可用量块测得（图 354c），即将两组不同尺寸的量块分别垫在被测实际表面与直角尺间最大与最小间隙处，调整两组量块的厚度，直至量块处间隙均消除为止，此时两组量块的尺寸差，即为该零件的垂直度误差。

生产中也可采用圆柱角尺的底面与圆柱面素线作为模拟基准，用以与被测实际要素比较，测得垂直度误差。如图 355 所示，给出零件的左侧面对底面 C 的垂直度公差。检测时，将被

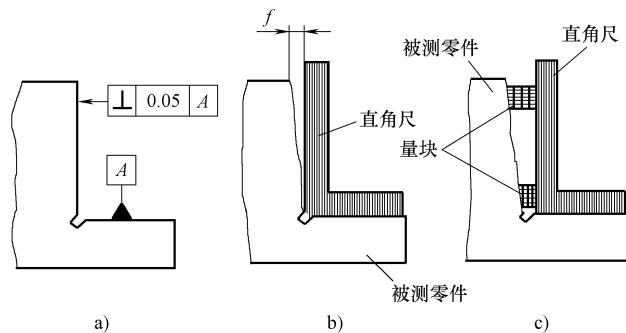


图 354 用直角尺检测面对面垂直度误差

测零件和圆柱角尺放到平板上，使圆柱角尺的外圆素线与被测表面接触，通过光隙或用塞尺直接测出两者之间最大间隙值，即为该零件的垂直度误差。

为了消除圆柱角尺的轴线对底面垂直度误差的影响，可把圆柱角尺转 180° 后，按上述方法再测量一次。取两次测量结果的平均值，作为该零件的垂直度误差。

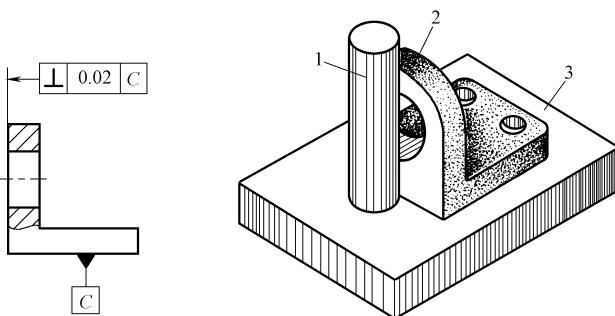


图 355 用圆柱角尺检测面对面垂直度误差

1—圆柱角尺 2—被测零件 3—平板



2) 指示器法。用方箱相邻两垂直表面作为模拟理想要素，通过指示器与被测要素比较，测得垂直度误差。如图 356 所示，给出零件的上表面对左侧面 C 的垂直度公差。检测时，将被测零件 3 的基准表面固定在方箱上，同时调整靠近基准被测表面 AB 处的指示器示值差为最小。然后沿整个表面进行测量，取各测点中最大与最小示值之差，作为该零件的垂直度误差。必要时，可按定向最小组评定其垂直度误差。

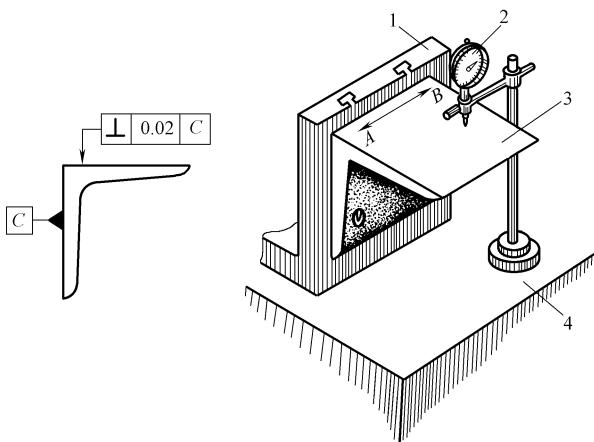


图 356 指示器法测量面对面垂直度误差

1—方箱 2—指示器 3—被测零件 4—平台

3) 比较法。利用被测要素上两点与模拟理想要素比较，测得垂直度误差。如图 357 所示，给出零件的右侧面对底面 C 的垂直度公差（图 357a）。检测时，先将带固定支点的指示器 1 测量架调至零位，方法是使固定支点与标准直角尺接触（图 357b），转动指示器表盘，使指针指向“0”。然后将被测零件 4 放到平台 3 上（图 357c），使调好零位的测量架固定支点与被测表面接触，此时指示器上的示值即为被测表面在 L_1 长度上的垂直度误差。再按下式求得被测要素全长上的垂直度误差，即



$$f = \frac{L}{L_1} A$$

式中 L ——被测表面全长;
 L_1 ——指示器测量架上
 固定支点到指示
 器测量点的距离;
 A ——指示器示值。

(2) 间接检测方法

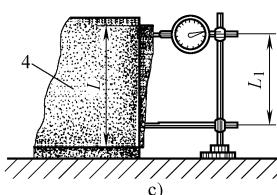
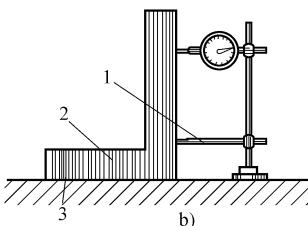
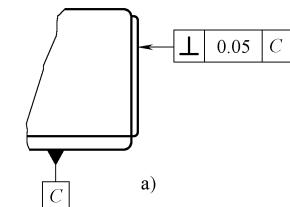


图 357 比较法检测垂直度误差

1—带固定支点的指示器 2—标准直角尺

3—平台 4—被测零件

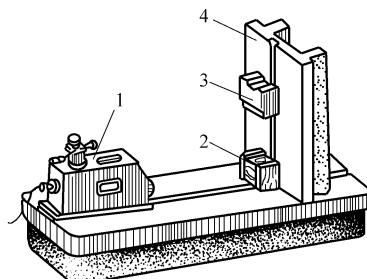
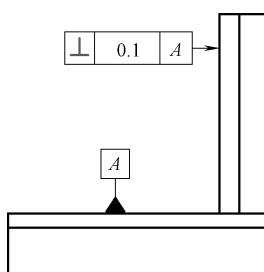


图 358 自准直仪法检测面对面垂直度误差

1—自准直仪 2—转向棱镜 3—反射镜 4—被测零件



镜测得各纵向测位的示值。

根据基准要素和被测要素各测点测得值，绘出实际基准表面和被测表面轮廓曲线，如图 359 所示。由实际基准要素按最小条件要求确定基准平面 $A-A$ 。再根据被测实际要素确定垂直于 $A-A$ 基准平面的定向最小区域，其宽度 f 即为该零件的垂直度误差。也可用分析法求得误差值。此方法适用于测量大型零件。

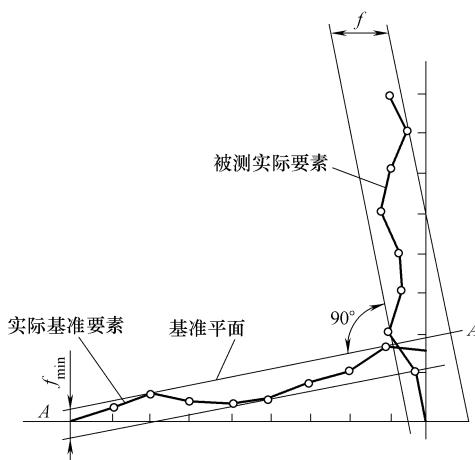


图 359 垂直度误差评定方法

2) 水平仪法。以水平面作为基准，用框式水平仪相邻两垂直表面作为模拟理想要素，测得垂直度误差。如图 360 所示，给出垂直导轨面对工作台平面 D 的垂直度公差。检测时，先用框式水平仪大致调整基准表面到水平位置，然后用框式水平仪按一定布点距离依次测量基准实际表面，用框式水平仪垂直侧面测量被测实际表面，并记录各测量点的示值。将测得角度值换算成线值，按图 359 所示方法，求得被测零件的垂直度误差。此法适用于测量大型零件。

166. 怎样检测线对面的垂直度误差？

答：线对面的垂直度公差通常是指轴或孔的轴线对基准平面

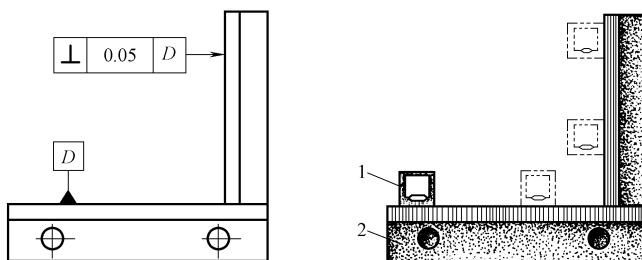


图 360 水平仪法测量面对面垂直度误差

1—框式水平仪 2—被测零件

的垂直精度要求，在其误差检测时，对于轴的轴线可直接用圆柱面来体现；孔的轴线一般采用心轴来体现。常用检测方法有：

(1) 间隙法 用标准直角量具与被测要素相比较，通过两者之间间隙测得垂直度误差。

如图 361 所示，用直角尺检测线对面垂直度误差，给出在给定方向上孔的轴线对其上表面垂直度公差。检测时，先将心轴 1 插入被测孔，用心轴模拟被测轴线。然后取标准直角尺放到基准表面上，使其在给定方向上与心轴素线相接触，在相距 L_1 长度范围内测得两者之间最大间隙值 f_1 。按下式求得该零件在给定方向上的垂直度误差，即

$$f = f_1 \frac{L}{L_1}$$

式中 f_1 ——在实测长度上的最大间隙值；

L_1 ——实测长度；

L ——被测要素全长。

若图样上给出任意方向上的垂直度公差要求时，仍可采用上述方法进行测量，但必须沿心轴四周若干个方向上分别测得该方向上的误差值，取其中最大值作为该零件任意方向上的垂直度误差。

(2) 指示器法 用标准直角量具作为模拟基准，由指示器

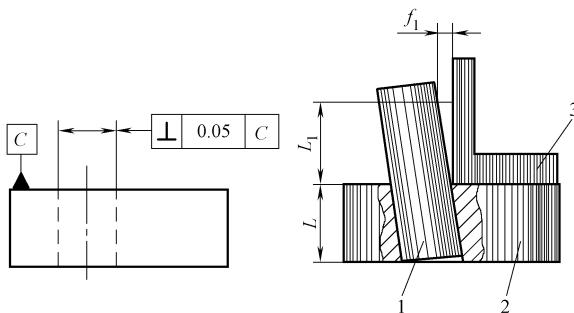


图 361 间隙法检测线对面垂直度误差

1—心轴 2—被测零件 3—直角尺

测得被测要素垂直方向的变动量，以测得垂直度误差。

如图 362 所示，给出圆柱面轴线对底平面 D 的垂直度公差。检测时，将被测零件 1 放到平板 4 上，使基准表面与平板工作面紧密贴合在一起。然后把直角座 3 放在被测零件一侧，以直角座

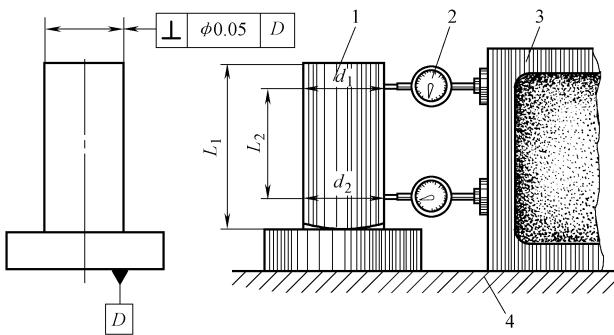


图 362 指示器法检测线对面垂直度误差

1—被测零件 2—指示器 3—直角座 4—平板

垂直面作为测量基准，用指示器 2 测量被测轴的外圆素线，在相距 L_2 的两测量点的示值分别为 M_1 和 M_2 。为消除被测圆柱面直径偏差的影响，还应测出两测量点位置处的直径 d_1 和 d_2 。按下式求得该测量方向上的垂直度误差，即



$$f_1 = \left| (M_1 - M_2) + \frac{d_1 - d_2}{2} \right| \frac{L_1}{L_2}$$

式中 M_1 、 M_2 ——在 L_2 长度两端示值；

d_1 、 d_2 ——在测量点相应位置处轴的直径；

L_1 ——被测轴的长度；

L_2 ——测量长度。

按上述方法沿被测轴周围测量若干个方向，分别测得各方向上的垂直度误差，取其中最大值作为该零件的垂直度误差。

为了简化测量，可仅在相互垂直的两个方向上测量，取两个方向上测得误差中较大值，作为该零件的垂直度误差。若考虑被测要素直线度误差影响，则应增加测量截面，并用图解法求垂直度误差。

当被测要素为孔时，被测轴线可由适宜的心轴模拟进行测量。

(3) 转台法 用转台的回转轴线作为模拟理想要素，测得线对基准平面的垂直度误差。如图 363 所示，用转台法检测图 362 所示零件的垂直度误差。检测时，将被测零件 1 放置在转台 4 上，使基准表面与转台工作面紧密贴合，用指示器 2 调整被测零件安放位置，即以被测要素较低位置 A—B 处截面形状为准，使该截面中心与回转中心对中。然后按需要测量若干个轴向截面轮廓线上各点，按下式可近似地求得该截面的垂直度误差，即

$$f = \frac{1}{2} (M_{\max} - M_{\min})$$

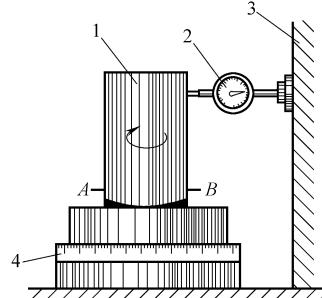


图 363 转台法检测线对面垂直度误差

1—被测零件 2—指示器

3—直角座 4—转台



式中 M_{\max} 、 M_{\min} ——测量截面内指示器最大与最小示值。

取各截面内测得的 f 值中最大者，作为该零件的垂直度误差。

167. 怎样检测面对线的垂直度误差？

答：面对线的垂直度公差通常是指零件上的平面要素对轴或孔的轴线间垂直精度要求，其误差检测时，轴的轴线一般直接以轴表面体现基准轴线，孔的轴线通常以心轴模拟其基准轴线。常用检测方法有：

(1) 间隙法 用标准直角量具与被测表面位置相比较，由两者之间间隙测得其垂直度误差。

如图 364 所示，给出零件的右端面对轴线 C 的垂直度公差。检测时，将被测零件 1 的基准圆柱面放到 V 形块 4 上，同时把标准直角尺 2 放在平台 3 上，使其垂直面与被测端面相接触，此时两者之间的最大间隙，即为该测量位置上的垂直度误差。然后转动被测零件，分别测出若干个位置处的垂直度误差，取其中最大值作为该零件的垂直度误差。

(2) 指示器法 用平板工作面模拟垂直方向，通过指示器测出被测表面垂直方向变动量，由此求得垂直度误差。

如图 365 所示，用指示器法测量图 364 所示零件垂直度误差。检测时，先将被测零件 2 固定在 V 形块 3 上，用 V 形面模拟基准轴线，并调整使其垂直于平板 4 的工作面。然后用指示器

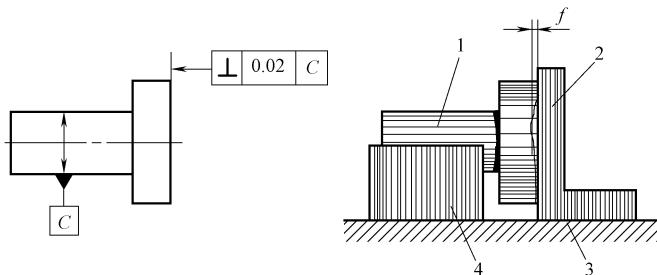


图 364 间隙法检测面对线垂直度误差

1—被测零件 2—标准直角尺 3—平台 4—V 形块



1 测量整个被测表面，并记录示值，取最大与最小示值之差作为该零件的垂直度误差。

又如图 366 所示，给出轴肩表面对基准轴线 A 的垂直度公差。检测时，将被测零件 2 通过可调支承 4 放在平板 5 上。借助于直角座量具预先将右侧测量架上、下两个指示器 3 调整零位，依此将基准轴线调整到与平板垂直。然后用指示器 1 测量整个被测表面，并记录示值。取其中最大与最小示值之差，作为该零件的垂直度误差。

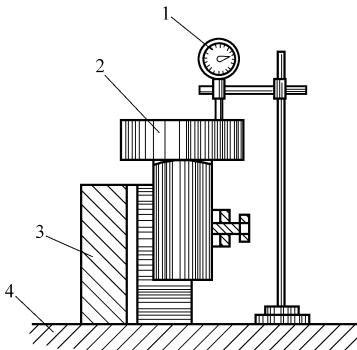
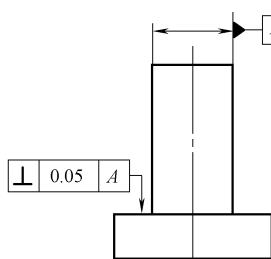


图 365 指示器法检测端平面对轴线垂直度误差

1—指示器 2—被测零件
3—V形块 4—平板

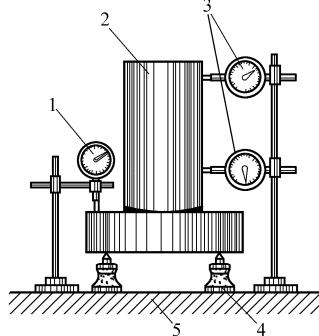


图 366 指示器法检测台阶面对轴线垂直度误差

1、3—指示器 2—被测零件 4—可调支承 5—平板

168. 怎样检测线对线的垂直度误差？

答：根据零件的结构不同，其上线对线的垂直度误差可采用以下检测方法。

(1) 间隙法 如图 367 所示，给出一轴上的孔对轴的轴线



间垂直度公差要求。检测时，先将心轴3插入被测孔内，两者之间呈无间隙配合，以心轴模拟被测孔的轴线。然后将刀口角尺1放到基准圆柱面上，使其一侧与基准圆柱面紧密贴合，垂直一侧与心轴素线相接触。此时，两者之间最大间隙 f 即为该零件的垂直度误差。

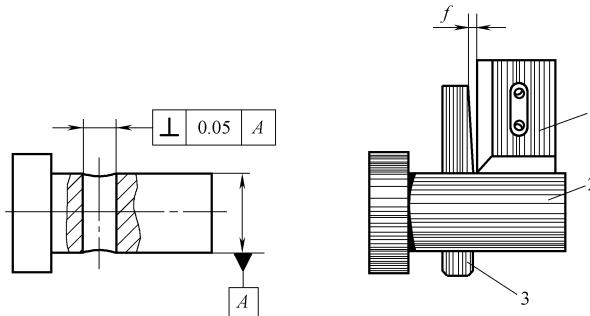


图 367 间隙法检测线对线垂直度误差

1—刀口角尺 2—被测零件 3—心轴

(2) 指示器法 如图 368 所示，给出两垂直面上孔的轴线间垂直度公差。检测时，先将被测零件3用支承4置于平板5上，两孔内分别装入基准心轴7和被测心轴1，各心轴与孔之间呈无间隙配合，由心轴模拟基准轴线和被测轴线。用直角尺6调整基准心轴方向，使其与平板工作面垂直。然后用指示器2测量被测心轴外伸端素线（图 368），在相距 L_2 的测量位置上测得数值分别为 M_1 和 M_2 。按下式换算，求得该零件垂直度公差，即

$$f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

式中 L_1 ——被测要素长度（或给定长度）；

L_2 ——测量距离；

M_1 、 M_2 ——测量距离两端点处读数值。

又如图 369 所示，给出箱体上两孔轴线间垂直度公差要求。检测时，先在两孔内分别装入被测心轴1和基准心轴4，其中被

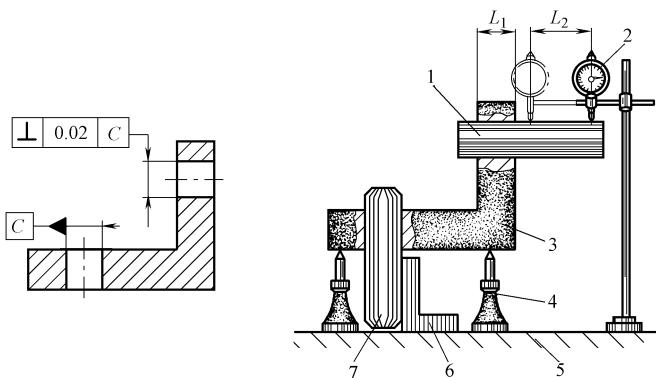


图 368 指示器法检测线对线的垂直度误差（一）

1—被测心轴 2—指示器 3—被测零件 4—支承 5—平板
6—直角尺 7—基准心轴

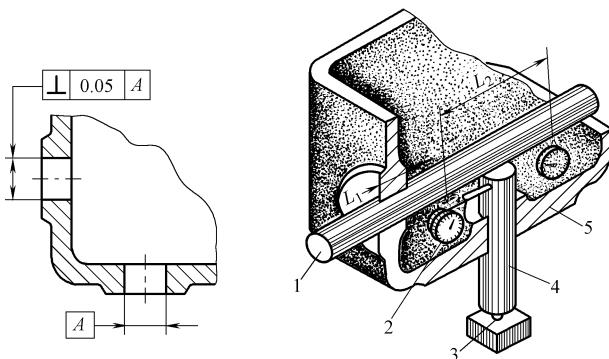


图 369 指示器法检测线对线垂直度误差（二）

1—被测心轴 2—指示器 3—定位球支承 4—基准心轴 5—被测零件

测心轴应选用可胀式或与孔成无间隙配合的心轴，而基准心轴应选用可转动但配合间隙小的心轴，以使心轴在孔内能够转动。基准心轴的一端装有指示器 2，另一端支承在定位球支承 3 上，以限制其轴向移动。然后用指示器测得被测心轴一端素线位置处读数 M_1 ，再将基准心轴转过 180° ，测得另一端读数 M_2 ，两测量点



的距离为 L_2 。测量过程中应保持基准心轴不产生轴向移动。根据测得数值按下式计算求得该零件的垂直度误差，即

$$f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

式中 L_1 ——被测要素长度（或给定长度）；

L_2 ——测量距离；

M_1 、 M_2 ——测量距离两端点处读数。

(3) 水平仪法 如图 370 所示，给出零件上两孔轴线垂直度公差。检测时，先在两孔内分别装入基准心轴 4 和被测心轴 1，由心轴模拟基准轴线和被测轴线。用 V 形块 5 将被测零件支承在平板 6 上。调整基准轴线处于水平位置。然后用水平仪的两垂直面分别靠在两心轴素线上测量，同时记录示值 A_1 和 A_2 ，按下式计算求得该零件的垂直度误差，即

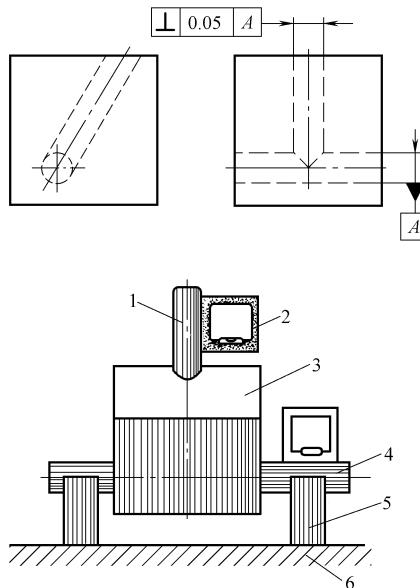


图 370 水平仪法检测线对线垂直度误差

1—被测心轴 2—水平仪 3—被测零件
4—基准心轴 5—V形块 6—平板



$$f = |A_1 - A_2| CL$$

式中 C ——水平仪分度值（线值）；

L ——被测孔的轴线长度。

(4) 转台法 如图 371 所示，给出零件上两孔轴线间垂直度公差要求。检测时，先在两孔内分别插入基准心轴 4 和被测心轴 2，由心轴模拟基准轴线和被测轴线，并将其固定到转台 5 上，调整转台使其轴线垂直于由基准轴线和被测轴线组成的平面。先用水平仪调平基准心轴，并记录此时转台的角度值 A_1 。然后转动转台，并调平被测心轴，记录另一角度值 A_2 。

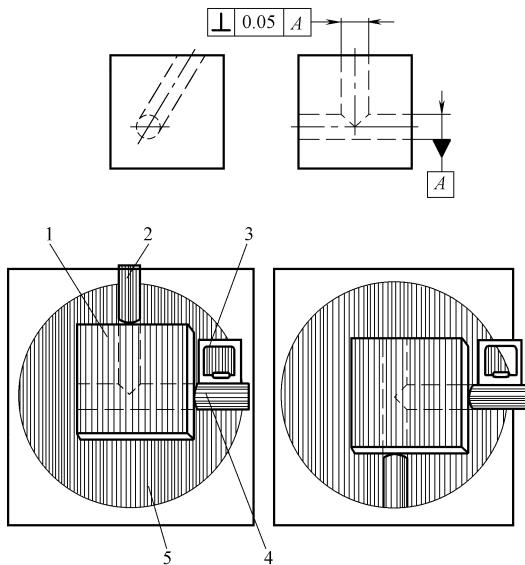


图 371 转台法检测线对线垂直度误差

1—被测零件 2—被测心轴 3—水平仪 4—基准心轴 5—转台

按下式求得该零件的垂直度误差，即

$$f = L \tan |(A_1 - A_2) - 90^\circ|$$

式中 L ——被测轴线长度。

此方法也可用于测量面对面及面对线的垂直度误差。



169. 怎样用综合量规法检测垂直度误差?

