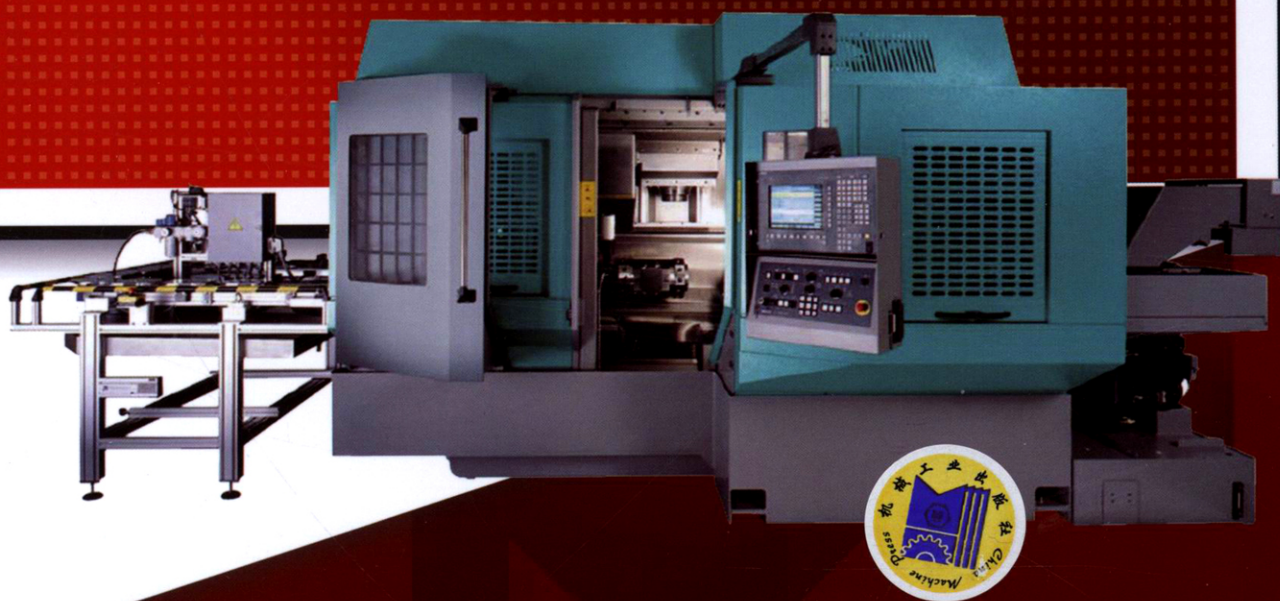


# 西门子数控 PLC程序典例

龚仲华 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 西门子数控 PLC 程序典例

龚仲华 编著



机械工业出版社



本书紧跟数控机床技术发展前沿,借鉴国外先进产品的设计经验,全面阐述了西门子数控系统集成 PLC 的程序设计方法,提供了丰富的 PLC 程序实例。

全书根据西门子数控系统集成 PLC 的性能特点,结合数控机床的特殊控制要求,在介绍 PLC 基础知识、编程指令的基础上,针对机床操作面板控制、进给轴和主轴控制、数控车床和加工中心换刀等 PLC 程序设计的重点问题,就 PLC 程序设计要求、设计思路、实现方法等,进行了系统的介绍;对西门子模板程序和子程序进行了详细说明;并增补了大量的应用广泛、实用性强的程序典例。

本书内容先进、选材典型、案例丰富,理论联系实际,面向工程应用,可供数控机床电气设计、调试、维修人员阅读,也可供高等院校相关专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

西门子数控 PLC 程序典例/龚仲华编著. —北京:机械工业出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-111-50291-3

I. ①西… II. ①龚… III. ①plc 技术-应用-数控机床-程序设计  
IV. ①TG659②TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 105966 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:徐明煜 责任编辑:徐明煜 朱 林 责任校对:陈 越

封面设计:路恩中 责任印制:刘 岚

北京中兴印刷有限公司印刷

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.5 印张·505 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-50291-3

定价:59.90 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

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

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

# 前 言

数控机床是一种综合应用了计算机控制、精密测量、精密机械、气动、液压、润滑等技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。当前，数控机床已成为企业的主要加工设备，在机械加工各领域得到了极为广泛的应用。

数控机床的电气设计主要包括电路设计（硬件）和 PLC 程序设计（软件）两方面。关于电路设计，已在机械工业出版社出版的《数控机床电气设计典例》一书中进行了全面阐述，本书针对配套西门子数控系统的 PLC 程序设计进行介绍。

数控系统集成 PLC 的程序设计涉及 CNC 功能、机床动作、安全运行等诸多方面，它是数控机床电气设计的重要内容；也是数控机床调试、维修人员所必备的基本技能。由于同类数控机床的控制要求及同型号 CNC 的功能和信号类似，借助典型程序，可大大提高设计效率和程序可靠性。

本书根据西门子（SIEMENS）数控系统集成 PLC 的特点，结合数控机床的特殊控制要求，在介绍 PLC 基础知识和编程指令的基础上，对机床操作面板控制、进给轴和主轴控制、数控车床和加工中心换刀等 PLC 程序设计的重点内容进行了详尽的阐述；对西门子模板程序和子程序进行了深入的说明；并提供了丰富的 PLC 程序实例，它可为数控机床电气设计和维修提供参考。

第 1 章介绍了数控机床、数控原理和数控系统的一般概念。

第 2 章叙述了 PLC 的一般原理与组成，介绍了梯形图编程的一般方法，提供基本梯形图程序典例。

第 3 章介绍了西门子数控系统集成 PLC 的程序设计要求、程序格式、CNC-PLC 接口信号和各类编程指令。

第 4 章介绍了西门子数控 PLC 模板程序和子程序库的组成和使用方法及 802S/C/D、808D/828D 的电气控制系统连接要求。

第 5 章阐述了 PLC 初始化和机床操作面板控制程序设计的方法和程序典例，内容包括 PLC 初始化程序、用户初始化程序、I/O 初始化程序及机床操作面板控制程序、倍率增/减键控制程序、进给轴运动方向键处理程序等。

第 6 章阐述了进给轴控制程序的设计方法和程序典例，内容包括驱动器通断控制程序、伺服和进给使能控制程序、行程保护和回参考点控制程序等。

第 7 章阐述了主轴控制程序的设计方法和程序典例，内容包括主轴的基本控制要求





和控制方式、主轴控制方案与接口信号，主轴基本控制程序和主轴传动级交换程序等。

第 8 章阐述了数控车床自动换刀程序的设计方法和程序典例，内容包括电动刀架控制程序、液压刀架控制程序等。

第 9 章阐述了加工中心自动换刀程序的设计方法和程序典例，内容包括刀库移动式换刀控制程序、Z 轴移动换刀控制程序、凸轮机械手换刀控制程序等。

本书的编写参阅了西门子公司技术资料，并得到了西门子公司技术人员的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

编著者

# 目 录

## 前言

第 1 章 数控机床与系统 .....	1
1.1 机床与数控 .....	1
1.1.1 机床及控制 .....	1
1.1.2 数控与数控机床 .....	2
1.2 常见的数控机床 .....	5
1.2.1 车削类数控机床 .....	5
1.2.2 镗铣类数控机床 .....	8
1.3 数控原理与系统 .....	13
1.3.1 数控系统组成 .....	13
1.3.2 数控加工原理 .....	15
1.3.3 普及型与全功能型 CNC .....	17
1.3.4 开环与闭环伺服系统 .....	20
1.3.5 通用伺服和专用伺服 .....	22
1.4 西门子数控系统简介 .....	24
1.4.1 产品概况 .....	24
1.4.2 SIEMENS 802Dsl .....	26
1.4.3 SIEMENS 808D 与 828D .....	29
1.4.4 SIEMENS 840Dsl .....	34
第 2 章 PLC 设计基础 .....	38
2.1 PLC 的组成与原理 .....	38
2.1.1 PLC 的特点与功能 .....	38
2.1.2 PLC 的组成与结构 .....	40
2.1.3 PLC 的工作原理 .....	44
2.2 梯形图程序设计 .....	48
2.2.1 PLC 编程语言 .....	48
2.2.2 梯形图编程 .....	50
2.2.3 典型梯形图程序 .....	52
2.3 梯形图编程要点 .....	58
2.3.1 不能实现的功能 .....	59
2.3.2 可使用的特殊程序 .....	60
2.3.3 梯形图的优化 .....	63
第 3 章 CNC 集成 PLC 编程 .....	66
3.1 程序格式 .....	66
3.1.1 程序的组成与结构 .....	66
3.1.2 指令格式 .....	69
3.1.3 地址与数据 .....	71

3.2 编程元件与接口信号 .....	74
3.2.1 基本编程元件 .....	74
3.2.2 局部变量 .....	76
3.2.3 CNC-PLC 接口信号 .....	79
3.3 功能指令与编程 .....	81
3.3.1 定时和计数指令 .....	81
3.3.2 多位逻辑处理指令 .....	83
3.3.3 比较指令 .....	85
3.3.4 移动和移位指令 .....	85
3.3.5 数据转换和算术运算指令 .....	87
第 4 章 模板程序与使用 .....	89
4.1 子程序库概述 .....	89
4.1.1 子程序组成 .....	89
4.1.2 子程序调用 .....	92
4.2 802S/C 模板程序与使用 .....	95
4.2.1 CNC 连接要求 .....	95
4.2.2 MCP I/O 信号 .....	99
4.2.3 参数与报警定义 .....	102
4.3 802D 模板程序与使用 .....	107
4.3.1 CNC 连接要求 .....	107
4.3.2 MCP I/O 信号 .....	111
4.3.3 参数与报警定义 .....	115
4.4 808D 模板程序与使用 .....	117
4.4.1 CNC 连接要求 .....	117
4.4.2 MCP I/O 信号 .....	120
4.4.3 参数与报警定义 .....	123
4.5 828D 模板程序与使用 .....	126
4.5.1 CNC 连接要求 .....	126
4.5.2 MCP 和手轮盒 .....	128
第 5 章 基本信号处理程序典例 .....	134
5.1 PLC 初始化程序 .....	134
5.1.1 PLC 初始化程序简述 .....	134
5.1.2 用户初始化程序 .....	139
5.1.3 I/O 初始化程序 .....	144
5.2 MCP 控制程序 .....	148
5.2.1 程序设计要求 .....	148
5.2.2 MCP 与 HMI 信号 .....	151





5.2.3 PLC 程序典例 .....	153	7.4.3 传动级交换程序典例 .....	220
5.3 特殊按键处理程序 .....	158	7.4.4 SBR41 子程序说明 .....	224
5.3.1 倍率增/减按键控制 .....	158	<b>第 8 章 数控车床换刀程序典例 .....</b>	<b>231</b>
5.3.2 轴运动方向键处理 .....	161	8.1 电动刀架控制程序 .....	231
<b>第 6 章 进给轴控制程序典例 .....</b>	<b>166</b>	8.1.1 程序设计要求 .....	231
6.1 驱动器控制程序 .....	166	8.1.2 刀架控制程序典例 .....	233
6.1.1 程序设计要求 .....	166	8.1.3 SBR46 子程序说明 .....	238
6.1.2 PLC 程序典例 .....	170	8.2 液压刀架控制程序 .....	244
6.2 进给轴控制要求 .....	174	8.2.1 程序设计要求 .....	244
6.2.1 基本概念 .....	174	8.2.2 刀位计数程序典例 .....	247
6.2.2 CNC 轴信号 .....	177	8.2.3 捷径选择程序典例 .....	251
6.2.3 通道信号 .....	179	8.2.4 换刀控制程序典例 .....	253
6.3 进给轴控制程序典例 .....	183	<b>第 9 章 加工中心换刀程序典例 .....</b>	<b>260</b>
6.3.1 伺服/进给使能程序 .....	183	9.1 刀库移动换刀程序 .....	260
6.3.2 行程保护程序 .....	188	9.1.1 ATC 结构与动作 .....	260
6.3.3 回参考点控制程序 .....	190	9.1.2 ATC 控制要求 .....	263
6.4 子程序 SBR40 说明 .....	191	9.1.3 PLC 程序典例 .....	266
6.4.1 急停连接电路 .....	191	9.2 Z 轴移动换刀程序 .....	273
6.4.2 伺服和进给使能控制 .....	193	9.2.1 CNC 程序设计 .....	273
6.4.3 硬件超程控制程序 .....	193	9.2.2 PLC 程序典例 .....	275
<b>第 7 章 主轴控制程序典例 .....</b>	<b>199</b>	9.3 凸轮机械手换刀程序 .....	280
7.1 主轴控制要求 .....	199	9.3.1 ATC 结构与动作 .....	280
7.1.1 主轴控制方式 .....	199	9.3.2 PLC 程序设计要求 .....	284
7.1.2 传动级交换控制 .....	201	9.3.3 刀具安装表初始化程序典例 .....	287
7.2 主轴控制方案与信号 .....	204	9.3.4 刀具检索程序典例 .....	289
7.2.1 主轴控制方案 .....	204	9.3.5 刀具安装表更新程序典例 .....	291
7.2.2 主轴控制信号 .....	205	9.3.6 刀具预选程序典例 .....	292
7.3 主轴基本控制程序 .....	207	9.3.7 自动换刀程序典例 .....	296
7.3.1 程序典例 .....	207	<b>附录 .....</b>	<b>300</b>
7.3.2 SBR35 子程序说明 .....	210	附录 A 802S/C/D 集成 PLC 功能指令表 .....	300
7.4 主轴传动级交换程序 .....	215	附录 B 802S/C/D 集成 PLC 接口信号表 .....	308
7.4.1 传动级交换方法 .....	215		
7.4.2 PLC 程序设计要求 .....	218		

# 第 1 章

## 数控机床与系统

### 1.1 机床与数控

#### 1.1.1 机床及控制

##### 1. 机床

数控技术的诞生源自于机床。机床是对金属或其他材料的坯料、工件进行加工，使之获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的机器，是机械制造业的主要加工设备。机床用来制造机器零件，它是制造机器的机器，故又称为工作母机。没有机床就不能制造机器，没有机器就不能生产工业产品，就谈不上发展经济，因此，机床是国民经济基础的基础。没有好的机床就制造不出好的机器，就生产不出好的产品，所以，机床的水平是衡量一个国家制造业水平和现代化程度、综合实力的重要标志。

由于加工方法、零件材料的不同，机床可分为金属切削机床、金属成型机床、木材加工机床、塑料成型机床等多种类型。金属成型机床是利用压力对坯料进行锻造、挤压、冲裁、剪切、弯曲等加工，使坯料获得所要求形状的机床，其生产效率极高，可用于大批量生产，但零件的尺寸精度和表面质量较难保证。木材加工机床、塑料成型机床多用于日常生活用品的生产，它同样具有高效、大批量生产的特点，但其零件的尺寸精度和表面质量一般低于金属切削机床。

金属切削机床是利用刀具或其他手段（如电加工、激光加工）去除坯料上的多余金属，从而得到具有一定形状、尺寸精度和表面质量工件的加工设备，它在工业企业中使用最广、数量最多，是数控技术应用最为广泛的领域。按照我国最新的 GB/T 15375—2008 机床分类标准，利用刀具进行加工的钻镗铣类、车削类、磨削类、齿轮加工类、螺纹加工类、刨插拉锯加工类机床归属于金属切削机床；而利用其他手段加工的电加工类、激光加工类、超声波类、水切割类等归属于特种加工机床。

##### 2. 机床的控制

数控最初是为解决金属切削机床控制问题而研发的一种技术。在金属切削机床上，为了能够完成零件的加工，机床一般需要进行以下 3 方面的控制。

1) 动作顺序控制。机床对零件的加工一般需要有多个加工动作，加工动作的顺序有规定的要求，称为工序，复杂零件的加工可能需要几十道工序才能完成。因此，机床的加工过程，需要根据工序的要求，按规定的顺序进行。





以图 1.1-1 所示的简单攻丝机为例，为了完成攻螺纹动作，攻丝机需要按照图 1.1-1b 所示的丝锥向下接近工件→丝锥正转向下加工螺纹→丝锥反转退出→丝锥离开工件 4 步进行。

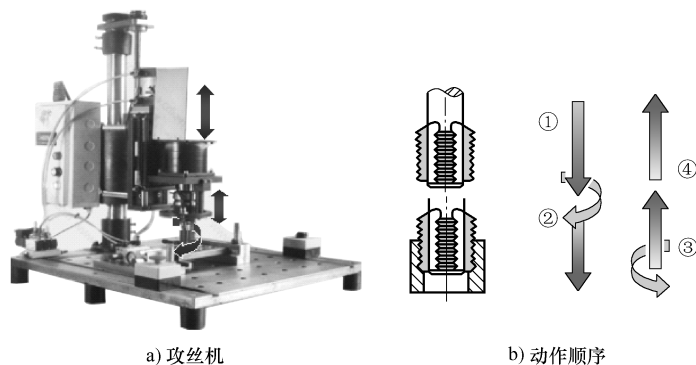


图 1.1-1 动作的顺序控制

机床的动作顺序控制只需要根据加工的动作顺序表，如电磁元件动作表等，按要求依次通断液压、气动、电动机等执行元件便可实现，故属于开关量控制的范畴，即使利用传统的继电-接触器控制系统也可以实现，而 PLC（可编程序控制器）的出现，更是使之变得十分容易。

2) 切削速度控制。在使用刀具进行加工的金属切削机床上，为了提高加工效率和得到要求的表面加工质量，应根据刀具和零件的材料、表面质量的要求，来确定刀具与工件的相对运动速度（切削速度），即使对于同样材质的刀具和零件，加工时也需要根据刀具的直径，改变其转速，以保证其切削速度的恒定。

改变切削速度既可通过机械变速齿轮箱、带传动等方法实现，也可使用电气传动改变电动机的转速实现，早期的直流调速和现代的交流调速都是机床的电气调速方案。

3) 运动轨迹控制。为了使得零件的形状（轮廓）符合规定的要求，就必须控制刀具相对于工件的运动轨迹。例如，对于图 1.1-2 所示的叶轮加工，加工时必须同时控制刀具的上下（Z 轴）、叶轮的回转（C 轴）和叶轮中心线的摆动（A 轴），来保证刀具运动轨迹的准确，得到正确的轮廓和形状。

刀具运动轨迹控制不仅包括了刀具的位置、运动速度控制，而且还需要多个方向的运动合成（联动）才能实现，这样的控制只有通过数字控制技术（简称数控技术）才能实现。

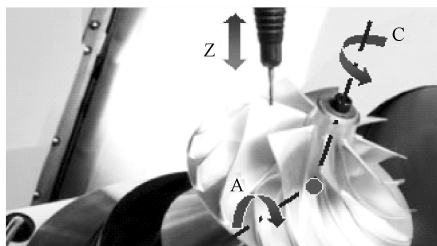


图 1.1-2 运动轨迹的控制

因此，机床采用数控技术的根本目的是解决运动轨迹控制的问题，使得机床能够任意改变刀具在平面或空间的移动轨迹，从而将工件加工成所需要的轮廓形状，这既是数控机床与其他机床的本质区别，也是数控的起源。

## 1.1.2 数控与数控机床

### 1. 数控的概念

数控（Numerical Control, NC）是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一



种方法。数控技术的发展和电子技术的发展保持同步，至今已经历了从电子管、晶体管、集成电路、计算机到微处理机的演变，由于现代数控都采用计算机控制，因此，又称计算机数控（Computerized Numerical Control, CNC）。数字化信息控制必须有相应的硬件和软件，这些硬件和软件的整体称为数控系统（Numerical Control System）。数控系统的核心部件是数控装置（Numerical Controller）。

根据使用场合的不同，数控技术、数控系统、数控装置均可采用 NC 或 CNC 的英文缩写，因此，英文的 NC 和 CNC 一词具有 3 种不同含义：在广义上代表一种控制方法和技术；在狭义上代表一种控制系统的实体；此外还可特指一种具体的控制装置——数控装置。

利用数控技术来解决金属切削机床的轮廓加工——刀具轨迹的自动控制问题的设想，最初由美国 Parsons 公司在 20 世纪 40 年代末提出。1952 年，Parsons 公司和美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology）联合，在一台 Cincinnati Hydrotel 立式铣床上安装了一套试验性的数控系统，并成功地实现了三轴联动加工，这是人们所公认的第一台数控机床。到了 1954 年，美国 Bendix 公司在 Parsons 专利的基础上，研制出了第一台工业用的数控机床，随后，数控机床取得了快速发展和迅速普及。

## 2. 数控机床

采用数控技术进行控制的机床称为数控机床，简称 NC 机床。机床控制是数控技术应用最早、最广泛的领域，数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向。数控机床是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。在今天，数控机床业已成为衡量一个国家制造技术水平和国家综合实力的重要标志，人们将数控技术与 PLC 技术、工业机器人、CAD/CAM 技术并称为现代工业自动化的四大支持技术。

数控机床是一个广义上的概念，所有机床都可采用数控技术进行控制，即使是用于特定产品加工的专用机床和生产线，为了增加其加工适应能力（柔性），也可采用数控。但是，需要注意的是：在使用 PLC 控制的机床上，某些运动部件的位置虽然也使用了轴控模块、伺服驱动器进行控制，但在通常情况下，这样的控制只能针对某一运动轴的速度、位置所进行的独立控制，它不能实现多个运动轴间的联动，解决刀具运动轨迹的控制问题，因此，这种机床不能称为数控机床。

在一般工业企业中，金属切削机床的车削类、钻镗铣类机床占绝大多数，因此，它是数控技术应用最为广泛的领域。

车削类机床以工件旋转作为切削主运动，适合于回转体零件的加工，与此类似的机床有内外圆磨削类等，这样的机床需要有轴向（Z）和径向（X）两个基本运动轴。根据机床的结构和功能，车削类数控机床分为数控车床、车削中心、车铣复合加工中心、多主轴高效加工机床和车削 FMC 等。

钻镗铣类机床通过刀具的旋转和空间运动实现切削，与此类似的机床有齿轮加工类、螺纹加工类、工具磨削类等，这样的机床至少需要有 X/Y/Z 3 个运动轴。根据机床的结构和功能，钻镗铣类数控机床分为数控铣床、数控镗铣床、加工中心、铣车复合加工中心、多主轴高效加工中心和 FMC 等。

为此，作为数控机床的基本控制系统，大多数 CNC 生产厂家习惯上将数控系统分为 M 系列和 T 系列两个系列产品，M 系列 CNC 至少具备 3 轴（X/Y/Z）控制功能，用于钻





镗铣类机床控制，如 FANUC-0iMD、SIEMENS-810M、KND1000M 等；T 系列 CNC 至少具备 2 轴（X/Z）控制功能，用于车削类机床控制，如 FANUC-0iTD、SIEMENS-810T、KND1000T 等。

但是，随着 CNC 技术的不断进步，车铣复合加工、多主轴高效加工和 FMC 等先进数控机床日益普及，它对数控系统提出了更高的要求，例如，车铣复合加工机床需要有多轴控制、Cs 轴控制功能；多主轴高效机床需要有多通道控制功能等，CNC 的功能正在日益提高。

### 3. 数控机床的特点

数控机床是典型的机电一体化设备，是现代制造技术的基础；数控机床也是数控技术应用最早、最广泛的领域，它代表了目前数控技术的性能、水平和发展方向。数控机床与普通机床比较，具有以下基本特点。

1) 精度高。机床采用 CNC 控制后，由于以下原因，其定位精度和加工精度一般都要高于传统的普通机床。一是脉冲当量小。CNC 的脉冲当量决定了机床理论上可达到的定位精度，当代 CNC 的脉冲当量一般都在 0.001mm 及以下，它能实现比普通机床更精确的定位和加工。二是 CNC 具有误差自动补偿。CNC 一般都具备误差自动补偿功能，机床进给传动系统的反向间隙、丝杠的螺距误差等均可通过 CNC 进行自动补偿，因此，即使在同等条件下，数控机床的定位精度也高于普通机床。三是结构刚性好。数控机床的进给系统普遍采用滚珠丝杠、直线导轨等高效、低摩擦传动部件，传动系统结构简单、传动链短、传动间隙小、部件刚性好，它比普通机床具有更高的刚度、精度和稳定性。四是人为误差小。数控机床可通过一次装夹，完成多工序的加工，减少了零件装夹过程中的人为误差；其零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。

2) 柔性强。机床采用 CNC 控制后，只需更换加工程序，就能进行不同零件的加工，它为多品种、小批量加工及新产品试制提供了极大的便利。数控机床还可通过多轴联动控制，实现空间曲线、曲面的加工，实现普通机床难以或无法完成的复杂零件加工，因此，其适用范围更广、柔性比普通机床更强。

3) 生产效率高。零件的加工效率决定于零件的实际加工时间和辅助加工时间。数控机床的加工效率主要体现在以下几个方面。一是数控机床的切削速度和进给量可以任意选择，因此，每一道工序都可选择最佳的切削用量，以提高加工效率；此外，由于数控机床的刚性好，允许进行大切削用量的强力切削，其加工效率高，实际加工时间短。二是数控机床的移动速度大大高于普通机床，一般数控机床的移动速度通常都在 30m/min 以上，在高速加工机床上，更是可达到近 100m/min，其刀具定位的时间非常短，加工辅助时间比普通机床要小得多。三是数控机床一次装夹，可完成多工序加工，更换同类零件不需要重新调整机床；大大节省了零件安装和调整时间。四是数控机床可实现精确、快速定位，因此不必像普通机床那样，需要在加工前对工件进行划线，可节省划线工时。五是加工零件的尺寸一致性好，质量稳定，加工零件通常只需要进行首检与抽检，可节省工件检验时间。

4) 有利于现代化管理。数控机床能准确地计算零件加工工时和费用，有利于生产管理的现代化。先进的数控机床，还可方便地连接到工厂自动化网络或信息管理网络中，为企业的计算机辅助设计与制造和信息化管理提供了条件。



## 1.2 常见的数控机床

### 1.2.1 车削类数控机床

车削加工机床是工业企业中最为常用的加工设备，它具有适用面广、结构简单、操作方便、维修容易等特点，可用于轴、盘类等回转体零件的外圆、端面、中心孔、螺纹等的车削加工。从结构布局上，工业企业常用的数控车削加工机床有卧式数控车床、立式数控车床两大类，以卧式数控车床的用量为最大。

卧式数控车床的主轴轴线为水平布置，它是所有数控机床中结构最简单，产量最大、使用最广泛的机床。根据机床性能和水平，目前市场使用的车削类数控机床可分为普及型和经济型、全功能型、车削中心、车铣复合加工中心、车削 FMC 等，其特点和主要用途如下。

#### 1. 普及型数控车床

国产普及型和经济型数控车床是普通车床通过数控化改造得到的简易产品，其主要部件结构、外形基本相同。普及型和经济型数控机床的区别仅仅是所使用的进给驱动装置有所不同，普及型采用通用伺服驱动，经济型使用步进驱动。由于步进电动机受最高运行频率、最大起动频率、步距角等参数的制约，其脉冲当量、快进速度、定位精度均较低，且还存在“失步”问题，因此，经济型数控车床的使用已越来越少。

常见的普及型数控车床如图 1.2-1 所示，这种机床只是根据数控机床的基本要求，对普通车床的相关机械部件做了部分改进，其床身、主轴箱、尾座、拖板等基本部件以及液压、冷却、照明、润滑等辅助部件的外形和基本结构与普通车床并无太大的区别。

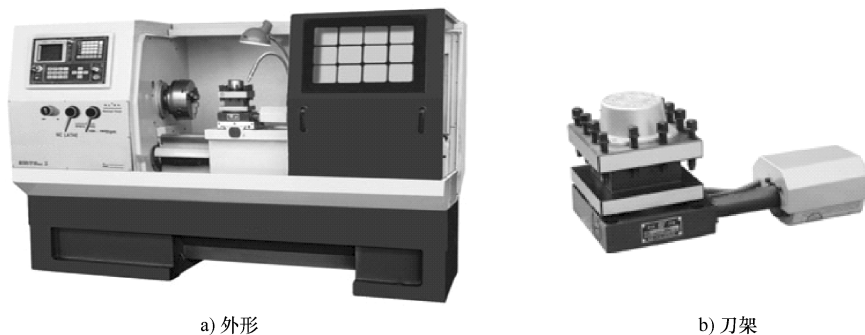


图 1.2-1 普及型数控车床

普及型数控车床的主电动机一般采用变频调速，由于变频器调速的低频输出转矩很小，故仍需要通过机械齿轮变速提高主轴低速转矩，但其变速档少于普通车床，主轴箱的结构也相对较简单。机床一般采用图 1.2-1b 所示的电动刀架进行自动换刀。

普及型数控车床的结构简单、价格低廉、维修容易，可用于简单零件的自动加工，但由于 CNC 的功能简单、目前还不能真正做到在 CNC 上实现坐标轴闭环位置控制，因此，无论是加工精度特别是轮廓加工精度、效率都与全功能型数控车床存在很大的差距，机床不能用于高速、高精度加工。

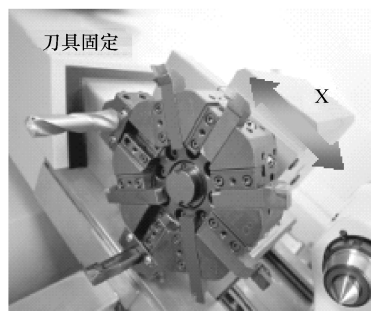


## 2. 全功能型数控车床

典型的全功能型数控车床如图 1.2-2 所示，其结构和布局均按数控机床的要求设计，机床多采用斜床身布局，刀架布置于床身后侧，主轴箱固定安装在床身上。



a) 外形



b) 刀架

图 1.2-2 全功能型数控车床

全功能型数控车床配套的是进口全功能数控，它可通过 CNC 真正实现闭环位置控制，其轮廓加工精度要远高于普及型数控车床。全功能型数控车床的主轴驱动采用专用交流主轴驱动装置，其调速范围宽、低速输出转矩大、最高转速高，且还可实现主轴位置控制；在高速、高精度机床上，还经常使用高速主轴单元或电主轴，使主轴具有更高的转速和精度。

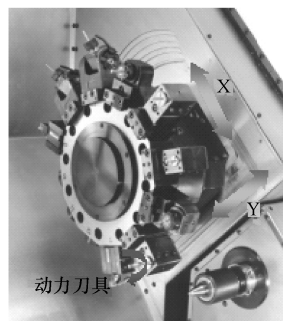
全功能型数控车床一般采用图 1.2-2b 所示的液压刀架。为了提高机床的加工效率和自动化程度，减小装夹误差，全功能型数控车床的卡盘和尾座一般采用液压控制，工件松夹、尾座的伸缩均可自动进行。

## 3. 车削中心

车削中心是在数控车床的基础上发展起来、可用于回转体零件表面铣削和孔加工的车铣复合加工机床，以卧式最为常见。主轴具有 C<sub>s</sub> 轴控制功能，刀架上可安装用于钻、镗、铣加工用的旋转刀具（Live Tool，又称动力刀具），刀具能够进行垂直方向运动（Y 轴）是车削中心和数控车床在功能上的主要区别。典型的车削中心如图 1.2-3 所示。



a) 外形



b) 刀架

图 1.2-3 车削中心



车削加工是以工件旋转为主运动、刀具做进给运动的切削加工方法，而钻、镗、铣加工则是以刀具的旋转为主运动、工件或刀具做进给运动的加工方法，两者的工艺特征不同。因此，车削中心的主轴不但需要进行旋转运动，而且还必须能够在所需要的位置上定位并夹紧、进行铣削等加工，并参与基本坐标轴的插补、实现刀具的进给运动，即：车削中心则必须同时具备速度、位置和Cs轴控制功能。

回转体零件内外圆、端面车削加工，只需要有轴向（Z轴）和径向（X轴）进给运动，但其侧面、端面的孔加工和铣削加工，除了需要轴向和径向进给外，还需要有垂直刀具轴线的运动才能实现，因此，车削中心至少需要有X、Y、Z 3个进给轴。

车削中心的刀架如图1.2-3b所示，其外形和数控车床液压刀架类似，但内部结构和控制要求有很大的差别。数控车床刀架上的刀具不能旋转，刀架只有回转分度和定位功能。车削中心的刀架不但可安装固定的车刀，而且还可以安装本身能够旋转的钻、镗、铣加工刀具，这样的刀具称为动力刀具（Live Tool），才能进行孔加工或平面、轮廓、槽的铣削加工。因此，车削中心的刀架不但需要有回转分度和定位功能，而且还需要安装动力刀具主传动系统，其结构较为复杂。

#### 4. 车铣复合加工中心

典型的车铣复合加工中心如图1.2-4所示。从数控车床的基础上发展起来的、以车削加工为主的中小型车铣复合加工中心的它通常以卧式斜床身数控车床为基础，其车削主轴的结构和车削中心相同，主轴为卧式布置，具有Cs轴控制功能，机床同样可配备尾架、顶尖等车削加工附件。

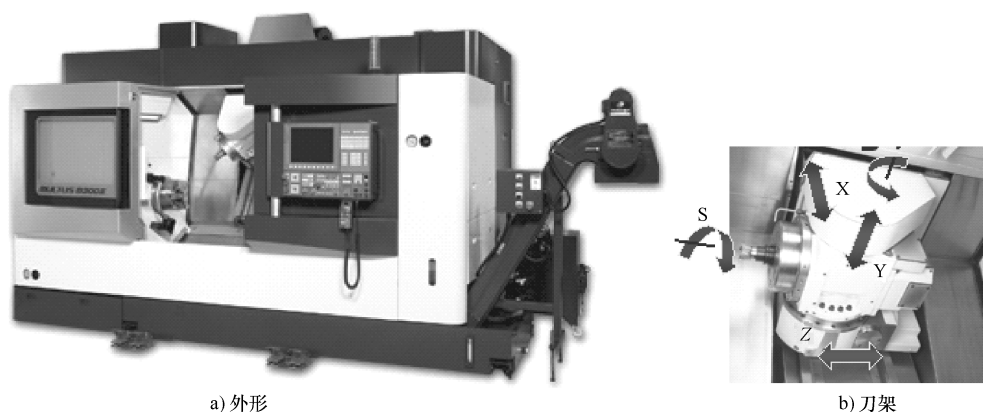


图 1.2-4 车铣复合加工中心

车铣复合加工中心和车削中心的最大区别在刀架结构上。车削中心的刀架一般采用前述的转塔结构，动力刀具安装在转塔上，刀具交换通过转塔的回转分度实现。这种机床的刀具交换方便，可直接使用传统车刀且刚性好，但作为车铣中心，它存在Y轴行程小、铣削能力弱、动力刀具传动系统的结构复杂、传动链长、主轴转速低和刚性差等问题，因此，其铣削能力较弱。

车铣复合加工中心一般采用图1.2-4b所示的加工中心主轴结构和换刀方式。主轴可安装刀柄统一的车削和镗铣加工刀具，并可进行大范围（225°左右）摆动，以调整刀具方向、进行倾斜面加工；自动换刀装置一般布置在床身的内侧，其结构与加工中心类似。



当机床进行内外圆或端面车削加工时，主轴换上车刀后锁紧，然后利用 B 轴的回转调整车刀方向（ $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 范围内的任意方向）并定位夹紧，这样就可通过 X、Z 轴运动，对安装在车削主轴上的旋转工件进行车削加工。当机床需要进行侧面或端面铣削加工时，车削主轴切换到 Cs 轴控制方式、成为数控回转轴，机床便可通过铣削主轴对安装在车削主轴上的工件进行钻、铣、镗、攻螺纹等加工，且能通过 X、Y、Z、B、C 的联动实现 5 轴加工。

车铣复合加工中心的主轴一般为电动机直联或电主轴，其主轴箱结构紧凑，可安装的刀具规格大、主轴刚性好，主轴转速可达到每分钟上万转甚至数万转，故可以用于高速铣削加工。

以上结构较好地解决了车削中心的铣削能力不足的问题，且可用于 5 轴加工，但自动换刀装置的布置不方便，床身倾斜的布局对 Y 轴行程还有一定的限制，为此，大型车铣复合加工中心有时直接采用加工中心的立柱移动结构，这种机床和带 A 轴转台、主轴箱摆动的立式 5 轴加工中心非常类似，只是其 A 轴采用的是车床的主轴结构、并具有车床用的尾架、顶尖等基本部件而已，因此，它完全综合了数控车床和加工中心的特点。

### 5. 车削 FMC

车削 FMC 是在车削中心、车铣复合加工中心的基础上，通过增加工件自动输送和交换装置，构成的自动化加工单元。图 1.2-5 为国外著名机床厂家生产的车削 FMC 外形。

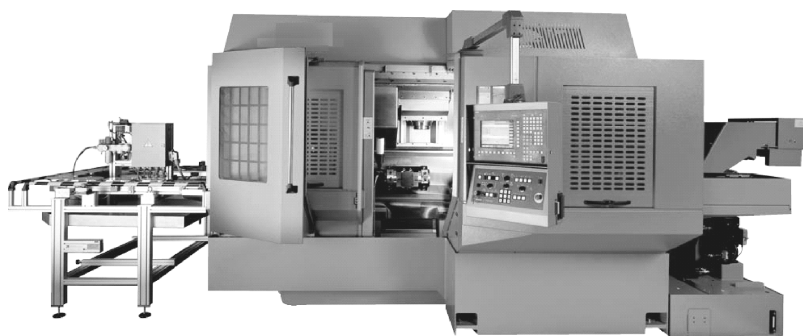


图 1.2-5 车削 FMC

FMC 是柔性加工单元（Flexible Manufacturing Cell）的简称，其最大特点是能够进行工件的自动交换，FMC 的主机可以是一台或几台数控车床、车削中心或车铣复合加工中心。FMC 不仅实现了工序的集中和工艺的复合，而且通过工件的自动交换，使得无人化加工成为可能，从而进一步提高了设备的加工效率。FMC 既是柔性制造系统的基础，又可以作为独立的自动化加工设备使用，因此，其发展速度较快。

## 1.2.2 镗铣类数控机床

镗铣加工数控机床的种类较多，从机床的结构布局上，可分为立式、卧式和龙门式三大类，龙门式镗铣加工机床属于大型设备，其使用相对较少；立式和卧式镗铣加工机床是常用设备。根据机床性能和水平，目前市场使用的镗铣类数控机床可分为数控镗铣床、加工中心、铣车复合加工中心、FMC 等，其特点和主要用途如下。

### 1. 数控镗铣床

主轴轴线垂直布置的机床称为立式机床。立式数控镗铣床是从普通立式铣床基础上发展



起来的数控机床，根据通常的习惯，人们将图 1.2-6a 所示的从普通升降台铣床基础上发展起来的数控镗铣加工机床称为数控铣床；而将图 1.2-6b 所示的从普通床身铣床基础上发展起来的数控镗铣加工机床称为数控镗铣床。

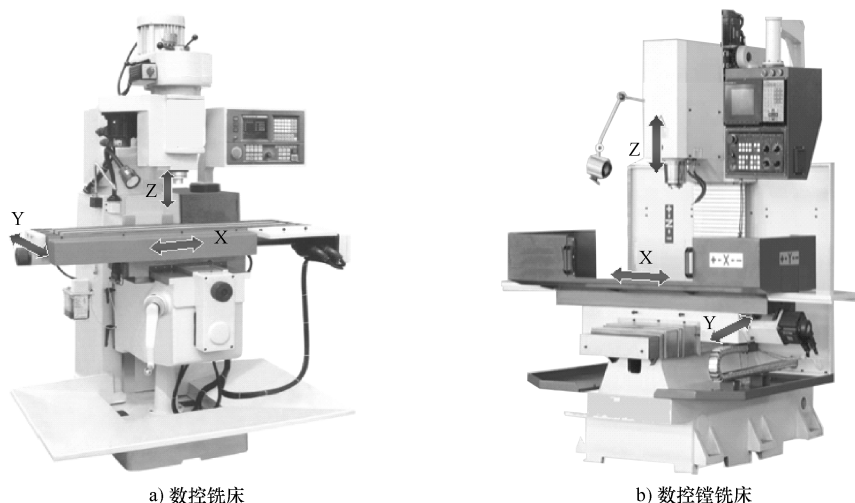


图 1.2-6 立式数控镗铣床

数控铣床和数控镗铣床的功能并无本质的区别。相对而言，数控镗铣床的孔加工能力较强、主轴的转速和精度较高，故更适合于高速、高精度加工，但其铣削加工能力一般低于同规格的数控铣床。

主轴轴线水平布置的机床称为卧式机床。卧式数控镗铣床是从普通卧式镗床基础上发展起来的数控机床，常见的外形如图 1.2-7 所示。

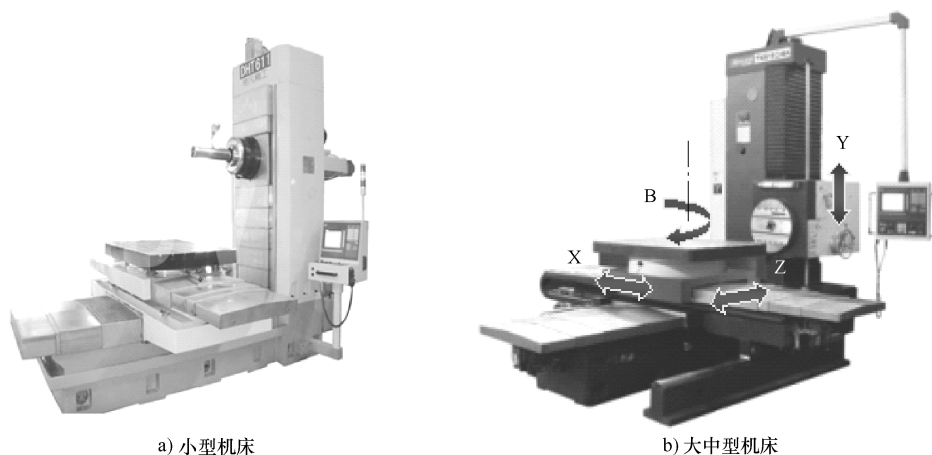


图 1.2-7 卧式数控镗铣床

卧式数控镗铣床以镗孔加工为主要特征，主要用来加工箱体类零件上侧面的孔或孔系。卧式机床的布局合理、工作台面敞开、工件装卸方便、工作行程大，故适合于箱体、机架等大型或结构复杂零件的孔加工。卧式数控镗铣床通常配备有回转工作台（B 轴），可以完成工件的所有侧面加工，因此，相对立式镗铣床而言，其适用范围更广，机床的精度和价格也





相对较高。

龙门式数控机床一般用于大型零件的镗铣加工，它由两侧立柱和顶梁组成龙门，主轴箱安装于龙门的顶梁或横梁上，其典型结构如图 1.2-8 所示。

龙门式数控机床的顶梁由两侧立柱对称支撑，滑座可在顶梁上左右移动（Y 轴），其 Y 轴行程大、工作台完全敞开，它可以解决立式机床的主轴悬伸和工件装卸问题。同时，由于 Y 轴位于顶梁（或横梁）上，也不需要考虑切屑、冷却水的防护等问题，工作可靠性高。龙门式机床的 Z 轴行程可通过改变顶梁高度调整；在横梁移动的机床上，还可通过横梁的升降扩大 Z 轴行程、提高主轴刚性，它还可以解决卧式机床所存在的主轴或刀具的前端下垂问题，其 Z 轴行程大、加工精度容易保证。

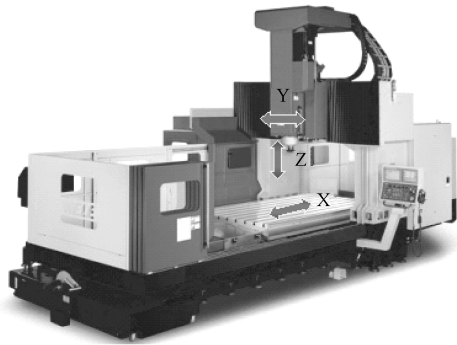


图 1.2-8 龙门式数控镗铣床

龙门镗铣床的 X 轴运动可通过工作台或龙门的移动实现，其最大行程可以达到数十米；Y 轴行程决定于横梁的长度和刚性，最大可达 10m 以上；Z 轴运动可通过横梁升降和主轴移动实现，一般可达数米；机床的加工范围远远大于立式机床和卧式机床，可用于大型、特大型零件的加工。

## 2. 加工中心

镗铣加工机床采用数控技术后，不仅实现了轮廓加工的功能，而且可通过改变加工程序改变零件的加工工艺与工序，增加了机床的柔性。但数控镗铣床由于不能自动换刀，因此，其加工效率相对较低。为此，人们研制了图 1.2-9 所示、带有自动刀具交换（Automatic Tool Changer, ATC）功能的 NC 机床，并称之为加工中心（Machining Center）。

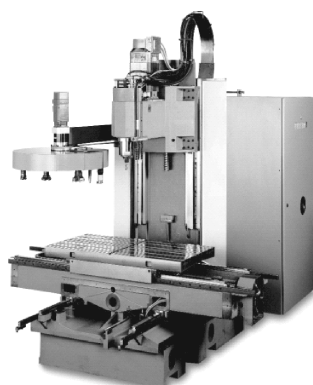
加工中心通过刀具的自动交换，可一次装夹完成多工序的加工，实现了工序的集中和工艺的复合，从而缩短了辅助加工时间，提高了机床的效率，减少了零件安装、定位次数，提高了加工精度，它是目前数控机床中产量最大、使用最广的数控机床之一，其种类繁多、结构各异，立式、卧式和龙门式加工中心属于常见的典型结构。

为了提高加工效率、缩短辅助时间，卧式加工中心经常采用图 1.2-9b 所示的双工作台交换装置，这种机床虽能实现工件的自动交换，但增加双工作台交换的主要目的是提高效率、缩短工件装卸辅助时间，且只能进行一个工件的交换，故不能称为 FMC。

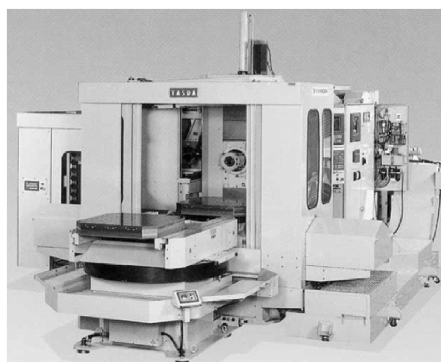
## 3. 铣车复合加工中心

铣车复合加工中心是近年来发展起来的新型机床，它集刀具回转的镗铣加工与工件回转的车削加工于一体，可以满足高效、高精度加工的要求。

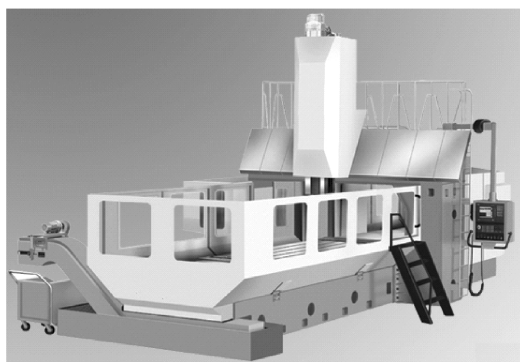
立式和龙门式加工中心实现铣车复合加工较为容易，它是铣车复合加工中心的常见形式。立式和龙门式加工中心只需要以车削加工的高速数控转台代替传统的数控回转工作台，就可实现铣车加工的复合。立式铣车复合加工中心的常见结构有两种：一是以 A 轴为车削主轴、主轴箱摆动（B 轴）的结构；另一种为 C 轴为车削主轴、A 轴转台摆动的结构，前者适合于长度较长的轴类零件铣车复合加工，故又称棒料加工中心；后者适用于长度较短的法兰、端盖类零件铣车复合加工，并可用于多主轴加工。



a) 立式



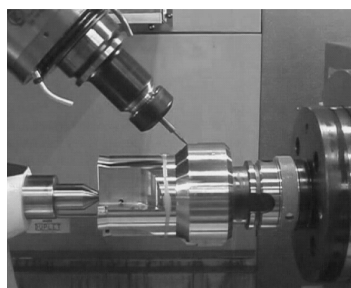
b) 卧式



c) 龙门式

图 1.2-9 加工中心

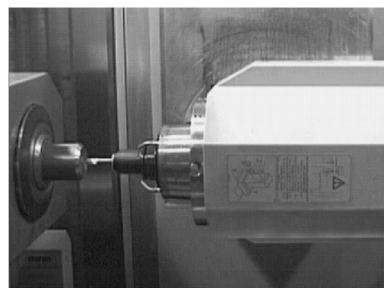
棒料加工中心一般以主轴箱摆动的 5 轴立式加工中心为基型，工作台上安装有卧式高速数控转台（A 轴）；主轴箱可绕 Y 轴左右摆动（B 轴）；机床工作台上一般安装有平行 X 轴的辅助运动轴 U 轴，用来安装尾架、夹持器等车削加工辅助部件。棒料加工中心的功能和用途如图 1.2-10 所示。



a) 5 轴铣削



b) 外圆端面车削



c) 端面孔加工

图 1.2-10 棒料加工中心的功能

当机床用于镗铣类加工时，A 轴用于回转定位和切削进给，主轴换上镗铣类刀具，机床便可通过 A 轴回转和 B 轴摆动，对轴类零件的侧面进行图 1.2-10a 所示的 5 轴孔加工或平面、槽的铣削加工。当 B 轴在  $0^\circ$  位置定位夹紧，A 轴切换到高速旋转方式，主轴换上车刀



并锁紧时，机床可像卧式数控车床那样，通过 X、Z 轴的运动，对 A 轴上的旋转工件进行图 1.2-10b 所示的轴类零件外圆、端面车削加工。当 B 轴在 90°位置夹紧，A 轴定位并夹紧，主轴换上钻头、丝锥或镗铣刀时，机床就可通过 Y、Z 轴定位和 X 轴的进给，对安装在 A 轴上的工件进行图 1.2-10c 所示的端面孔加工或槽加工。铣车加工中心在加工端面孔时，即使是中心孔，通常也采用工件固定、刀具旋转的加工方式，这点和卧式车床有所不同。

法兰类零件铣车复合加工中心一般以主轴箱固定的 5 轴立式加工中心为基型，工作台上安装有可绕 X 轴左右摆动（A 轴）的转台；转台上又安装有可用于车削加工的立式高速数控转台（C 轴）。机床的功能和用途如图 1.2-11 所示。

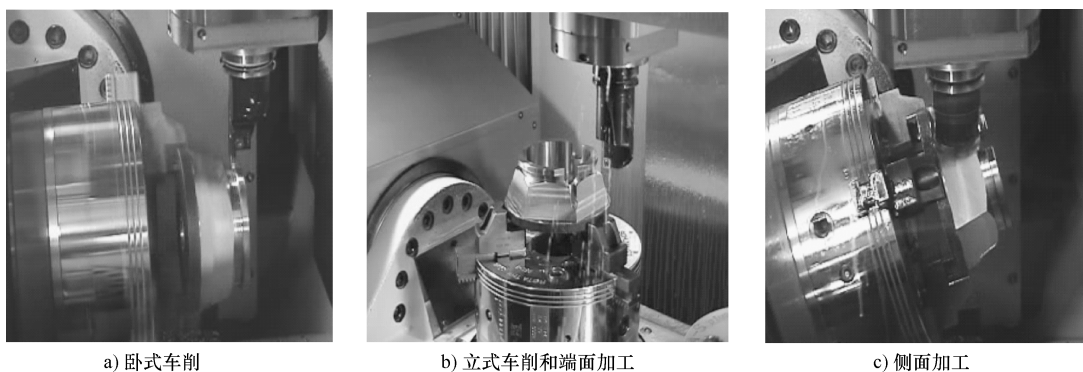


图 1.2-11 法兰类铣车复合加工

对于镗铣类加工，C 轴用于回转定位和切削进给，主轴换上镗铣类刀具，机床便通过 C 轴的回转和 A 轴的摆动，对叶轮、端盖、法兰等零件进行 5 轴铣削加工。当 A 轴在 90°位置定位夹紧、C 轴为水平并切换到高速旋转方式，主轴换上车刀并锁紧时，机床可像卧式数控车床那样，通过 Y、Z 轴的运动，对 C 轴上的旋转工件进行图 1.2-11a 所示的外圆、端面车削加工。

当 A 轴在 0°位置定位夹紧、C 轴为垂直并切换到高速旋转方式，主轴换上车刀并锁紧时，机床可像立式数控车床那样，进行图 1.2-11b 所示的外圆、端面车削加工；如 C 轴定位并夹紧、主轴换上钻头、丝锥或镗铣刀，则可对工件的端面进行孔加工或平面、槽的铣削加工。当 A、C 轴在其他位置同时定位并夹紧时，只要主轴换上钻头、丝锥或镗铣刀，机床就可对端盖、法兰等回转体零件的侧面进行图 1.2-11c 所示的孔加工或平面、槽的铣削加工。

#### 4. FMC

如果在加工中心的基础上，进一步增加图 1.2-12 所示的工作台（托盘）自动交换装置（Automatic Pallet Changer, APC），进行工件的自动交换，这样的加工单元称为柔性加工单元（FMC）。

FMC 不但可完成单个工件的多工序的加工，实现工序的集中和工艺的复合，而且

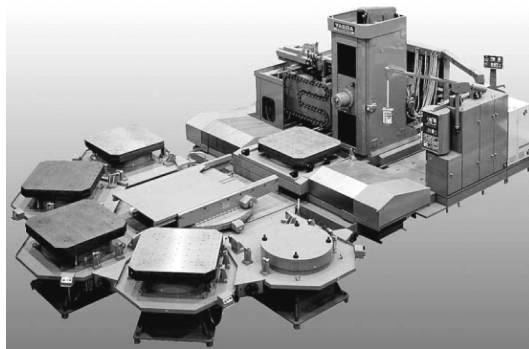


图 1.2-12 卧式 FMC



还能够自动交换加工零件,实现较长时间的无人化加工,它进一步提高了数控机床的利用率和自动化程度,这是一种目前真正能够实用化的无人化加工设备,它在先进的企业中已经得到普及和应用。

### 5. FMS 和 CIMS

NC 机床、加工中心、车削中心、FMC 都是独立的加工设备,如果在它们的基础上,再增加刀具中心、工件中心、输送系统、工业机器人及相关的配套设备,并由中央控制系统进行集中、统一的控制和管理,这样的制造系统称为柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS)。

FMS 的规模可大可小,中等规模的 FMS 一般由图 1.2-13 所示的若干台 NC 机床、测量机、工业机器人、集中控制台及相关设备组成,这样的 FMS 不仅可进行长时间无人化加工,而且也可以完成零件的测量,基本具备了 FMS 的功能。而大型 FMS 则具有车间制造过程的全面自动化的功能,这样的 FMS 可以称得上是一种高度自动化的先进制造系统。

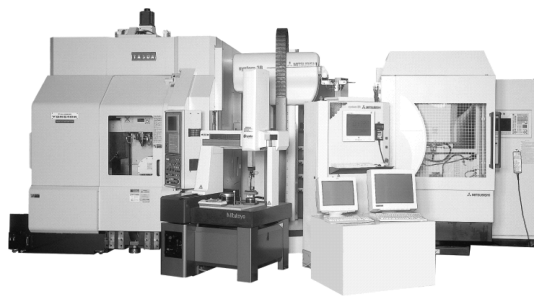


图 1.2-13 FMS

随着科学技术的发展,为了适应市场多变的需求,现代制造企业不仅需要实现车间制造过程的自动化,而且希望实现从市场预测、生产决策、产品设计、产品制造直到产品销售的全面自动化。如果将这些要求进行综合,并组成为完整的系统,这样的系统称计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。CIMS 将一个工厂的全部生产、经营活动进行了有机的集成,实现了高效益、高柔性的智能化生产,它是当今自动化制造技术发展的最高阶段。

FMS、CIMS 是现代制造技术的发展方向,但是由于技术、管理、维护等诸多原因,目前还处于研究和试验阶段,即使在发达国家,能够真正实用化的 FMS、CIMS 也不多见。

## 1.3 数控原理与系统

### 1.3.1 数控系统组成

数控系统的基本组成如图 1.3-1 所示。

数控系统以运动轨迹的控制作为主要控制对象,它需要对设备各运动轴的移动速度和位置等进行联合控制,其控制指令来自数控加工程序。因此,作为数控系统的最基本组成,它必须有数据输入/显示装置、轨迹控制装置(数控装置)、运动轴驱动装置(伺服驱动)等硬件和配套的软件。

#### 1. 数据输入/显示装置

数据输入/显示装置用于加工程序、控制参数等的输入和程序、位置、工作状态的显示。键盘和显示器是任何 CNC 都必备的基本数据输入/显示装置。键盘用于数据的手动输入,故称手动数据输入单元,简称 MDI;液晶显示器简称 LCD;两者通常制成一体,这样的单元称

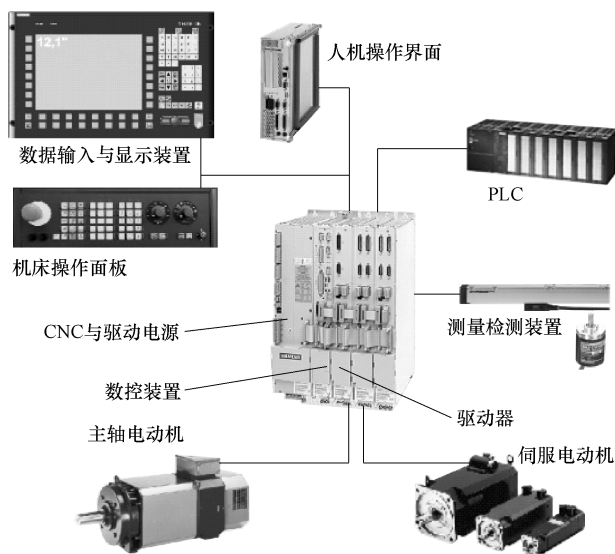


图 1.3-1 数控系统的组成

为 MDI/LCD 单元。作为数据输入/显示装置的扩展，早期的 CNC 曾经采用光电阅读机、磁带机、软盘驱动器和 CRT 等外部设备，这些设备目前已经淘汰，而计算机则成为了目前最常用的数据输入/显示扩展设备。

## 2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心部件，它包括输入/输出接口、控制器、运算器和存储器等。数控装置的作用是将外部输入命令转换为控制信号，以控制设备各部分的运动。

坐标轴的运动速度、方向和位移决定了刀具运动轨迹，它是数控装置最为主要的功能。坐标轴的运动控制信号（位置指令脉冲）可通过数控装置的插补运算生成，指令脉冲经伺服驱动系统的放大，驱动坐标轴的运动。

计算机技术发展到今天，数控装置的控制轴数、运算精度、处理速度等已不再是制约数控系统性能的主要问题，因此，衡量数控装置的性能和水平，必须从其位置控制的能力上进行区分。国产普及型 CNC 目前只具备位置指令脉冲的生成功能，它不能进行位置的实时监控和闭环控制；进口全功能 CNC 不仅具有位置指令脉冲生成功能，而且其坐标轴的闭环位置控制也通过数控装置实现，因此，其技术先进、结构复杂、价格高，但其位置控制精度、轮廓加工性能大大优于国产普及型 CNC。

## 3. 伺服驱动

伺服驱动（Servo Drive, SV）装置由驱动器（也称放大器）和伺服电动机等组成，按日本 JIS 标准，它是“以物体的位置、方向、状态等作为控制量，追踪目标值的任意变化的控制机构”。伺服驱动装置不仅可和数控装置配套使用，且还可构成独立的位置随动系统，故又称伺服系统。交流伺服驱动是当前最为常用的驱动装置。在先进的高速加工机床上，已开始使用直线电动机。早期的数控机床也有采用直流伺服驱动的情况，简易数控设备有时也可采用步进驱动。

伺服驱动系统的结构与数控装置的性能密切相关，因此，它是区分经济型、普及型与全



功能型数控装置的标准。经济型 CNC 使用的是步进驱动；国产普及型 CNC 由于数控装置不能进行闭环位置控制，故需要使用具有位置控制功能的通用型伺服驱动；进口全功能 CNC 本身具有闭环位置控制功能，故使用的是无位置控制功能的专用型伺服驱动。

#### 4. PLC

PLC 是可程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller）的简称，专门用于机床控制的 PLC 又称 PMC（Programmable Machine Controller），它用于数控设备除坐标轴（运动轨迹）外的其他动作控制，例如，数控机床的主轴转速、转向和起/停；刀具的自动交换；冷却、润滑的控制；工件的松开、夹紧控制等。

在简单数控系统上，辅助控制命令在经过数控装置的编译后，一般以电平或脉冲信号的形式，直接输出到外部，由强电控制电路或外部 PLC 进行处理；在全功能型 CNC 上，为了便于用户使用，PLC（PMC）一般作为 CNC 的基本组件，直接集成在 CNC 上；或通过网络链接，使两者成为统一的整体。

#### 5. 其他

随着数控技术的发展和机床控制要求的提高，数控系统的功能在日益增强。例如，在金属切削机床上，为了控制切削速度，主轴是其必需部件；特别是随着车铣复合等先进 CNC 机床的出现，主轴不仅需要进行速度控制，而且还需要参与坐标轴的插补运算（Cs 轴控制），因此，在全功能型 CNC 上，主轴驱动装置也是数控系统的基本组件之一。

此外，在全闭环控制的数控机床上，用于直接位置测量的光栅、编码器等也是数控系统的基本部件。为了方便用户使用，机床操作面板等也是数控系统常用的配套装置；在先进的数控系统上，还可以直接选择集成有个人计算机的人机界面，进行文件的管理和数据预处理，数控系统的功能更强、性能更完善。

### 1.3.2 数控加工原理

#### 1. 数控机床的加工

数控技术以运动轨迹控制作为根本目的，为了说明数控系统的工作原理，下面以数控机床这一典型数控设备为例进行说明。

数控机床的一般组成如图 1.3-2 所示，其零件加工分以下步骤进行。

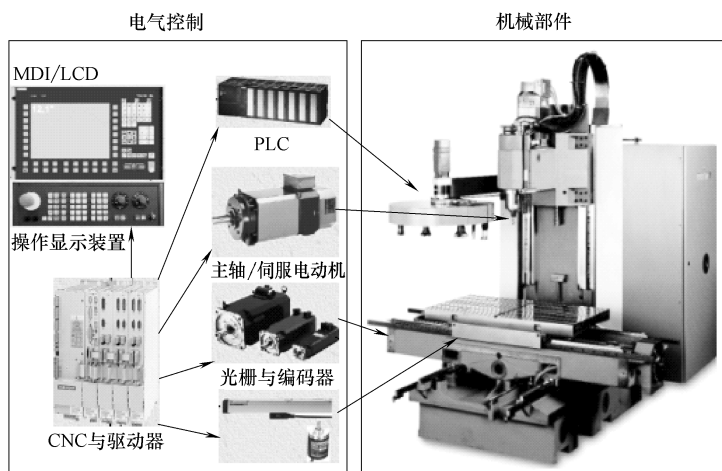


图 1.3-2 数控机床的一般组成



1) 程序编制。根据被加工零件的图样与工艺方案,用规定的代码和程序格式,将刀具的移动轨迹、加工工艺过程、工艺参数、切削用量等编写成 CNC 能够识别的指令,并将所编写的加工程序输入到 CNC。

2) 自动运行。CNC 自动执行加工程序,对其进行译码、运算处理,并向各坐标轴的伺服驱动或辅助控制装置发送相应的控制信号,控制机床的各部件运动。在运动过程中,CNC 需要通过反馈装置随时检测坐标轴的实际速度与位置,保证运动轨迹的正确无误;辅助部件的动作也需要通过行程开关等检测装置进行监控。

3) 操作监控。操作者可随时对机床的加工情况、工作状态进行观察和检查,必要时可对加工程序、执行过程和机床动作进行调整,保证机床安全可靠运行。

## 2. 轨迹控制原理

运动轨迹控制是数控系统最为主要的功能,也是机床采用数控的根本原因。

在传统的机床上,加工零件需要操作者根据图样的要求,通过不断改变刀具的运动轨迹和运动速度,对工件进行切削加工,保证零件的位置、轮廓和表面质量达到规定的要求。因此,如果工件的轮廓为曲线或曲面,它需要通过多个坐标轴的运动合成,这样的工件如通过操作者的手动操作来进行加工,是任何操作者都无法做到的。

数控机床的运动轨迹控制实质上是应用了数学上的微分原理,其工作原理与过程如图 1.3-3 所示。

1) 微分处理。CNC 根据加工程序的要求,将坐标轴的运动量,微分为  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  等的微小运动,这一微小运动量称为 CNC 的插补单位。

2) 插补运算。CNC 将程序要求的运动轨迹,用微小运动组成的等效折线拟合,并找出最接近理论轨迹的拟合线。

在 CNC 中,这种根据给定的数学函数,在理想轨迹的已知点之间,通过微分确定中间点的方法称为插补运算,插补运算有多种方法,但以目前的计算机处理速度和精度,任何插补方法都足以满足机械加工的需要,故无需深究。

3) 指令分配。CNC 按照拟合线的要求,向需要参与插补的坐标轴,连续、有序地输出指令脉冲。指令通过伺服驱动系统的放大,驱动机床坐标轴运动,合成为刀具运动轨迹。

由此可得到以下结论:

1) 只要数控系统的插补单位  $\Delta X$  和  $\Delta Y$  足够小,拟合线就可以完全等效代替理论轨迹。

2) 如果改变参与插补的坐标轴的指令脉冲分配方式,便可以改变拟合线的形状,从而改变刀具运动轨迹。

3) 如果改变指令脉冲的输出频率,即可改变坐标轴(刀具)的运动速度。

因此,可实现数控机床的刀具运动轨迹控制。

## 3. 多轴联动和精度

在 CNC 上,将能够通过 CNC 控制速度和位移的坐标轴数量,称为 CNC 的控制轴数;将能够参与插补运算的坐标轴数量称为联动轴数。显然,能够参与插补运算的联动轴数越多,CNC 的轮廓拟合能力就越强,因此,联动轴数曾经是衡量 CNC 性能水平的重要技术指标之一。

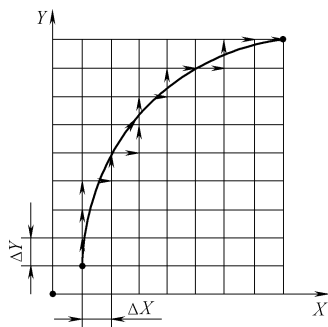


图 1.3-3 轨迹控制原理





但是,如前所述,计算机技术发展到了今天,无论是其处理速度还是精度,都要进行多个坐标轴的插补运算、输出相应的指令脉冲,这已经不是什么难题。因此,CNC 能够进行多少个坐标轴的插补处理,这其实并不重要,重要的是怎样保证坐标轴能够完全按照指令脉冲进行运动,确保实际运动轨迹的准确无误。为此,国外先进的 CNC 都需要将伺服驱动和 CNC 作为一个整体进行设计,并通过 CNC 的闭环位置控制,来确保实际坐标轴的运动和指令脉冲完全一致,这正是国产经济型、普及型 CNC 和国外全功能型 CNC 的差距所在,在使用时需要引起注意。

采用数字化信息控制后,坐标轴的运动控制信号为脉冲信号。CNC 输出的单位脉冲所对应的坐标轴位移称为数控机床的最小移动单位,亦称脉冲当量,它是机床理论上能够达到的最高位置控制精度。经济型 CNC 由于受步进电动机步距角的限制,其脉冲当量通常只能达到 0.01mm 左右;国产普及型 CNC 的脉冲当量一般为 0.001mm;进口全功能型 CNC 的脉冲当量一般可达到 0.0001mm,甚至更小。

机床的实际运动精度和位置测量装置密切相关,采用电动机内置编码器作为位置检测元件时,可以保证电动机转角的准确;采用光栅或编码器直接检测,可以保证直线轴或回转轴的定位准确。经济型 CNC 的步进电动机无位置检测装置,故存在失步现象。国产普及型 CNC 的电机内置编码器一般为 2500P/r,通过 4 倍频线路,对于导程 10mm 的传动系统,电动机和丝杠 1:1 连接时,检测精度可以达到  $1\mu\text{m}$ 。进口全功能型 CNC 的电动机内置编码器,光栅的分辨率已可达  $2^{28}$  (268 435 456P/r) 左右,同样对于导程 10mm 的传动系统,电动机和丝杠 1:1 连接时,检测精度可以达到  $0.04\mu\text{m}$ 。

### 1.3.3 普及型与全功能型 CNC

目前,我国数控机床所使用的数控系统有国产经济型、普及型和进口全功能型之分,它不是单纯就 CNC 软件功能来进行的分类,而是应从数控机床的控制要求和 CNC 实际具备的控制性能的角度来理解不同 CNC 所存在的区别。数控机床是一种加工设备,既快又好地完成加工,是人们对它的最大期望,因此,机床实际能够达到的加工精度和效率,是衡量其性能水平最重要的技术指标,而 CNC 控制轴数、联动轴数等虽代表了 CNC 的轮廓加工能力,但它们只是 CNC 软件功能的区别,并不代表机床实际能达到的精度和效率。

伺服驱动的结构和性能是决定机床定位精度和轮廓加工精度的关键部件,也是判定经济型、普及型和全功能型 CNC 最简单的方法。使用开环步进驱动的 CNC 属于经济型数控;配套的通用伺服驱动装置的 CNC 属于普及型数控;而全功能型 CNC 则需要配套专用伺服驱动器<sup>①</sup>。目前,国内对于经济型 CNC 的定义,人们已经形成了普遍的共识,但对于普及型 CNC 和全功能型 CNC 的区别,目前还存在较大的误区,以至于在购买、使用数控机床时出现了很多的问题,现说明如下。

#### 1. 普及型 CNC

普及型 CNC 的一般组成如图 1.3-4 所示,它通常由 CNC/MDI/LCD 集成单元(简称 CNC 单元)、通用型伺服驱动器、主轴驱动器(一般为变频器)、机床操作面板和 I/O 设备等硬件组成,CNC 对配套的驱动器、变频器的厂家和型号无要求。

<sup>①</sup> 龚仲华. 论通用伺服与专用伺服 [J]. 制造技术与机床, 2011 (5).

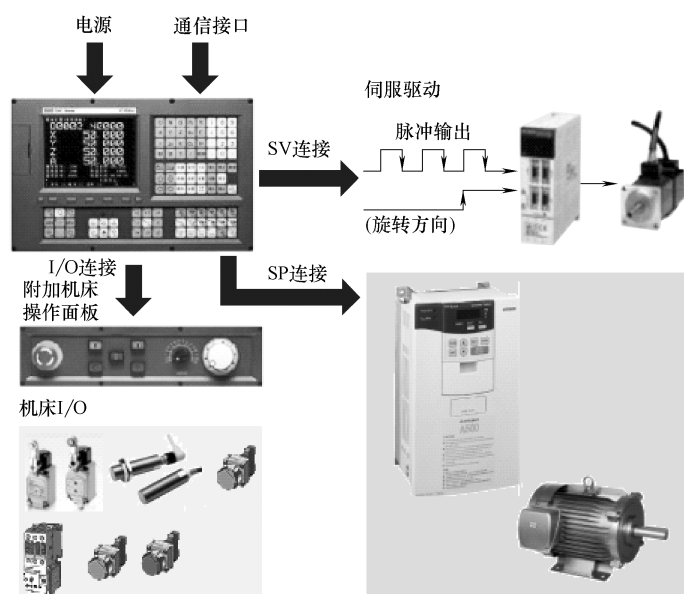


图 1.3-4 普及型 CNC 的一般组成

普及型 CNC 的数控装置只能输出指令脉冲，它不具备闭环位置控制功能。因此，它只能配套具有闭环位置控制功能的通用型交流伺服器，这是它与全功能型 CNC 的最大区别。由于普及型 CNC 的位置测量信号不能反馈到 CNC 上，故 CNC 不能对坐标轴的实际位置和速度进行实时监控，也不能实时修正运动轨迹与速度，从这一意义上说，对 CNC 而言，它仍属于开环系统的范畴。

普及型 CNC 所使用的通用伺服驱动器是一种本身带有闭环位置控制功能、通过指令脉冲控制伺服电动机位置和速度的通用控制器，它对上级位置控制器（指令脉冲的提供者）无要求，故也可用于 PLC 控制。为了进行驱动器和 CNC 指令脉冲、机床移动量的匹配，驱动器必须带有用于数据设定与显示的操作面板。

由于普及型 CNC 不具备闭环速度、位置控制功能，这样的 CNC 实际上只是一个具有插补运算功能的指令脉冲发生器，实际坐标轴的运动都是在各自的驱动器控制下独立进行的。正因为如此，普及型 CNC 不能实时监控位置误差和速度等重要参数，也不能通过实际位置来调整指令脉冲输出，因此，刀具运动轨迹的精确控制只存在理论上的可能。从这一意义上说，通用伺服驱动的作用类似于步进驱动，只是它可实现连续、任意位置的定位，也不存在步进电动机的失步而已。

国产普及型 CNC 大多无集成式内置 PLC，它们只能将辅助功能中最常用的少量 M 代码，如主轴正反转和起动/停止控制 M03/M04/M05，冷却控制的 M07/M08/M09 及数控车床刀架正/反转 TL+/TL-、卡盘/尾架夹紧/松开等，译码后作为 CNC 接口信号直接输出。因此，其辅助机能控制一般可以通过简单的强电控制线路便可实现。少量的普及型 CNC（如早期的 FAGOR 8025、PRIMOS 等）也可将 M 代码及 M 代码修改信号 MF 等，以二进制代码信号的形式输出到 CNC 接口上，用户可通过选配通用型 PLC，实现辅助机能的控制。

为了适应中国市场的特殊需要，SIEMENS 公司近年也推出了 SINUMERIK 808D 等普及

型 CNC 产品（详见第 3 章），它同样也只能采用 SINAMICS V60 等通用伺服驱动器，CNC 也只能输出指令脉冲，而不具备闭环速度和位置控制功能，其轮廓控制性能较差。但是，808D 等 CNC 集成有内置式的 PLC，故其 PLC 性能优于国产普及型 CNC。

## 2. 全功能型 CNC

全功能型 CNC 是一种通过 CNC 实现闭环位置控制、需要配套专用伺服驱动器，并带有内置 PLC 或 PMC 的完整系统，其功能强、结构复杂、组成部件多。全功能型 CNC 的各组成部件均需要在 CNC 的统一控制下运行，部件间的联系紧密，伺服驱动器、主轴驱动器、PMC 等都不能独立使用，因此，在控制系统设计、连接、调试时必须将其作为一个统一的整体来考虑。

目前，全功能型 CNC 一般都采用了网络控制技术，以 FS-0iD 为例，其组成如图 1.3-5 所示。与早期的 CNC 比较，其采用了网络控制的 CNC，以 I/O-Link、PROFIBUS、FSSB 等现场总线替代了传统的 I/O 单元和伺服驱动器的连接电缆；以工业以太网替代了传统的通信连接，故 CNC 的连接简单、扩展性好、可靠性高。

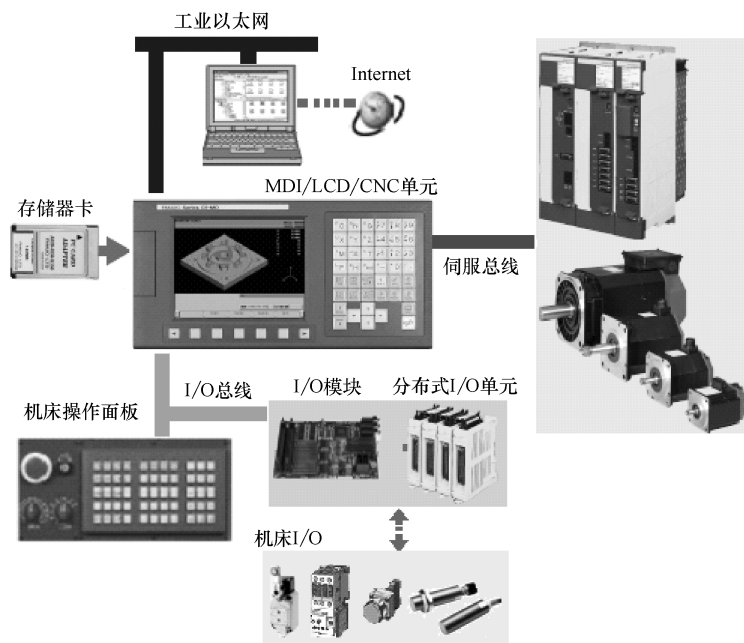


图 1.3-5 FS-0iD 的系统组成

全功能型 CNC 的闭环位置控制通过 CNC 实现，故必须配套专用的伺服驱动器，伺服驱动器与 CNC 之间一般通过总线连接，如 FANUC 的 FSSB 总线、SIEMENS 的 PROFIBUS 总线等，总线通信使用专用协议，对外部无开放性，驱动器不能独立使用。驱动器参数设定、状态监控、调试与优化等均可通过 CNC 的 MDI/LCD 单元进行，驱动器无操作面板。

通过 CNC 进行闭环位置控制是全功能型 CNC 区别于国产普及型 CNC 的最大特点。全功能型 CNC 不但能实时监控运动部件的位置误差和速度等，而且所有坐标轴的运动都可以作为整体进行统一控制，它可根据机床的实际运动来调整 CNC 的指令脉冲输出，确保刀具运



动轨迹的准确无误，这是一种真正意义上的闭环位置控制系统。在先进的 CNC 上，还可通过“插补前加减速”、“AI 先行控制 (Advanced Preview Control)”等前瞻控制功能，进一步提高轮廓加工精度。这就是配套全功能型 CNC 的数控机床，其定位精度、轮廓加工精度要远远高于普及型 CNC 的原因所在。

全功能型 CNC 的 PLC 有集成内置式 PLC (PMC) 和使用外置式 PLC 两种情况。前者多用于 5 轴以下的紧凑型 CNC，后者多用于多轴控制、多轴联动的大型复杂 CNC。

1) 内置式 PLC。在使用集成内置式 PLC 的 CNC 上，PLC 与 CNC 共用电源和 CPU。用户可根据机床的实际控制需要，通过选择所需的开关量输入/输出连接模块 (I/O 单元或 I/O 模块)，构成相对简单的 PLC 系统，CNC (PLC) 和 I/O 单元 (模块) 间可通过网络总线进行连接。

内置式 PLC 与 CNC 集成为一体，PLC 不能独立使用，CNC 配套的 I/O 单元 (模块) 结构紧凑、I/O 点较多，但模块种类少、输入/输出规格固定、用途单一，I/O 点的总数有一定的限制，通常也不能选择特殊功能模块。此外，CNC 生产厂家所提供的机床操作面板等部件，可通过集成总线接口直接与 PLC 总线连接，作为 PLC 的 I/O 单元使用。内置式 PLC 与 CNC 间的信号传送可直接通过内部 I/O 接口实现，无需选配 I/O 单元。

内置式 PLC 的软件功能较为简单，功能指令较少，但是，为了便于用户使用，它一般设计有专门用于数控机床控制的回转分度和自动换刀等特殊功能指令。内置式 PLC 可借助 CNC 的操作面板与显示器，进行程序的编辑、调试与状态监控。

2) 外置式 PLC。大型全功能型 CNC 的功能强大，需要控制的 I/O 点数众多，故一般需要使用外置式的大中型 PLC 进行控制。

外置式 PLC 具有独立的 CPU 和电源、I/O 模块，其结构与模块化结构的大中型通用 PLC 相同。因此，在 SIEMENS、AB 等既生产 CNC，同时又生产通用型 PLC 的公司，有时直接利用通用型 PLC 构成相对独立的 PLC 系统。例如，早期的 SIEMENS 6/850/880 等 CNC，使用的是该公司生产的 S5-130W/150 等通用型 PLC；而 SIEMENS 840D 则采用 S7-300/400 等通用型 PLC 等。

外置式 PLC 可控制的 I/O 点数众多，输入/输出直接使用通用型 PLC 的 I/O 模块，模块种类齐全、输入/输出规格可变。如果需要，还可以选择模拟量控制和轴控制等特殊功能模块。外置式 PLC 与 CNC 间的信号传送需要通过专门的 I/O 接口模块实现，PLC 和 CNC 间通过网络总线传送内部处理的信号。

外置式 PLC 的软件功能与大中型通用型 PLC 相同，其功能强大、指令丰富，PLC 程序的设计方法与通用型 PLC 完全相同。PLC 程序的编辑、调试与状态监控，同样可通过 CNC 的操作面板与显示器进行。

### 1.3.4 开环与闭环伺服系统

#### 1. 开环系统

无位置反馈装置的伺服驱动系统称为开环系统，使用步进电动机 (包括电液脉冲马达) 作为执行元件是开环系统最明显的特点。

开环系统的基本组成如图 1.3-6 所示。CNC 输出的指令脉冲，经过步进驱动器的环形分配器或脉冲分配软件的处理和电流调节、功率放大后，驱动电动机电枢，控制步进电动机的



角位移。因此，CNC 只需要控制环形分配器的输出脉冲数量与频率就可以控制步进电动机的转角与转速，从而间接控制了移动部件的移动速度与位移量。

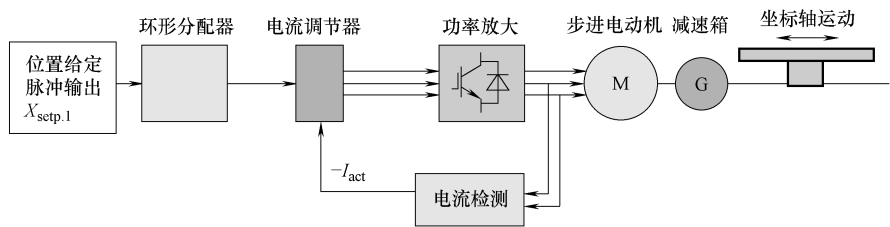


图 1.3-6 开环系统的基本组成

为了匹配电动机步距角和脉冲当量，并对转矩进行放大，开环系统一般需要配置机械减速装置。步进电动机经过减速装置带动丝杠旋转，并通过滚珠丝杠螺母副将角位移转换为移动部件的直线位移。

采用开环系统的数控机床结构简单、制造成本低，也不存在闭环系统的稳定性问题。但由于系统不能检测运动部件的实际位移，因而无法通过反馈自动调节和消除误差。此外，步进电动机的步距角误差、齿轮与丝杠等部件的传动误差等，最终也将影响零件的加工精度，特别是在负载转矩超过电动机输出转矩时，将导致步进电动机的失步，使加工无法进行。因此，它只能用于加工精度要求不高、负载轻且变化不大的简易型与经济型数控机床。

2. 半闭环驱动及其特点

以旋转编码器作为位置检测器件、但不检测最终控制量的伺服驱动系统，称为半闭环系统。直线运动轴的编码器通常安装在传动丝杠或伺服电动机上，回转轴的编码器通常安装在蜗杆或伺服电动机上。由于伺服电动机、丝杠、蜗杆和工作台中间为机械刚性连接，因此，通过这样的检测装置可以间接反映最终运动部件的位移和速度。

半闭环系统的基本组成如图 1.3-7 所示，它需要采用伺服驱动。根据交流伺服的控制需要，编码器的检测信号包含有转子位置检测信号和位置反馈信号，前者用于交流伺服驱动器的坐标变换、矢量计算和逆变管控制，后者需要反馈至 CNC，它被分解为闭环速度控制用的速度反馈信号及闭环位置控制用的位置反馈信号。在早期的交流伺服驱动系统中，也有使

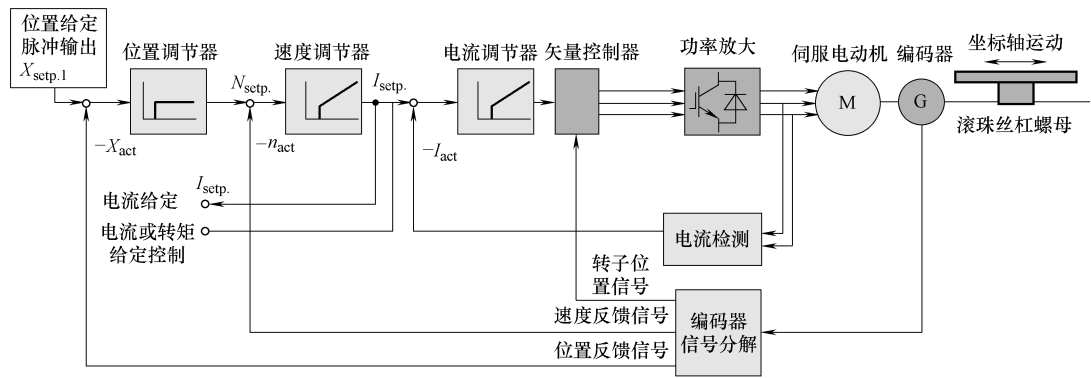


图 1.3-7 半闭环系统的基本组成



用霍尔元件检测转子位置、测速发电机检测速度、编码器检测位置的多检测装置结构，如 SIEMENS 公司的 SIMODRIVE 610 系列交流伺服驱动等，在这种结构的伺服系统中，编码器只提供位置反馈信号。

为了便于使用和调试，半闭环系统的编码器通常直接安装在伺服电动机内，称为内置编码器。这样的系统结构紧凑、设计简单、使用方便，且电气控制与机械传动部分间有明显的分界，机械传动系统的间隙、摩擦死区、变形等非线性环节都在闭环外，因此，系统调试容易、稳定性好，故在数控机床上得到了广泛使用。

### 3. 全闭环系统

全闭环系统是直接检测最终控制量的闭环伺服驱动系统。直线运动轴的检测通常采用光栅，回转轴的检测通常采用直接检测编码器。

以直线轴为例，全闭环系统的基本组成如图 1.3-8 所示。其机床运动部件上安装了检测直线位移的光栅，检测信号是坐标轴真实的位置与速度。因此，从理论上说，这样的系统其控制精度仅取决于检测装置本身的精度，它可对机械传动系统的间隙、摩擦死区、变形等进行自动补偿。

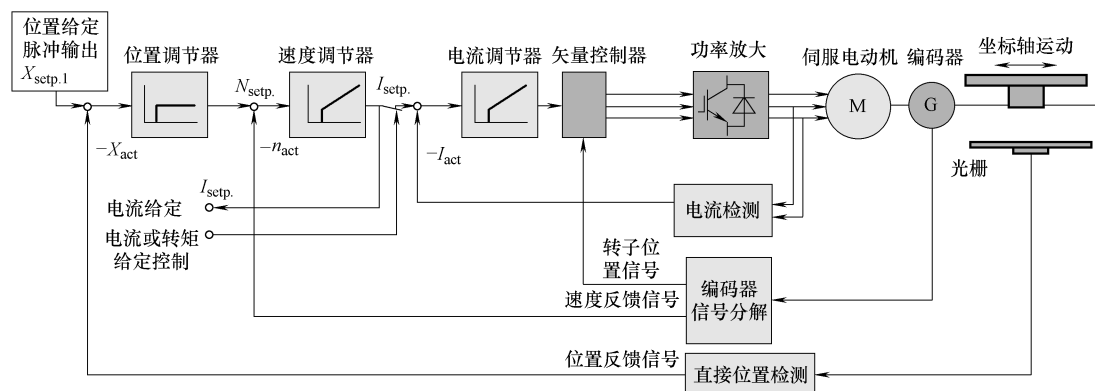


图 1.3-8 全闭环系统的基本组成

全闭环系统的结构决定了它对传动系统的精度、刚性要求比半闭环系统更高，机械传动部件的刚度、间隙和导轨的爬行、摩擦死区等非线性因素，将直接影响系统的稳定性，严重时甚至产生振荡。

为了解决以上问题，现代数控机床正在尝试采用直线电动机作为执行元件，采用直线电动机驱动的系统理论上可完全取消将旋转运动变为直线运动的机械传动部件，实现所谓的“零传动”，从而从根本上消除机械传动部件精度、刚度、间隙的影响，获得比传统进给系统更高的精度和速度。

#### 1.3.5 通用伺服和专用伺服

##### 1. 通用伺服

通用伺服是指驱动器本身具有闭环位置控制功能，可直接通过外部指令控制速度和位置的伺服驱动器及其配套电动机，其伺服驱动系统组成如图 1.3-9 所示。

通用伺服的驱动器具有闭环位置、速度、转矩控制功能，它可以通过伺服电动机内置编



码器，组成独立的闭环位置、速度、转矩系统。日本安川、三菱、松下等公司生产的驱动器是目前国内使用较多的通用伺服产品。

驱动器用于闭环位置控制时，位置指令一般以脉冲的形式输入，指令脉冲的频率和数量直接决定电动机的转速和转角。驱动器对指令脉冲的来源无要求，它既可与普及型 CNC 配套，也可与 PLC 配套构成 PLC 定位控制系统。脉冲输入接口一般可接收差分输出或集电极开路输出的标准信号，指令脉冲既可是  $90^\circ$  相位差的正/反脉冲，也可以是脉冲 + 方向信号。

通用伺服是独立的控制部件，其参数设定、监控等操作可通过驱动器配套的操作/显示面板实现，因此，它可以和任何普

及型 CNC 配套使用。配套通用伺服的普及型 CNC 结构非常简单，CNC 不需要进行闭环位置控制和监控，也不需要进行编码器反馈信号的处理，但出于回参考点等动作的需要，编码器的零位脉冲需要输入到 CNC。

虽然，通用伺服也可以通过串行总线进行通信，但这种网络控制形式只是以通信命令代替了外部信号，仍不是通过 CNC 实时控制坐标轴的运动，因此，机床的定位精度和轮廓加工精度完全取决于驱动器本身，这样的系统很难满足高速、高精度的加工需要。

通用伺服的编码器位置检测信号可以输出到外部，故也可以用于全功能型 CNC。这时，驱动器只作速度控制装置使用，其位置检测信号应连接到全功能型 CNC 上，通过 CNC 实现坐标轴的闭环位置控制。但是，这样将增加系统成本，故较少使用。

## 2. 专用伺服

全功能型 CNC 所使用的专用伺服驱动器本身不具备位置控制功能，坐标轴的闭环位置控制需要通过 CNC 实现，驱动器实质上只起到功率放大的作用，故又称伺服放大器。

使用专用伺服的驱动系统组成如图 1.3-10 所示，驱动器必须与 CNC 配套使用。

专用伺服的位置控制通过 CNC 实现，因此，驱动系统的参数设定、状态监控、调试与优化等均可直接在 CNC 上实现。CNC 不但能实时监控运动部件的位置和速度，而且所有坐标轴都进行统一控制，确保刀具运动轨迹的准确无误。在先进的 CNC 上，还可通过“插补前加减速”、“AI 先行控制 (Advanced Preview Control)”等前瞻控制功能，进一步提高轮廓加工精度，因此，其定位精度、加工精度要远远高于普及型 CNC。

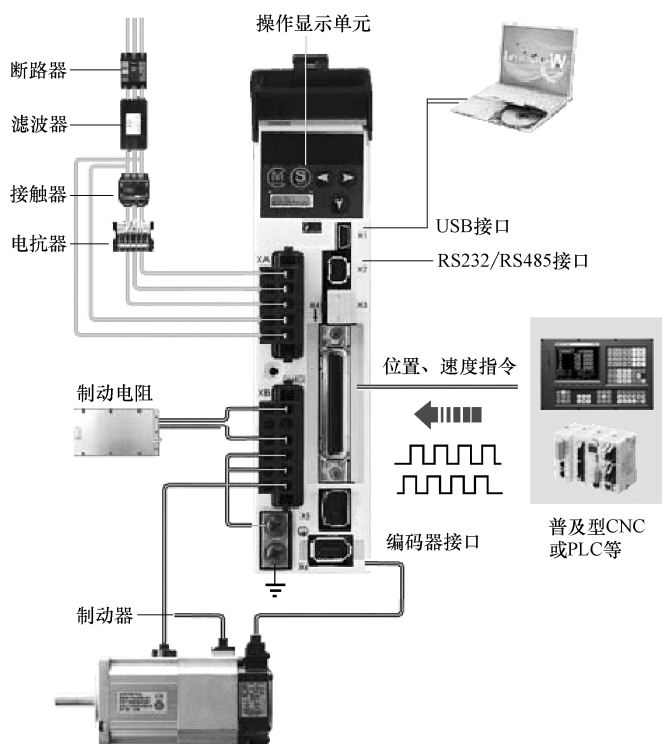


图 1.3-9 通用伺服系统的组成



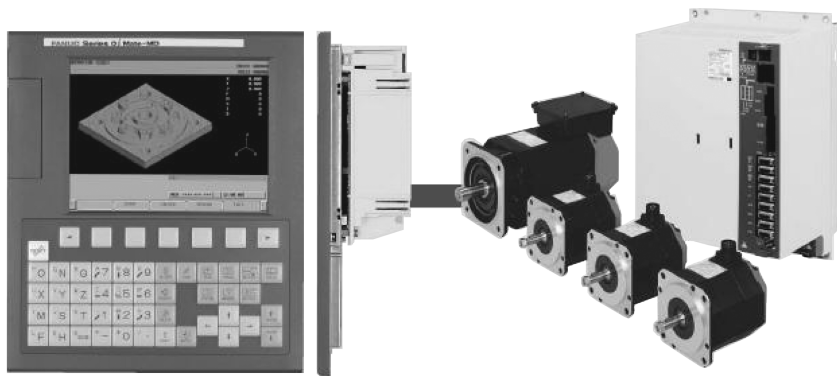


图 1.3-10 专用伺服系统的组成

目前，专用伺服的驱动器和 CNC 间一般通过专用总线连接，它需要采用专用的通信协议，对外无开放性，因此，驱动器不能独立使用，也不需要配套参数设定、监控等操作的操作/显示单元。

## 1.4 西门子数控系统简介

### 1.4.1 产品概况

西门子（SIEMENS）公司是全球著名的企业。在工业控制技术方面，SIEMENS 公司不仅在低压电器、PLC、驱动技术等方面领先世界，而且也是世界著名的 CNC 生产厂家之一，其产品规格齐全、功能丰富。

SIEMENS 公司的 CNC 商品化生产大致起始于 20 世纪 70 年代中期。1974 年，由于 FANUC 公司在开发低噪声、大扭矩电液脉冲马达时遇到困难，因而做出了以电气驱动代替了电液脉冲马达驱动、以闭环控制代替开环控制这一直接推动数控技术全面进步的历史性决策。为此，FANUC 公司一方面从美国 GETTYS 公司引进了直流伺服电动机的制造技术，并开始进行商品化与产业化。同时，与世界著名的电动机和驱动生产企业 SIEMENS 公司签订了 10 年的 CNC 产品合作协议，双方开始了 CNC 的商品化与产业化生产。

SIEMENS 公司开发、生产和销售的主要 CNC 产品情况大致如下。

1975 ~ 1985 年：主要产品有与 FANUC 公司合作开发的 SINUMERIK 6 及自主开发的 PRIMOS、SINUMERIK 8、SINUMERIK 3 等。

SINUMERIK 6 的基本性能和 FANUC 6 相同，系统可实现 5 轴控制/4 轴联动，但 CNC 采用了 SIEMENS 公司生产的 SIMATIC S5-130W 外置式 PLC；主轴驱动器和电动机采用的是 SIEMENS 6RA26 系列直流驱动系统；伺服采用的是 FANUC 直流伺服驱动器和 SIEMENS 1HU3 系列直流伺服电动机的结构。SINUMERIK 6 与 FANUC 6 系统比较，其 PLC 配置更灵活、功能更强，伺服与主轴驱动系统的性能也优于 FANUC 6。

PRIMOS 基本上是 SIEMENS 公司的第一代经济型 CNC 产品，可实现 3 轴控制/3 轴联动。CNC 配套采用 SIMATIC S5-110U 等外置式 PLC；伺服/主轴驱动系统均为 SIEMENS 直流驱动系统。PRIMOS 系统的坐标轴为 CNC 闭环位置控制，故轮廓加工精度较高，这点与普



及型 CNC 有所不同。

SINUMERIK 8 是 SIEMENS 公司的第一代高性能 CNC 产品,系统可实现 12 轴控制/4 轴联动。CNC 同样采用 SIMATIC 外置式 PLC 和 SIEMENS 直流伺服、主轴驱动系统,产品多用于 20 世纪 80 年代初期大型、复杂数控机床控制。

SINUMERIK 3 是 SIEMENS 公司的第二代高性能 CNC,系统可实现 16 轴 + 4 主轴控制/4 轴联动,CNC 仍采用 SIMATIC 外置式 PLC 和直流伺服、主轴驱动系统。SINUMERIK 3 功能强、可靠性高,深受当时的欧洲用户欢迎,一度成为欧洲最畅销的 CNC。

1985 ~ 1995 年:主要产品有早期的 SINUMERIK 810/820、850/880 及后期的 805、840C 等。810/820 性能类似,系统可实现 5 轴控制/4 轴联动,CNC 采用了集成式 PLC;伺服/主轴驱动系统为 SIMODRIVE 6SC610/650、611A/D 等交流驱动系统,产品在当时的市场有较高的占有率。850/880 为 SIEMENS 第三代高性能 CNC,系统配套 SIMATIC 外置式 PLC、SIMODRIVE 6SC610/650、611A/D/U 等交流伺服、主轴驱动系统,可实现 6 通道、24 轴 + 6 主轴控制/16 轴联动。

840C 是 20 世纪 90 年代初开发的高性能、网络控制 CNC 产品,系统采用了 PROFIBUS 总线、SIMATIC S7-300 系列 PLC、SIMODRIVE 611A/D/U 等交流伺服/主轴驱动系统,可实现 6 通道、30 轴 + 6 主轴控制/8 轴联动,并可用于 5 轴加工机床控制。805 是 SIEMENS 在 90 年代初开发的、用于 4 轴控制/3 轴联动的经济型产品,其市场销量不大。

1995 ~ 2010 年:主要产品有 SINUMERIK 802S/C、802D/810D、840D 等,产品可分别用于经济型/普及型、标准型、高性能数控机床的控制,是 SIEMENS 公司在国内市场用量较大、使用时间较长的系列产品,部分产品至今仍有一定的应用。

系列产品中的 802S/C 为 SIEMENS 合资公司针对中国市场开发的经济型 CNC 产品,后期有 802Se/Ce、802S base line/C base line 等改进型号。802S 采用 SIEMENS STEPDRIVE 步进电动机驱动系统,主要用于 3 轴以下的国产经济型数控机床的控制。802C 采用 SIMODRIVE base line 等经济型交流伺服驱动系统,产品主要用于 3 轴以下国产简单车、铣加工全功能型数控机床的控制。

802D/810D、840D 为 SIEMENS 公司标准 CNC 产品,后期有 802D solution line、810D/810D power line、840Di/840D power line/840Di solution line 等改进型号,配套的驱动系统有 SIMODRIVE 611D/611U 等。

802D 可用于普通全功能型数控机床控制,CNC 采用集成式 PLC,最大可实现 4 轴(伺服 + 主轴)控制、4 轴联动。802D solution line(简称 802Dsl)为 802D 改进型产品,可实现 5 轴控制(伺服 + 主轴)控制/4 轴联动,驱动系统可采用 SINAMICS S120 新系列交流伺服/主轴系统。810D 可用于标准全功能型数控机床控制,CNC 采用 SIMATIC S7-300 系列标准 PLC,可实现 6 轴控制/4 轴联动。

840D 是 SIEMENS 公司高性能 CNC 的代表性产品,可用于大型、复杂数控机床及 FMC 的控制,CNC 采用 SIMATIC S7-300 系列标准 PLC,可实现 10 通道、最大 31 轴控制和 12 轴联动,并可用于 5 轴加工机床控制。840D solution line(简称 840Dsl)为 840D 改进型、高性能 CNC 产品,系统集成有 SIMATIC S7-300 功能,并可采用 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块;驱动系统一般采用 SINAMICS S120 高性能、模块化交流伺服/主轴系统;CNC 最大可实现 30 通道、93 轴控制和 20 轴联动,可用于 5 轴加工机床控制,产品一直沿用至今。



2010 年至今：推出的主要 CNC 新产品有 SINUMERIK 808D/828D 两大系列，CNC 均集成有 S7-200 PLC 功能。808D 是 SIEMENS 公司针对中国市场特殊需要开发的普及型 CNC 产品，最大可控制 3 轴/3 轴联动，但 CNC 不具备闭环位置和速度控制功能，CNC 只能配套采用 SINAMICS V60/V70 等通用伺服驱动器。828D 可认为是 802C/D 的替代产品，最大可控制 8 轴（伺服 + 主轴）、实现 4 轴联动；828D 一般配套 SINAMICS S120Combi 系列紧凑型交流伺服/主轴集成驱动器及 1FK7/1PH8 等经济型交流伺服/主轴电动机，可用于普通全功能型数控机床控制。

SIEMENS 公司近阶段生产、销售的主要 CNC 产品为 802Dsl/840Dsl、808D/828D 等，产品的主要性能和特点在接下来内容做一一介绍。

### 1.4.2 SIEMENS 802Dsl

#### 1. 产品概况

802Dsl 是 SINUMERIK 802D solution line 的简称，该系列产品可用于 5 轴（或 4 轴 + 主轴）以下普通全功能型数控机床的控制。802Dsl 系列 CNC 的外形如图 1.4-1 所示，产品采用 CNC/LCD 集成、MDI 分离式结构，LCD 为 10.4in<sup>⊖</sup>彩色，MDI 可根据需要选择水平布置或垂直布置两种形式。

802Dsl 系列 CNC 有 Value（基本型）、Plus（加强版）、Pro（专业版）3 种不同规格。其中，802Dsl/Value 基本型 CNC 可用于简单车削（T 型）和镗铣（M 型）类数控机床的控制；加强版 802Dsl/Plus 和专业版 802Dsl/Pro 除可用于车削（T 型）和镗铣（M 型）类数控机床控制外，还可用于磨削（G 型）和冲压（N 型）类数控机床的控制。不同规格产品的主要技术特点如下。



图 1.4-1 SIEMENS 802Dsl 系列 CNC

1) 802Dsl/Value 基本型。802Dsl/Value 基本型可用于简单车削或镗铣类数控机床的控制，CNC 内置有 4 轴（伺服或主轴）控制功能，可通过 Drive-CliQ 总线连接 SINAMICS S120 系列交流伺服/主轴驱动器，CNC 最大可控制 4 轴（3 轴伺服 + 主轴或 4 轴伺服）、实现 3 轴

⊖ 1in = 25.4mm，后同。

联动。802Dsl/Value 的 CNC 加工程序存储器容量为 0.5MB，预处理程序段为 20 段，刀具补偿点数最大为 32；CNC 无刀具测量、第二辅助功能（H 代码）输出等功能。

802Dsl/Value 集成有 S7-200PLC 功能，梯形图程序容量为 4000 步，内部继电器为 2048 点，定时/计数器分别为 40/32 点；CNC 集成 PLC 最大可连接 3 个 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块，PLC 最大 I/O 点数为 216/144 点。如需要，系统还可选配 4 轴模拟量输出的 PLC 轴控模块，用于机床辅助轴控制。

2) 802Dsl/Plus 加强版。802Dsl/Plus 加强版可用于普通车削、镗铣、磨削、冲压类数控机床控制，CNC 内置有 6 轴伺服或主轴控制功能，可通过 Drive-CliQ 总线连接 SINAMICS S120 系列交流伺服/主轴驱动器，CNC 最大可控制 5 轴（4 轴伺服 + 主轴或 5 轴伺服）、实现 4 轴联动，如果需要，还可增加 1 个用于机床辅助控制的 PLC 轴。802Dsl/Plus 的 CNC 加工程序存储器容量为 1MB，预处理程序段为 50 段，刀具补偿点数最大为 64；可使用刀具测量、第二辅助功能（H 代码）输出等功能。

802Dsl/Plus 集成 S7-200PLC 的 I/O 连接功能（与 802Dsl/Value 相同），梯形图程序容量扩展至 6000 步，内部继电器数量增加至 3072 点，定时/计数器为 40/32 点。

3) 802Dsl/Pro 专业版。802Dsl/Pro 专业版的坐标轴/主轴控制功能与 802Dsl/Plus 加强版相同，CNC 可用于普通车削、镗铣、磨削、冲压类数控机床控制。802Dsl/Pro 的 CNC 加工程序存储器容量扩大至 3MB，预处理程序段为 100 段，刀具补偿点数最大为 128；CNC 还具有 USB、以太网接口，其网络功能比 802Dsl/Value、802Dsl/Pro 更强。

802Dsl/Pro 集成 S7-200PLC 的 I/O 连接功能（与 802Dsl/Value 相同），梯形图程序容量扩展至 6000 步，内部继电器数量增加至 3072 点，定时/计数器扩展至 64/64 点。

2. 主要性能

802Dsl 系列 CNC 的主要技术性能如表 1.4-1 所示。

表 1.4-1 SIEMENS 802Dsl 系列 CNC 的主要技术性能简表

软件与功能		802Dsl				
		Value M/T	Plus M/T	Pro M/T	Plus G/N	Pro G/N
最大控制轴数	最大控制轴数(进给/主轴合计)	4	5	5	5	5
	最大 PLC 控制轴数	—	1	1	1	1
	最大进给轴数	4	5	5	5	5
	最大主轴数	1	2	2	2	2
进给轴控制	同时控制最大轴数(联动轴)	3	4	4	4	4
	3 轴样条插补	—	—	●	—	—
	位置开关(电子凸轮功能)	—	●	●	—	—
	倾斜轴控制	—	—	—	●	●
	绝对/增量编码器或光栅连接	●	●	●	●	●
主轴控制	带绝对零点参考标记光栅连接	—	●	●	●	●
	模拟主轴控制	●	●	●	●	●
	数字主轴控制	●	●	●	●	●
	传动级交换	●	●	●	●	●
	螺纹车削/刚性攻螺纹	●	●	●	●	●
	Cs 轴控制	●	●	●	●	●
	主轴定向准停	●	●	●	●	●



(续)

软件与功能		802Dsl				
		Value M/T	Plus M/T	Pro M/T	Plus G/N	Pro G/N
编程功能	极坐标编程	●	●	●	●	●
	示教编程	●	●	●	—	—
	车/铣/孔加工固定循环编程	●	●	●	—	—
	磨/冲压循环编程	—	—	—	●	●
	蓝图编程(轮廓编程)	●	●	●	—	—
	高级语言编程	●	●	●	●	●
	刀具补偿数据	32	64	128	64	128
	刀具寿命管理	—	●	●	—	—
	刀具自动测量	—	●	●	—	—
	程序段预处理	20	50	100	50	100
	图形模拟	●	●	●	●	●
	CNC 存储器容量	512KB	1MB	3MB	1MB	3MB
辅助功能	M 代码编程( $0 \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●	●
	H 代码编程( $-2^{31} \sim 2^{31} - 1$ )	—	●	●	●	●
	S 代码编程( $-2^{31} \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●	●
补偿功能	反向间隙补偿	●	●	●	●	●
	螺距误差补偿	●	●	●	●	●
	摩擦补偿	●	●	●	●	●
	速度前馈	●	●	●	●	●
操作显示功能	10.4in 彩色 LCD	●	●	●	●	●
	MDI 单元(水平或垂直)	●	●	●	●	●
	MCP 机床操作面板	★	★	★	★	★
	手持操作盒	★	★	★	★	★
	手轮连接	2	2	2	2	2
	多语言显示	●	●	●	●	●
	8 级数据保护	●	●	●	●	●
	以太网 DNC 运行	—	—	●	—	●
	存储卡编辑与运行	●	●	●	●	●
网络功能	图形显示	●	●	●	●	●
	RS232C 接口	●	●	●	●	●
	存储卡接口	●	●	●	●	●
PMC 功能	以太网接口	—	—	●	—	●
	S7-200 集成 PLC	●	●	●	●	●
	梯形图程序容量/步	4000	6000	6000	6000	6000
	最大输入点数	216	216	216	216	216
	最大输出点数	144	144	144	144	144
	内部继电器	2048	3072	3072	3072	3072
	定时器	40	40	64	40	64
	计数器	32	32	64	32	64
	4 通道模拟输出轴控模块	★	★	★	★	★

注：“●”为基本功能；“★”为选择功能；“—”表示不能使用。



### 1.4.3 SIEMENS 808D 与 828D

#### 1. 产品概况

SINUMERIK 808D/ 828D 是 SIEMENS 公司近年开发的 CNC 新产品，产品的外观相似，但性能完全不同。

基本上说，808D 属于 802S 的升级产品，828D 是 802C/D 的升级产品。808D 与国产普及型 CNC 一样，只是以通用伺服驱动代替了 802S 的步进驱动，它可解决步进电动机的失步问题，但也不能通过 CNC 实现坐标轴的闭环位置、速度控制功能，故只能用于轮廓加工精度要求不高的普及型数控机床控制。828D 属于全功能型数控，它可用于普通车削（T 型）和镗铣（M 型）类数控机床的控制。

808D/828D 和 802S/C/D 的结构有较大不同。808D/828D 采用了类似 FANUC-0iC/D 的 CNC/LCD/MDI 集成一体式结构，CNC/LCD/MDI 基本单元均有水平或垂直布置两种形式，并可根据需要配套相应的机床操作面板。808D 的 LCD 为 7.5in 彩色、828D 基本型为 8.4in 彩色、828D 标准型或高性能型为 10.4in 彩色。

808D 和 828D 配套的驱动器完全不同。808D 与国产普及型 CNC 一样，只能输出位置给定脉冲，因此，必须配套本身带有位置控制功能的通用型伺服驱动器，如 SIEMENS 公司的 SINAMICS V60/V70 或安川、三菱等公司的通用型伺服驱动器。828D 为全功能型数控，需要通过 CNC 进行坐标轴的闭环位置、速度控制，故需要选配 SIEMENS 公司的 SINAMICS S120 系列模块化结构交流伺服/主轴驱动器或 SINAMICS S120Combi 系列交流伺服/主轴集成一体的紧凑型驱动器。

#### 2. 808D 普及型 CNC

808D 是 SIEMENS 公司近年针对中国市场特殊需要所开发的普及型 CNC 产品，基本单元采用 CNC/LCD/MDI 集成一体化结构，显示器为 7.4in 彩色，系统的主要组成部件如图 1.4-2 所示。

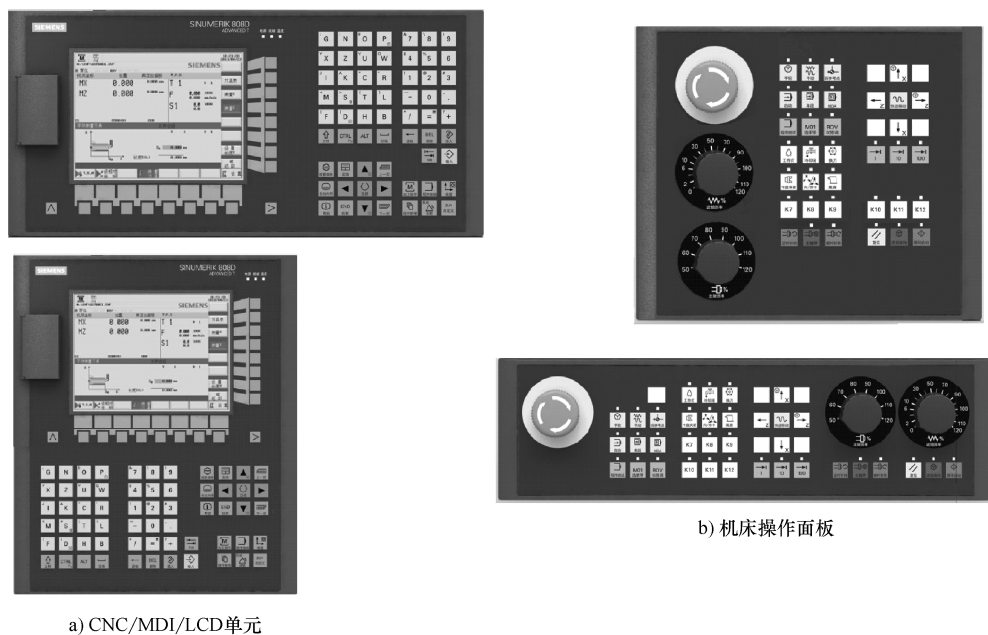


图 1.4-2 SIEMENS 808D 组成部件

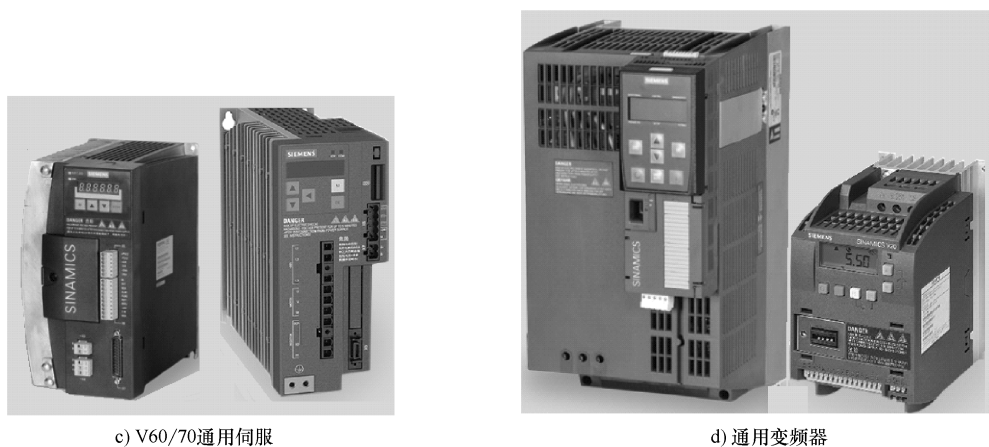


图 1.4-2 SIEMENS 808D 组成部件 (续)

808D 可根据需要选配 SIEMENS 配套提供的机床操作面板 (简称 MCP)、SINAMICS V60/V70 系列通用交流伺服及其配套的 1FL5/1FL6 伺服电动机、主轴驱动可选择 SIEMENS 公司通用变频器。由于 808D 只是一种普及型数控系统, 因此, 也可采用其他公司生产的通用伺服、变频器。

808D 有 T 型和 M 型两种产品, T 型带有 2 轴位置给定脉冲输出接口, 可用于普及型车床控制; M 型带有 3 轴位置给定脉冲输出接口, 可用于普及型镗铣床控制。两种产品均具备主轴转速模拟量输出和主轴编码器接口, 实现螺纹车削和攻螺纹功能。图 1.4-3 为普及型数控车床控制的 808D 典型结构。

与国产普及型 CNC 相比, 808D 的 PLC 功能较强, CNC 集成有 S7-200 PLC 功能, 梯形

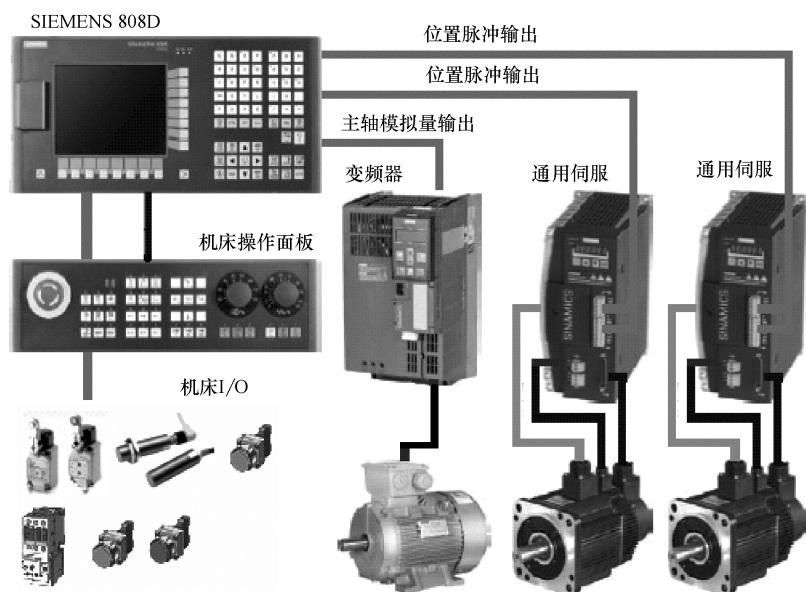


图 1.4-3 SIEMENS 808D 系统组成





图程序容量为 4000 步，内部继电器为 2048 点，定时/计数器分别为 64/32 点，CNC（PLC）最大可连接的 I/O 点数为 72/48 点。

### 3. 828D 全功能型 CNC

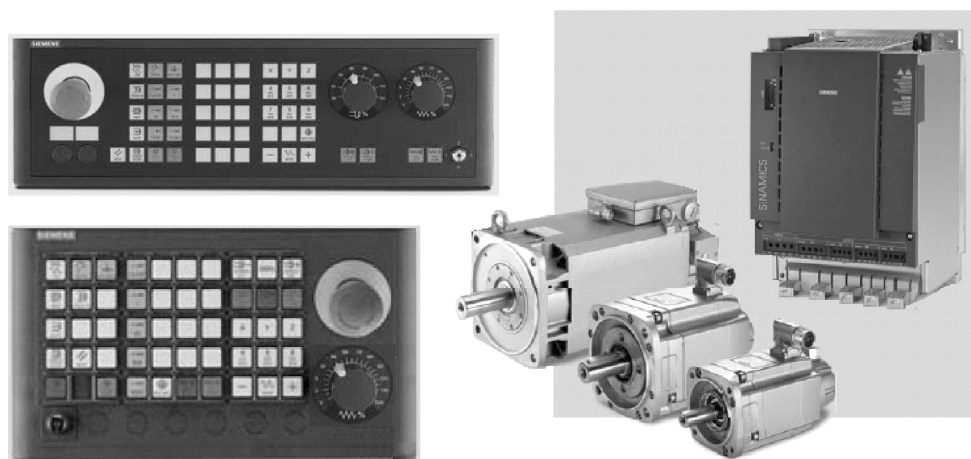
828D 是 SIEMENS 公司近年开发、用于普通数控机床控制的全功能型 CNC 产品，基本单元采用 CNC/LCD/MDI 集成一体化结构。系统的主要组成部件如图 1.4-4 所示。

828D 的 CNC/LCD/MDI 基本单元带有两个 PROFINET 网络接口 PN1 和 PN2，PN1 可用来连接带网络接口的机床操作面板，如 MCP 310C PN、MCP483C PN 等，PN2 可用来连接带网络接口的紧凑型 I/O 模块 PP 72/48D PN，以连接机床输入/输出。

828D 系统一般配套 SINAMICS S120Combi 系列紧凑型伺服/主轴集成驱动器，并选用经济型的 1FK7 系列伺服电动机和 1PH8 系列主轴电动机，驱动器和 CNC 基本单元可通过 Drive-CliQ 总线连接。如果需要，CNC 基本单元还可通过 Drive-CliQ 总线扩展接口连接第 6~8 轴驱动器和分离型检测单元；分离型检测单元可用于外置式光栅、编码器等位置测量装置的连接。



a) CNC/MDI/LCD 单元



b) 机床操作面板

c) 驱动器与电动机

图 1.4-4 SIEMENS 808D 组成部件



828D 有车削类机床控制用的 T 型和镗铣类机床控制用的 M 型两大类产品，两类产品根据 CNC 处理器 PPU（Panel Processing Unit）的性能，又分 828D 基本型（PPU240/241）、828D 标准型（PPU260/261）、828D 高性能型（PPU280/281）3 种规格，3 种规格产品的主要特点和区别如下。

1) 基本型。828D 基本型为 8.4in 彩色显示，最大可控制 5 轴（4 轴伺服 + 主轴或 5 轴伺服），实现 4 轴联动，可用于普通数控机床的控制。基本型 CNC 的加工程序存储器容量为 1MB，预处理程序段为 50 段，刀具补偿点数最大为 80。CNC 集成 S7-200 PLC 的梯形图程序容量为 24000 步，内部继电器为 4096 点，定时/计数器分别为 128/64 点。CNC 最大可连接 3 个带网络接口的 PP 72/48D PN 紧凑型 I/O 模块，最大 I/O 点数为 216/144 点。如需要，还可选配 6 通道模拟量输入/输出模块。

2) 标准型。828D 标准型为 10.4in 彩色显示，最大可控制 6 轴（5 轴伺服 + 主轴或 6 轴伺服），实现 4 轴联动，可用于标准数控机床的控制。标准型 CNC 的加工程序存储器容量为 3MB，预处理程序段为 100 段，刀具补偿点数最大为 128。CNC 最大可连接 4 个带网络接口的 PP 72/48D PN 紧凑型 I/O 模块，最大 I/O 点数为 288/192 点。

3) 高性能型。828D 高性能型为 10.4in 彩色显示，M 系列最大可控制 6 轴（5 轴伺服 + 主轴或 6 轴伺服），4 轴联动，T 型可通过扩展模块控制 8 轴（7 轴伺服 + 主轴或 8 轴伺服）控制，4 轴联动，产品可用于性能较高的标准数控机床控制。高性能 CNC 的加工程序存储器容量为 5MB，预处理程序段为 150 段，刀具补偿点数最大为 256。CNC 最大可连接 5 个带网络接口的 PP 72/48D PN 紧凑型 I/O 模块，最大 I/O 点数为 360/240 点。

#### 4. 主要性能

808D、828D 系列 CNC 的主要技术性能如表 1.4-2 所示。

表 1.4-2 SIEMENS 808D/828D 主要技术性能简表

软件与功能		808D M/T ADVANCE	828D M/T		
			基本型	标准型	高性能型
基本性能	CNC 类别	普及型	全功能	全功能	全功能
	LCD(TFT 彩色)	7.5in	8.4in	10.4in	10.4in
	CNC 闭环伺服/主轴控制	—	●	●	●
最大控制轴数	最大控制轴数(进给/主轴合计)	4	5	6	8
	最大进给轴数	3	4	5	7
	最大主轴数	1	1	1	1
进给轴控制	同时控制最大轴数(联动轴)	3	4	4	4
	3 轴样条插补	—	●	●	●
	位置开关(电子凸轮功能)	—	—	●	●
	倾斜轴控制	—	—	●	●
	绝对/增量编码器或光栅连接	—	●	●	●
	带绝对零点参考标记光栅连接	—	●	●	●
主轴控制	模拟主轴控制	●	—	—	—
	数字主轴控制	—	●	●	●



(续)

软件与功能		808D M/T ADVANCE	828D M/T		
			基本型	标准型	高性能型
主轴控制	传动级交换	●	●	●	●
	螺纹车削/刚性攻螺纹	●	●	●	●
	Cs 轴控制	—	●	●	●
	主轴定向准停	—	●	●	●
编程功能	极坐标编程	●	●	●	●
	示教编程	●	●	●	●
	车/铣/孔加工固定循环编程	●	●	●	●
	蓝图编程(轮廓编程)	●	●	●	●
	高级语言编程	●	●	●	●
	刀具补偿数据	64	80	128	256
	刀具寿命管理	—	●	●	●
	刀具自动测量	—	●	●	●
	程序段预处理	—	50	100	150
	图形模拟	2D	3D	3D	3D
	CNC 存储器容量	1MB	1MB	3MB	5MB
辅助功能	M 代码编程( $0 \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●
	H 代码编程( $-2^{31} \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●
	S 代码编程( $-2^{31} \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●
补偿功能	反向间隙补偿	●	●	●	●
	螺距误差补偿	●	●	●	●
	摩擦补偿	—	●	●	●
	速度前馈	—	●	●	●
操作显示功能	MCP 机床操作面板	★	★	★	★
	手持操作盒	★	★	★	★
	手轮连接	2	2	2	2
	多语言显示	●	●	●	●
	8 级数据保护	●	●	●	●
	以太网 DNC 运行	—	●	●	●
	存储卡编辑与运行	—	●	●	●
	图形显示	●	●	●	●
网络功能	RS232C 接口	●	●	●	●
	USB 接口	●	●	●	●
	存储卡接口	—	●	●	●
	以太网接口	—	●	●	●
PMC 功能	S7-200 集成 PLC	●	●	●	●
	梯形图程序容量/步	4000	24000	24000	24000
	最大输入点数	72	216	288	360
	最大输出点数	48	144	192	240
	内部继电器	2048	4096	4096	4096
	定时器	64	128	128	128
	计数器	32	64	64	64

注：“●”为基本功能；“★”为选择功能；“—”表示不能使用。



#### 1.4.4 SIEMENS 840Dsl

##### 1. 产品概况

SINUMERIK 840D solution line (简称 840Dsl) 是 SINUMERIK 840D 的改进型产品, 840D 是在早期 840C 的基础上发展起来用于大型、复杂数控机床及 FMC 控制的高性能数控系统, 也是最早使用网络控制技术的 CNC 之一, 产品被广泛用于 5 轴以上高性能数控机床控制。840D 早在 1995 年已进入市场, 后经多次改进, CNC 的功能不断增强、性能始终居世界领先水平, 产品型号一直沿用至今。

总体而言, 840D 可分为基本型/高性能型两种规格, 不同时期分别有 840DE/840D、840DiE/840Di、840DEpowerline/840Dpowerline、840DiE solution line /840Di solution line、840DE solution line /840D solution line 等不同系列, 其产品的主要性能如下。

1) 840DE/840D。840DE/840D 是 SIEMENS 公司 1995 年左右推出的产品, CNC 可选配 NCU571 或 572、573 等处理器和 10.4in 或 12.1in、15in 彩色 TFT 显示, 系统配套 SIMODRIVE 611D 伺服/主轴驱动系统。CNC 最大可用于 2 通道、8 轴 (进给 + 主轴) 控制, 实现 8 轴联动, 最大加工程序存储容量为 1.5MB。

840DE/840D 集成有 SIMATIC S7-300PLC 功能, 可采用 STL/LAD/FBD 语言编程, 最大梯形图程序容量可达 64000 步, 内部继电器为 2048 点, 定时/计数器分别为 128/64 点, CNC 最大可连接 24 个 S7-300PLC 模块, 合计最大 I/O 点数为 2048 点。

2) 840DiE/840Di、840DEpowerline/840Dpowerline 为 2000 ~ 2010 年期间使用的产品型号, CNC 可选配 NCU571.4 或 572.4、573.4/573.5 等处理器和 10.4in 或 12.1in、15in 彩色 TFT 显示, 系统配套 SIMODRIVE 611U 伺服/主轴驱动系统。CNC 最大可用于 10 通道、31 轴 (进给 + 主轴) 控制, 实现 12 轴联动, 最大加工程序存储容量为 6MB。

840DiE/840Di、840DEpowerline/840Dpowerline 的 PLC 最大梯形图程序容量扩大到 256 千步 (768KB), 内部继电器增加至 4096 点, 定时/计数器分别增加到 512/512 点, CNC 最大可连接 125 个 S7-300PLC I/O 模块, 合计最大 I/O 点数为 4096 点。

3) 840DiE solution line /840Di solution line、840DE solution line /840D solution line (简称 840DiEsl/840Disl、840DEsl/840Dsl) 为 2010 年后使用的产品型号, CNC 可选配 NCU710.2 或 720.2、730.2 等处理器和 10.4in 或 12.1in、15in、19in 彩色 TFT 显示, 系统配套 SINAMICS S120 伺服/主轴驱动系统。CNC 最大可用于 30 通道、91 轴 (进给 + 主轴) 控制, 实现 20 轴联动, 最大加工程序存储容量为 15MB。

840DiEsl/840Disl、840DEsl/840Dsl 的 PLC 梯形图程序容量扩大到 512 千步 (1536KB)、内部继电器增加至 65536 点、定时/计数器分别增加到 2048/2048 点, CNC 最大可连接 125 个 PP 72/48 模块, 最大 I/O 点数可达 9000/6000 点。

##### 2. 系统组成

840D 的系统基本组成如图 1.4-6 所示, 系列产品的 CNC 基本单元 NCU (Numerical Control Unit) 和 MDI、LCD 单元分离, NCU 和 SINAMICS S120 驱动器一起安装, 系统可根据需要选择多种结构形式。

840D 的 MDI 和 LCD 结构有集成型和分离型两种, 其 LCD 可选配 10.4/12.1/14/15/19in

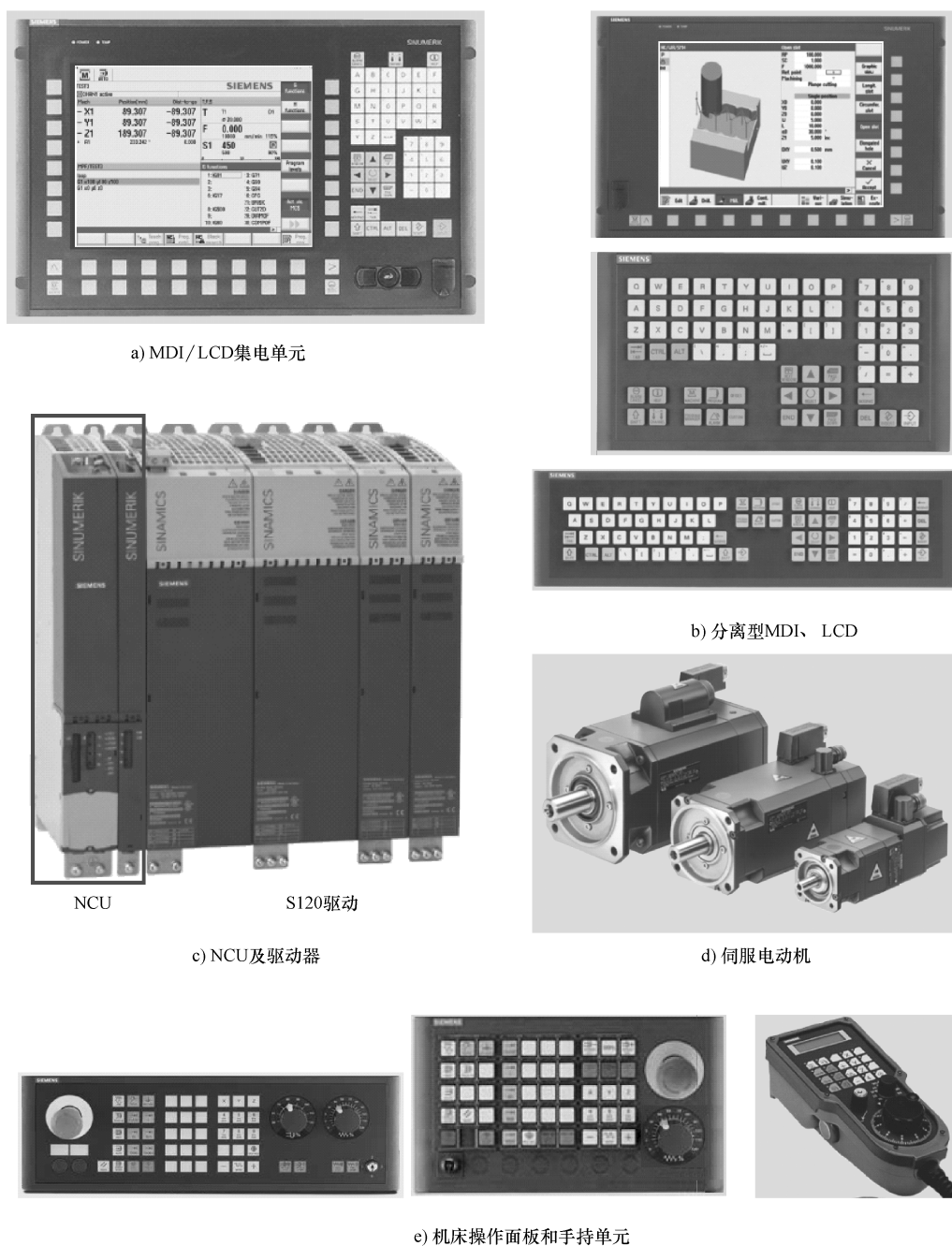


图 1.4-5 SIEMENS 840D 组成部件

等彩色 TFT 显示，MDI 有水平布置、垂直布置两种形式。如需要，也可选配标准计算机键盘或触摸屏。

通常而言，840D 需要配套高性能、模块化的 SINAMICS S120 系列交流伺服/主轴驱动系统，驱动器和 CNC 可通过 Drive-CliQ 总线连接。进给驱动电动机应采用 1FT6、1FT7 系列高性能伺服电动机，主轴驱动电动机应选配 1PH7 高性能标准电动机或 1PH4 系列高速电动机。



CNC 用于高速、高精度加工机床控制时，还可选配 1FN3/6 系列直线电动机、1FW6 转台直接驱动电动机，以及 1PH2、1FE1/2SP1 等系列高速电主轴。但是，对于 840D 基本型系统，为了降低成本，也可选配 SINAMICS S120Combi 系列紧凑型伺服/主轴集成驱动器，并配套经济型的 1FK7 系列伺服电动机和 1PH8 系列主轴电动机。

840D 的操作面板部件众多，它不但可根据需要选择各种机床操作面板，而且还有多种手持操作单元和微型操纵单元可供选择。

840D 的 PLC 功能强大。早期的 840D 直接采用 S7-300 PLC 标准结构，并使用 S7-300 PLC 的标准 I/O 模块，I/O 模块和 NCU 间可通过 PROFIBUS 总线和接口模块进行连接和通信。但是，目前一般使用 CNC 专用的 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块。

### 3. 主要性能

840D 系列产品的主要技术性能如表 1.4-3 所示。

表 1.4-3 SIEMENS 840D 主要技术性能简表

软件与功能		840DiEsI	840DisI	840DEsI	840DsI
最大控制轴数	最大通道数	10	10	10	10 × 3
	最大控制轴数(进给/主轴合计)	20	20	31	31 × 3
	最大进给轴数	20	20	31	31 × 3
	最大主轴数	20	20	31	31 × 3
进给轴控制	同时控制最大轴数(联动轴)	4	12	4	20
	3 轴样条插补	●	●	●	●
	位置开关(电子凸轮功能)	●	●	●	●
	倾斜轴控制	●	●	●	●
	绝对/增量编码器或光栅连接	●	●	●	●
	带绝对零点参考标记光栅连接	●	●	●	●
主轴控制	模拟主轴控制	—	—	—	—
	数字主轴控制	●	●	●	●
	传动级交换	●	●	●	●
	螺纹车削/刚性攻螺纹	●	●	●	●
	Cs 轴控制	●	●	●	●
	主轴定向准停	●	●	●	●
	极坐标编程	●	●	●	●
编程功能	示教编程	●	●	●	●
	车/铣/孔加工固定循环编程	●	●	●	●
	蓝图编程(轮廓编程)	●	●	●	●
	高级语言编程	●	●	●	●
	刀具补偿数据	600	600	600	可配置
	刀具寿命管理	●	●	●	●
	刀具自动测量	●	●	●	●
	图形模拟	3D	3D	3D	3D
	CNC 存储器容量	5MB	5MB	15MB	15MB



(续)

软件与功能		840DiEsI	840DisI	840DEsI	840DsI
辅助功能	M 代码编程( $0 \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●
	H 代码编程( $-2^{31} \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●
	S 代码编程( $-2^{31} \sim 2^{31} - 1$ )	●	●	●	●
补偿功能	反向间隙补偿	●	●	●	●
	螺距误差补偿	●	●	●	●
	摩擦补偿	●	●	●	●
	速度前馈	●	●	●	●
操作显示功能	MCP 机床操作面板	★	★	★	★
	手持操作盒	★	★	★	★
	多语言显示	●	●	●	●
	8 级数据保护	●	●	●	●
	以太网 DNC 运行	●	●	●	●
	存储卡编辑与运行	●	●	●	●
	图形显示	●	●	●	●
网络功能	RS232C 接口	●	●	●	●
	USB 接口	●	●	●	●
	存储卡接口	●	●	●	●
	以太网接口	●	●	●	●
PMC 功能	S7-300 集成 CPU	317-2	317-2	319-3	319-3
	LAD/STL/FBD 语言编程	●	●	●	●
	梯形图程序容量/千步	256	256	512	512
	最大可连接的 PP72/48 模块数	125	125	125	125
	最大输入点数	9000	9000	9000	9000
	最大输出点数	6000	6000	6000	6000
	内部继电器	32768	32768	65536	65536
	定时器	512	512	2048	2048
	计数器	512	512	2048	2048

注：“●”为基本功能；“★”为选择功能；“—”表示不能使用。

## 第 2 章

# PLC 设计基础

## 2.1 PLC 的组成与原理

### 2.1.1 PLC 的特点与功能

如前所述，PMC（Programmable Machine Controller）只是用于机床控制的可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller，简称 PLC）的一种别称，两者并无实质性的区别。

#### 1. PLC 的产生与发展

PLC 是随着科学技术的进步与生产方式的转变，为适应多品种、小批量生产的需要，而产生、发展起来的一种新型工业控制装置。从 1969 年问世以来，虽然只有 40 多年时间，但由于其通用性好、可靠性高、使用简单，因而在工业自动化的各领域都得到了广泛的应用。曾经有人将 PLC 技术与数控技术（CNC）、CAD/CAM 技术、工业机器人技术并称为现代工业自动化技术的四大支柱。

PLC 最初是为了解决传统的继电器接点控制系统存在的体积大、可靠性低、灵活性差、功能弱等问题，而开发的一种自动控制装置。这一设想最早由美国著名的汽车制造商——通用汽车公司（GM 公司）于 1968 年提出，1969 年由美国数字设备公司（DEC 公司）率先研制出样机并获成功。接着，由美国 GOULD 公司在当年将其商品化并推向市场。1971 年，通过引进美国技术，日本研制出了第一台 PLC；1973 年，德国 SIEMENS 公司研制出了欧洲第一台 PLC；1974 年法国也研制出了 PLC。从此，PLC 得到了快速发展，并被广泛用于各种工业控制的场合。

PLC 的发展大致经历了以下 4 个阶段。

1970 ~ 1980 年：结构定型阶段。在这一阶段，各种类型的顺序控制器不断出现（如逻辑电路型、1 位机型、通用计算机型、单板机型等），但被迅速淘汰，最终以微处理器为核心的现有 PLC 结构形式取得了市场认可，并得以迅速推广。PLC 的原理、结构、软件、硬件趋向统一与成熟，其应用也开始向机床、生产线等领域拓展。

1980 ~ 1990 年：应用普及阶段。在这一阶段，PLC 的生产规模日益扩大，价格不断下降，应用被迅速普及。各 PLC 生产厂家的产品开始形成系列，相继出现了固定型、可扩展型、模块化这 3 种延续至今的基本结构，其应用范围开始遍及顺序控制的全部领域。

1990 ~ 2000 年：性能提高阶段。在这一阶段，随着微电子技术的进步，CPU 的运算速度大幅度上升、位数不断增加、用于各种特殊控制的功能模块被不断开发，PLC 的功能日益





增强,应用范围由最初的顺序控制向现场控制领域延伸。同时,PLC 的体积大幅度缩小,出现了各种小型化、微型化 PLC。

2000 至今:高性能、网络化阶段。在本阶段,为了适应信息技术的发展与工厂自动化的需要,PLC 的功能不断开发与完善。PLC 在继续提高 CPU 运算速度、位数的同时,开发了适用于过程控制、运动控制的特殊功能与模块,应用范围开始拓展到工业自动化的全部领域。与此同时,为了适应 IT 的发展,PLC 的网络与通信功能得到迅速完善,PLC 不仅可以连接传统的编程与输入/输出设备,还可通过各种现场总线构成网络系统,它为工厂自动化奠定了基础。

当前,PLC 的网络化控制主要包括 I/O 网络化、内部设备网络化和系统网络化等。I/O 网络是 PLC 与远程 I/O 模块间的互联网,其实质是通过通信的手段,对 PLC 的 I/O 连接范围所进行的延伸与扩展,以省略 I/O 连接电缆与导线,故又称“省配线网”。内部设备网络是指 PLC 与设备内部其他控制装置之间的互联网,如 PLC 与变频器、伺服驱动器、温度自动控制与调节装置、现场控制设备的链接等,以便通过 PLC 对其他控制装置进行集中控制。系统网络是指生产现场多台设备、多种控制装置间的互联网,它可对众多的独立设备及控制装置进行集中统一的管理,构成 FMC、FMS、CIMS 等工厂自动化控制系统。

## 2. PLC 的特点

虽然,PLC 生产厂家众多,功能相差较大,但与其他类型的工业控制装置相比,它们都具有如下共同的特点。

1) 可靠性高。作为一种通用的工业控制器,PLC 必须能够在各种不同的工业环境中正常工作。对工作环境的要求低,抗干扰能力强,平均故障间隔时间 (Mean Time Between Failure, MTBF) 长是 PLC 在各行业得到广泛应用的重要原因之一。PLC 的可靠性与生产制造过程的质量控制及硬件、软件设计密切相关。

国外 PLC 的主要生产厂家通常都是著名大型企业,其技术力量雄厚、生产设备先进、工艺要求严格、质量控制与保证体系健全,可保证产品的生产制造质量。在硬件上,PLC 的输入/输出一般采用光耦合器,使内部与外部电路实现电隔离,提高了工作可靠性。在软件设计上,PLC 采用了特殊的循环扫描工作方式,大大提高了程序执行的可靠性。另外,PLC 的用户程序与系统程序相对独立,系统程序可进行用户程序的语法等错误的自动检查,用户程序很难影响系统程序的运行,故一般不会出现计算机常见的死机等故障。

2) 通用性好。在硬件上,绝大多数 PLC 都采用了可扩展型或模块化的结构,其 I/O 信号数量和形式、动作控制要求等都可根据实际控制要求选择与确定,此外,还具有大量可满足不同的控制要求的特殊功能模块,其使用灵活与多变,程序调整与修改、状态监控与维修均非常方便。在软件方面,PLC 采用了独特的、面向广大工程设计人员的指令表、梯形图、逻辑功能图、顺序功能图等形象、直观的编程语言,适合各类技术人员的传统习惯,其使用比其他工业计算机控制装置更容易。

PLC 与工业控制计算机 (简称工业 PC)、集散控制系统 (简称 DCS) 的主要区别如下。

1) PLC 与工业 PC。工业 PC 是以通用计算机为基础的工业现场控制设备,它具有标准化的总线结构,各机型间的兼容性好,与计算机间的通信容易,其兼容性与通信性能优于 PLC。工业 PC 的硬件与通用计算机类似,它不像 PLC 那样有较多的适应各种控制要求的功能模块可供选择,因此,其可靠性与通用性不及 PLC。工业 PC 可像通用计算机那样使用形



式多样、功能丰富的应用软件，故可用于算法复杂、实时性强的控制，但对编程人员的要求较高；而 PLC 的程序通俗易懂、编程方便，程序的可靠性更高。

2) PLC 与 DCS。DCS 产生于 20 世纪 70 年代，它是在生产过程仪表控制基础上发展起来的计算机控制装置，功能侧重于模拟量处理、回路调节、状态显示等方面；PLC 是在继电-接触器控制系统的基础上发展起来的计算机控制装置，功能侧重于开关量处理、顺序控制、逻辑运算方面。但是，随着各种特殊功能模块的不断开发和网络化，当代 PLC 可很容易地通过各种现场总线构成完整的 PLC 网络控制系统，其应用范围正在向传统的 DCS 控制领域拓展。同样，DCS 也在不断开发、增加逻辑顺序处理功能，两者的功能已日趋接近。但由于 PLC 采用了特殊的软硬件设计，故在可靠性、灵活性上与 DCS 相比仍具有一定优势。

### 3. PLC 的功能

PLC 的主要功能如图 2.1-1 所示。

1) 基本功能。逻辑控制功能是 PLC 的基本功能。从本质上说，这是一种以计算机二进制“位”运算为基础，按照程序要求，通过对开关量信号（如按钮、行程开关、接触器触点等）的逻辑运算处理，控制执行元件（如指示灯、电磁阀、接触器线圈等）通/断的功能。在早期的 PLC 上，顺序控制所需要的定时、计数功能需要通过定时模块与计数模块实现，但目前它们已成为 PLC 的基本功能之一。此外，逻辑控制中常用的代码转换、数据比较与处理等也是 PLC 基本功能。

2) 特殊控制功能。在 PLC 上，除基本逻辑处理外的其他功能称为特殊功能，如模-数（A-D）转换、数-模（D-A）转换、温度/流量/压力的调节与控制、速度/位置的控制等，这些特殊控制功能一般需要通过 PLC 的特殊功能模块实现。A-D 转换与 D-A 转换多用于过程控制与闭环调节系统。通过特殊功能模块与功能指令，PLC 可以对过程控制中的温度、压力、流量、速度、位移、电压、电流等连续变化的物理量进行数字化处理，并通过相应的运算（如 PID）实现闭环自动调节。PLC 的速度/位置控制一般是通过速度/位置控制模块实现，它以模拟量/脉冲的形式输出，可通过变频器、伺服驱动器实现闭环速度与位置控制。

3) 网络通信功能。随着信息技术的发展，网络与通信在工业控制中已越来越重要。PLC 早期的通信一般局限于 PLC 与外设（编程器或编程计算机等）间的简单通信，当代 PLC 不仅可进行 PLC 与外设间的通信，而且可以在 PLC 与 PLC 间、PLC 与其他工业控制设备之间、PLC 与上位机之间、PLC 与工业网络间通信，通过现场总线、网络总线组成系统，PLC 可以方便地进入工厂自动化系统。

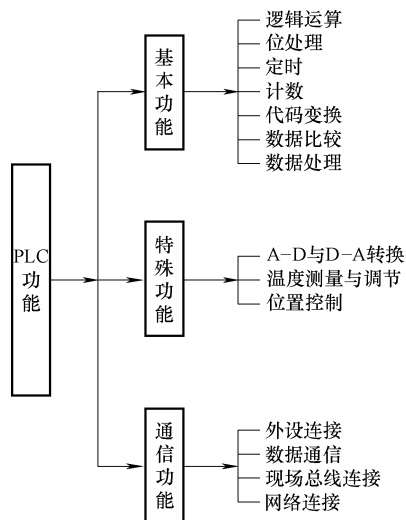


图 2.1-1 PLC 功能

## 2.1.2 PLC 的组成与结构

### 1. PLC 的组成

通用 PLC 系统的组成如图 2.1-2 所示，完整的 PLC 系统由控制对象、执行元件、检测



元件、PLC、编程/操作设备等组成。

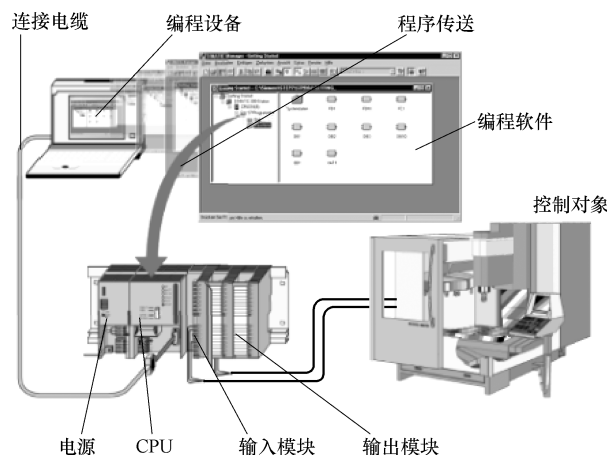


图 2.1-2 PLC 系统的组成

图中的电源、CPU、输入/输出模块为 PLC 的基本组件，故又称 PLC 主机（简称 PLC），由 PLC 输出控制的执行元件、与 PLC 输入连接的检测元件以及编程/操作设备称为 PLC 的外设。

虽然，PLC 种类繁多、性能各异，但它们都具有图 2.1-3 所示的基本硬件。

1) 电源。电源用来产生 PLC 内部电子器件、集成电路工作的直流电压，小型 PLC 的电源还可作为 PLC 的 DC 输入驱动电源，但由 PLC 输出控制的负载驱动电源一般需要外部提供。

2) CPU。CPU 是决定 PLC 性能的关键部件，其型号众多、性能差距很大。现代 PLC 的 CPU 一般为 16 位或 32 位处理器，大中型 PLC 还常采用双 CPU、多 CPU 的结构。

3) 存储器。PLC 的存储器分为系统存储器、用户程序存储器和数据存储器 3 类。

系统存储器用于 PLC 系统程序的存储，一般采用 ROM、EPROM 等只读存储器件，系统程序主要包括管理程序、命令解释程序和中断控制程序等，它由 PLC 生产厂家编制并安装，用户不能对此进行更改。

用户程序存储器（简称用户存储器）用来保存 PLC 用户程序，其存储容量经常用“步（Step）”作为单位，1 步是指 1 条 PLC 基本逻辑运算指令（如输入、输出、逻辑与和逻辑或等），所占的存储器字节数。多数 PLC 的 1 步相当于 4 字节。用户存储器通常使用电池保持型 RAM、EPROM、EEPROM、Flash ROM 等非易失存储器件。

数据存储器用来存储 PLC 程序执行的中间信息，相当于计算机的内存。执行 PLC 程序所需要的输入/输出映像、内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的状态均存储于数据

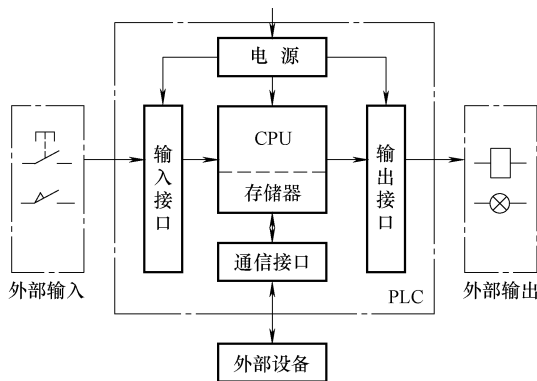


图 2.1-3 PLC 的硬件组成框图



存储器中。数据存储器的状态在 PLC 程序执行过程中需要动态改变，故多采用 RAM 器件，存储内容一般在关机时自动清除，但部分内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的状态可用电池保持。

4) 输入接口。输入接口的作用是将外部输入信号转换为 PLC 内部信号，它可将外部开关信号转换成内部控制所需的 TTL 电平，或将模拟电压转换成数字量（A-D 转换）等。PLC 的输入接口一般由连接器件、输入电路、光电隔离电路、状态寄存电路等组成，电路的形式在不同的输入模块上有所不同。

5) 输出接口。输出接口的作用是将 PLC 内部信号转换为外部负载控制信号，它可将 CPU 的逻辑运算结果转换成控制外部执行元件的开关信号，或将数字量转换为模拟量（D-A 转换）等。PLC 的输出接口一般由状态寄存电路、光电隔离电路、输出驱动电路、连接器件等组成，电路的形式在不同的输出模块上有所不同。

6) 通信接口。通信接口的作用是实现 PLC 与外设间的数据交换。利用通信接口，PLC 不但可与编程器、人机界面、显示器等连接，而且也可与上级计算机、其他 PLC 或远程 I/O 单元连接，以构成 PLC 网络控制系统。

PLC 的通信接口一般为 USB、RS232、RS422/485 等标准串行接口。USB、RS232 接口常用于 PLC 与编程器、编程计算机、人机界面的通信，其传输距离一般在 15m 以内，传输速率在 20kbit/s 以下，故不能用于高速、远距离通信。RS422/485 接口常用于 PLC 与其他 PLC、变频器、伺服驱动器等控制装置的全双工/半双工通信，其传输距离最大可达 1200m 左右，传输速率为 10Mbit/s 左右，适合于远距离通信。

## 2. PLC 的结构

PLC 的基本硬件结构可分为固定型、可扩展型、模块式、集成式、分布式 5 种。

1) 固定型 PLC。固定型 PLC 也称微型 PLC，其结构如图 2.1-4 所示，它采用整体结构、I/O 点数固定模式，PLC 的处理器、存储器、电源、输入/输出接口、通信接口等都安装于基本单元上，无扩展模块接口，I/O 点数不能改变。

固定型 PLC 的结构紧凑、安装简单，适用于 I/O 点数较少（10~30 点）的机电一体化设备或仪器的控制，或作为普及型 CNC 的外置式 PLC 使用。

作为功能的扩展，此类 PLC 一般可以安装少量的通信接口、显示单元、模拟量输入等内置功能选件，以增加少量的功能。

2) 可扩展型 PLC。可扩展型 PLC 如图 2.1-5 所示，它由整体结构、I/O 点数固定的基本单元和扩展 I/O 模块构成。PLC 的处理器、存储器、电源及固定数量的输入/输出接口、通信接口等均安装于基本单元上；基本单元上的扩展接口可连接扩展 I/O 模块或功能模块，

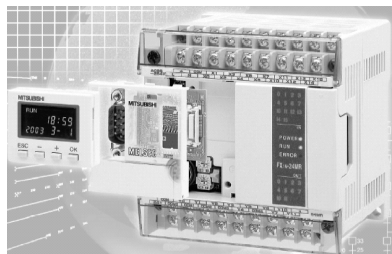


图 2.1-4 固定型 PLC

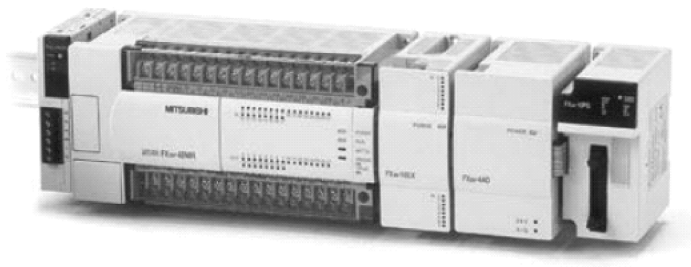


图 2.1-5 可扩展型 PLC



进行 I/O 点数或功能的扩展。

可扩展型 PLC 同样具有结构紧凑、安装简单的特点，且可根据设备控制要求增加 I/O 点或功能模块，灵活适应各种控制要求。这种 PLC 与模块化 PLC 的主要区别在于，PLC 的基本单元本身带有固定的 I/O 点、可以独立使用；扩展模块不需要安装基板或基架。可扩展型 PLC 的最大 I/O 点数可达 256 点以上；功能模块的规格与品种较多，在通用机电一体化产品中的用量较大；它是小型 PLC 的常用结构，也常作为普及型 CNC 的外置式 PLC 使用。

3) 模块式 PLC。模块式 PLC 如图 2.1-6 所示，PLC 由电源、中央处理器、输入/输出、通信等模块组成，模块统一安装在带连接总线的基板或基架上。

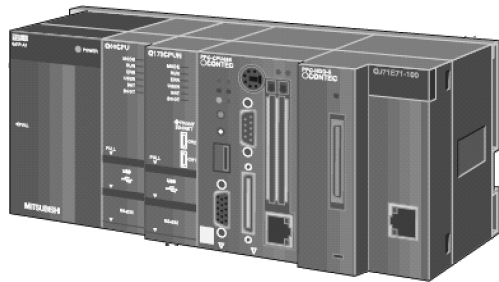


图 2.1-6 模块式 PLC

模块式 PLC 可连接的 I/O 模块、功能模块的数量多，容易构成大中型 PLC 系统，PLC 的全部组成模块均可由用户自由选择，配置灵活。模块式 PLC 的 I/O 点可达 1024 点以上，可连接各种开关量 I/O 以及模拟量输入/输出、位置控制、温度测量与调节、网络通信等功能模块，可用于复杂机电一体化产品与自动线的控制。

部分大型、全功能数控系统有时使用模块式 PLC 作为辅助控制装置，此类 PLC 需要选配 CNC 与 PLC 通信的专用总线接口模块，并有大量固定地址的 CNC 与 PLC 内部 I/O 信号需要通过 PLC 程序予以处理，其他与模块式 PLC 完全相同。

4) 集成式 PLC。集成式 PLC 是全功能数控系统常用的辅助控制装置，用于数控机床刀具、工作台自动交换，冷却、主轴起停，夹具松/夹等辅助机能的控制。

集成式 PLC 与 CNC 集成一体，PLC 的电源和 CPU 多与 CNC 共用，故不能独立使用。集成式 PLC 的输入/输出一般以 I/O 单元或模块的形式安装，I/O 点数多、模块种类少、输入/输出规格固定、用途单一，通常不能选择特殊功能模块。

集成式 PLC 可直接利用 CNC 的操作面板与显示器进行程序编辑、调试与状态监控，PLC 与 CNC 间有大量固定地址的 I/O 信号需要通过 PLC 程序处理。此外，PLC 还设计有专门用于数控机床控制用的功能指令。

5) 分布式 PLC。分布式 PLC 如图 2.1-7 所示，它由“主站 (Master)”和“从站 (Slave)”组成，从站可安装于不同的工作场所，主站与从站之间通过总线连接，故可用于大型生产设备的远程控制。

分布式 PLC 的主站一般为模块式 PLC，从站可以是 PLC 的分布式 I/O 模块或功能模块 (称为远程 I/O 站)，或是 PLC、CNC、伺服驱动器、变频器等控制装置 (称为远程设备站)；前者构成了分布式 PLC 网络系统，后者是以 PLC 为核心的现场控制系统。

### 3. PLC 的分类

PLC 的产品分类方法较多，按 PLC 的硬件结构，可分为上述的固定型、可扩展型、模块式、集成式、分布式 5 类；按 PLC 的规模，则可分为小型、中型和大型 3 类。PLC 的规模一般以 PLC 可连接的最大 I/O 点数和最大用户程序存储器容量衡量，I/O 点数越多、存储器容量越大，能够组成的系统就越大。

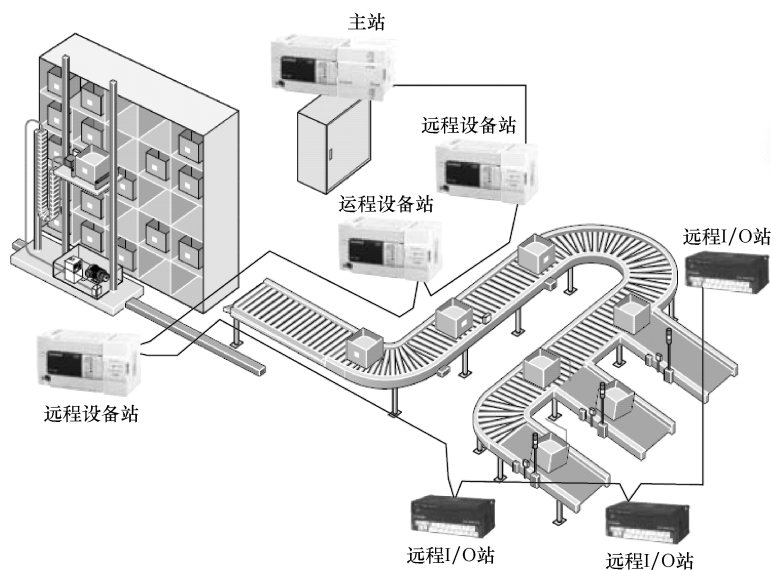


图 2.1-7 分布式 PLC 的组成示意图

1) 小型 PLC。根据通常习惯，最大 I/O 点数在 256 点以下的 PLC 称为小型 PLC（或微型 PLC）。小型 PLC 一般采用固定型或可扩展型结构，用户程序存储器的容量通常在 8000 步以内；PLC 的内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的数量相对较少；应用指令、功能模块的数量也有一定的限制。