答: 当被测要素和基准要素有最大实体要求时, 该零件垂直度误差可用综合量规进行检测。

(1) 综合量规法检测线对面的垂直度误差 如图 372 所示, 给出上圆柱面轴线对上台阶面垂直度公差要求, 且被测要素给出最大实体要求。检测前, 应先制作一环形量规 2, 该量规的内孔直径等于被测要素的实效尺寸, 且底平面与孔的轴线间具有很高的垂直度精度。

检测时, 将量规套在被测表面上, 并使量规端面与基准表面相接触。若两表面能够紧密贴合在一起不透光时, 表示该零件垂直度误差能满足规定要求, 为合格品, 否则为不合格。

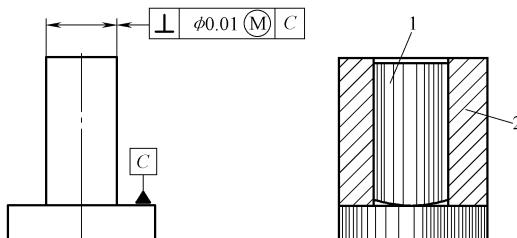


图 372 综合量规法检测线对面垂直度误差
1—被测零件 2—环形量规

综合量规法检测线对面的垂直度误差, 仅适用于被测要素给出最大实体要求的零件, 且只能判别合格与否, 而不能测得具体误差值。

(2) 综合量规法检测面对线的垂直度误差 如图 373 所示, 给出外伸臂中心面对基准孔轴线 A 的垂直度公差要求, 且同时给出被测要素与基准要素均有最大实体要求。检测前, 应先制作综合量规, 其是由量规 1 和固定销 2 组成。量规凹槽的宽度等于被测表面的实效尺寸, 固定销的直径等于基准孔的最大实体尺寸。固定销装入量规上座孔后, 应保持凹槽平面与固定销轴线垂直。

检测时, 将被测零件基准孔套在综合量规的固定销上, 并使其绕固定销轴线回转。若被测零件能够自由通过量规的凹槽时,

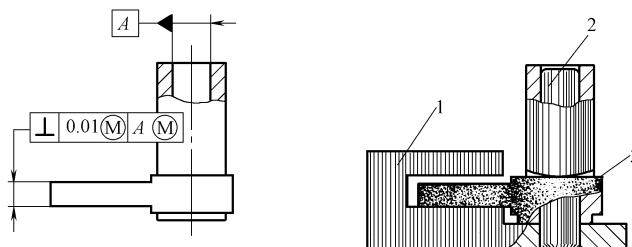


图 373 综合量规法检测面对线的垂直度误差

1—量规 2—固定销 3—被测零件

表示其垂直度误差在给定的公差范围内，即为合格，否则为不合格。

170. 怎样检测面对面的倾斜度误差？

答：面对面的倾斜度误差通常是用定角座，将被测表面转换到与测量基准平面平行的位置，然后按平行度误差进行检测。

如图 374 所示，给出零件的斜表面对基准平面 A 保持 25° 夹角方向的倾斜度公差要求。

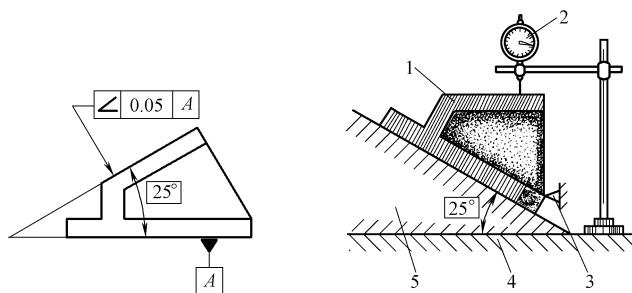


图 374 面对面倾斜度误差检测

1—被测零件 2—指示器 3—定位支承 4—平板 5—定角座

检测时，首先按给定的理论正确尺寸 25° ，选用相应的定角座 5（可用正弦规或精密转台代替）。将定角座放到平板 4 上，



被测零件 1 放置在定角座上。调整被测零件，使指示器 2 在整个被测表面示值差为最小，使被测表面调整到与测量基准平面（平板工作面）平行位置。为防止测量过程中被测零件沿斜面移动，应用定位支承 3 定位。然后用指示器沿整个被测表面测得最大与最小示值，取两示值之差作为该零件的倾斜度误差。

171. 怎样检测线对面的倾斜度误差？

答：线对面的倾斜度误差通常是指轴或孔的中心线对平面间的方向误差。如图 375 所示，给出零件上孔的中心线与底平面夹角 60° 的倾斜度公差要求。检测时，首先根据倾斜角选定相应的定角座 4。为使被测轴线调整到与平板工作面垂直位置，该定角座斜角应为 $90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ 。在被测孔内插入心轴 1，以心轴模拟被测轴线。将被测零件 6 放置到定角座 4 上，并调整其位置，即以直角座 3 定位，用指示器 2 测量心轴上端素线，转动被测零件，使指示器示值为最大（即使心轴转至与直角座的间距最小处），固定该测量位置。然后用指示器沿直角座测量心轴素线，在测量距离为 L_2 的两个位置上，分别测得示值为 M_1 和 M_2 ，按以下式求得该零件的倾斜度误差，即

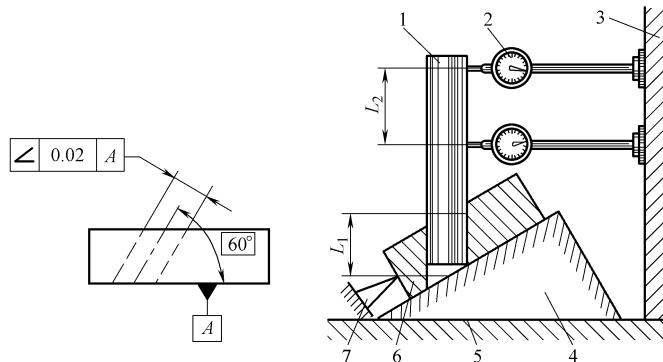


图 375 线对面倾斜度误差检测

1—心轴 2—指示器 3—直角座 4—定角座

5—平板 6—被测零件 7—定位支承



$$f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

式中 L_1 ——被测要素长度（或给定长度）；

L_2 ——测量距离；

M_1 、 M_2 ——测量距离两端点处示值。

172. 怎样检测面对线的倾斜度误差？

答：面对线的倾斜度误差可采用将基准轴线调至与平板工作面平行，然后以定角座作为测量基准测得其误差值；也可用定角座调整基准轴线的方向，以平板工作面作为测量基准测得其误差值。

如图 376 所示，给出 75° 斜面对基准轴轴线 A 倾斜度公差。检测时，选定 75° 定角座 1 放在平板 7 上。首先取心轴 4 穿入被测零件 3 基准孔内，由心轴模拟基准轴线，用 V 形块 6 支承在平板上，并由定位支承 5 做轴向定位。

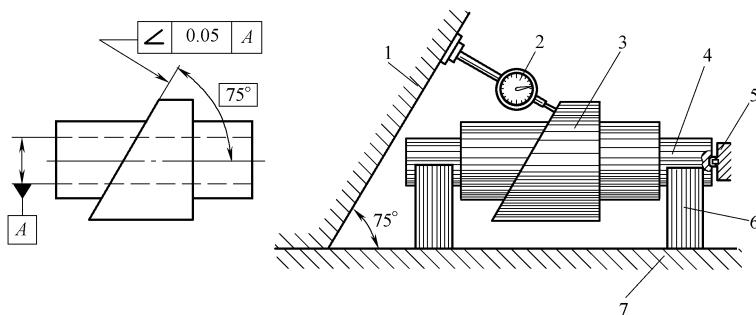


图 376 面对线倾斜度误差检测（一）

1—定角座 2—指示器 3—被测零件 4—心轴

5—定位支承 6—V形块 7—平板

调整被测斜面相对于定角座间定向测量位置，方法是将指示器 2 放到被测表面最上端，转动被测零件找出示值最小的位置，此即为测量位置。然后以定角座斜面作为测量基准，用指示器测量整个被测表面，并记录各测点示值，取其中最大与最小读数之



差，作为该零件的倾斜度误差。

又如图 377 所示，给出 60° 斜面对基准轴线 A 的倾斜度公差要求。检测时，首先选定角度为 $90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ 的定角座，将被测零件基准轴插入专用支承座 3 的座孔内，同时放到定角座斜面上。

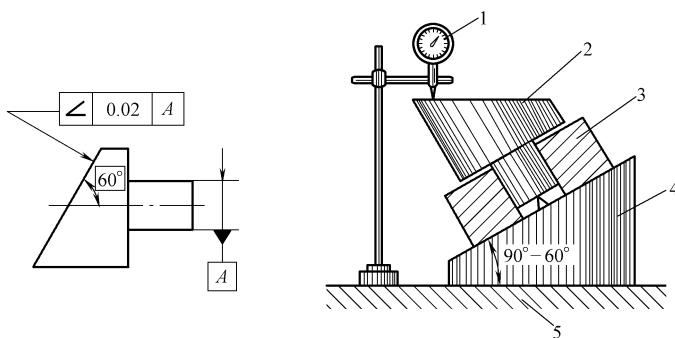


图 377 面对线倾斜度误差检测（二）

1—指示器 2—被测零件 3—支承座 4—定角座 5—平板

调整被测表面的测量位置，方法是转动被测零件，用指示器测量被测表面，找出示值差最小的位置，即为测量位置。然后沿整个被测表面进行测量，测得最大与最小示值之差，即为该零件的倾斜度误差。

173. 怎样检测线对线的倾斜度误差？

答：线对线的倾斜度误差通常是指轴或孔的轴线间定向误差。根据零件结构不同，可分别采用以下方法进行检测。

(1) 间隙法 以角度样板作为模拟理想方向，用以与被测要素比较，通过两者之间间隙测得其误差值。

如图 378 所示，给出在一轴上的 45° 斜孔轴线对基准轴线 B 的倾斜度公差。检测时，应先按图样上给出的理论正确尺寸 45° 制作一定角样板 3。在被测孔内插入心轴 2，且使心轴的伸出长



度等于被测轴线的长度。然后将定角样板沿零件轴向塞入被测零件与心轴外圆素线之间，使定角样板一边与基准外圆素线紧密贴合，另一边则应与心轴素线相接触。此时，定角样板与心轴素线间的最大间隙，即为该零件的倾斜度误差。该间隙值可由光隙法或塞尺测得。

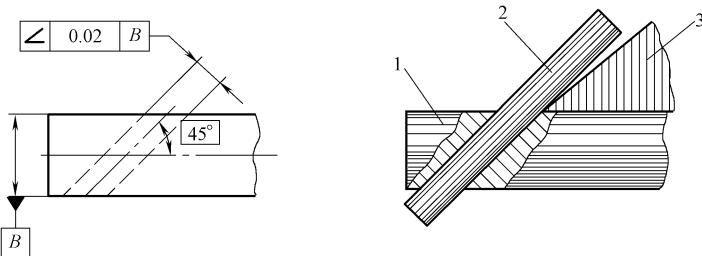


图 378 间隙法检测线对线倾斜度误差

1—被测零件 2—心轴 3—定角样板

(2) 指示器法 如图 379 所示，给出零件上 65° 斜孔轴线对基准轴线 B 倾斜度公差。检测时，先按图样上给定的理论正确尺寸 65° 制作定角导向座 5，该座上加工有基准轴颈导向座孔，以控制被测孔的轴线与平板工作面平行。在被测孔内插入选心轴 1，并将基准轴支承到定角导向座 5 座孔内。然后调整被测零件的测量位置，方法是转动被测零件，同时用指示器测量心轴上端素线，使 M_1 点处于最低位置（或使 M_2 点处于最高位置），此即为测量位置。用指示器测得心轴上端素线相距为 L_2 位置处两点示值 M_1 和 M_2 。按下式求得该零件倾斜度误差，即

$$f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

式中 L_1 ——被测轴线长度（或给定长度）；

L_2 ——测量长度；

M_1 、 M_2 ——测量长度两端点处示值。

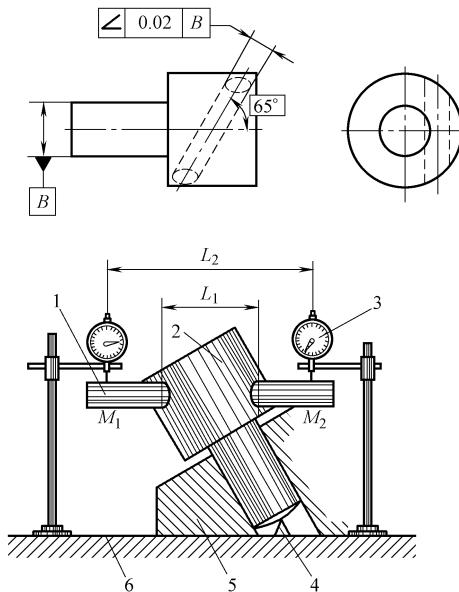


图 379 指示器法检测线对线倾斜度误差（一）

1—心轴 2—被测零件 3—指示器 4—定位支承

5—定角导向座 6—平板

又如图 380 所示，给出箱体零件上两孔轴线夹角 60° 的倾斜度公差要求。检测前先按图样上给定的理论正确尺寸 60° ，制作锥角为 $2 \times (90^\circ - 60^\circ) = 60^\circ$ 的定角锥体 6。检测时，用基准心轴 5 将定角锥体装到基准轴线位置处，再在被测孔内装入被测心轴 2。该心轴的外端用定位支承 1 做轴向定位，另一端装上指示器 3，指示器的测点到被测心轴中心距离为 $L_2/2$ 。转动被测心轴，由指示器测得定角锥体素线的示值 M_1 ，再将被测心轴转动 180° 测得对应点读数 M_2 。根据测量距离为 L_2 的两个位置上测得的示值 M_1 和 M_2 ，按下列公式求得该零件的倾斜度误差，即

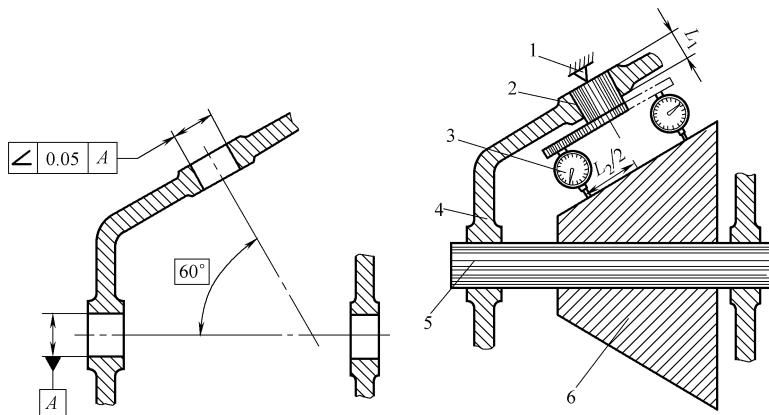


图 380 指示器法检测线对线倾斜度误差（二）

1—定位支承 2—被测心轴 3—指示器 4—被测
零件 5—基准心轴 6—定角锥体

$$f = \frac{L_1}{L_2} |M_1 - M_2|$$

式中 L_1 ——被测轴线长度（或给定长度）；

L_2 ——测量距离；

M_1 、 M_2 ——测量距离两端点处示值。

位置误差及其检测方法

174. 什么是位置误差？评定位置误差的基本原则是什么？

答：被测实际要素相对具有确定位置的理想要素的变动量，称为位置误差。该理想要素的位置是由基准和理论正确尺寸确定的。

位置误差根据所给定位置形式不同，分为以下三个项目（图 381）。

(1) 同轴度误差 是指被测实际轴线相对于基准轴线的变动量，被测轴线与基准轴线间理论正确尺寸为零（图 381a）。

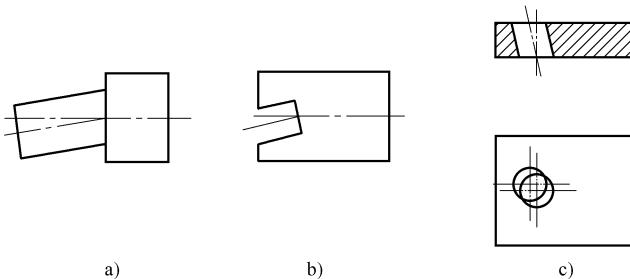


图 381 位置误差

(2) 对称度误差 是指被测实际中心要素相对于理想中心要素的变动量，该理想要素与基准中心要素共面，被测中心要素与基准中心要素间理论正确尺寸为零（图 381b）。

(3) 位置度误差 是指被测实际要素相对于基准和理论正确尺寸所确定的理想要素的变动量（图 381c）。

评定位置误差的基本原则是定位最小包容区域（简称定位最小区域），即位置误差值用最小区域的宽度或直径表示。



175. 什么是定位最小区域？怎样判别定位最小区域？

答：定位最小区域是指以基准和理论正确尺寸所确定的理想位置为中心，包容被测实际要素时，使其具有最小宽度 f 或直径 ϕf 的包容区域，如图 382 所示。

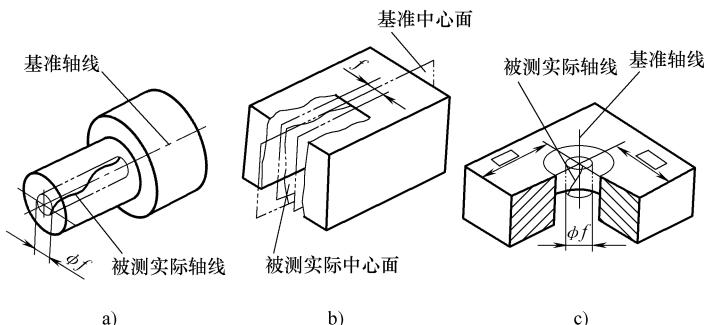


图 382 定位最小区域

根据位置公差要求特点，它是由基准和理论正确尺寸所确定的理想位置为依据，来评定其误差变动状况。故其最小区域应以理想位置为中心来判别。

(1) 同轴度误差定位最小区域(图 382a) 是以基准轴线为中心作一圆柱面，将被测实际轴线紧紧包容，该圆柱所包容的区域即为同轴度误差定位最小区域，其直径 ϕf 即为该被测实际轴线的同轴度误差值。

(2) 对称度误差定位最小区域(图 382b) 是以基准中心面为中心作两对称平行平面，将被测实际中心面紧紧包容，该两平行平面间的区域即为对称度误差定位最小区域，其宽度 f 即为该被测要素的对称度误差值。

(3) 位置度误差定位最小区域 是根据被测要素的几何特征和公差要求形式来确定。如评定一孔的轴线在任一方向上的误差(图 382c)，它是由基准和理论正确尺寸所确定的基准轴线为中心作一圆柱面，将被测实际轴线紧紧包容，使其直径为最小，



该圆柱面内的区域即为位置度误差定位最小区域，其直径 ϕf 即为该被测实际要素的位置度误差值。

综上所述，确定各项位置误差定位最小区域的判别法是：按相应的公差带形状，以基准为中心对称分布，将被测实际要素紧紧包容所形成的区域，即为其定位最小区域。

176. 怎样检测轴对轴的轴线间同轴度误差？

答：轴对轴的轴线间同轴度公差要求，是指被测要素与基准要素均为外圆表面轴线，其检测时均以其外圆表面体现基准要素和被测要素。常用检测方法有：

(1) 圆度仪法 用圆度仪测得两轴的实际轴线，通过数据处理求得其同轴度误差。

如图 383 所示，给出右端轴的轴线对基准轴线 A 的同轴度公差。检测时，将被测零件 2 放到圆度仪工作台上，通过圆度仪测杆 1 调整被测零件安放位置，使基准轴线与圆度仪回转轴线同轴。然后分别测量被测零件的基准要素和被测要素实际圆柱面上若干个横截面，并记录各横截面的轮廓图形。

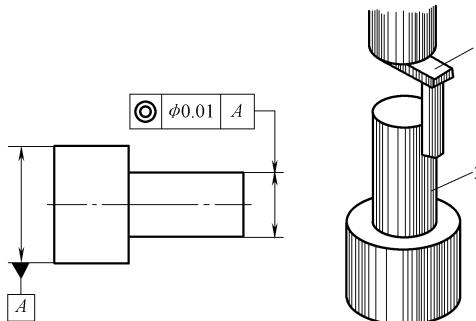


图 383 圆度仪法检测同轴度误差

1—圆度仪测杆 2—被测零件

根据各测量横截面测得的实际轮廓，找出各横截面的圆心，依次连接各圆心求得实际轴线。由基准实际轴线按最小条件要求



确定其基准轴线。然后求出被测要素各横截面的圆心到基准轴线的距离，取其中最大距离的两倍，作为该零件的同轴度误差。

按照零件的功能要求，也可对轴类零件用最小外接圆柱面（对孔类零件用最大内切圆柱面）的轴线，求出同轴度误差。

（2）指示器法 用指示器测得被测表面相对基准轴线的径向圆跳动量，求得同轴度误差。

如图 384 所示，给出右侧圆柱面轴线对基准轴线 B 的同轴度公差。检测时，将被测零件的基准圆柱面放在 V 形块 4 上，用以体现基准轴线。轴的一端由轴向支承 5 做轴向定位。使零件在 V 形槽内转动，用指示器 2 分别测量被测圆柱表面若干个截面上的径向圆跳动量，测得各截面上最大与最小示值之差，取其中最大差值作为该零件的同轴度误差。

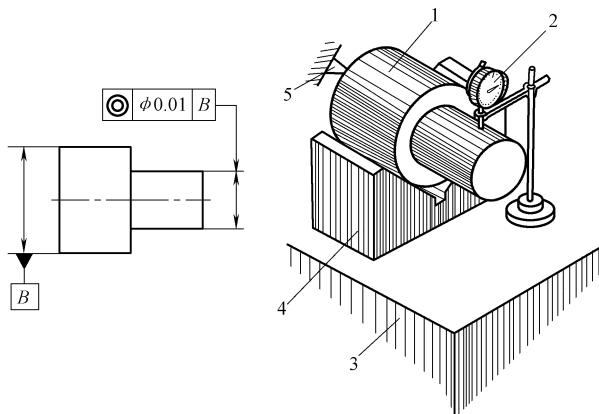


图 384 指示器法测量同轴度误差（一）

1—被测零件 2—指示器 3—平台 4—V形块 5—轴向支承

又如图 385 所示，以圆锥表面的轴线 B 作为基准要素，给出了同轴度公差。检测时，应先做一专用轴套 1，该轴套锥孔轴线与外圆柱面轴线具有较高的同轴度精度，将轴套内孔与基准圆锥面紧密配合，由此基准轴线 B 可由轴套外圆轴线来体现，即将轴套外圆柱面置于 V 形块上，按图 384 所示相同方法，测出该



零件的同轴度误差。

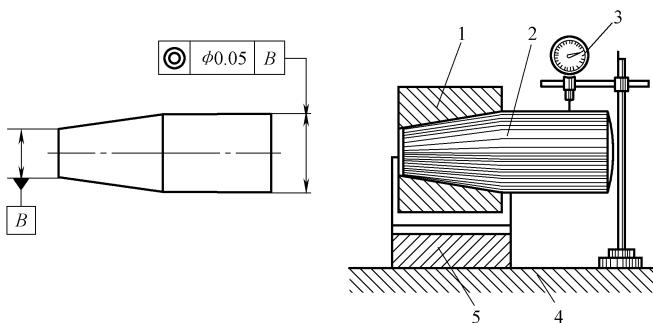


图 385 指示器法测量同轴度误差（二）

1—专用轴套 2—被测零件 3—指示器 4—平板 5—V形块

(3) 影像法 用测量显微镜测出被测要素外形轮廓相对基准轴线变动量，测得同轴度误差。如图 386 所示，给出右侧圆锥体轴线对左侧基准圆锥体轴线 B 的同轴度公差（图 386a）。测量时，将锥套 1 固定在回转轴上，把被测零件 2 的基准圆锥面装入

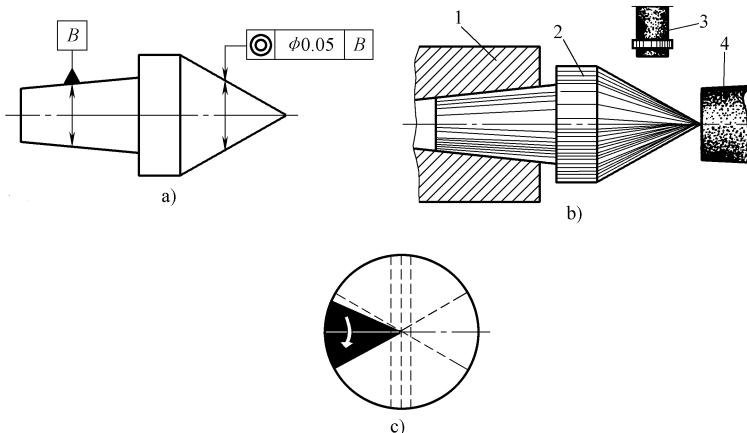


图 386 影像法检测同轴度误差

1—锥套 2—被测零件 3—显微镜 4—平顶尖



锥套内，使其紧密配合，并用平顶尖4做轴向定位（图386b）。然后将被测圆锥表面移至显微镜3下，使显微镜的米字线上一条线与被测要素的一素线重合（图386c）。转动被测零件，测得圆锥素线沿米字线径向变动量，取其中最大与最小变动量之差，作为该零件同轴度误差。

177. 怎样检测孔对孔的轴线间同轴度误差？

答：孔对孔的同轴度公差，是指基准要素和被测要素均为孔的轴线，其误差检测时通常以心轴来体现基准孔和被测孔的轴线。

如图387所示，给出被测零件上右端孔的轴线对左端孔的轴线同轴度公差。检测时，将被测零件2支承到平板6上。把基准心轴1和被测心轴4无间隙配合地插入被测零件上相应孔内，并调整被测零件使其基准轴线与平板工作面平行。

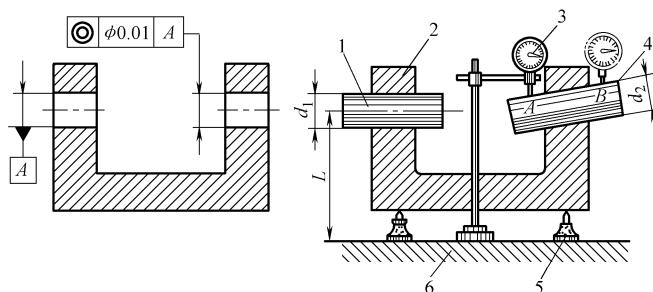


图387 孔对孔轴线同轴度误差检测

1—基准心轴 2—被测零件 3—指示器 4—被测心轴 5—支承 6—平板

首先测出两心轴的直径 d_1 、 d_2 ，并通过基准心轴上端素线到平板工作面的距离 $L+\frac{d_1}{2}$ ，求得其中心高 L 。按 $\left(L+\frac{d_2}{2}\right)$ 值为高度尺寸，调整指示器的零位。然后在被测孔端A、B两点测量，测得两点分别与高度 $\left(L+\frac{d_2}{2}\right)$ 的差值 f_{Ax} 和 f_{Bx} 。再把被测零件翻转



90°，按上述方法测得在垂直方向上的高度差值 f_{Ay} 和 f_{By} 。按下式分别求得A、B两测点处同轴度误差，即

$$A \text{ 点处同轴度误差: } f_A = 2\sqrt{(f_{Ax})^2 + (f_{Ay})^2}$$

$$B \text{ 点处同轴度误差: } f_B = 2\sqrt{(f_{Bx})^2 + (f_{By})^2}$$

取其中较大值作为该被测要素的同轴度误差。

当被测心轴与基准心轴直径相等时，即 $d_1=d_2$ ，可直接以基准心轴高度为准将指示器调至零位，以测量A、B两点示值 f_{Ax} 、 f_{Bx} 和 f_{Ay} 、 f_{By} ，按上式直接求得其同轴度误差值。

如测点不能取在孔端处，则同轴度误差可按比例折算。

当被测孔的直径较大，且距基准孔较近时，可采用直接法测得同轴度误差。如图388所示，给出被测零件上右侧孔轴线对左侧基准孔轴线B的同轴度公差。检测时，在基准孔内装入配合间隙很小的基准心轴1，在心轴伸向被测孔一端，用指示器固定架3固定杠杆千分表4。将杠杆千分表直接伸入被测孔内，使测头与被测孔表面接触，转动基准心轴带动杠杆千分表转动，其在一周期中所指示的最大与最小读数之差，即为该测量截面的同轴度误差。然后将基准心轴沿轴向移动，分别测得若干截面上的误差，取其中最大值作为该零件的同轴度误差。

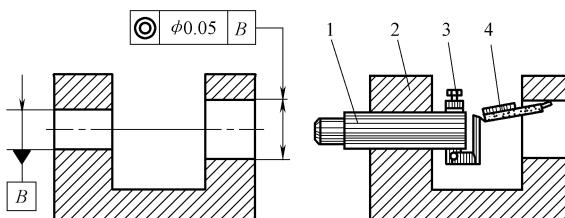


图388 直接法检测孔对孔同轴度误差

1—基准心轴 2—被测零件 3—指示器固定架 4—杠杆千分表

178. 怎样检测孔与轴的轴线间同轴度误差？

答：孔与轴的轴线同轴度误差可根据零件结构特点，分别采用以下方法进行检测。



(1) 指示器法 如图 389 所示, 给出零件的外圆轴线对基准孔轴线 B 的同轴度公差。在被测零件 2 基准孔内插入无间隙配合的心轴 3, 将心轴支撑在顶尖座 4 上, 以顶尖座中心模拟基准轴线, 然后按图 391 所示方法用指示器测得该零件同轴度误差(详见 179 题)。

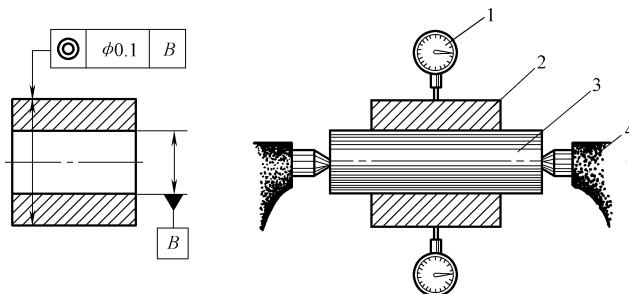


图 389 指示器法检测轴对孔的同轴度误差

1—指示器 2—被测零件 3—心轴 4—顶尖座

(2) 壁厚差法 用测量被测零件相对方向上壁厚尺寸, 求得同轴度误差。如图 390 所示, 给出零件外圆轴线对内孔基准轴线 B 的同轴度公差。检测时, 先用游标卡尺或千分尺直接测出内外圆之间最小壁厚 b , 然后测出相对方向的壁厚 a 。按下式求得该零件的同轴度误差, 即

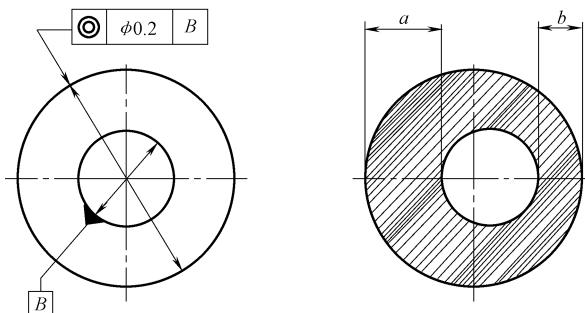


图 390 壁厚差法检测同轴度误差



$$f = a - b$$

此方法适用于测量形状误差较小的零件。

179. 怎样检测以公共轴线为基准的同轴度误差?