小型 PLC 的体积小、价格低，适用于简单机电一体化设备或自动化仪器仪表的控制，它是 PLC 中产量最大的品种。

2) 中型 PLC。最大 I/O 点数为 256 ~ 1024 点的 PLC 称为中型 PLC。中型 PLC 一般采用模块式结构，用户程序存储器的容量通常在 16000 步以上；内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的数量较多；应用指令、功能模块的数量很多，通信能力较强。

中型 PLC 的配置灵活、功能强，它既可用于中等复杂程度的机电一体化设备控制，也可用于小型生产线与过程控制的压力、流量、温度、速度、位置等控制。

3) 大型 PLC。最大 I/O 点数在 1024 点以上的 PLC 称为大型 PLC。大型 PLC 均采用模块式结构；用户程序存储器的容量通常在 32000 步以上；PLC 的内部继电器、定时器、计数器、数据寄存器的数量众多；应用指令、功能模块丰富；网络功能强大，可构建大型 PLC 网络控制系统或车间自动化控制系统。大型 PLC 还具有多 CPU、冗余控制功能，可用于高速、高可靠性的控制场合。

### 2.1.3 PLC 的工作原理

虽然，PLC 本质上也是一种计算机工业控制装置，但为了保证它能在工业环境下使用和安全可靠工作，其工作过程、工作原理、编程方法等与其他计算机控制装置有较大区别。

#### 1. 工作过程

PLC 的用户程序执行过程分图 2.1-8 所示的输入采样、程序执行、通信处理、CPU 诊断、输出刷新 5 步进行，并无限重复，这种执行方式称为循环扫描（Scan Cycle）。



1) 输入采样。输入采样又称输入读取 (Reads the Inputs)，在这一阶段，CPU 将一次性读入全部输入信号的状态，并将其保存到输入寄存器中。PLC 的输入采样与输入端是否连接有实际信号无关，没有使用的输入端其读入的状态为 0。

这种处理方式称为输入集中批处理，输入寄存器的状态称作“输入映像”，PLC 在处理用户程序时，输入映像将替代实际输入信号在程序中使用。由于输入映像的状态可一直保持到下次输入采样，因此，即使实际输入信号的状态在程序处理阶段

发生了变化，仍可保持本次程序处理时，信号只有唯一的状态，从而保证了程序执行结果的唯一性。

2) 程序处理。PLC 的程序处理在输入采样完成后进行。PLC 处理用户程序时，将根据输入映像、输出映像的状态，对于不同输出线圈按从上到下、对于同一线圈的控制支路按自左向右的顺序，进行要求的逻辑运算处理，并立即将处理结果保存到相应的结果寄存器中。结果寄存器的状态可立即用于随后的程序，如程序中使用了“重复线圈”编程，还可改变结果寄存器的状态。

图 2.1-9 为输入信号 I0.1 由状态 0 变为 1 后，PLC 进行首次和第 2 次程序处理时的结果寄存器（输出）状态变化过程。

在 I0.1 由 0 变为 1 的首次执行循环中，处理指令第 1 行时，由于 M0.2 的状态仍为上次循环的执行结果 0，故 Q0.0 的结果为 0。当 PLC 处理到指令第 2 行时，由于本次输入采样的 I0.1 状态为 1，M0.2 的结果将为 1，这一结果将立即用于随后的指令第 3 行，使 Q0.1 的结果为 1。但是，它不能改变已经处理完成的、第 1 行指令的 Q0.0 结果，故处理指令第 4 行后，Q0.2 的结果为 0。因此，首次循环处理后的输出状态为 Q0.0 = 0、Q0.1 = 1、Q0.2 = 0。

当 PLC 执行第 2 次循环时，M0.2 将使用首次循环的执行结果 1，故处理完成后的输出状态为 Q0.0 = 1、Q0.1 = 1、Q0.2 = 1。

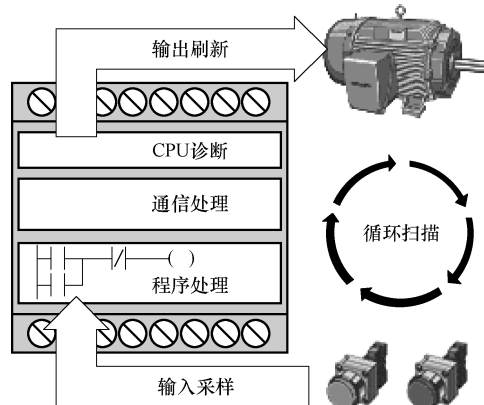


图 2.1-8 PLC 的循环扫描

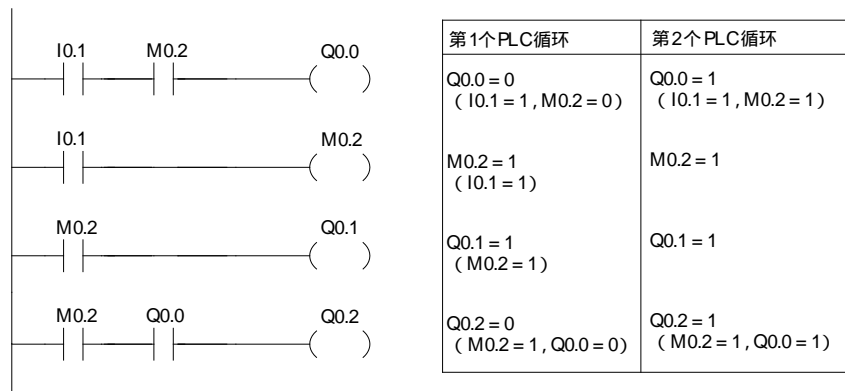


图 2.1-9 PLC 程序处理过程



3) 通信处理。通信处理 (Process any Communications Requests) 仅在需要时进行。CPU 诊断结束后, 进行通信请求检查, 决定 PLC 是否需要与编程器等外设或网络进行通信, 并进行相关的数据输入/输出处理。

4) CPU 诊断。CPU 诊断 (Perform the CPU Diagnostics) 是 CPU 对 PLC 硬件、连接、存储器状态以及用户程序执行情况等进行的检查, 如发现异常, PLC 将停止运行、发出报警、内部产生出错标志等。此外, CPU 还具有程序循环时间监控功能, 可防止程序错误引起的“死循环”。

5) 输出刷新。输出刷新是 PLC 的输出集中批处理过程, 在该阶段, CPU 将输出结果寄存器的状态 (输出映像) 一次性输出到外部, 以控制执行元件动作。尽管在用户程序的执行过程中, 输出映像的状态可能会因为重复线圈等的编程而改变, 但 PLC 向外部的输出状态总是为全部程序执行完成后的最终状态, 因此, 它是唯一的。

PLC 完整地执行一次以上处理的时间, 称为 PLC 程序循环时间或扫描周期, 它与 PLC 的 CPU 速度、用户程序大小等诸多因素有关, 是 PLC 的重要技术参数。

以上过程中的通信处理、CPU 诊断为 PLC 的公共处理, 它与用户程序的执行无直接关联, 因此, 单纯从 PLC 的用户程序执行角度理解, 也可认为 PLC 需要进行图 2.1-10 所示的输入采样、程序执行、输出刷新 3 个基本步骤, 其工作过程可简要概括如下。

1) PLC 一次性将全部输入信号读入到输入缓冲寄存器, 生成“输入映像”。

2) PLC 依据本循环所读入的输入映像及当前时刻的结果寄存器状态, 进行逻辑处理, 并立即将结果写入指定的结果寄存器中。

3) 程序执行完成后, PLC 一次性将全部输出映像输出到外部。

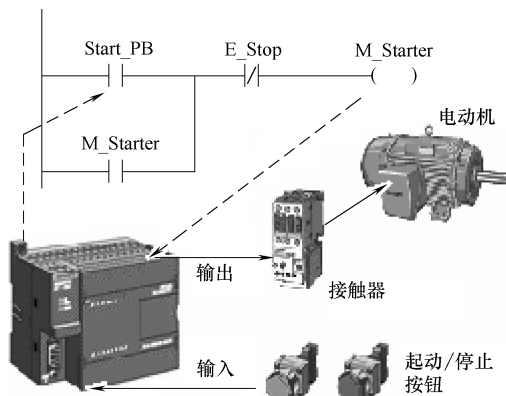


图 2.1-10 PLC 程序的执行过程

## 2. 等效电路

PLC 用于开关量逻辑运算处理时, 其工作原理可用图 2.1-11 所示的继电器电路进行等效描述。

图中, 以输入电路等效代替了 PLC 的实际输入接口及输入采样处理; 以继电器控制电路代替了用户程序处理; 以输出电路代替了 PLC 的实际输出接口及输出刷新处理。需要说明的是: 等效电路仅是为了更好地理解 PLC 工作原理而虚拟的电路, 并不是 PLC 的内部电路。例如, 实际 PLC 中并不存在图示的 I0.1 ~ I0.7 等输入继电器。

1) 输入电路。输入电路的输入继电器相当于实际 PLC 中的输入映像。输入继电器与输入信号一一对应, 当外部输入 ON 时, 继电器线圈得电, 继电器控制电路中的触点接通。由于 PLC 的输入映像只是输入寄存器的状态, 它可在程序中无限次使用, 因此, 应认为等效电路中的输入继电器具有无限对触点。此外, 由于绝大部分 PLC 都不允许用户程序对输入进行赋值, 故应认为等效输入继电器不能通过等效控制电路接通, 控制电路只能使用其触点。



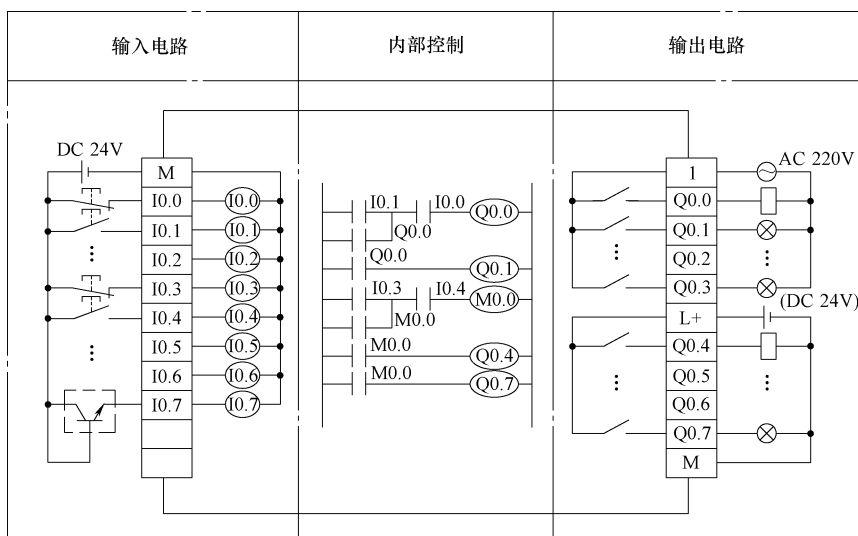


图 2.1-11 PLC 等效电路图

2) 输出电路。它相当于 PLC 的输出接口及输出刷新处理, 输出继电器线圈与输出状态寄存器一一对应, 当线圈接通时, 输出触点接通。由于 PLC 的输出映像同样只是输出结果寄存器的状态, 它不仅可输出到外部, 而且也在程序中无限次使用其状态, 因此, 应认为等效电路中的输出继电器对外只能连接一个执行元件, 但在等效继电器控制电路中却可无限次使用其触点。

3) 控制电路。等效继电器控制电路由 PLC 用户程序转化而来, PLC 程序中的定时器、计数器也可用时间继电器、计数器等, 但其精度更高、范围更大; PLC 程序中的内部继电器, 则应理解为无外部输出触点的、但能在控制电路中无限次使用其触点的继电器。

简言之, 可将 PLC 输入视为具有无限触点、但只能由输入信号驱动的继电器线圈; 将 PLC 输出视为具有无限内部触点、但只有一对输出触点的继电器; 将 PLC 的内部继电器视为具有无限触点、但不能控制输出的继电器; 而将 PLC 用户程序视为继电器控制电路。

### 3. 主要特点

PLC 的程序执行特点主要体现在输入/输出集中批处理和程序执行的循环扫描上, 其主要特点如下。

1) 可靠性高。由于 PLC 程序处理时使用的是提前采样的输入映像状态, 它在程序处理过程中不会因实际输入信号的状态变化而发生变化, 从而保证了输入状态的唯一性, 大大方便了程序设计, 提高了软件可靠性。

2) 处理速度快。集中批处理可以一次性完成全部输入/输出的状态更新, 无须在程序执行过程中对指令信号进行单独采样, 大大节省了采样时间, 提高了 PLC 处理速度。

3) 程序设计方便。输入/输出映像为寄存器的二进制状态, 在程序中也可以以字节、字、双字的形式使用, 其编程方便。此外, 利用输入映像在同一扫描循环中状态不变的特点, 还可方便地生成边沿信号; 而利用输出集中批处理的特点, 在程序中可对输出进行多次赋值, 随时更新输出映像, 实现继电器线路不能实现的动作。



4) PLC 程序的执行过程只是单次执行过程的无限循环, 因此, 只要调试完成, 便可保证长期稳定工作, 大大减少了软件随机出错的可能性。

## 2.2 梯形图程序设计

### 2.2.1 PLC 编程语言

PLC 编程语言有梯形图、指令表、逻辑功能块图、顺序功能图以及 BASIC、Pascal、C 或结构化文本等。绝大多数采用中小型 PLC 的机电一体化设备、数控机床目前都多采用梯形图进行编程。

#### 1. 梯形图

梯形图 (Ladder Diagram, 简称 LAD) 是一种沿用了继电器的触点、线圈、连线等图形符号的图形编程语言, 它在 PLC 编程中最为常用。在进行梯形图编程时, 程序中的操作数以触点、线圈等图形符号代替, 逻辑操作指令“与”、“或”用触点的串、并联表示; 逻辑“非”用“常闭”触点进行表示; 逻辑运算结果用“线圈”表示, 其程序形式与继电器—接触器控制电路十分相似。

梯形图程序的最大特点是通俗易懂, 不同厂家生产的 PLC 程序形式类似, 阅读与理解非常容易, 而且还能够进行图 2.2-1 所示的动态监控, 其程序形象、直观, 并能反映触点、线圈、线路的通/断情况。

图 2.2-1 中, 加粗的显示代表触点、线圈、线路已接通, 它清晰地反映出内部继电器 M0.1、输出 Q0.1 的状态为 1; 而 M0.2 由于 I0.3 未接通而输出 0 状态; Q0.2 由于 M0.2 触点未接通而输出 0 状态。图形简单明了, 程序检查与维修十分方便。

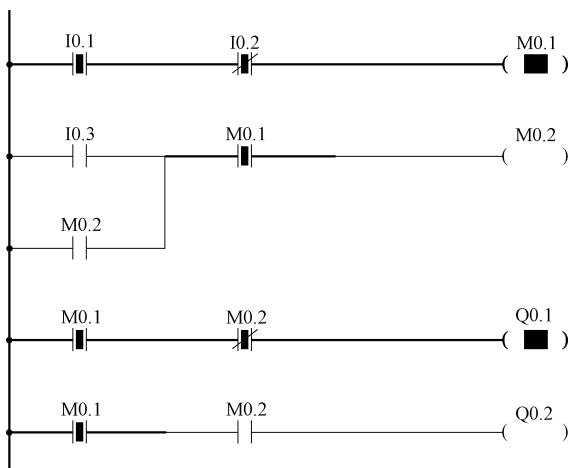


图 2.2-1 梯形图动态监控显示

用梯形图编程除常用的图形符号外, 还可使用部分区别于继电器触点控制电路的编程指令, 如边沿信号、置位/复位、定时/计数等。此外, 梯形图程序的执行过程也与继电器线路有本质的区别, 具体内容将在后续的章节中予以详细介绍。

#### 2. 指令表

指令表 (Statement List, 简称 STL 或 LIST) 是一种使用助记符的 PLC 编程语言, 它类似于计算机的汇编语言, 但它比汇编语言通俗易懂。指令表是应用最早、最基本的编程语言, 它可进行任何指令的编程, 部分梯形图及其他语言无法表示的程序, 只有使用指令表才能编程。指令表程序可使用简易编程器进行编辑; 当梯形图编程错误时, 有时需要将其转换成指令表后, 才能进行修改, 因此, 即使采用梯形图编程的 PLC, 目前仍离不开指令表。



指令表程序的每条指令均由“指令代码”与“操作数”两部分组成，为了实现程序跳转，指令前还可能增加有跳转标记。用指令表编程时，程序中的状态读入、“与”、“与非”、“或”、“或非”、“输出”等指令代码，在不同 PLC 上可以用 LD、A、AN、O、ON、= 或 RD、AND、AND. NOT、OR、OR. NOT、WRT 等简单助记符表示，而输入、输出、内部继电器等则可用 I0.1、Q0.2、M0.1 或 X0.1、Y0.2、R0.1 等操作数表示。例如，图 2.2-1 所示的梯形图程序在 SIEMENS 公司生产的 PLC 中，其指令表程序如下。

```
NETWORK 1      //NETWORK TITLE
```

```
//
```

```
//NETWORK COMMENTS
```

```
//
```

```
LD            I0.1
```

```
AN            I0.2
```

```
=            M0.1
```

```
NETWORK 2
```

```
LD            I0.3
```

```
O            M0.2
```

```
A            M0.1
```

```
=            M0.2
```

```
NETWORK 3
```

```
LD            M0.1
```

```
AN            M0.2
```

```
=            Q0.1
```

```
NETWORK 4
```

```
LD            M0.1
```

```
A            M0.2
```

```
=            Q0.1
```

### 3. 逻辑功能块图

功能块图（Function Block Diagram, FBD）又称控制系统框图（Control System Flow-chart, CSF），这是一种沿用了电子线路的逻辑门、触发器、连线等图形符号的图形编程语言，是 DIN40700（德国）标准规定的编程语言。

采用功能块图编程时，PLC 程序中的“与”、“或”、“非”、置/复位、数据比较等操作均可用电子线路中的“与门”、“或门”、“非门”、“RS 触发器”、“数据比较器”等图形符号表示，程序形式如图 2.2-2 所示，它与电子线路十分相似。

功能块图同样具有直观、形象的特点，特别有利于具有电子技术基础的人员阅读与理解。功能块图还可用触发器、计数器、比较器等电子线路符号，形象地表示其他图形编程语言无法表示的 PLC 应用指令。



功能块图的程序简洁、结构紧凑、逻辑关系清晰、显示容易，在表示多触点串联等逻辑运算时，同样一页显示页面，可显示比梯形图更多的信息。

功能块图的动态检测与梯形图同样形象、直观，因此，在具备功能块图编程功能的 PLC 上，采用功能块图编程往往比梯形图编程更加简单、方便。

#### 4. 顺序功能图

顺序功能图（Sequential Function Chart, SFC）是一种按工艺流程图进行编程的图形编程语言，适合于非电气专业的技术人员使用，近年来已开始逐步推广。

顺序功能图的设计思想类似于子程序调用。设计者首先按控制要求，将机床的动作划分为若干工步（简称步），并通过不同的编程元件（称状态元件），对每一步赋予独立的标记。程序编制时，只需要明确每一步需要执行的动作及条件，程序中可利用控制条件对相应的状态元件进行“置位”或“复位”，便可选择需要的执行工步。

SFC 编程总体是一种基于机械控制流程的编程语言，但各公司产品的实现方式有所不同。例如，三菱公司采用的是图 2.2-3 所示的“步进梯形图”编程方式，这种编程方法具有 SFC 编程同样的特点，程序执行都是根据控制条件来选择相应的步，而每一步的动作则采用了梯形图进行编程。

采用 SFC 编程时，程序设计者只需要确定机械的动作和条件，利用分支流程对程序步进行组织与管理，便可完成程序设计。因此，它无须像梯形图编程那样，需要在程序中进行互锁等处理，它对设计人员的要求相对较低，容易被非电气技术人员掌握。

除以上常用的编程语言外，在一些大、中型 PLC 上，为了完成复杂的控制功能，通常需要采用功能强大的 CPU 与大容量存储器，并具有开关量逻辑处理、模拟量处理、数值运算、通信等功能。这种 PLC 有时需要通过计算机常用的 BASIC、Pascal、C 等高级语言进行结构化编程。

BASIC、Pascal、C 等语言的编程方法与计算机类似，但在不同公司生产的 PLC 上，其格式和功能有所不同，使用时应参照 PLC 说明书进行编程，由于它在数控机床上使用较少，本书中将不再对此进行介绍。

### 2.2.2 梯形图编程

#### 1. 梯形图的组成

开关量逻辑顺序控制是 PLC 最主要的功能，由于其程序简单、编程容易，为了便于识读、检查和监控，人们普遍采用梯形图编程。梯形图是沿用了继电器的触点、线圈、连线等

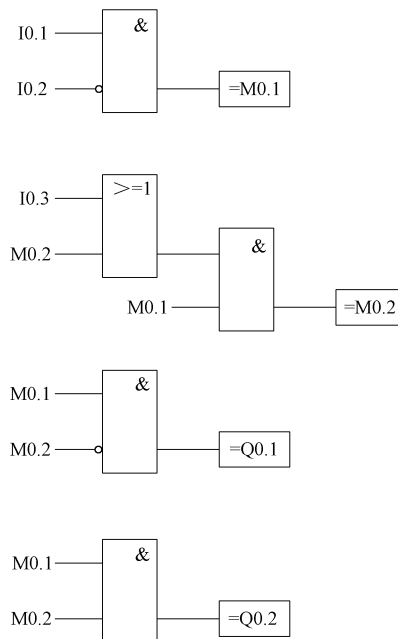


图 2.2-2 功能块图程序

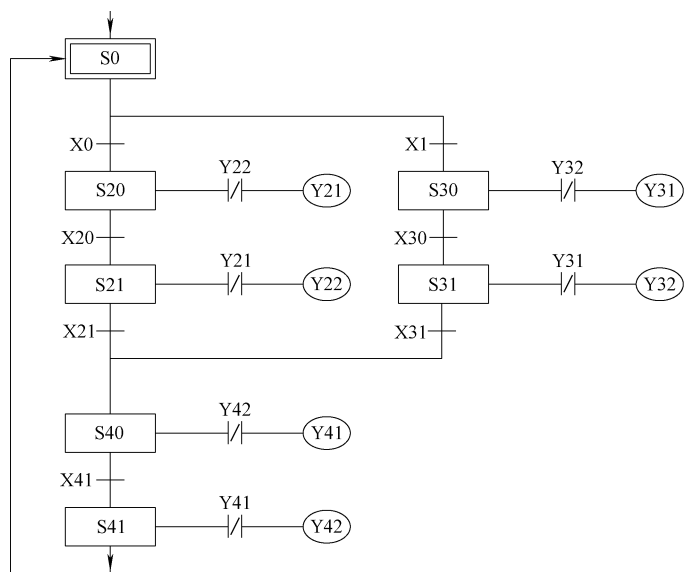


图 2.2-3 SFC 程序示例

图形符号的图形编程语言，两者的形式类似，触点、线圈、连线是组成梯形图程序的三要素。

1) 触点。采用梯形图编程时，开关量输入/输出、内部继电器等的二进制状态可用触点进行表示。但是，梯形图中的触点本质上是 PLC 内部存储器二进制数据位的状态，程序中的常开触点表示直接以该二进制位的状态进行逻辑运算；常闭触点表示使用该二进制位的“逻辑非”状态进行运算。因此，它与继电器触点控制电路中的触点的区别在于：第一，触点可以在 PLC 程序中无限次使用，它不像物理继电器那样受到实际触点数量的限制；第二，触点具有唯一的状态，在任何时刻，常开、常闭触点不可能同时为 1。

2) 线圈。采用梯形图编程时，逻辑运算结果可用内部继电器、输出继电器等编程元件的线圈表示。但是，梯形图程序中的线圈并非实际的物理继电器，它只是对 PLC 内部某一存储器的二进制数据位进行的赋值操作，线圈接通是将该二进制数据位置 1；线圈断开是将二进制数据位置 0。因此，它与继电器控制电路中的线圈的区别在于：第一，如果需要，二进制数据位可在程序中多次赋值，即利用梯形图编程时可使用“重复线圈”；第二，梯形图程序严格按从上至下、从左至右的顺序执行，在同一 PLC 执行循环内，它不能改变已处理完成的输出状态，故可以设计出许多区别于继电器控制电路的特殊逻辑，如边沿处理等。

3) 连线。梯形图程序中的逻辑处理顺序用“连线”表示，但它不像继电器触点控制电路那样存在实际电流，因此，梯形图程序中的每一输出线圈都应有明确的逻辑关系，而不能使用类似继电器接点控制电路中的“桥接”方式，试图通过后面的执行条件来改变前面的线圈输出状态。

## 2. 梯形图基本符号

采用梯形图编程时，逻辑运算式、处理对象、结果输出等均可以用触点、线圈、连线等基本符号表示。在不同 PLC 上，触点、线圈等逻辑梯形图的符号基本类似，表 2.2-1 为梯形图编程常用的符号表。



表 2.2-1 梯形图编程常用符号表

名称	梯形图符号	名称	梯形图符号
触点(常开)		线圈(输出)	
触点(常闭)		输出复位	
取反		输出置位	
上升沿检测		中间结果存储 <sup>①</sup>	
下降沿检测		取反输出 <sup>①</sup>	

① 802S/C/D 等 CNC 集成 PLC 不能使用。

表中的上升/下降沿检测、结果取反、中间结果存储等是 SIEMENS 等 PLC 使用的特殊符号，在 FANUC 系统集成 PMC 上一般不能使用，说明如下。

1) 上升/下降沿检测。上升/下降沿检测指令是对 CPU 当前运算结果状态变化的检测，如图 2.2-4 所示，当 CPU 的运算结果由状态 0 变为状态 1（上升沿检测），或者由状态 1 变为状态 0（下降沿检测），可输出宽度为 1 个 PLC 循环周期的脉冲信号。如指令前只有一个触点，其作用就相当于读取该触点的上升或下降沿。

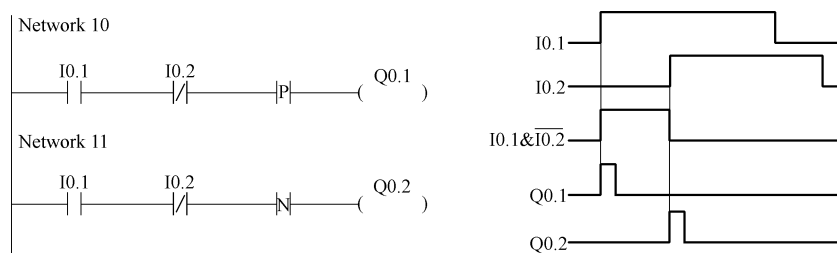


图 2.2-4 边沿检测

2) 结果取反。该指令的作用是将 CPU 当前的运算结果寄存器的状态进行“取反”操作。例如，对于图 2.2-5 所示的梯形图程序，当 I0.0 和 I0.1 的状态相同时，执行 NOT 指令前的 CPU 运算结果为 1；执行 NOT 指令后，其运算结果存储器的状态将变为 1，故 M0.1 的输出状态为 0；反之，如 I0.0 和 I0.1 的状态不同，执行 NOT 指令前的 CPU 运算结果将为 0，故 M0.1 的输出状态为 1。

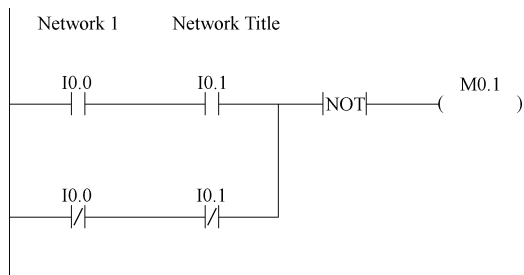


图 2.2-5 结果取反

3) 中间结果存储。该指令可将 CPU 当前的运算结果保存到中间存储单元上，然后继续进行其他运算，但这一指令不能用于 802S/C/D 等 CNC 集成 PLC。例如，对于图 2.2-6 所示的程序，当 I0.0 和 I0.1 的状态相同时，执行指令后 M0.0 的状态为 1，而 M0.1 的状态为 0；反之，当 I0.0 和 I0.1 的状态不同时，M0.0 的状态为 0，M0.1 的状态为 1。

### 2.2.3 典型梯形图程序

尽管 PLC 的控制要求多种多样，但大多数动作都可以通过基本逻辑功能的组合实现，因此，熟练掌握基本梯形图程序的编写方法，是提高编程效率与程序可靠性的有效措施。以

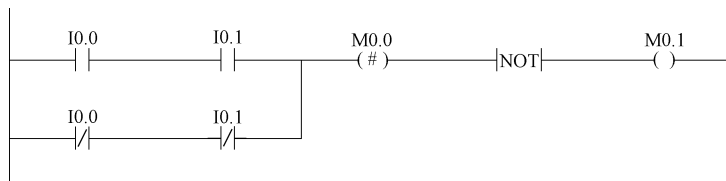


图 2.2-6 中间结果存储

下是 PLC 常用的梯形图程序，可供编程参考。

### 1.1 和 0 的信号生成

在进行 PLC 程序设计时，经常需要使用状态固定为 0 或 1 的信号，以便对无需逻辑运算处理的诸如电源指示灯、实际不使用的输出等进行直接赋值。

PLC 程序中状态固定为 0 及 1 的内部继电器和输出线圈等可通过图 2.2-7 所示的梯形图程序段生成。

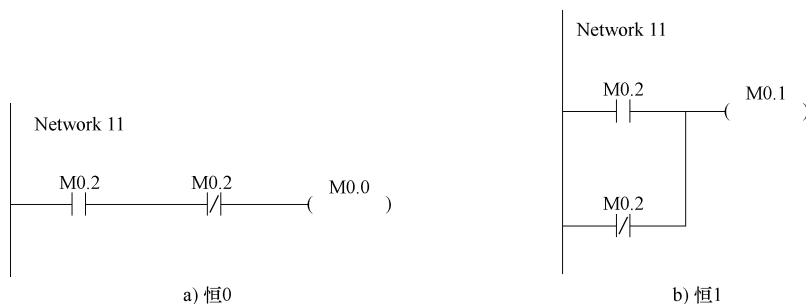


图 2.2-7 恒 0 和恒 1 信号的生成

在图 2.2-7a 上，输出 M0.0 为信号 M0.2 和  $\overline{M0.2}$  的“与”运算的结果，状态恒为 0；图 2.2-7b 中，M0.1 为信号 M0.2 和  $\overline{M0.2}$  的“或”运算的结果，状态恒为 1。

### 2. 状态保持程序

线圈的状态保持功能可通过梯形图程序的自锁电路、置位/复位指令、RS 触发器等方式实现，它有断开优先和启动优先两种控制方式，两者在启动、断开信号同时生效时，其输出状态将有所不同。

断开优先的梯形图程序如图 2.2-8 所示，图中的 I0.1 为启动信号，I0.2 为断开信号。

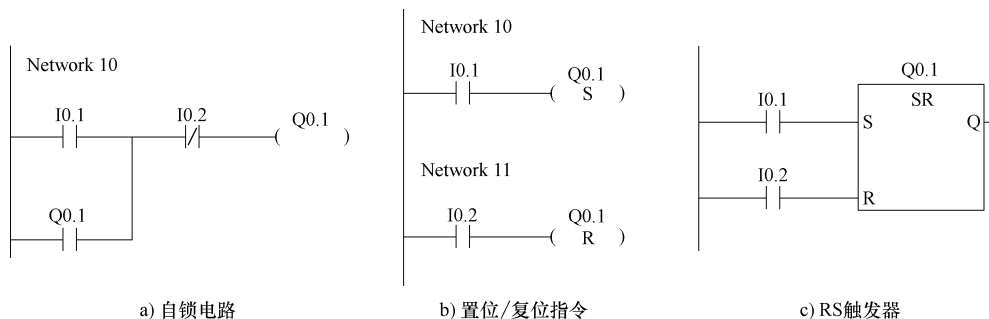


图 2.2-8 断开优先保持程序



图 2.2-8 所示的程序中，如断开信号  $I0.2$  为 0，3 种程序均可通过启动信号  $I0.1 = 1$ ，使得输出  $Q0.1 = 1$  并保持。但是，如果断开信号  $I0.2$  为 1，则不论启动信号  $I0.1 = 1$  或 0， $Q0.1$  总是输出 0，故称断开优先或复位优先。

启动优先的梯形图程序如图 2.2-9 所示，当断开信号  $I0.2$  为 0 时，3 种程序也均可通过启动信号  $I0.1 = 1$ ，使得输出  $Q0.1 = 1$  并保持；如果  $I0.2$  为 1，则可使得  $Q0.1 = 0$ 。但是，如果启动信号  $I0.1 = 1$ ，则不论断开信号  $I0.2 = 1$  或 0， $Q0.1$  总是输出 1，故称启动优先或置位优先。

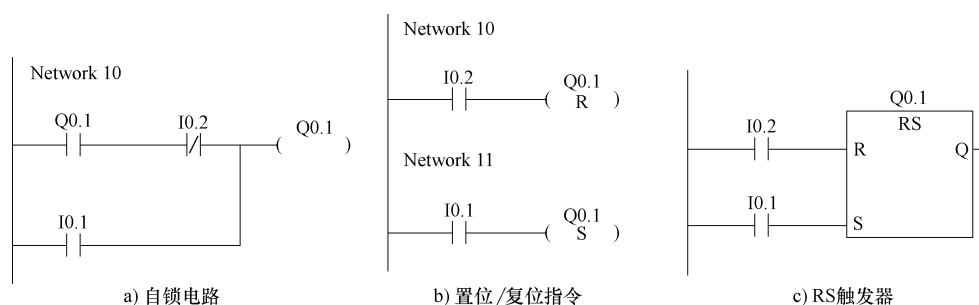


图 2.2-9 启动优先保持程序

### 3. 边沿信号生成

部分 PLC 没有专门的上升/下降沿检测指令，可以使用图 2.2-10 所示的简单程序生成上升沿脉冲。如果将程序中的  $I0.1$  改为  $\overline{I0.1}$ ，则可生成下降沿脉冲。

图 2.2-10a 所示的程序中，在  $I0.1$  由 0 变为 1 的首次执行循环中，处理指令第 1 行时，由于  $M0.1$  的状态仍为上次循环的执行结果 0，故  $M0.0 = I0.1 \& \overline{M0.1}$  的结果为 1。

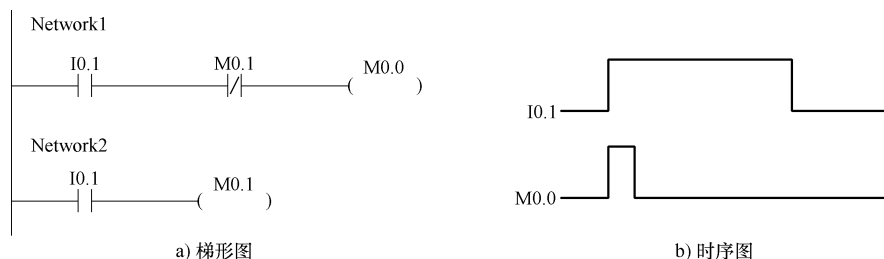


图 2.2-10 边沿信号生成程序

当 PLC 处理到指令第 2 行时，由于本次输入采样的  $I0.1$  状态为 1， $M0.1$  的结果将为 1，但是，它不能改变已经处理完成的第 1 行指令的  $M0.0$  结果，故  $M0.0$  在第 1 次循环的输出为 1。执行完第 1 次循环后，由于  $M0.1$  已为 1，故在后续循环中， $M0.0 = I0.1 \& \overline{M0.1}$  将一直保持 0。因此，利用上述梯形图，可以在  $I0.1$  为 1 的瞬间，在  $M0.0$  上得到一个宽度为 1 个 PLC 循环时间的上升沿脉冲信号。

### 4. 二分频程序

在 PLC 控制系统中，经常有利用一个按钮的反复操作，交替控制执行元件通/断的情况，称为交替通断程序。这一程序如用于脉冲控制，其输出脉冲频率将为输入的  $1/2$ ，故又称“二分频”控制。二分频控制梯形图程序有以下多种实现形式。

图 2.2-11 所示的梯形图程序由前述的边沿信号生成（Network1、Network2）、状态保持





(Network5) 以及启动、停止信号生成 (Network3、Network4) 3 部分组成。边沿信号生成、状态保持功能程序的原理与前述相同。

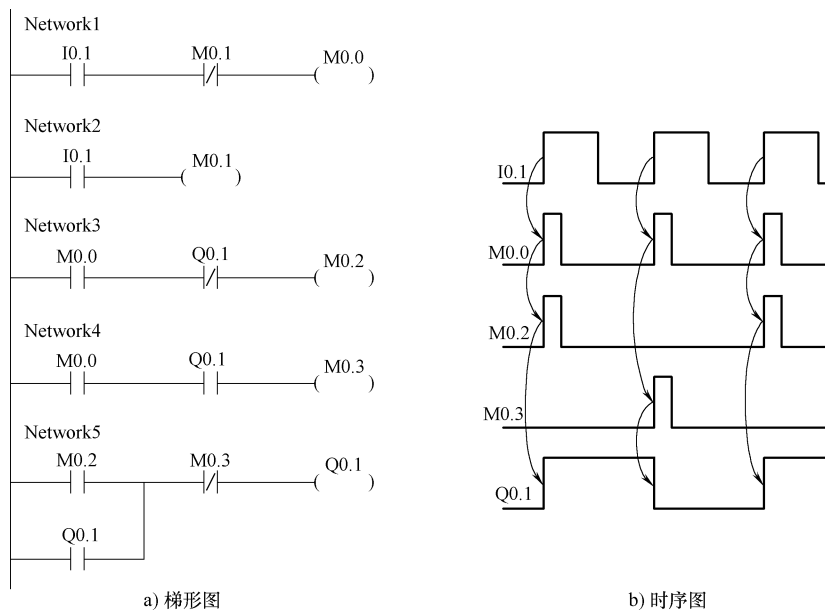


图 2.2-11 二分频控制程序 1

当每次操作按钮  $I0.1$  时，在  $M0.0$  上得到  $I0.1$  的上升沿脉冲。如果  $Q0.1$  的当前状态为 0，这一上升沿将通过 Network3，产生状态保持程序的启动信号  $M0.2 = 1$ ；如果  $Q0.1$  的当前状态为 1，则将产生状态保持程序的停止信号  $M0.3 = 1$ 。在状态保持程序上，如果  $Q0.1$  的当前状态为 0，则可通过  $M0.2 = 1$ 、将  $Q0.1$  的执行结果重新置为 1；如果  $Q0.1$  的当前状态为 1，则可通过  $M0.3 = 1$ ，将  $Q0.1$  的执行结果重新置为 0。由于信号  $M0.0$  只保持 1 个 PLC 循环，第 2 次执行循环时， $M0.0$  已经为 0，因此， $Q0.1$  的状态变化不会引起  $M0.2$ 、 $M0.3$ 、 $Q0.1$  状态的循环变化。

以上程序动作清晰、理解容易，但需要占用 4 个内部继电器  $M0.0 \sim M0.3$  和 5 个程序段，为此，实际程序中常采用图 2.2-12 所示的形式。

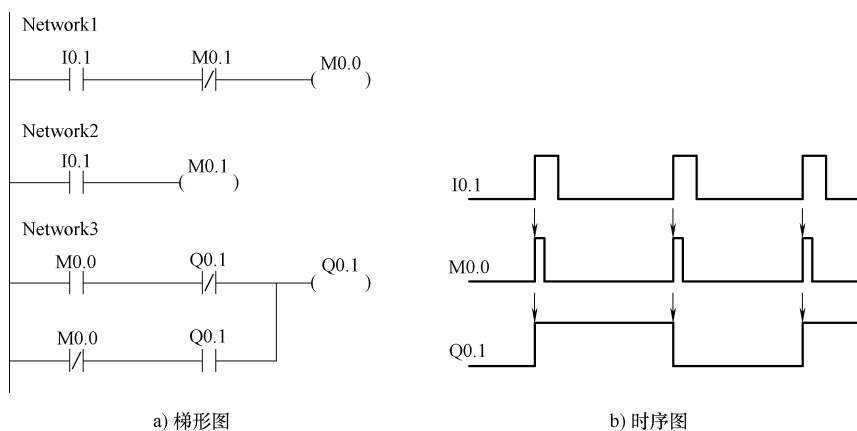


图 2.2-12 二分频控制程序 2



图 2.2-12 所示的程序可通过 I0.1 的边沿信号 M0.0 和 Q0.1 当前状态（上一循环的执行结果），直接控制 Q0.1 的状态翻转。

例如，当 I0.1 出现上升沿（M0.0 = 1）时，如 Q0.1 的当前状态为 0，则  $M0.0 \& \overline{Q0.1} = 1$ ，Q0.1 将输出 1；而在执行第 2 次循环时，虽 M0.0 恢复为 0，但因 Q0.1 的当前状态为 1，故  $\overline{M0.0} \& Q0.1 = 1$ ，Q0.1 可保持 1。如 I0.1 出现上升沿（M0.0 = 1）时，Q0.1 的当前状态为 1，则  $M0.0 \& \overline{Q0.1}$  及  $\overline{M0.1} \& Q0.1$  同时为 0，故 Q0.1 将输出 0；而在执行第 2 次循环时，虽 M0.0 恢复为 0，但因 Q0.1 的当前状态为 0，故  $M0.0 \& \overline{Q0.1}$  及  $\overline{M0.1} \& Q0.1$  仍然为 0，Q0.1 可保持 0。

以上程序只需要使用 2 个内部继电器（M0.0/M0.1）和 3 个程序段，实现了二分频功能，程序较图 2.2-11 简单。

最简单的二分频梯形图程序如图 2.2-13 所示。这一程序只占用 1 个内部继电器和 2 个程序段，程序简洁、概念清晰，并充分利用了 PLC 的执行特点，因此是工程设计人员最常用的典型程序。

假设起始状态为 Q0.1、M0.1 均为 0，操作按钮 I0.1 时，程序的处理时序如图 2.2-13b 所示，说明如下。

- 1) 第 1 次按下按钮时，I0.1 = 1，Q0.1、M0.1 的起始状态为 0，故有  
 $I0.1 \& \overline{M0.1} = 1$ 、 $\overline{I0.1} \& Q0.1 = 0$ ，  
 因此， $Q0.1 = I0.1 \& \overline{M0.1} + \overline{I0.1} \& Q0.1$  的输出将为状态 1；  
 而  $\overline{I0.1} \& Q0.1 = 0$ 、 $I0.1 \& M0.1 = 0$ ，  
 故  $M0.1 = \overline{I0.1} \& Q0.1 + I0.1 \& M0.1$  的输出将为状态 0。

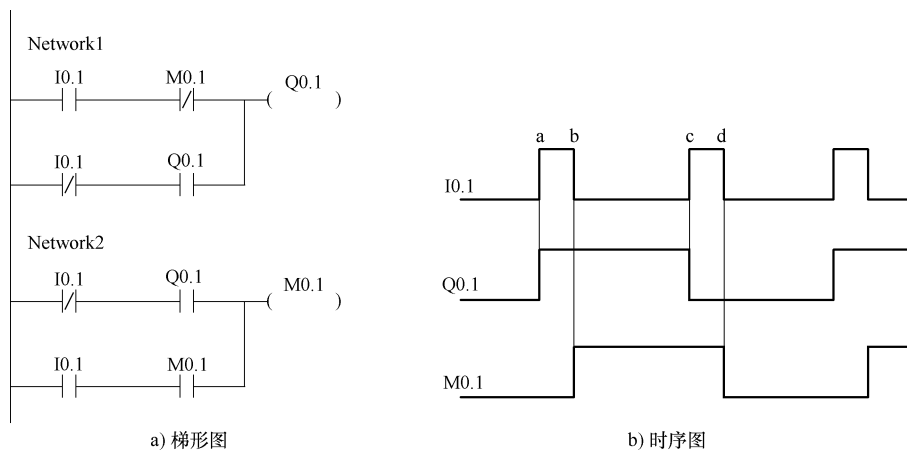


图 2.2-13 二分频控制程序 3

- 2) 第 1 次松开按钮时，I0.1 = 0，当前状态为 Q0.1 = 1、M0.1 = 0，故有  
 $I0.1 \& \overline{M0.1} = 0$ 、 $\overline{I0.1} \& Q0.1 = 1$ ，  
 因此， $Q0.1 = I0.1 \& \overline{M0.1} + \overline{I0.1} \& Q0.1$  的输出将保持为状态 1；  
 而  $\overline{I0.1} \& Q0.1 = 1$ 、 $I0.1 \& M0.1 = 0$ ，  
 故  $M0.1 = \overline{I0.1} \& Q0.1 + I0.1 \& M0.1$  的输出将为状态 1。
- 3) 第 2 次按下按钮时，I0.1 = 1，当前状态为 Q0.1 = 1、M0.1 = 1，故有



$$I0.1 \& \overline{M0.1} = 0, \overline{I0.1} \& Q0.1 = 0,$$

因此,  $Q0.1 = I0.1 \& \overline{M0.1} + \overline{I0.1} \& Q0.1$  的输出将为状态 0;

$$\text{而 } \overline{I0.1} \& Q0.1 = 0, I0.1 \& M0.1 = 1,$$

故  $M0.1 = \overline{I0.1} \& Q0.1 + I0.1 \& M0.1$  的输出将为状态 1。

4) 第 2 次松开按钮时,  $I0.1 = 0$ , 当前状态为  $Q0.1 = 0$ 、 $M0.1 = 1$ , 故有

$$I0.1 \& \overline{M0.1} = 0, \overline{I0.1} \& Q0.1 = 0,$$

因此,  $Q0.1 = I0.1 \& \overline{M0.1} + \overline{I0.1} \& Q0.1$  的输出将保持为 0;

$$\text{而 } \overline{I0.1} \& Q0.1 = 0, I0.1 \& M0.1 = 0,$$

故  $M0.1 = \overline{I0.1} \& Q0.1 + I0.1 \& M0.1$  的输出将为状态 0。

程序将重新回到起始状态。因此, 操作按钮  $I0.1$ , 同样可在  $Q0.1$  上得到通/断交替的输出信号。

如果使用置/复位和边沿检测指令, 二分频控制还可通过图 2.2-14 所示的梯形图实现。假设起始状态为  $Q0.1$ 、 $M0.1$  均为 0, 操作按钮  $I0.1$  时, 程序的处理过程如下。

1) 第 1 次按下按钮时,  $I0.1 = 1$ ,  $Q0.1$ 、 $M0.1$  的起始状态为 0, 故有  $I0.1 \& \overline{M0.1} = 1$ , 其上升沿将使得  $Q0.1$  置位为 1; 在  $I0.1$  保持 1 的期间, 复位控制条件  $I0.1 \& M0.1$  始终为 0, 故  $Q0.1$  输出 1。

当按钮松开时, 由于 Network2 的执行先于 Network3, 因此, 复位控制条件  $I0.1 \& M0.1$  仍保持为 0, 输出  $Q0.1$  保持 1。当执行 Network3 后,  $M0.1$  输出为 1。

2) 第 2 次按下按钮时, 初始状态为  $Q0.1 = 1$ 、 $M0.1 = 1$ 。在 PLC 执行第 1 次循环时, Network1 的置位控制条件  $I0.1 \& \overline{M0.1} = 0$ ,  $Q0.1$  置位禁止; 执行 Network2 时, 复位控制条件  $I0.1 \& M0.1$  成为 1, 为生成复位下降沿做好了准备; 执行 Network3 时,  $M0.1$  成为 0。因此,  $Q0.1$  输出保持 1。当 PLC 执行第 2 次循环时, Network1 的置位控制条件  $I0.1 \& \overline{M0.1} = 1$ , 其上升沿将使  $Q0.1$  置位。但是, 执行 Network2 时, 由于复位控制条件  $I0.1 \& M0.1$  成为 0, 其下降沿可立即将  $Q0.1$  复位, 故  $Q0.1$  的最终输出为 0。执行 Network3 时,  $M0.1$  保持为 0。

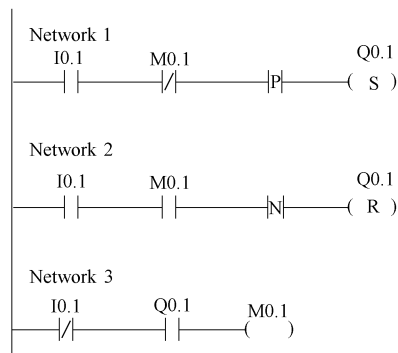


图 2.2-14 二分频控制程序 4

当按钮松开时, Network1 的置位控制条件  $I0.1 \& \overline{M0.1}$ 、Network2 的复位控制条件  $I0.1 \& M0.1$  同时为 0, 故  $Q0.1$  输出保持 0。而  $M0.1$  仍可通过  $Q0.1$  的 0 状态, 保持为 0; 状态恢复至第 1 次操作前的初始状态。

### 5. 采样程序

这里所说的“采样”是指通过一个信号(采样信号)来检测另一信号(被测信号)的状态, 并将被测信号的状态保持到下次采样。实现这一要求的梯形图程序如图 2.2-15 所示。

图示的程序中,  $M0.1$  为采样信号,  $I0.1$  为被测信号,  $Q0.1$  为采样状态输出。当  $M0.1 = 1$  时, 如  $I0.1 = 1$ , 则:

$$M0.1 \& I0.1 = 1, \overline{M0.1} \& Q0.1 = 0,$$

因此,  $Q0.1 = M0.1 \& I0.1 + \overline{M0.1} \& Q0.1$  的输出状态为 1;

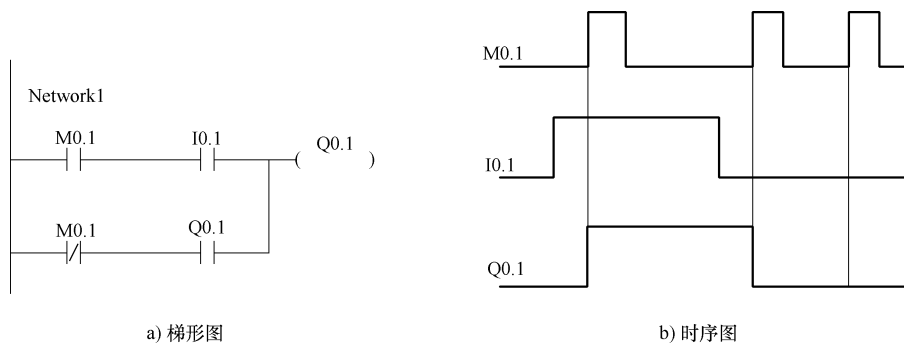


图 2.2-15 采样程序

当  $M0.1$  恢复 0 时, 当前状态为  $Q0.1 = 1$ , 故有  
 $M0.1 \& I0.1 = 0$ 、 $\overline{M0.1} \& Q0.1 = 1$ ,  
因此,  $Q0.1 = M0.1 \& I0.1 + \overline{M0.1} \& Q0.1$  的输出状态将保持为 1,  $Q0.1$  将记录、并保持  $M0.1 = 1$  采样时的  $I0.1$  状态 1。

同样, 当  $M0.1 = 1$  时, 如  $I0.1 = 0$ , 则

$M0.1 \& I0.1 = 0$ 、 $\overline{M0.1} \& Q0.1 = 0$ ,

因此,  $Q0.1 = M0.1 \& I0.1 + \overline{M0.1} \& Q0.1$  的输出状态为 0;

当  $M0.1$  恢复 0 时, 当前状态为  $Q0.1 = 0$ , 故有

$M0.1 \& I0.1 = 0$ 、 $\overline{M0.1} \& Q0.1 = 0$ ,

因此,  $Q0.1 = M0.1 \& I0.1 + \overline{M0.1} \& Q0.1$  的输出状态将保持为 0,  $Q0.1$  上同样可记录、并保持  $M0.1 = 1$  时刻的  $I0.1$  状态 0。

#### 6. “异或”/“同或”程序

“异或”/“同或”是两种标准逻辑运算。所谓“异或”就是在 2 个信号状态不同时, 输出 1 信号, 其他情况则为 0; 所谓“同或”就是在 2 个信号状态相同时, 输出 1 信号, 其他情况则为 0。由于大部分 PLC 无这一运算指令, 使用时可通过图 2.2-16 所示的梯形图程序实现这一功能。

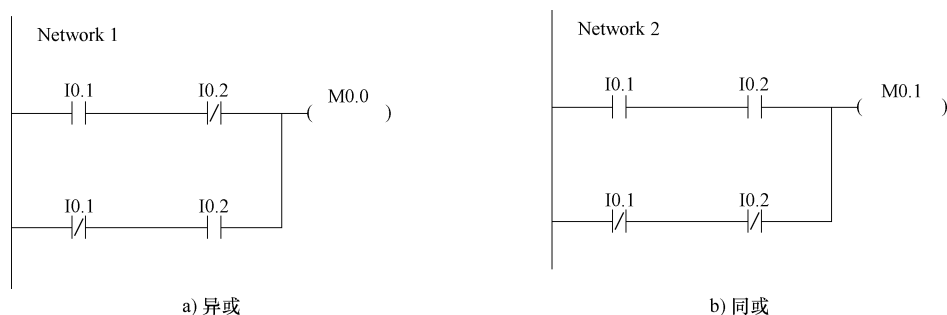


图 2.2-16 “异或”及“同或”程序

## 2.3 梯形图编程要点

虽然, 梯形图程序是从继电器触点控制电路的基础上发展起来的编程语言, 但是, 由于



两者的工作方式不同，因此，梯形图程序设计不可以完全等同于继电器触点控制电路，说明如下。

### 2.3.1 不能实现的功能

为了便于分析和比较，在本节的内容中，继电器控制电路的触点、线圈仍采用 K□□ 进行表示，而梯形图中的输入、输出则采用地址 I0.□、Q0.□ 进行表示，两者一一对应。

例如，继电器 K1、K2 的触点，在对应梯形图上的输入为 I0.1、I0.2 或触点 M0.1、M0.2；继电器 K1、K2 的线圈，在对应梯形图上的输出为 Q0.1、Q0.2 或线圈 M0.1、M0.2 等。此外，继电器控制电路也不完全按照电气制图标准进行绘制。

#### 1. 桥接支路

继电器触点控制电路可采用图 2.3-1a 所示的桥接支路，通过 K5 触点的桥接，使得触点 K3、K1 可交叉控制线圈 K6、K7，这样的支路在 PLC 梯形图中不能实现。这是因为：

1) 梯形图的编程格式不允许。采用梯形图编程时，程序中的触点一般不能进行垂直方向布置。

2) 违背 PLC 程序的执行规则，在同一 PLC 执行循环内，它不能利用后续线圈的控制条件来改变已执行完成的输出状态。

因此，设计梯形图程序时，需要保证每一输出线圈都有独立的逻辑控制电路，为此，编程时需要将其转化为图 2.3-1b 所示的形式。

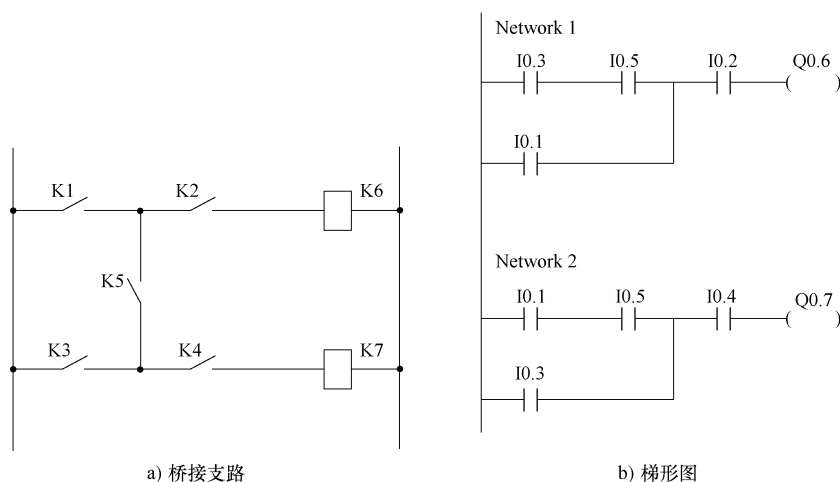


图 2.3-1 桥接支路的编程

#### 2. 后置触点

继电器触点控制电路可使用图 2.3-2a 所示的后置触点，通过 K5 来进行 K6、K7 的共同控制。但是，梯形图编程时，规定线圈必须是程序段的最终输出，因此，这样的电路在梯形图上需要更改为图 2.3-2b 所示的形式。

#### 3. 中间输出

图 2.3-3a 为继电器控制电路常用的中间输出连接电路，在梯形图程序中，虽然也可采用这样的编程，但程序处理时需要通过堆栈操作才能实现，它将无谓地增加程序所占的存储

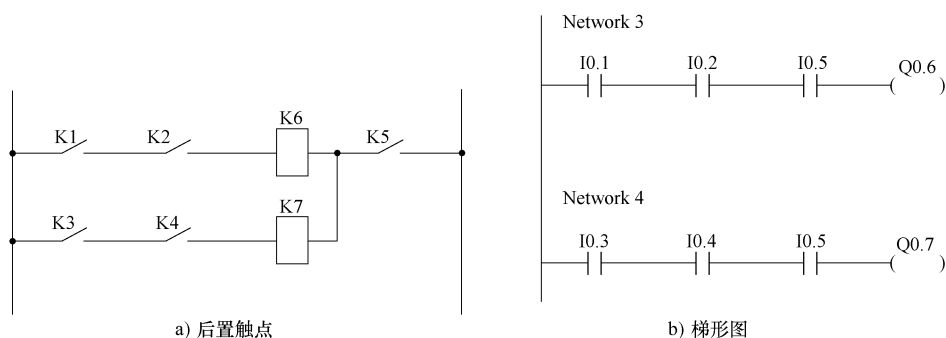


图 2.3-2 后置触点的编程

器容量，并给程序的阅读带来不便。因此，实际编程时一般需要将程序转换为图 2.3-3b 或图 2.3-3c 所示的形式，通过改变前后顺序，或者，通过输出线圈的独立编程，简化程序执行过程。

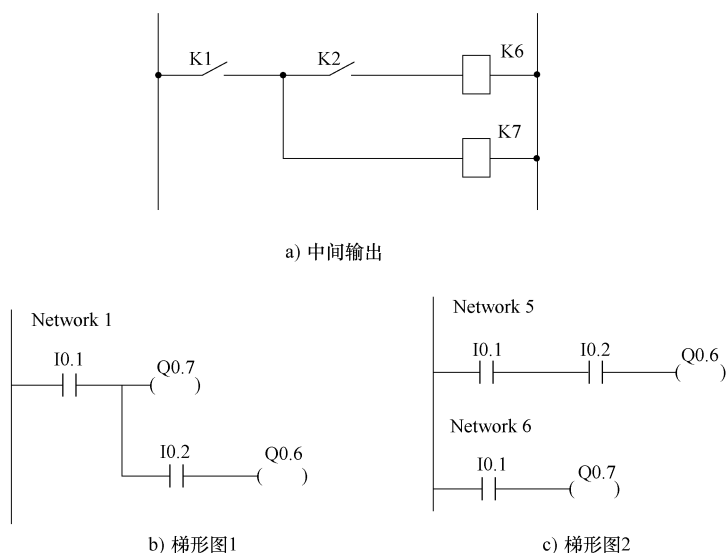


图 2.3-3 中间输出的编程

#### 4. 并联输出

图 2.3-4a 是继电器触点控制电路常用的并联输出支路，鉴于中间输出同样的原因，实际编程时宜更改为图 2.3-4b 所示的形式。

### 2.3.2 可使用的特殊程序

#### 1. 边沿生成

由于 PLC 的梯形图程序处理严格按照从上至下、从左向右的顺序，依次执行，因此，可以通过图 2.3-5a 所示的梯形图，在 M0.0 上得到宽度为 1 个 PLC 循环周期的 I0.1 上升沿脉冲信号，有关内容可参见 2.2 节。

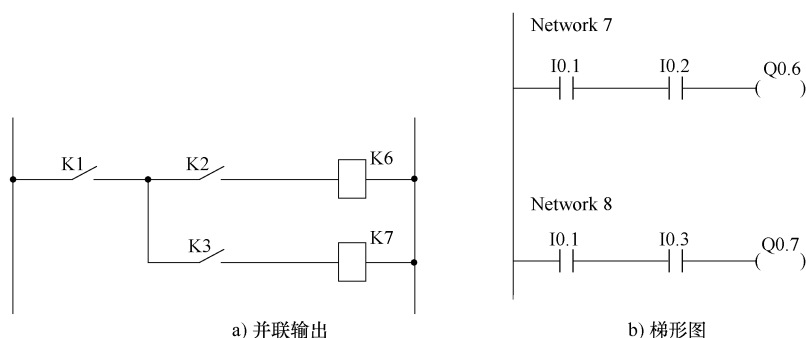


图 2.3-4 并联输出的编程

但是，在图 2.3-5b 所示的继电器接点控制电路上，由于常闭触点的断开一般先于常开触点闭合，因此，继电器 K3 一般不被接通，类似的电路无意义。

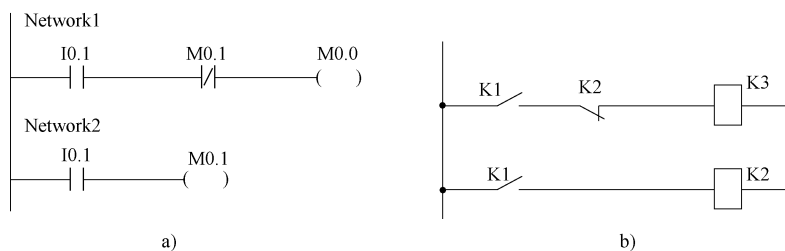


图 2.3-5 边沿生成程序

## 2. 时序控制

继电器触点控制电路的工作是同步的，即当继电器线圈通电时，无论触点位于电路的哪一位置，它们都将被同时接通或同时断开，因此，即便电路前后顺序不同，所得到的效果也是一致的。

例如，对于图 2.3-6a 和图 2.3-6b 所示的电路，当触点 K1 接通时，所得到的结果总是为线圈 K2 接通、K3 断开。

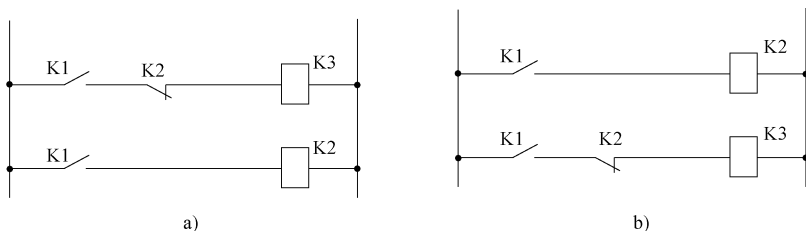


图 2.3-6 效果相同的电路

但是，PLC 对梯形图的处理严格按照从上至下、从左向右的顺序进行，在同一 PLC 执行循环内，它不能利用后续线圈的控制条件，来改变已执行完成的输出状态。因此，对于图



2.3-7 所示的梯形图，图 2.3-7a 在  $I0.1 = 1$  的第 1 次 PLC 执行循环里，由于  $M0.1$  为 0，故可在  $M0.0$  上得到  $I0.1$  的上升沿脉冲。而在图 2.3-7b 中，当  $I0.1 = 1$  后，首先将使得  $M0.1 = 1$ ，故  $M0.0$  将始终为 0。两者的执行结果完全不同。

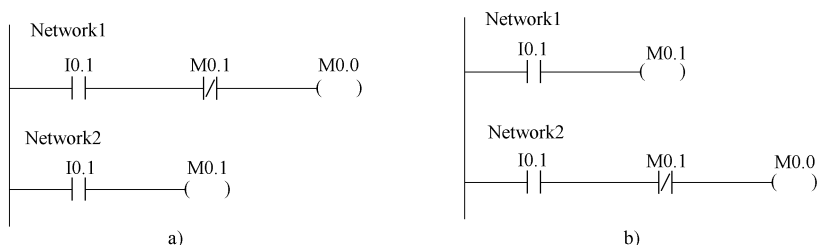


图 2.3-7 效果不同的梯形图

### 3. 线路竞争

继电器触点控制电路的同步工作特性，在线路设计时很容易导致竞争，图 2.3-8a 就是导致竞争的电路实例。

在图 2.3-8a 所示的继电器触点控制电路上，当触点  $K10$  接通时的动作过程为： $K2$  接通→ $K1$  接通→ $K2$  断开→ $K3$  接通→ $K1$  断开→ $K3$  断开→ $K2$  接通……从而使继电器  $K1$ 、 $K2$ 、 $K3$  处于不断通/断之中，产生竞争。

而图 2.3-8b 所示的梯形图程序则为二分频标准控制电路（见图 2.2-11），当  $M0.0$  为上升沿脉冲时，可用于  $Q0.1$  的交替通/断控制，其程序原理可参见前述。

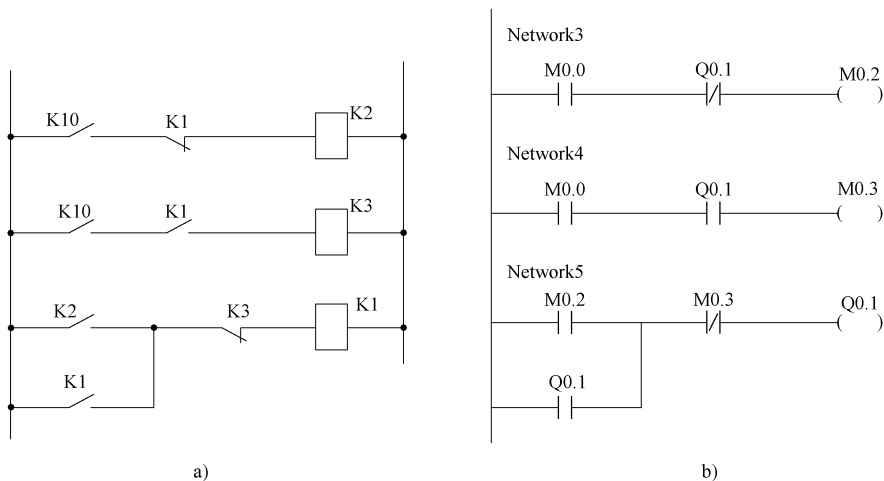


图 2.3-8 竞争电路的梯形图

### 4. 重复线圈

继电器的线圈绝不允许重复接线，但在 PLC 梯形图程序上，绝大多数情况下都可以使用图 2.3-9 所示的重复线圈编程。使用重复线圈编程时，PLC 可通过自检发出错误信息，但这只是对编程者的提醒，并不影响程序的运行。

由于 PLC 输出刷新的状态，总是本循环用户程序执行完成后的最终处理结果，在程序处理过程中其状态可以不同，因此，可利用重复线圈来记忆程序的中间运算结果，从而减少





内部继电器的数量。

例如，对于图 2.3-7 所示的程序，当 I0.1 和 I0.2 同时为 1、但 I0.3 和 I0.4 中任意一个为 0 时，执行 Network 7 后，Q0.6 的状态将为 1；执行 Network 8 后，Q0.0 的状态将为 1；执行 Network 9 后，Q0.6 的状态又将变为 0。但是，由于 Network 9 的执行结果不能改变本次循环内的 Network 7、Network 8 执行结果，因此，进行输出刷新时，PLC 的最终输出结果为  $Q0.0 = 1$ ， $Q0.6 = 0$ 。

基于同样的原因，当 I0.1 和 I0.2 中任意一个为 0，但 I0.3 和 I0.4 同时为 1 时，PLC 的最终输出结果为  $Q0.0 = 0$ ， $Q0.6 = 1$ 。而在 I0.1、I0.2、I0.3、I0.4 全部为 1 时，PLC 的最终输出结果将为  $Q0.0 = 1$ ， $Q0.6 = 1$ 。

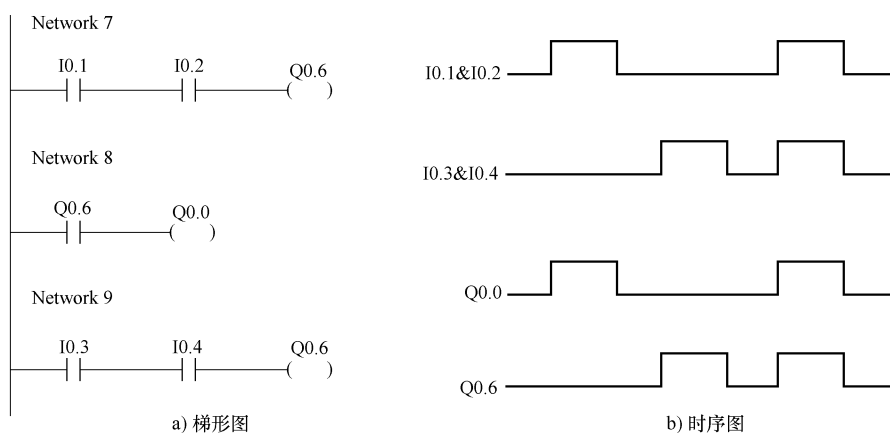


图 2.3-9 重复线圈编程

### 2.3.3 梯形图的优化

梯形图程序中的不同逻辑处理指令所需要的存储容量和执行时间是不相同的，因此，在不影响程序执行结果的前提下，有时只需要调整指令的先后顺序，便可简化程序、缩短程序执行时间、优化程序。常用的 PLC 梯形图程序优化方法如下。

#### 1. 并联支路的优化

当输出由若干并联支路进行控制时，应根据“先与后或”的逻辑运算规则，将带有串联触点的并联支路放在只有独立触点的并联支路上方，这样，处理指令时就可以避免堆栈操作，减少指令所占的步数和执行时间。

例如，对于图 2.3-10a 所示的程序，PLC 处理程序时，首先需要读入 I0.1 的状态，并将其压入堆栈中；接着读入 Q0.1 的状态、进行  $Q0.1 \& \overline{I0.2}$  的运算；然后再取出堆栈状态，进行 I0.1 和  $Q0.1 \& \overline{I0.2}$  的逻辑“或”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。

当程序按照图 2.3-10b 所示优化后，PLC 处理程序时，首先读入 Q0.1 的状态，接着直接进行  $Q0.1 \& \overline{I0.2}$  的运算；然后，直接以当前运算结果和 I0.1 进行逻辑“或”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。显然，优化后的程序执行更简单，指令所占的步数和执行时间更短。

#### 2. 串联支路的优化

当输出由若干支路串联进行控制时，应根据 PLC “从左向右”的处理规则，将有带有

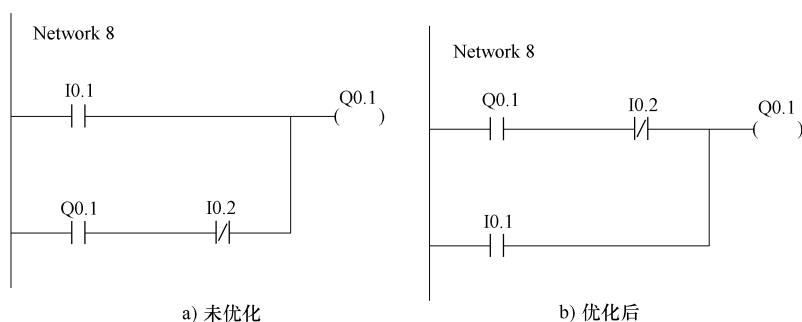


图 2.3-10 并联支路的优化

并联触点的支路放在最前面，它同样可以避免堆栈操作，减少指令所占的步数和执行时间。

例如，对于图 2.3-11a 所示的程序，PLC 处理程序时，首先需要读入 I0.1 的状态，并将其压入堆栈中；接着读入 I0.2 的状态、进行 I0.2 和  $\overline{I0.3}$  的逻辑“或”运算；然后再取出堆栈状态，进行  $I0.1 \& (I0.2 + \overline{I0.3})$  的逻辑“与”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。

当程序按照图 2.3-11b 所示优化后，PLC 处理程序时，首先读入 I0.2 的状态、接着直接进行 I0.2 和  $\overline{I0.3}$  的逻辑“或”运算；然后，直接以现行运算结果和 I0.1 进行逻辑“与”运算，并将结果输出到 Q0.1 上。优化后的程序更简单，指令所占的步数和执行时间更短。

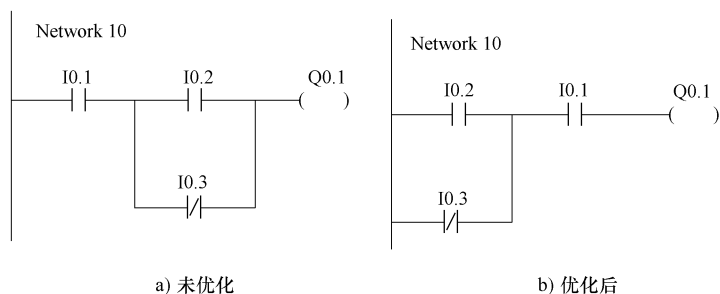


图 2.3-11 串联支路的优化

### 3. 内部继电器的使用

在进行梯形图程序设计时，有时需要多次使用某些逻辑运算的结果，此时，应尽量使用内部继电器，这样不仅可简化程序，而且可以方便程序修改。例如，2.3-12a 所示的程序可以按照 2.3-12b 进行优化。

在图 2.3-12a 所示的程序上，Q0.1、Q0.2 具有共同的控制条件  $I0.1 \& I0.2 \& I0.3$ ，Q0.3 的控制条件为  $\overline{I0.1 \& I0.2 \& I0.3}$ ，程序长度 15 步。如果将控制条件  $I0.1 \& I0.2 \& I0.3$  作为内部继电器，则可得到图 2.3-12b 所示的程序，程序长度将减少至 13 步。

图 2.3-12b 所示程序的另一优点是修改方便。例如，当输入 I0.1 需要更改为 M10 时，对于图 2.3-12a 所示的程序，必须同时将 Network8 ~ Network10 中的 I0.1 改为 M10。而在图 2.3-15b 所示的程序上，则只需将 Network8 中的 I0.1 改为 M10，程序修改简单且可避免遗漏。



#### 4. 中间输出的优化

如果梯形图允许进行共用控制条件的多个输出线圈的编程时，同样也需要按照逻辑运算规则，保证逻辑处理动作依次进行，以避免堆栈操作，减少指令所占的步数和执行时间。

例如，对于 2.3-13a 所示的程序，按照梯形图“从上至下”的处理规则，首先需要读入 I0.1 的状态，并将其压入堆栈中；接着进行 I0.1 和 I0.2 的逻辑“与”运算，将结果输出到 Q0.6 上。然后再取出堆栈中的 I0.1 的状态，将其输出到 Q0.7 上。

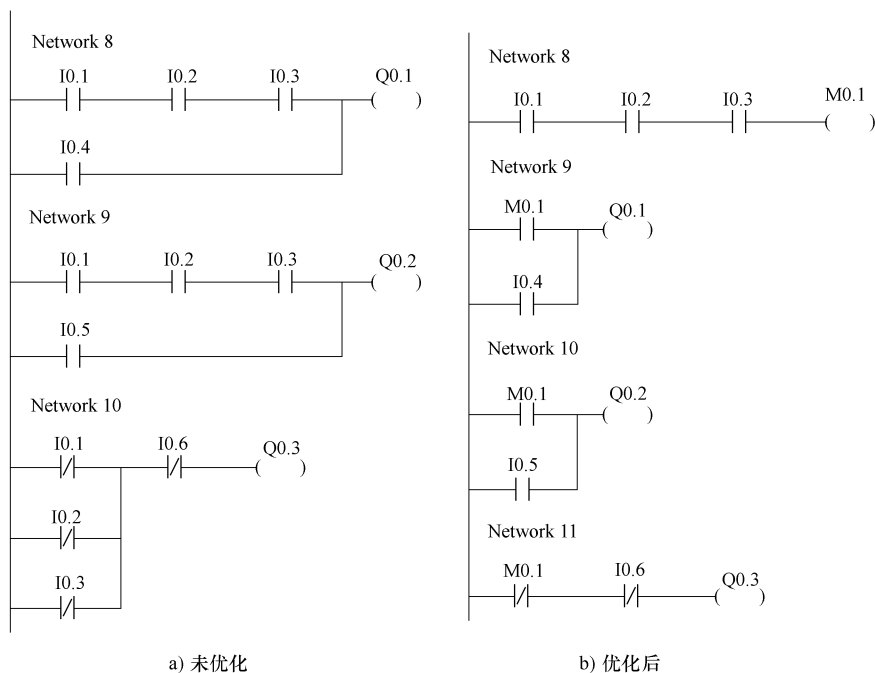


图 2.3-12 利用内部继电器的优化

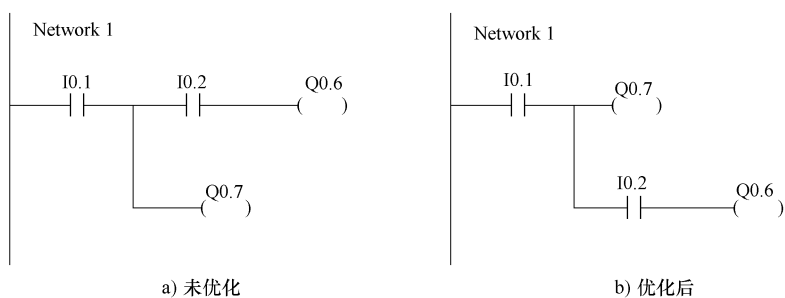


图 2.3-13 输出位置的优化

当程序优化为 2.3-13b 后，按照梯形图“从上至下”的处理规则，读入 I0.1 的状态后，就可将结果输出到 Q0.6 上。接着，以当前结果和 I0.2 进行逻辑“与”运算，然后输出到 Q0.7 上。其处理简单，指令步数和执行时间短。

# 第 3 章

## CNC 集成 PLC 编程

### 3.1 程序格式

#### 3.1.1 程序的组成与结构

##### 1. 基本说明

PLC 程序设计是运用 PLC 特殊的编程语言，将对象的控制条件与动作要求转化为 PLC 可以识别的指令的过程，这些指令的集合称为“PLC 用户程序”，简称 PLC 程序。PLC 程序经 CPU 的运算与处理，即可获得所需要的执行元件动作。

PLC 程序设计无固定的方法，有的人习惯于凭经验设计；有的人习惯于按逻辑表达式设计；有的场合还可根据继电器控制电路设计等，对于同样的要求与动作，可以实现的程序形式多样。PLC 用户程序采用何种设计方法、何种结构形式、何种编程语言并不重要，只要能够保证动作可靠，程序简洁明了、便于检查，就是好程序。

SIEMENS 808/802/808D 系统集成有 S7-200PLC 功能，而 SIEMENS 810/840D 系统则集成有 S7-300PLC 功能，两者在 PLC 程序结构、组成逻辑块、编程语言、编程软件，以及可使用的编程元件数量、PLC 功能指令等方面有所区别。