答: 当图样上给出以公共轴线作为基准时, 其误差检测必须用测量装置体现出公共基准轴线, 依此来评定其同轴度误差。

如图 391 所示, 给出台阶轴的中间轴线对两端 A、B 轴颈的公共基准轴线 “A—B” 的同轴度公差。检测时, 将被测零件两基准要素 A、B 轴颈的中截面分别放置在两个等高的刀口状 V 形块 3 上, 以 V 形块来体现公共基准轴线。将两指示器 1 分别在铅垂轴截面内, 相对于公共基准轴线对称地分别调零。

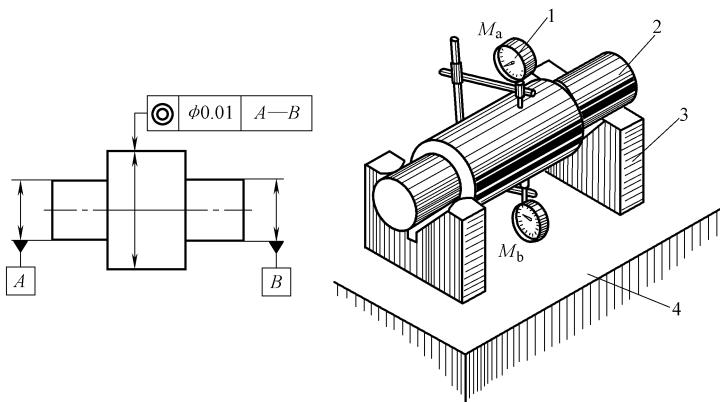


图 391 公共轴线为基准的同轴度误差检测

1—指示器 2—被测零件 3—刀口状 V 形块 4—平板

然后沿被测表面在轴向测量, 取指示器在垂直公共基准轴线的正截面上测得各对应点的示值差值 $|M_a - M_b|$, 作为该截面上的同轴度误差。

按上述方法在若干截面内测量, 取各截面测得的示值之差中的最大值(绝对值), 作为该零件的同轴度误差。此方法适用于测量形状误差较小的零件。

又如图 392 所示, 给出台阶轴中间轴线对两端中心孔公共轴



线“ $A-B$ ”的同轴度公差。检测时，将被测零件两端中心孔分别顶在等高顶尖3上，以顶尖中心线模拟公共基准轴线。然后用指示器1按图391所示方法，测出被测轴颈若干截面内同轴度误差，取其中最大值作为该零件的同轴度误差。

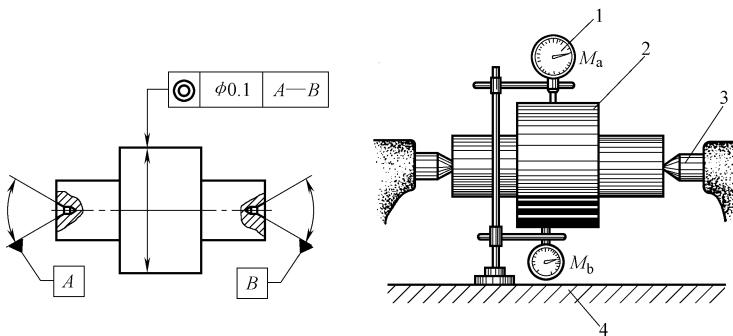


图 392 以中心孔公共轴线为基准同轴度误差检测

1—指示器 2—被测零件 3—顶尖 4—平板

180. 怎样用综合量规法检测同轴度误差？

答：当被测要素和基准要素都给出最大实体要求时，可采用综合量规法检测被测零件是否合格。

(1) 孔对孔同轴度误差综合量规检测法 如图393所示，给出两孔轴线同轴度公差，且两要素均给出最大实体要求。

检测前应先制作相应的综合量规。该量规基准端直径应为基准孔的最大实体尺寸；被测端的直径应为被测孔的实效尺寸，且两者间具有较高的同轴度精度。检测时，将综合量规插入被测零件内，若两段轴颈均能通过相应零件时，表示该零件合格，否则为不合格。

(2) 轴对孔同轴度误差综合量规检测法 如图394所示，给出零件外圆对中心孔轴线同轴度公差，且同时对基准要素和被测要素给出最大实体要求。

检测前应先制作综合量规。该量规中间销子的直径为基准孔的最大实体尺寸，量规孔的直径为被测外圆的实效尺寸。检测

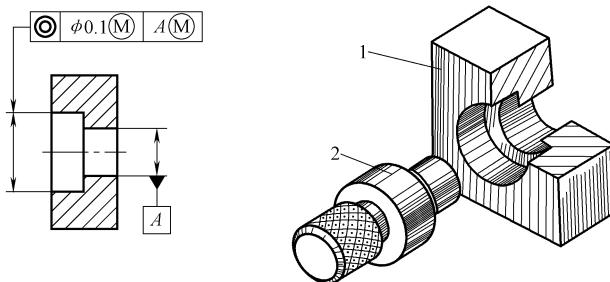


图 393 综合量规法检测孔对孔的同轴度误差

1—综合量规（塞规） 2—被测零件

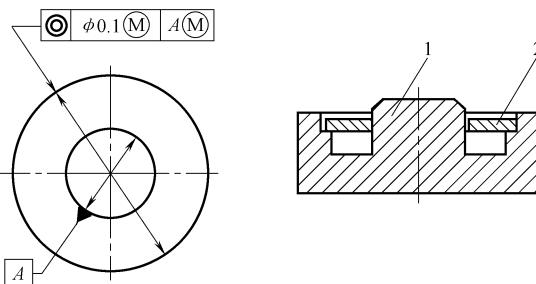


图 394 综合量规法检测轴对孔同轴度误差

1—综合量规 2—被测零件

时，将被测零件放入综合量规内，若其内外圆均能通过综合量规的销子和内孔，表示该零件合格，否则为不合格。

181. 怎样检测面对面的对称度误差？

答：检测面对面的对称度误差，通常采用平板工作面或定位块表面体现基准和被测表面，以测得其中心面，求出对称度误差。

如图 395 所示，给出零件的内槽中心面对上下两平面中心面的对称度公差。检测时，通过被测零件上下表面分别以平板 3 工作面定位体现基准中心面，即将基准的一侧表面先放到平板工作面上，以平板工作面为测量基准，按一定的测点位置测得表面 A 各测点示



值，然后将被测零件翻转 180° ，在平板上做第二次定位，测得 B 表面与 A 表面测点相对应各测点示值。取测量截面内对应两测点最大差值，作为该零件的对称度误差。

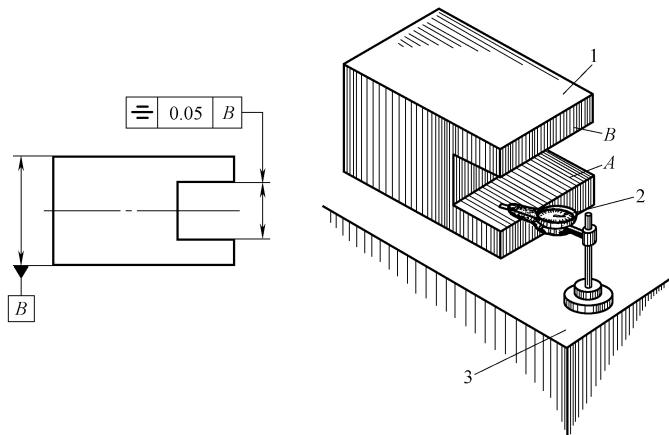


图 395 面对面的对称度误差检测

1—被测零件 2—杠杆千分表 3—平板

又如图 396 所示，给出零件上内槽中心面对上下两平面中心面对称度公差。检测时，将被测零件 5 放在两平板 1 和 4 之间，并在被测槽内装入定位块 3，以定位块模拟中心面。在被测零件

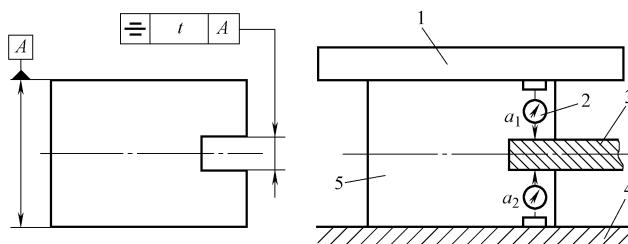


图 396 用定位块检测面对面对称度误差

1、4—平板 2—指示器 3—定位块 5—被测零件



的两侧分别测出定位块与上、下平板之间的距离 a_1 和 a_2 ，取测量截面内对应两测点最大差值，作为该零件的对称度误差。当定位块的长度大于被测要素的长度时，误差值应按比例进行折算。此方法适用于检测大型零件。

182. 怎样检测面对线的对称度误差？

答：零件上键槽的中心面对轴的轴线是面对线对称度公差要求的典型示例。如图 397 所示，给出键槽的中心面对轴的轴线对称度公差。检测时，将被测零件 1 放在 V 形块 5 上，基准轴线由 V 形块模拟，同时在被测槽内装入定位块 2，由定位块模拟被测中心面。以平板工作面作为测量基准，用指示器调整定位块在轴

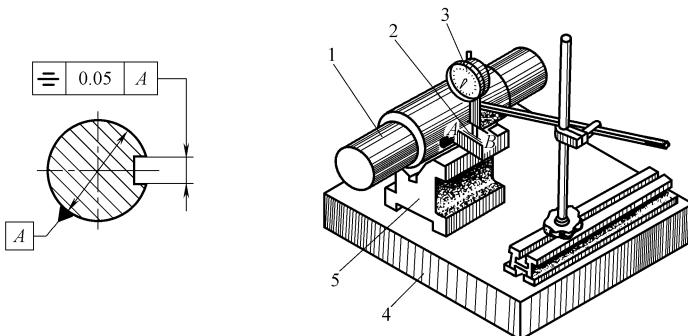


图 397 面对线的对称度误差检测

1—被测零件 2—定位块 3—指示器 4—平板 5—V 形块

向一端横截面上的素线 $A-B$ 与平板平行，并记录其示值。再将被测件转动 180° ，在同一截面处调整与测量基面平行，并记录其示值。由此可测得该测量截面处读数差 a ，根据定向最小区域概念，按下式求得该测量截面处对称度误差，即

$$f_{\text{截}} = \frac{ah}{d-h}$$

式中 a ——上、下两对应点读数差；

d ——轴的直径；

h ——键槽深度。



由于槽的中心面与轴线不平行，直接影响整个槽的对称度误差，故还应沿键槽长度的另一端按上述方法测得截面处读数差。由两测量截面处读数差之半 Δ_1 和 Δ_2 ，按下式求得该零件的对称度误差，即

$$f = \frac{2\Delta_2 h + d(\Delta_1 - \Delta_2)}{d-h}$$

式中 Δ_1 、 Δ_2 ——两测量面处读数差之半（以绝对值大者为 Δ_1 ，小者为 Δ_2 ）；
 d ——轴的直径；
 h ——键槽深度。

183. 怎样检测线对面的对称度误差？

答：线对面的对称度误差应根据零件结构选择以下检测方法。

(1) 壁厚差法 如图 398 所示，给出零件中间孔的轴线对上、下两表面基准中心面 A 的对称度公差。检测时，用卡尺直接测得 A、B 和 C、D 位置处壁厚，并分别求出 A 与 B、C 与 D 的壁厚差，取两个壁厚差中较大值，作为该零件的对称度误差。

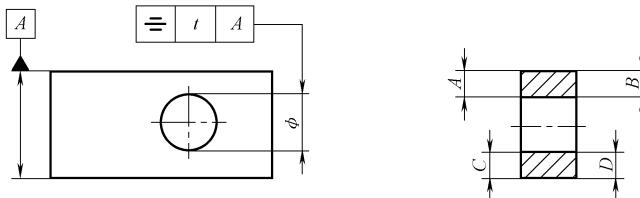


图 398 壁厚差法检测线对面的对称度误差

(2) 指示器法 如图 399 所示，给出零件中间孔的轴线对左右两槽的公共中心面的对称度公差。检测时，将被测零件 1 支承在平板 6 上，并在左右两槽内分别装入定位块 4，由定位块模拟公共基准中心平面。在被测孔内插入无间隙配合的心轴 2，由心轴模拟被测轴线。

先调整公共基准中心平面与平板工作面平行，方法是公共基

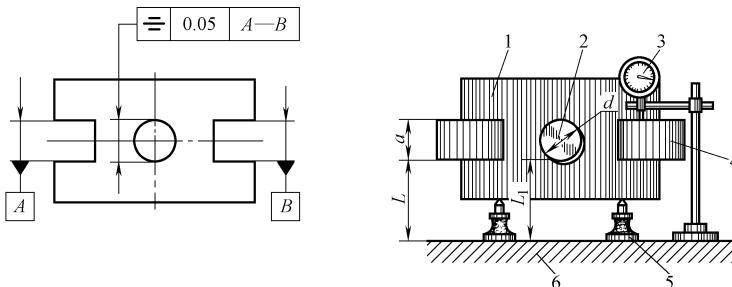


图 399 指示器法检测线对面对的对称度误差

1—被测零件 2—心轴 3—指示器 4—定位块 5—支承 6—平板

准中心平面，由槽深 $1/2$ 处的槽宽中点确定。按此位置先调整一端定位块，使其两侧示值相等（即调至与测量基面等高）。然后再调另一端定位块，使其两侧示值与调水平一端的定位块示值差（绝对值）相等。该位置即为公共基准中心平面平行于平板工作面的测量位置。

测量位置确定后，再分别测出定位块和心轴至平板工作面间的距离 L 和 L_1 。然后根据定位块的厚度 a ，求得公共基准中心平面到平板的高度 $H=L+\frac{a}{2}$ ；根据心轴的直径 d ，求得心轴中心到平板的高度 $H_1=L_1+\frac{d}{2}$ 。由此可求得被测轴线对公共基准中心平面的变动量。其中被测心轴到平板的距离 L_1 ，应从心轴两端进行测量，再分别求得对公共基准中心平面的变动量，取其中最大变动量的两倍，作为该零件的对称度误差，即 $f=2|H-H_1|$ 。

测量心轴时的位置应尽量靠近零件表面，否则应根据两边测量距离，将测量结果按比例折算，求得被测长度的对称度误差。

184. 怎样用综合量规法检测对称度误差？

答：当图样上给出的对称度公差，其基准要素与被测要素均给出最大实体要求时，该对称度误差可采用综合量规法进行检测。



如图 400 所示, 给出零件中间孔的轴线对两侧槽的中心平面“ $A-B$ ”的对称度公差。

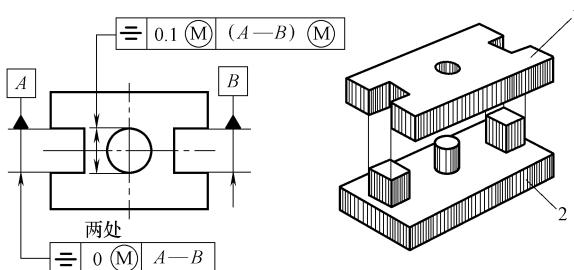


图 400 综合量规法检测对称度误差

1—被测零件 2—综合量规

采用综合量规法检测时, 应先根据图样要求制作综合量规 2, 该量规为一与被测零件相配合的偶件, 其上两个定位块的宽度为基准槽的最大实体尺寸, 中间圆柱销的直径为被测孔的实效尺寸。

检测时, 将被测零件放到综合量规上, 只要综合量规能通过被测零件, 表示该零件对称度误差合格, 否则为不合格。

185. 怎样检测点的位置度误差?

答: 点的位置度公差要求通常是指零件上球心相对三基面体系位置精度要求, 其误差检测时应以三基面体系为准, 测得其位置变动量。

如图 401 所示, 给出 $S\phi 20mm$ 的球心对 $\phi 25mm$ 圆柱面轴线 A 和凸肩基准面 B 的位置度公差。检测时, 先将被测零件 4 装到回转定心夹头 5 上, 以回转定心夹头回转中心模拟基准轴线 A , 其上端平面模拟基准平面 B 。然后选择适当直径的钢球 2 放到被测球面内, 以钢球球心模拟被测球面的中心。再用水平放置的指示器 3 与钢球球心剖面外形相接触, 使被测零件绕回转定心夹头中心回转一周, 由径向指示器测得最大与最小示值, 两示值之差的一半, 即为被测球心相对基准轴线 A 的径向误差 f_x 。

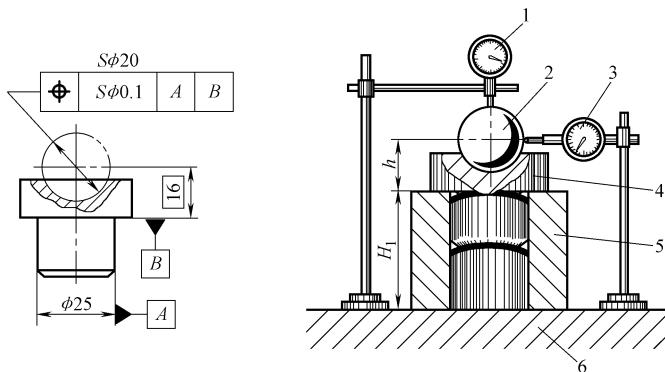


图 401 点的位置度误差检测

1—指示器 2—钢球 3—指示器 4—被测零件
5—回转定心夹头 6—平板

再用垂直放置的指示器 1, 测得球心相对于基准 B 的轴向变动量 f_x 。方法是按下式先求出测量高度 H , 即

$$H = H_1 + h - \frac{D}{2} + d$$

式中 H —测量高度 (指示器调零理想高度);

H_1 —回转定心夹头高度;

h —零件上球面球心到基准 B 的距离;

D —零件上球面直径;

d —测量用钢球的实际直径。

按计算所得测量高度 H 将指示器调零。用调好零位的指示器测量钢球 2 顶点高度, 此时指示器上的示值即为被测球心轴向变动量 f_y 。

根据所测得的 f_x 和 f_y , 按下式求得零件的位置度误差, 即

$$f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

186. 怎样检测线的位置度误差?

答: 线的位置度误差通常是根据所给定的基准定位, 建立起三基面体系, 通过沿两相互垂直方向上进行测量, 经计算求得被



测轴线的实际位置，分别与相应的理论正确尺寸比较，求得其位置度误差。

如图 402 所示，给出 $\phi 20H7$ 孔的轴线相对基准 A 、 B 和 C 所构成的三基面体系位置度公差。检测时，分别采用方箱 1、直角尺 5 和平板 6 工作面模拟 A 、 B 、 C 三个基准平面，构成三基面体系。

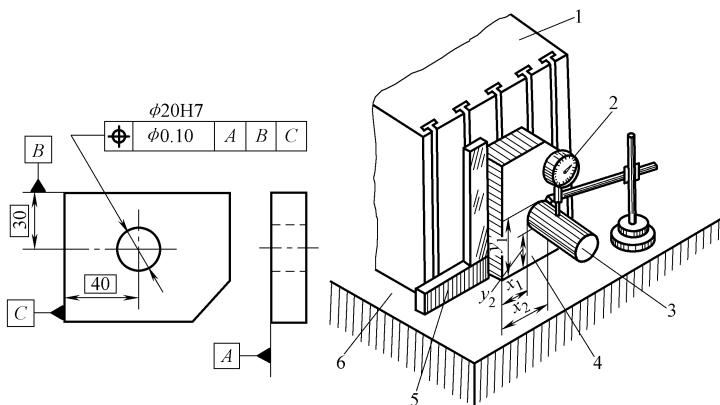


图 402 线的位置度误差检测

1—方箱 2—指示器 3—心轴 4—被测零件 5—直角尺 6—平板

首先将被测零件的第一基准表面 A 与方箱 1 的垂直平面紧密贴合，再用直角尺 5 找正第二基准表面 B ，使其与平板 6 保持垂直，最后使第三基准表面 C 与平板工作面保持接触，将被测零件固定。然后在被测孔内插入无间隙配合的心轴 3。根据图样上给定的孔的轴线位置理论正确尺寸和心轴直径尺寸，求出心轴上端素线到平板工作面距离的理论正确尺寸，调整指示器零位。用调好零位的指示器 2 测量靠近零件板面处心轴上端素线，根据测得示值可确定被测孔上端点坐标尺寸 y_1 。将方箱翻转不同位置，按上述方法分别测得被测孔到各基准面的坐标值 x_1 、 x_2 和 y_2 。根据上述坐标值，按下式分别计算出被测孔外端面处圆心坐标尺寸 x 、 y ，即



$$X \text{ 方向坐标尺寸: } x = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$Y \text{ 方向坐标尺寸: } y = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

将 x 、 y 值分别与相应的理论正确尺寸比较, 求得两垂直方向上的位置变动量 f_x 、 f_y , 即

$$f_x = x - [x]$$

$$f_y = y - [y]$$

按下式求出该测量位置处任意方向上的位置度误差 f , 即

$$f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

然后把零件翻转, 对其背面按上述方法重复测量, 求出该测量位置的误差值。取其中误差值较大者作为该零件的位置度误差。

187. 怎样检测多孔孔组的位置度误差?

答: 对于多孔孔组, 则可按 186 题所述方法逐孔测量和计算, 取其中最大值作为该零件的位置度误差。

如图 403 所示, 给出 $4 \times \phi 10\text{mm}$ 孔组对基准平面 A 、 B 、 C 的位置度公差。检测时, 按 186 题所述方法逐孔进行测量, 分别测得各孔 x_1 、 x_2 、 y_1 、 y_2 尺寸, 由此求得各孔轴线实际坐标尺寸

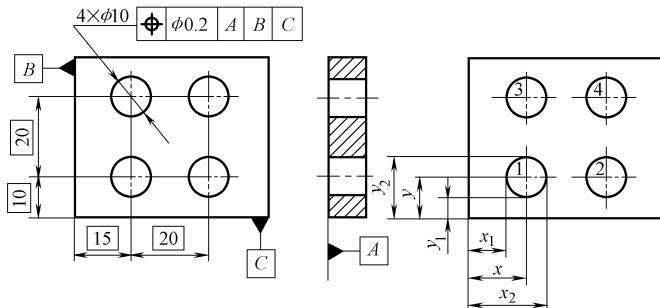


图 403 多孔孔组位置度误差检测



x 、 y ，将其列入表 39 内，同时将各自相应的理论值一并填入。

按公式 $f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ 进行换算求得各孔轴线位置度误差。

表 39 多孔孔组轴线位置度误差检测表

(单位：mm)

孔号	x 向			y 向			位置度误差 $f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$
	测量值 x	理论值 $[x]$	偏差 f_x	测量值 y	理论值 $[y]$	偏差 f_y	
1	14.95	15	-0.05	10.02	10	0.02	0.108
2	35.03	35	0.03	9.94	10	-0.06	0.134
3	15.03	15	0.03	29.96	30	-0.04	0.100
4	35.08	35	0.08	30.07	30	0.07	0.213

生产中换算位置度误差极为不便，为简化计算工作，可按 f_x 和 f_y 不同数值的组合列出换算表，见表 40。生产中可根据所测得的 f_x 、 f_y 的数值，直接由表 40 中查得相应的位置度误差值。如图 403b 所示孔 1 的 $f_x = -0.05\text{mm}$, $f_y = 0.02\text{mm}$ （见表 39）。此时可将表 40 内数值单位均改为 0.01mm ，可由表中横向 f_x 一栏内查得 5，纵向 f_y 一栏内查得 2，两者对应中心格内查得 10.8，则该孔的位置度误差为 $f = 0.108\text{mm}$ 。

应用换算表时应注意下列事项。

1) 表中给出单位为 μm （微米），选用时 f_x 、 f_y 和 f 均应取同一单位。

2) f_x 和 f_y 均取其绝对值，不考虑正负号。

上述位置度误差也可用换算图求得，如图 404 所示，绘出直角坐标，两垂直方向分别为 f_x 和 f_y 。图中又以坐标原点为圆心，相应的直角坐标值为半径，画出一系列同心圆。

使用时，将测量求得的 f_x 和 f_y 值，在直角坐标上找出相应的位置，该位置所对应圆的直径即为其位置度误差。以表 39 中第 3 点为例，该孔 $f_x = 0.03\text{mm}$ 、 $f_y = -0.04\text{mm}$ ，从换算图上找出相应坐标位置点 A (0.03, -0.04)，由图中看出，该点位于误

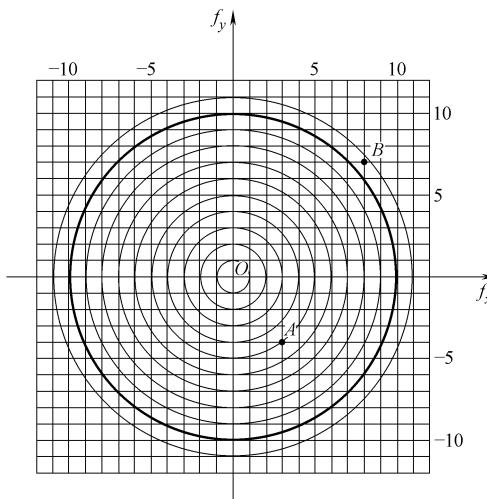


图 404 位置度误差换算图

差圆 $\phi 10$ 上，其误差值即为 0.100mm 。

生产中用换算图进行位置误差判别，通常只要求确定零件是否合格，而不需要确定其误差值。因此在换算图上只需按给定的公差绘出圆形公差带范围，如图 403 所示零件上孔的位置度公差为 $\phi 0.2\text{mm}$ ，故可在坐标图上只绘出直径为 0.2mm 的公差带圆。检测时，只需按测得的 f_x 和 f_y 找出相应点的坐标位置，该坐标点在公差带圆范围内即为合格，否则为不合格。如表 39 中 4 号孔，其 $f_x = 0.08\text{mm}$ 、 $f_y = 0.07\text{mm}$ ，在坐标图上位置为 B 点，其位于公差带圆之外，故该孔位置度误差不合格。

188. 怎样检测以极坐标标注的位置度误差？

答：如图 405 所示，给出 $6 \times D_1$ 多孔组相对基准平面 A 和中间孔基准轴线 B 位置度公差，六孔沿基准轴线均匀分布（图 405a）。

检测时，将基准心轴 3 无间隙配合地装入基准孔 B 中，同时装到分度装置上，调整被测零件 4 使基准轴线与分度装置回转轴线同轴。在被测孔内无间隙配合装入被测心轴 2，以该心轴模拟被测轴线（图 405b）。

表 40 坐标位置偏差 f_x 、 f_y

f_x f_y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.8	4.5	6.3	8.2	10.2	12.2	14.1	16.1	18.1	20.1
2	4.5	5.6	7.2	8.9	10.8	12.6	14.6	16.5	18.4	20.4
3	6.3	7.2	8.5	10.0	11.7	13.4	15.2	17.1	19.0	20.9
4	8.2	8.9	10.0	11.3	12.8	14.4	16.1	17.9	19.7	21.5
5	10.2	10.8	11.7	12.8	14.1	15.6	17.2	18.9	20.6	22.4
6	12.2	12.8	13.4	14.4	15.6	17.6	18.4	20.0	21.6	23.3
7	14.1	14.6	15.2	18.1	17.2	18.4	19.8	21.3	22.8	24.4
8	16.1	16.5	17.1	17.9	18.9	20.0	21.3	22.6	24.1	25.6
9	18.1	18.4	19.0	19.7	20.6	21.6	22.8	24.1	25.5	26.9
10	20.1	20.4	20.9	21.5	22.4	23.3	24.4	25.6	26.9	28.3
11	22.1	22.4	22.8	23.4	24.2	25.0	26.1	27.2	28.4	29.7
12	24.1	24.3	24.7	25.3	26.0	26.8	27.8	28.8	30.0	31.2
13	26.1	26.3	26.7	27.2	27.8	28.6	29.5	30.5	31.6	32.8
14	28.1	28.3	28.8	29.1	29.7	30.5	31.3	32.2	33.3	34.4
15	30.1	30.3	30.6	31.0	31.6	32.3	33.1	34.0	35.0	36.0
16	32.1	32.2	32.5	33.0	33.5	34.2	34.9	35.8	36.7	37.7
17	34.0	34.2	34.5	34.9	35.4	36.0	36.8	37.6	38.5	39.4
18	36.0	36.2	36.5	36.9	37.4	37.9	38.6	39.4	40.2	41.2
19	38.0	38.2	38.5	38.8	39.3	39.8	40.5	41.2	42.0	42.9
20	40.6	40.2	40.4	40.8	41.2	41.8	42.4	43.1	43.9	44.7

说明：表中的 f_x 、 f_y 值如需以 0.01mm 或 0.1mm 分段，只需将表中数值除以 10

与位置度误差 f 换算表(单位: μm)

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
22.1	24.1	26.1	28.1	30.1	32.1	34.0	36.0	38.0	40.0
22.4	24.3	26.3	28.3	30.3	32.2	34.2	36.2	38.2	40.2
22.8	24.7	26.7	28.6	30.6	32.5	34.5	36.5	38.5	40.4
23.4	25.3	27.2	29.1	31.0	33.0	34.9	36.9	38.8	40.8
24.2	26.0	27.8	29.7	31.6	33.5	35.4	37.4	39.3	41.2
25.0	26.8	28.6	30.5	32.3	34.2	36.0	37.9	39.8	41.8
26.1	27.8	29.5	31.3	33.1	34.9	36.8	38.6	40.5	42.4
27.2	28.8	30.5	32.2	34.0	35.8	37.6	39.4	41.2	43.1
28.4	30.0	31.6	33.3	35.0	36.7	38.5	40.2	42.0	43.9
29.7	31.2	32.8	34.4	36.0	37.7	39.4	41.2	42.9	44.7
31.1	32.5	34.0	35.6	37.2	38.8	40.5	42.2	43.9	45.7
32.5	33.9	35.4	36.9	38.4	40.0	41.6	43.3	44.9	46.8
34.0	35.4	36.8	38.2	39.7	41.2	42.8	44.4	46.0	47.7
35.6	36.9	38.2	39.6	41.0	42.5	44.0	45.6	47.2	48.8
37.2	38.4	39.7	41.0	42.4	43.9	45.6	46.9	48.4	50.0
38.8	40.0	41.2	42.5	43.9	45.2	46.7	48.2	49.7	51.2
40.5	41.6	42.8	44.0	45.3	46.7	48.1	49.5	51.0	52.5
42.2	43.3	44.4	45.6	46.9	48.2	49.5	50.9	52.3	53.8
43.9	44.9	46.0	47.2	48.4	49.7	51.0	52.3	53.7	55.2
45.7	48.6	47.7	48.8	50.0	51.2	52.5	53.6	55.2	56.6

或 100 即可。

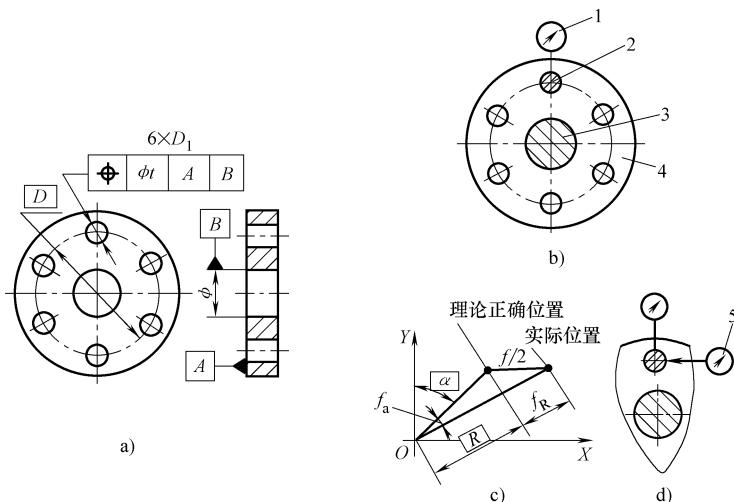


图 405 极坐标标注的位置度误差检测

1—指示器 2—被测心轴 3—基准心轴 4—被测零件 5—指示器

然后任选一孔，以其中心做角向定位，测出各孔的径向误差 f_R 和角度误差 f_a （取弧度值，图405c）。按下式求得各孔位置度误差，即

$$f = 2\sqrt{f_R^2 + (Rf_a)^2}$$

式中， f_R 是根据各被测孔中心到基准孔中心的理论正确尺寸 $\boxed{D}/2$ 与被测心轴半径之和作为零位，由指示器1沿径向测得变动量。 f_a 则是由一孔为基准定位，各孔轴线相对理论正确角度 60° （图中可省略不标注）由分度装置测得。

该零件也可用两指示器分别测出各孔径向误差 f_y 和切向误差 f_x （图405d），按公式 $f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ 求得位置度误差。

必要时位置度误差可用定位最小区域法求出。

当被测轴线较长时，应同时测量被测轴线的两端，并取其中较大值，作为该要素的位置度误差。



189. 怎样检测面的位置度误差?

答：如图 406 所示，给出零件左侧 80° 斜面对基准轴线 B 和基准平面 A 位置度公差。

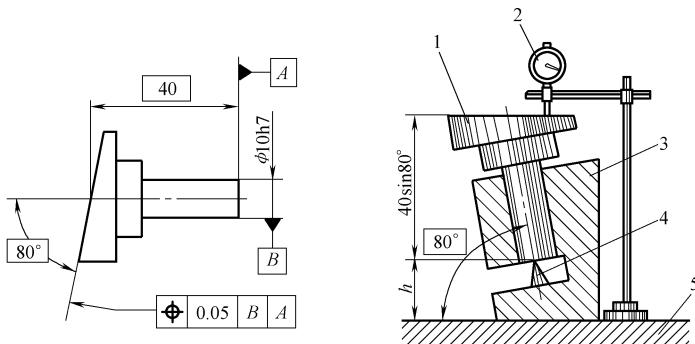


图 406 面的位置度误差检测

1—被测零件 2—指示器 3—专用支架 4—支承 5—平板

检测前先制作专用支架 3，其上座孔与基准圆柱面紧密配合，且其轴线与底平面间具有正确的 80° 夹角。

检测时，将被测零件 1 放入专用支架的座孔内，末端用支承 4 做轴向定位。调整被测零件的测量位置，方法是转动被测零件，直至使指示器 2 在整个被测表面上的示值差为最小，此即为被测零件测量位置。

按下式计算被测表面到平板工作面间的理论距离，即

$$H = h + 40 \sin 80^\circ$$

式中 H ——测量高度 (mm)；

h ——轴向支承高度 (mm)；

$40 \sin 80^\circ$ ——基准表面 A 的中心至被测表面距离。

按上式求得的测量高度 H 调整指示器零位。用调好零位的指示器测量整个被测表面，将指示器示值的最大值 (绝对值) 乘以 2，作为该零件的位置度误差。



190. 怎样用综合量规法检测位置度误差?

答: 当图样上给出的位置度公差为最大实体要求时, 该零件的位置度误差可采用综合量规法进行检测, 以判定其是否合格。

如图 407 所示, 给出四孔组各孔轴线对基准平面 A、B、C 的位置度公差, 且被测要素给出最大实体要求。

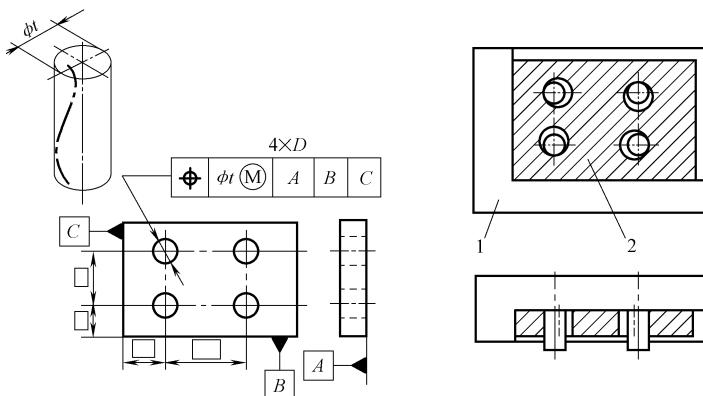


图 407 综合量规法检测位置度误差

1—综合量规 2—被测零件

检测前, 先制作与基准要素和被测要素相配合的综合量规 1, 该量规与各被测孔相配合的量规销直径为被测孔的实效尺寸, 量规各销的位置与被测孔的理想位置相同。

检测时, 将被测零件按相应位置放到综合量规上, 量规上的量规销均应通过被测各孔, 且与被测零件的基准面相接触, 即表示该零件位置度误差合格, 否则为不合格。

又如图 408 所示, 以极坐标给出四孔组对基准平面 A 和中间孔的基准轴线 B 位置度公差, 且被测要素与基准要素 B 给出最大实体要求。

检验该零件用综合量规, 其中间基准定位销的直径等于基准孔 B 的实效尺寸, 各被测孔圆柱销尺寸等于其实效尺寸, 各销的位置与被测孔的理想位置相同。

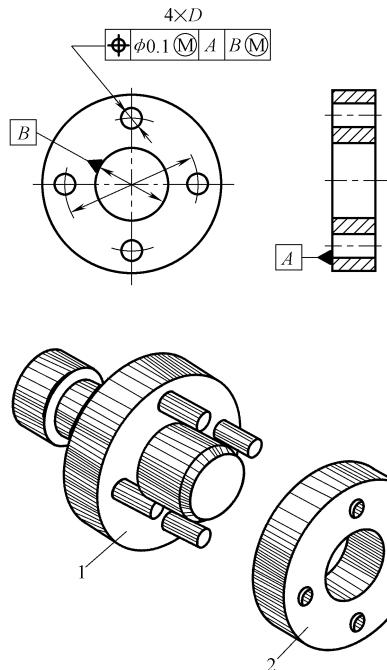


图 408 综合量规法检测极坐标位置度误差

1—综合量规 2—被测零件

检测时，将综合量规插入被测零件内，综合量规上所有销均能通过，基准表面 A 与综合量规端面紧密贴合，表示该零件位置度误差合格，否则为不合格。

用综合量规法检测零件的位置度误差，能够直接体现零件的装配关系，保证互换性要求，还能保证零件的功能要求，而且操作方便，检测效率高。因此，广泛应用于成批大量生产中。

跳动误差及其检测方法

191. 什么是跳动误差？跳动误差的检测原则是什么？

答：被测实际要素绕基准轴线做无轴向移动回转时，指示器在给定方向上测得的最大与最小示值之差，称为跳动误差。

跳动误差按其测量要求不同可分为：

1) 圆跳动误差（图 409）。被测实际要素绕基准轴线做无轴向移动回转一周时，由位置固定的指示器，在给定方向上测得的最大与最小示值之差。

根据所给定的测量方向不同，圆跳动又可分为径向圆跳动（图 409a）（测量方向垂直于基准轴线）、轴向圆跳动（图 409b）（测量方向平行于基准轴线）、斜向圆跳动（图 409c）（测量方向与基准轴线成某一给定角度）。

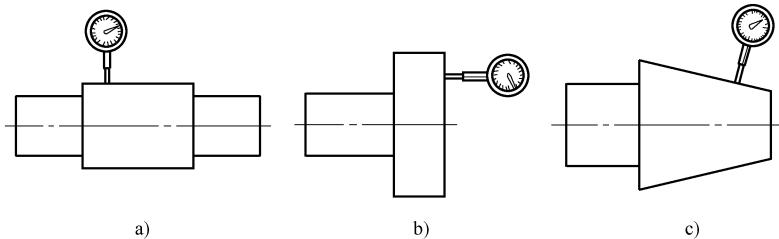


图 409 圆跳动误差

2) 全跳动误差（图 410）。被测实际要素绕基准轴线做无轴向移动的回转，同时指示器沿给定方向的理想直线连续移动（或使被测实际要素每回转一周，指示器沿给定方向的理想直线做间断移动），由指示器在给定方向上测得的最大与最小示值之差。

根据所给定的测量方向不同，全跳动又可分为径向全跳动和

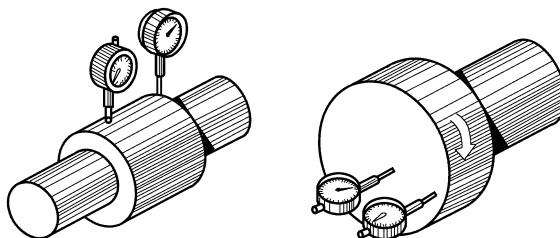


图 410 全跳动误差

轴向全跳动。

跳动误差这一项目本身就是根据测量跳动原则定义的，因此，它的测量方法与误差定义是一致的，给生产中误差检测带来极大方便，不需要再用最小区域的概念进行评定。为保证检测结果的准确，检测时应遵守以下原则。

- 1) 测量时被测要素必须绕基准轴线回转。
- 2) 检测圆跳动误差时，应在给定测量面内对被测要素进行测量。被测零件不得产生轴向移动。
- 3) 检测全跳动误差时，应在指示器沿理想素线移动过程中，对被测要素进行测量。该理想素线是指相对于基准轴线为理想位置的直线，即径向全跳动为平行于基准轴线的直线，轴向全跳动为垂直于基准轴线的直线。

192. 怎样检测外圆表面径向圆跳动误差？

答：如图 411 所示，给出右侧圆柱外圆表面对基准轴线 A 圆跳动公差。检测时，将被测零件 1 的基准圆柱面放到 V 形块 3 上，以 V 形面模拟基准轴线，并沿轴向用支承定位。将指示器 2 移至测量面上（即最大示值位置处），然后使被测零件在 V 形槽内旋转一周，指示器上最大与最小示值之差，即为该单个测量平面上的径向圆跳动误差。

按上述方法在若干个截面上进行测量，取各截面上测得的跳动量中最大值，作为该零件的径向圆跳动误差。

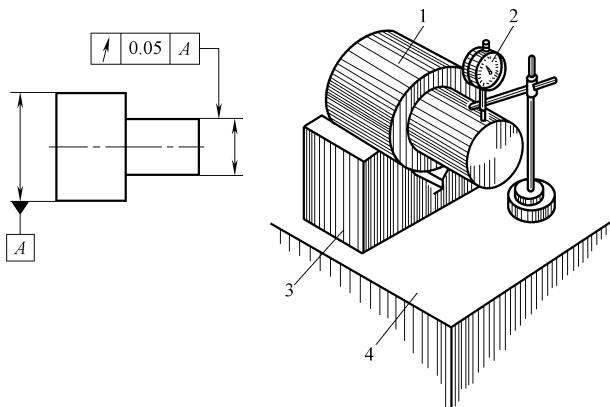


图 411 外圆表面径向圆跳动误差检测
1—被测零件 2—指示器 3—V形块 4—平板

又如图 412 所示, 给出零件中间圆柱表面对公共基准轴线 “A—B” 圆跳动公差。

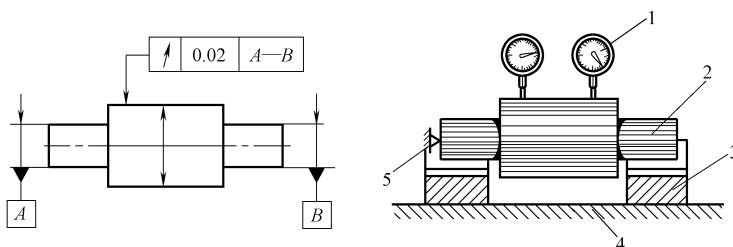


图 412 公共轴线为基准径向圆跳动误差检测
1—指示器 2—被测零件 3—V形块 4—平板 5—支承

检测时, 将两基准圆柱面分别支承在两 V 形块 3 上, 由 V 形块模拟公共基准轴线, 并在轴向用支承 5 做轴向定位。然后按上述测量方法, 测得被测表面若干个测量截面的跳动误差, 取其中最大值作为该零件的径向圆跳动误差。



193. 怎样检测内孔表面径向圆跳动误差?

答: 如图 413 所示, 给出零件右侧内孔表面对左侧孔的轴线径向圆跳动公差。

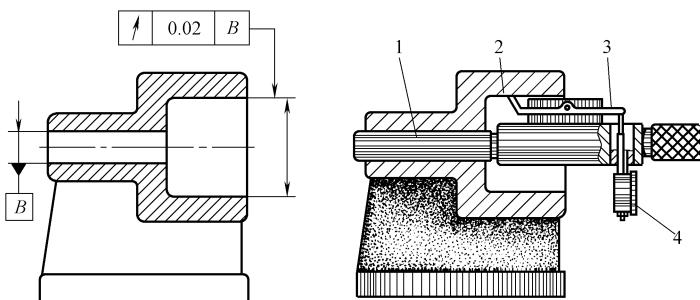


图 413 内孔表面径向圆跳动误差检测

1—心轴 2—被测零件 3—杠杆 4—指示器

检测时, 先制作专用检测心轴 1, 心轴的一端与基准孔紧密配合, 另一端固定一杠杆测量装置。该装置由铰接在轴上的杠杆 3 和固定在轴上的指示器 4 构成。杠杆的一端与被测表面接触, 另一端与指示器测量头相接触, 两触点臂长比为 1:1。

将心轴固定一轴向位置后转动一周, 指示器上最大与最小示值之差, 即为该测量截面的径向圆跳动误差。使心轴沿轴向移动, 按上述方法测量若干个截面, 取各截面上测得的跳动量中最大值作为该零件的径向圆跳动误差。

194. 怎样检测内、外圆柱面间径向圆跳动误差?

答: 检测内、外圆柱表面之间的径向圆跳动误差时, 若给定以内孔轴线为基准, 基准轴线通常采用心轴来体现; 若给定以外圆柱面轴线为基准, 则采用 V 形槽来体现。

如图 414 所示, 给出外圆表面对孔的轴线径向圆跳动公差。将被测零件 2 固定在心轴 1 上, 同时安装在两顶尖座 5 之间 (或 V 形块上)。在被测零件回转一周过程中, 指示器示值最大差值即为单个测量平面上的径向圆跳动误差。

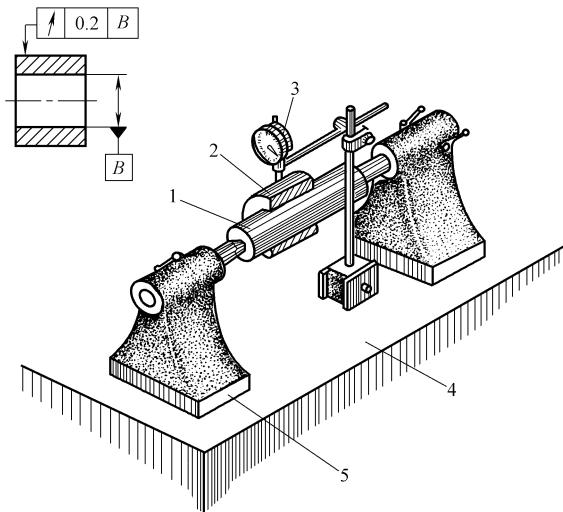


图 414 外圆表面对孔的轴线径向圆跳动误差检测
1—心轴 2—被测零件 3—指示器 4—平板 5—顶尖座

按上述方法，测量若干个截面，取各截面上测得的跳动量中的最大值，作为该零件的径向圆跳动误差。

又如图 415 所示，给出内孔表面对外圆轴线的径向圆跳动公

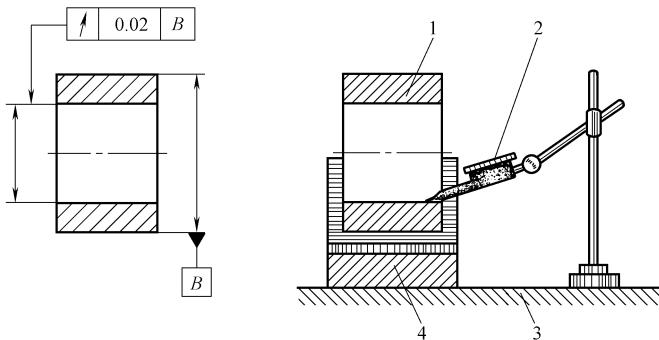


图 415 内孔表面对外圆轴线径向圆跳动误差检测
1—被测零件 2—杠杆千分表 3—平板 4—V形块



差。检测时，将零件的基准外圆表面放在 V 形块 4 上，调整杠杆千分表 2 的固定位置。然后使被测零件 1 在 V 形槽内无轴向移动地回转一周，杠杆千分表上测得最大与最小示值之差，即为单个测量截面上的径向圆跳动误差。再沿被测孔轴向移动杠杆千分表，按上述方法，测量若干截面，取各截面上测得的跳动量中的最大值，作为该零件的径向圆跳动误差。

当图样上给出以两中心孔的公共轴线为基准的径向圆跳动公差时，应采用顶尖座中心模拟基准，检测其径向圆跳动误差。如图 416 所示，给出零件上中间圆柱面对两中心孔公共基准轴线径向圆跳动公差。检测时，直接将被测零件上两中心孔支承到顶尖座 1 上，然后用指示器测得若干个截面上的径向圆跳动误差，取其中最大值作为该零件的径向圆跳动误差。

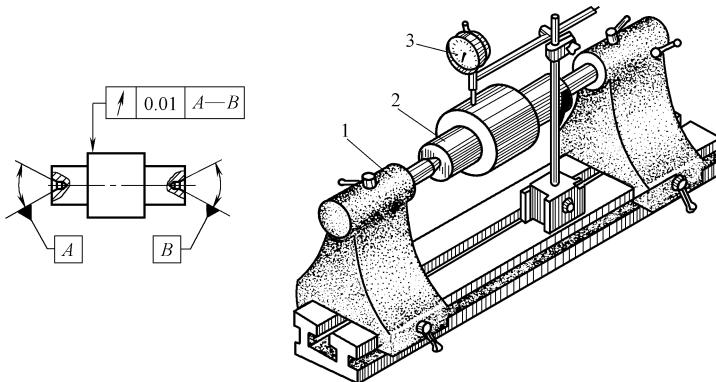


图 416 外圆表面对中心孔公共基准轴线圆跳动误差检测

1—顶尖座 2—被测零件 3—指示器

195. 怎样检测轴向圆跳动误差？

答：检测轴向圆跳动误差时，若以外圆柱面轴线为基准，通常是以 V 形块模拟基准轴线；若以孔的轴线为基准，则是用定位心轴模拟基准轴线。

如图 417 所示，给出零件的左端面对基准轴线 B 的轴向圆跳



动公差。检测时，将被测零件3支承在V形块5上，并在轴端用支承4做轴向定位。把指示器水平放置，使测量杆沿平行于零件轴线的方向与被测零件接触。然后使被测零件在V形槽内回转一周，由指示器测得最大与最小示值之差，即为单个测量圆柱面上的轴向圆跳动误差。

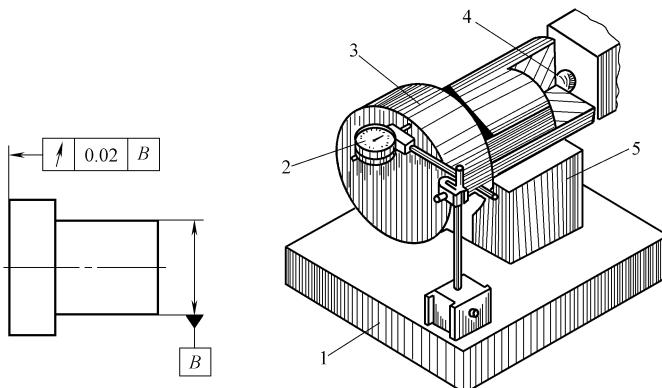


图 417 外圆轴线为基准轴向圆跳动误差检测
1—平板 2—指示器 3—被测零件 4—支承 5—V形块

将指示器沿被测端面径向移动，分别测得若干个测量圆柱面上的轴向圆跳动误差，取其中最大值作为该零件的轴向圆跳动误差。

又如图 418 所示，给出零件的右端面对基准孔的轴线 A 轴向圆跳动公差。检测时，将被测零件 1 固定在心轴 3 上，并支承到顶尖座 4 上，使指示器 2 测量杆沿平行于基准轴线的方向上与被测零件接触。转动心轴，带动被测零件回转一周，指示器上测得最大与最小示值之差，即为单个测量圆柱面上的轴向圆跳动误差。

将指示器沿被测端面径向移动，测得若干个测量圆柱面上的轴向圆跳动误差，取其中最大值作为该零件的轴向圆跳动误差。

196. 怎样检测斜向圆跳动误差？

答：斜向圆跳动公差是指图样上给定方向上的跳动量允许变

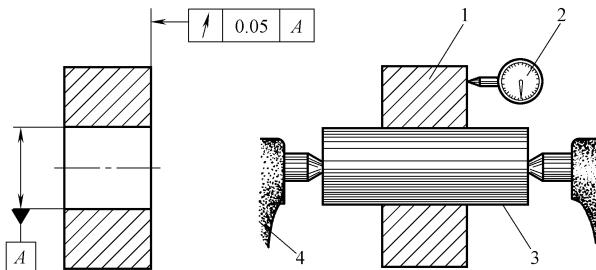


图 418 孔的轴线为基准轴向圆跳动误差检测

1—被测零件 2—指示器 3—心轴 4—顶尖座

动范围。因此，斜向圆跳动误差的检测方向应是图样上给定的方向。

如图 419 所示，给出被测圆锥表面对基准轴线 B 的斜向圆跳动公差，其给定方向为垂直于圆锥表面素线的方向。检测时，将被测零件 1 基准轴固定在导向套筒 3 内，并在轴向用支承 4 定位。使指示器 2 沿垂直于被测圆锥表面的素线方向接触。将被测零件沿导向套筒轴线回转一周，指示器上测得最大与最小示值之差，即为该测量圆锥面上的斜向圆跳动误差。

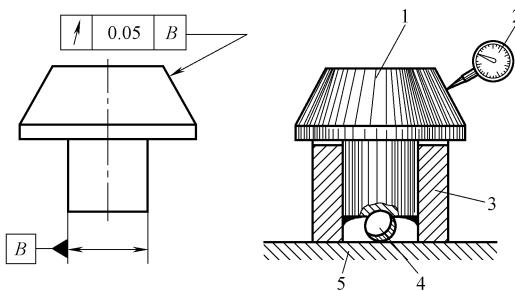


图 419 斜向圆跳动误差检测

1—被测零件 2—指示器 3—导向套筒 4—支承 5—平板

将指示器沿被测表面素线方向移动不同位置，分别测得若干个测量面上的跳动误差，取其中最大值作为该零件的斜向圆跳动误差。



197. 怎样检测径向全跳动误差?

答：径向全跳动误差是指被测零件回转过程中，指示器沿平行于基准轴线的理想素线移动时，在被测表面整个范围内的径向圆跳动量。因此，检测径向全跳动误差，应首先确定理想素线的方向。生产中通常采用平板或量仪表面作为模拟素线。

如图 420 所示，给出中间圆柱表面对两端圆柱面的公共基准轴线“ $A-B$ ”的径向全跳动公差。检测时，将被测零件 2 的两端基准圆柱面放到两等高的 V 形块 3 上，调整两基准圆柱面等高，使公共基准轴线与平板 4 的工作面平行。然后将指示器与被测圆柱面上端素线接触，使被测零件做连续回转，同时让指示器沿基准轴线方向做直线运动。在整个测量过程中，指示器示值最大差值，即为该零件的径向全跳动误差。

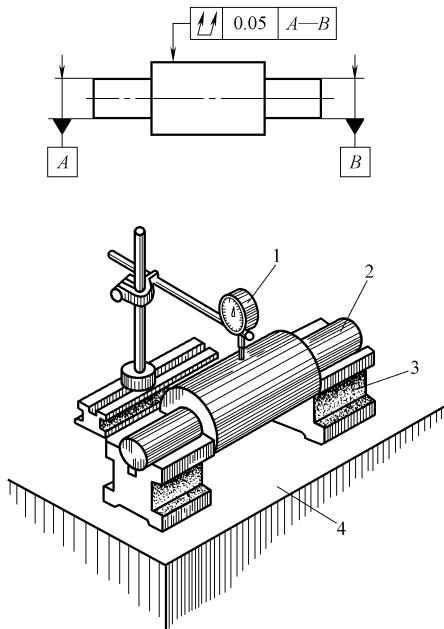


图 420 径向全跳动误差检测

1—指示器 2—被测零件 3—V形块 4—平板



198. 怎样检测轴向全跳动误差?