例如，808/802/808D 使用的是 STEP7-Micro/WIN32 编程软件，PLC 程序只能使用梯形图（LAD）编程，程序通过基本组织块 OB1（也称主程序）进行组织和管理，用户程序以主程序 OB1、子程序（SBR）、数据块（DB）、中断程序 INT 等形式进行编程等。而 840D 使用的是 STEP7 编程软件，PLC 程序可使用 STL、LAD、FBD 等多种编程语言；程序通过基本组织块 OB1、程序报警处理组织块 OB40、重新启动组织块 OB100 组织和管理；用户程序可进行组织块（OB）、程序块（FC）（也称功能）、功能块（FB）、数据块的编程，如需要，还可调用系统程序块（SFC）、系统功能块（SFB）等。

总体而言，S7-300 的程序结构更灵活，可使用的逻辑块种类和内部继电器、定时器/计数器等编程元件的数量更多，PLC 编程指令更丰富。但是，由于数控系统集成 PLC 主要用于 CNC 的辅助功能处理，PLC 用户程序以开关量逻辑处理为主，它不像通用 PLC 那样，可能使用较多的特殊功能模块，并涉及模拟量处理、PLC 轴控制、网络通信控制等诸多内容。实际程序中也较少使用 S7-300 的 FB、SFB、SFC 等特殊逻辑块及 PLC 的特殊功能和编程指令。因此，本书在后述的内容中，主要以 802 等系列 CNC 集成 S7-200PLC 为例，来介绍数控机床 PLC 程序设计的基本方法。示例中所提供的子程序（SBR）如定义为程序块，同样



可用于 810/840D 系统集成 S7-300PLC，对此不再一一说明。

## 2. 程序组成

SIEMENS 808/802/808D 数控系统集成 S7-200PLC 的用户程序组成如图 3.1-1 所示，程序由逻辑块与数据块组成，逻辑块是程序的主体，数据块用来存储程序数据。逻辑块由多个网络（Network）组成，指令则是组成网络的基本元素。

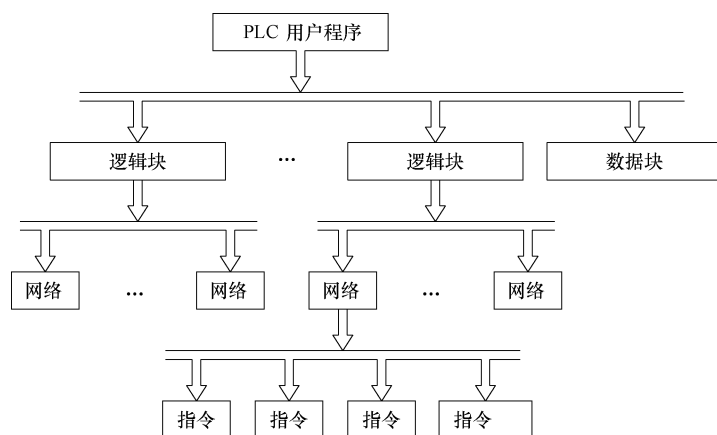


图 3.1-1 用户程序的组成

1) 逻辑块。逻辑块是指为了实现控制对象某部分功能而设计的指令集合。808/802/808D 系统集成 S7-200PLC 程序采用主-子程序调用式结构，可使用的逻辑块有主程序（OB1）、子程序（SBR）、中断程序（INR）等。

2) 网络。STEP7-Micro/WIN 梯形图编程软件以网络为单位进行编译和处理，程序段注释也以网络为单位添加，网络的编号可由编辑软件自动生成。采用梯形图编程时，PLC 程序中的网络有规定的格式和要求（见下述）。

3) 指令。指令是组成 PLC 用户程序最基本的元素，PLC 程序指令有基本逻辑处理、数据比较、格式转换、数学运算、特殊功能指令等多种，不同的程序指令有规定的格式与要求，有关内容可参见相关指令的说明。

## 3. 网络

在采用梯形图编程的 808/802/808D 系统集成 S7-200PLC 上，各种 PLC 编程指令均需要以网络的形式组成程序，网络有以下规定的格式和要求。

1) 同一网络内的所有编程元件及功能指令都必须且只能用梯形图的连线进行连接。例如，图 3.1-2a 中的 Q0.0 控制程序块和 M0.0 控制程序块，仅通过编程软件中的主母线连接，因此，它们不能编写在同一程序网络中。

2) 为了简化程序，减少程序中的网络数，并方便程序的阅读与注释，实际程序设计时一般需要将相互关联的控制指令组合到同一网络中，为此，需要通过状态恒为“1”的系统特殊内部继电器触点 SM0.0，按图 3.1-2b 所示，在网络中建立一条用梯形图连线连接的子母线，来连接 Q0.0 和 M0.0 的控制程序块。

3) 网络原则上应以直接与主母线连接的触点为起始，因此，即使实际程序块并不需要触点，但为了符合编程格式，程序中有时需要添加状态恒为 1 的系统特殊标志（内部继电器在 SIEMENS PLC 上称为标志，下同）触点 SM0.0。

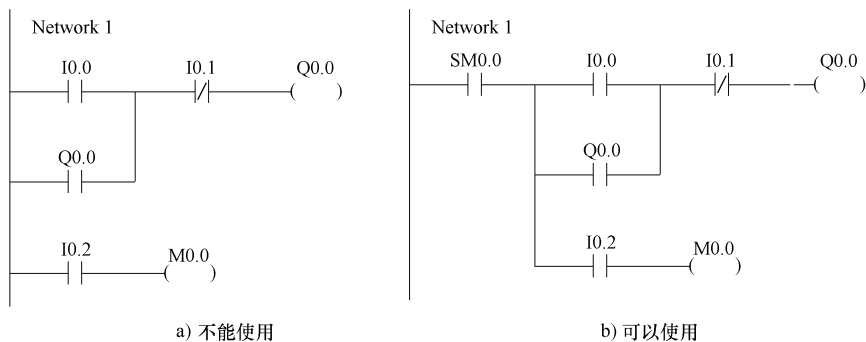


图 3.1-2 网络的格式要求

4) 在集成 S7-300 PLC 功能的 810/840D 系统上, 如采用 STEP 7 的指令表编程语言 (STL), 可以使用图 3.1-3a 所示的指令, 在 Network1 中, 对利用 SM0.0 连接的 Q0.0、M0.0 控制指令和直接连接的 M0.1 控制指令进行连续编程。但是, 这样的程序一般不能转换为梯形图, 为此, 在需要用梯形图进行编程和监控的系统上, 需要按 3.1-3b 所示的方法, 将指令表程序划分成不同的网络。

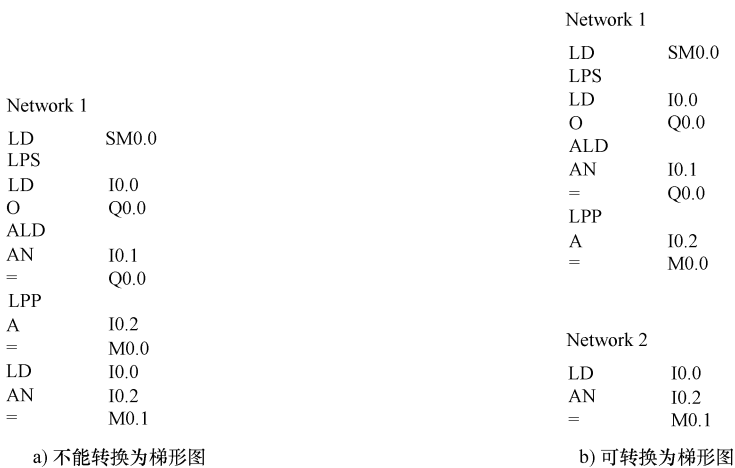


图 3.1-3 指令表网络的编程

4. 程序结构

PLC 程序结构是组成程序的逻辑块的排列、组织与管理形式, 它有线性结构与调用结构两种形式。

线性结构的 PLC 程序不分块, 所有编程指令都集中在一个逻辑块中 (OB1), 设计时只需要将所有网络依次排列即可。这种结构的 PLC 程序严格按照从上至下的顺序执行, 程序的执行时间 (循环扫描时间) 不变。线性结构一般适用于程序简单的普及型数控机床或机电设备控制。

调用结构的 PLC 程序由多个逻辑块组成, 程序由组织块进行组织与调度, 程序执行时可根据不同的外部条件, 改变逻辑块的实际执行顺序或跳过部分逻辑块。调用结构可改变



PLC 程序的执行顺序，程序执行时间（循环扫描时间）也将根据实际处理的逻辑块数量改变。

S7-200PLC 采用图 3.1-4 所示的主-子程序调用结构，程序由主程序、子程序、中断程序等逻辑块组成。主程序规定使用组织块 OB1，它是每次循环扫描都必须执行的程序块，用户程序必须进行编制，且需要放在程序的最前面。子程序 SBR、中断程序 INT（如有）可根据实际需要编写与调用，程序的排列顺序为子程序、中断程序。

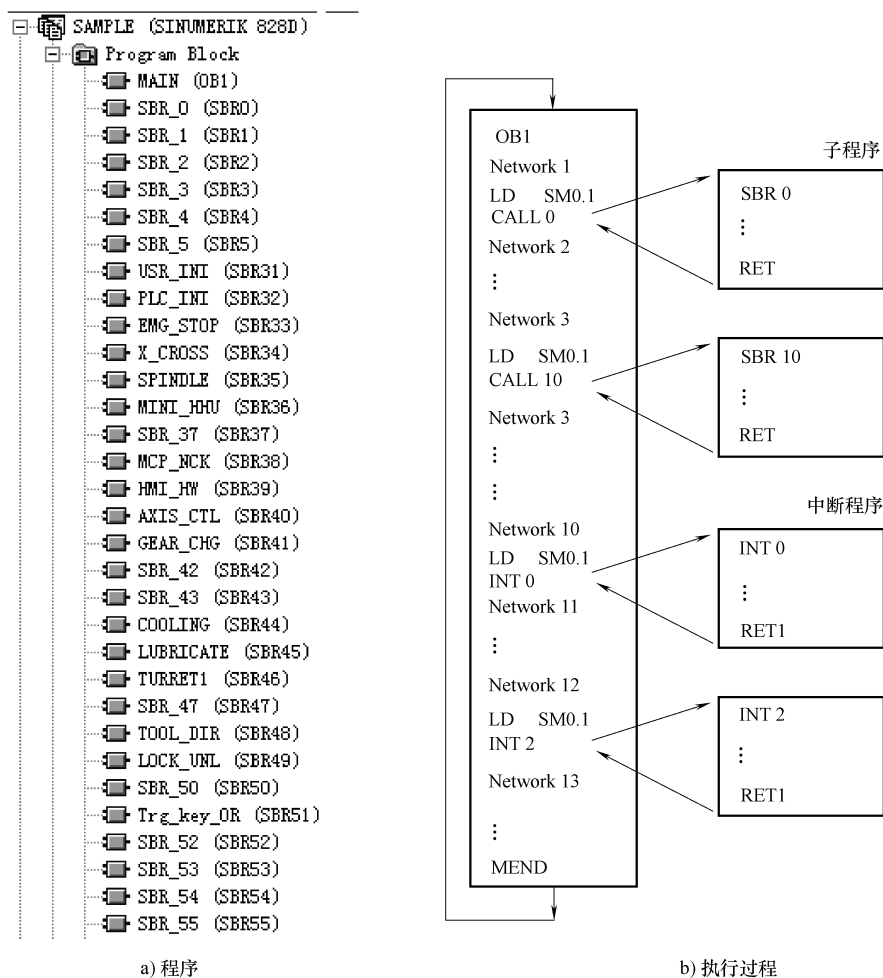


图 3.1-4 S7-200 的程序结构与执行

### 3.1.2 指令格式

#### 1. 基本说明

PLC 的编程指令总体可分为简单逻辑处理指令与功能指令两类。简单逻辑处理指令用来实现开关量信号（二进制位信号）的“读入”、“输出”及“与”、“或”、“非”等逻辑操作，在梯形图上，它们可用触点、线圈、连线等基本符号表示。功能指令用来实现定时、计数、字节/字/双字逻辑处理、数据比较、代码转换、数学运算、传送、移位等功能，指令由



指令代码、控制输入、操作数、执行状态输出、结果存储器等部分组成，在利用梯形图编程时，需要用“功能指令框”或“功能触点”来表示。

总体而言，CNC 集成 PLC 的功能低于同型号的通用 PLC，因此 CNC 集成 PLC 编程时，只能使用同型号 PLC 的部分指令。例如，802S/802C/802D 集成的 S7-200PLC 不能使用 S7-200 通用型 PLC 的大于/小于/不等于比较、循环移位、BCD/ASCII/字符串代码转换、三角函数运算、指数/对数运算等相对较复杂的功能指令。

## 2. 简单逻辑处理指令

简单逻辑处理指令由操作码与操作数两部分组成，举例如下：



指令中的操作码又称指令代码，它用来定义 CPU 需要执行的操作。在用指令表编程时，操作码由英文字母或者字符代表，如“A”、“O”、“=”分别表示“与”、“或”、结果输出等。在梯形图上，操作码直接用触点、线圈、连线等基本符号表示，如“与”、“或”运算以触点的串、并联表示，“非”运算以常闭触点表示，结果输出以线圈表示等。

PLC 的操作数又称操作对象，在简单逻辑处理指令中以“地址”的形式指定，如 I1.5 代表第 2 字节输入信号的第 6 位（bit5）等。在梯形图上，操作数直接标注在符号上方。

通俗地说操作码告诉 CPU 要做什么，而操作数则告诉 CPU 用什么去做。

## 3. 功能指令

功能指令在梯形图编程上用图 3.1-5 所示的功能指令框表示，SIEMENS PLC 的功能指令框通常由指令代码、输入、输出组成。在指令框内部，指令代码标记在上方，输入标记在左侧，输出标记在右侧，三者的作用与含义如下。

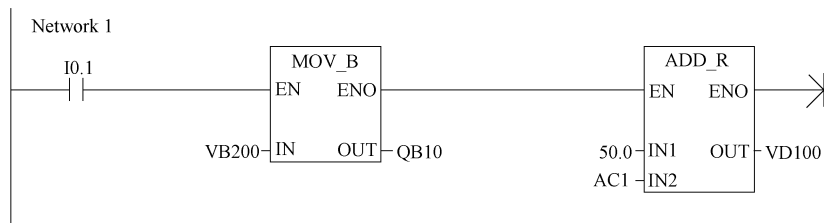


图 3.1-5 功能指令框

**指令代码：**指令代码用来表示指令的功能，如 MOV\_B 表示字节移动指令，ADD\_R 表示实数加法指令等。

**控制输入：**控制输入又称指令使能端，它以 EN 标记。功能指令只有在 EN 状态为 1 时才能执行。

**操作数输入：**操作数输入用 IN 表示，操作数可以为 1 个或多个，多个操作数依次用以 IN1、IN2、…表示。操作数可以是地址，也可以是常数。

**执行输出：**指令执行输出又称指令使能输出端，它以 ENO 标记，部分功能指令无 ENO 输出。ENO 在控制输入 EN 为 1、且功能指令已正常执行完成后，输出 1 状态。ENO 输出可用来驱动线圈或作其他功能指令的控制输入 EN，当 ENO 作为其他功能指令的 EN 输入时，可实现多条功能指令的串联，这种控制方式称功能指令的级联。



结果输出：结果输出用 OUT 标记，它用来指定保存指令执行结果的存储器地址。

4. 功能触点

SIEMENS PLC 的比较指令在梯形图上用图 3.1-6 所示的功能触点表示。触点的上部为比较数据，下部为比较基准，中间部分表示指令执行的操作。

比较操作以数学符号表示，如“>=（大于等于）”、“==（等于）”等，功能触点可以像输入、输出触点那样在梯形图中进行串、并联等编程与使用。图 3-1.6 中的第一个功能触点在（VB200）≥ 30 时接通；第二个功能触点在（VB10）= 1 时接通。

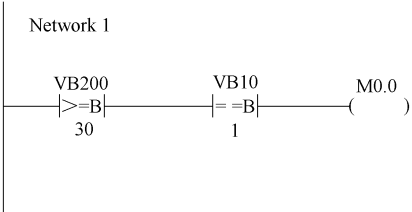


图 3.1-6 功能触点

CNC 集成 S7-200PLC 一般只能使用等于（==）、大于等于（>=）和小于等于（<=）3 种比较操作；S7-200 通用 PLC 的不等于（<>）、小于（<）、大于（>）比较以及字符串比较（==S、<>S）等比较指令，不能用于集成 S7-200PLC 的编程。

SIEMENS802 等 CNC 集成 S7-200PLC 常用的功能指令可参见附录 A。

3.1.3 地址与数据

PLC 程序指令中的操作对象（操作数）可用“地址”与“数据”两种形式来指定，其基本格式如下。

1. 地址的表示

当 PLC 程序中的操作数以“地址”形式指定时，可采用“绝对地址”与“符号地址”两种表示方式。

使用绝对地址的梯形图格式如图 3.1-7 所示。绝对地址由英文字母（地址符）和数字组成，地址符代表一类操作对象，数字用来区分同类对象，如地址 I0.1 中 I 代表输入，0.1 代表第 1 字节输入信号的第 2 位等。绝对地址是 PLC 的 CPU 实际可处理的地址，即使程序采用符号地址进行编程，CPU 执行程序时仍需要将其转换为绝对地址，因此，在从 PLC 中读出的程序上，通常只能显示绝对地址。

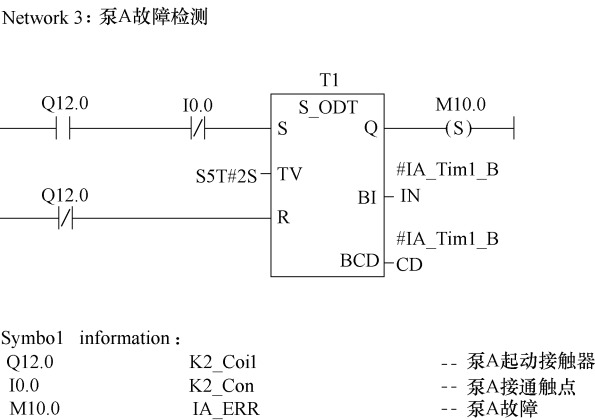


图 3.1-7 绝对地址编程



使用符号地址的梯形图格式如图 3.1-8 所示。符号地址是用字符来表示的地址，例如，可将接触器 K2 的线圈输出地址 Q12.0 用符号“K2\_Coil”表示，K2 的触点用“K2\_Con”表示等。符号地址相当于地址的文字说明，它可方便 PLC 程序编辑、阅读和检查，但它一般只能在编程器（编程计算机）上使用，并需要编制专门的符号表（Symbol Table）变量声明表等注释文件。

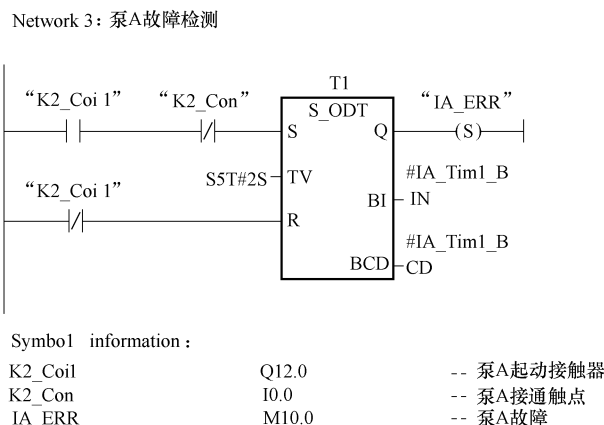
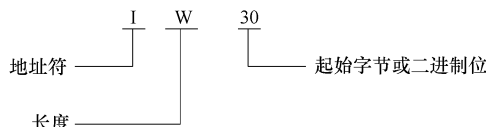


图 3.1-8 符号地址编程

## 2. 绝对地址

S7-200PLC 的绝对地址由地址符、长度、起始字节或二进制位 3 部分组成。地址符用来区分信号类型，长度用来指定处理的位数，起始字节与位用来定义地址的起始值。格式如下：



上述地址中的地址符 I 代表 PLC 输入信号，W 代表长度为 1 字（16 位二进制），30 代表地址的起始字节为第 31 字节。

1) 地址符。S7-200PLC 常用的地址符（信号类型）有以下几类。

I/ Q：开关量输入/输出。它们是直接与 I/O 模块连接的机床侧开关量输入/输出信号。

AI/AQ：模拟量输入/输出。它们只能以“字”的形式指定，其地址格式为 AIW\*/AQW\*。模拟量输入/输出的 A-D、D-A 转换在模拟量输入/输出模块中进行，它对 PLC 来说相当于 16 位二进制数据。AI/AQ 地址一般不能用于 802 等 CNC 集成 S7-200 PLC。

M/SM：标志/系统特殊标志。标志就是 SIEMENS PLC 的内部继电器，它用来保存 PLC 程序的中间运算结果。系统特殊标志是由 PLC 操作系统生成的运算结果或信号，在用户程序中可用触点形式使用，但不能作为线圈进行写入操作。

AC0 ~ AC3：累加器 ACCU0 ~ ACCU3。S7-200 有 4 个 32 位累加器，AC0、AC1 为逻辑运算结果累加器，AC2、AC3 为算术运算结果累加器。累加器可以字节、字或双字形式读写，以字节或字形式读写时，其状态为累加器的低 8 位或低 16 位。

V：公共变量。其状态可用于所有逻辑块，故称公共变量或共享变量。早期的 802S/C/D 等系统上，公共变量大多用来表示 CNC-PLC 接口信号，或作为 PLC 的数据存储器使用，因此，也可简单地视为 CNC-PLC 接口信号。

L：局部变量。局部变量用来寄存指定逻辑块的中间运算结果，它只对所定义的逻辑块有效，变量的含义在不同逻辑块有所不同，逻辑块执行完成，其作用随之消失。

T：定时器。用来实现程序的定时控制，定时器的触点相当于时间继电器的延时触点，定时器的当前时间值可用数据操作指令以字的形式读取。

C：计数器。用来实现程序的计数控制，计数器的触点相当于计数到达信号，计数器的当前计数值可用数据操作指令以字的形式读取。

2) 地址长度。地址长度可用二进制位、字节、字、双字的形式表示。

二进制位 (bit)：表示开关量信号，形式为 “【地址符】【字节】·【位】”，如 I1.5、Q5.0 等；定时器、计数器触点直接以 T\*、C\* 表示，如 T10、C15 等。二进制位信号为八进制，故不可使用 I0.8、Q0.9 等地址。

字节 (Byte)：信号以字节形式处理时，以 “【地址符】B + 【字节】” 的形式表示，如 IB0、QB5、MB10 等。

字 (Word)/双字 (Double Word)：信号以字/双字形式处理时，以 “【地址符】+ W/D【起始字节】” 形式表示，如 IW0/QW2、ID0/QD4 等，起始字节为数据最低字节。

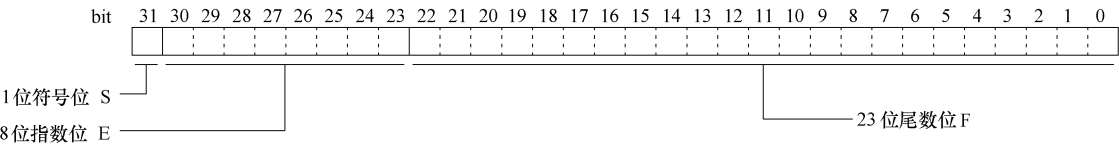
3. 数据格式

为了设定定时器时间、计数器计数值及进行比较和数学运算，PLC 程序需要使用各种数据。S7-200 常用的数据有二进制 (BOOL)、十进制 (INT)、十六进制 (WORD)、实数 (REAL，即实数)、ASCII 字符 (CHAR) 等，数据类型和数值的表示方法和范围如表 3.1-1 所示。

表 3.1-1 S7-200 的数据格式与类型

格 式	类 型	表 示 方 法	允许范围	示 例
十进制正整数	INT	[ 十进制数值 ]	0 ~ 65535	123456
十六进制数	WORD	16#[ 十六进制数值 ]	0 ~ FFFF	16#BC45
二进制数	BOOL	2#[ 二进制数值 ]	0 ~ FFFF	2#0001 1100 1111 1010
实数(浮点数)	REAL	ANSI/IEC754 1985	-3402823E + 38 ~ + 3402823E + 38	+1. 2345E + 4 (正数), -1. 2345E + 4 (负数)
ASCII 字符	CHAR	‘ [ ASCII 文本 ] ’	标准代码	‘Text’

实数 (浮点数) 在 S7-200 中为双字长数据，数据由 1 位符号位 S (bit31)、8 位指数位 E (bit30 ~ bit23)、23 位尾数位 F (bit22 ~ bit0) 组成，并按如下二进制格式保存：



符号位 S：1 位二进制，0 为正数，1 为负数。

指数位 E：8 位二进制，对应的十六进制为 0 ~ FF，十进制为 0 ~ 255，0 < E < 255 为标准数据；E = 0 或 255 为非标数据。



尾数位 F: 23 位二进制, bit0 对应  $2^{-23}$ 、bit22 对应  $2^{-1}$ , 其十进制值为  $1.192 \times 10^{-7} \sim 1$ 。

实数值按如下公式计算:

$$Z = (-1)^S \times 2^{E-127} \times (1 + 0.f)$$

式中 S——符号位值;

E——指数值;

f——小数值。

以下情况可表示特殊数据:

E = 0、F = 0: 作 0 处理;

E = 255、F = 0: 根据符号位作 “ $-\infty$ ” 或 “ $+\infty$ ” 处理;

E = 0 或 E = 255, F ≠ 0: 视为非实数。

例如, 十进制数 +10 转化为 2 的  $n$  次方形式为  $10 = 1.25 \times 2^3$ , 其符号位 S 为 0; 指数值 E 为 130 ( $E - 127 = 3$ ), 转换二进制后为 100 0001 0; 尾数 (小数)  $0.25 = 2^{-2}$ , 转换二进制后为 010 0000 0000 0000 0000 0000; 因此, 其浮点存储格式为 “0100 0001 0010 0000 0000 0000 0000 0000”, 对应的十六进制数为 4120 0000。

再如, 对于存储格式为 3F B5 04 F7 的实数, 其二进制格式为 0011 1111 1011 0101 0000 0100 1111 0111, 即符号位 S 为 0、指数位 E 为 127、尾数为 0.414214015, 因此, 对应的十进制值为  $Z = (-1)^S \times 2^{E-127} \times (1 + 0.f) = (-1)^0 \cdot 2^{127-127} \cdot (1 + 0.414214015) = 1.414214015$  等。

## 3.2 编程元件与接口信号

### 3.2.1 基本编程元件

#### 1. 编程元件

PLC 程序中允许使用的编程地址称编程元件或“软元件”。编程元件与 PLC 功能密切相关, 功能越强, 指令越丰富, 编程元件数量一般就越多。

SIEMENS 808/802/828/840 数控系统的 CNC 集成 PLC 有 S7-200 和 S7-300 两种类型, 不同型号 CNC 可使用的编程元件及主要技术参数如表 3.2-1 所示。

#### 2. 系统特殊标志

系统特殊标志 SM 是在执行 PLC 程序时由 PLC 操作系统自动生成的标志信号。集成有 S7-200 的 808/802/828 等 CNC, 常用的系统特殊标志如图 3.2-1 所示, 作用如下。

SM0.0: 状态恒为 1 信号。

SM0.1: 第 1 扫描循环标记, 状态只在 PLC 第一次扫描循环为 1。

SM0.2: 缓冲数据丢失标记, 数据丢失时 PLC 第一次扫描循环为 1。

SM0.3: 重新启动标记, 系统重新启动时 PLC 第一次扫描循环为 1。

SM0.4: 周期为 1min 的脉冲信号。

SM0.5: 周期为 1s 的脉冲信号。

SM0.6: 周期为 2 倍 PLC 扫描循环的脉冲信号。

表 3.2-1 PLC 主要技术参数一览表

技术参数	802		802D Solution line		808	828D	840D	
	802S/C	802D	Value	Plus/Pro			iEs/sl	Es/sl
集成 PLC 功能	S7-200		S7-200		S7-200	S7-200	S7-300	
编程语言	LAD		LAD		LAD	LAD	STL/LAD/FBD	
梯形图容量/千步	2	6	4	6	4	24	256	512
用户程序数(SBR 或 FC/FB)	64	64	64	64	64	256	440	440
基本指令执行时间/ $\mu$ s	1.8	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.03	0.01
PLC 输入	最大点数	64	144	216	72	360	9000	
	编程地址	I0.0 ~ 7.7		I0.0 ~ 26.7		I0.0 ~ 44.7		I0.0 ~ 1124.7
PLC 输出	最大点数	64	96	144	48	240	6000	
	编程地址	Q0.0 ~ 7.7		Q0.0 ~ 17.7		Q0.0 ~ 29.7		Q0.0 ~ 749.7
标志 M (内部继电器)	最大点数	1024	2048	3072	2048	4096	32768	65536
	编程地址	M0.0 ~ 127.7		M0.0 ~ 255.7		M0.0 ~ 511.7		M0.0 ~ 4096.7 M0.0 ~ 8191.7
定时器 T 点数/地址	100ms	16/T0 ~ 15	16/T0 ~ 15	16/T0 ~ 15	16/T0 ~ 15	16/T0 ~ 15	512/T0 ~ 511	2048/T0 ~ 2047
	10ms	—	16/T16 ~ 31	48/T16 ~ 63	48/T16 ~ 63	112/T16 ~ 127	定时单位 可设定	定时单位 可设定
计数器 C 点数/地址	32/C0 ~ 31	32/C0 ~ 31	32/C0 ~ 31	64/C0 ~ 63	64/C0 ~ 63	64/C0 ~ 63	64/C0 ~ 63	2048/C0 ~ 2047
局部变量 L	最大点数	480	480		480	480	4080	
	编程地址	L0.0 ~ L59.7		L0.0 ~ L59.7		L0.0 ~ L59.7		L0.0 ~ L509.7
断电保持存储器 (不含 CNC 接口信号)	最大点数	512	1024	1024	1024	65536	317440	
	编程地址	V14000000.0 ~ V14000063.7		V14000000.0 ~ V14000127.7		DB1400. DBX0.0 ~ DBX127.7		DB9000 ~ 9063 DB90 ~ 399



SM0.7: PLC 程序运行指示, PLC 程序运行时为 1。

当 PLC 执行算术运算和代码转换指令时, 如需要, 还可使用以下系统特殊标志。

SM1.0: 算术运算的结果为 0, 或移位指令的移动位数  $N$  为 0。

SM1.1: 算术运算的结果溢出, 或移位指令最后移出位的状态。

SM1.2: 算术运算的结果小于 0。

SM1.3: 除数为 0。

SM1.6: BCD 代码转换时输入的 BCD 代码错误。

SM1.7: ASCII 代码转换时输入的 ASCII 代码错误。

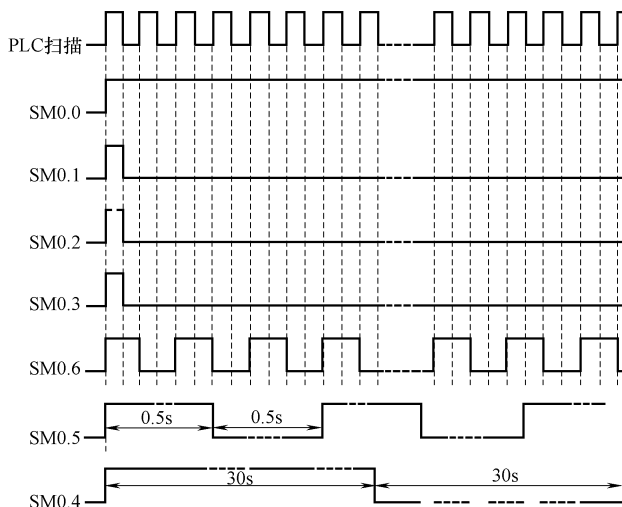


图 3.2-1 常用的 S7-200 系统特殊标志

在 PLC 程序设计时, 系统特殊标志 SM 只能以触点的形式在梯形图中使用, 而不能对其赋值。SM 的使用实例如图 3.2-2 所示。

系统特殊标志 SM0.0 状态恒为 1, 程序 Network12 中增加 SM0.0 的目的, 只是为了建立一条用梯形图连线连接的子母线, 以便连接 M0.0 和 Q0.1 的控制程序块。系统特殊标志寄存器 SM0.5 为周期为 1s 的脉冲信号, 当输入 I0.0 为 1、I0.1 为 0 时, 可在输出 Q0.1 上获得周期为 1s 的脉冲输出, 以控制指示灯闪烁等。

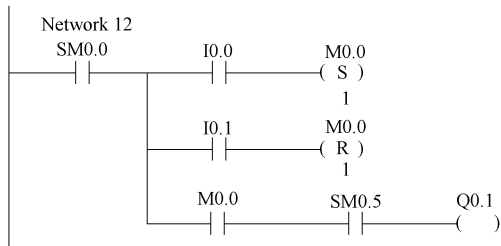


图 3.2-2 系统标志寄存器的使用

标志 M0.0 线圈置位/复位指令下部的“1”是进行置位/复位的线圈数量, S7-200 通用 PLC 的输入范围可以是 1~128, 输入 1 时只对 M0.0 置位/复位; 输入 2 时则可同时对 M0.0、M0.1 两个线圈进行置位/复位等; 在 CNC 集成 PLC 上, 此值一般不能设定 (固定为 1)。

### 3.2.2 局部变量

#### 1. 变量的作用

变量 (Variable) 是 SIEMENS PLC 特有的编程元件, 包括公共变量 V (Variable) 与局



部变量 L (Local Variable) 两类。

公共变量 V 的状态可用于所有逻辑块，故又称共享变量。在 802S/C/D 等系统集成 PLC 上，公共变量可用来表示 CNC-PLC 接口信号或作为断电保持的数据存储器使用，其使用方法与标志 M 基本相同。有关内容可参见后述的接口信号说明。

局部变量 L 用来存放中间状态的暂存器，可用于子程序 (SBR) 和程序块 (FC)、功能块 (FB) 编程。局部变量 L 只对所调用的逻辑块有效，逻辑块一旦执行完成，其作用也随之消失。因此，在不同逻辑块中可使用相同的变量，以实现逻辑块的参数化编程功能。

通过局部变量 L 的参数化编程，可使子程序等逻辑块功能化。

例如，图 3.2-3 所示的逻辑块 (子程序) 可实现  $C = B \cdot \bar{A}$  和  $D = D + 1$  的逻辑运算。在调用该逻辑块时，如定义局部变量 A 为 I0.1、B 为 I0.2、C 为 Q0.1、D 为 MW10，其逻辑块 (子程序) 可实现  $Q0.1 = I0.2 \cdot \overline{I0.1}$ 、 $MW10 = MW10 + 1$  的功能。如定义局部变量 A 为 I1.1、B 为 I1.2、C 为 Q1.1、D 为 MW20，则逻辑块 (子程序) 的功能将成为  $Q1.1 = I1.2 \cdot \overline{I1.1}$ 、 $MW20 = MW20 + 1$  等。

## 2. 变量定义

使用局部变量编程的逻辑块，在调用时将以图 3.2-4 所示的形式显示。程序中的输入 start\_S、stop\_S、fbk、fbk\_time 及输出 coil、err、start\_lt、stop\_lt 等，都是以符号地址表示的局部变量，它可在逻辑块编程时，通过图 3.2-5 所示的符号名 (Symbol)、变量类型 (Var Type)、数据类型 (Data Type) 定义其属性。

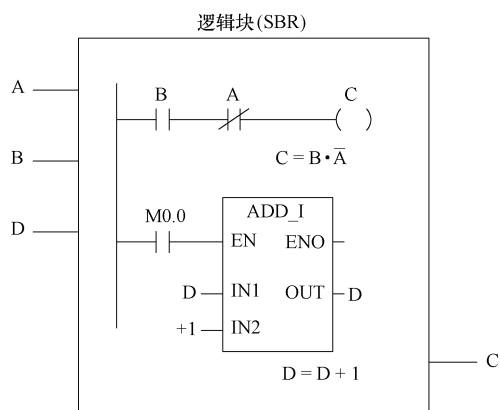


图 3.2-3 局部变量的作用

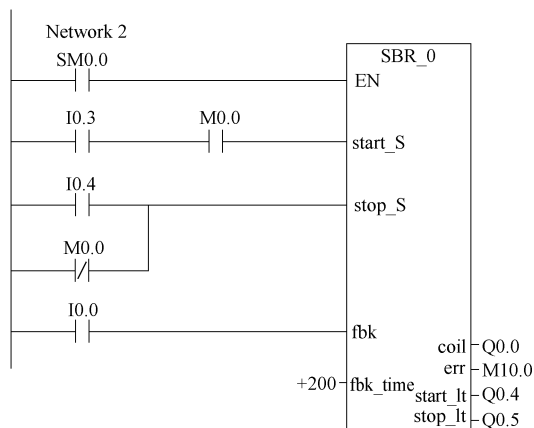


图 3.2-4 使用局部变量的逻辑块调用

1) 变量类型。局部变量的类型可定义为输入 (IN)、输出 (OUT)、输入/输出 (IN\_OUT) 或临时变量 (TEMP)，4 者的区别如下。

输入 (IN)：输入是逻辑块的程序输入条件，在逻辑块中只使用其状态，而不对其进行赋值 (输出) 操作。在调用逻辑块时，需要将所有输入都定义为具体的编程元件或明确的逻辑运算结果。在逻辑块调用指令中，输入将自动显示在调用框的左侧。

输出 (OUT)：输出是逻辑块的执行结果，它可根据需要在逻辑块调用时将所需要的输出定义为具体的编程元件。在逻辑块调用指令中，输出将自动显示在调用框的右侧。



	Symbol	Var Type	Data Type	Comment
	EN	IN	BOOL	
L0.0	start_S	IN	BOOL	
L0.1	stop_S	IN	BOOL	
L0.2	fbk	IN	BOOL	
LW1	fbk_time	IN	INT	
		IN		
		IN_OUT		
L3.0	coil	OUT	BOOL	
L3.1	err	OUT	BOOL	
L3.2	start_lt	OUT	BOOL	
L3.3	stop_lt	OUT	BOOL	
		OUT		
		TEMP		

图 3.2-5 局部变量的属性定义

输入/输出 (IN\_ OUT)：输入/输出既是逻辑块的输入条件，又是逻辑块的执行结果，因此，在调用逻辑块时不但需要有初始值输入，同时又可输出逻辑块执行完成后的结果。调用逻辑块时需要以输入的形式给定初始值，像输出一样定义其结果输出的编程元件。

临时变量 (TEMP)：临时变量用来保存逻辑块的中间运算结果，它既不需要输入状态，也不能输出执行结果，因此，只需要定义局部变量地址。

2) 数据类型。局部变量的数据格式可以是二进制位信号、十进制正整数、十六进制整数、实数等，常用的数据格式如下。

BOOL：二进制位信号。

BYTE：1 字节二进制数据。

WORD/ DWORD：2 字节（1 字）/4 字节（2 字）二进制数据。

INT/ DINT：2 字节（1 字）/4 字节（2 字）十进制正整数。

REAL：实数。

### 3. 程序显示

使用局部变量编程的逻辑块，既可显示为绝对地址为 L，也可显示为符号地址。绝对地址可在变量表定义时自动分配，它在梯形图程序上的显示如图 3.2-6a 所示；局部变量在编程时一般需要使用符号地址，它在梯形图程序上的显示如图 3.2-6b 所示，显示的局部变量符号地址前缀有“#”标记。

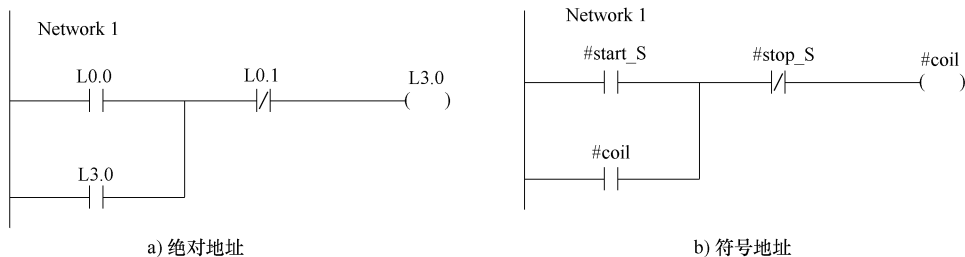


图 3.2-6 变量在梯形图上的显示





### 3.2.3 CNC-PLC 接口信号

#### 1. 信号种类

PLC 程序中需要使用和处理大量 CNC-PLC 接口信号，这是 CNC 集成 PLC 和通用 PLC 的最大区别。SIEMENS 系统集成 PLC 常用的接口信号包括以下几类。

1) MCP 信号。MCP 是 SIEMENS 机床操作面板 (Machine Control Panel) 的简称，PLC 程序中的 MCP 信号包括来自机床操作面板的按钮、按键、开关输入和指示灯等输出。

2) HMI 信号。HMI (Human Machine Interface) 是 CNC 的 MDI/LCD 操作面板的接口信号，又称 MMC (Man Machine Communication) 信号。HMI 输入包括部分 MDI 键和软功能 (菜单) 键的操作状态等，输出为机床报警显示信息和 PLC 加工程序选择等。

3) NCK 信号。NCK 是数控装置中央处理器 (Numerical Control Kernel) 的简称，因此，NCK 信号就是 CNC 和 PLC 间的通信信号。NCK 信号众多，其 PLC 输入包括 CNC 系统信息、CNC 工作状态信息、通道工作状态信号、M/S/T/D/H 辅助功能代码输出信号、进给轴与主轴工作状态信号等；PLC 输出包括 CNC 基本控制信号、通道控制信号、程序运行控制信号、进给轴与主轴控制信号等。

SIEMENS 数控系统的接口信号众多，SIEMENS 802 系列 CNC 常用的接口信号可参见附录 B，其他 CNC 的接口信号可参见 SIEMENS 公司的相关技术资料。

#### 2. 信号表示

CNC-PLC 接口信号在 PLC 梯形图上的表示方法在不同的 CNC 上有所不同。例如，在 802S/C 系列 CNC 上，MCP、HMI、NCK 信号均以公共变量 V 的形式表示 (参见附录 B)；在 808 系列 CNC 上，MCP、HMI、NCK 信号以数据存储器 (DB) 的形式表示；而在 802D 系列 CNC 上，MCP 信号以输入/输出地址 I/Q 的形式表示，HMI、NCK 信号以公共变量 V 的形式表示；对于在 810/828/840D 等 CNC 上，则以 PLC 输入/输出地址 I/Q 表示 MCP 信号，以数据存储器形式表示 HMI、NCK 信号等。

以公共变量形式表示的接口二进制位信号，其地址由变量地址 V、字节地址 (8 位十进制正整数) 及二进制位地址组成，如 V 3800 0004.5 等，信号在梯形图上的编程和显示形式如图 3.2-7 所示。当信号以字节、字或双字形式使用时，分别以 VB、VW 或 VD 加起始字节地址的形式表示，如 VB 3700 0000、VW 4500 0032、VD 1400 0000 等。

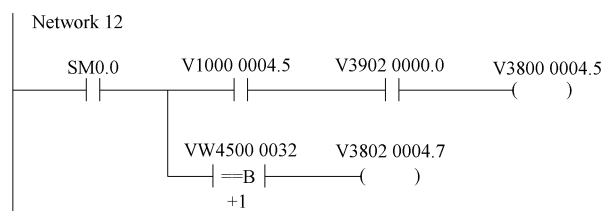


图 3.2-7 以变量形式表示的接口信号

以数据存储器形式表示的接口二进制位信号，其地址由“数据块地址 (DB) . 数据字节地址 (DBX) . 位”组成，如 DB4100.DBX0.0 等，信号在梯形图上的编程和显示形式如图 3.2-8 所示。当信号以字节、字或双字形式使用时，分别以“数据块地址 (DB) . 数据 (字节/字/双字) 起始地址 (DBB/DBW/DBD)”的形式表示，如 DB4000.DBB2、



DB4000.DBW0、DB4000.DBD10 等。

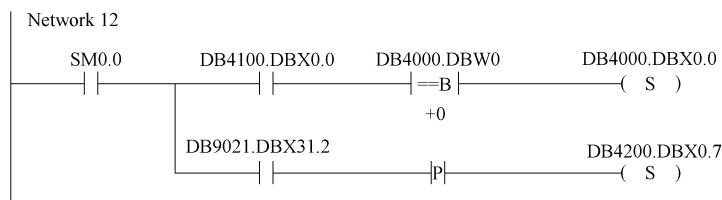


图 3.2-8 以数据存储单元表示的接口信号

因 802S/C/D 和 808D/828D 的集成 PLC 同为 S7-200，因此，以公共变量 V 表示的 CNC-PLC 接口信号与以数据存储单元表示的接口信号间存在明确的对应关系，即：变量的字节地址高 4 位对应数据块编号；低 4 位对应数据字节地址；二进制位含义相同。例如，802S/C/D 接口信号 V3800 0004.5、VB3700 0000、VW4500 0032、VD1400 0000 分别和 808D/828D 接口信号 DB3800.DBX0004.5、DB3700.DBB0000、DB4500.DBW0032、DB1400.DBD0000 的作用、含义相同。

但是，由于不同 CNC 的机床操作面板（MCP）结构和连接方式不同，故 MCP 接口信号的地址表示方法各异，信号间也无明确的对应关系。例如，802S/C、808D/828D 的 MCP 直接与 CNC 连接，其 I/O 信号均可通过 PLC 操作系统转换为地址固定的接口信号，但 802S/C 的 I/O 变量地址 V 和 808D 的数据存储单元 DB 间不存在对应关系；而 828D 则直接以地址 I/Q 的形式表示等。此外，对于 802D、810D 等 CNC，MCP 则直接与 PLC 的 I/O 模块连接，其 I/Q 可任意改变，因此，802D 手册中提供的 I/O 变量地址 V，只是通过 PLC 程序所生成的中间状态信号，这点在 PLC 编程时需要注意。

### 3. 信号简介

802S/C/D、808/828D 常用接口信号的分类、地址及主要作用如表 3.2-2 所示，信号的作用和功能详见附录 B。

表 3.2-2 802S/C/D 及 808D/828D 常用接口信号表

信号地址			信号类别	主要用途
802S/C/D	808D	828D		
* VB1000 0000 ~ 1000 0008	DB1000.DBB0 ~ 10	IB112 ~ 125	MCP→PLC	机床操作面板按钮输入
* VB1100 0000 ~ 1100 0007	DB1100.DBB0 ~ 12	QB112 ~ 119	PLC→MCP	机床操作面板指示灯输出
—	DB1200.DBB0 ~ 5002		NCK/PLC	CNC 参数读/写控制信号
VB1400 0000 ~ 1400 0127	DB1400.DBB0 ~ 127		数据存储单元	PLC 用户程序数据存储
VB1600 0000 ~ 1600 1252	DB1600.DBB0 ~ 1508		PLC→HMI	PLC 机床报警显示
VB1600 2000	DB1600.DBB2000		NCK→PLC	PLC 机床报警状态
VB1700 0000 ~ 1700 0003	DB1700.DBB0 ~ 3007		HMI→PLC	软功能键操作信号
VB1800 0000 ~ 1800 0001	DB1800.DBB0 ~ 3		HMI→PLC	软功能键操作信号
—	DB1800.DBB1000 ~ 1015		NCK→PLC	CNC 系统信息
—	DB1800.DBB2000 ~ 5003		PLC→HMI	CNC 维护显示信息
VB1900 0000 ~ 1900 1005	DB1900.DBB0 ~ 1007		HMI→PLC	软功能键操作信号



(续)

信号地址			信号类别	主要用途
802S/C/D	808D	828D		
VB1900 5000 ~ 1900 5004	DB1900. DBB5000 ~ 5019		PLC→HMI	MDI/LCD 控制信号
VB2500 0004 ~ 2500 6020	DB2500. DBB4 ~ 6020		NCK→PLC	CNC 辅助功能信号
VB2600 0000 ~ 2600 0001	DB2600. DBB0 ~ 1		PLC→NCK	CNC 基本控制信号
VB2700 0000 ~ 2700 0003	DB2700. DBB0 ~ 19		NCK→PLC	CNC 基本状态信号
—	DB2800. DBB0 ~ 1011		PLC→NCK	CNC 高速 I/O 输出
—	DB2900. DBB0 ~ 1004		NCK→PLC	CNC 高速 I/O 输入
VB3000 0000 ~ 3000 0003	DB3000. DBB0 ~ 3		PLC→NCK	CNC 操作方式选择信号
VB3100 0000 ~ 3100 0001	DB3100. DBB0 ~ 3		NCK→PLC	CNC 有效的操作方式
VB3200 0000 ~ 3200 1009	DB3200. DBB0 ~ 1009		PLC→NCK	CNC 通道运行控制信号
VB3300 0000 ~ 3300 4003	DB3300. DBB0 ~ 4011		NCK→PLC	CNC 通道工作状态信号
—	DB3400. DBB0 ~ 1003		PLC→NCK	CNC 通道异步控制信号
VB3500 0000 ~ 3500 0063	DB3500. DBB0 ~ 63		NCK→PLC	当前有效的 G 代码组
VB3700 0000 ~ 3700 0003	DB3700. DBB0 ~ 3		NCK→PLC	当前有效的主轴 M/S 代码
VB3800 0000 ~ 3804 4001	DB3800 ~ 3805. DBB0 ~ 5007		PLC→NCK	进给轴、主轴通用控制信号
VB3900 0000 ~ 3904 4003	DB3900 ~ 3905. DBB0 ~ 5008		NCK→PLC	进给轴、主轴通用状态信号
—	—	DB4000 ~ 43 <sup>①</sup>	NCK/PLC	刀具管理信号
VB4500 0000 ~ 4500 3031	DB4500. DBB0 ~ 3247		NCK→PLC	用户数据 MD14510 ~ 14516
—	DB4600. DBB0 ~ 7		PLC→HMI	通道同步控制信号
—	DB4700. DBB0 ~ 7		NCK→PLC	通道同步状态信号
VB4900 0000 ~ 4900 0511	DB4900. DBB0 ~ 4095		NCK/PLC	CNC 参数读/写
VB5300 0000	DB5300. DBB0		NCK→PLC	刀具寿命监控信号
VB5300 1000 ~ 5300 1004	DB5300. DBB1000 ~ 1004		PLC→NCK	刀具寿命管理信号
VB5700 0000 ~ 5704 0004	DB5700 ~ 5705. DBB0 ~ 4		NCK→PLC	实际位置和剩余行程
—	—	DB9900 ~ 9902	NCK/PLC	CNC 刀具管理信息
—	DB9903 ~ 9904. DBB0 ~ 254		NCK→PLC	CNC 报警信息
—	DB9905. DBB0 ~ 254		HMI→PLC	通道同步控制状态信号

① 表示形式不同，信号不存在对应关系，802D 只是通过 PLC 程序生成的中间状态。

### 3.3 功能指令与编程

#### 3.3.1 定时和计数指令

##### 1. 定时指令

802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 常用的定时指令有接通延时 (TON) 和保持型接通延时 (TONR) 2 种，时间单位、计时范围用定时器号区分，定时器不能用于小于时间



单位或超过计时范围的定时控制。不同型号 CNC 可使用的定时器如表 3.3-1 所示，指令的编程格式如下。

表 3.3-1 802S/C/D、808D/828D 定时器一览表

时间单位	定时范围	定时器号			
		802S/C	802D	808D	828D
100ms	0 ~ 3276.7s	T0 ~ T15	T0 ~ T15	T0 ~ T15	T0 ~ T15
10ms	0 ~ 327.67s	—	T16 ~ T31	T16 ~ T63	T16 ~ T127

1) 接通延时 (TON)。接通延时指令 TON 只有在启动信号的持续时间大于延时设定时间时才能输出，其编程格式与动作如图 3.3-1 所示，IN 为启动信号，PT 为延时设定值，时间单位决定于定时器号。图中的 T30 的时间单位为 10ms，故 M0.2 的延时 0.5s。

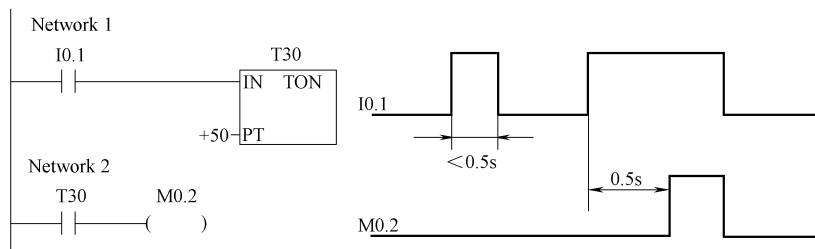


图 3.3-1 接通延时指令与动作

2) 保持型延时接通 (TONR)。保持型延时接通定时器的编程格式如图 3.3-2 所示。TONR 的时间可累计，如不进行定时器的复位，持续时间小于延时的启动信号保持时间  $t_1$  可累积到下次启动输入上，因此，TONR 的延时触点在启动信号撤销后仍保持，它必须通过复位信号 I0.2 进行复位。

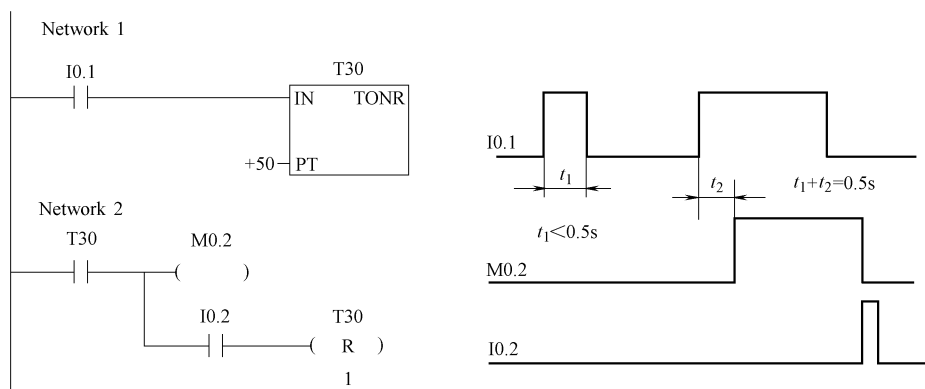


图 3.3-2 保持型延时接通指令与动作

## 2. 计数指令

802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 常用的计数指令有加计数和加/减计数 2 种，由于功能的差别，不同型号 CNC 可使用的计数器数量有所不同，具体如表 3.2-1 所示。计数指令计数器输出触点的使用方法同定时器，指令的功能和使用方法如下。

1) 加计数 (CTU)。加计数指令的编程格式如图 3.3-3 所示。计数器通过输入 CU 的上



升沿计数，计数值从 0 开始增加，到达输入设定值 PV 时，输出触点接通。计数到达设定值后，如继续输入计数信号，计数值仍增加，触点保持接通。计数器在复位信号 R 输入为 1 时，清除现行计数值，断开输出触点。

例如，在图 3.3-3 所示的程序中，计数器 C10 可对输入信号 I0.0 的上升沿进行加计数，当计数值到达 50 时，C10 的输出触点接通；如输入 I0.1 为 1，则清除现行计数值，并断开 C10 的输出触点。

2) 加减计数 (CTUD)。加减计数指令的编程格式如图 3.3-4 所示，加/减计数可通过加输入端 CU 和减计数输入端 CD，在信号上升沿出现时，对同一计数器进行加/减计数。

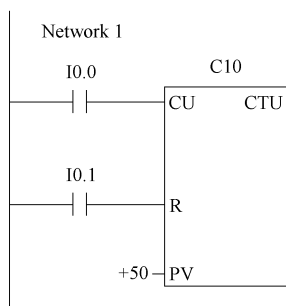


图 3.3-3 加计数指令

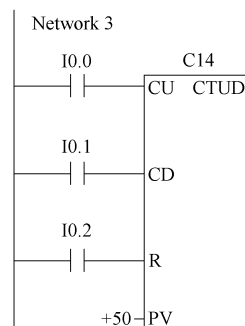


图 3.3-4 加/减计数指令

CTUD 指令的加计数功能与指令 CTU 相同。输入信号 CU 的每一上升沿，都可使计数器的当前计数值加 1。当计数值到达最大值 32767 后，如继续输入加计数信号，计数值将变为 -32768，并继续加计数。

CTUD 指令的减计数由输入信号 CD 控制，CD 的每一上升沿都可使当前计数值减 1。当当前值减到计数器最小值 -32768 后，如再输入减计数信号 CD，当前计数值将自动变为 +32767，并继续减计数。

加/减计数器输出触点在当前计数大于等于设定值 PV 时接通；如复位信号 R 输入为 1，可清除当前计数值，设定预置值，断开输出触点。

### 3.3.2 多位逻辑处理指令

#### 1. 指令格式

802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 可直接以字节 (B)、字 (W) 或双字 (D) 为单位，一次性进行多位逻辑运算处理。

多位逻辑处理包括状态取反 (INV)、逻辑“与”运算 (WAND)、逻辑“或”运算 (WOR)、逻辑“异或”运算 (WXOR)。多位逻辑处理指令的编程格式相同，指令功能可通过表 3.3-2 所示的指令代码区分。此外，状态取反 (INV) 的操作数输入为 1 个 (IN)，其他指令则需要输入 2 个操作数 (IN1、IN2)。

#### 2. 应用示例

【例 3-1】利用多位逻辑运算指令在标志 MB10 中生成状态 0000 0000、在标志 MB11 中生成状态 1111 1111 的梯形图程序如图 3.3-5 所示。



表 3.3-2 字节/字/双字逻辑处理指令表

指令代码	执行操作	指令代码	执行操作
INV_B	字节取反	WOR_B	字节和字节相“或”
INV_W	字取反	WOR_W	字和字相“或”
INV_DW	双字取反	WOR_DW	双字和双字相“或”
WAND_B	字节和字节相“与”	WXOR_B	字节和字节相“异或”
WAND_W	字和字相“与”	WXOR_W	字和字相“异或”
WAND_DW	双字和双字相“与”	WXOR_DW	双字和双字相“异或”

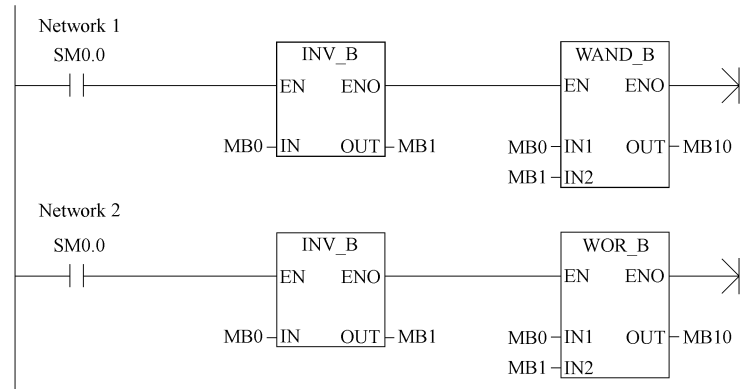


图 3.3-5 状态 0 和 1 标志字节的生成程序

程序中的系统特殊标志 SM0.0 的状态恒为 1，输入 MB0 可为任意状态，MB0 通过字节取反指令 INV\_B，可在 MB1 上得到 MB0 的所有位取反状态。因此，Network1 可利用 MB0 和 MB1 的“位与”运算，在 MB10 上输出状态 0000 0000；Network2 则可通过 MB0 和 MB1 的“位或”运算，在 MB11 上输出状态 1111 1111。

【例 3-2】利用多位逻辑运算指令，将输入信号 IW0 的低字节 I0.0 ~ I0.7 和高字节 I1.0 ~ I1.7 的对应位进行“与”运算，结果输出到 MB0 的程序如图 3.3-6 所示。

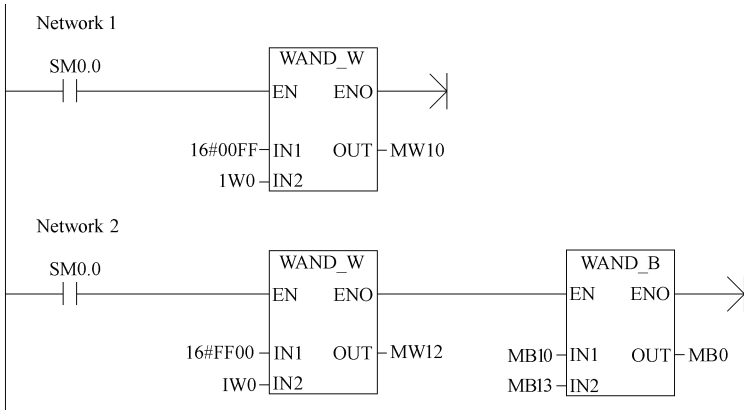


图 3.3-6 字节输入信号“与”运算程序例

程序 Network1 通过 IW0 和十六进制数 00FF 的“位与”运算处理，可在 MW10 的低字



节 MB10 上获得 IW0 低 8 位输入 I0.0 ~ I0.7 的状态。Network2 首先通过 IW0 与 FF00 的“位与”运算，在 MW12 的高字节 MB13 上获得 IW0 高 8 位输入 I1.0 ~ I1.7 的状态，然后通过 MB10 和 MB13 的“与”运算，在 MB0 上得到所需要的结果。

### 3.3.3 比较指令

#### 1. 指令格式

在梯形图程序中，数据比较指令需要以图 3.3-7 所示的“功能触点”形式编程。功能触点的上部是需要比较的输入数据，下部为比较基准数据，触点的中间是需要进行的比较操作（=、>、<）及数据格式（B、I、D、R）。当输入数据和基准数据符合比较操作指定的要求时，功能触点闭合，否则，触点断开。

802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 通常只能使用“=”（等于）、“>=”（大于等于）、“<=”（小于等于）3 种比较操作，数据格式可以是 1 字节二进制数（B）、16 位二进制整数（I）、32 位二进制整数（D），或者为 32 位实数（R）。

使用比较指令时需要注意，当比较数据的最高位为符号位（0 为正，1 为负）时，进行 32 位数据 D 比较时，其结果为 0000 0000 ~ 7FFF FFFF > 8000 0000 ~ 8FFF FFFF；此外，S7-200 通用 PLC 的“>”（大于）、“<”（小于）、“<>”（不等于）比较操作一般不能用于 CNC 集成的 S7-200PLC。

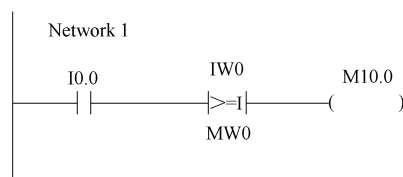


图 3.3-7 比较指令的编程格式

#### 2. 应用示例

【例 3-3】利用输入 I2.0 的上升沿，进行输入 IW10 和标志 MW20 的数据比较，并分别在 M0.0 ~ M0.2 上产生 IW10 = MW20、IW10 > MW20、IW10 < MW20 状态标志的 PLC 程序如图 3.3-8 所示。

在图 3.3-8 的程序中，首先利用 802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 能够使用的编程指令“=”、“>”、“<”，在 M10.0 ~ M10.2 上得到了 IW10 = MW20、IW10 > MW20、IW10 < MW20 的标志。然后，再通过对 M10.0 ~ M10.2 的状态判别，利用置/复位指令，可分别在 M0.0 ~ M0.2 上获得状态保持的 IW10 = MW20、IW10 > MW20、IW10 < MW20 标志。

### 3.3.4 移动和移位指令

#### 1. 移动指令

移动指令是将某一存储器中的数据（源数据）移动到另一存储器（目标存储器）的操作。802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200 PLC 一般只能使用字节（B）、字（W）、双字（DW）和实数（R）移动指令，而不能使用 S7-200 通用 PLC 的数据块移动指令 BLKMOV 和直接输入移动指令 MOV\_BIR、直接输出移动指令 MOV\_BIW。

数据移动指令的梯形图编程格式如图 3.3-9 所示。进行字节（B）、字（W）、双字（DW）和实数（R）移动的指令分别为 MOV\_B、MOV\_W、MOV\_DW 和 MOV\_R。指令框中的 IN 为源数据，它可以是存储器地址或二进制、十进制、十六进制常数，OUT 为目标存储器地址。

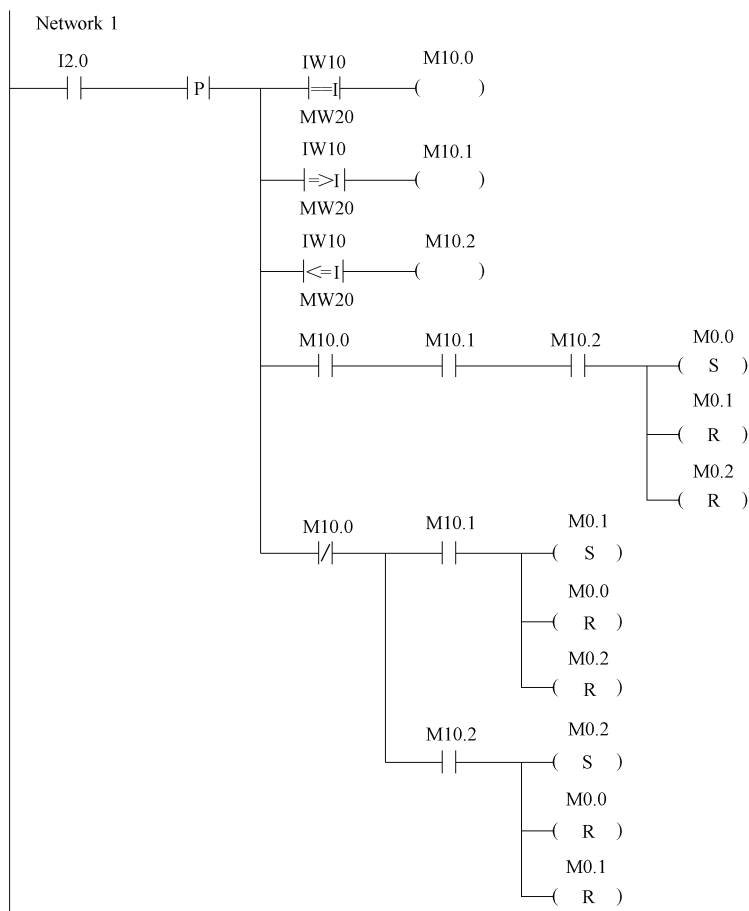


图 3.3-8 比较指令应用例

## 2. 移位指令

移位指令是对存储器的数据位进行的移动操作，802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 一般只能进行字节（B）、字（W）、双字（DW）存储器的左或右移位，而不能使用 S7-200 通用 PLC 的循环移位指令 ROL、寄存器移位指令 SHRB。

移位指令的梯形图编程格式如图3.3-10

所示。指令代码中的前缀 SHL 为左移，SHR 为右移，后缀的 B 为字节、W 为字、WD 为双字，IN 为需要移位的存储器输入地址，OUT 为结果存储器地址，N 为移位位数（常数）。

移位指令可实现移位、移位输出两种不同的操作。在图 3.3-10a 所示的程序中，结果存储器输出地址 OUT 和移位存储器输入地址 IN 相同，因此，将对存储器 MB10 进行移位操作，其状态被改变。在图 3.3-10b 所示的程序中，结果存储器输出地址 OUT 和移位存储器输入地址 IN 不同，因此，对存储器 MB10 移位后的结果将输出到 MB20 上，而 MB10 保持移位前的状态不变。

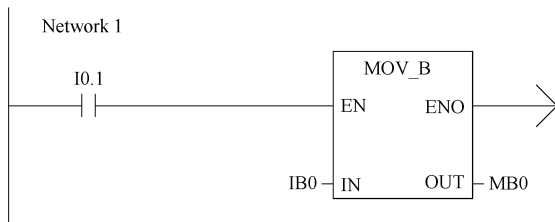


图 3.3-9 移动指令的编程格式



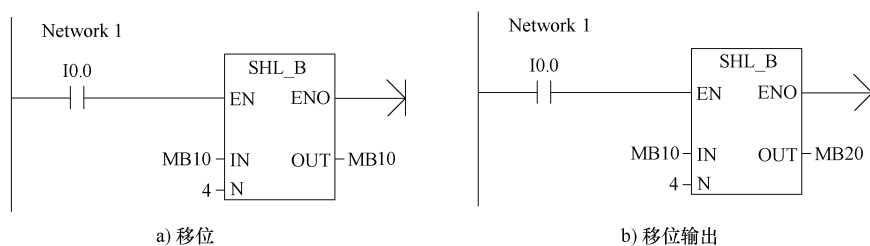


图 3.3-10 移位指令的编程格式

执行移位指令时，数据被移出后的“空位”将自动成为状态 0，最后移出位的状态被保存在系统特殊标志 SM1.1 上。

移位指令中的移动位数  $N$  一般不应超过存储器本身的数据长度，如超过，则 PLC 将自动进行“取余”处理。例如，当字节移位指令 MOV\_B 的移位位数输入  $N$  为 12 时，实际移位的位数为 4（12 除以 8，取余数 4）。当移位位数输入  $N$  为 0 时，不执行移位操作，系统特殊标志 SM1.0 将输出 1。

### 3. 字节交换指令

字节交换指令 SWAP 的作用相当于 8 位循环移位指令，执行指令可将输入存储器 IN 的高 8 位和低 8 位状态进行互换。SWAP 指令的编程格式如图 3.3-11 所示，输入 IN 的长度应为 16 位。

### 3.3.5 数据转换和算术运算指令

#### 1. 数据转换指令

802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 的数据转换指令只能用于 32 位整数 D 和实数 R 的转换，指令 DI\_R 可将 32 位整数转换为实数；指令 TRUNC 则可将实数转换为 32 位整数，实数的小数位将被自动舍去。S7-200 通用 PLC 中的 BCD 转换、ASCII 转换、字符串转换指令一般不能用于 CNC 集成 PLC 的编程。

数据转换指令的梯形图编程格式如图 3.3-12 所示。对于 802S/C/D 系统，利用图示的程序，可在 CNC 执行 S 指令时，通过 S 代码修改信号 SF（V2500 0006.0）的上升沿，将 CNC 输出的 S 代码（实数）舍去小数位后，转换为 32 位整数并输出到 MD100 中；MD100 中的数据范围为  $-2^{31} \sim 2^{31} - 1$ 。

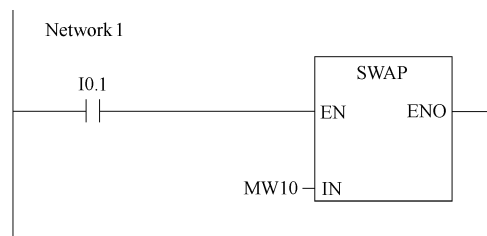


图 3.3-11 字节交换指令的编程格式

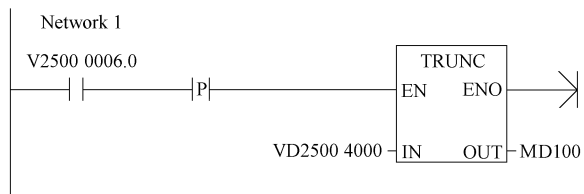


图 3.3-12 数据转换指令的编程格式

#### 2. 算术运算指令

802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 的算术运算指令可用于加、减、乘、除及求二



次方根运算，编程时可使用的指令代码如表 3.3-3 所示，S7-200 通用 PLC 的三角函数运算指令一般不能用于 CNC 集成 PLC 编程。

表 3.3-3 数学运算指令表

指令代码	执行操作	指令代码	执行操作
ADD_I	16 位整数加法	MUL	16 位整数乘法(积为 32 位整数)
ADD_DI	32 位整数加法	MUL_R	实数乘法
ADD_R	实数加法	DIV	带余数的除法
SUB_I	16 位整数减法	DIV_R	16 位整数除法(带余数)
SUB_DI	32 位整数减法		
SUB_R	实数减法	SQRT	实数二次方根

算术运算指令的梯形图编程格式如图 3.3-13 所示。通过不同的指令，可对输入操作数 IN1 和 IN2 进行加、减、乘、除运算，或对操作数 IN 进行求二次方根操作，运算结果保存在输出存储器 OUT 上。进行四则运算时，操作数 IN1 为被加数、被减数、被乘数或被除数，操作数 IN2 为加数、减数、乘数或除数。

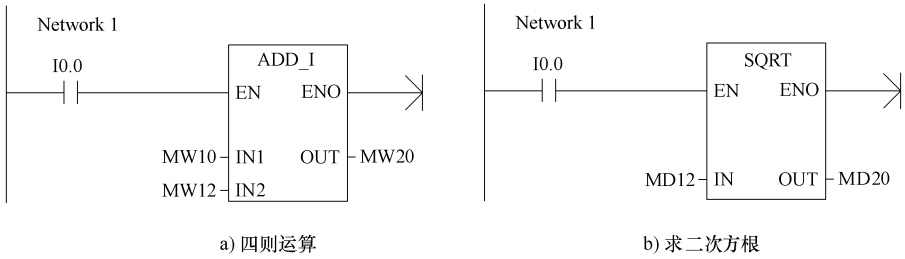


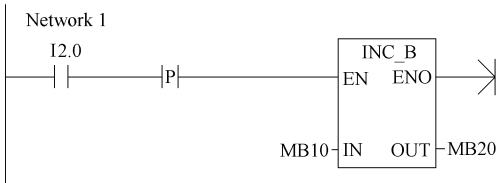
图 3.3-13 算术运算指令的编程格式

加、减运算指令的操作数可为 16 位整数、32 位整数或实数，其运算结果存储器仍为 16 位整数、32 位整数或实数，因此，使用时应避免运算结果的溢出。

整数乘、除运算指令的操作数 IN1、IN2 均规定为 16 位，但其结果输出 OUT 为 32 位。执行除法运算指令 DIV 时，结果输出 OUT 的高 16 位为余数，低 16 位为商。

3. 增 1/减 1 指令

802S/C/D、808D/828D 集成 S7-200PLC 可通过指令 INC/DEC，对字节 (B)、字 (W) 或双字 (DW) 存储器进行增 1/减 1 运算，指令的编程格式如图 3.3-14 所示。为避免出现连续不断地增 1/减 1 运算，指令 INC/DEC 的启动输入 EN 一般应使用边沿信号。



# 第 4 章

## 模板程序与使用

### 4.1 子程序库概述

#### 4.1.1 子程序组成

##### 1. 基本说明

虽然，各种数控机床的结构、性能和用途有所不同，控制要求存在一定的差异，但是，由于数控加工的基本原理相同，所有数控机床的自动加工都需要通过 CNC 加工程序实现；轮廓加工时的刀具运动轨迹都需要通过坐标轴（进给轴）实现。因此，加工程序运行控制和进给轴控制等是所有数控机床 PLC 程序设计的基本内容。

在金属切削数控机床上，根据不同的加工方法，可分为车削、镗铣加工、磨削加工等多种类型，但是，其切削速度控制都由主轴实现。切削加工时一般都需要有冷却、排屑、润滑等辅助动作；在车削类数控机床和加工中心等产品上，还需要进行自动换刀的控制。这些是金属切削数控机床 PLC 程序设计的基本要求。

作为数控系统的生产厂家，尽管不同的 CNC 产品，在型号、技术参数和功能等方面有所不同，但为了保证产品的通用型和连续性，同一厂家生产的 CNC 一般都采用系列化设计的结构，用于加工程序运行、进给轴、主轴等控制基本接口信号的地址、功能和要求相对统一，因此，CNC 集成 PLC 的程序具有较强的通用性。

鉴于以上几点，数控机床生产厂家在设计 PLC 程序时，可根据 CNC 的产品系列和机床的类型，设计一部分可实现以上 CNC 和机床基本控制要求的通用 PLC 程序，以提高程序的设计效率、通用性和可靠性。

在 SIEMENS 公司生产的数控系统上，由于集成 S7-200/300 PLC 都采用了逻辑块调用式程序结构，且可通过局部变量进行参数化编程，因此，在进行 PLC 程序设计时，还可针对典型控制要求编制具有一定功能的逻辑块，并通过对逻辑块的组织、管理和调用，来实现不同的控制要求，从而提高 PLC 程序设计的可靠性和效率。

为此，SIEMENS 公司针对数控车床、数控铣床的控制要求，为带有 S7-200 集成 PLC 功能的 802S/C/D 及 808D/828D 系列 CNC 开发了部分常用的 PLC 控制程序，这些程序以子程序库和模板程序（Sample Program）的形式随同产品提供给用户，以方便用户的 PLC 程序设计，其 PLC 程序更典型和通用。

尽管 PLC 程序设计无规定的方法，同样的控制要求可通过多种形式的 PLC 程序实现，



而且，只要动作可靠、程序简洁明了，PLC 程序也没必要区分好坏。但为了适应绝大多数数控机床的需要，本书后述章节的大多数典型程序都将在 SIEMENS 子程序库的基础上进行设计，对此不再一一说明。

为了便于读者全面了解数控机床 PLC 程序的设计方法，并考虑到前期 802C/S 等产品的维修需要，现将国内广泛使用的 802S/C/D、808D/828D 系列 CNC 的子程序库及模板程序的使用方法介绍如下。

## 2. 子程序库的组成

SIEMENS 子程序库提供了 CNC 集成 PLC 的基本控制程序，模板程序则提供了普通数控车床或铣床的子程序使用样例。在此基础上，用户只需要针对机床的特殊控制要求，对相关程序稍加修改或增补部分程序便可快速完成 PLC 程序设计。

基本上说，SIEMENS 子程序库是 SIEMENS 技术人员出于产品推广、技术服务的需要，根据机床生产厂家的要求逐步积累的程序，随着 CNC 应用领域的扩大，至今仍在不断改进与完善中。因此，在不同时期提供的 CNC 产品上，其子程序的数量、软件版本、程序内容等都可能有所不同。

802S/C/D、808D/828D 系统 CNC 子程序库所提供的常用子程序如表 4.1-1 所示，子程序的内容将在后述的章节中，结合程序典例进行介绍。

表 4.1-1 802S/C/D、808D/828D 子程序库程序表

子程序号	子程序名称			子程序功能
	802S/C	802D	808D/828D	
SBR0 ~ 19	未定义		未定义	用户自由使用,由机床生产厂家设计
SBR20	未定义		AUX_MCP	机床辅助控制
SBR21	未定义		AUX_LAMP	机床照明控制
SBR22	未定义		AUX_SAFE_DOOR	安全门控制
SBR23	未定义		AUX_CHIP	排屑控制
SBR24 ~ 30	未定义		未定义	用户自由使用,由机床生产厂家设计
SBR31	USR_INI		PLC_ini_USR_ini	用户自行设计或使用模板程序,仅在 PLC 第 1 次循环中,由 SBR32 调用
SBR32	PLC_INI		PLC_INI	CNC 初始化
SBR33	EMG_STOP		EMG_STOP	急停控制
SBR34	X_CROSS	—	未定义	机床操作面板(MCP)控制
	—	MCP_802D		MCP 面板 I/O 转换,生成中间变量 V
SBR35	SPINDLE	—	未定义	主轴控制
	—	SPD_OVR		主轴倍率控制
SBR36	MINI_HHU	—	未定义	HHU 手轮盒控制
SBR37	MCP_SIMU		—	机床操作面板仿真
	—		MCP_NCK	CNC 基本控制
SBR38	MCP_NCK		—	CNC 基本控制
	—		MCP_Tool_Nr	刀号七段数码管显示



(续)

子程序号	子程序名称			子程序功能
	802S/C	802D	808D/828D	
SBR39	HMI_HW	HANDWHL	HANDWHL	手轮控制
SBR40	AXES_CTL		AXES_CTL	进给轴控制
SBR41	GEAR_CHG	SPD_GEAR	—	主轴传动级交换
	—		MINI_HHU	手轮操作盒控制
SBR42	未定义		SPINDLE	主轴控制
SBR43	—	MEAS_JOG	MEAS_JOG	刀具手动测量操作
SBR44	COOLING		COOLING	冷却控制
SBR45	LUBRICATE		LUBRICAT	润滑控制
SBR46	TURRET1		—	电动刀架控制
	—		PL_SERVICE	异步子程序控制
SBR47	—	TURRET2	—	液压刀架控制
	—		PLC_select_PP	PLC 加工程序号选择
SBR48	TOOL_DIR		—	刀架、刀库捷径选择
	—		ServPlan	CNC 定期维护控制
SBR49	LOCK_UNL		—	数控车床卡盘控制
	—		GerChg1_Auto	主轴传动级自动交换控制
SBR50	—	MGZ_SRCH	—	机械手换刀加工中心刀具检索
	—		GerChg2_Virtusl	主轴传动级手动交换控制
SBR51	Trg_key	—	—	主轴倍率、进给倍率增/减键控制
	—	MGZ_RNEW	—	机械手换刀加工中心刀具安装表更新
	—		Turret1_HED_T	电动刀架控制
SBR52	—	MGZ_INI	—	机械手换刀加工中心刀具安装表初始化
	—		Turret2_BIN_T	液压刀架控制
SBR53	未定义		Turret3_CODE_T	刀位特殊编码刀架控制(特殊用)
SBR54	未定义		Turret2_3_ToolDir	刀架、刀库捷径选择
SBR55	未定义		Tail_stock_T	数控车床尾架控制
SBR56	未定义		Lock_unlock_T	数控车床卡盘控制
SBR57	未定义		未定义	用户自由使用,由机床生产厂家设计
SBR58	未定义		MM_MAIN	manual machine plus 选件控制
SBR59	未定义		MM_MCP_808D	manual machine plus 选件控制
SBR60	未定义		Disk_MGZ_M	加工中心刀库正反转控制
SBR61	未定义		未定义	用户自由使用,由机床生产厂家设计
SBR62	FILTER	—	—	输入/输出处理(SIEMENS 公司称输入滤波)
SBR63	TOGGLE		TOGGLE	机床操作面板通用按键控制



### 3. 占用的编程元件

子程序库同样需要使用 PLC 的编程元件。在 802S/C/D、808D/828D 系统中，子程序库所占用的 PLC 编程元件如表 4.1-2 所示，如果使用模板程序，还将占用更多的编程元件，有关内容可参见后述的章节。在表 4.1-2 中的编程元件区域中，虽然实际上也存在部分未被子程序使用、可用于 PLC 用户程序的编程元件，但为避免混淆，如无特殊情况，建议尽可能不要再使用这些编程元件区。

表 4.1-2 子程序库使用的编程元件区

编程元件	802S/C	802D	808D	828D
子程序号	SBR31 ~ 63	SBR31 ~ 63	SBR20 ~ 63	SBR20 ~ 63
符号表	USR16 ~ 31	USR16 ~ 31	USR 1/2/6、14 ~ 32	SYM6、14 ~ 32
标志	MB64 ~ MB127	MB128 ~ MB255	MB128 ~ MB255	M128.0 ~ M255.7
定时器	T8 ~ T15	T24 ~ T31	T24 ~ T31	T24 ~ T31
计数器	C24 ~ C31	C24 ~ C31	C24 ~ C31	C24 ~ C31
数据寄存器	VB1400 0032 ~ 0063	VB1400 0000 ~ 0040	DB1400DB0 ~ 40	DB1400DB0 ~ 40
		VB1400 0064 ~ 0127	DB1400DB64 ~ 127	DB1400DB64 ~ 127
CNC 用户 数据 MD	MD14510[16] ~ [31]	MD14510[16] ~ [31]	MD14510[16] ~ [31]	MD14510[16] ~ [31]
	MD14512[16] ~ [31]	MD14512[16] ~ [31]	MD14512[16] ~ [31]	MD14512[16] ~ [31]
	MD14514[0] ~ [3]	MD14514[0] ~ [3]	MD14512[4] ~ [7]	MD14512[4] ~ [7]

#### 4.1.2 子程序调用

子程序库中的子程序可根据机床的实际需要选择，并通过 PLC 程序中的管理块 OB1 进行调用。一般而言，子程序库中的 CNC 初始化子程序 SBR32（PLC\_INI）只需要在 PLC 的第 1 次循环中调用，其他子程序则需要在每 1 次 PLC 循环都予以调用。

CNC 配套提供的模板程序提供了普通数控车床或铣床的子程序选择与调用样例，用户也可根据自己的要求，通过修改 OB1，对子程序进行重新组织。以 802D 为例，对于不同类型的数控机床上，其子程序的选择和调用方法如下。

##### 1. 车削类数控机床

车削类数控机床可根据机床的配置，按表 4.1-3 选择子程序，并通过 OB1 调用。

表 4.1-3 车削类数控机床子程序选择参考表

子程序号	子程序名称	子程序功能	电动刀架	液压刀架
SBR0 ~ 30	未定义	无	根据需要,用户自行设计与选择	
SBR31	USR_INI	用户初始化程序	由 SBR32 在 PLC 首次循环调用,可使用模板程序或用户自行设计	
SBR32	PLC_INI	CNC 初始化	●	●
SBR33	EMG_STOP	急停控制	●	●
SBR34	MCP_802D	机床操作面板(MCP)控制	●	●
SBR35	SPD_OVR	主轴倍率控制	●	●
SBR37	MCP_SIMU	机床操作面板仿真	○	○



(续)

子程序号	子程序名称	子程序功能	电动刀架	液压刀架
SBR38	MCP_NCK	CNC 基本控制	●	●
SBR39	HANDWHL	手轮控制	○	○
SBR40	AXES_CTL	进给轴控制	●	●
SBR41	SPD_GEAR	主轴传动级交换(主轴换挡)	○	○
SBR44	COOLING	冷却控制	●	●
SBR45	LUBRICAT	润滑控制	○	○
SBR46	TURRET1	电动刀架控制	●	×
SBR47	TURRET2	液压刀架控制	×	●
SBR48	TOOL_DIR	刀架、刀库捷径选择	×	●
SBR49	MGZ_INI	加工中心刀具安装表初始化	×	×
SBR50	MGZ_SRCH	加工中心刀具检索	×	×
SBR51	MGZ_RNEW	加工中心刀具安装表更新	×	×
SBR62	FILTER	输入/输出处理	○	○
SBR63	TOGGLE	机床操作面板通用按键控制	○	○

注：“●”表示需要；“○”表示根据实际情况选择；“×”表示不需要。

## 2. 镗铣类数控机床

镗铣类机床可根据机床的配置，按表 4.1-4 选择子程序，并通过 OB1 中调用。

表 4.1-4 镗铣类数控机床子程序选择参考表

子程序号	子程序名称	子程序功能	镗铣床	加工中心	
				无机械手换刀	机械手换刀
SBR0 ~ 30	未定义	无	根据需要选择,用户自行设计		
SBR31	USR_INI	用户初始化程序	用户自行设计或使用模板程序,仅 PLC 第 1 次循环由 SBR32 调用		
SBR32	PLC_INI	CNC 初始化	●	●	●
SBR33	EMG_STOP	急停控制	●	●	●
SBR34	MCP_802D	机床操作面板(MCP)控制	●	●	●
SBR35	SPD_OVR	主轴倍率控制	●	●	●
SBR37	MCP_SIMU	机床操作面板仿真	○	○	○
SBR38	MCP_NCK	CNC 基本控制	●	●	●
SBR39	HANDWHL	手轮控制	○	○	○
SBR40	AXES_CTL	进给轴控制	●	●	●
SBR41	SPD_GEAR	主轴传动级交换	○	○	○
SBR44	COOLING	冷却控制	●	●	●
SBR45	LUBRICAT	润滑控制	●	●	●
SBR46	TURRET1	电动刀架控制	×	×	×
SBR47	TURRET2	液压刀架控制	×	×	×



(续)

子程序号	子程序名称	子程序功能	镗铣床	加工中心	
				无机械手换刀	机械手换刀
SBR48	TOOL_DIR	刀架、刀库捷径选择	×	●	●
SBR49	MGZ_INI	加工中心刀具安装表初始化	×	×	●
SBR50	MGZ_SRCH	加工中心刀具检索	×	×	×
SBR51	MGZ_RNEW	加工中心刀安装具表更新	×	×	×
SBR62	FILTER	输入/输出处理	○	○	
SBR63	TOGGLE	机床操作面板通用按键控制	○	○	○

注：“●”表示需要；“○”表示根据实际情况选择；“×”表示不需要。

### 3. 子程序调用

所选定的子程序可通过 OB1 的编程进行调用，其程序格式如图 4.1-1 所示。

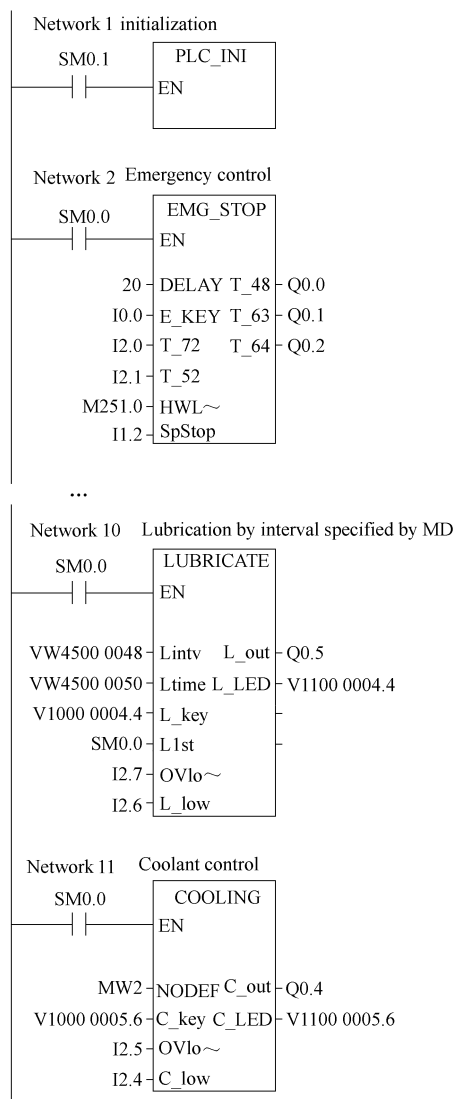


图 4.1-1 子程序调用程序 OB1





子程序在控制端 EN = 1 时调用和执行，因此，可通过 EN 端的编程对不同的子程序设置各种调用条件。例如，图 4.1-1 中的 CNC 初始化子程序 PLC\_ INI (SBR32) 由 PLC 首次循环脉冲 SM0.1 调用，它只在 CNC 开机时执行 1 次。而急停子程序 EMG\_ STOP (SBR33) 等则通过状态恒为 1 的系统标志位 SM0.0 调用，故可在 PLC 运行时始终予以执行等。

## 4.2 802S/C 模板程序与使用

### 4.2.1 CNC 连接要求

PLC 程序的设计与 CNC 的电气连接、特别是 I/O 信号的连接密切相关，因此，设计与阅读 PLC 程序时，应全面了解 CNC 组成部件的连接情况。如果使用 SIEMENS 所提供的模板程序，则需要按照模板程序的要求连接 PLC 的 I/O 信号。

#### 1. 802S/C 系统组成

802S/C 系列 CNC 先后推出了 802S/C、802Se/Ce、802S base line/C base line 等型号，其组成和连接要求稍有不同，说明如下。

1) 802S。802S 系列 CNC 是 SIEMENS 经济型数控产品，主要用于 3 轴以下的国产经济型数控机床控制，系统的主要组成部件如图 4.2-1 所示。

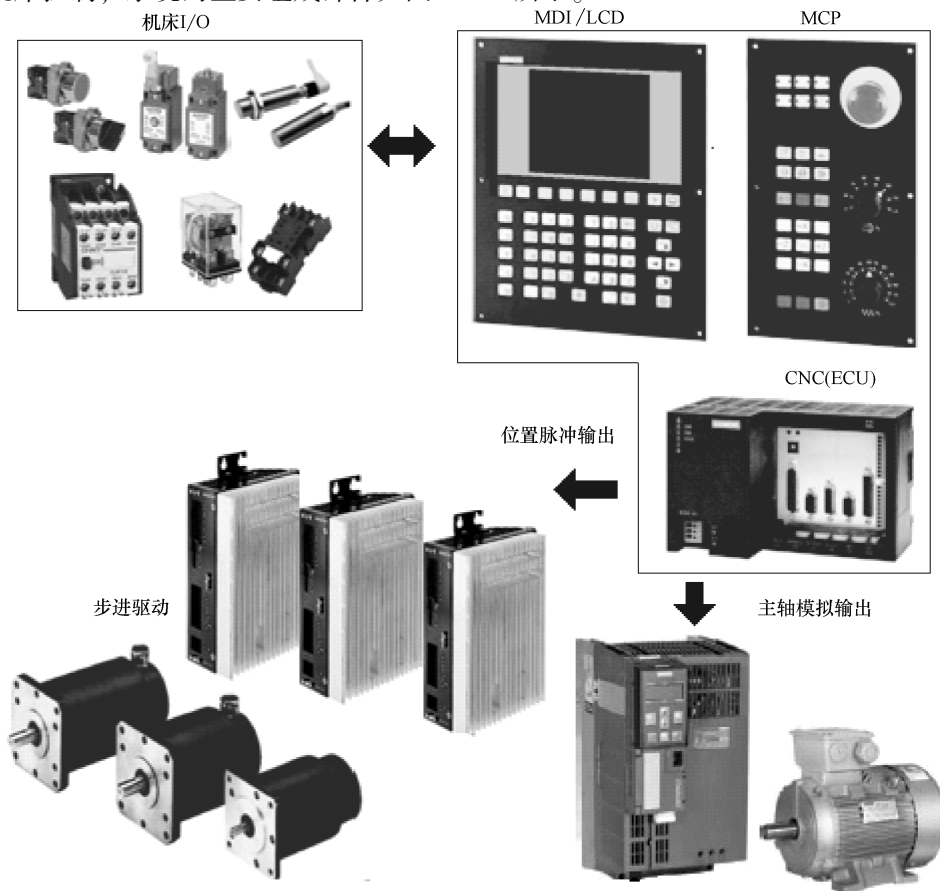


图 4.2-1 802S 系统组成



802S 系列 CNC 使用步进电动机驱动，但实际上它和普及型 CNC 一样，可输出位置指令脉冲和主轴模拟量。因此，作为拓展应用，例如在数控机床改造时，也可连接通用型伺服驱动器，以构成普及型 CNC 系统，以解决步进电动机的失步问题，提高输出转矩、改善数控机床进给系统的综合性能。

2) 802C。802C 系列 CNC 是 SIEMENS 最简单的全功能型数控产品，主要用于 3 轴以下的国产简单数控机床的控制。802C 通常配套早期的 SIMODRIVE 611U、SIMODRIVE base line 等经济型、模拟量控制的交流伺服/主轴驱动系统，在对主轴性能要求不高的机床上，主轴也可选择通用变频器驱动。802C 系统的主要组成部件如图 4.2-2 所示。

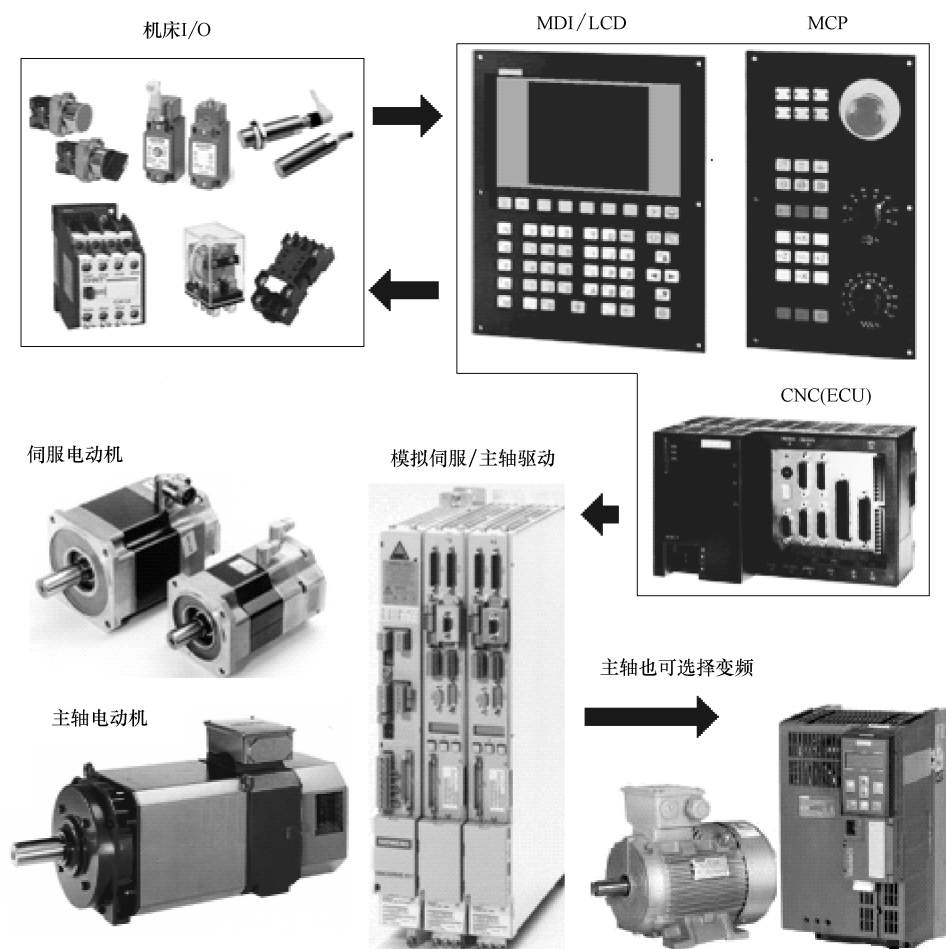


图 4.2-2 802C 系统组成

## 2. 802S/C 系统连接

802S/C 系列 CNC 的结构和电气连接要求，在不同时期推出的 802S/C、802Se/Ce、802S base line/C base line 等产品中有较大的不同。例如，最初的 802S/C 采用的是 CNC（又称 ECU，Economical Control Unit）、MDI/LCD、机床操作面板（MCP）分离型结构；后期的 802Se/Ce 和 802S base line/C base line 则采用的是 CNC（ECU）、MDI/LCD、MCP 集成式结构等。



802S、802C 系列 CNC 的连接总图分别如图 4.2-3 和图 4.2-4 所示。其中，早期分离型的 802S/C 需要通过 CNC 随机提供的配套电缆，连接 CNC (ECU)、MDI/LCD、MCP，机床的 I/O 信号连接到 ECU 单元上；后期的集成式 802Se/Ce 和 802S base line/C base line 的 CNC (ECU)、MDI/LCD、MCP 集成一体，三者间的连接已在内部完成，机床的 I/O 信号直接连接到集成 CNC 单元上。

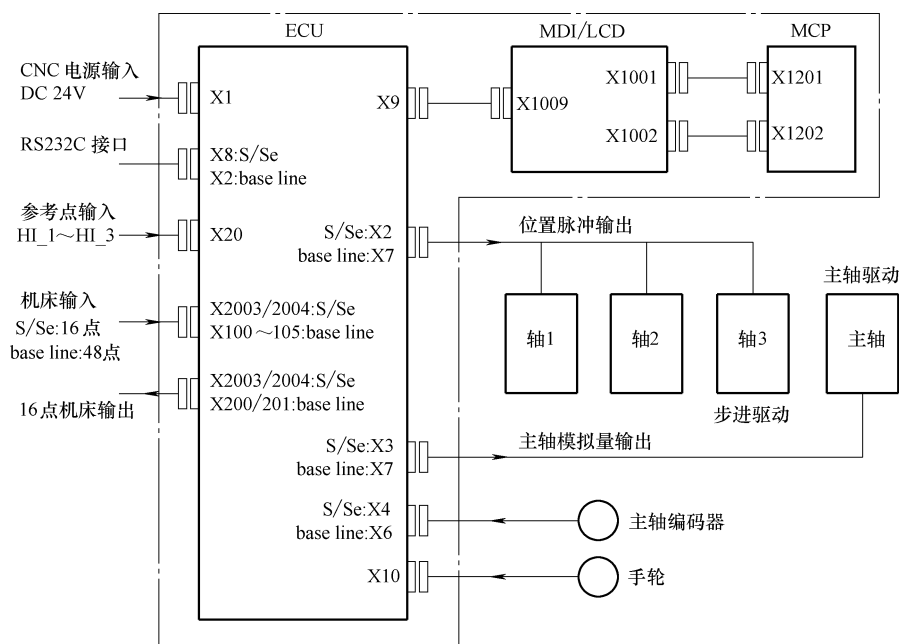


图 4.2-3 802S 系统连接

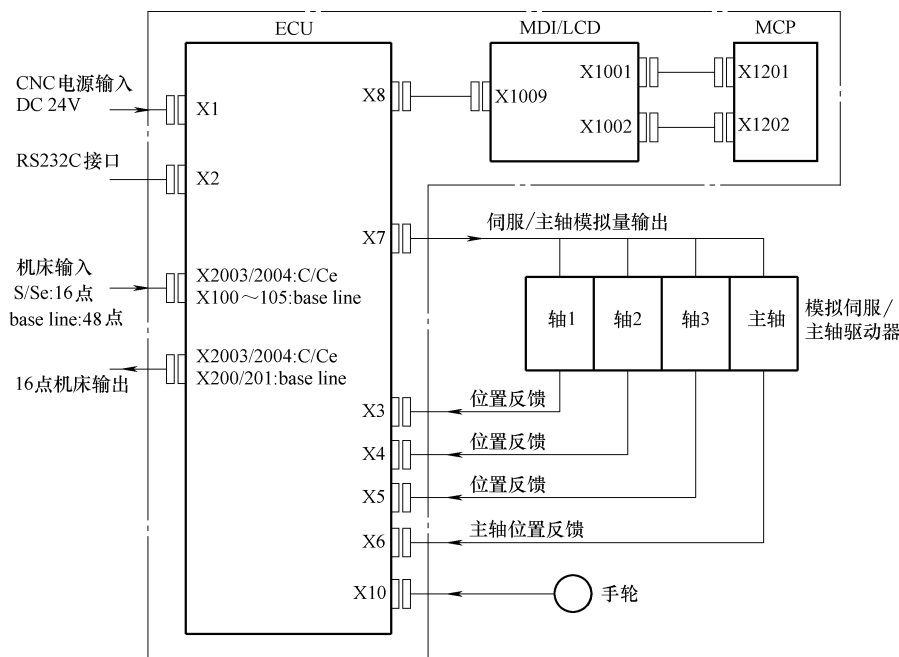


图 4.2-4 802C 系统连接



### 3. 机床 I/O 连接

802S/C、802Se/Ce、802S base line/C base line 系列 CNC 所使用的子程序库和模板程序相同, 因此, 其机床 I/O 信号的连接要求一致, 使用 SIEMENS 模板程序时, 机床 I/O 信号应按表 4.2-1 连接。

表 4.2-1 802S/C 系列 CNC 的 I/O 信号连接表

I/O 地址	信号名称		连接器及引脚		功能与用途
	车床	铣床	802S/Se	802Sbase line	
—	X 参考点		X20-3	X20-3	X 轴参考点到达
—	Y 参考点		X20-4	X20-4	Y 轴参考点到达
—	Z 参考点		X20-5	X20-5	Z 轴参考点到达
I0.0	+ X 超程		X2003-2	X100-2	X 轴正向超程
I0.1	+ Z 超程		X2003-3	X100-3	Z 轴正向超程
I0.2	X 参考点减速		X2003-4	X100-4	X 轴回参考点减速信号
I0.3	Z 参考点减速		X2003-5	X100-5	Z 轴回参考点减速信号
I0.4	- X 超程		X2003-6	X100-6	X 轴负向超程
I0.5	- Z 超程		X2003-7	X100-7	Z 轴负向超程
I0.6	驱动过载		X2003-8	X100-8	来自驱动器或强电回路
I0.7	急停		X2003-9	X100-9	机床急停输入
I1.0	1#刀位	主轴低速	X2004-2	X101-2	刀架 1#刀位输入/主轴低速档到位
I1.1	2#刀位	主轴高速	X2004-3	X101-3	刀架 2#刀位输入/主轴高速档到位
I1.2	3#刀位	+ Y 超程	X2004-4	X101-4	刀架 3#刀位输入/Y 轴正向超程
I1.3	4#刀位	X 参考点减速	X2004-5	X101-5	刀架 4#刀位输入/Y 轴参考点减速
I1.4	5#刀位	- Y 超程	X2004-6	X101-6	刀架 5#刀位输入/Y 轴负向超程
I1.5	6#刀位	—	X2004-7	X101-7	刀架 6#刀位输入
I1.6	超程解除		X2004-8	X101-8	解除超程报警
I1.7	驱动器准备好		X2004-9	X101-9	来自驱动器
Q0.0	主轴正转		X2005-2	X200-2	主轴正转
Q0.1	主轴反转		X2005-3	X200-3	主轴反转
Q0.2	冷却接通		X2005-4	X200-4	接通冷却
Q0.3	润滑接通		X2005-5	X200-5	接通润滑
Q0.4	刀架正转	—	X2005-6	X200-6	电动刀架正转(车床)
Q0.5	刀架反转	—	X2005-7	X200-7	电动刀架反转(车床)
Q0.6	卡盘夹紧	刀具夹紧	X2005-8	X200-8	车床卡盘/铣床刀具夹紧
Q0.7	卡盘松开	刀具松开	X2005-9	X200-9	车床卡盘/铣床刀具松开
Q1.0	—	换低速档	X2006-2	X201-2	主轴换低速档
Q1.1	—	换高速档	X2006-3	X201-3	主轴换高速档
Q1.2	—		X2006-4	X201-4	—
Q1.3	进给轴制动器松开		X2006-5	X201-5	松开进给轴制动器



(续)

I/O 地址	信号名称		连接器及引脚		功能与用途
	车床	铣床	802S/Se	802Sbase line	
Q1.4	主轴制动		X2006-6	X201-6	制动主轴
Q1.5	驱动器主回路接通		X2006-7	X201-7	接通驱动器电源模块主回路
Q1.6	驱动器急停		X2006-8	X201-8	驱动器急停
Q1.7	驱动器使能		X2006-9	X201-9	使能进给轴及主轴

在 802S/C 模板程序中, 表 4.2-1 中的 I/O 信号可根据机床的实际需要, 通过 CNC 机床参数 (Machine Data) 中的用户数据 (USER\_ DATA) MD14512 [0] ~ 14512 [7] 设定, 对信号及极性进行如下选择。

MD14512 [0] bit0 ~ bit7: I0.0 ~ I0.7 输入信号选择。设定 0, 对应的输入信号无效; 设定 1, 输入信号有效。

MD14512 [1] bit0 ~ bit7: I1.0 ~ I1.7 输入信号选择, 设定方法同 MD14512 [0]。

MD14512 [2] bit0 ~ bit7: I0.0 ~ I0.7 输入极性选择。设定 0, 对应的输入为常开触点输入; 设定 1, 为常闭触点输入。

MD14512 [3] bit0 ~ bit7: I1.0 ~ I1.7 输入极性选择, 设定方法同 MD14512 [2]。

MD14512 [4] bit0 ~ bit7: Q0.0 ~ Q0.7 输出信号选择。设定 0, 对应的输出信号无效; 设定 1, 输出信号有效。

MD14512 [5] bit0 ~ bit7: Q1.0 ~ Q1.7 输出信号选择, 设定方法同 MD14512 [4]。

MD14512 [6] bit0 ~ bit7: Q0.0 ~ Q0.7 输出极性选择。设定 0, PLC 状态“1”的输出为 DC24V; 设定 1, 输出为 0V。

MD14512 [7] bit0 ~ bit7: Q1.0 ~ Q1.7 输出极性选择, 设定方法同 MD14512 [6]。

## 4.2.2 MCP I/O 信号

### 1. 面板布置

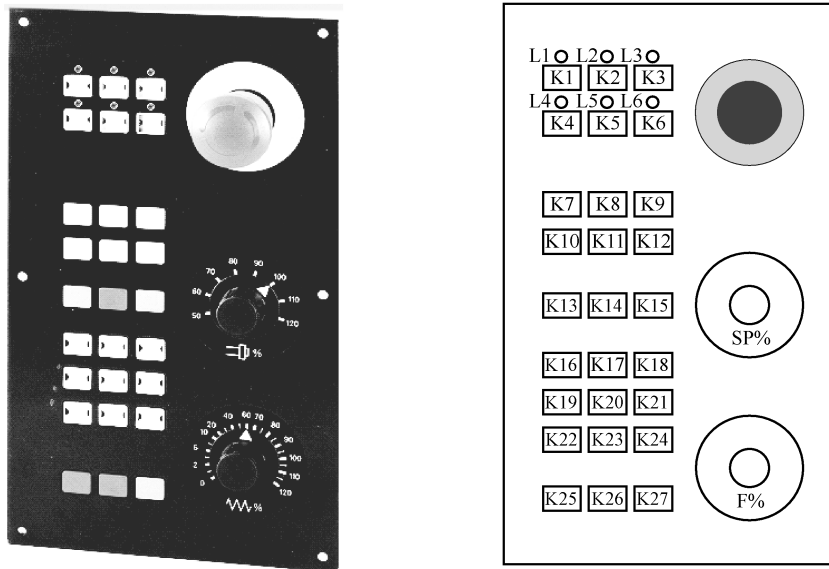
机床操作面板 (MCP) 上有较多的 I/O 信号需要处理, 它是 PLC 程序设计的重要内容。802S/C 系列 CNC 的 MCP 有图 4.2-5 所示的分离型和集成型两种。

其中, 早期的 802S/C 使用图 4.2-5a 所示的分离型 MCP, 面板共有 27 个按键、2 个倍率调节开关 (进给和主轴转速)、6 个按键 LED 指示灯, 实际需要使用 37/6 点 I/O。后期的 802Se/Ce、802S base line /C base line 使用图 4.2-5b 所示的集成型 MCP, 面板上共有 39 个按键、16 个 LED 指示灯, 实际需要使用 39/16 点 I/O。MCP 上的急停开关一般用于强电路控制, 不占 I/O 点。

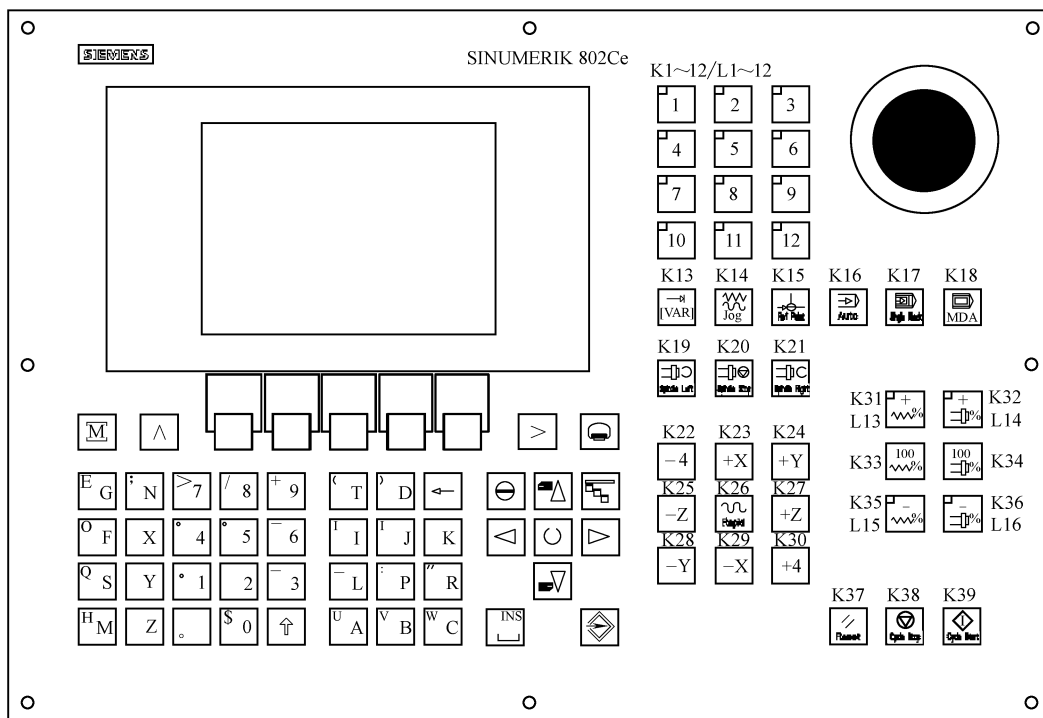
### 2. I/O 信号与地址

无论分离型的 802S/C, 还是集成型的 802Se/Ce、802S base line /C base line, 其 MCP 都和 ECU 直接连接, 面板上的 I/O 信号都由 PLC 操作系统传送, 因此, 在 PLC 程序上, 它们需要以变量 V 的形式进行编程。

802S/C 系列 CNC 的 MCP 按键需要占用 6 字节 (48 点) 输入变量 VB1000 0000 ~ 1000 0005, 输入变量在 PLC 程序中只能使用其状态 (只读); MCP LED 需要占用 2 字节 (16 点)



a) 分离型 MCP



b) 集成型MCP

图 4.2-5 机床操作面板图

输出变量 VB1100 0000 ~ 1100 0001，输出变量可在 PLC 程序中进行读/写操作。

802S/C 系列 CNC 的 MCP 按键/指示灯的 I/O 编程地址如表 4.2-2 所示，部分按键、指



示灯的功能可由用户（机床生产厂家）定义。

表 4.2-2 802S/C 的 MCP 面板编程地址表

编程地址	802S/C		802Se/Ce, 802S base line /C base line	
	键/LED	功能	键/LED	功能
V1000 0000.0	K1	驱动器起动/停止	K1	驱动器起动/停止
V1000 0000.1	K2	卡盘或刀具夹紧/松开	K2	卡盘或刀具夹紧/松开
V1000 0000.2	K3	功能由用户定义	K3	功能由用户定义
V1000 0000.3	K4	手动换刀	K4	手动换刀
V1000 0000.4	K5	手动润滑	K5	手动润滑
V1000 0000.5	K6	手动冷却	K6	手动冷却
V1000 0000.6	K7	操作方式选择:增量进给	K13	操作方式选择:增量进给
V1000 0000.7	K8	操作方式选择:JOG 进给	K14	操作方式选择:JOG 进给
V1000 0001.0	K9	操作方式选择:回参考点	K15	操作方式选择:回参考点
V1000 0001.1	K10	操作方式选择:自动	K16	操作方式选择:自动
V1000 0001.2	K11	操作方式选择:单程序段	K17	操作方式选择:单程序段
V1000 0001.3	K12	操作方式选择:MDA	K18	操作方式选择:MDA
V1000 0001.4	K13	主轴点动:正转	K19	主轴点动:正转
V1000 0001.5	K14	主轴点动:停止	K20	主轴点动:停止
V1000 0001.6	K15	主轴点动:反转	K21	主轴点动:反转
V1000 0001.7	K16	手动方向键: - 4	K22	手动方向键: - 4
V1000 0002.0	K17	手动方向键: + X	K23	手动方向键: + X
V1000 0002.1	K18	手动方向键: + Y	K24	手动方向键: + Y
V1000 0002.2	K19	手动方向键: - Z	K25	手动方向键: - Z
V1000 0002.3	K20	手动快速键: Rapid	K26	手动快速键: Rapid
V1000 0002.4	K21	手动方向键: + Z	K27	手动方向键: + Z
V1000 0002.5	K22	手动方向键: - Y	K28	手动方向键: - Y
V1000 0002.6	K23	手动方向键: - X	K29	手动方向键: - X
V1000 0002.7	K24	手动方向键: + 4	K30	手动方向键: + 4
V1000 0003.0	K25	CNC 复位键( RESET)	K37	CNC 复位键( RESET)
V1000 0003.1	K26	循环启动: C. START	K38	循环启动: C. START
V1000 0003.2	K27	进给保持: F. HOLD	K39	进给保持: F. HOLD
V1000 0003.3	—	状态固定为 0	—	状态固定为 0
V1000 0003.4	—	状态固定为 0	K7	功能由用户定义
V1000 0003.5	—	状态固定为 0	K8	功能由用户定义
V1000 0003.6	—	状态固定为 0	K9	功能由用户定义
V1000 0003.7	—	状态固定为 0	K10	功能由用户定义
V1000 0004.0	F%	进给倍率调节 A	K31	进给倍率增加键
V1000 0004.1	F%	进给倍率调节 B	—	状态固定为 0



(续)

编程地址	802S/C		802Se/Ce,802S base line /C base line	
	键/LED	功能	键/LED	功能
V1000 0004.2	F%	进给倍率调节 C	K33	进给倍率 100% 键
V1000 0004.3	F%	进给倍率调节 D	—	状态固定为 0
V1000 0004.4	F%	进给倍率调节 E	K35	进给倍率减少键
V1000 0004.5	—	状态固定为 0	K11	功能由用户定义
V1000 0004.6	—	状态固定为 0	K12	功能由用户定义
V1000 0004.7	—	状态固定为 0	—	状态固定为 0
V1000 0005.0	SP%	主轴倍率调节 A	K32	主轴倍率增加键
V1000 0005.1	SP%	主轴倍率调节 B	—	状态固定为 0
V1000 0005.2	SP%	主轴倍率调节 C	K34	主轴倍率 100% 键
V1000 0005.3	SP%	主轴倍率调节 D	—	状态固定为 0
V1000 0005.4	SP%	主轴倍率调节 E	K36	主轴倍率减少键
V1000 0005.5	—	状态固定为 0	—	状态固定为 0
V1000 0005.6	—	状态固定为 0	—	状态固定为 0
V1000 0005.7	—	状态固定为 0	—	状态固定为 0
V1100 0000.0	L1	驱动器启动指示	L1	驱动器启动指示
V1100 0000.1	L2	卡盘或刀具夹紧指示	L2	卡盘或刀具夹紧指示
V1100 0000.2	L3	功能由用户定义	L3	功能由用户定义
V1100 0000.3	L4	刀架换刀指示	L4	刀架换刀指示
V1100 0000.4	L5	润滑指示	L5	润滑指示
V1100 0000.5	L6	冷却指示	L6	冷却指示
V1100 0000.6	—	—	L7	K7 键指示灯,用户定义
V1100 0000.7	—	—	L8	K8 键指示灯,用户定义
V1100 0001.0	—	—	L9	K9 键指示灯,用户定义
V1100 0001.1	—	—	L10	K10 键指示灯,用户定义
V1100 0001.2	—	—	L11	K11 键指示灯,用户定义
V1100 0001.3	—	—	L12	K12 键指示灯,用户定义
V1100 0001.4	—	—	L13	进给倍率增加键指示灯
V1100 0001.5	—	—	L14	进给倍率减少键指示灯
V1100 0001.6	—	—	L15	主轴倍率增加键指示灯
V1100 0001.7	—	—	L16	主轴倍率减少键指示灯

#### 4.2.3 参数与报警定义

802S/C 系列 CNC 使用 SIEMENS 子程序库及模板程序进行 PLC 编程时,需要按照以下要求,对 CNC 机床参数 (Machine Data) 中的用户数据 (USER\_ DATA) MD14510 和 MD14512 进行正确的设定。



1. MD14510 设定

用户数据 MD14510 的格式规定为十进制正整数，在 802S/C 系列 CNC 上，其子程序库及模板程序需要设定 MD14510 [16] ~ [31] 中的 14 个用户数据，用户数据的作用与设定要求如表 4. 2-3 所示。

表 4. 2-3 802S/C 用户数据 MD14510 设定表

机床参数	作 用	设定范围	单位	设定要求
MD14510[16]	机床类型选择	0、1	—	0:车床;1:镗铣床
MD14510[17]	驱动器类型选择	0、1	—	0:步进驱动;1:伺服驱动
MD14510[18]、[19]	未定义	—	—	—
MD14510[20]	电动刀架刀位数	4、6 或 8	—	仅用于车床
MD14510[21]	最大选刀时间	30 ~ 200	0. 1 s	电动刀架允许的最大选刀时间
MD14510[22]	刀架反转锁紧延时	5 ~ 30	0. 1 s	仅用于车床
MD14510[23]	主轴制动时间	5 ~ 200	0. 1 s	主轴制动信号 Q1. 4 输出保持时间
MD14510[24]	自动润滑间隔	5 ~ 300	min	自动润滑的起动间隔
MD14510[25]	自动润滑时间	10 ~ 200	0. 1 s	润滑接通信号保持时间
MD14510[26]	+ X 键定义	16 ~ 30	—	见下述
MD14510[27]	- X 键定义	16 ~ 30	—	见下述
MD14510[28]	+ Y 键定义	16 ~ 30	—	见下述
MD14510[29]	- Y 键定义	16 ~ 30	—	见下述
MD14510[30]	+ Z 键定义	16 ~ 30	—	见下述
MD14510[31]	- Z 键定义	16 ~ 30	—	见下述

表 4. 2-3 中的用户数据 MD14510 [26] ~ [31] 用于 MCP 上的坐标轴手动方向键 + X ~ -Z 的定义，设定值与 CNC 型号和机床类型有关，通常按图 4. 2-6 中的编号进行设定。

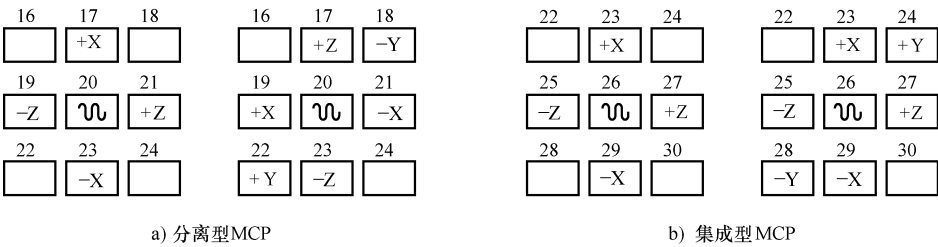


图 4. 2-6 手动方向键的定义

2. MD14512 设定

用户数据 MD14512 的格式为二进制位，使用 802S/C 系列 CNC 子程序库及模板程序时，需要设定 MD14512 [0] ~ [18] 中的 13 个用户数据，用户数据的作用和设定要求如表 4. 2-4 所示。



表 4.2-4 802S/C 用户数据 MD14512 设定表

机床参数号	设定位	作用与设定要求
MD14512[0]	bit0 ~ bit7	I0.0 ~ I0.7 生效设定,0:输入无效,1:输入有效;参见 4.2.1 节
MD14512[1]	bit0 ~ bit7	I1.0 ~ I1.7 生效设定,0:输入无效,1:输入有效;参见 4.2.1 节
MD14512[2]	bit0 ~ bit7	I0.0 ~ I0.7 极性变换,0:常开触点,1:常闭触点;参见 4.2.1 节
MD14512[3]	bit0 ~ bit7	I1.0 ~ I1.7 极性变换,0:常开触点,1:常闭触点;参见 4.2.1 节
MD14512[4]	bit0 ~ bit7	Q0.0 ~ Q0.7 生效设定,0:输出无效,1:输出有效;参见 4.2.1 节
MD14512[5]	bit0 ~ bit7	Q1.0 ~ Q1.7 生效设定,0:输出无效,1:输出有效;参见 4.2.1 节
MD14512[6]	bit0 ~ bit7	Q0.0 ~ Q0.7 极性变换,0:DC24V 输出,1:0V 输出;参见 4.2.1 节
MD14512[7]	bit0 ~ bit7	Q1.0 ~ Q1.7 极性变换,0:DC24V 输出,1:0V 输出;参见 4.2.1 节
MD14512[8] ~ [10]	bit0 ~ bit7	未定义
MD14512[11]	bit0	1:冷却控制有效,0:无效(OB1 不调用子程序 SBR44)
	bit1	1:润滑控制有效,0:无效(OB1 不调用子程序 SBR45)
	bit2	1:卡盘/刀具松/夹控制有效,0:无效(OB1 不调用子程序 SBR49)
	bit3	1:主轴控制有效,0:无效(OB1 不调用子程序 SBR35)
	bit4 ~ 5	未定义
	bit6	1:主轴换挡控制有效,0:无效(OB1 不调用子程序 SBR41)
	bit7	1:电动刀架控制有效,0:无效(OB1 不调用子程序 SBR46)
MD14512[12]	bit0	进给、主轴倍率的调节方式,1:波段开关,0:倍率增/减键
	bit1	未定义
	bit2	用增/减键调节的进给倍率记忆,1:有效;0:无效,开机时为 100%
	bit3	用增/减键调节的主轴倍率记忆,1:有效;0:无效,开机时为 100%
	bit4	进给倍率调节值设定,01:0/2/6/10/30/50/70/80/90/100/110/120(12 级);10:0/4/10/40/70/85/100/110/120(9 级);11:0/2/10/50/80/100/120(7 级);00:0/1/2/4/6/8/10/20/30/40/50/60/70/75/80/85/90/95/100/105/110/115/120(23 级标准倍率)
	bit5	
	bit6	主轴倍率调节值设定,01:50/60/70/80/90/100/110/120(8 级);10:50/60/70/85/100/110/120(7 级);11:50/60/80/100/120(5 级);00:50/55/60/65/70/75/80/85/90/95/100/105/110/115/120(15 级标准倍率)
	bit7	
MD14512[13] ~ [15]	bit0 ~ 7	未定义
MD14512[16]	bit0	1:机床调试(忽略驱动器过载、准备好信号);0:正常运行
	bit1	1:主轴停止后自动撤销主轴使能输出信号;0:用主轴停止键撤销
	bit2	主轴模拟量输出选择,1:DC0 ~ 10V;0: -10V ~ 10V
	bit3	1:MCP 上的主轴倍率开关生效;0:无效
	bit4	1:X 轴旋转监控有效;0:无效



(续)

机床参数号	设定位	作用与设定要求
MD14512[16]	bit5	1:Y轴旋转监控有效;0:无效
	bit6	1:Z轴旋转监控有效;0:无效
	bit7	未定义
MD14512[17]	bit0	X轴回参考点时的进给倍率开关,1:无效;0:有效
	bit1	Y轴回参考点时的进给倍率开关,1:无效;0:有效
	bit2	Z轴回参考点时的进给倍率开关,1:无效;0:有效
	bit3	未定义
	bit4	制动器输出 Q1.3 用于 X 轴制动控制,1:有效;0:无效
	bit5	制动器输出 Q1.3 用于 Y 轴制动控制,1:有效;0:无效
	bit6	制动器输出 Q1.3 用于 Z 轴制动控制,1:有效;0:无效
	bit7	未定义
MD14512[18]	bit0	未定义
	bit1	1:驱动器调试、维修时,可通过指定按键松开垂直轴的制动器;0:不能
	bit2	1:首次润滑在开机时进行;0:经过自动润滑启动间隔时间后进行
	bit3	未定义
	bit4	X轴的正/负超程开关输入信号,1:公用;0:独立
	bit5	Y轴的正/负超程开关输入信号,1:公用;0:独立
	bit6	Z轴的正/负超程开关输入信号,1:公用;0:独立
	bit7	X/Y/Z轴超程开关输入形式,1:按规定方式连接;0:独立连接到输入

### 3. 报警定义

802S/C 系列 CNC 在使用 SIEMENS 公司提供的模板程序时,可通过子程序 SBR31 (USR\_INI),在 CNC 用户数据设定错误或机床动作出错时,通过 NCK-PLC 接口信号 V1600 0000.0 ~ V1600 0003.7 产生表 4.2-5 所示的机床报警。虽然,表中部分文本显示的表述似不尽恰当,但为了和实际 CNC 显示统一,表中仍使用原文本。

表 4.2-5 使用模板程序的机床报警显示

报警号	接口信号	报警文本信息
7000 00	V1600 0000.0	初次调试! 需要设定下列 PLC 参数或按存储数据起动
7000 01	V1600 0000.1	未定义
7000 02	V1600 0000.2	X + 点动键没有定义,请检查 MD14510[26]
7000 03	V1600 0000.3	X - 点动键没有定义,请检查 MD14510[27]
7000 04	V1600 0000.4	Y + 点动键没有定义,请检查 MD14510[28]
7000 05	V1600 0000.5	Y - 点动键没有定义,请检查 MD14510[29]
7000 06	V1600 0000.6	Z + 点动键没有定义,请检查 MD14510[30]
7000 07	V1600 0000.7	Z - 点动键没有定义,请检查 MD14510[31]
7000 08	V1600 0001.0	刀架刀位数定义错,检查 MD14510[20] = 4/6
7000 09	V1600 0001.1	刀架锁紧时间没有定义,检查 MD14510[21]



(续)

报警号	接口信号	报警文本信息
7000 10	V1600 0001. 2	刀架监控时间没有定义,检查 MD14510[22]
7000 11	V1600 0001. 3	主轴制动时间超出范围,检查 MD14510[23]
7000 12	V1600 0001. 4	润滑间隔超出范围,检查 MD14510[24]
7000 13	V1600 0001. 5	润滑时间超出范围,检查 MD14510[25]
7000 14	V1600 0001. 6	输入使能没有定义,检查 MD14512[0]& MD14512[1]
7000 15	V1600 0001. 7	输出使能没有定义,检查 MD14512[4]& MD14512[5]
7000 16	V1600 0002. 0	驱动器未就绪
7000 17	V1600 0002. 1	馈入模块 $P_t$ 报警
7000 18 ~ 7000 20	V16000002. 2 ~ V16000002. 4	未定义
7000 21	V1600 0002. 5	卡盘或刀具放松时不能起动主轴
7000 22	V1600 0002. 6	主轴运转时不能放松卡盘或放松刀具
7000 23	V1600 0002. 7	编程刀具号大于刀架最大刀位数□□
7000 24	V1600 0003. 0	在监控时间内未找到目标刀具
7000 25	V1600 0003. 1	刀架无位置检测信号
7000 26	V1600 0003. 2	驱动器优化时电动机抱闸已释放
7000 27	V1600 0003. 3	旋转监控生效,请重新返回参考点
7000 28 ~ 7000 31	V1600 0003. 4 ~ V1600 0003. 7	未定义

如果 CNC 同时安装了报警文本文件 (ALCU.TXT), 则可在 LCD 上显示报警号的同时, 显示报警文本信息。此外, 还可通过 PLC 程序的设计, 在 CNC 报警文本中插入 32 位二进制格式的变量, 有关内容可参见 5.1 节。

#### 4. 报警响应、清除和状态显示

当发生机床报警时, CNC 对报警 7000 00 ~ 7000 31 的响应及报警的清除条件, 可分别通过 CNC 用户数据 MD14516 [0] ~ [31] 进行设定。MD14516 [0] ~ [31] 的每一字节可用于一条报警的设定, 即: MD14516 [0] 对应报警 ALM 7000 00、MD14516 [1] 对应报警 ALM 7000 01、…MD14516 [31] 对应报警 ALM 7000 31 等。

报警响应及清除条件设定参数 MD14516 [0] ~ [31] 对应位的含义如下。

- bit0: 发生报警时禁止 CNC 起动;
- bit1: 发生报警时禁止加工程序读入;
- bit2: 发生报警时 CNC 进入进给保持状态;
- bit3: 发生报警时 CNC 进入急停状态;
- bit4: 发生报警时 PLC 停止运行;
- bit6: 报警可通过【RESET】键清除;
- bit7: 报警需要通过 CNC 电源通断清除。

例如, 对于报警 ALM 7000 17 (电源模块过热), 报警时需要禁止 CNC 起动、加工程序读入, 并使得 CNC 进入进给保持和急停状态; 报警需要通过 CNC 电源通断清除; 故可设定 CNC 用户数据 MD14516 [17] = 1000 1111 等。



机床报警时的 CNC 工作状态, 可在 PLC 程序中通过 CNC 的状态信号 VB1600 2000 bit0 ~ bit4 进行检查, 信号位的含义如下。

- bit0: 机床报警, CNC 禁止起动;
- bit1: 机床报警, 禁止加工程序读入;
- bit2: 机床报警, CNC 为进给保持状态;
- bit3: 机床报警, CNC 为急停状态;
- bit4: 机床报警, PLC 已停止运行。

## 4.3 802D 模板程序与使用

### 4.3.1 CNC 连接要求

#### 1. 802D 系统组成

802D 系列 CNC 采用了网络控制技术, 系统的主要组成部件如图 4.3-1 所示。其 CNC 单

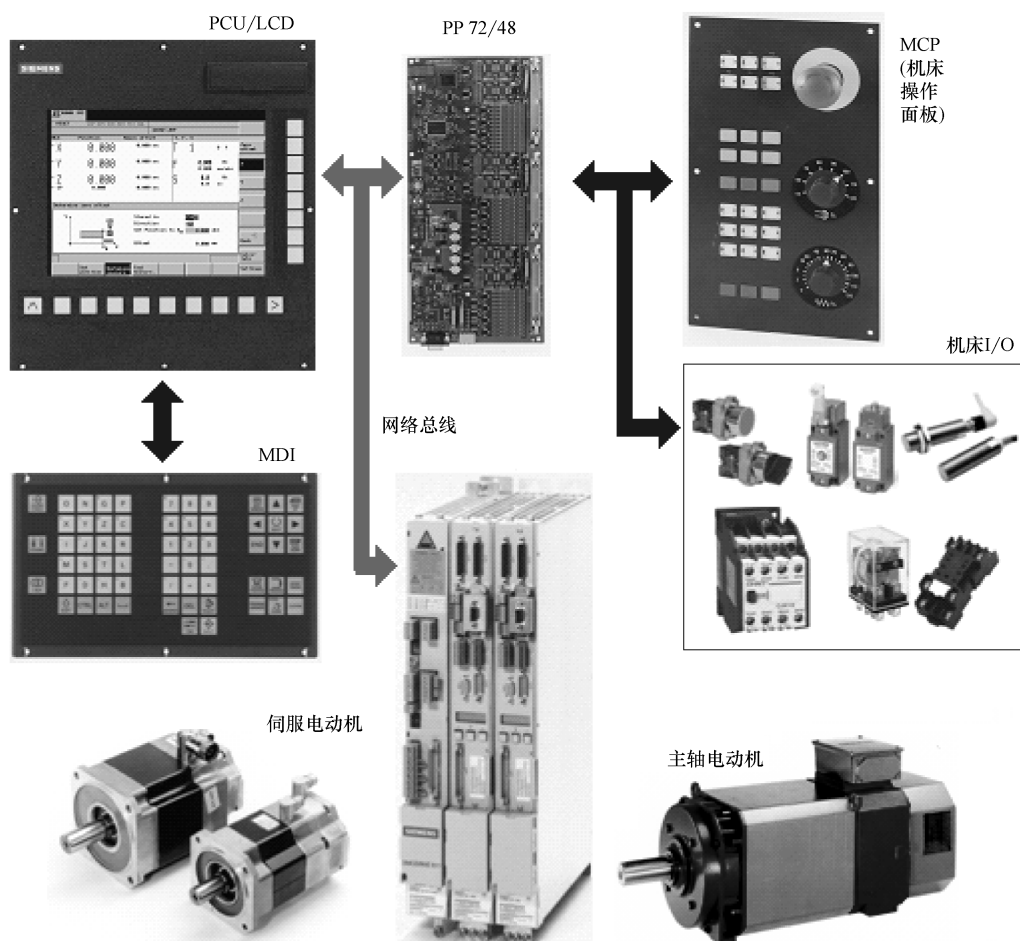


图 4.3-1 802D 系统组成



元又称 PCU (Panel Control Unit), 它和 LCD 显示器集成一体, MDI 为分离型结构, 机床操作面板沿用了 802S/C 系列的分离型 MCP。802D 的 MCP 需要和机床 I/O 一样连接到 PLC 的 I/O 模块上, 其输入/输出直接使用地址 I/Q 编程。

802D 系列 CNC 先后有 802D、802D base line、802Dsl 等系列, 802Dsl 为当前使用产品。早期的 802D 主要用于 4 轴以下的全功能型数控机床控制, 驱动器通常采用 SIMODRIVE 611UE 系列交流伺服/主轴驱动器; CNC (PCU/LCD 单元)、I/O 模块 (PP 72/48)、611UE 驱动器间通过 PROFIBUS 总线连接; 集成 S7-200PLC 最大可连接 2 个 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块, PLC 最大 I/O 点数为 144/96 点。

后期的 802Dsl 分 802Dsl/Value 基本型、802Dsl/Plus 加强版、802Dsl/Pro 专业版等规格, 802Dsl/Value 和 802Dsl/Pro 除了可用于车削类 (T 型)、镗铣类 (M 型) 数控机床控制外, 还可用于磨削类 (G 型) 和冲压类 (N 型) 数控机床的控制。802Dsl 一般配套图 4.3-2 所示的 SINAMICS S120 高性能、模块化交流伺服/主轴驱动系统; 驱动器和 CNC (PCU/LCD 单元) 间采用 DRIVE CLiQ 总线连接。

802Dsl/Value 可用于 4 轴 (3 轴伺服 + 主轴或 4 轴伺服) 控制; 802Dsl/Plus 和 802Dsl/Pro 最大可控制 5 轴 (4 轴伺服 + 主轴或 4 轴伺服); 3 种规格的 CNC 集成 S7-200PLC 最大均可连接 3 个 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块, 最大 I/O 点数为 216/144 点。CNC (PCU/LCD 单元) 和 I/O 模块 (PP 72/48) 间采用通过 PROFIBUS 总线连接。

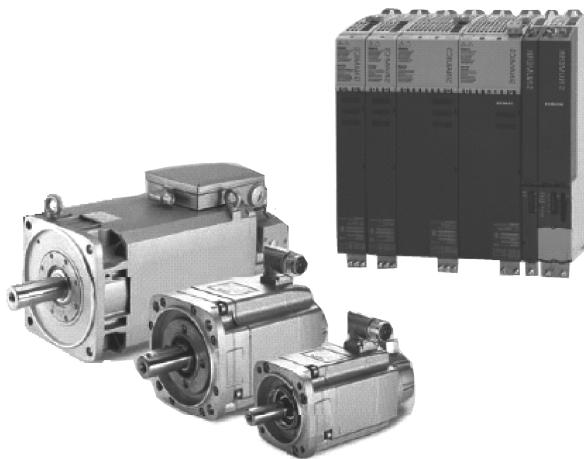


图 4.3-2 S120 驱动器

## 2. 802D 系统连接

802D 系统的连接总图如图 4.3-3 所示。分离型的 MDI 可通过 CNC 随机提供的电缆与 CNC (PCU/LCD) 连接; PP 72/48 紧凑型 I/O 模块通过 PROFIBUS 总线和 CNC (PCU/LCD) 连接, MCP 和机床 I/O 信号均连接到 PP 72/48 模块上, 其按键/指示灯的 I/O 地址可变。

早期的 802D 系统的伺服/主轴驱动器和 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块共用 PROFIBUS 总线, I/O 模块、进给轴驱动器、主轴驱动器连接成总线型网络拓扑结构。后期的 802Dsl 系列 CNC 的伺服总线和 I/O 模块总线分离, PP 72/48 紧凑型 I/O 模块仍使用 PROFIBUS 总线连



接，驱动器则采用了专门的 DRIVE CLiQ 伺服总线。

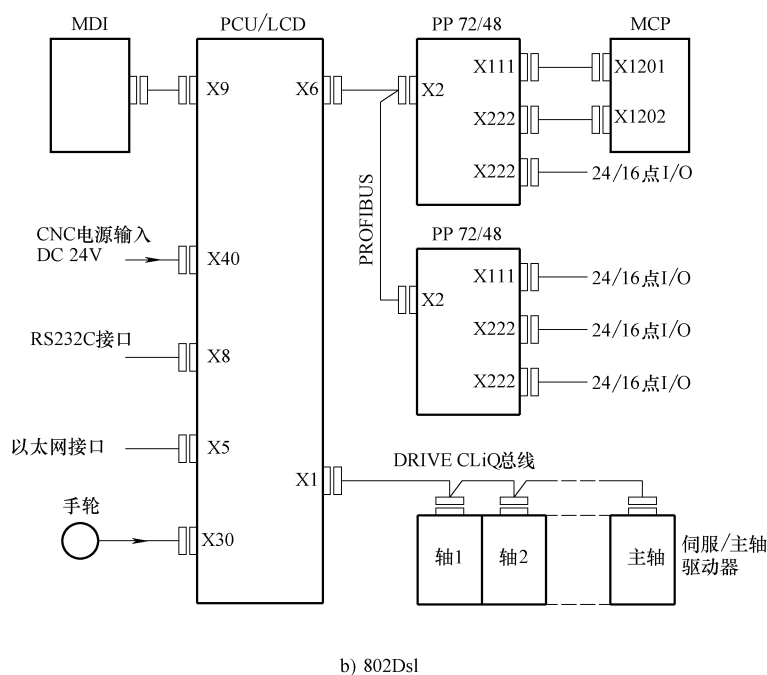
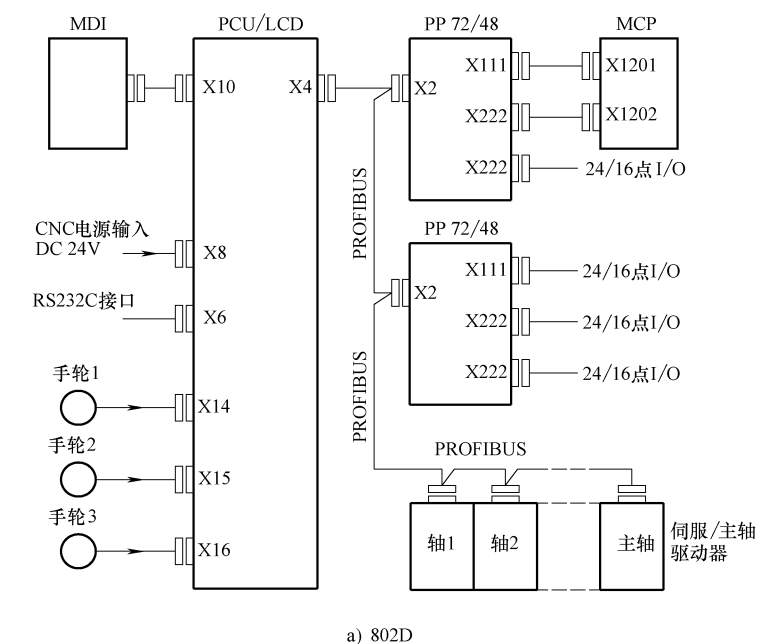


图 4.3-3 802D 系统连接

### 3. 机床 I/O 连接

802D 系列 CNC 可通过 SIEMENS 公司模板程序进行编程，模板程序对机床 I/O 信号的连接要求如表 4.2-1 所示。



表 4.3-1 802D 系列 CNC 机床 I/O 信号连接表

I/O 地址	信号名称		功能与用途
	车床	铣床	
In + 0. 0	急停		机床急停输入
In + 0. 1	+ X 超程		X 轴正向超程
In + 0. 2	- X 超程		X 轴负向超程
In + 0. 3	+ Z 超程	+ Y 超程	Z 或 Y 轴正向超程
In + 0. 4	- Z 超程	- Y 超程	Z 或 Y 轴负向超程
In + 0. 5	X 参考点减速	+ Z 超程	X 轴回参考点减速或 Z 轴正向超程
In + 0. 6	Z 参考点减速	- Z 超程	Z 轴回参考点减速或 Z 轴负向超程
In + 0. 7	用户使用	X 参考点减速	X 轴回参考点减速(铣床)
In + 1. 0	1#刀位	Y 参考点减速	刀架 1#刀位输入或 Y 轴回参考点减速
In + 1. 1	2#刀位	Z 参考点减速	刀架 2#刀位输入或 Z 轴回参考点减速
In + 1. 2	3#刀位	用户使用	刀架 3#刀位输入(车床)
In + 1. 3	4#刀位	用户使用	刀架 4#刀位输入(车床)
In + 1. 4	5#刀位	用户使用	刀架 5#刀位输入(车床)
In + 1. 5	6#刀位	用户使用	刀架 6#刀位输入(车床)
In + 1. 6	刀架电动机过载	用户使用	刀架电动机过载(车床)
In + 1. 7	用户使用	用户使用	用户使用
In + 2. 0	驱动器准备好		来自驱动器
In + 2. 1	驱动过载		来自驱动器
In + 2. 2	用户使用		用户使用
In + 2. 3	用户使用		用户使用
In + 2. 4	冷却液不足		冷却液位过低
In + 2. 5	冷却电动机过载		冷却电动机过载
In + 2. 6	润滑油不足		润滑油液位过低
In + 2. 7	润滑电动机过载		润滑电动机过载
Qm + 0. 0	驱动器主回路接通		接通驱动器电源模块主回路
Qm + 0. 1	驱动器急停		驱动器急停
Qm + 0. 2	驱动器使能		使能进给轴及主轴
Qm + 0. 3	X 轴制动器松开	Z 轴制动器松开	松开垂直进给轴制动器
Qm + 0. 4	冷却接通		接通冷却
Qm + 0. 5	润滑接通		接通润滑
Qm + 0. 6	用户使用		用户使用
Qm + 0. 7	用户使用		用户使用
Qm + 1. 0	刀架正转	用户使用	电动刀架正转(车床)
Qm + 1. 1	刀架反转	用户使用	电动刀架反转(车床)
Qm + 1. 2	用户使用		用户使用
Qm + 1. 3	用户使用		用户使用
Qm + 1. 4	用户使用		用户使用
Qm + 1. 5	用户使用		用户使用
Qm + 1. 6	用户使用		用户使用
Qm + 1. 7	用户使用		用户使用





I/O 地址表中的输入/输出起始地址  $n/m$ ，决定于 PP 72/48 模块的 I/O 连接。例如，当第 1 个 PP 72/48 的 I/O 连接器 X111、X222 用于 MCP 连接，X333 用于机床 I/O 信号连接时，X111、X222 上的 48 点输入 I0.0 ~ I5.7 和 32 点输出 Q0.0 ~ 3.7，将被用于 MCP 的按键和指示灯；X333 上的 24 点输入 I6.0 ~ I8.7 和 16 点输出 Q4.0 ~ Q5.7 用于机床 I/O 连接，故表中的输入起始地址  $n=6$ 、输出起始地址  $m=4$ 。如 PP 72/48 的 I/O 连接器 X111 用于机床 I/O 连接，X222、X333 用于 MCP 连接，则 X111 上的 24 点输入 I0.0 ~ I2.7 和 16 点输出 Q0.0 ~ Q1.7 用于机床 I/O 连接，故表中的输入起始地址  $n=0$ 、输出起始地址  $m=0$ ；而 MCP 的按键和指示灯 I/O 地址将为 I3.0 ~ I8.7 和 Q3.0 ~ Q5.7 等。

### 4.3.2 MCP I/O 信号

#### 1. I/O 信号地址

802D 的 MCP 和 802S/C 分离型 MCP 完全相同，机床操作面板的按键、指示灯布置可参见图 4.2-5a。

MCP 上实际安装有 27 个按键、2 个倍率调节开关（进给速度、主轴转速）、6 个 LED 指示灯，实际使用的 I/O 为 37/6 点。但由于 MCP 一般直接通过扁平电缆与 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块连接，PP 72/48 模块上用来连接 MCP 的 2 个 I/O 连接器一般不再用于机床 I/O 连接，因此，MCP 实际需要占用 6 字节 48 点输入和 4 字节 32 点输出。

802D 的 MCP 实际 I/O 地址及使用 802D 模板程序时的按键/指示灯的功能定义如表 4.3-2 所示，按键 K 和指示灯 L 的编号可参见图 4.2-5a。

表 4.3-2 802D 的 MCP I/O 地址表

I/O 地址	按键/指示灯	模板程序功能定义	
		车床	铣床
In + 0. 0	K1	驱动器起动/停止	
In + 0. 1	K2	功能由用户定义	
In + 0. 2	K3	功能由用户定义	
In + 0. 3	K4	手动换刀	功能由用户定义
In + 0. 4	K5	手动润滑	
In + 0. 5	K6	手动冷却	
In + 0. 6	K7	操作方式选择:增量进给	
In + 0. 7	K8	操作方式选择:JOG 进给	
In + 1. 0	K9	操作方式选择:回参考点	
In + 1. 1	K10	操作方式选择:自动	
In + 1. 2	K11	操作方式选择:单程序段	
In + 1. 3	K12	操作方式选择:MDA	
In + 1. 4	K13	主轴点动:正转	
In + 1. 5	K14	主轴点动:停止	
In + 1. 6	K15	主轴点动:反转	
In + 1. 7	K16	手动方向键: -4 (可改变,见下述)	



(续)

I/O 地址	按键/指示灯	模板程序功能定义	
		车床	铣床
In + 2. 0	K17	手动方向键: + X (可改变,见下述)	
In + 2. 1	K18	手动方向键: + Y (可改变,见下述)	
In + 2. 2	K19	手动方向键: - Z (可改变,见下述)	
In + 2. 3	K20	手动快速键: Rapid	
In + 2. 4	K21	手动方向键: + Z (可改变,见下述)	
In + 2. 5	K22	手动方向键: - Y (可改变,见下述)	
In + 2. 6	K23	手动方向键: - X (可改变,见下述)	
In + 2. 7	K24	手动方向键: + 4 (可改变,见下述)	
In + 3. 0	K25	CNC 复位键( RESET)	
In + 3. 1	K26	循环启动: C. START	
In + 3. 2	K27	进给保持: F. HOLD	
In + 3. 3 ~ In + 3. 7	—	输入被 MCP 占用,状态固定为 0	
In + 4. 0	F% - OVA	进给倍率调节 A	
In + 4. 1	F% - OVB	进给倍率调节 B	
In + 4. 2	F% - OVC	进给倍率调节 C	
In + 4. 3	F% - OVD	进给倍率调节 D	
In + 4. 4	F% - OVE	进给倍率调节 E	
In + 4. 5 ~ In + 4. 7	—	输入被 MCP 占用,状态固定为 0	
In + 5. 0	SP% - OVA	主轴倍率调节 A	
In + 5. 1	SP% - OVB	主轴倍率调节 B	
In + 5. 2	SP% - OVC	主轴倍率调节 C	
In + 5. 3	SP% - OVD	主轴倍率调节 D	
In + 5. 4	SP% - OVE	主轴倍率调节 E	
In + 5. 5 ~ In + 5. 7	—	输入被 MCP 占用,状态固定为 0	
Qm + 0. 0	L1	驱动器起动指示	
Qm + 0. 1	L2	功能由用户定义	
Qm + 0. 2	L3	功能由用户定义	
Qm + 0. 3	L4	刀架换刀指示	功能由用户定义
Qm + 0. 4	L5	润滑指示	
Qm + 0. 5	L6	冷却指示	
Qm + 0. 6	—	输出被 MCP 占用,状态固定为 0	
Qm + 0. 7	—	输出被 MCP 占用,状态固定为 0	
Qm + 1. 0 ~ Qm + 1. 7	—	输出被 MCP 占用,状态固定为 0	
Qm + 2. 0 ~ Qm + 2. 7	—	输出被 MCP 占用,状态固定为 0	
Qm + 3. 0 ~ Qm + 3. 7	—	输出被 MCP 占用,状态固定为 0	



2. 手动方向键定义

802D 不同版本 CNC 的子程序设计差异较大。在部分子程序库上，手动方向键可通过后述的用户数据 MD14510 [28] ~ [31] 的设定选择；在有的子程序库上，进给轴的手动方向键调整，则需要通过子程序 SRB34（802D\_ MCP）调用指令，利用子程序局部变量 LW8（Xcross）的赋值进行设定。

利用 SRB34 局部变量 LW8（Xcross）设定手动方向键时，Xcross 设定值所对应的手动方向键布局如图 4.3-4 所示。从机床结构布局和操作习惯方面考虑，图 4.3-4a 所示的布局较适合于刀架后置的数控车床（如斜床身车床）；图 4.3-4b 所示的布局较适合于刀架前置的数控车床（如平床身车床）。而图 4.3-4c 所示的布局则较适合于 Z 轴为主轴箱移动的立式数控镗铣床；图 4.3-4d 所示的布局，较适合于 Z 轴为工作台升降的立式升降台数控铣床。

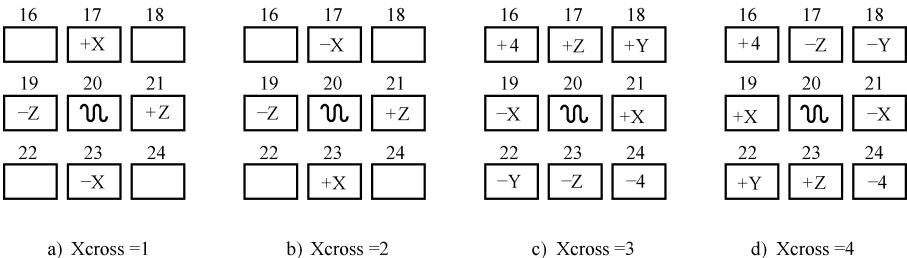


图 4.3-4 手动方向键布局选择

如果以上布局不适合实际的机床（如卧式数控镗铣床），则需要将子程序 SRB34（802D\_ MCP）的局部变量 Xcross 设定为 5，然后，通过用户程序的设计，改变 SRB34 的局部变量 LB2（PB\_ 2）的赋值，改变手动方向键的布局，相关内容可参见本书后述的程序设计典例部分。

3. 中间变量 V 定义

802D 的 MCP 具有明确的 I/O 地址，因此，在进行 PLC 程序设计时，实际并不需要使用变量 V。但是，为了使得信号的地址分布能够与 810D/840D 等 CNC 的 MCP 统一、增加程序的通用性，在 802D 子程序库中，可通过 MCP 处理子程序 SBR34（MCP\_ 802D），将 MCP 的 I/O 信号，转换成 9 字节/72 点 PLC 变量 VB1000 0000 ~ VB1000 0008；将 CNC 的工作状态信号，转换为 6 字节/48 点 PLC 变量 VB1100 0000 ~ VB1100 0005 的输出。

因此，如 PLC 程序调用了子程序 SBR34（MCP\_ 802D），变量 VB1000 0000 ~ VB1000 0008 可像 MCP 输入信号一样，用于 CNC 操作方式选择、倍率调节、手动进给等控制；而变量 VB1100 0000 ~ VB1100 0005 则可像 PLC 输出一样，用于 CNC 状态指示或监控。此外，由于以上变量只是 SBR34 子程序生成的中间状态，故在 PLC 程序中可进行读/写操作。

802D 的 MCP 信号转换变量 V 的含义如表 4.3-3 所示。

表 4.3-3 802D 的 MCP 中间变量 V 定义表

中间变量地址		变 量 含 义
MCP 按键输入转换	CNC 工作状态输出	
V1000 0000. 0	V1100 0000. 0	CNC 操作方式:AUTO( 自动)
V1000 0000. 1	V1100 0000. 1	CNC 操作方式:MDA
V1000 0000. 2	V1100 0000. 2	CNC 操作方式:JOG( 手动连续进给)



(续)

中间变量地址		变 量 含 义
MCP 按键输入转换	CNC 工作状态输出	
V1000 0000.3	V1100 0000.3	CNC 操作方式:单程序段
V1000 0000.4 <sup>①</sup>	V1100 0000.4	主轴倍率增/减:倍率增加
V1000 0000.5 <sup>①</sup>	V1100 0000.5	主轴倍率增/减:倍率为 100%
V1000 0000.6 <sup>①</sup>	V1100 0000.6	主轴倍率增/减:倍率减少
V1000 0000.7	V1100 0000.7	NC 停止;NC. STOP(即 F. HLOD)
V1000 0001.0	V1100 0001.0	未定义
V1000 0001.1	V1100 0001.1	CNC 操作方式:REPOS(重新启动)
V1000 0001.2	V1100 0001.2	CNC 操作方式:REF(手动回参考点)
V1000 0001.3	V1100 0001.3	存储器保护 3
V1000 0001.4	V1100 0001.4	主轴点动:正转
V1000 0001.5	V1100 0001.5	主轴点动:停止
V1000 0001.6	V1100 0001.6	主轴点动:反转
V1000 0001.7	V1100 0001.7	NC 启动;NC. START(即 C. START)
V1000 0002.0	V1100 0002.0	INC 进给增量:×1
V1000 0002.1	V1100 0002.1	INC 进给增量:×10
V1000 0002.2	V1100 0002.2	INC 进给增量:×100
V1000 0002.3	V1100 0002.3	INC 进给增量:×1000
V1000 0002.4	V1100 0002.4	存储器保护 0
V1000 0002.5	V1100 0002.5	CNC 操作方式:INC(增量进给)
V1000 0002.6	V1100 0002.6	驱动器停止
V1000 0002.7	V1100 0002.7	驱动器起动
V1000 0003.0	未定义	格雷码进给倍率调节输入;F%-OVA
V1000 0003.1	未定义	格雷码进给倍率调节输入;F%-OVB
V1000 0003.2	未定义	格雷码进给倍率调节输入;F%-OVC
V1000 0003.3	未定义	格雷码进给倍率调节输入;F%-OVD
V1000 0003.4	未定义	格雷码进给倍率调节输入;F%-OVE
V1000 0003.5	未定义	存储器保护 1
V1000 0003.6	未定义	存储器保护 2
V1000 0003.7	未定义	NC 复位(RESET)
V1000 0004.0	V1100 0004.0	MCPK1/L1
V1000 0004.1	V1100 0004.1	MCPK2/L2
V1000 0004.2	V1100 0004.2	MCPK3/L3
V1000 0004.3	V1100 0004.3	MCPK4/L4
V1000 0004.4	V1100 0004.4	MCPK5/L5
V1000 0004.5	V1100 0004.5	手动快速键(RAPID)



(续)

中间变量地址		变 量 含 义
MCP 按键输入转换	CNC 工作状态输出	
V1000 0004. 6	V1100 0004. 6	手动方向键: +4
V1000 0004. 7	V1100 0004. 7	手动方向键: -4
V1000 0005. 0	V1100 0005. 0	手动方向键: + X
V1000 0005. 1	V1100 0005. 1	手动方向键: - X
V1000 0005. 2	V1100 0005. 2	手动方向键: + Y
V1000 0005. 3	V1100 0005. 3	手动方向键: - Y
V1000 0005. 4	V1100 0005. 4	手动方向键: + Z
V1000 0005. 5	V1100 0005. 5	手动方向键: - Z
V1000 0005. 6	V1100 0005. 6	MCPK6/L6
V1000 0005. 7	V1100 0005. 7	未定义
V1000 0006. 0 ~ V1000 0006. 7	未定义	未定义
V1000 0007. 0 ~ V1000 0007. 7	未定义	未定义
V1000 0008. 0	未定义	格雷码主轴倍率调节输入;SP% -OVA
V1000 0008. 1	未定义	格雷码主轴倍率调节输入;SP% -OVb
V1000 0008. 2	未定义	格雷码主轴倍率调节输入;SP% -OVC
V1000 0008. 3	未定义	格雷码主轴倍率调节输入;SP% -OVD
V1000 0008. 4	未定义	格雷码主轴倍率调节输入;SP% -OVE
V1000 0008. 5 ~ V1000 0008. 7	未定义	未定义