答：检测轴向全跳动误差也必须先确定理想素线方向，该方向应与基准轴线垂直，生产中也采用平板或量仪工作面作为模拟素线进行测量。

如图 421 所示，给出零件的上表面对基准轴线 B 的轴向全跳动公差。检测时，将被测零件 1 的基准圆柱面插入导向套筒 5 内，两者呈紧密配合，并使基准轴线垂直于平板工作面，在被测零件轴向用支承 4 做轴向定位，由平板工作面模拟理想素线方向。

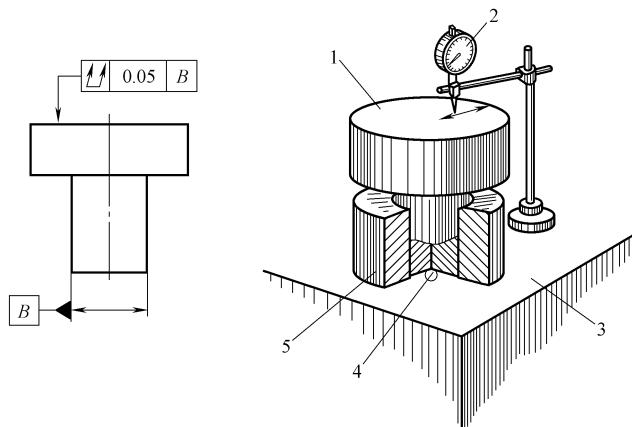


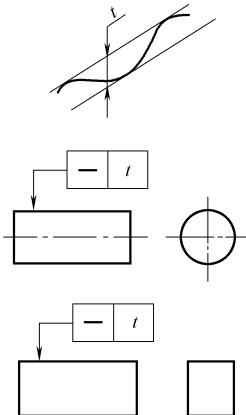
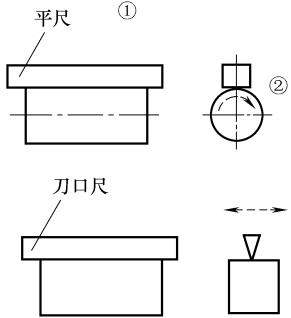
图 421 轴向全跳动误差检测

1—被测零件 2—指示器 3—平板 4—支承 5—导向套筒

在被测零件连续回转过程中，指示器沿其径向做直线移动。在整个测量过程中，指示器测得的最大与最小示值之差，即为该零件的轴向全跳动误差。

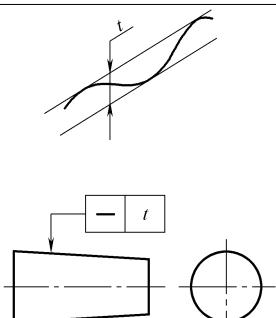
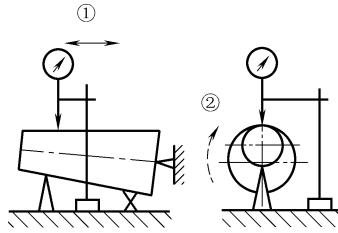
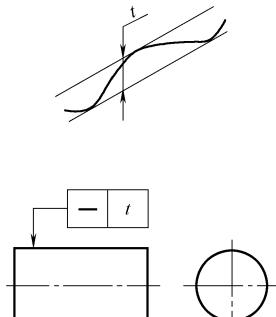
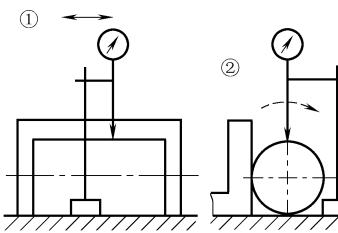
附录 几何误差检测方案 (GB/T 1958—2004)

一、直线度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			平尺(或刀口尺), 塞尺	<p>① 将平尺(或刀口尺)与被测素线直线接触, 并使两者之间的最大间隙为最小, 此时的最大间隙即为该条被测素线的直线度误差, 误差的大小应根据光隙测定。当光隙较小时, 可按标准光隙来估读; 当光隙较大时, 则可用塞尺测量</p> <p>② 按上述方法测量若干条素线, 取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差</p>



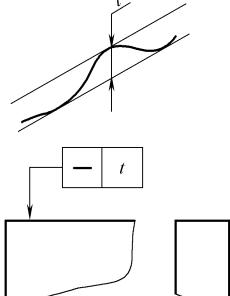
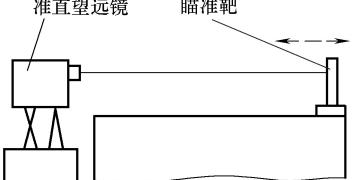
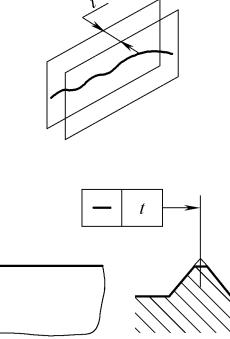
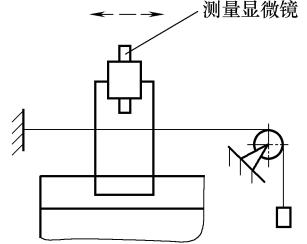
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-2			平板, 固定和可调支承, 带指示器的测量架	<p>将被测素线的两端点调整到与平板等高</p> <p>① 在被测素线的全长范围内测量, 同时记录读数。根据记录的读数用计算法(或图解法)按最小条件(也可按两端点连线法)计算直线度误差</p> <p>② 按上述方法测量若干条素线, 取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差</p>
1-3			平板, 直角座, 带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在平板上, 并使其紧靠直角座</p> <p>① 在被测素线的全长范围内测量, 同时记录读数。根据记录的读数, 用计算法(或图解法)按最小条件(也可按两端点连线法)计算直线度误差</p> <p>② 按上述方法测量若干条素线, 取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差</p>



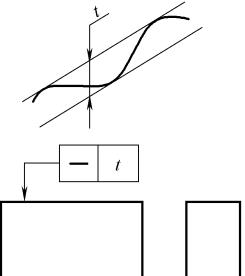
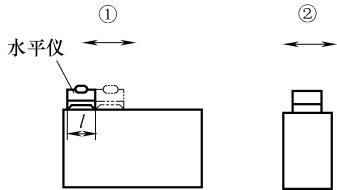
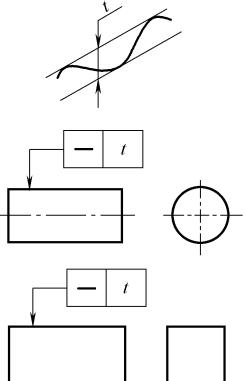
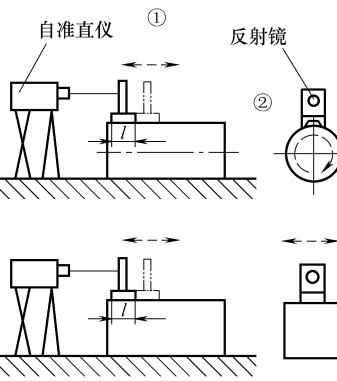
(续)

• 416.

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-4			准直望远镜，瞄准靶，固定和可调支承	<p>将瞄准靶放在被测素线的两端，调整准直望远镜，使两端点读数相等</p> <p>将瞄准靶沿被测素线等距移动，同时记录垂直方向上的读数</p> <p>用计算法（或图解法）按最小条件（也可按两端点连线法）计算直线度误差</p>
1-5			优质钢丝，测量显微镜（或接触式测量仪）	<p>调整测量钢丝的两端，使两端点的读数相等。测量显微镜在被测线的全长内等距测量，同时记录读数</p> <p>根据记录的读数用计算法（或图解法）按最小条件（也可按两端点连线法）计算直线度误差</p>



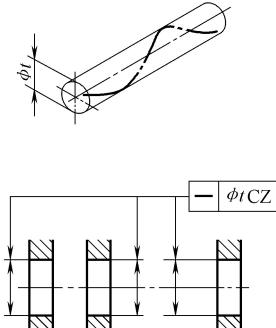
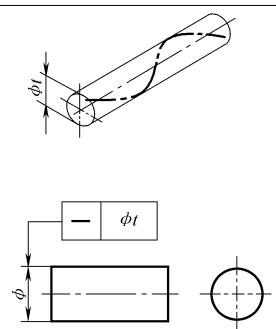
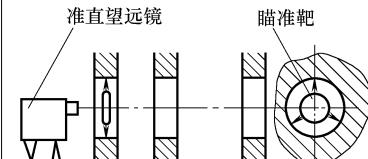
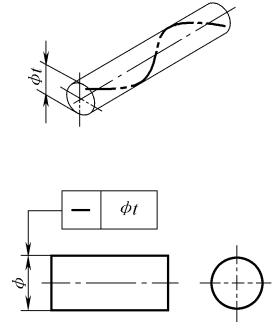
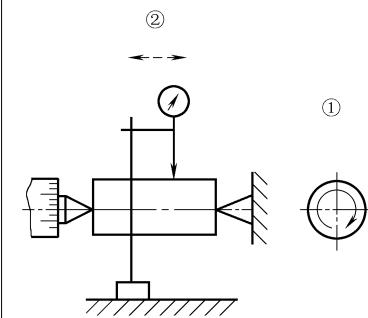
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-6			水平仪, 桥板	<p>将被测零件调整到水平位置。</p> <p>① 水平仪按节距 l 沿被测素线移动, 同时记录水平仪的读数; 根据记录的读数用计算法(或图解法)按最小条件(也可按两端点连线法)计算该条素线的直线度误差</p> <p>② 按上述方法, 测量若干条素线, 取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差</p> <p>此方法适用于测量较大的零件</p>
1-7			自准直仪, 反射镜, 桥板	<p>将反射镜放在被测零件的两端, 调整自准直仪使其光轴与两端点连线平行</p> <p>① 反射镜按节距 l 沿被测零件素线移动, 同时记录垂直方向上的示值。根据记录的示值用计算法(或图解法)按最小条件(也可按两端点连线法)计算该条素线的直线度误差</p> <p>② 按上述方法测量若干条素线, 取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差</p>



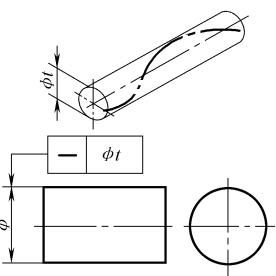
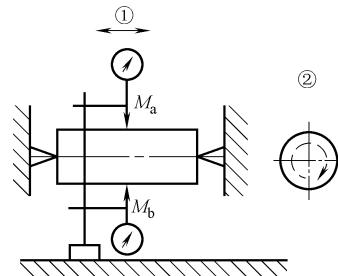
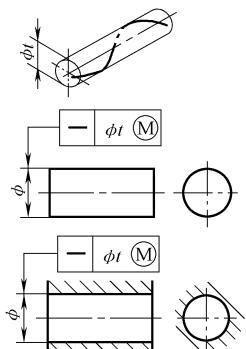
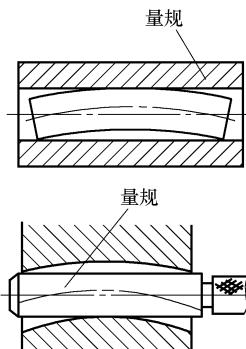
(续)

• 418 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-8	 		准直望远镜 瞄准靶	<p>将瞄准靶放在前端两孔中，调整准直望远镜使其光轴与两端孔的中心连线同轴</p> <p>将瞄准靶分别放在被测零件的各孔中，同时记录水平和垂直方向的示值，然后用计算法（或图解法）得到被测零件的提取轴线，再按最小条件（也可按两端点连线法）求解直线度误差</p> <p>此方法适用于测量大型的孔类零件</p>
3-1	 		精密分度装置，带指示器的测量架	<p>将被测零件安装在精密分度装置的顶尖上</p> <p>① 将被测零件转动一周，测得一个横截面上的半径差，同时绘制极坐标图并求出该轮廓的中心点</p> <p>② 按上述方法测量若干个横截面，连接各横截面的中心点得到被测零件的提取轴线，通过数据处理求其直线度误差</p> <p>此方法也可在圆度仪上应用</p>



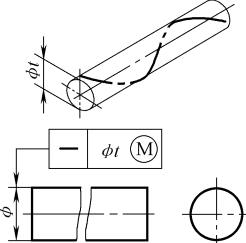
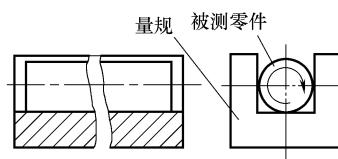
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-2			平板, 顶尖架, 带指示器的测量架	<p>将被测零件安装在平行于平板的两顶尖之间</p> <p>① 沿铅垂轴截面的两条素线测量, 同时分别记录两指示器在各自测点的读数 M_a, M_b; 取各测点读数差之半(即 $\frac{M_a - M_b}{2}$)中的最大差值作为该截面轴线的直线度误差</p> <p>② 按上述方法测量若干个截面, 取其中最大的误差值作为该被测零件轴线的直线度误差</p>
5-1			综合量规	综合量规的直径等于被测零件的实效尺寸, 综合量规必须通过被测零件

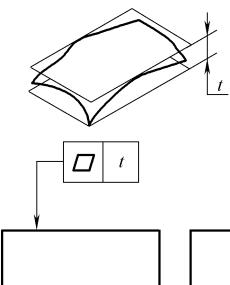
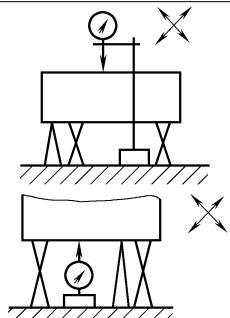


(续)

• 420 •

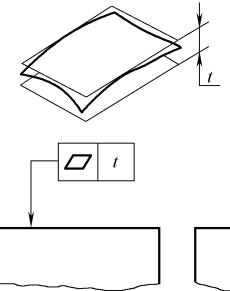
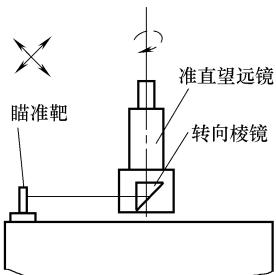
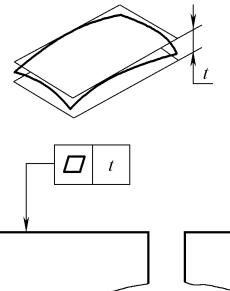
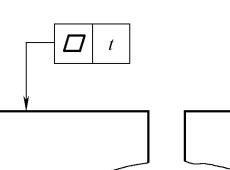
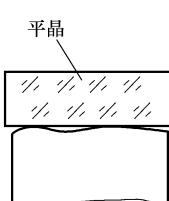
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
5-2			槽形综合量规	<p>被测零件必须能在宽度等于被测零件实效尺寸的槽形综合量规内滚动。但此方法忽略了可能在不同方向同时存在直线度误差所造成的综合影响 此方法适用于检验细长零件</p>

二、平面度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			平板, 带指示器的测量架, 固定和可调支承	<p>将被测零件支承在平板上, 调整被测表面最远三点, 使其与平板等高 按一定的布点测量被测表面, 同时记录示值 一般可用指示器最大与最小示值的差值近似地作为平面度误差。必要时, 可根据记录的示值用计算法(或图解法)按最小条件计算平面度误差</p>

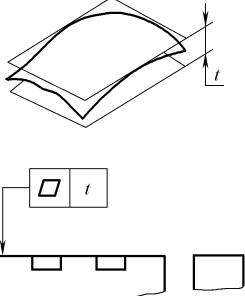
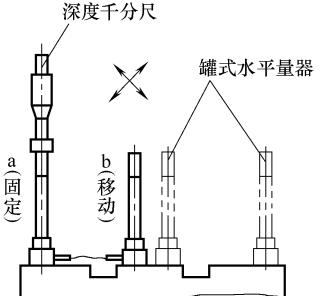
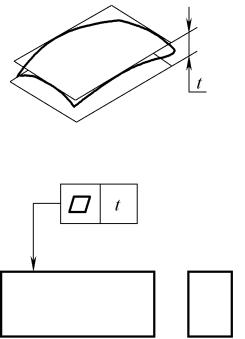
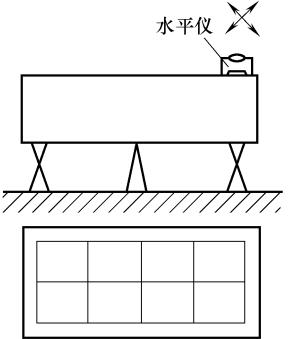


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-2	 		装有转向棱镜的准直望远镜，瞄准靶	<p>将准直望远镜和瞄准靶放在被测表面上，按三点法调整望远镜，使其回转轴线垂直于由三点构成的平面</p> <p>将瞄准靶放在若干位置测量被测表面，同时记录示值</p> <p>一般可用示值的最大差值近似地作为平面度误差。必要时，可根据记录的示值用计算法(或图解法)按最小条件计算平面度误差</p> <p>此方法适用于测量大平面</p>
1-3	 		平晶	<p>平晶贴在被测表面上，观察干涉条纹</p> <p>被测表面的平面度误差为封闭的干涉条纹数乘以光波波长之半，对不封闭的干涉条纹，为条纹的弯曲度与相邻两条纹间距之比再乘以光波波长之半</p> <p>此方法适用于测量高精度的小平面</p>

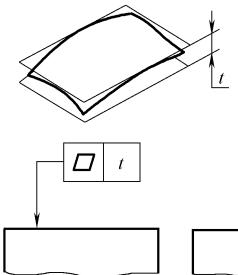
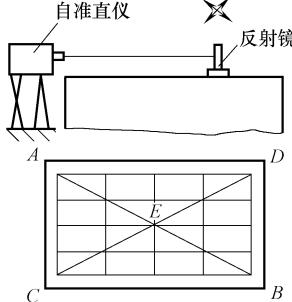


(续)

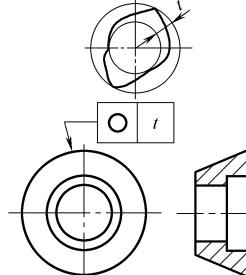
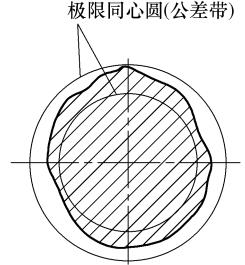
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-4			罐式水平量器, 深度千分尺	<p>两个罐式水平量器 a 和 b 用管道连通, 并放在被测表面上。先取罐式水平量器 a,b 在同一位置的示值作零位, 然后固定罐式水平量器 a, 再按一定的布点移动罐式水平量器 b, 同时将示值乘以 2 (即实际差值) 后, 记录在图表上。根据图表记录的数据, 用计算法(或图解法)按最小条件(也可按对角线法)计算平面度误差 此方法适用于测量大平面 </p>
1-5			平板, 水平仪, 桥板, 固定和可调支承	<p>将被测表面调水平。用水平仪按一定的布点和方向逐点地测量被测表面, 同时记录示值, 并换算成线值 根据各线值用计算法(或图解法)按最小条件(也可按对角线法)计算平面度误差</p>



(续)

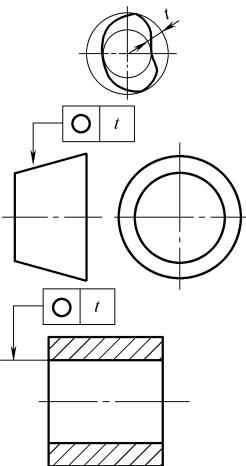
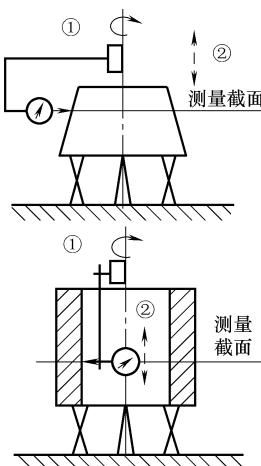
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-6			自准直仪, 反射镜, 桥板	<p>将反射镜放在被测表面上, 并把自准直仪调整至与被测表面平行。沿对角线AB按一定布点测量。</p> <p>重复用上述方法分别测量另一条对角线CD和被测表面上其他各直线上的各布点。</p> <p>把各点示值换算成线值, 记录在图表上, 通过中心点E, 建立参考平面。用计算法(或图解法)按对角线法计算平面度误差。</p> <p>必要时应按最小条件计算平面度误差。</p>

三、圆度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			投影仪(或其他类似量仪)	<p>将被测要素轮廓的投影与极限同心圆比较。此方法适用于测量具有刃口形边缘的小型零件。</p>

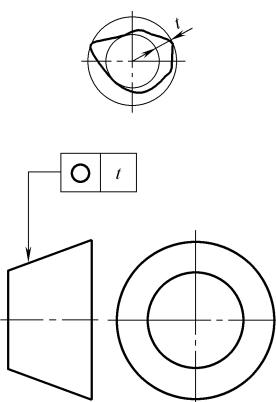


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
1-2			圆度仪(或类似量仪)	<p>将被测零件放置在量仪上，同时调整被测零件的轴线，使它与量仪的回(旋)转轴线同轴</p> <p>①记录被测零件在回转一周过程中测量截面上各点的半径差 由极坐标图(或用电子计算机)按最小条件[也可按最小二乘圆中心或最小外接圆中心(只适用于外表面)或最大内接圆中心(只适用于内表面)]计算该截面的圆度误差</p> <p>②按上述方法测量若干截面，取其中最大的误差值作为该零件的圆度误差</p>



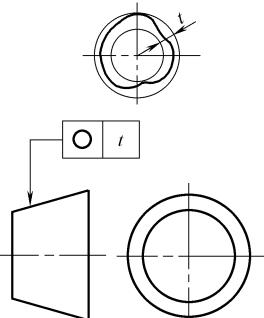
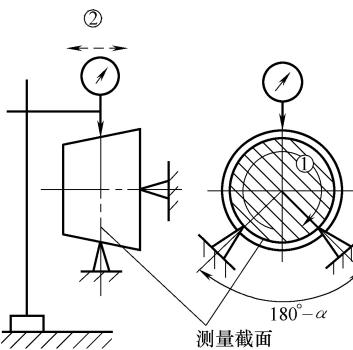
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-1			坐标测量装置或带电子计算机的测量显微镜	<p>将被测零件放在量仪上,同时调整被测零件的轴线,使它平行于坐标轴Z</p> <p>①按一定布点测出在同一测量截面内的各点坐标值x, y 用电子计算机按最小条件(也可按最小二乘圆中心)计算该截面的圆度误差</p> <p>②按上述方法测量若干截面,取其中最大的误差值作为该零件的圆度误差 此方法适用于测量内外表面</p>



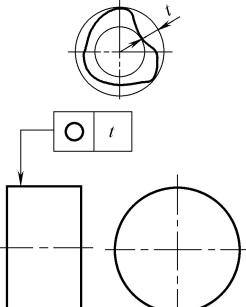
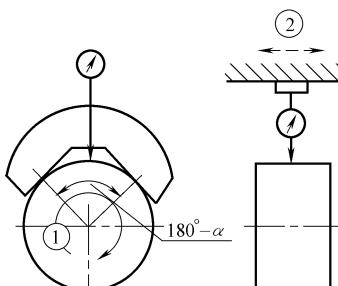
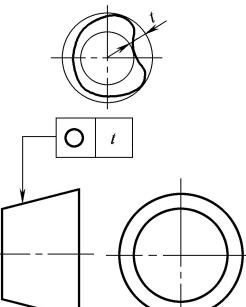
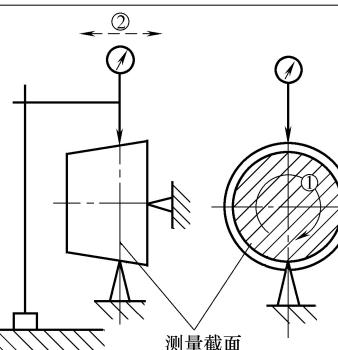
(续)

· 426 ·

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-1			平板, 带指示器的测量架, V形块, 固定和可调支承	<p>将被测零件放在V形块上,使其轴线垂直于测量截面,同时固定轴向位置</p> <p>①在被测零件回转一周过程中,指示器示值的最大差值与反映系数K之商,作为单个截面的圆度误差</p> <p>②按上述方法测量若干个截面,取其中最大的误差值作为该零件的圆度误差</p> <p>此方法测量结果的可靠性取决于截面形状误差和V形块夹角的综合效果。常以夹角$\alpha=90^\circ$和120°或72°和108°两块V形块分别测量</p> <p>此方法适用于测量内外表面的奇数棱形状误差。使用时可以转动被测零件,也可转动量具</p>

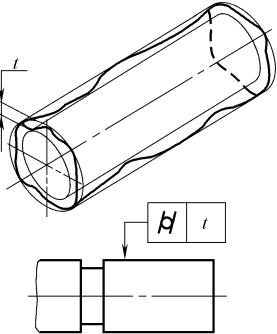
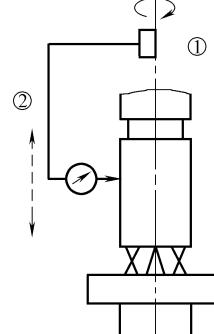
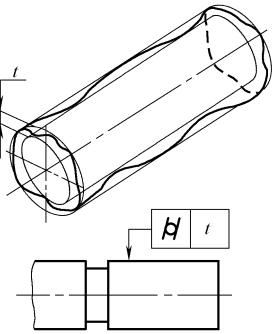
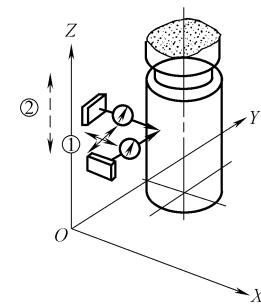


(续)

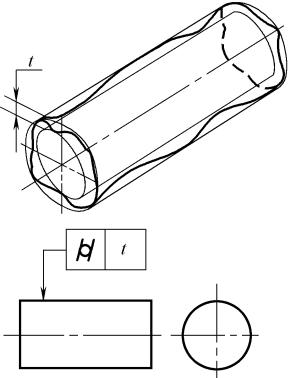
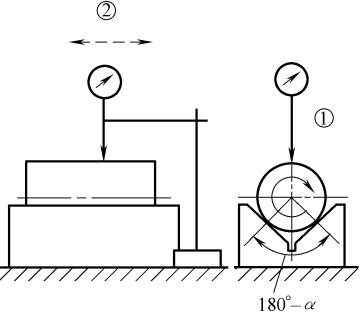
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-2			指示器, 鞍式V形座	<p>被测零件的轴线应垂直于测量截面 其余与圆度误差检测 3-1 的说明相同</p>
3-3			平板, 带指示器的测量架, 支承或千分尺	<p>被测零件轴线应垂直于测量截面, 同时固定轴向位置 ① 在被测零件回转一周过程中, 指示器读数的最大差值之半作为单个截面的圆度误差 ② 按上述方法, 测量若干个截面, 取其中最大的误差值作为该零件的圆度误差 此方法适用于测量内外表面的偶数棱形状误差(奇数棱形状误差采用三点法测量, 见圆度误差检测 3-1 和 3-2)。测量时可以转动被测零件, 也可转动量具</p>



四、圆柱度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			圆度仪(或其他类似仪器)	<p>将被测零件的轴线调整到与量仪的轴线同轴</p> <p>①记录被测零件回转一周过程中测量横截面上各点的半径差 ②在测头没有径向偏移的情况下,可按上述方法测量若干个横截面(测头也可沿螺旋线移动) 由电子计算机按最小条件确定圆柱度误差。也可用极坐标图近似地求出圆柱度误差</p>
2-1			配备电子计算机的三坐标测量装置	<p>把被测零件放置在测量装置上,并将其轴线调整到 Z 轴平行</p> <p>①在被测表面的横截面上测取若干个点的坐标值 ②按需要测量若干个横截面由电子计算机根据最小条件确定该零件的圆柱度误差</p>

(续)

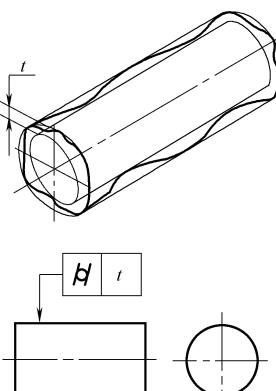
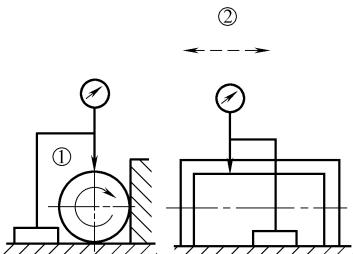
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-1			平板, V形块, 带指示器的测量架 $180^\circ - \alpha$	<p>将被测零件放在平板上的V形块内(V形块的长度应大于被测零件的长度)</p> <p>①在被测零件回转一周过程中, 测量一个横截面上的最大与最小示值</p> <p>②按上述方法, 连续测量若干个横截面, 然后取各横截面内所测得的所有示值中最大与最小示值的差值之半, 作为该零件的圆柱度误差</p> <p>此方法适用于测量外表面的奇数棱形状误差</p> <p>为测量准确, 通常应使用夹角$\alpha=90^\circ$和$\alpha=120^\circ$的两个V形块分别测量</p>





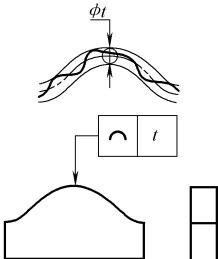
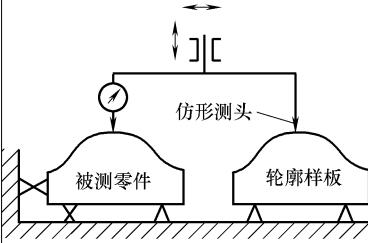
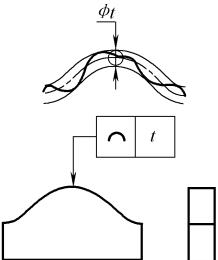
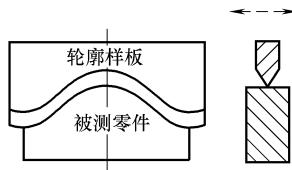
(续)

• 430 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-2			平板, 直角座, 带指示器的测量架	<p>将被测零件放在平板上, 并紧靠直角座</p> <p>① 在被测零件回转一周过程中, 测量一个横截面上的最大与最小示值</p> <p>② 按上述方法测量若干个横截面, 然后取各横截面内所测得的所有示值中最大与最小示值差之半作为该零件的圆柱度误差 此方法适用于测量外表面的偶数棱形状误差</p>

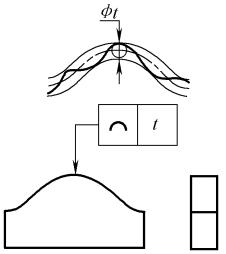
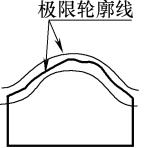
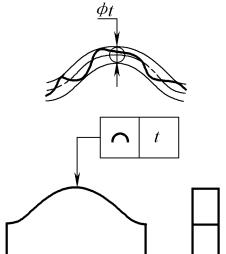
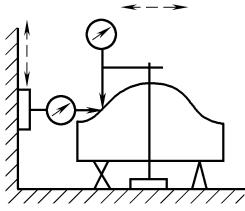


五、线轮廓度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			仿形测量装置, 指示器, 固定和可调支承, 轮廓样板	<p>调正被测零件相对于仿形系统和轮廓样板的位置, 再将指示器调零。仿形测头在轮廓样板上移动, 由指示器上读取数值。取其数值的两倍作为该零件的线轮廓度误差。必要时将测得值换算成垂直于理想轮廓方向(法向)上的数值后评定误差</p> <p>指示器测头应与仿形测头的形状相同</p>
1-2			轮廓样板	<p>将轮廓样板按规定的方向放置在被测零件上, 根据光隙法估读间隙的大小, 取最大间隙作为该零件的线轮廓度误差</p>