① 在部分版本上不能使用。

4.3.3 参数与报警定义

802D 系列 CNC 使用 SIEMENS 子程序库及模板程序时，需要按以下要求，对 CNC 机床参数（Machine Data）中的用户数据（USER\_ DATA）MD14510 和 MD14512 进行设定。同样，对 802D 不同版本的子程序库，用户数据设定的差异较大。

1. MD14510 设定

用户数据 MD14510 的格式规定为十进制正整数，使用 802D 系列 CNC 子程序库及模板程序时，需要设定 MD14510 [16] ~ [31] 中的 11 个用户数据，参数作用与设定要求如表 4.3-4 所示。

表 4.3-4 802D 用户数据 MD14510 设定表

机床参数	作 用	设定范围	单位	设定要求
MD14510[16]	机床类型选择	0 ~ 2	—	0:车床;1:镗铣床;2:其他
MD14510[20]	电动刀架刀位数	4、6 或 8	—	仅用于车床
MD14510[21]	最大选刀时间	30 ~ 200	0.1 s	电动刀架允许的最大选刀时间
MD14510[22]	刀架反转锁紧延时	5 ~ 30	0.1 s	仅用于车床
MD14510[23]	主轴制动时间	5 ~ 200	0.1 s	主轴制动信号 Q1.4 输出保持时间



(续)

机床参数	作用	设定范围	单位	设定要求
MD14510[24]	自动润滑间隔	5 ~ 300	min	自动润滑的起动间隔
MD14510[25]	自动润滑时间	10 ~ 200	0.1 s	润滑接通信号的保持时间
MD14510[28] <sup>①</sup>	+ X 键定义	16 ~ 30	—	与 RAPID 键对称位置为 - X 键
MD14510[29] <sup>①</sup>	+ Y 键定义	16 ~ 30	—	与 RAPID 键对称位置为 - Y 键
MD14510[30] <sup>①</sup>	+ Z 键定义	16 ~ 30	—	与 RAPID 键对称位置为 - Z 键
MD14510[31] <sup>①</sup>	+ 4 键定义	16 ~ 30	—	与 RAPID 键对称位置为 - 4 键

① 在部分版本上需要通过 SRB34 局部变量 Xcross 设定。

## 2. MD14512 设定

用户数据 MD14512 的格式规定为二进制位，使用 802D 系列 CNC 子程序库及模板程序时，需要设定 MD14512 [16] ~ [18]，参数位的功能在不同的子程序版本上可能有所不同，设定为 1 时的作用如表 4.3-5 所示。

表 4.3-5 802D 用户数据 MD14512 设定表

机床参数号	设定位	作用与设定要求
MD14512[16]	bit0	1: CNC 第 1 轴控制生效; 或: 机床调试(忽略来自驱动器的准备好信号, 同 802C)
	bit1	1: CNC 第 2 轴控制生效; 或: 主轴停止后自动撤销主轴使能输出信号(同 802C)
	bit2	1: CNC 第 3 轴控制生效; 或: 主轴使用外部驱动器控制时, 伺服关闭前需要检测外部主轴停止信号
	bit3	1: CNC 第 4 轴控制生效; 或: 主轴倍率开关生效
	bit4	1: CNC 第 5 轴控制生效; 或: 主轴手动时, 按键需要保持
	bit5 ~ bit7	未定义
MD14512[17]	bit0	第 1 轴回参考点时的进给倍率开关无效
	bit1	第 2 轴回参考点时的进给倍率开关无效
	bit2	第 3 轴回参考点时的进给倍率开关无效
	bit3	第 4 轴回参考点时的进给倍率开关无效
	bit4	第 5 轴回参考点时的进给倍率开关无效; 或: X 轴带制动器
	bit5	不使用; 或: Y 轴带制动器
	bit6	不使用; 或: Z 轴带制动器
	bit7	不使用
MD14512[18]	bit0	1: 主轴倍率开关无效; 或: 不使用
	bit1	1: 机床调试、维修时, 可通过指定按键松开垂直轴的制动器
	bit2	1: 首次润滑在开机时进行; 0: 经过自动润滑起动间隔时间后进行
	bit3	MCP 的 K1 键用于伺服起动
	bit4	1: MD14510[16] 设定为“0”、主轴使用外部驱动器控制时, 伺服关闭前需要检测外部主轴停止信号; 或: X 轴的正/负超程开关输入信号公用(同 802C)



(续)

机床参数号	设定位	作用与设定要求
MD14512[18]	bit5	不使用;或:Y 轴的正/负超程开关输入信号公用(同 802C)
	bit6	1:硬件限位通过强电路实现,但需按规定连接 PLC 输入信号;0:硬件限位直接连接到 PLC 的输入上;或:Z 轴的正/负超程开关输入信号公用(同 802C)
	bit7	1:硬件限位直接连接 PLC 输入时,正/负向硬件限位使用共同的输入信号;0:正/负向硬件限位需要分别连接到 PLC 输入上;或:硬件限位通过强电路实现(按规定连接 PLC 输入信号,同 802C)

3. 报警定义

802D 系列 CNC 在使用 SIEMENS 公司提供的子程序库时,可通过子程序直接产生表 4.3-6 所示的报警。

表 4.3-6 使用模板程序的机床报警显示

报警号	接口信号	报警文本信息
7000 16	V1600 0002. 0	驱动器未就绪
7000 17	V1600 0002. 1	电源模块 $I^2t$ 报警
700018	V16000002. 2	冷却电动机过载
700019	V16000002. 3	冷却液位过低
700020	V16000002. 4	润滑电动机过载
7000 21	V1600 0002. 5	润滑液位过低
7000 22	V1600 0002. 6	刀架电动机过载
7000 23	V1600 0002. 7	编程刀具号大于刀架最大刀位数
7000 24	V1600 0003. 0	802D 机床控制面板故障
7000 25	V1600 0003. 1	驱动器优化时抱闸已释放
7000 26	V1600 0003. 2	无刀位检测信号

如果 CNC 同时安装了报警文本文件 (ALCU. TXT), 则可在 LCD 上显示报警号的同时, 显示报警文本信息; 如需要, 还可以通过 PLC 程序的设计, 在 CNC 报警文本中插入 32 位二进制格式的变量, 有关内容可参见 5.1 节。802D 的机床报警响应和清除条件, 同样可通过 CNC 用户数据 MD14516 [0] ~ [31] 进行设定, 有关内容可参见 4.2.3 节说明。

4.4 808D 模板程序与使用

4.4.1 CNC 连接要求

1. 808D 系统组成

808D 是 SIEMENS 公司近年针对中国市场特殊需要所开发的国产普及型数控机床配套



产品，具有 2 轴（T 型）或 3 轴（M 型）位置脉冲输出和主轴模拟量输出功能，进给驱动通常配套 SIEMENS 的 SINAMICS V60/V70 通用交流伺服驱动器和 1FL5/1FL6 系列伺服电动机；主轴驱动可选配通用变频器，并可连接主轴编码器，以实现螺纹车削和攻螺纹加工。

808D 系统的主要组成部件如图 4.4-1 所示，其 CNC 又称 PPU（Panel Processing Unit）。系统采用了 CNC/LCD/MDI 集成结构，机床操作面板（MCP）可通过 USB 接口与 CNC/LCD/MDI 单元连接，其 I/O 信号可由 PLC 操作系统转换为数据块 DB1000、DB1100 的 CNC-PLC 接口信号；机床 I/O 直接连接到 CNC/LCD/MDI 单元上，PLC 最大可连接 72/48 点 I/O。

由于 808D 是一种普及型数控，CNC 只能输出位置给定脉冲，而不能对进给轴的位置和速度实现闭环控制，因此，它实际上和国产普及型 CNC 一样，可使用任何公司生产的通用伺服驱动器。

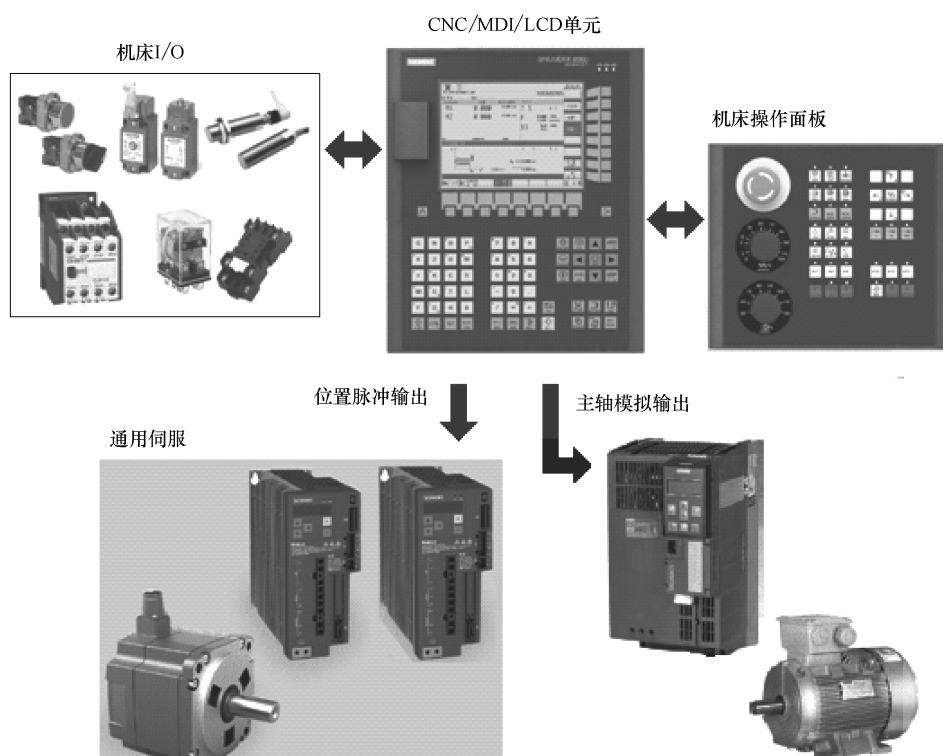


图 4.4-1 808D 系统组成

## 2. 808D 系统连接

808D 系列 CNC 的连接总图如图 4.4-2 所示。机床操作面板通过 USB 电缆与 CNC/LCD/MDI 单元连接，机床 I/O 信号连接到集成 CNC 单元上。

## 3. 机床 I/O 连接

当 PLC 程序使用 SIEMENS 公司提供的模板程序时，808D 的机床 I/O 信号应按表 4.4-1 连接。



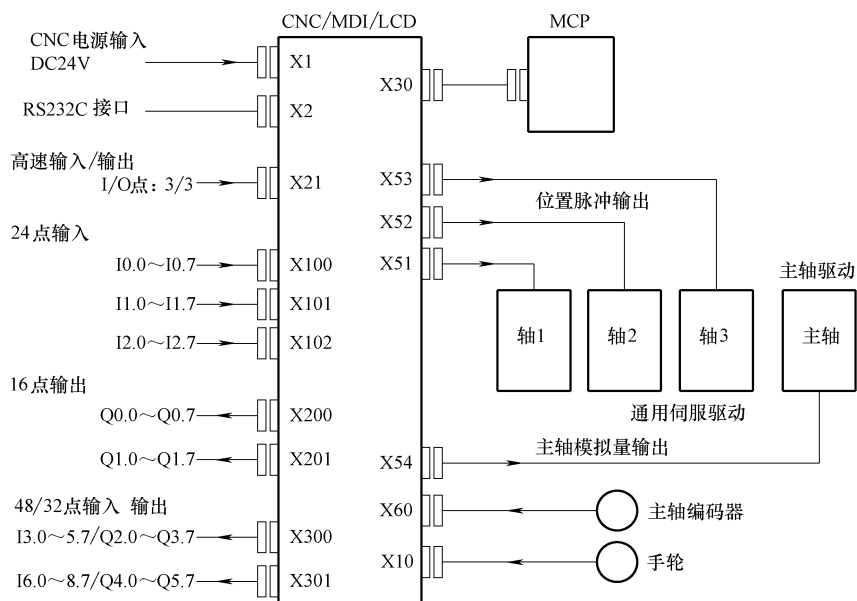


图 4.4-2 808D 系统连接

表 4.4-1 808D 系列 CNC 机床 I/O 信号连接表

I/O 地址	信号名称		功能与用途
	车床(808TD)	铣床(808MD)	
I0.0	急停		机床急停输入
I0.1	+ X 超程		X 轴正向超程
I0.2	- X 超程		X 轴负向超程
I0.3	用户使用	+ Y 超程	Y 轴正向超程
I0.4	用户使用	- Y 超程	Y 轴负向超程
I0.5	+ Z 超程		Z 轴正向超程
I0.6	- Z 超程		Z 轴负向超程
I0.7	X 参考点		X 轴参考点
I1.0	用户使用	Y 参考点	Y 轴参考点
I1.1	Z 参考点		Z 轴参考点
I1.2	1#刀位	刀库计数	刀架 1#位/刀库计数输入
I1.3	2#刀位	刀库前位(主轴侧)	刀架 2#位/刀库前位到达
I1.4	3#刀位	刀库后位(原位)	刀架 3#位/刀库后位到达
I1.5	4#刀位	刀具松开	刀架 4#位/刀具松开到位
I1.6	5#刀位	刀具夹紧	刀架 5#位/刀具夹紧到位
I1.7	6#刀位	用户使用	刀架 6#位
I2.0	刀架电动机过载	用户使用	刀架电动机过载(车床)
I2.1	用户使用		用户使用
I2.2	用户使用		用户使用



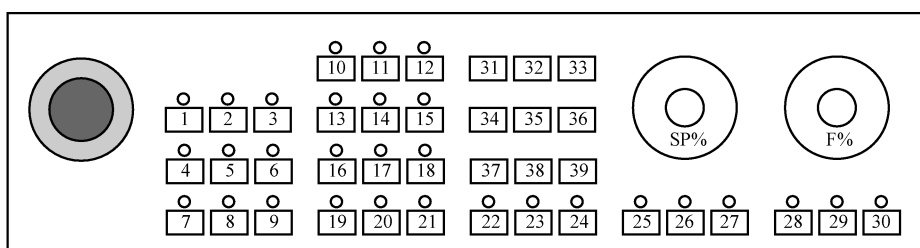
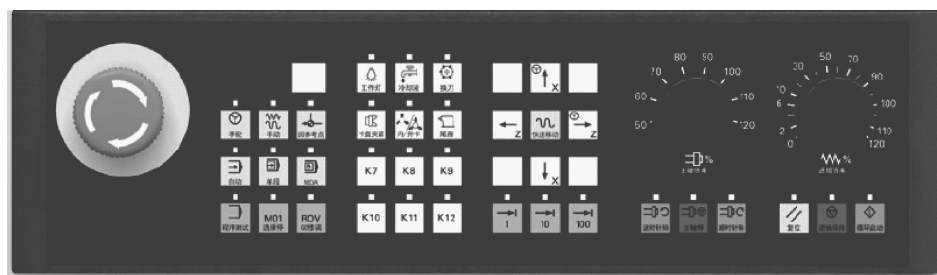
(续)

I/O 地址	信号名称		功能与用途
	车床(808TD)	铣床(808MD)	
I2.3	卡盘松夹	用户使用	卡盘松夹(车床)
I2.4	冷却液不足		冷却液位过低
I2.5	冷却电动机过载		冷却电动机过载
I2.6	润滑油不足		润滑油位过低
I2.7	润滑电动机过载		润滑电动机过载
I3.0 ~ I3.7	用户使用		用户使用
I4.0	X 轴手轮选择		手轮盒:X 轴选择
I4.1	用户使用	Y 轴手轮选择	手轮盒:Y 轴选择
I4.2	Z 轴手轮选择		手轮盒:Z 轴选择
I4.3	用户使用	手轮盒 4 轴选择	手轮盒:4 轴选择
I4.4	手轮每格移动量 × 1		手轮盒:每格移动量 × 1
I4.5	手轮每格移动量 × 10		手轮盒:每格移动量 × 10
I4.6	手轮每格移动量 × 100		手轮盒:每格移动量 × 100
I4.7	手轮操作使能		手轮盒:手轮操作使能
Q0.0	机床照明		机床照明
Q0.1	用户使用		用户使用
Q0.2	尾架向前	切屑传送带向前	车床尾架/铣床传送带向前
Q0.3	尾架向后	切屑传送带后退	车床尾架/铣床传送带向后
Q0.4	冷却接通		接通冷却
Q0.5	润滑接通		接通润滑
Q0.6	卡盘夹紧	防护门打开	卡盘夹紧/防护门打开
Q0.7	卡盘松开	用户使用	车床卡盘松开
Q1.0	刀架正转	刀库正转	电动刀架/刀库正转
Q1.1	刀架反转	刀库反转	电动刀架/刀库反转
Q1.2	用户使用	刀库向前(主轴侧)	刀库向前
Q1.3	用户使用	刀库向后(原位)	刀库向后
Q1.4	主轴低速档	刀具松开	车床主轴低速档/刀具松开
Q1.5	主轴高速档	用户使用	车床主轴高速档
Q1.6	用户使用		用户使用
Q1.7	手轮生效		手轮盒:手轮生效指示

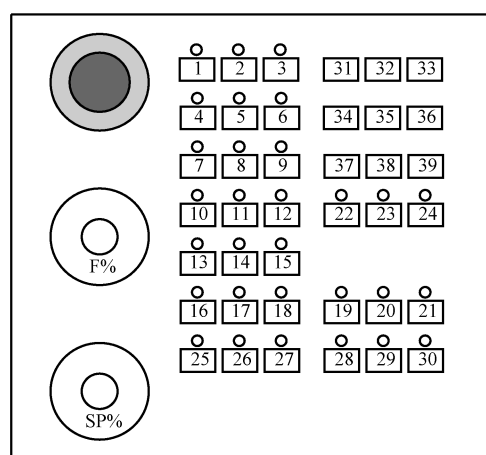
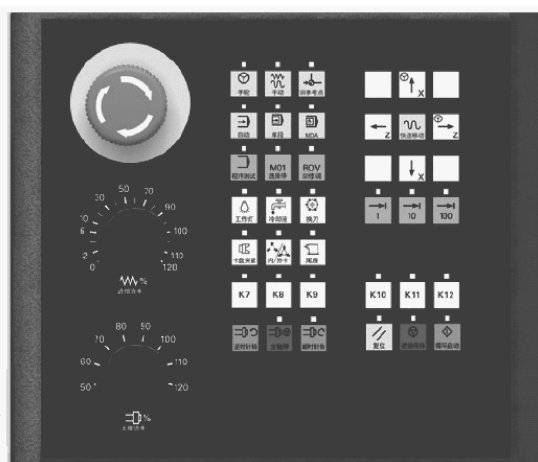
#### 4.4.2 MCP I/O 信号

##### 1. 面板布置

808D 系列 CNC 可配套多种 SIEMENS 公司机床操作面板, 其中, 以图 4.4-3 所示的 39 键水平或垂直布置的两种面板为常用, 两者只是按键和倍率开关的位置有所不同。



a) 水平布置



b) 水平布置

图 4.4-3 机床操作面板布置图

808D 的 MCP 共有 30 个带 LED 指示灯的按键、9 个无指示按键、2 个倍率调节开关（进给速度、主轴转速）；实际需要使用 49/30 点 I/O；急停开关一般用于强电控制，不占 I/O 点。

## 2. I/O 信号地址

MCP 面板直接通过 USB 接口与 PPU 连接，其 I/O 信号由 PLC 操作系统内部传送，在 PLC 程序中，它们需要以数据存储器（DB）的形式编程。

为了能够与不同的 MCP 配套，808D 预留了数据块 DB1000 的 10 字节/80 点只读数据存储器 DBB0 ~ DBB9 作为 MCP 输入编程地址，以及数据块 DB1100 的 13 字节/104 点可读写数据存储器 DBB0 ~ DBB12 作为 MCP 的 LED 输出编程地址。当使用 SIEMENS 模板程序时，39



键 MCP 的按键和指示灯功能定义如表 4.4-2 所示。

表 4.4-2 808D 的 MCP 面板编程地址表

数据存储地址		按键/LED	功 能	
字节	位		车床	铣床
按键输入 DB1000. DBB0;  LED 输出 DB1100. DBB0	DBX. 0	K1/L1	操作方式选择;手轮	
	DBX. 1	K2/L2	操作方式选择;JOG(手动连续进给)	
	DBX. 2	K3/L3	操作方式选择;REF(回参考点)	
	DBX. 3	K4/L4	程序运行控制;单程序段	
	DBX. 4	K5/L5	操作方式选择;AUTO(自动)	
	DBX. 5	K6/L6	操作方式选择;MDA(手动数据输入)	
	DBX. 6	K7/L7	操作方式选择;程序测试	
	DBX. 7	K8/L8	程序运行控制;M01 选择暂停	
按键输入 DB1000. DBB1;  LED 输出 DB1100. DBB1	DBX. 0	K9/L9	快速倍率控制;ROV 有效	
	DBX. 1	K10/L10	机床照明	
	DBX. 2	K11/L11	手动冷却	
	DBX. 3	K12/L12	手动换刀	防护门开/关
	DBX. 4	K13/L13	卡盘松/夹	刀库正转
	DBX. 5	K14/L14	卡盘内/外爪选择	刀库回零
	DBX. 6	K15/L15	尾架前/后	刀库反转
	DBX. 7	K16/L16	—	排屑向前
按键输入 DB1000. DBB2;  LED 输出 DB1100. DBB2	DBX. 0	K17/L17	—	排屑向后
	DBX. 1	K18/L18	—	刀库向前
	DBX. 2	K19/L19	—	刀库向后
	DBX. 3	K20/L20	—	刀具松开
	DBX. 4	K21/L21	—	刀具夹紧
	DBX. 5	K22/L22	增量进给倍率选择;×1	
	DBX. 6	K23/L23	增量进给倍率选择;×10	
	DBX. 7	K24/L24	增量进给倍率选择;×100	
按键输入 DB1000. DBB3;  LED 输出 DB1100. DBB3	DBX. 0	K25/L25	主轴正转	
	DBX. 1	K26/L26	主轴停止	
	DBX. 2	K27/L27	主轴反转	
	DBX. 3	K28/L28	CNC 复位	
	DBX. 4	K29/L29	循环启动(C. START)	
	DBX. 5	K30/L30	进给保持(F. HOLD)	
	DBX. 6	K31	—	手动方向键; - 4
	DBX. 7	K32	手动方向键; + X	手动方向键; + X
按键输入 DB1000. DBB4;	DBX. 0	K33	—	手动方向键; + Y
	DBX. 1	K34	手动方向键; - Z	手动方向键; - Z

(续)

数据存储地址		按键/LED	功 能	
字节	位		车床	铣床
按键输入 DB1000. DBB4	DBX. 2	K35	手动快速键; RAPID	手动快速键; RAPID
	DBX. 3	K36	手动方向键; + Z	手动方向键; + Z
	DBX. 4	K37	—	手动方向键; - Y
	DBX. 5	K38	手动方向键; - X	手动方向键; - X
	DBX. 6	K39	—	手动方向键; + 4
	DBX. 7	—	—	—
DB1000. DBB5 ~ 7	DBX. 0 ~ 7	—	—	
倍率输入 DB1000. DBB8	DBX. 0	F%	进给倍率调节 A	
	DBX. 1	F%	进给倍率调节 B	
	DBX. 2	F%	进给倍率调节 C	
	DBX. 3	F%	进给倍率调节 D	
	DBX. 4	F%	进给倍率调节 E	
	DBX. 5 ~ 7	—	—	
倍率输入 DB1000. DBB9	DBX. 0	SP%	主轴倍率调节 A	
	DBX. 1	SP%	主轴倍率调节 B	
	DBX. 2	SP%	主轴倍率调节 C	
	DBX. 3	SP%	主轴倍率调节 D	
	DBX. 4	SP%	主轴倍率调节 E	
	DBX. 5 ~ 7	—	—	
DB1000. DBB10	DBX. 0 ~ 7	—	—	

4.4.3 参数与报警定义

808D 系列 CNC 使用 SIEMENS 子程序库及模板程序时，需要按照以下要求，对 CNC 机床参数（Machine Data）中的用户数据（USER\_ DATA）MD14510 和 MD14512 进行正确的设定。

1. MD14510 设定

用户数据 MD14510 的格式规定为十进制正整数，使用 808D 系列 CNC 子程序库及模板程序时，需要设定 MD14510 [12] ~ [31] 中的 7 个用户数据，参数作用与设定要求如表 4.4-3 所示。

表 4.4-3 808D 用户数据 MD14510 设定表

机床参数	作 用	设定范围	单位	设定要求
MD14510[12]	方向键布局	1 ~ 5	—	参见 4.3.2 节
MD14510[13]	主轴制动时间	5 ~ 200	0.1 s	外部主轴制动时间
MD14510[20]	刀架或刀库的刀位数	—	—	
MD14510[21]	刀架反转锁紧延时	5 ~ 30	0.1 s	仅用于车床
MD14510[22]	最大选刀时间	30 ~ 200	0.1 s	刀架刀库选刀允许最大时间
MD14510[24]	自动润滑间隔	5 ~ 300	min	自动润滑的启动间隔
MD14510[25]	自动润滑时间	10 ~ 200	0.1 s	润滑接通信号的保持时间



## 2. MD14512 设定

用户数据 MD14512 的格式规定为二进制位，使用 808D 系列 CNC 子程序库及模板程序时，需要设定 MD14512 [16] ~ [19] 共 4 个用户数据（不同版本可能稍有区别），参数作用和设定要求如表 4.4-4 所示。

表 4.4-4 808D 用户数据 MD14512 设定表

机床参数号	设定位	作用与设定要求
MD14512[16]	bit0	未定义
	bit1	铣床排屑控制;0:无效;1:有效
	bit2	铣床防护门控制;0:无效;1:有效
	bit3	带防护门的铣床, M00/01 关门自动启动功能;1:有效;0:无效
	bit4	X 轴旋转监控;0:无效;1:有效
	bit5	Y 轴旋转监控;0:无效;1:有效
	bit6	Z 轴旋转监控;0:无效;1:有效
	bit7	HMI 手轮选择信号;0:无效;1:有效
MD14512[17]	bit0	车床刀架、加工中心刀库控制;0:无效;1:有效
	bit1	车床刀架反转锁紧功能;0:无效;1:有效
	bit2	车床尾架控制;0:无效;1:有效
	bit3	手轮盒控制;0:无效;1:有效
	bit4 ~ bit7	未定义
MD14512[18]	bit0、bit1	未定义
	bit2	1:首次润滑在开机时进行;0:经过自动润滑启动间隔时间后进行
	bit3	未定义
	bit4	外部主轴停止信号;0:无效;1:有效
	bit5	主轴定向准停方向;0:正转;1:反转
	bit6	X/Y/Z 轴超程开关输入形式;1:按规定方式连接;0:独立连接到输入
	bit7	X/Y/Z 轴的正/负超程开关输入信号;1:公用;0:独立
MD14512[19]	bit0	未定义
	bit1	外部主轴制动功能;0:无效;1:有效
	bit2	关机密码保持功能;0:无效;1:有效
	bit3 ~ bit6	未定义
	bit7	manual machine plus 选择功能;0:无效;1:有效

## 3. 报警定义

808D 系列 CNC 在使用 SIEMENS 公司提供的子程序或模板程序时，在机床动作出错时，可通过 NCK-PLC 接口信号 DB1600.DBX0.0 ~ DBX7.7 产生表 4.4-5 所示的报警（不同版本可能稍有区别）。

如果 CNC 同时安装了报警文本文件（ALCU.TXT），则可在 LCD 上显示报警号的同时，显示报警文本信息。如需要，还可以通过 PLC 程序的设计，在 CNC 报警文本中插入 32 位二进制格式的变量，有关内容可参见 5.1 节。



表 4.4-5 使用子程序库的机床报警显示

报警号	接口信号	报警文本信息
7000 10	DB1600. DBX1. 2	HHU 有效
7000 11	DB1600. DBX1. 3	刀架锁紧超时
7000 12	DB1600. DBX1. 4	主轴制动进行中
7000 13	DB1600. DBX1. 5	卡盘放松状态,操作禁止
7000 14	DB1600. DBX1. 6	换挡超时
7000 15	DB1600. DBX1. 7	换挡位置信号错误
7000 16	DB1600. DBX2. 0	驱动器未就绪
7000 17	DB1600. DBX2. 1	主轴或程序运行时,操作卡盘
7000 18	DB1600. DBX2. 2	冷却电动机过载
7000 19	DB1600. DBX2. 3	冷却液位低
7000 20	DB1600. DBX2. 4	润滑电动机过载
7000 21	DB1600. DBX2. 5	润滑油位低
7000 22	DB1600. DBX2. 6	刀架电动机过载
7000 23	DB1600. DBX2. 7	编程刀具号大于刀架最大刀位数
7000 24	DB1600. DBX3. 0	最大刀号设置错误
7000 25	DB1600. DBX3. 1	刀架无位置检测信号
7000 26	DB1600. DBX3. 2	换刀监控时间超过
7000 27	DB1600. DBX3. 3	旋转监控生效,请重新返回参考点
7000 28	DB1600. DBX3. 4	刀具未锁紧
7000 29	DB1600. DBX3. 5	第1 维修任务提示信息
7000 30	DB1600. DBX3. 6	第1 维护计划报警
7000 31	DB1600. DBX3. 7	刀库不在主轴及原始位
7000 32	DB1600. DBX4. 0	刀库在主轴及原始位
7000 33	DB1600. DBX4. 1	刀库或主轴未准备好但按下刀库旋转键
7000 34	DB1600. DBX4. 2	程序段搜索后主轴上面的刀号与编程刀号不一致
7000 35	DB1600. DBX4. 3	在监控时间内,主轴为到达刀具释放位置
7000 36	DB1600. DBX4. 4	在监控时间内,主轴为到达刀具锁紧位置
7000 37 ~ 7000 39	DB1600. DBX4. 5 ~ 4. 7	未定义
7000 40 ~ 7000 47	DB1600. DBX5. 0 ~ 5. 7	未定义
7000 48	DB1600. DBX6. 0	未定义
7000 49	DB1600. DBX6. 1	X 轴参考点未到达
7000 50	DB1600. DBX6. 2	Z 轴参考点未到达
7000 51	DB1600. DBX6. 3	主轴起动方向错误
7000 52	DB1600. DBX6. 4	JOG 操作监控超时
7000 53	DB1600. DBX6. 5	主轴倍率不在 100%
7000 54	DB1600. DBX6. 6	主轴未起动
7000 55	DB1600. DBX6. 7	进给倍率 = 0%
7000 56	DB1600. DBX7. 0	加工螺纹时无法更改主轴方向
7000 57 ~ 58	DB1600. DBX7. 1 ~ 7. 2	未定义
7000 59	DB1600. DBX7. 3	安全门未关闭,不能启动 NC 程序
7000 60	DB1600. DBX7. 4	通道不处于复位状态,不能切换程序测试
7000 61 ~ 63	DB1600. DBX7. 5 ~ 7. 7	未定义



808D 的机床报警响应和清除条件，可通过 CNC 用户数据 MD14516 [0] ~ [31] 进行设定，有关内容可参见 4.2.3 节说明。

## 4.5 828D 模板程序与使用

### 4.5.1 CNC 连接要求

#### 1. 828D 系统组成

828D 是 SIEMENS 公司近年开发、用于普通数控机床控制的全功能型 CNC 产品，系统的主要组成部件如图 4.5-1 所示。

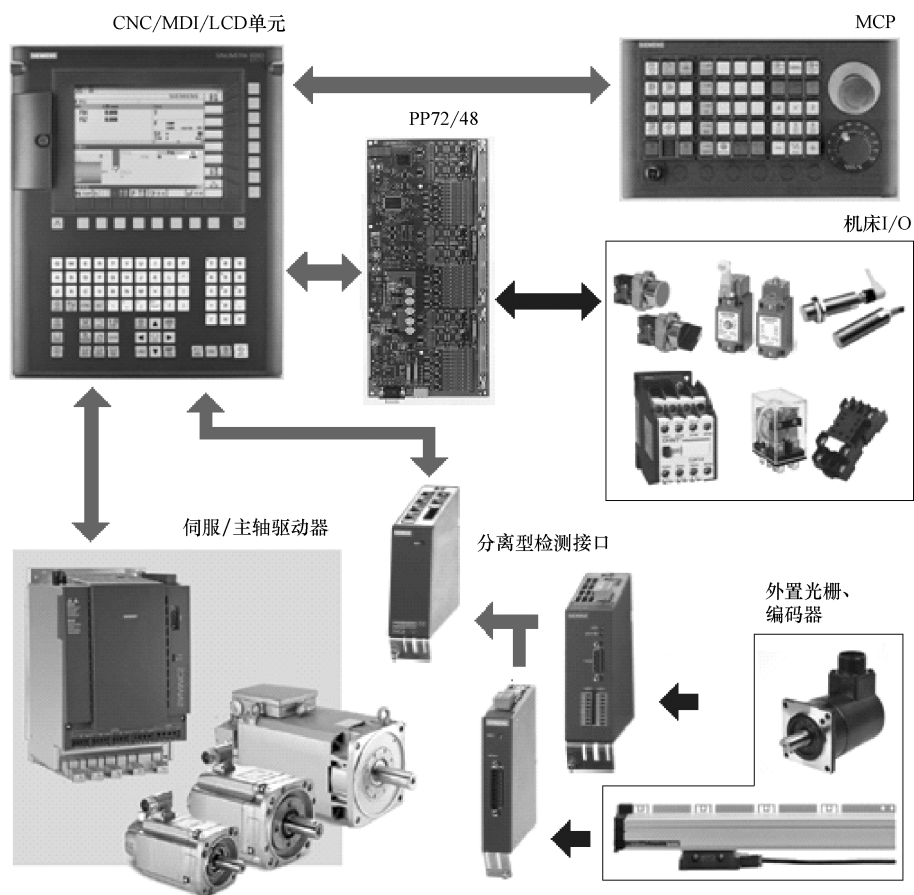


图 4.5-1 828D 系统组成

828D 的 CNC 又称 PPU（Panel Processing Unit），它和 LCD、MDI 集成一体，构成 CNC 基本单元，带网络连接接口的机床操作面板（MCP）可直接与基本单元连接。828D 系统一般采用 SINAMICS S120Combi 系列紧凑型伺服/主轴集成驱动器，并配套经济型的 1FK7 系列伺服电动机和 1PH8 系列主轴电动机，驱动器和 CNC 基本单元可通过 Drive-CliQ 总线连接。





如果需要，CNC 基本单元还可通过 Drive-CLiQ 总线扩展接口连接第 6~8 轴驱动器和分离型检测单元；分离型检测单元可用于外置式光栅和编码器等位置测量装置的连接。

828D 系列 CNC 有 BASIC 基本型（PPU240/241）、828D 标准型（PPU260/261）和 828D 高性能型（PPU280/281）3 种规格。基本型为 8.4in 彩色 TFT 显示，最大可控制 5 轴（4 轴伺服 + 主轴或 5 轴伺服）；标准型为 10.4in 彩色 TFT 显示，最大可控制 6 轴（5 轴伺服 + 主轴或 6 轴伺服）；高性能型为 10.4in 彩色显示，可通过扩展模块实现 8 轴（7 轴伺服 + 主轴或 8 轴伺服）控制。

## 2. 828D 系统连接

828D 系列 CNC 的连接总图如图 4.5-2 所示。CNC 基本单元带有两个 PROFINET 网络接口 PN1 和 PN2。PN1 用来连接带网络接口的机床操作面板，如 MCP 310C PN、MCP483C PN 等。PN2 用来连接带网络接口的紧凑型 I/O 模块 PP 72/48D PN，828D 基本型最大可连接 3 个 PP 72/48D PN 模块，最大 I/O 点数为 216/144 点；标准型最大可连接 4 个 PP 72/48D PN 模块，最大 I/O 点数为 288/192 点；高性能型最大可连接 5 个 PP 72/48D PN 模块，最大 I/O 点数为 360/240 点。

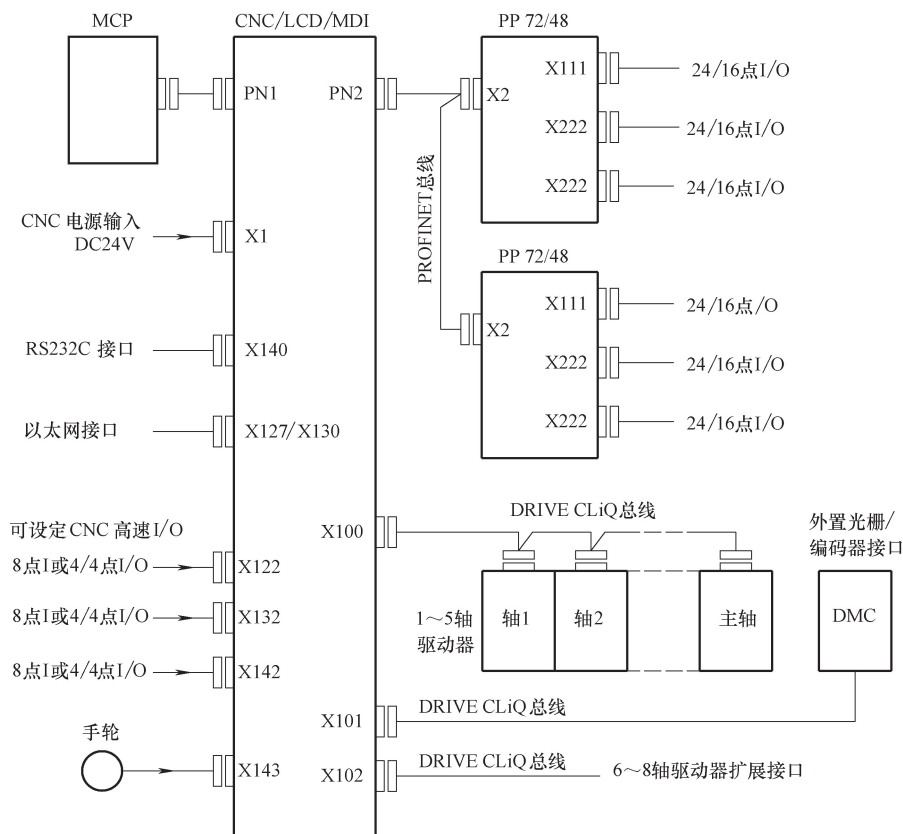


图 4.5-2 828D 系统连接

## 3. 机床 I/O 连接

828D 系列 CNC 的机床 I/O 需要连接到紧凑型 I/O 模块 PP 72/48D PN 上，当 PLC 程序使用 SIEMENS 公司提供的子程序库和模板程序时，应按照子程序库的要求连接机床 I/O 信

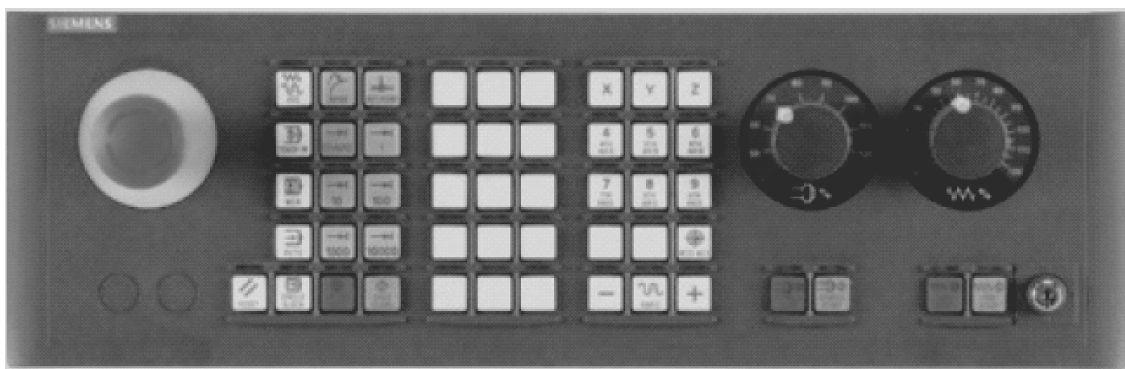
号，并在子程序调用指令中定义局部变量的地址，有关内容可参见 828D 子程序说明。

## 4.5.2 MCP 和手轮盒

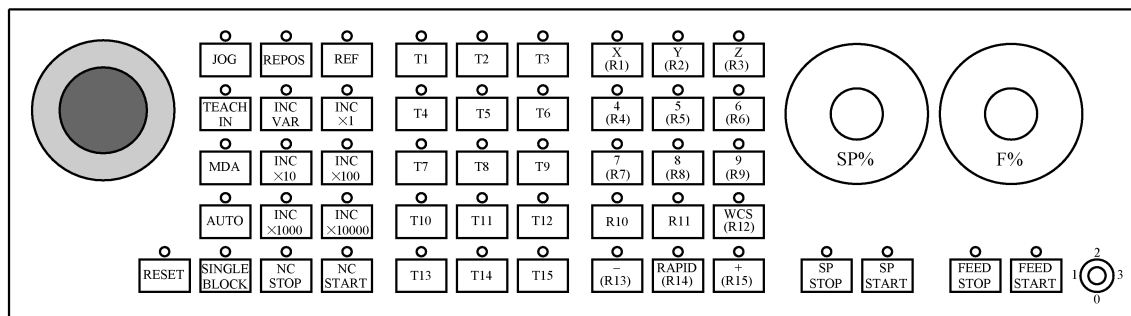
828D 系列 CNC 一般选配 SIEMENS 公司 802Dsl/828D/810D/840Dsl 等 CNC 通用的、带网络连接接口的标准机床操作面板。根据 CNC 基本单元的结构（MDI 水平布置或垂直布置），常用的机床操作面板有 MCP 483C PN 和 MCP 310C PN 两种，两种面板都带有 SIEMENS 手轮盒连接接口，可用来连接悬挂式手轮操作盒。MCP 483C PN 和 MCP 310C PN 的面板布置及 PLC 编程地址分别介绍如下。

### 1. MCP 483C PN 面板

MCP 483C PN 面板如图 4.5-3 所示，面板通常与水平布置的 828D 系统配套使用。MCP 483C PN 面板安装有 50 个带 LED 的按键、2 个用于进给倍率和主轴倍率调节的倍率开关、1 个 4 位存储器保护旋钮，其输入/输出可通过 PLC 操作系统直接转换为 PLC 的 I/O 信号。MCP 483CPN 面板还带有 2 个用户按钮安装孔和 1 个急停开关，用户按钮和急停开关一般用于 CNC 或驱动器的电源起/停、机床急停等强电回路控制。



a) 外形



b) 键/LED定义

图 4.5-3 MCP 483C PN 面板

MCP 483C PN 上的 CNC 操作方式选择、CNC 起动/停止、主轴起动/停止、进给起动/停止等按键，存储器保护旋钮，以及进给倍率、主轴倍率调节开关的功能通常固定；用于坐标轴和方向选择的按键 R1 ~ R15 可根据需要改变位置；按键 T1 ~ T15 的功能可由用户定义。

MCP 483C PN 控制板上安装有 9 点输入和 6 点输出的用户连接器 X51/52/55 和 X53/54，



用户连接器可用于 SIEMENS 手轮盒，或用于操作台上其他用户按钮/指示灯的连接，其 I/O 信号同样可由 PLC 操作系统转换为 PLC 的 I/O 信号。

MCP 483C PN 面板预留了 2 个用户指示灯（按钮）安装孔，指示灯可直接连接到用户 I/O 连接器 X53 或 X54 上，作为 PLC 的输出。如机床不使用悬挂式手轮盒，它们也可安装按钮，其输入可连接到用户 I/O 连接器 X51/52/55 上，作为 PLC 的输入。当然，它们也可用来安装注入 CNC 或驱动器的电源起/停控制的强电回路控制按钮。

当 828D 的机床参数 MD12986 [6] (PLC\_ DEACT\_ LADDR\_ IN) 设定为 -1 时，MCP 483C PN 的按键、开关和指示灯（LED），可通过 PLC 操作系统直接转换为表 4.5-1 所示、PLC 的 14 字节输入/8 字节输出的 I/O 地址。

表 4.5-1 MCP 483C PN 面板 I/O 地址表

键/开关	PLC 地址		功能说明
	按钮输入	LED 输出	
AUTO	I112.0	Q112.0	CNC 操作方式选择/指示:AUTO(自动)
MDA	I112.1	Q112.1	CNC 操作方式选择/指示:MDA(MDI 指令自动)
TEACH IN	I112.2	Q112.2	CNC 操作方式选择/指示:TEACH IN(示教)
JOG	I112.3	Q112.3	CNC 操作方式选择/指示:JOG(手动连续进给)
SP A ~ D	I112.4 ~ I112.7	—	4 位二进制编码主轴倍率调节输入: $2^0 \sim 2^3$
INC × 1	I113.0	Q112.4	增量进给倍率选择:× 1
INC × 10	I113.1	Q112.5	增量进给倍率选择:× 10
INC × 100	I113.2	Q112.6	增量进给倍率选择:× 100
INC × 1000	I113.3	Q112.7	增量进给倍率选择:× 1000
INC × 10000	I113.4	Q113.0	增量进给倍率选择:× 10000
INC [VAR]	I113.5	Q113.1	增量进给倍率选择:MDI 输入值
REF	I113.6	Q113.2	CNC 操作方式选择/指示:REF(手动回参考点)
REPOS	I113.7	Q113.3	CNC 操作方式选择/指示:REPOS(重新定位)
* NC STOP	I114.0	Q113.4	CNC 停止运行(常闭触点输入,即 F. HOLD)
NC START	I114.1	Q113.5	CNC 起动运行(即 C. START)
* FEED STOP	I114.2	Q113.6	进给停止(常闭触点输入)
FEED START	I114.3	Q113.7	进给起动
* SP STOP	I114.4	Q114.0	主轴停止(常闭触点输入)
SP START	I114.5	Q114.1	主轴起动
KEY2	I114.6	—	存储器保护开关位置 2
KEY0	I114.7	—	存储器保护开关位置 0
FVA-E	I115.0 ~ I115.4	—	5 位二进制编码进给倍率调节输入: $2^0 \sim 2^4$
SINGLE BLOCK	I115.5	Q114.2	CNC 程序运行控制/指示:单程序段
KEY1	I115.6	—	存储器保护开关位置 1
RESET	I115.7	Q118.1	CNC 复位
R10	I116.0	Q114.3	手动操作键:功能未定义



(续)

键/开关	PLC 地址		功能说明
	按键输入	LED 输出	
R7(7th)	I116.1	Q114.4	手动操作键;第 7 轴选择
R4(4th)	I116.2	Q114.5	手动操作键;第 4 轴选择
R1(X)	I116.3	Q114.6	手动操作键;X 轴选择
KEY3	I116.4	—	存储器保护开关位置 3
R14(RAPID)	I116.5	Q118.0	手动操作键;手动快速
R13(—)	I116.6	Q114.7	手动操作键;负向运动
R15(+)	I116.7	Q115.0	手动操作键;正向运动
R6(6th)	I117.0	Q115.1	手动操作键;第 6 轴选择
R8(8th)	I117.1	Q115.2	手动操作键;第 8 轴选择
R9(9th)	I117.2	Q115.3	手动操作键;第 9 轴选择
R11	I117.3	Q115.4	手动操作键;功能未定义
MCS	I117.4	Q115.5	手动操作键;机床/工件坐标系选择
R5(5th)	I117.5	Q115.6	手动操作键;第 5 轴选择
R3(Z)	I117.6	Q115.7	手动操作键;Z 轴选择
R2(Y)	I117.7	Q116.0	手动操作键;Y 轴选择
—	I118.0	—	不使用
T15 ~ T9	I118.1 ~ I118.7	Q116.1 ~ Q116.7	用户定义键;T15 ~ T9
T8 ~ T1	I119.0 ~ I119.7	Q117.0 ~ Q117.7	用户定义键;T8 ~ T1
—	—	Q118.2 ~ I118.7	不使用
KT/ OUT1 ~ OUT3	—	Q119.0 ~ I119.2	用户连接器 X53 输出
KT/OUT4 ~ OUT6	—	Q119.3 ~ I119.5	用户连接器 X54 输出
—	—	Q119.6 ~ I119.7	不使用
—	IB120、IB121	—	不使用
KT/IN1 ~ IN3	I122.0 ~ I122.2	—	用户连接器 X51 输入
KT/IN4 ~ IN6	I122.3 ~ I122.5	—	用户连接器 X52 输入
KT/IN7 ~ IN9	I122.6 ~ I123.0	—	用户连接器 X55 输入
—	I123.1 ~ I123.7	—	不使用
—	IB124、IB125	—	不使用

## 2. MCP 310C PN 面板

MCP 310C PN 面板如图 4.5-4 所示, 面板通常与垂直布置的 828D 系统配套使用。

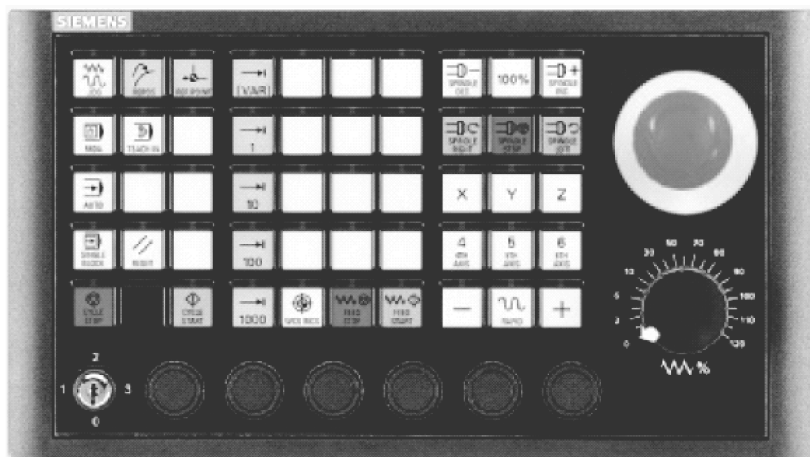
MCP 310C PN 面板安装有 49 个带 LED 的按键、进给倍率调节开关、1 个 4 位存储器保护旋钮, 其输入/输出可通过 PLC 操作系统直接转换为 PLC 的 I/O 信号。

MCP 310C PN 面板一般不安装主轴倍率调节开关, CNC 的主轴倍率调节需要通过 MCP 上的倍率增减按键实现。但是, 如需要, 面板上的急停开关安装位置也可用来安装主轴倍率调节开关, 主轴倍率调节开关可直接连接到 MCP 控制板的连接器 X31 上, 并通过 PLC 操作

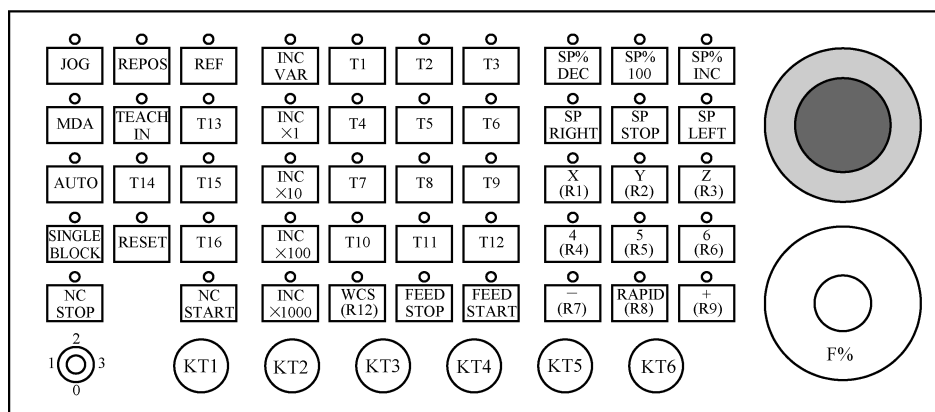


系统转换为 PLC 输入信号。

MCP 483C PN 控制板上安装有 9 点输入和 6 点输出的用户连接器 X51/52/55 和 X53/54，用户连接器可用于 SIEMENS 手轮盒，或用于操作台上其他用户按钮/指示灯的连接，其 I/O 信号同样可由 PLC 操作系统转换为 PLC 的 I/O 信号。



a) 外形



b) 键/LED定义

图 4.5-4 MCP 310C PN 面板

MCP 310C PN 面板预留了 6 个用户指示灯（按钮）安装孔 KT1 ~ KT6，指示灯可直接连接到用户 I/O 连接器 X53/54 上作为 PLC 的输出。如果机床不使用悬挂式手轮盒，KT1 ~ KT6 也可安装按钮，其输入可连接到用户 I/O 连接器 X51/52/55 上作为 PLC 的输入。当然，它们也可和急停开关一样，连接到电气柜，用于 CNC 或驱动器的电源起/停、机床急停等强电回路控制。

MCP 310C PN 的 CNC 操作方式选择、CNC 起动/停止、主轴起动/停止、进给起动/停止等按键，存储器保护旋钮，以及进给倍率调节开关的功能通常固定；用于坐标轴和方向选择的按键 R1 ~ R9 可根据需要改变位置；按键 T1 ~ T16 的功能可由用户定义。

当 828D 的机床参数 MD12986 [6] (PLC\_ DEACT\_ LADDR\_ IN) 设定为 -1 时，MCP



310C PN 的按键、开关和指示灯 (LED), 可通过 PLC 操作系统直接转换为表 4.5-2 所示、PLC 的 14 字节输入/8 字节输出的 I/O 地址。

表 4.5-2 MCP 310C PN 面板 I/O 地址表

键/开关	PLC 地址		功能说明
	按键输入	LED 输出	
AUTO	I112.0	Q112.0	CNC 操作方式选择/指示;AUTO(自动)
MDA	I112.1	Q112.1	CNC 操作方式选择/指示;MDA(MDI 指令自动)
JOG	I112.2	Q112.2	CNC 操作方式选择/指示;JOG(手动连续进给)
SINGLE BLOCK	I112.3	Q112.3	CNC 程序运行控制/指示;单程序段
SP% INC	I112.4	Q112.4	主轴倍率调节;倍率增加
SP% 100	I112.5	Q112.5	主轴倍率调节;倍率为 100%
SP% DEC	I112.6	Q112.6	主轴倍率调节;倍率减少
* NC STOP	I112.7	Q112.7	CNC 停止运行(常闭触点输入,即 F. HOLD)
TEACH IN	I113.0	Q113.0	CNC 操作方式选择/指示;TEACH IN(示教)
REPOS	I113.1	Q113.1	CNC 操作方式选择/指示;REPOS(重新定位)
REF	I113.2	Q113.2	CNC 操作方式选择/指示;REF(手动回参考点)
KEY3	I113.3	—	存储器保护开关位置 3
SP LEFT	I113.4	Q113.4	主轴正转
* SP STOP	I113.5	Q113.5	主轴停止(常闭触点输入)
SP RIGHT	I113.6	Q113.6	主轴正转
NC START	I113.7	Q113.7	CNC 起动运行(即 C. START)
INC × 1	I114.0	Q114.0	增量进给倍率选择;× 1
INC × 10	I114.1	Q114.1	增量进给倍率选择;× 1
INC × 100	I114.2	Q114.2	增量进给倍率选择;× 100
INC × 1000	I114.3	Q114.3	增量进给倍率选择;× 1000
KEY0	I114.4	—	存储器保护开关位置 0
INC [VAR]	I114.5	Q114.5	增量进给倍率选择;MDI 输入值
* FEED STOP	I114.6	Q114.6	进给停止(常闭触点输入)
FEED START	I114.7	Q114.7	进给起动
FVA-E	I115.0 ~ I115.4	—	5 位二进制编码进给倍率调节输入; $2^0 \sim 2^4$
KEY1	I115.5	—	存储器保护开关位置 1
KEY2	I115.6	—	存储器保护开关位置 2
RESET	I115.7	Q113.3	CNC 复位
—	—	QB115	不使用
—	I116.0 ~ I116.4	—	不使用
KT/ OUT1 ~ OUT3	—	Q116.0 ~ I116.2	用户连接器 X53 输出 1 ~ 3
KT/OUT4、OUT5	—	Q116.3、I116.4	用户连接器 X54 输出 1、2
R8(RAPID)	I116.5	Q116.5	手动操作键;手动快速
R7(—)	I116.6	Q116.6	手动操作键;负向运动
R9(+)	I116.7	Q116.7	手动操作键;正向运动
R1(X)	I117.0	Q117.0	手动操作键;X 轴选择
R2(Y)	I117.1	Q117.1	手动操作键;Y 轴选择



(续)

键/开关	PLC 地址		功能说明
	按键输入	LED 输出	
R3(Z)	I117.2	Q117.2	手动操作键;Z 轴选择
R4(4th)	I117.3	Q117.3	手动操作键;第4 轴选择
R5(5th)	I117.4	Q117.4	手动操作键;第5 轴选择
R6(6th)	I117.5	Q117.5	手动操作键;第6 轴选择
KT/OUT6	—	Q117.6	用户连接器 X54 输出 3
T16	I117.7	Q117.7	用户定义键;T16
T15 ~ T13	I118.0 ~ 118.2	Q118.0 ~ 118.2	用户定义键;T15 ~ T13
MCS	I118.3	Q118.3	手动操作键;机床/工件坐标系选择
T12 ~ T9	I118.4 ~ 118.7	Q118.4 ~ 118.7	用户定义键;T12 ~ T9
T8 ~ T1	I119.0 ~ 119.7	Q119.0 ~ 119.7	用户定义键;T8 ~ T1
—	IB120、IB121	—	不使用
KT/IN1 ~ IN3	I122.0 ~ 122.2	—	用户连接器 X51 输入
KT/IN4 ~ IN6	I122.3 ~ 122.5	—	用户连接器 X52 输入
KT/IN7 ~ IN9	I122.6 ~ 123.0	—	用户连接器 X55 输入
—	IB123、IB124	—	不使用
SPA ~ E	I125.0 ~ 125.4	—	5 位主轴倍率开关连接器 X31 输入; $2^0 \sim 2^4$
—	I125.5 ~ 125.7	—	不使用

### 3. 悬挂式手轮盒

828D 可根据需要选配图 4.5-5 所示的 SIEMENS 小型悬挂式手轮盒。

手轮盒上安装有手轮、急停按钮、手轮盒选择/确认按钮，进给轴选择开关，JOG 手动进给方向选择和快速键，以及 3 个功能键 F1 ~ F3。F1 ~ F3 的用途可由用户自由定义。

手轮盒的连接一般如下。

手轮：直接与 CNC 基本单元的手轮接口 X143 连接。

急停按钮：与强电控制回路连接。

手轮盒选择/确认按钮：与强电控制回路或 PP 72/48 PN 模块的输入连接。

轴选择开关：连接 MCP 的用户连接器 X51，其 PLC 输入地址为 I122.0 ~ I122.2。

JOG 正、负方向键和快速键：连接 MCP 的用户连接器 X52，其 PLC 输入地址依次为 I122.3 ~ I122.5。

功能键 F1 ~ F3：连接 MCP 的用户连接器 X55，其 PLC 输入地址依次为 I122.6、I122.7、I123.0。



图 4.5-5 小型悬挂式手轮盒

# 第 5 章

## 基本信号处理程序典例

### 5.1 PLC 初始化程序

#### 5.1.1 PLC 初始化程序简述

##### 1. 基本说明

在数控机床上，CNC 操作和运行控制需要通过 CNC 和 PLC 的内部接口信号进行，为此，在 CNC 集成 PLC 程序设计时，需要编制大量的 CNC-PLC 接口信号处理程序，这是它与通用 PLC 的主要区别。

CNC 操作和运行控制包括 CNC 操作方式选择、加工程序运行控制、进给轴和主轴运动控制等。一般而言，数控机床的 CNC 操作和运行控制需要通过机床操作面板进行，其控制对象主要是进给轴和主轴。因此，机床操作面板信号和进给轴/主轴控制信号的处理是 CNC 集成 PLC 程序设计的重要内容。

在 SIEMENS 公司生产的 CNC 上，CNC 操作和运行控制信号主要有 CNC 基本控制信号、通道控制信号和进给轴/主轴控制信号 3 类。CNC 基本控制信号主要用于 CNC 的操作方式选择，通道控制信号和进给轴/主轴控制信号都用于进给轴和主轴控制的信号，但两者的作用有所不同，PLC 程序设计时需要予以区分。

数控系统的通道又称路径，通道控制是用于数控机床多主轴同时加工、多程序同步运行控制的功能。作为简单理解，通道是根据机床的结构及加工程序的运行要求，对 CNC 所控制的进给轴、主轴等进行的分组。例如，对于图 5.1-1 所示的具有主/副主轴、主/副刀架的数控车床，可以将主主轴 SP1 及控制主刀架运动的进给轴 X1/Z1 作为第 1 通道，而将副主轴 SP2 及控制副刀架运动的进给轴 X2/Z2 作为第 2 通道，两个通道既可独立运行，也可同时执行不同的加工程序同步运行，这就是数控系统的双通道控制功能。

基本上说，CNC 的通道控制信号是根据 CNC 加工程序的运行要求，用于指定通道加工程序运行和该通道所属的编程轴（又称几何轴）进行的控制。进给轴/主轴控制信号则是根据数控系统的进给轴/主轴实际配置，依次提供的基本控制信号，它与进给轴/主轴的名称、归属的通道、运行的加工程序等无关。

CNC 的通道控制信号一般包括该通道编程轴的运动控制、进给倍率和主轴转速倍率调节、加工程序运行控制（单段、空运行、选择跳段等）等；通道工作状态信号则包括该通道编程轴的运动状态、生效的程序运行状态（单段、空运行、选择跳段等）等。而进给轴/





主轴控制信号则包括控制方式选择（位置控制、跟随控制、轴禁止等）和超程保护等；进给轴/主轴工作状态信号包括生效的控制方式（位置控制、跟随控制、轴禁止等）、定位完成和轴运动状态（正、反向运动）等。



图 5.1-1 通道控制的概念

通道控制通常属于 SIEMENS 840C/D 等多轴控制、高性能 CNC 的附加功能，对控制轴数在 5 轴以下的 802S/C/D、808D/828D 等简单 CNC，实际上并不具备多通道控制能力，但由于 SIEMENS 的 CNC 产品大都按多通道控制要求所进行的统一设计，故 PLC 程序仍然需要对通道控制信号进行必要的处理。因此，对于 802S/C/D 等简单 CNC，通道控制信号可直接视为 CNC 程序运行和进给轴/主轴控制信号；通道工作状态信号可直接作为 CNC 程序运行状态信号和进给轴/主轴状态信号，在 PLC 程序中使用。有关 CNC 通道控制信号、进给轴/主轴控制信号的详细内容可参见第 6 章。

## 2. PLC 初始化程序与信号

在 802/808/828 等 CNC 上，SIEMENS 子程序库提供了 PLC 初始化子程序 SBR32（PLC\_INI），该子程序主要用于通道的进给倍率调节和刀具测量以及进给轴/主轴的进给倍率调节和控制方式选择等基本控制。

PLC 初始化子程序 SBR32 在 802S/C 和 802D 的不同版本上有较大的不同，802S/C 一般直接由子程序 SBR32 输出相关信号，802D 则需要通过 CNC 机床参数（MD）中的用户数据（USER\_DATA）对相关控制信号进行设定。

以 802D 为例，如 PLC 程序使用 SIEMENS 模板程序，需要进行 CNC 用户数据 MD14510 [16]、MD14512 [16]/[17]、MD14512 [18] bit0 的设定。在 802 等 CNC 上，CNC 用户数据的设定值可通过操作系统转换为 PLC 程序中的公共变量 V。

PLC 初始化子程序 SBR32 涉及的 CNC 用户数据以及相关的通道控制、CNC 控制等信号的 PLC 输入/输出地址如表 5.1-1 所示。如前所述，802S/C/D 和 808D/828D 系统的 CNC-PLC 接口信号编程地址表示方法有所不同，802S/C/D 以变量 V 表示，808D/828D 以数据块 DB 的形式表示。鉴于两者只是地址表示形式上的区别，信号间的对应关系明确，对程序设计本身无任何影响，为了使 PLC 程序直观、简洁，在本书后述的程序中，将统一采用变量 V（802S/C/D 格式）来表示 CNC-PLC 接口信号，对此不再一一说明。



表 5.1-1 SBR32 输入/输出信号地址一览表

PLC 地址	信号类别	信号作用与功能
V4500 1016.0	MD 设定	CNC 用户数据 MD14512[16] bit0 的设定值,1 表示进给轴 1 有效
V4500 1016.1	MD 设定	CNC 用户数据 MD14512[16] bit1 的设定值,1 表示进给轴 2 有效
V4500 1016.2	MD 设定	CNC 用户数据 MD14512[16] bit2 的设定值,1 表示进给轴 3 有效
V4500 1016.3	MD 设定	CNC 用户数据 MD14512[16] bit3 的设定值,1 表示进给轴 4 有效
V4500 1016.4	MD 设定	CNC 用户数据 MD14512[16] bit4 的设定值,1 表示进给轴 5 有效
V4500 1018.0	MD 设定	CNC 用户数据 MD14512[18] bit0 的设定值,1 表示进给倍率开关对主轴无效
VW4500 0032	MD 设定 (十进制整数)	CNC 用户数据 MD14510[16] 的设定值(机床类型选择) 1 为车床;2 为铣床;0 为其他机床
V1900 5002.0	HMI 控制信号	MDI/LCD 控制信号,1 表示刀具测量功能有效;0 表示无效
V3200 0006.7	通道控制信号	CNC 通道控制信号,1 表示第一通道进给倍率生效
V3800 0001.5	CNC 轴控制信号	CNC 第 1 轴控制信号,1 表示位置反馈生效
V3800 0001.7	CNC 轴控制信号	CNC 第 1 轴控制信号,1 表示进给倍率生效
V3801 0001.5	CNC 轴控制信号	CNC 第 2 轴控制信号,1 表示位置反馈生效
V3801 0001.7	CNC 轴控制信号	CNC 第 2 轴控制信号,1 表示进给倍率生效
V3802 0001.5	CNC 轴控制信号	CNC 第 3 轴控制信号,1 表示位置反馈生效
V3802 0001.7	CNC 轴控制信号	CNC 第 3 轴控制信号,1 表示进给倍率生效
V3803 0001.5	CNC 轴控制信号	CNC 第 4 轴控制信号,1 表示位置反馈生效
V3803 0001.7	CNC 轴控制信号	CNC 第 4 轴控制信号,1 表示进给倍率生效
V3804 0001.5	CNC 轴控制信号	CNC 第 5 轴控制信号,1 表示位置反馈生效
V3804 0001.7	CNC 轴控制信号	CNC 第 5 轴控制信号,1 表示进给倍率生效

### 3. PLC 程序设计

PLC 初始化可直接调用子程序 SBR32 (PLC\_ INI) 或对程序略加修改后使用,以下是在 SBR32 基础上编制的 PLC 初始化程序。在 SIEMENS 模板程序中, SBR32 只在 PLC 的首次循环调用,因此, PLC 程序中的输出一般应使用置位/复位指令,以便程序正常工作时,能够保持其状态。

1) 第 1、2 轴的控制。生效通道进给倍率以及 CNC 第 1、2 进给轴进给倍率、位置反馈的 PLC 程序如图 5.1-2 所示。

执行程序 Network1, 可直接将通道控制信号中的进给倍率控制信号 V3200 0006.7 置 1 (有效), 使得加工程序运行时的进给倍率调节功能生效。

在 CNC 控制信号中, 第 1、2 轴通常是 CNC 的基本进给轴, 无论车床、铣床均需要配置。因此, 当 CNC 用户数据 MD14510 [16] 的设定值为 1 (车床) 或 2 (铣床) 时, 其 CNC 控制信号中的第 1、2 轴进给倍率生效信号 V3800 0001.7、V3801 0001.7 及位置反馈生效控制信号 V3800 0001.5、V3801 0001.5 都需要置为 1 (有效)。如 MD14510 [16] 的设定值为 0 (其他机床), 则可通过 CNC 用户数据 MD14512 [16] bit0/bit1 的设定信号 V4500 1016.0、V4500 1016.1, 分别将 CNC 的第 1、第 2 轴的进给倍率、位置反馈生效控制信号置



为 1（有效）。

2) 第 3、4 轴的控制。CNC 的第 3、4 轴的用途可选择，其进给倍率、位置反馈生效的初始化控制程序如图 5.1-3 所示。

通常而言，数控车床的第 3 轴为主轴，数控铣床的第 3 轴为 Z 轴。因此，当 CNC 用户数据 MD14510 [16]) 设定为 1（车床）时，如主轴不使用 Cs 轴控制功能，CNC 用户数据 MD14512 [18] bit0 的设定应为 1（无效），此时，PLC 程序可将 CNC 控制信号中的第 3 轴（主轴）的进给倍率控制信号 V3802 0001.7 置 0。当 MD14510 [16] 设定为 2（铣床）时，第 3 轴的进给倍率控制信号 V3802 0001.7 置 1。如 CNC 用户数据 MD14510 [16] 设定为 0（其他机床），则可通过 CNC 用户数据 MD14512 [16] bit2 的设定信号 V4500 1016.2，将第 3 轴的进给倍率控制信号置 1 或 0。

车床的螺纹加工需要检测主轴的位置，因此，无论车床还是铣床，第 3 轴的位置反馈控制信号 V3802 0001.5 一般都应置为 1（有效）。

CNC 的第 4 轴在简单车床上不使用，故无需提供进给倍率、位置反馈生效控制信号（状态始终为 0）；第 4 轴在铣床上为主轴，PLC 程序的处理方法同车床第 3 轴。

在上述程序中，PLC 输出信号 V3802 0001.7 和 V3802 0001.5 等都采用了重复置、复位的“多重线圈”编程，这对于 PLC 程序是允许的。“多重线圈”的最终输出状态决定于该输出线圈在本程序循环中的最后一条指令的执行结果。

此外，在 SIEMENS 公司提供的子程序库中，主轴的进给倍率控制信号（车床的第 3 轴、铣床的第 4 轴）采用的是图 5.1-4 所示的编程方式。该程序在 CNC 用户数据 MD14512 [18] bit0 设定为 1（无效）时，以通过断开 V3802 0001.7 置位输入的方式来保证其状态为 0；且输出 V3802 0001.5 需要由输出 V3802 0001.7 的中间状态进行控制。在图 5.1-3 所示的程序中，已将其修改为通过 MD14512 [18] bit0 对输出 V3802 0001.7 的复位，来保证信号的输出为 0；并将 V3802 0001.5 线圈置于 V3802 0001.7 线圈之前，以简化堆栈操作，这样可起到简化程序和提高程序可靠性的作用。此类问题在后述的程序中同样存在，不再另行说明。

3) 第 5 轴及其他控制。CNC 轴控制信号中的第 5 轴进给倍率、位置反馈控制以及 MDI 键盘生效、用户数据初始化程序调用的 PLC 程序如图 5.1-5 所示。

第 5 轴在 802D 模板程序中定义为铣床的第 4 轴，当 MD14510 [16] 设定为 2（铣床）时，其进给倍率、位置反馈通常为有效。对于无第 4 轴的铣床，可设定 MD14510 [16] = 0（其他机床）、MD14512 [16] bit4 = 0，取消第 4 轴。

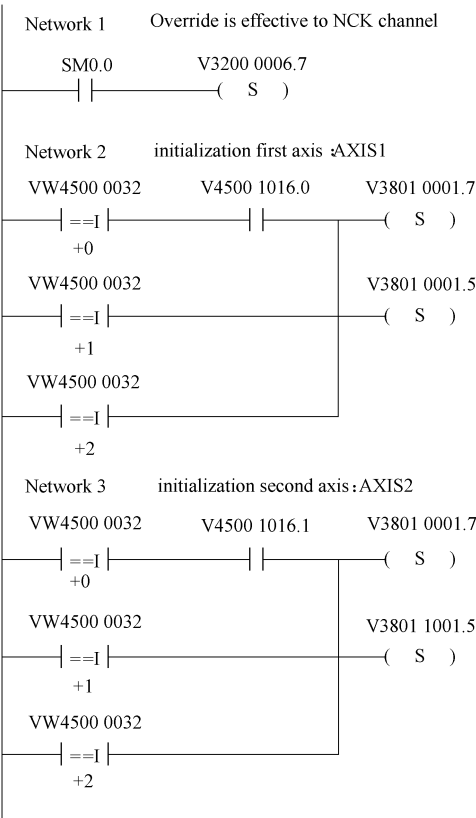


图 5.1-2 基本进给轴的控制的初始化程序

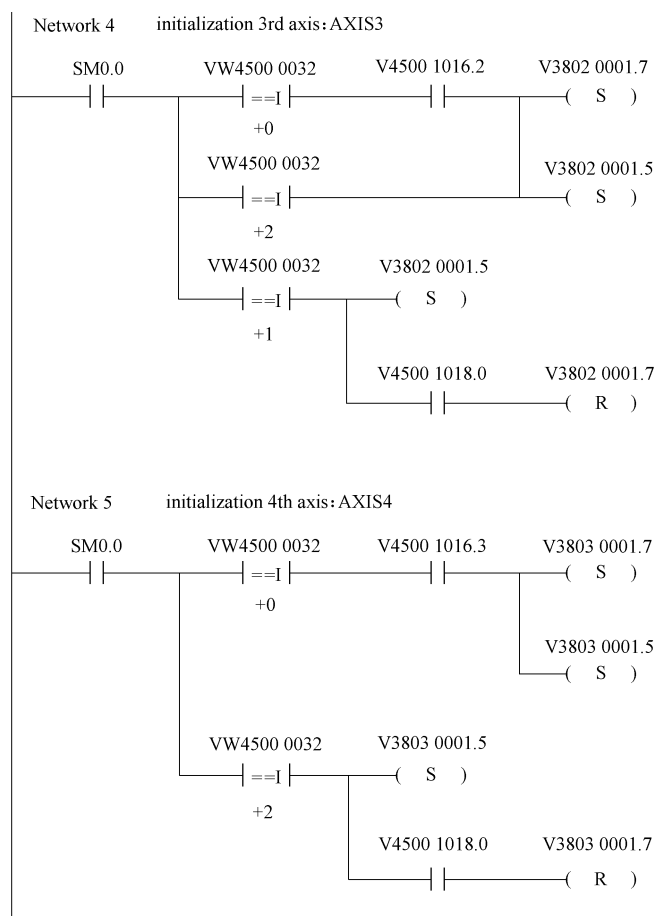


图 5.1-3 第 3、4 轴的控制的初始化程序

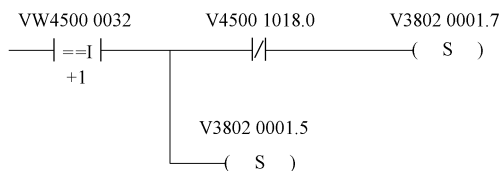


图 5.1-4 原子程序的编程

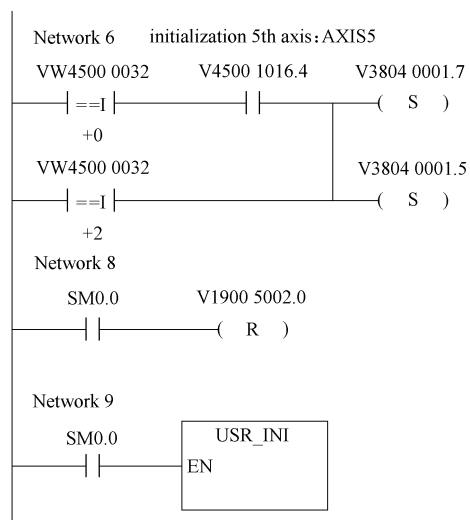


图 5.1-5 第 5 轴及其他的控制的初始化程序



CNC 刀具测量功能用于手动刀具测量和对刀操作，测量信号一般需要从 CNC 的高速接口或 611UE 等驱动器携带的接口输入，不使用这一功能时，可直接将通道控制信号 V1900 5002.0 置为 0。

在模板程序中，PLC 的用户数据初始化子程序 SBR31 (USR\_ INI) 通过 PLC 初始化程序 SBR32 调用，因此，它同样只能在 PLC 的首次循环中执行。用户数据初始化子程序 SBR31 一般用于 CNC 的用户数据设定检查等，其程序设计方法见下述。

### 5.1.2 用户初始化程序

#### 1. 程序设计要求

用户初始化程序可根据机床的实际控制需要编制或调用，但也可不使用。在 SIEMENS 模板程序上，由于 PLC 程序使用了较多的 CNC 用户数据，因此，需要通过用户初始化子程序 SBR31 (USR\_ INI) 检查 CNC 用户数据 MD14510、MD14512 的设定值。如用户数据设定错误，可在 LCD 上显示相关的机床报警；部分参数设定错误时，还可自动设置符合基本要求的初始值。

在 802 等 CNC 上，机床报警 ALM 7000 00 ~ ALM 7000 63 的显示，可通过 PLC 程序对报警变量 V1600 0000.0 ~ V1600 0007.7 的置 1 实现。如 CNC 安装了报警文本文件 (ALCU TXT)，LCD 在显示报警号的同时，不仅可显示报警文本，而且还可通过 PLC 程序中的报警文本变量 VD1600 1000 ~ VD1600 1252 在文本中插入相关内容。

用户初始化子程序 SBR31 (USR\_ INI) 所涉及的 CNC 用户数据、报警变量 V、报警文本插入变量的 PLC 输入/输出如表 5.1-2 所示。

表 5.1-2 SBR31 输入/输出信号地址一览表

PLC 变量 V	CNC 状态	变量格式	说 明
VW4500 0000	用户数据 MD14510[0]	2 字节正整数 (PLC 输入)	每一用户数据对应 2 字节 PLC 变量;CNC 用户数据的作用及设定要求参见第 4 章
VW4500 0002	用户数据 MD14510[1]		
VW4500 0004	用户数据 MD14510[2]		
.....	.....		
VW4500 0060	用户数据 MD14510[30]		
VW4500 0062	用户数据 MD14510[31]	二进制位信号 (PLC 输入)	用户数据位与 PLC 变量位一一对应;CNC 用户数据的作用及设定要求参见第 4 章
VB4500 1000	用户数据 MD14512[0]		
VB4500 1001	用户数据 MD14512[1]		
.....	.....		
VB4500 1031	用户数据 MD14512[31]	二进制位信号 (PLC 输出)	二进制位置 1,CNC 将显示对应的报警号,报警内容参见第 4 章
VB1600 0000	机床报警 700000 ~ 700007		
VB1600 0001	机床报警 700008 ~ 700015		
.....	.....		
VB1600 0007	机床报警 700056 ~ 700063	4 字节正整数 (PLC 输出)	插入变量的格式(数据类型取决于报警文本文件的设定)
VD1600 1000	插入到 700000 报警文本的变量		
VD1600 1004	插入到 700001 报警文本的变量		
.....	.....		
VD1600 1252	插入到 700063 报警文本的变量		



## 2. 局部变量和标志

用户初始化子程序 SBR31 (USR\_ INI) 需要使用局部变量, 程序中所使用的局部变量和标志寄存器如表 5.1-3 所示。

表 5.1-3 SBR31 的局部变量和标志寄存器一览表

变量/标志	符号名	变量类型	数据类型	变量含义与作用
I0.0	Xp_inR	TEMP	BOOL	MCP 的方向键 + X 定义正确
I0.1	Xn_inR	TEMP	BOOL	MCP 的方向键 - X 定义正确
I0.2	Yp_inR	TEMP	BOOL	MCP 的方向键 + Y 定义正确
I0.3	Yn_inR	TEMP	BOOL	MCP 的方向键 - Y 定义正确
I0.4	Zp_inR	TEMP	BOOL	MCP 的方向键 + Z 定义正确
I0.5	Zn_inR	TEMP	BOOL	MCP 的方向键 - Z 定义正确
I0.6	T_inR	TEMP	BOOL	MD14510[20] 的刀位数设定正确
LD4	MT_DW	TEMP	DWORD	最大选刀时间 MD14510[21] 的单位转换为 s
I8.0 ~ I8.7	MD0_0 ~ MD0_7	TEMP	BOOL	子程序中间状态存储
MW90	T_C_mw	—	WORD	刀架反转锁紧时间(单位为 0.1s)
MW92	T_M_mw	—	WORD	最大选刀时间(单位为 0.1s)
MW94	L_I_mw	—	WORD	自动润滑启动间隔时间(单位为 min)
MW96	L_D_mw	—	WORD	润滑接通信号输出保持时间(单位为 0.1s)
MW98	S_B_mw	—	WORD	主轴制动信号输出保持时间(单位为 0.1s)

子程序 SBR31 的全部局部变量均为内部变量 (TEMP), 调用子程序 SBR31 时无需进行赋值, 有关局部变量的变量类型、数据类型等参数的定义方法可参见第 3 章。子程序的处理结果输出至标志寄存器 MW90 ~ MW98 上, 它们需要用于其他子程序, 故在用户程序设计时应避免使用这些标志寄存器。

## 3. PLC 程序设计

用户初始化可直接使用 SIEMENS 模板程序所提供的子程序 SBR31 (USR\_ INI), 或对其略加修改后使用。以下是在 SBR31 基础上编写的用户数据初始化程序, 程序包括基本参数设定检查、电动刀架参数检查、润滑参数设定检查和方向键定义参数检查等部分。

1) 基本参数设定检查。在 SIEMENS 模板程序中, 当基本 CNC 用户数据设定不正确时, CNC 将显示以下机床报警。

700000: 所有的 CNC 用户数据均未设定;

700014: PLC 输入 I0.0 ~ I1.7 未定义;

700015: PLC 输出 Q0.0 ~ Q1.7 未定义。

实现基本参数检查和报警的 PLC 程序 Network1 和 Network2 的设计如图 5.1-6 所示。

Network1 是对所有需设定的 CNC 用户数据进行的检查, 如所有数据的设定值均为 0, 则 PLC 输出报警信号 V1600 0000.0, LCD 显示报警 7000 00。由于用户数据的数量众多, 程序需要通过中间变量 I8.0 ~ I8.4 串联连接比较触点; 对于以二进制位形式设定的用户数据 MD14512, 为了简化程序, 可直接以字节 (或字) 的形式进行判别。

Network2 用于 I/O 定义参数的检查。在 SIEMENS 模板程序中, CNC 用户数据 MD14512

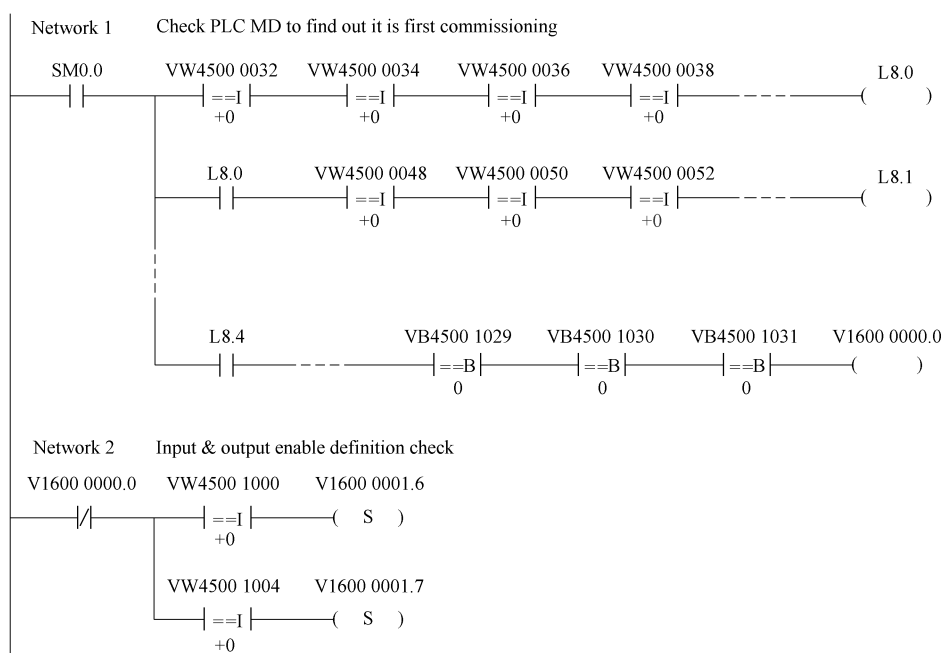


图 5.1-6 基本参数检查程序

[0]、[1] 用于 PLC 输入 I0.0 ~ I1.7 的定义；MD14512 [4]、[5] 用于 PLC 输出 Q0.0 ~ Q1.7 的定义（见 4.2 节）。当 MD14512 [0]、[1] 所有位的设定都为 0 时，变量 VW4500 1000 将为 0。此时，程序中的 CNC 报警信号 V1600 0001.6 将为 1，LCD 可显示机床报警“700014 输入使能没有定义，检查 MD14512 [0] & MD14512 [1]”。当 MD14512 [4]、[5] 所有位的设定都为 0 时，变量 VW4500 1004 将为 0。此时，CNC 报警信号 V1600 0001.7 将为 1，LCD 可显示机床报警“700015 输出使能没有定义，检查 MD14512 [4] & MD14512 [5]”。

2) 电动刀架参数检查。SIEMENS 模板程序所提供的电动刀架参数检查程序 Network3 的设计如图 5.1-7 所示。

需要注意的是：SIEMENS 模板程序所提供的电动刀架参数检查程序只能用于数控车床电动刀架控制，Network3 的全部指令都只有在 CNC 用户数据 MD14510 [16] 的设定值（VW4500 0032）为 0、机床类型定义成“车床”，MD14512 [11] bit7 的设定值（V4500 1011.7）为 1、电动刀架控制功能生效时，才能执行。为了提高程序的通用性，图 5.1-7 程序已将该网络第 4 行起的报警文本插入变量生成、刀架锁紧时间设定检查、选刀时间监控等内容移至 VW4500 0032 = 0 的比较触点前，以便使文本插入变量、刀架锁紧时间、选刀时间监控等参数能同时用于其他形式的刀架和加工中心换刀控制（见第 8、9 章）。

对带有电动刀架的常见平床身和普及型数控车床来说，CNC 用户数据需要设定刀架刀位数（MD14510 [20]）、最大选刀时间（MD14510 [21]）和反转锁紧时间（MD14510 [22]）等基本参数。如果用户数据设定不正确，CNC 可显示以下机床报警。

700008：刀架刀位数定义错，检查 MD14510 [20] = 4/6；

700009：刀架锁紧时间没有定义，检查 MD14510 [21]；

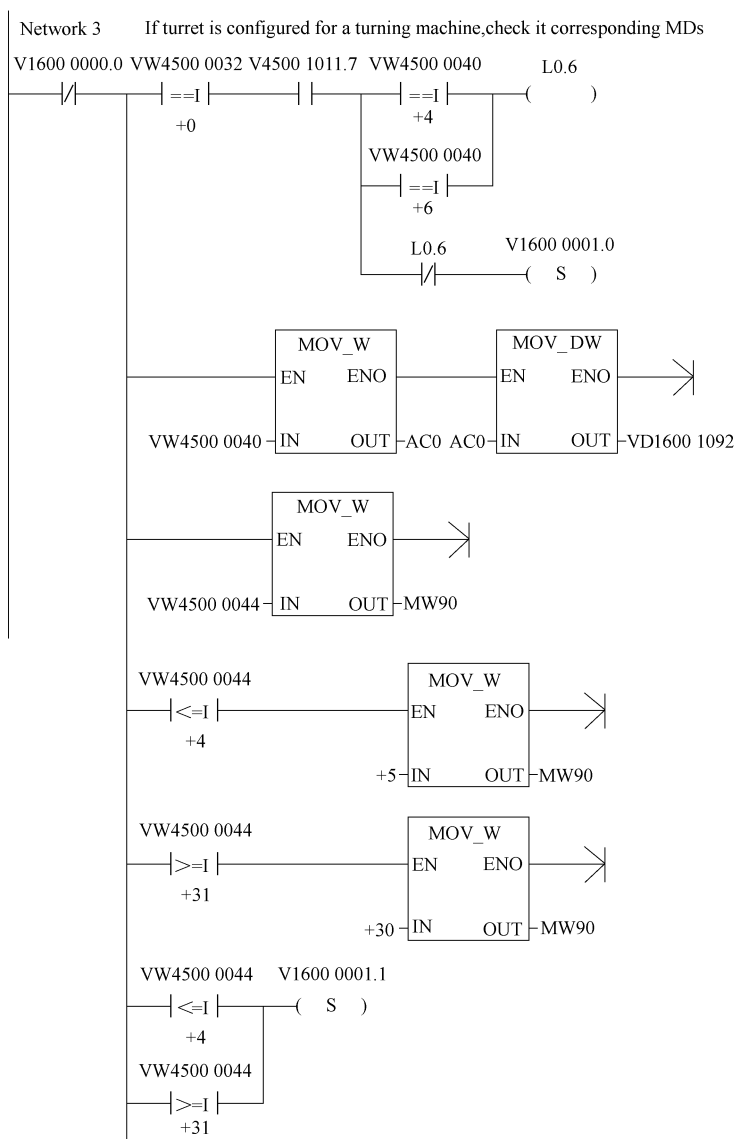


图 5.1-7 电动刀架参数检查程序

700010: 刀架监控时间没有定义, 检查 MD14510 [22]。

由于 PLC 输入点的限制, 模板程序只编写了用于 4 或 6 刀位电动刀架控制的 PLC 程序, 因此, MD14510 [20] (刀架刀位数) 的设定值应为 4 或 6, 否则, 程序将输出报警信号 V1600 0001.0, CNC 显示报警 700008。

Network3 的第 4 行用来生成 700023 报警文本“编程刀具号大于刀架最大刀位数□□”中的插入变量“□□”; 指令 MOV\_W、MOV\_DW 串联使用的目的是通过 32 位累加器 AC0, 将用户数据 MD14510 [20] 中以 16 位正整数格式设定的刀架刀位数 (VW4500 0040), 转换为文本插入变量所要求的 32 位数据 (DW 格式), 并传送到 700023 报警文本的插入变量 VD1600 1092 中。例如, 当 MD14510 [20] 设定为 4 时, 700023 的报警文本将显





示为“编程刀具号大于刀架最大刀位数 4”等。

电动刀架需要通过刀架电动机的反转锁紧，用户数据 MD14510 [22] 可设定电动机反转的保持时间，这一时间被保存在 PLC 的标志寄存器 MW90 中。刀架锁紧时间的设定范围一般为 5 ~ 30（单位为 0.1s），因此，当参数设定值小于等于 4 或大于等于 31 时，程序可直接利用移动指令 MOV\_W 自动将标志寄存器 MW90 设置为 5 或 30。与此同时，PLC 将输出报警信号 V1600 0001.1，LCD 显示报警 700009。

刀架最大选刀时间设定参数 MD14510 [21] 的检查、报警和自动设定方法与反转锁紧相同。在模板程序中，处理后的刀架最大选刀时间将被保存在标志寄存器 MW92 上，数值的范围为 30 ~ 200（单位为 0.1s）。参数 MD14510 [21] 设定错误时，CNC 可显示报警 700010。

3) 润滑参数设定检查。在模板程序中，当设定用户数据 MD14512 [11] bit1 = 1、自动润滑功能生效时，需要在 CNC 用户数据中按要求设定润滑起动间隔（MD14510 [24]）、润滑接通信号保持时间（MD14510 [25]）2 个参数。如果用户数据设定不正确，CNC 需要显示以下机床报警。

700012：润滑间隔超出范围，检查 MD14510 [24]；

700013：润滑时间超出范围，检查 MD14510 [25]。

润滑设定参数的检查、报警和自动设定的程序设计方法与刀架反转锁紧时间检查、报警和自动设定相同。例如，参数 MD14510 [24] 的设定、检查和报警的 PLC 程序如图 5.1-8 所示，Network4 在用户数据 MD14512 [11] bit1 = 1 时有效。

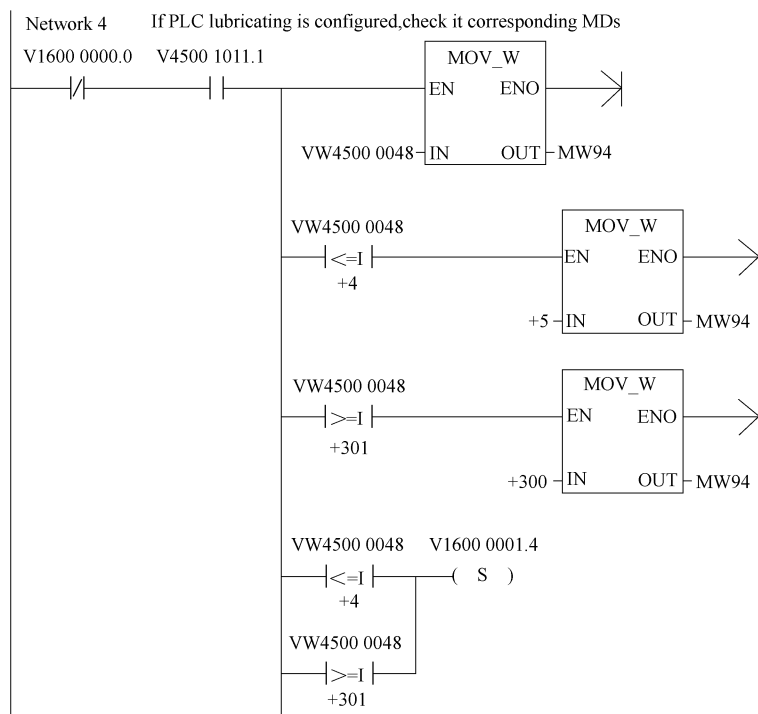


图 5.1-8 自动润滑参数检查程序



在模板程序中，处理后的自动润滑起动间隔时间（用户数据 MD14510 [24]）被保存在标志寄存器 MW94 上，数值的范围为 5 ~ 300（单位为 min）。参数设定错误时，CNC 可显示报警 700012。润滑接通信号保持时间（用户数据 MD14510 [25]）被保存在标志寄存器 MW96 上，数值的范围为 10 ~ 200（单位为 0.1s）。参数设定错误时，CNC 可显示报警 700013。

4) 方向键定义参数检查。在 802 系统中，机床操作面板（MCP）的进给轴手动方向键 +X/-X、+Y/-Y、+Z/-Z 等，可通过 CNC 用户数据 MD14510 [26] ~ [31] 的设置进行定义（详见 5.3 节）。但是，按键的布置区域不能改变，例如，对于使用分离型 MCP 的 802S/C/D，按键只能在 K16 ~ K24 范围内选择，按键 K20 规定为手动快速键 PAPID。而对于使用集成型 MCP 的 802Se/Ce、802S base line /C base line，按键只能在 K22 ~ K30 范围内选择，按键 K26 规定为手动快速键 RAPID 等（参见第 4 章）。当方向键定义参数 MD14510 [26] ~ [31] 设定错误时，CNC 需要显示以下报警。

700002：+X 点动键没有定义，请检查 MD14510 [26]；

700003：-X 点动键没有定义，请检查 MD14510 [27]；

700004：+Y 点动键没有定义，请检查 MD14510 [28]；

700005：-Y 点动键没有定义，请检查 MD14510 [29]；

700006：+Z 点动键没有定义，请检

查 MD14510 [30]；

700007：-Z 点动键没有定义，请检查 MD14510 [31]。

以使用集成型 MCP 的 802Se/Ce、802S base line /C base line 为例，其手动方向键定义参数的检查及 700002 报警的 PLC 程序如图 5.1-9 所示，分离型 MCP 的程序类似。

Network6 在用户参数 MD14510 [26] ~ [31] 设定范围正确时，局部变量 L0.0 ~ L0.6 的状态为 1；如设定值为 26 或 L0.0 ~ L0.6 为 0，则可产生报警 700002 ~ 700007（图中以 700002 为例，700003 ~ 700007 的程序形式与 700002 同）。

### 5.1.3 I/O 初始化程序

#### 1. 程序说明

为了增强 PLC 程序的通用性，使之能适应不同机床的控制要求，在进行 PLC 程序设计时可通过 CNC 用户数据的设定，对来自机床的 I/O 信号及其极性进行选

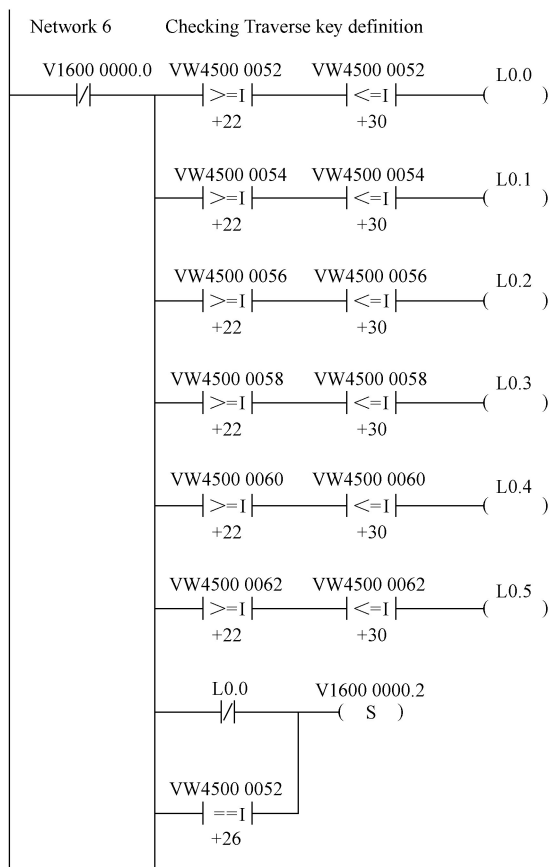


图 5.1-9 手动方向键定义参数检查和报警程序



择和变换，802S/C/D 子程序库中提供的 I/O 初始化子程序就是实现这一功能的程序。

I/O 初始化子程序在子程序库中称“输入滤波”程序，子程序号为 SBR62 (FILTER)，程序可用于 PLC 的 16/16 点机床 I/O 信号 I0.0 ~ I1.7/Q0.0 ~ 1.7 的设定与选择。

需要注意的是：子程序 SBR62 应根据实际需要使用时。如果使用该子程序，输入 I0.0 ~ I1.7 的使能、极性变换结果将被保存在标志寄存器 MW100 上，因此，所有其他程序所使用的输入 I0.0 ~ I1.7 都要以 M100.0 ~ M101.7 替代。同样，标志寄存器 MW102 应作为输出 Q0.0 ~ 1.7 使能、极性变换前的缓冲寄存器使用，因此，在其他所有程序中，都需要以缓冲信号 M102.0 ~ M103.7 替代 PLC 的实际输出 Q0.0 ~ 1.7。

子程序 SBR62 的输入 I0.0 ~ I1.7 及输出 Q0.0 ~ 1.7 的使能，可分别通过 CNC 用户数据 MD14512 [0]/[1] 及 MD14512 [4]/[5] 的设定实现。例如，设定 MD14512 [0] = 1111 1111 时，输入 I0.0 ~ 0.7 均有效；而设定 MD14512 [0] = 1111 0011 时，输入 I0.2、I0.3 无效，其状态在 PLC 程序中将恒为 0 等。同样，如设定 MD14512 [4] = 1111 1111，输出 Q0.0 ~ 0.7 均为有效；如设定 MD14512 [4] = 1111 0011，则输出 Q0.2、Q0.3 无效，其输出状态恒为 0 等。

子程序 SBR62 的输入 I0.0 ~ I1.7 和输出 Q0.0 ~ 1.7 极性变换，可通过 CNC 用户数据 MD14512 [2]/[3] 和 MD14512 [6]/[7] 的设定实现。例如，设定 MD14512 [2] = 0000 0000 时，I0.0 ~ 0.7 均定义为常开触点输入，触点 ON 时，PLC 程序中的状态为 1；设定 MD14512 [2] = 1111 1111 时，I0.0 ~ 0.7 均定义为常闭触点输入，触点 ON 时，PLC 程序中的状态为 0 等。同样，如设定 MD14512 [6] = 0000 0000，输出 Q0.0 ~ 0.7 均定义为“正逻辑”，当 PLC 程序的处理结果为 1 时，Q0.0 ~ 0.7 将输出 1；如设定 MD14512 [6] = 0000 0000，则输出 Q0.0 ~ 0.7 均定义“负逻辑”，当 PLC 程序的处理结果为 1 时，Q0.0 ~ 0.7 将输出 0 等。

作为电气设计的基本要求，为保证机床安全、可靠运行，用于急停和安全控制的按钮、限位开关输入规定使用常闭触点输入，其他子程序也都按这一要求进行设计。如由于其他原因，实际机床只能使用常开触点，则需要通过 I/O 初始化子程序将其转换为常闭信号。

## 2. 局部变量和标志

在模板程序中，子程序 SBR62 (FILTER) 使用的局部变量和标志寄存器 M 如表 5.1-4 所示。

表 5.1-4 SBR62 的局部变量和标志寄存器一览表

编程元件	符号名	变量类型	数据类型	变量含义与作用
LW0	BUF_W	TEMP	WORD	输入 I0.0 ~ 1.7 状态暂存器
VW4500 0032	MD14510_16	—	WORD	用户数据 MD14510[16] 设定值(机床类型)
VW4500 1000	MD14512_00W	—	BOOL	用户数据 MD14512[0]、[1] 的设定值
VW4500 1002	MD14512_02W	—	BOOL	用户数据 MD14512[2]、[3] 的设定值
VW4500 1004	MD14512_04W	—	BOOL	用户数据 MD14512[4]、[5] 的设定值
VW4500 1006	MD14512_06W	—	BOOL	用户数据 MD14512[6]、[7] 的设定值
MW100	IN_BUFFER	—	WORD	IW0 缓冲寄存器(状态作为其他程序输入)
MW102	OUT_BUFFER	—	WORD	QW0 缓冲寄存器(状态来自其他程序输出)
MW120	OUT_BITS	—	WORD	来自其他程序的 Q0.0 ~ Q1.7 状态暂存器

子程序 SBR62 只使用内部局部变量，程序调用时无需进行赋值。表中的标志寄存器 MW100 是经 SBR62 使能、极性变换后的 I0.0 ~ I1.7 输入缓冲寄存器，在进行其他程序设计时，它应直接替代实际输入 I0.0 ~ I1.7 编程。标志寄存器 MW102 是输出 Q0.0 ~ Q1.7 经使



能、极性变换前的缓冲寄存器状态，在进行其他程序设计时，需要以缓冲信号 M102.0 ~ M103.7 替代 PLC 实际输出 Q0.0 ~ Q1.7。

### 3. PLC 程序设计

I/O 使能和极性变换的子程序设计实例如下，程序可在 SIEMENS 子程序 SBR62（FILTER）的基础上编写。程序分输入使能及极性变换、输入状态转换、输出使能及极性变换 3 部分，说明如下。

1) 输入使能及极性变换。实现输入 I0.0 ~ 1.7 使能与极性变换的 PLC 程序 Network1 的设计如图 5.1-10 所示。

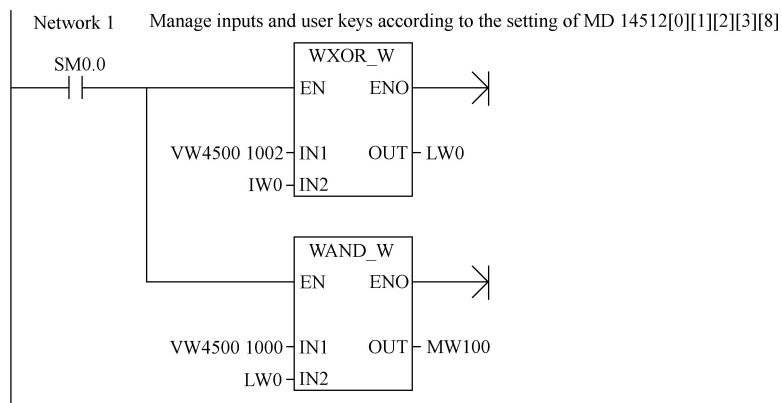


图 5.1-10 输入使能与极性变换程序

程序中的“异或”指令 `WXOR_W` 用于输入的极性变换，它通过 CNC 用户数据 MD14512 [2] / [3] 的二进制设定值和输入 I0.0 ~ 1.7 对应位的“异或”操作实现。例如，当用户数据 MD14512 [2] bit0 设定 0 时，表明输入 I0.0 为常开触点输入。此时，如 I0.0 的状态为 1，两者“异或”后，输入状态暂存变量 LW0 的结果为 1。而当 MD14512 [2] bit0 设定 1 时，表明输入 I0.0 为常闭触点输入。此时，如 I0.0 的状态为 1，两者“异或”后，输入状态暂存变量 LW0 的结果为 0 等。

程序中的 16 位“与”运算指令 `WAND_W` 用于输入的使能，它通过 CNC 用户数据 MD14512 [0] / [1] 的二进制设定值和输入状态暂存变量 LW0 对应位的“与”操作实现。例如，当用户数据 MD14512 [0] bit0 设定 0 时，表明输入 I0.0 无效。此时，无论 I0.0 的状态为 1 或 0，输入缓冲寄存器 M100.0 的结果总是为 0 等。

2) 输入状态转换。按机床电气设计的一般规定和要求，机床的急停、超程限位开关应使用常闭触点，但通过图 5.1-10 所示的极性变换程序处理后，在输入缓冲寄存器中所得到的结果将具有常开触点的性质。因此，需要通过图 5.1-11 所示的程序 Network2 将有关信号恢复为 PLC 程序中的常闭触点。

图 5.1-11 程序中的变量 L0.0、L0.1、L0.4、L0.5、L0.7 分别为输入 I0.0、I0.1、I0.4、I0.5、I0.7 的极性变换结果，在模板程序上，它们应分别连接 +X、+Z、-X、-Z 及急停输入信号；如用户数据 MD14510 [16] 的设定为 1、机床类型设定为铣床时，输入 I1.2、I1.4 应连接 +Y、-Y 行程限位开关，信号所对应的极性变换结果为变量 L1.2、L1.4。



Network2 可将以上输入信号的输入缓冲寄存器状态设置为常闭性质，网络的执行结果可直接覆盖 Network1 的输出 MW100。例如，当 I0.0 连接 +X 限位开关常闭触点时，按输入极性设定的要求，CNC 用户数据 MD14512 [2] bit0 的设定应为 1，此时，如 +X 未超程，输入 I0.0 为 1，经输入极性设定程序 Network1 的“异或”处理后，L0.0 和 M100.0 的结果将为 0，而在其他 PLC 程序中，则要求超程时的输入状态为 1，两者不符，因此，需要通过 Network2，直接用 L0.0 覆盖 Network1 的输出 M100.0。

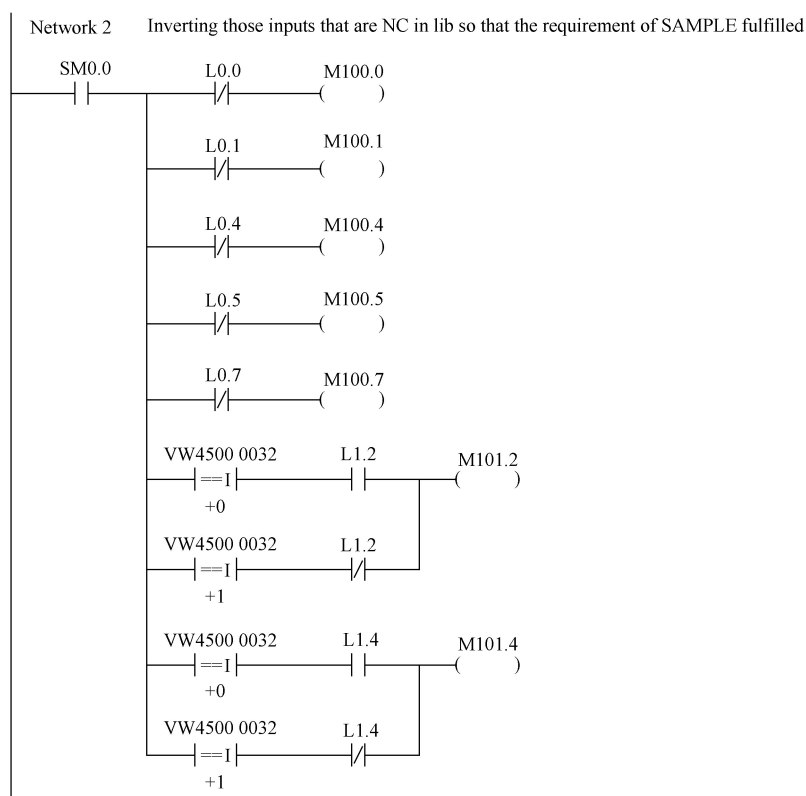


图 5.1-11 限位与急停输入状态转换程序

3) 输出使能与极性变换。实现输出 Q0.0 ~ 1.7 使能及极性变换的 PLC 程序 Network3 如图 5.1-12 所示。

Network3 其设计思路与图 5.1-10 相同，程序中的 MW102 为其他 PLC 程序所生成的输出 Q0.0 ~ 1.7 缓冲状态。网络通过 CNC 用户数据 MD14512 [6]/[7] 的设定值和输出状态缓冲寄存器 MB102/MB103 对应位的“异或”操作，实现了输出的极性变换；利用 MD14512 [4]/[5] 的设定值和 MB120/MB121 对应位的“与”操作，实现输出使能的控制。

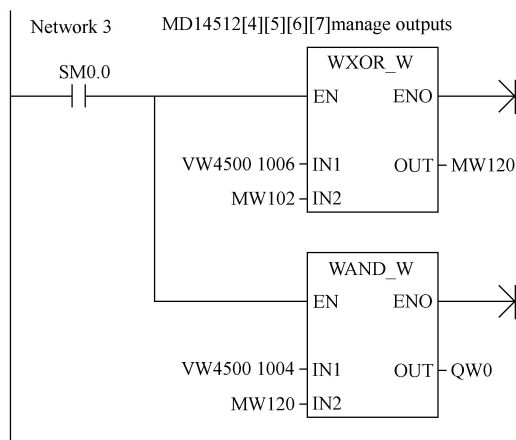


图 5.1-12 输出使能与极性变换程序



## 5.2 MCP 控制程序

### 5.2.1 程序设计要求

#### 1. 基本说明

机床操作面板（MCP）控制程序一般包括 CNC 操作方式选择、进给轴手动和回参考点操作、主轴手动、CNC 启动/停止、循环启动/进给保持等。面板按键上的指示灯可用来指示 CNC 或机床的工作状态。

由于 802S/C/D 的 MCP 设计较为简单，CNC 的示教（TEACH IN）和程序模拟操作方式，以及 CNC 加工程序的试运行、选择暂停（M01）、选择跳段等运行控制操作，一般需要通过 MDI/LCD 面板的软功能（菜单）键进行选择，因此，其控制需要通过 MDI/LCD 面板的 HMI（Human Machine Interface）信号实现。

MCP 控制程序设计时，需要综合考虑 CNC 基本控制、通道控制和 CNC 轴控制的要求。例如，PLC 程序中的进给倍率调节信号，不但要输出到 CNC 的轴控制信号 VB3800 0000（第 1 轴）、VB3801 0000（第 2 轴）和 VB3802 0000（第 3 轴）上，且还需要作为通道控制信号 VB3200 0004 的输出等。

在 802S/C/D 上，CNC 基本信号、通道信号、轴信号均可通过对应的 PLC 公共变量 V，由操作系统自动传送。例如，V3000 \* \* \* \*、V3100 \* \* \* \* 分别为 CNC 基本控制信号和 CNC 基本状态信息；V3200 \* \* \* \*、V3300 \* \* \* \* 则分别为通道运行控制信号和通道工作状态信息；而 V3800 \* \* \* \*、V3900 \* \* \* \* 则分别为 CNC 的轴控制信号和轴工作状态信息等。为了便于程序设计和阅读，现将以上 3 部分信号的说明如下。

#### 2. CNC 基本信号

CNC 基本信号包括基本控制信号和基本工作状态信号两类，前者主要用于 CNC 操作方式选择；后者主要用于 CNC 基本状态指示。802 系列 CNC 与 MCP 操作相关的 CNC 基本信号及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 5.2-1 所示。

表 5.2-1 802S/C/D 系统 CNC 基本信号表

编程地址	信号名称	作用与功能
控制信号		
V3000 0000.0	AUTO 方式	操作方式选择 AUTO(自动)
V3000 0000.1	MDA 方式	操作方式选择 MDA(手动数据输入自动)
V3000 0000.2	JOG 方式	操作方式选择 JOG(手动)
V3000 0000.4	方式转换禁止	操作方式 AUTO/MDA/JOG 禁止转换
V3000 0000.7	CNC 复位	CNC 复位,程序、轴运行停止,清除报警和模态代码
V3000 0001.0	TEACHIN 方式	操作方式选择 TEACHIN(示教)
V3000 0001.2	REF 方式	操作方式选择 REF(手动回参考点)
状态信号		
V3100 0000.0	AUTO 方式生效	操作方式 AUTO(自动)生效
V3100 0000.1	MDA 方式生效	操作方式 MDA 生效
V3100 0000.2	JOG 方式生效	操作方式 JOG(手动)生效
V3100 0000.3	CNC 准备好	CNC 准备好
V3000 0001.0	TEACHIN 方式生效	操作方式 TEACHIN 生效
V3000 0001.2	REF 方式生效	操作方式 REF 生效



### 3. 通道信号

通道信号包括通道运行控制信号和通道工作状态信号两类，前者主要用于 CNC 程序的运行控制，后者主要用于程序运行状态指示。802 系列 CNC 与面板操作相关的主要通道控制信号，以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 5.2-2 所示；有关通道工作状态信号可参见第 6 章。

表 5.2-2 802S/C/D 通道控制信号表

编程地址	信号名称	作用与功能
V3200 0000.4	单程序段运行	选择单程序段运行操作
V3200 0000.5	M01 有效	选择暂停指令 M01 生效
V3200 0000.6	程序试运行	选择程序试运行操作
V3200 0001.0	回参考点启动	按规定机床参数设定的顺序,启动坐标轴自动回参考点操作
V3200 0001.7	程序测试	程序测试运行,坐标轴/主轴停止,辅助功能正常输出
V3200 0004.0 ~ .4	进给倍率调节	5 位格雷码的进给倍率调节 FVA ~ FVE 信号输入
V3200 0005.0 ~ .4	快速倍率调节	5 位格雷码的快速进给倍率调节 RVA ~ RVE 信号输入
V3200 0006.6	快速倍率有效	快速进给倍率调节 RVA ~ RVE 信号有效
V3200 0006.7	进给倍率有效	进给倍率调节 FVA ~ FVE 信号有效(参见 5.1.1 节)
V3200 0007.0	NC 启动禁止	禁止 NC 启动,NC. START 信号无效
V3200 0007.1	NC. START	启动 NC 程序自动运行操作(即 C. START)
V3200 0007.2	程序段结束停止	当前程序段结束后停止
V3200 0007.3	NC. STOP	停止程序自动运行,轴停止,剩余行程保留(即 F. HOLD)
V3200 0007.4	进给轴/主轴停止	自动运行时功能与 NC. STOP 相同;信号对手动操作无效
V3200 1000.0 ~ .2	第 1 轴手轮选择	第 1 轴手轮 1 ~ 3 生效
V3200 1000.3	第 1 轴进给停止	停止第 1 轴 JOG 进给
V3200 1000.4	第 1 轴锁定	禁止第 1 轴 JOG 进给操作
V3200 1000.5	第 1 轴手动快速	第 1 轴手动快速
V3200 1000.6	第 1 轴负向手动	第 1 轴负向 JOG、INC 运动
V3200 1000.7	第 1 轴正向手动	第 1 轴正向 JOG、INC 运动
V3200 1001.0	第 1 轴 INC × 1	第 1 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 1
V3200 1001.1	第 1 轴 INC × 10	第 1 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 10
V3200 1001.2	第 1 轴 INC × 100	第 1 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 100
V3200 1001.3	第 1 轴 INC × 1000	第 1 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 1000
V3200 1001.4	第 1 轴 INC × 10000	第 1 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 10000(部分 CNC 可用)
V3200 1001.5	第 1 轴 INC Var	第 1 轴增量进给,距离由 MDI 面板输入(部分 CNC 可用)
V3200 1001.6	第 1 轴连续点动	第 1 轴增量进给,连续点动操作
V3200 1004.0 ~ .2	第 2 轴手轮选择	第 2 轴手轮 1 ~ 3 生效
V3200 1004.3	第 2 轴进给停止	停止第 2 轴 JOG 进给
V3200 1004.4	第 2 轴锁定	禁止第 2 轴 JOG 进给操作
V3200 1004.5	第 2 轴手动快速	第 2 轴手动快速



(续)

编程地址	信号名称	作用与功能
V3200 1004. 6	第 2 轴负向手动	第 2 轴负向 JOG、INC 运动
V3200 1004. 7	第 2 轴正向手动	第 2 轴正向 JOG、INC 运动
V3200 1005. 0	第 2 轴 INC × 1	第 2 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 1
V3200 1005. 1	第 2 轴 INC × 10	第 2 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 10
V3200 1005. 2	第 2 轴 INC × 100	第 2 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 100
V3200 1005. 3	第 2 轴 INC × 1000	第 2 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 1000
V3200 1005. 4	第 2 轴 INC × 10000	第 2 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 10000(部分 CNC 可用)
V3200 1005. 5	第 2 轴 INC Var	第 2 轴增量进给,距离由 MDI 面板输入(部分 CNC 可用)
V3200 1005. 6	第 2 轴连续点动	第 2 轴增量进给,连续点动操作
V3200 1008. 0 ~ . 2	第 3 轴手轮选择	第 3 轴手轮 1 ~ 3 生效
V3200 1008. 3	第 3 轴进给停止	停止第 3 轴 JOG 进给
V3200 1008. 4	第 3 轴锁定	禁止第 3 轴 JOG 进给操作
V3200 1008. 5	第 3 轴手动快速	第 3 轴手动快速
V3200 1008. 6	第 3 轴负向手动	第 3 轴负向 JOG、INC 运动
V3200 1008. 7	第 3 轴正向手动	第 3 轴正向 JOG、INC 运动
V3200 1009. 0	第 3 轴 INC × 1	第 3 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 1
V3200 1009. 1	第 3 轴 INC × 10	第 3 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 10
V3200 1009. 2	第 3 轴 INC × 100	第 3 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 100
V3200 1009. 3	第 3 轴 INC × 1000	第 3 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 1000
V3200 1009. 4	第 3 轴 INC × 10000	第 3 轴增量进给,距离为最小移动单位 × 10000(部分 CNC 可用)
V3200 1009. 5	第 3 轴 INC Var	第 3 轴增量进给,距离由 MDI 面板输入(部分 CNC 可用)
V3200 1009. 6	第 3 轴连续点动	第 3 轴增量进给,连续点动操作

#### 4. CNC 轴控制信号

CNC 轴信号用于进给轴、主轴的基本控制和工作状态指示,它包括轴控制信号和轴工作状态信号两类,前者主要用于进给轴、主轴的运动控制,后者主要用于进给轴、主轴运动状态指示。802 系列 CNC 与面板操作相关的主要 CNC 轴控制信号,以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 5.2-3 所示。表中的“\*”可以是 0、1、2、3、4,分别代表第 1、2、3、4、5 轴控制信号。有关通 CNC 轴工作状态信息可参见第 6 章。

表 5.2-3 802S/C/D 轴控制信号表

编程地址	信号名称	作用与功能
V380 * 0000. 0 ~ . 4	进给倍率调节	5 位格雷码的进给倍率调节 FVA ~ FVE 信号输入
V380 * 0001. 7	进给倍率生效	进给倍率调节功能(参见 5.1.1 节)
V380 * 0002. 2	复位	轴复位、删除 JOG 剩余行程,但程序剩余行程需要通道信号删除





(续)

编程地址	信号名称	作用与功能
V380 * 0004.0 ~ .2	手轮生效	依次为手轮 1 ~ 3 进给操作生效
V380 * 0004.4	方向键禁止	禁止手动方向键操作
V380 * 0004.5	手动快速	选择手动快速进给
V380 * 0004.6	负向运动	起动 JOG、INC、REF 方式轴负向运动
V380 * 0004.7	正向运动	起动 JOG、INC、REF 方式轴正向运动
V380 * 0005.0	INC × 1	增量进给, 距离为最小移动单位 × 1
V380 * 0005.1	INC × 10	增量进给, 距离为最小移动单位 × 10
V380 * 0005.2	INC × 100	增量进给, 距离为最小移动单位 × 100
V380 * 0005.3	INC × 1000	增量进给, 距离为最小移动单位 × 1000
V380 * 0005.4	INC × 10000	增量进给, 距离为最小移动单位 × 10000(部分 CNC 可用)
V380 * 0005.5	INC Var	增量进给, 距离由 MDI 面板设定(部分 CNC 可用)
V380 * 0005.6	JOG 操作	选择手动连续进给操作(JOG)
V3803 2001.0	进给倍率有效	进给倍率调节对主轴有效
V3803 2003.0 ~ .4	主轴倍率调节	5 位格雷码的主轴倍率调节 SOVA-E 信号输入

### 5.2.2 MCP 与 HMI 信号

如前所述, 802S/C/D 的面板操作信号实际上包括 MCP 信号和 HMI 信号两类, 两类信号的使用方法分别如下。

#### 1. MCP 信号

802S/C/D 的 MCP 信号在不同 CNC 上有如下不同(参见第 4 章), 在进行 PLC 程序设计时应注意区别。

1) 802S/C。无论是 802S/C 的分离型 MCP 或是 802Se/Ce、802S base line /C base line 的集成型 MCP, 都直接与 CNC (ECU) 连接。其 I/O 信号均由 PLC 操作系统传送。因此, 在 PLC 程序中, 它们都需要以变量 V 的形式编程, 且地址固定。

2) 802D。802D 的 MCP 直接与 PP 72/48 紧凑型 I/O 模块连接, 其 I/O 信号的实际编程地址为 I/Q, 具体地址因连接而异。如果需要, 也可通过 MCP 处理子程序 SBR34 (MCP\_802D) 将 I/O 信号转换为 PLC 变量 VB1000 0000 ~ 1000 0008 (输入) 和 VB1100 0000 ~ 1100 0005 (输出)。

3) 808D/828D。808D/828D 的 MCP 都通过 USB 接口与 PPU 连接, 但编程地址不同。其中, 808D 的 I/O 信号由 PLC 操作系统内部传送, 需要以数据存储器 (DB) 的形式编程; 828D 的 I/O 信号则可通过操作系统转换为 14/8 字节输入/输出, I/O 地址固定为 I112.0 ~ I125.7/Q112.0 ~ 119.7。

虽然不同 CNC 的 I/O 地址有所区别, 但其 PLC 程序设计的基本方法相同。例如, 对于 802S/C 分离型 MCP, 经操作系统转换后的面板按键和指示灯 I/O 编程地址如表 5.2-4 所示,



按键和指示灯布置及信号说明可参见第 4 章。

表 5.2-4 分离型 MCP I/O 编程地址简表

编程地址(变量 V)		bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
输入	V1000 0000	操作方式选择键		用户自定义键					
		JOG	INC	K6	K5	K4	K3	K2	K1
	V1000 0001	方向键	主轴手动键			操作方式选择键			
		K16	CCW	STOP	CW	MDA	单段	AUTO	REF
	V1000 0002	手动快速与方向键							
		K24	K23	K22	K21	RAPID	K19	K18	K17
	V1000 0003	—	—	—	—	—	NC 控制键		
							START	STOP	RESET
	V1000 0004	—	—	—	进给倍率开关输入				
					E	D	C	B	A
输出	V1000 0005	—	—	—	主轴倍率开关输入				
					E	D	C	B	A
	V1100 0000	—	—	用户自定义按键指示灯					
				I6	I5	I4	I3	I2	I1

对于使用集成型 MCP 的 802Se/Ce、802S base line /C base line，经操作系统转换后的面板按键和指示灯 I/O 编程地址如表 5.2-5 所示，面板按键和指示灯的布置及信号说明可参见 4.2 节。

表 5.2-5 集成型 MCP I/O 编程地址简表

编程地址(变量 V)		bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
输入	V1000 0000	操作方式选择键		用户自定义键					
		JOG	INC	K6	K5	K4	K3	K2	K1
	V1000 0001	方向键	主轴手动键			操作方式选择键			
		K22	CCW	STOP	CW	MDA	单段	AUTO	REF
	V1000 0002	手动快速与方向键							
		K30	K29	K28	K27	RAPID	K25	K24	K23
	V1000 0003	用户自定义键				—	—	NC 控制键	
		K10	K9	K8	K7		START	STOP	RESET
	V1000 0004	—	用户自定义键		进给倍率调节键				
			K12	K11	F% —	—	100%	—	F% +
输出	V1000 0005	—	—	—	主轴倍率调节键				
					SP% —	—	100%	—	SP% +
	V1100 0000	用户自定义按键指示灯							
		L8	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1
输出	V1100 0001	用户自定义按键指示灯							
		L16	L15	L14	L13	L12	L11	L10	L9



## 2. HMI 信号

802S/C/D 配套的 MCP 通常较简单, CNC 的示教 (TEACH IN) 和程序模拟操作方式, 以及 CNC 加工程序的试运行、选择暂停 (M01)、选择跳段等运行控制操作, 一般需要通过 MDI/LCD 面板的软功能 (菜单) 键进行选择。这些信号需要使用来自 MDI/LCD 面板软功能键的 HMI 接口信号, 但对于 MCP 所具备的按键, 一般不使用 HMI 信号。802S/C/D 常用的 HMI 信号如表 5.2-6 所示。

表 5.2-6 802S/C/D 常用的 HMI 信号表

编程地址	信号名称	作用与功能
V1700 0000.5	M01 生效	程序运行控制: 选择了 M01 生效软功能键
V1700 0000.6	程序试运行	程序运行控制: 选择了程序试运行软功能键
V1700 0001.3	快速倍率生效	程序运行控制: 选择了快速倍率生效软功能键
V1700 0001.7	程序测试	程序运行控制: 选择了程序测试软功能键
V1700 0002.0	选择跳段	程序运行控制: 选择了程序选择跳段软功能键
V1700 0003.7	刀具测量	CNC 操作方式: 选择了 JOG 刀具测量操作
V1800 0000.0	AUTO	CNC 操作方式: 选择了 AUTO 软功能键 (一般用 MCP 键控制)
V1800 0000.1	MDA	CNC 操作方式: 选择了 MDA 软功能键 (一般用 MCP 键控制)
V1800 0000.2	JOG	CNC 操作方式: 选择了 JOG 软功能键 (一般用 MCP 键控制)
V1800 0000.4	方式转换禁止	选择了操作方式选择禁止软功能键
V1800 0000.6	刀具测量起动	选择了刀具测量起动软功能键
V1800 0001.0	TEACH IN	CNC 操作方式: 选择了 TEACH IN (示教) 软功能键
V1800 0001.2	REF	CNC 操作方式: 选择了 REF 软功能键 (一般用 MCP 键控制)
V1900 0000.6	程序模拟	CNC 操作方式: 选择了程序模拟软功能键
V1900 1003.0 ~ .2	第 1 手轮轴选择	选择第 1 手轮控制的轴选择软功能键
V1900 1003.7	第 1 手轮轴选择	选择第 1 手轮控制机床轴软功能键
V1900 1004.0 ~ .2	第 2 手轮轴选择	选择第 2 手轮控制的轴选择软功能键
V1900 1004.7	第 2 手轮轴选择	选择第 2 手轮控制机床轴软功能键
V1900 1005.0 ~ .2	第 3 手轮轴选择	选择第 3 手轮控制的轴选择软功能键
V1900 1005.7	第 3 手轮轴选择	选择第 3 手轮控制机床轴软功能键
V1900 5000.2	MDI 键盘锁定	禁止 MDI 键盘操作 (PLC 输出控制信号)
V1900 5001.0	更新刀补	更新 LCD 的刀具补偿数据表 (PLC 输出控制信号)
V1900 5002.0	刀具测量生效	CNC 为刀具测量操作状态 (PLC 输出控制信号)
VD19005004	测量刀具号	进行刀具测量操作的刀具号 (PLC 输出控制信号)

### 5.2.3 PLC 程序典例

#### 1. 基本说明

802 系列 CNC 的 MCP 功能类似, 接口信号的地址基本相同, 因此, 其 PLC 程序设计方法类似。SIEMENS 子程序库中的 SBR38 (MCP\_NCK) 是用于 MCP 控制的基本 PLC 程序, 用户可直接或略加修改后使用。



在进行 MCP 控制程序设计需要注意以下几点。

1) 由于通道控制信号中的进给倍率生效信号 V3200 0006.7, 以及 CNC 控制信号中的第 1~5 轴位置反馈生效信号 V380 \* 0001.5、进给倍率生效信号 V380 \* 0001.5 等, 已在 PLC 初始化子程序 SBR32 (PLC\_ INI) 中处理, 无需重复编程。

2) 可直接通过 MCP 按键进行控制的功能, 如 CNC 的操作方式 AUTO、MDA、JOG、REF 选择等, 一般不应使用来自 MDI/LCD 软功能键的 HMI 输入信号。

3) 对于 MCP 没有设置相应操作键的操作方式转换禁止、M01 生效、程序试运行、选择跳段、快速倍率生效等操作, 需要使用来自 MDI/LCD 软功能键的 HMI 信号。

以下是在 SBR38 基础上编写的 MCP 控制子程序, 该程序需要使用 2 字节标志寄存器 MB105/MB106。子程序分为 CNC 基本控制、通道控制、INC (增量进给) 控制、倍率调节 4 部分, 说明如下。

## 2. CNC 基本控制程序

生成 CNC 基本控制信号的典型 PLC 程序如图 5.2-1 所示。

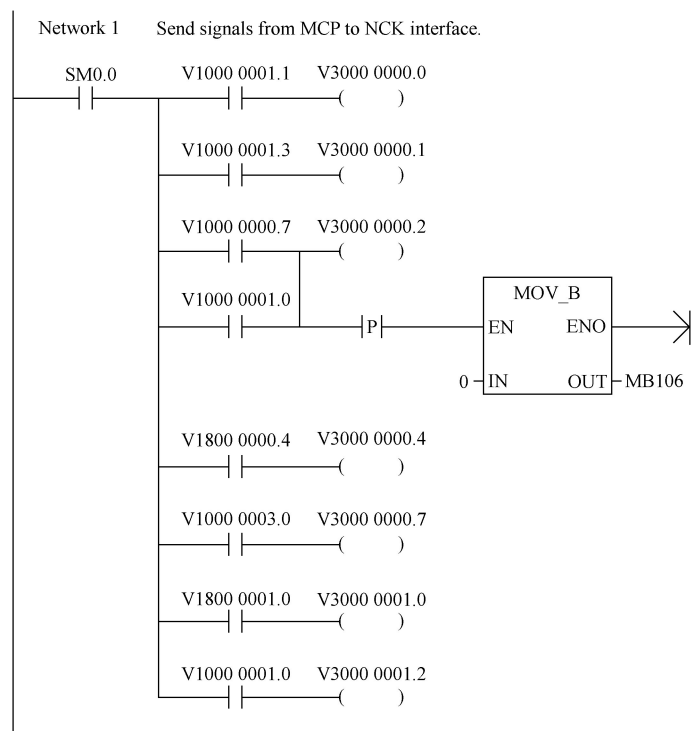


图 5.2-1 CNC 基本控制程序

Network1 可通过 MCP 按键和 MDI/LCD 软功能键选择 CNC 的基本操作方式。其中, CNC 的 AUTO、MDA、JOG、REF 等基本操作方式选择信号 V3000 0000.0 (AUTO)、V3000 0000.1 (MDA)、V3000 0000.2 (JOG)、V3000 0001.2 (REF) 及 CNC 复位信号 V3000 0000.7 (RESET), 在 MCP 上均有相应的按键, 可直接使用 MCP 信号。CNC 的操作方式转换禁止信号 V3000 0000.4、示教 (TEACH) 操作方式选择信号 V3000 0001.0, 因 MCP 未布置对应的按键, 需要用 MDI/LCD 软功能键的 HMI 信号控制。



程序对 CNC 操作方式选择信号 JOG、REF，进行了如下处理。

1) REF 方式选择。一般而言，绝大多数 CNC（包括 802）的手动回参考点操作需要在手动进给操作方式 JOG 选择后才能生效。因此，操作 MCP REF 按键时，其输入信号 V1000 0001.0 应将 CNC 的 JOG 方式选择信号 V3000 0000.2 和 REF 方式选择信号 V3000 0001.2 同时置 1。

2) INC 操作方式。802 的 MCP 较简单，它没有设计用于增量进给距离选择的 INC × 1、INC × 10、INC × 100、INC × 1000 等按键，因此，增量进给距离的选择一般需要通过 INC 按键的重复操作，通过改变 MB106 的值进行变换（程序见后述）。为了便于操作，Network1 可在选择 JOG、REF 操作时（V3000 0000.2 = 1），复位 INC 进给距离控制寄存器 MB106，使增量进给距离成为 INC × 1。

### 3. CNC 通道控制程序

典型的通道基本控制信号生成程序如图 5.2-2 所示。

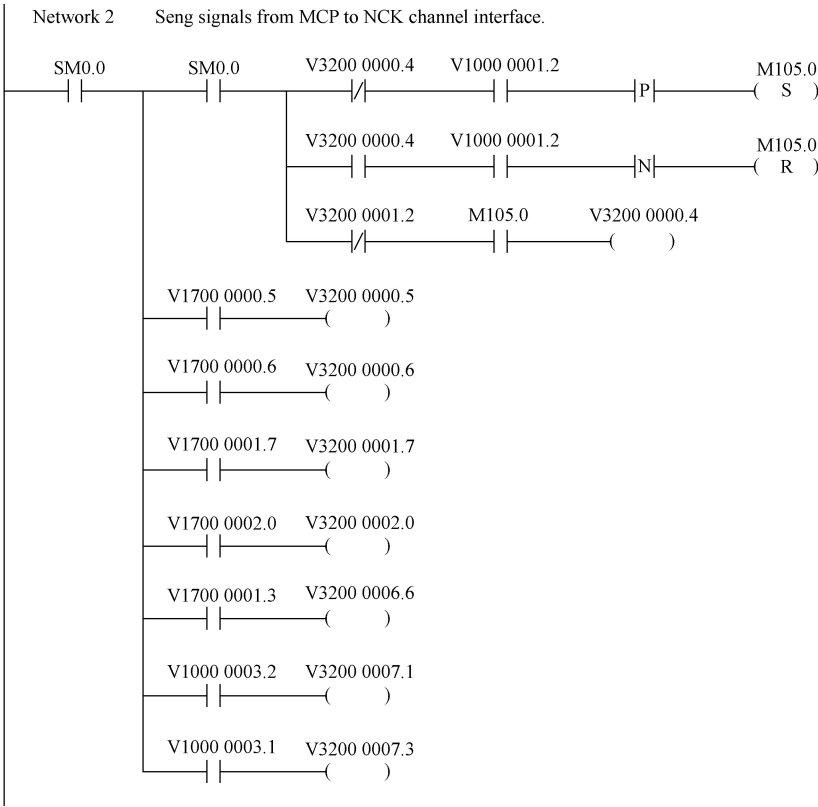


图 5.2-2 通道基本控制程序

Network2 主要用于 CNC 加工程序的运行控制，作用如下。

1) 单段运行控制。CNC 加工程序单段运行时，控制信号 V3200 0000.4 应保持为 1，由于 MCP 的按键均为自复位按键，为此，程序中的信号 V3200 0000.4 采用了输入 V1000 0001.2 控制的交替通断典型程序，它可通过单段键的重复操作，使 V3200 0000.4 交替通断。交替通断程序的说明可参见 2.2 节，为了方便程序阅读，该程序块增加了状态恒为 1 的前置触点 SM0.0。



2) 其他运行控制。802 系列 CNC 的 MCP 未设计程序试运行、程序测试、跳过选择程序段、快进倍率生效等程序运行控制键, 因此, 通道控制信号中的 V3200 0000.6 (试运行)、V3200 0001.7 (程序测试)、V3200 0002.0 (选择跳段)、V3200 0006.6 (快速倍率生效) 等, 需要由 HMI 信号进行控制。一般而言, MDI/LCD 软功能键一旦被选择, HMI 信号的状态可保持, 故无需使用交替控制程序。

3) 程序启动/停止控制。在 SIEMENS 公司的 CNC 上, 加工程序的循环启动 (C. START) 和进给保持 (F. HOLD) 一般称 NC 启动 (NC. START) 和 NC 停止 (NC. STOP), 因此, 通道的加工程序启动和停止控制信号 V3200 0007.1 (NC START)、V3200 0007.3 (NC STOP), 可通过 MCP 的 NC START、NC STOP 按键输入信号 V1000 0003.2、V1000 0003.1 进行控制。

#### 4. 增量进给控制程序

802 系列 CNC 的 MCP 没有用于增量进给距离选择的  $\text{INC} \times 1$ 、 $\text{INC} \times 10$ 、 $\text{INC} \times 100$ 、 $\text{INC} \times 1000$  的按键和开关, 为此, 可通过图 5.2-3 所示的程序, 利用 INC 键的重复操作实现增量进给距离  $\text{INC} \times 1$ 、 $\text{INC} \times 10$ 、 $\text{INC} \times 100$ 、 $\text{INC} \times 1000$  的变换。

程序中的 Network3 用于增量进给状态信号的生成, 程序可通过移位指令 SHL\_B 对状态寄存器 MB106 的移位控制, 在 M106.0 ~ M106.5 上生成与增量进给  $\text{INC} \times 1$ 、 $\text{INC} \times 10$ 、 $\text{INC} \times 100$ 、 $\text{INC} \times 1000$ 、连续点动 (即 JOG) 操作相对应的状态位。

在 CNC 开机或选择了 JOG、REF 操作后, MB106 将成为初始状态 0。此时, 如按 MCP 的增量进给操作选择键 INC, 其输入信号 V1000 0000.6 的上升沿将使 M106.0 置位, 对应的增量进给距离选择为  $\text{INC} \times 1$ 。在此基础上, 如继续按 INC 键, 则每次操作 INC 键, 都可通过 V1000 0000.6 的上升沿使 MB106 左移 1 位, MB106 的状态依次成为 0000 0010、0000 0100……

当 MB106 左移到达 0010 0000 ( $\text{M106.5} = 1$ )、连续点动 (即 JOG) 被选择时, 如再按 INC 键, 则可通过 V1000 0000.6 的上升沿直接复位 M106.5, 并将 M106.0 置位, 使增量进给距离选择恢复成  $\text{INC} \times 1$  方式。

程序中的 Network4 用于增量进给控制信号输出。在 802 等 CNC 上, 增量距离选择信号  $\text{INC} \times 1$ 、 $\text{INC} \times 10$ 、 $\text{INC} \times 100$ 、 $\text{INC} \times 1000$ 、连续点动, 不仅需要输出到通道所属的第 1 ~ 3 轴接口信号 VB3200 1001、VB3200 1005、VB3200 1009 上, 而且还需要根据 CNC 的实际坐标轴配置, 同时输出到 CNC 轴控制信号的第 1 ~ 4 进给轴接口信号 VB3800 0005 (第 1 轴)、VB3801 0005 (第 2 轴)、VB3802 0005 (第 3 轴)、VB3803 0005 或 VB3804 0005 (第 4 轴) 上。

例如, 对于 3 轴控制的机床, 当  $\text{M106.0} = 1$  时, 通道控制的第 1 ~ 3 轴  $\text{INC} \times 1$  信号 V3200 1001.0、V3200 1005.0、VB3200 1009.0, 以及 CNC 轴控制信号中的第 1 ~ 3 进给轴  $\text{INC} \times 1$  信号 V3800 0005.0、V3801 0005.0、VB3802 0005.0 需要同时输出 1。

#### 5. 倍率调节程序

采用分离型 MCP 的 3 轴铣床进给和主轴倍率调节程序如图 5.2-4 所示。

802 系列 CNC 的分离型 MCP 一般都安装有进给倍率调节开关, 进给倍率调节开关既可用于通道的加工程序运行控制, 也可同时用于 CNC 的进给轴控制。因此, 信号不仅需要作为通道进给倍率控制信号 VB3200 0004 输出, 而且还需要根据 CNC 的坐标轴配置, 将其输

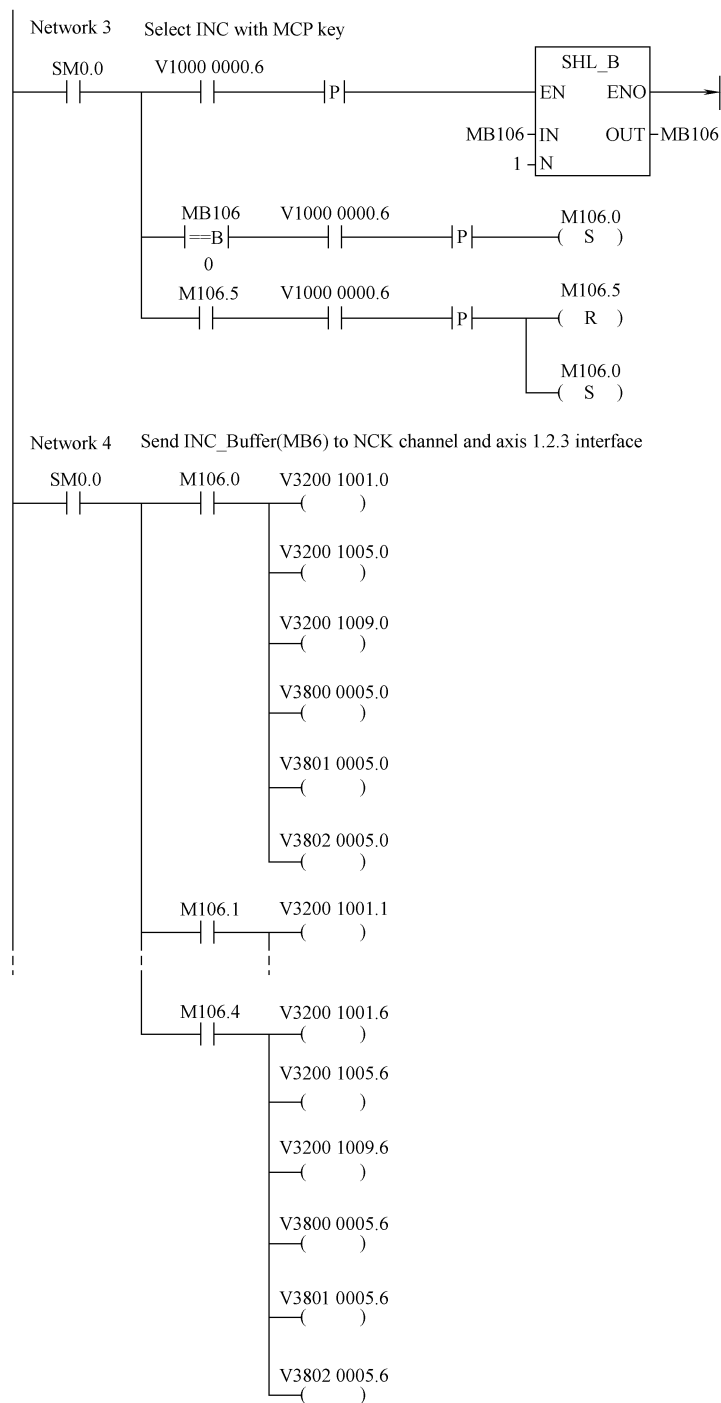


图 5.2-3 增量进给信号生成程序

出到 CNC 轴控制信号中的第 1 ~ 3 进给轴接口信号 VB3800 0000 (第 1 轴)、VB3801 0000 (第 2 轴)、VB3802 0002 (第 3 轴) 上。

如果进给倍率调节采用的是 5 位格雷码开关, 其输入信号可直接作为通道进给倍率调节



信号 VB3200 0004 和轴进给倍率调节信号 VB380 \* 0000 输出。如通道控制信号中的快速倍率有效信号 V3200 0006.6 为 1, 该进给倍率调节开关还可同时用于快速倍率调节。此时, 倍率调节信号应同时作为通道控制的快速倍率调节信号 VB3200 0005 输出。

进给倍率调节信号在 MCP 输入信号、通道和轴控制信号中均单独占 1 字节编程地址, 因此, 可直接使用指令 MOV\_B 一次性输出倍率调节信号。因此, Network5 直接通过移动指令 MOV\_B, 将来自 MCP 的进给倍率输入信号 V1000 0004.0 ~ V1000 0004.4, 一次性输出到通道进给倍率控制信号 VB3200 0004、快速倍率调节信号 VB3200 0005 及轴控制信号 VB3800 0000 (第 1 轴)、VB3801 0000 (第 2 轴)、VB3802 0002 (第 3 轴) 上。

采用分离型 MCP 的 802S/C/D 一般安装有主轴倍率调节开关, 如主轴倍率调节采用的是 5 位格雷码开关, 其输入信号也可直接作为轴控制信号中的主轴倍率信号 (VB3803 2003) 输出。

使用集成型 MCP 的 802Se/Ce、802S base line /C base line 无进给倍率和主轴倍率调节开关, 此时, 需要通过后述的倍率增/减控制程序, 将其转换为格雷码后才能作为通道控制、CNC 轴控制的进给或主轴倍率信号。

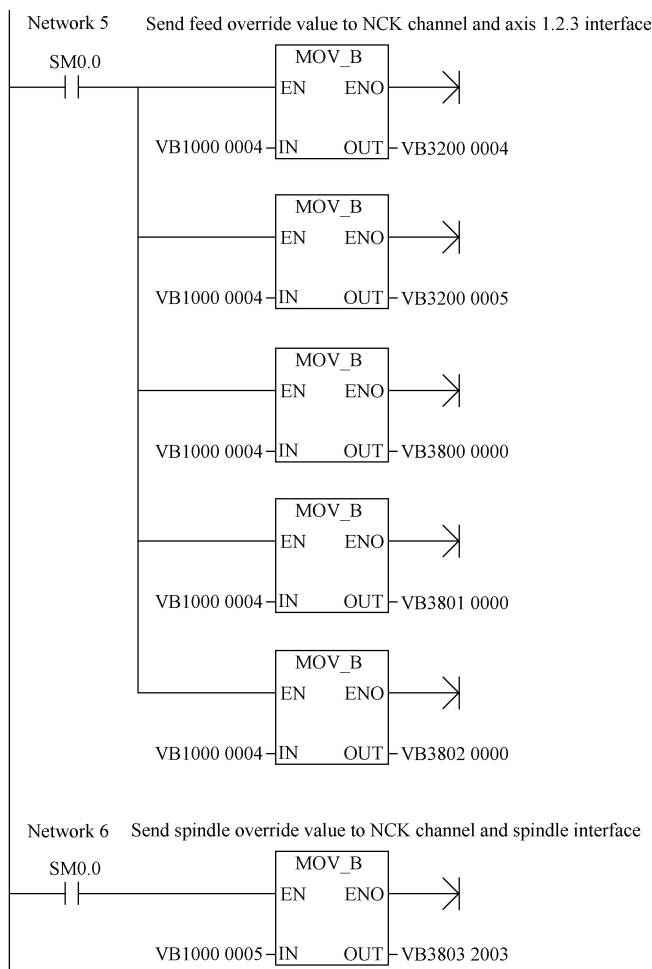


图 5.2-4 倍率调节程序

## 5.3 特殊按键处理程序

### 5.3.1 倍率增/减按键控制

#### 1. 程序设计要求

SIEMENS 数控系统的通道控制、CNC 轴控制信号中的进给倍率、快速倍率和主轴倍率一般要求格雷码输入, 因此, 当控制面板通过倍率增/减键调节时, 需要通过 PLC 程序将倍率增/减信号转换成表 5.3-1 所示的格雷码信号。





表 5.3-1 802S/C/D 倍率调节信号输入要求表

倍率调节输入		生效的倍率值			格雷码转换为十六进制数
位置	格雷码	进给(F%)	快速(G00%)	主轴(SP%)	
1	00001	0	0	50	1
2	00011	1	1	55	3
3	00010	2	2	60	2
4	00110	4	4	65	6
5	00111	6	6	70	7
6	00101	8	8	75	5
7	00100	10	10	80	4
8	01100	20	20	85	C
9	01101	30	30	90	D
10	01111	40	40	95	F
11	01110	50	50	100	E
12	01010	60	60	105	A
13	01011	70	70	110	B
14	01001	75	75	115	9
15	01000	80	80	120	8
16	11000	85	85	120	18
17	11001	90	90	120	19
18	11011	95	95	120	1B
19	11010	100	100	120	1A
20	11110	105	100	120	1E
21	11111	110	100	120	1F
22	11101	115	100	120	1D
23	11100	120	100	120	1C
24	10100	120	100	120	14
...	...	...	...	...	...
31	10000	120	100	120	10

## 2. PLC 程序设计

倍率调节信号的格雷码转换有多种方法，图 5.3-1 和图 5.3-2 是通过增减按键的计数产生虚拟格雷码开关位置、生成主轴倍率格雷码控制信号的程序例，它同样可以用于进给倍率、快速进给倍率的格雷码信号生成。

图 5.3-1 所示的程序 Network1 可通过倍率增/减按键的操作，在标志寄存器 MW242 中生成虚拟格雷码开关位置的状态信号。程序中的局部变量 L0.0 可用于倍率增/减按键生效控制，它可利用 CNC 用户数据进行设定，或通过子程序变量的赋值，使之为 1。

由表 5.3-1 可见，802 系列 CNC 可利用格雷码的主轴倍率调节信号 VB3803 2003，选择 15 级倍率，其中，开关位置 11 所对应的倍率为 100%。因此，在 Network1 上，需要通过

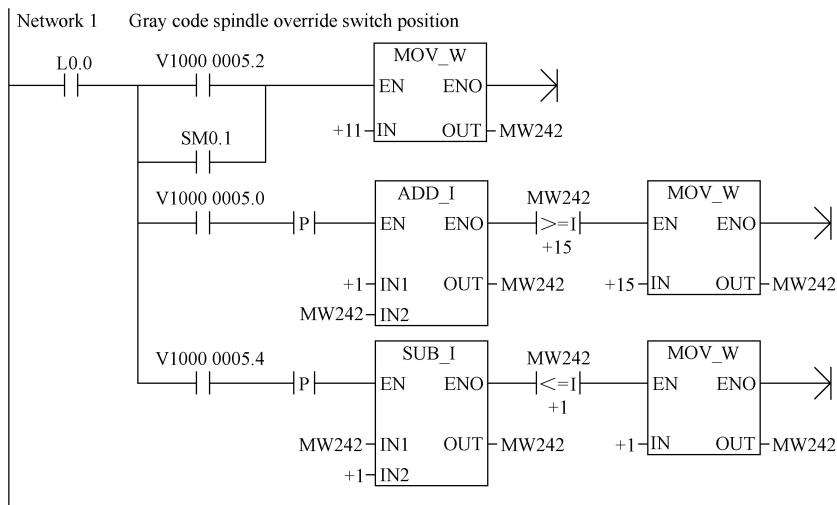


图 5.3-1 增/减按键计数程序

MCP 的主轴倍率 100% 按键输入信号 V1000 0005.2 及 PLC 的首次循环脉冲 SM0.1，将虚拟格雷码开关位置的标志寄存器 MW242 设定为 11，以选择 100% 倍率。此后，如按倍率增加键【+ SP%】，输入信号 V1000 0005.0 的上升沿可通过 ADD\_I 指令使 MW242 增 1；如按倍率减少键【- SP%】，输入信号 V1000 0005.4 的上升沿可通过 SUB\_I 指令使 MW242 减 1。

为了虚拟 15 位置的格雷码开关，在 Network1 中，当 MW242 的计数值到达 15 后，如再按倍率增加键【+ SP%】，将直接通过移位指令 MOV\_W 使 MW242 = 15；同样，当 MW242 的计数值到达 1 时，如再按倍率减少键【- SP%】，则可通过移位指令 MOV\_W 直接使 WM242 = 1。

图 5.3-2 所示的程序可将虚拟格雷码开关位置转换为格雷码输出信号。

Network2 可根据标志寄存器 MW242 中的虚拟格雷码开关位置，通过数据移动指令直接将表 5.3-1 所要求的格雷码输出到主轴倍率调节信号 VB3803 2003 上。例如，当 MW242 = 1 或 2 时，可分别将十六进制数 01 或 03 输出到 VB3803 2003，因 01H、03H 所对应的状态为 0000 0010、0000 0011，它就是格雷码开关位

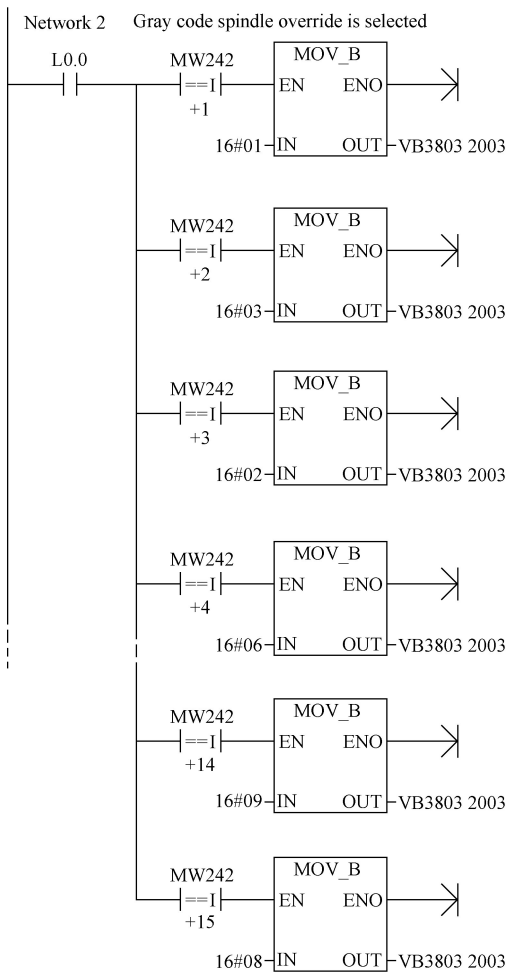


图 5.3-2 格雷码生成和输出程序



置1、2的输出信号，从而实现了转换格雷码信号的目的。

### 5.3.2 轴运动方向键处理

CNC的MCP一般都需要布置 $+X/-X$ 、 $+Y/-Y$ 、 $+Z/-Z$ 等进给轴运动方向选择键(简称方向键)，以便选择JOG、INC、REF操作时的运动轴和方向。MCP的方向键布置应按照数控机床的坐标轴及方向定义的标准要求，根据机床的结构形式，选择容易识别的布置形式，以方便操作。

#### 1. 坐标轴及运动方向的规定

数控机床相关标准对坐标轴的规定如下，对于直线轴，刀具远离工件的方向应为坐标轴的正向。

1) Z轴。刀具沿主轴轴线方向的运动轴为Z轴，如机床有多个主轴或无主轴，则以垂直工件安装面的轴为Z轴。

2) X轴。刀具在工件安装平面的主要运动轴为X轴，它与Z轴垂直、并平行于工件安装面。

3) Y轴。在Z、X轴确定后，通过图5.3-3a所示的右手定则确定。

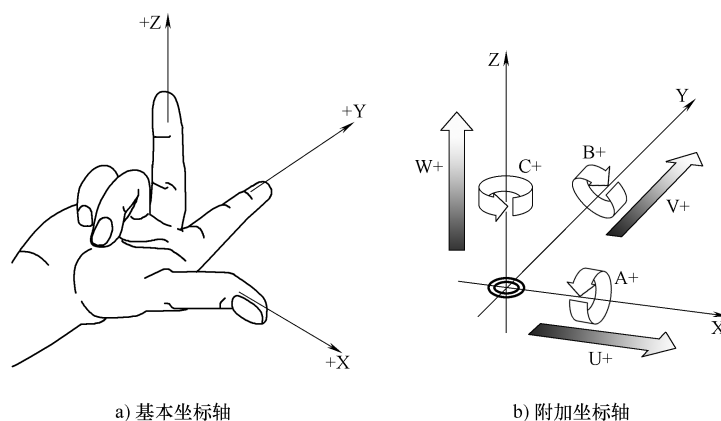


图 5.3-3 坐标轴与方向的规定

4) 回转轴。绕X、Y、Z轴回转的坐标轴分别为A、B、C轴，回转轴的方向可通过右手螺旋定则决定。

5) 附加轴。平行于X、Y、Z轴的直线运动轴分别为U、V、W轴，其方向与基本坐标轴X、Y、Z一致。

通常而言，对于数控车削(或磨削)类工件回转的机床，规定刀具沿工件轴向运动的坐标轴为Z轴，刀具沿径向运动轴为X轴，刀具远离工件的方向为Z和X的正向；对于镗铣加工数控机床，刀具沿主轴轴线方向的运动轴为Z轴，刀具远离工件的方向为Z和X、Y的正向。需要注意的是：以上方向都是按工件固定、刀具运动的情况，所确定的坐标轴运动方向，对于工件(工作台)运动的机床坐标轴，应根据刀具相对运动方向，来确定工件(工作台)的实际运动方向。

#### 2. 方向键布置

根据以上数控机床坐标轴及方向定义的标准要求，对于常见的数控机床，其方向键一般



可按如下方式布置。

1) 数控车床。对于平床身数控车床，其刀具安装在刀架上，刀架随工作台（拖板）运动，因此，纵拖板沿主轴（卡盘）的轴向运动应为 Z 轴，横拖板为径向运动轴 X。由于平床身数控车床的刀架一般位于横拖板的前侧，纵拖板向右、横拖板向后（操作者方向）运动，可使刀具远离工件，故应规定为 Z、X 轴正向，因此，MCP 的 X、Z 轴方向键一般按照图 5.3-4b 所示的布置方式进行定义。