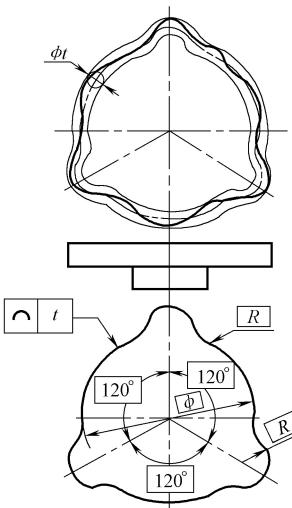
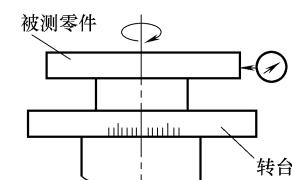
(续)



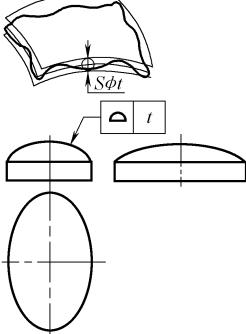
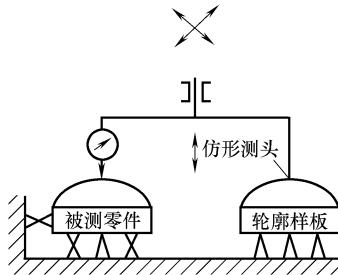
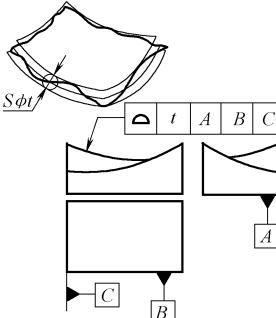
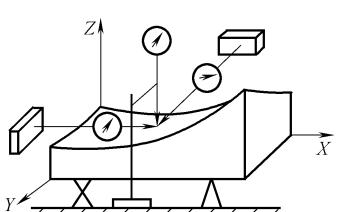
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-3			投影仪	<p>将被测轮廓投影在投影屏上与极限轮廓相比较,实际轮廓的投影应在极限轮廓线之间 此方法适用于测量尺寸较小和薄的零件</p>
2-1			固定和可调支承, 坐标测量装置	<p>测量被测轮廓上各点的坐标,同时记录其示值并绘出实际轮廓图形 用等距的线轮廓区域包容实际轮廓,取包容宽度作为该零件的线轮廓度误差。也可用计算法计算误差</p>



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-2	 		有分度装置的转台, 坐标测量指示器 转台	<p>将被测零件放置在转台上, 同时调整被测零件的中心, 使其与转台的回转轴线同轴</p> <p>按需要测出若干个点的坐标值, 并将其与相应的理论值比较。取各点的坐标值与理论值之差中的最大值的两倍作为该零件的线轮廓度误差</p>

六、面轮廓度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			仿形测量装置,指示器,固定和可调支承,轮廓样板	<p>调整被测零件相对于仿形系统和轮廓样板的位置,再将指示器调零。仿形测头在轮廓样板上移动,由指示器读取示值,取其中最大示值的两倍作为该零件的面轮廓度误差。必要时将各数值换算成理想轮廓相应点的法线方向上的数值后评定误差</p>
2-1			三坐标测量装置,固定和可调支承	<p>将被测零件放置在仪器工作台上,并进行正确定位 测出若干个点的坐标值,并将测得的坐标值与理论轮廓的坐标值进行比较,取其中差值最大的绝对值的两倍作为该零件的面轮廓度误差</p>



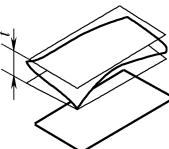
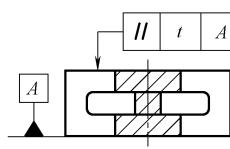
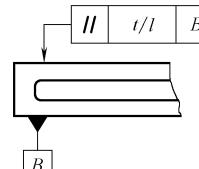
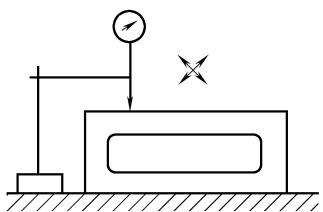


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-1			截面轮廓样板	将若干截面轮廓样板放置在各指定的位置上,根据光隙法估读间隙的大小,取最大间隙作为该零件的面轮廓度误差
3-2			光学跟踪轮廓测量仪	将被测零件放置在仪器工作台上并正确定位。测头沿被测截面的轮廓移动,绘有相应截面的理想轮廓板随之一起移动,被测轮廓的投影应落在其公差带内

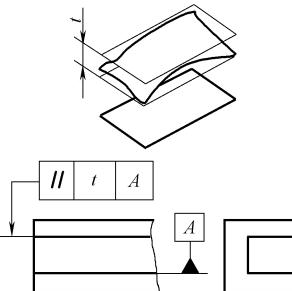
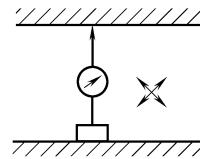
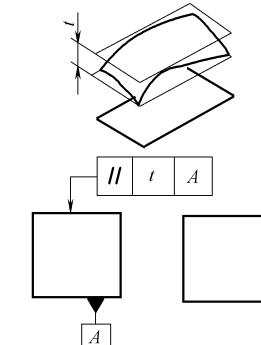
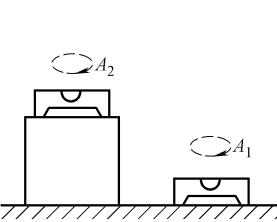


七、平行度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1	 a)  b)  c)		平板, 带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在平板上 在整个被测表面上按規定測量线进行测量</p> <p>a)取指示器的最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差 b)取各条测量线上任意给定 l 长度内指示器的最大与最小示值之差, 作为该零件的平行度误差</p>



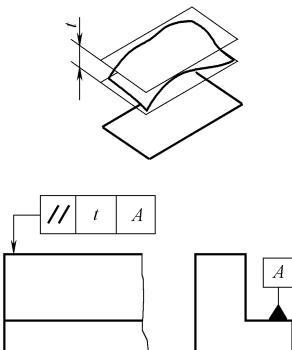
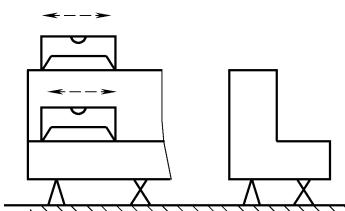
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-2			带指示器的测量架	<p>带指示器的测量架在基准要素表面上移动(以基准要素作为测量基准面),并测量整个被测表面。取指示器的最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差 此方法适用于基准表面的形状误差(相对平行度公差)较小的零件</p>
1-3			平板, 水平仪	<p>将被测零件放置在平板上。用水平仪分别在平板和被测零件上的若干个方向上记录水平仪的示值A_1, A_2。各方向上平行度误差差 $f = A_2 - A_1 LC$ 式中 C—水平仪分度值(线值) $A_2 - A_1$—对应的每次示值差 L—沿测量方向的零件表面长度 取各个方向上平行度误差中的最大值作为该零件的平行度误差</p>



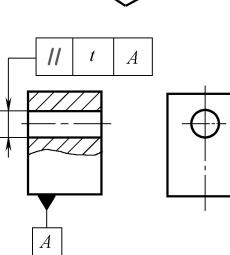
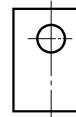
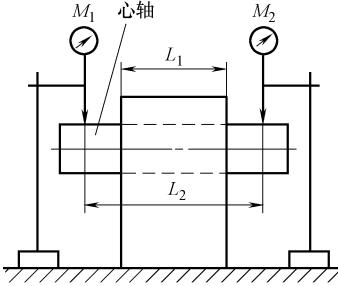
(续)

• 438 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-4			水平仪, 固定和可调支承, 平板	<p>将被测零件调整至水平 分别在基准表面和被测表面上沿长向分段测量 将读取的水平仪示值记录在图表上, 先由图解法(或计算法)确定基准的方位, 然后求出被测表面相对基准的最大距离 L_{\max} 和最小距离 L_{\min} 平行度误差为 $f=L_{\max}-L_{\min}$ 计算或图解时要注意将角度值换算成线值 此方法是近似地按线对线的平行度处理, 故适用于测量窄长表面</p>



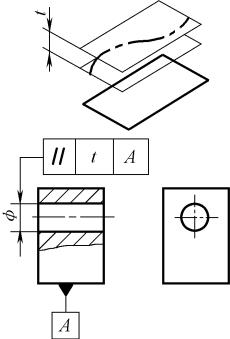
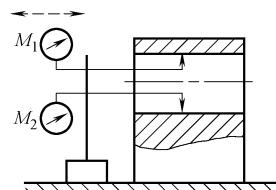
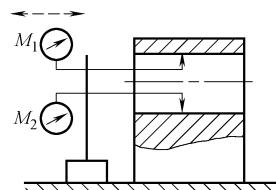
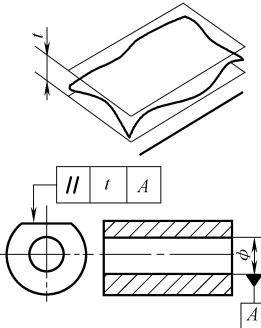
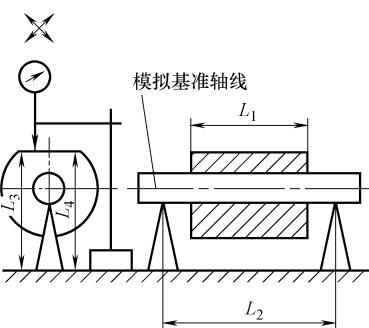
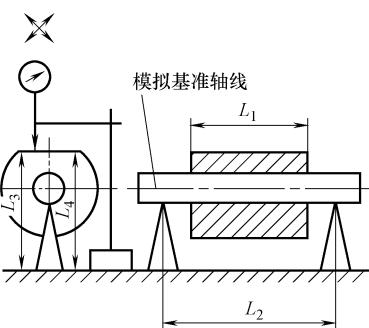
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
1-5	 		平板, 带指示器的测量架, 心轴	<p>将被测零件直接放置在平板上, 被测轴线由心轴模拟。在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的示值分别为 M_1 和 M_2</p> <p>平行度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p> <p>式中 L_1——被测轴线的长度 测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>



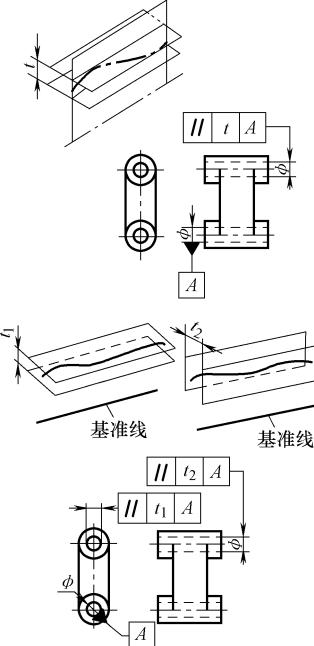
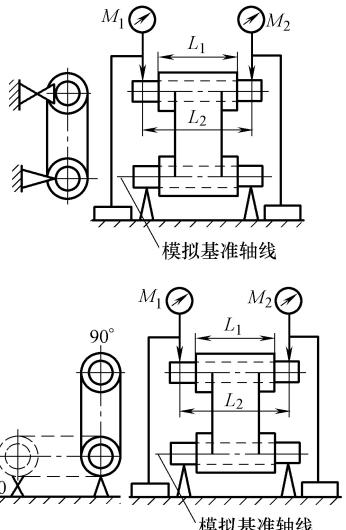
(续)

· 440 ·

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-6	 		平板, 带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在平板上。被测孔的轴线用上下素线处指示器示值的平均值模拟</p> <p>按需要, 在若干测位上进行测量, 并记录每个测位上的示值差 ($M_1 - M_2$), 取其中最大值与最小值代入下式, 得到平行度误差为</p> $f = \frac{1}{2} (M_1 - M_2)_{\max} - (M_1 - M_2)_{\min} $
1-7	 		平板, 等高支承, 心轴, 带指示器的测量架	<p>基准轴线由心轴模拟</p> <p>将被测零件放在等高支承上, 调整(转动)该零件使 $L_3 = L_4$。然后测量整个被测表面并记录示值</p> <p>取整个测量过程中指示器的最大与最小示值之差作为该零件的平行度误差</p> <p>必要时, 可按定向最小区域评定平行度误差</p> <p>测量时, 应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>

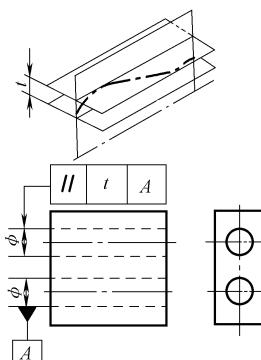
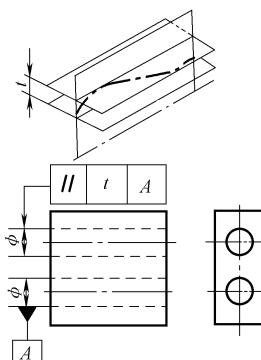
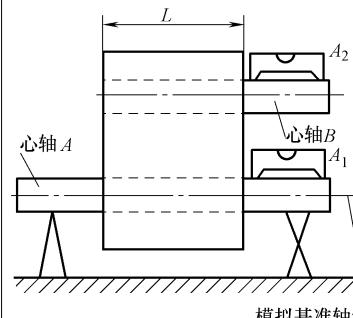


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-8			<p>平板, 等高支承, 心轴, 带指示器的测量架</p>	<p>基准轴线和被测轴线均由心轴模拟。将被测零件放在等高支承上, 在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的数值分别为 M_1 和 M_2</p> <p>平行度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p> <p>式中 L_1 —— 被测轴线的长度 当被测零件在互相垂直的两个方向上给定公差要求时, 则可按上述方法在两个方向上分别测量 测量时, 应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>

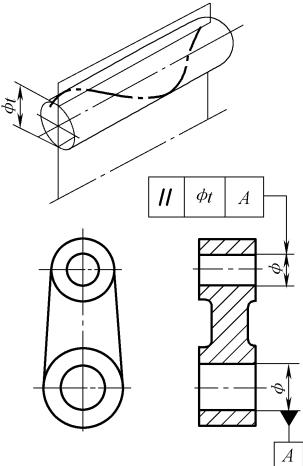
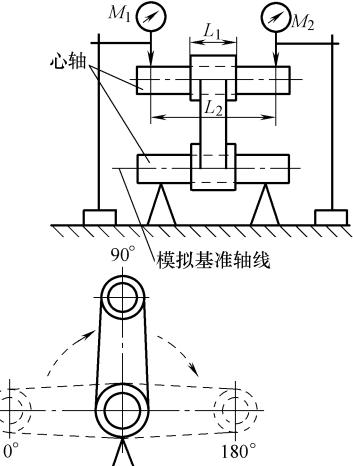


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
1-9	 		平板, 固定 和可调支承, 心轴, 水平仪	<p>基准轴线与被测轴线由心轴模拟</p> <p>将基准心轴 A 调整至水平位置。然后把水平仪分别放在心轴 A 和 B 上，并记录示值 A_1 和 A_2</p> <p>平行度误差为 $f = A_1 - A_2 LC$</p> <p>式中 C—水平仪分度值(线值) L—被测轴线的长度</p> <p>测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>

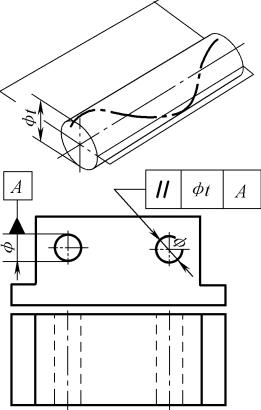
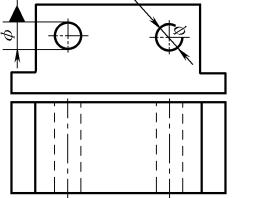
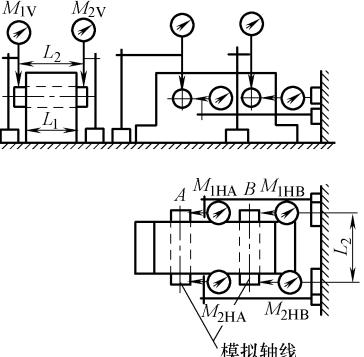


(续)

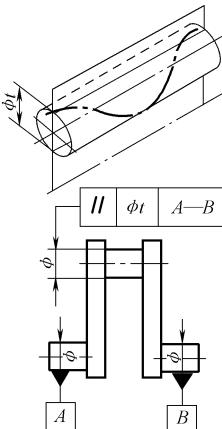
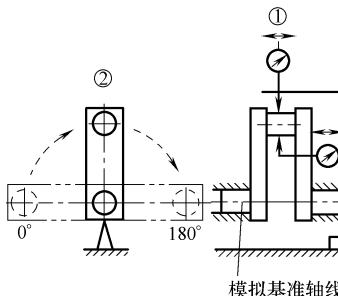
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-10			平板，心轴，等高支承，带指示器的测量架	<p>基准轴线和被测轴线由心轴模拟 将被测零件放在等高支承上，在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的示值分别为 M_1、M_2</p> <p>平行度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p> <p>在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内按上述方法测量若干个不同角度位置，取各测量位置所对应的 f 值中最大值，作为该零件的平行度误差 也可仅在相互垂直的两个方向测量，此时平行度误差为</p> $f = \frac{L_1}{L_2} \sqrt{(M_{1V} - M_{2V})^2 + (M_{1H} - M_{2H})^2}$ <p>式中 V, H—相互垂直的测位符号 测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
1-11	 		平板, 直角座, 心轴, 带指示器的测量架	<p>基准轴线和被测轴线由心轴模拟</p> <p>在相互垂直的两个方向上测取相应的平行度误差:</p> <p>对基准心轴 A:</p> <p>在垂直方向 $f_{VA} = M_{1VA} - M_{2VA}$</p> <p>在水平方向 $f_{HA} = M_{1HA} - M_{2HA}$</p> <p>对被测心轴 B:</p> <p>在垂直方向 $f_{VB} = M_{1VB} - M_{2VB}$</p> <p>在水平方向 $f_{HB} = M_{1HB} - M_{2HB}$</p> <p>综合后的平行度误差为</p> $f = \sqrt{(f_{VB} - f_{VA})^2 + (f_{HB} - f_{HA})^2} \cdot \frac{L_1}{L_2}$ <p>测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>

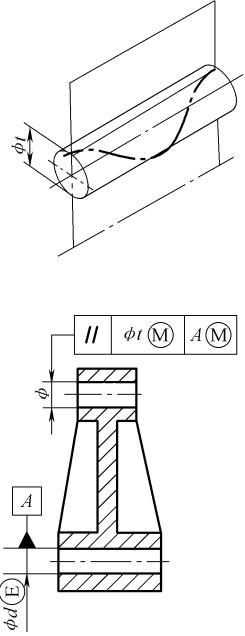
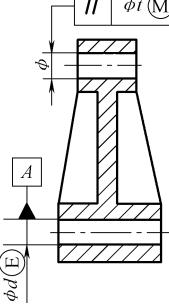
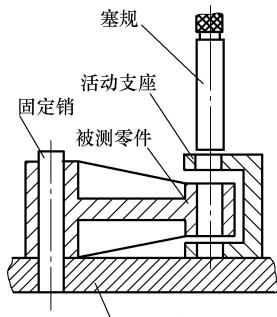
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
3-1			平板、支承、带指示器的测量架	<p>基准轴线由同轴外接圆柱面模拟，并调整其轴线与平板平行</p> <p>① 测量架沿上下两条素线移动，同时记录两指示器示值的差值之半</p> <p>② 在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内，按上述方法在若干个不同的角度位置上进行测量</p> <p>取各个测量位置上测得的差值之半中的最大值作为该零件的平行度误差</p> <p>也可在相互垂直的两个方向上测量，取这两个方向上测得的平行度误差 f_x 和 f_y，再按 $f = (\sqrt{f_x^2 + f_y^2})$ 算出的值，作为该零件的平行度误差</p>



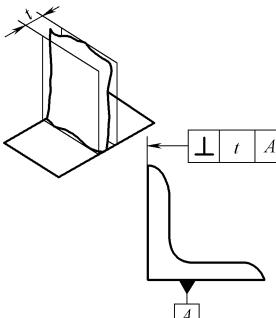
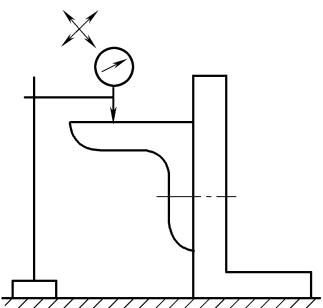
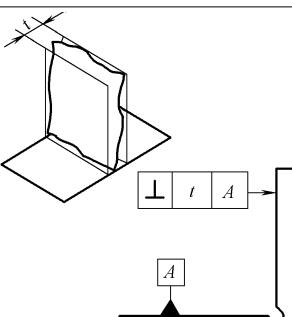
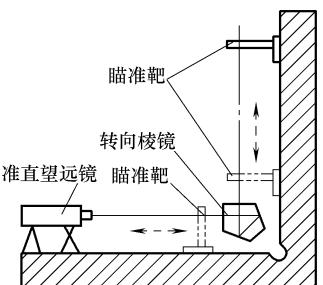


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
5-1	 		综合量规	<p>将被测零件套在量规的固定销上，然后插入塞规。塞规应能自由通过被测孔</p> <p>固定销的直径等于基准孔的最大实体尺寸，塞规的直径等于被测孔的实效尺寸</p>



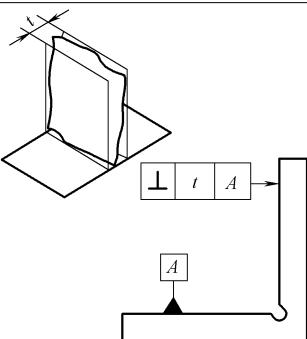
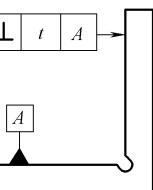
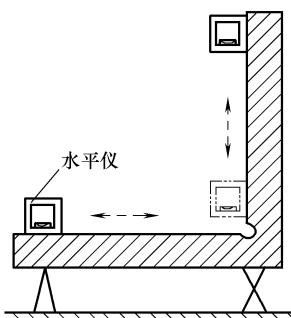
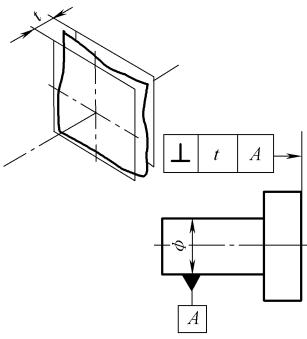
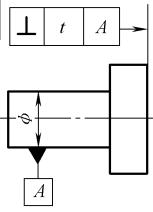
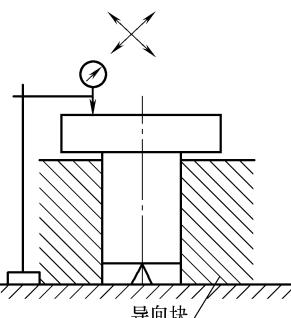
八、垂直度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			平板, 直角座, 带指示器的测量架	<p>将被测零件的基准表面固定在直角座上, 同时调整靠近基准的被测表面的指示器示值之差为最小值, 取指示器在整个被测表面各点测得的最大与最小示值之差作为该零件的垂直度误差, 必要时, 可按定向最小区域评定垂直度误差</p>
1-2			准直望远镜, 转向棱镜, 瞄准靶	<p>将准直望远镜放置在基准表面上, 同时调整准直望远镜使其光轴平行于基准表面 然后沿着被测表面移动瞄准靶, 通过转向棱镜测取各纵向测位的示值 用计算法(或图解法)计算该零件的垂直度误差 此方法也适用于自准直仪测量, 但测得的角度差应换算为线性差 此方法适用于测量大型零件</p>



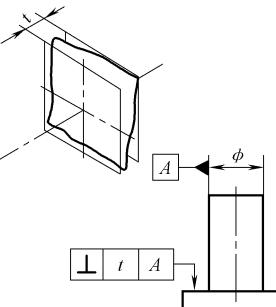
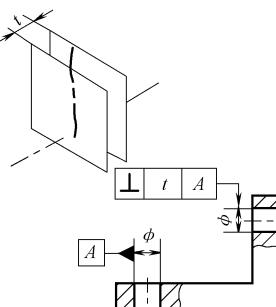
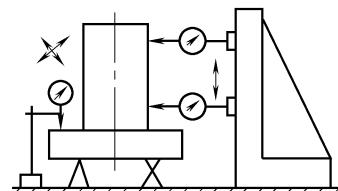
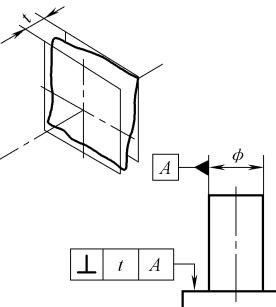
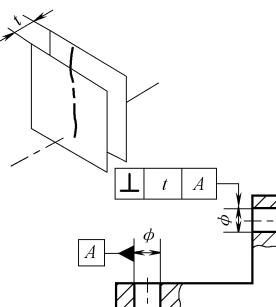
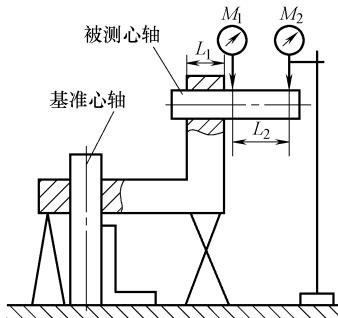
(续)

• 448 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-3	 		水平仪, 固定和可调支承	用水平仪粗调基准表面到水平 分别在基准表面和被测表面上用水平仪分段逐步测量并记录换算成线值的示值 用图解法(或计算法)确定基准方位, 然后求出被测表面相对于基准的垂直度误差 此方法适用于测量大型零件
1-4	 		平板, 导向块, 固定支承, 带指示器的测量架	将被测零件放置在导向块内 (基准轴线由导向块模拟), 然后 测量整个被测表面, 并记录示 值。取最大示值差作为该零件 的垂直度误差



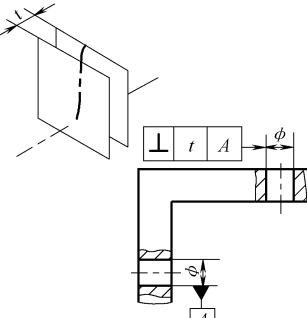
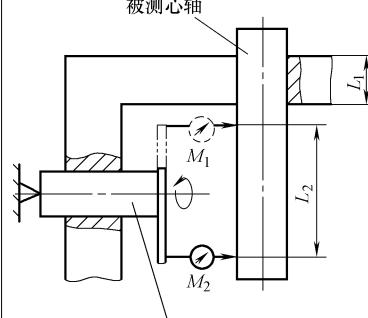
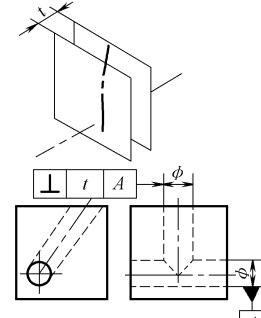
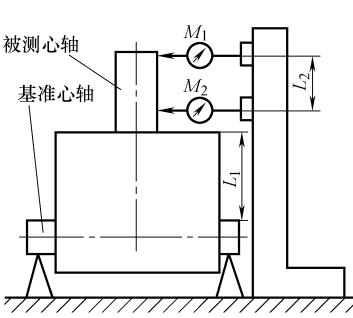
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-5	 		平板,直角座,固定和可调支承,带指示器的测量架	将基准轴线调整到与平板垂直,然后测量整个被测表面,并记录示值,取最大示值差值作为该零件的垂直度误差
1-6	 		平板,直角尺,心轴,固定和可调支承,带指示器的测量架	<p>基准轴线和被测轴线由心轴模拟。调整基准心轴,使其与平板垂直 在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的数值分别为 M_1 和 M_2 垂直度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p> <p>测量时,应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>



(续)

• 450 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-7			心轴, 支承, 带指示器的测量架	<p>基准轴线和被测轴线由心轴模拟 转动基准心轴, 在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的数值分别为 M_1 和 M_2</p> <p>垂直度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p> <p>测量时被测心轴应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴, 而基准心轴应选用可转动但配合间隙小的心轴</p>
1-8			平板, 直角座, 心轴, 等高支承, 带指示器的测量架	<p>基准轴线和被测轴线由心轴模拟 将被测零件放置在等高支承上, 在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的数值分别为 M_1 和 M_2</p> <p>垂直度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p> <p>测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>



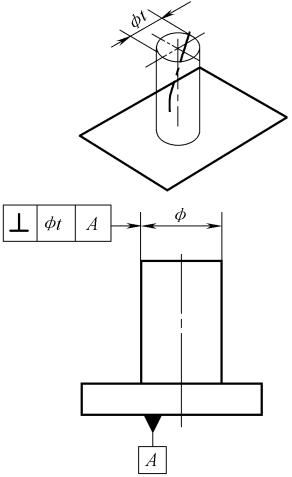
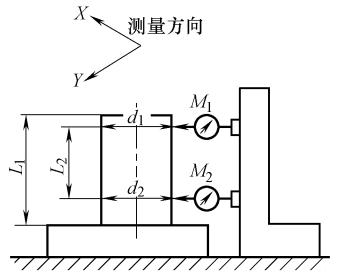
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-9			平板, 水平仪, 心轴, 固定和可调支承	<p>基准轴线和被测轴线由心轴模拟 调整基准心轴处于水平位置, 水平仪靠在两心轴的素线上测量, 同时记录示值 A_1 和 A_2 垂直度误差为 $f = A_1 - A_2 CL$ 式中 C—水平仪分度值(线值) L—被测孔的轴线长度</p>
1-10			具有水平轴的转台, 心轴, 测角读数装置, 水平仪	<p>基准轴线和被测轴线由心轴模拟 将被测零件固定在转台上, 调整转台使其轴线垂直于由基准轴线和被测轴线组成的平面 先用水平仪调平基准心轴, 并记录此时转台的角度值 A_1 转动转台, 并调平被测心轴, 记录另一角度值 A_2 垂直度误差为 $f = Ltan (A_1 - A_2) - 90^\circ$ 式中 L—被测轴线的长度 测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴 此方法也可用于测量面对面以及面对面线的垂直度误差</p>



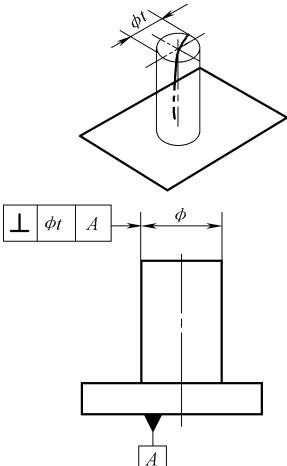
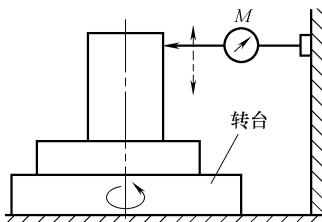
(续)

· 452 ·

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-1	 $\perp \phi_t A$		平板,直角座,带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在平板上。为了简化测量,可仅在相互垂直的(X,Y)两个方向上测量。</p> <p>在距离为L_2的两个位置测量被测表面与直角座的距离M_1和M_2及相应的轴径d_1和d_2。则该测量方向上的垂直度误差为</p> $f_1 = \left (M_1 - M_2) + \frac{d_1 - d_2}{2} \right \frac{L_1}{L_2}$ <p>取两测量方向上测得误差中的较大值作为该零件的垂直度误差。</p> <p>若考虑被测要素的直线度误差影响,可增加测量截面并用图解法求垂直度误差。</p> <p>当被测表面为孔时,被测轴线可由心轴模拟,应选用可胀式(或与孔无间隙配合的)心轴。</p>



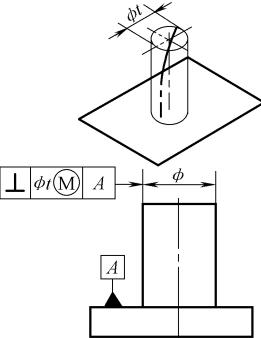
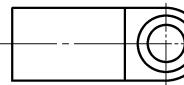
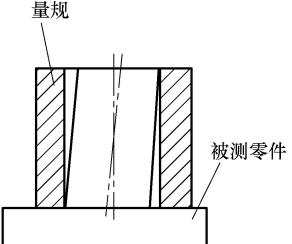
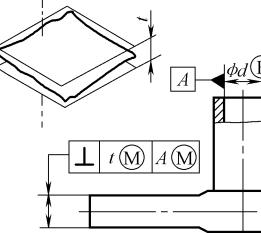
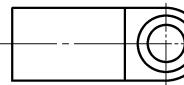
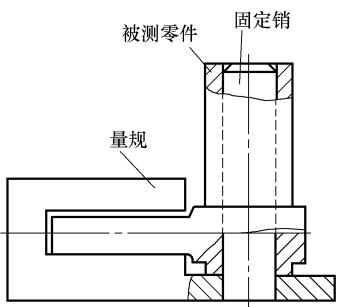
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
3-2			转台,直角座,带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在转台上,并使被测表面的轴线与转台对中(通常在被测表面的较低位置对中)</p> <p>按需要,测量若干个轴向截面轮廓上各点的半径差,并记录在同一坐标图上,用图解法求解垂直度误差。也可近似地按下式计算</p> $f = \frac{1}{2}(M_{\max} - M_{\min})$ <p>式中 M_{\max}, M_{\min} — 分别为测量截面内指示器最大与最小示值</p> <p>各截面内测得的 f 值中最大者作为零件的垂直度误差</p>



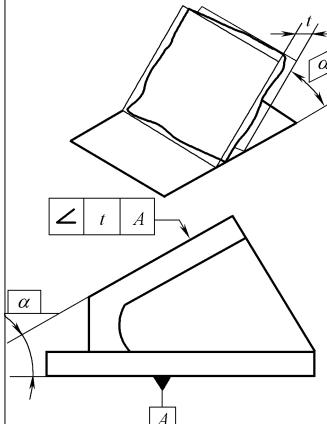
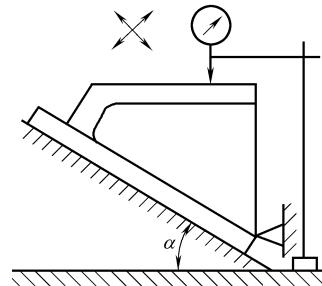
(续)

• 454 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
5-1	 		综合量规	将量规套在被测表面上，量规的端面与基准表面接触应不透光 量规孔的直径等于被测要素的实效尺寸
5-2	 		综合量规	将被测零件套在量规销上，并回转被测零件，被测表面应自由通过量规的凹槽 固定销的直径等于基准孔的最大实体尺寸，量规凹槽的宽度等于被测表面的实效尺寸

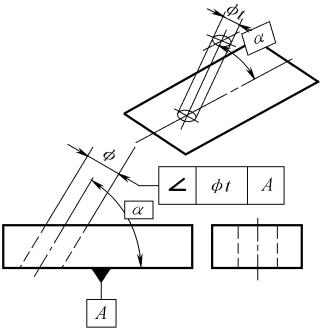
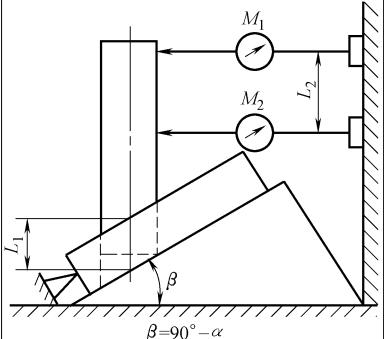
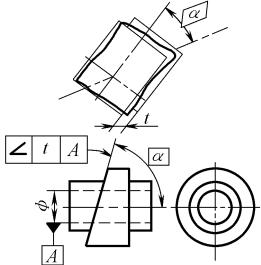
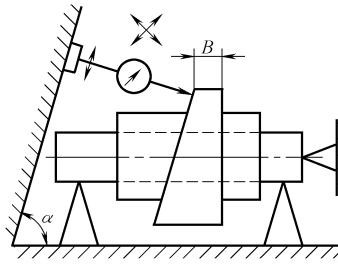


九、倾斜度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			平板, 定角座, 固定支承, 带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在定角座上 调整被测零件, 使指示器在整个被测表面的示值差为最小值 取指示器的最大与最小示值之差作为该零件的倾斜度误差 定角座可用正弦尺(或精密转台)代替</p>

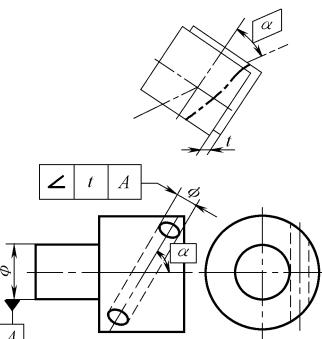
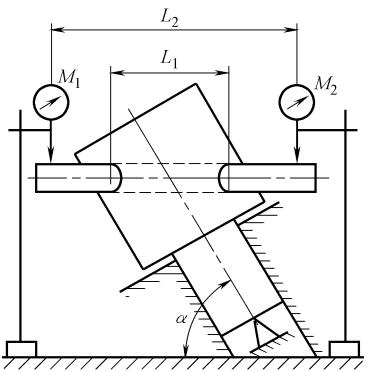


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-2			平板, 直角座, 定角垫块, 固定支承, 心轴, 带指示器的测量架	<p>被测轴线由心轴模拟 调整被测零件, 使指示器示值 M_1 为最大(距离最小) 在测量距离为 L_2 的两个位置 上测得示值分别为 M_1 和 M_2</p> $\text{倾斜度误差为 } f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2 $ <p>测量时应选用可胀式(或与孔 成无间隙配合的)心轴, 若选用 L_2 等于 L_1, 则示值差值即为该零 件的倾斜度误差 定角垫块可由正弦尺(或精密 转台)代替</p>
1-3			平板, 定角座, 等高支承, 心轴, 带指示器的测量架	<p>基准轴线由心轴模拟 转动被测零件使其最小长度 B 的位置处在顶部</p> <p>测量整个被测表面与定角座 之间各点的距离, 取指示器最大 与最小示值之差作为该零件的 倾斜度误差</p> <p>测量时, 应选用可胀式(或与孔 成无间隙配合的)心轴</p>

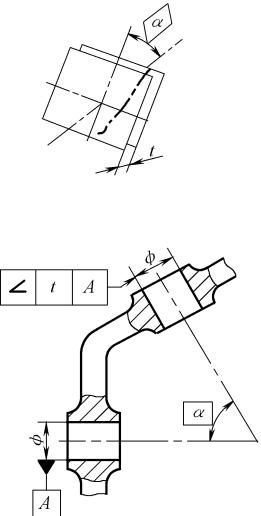
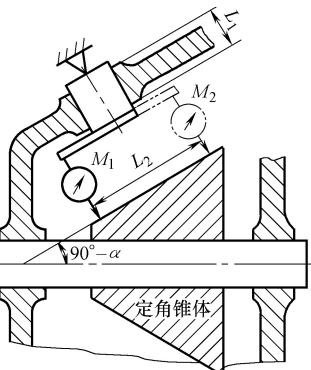


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-4			平板, 定角导向座, 心轴, 带指示器的测量架	<p>使心轴平行于测量装置导向座定角 α 所在平面 在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的示值分别为 M_1 和 M_2</p> <p>倾斜度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p> <p>测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>

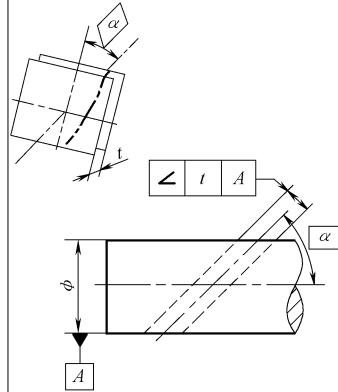
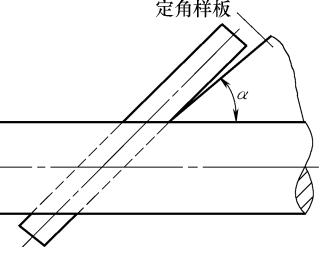


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
1-5			心轴, 定角锥体, 支承, 带指示器的装置	<p>在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的数值分别为 M_1 和 M_2</p> <p>倾斜度误差为 $f = \frac{L_1}{L_2} M_1 - M_2$</p>

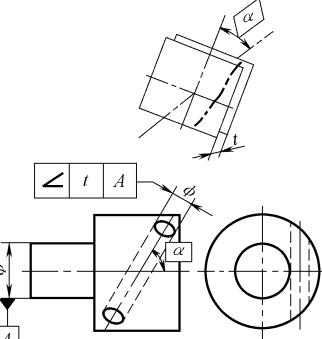
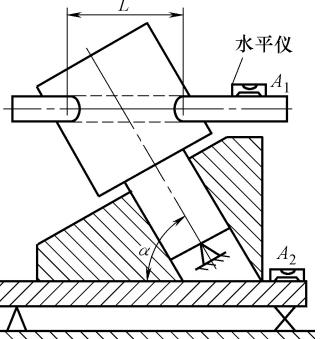


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-6			定角样板, 心轴, 塞尺	<p>根据光隙或塞尺在轴平面内 测量该零件的倾斜度误差 心轴的外伸长度应与被测轴 线的长度相等</p>

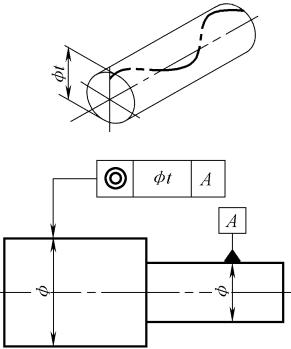
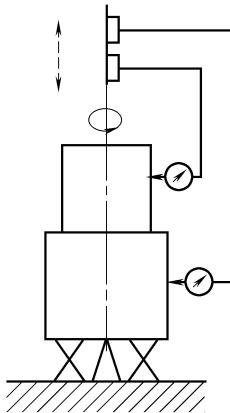


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-7	 Diagram 1-7 illustrates a part with a slot A, a hole of diameter ϕ , and an angle α . A tolerance box specifies a lead angle t .	 The measurement method for lead angle t involves leveling a horizontal plate and using a dial gauge A_1 to measure the height of the right end of the workpiece. A dial gauge A_2 is used to measure the height of the left end. The distance L is also indicated.	平板, 导向定角垫块, 固定和可调支承, 心轴, 水平仪	<p>调整平板处于水平位置, 并用心轴模拟被测轴线 调整被测零件, 使心轴的右侧处于最高位置(如图示)。水平仪在心轴和平板上测得的示值分别为 A_1 和 A_2</p> <p>倾斜度误差为 $f = A_1 - A_2 CL$</p> <p>式中 C—水平仪分度值 (线值) 测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴</p>



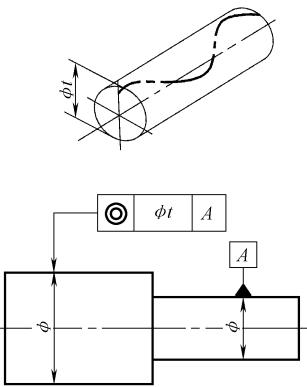
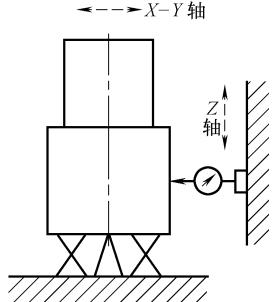
十、同轴度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-1			圆度仪(或其他类似仪器)	<p>调整被测零件,使其基准轴线与仪器主轴的回转轴线同轴 在被测零件的基准要素和被测要素上测量若干截面并记录轮廓图形 根据图形按定义求出该零件的同轴度误差 按照零件的功能要求也可对轴类零件用最小外接圆柱面(对孔类零件用最大内接圆柱面)的轴线求出同轴度误差</p>



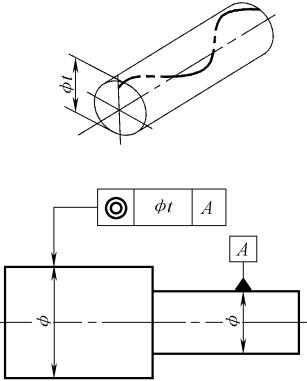
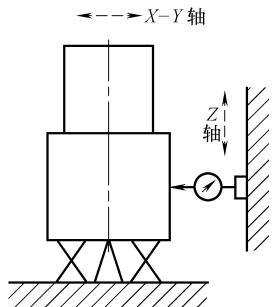
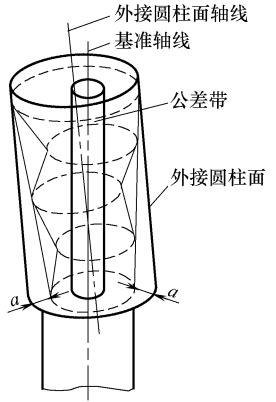
(续)

• 462 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-2	 		三坐标测量装置	<p>将被测零件放置在工作台上，调整被测零件使其基准轴线平行于Z轴 在被测部位上测量若干个横截面并在每个横截面上测取实际轮廓在X和Y轴方向的四个点的坐标，及各横截面之间的距离 根据各横截面与其各对应点的坐标的相互关系用计算法(或作图法)求得外接(或内接)圆柱面轴线与基准轴线之间的最大距离的两倍作为该零件的同轴度误差</p>



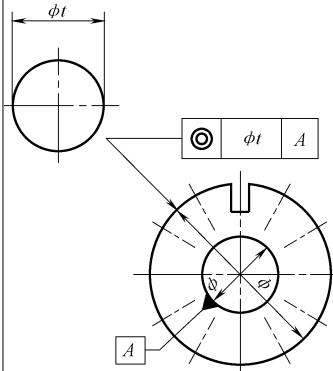
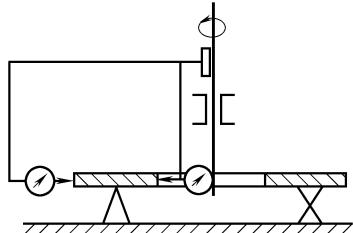
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-2			三坐标测量装置	<p>注:在确定外接(或内接)圆柱面时应使该圆柱面在径向两端的动程 a 相等,如下图所示</p> 



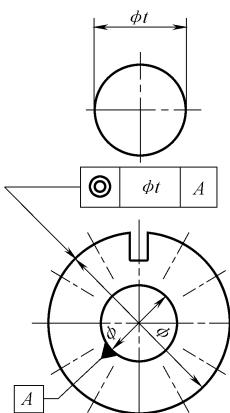
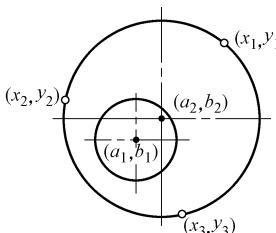
(续)

• 464 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-3	 		径向变动 测量装置	<p>调整基准要素使其提取中心线与测量装置同轴，并使被测零件的端面垂直于回转轴线 在同一张记录纸上记录基准和被测要素的轮廓 由轮廓图形用最小区域法求各自的圆心，取两圆心距离的二倍值作为该零件的同轴度误差 根据功能要求，也可对记录的图形，用最大内接圆中心（内表面），或用最小外接圆中心（外表面）法求出各自的圆心，取这两圆心距离的二倍作为该零件的同轴度误差</p>



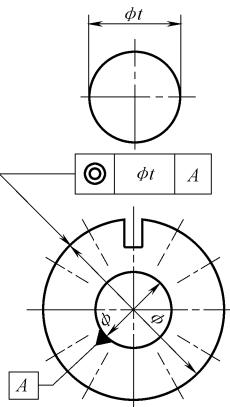
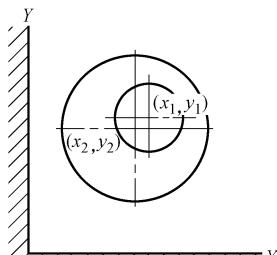
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
2-4			配备计算机的测量显微镜或坐标测量装置	<p>在被测件的内、外圆周上，分别测取三个点的坐标值(最好三点等距)。根据测得的坐标值，内、外圆周中心的坐标(a_1, b_1)、(a_2, b_2)用下式计算，即</p> $a = \frac{(x_1^2 + y_1^2)(y_2 - y_3) + (x_2^2 + y_2^2)}{2[x_1(y_2 - y_3) + x_2]}$ $b = \frac{(y_3 - y_1) + (x_3^2 + y_3^2)(y_1 - y_2)}{(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)}$ $b = \frac{(y_1^2 + x_1^2)(x_2 - x_3) + (y_2^2 + x_2^2)}{2[y_1(x_2 - x_3) + y_2]}$ $b = \frac{(x_3 - x_1) + (y_3^2 + x_3^2)(x_1 - x_2)}{(x_3 - x_1) + y_3(x_1 - x_2)}$ <p>同轴度误差为 $f = \sqrt{(a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$</p> <p>为减少形状误差的影响，可重复测量几组中心坐标值，取其平均值计算同轴度误差</p>



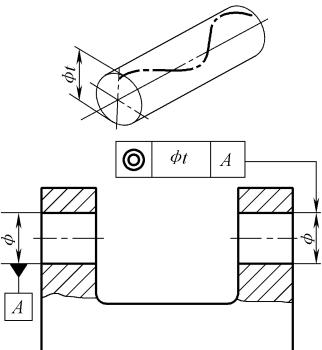
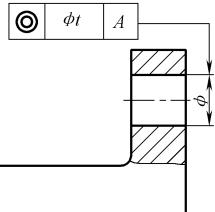
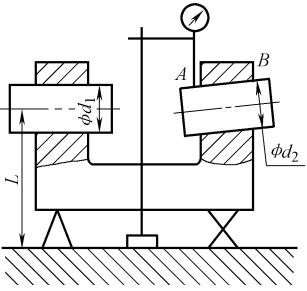
(续)

• 466 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-5			坐标测量装置或测量显微镜	<p>将被测零件放置在测量装置工作台上，并使被测零件的端面与X-Y坐标面平行</p> <p>沿X轴方向分别测取基准要素和被测提取要素的最大直径，并计算得出它们中心坐标值x_1和x_2</p> <p>再按相同方法沿Y轴方向测量，并算出其中心坐标值y_1和y_2</p> <p>同轴度误差为$f = \sqrt{(x_1-x_2)^2 + (y_1-y_2)^2}$</p> <p>此方法适用于测量形状误差较小的被测零件</p>



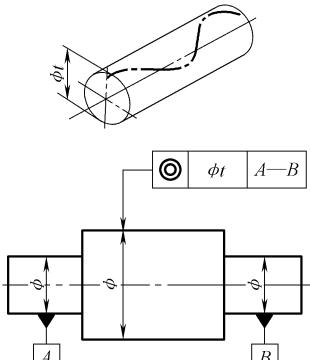
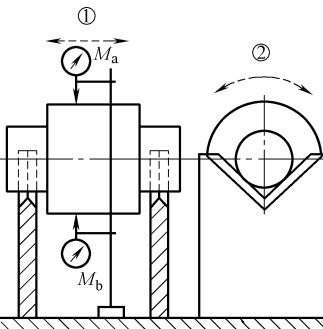
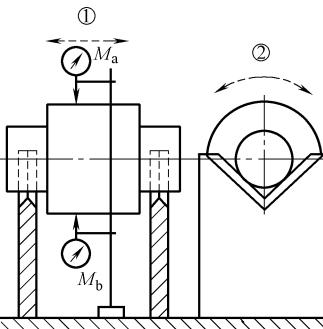
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
3-1	 		平板, 心轴, 固定和可调支承, 带指示器的测量架	<p>将心轴与孔成无间隙配合地插入孔内, 并调整被测零件使其基准轴线与平板平行</p> <p>在靠近被测孔端 A、B 两点测量, 并求出该两点分别与高度 $(L + \frac{d_2}{2})$ 的差值 f_{Ax} 和 f_{Bx}</p> <p>然后把被测零件翻转 90°, 按上述方法测取 f_{Ay} 和 f_{By}, 则 A 点处的同轴度误差: $f_A = 2\sqrt{(f_{Ax})^2 + (f_{Ay})^2}$, B 点处的同轴度误差: $f_B = 2\sqrt{(f_{Bx})^2 + (f_{By})^2}$, 取其中较大值作为该被测要素的同轴度误差</p> <p>如测点不能取在孔端处, 则同轴度误差可按比例折算</p>



(续)

• 468 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
3-2	 		平板, 刀口状 V 形架, 带指示器的测量架	<p>公共基准轴线由 V 形架体现 将被测零件基准要素的中截面放置在两个等高的刃口状 V 形架上。将两指示器分别在铅垂轴截面内相对于基准轴线对称地分别调零</p> <p>① 在轴向测量, 取指示器在垂直基准轴线的正截面上测得各对应点的示值差值 $M_a - M_b$ 作为在该截面上的同轴度误差</p> <p>② 按上述方法在若干截面内测量, 取各截面测得的示值之差中的最大值(绝对值)作为该零件的同轴度误差</p> <p>此方法适用于测量形状误差较小的零件</p>



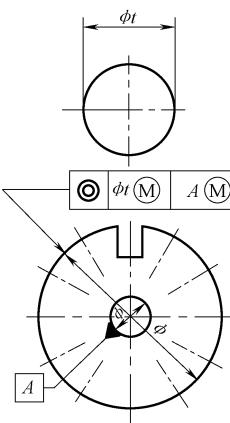
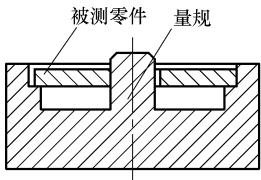
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-3			游标卡尺, 管壁千分尺	<p>先测出内外圆之间的最小壁厚 b, 然后测出相对方向的壁厚 a 同轴度误差: $f=a-b$</p> <p>此方法适用于测量形状误差较小的零件</p>
5-1			综合量规	量规销的直径为孔的实效尺寸。综合量规应通过被测零件



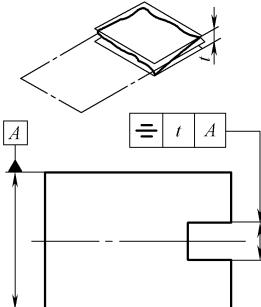
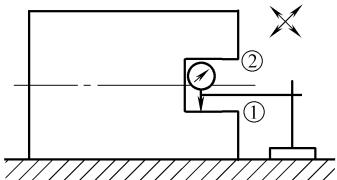
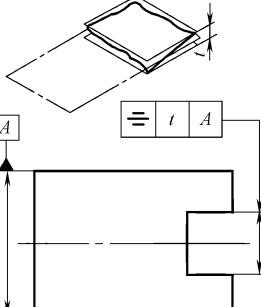
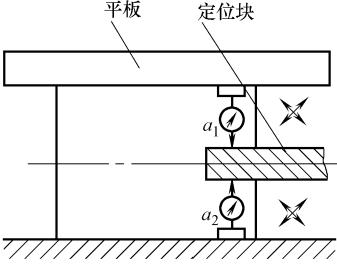
(续)

• 470 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
5-2			综合量规	量规销的直径为基准孔的实效尺寸,量规孔的直径为被测要素的实效尺寸。综合量规应通过被测零件



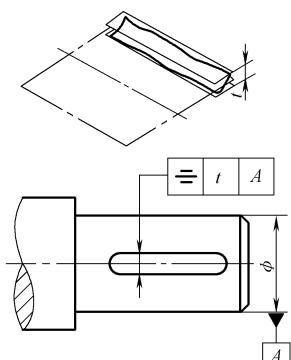
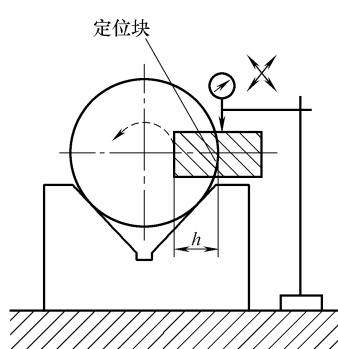
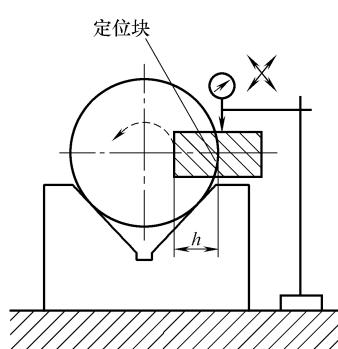
十一、对称度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1	 <p>图中展示了零件A的轴向视图，标注了尺寸t。公差带图示显示了一个平行于轴线的带状区域，标注为$\equiv t A$。</p>	 <p>该图示展示了测量方法：将零件放在平板上，使用带有指示器的量架（①）测量被测表面与平板之间的距离。零件翻转后，再用同样的方法测量另一被测表面与平板之间的距离。取两次测量结果的最大差值作为对称度误差。</p>	平板, 带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在平板上</p> <p>① 测量被测表面与平板之间的距离</p> <p>② 将被测零件翻转后, 测量另一被测表面与平板之间的距离</p> <p>取测量截面内对应两测点的最大差值作为对称度误差</p>
1-2	 <p>图中展示了零件A的轴向视图，标注了尺寸t。公差带图示显示了一个垂直于轴线的带状区域，标注为$\equiv t A$。</p>	 <p>该图示展示了测量方法：将零件放在两块平板之间，并用定位块模拟被测中心面。在零件两侧分别测出定位块与上、下平板之间的距离a_1和a_2。</p>	平板, 定位块, 带指示器的测量架	<p>将被测零件放置在两块平板之间, 并用定位块模拟被测中心面。在被测零件的两侧分别测出定位块与上、下平板之间的距离a_1和a_2。</p> <p>对称度误差:</p> $f = a_1 - a_2 _{\max}$ <p>当定位块的长度大于被测要素的长度时, 误差值应按比例折算</p> <p>此方法适用于测量大型零件</p>



(续)

• 472 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-1	 		平板,V形块,定位块,带指示器的测量架	<p>基准轴线由V形块模拟,被测中心平面由定位块模拟,调整被测零件使定位块沿径向与平板平行。在键槽长度两端的径向截面内测量定位块至平板的距离。再将被测零件旋转180°后重复上述测量,得到两径向测量截面内的距离差之半Δ_1和Δ_2,对称度误差按下式计算,即</p> $f = \frac{2\Delta_2 h + d(\Delta_1 - \Delta_2)}{d-h}$ <p>式中 d—轴的直径 h—键槽深度</p> <p>注:以绝对值大者为Δ_1,小者为Δ_2</p>



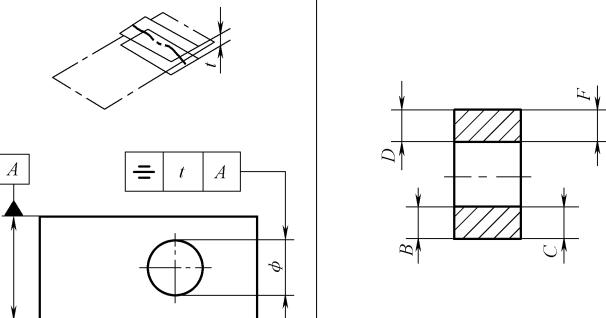
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
3-2			平板, 固定 和可调支承, 带指示器的测 量架(坐标测 量装置或测量 显微镜)	测量基准要素③、④, 并进行计 算和调整, 使公共基准中心平面与 平板平行(该公共基准中心平面由 在槽深 $\frac{1}{2}$ 处的槽宽中点确定) 再测量被测要素①、②, 计算 出孔的轴线。取在各个正截面 中孔的轴线与对应的公共基 准中心平面之最大变动量的两倍 作为该零件的对称度误差
3-3			平板, 固定 和可调支承, 心轴, 基准定 位块, 带指示 器的测量架	基准中心平面由基准定位块 模拟。测量定位块的位置和尺 寸, 同时调整被测零件, 使公 共基准中心平面与平板相平行(公 共基准中心平面由槽深 $1/2$ 处的 槽宽中点确定) 测量和计算被测轴线对公共 基准中心平面的变动量, 取最大 变动量的两倍作为该零件的对 称度误差 测量时应选用可胀式(或与孔 成无间隙配合的)心轴。当心轴 的长度大于被测要素的长度时, 误差值应按比例折算



(续)

• 474 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
3-4			游标卡尺	<p>在 B、D 和 C、F 处测量壁厚，取两个壁厚差中较大的值作为该零件的对称度误差 此方法适用于测量形状误差较小的零件</p>



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
5-1	<p>被测零件</p> <p>量规</p> <p>综合量规</p> <p>量规应通过被测零件 量规的两个定位块的宽度为基准槽的最大实体尺寸,量规销的直径为被测孔的实效尺寸</p>			<p>量规应通过被测零件 量规的两个定位块的宽度为基准槽的最大实体尺寸,量规销的直径为被测孔的实效尺寸</p>

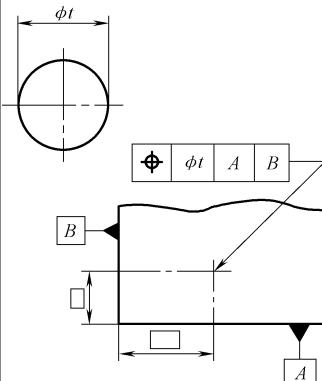
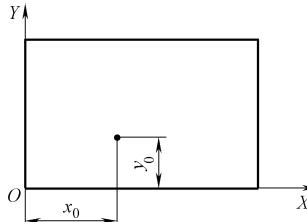


十二、位置度误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
1-1			标准零件， 测量钢球，回 转定心夹头， 平板，带指示 器的测量架	<p>被测零件由回转定心夹头定位，选择适当直径的钢球放置在被测零件的球面内，以钢球球心模拟被测球面的中心</p> <p>在被测零件回转一周过程中，径向指示器最大示值差之半为相对基准轴线 A 的径向误差 f_x，垂直方向指示器直接读取相对于基准 B 的轴向误差 f_y。该指示器应先按标准零件调零</p> <p>被测点位置度误差为 $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$</p>



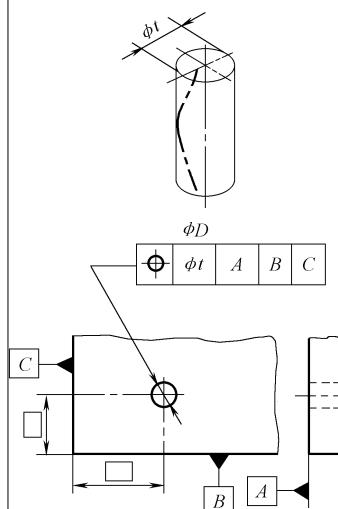
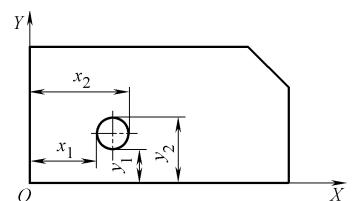
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
2-1			坐标测量装置	<p>按基准调整被测零件,使其与测量装置的坐标方向一致 将测出的被测点坐标值 x_0、y_0 分别与相应的理论正确尺寸比较,得出差值 f_x 和 f_y 位置度误差为 $f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$</p>



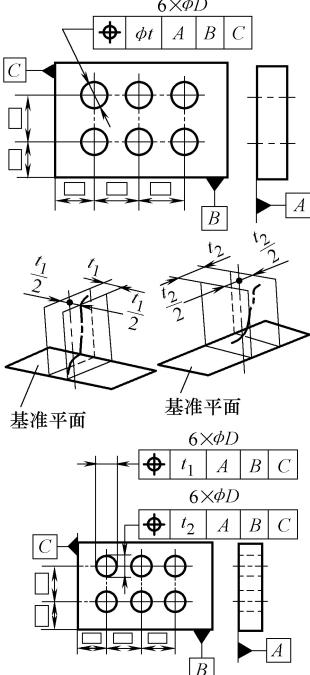
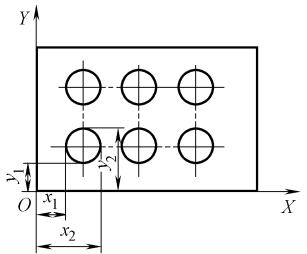
(续)

• 478 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
2-2	 <p>按基准调整被测零件,使其与测量装置的坐标方向一致 将心轴放置在孔中,在靠近被测零件的板面处,测量 x_1、x_2、y_1、y_2。按下式分别计算出坐标尺寸 x、y</p> <p>X 方向坐标尺寸: $x = \frac{x_1 + x_2}{2}$</p> <p>Y 方向坐标尺寸: $y = \frac{y_1 + y_2}{2}$</p> <p>将 X、Y 分别与相应的理论正确尺寸比较,得到 f_x 和 f_y, 位置度误差为</p> $f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ <p>然后把被测零件翻转,对其背面按上述方法重复测量,取其中的误差较大值作为该零件的位置度误差</p>		坐标测量装置,心轴	

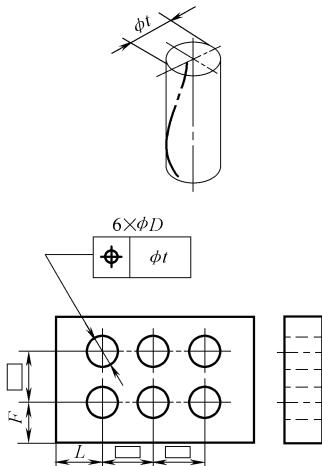
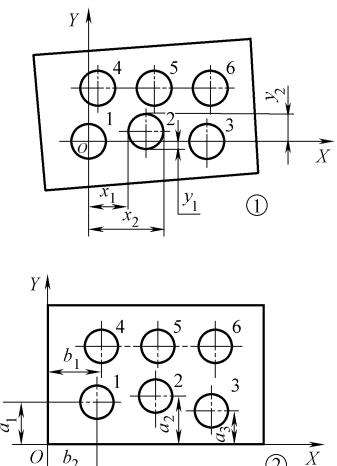


(续)

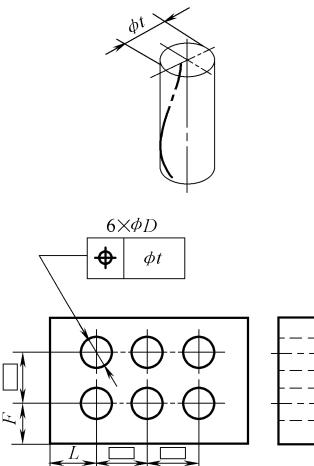
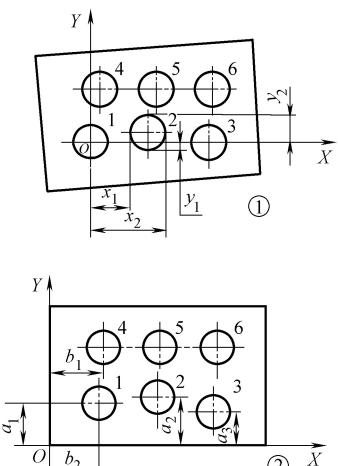
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
2-2	<p>6×ϕD</p>  <p>基准平面</p> <p>6×ϕD</p> <p>6×ϕD</p>  <p>基准平面</p>	<p>对于多孔孔组，则按上述方法逐孔测量和计算。若位置度公差带为给定两个互相垂直的方向，则直接取 $2f_x$、$2f_y$ 分别作为该零件在两个方向上的位置度误差。测量时，应选用可胀式（或与孔成无间隙配合的）心轴。</p> <p>若孔的形状误差对测量结果的影响可以忽略时，则可直接在实际孔壁上测量</p>	坐标测量装置, 心轴	



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-3	 <p>6×ϕD</p> <p>ϕt</p> <p>L</p> <p>ϕt</p>	 <p>Y</p> <p>X</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>x_1 x_2</p> <p>y_1</p> <p>b_1 b_2</p> <p>c_1 c_2</p>	坐标测量装置,心轴	<p>分两个步骤测量：①测量各孔的位置度误差；②测量定位尺寸L和F的误差</p> <p>① 将被测零件上最远两孔(如1、3孔)的提取中心的连线调整至与坐标方向一致。将心轴放置在孔中，以孔的中心为原点，在靠近被测零件的端面处测取各孔坐标x_1, x_2, y_1, y_2，根据下式计算出该孔的实际位置</p> <p>X方向的位置尺寸：$x = \frac{x_1 + x_2}{2}$</p> <p>Y方向的位置尺寸：$y = \frac{y_1 + y_2}{2}$</p> <p>将x和y分别与相应的理论正确尺寸比较，得出偏差f_x和f_y</p> <p>该孔的位置度误差为$f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$，其他各孔的误差，按同样方法得出。必要时，位置度误差可用定位最小区域法求出</p>

(续)

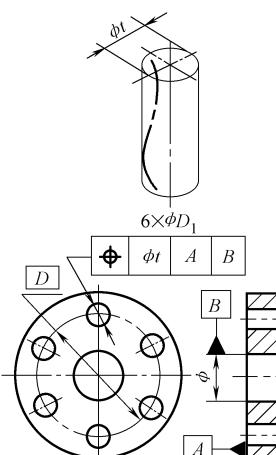
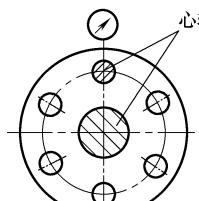
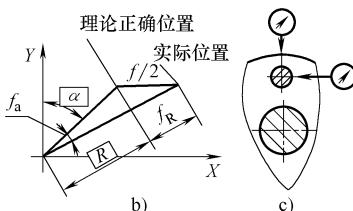
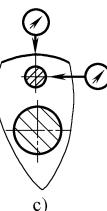
代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
2-3	 <p>6×ϕD ϕt</p>	 <p>① ②</p>	坐标测量装置, 心轴	<p>当被测轴线的长度较长时, 应同时测量被测轴线的两端, 取其中较大值作为该要素的位置度误差</p> <p>② 调整被测零件的侧面, 使其与坐标方向一致。测量 1~3 这一排孔的边心距 a 以及 1 和 4 孔的边心距 b, 实际测得尺寸 a 和 b 应分别位于 F 和 L 的极限尺寸之内</p> <p>测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴。若孔的形状误差对测量结果的影响可忽略时, 则可在实际孔壁上直接测量</p>





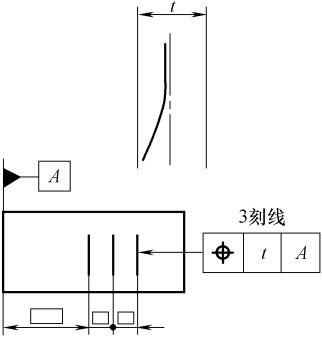
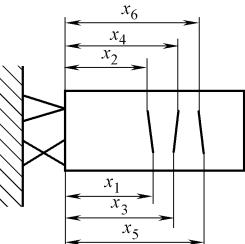
(续)

• 482 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
2-4		  	分度和坐标测量装置, 指示器, 心轴	<p>调整被测零件,使基准轴线与分度装置的回转轴线同轴</p> <p>任选一孔,以其中心做角向定位,测出各孔的径向误差f_R 和角度误差f_a(图 a 和图 b)。位置度误差为</p> $f = 2\sqrt{f_R^2 + (Rf_a)^2}$ <p>式中, f_a 取弧度值</p> <p>该零件也可用两个指示器(图 c)分别测出各孔径向误差f_y 和切向误差f_x,位置度误差:$f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$。必要时,位置度误差可用定位最小区域法求出</p> <p>当被测轴线较长时,应同时测量被测轴线的两端,并取其中较大值作为该要素的位置度误差</p> <p>测量时应选用可胀式(或与孔成无间隙配合的)心轴,若孔的形状误差对测量结果的影响可忽略时,则可在实际孔壁上直接测量</p>



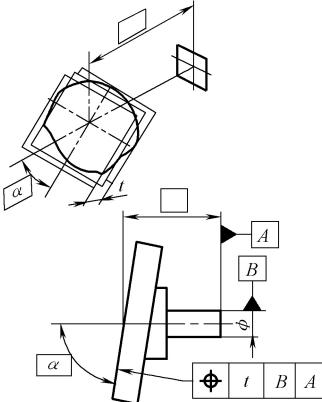
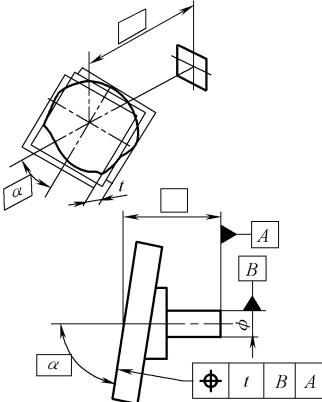
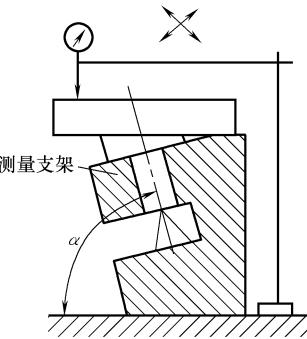
(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-5			坐标测量装置	<p>调整被测零件,使基准要素与测量装置对准 沿被测刻线分别测量其最大和最小的坐标值 $x_1-x_2, x_4-x_3, x_5-x_6$。将测得的各坐标值分别与相应的理论正确尺寸比较,取其中的最大差值乘以 2,作为该零件的位置度误差</p>



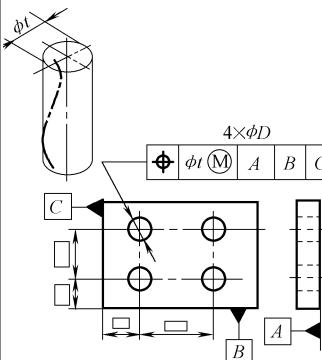
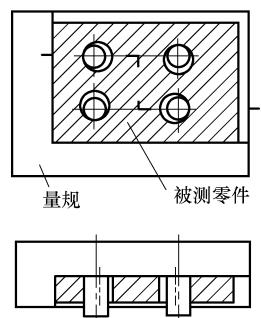
(续)

• 484 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
2-6	 		平板, 专用测量支架, 带指示器的测量架, 标准零件	<p>调整被测零件在专用测量支架上的位置, 使指示器的示值差为最小 指示器按专用的标准零件调零 在整个被测表面上测量若干点, 将指示器示值的最大值(绝对值)乘以2, 作为该零件的位置度误差</p>

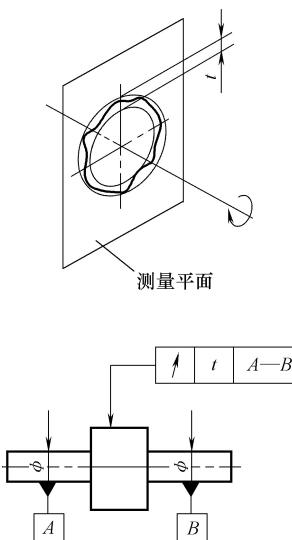
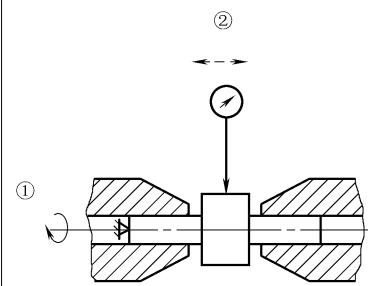


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
5-1	 <p style="text-align: center;">$\Phi \phi D$ $\pm l$ (M) A B C</p>		综合量规	<p>量规应通过被测零件，并与被测零件的基准面相接触 量规销的直径为被测孔的实际尺寸，量规各销的位置与被测孔的理想位置相同 对于小型薄板零件，可用投影仪测量位置度误差，其原理与综合量规相同</p>

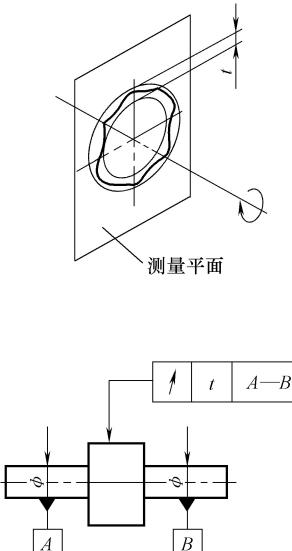
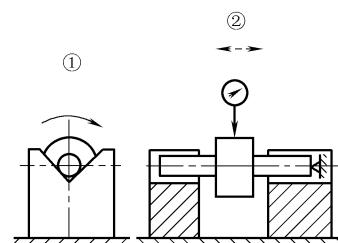


十三、圆跳动误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-1	 <p>测量平面</p>		一对同轴圆柱导向套筒, 带指示器的测量架	<p>将被测零件支承在两个同轴圆柱导向套筒内, 并在轴向定位 ① 在被测零件回转一周过程中指示器示值最大差值, 即为单个测量平面上的径向圆跳动 ② 按上述方法在若干个截面上进行测量。取各截面上测得的跳动量中的最大值, 作为该零件的径向圆跳动</p> <p>此方法在满足功能要求, 即基准要素与两个同轴轴承相配时, 是一种有用方法, 但是具有一定直径(最小外接圆柱面)的同轴导向套筒通常不易获得</p>



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
4-2			平板,V形架,带指示器的测量架	<p>基准轴线由V形架模拟,被测零件支承在V形架上,并在轴向定位</p> <p>① 在被测零件回转一周过程中,指示器示值最大差值即为单个测量平面上的径向圆跳动</p> <p>② 按上述方法测量若干个截面,取各截面上测得的跳动量中的最大值,作为该零件的径向圆跳动</p> <p>该测量方法受V形架角度和基准要素形状误差的综合影响</p>



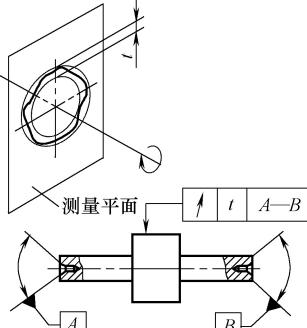
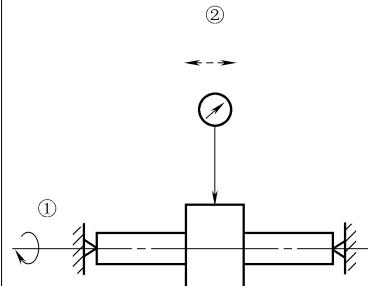
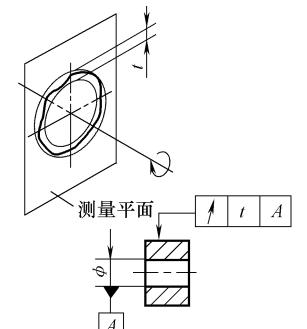
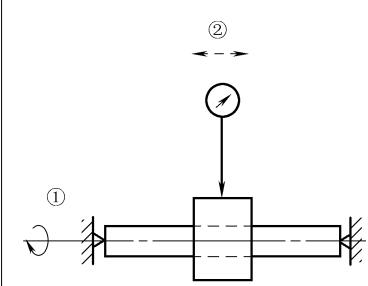
(续)

• 488 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-3	<p>测量平面</p>	<p>① ②</p>	平板, 刀形V形架, 带指示器的测量架	<p>基准轴线由刃形V形架模拟, 将被测零件支承在刃形V形架上, 并在轴向定位</p> <p>① 在被测零件回转一周过程中, 指示器示值最大差值即为单个测量平面上的径向圆跳动</p> <p>② 按上述方法, 测量若干个截面, 取各截面上测得的跳动量中最大值, 作为该零件的径向圆跳动</p> <p>此方法受V形架角度和基准要素形状误差的综合影响</p>



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-4	 <p>测量平面 A-B</p> <p>t</p>	 <p>①</p> <p>②</p>	一对同轴顶尖, 带指示器的测量架	<p>将被测零件安装在两顶尖之间 ① 在被测零件回转一周过程中, 指示器示值最大差值即为单个测量平面上的径向圆跳动 ② 按上述方法, 测量若干个截面, 取各截面上测得的跳动量中的最大值作为该零件的径向圆跳动</p>
4-5	 <p>测量平面 A</p> <p>ϕ</p>	 <p>①</p> <p>②</p>	一对同轴顶尖(或V形架), 导向心轴, 带指示器的测量架	<p>将被测零件固定在导向心轴上, 同时安装在两顶尖(或V形架)之间 ① 在被测零件回转一周过程中, 指示器示值最大差值即为单个测量平面上的径向圆跳动 ② 按上述方法, 测量若干个截面, 取各截面上测得的跳动量中的最大值作为该零件的径向圆跳动 导向心轴应与基准孔无间隙配合或采用可胀式心轴</p>



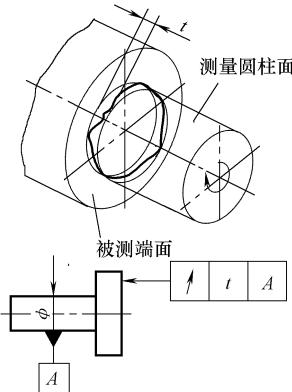
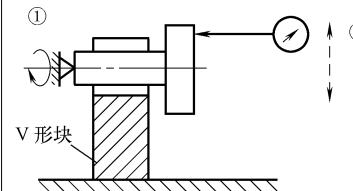
(续)

• 490 •

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-6	 		导向套筒，带指示器的测量架	<p>将被测零件固定在导向套筒内，并在轴向上固定</p> <p>① 在被测零件回转一周过程中，指示器示值最大差值即为单个测量圆柱面上的轴向圆跳动</p> <p>② 按上述方法，在若干圆柱面上进行测量，取在各测量圆柱面上测得的跳动量中的最大值作为该零件的轴向圆跳动</p>

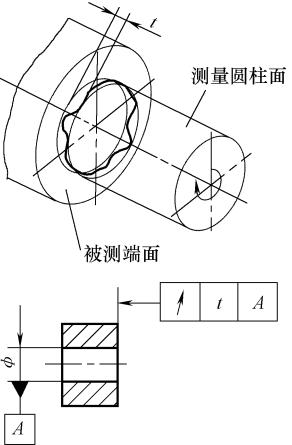
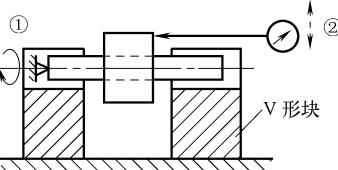


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-7			平板, 带指示器的测量架, V形块	<p>将被测零件支承在V形块上，并在轴向上固定</p> <p>① 在被测零件回转一周过程中，指示器示值最大差值即为单个测量圆柱面上的轴向圆跳动</p> <p>② 按上述方法，测量若干个圆柱面，取各测量圆柱面上测得的跳动量中的最大值作为该零件的轴向圆跳动</p> <p>该测量方法受V形块角度和基准要素形状误差的综合影响</p>



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说明
4-8			平板、V形块(或顶尖)、导向心轴, 带指示器的测量架 ① 在被测零件回转一周过程中, 指示器示值最大差值即为单个测量圆柱面上的轴向圆跳动 ② 按上述方法, 测量若干个圆柱面, 取各测量圆柱面上测得的最大值, 作为该零件的轴向圆跳动 导向心轴应与基准孔无间隙配合或采用可胀式心轴, 以保证零件与心轴间无相对运动	将被测零件固定在导向心轴上, 并安装在V形块上(或顶尖上)

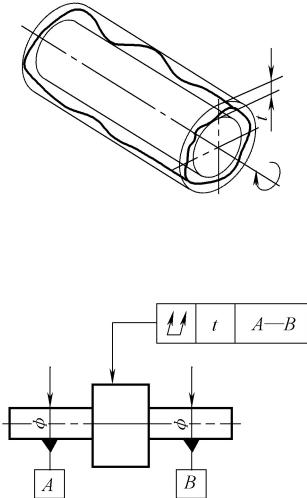
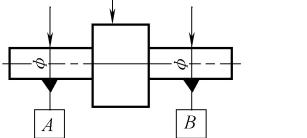
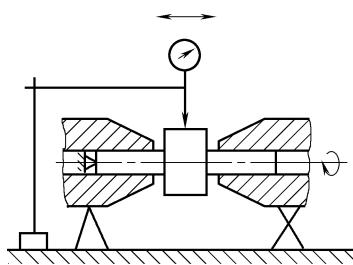


(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-9	 		导向套筒， 带指示器的 测量架	<p>将被测零件固定在导向套筒内,且在轴向固定</p> <p>① 在被测零件回转一周过程中,指示器示值最大差值即为单个测量圆锥面上的斜向圆跳动</p> <p>② 按上述方法,在若干测量圆锥面上测量,取各测量圆锥面上测得的跳动量中的最大值,作为该零件的斜向圆跳动</p> <p>当在机床或转动装置上直接进行测量时,具有一定直径的导向套筒(最小外接圆柱面)不易获得,可用可调圆柱套代替导向套筒(弹簧夹头),但测量结果受夹头误差影响</p>

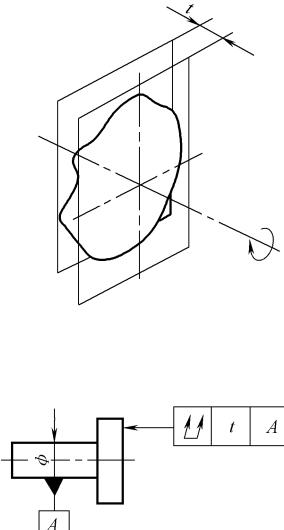
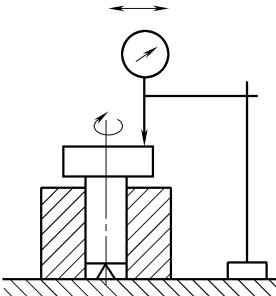


十四、全跳动误差检测

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-1	 		一对同轴 导向套筒, 平 板, 支承, 带 指示器的测 量架	<p>将被测零件固定在两同轴导 向套筒内, 同时在轴向上固定并 调整该对套筒, 使其同轴并与平 板平行</p> <p>在被测零件连续回转过程中, 同时让指示器沿基准轴线的方 向做直线运动</p> <p>在整个测量过程中指示器示 值最大差值即为该零件的径向 全跳动</p> <p>基准轴线也可以用一对 V 形 块或一对顶尖的简单方法来体现</p>



(续)

代号	公差带与应用示例	检测方法	设备	说 明
4-2			导向套筒， 平板，支承， 带指示器的 测量架	<p>将被测零件支承在导向套筒内，并在轴向上固定。导向套筒的轴线应与平板垂直</p> <p>在被测零件连续回转过程中，指示器沿其径向做直线移动</p> <p>在整个测量过程中的指示器示值最大差值即为该零件的轴向全跳动</p> <p>基准轴线也可以用 V 形块等简单方法来体现</p>

应用面广 —— 涉及国民经济的众多行业
注重实用 —— 作者40多年的经验汇总
内容全新 —— 采用2016年前的最新标准

JIHE GONGCHA YINGYONG JISHU WENDA



上架指导 工业技术 / 公差与配合

策划编辑◎王晓洁 / 封面设计◎马精明

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信公众号

ISBN 978-7-111-56873-5

ISBN 978-7-111-56873-5



9 787111 568735 >

定价：52.00元