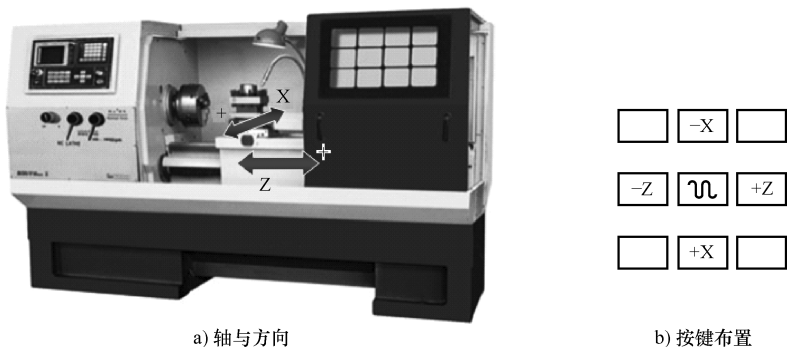


图 5.3-4 平床身数控车床的方向键定义

对于图 5.3-5 所示的斜床身数控车床，其刀架一般位于横拖板后侧，纵拖板向右、横拖板向前（机床后侧）的运动，可使刀具远离工件，故应定义为 Z、X 轴正向，因此，X、Z 轴方向键一般按照图 5.3-5b 所示的布置方式进行定义。

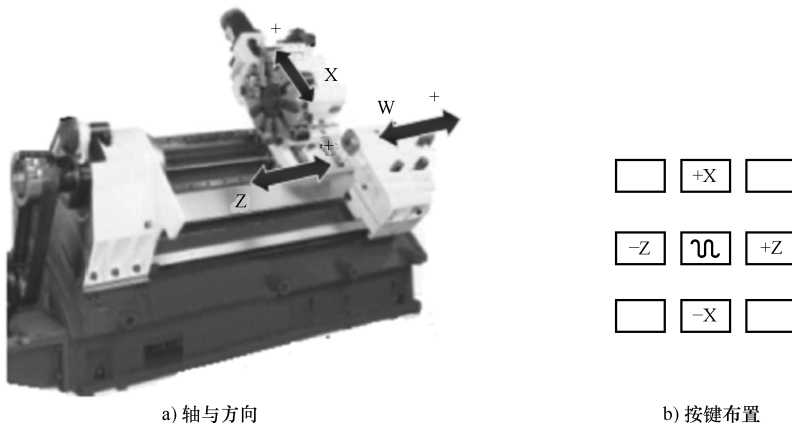
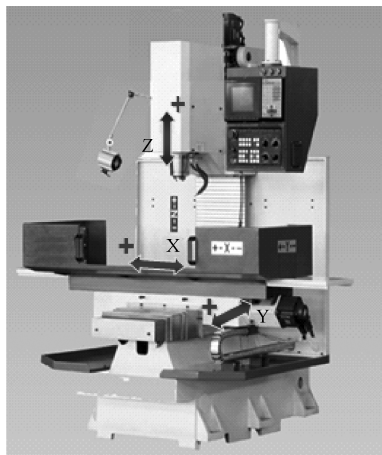


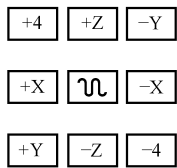
图 5.3-5 斜床身数控车床的方向键定义

2) 数控镗铣床。对于图 5.3-6 所示的工作台、主轴箱运动的数控镗铣床，其刀具随主轴箱上下运动，主轴箱向上、工作台向外的运动可使刀具远离工件，故应定义为 Z、Y 轴的正向，因此，X、Y、Z 轴的方向键一般按照图 5.3-6b 所示的布置方式进行定义。

对于图 5.3-7 所示的工作台升降数控铣床，如刀具和主轴箱固定，则升降台向下、工作台向外运动可使刀具远离工件，故应定义为 Z、Y 轴正向，因此，X、Y、Z 轴方向键一般按照图 5.3-7b 所示的布置方式进行定义。

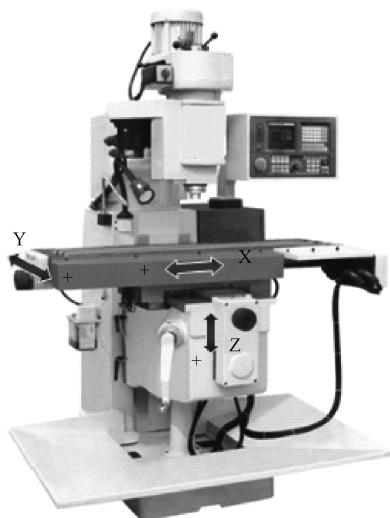


a) 轴与方向

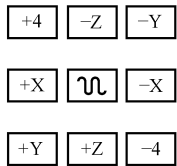


b) 方向键布置

图 5.3-6 数控镗铣床的方向键定义



a) 轴与方向



b) 方向键布置

图 5.3-7 升降台数控铣床的方向键定义

对图 5.3-8 所示的工作台移动卧式数控镗床，刀具随主轴箱上下运动，主轴箱向上、工作台向外的运动可使刀具远离工件，故应定义为 Y、Z 轴正向，因此，X、Y、Z 轴方向键一般按照图 5.3-8b 所示的布置方式进行定义。

### 3. PLC 程序设计

用于方向键控制的 PLC 程序较为简单，它只需要按照以上数控机床对方向键的布置和定义要求，将来自 MCP 的方向键输入信号，转换为 CNC 控制信号中的对应进给轴正/负运动方向信号 V380 \* 0004.7 和 V380 \* 0004.6 便可。

以 802S/C 系列 CNC 为例，802S/C 分离型 MCP 和 802Se/Ce、802S base line /C base line 集成型 MCP 的方向键输入地址如表 5.3-2 所示。

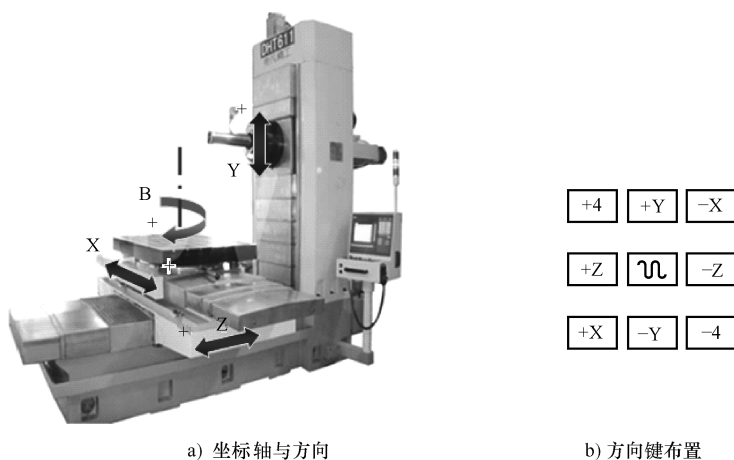


图 5.3-8 卧式数控镗床的方向键定义

表 5.3-2 802S/C 的 MCP 方向键输入地址表

方向键布置		按键编号		PLC 输入地址
		分离型	集成型	
<div> <div>分离MCP</div> <div> <div>161718</div> <div>192021</div> <div>222324</div> </div> </div> <div> <div>集成MCP</div> <div> <div>222324</div> <div>252627</div> <div>282930</div> </div> </div>		K16	K22	V1000 0001. 7
		K17	K23	V1000 0002. 0
		K18	K24	V1000 0002. 1
		K19	K25	V1000 0002. 2
		K20	K26	V1000 0002. 3
		K21	K27	V1000 0002. 4
		K22	K28	V1000 0002. 5
		K23	K29	V1000 0002. 6
		K24	K30	V1000 0002. 7

802S/C 的方向键定义可直接通过子程序库中的 SBR34 (X\_CROSS) 控制, SBR34 可由子程序 SBR38 (MCP\_NCK) 调用, 无需在 OB1 中编程。以集成 MCP 为例, 方向键 +X/-X 的选择程序如图 5.3-9 所示。

程序中的 VW4500 0052、VW4500 0054 是 CNC 用户数据 MD14510 [26]、MD14510 [27] 的设定值, 使用 802S/C 子程序库时, 它们用来设定方向键 +X、-X 的按键编号。例如, 对于图 5.3-4 所示的平床身数控车床, +X 键的设定值一般为 MD14510[26] = 29, -X 键的设定值一般为 MD14510[27] = 23。对于图 5.3-6 所示的工作台和主轴箱运动的数控镗铣床, +X 键的设定值一般为 MD14510[26] = 25, -X 键的设定值一般为 MD14510[27] = 27 等。

程序中的局部变量 I0.0、I0.1 分别为方向键 +X、-X 的状态暂存器。因此, 如设定 MD14510[26] = 29, MD14510[27] = 23, I0.0 的输出状态将与按键 K29 输入 V1000 0002.6 的状态相同, I0.1 的输出状态将与按键 K23 输入 V1000 0002.1 的状态相同。

方向键 +Y/-Y、+Z/-Z 的编程方法与 +X/-X 相同, 其按键编号设定参数分别为 CNC 用户数据 MD14510[28]/[29]、MD14510[30]/[31]。按键定义用户数据 MD14510 [26] ~ [31]

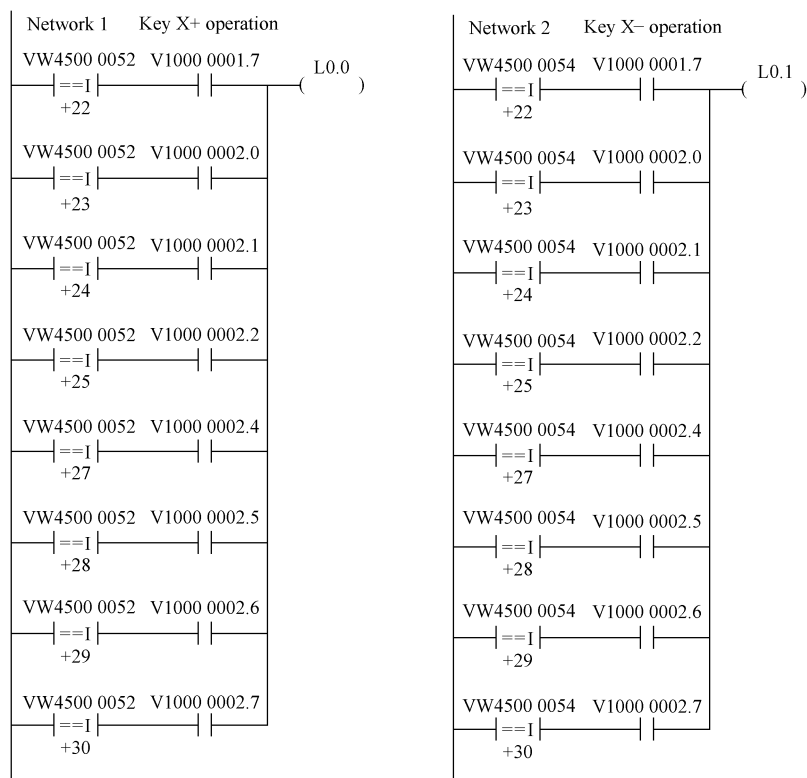


图 5.3-9 方向键 + X/ - X 选择程序

的设定值不能重复。

以第 1 轴（X 轴）为例，轴运动方向控制信号的输出程序如图 5.3-10 所示。方向键选择程序生成的局部变量 L0.0 ~ L0.5 可直接作为 CNC 进给轴的正/负方向控制信号 V380 \* 0004.7/ V380 \* 0004.6，以及通道控制轴的正/负方向控制信号 V3200 1000.7/V3200 1000.6 输出。

MCP 上的手动快速键按键【RAP-ID】的位置一般固定，在分离型 MCP 上为 K20、在集成型 MCP 上为 K26，因此，该键的输入信号 V1000 0002.3 可直接作为 X/Y/Z 轴的 CNC 进给轴手动快速信号 V380 \* 0004.5，以及通道控制轴的手动快速信号 V3200 1000.5 等。图中以第 1 轴（X 轴）为例，其他轴的控制程序设计方法与此相同。

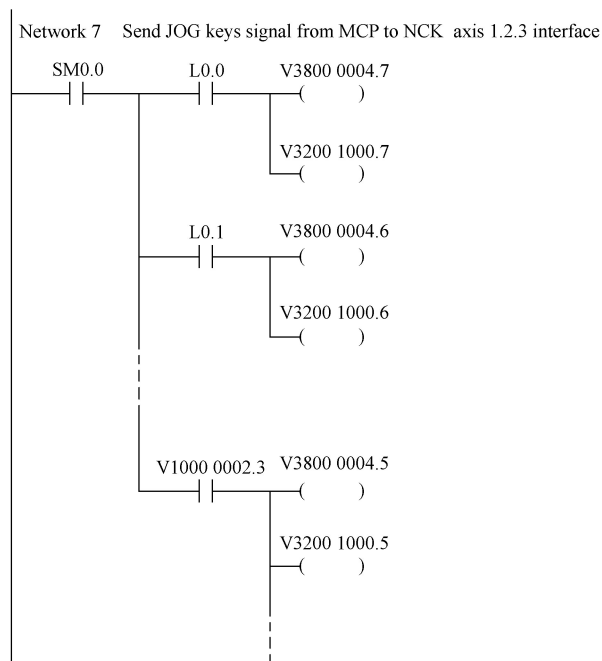


图 5.3-10 方向键输出程序

## 第 6 章

# 进给轴控制程序典例

### 6.1 驱动器控制程序

#### 6.1.1 程序设计要求

##### 1. 驱动器控制要求

SIEMENS 公司的交流伺服/主轴驱动器一般为模块化结构，驱动器由电源模块、伺服模块和主轴模块等组成。电源模块用来产生伺服/主轴模块逆变主回路的直流母线电压，伺服/主轴模块用来控制伺服/主轴电动机的转速、转矩和电流。

SIEMENS 驱动器的电源模块主电压一般为三相 AC380/400V，直流主回路采用的是减压起动（又称预充电）、PWM 全控整流方式，模块对主电源的通断控制有规定的要求。在传统的 SIMODRIVE 611A/D/U/UE 等驱动器中，电源模块的通断，一般需要通过 PLC 程序的控制，按图 6.1-1 所示的要求，通断控制信号如下。

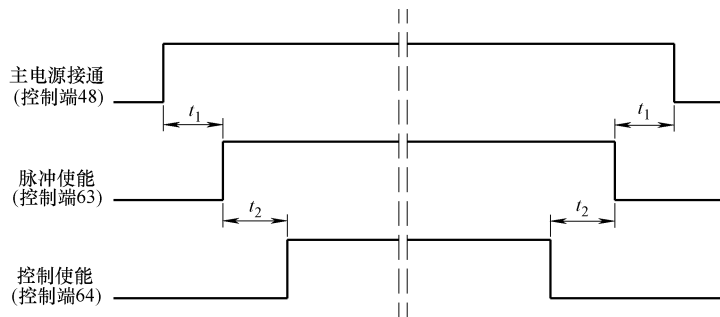


图 6.1-1 主电源的通断控制要求

1) 主电源通断。SIEMENS 驱动器的三相 AC380/400V 主电源通断，由电源模块内部的主接触器 MS、MS1 进行控制。主接触器通断控制端（Contactor Control）为 48，当该信号接通时，减压起动接触器 MS1 和主接触器 MS 接通允许。此时，如加入电源模块脉冲使能信号 63，PWM 整流回路将在内部电路的控制下，首先接通减压起动（预充电）接触器 MS1，使直流母线预充电。然后，通过内部规定的延时，接通主接触器 MS，使直流母线达到额定电压。主接触器通断控制端 48 一旦断开，接触器 MS1、MS 将无条件断开，整流电路和主电源隔离。主接触器接通是产生直流母线电压的前提条件。因此，起动驱动器时，应首先加入控制信号 48；正常关闭驱动器时，信号 48 应最后断开。





2) 脉冲使能。电源模块的脉冲使能 (Pulse Enable) 控制端 63 用来使能/禁止整流回路的 PWM 脉冲。当主接触器通断控制信号 48 接通时, 如加入脉冲使能信号 63, 整流回路将在 PWM 电路的控制下, 完成直流母线预充电和起动过程, 并可对直流母线电压进行自动调整。PWM 脉冲是控制整流回路功率管开/关工作的信号, PWM 脉冲如果被禁止, 整流管将被无条件关闭, 伺服和主轴电动机将以最大电流紧急制动。此时, 即使主接触器通断控制信号 48 接通, 也不能输出直流母线电压。电源模块的脉冲使能信号具有最高优先级, 它通常用于驱动器的急停控制。因此, 驱动器起动时, 该信号应在信号 48 接通后首先加入; 驱动器正常关闭时, 则应提前于控制信号 48 断开。

3) 控制使能。电源模块的控制使能 (Control Enable) 端 64 是所有伺服/主轴驱动模块的公共控制端, 控制使能信号 64 一旦被撤销, 驱动器所有伺服/主轴模块的速度给定将被直接置 0, 伺服/主轴电动机可按照正常的加减速参数减速停止。电源模块控制使能信号是驱动器的起动和关闭所有伺服/主轴驱动模块的公共控制信号, 驱动器起动时应最后加入; 驱动器关闭时应首先断开。

在 SIEMENS 最新的 SINAMICS S120 系列驱动器上, 为了简化控制电路, 驱动器的电源模块只使用驱动器急停控制信号 EPM, 该信号的作用与电源模块脉冲使能端 63 类似。

## 2. 控制电路与改进

在 802S/C/D 模板程序中, 驱动器电源通断和 CNC 急停控制使用的是共同的子程序 SBR33 (EMG\_STOP), 并推荐了图 6.1-2 所示的电源模块控制信号连接电路。

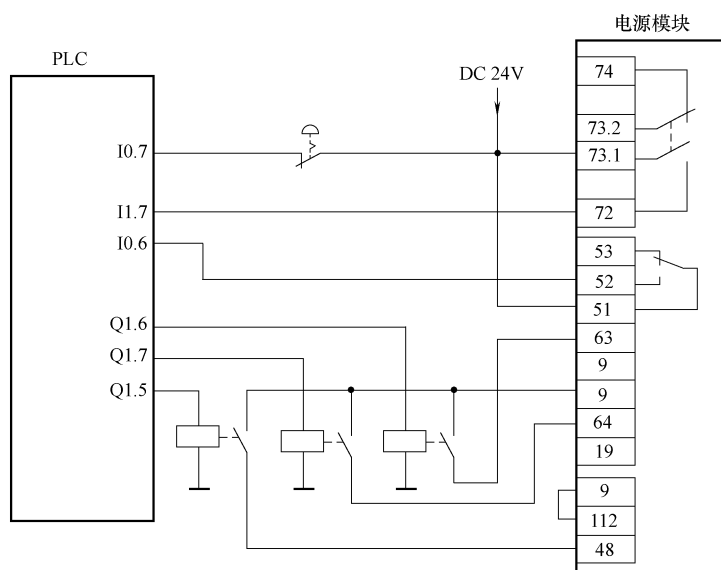


图 6.1-2 电源模块控制信号连接电路

图 6.1-2 中的电源模块输出端 72 为驱动器“准备好 (Ready)”信号, 当驱动器主电源接通、正常起动过程结束后, 如驱动器无故障, 其输出触点将被接通; 如果驱动器出现报警, 触点将断开。电源模块输出端 52 为驱动器过热 ( $P_t$ ) 信号, 驱动器正常工作时触点断开; 当驱动器长时间过电流或电动机过热, 输出触点将接通。驱动器的准备好信号和过热信号需要连接到 PLC 的输入端, 作为驱动器的控制条件。



需要注意的是，图 6.1-2 所示的电源模块控制信号连接电路只是供用户参考的原理性电路，子程序 SBR33（EMG\_STOP）也只是为了满足最低控制要求所设计的程序，它们并没有考虑机电设备安全标准（ISO 13849）对紧急分断（急停）电路的设计要求。因此，在需要贯彻机电设备安全标准的数控机床上，建议使用图 6.1-3 所示的安全电路，并对子程序 SBR33 进行相应的修改。

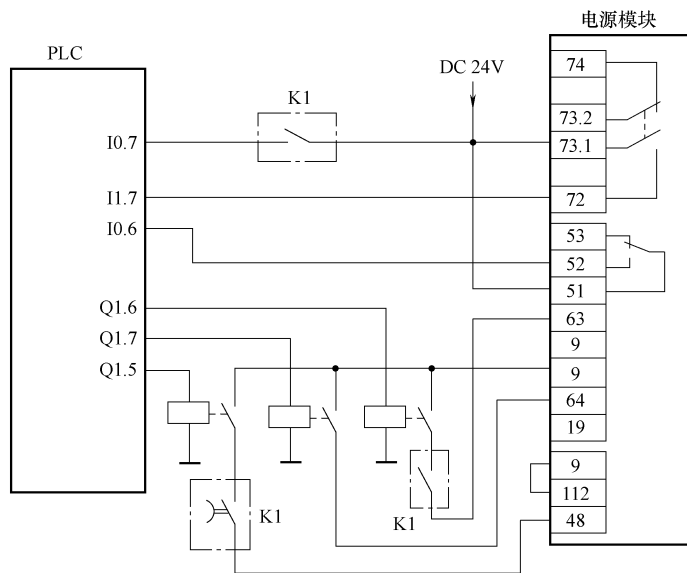


图 6.1-3 电源模块信号安全电路

ISO 13849 安全标准规定：机电设备用于紧急分断（急停）的操作器件（如急停按钮等），必须采用冗余控制的安全电路，并使用符合安全标准的安全电器；紧急分断必须通过满足强制执行条件的电磁执行元件（如安全继电器、接触器等）进行控制，不允许仅仅通过 PLC 程序的控制实现。

因此，在图 6.1-3 所示的电路中，用于驱动器急停控制的脉冲使能控制端 63，在 PLC 输出触点中串联了来自安全电路的紧急分断安全触点 K1；用于电源模块主接触器控制的控制端 48 上，则串联了来自安全电路的延时分断安全触点 K1。同时，PLC 的急停输入 I0.7 也需要使用来自安全电路的紧急分断安全触点 K1 进行控制。

以上电路在机床紧急分断时，可通过安全触点 K1 直接分断驱动器的脉冲使能控制端 63，使驱动器进入急停状态。然后，利用紧急分断电路延时断开的触点，断开主接触器控制端 48。机电设备的电气控制系统安全电路设计有规定的要求，图中的安全触点 K1 应符合 ISO 13849 标准的紧急分断安全电路输出，有关内容可参见《数控机床电气设计典例》一书。

### 3. PLC 程序设计要求

驱动器控制 PLC 程序的设计同样需要考虑 CNC 基本控制和通道控制要求。如果使用 SIEMENS 模板程序，还需要综合考虑 CNC 用户数据设定、I/O 初始化子程序处理和子程序输入变量的赋值要求。802S/C/D 与驱动器控制相关的信号以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 6.1-1 所示。



表 6.1-1 802 S/C/D 与驱动器通断控制相关的接口信号表

编 程 地 址		信 号 类 别	信号名称	作用与功能
基本控制信号	V2600 0000.1	CNC 控制信号	急停	CNC 急停
	V2600 0000.2	CNC 控制信号	急停应答	撤销 CNC 急停
	V2700 0000.1	CNC 状态信号	急停生效	CNC 为急停状态
	V3000 0000.7	通道控制信号	复位	通道复位,清除报警和模态代码
	V3200 0006.0	通道控制信号	进给禁止	通道进给轴禁止运动
	V3200 0006.1	通道控制信号	读入禁止	通道程序段禁止读入
模板程序信号	V1000 0000.0	MCP 按键 K1 输入	P_M_CK1	MCP 按键 K1 (驱动起动) 输入
	V1000 0001.0	MCP 按键 K1 指示灯输出	M_CK_LED1	MCP 按键 K1 (驱动起动) 指示灯
	V1600 0002.0	机床报警	ALARM17	机床报警 700016: 驱动器未就绪
	V1600 0002.1	机床报警	ALARM18	机床报警 700017: 电源模块 $I^2t$ 报警
	V4500 1016.0	MD14512 [16] bit0 设定	PLC 调试	1: PLC 调试, 不检查驱动器状态
	VW4500 0034	MD14510 [17] 设定	驱动器类型	1: 伺服; 0: 步进
	M100.6	I/O 初始化程序处理结果	IN0_6	I0.6 的输入使能和极性变换结果
	M100.7	I/O 初始化程序处理结果	IN0_7	I0.7 的输入使能和极性变换结果
	M101.7	I/O 初始化程序处理结果	IN1_7	I1.7 的输入使能和极性变换结果
	M103.5	I/O 初始化程序输入变量	OUT1_5	用于 Q1.5 使能和极性变换的状态
	M103.6	I/O 初始化程序输入变量	OUT1_6	用于 Q1.6 使能和极性变换的状态
	M103.7	I/O 初始化程序输入变量	OUT1_7	用于 Q1.7 使能和极性变换的状态
	M104.5	子程序 SBR32 处理结果	EN_KEYm	驱动器起动信号

#### 4. 局部变量定义

为了提高程序设计速度,驱动器控制子程序可以在 SIEMENS 公司所提供的子程序 SBR33 (EMG\_STOP) 基础上进行修改和完善,子程序 SBR33 使用的局部变量以及使用模板程序时的变量赋值要求如表 6.1-2 所示,用户程序设计时可继续使用。

表 6.1-2 SBR33 局部变量一览表

局 部 变 量			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	DELAY	IN	WORD	常数输入	以 2 倍 PLC 循环时间为单位的使能延时设定
I2.0	EMG_K	IN	BOOL	M100.7	机床急停输入 I0.7 的使能和极性变换结果
I2.1	EN_K	IN	BOOL	V1000 0000.0	驱动器起动信号 (MCP 面板 K1 键)
I2.2	T_72	IN	BOOL	M101.7	驱动器准备好输入 I1.7 的使能和极性变换结果
I2.3	T_52	IN	BOOL	M100.6	驱动器过热输入 I0.6 的使能和极性变换结果
I2.4	T_48	OUT	BOOL	M103.5	用于 Q1.5 (控制端 48) 的使能和极性变换状态
I2.5	T_63	OUT	BOOL	M103.6	用于 Q1.6 (控制端 63) 的使能和极性变换状态
I2.6	T_64	OUT	BOOL	M103.7	用于 Q1.7 (控制端 64) 的使能和极性变换状态
I2.7	EN_L	OUT	BOOL	V1100 0000.0	MCP 按键 K1 (驱动起动) 指示灯控制
I3.0	ERR1	OUT	BOOL	V1600 0002.0	机床报警 700016: 驱动器未就绪
I3.1	ERR2	OUT	BOOL	V1600 0002.1	机床报警 700017: 电源模块 $I^2t$ 报警
LW4	DT2x	TEMP	WORD	—	2 倍使能延时



表中的局部变量 LW4 为 SBR33 内部变量 (TEMP); 子程序输入变量 (IN) 和输出变量 (OUT) 在调用子程序时需要定义相应的输入和输出。此外, 子程序 SBR33 需要占用 1 字节 PLC 的标志寄存器 MB119 和计数器 C31, 用户其他程序设计时不能再使用标志寄存器 MB119 和计数器 C31。

在模板程序中, 子程序 SBR33 中的局部变量 L2.1 为驱动器起动输入, 其状态使用的是机床 I/O 设定子程序 SBR62 (FILTER) 中的输出 M104.5 (EN\_KEYm), 该信号在 SBR62 中的处理程序如图 6.1-4 所示。

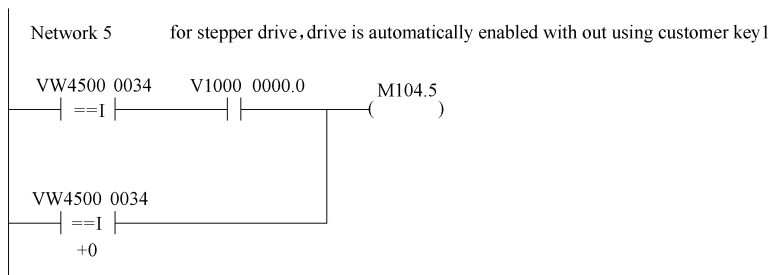


图 6.1-4 驱动器起动键的处理程序

程序中的 V1000 0000.0 为 MCP 的用户自定义键 K1 输入; VW4500 0034 为 CNC 用户数据 MD14510 [17] 中的驱动器类型设定值, “1” 为伺服驱动器, “0” 为步进驱动器。因此, 在使用伺服驱动器的机床上, M104.5 就是 MCP 面板的 K1 键输入。

## 6.1.2 PLC 程序典例

SIEMENS 子程序库中的子程序 SBR33 (EMG\_STOP) 是用于驱动器控制的子程序, 但由于该子程序只能满足最低控制要求, 故在实际使用时建议进行修改和完善。以下是按机电设备安全控制要求设计的驱动器控制程序实例, 程序在 SBR33 (EMG\_STOP) 的基础上进行较大改进。修改后的子程序 SBR33 (EMG\_STOP) 由延时生成、CNC 急停控制、驱动器起动/停止控制、信号输出与报警等部分组成, 说明如下。

### 1. 延时生成

用于驱动器正常起动/停止的信号延时生成程序设计如图 6.1-5 所示。由于传统的 SIMODRIVE 611A/D/U/UE 等驱动器的电源模块控制信号通断需要有较多的延时, 且各信号的延时时间成比例, 为了节省 PLC 定时器, 子程序 SBR33 (EMG\_STOP) 采用的是利用 PLC 循环脉冲信号 SM0.6 计数, 生成不同延时的控制方法。

Network1 的变量 LW0 为延时时间设定参数, 在子程序调用指令中可直接以常数的形式赋值, 其计时单位为 2 倍 PLC 循环扫描时间。Network1 的执行结果 LW4 是

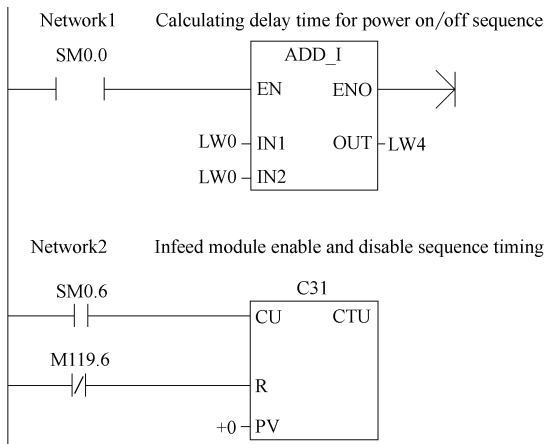


图 6.1-5 延时生成程序



LW0 的 2 倍。

Network2 中的计数器 C31 用于 PLC 循环次数的计数，计数输入信号为 PLC 系统特殊标志位 SM0.6，计数器可通过复位信号 M119.6 控制起动和复位。在 S7-200 上，SM0.6 是周期为 2 倍 PLC 循环扫描时间的固定脉冲信号（参见 3.2 节），PLC 程序的实际循环扫描时间可通过 CNC 参数 MD10074 进行检查和确认。

## 2. CNC 急停控制

需要注意的是：驱动器急停和正常停止是完全不同的概念。急停是机床出现紧急情况时的强制分断，它必须通过安全电路（强电线路），由图 6.1-3 所示的安全触点 K1，直接断开脉冲使能端 63 和主接触器控制端 48，而不能按正常的顺序依次断开电源模块的控制端 64、63、48。在此基础上，由 PLC 程序向 CNC 输出急停信号 V2600 0000.1、停止 CNC 运行。

当驱动器在运行过程中出现故障，例如，驱动器准备好触点 72 断开或过热触点 52 接通时，CNC 也需要进入急停状态，但驱动器可按照正常的断开顺序断开控制端 64、63、48，使电机减速停止。

用于 CNC 急停控制的 PLC 程序如图 6.1-6 所示，如信号 V2600 0000.1 = 1，CNC 将立即停止并进入急停状态。802S/C 等 CNC 的急停只需要使用 CNC 急停（Emergency Stop）信号 V2600 0000.1，无需处理信号 V2600 0000.2；802D 等 CNC 的急停需要通过 CNC 急停应答（Acknowledge Emergency Stop）信号解除急停，取消 CNC 急停时，需要通过 V2600 0000.1 = 0、V2600 0000.2 = 1，使 CNC 退出急停。

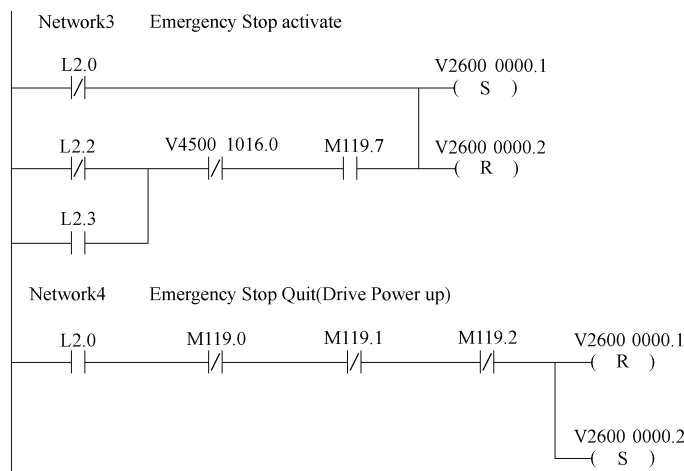


图 6.1-6 CNC 急停控制程序

在模板程序中，局部变量 L2.0、L2.2、L2.3 分别为机床急停（I0.7）、驱动器准备好（I1.7）、驱动器过热（I0.6）信号，经第 5 章 I/O 使能和极性变换子程序 SBR62（FILTER）处理后的结果 M100.7、M101.7、M100.6。其中，M100.7 为常闭信号，CNC 急停时的状态为 0；M101.7、M100.6 为常开信号，驱动器正常工作时 M101.7 = 1、M100.6 = 0。

程序中的 V4500 1016.0 为 CNC 用户数据 MD14512 [16] bit0 的设定值。在模板程序中，该参数用于 PLC 程序调试方式设定，设定为 1 时，即使驱动器未起动（M119.7 = 0），也可取消由信号 L2.2（M101.7）= 0 或 L2.3（M100.6）= 1 所引起的 CNC 急停。

Network4 用于 CNC 急停的取消，程序中的 M119.0、M119.1、M119.2 分别为驱动器控



制端 48、63、64 的输出状态暂存器（见下述），驱动器断开后，其状态均为 0；此时，如机床急停输入 L2.0 为 1（无急停），可复位 CNC 急停信号 V2600 0000.1、并将急停解除信号 V2600 0000.2 置 1，使 CNC 退出急停状态。

### 3. 驱动器启动/停止

驱动器的正常启动/停止控制程序设计如图 6.1-7 所示，Network5 用于驱动器通/断控制信号 M119.5 的生成；Network6 用于驱动器启动顺序控制；Network7 用于驱动器停止顺序控制。

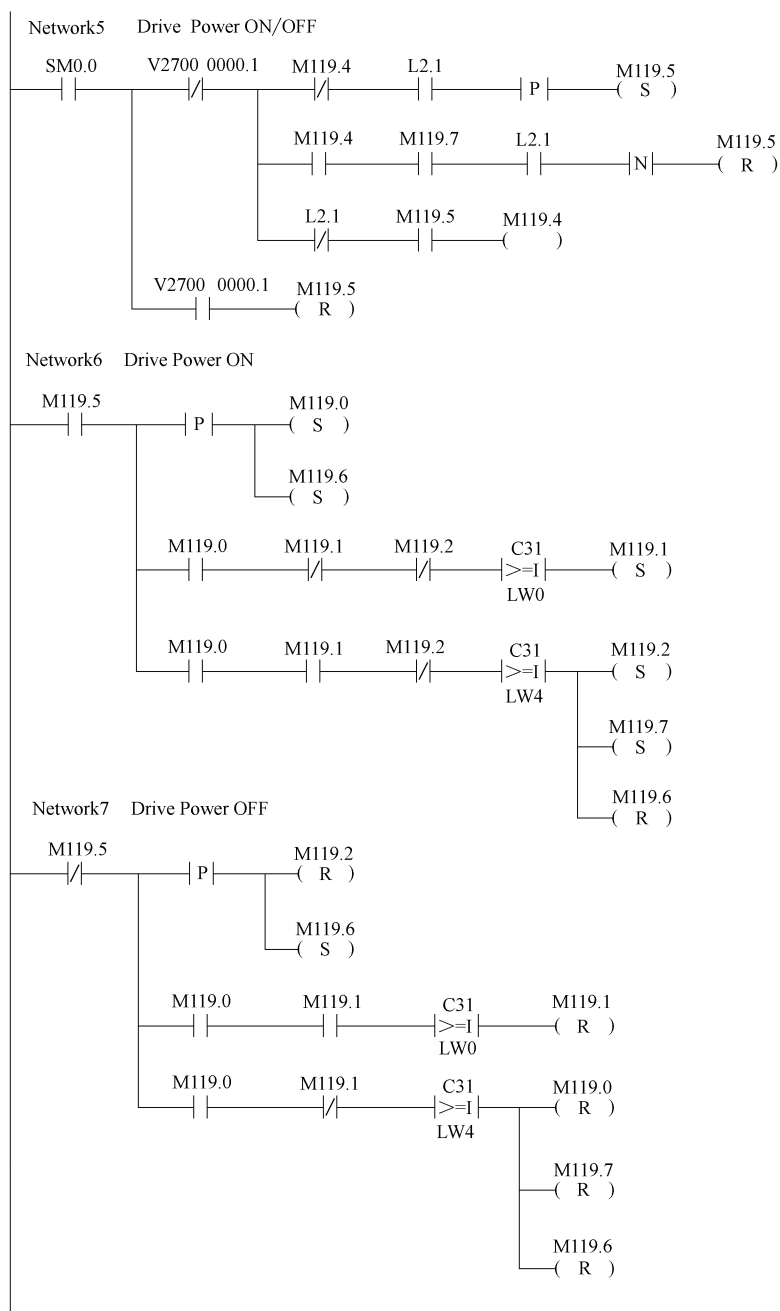


图 6.1-7 驱动器启动/停止控制程序



在模板程序中，驱动器的通/断通过 MCP 面板的用户自定义按键 K1 进行控制，因此，调用子程序时，局部变量 L2.1 (EN\_K) 的输入赋值应为按键 K1 的输入 V10000000.0。

程序 Network5 用于驱动器通/断控制信号 M119.5 的生成。程序可通过 MCP 面板按键 K1 (L2.1) 的重复操作，产生控制驱动器通/断交替的信号 M119.5，交替通断的典型程序说明可参见 2.2 节。图中的程序在典型交替通断程序的基础上，对 M119.5 的复位支路附加了 M119.7 串联触点，其目的是保证驱动器的正常断开（信号 M119.5 复位）只能在驱动器起动完成（M119.7 = 1）时才能进行。但是，如果 CNC 出现急停，CNC 急停信号 V2700 0000.1 可直接复位 M119.5，立即断开驱动器。

Network6 用于驱动器的起动顺序控制。当驱动器起动、通断控制信号 M119.5 = 1 时，首先将驱动器主接触器控制信号 48 的输出缓冲存储器 M119.0 置 1，同时，将 M119.6 置 1，使前述延时生成程序 Network2 中的计数器 C31 复位输入为“0”，起动 C31 的延时计数功能。当 C31 的计数值到达延时设定值 LW0 后，驱动器脉冲使能控制信号 63 的输出缓冲存储器 M119.1 置 1。如果 C31 的计数值到达了 2 倍起动延时设定值 LW4，驱动器进给使能控制信号 64 的输出缓冲存储器 M119.2 将置 1；同时，将驱动器起动完成信号 M119.7 置 1，使前述 Network3 中的驱动器准备好信号 L2.2 和过热信号 L2.3 生效，完成驱动器的起动过程。驱动器起动完成后，M119.6 重新置“0”，复位和禁止延时计数器 C31。

Network7 用于驱动器的停止顺序控制。驱动器停止的动作顺序与起动相反，当驱动器通断控制信号 M119.5 = 0 时，首先断开进给使能控制信号 64，并将 M119.6 置 1、起动 Network2 中的延时计数器 C31。然后，依次断开脉冲使能控制信号 63 和主接触器控制信号 48。停止过程结束后，复位起动完成信号 M119.7，并将 M119.6 重新置 0，复位和禁止 Network2 中的延时计数器 C31。

#### 4. 信号输出与报警

驱动器控制信号输出与报警程序如图 6.1-8 所示，Network8 用于驱动器控制信号输出，Network9 用于驱动器报警。

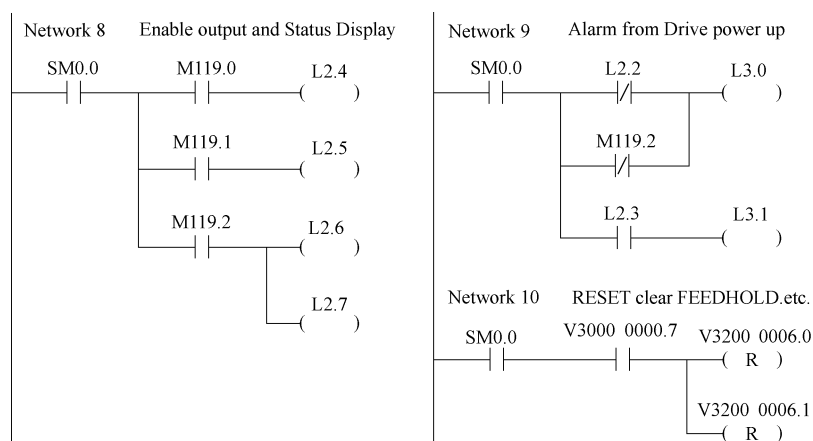


图 6.1-8 控制信号输出与报警程序

利用 Network8，上述驱动器起动/停止程序网络中所生成的驱动器控制信号 48、63、64 的输出缓冲存储器状态 M119.0、M119.1、M119.2，可分别作为子程序变量 L2.4、L2.5、L2.6、L2.7 输出。在模板程序上，输出变量 L2.4、L2.5、L2.6 被定义为 Q1.5、Q1.6、



Q1.7 的输出缓冲存储器 M103.5 (OUT1\_5)、M103.6 (OUT1\_6)、M103.7 (OUT1\_7); M103.5、M103.6、M103.7 可利用第 5 章所述的输出使能和极性变换处理子程序 SBR62 (FILTER), 作为驱动器主接触器接通、脉冲使能、进给使能控制信号 Q1.5、Q1.6、Q1.7 输出。

Network8 中的输出变量 L2.7, 在模板程序上定义为 MCP 面板按键 K1 的指示灯 LED1 输出信号 V11000000.0, 驱动器驱动后, 指示灯亮。

Network9 用于驱动器报警显示。在模板程序中, 子程序输入变量 L2.2、L2.3 被定义为驱动器准备好和驱动器过热信号输入; 输出变量 L3.0、L3.1 定义为机床报警信号 V16000002.0、V16000002.1。因此, 当驱动器准备好信号 L2.2 为 0, 或驱动器的进给使能信号未输出 (M119.2 = 0) 时, CNC 将显示 ALM 700016 (驱动器未就绪) 报警; 如驱动器的过热信号 L2.3 为 1, 则显示 ALM700017 (电源模块  $I^2t$  报警) 报警。

Network10 用于 CNC 通道控制信号进给禁止 (V3200 0006.0)、读入禁止 (V3200 0006.1) 信号的复位; 程序中的 V3000 0000.7 为 CNC 复位信号, 它直接由 MCP 上的 RESET 键生成, 相关内容可参见第 5 章子程序 SBR38 (MCP\_NCK)。

## 6.2 进给轴控制要求

### 6.2.1 基本概念

SIEMENS 公司生产的 CNC 上, 进给轴的控制信号涉及驱动器控制、CNC 轴控制、通道控制等多种, PLC 程序设计时, 需要准确理解各控制信号的作用与功能, 才能保证进给轴正确和可靠运动。从保证机床安全可靠运行、规范设计等角度考虑, 802S/C/D 子程序库中所提供的进给轴控制子程序 SBR40 (AXIS\_CTL), 宜做进一步的改进和完善。

由于 SIEMENS 数控的 CNC-PLC 接口信号定义繁杂, 802S/C/D 等系统的技术资料偏于简单, 部分内容的翻译也不一定确切, 为了便于全部了解 SIEMENS 系统的进给轴控制要求, 现将有关概念说明如下。

#### 1. 进给轴的控制方式

数控机床的刀具运动轨迹控制需要通过进给轴 (坐标轴) 的运动实现, 进给轴控制是数控机床 PLC 程序设计的重要内容。在 802S/C/D 上, 进给轴可通过 CNC 轴控制信号, 选择以下几种基本控制方式。

1) 位置控制。位置控制是进给轴的正常控制方式。选择位置控制方式时, 进给轴可根据 CNC 的运动指令 (手动或自动), 按照指令的位置和速度运动并定位。定位停止后, 轴始终处于闭环位置自动调节状态, 以保持定位点不变。因此, 无论是 JOG 还是 INC 进给, 回参考点或是加工程序自动运行, 轴均应选择位置控制方式。进给轴的位置控制在 CNC 轴控制信号  $V380 * 0002.1$  (伺服使能) 为 1 时生效。

2) 跟随控制。跟随控制为进给轴的特殊控制方式。选择跟随控制方式时, 轴的闭环位置控制功能将无效, 但如其位置反馈生效信号  $V380 * 0001.5$  为 1, CNC 的位置测量系统仍可生效, 此时, 进给轴将成为一个能显示实际位置的数显轴。

位置跟随控制一般用于 CNC 急停、机械制动器制动等场合, 以便 CNC 能够在驱动器断





开、CNC 闭环位置控制功能取消时，继续检测和显示进给轴的实际位置。位置跟随控制方式在 CNC 轴控制信号 V380 \* 0002.1（伺服使能）为 0、跟随控制信号 V380 \* 0001.4 为 1 时生效。

处于位置跟随控制方式的进给轴不能进行闭环位置调节，因此，当轴受到外力（如垂直轴重力）作用偏离定位点时，CNC 可检测、显示坐标轴的实际位置，但伺服驱动系统不会因此而产生恢复定位点的电动机输出转矩。

3) 轴禁止。802S/C/D 的轴禁止功能相当于 FANUC 数控系统的机床锁住功能。轴禁止控制方式生效时，CNC 内部的位置给定输出将被禁止，但位置闭环控制保持有效，因此，轴可通过继续保持定位状态。如果在进给轴在运动时，生效了轴禁止信号，进给轴将按照正常的加减速方式减速停止、定位。

进给轴禁止时，CNC 仍可进行手动或程序运行操作，但是，由于 CNC 的位置给定被禁止，故机床不会产生实际运动。在这种情况下，CNC 的进给轴实际位置和速度显示，将被直接切换至 CNC 的内部指令值。

轴禁止控制方式一般用于加工程序的测试，功能在 CNC 轴控制信号 V380 \* 0001.3（轴禁止）为 1 时生效。轴禁止信号一旦撤销，CNC 的位置给定将立即恢复输出。因此，如在轴禁止期间，CNC 执行了手动或程序自动运行操作，一旦撤销轴禁止信号，轴将立即运动到当前的指令位置，它可能给机床和操作人员带来一定的危险，使用时应特别注意。

## 2. 控制信号的分类

在 802S/C/D 等 CNC 上，进给轴可通过驱动器控制信号、CNC 轴控制信号、CNC 通道控制信号 3 类信号进行控制。在 PLC 程序设计时，需要准确区分各控制信号的作用与功能，保证进给轴运动的正确和可靠。

1) 驱动器控制信号。在第 1 章已说明，全功能数控是通过 CNC 实现闭环位置控制的系统，其位置比较和位置调节功能均由 CNC 实现，驱动器主要用于速度和转矩控制。驱动器正常工作是 CNC 闭环位置控制的前提条件。驱动器一旦故障或关闭，伺服驱动电动机就不可能正确运动，此时，CNC 必须立即撤销位置控制，进入急停状态，同时生效 CNC 的位置跟随控制方式。

驱动器控制信号的说明可参见 6.1 节。传统的 SIEMENS 驱动器需要通过电源模块的主接触器通断控制端 48、脉冲使能控制端 63、控制使能控制端 64，控制驱动器的起动和停止。控制端 48 信号接通时，电源模块的预充电接触器、主接触器允许接通；加入脉冲使能信号 63 后，PWM 整流电路工作，直流母线电压输出；控制端 64 接通后，驱动器上所安装的伺服、主轴驱动模块允许正常工作。在新系列 SINAMICS S120 驱动器上，驱动器的通断一般只使用用于驱动器急停的控制信号 EP M，其作用与脉冲使能端 63 类似。

2) CNC 轴控制信号。CNC 轴控制信号是按 CNC 轴配置顺序，由 PLC 程序依次提供的、用于轴控制的基本接口信号，它与进给轴在加工程序中的名称、所归属的通道等无关。利用 CNC 轴控制信号，可生效轴的位置测量系统、选择轴的控制方式、控制轴的运动或停止等。该信号的 PLC 输出地址为 VB 380 \* 0000 ~ VB 380 \* 1000（\* 为轴序号，第 1、2、3、…轴依次为 0、1、2、…，下同）。

3) 通道控制信号。通道是根据机床结构和实际加工控制要求，对进给轴或主轴所进行的分组划分。因此，它是从 CNC 加工程序控制的要求出发，对程序运行所涉及的进给轴、



主轴进行控制。一般而言，通道控制信号只能对通道所属的编程轴（又称几何轴，Geometry Axis）进行控制，但不能进行生效位置测量系统、选择控制方式、超程保护等轴基本控制。但是，由于 802S/C/D 等简单 CNC 实际上并不具备多通道控制能力，因此，其通道控制信号可直接作为 CNC 程序运行和进给轴/主轴控制信号使用。通道控制信号同样是 PLC 程序提供的内部接口信号，802S/C/D 的通道程序运行控制信号 PLC 输出地址为 VB 3200 0000 ~ VB 3200 0007；通道轴控制信号为每 1 进给轴 4 字节，地址依次为 VB 3200 1000 ~ VB 3200 1003（第 1 编程轴）、VB 3200 1004 ~ VB 3200 1007（第 2 编程轴）、VB 3200 1008 ~ VB 3200 1011（第 3 编程轴）……

### 3. 伺服使能和进给使能

SIEMENS 数控的进给轴有伺服使能和进给使能，是不同的概念，在 PLC 程序设计时同样需要予以分清。

1) 伺服使能。伺服使能用于轴控制方式选择，它属于 CNC 轴基本控制信号的范畴。伺服使能信号的功能与轴的属性有关，对进给轴，伺服使能信号用来实现 CNC 的闭环位置控制（伺服）功能；对主轴，它可接通主轴模拟量输出接口上的主轴驱动使能信号触点，以控制外部主轴驱动器的起动和停止。

CNC 正常工作时，伺服使能可通过 CNC 轴控制信号 V380 \* 0002.1（伺服使能）控制，但是，如 CNC 急停或发生了伺服系统报警，伺服使能信号将被自动撤销。伺服使能信号一旦被撤销，进给轴的 CNC 闭环位置控制功能将立即取消，运动中的轴紧急停止。接着，CNC 将撤销闭环速度调节功能，取消 CNC 对进给轴的控制，但 CNC 可通过跟随控制方式，继续检测轴的实际位置。

伺服使能信号被撤销后，伺服电动机将不会因为定位点的位置偏移，而产生定位点保持的恢复转矩。因此，如果进给轴使用机械制动器保持位置，当制动器制动后，可通过撤销伺服使能信号，来避免电动机的过载。反之，如果伺服使能信号被撤销，CNC 将失去闭环位置调节功能，因而需要立即断开驱动器、制动机械制动器，以防止轴的位置偏移。

2) 进给使能。进给使能用于进给轴的运动和停止控制，进给使能一旦撤销，轴将停止运动。进给使能需要根据不同的控制要求，通过 PLC 程序，分别从 CNC 轴控制接口信号和通道控制接口信号上输出。在模拟量控制的驱动器上，该信号还可从 CNC 的驱动器接口上以触点的形式输出。

在 802S/C/D 上，CNC 轴控制信号中的进给使能可通过轴进给停止信号控制，其 PLC 输出地址为 V380 \* 0004.3。进给停止信号为 1 时，该轴将按正常的加减速要求减速停止，当前的位置跟随误差可通过 CNC 的闭环位置调节功能消除。如果所停止的轴正在参与其他轴的插补运行，信号将同时停止所有参与插补的轴运动。利用轴控制信号 V380 \* 0004.3 实现的进给停止与 CNC 的操作方式、轴所属的通道等无关，它既可用于加工程序自动运行时的轴停止，也可用于手动操作时的轴停止。

802S/C/D 的 CNC 通道轴进给使能可通过通道控制信号中的进给停止信号 V3200 1000.3（第 1 编程轴）、V3200 1004.3（第 2 编程轴）、V3200 1008.3（第 3 编程轴）……控制。进给停止信号一旦为 1，对应轴同样按正常的加减速要求减速停止，当前的位置跟随误差可通过 CNC 的闭环位置自动调节功能消除。通道进给停止一般只用于编程轴的 JOG 操作，加工程序运行时的轴停止，通常需要利用通道控制信号中的进给使能禁止（Feed Disable）信号



V3200 0006.0 对全部编程轴进行统一的控制。

## 6.2.2 CNC 轴信号

### 1. 信号分类

总体而言, CNC 轴信号分 PLC 程序输出的 CNC 轴控制信号和来自 CNC 的轴工作状态信息两类。

1) CNC 轴控制信号。CNC 轴控制信号是进给轴/主轴的基本控制信号, 其优先级高于通道控制信号。CNC 轴控制信号一旦生效, 不论轴由哪一通道控制, 都必须按信号的要求运行。根据轴的属性, CNC 轴控制信号又可分基本控制信号和附加控制信号两类。

基本控制信号是轴控制必需的信号, 无论伺服进给轴、步进驱动轴或主轴都需要提供。基本控制信号包括轴控制方式选择、JOG/INC/手轮/REF 和程序运行控制等, 它们按 CNC 的轴配置顺序统一命名和定义, 信号在 802S/C/D 上的 PLC 编程地址为 VB 380 \* 0001 ~ VB 380 \* 0005 (\* 为 CNC 轴序号, 0 ~ 4, 分别代表第 1 ~ 5 轴, 下同)。

附加控制信号是与轴属性有关的特殊控制信号。例如, 在 802S/C/D 上, 对于进给轴, 需要附加 PLC 编程地址为 VB380 \* 1000 的硬件限位、回参考点减速等信号; 对于步进驱动轴, 则需要增加 PLC 编程地址为 VB380 \* 5000 的旋转监控信号; 对于主轴, 则需要增加 PLC 编程地址为 VB3803 2000 ~ VB3803 2003 的传动级交换控制、主轴转速倍率调节等信号。

2) 轴工作状态信息。CNC 轴工作状态信息是供 PLC 程序进行确认、检查、监控用的 CNC 输出信号, 同样分为基本工作状态信息和附加工作状态信息两类。前者与 CNC 轴基本控制信号对应, 信号在 802S/C/D 上的 PLC 编程地址为 VB390 \* 0001 ~ VB390 \* 0005; 后者与轴附加控制信号对应, 在 802S/C/D 上, 进给轴信号的 PLC 编程地址为 VB390 \* 1000 ~ VB390 \* 1002, 步进驱动轴信号的 PLC 编程地址为 VB390 \* 5000, 主轴信号的 PLC 编程地址为 VB3903 2000 ~ VB3903 2003 等。

802S/C/D 的进给轴信号及功能如下, 主轴信号将在第 7 章具体介绍。

### 2. 进给轴控制功能

1) 生效位置反馈。位置反馈生效后, CNC 可以对进给轴的实际位置进行检测和监控, 因此, 它是闭环位置控制、跟随控制的前提条件, 伺服进给轴、需要进行螺纹加工的主轴等都应予以生效。

2) 选择控制方式。如前所述, 根据数控机床不同的操作控制要求, 进给轴可通过伺服使能、跟随控制、轴禁止等轴基本控制信号, 选择位置控制、位置跟随控制、轴禁止等控制方式。选择位置控制方式时, 还可通过夹紧监控信号 (V380 \* 0002.3), 监控轴的位置跟随误差, 误差超限时将发生 CNC 报警; 对于步进电动机驱动, 则可通过轴附加控制信号 V380 \* 5000.0 (旋转监控), 监控步进电动机的失步。

3) 超程保护。通过 PLC 的限位开关 (硬件) 输入和 CNC 软件限位参数的设定, 进给轴可利用轴附加控制信号, 实现轴的超程保护、运动禁止功能。

4) 运动速度调节。进给轴可通过进给倍率调节、进给倍率生效、手动快速等基本控制信号, 以及参考点减速等轴附加控制信号, 改变轴的移动速度。

5) 进给起动和停止。可通过 CNC 轴基本控制信号中的进给停止信号, 控制进给轴的运



动停止。

6) 手动操作方式选择和运行控制。可通过手动运动方向选择、增量进给距离选择、手轮选择等基本控制信号,选择 JOG、INC 和手轮操作,并控制进给轴的手动运动。

### 3. 进给轴控制信号

802S/C/D 的伺服进给轴主要控制信号,以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 6.2-1 所示。

表 6.2-1 伺服进给轴控制信号一览表

编程地址 <sup>①</sup>	信号名称	作用与功能
V380 * 0000.0 ~ .4	进给倍率调节	格雷码的进给倍率调节信号 FVA ~ FVE(参见 5.2 节)
V380 * 0001.3	轴禁止	轴禁止运动,CNC 位置给定输出无效
V380 * 0001.4	跟随控制	位置控制无效,但测量系统有效,轴成为位置显示轴
V380 * 0001.5	位置反馈生效	实现进给轴、主轴位置反馈功能(参见 5.1 节)
V380 * 0001.7	进给倍率生效	实现进给倍率调节功能(参见 5.1 节)
V380 * 0002.1	伺服使能	闭环位置控制功能生效
V380 * 0002.2	复位	轴复位、删除 JOG 剩余行程,但程序剩余行程需要通道信号删除
V380 * 0002.3	夹紧监控	实现轴停止时的跟随误差监控功能
V380 * 0004.0 ~ .2	手轮生效	依次为手轮 1、2、3 进给操作生效
V380 * 0004.3	轴停止	轴运动停止,撤销后可自动恢复运行(功能 FANUC 的轴互锁同)
V380 * 0004.4	方向键禁止	禁止手动方向键操作
V380 * 0004.5	手动快速	选择手动快速进给(参见 5.2 节)
V380 * 0004.6	负向运动	起动 JOG、INC、REF 方式轴负向运动(参见 5.2 节)
V380 * 0004.7	正向运动	起动 JOG、INC、REF 方式轴正向运动(参见 5.2 节)
V380 * 0005.0	INC × 1	增量进给,距离为最小移动单位 × 1(参见 5.2 节)
V380 * 0005.1	INC × 10	增量进给,距离为最小移动单位 × 10(参见 5.2 节)
V380 * 0005.2	INC × 100	增量进给,距离为最小移动单位 × 100(参见 5.2 节)
V380 * 0005.3	INC × 1000	增量进给,距离为最小移动单位 × 1000(参见 5.2 节)
V380 * 0005.4	INC × 10000	增量进给,距离为最小移动单位 × 10000(参见 5.2 节)
V380 * 0005.5	INC Var	增量进给,距离由 MDI 面板设定(参见 5.2 节)
V380 * 0005.6	JOG 操作	选择手动连续进给操作(JOG)
V380 * 1000.0	- OTn	负向硬件限位信号
V380 * 1000.1	+ OTn	正向硬件限位信号
V380 * 1000.2	- EXLM2n	负向第 2 软件限位设定值生效
V380 * 1000.3	+ EXLM2n	正向第 2 软件限位设定值生效
V380 * 1000.7	DECn	参考点减速
V380 * 5000.0	旋转监控	步进电动机旋转监控功能生效

① “\*” 可以是 0、1、2、3、4,分别代表第 1、2、3、4、5 轴控制信号。

### 4. 进给轴工作状态信息

在 PLC 程序上,CNC 轴的当前工作状态,可通过 CNC→PLC 的轴工作状态信息进行监



控。802S/C/D 与伺服进给轴相关的主要工作状态信号，以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 6.2-2 所示。

表 6.2-2 伺服进给轴工作状态信息表

编 程 地 址	信 号 名 称	作用与功能
V390 * 0000.4	回参考点完成	1:进给轴完成回参考点操作,机床坐标系已建立
V390 * 0000.6	粗定位完成	1:进给轴已定位,并到达粗定位允差范围
V390 * 0000.7	精确定位完成	1:进给轴已定位,并到达精确定位允差范围
V390 * 0001.3	跟随控制	1:进给轴处于跟随控制方式
V390 * 0001.4	进给轴停止	1:进给轴运动速度小于 CNC 参数设定的最低速度
V390 * 0001.5	位置控制有效	1:进给轴已处于闭环位置控制状态
V390 * 0001.6	速度控制有效	1:进给轴已处于闭环速度控制状态
V390 * 0001.7	转矩控制有效	1:进给轴已处于闭环转矩(电流)控制状态
V390 * 0004.0 ~ .2	手轮 1 ~ 3 有效	1:进给轴已生效手轮 1 ~ 3 控制
V390 * 0004.7	正向运动	1:进给轴正向运动状态
V390 * 0004.6	负向运动	1:进给轴负向运动状态
V390 * 0005.0	INC × 1	1:进给轴当前操作方式为 INC × 1
V390 * 0005.1	INC × 10	1:进给轴当前操作方式为 INC × 10
V390 * 0005.2	INC × 100	1:进给轴当前操作方式为 INC × 100
V390 * 0005.3	INC × 1000	1:进给轴当前操作方式为 INC × 1000
V390 * 0005.4	INC × 10000	1:进给轴当前操作方式为 INC × 10000
V390 * 0005.5	INC Var	1:进给轴当前操作方式为 INC Var
V390 * 0005.6	JOG 操作	1:进给轴当前操作方式为 JOG
V390 * 5000.0	旋转监控出错	步进电动机旋转监控出错,步进电动机失步

### 6.2.3 通道信号

#### 1. 信号分类

通道控制是根据机床结构和 CNC 加工程序的控制要求，对归属该通道的编程轴（又称几何轴，Geometry Axis）所进行的控制。在多通道控制的 CNC 上，不同通道可同时执行不同的加工程序，因此，CNC 加工程序运行控制信号、编程轴控制信号需要以通道控制信号的形式进行分组。802S/C/D 等简单 CNC 不具备多通道控制功能，故只需要考虑第 1 通道的 CNC 加工程序运行控制和编程轴控制信号。

通道信号同样分为通道控制信号和通道工作状态信息两大类。

1) 通道控制信号。通道控制信号分为加工程序运行控制信号和编程轴控制信号两类。前者用于 CNC 加工程序的启动/停止，程序的单段、试运行、选择暂停控制，进给速度的调节等，信号在 802S/C/D 上的 PLC 编程地址为 VB3200 0000 ~ VB3200 0007；后者主要用于通道所属编程轴的手动控制，如 JOG、INC、手轮等，信号在 802S/C/D 上的 PLC 编程地址为 VB3200 1000 ~ VB3200 1009。

2) 通道工作状态信息。通道工作状态信息是供 PLC 程序确认、检查、监控用的信号，



同样分加工程序运行信息和编程轴工作状态信息两类。前者与加工程序运行控制信号对应，信号在 802S/C/D 上的 PLC 编程地址为 VB3300 0000 ~ VB3300 0004；后者与通道编程轴运行控制信号对应，信号在 802S/C/D 上的 PLC 编程地址为 VB3300 1000 ~ VB3300 1009。

## 2. 通道控制功能

通道控制是对指定通道加工程序运行和编程轴操作所进行的控制，对单通道控制系统，它就是 CNC 加工程序运行控制信号和编程轴操作控制信号。在 802S/C/D 上，利用通道控制信号，可对 CNC 进给轴进行如下控制。

1) 程序运行控制。程序运行控制信号包括加工程序的单程序段运行、M01 选择暂停有效、选择程序段跳过、程序测试、程序试运行，以及加工程序的循环启动（NC 启动）、进给保持（NC 停止）、程序段读入禁止、程序结束停止等。

2) 编程速度调节。可通过通道进给倍率调节及进给倍率生效信号、快速进给倍率调节及快速进给倍率生效信号，改变加工程序中编程的进给速度和快速移动速度。

3) 手动操作方式选择和运行控制。可通过通道编程轴控制信号对归属该通道的进给轴进行独立的 JOG、INC 和手轮操作控制，如手动运动方向选择、增量进给距离选择、手轮选择等。

## 3. 通道控制信号

802S/C/D 用于进给轴控制的主要通道控制信号，以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 6.2-3 所示。

表 6.2-3 进给轴通道控制信号表

编 程 地 址	信 号 名 称	作用与功能
V3200 0000.4	单程序段运行	选择单程序段运行操作(参见 5.2 节)
V3200 0000.5	M01 生效	选择暂停指令 M01 生效(参见 5.2 节)
V3200 0000.6	程序试运行	选择程序试运行操作(参见 5.2 节)
V3200 0001.0	回参考点起动	按机床参数设定的顺序,起动自动回参考点操作
V3200 0001.7	程序测试	程序测试运行(参见 5.2 节)
V3200 0004.0 ~ .4	进给倍率调节	格雷码进给倍率调节 FVA ~ FVE 信号输入(参见 5.2 节)
V3200 0005.0 ~ .4	快速倍率调节	格雷码快速进给倍率调节 RVA ~ RVE 信号输入(参见 5.2 节)
V3200 0006.6	快速倍率有效	快速进给倍率调节 RVA ~ RVE 信号有效(参见 5.2 节)
V3200 0006.7	进给倍率有效	进给倍率调节 FVA ~ FVE 信号有效(参见 5.1 节)
V3200 0007.0	NC 启动禁止	禁止 NC 启动,NC. START 信号无效
V3200 0007.1	NC. START	启动 NC 程序自动运行操作(参见 5.2 节)
V3200 0007.2	程序段结束停止	当前程序段结束后停止
V3200 0007.3	NC. STOP	停止程序自动运行,轴停止,剩余行程保留(参见 5.2 节)
V3200 0007.4	进给轴/主轴停止	自动运行时功能与 NC. STOP 相同;信号对手动操作无效
V3200 1000.0 ~ .2	第 1 轴手轮选择	第 1 轴手轮 1 ~ 3 生效
V3200 1000.3	第 1 轴进给停止	停止第 1 轴 JOG 进给
V3200 1000.4	第 1 轴锁定	禁止第 1 轴 JOG 进给操作
V3200 1000.5	第 1 轴手动快速	第 1 轴手动快速(参见 5.2 节)



(续)

编 程 地 址	信 号 名 称	作用与功能
V3200 1000.6	第1轴负向手动	第1轴负向 JOG、INC 运动(参见 5.2 节)
V3200 1000.7	第1轴正向手动	第1轴正向 JOG、INC 运动(参见 5.2 节)
V3200 1001.0	第1轴 INC $\times 1$	第1轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 1$ (参见 5.2 节)
V3200 1001.1	第1轴 INC $\times 10$	第1轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 10$ (参见 5.2 节)
V3200 1001.2	第1轴 INC $\times 100$	第1轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 100$ (参见 5.2 节)
V3200 1001.3	第1轴 INC $\times 1000$	第1轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 1000$ (参见 5.2 节)
V3200 1001.4	第1轴 INC $\times 10000$	第1轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 10000$ (参见 5.2 节)
V3200 1001.5	第1轴 INC Var	第1轴增量进给,距离由 MDI 面板输入(参见 5.2 节)
V3200 1001.6	第1轴 JOG	第1轴 JOG 操作(参见 5.2 节)
V3200 1004.0 ~ .2	第2轴手轮选择	第2轴手轮 1~3 生效
V3200 1004.3	第2轴进给停止	停止第2轴 JOG 进给
V3200 1004.4	第2轴锁定	禁止第2轴 JOG 进给操作
V3200 1004.5	第2轴手动快速	第2轴手动快速(参见 5.2 节)
V3200 1004.6	第2轴负向手动	第2轴负向 JOG、INC 运动(参见 5.2 节)
V3200 1004.7	第2轴正向手动	第2轴正向 JOG、INC 运动(参见 5.2 节)
V3200 1005.0	第2轴 INC $\times 1$	第2轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 1$ (参见 5.2 节)
V3200 1005.1	第2轴 INC $\times 10$	第2轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 10$ (参见 5.2 节)
V3200 1005.2	第2轴 INC $\times 100$	第2轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 100$ (参见 5.2 节)
V3200 1005.3	第2轴 INC $\times 1000$	第2轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 1000$ (参见 5.2 节)
V3200 1005.4	第2轴 INC $\times 10000$	第2轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 10000$ (参见 5.2 节)
V3200 1005.5	第2轴 INC Var	第2轴增量进给,距离由 MDI 面板输入(参见 5.2 节)
V3200 1005.6	第2轴 JOG	第2轴 JOG 操作(参见 5.2 节)
V3200 1008.0 ~ .2	第3轴手轮选择	第3轴手轮 1~3 生效
V3200 1008.3	第3轴进给停止	停止第3轴 JOG 进给
V3200 1008.4	第3轴锁定	禁止第3轴 JOG 进给操作
V3200 1008.5	第3轴手动快速	第3轴手动快速(参见 5.2 节)
V3200 1008.6	第3轴负向手动	第3轴负向 JOG、INC 运动(参见 5.2 节)
V3200 1008.7	第3轴正向手动	第3轴正向 JOG、INC 运动(参见 5.2 节)
V3200 1009.0	第3轴 INC $\times 1$	第3轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 1$ (参见 5.2 节)
V3200 1009.1	第3轴 INC $\times 10$	第3轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 10$ (参见 5.2 节)
V3200 1009.2	第3轴 INC $\times 100$	第3轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 100$ (参见 5.2 节)
V3200 1009.3	第3轴 INC $\times 1000$	第3轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 1000$ (参见 5.2 节)
V3200 1009.4	第3轴 INC $\times 10000$	第3轴增量进给,距离为最小移动单位 $\times 10000$ (参见 5.2 节)
V3200 1009.5	第3轴 INC Var	第3轴增量进给,距离由 MDI 面板输入(参见 5.2 节)
V3200 1009.6	第3轴 JOG	第3轴 JOG 操作(参见 5.2 节)





#### 4. 通道状态信息

在 PLC 程序上, 可通过通道状态信息监控通道工作状态。802S/C/D 与进给轴相关的主要通道状态信号, 以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 6. 2-4 所示。

表 6. 2-4 进给轴通道工作状态信号表

编 程 地 址	信 号 名 称	作用与功能
V3300 0000. 5	M00/M01 有效	1; M00/M01 程序暂停有效
V3300 0001. 0	回参考点有效	1; 通道按 CNC 参数设定次序, 处于自动回参考点运行中
V3300 0001. 4	程序检索	1; 通道处于程序检索状态
V3300 0001. 5	M02/M30 有效	1; M02/M30 程序停止有效
V3300 0001. 7	程序测试	1; 程序测试运行有效
V3300 0003. 0	加工程序运行	1; 通道加工程序运行中
V3300 0003. 1	加工程序等待	1; 通道加工程序运行等待状态
V3300 0003. 2	程序运行停止	1; 通道加工程序运行停止状态
V3300 0003. 3	程序运行中断	1; 操作方式被转换, 通道加工程序中断状态
V3300 0003. 4	程序复位	1; 通道加工程序处于复位状态
V3300 0003. 5	通道运行	1; 通道运行中
V3300 0003. 6	通道中断	1; 通道运行中断
V3300 0003. 7	通道复位	1; 通道处于复位状态
V3300 0004. 2	自动回参考点完成	1; 通道全部轴按 CNC 参数设定顺序, 完成回参考点
V3300 0004. 3	轴停止	1; 通道全部轴处于停止状态
V3300 0004. 6	通道报警	1; 通道发生报警
V3300 0004. 7	加工程序报警	1; 通道加工程序发生报警
V3300 1000. 0 ~. 2	第 1 轴手轮 1 ~3 有效	1; 第 1 轴手轮 1 ~3 有效
V3300 1000. 3	第 1 轴进给停止	第 1 轴 JOG 进给停止
V3300 1000. 4	第 1 轴锁定	第 1 轴 JOG 进给操作禁止
V3300 1000. 5	第 1 轴手动快速	第 1 轴手动快速有效
V3300 1000. 6	第 1 轴负向运动	第 1 轴负向运动中
V3300 1000. 7	第 1 轴正向运动	第 1 轴正向运动中
V3300 1001. 0	第 1 轴 INC ×1	第 1 轴 INC ×1 操作有效
V3300 1001. 1	第 1 轴 INC ×10	第 1 轴 INC ×10 操作有效
V3300 1001. 2	第 1 轴 INC ×100	第 1 轴 INC ×100 操作有效
V3300 1001. 3	第 1 轴 INC ×1000	第 1 轴 INC ×1000 操作有效
V3300 1001. 4	第 1 轴 INC ×10000	第 1 轴 INC ×10000 操作有效
V3300 1001. 5	第 1 轴 INC Var	第 1 轴 INC Var 操作有效
V3300 1001. 6	第 1 轴 JOG	第 1 轴 JOG 操作有效
V3300 1004. 0 ~. 2	第 2 轴手轮 1 ~3 有效	1; 第 2 轴手轮 1 ~3 有效





(续)

编 程 地 址	信 号 名 称	作用与功能
V3300 1004.3	第2轴进给停止	第2轴JOG进给停止
V3300 1004.4	第2轴锁定	第2轴JOG进给操作禁止
V3300 1004.5	第2轴手动快速	第2轴手动快速有效
V3300 1004.6	第2轴负向运动	第2轴负向运动中
V3300 1004.7	第2轴正向运动	第2轴正向运动中
V3300 1005.0	第2轴INC×1	第2轴INC×1操作有效
V3300 1005.1	第2轴INC×10	第2轴INC×10操作有效
V3300 1005.2	第2轴INC×100	第2轴INC×100操作有效
V3300 1005.3	第2轴INC×1000	第2轴INC×1000操作有效
V3300 1005.4	第2轴INC×10000	第2轴INC×10000操作有效
V3300 1005.5	第2轴INC Var	第2轴INC Var操作有效
V3300 1005.6	第2轴JOG	第2轴JOG操作有效
V3300 1008.0~.2	第3轴手轮1~3有效	1;第3轴手轮1~3有效
V3300 1008.3	第3轴进给停止	第3轴JOG进给停止
V3300 1008.4	第3轴锁定	第3轴JOG进给操作禁止
V3300 1008.5	第3轴手动快速	第3轴手动快速有效
V3300 1008.6	第3轴负向运动	第3轴负向运动中
V3300 1008.7	第3轴正向运动	第3轴正向运动中
V3300 1009.0	第3轴INC×1	第3轴INC×1操作有效
V3300 1009.1	第3轴INC×10	第3轴INC×10操作有效
V3300 1009.2	第3轴INC×100	第3轴INC×100操作有效
V3300 1009.3	第3轴INC×1000	第3轴INC×1000操作有效
V3300 1009.4	第3轴INC×10000	第3轴INC×10000操作有效
V3300 1009.5	第3轴INC Var	第3轴INC Var操作有效
V3300 1009.6	第3轴JOG	第3轴JOG操作有效

## 6.3 进给轴控制程序典例

### 6.3.1 伺服/进给使能程序

802S/C/D子程序库中的SBR40 (AXIS\_CTL) 是用于进给轴控制的PLC程序例子, 原程序可参见6.4节, 由于该子程序的设计过于简单, 部分概念不够清晰, 对于可靠性要求较高的机床, 建议按如下方法对其进行修改和完善。

#### 1. 局部变量定义

修改后的子程序SBR40 (AXIS\_CTL) 局部变量定义如表6.3-1所示, 部分变量有修改。

表 6.3-1 SBR40 局部变量定义表

局 部 变 量			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	NODEF	IN	WORD	—	无定义
I2.0	T_64	IN	BOOL	M103.7	电源模块进给使能控制端 64 输出缓冲存储器
I2.1	T_63	IN	BOOL	M103.6	电源模块脉冲使能控制端 63 输出缓冲存储器
I2.2	OPTM	IN	BOOL	I 或 M	具有保持功能的制动器松开信号
I2.3	OVLrel	IN	BOOL	—	超程解除（根据实际情况，指定输入地址 I）
I2.4	_1LMTp	IN	BOOL	M100.0	X 轴正向超程信号（输入 I0.0 的变换状态）
I2.5	_1LMTn	IN	BOOL	M100.4	X 轴负向超程信号（输入 I0.4 的变换状态）
I2.6	_1REF	IN	BOOL	M100.2	X 轴参考点减速信号（输入 I0.2 的变换状态）
I2.7	_2LMTp	IN	BOOL	M101.2	Y 轴正向超程信号（输入 I1.2 的变换状态）
I3.0	_2LMTn	IN	BOOL	M101.4	Y 轴负向超程信号（输入 I1.4 的变换状态）
I3.1	_2REF	IN	BOOL	M101.3	Y 轴参考点减速信号（输入 I1.3 的变换状态）
I3.2	_3LMTp	IN	BOOL	M100.1	Z 轴正向超程信号（输入 I0.1 的变换状态）
I3.3	_3LMTn	IN	BOOL	M100.5	Z 轴负向超程信号（输入 I0.5 的变换状态）
I3.4	_3REF	IN	BOOL	M100.3	Z 轴参考点减速信（输入 I0.3 的变换状态）
I3.5 <sup>①</sup>	F_Start	IN	BOOL	V1000 0003.2	NC. START 键，进给使能和通道回参考点启动
I3.6 <sup>①</sup>	F_Stop	IN	BOOL	V1000 0003.1	NC. STOP 键，进给停止（常闭输入）
I3.7 <sup>①</sup>	_BRK	OUT	BOOL	M103.3	制动器松开输出 Q1.3 的输出缓冲寄存器
I4.0 <sup>①</sup>	MSG1	OUT	BOOL	V16000003.2	机床报警 70026（制动器松开）
I4.1 <sup>①</sup>	HWL	TEMP	BOOL	—	X/Y/Z 轴硬件超程

① 程序改进时需要修改或补充的局部变量。

## 2. 伺服使能控制

以 3 轴数控铣床为例，按驱动器和 CNC 控制要求，在 SBR40（AXIS\_CTL）基础上修改的 CNC 进给轴伺服使能控制程序 Network1 如图 6.3-1 所示，该程序可用于进给轴的伺服使能控制和位置控制/跟随控制方式切换。

程序 Network1 中的 I2.0、I2.1 应为 6.1 节、子程序 SBR33（EMG\_STOP）所生成的驱动器电源模块进给使能控制信号 64 和脉冲使能控制信号 63 的输出缓冲器状态 M103.7 和 M103.6；信号 V1000 0003.0 为 MCP 面板的 CNC 复位按键输入。

在 Network1 上，当驱动器起动过程结束、进入正常工作状态后，I2.0 和 I2.1 的状态将为 1 时，此时，可通过操作 MCP 面板的 CNC 复位键【RESET】，利用输入信号 V1000 0003.0 的下降沿，使 CNC 进给轴的伺服使能信号 V380 \* 0002.1 置 1、跟随控制信号 V380 \* 0001.4 置 0，实现进给轴的 CNC 闭环位置控制功能。由于 CNC 复位键【RESET】可同时作为 CNC 复位信号 V3000 0000.7 输出（见第 5 章），因此，CNC 的开机报警清除、闭环位置控制使能、跟随控制撤销等动作可同时完成。如不操作 CNC 复位键【RESET】，V1000 0003.0 的状态始终为 0，即使 I2.0、I2.1 状态从 1 变为 0，也不会输出伺服使能信号。

驱动器正常工作是 CNC 闭环位置控制的前提条件，只要驱动器电源模块的进给使能或

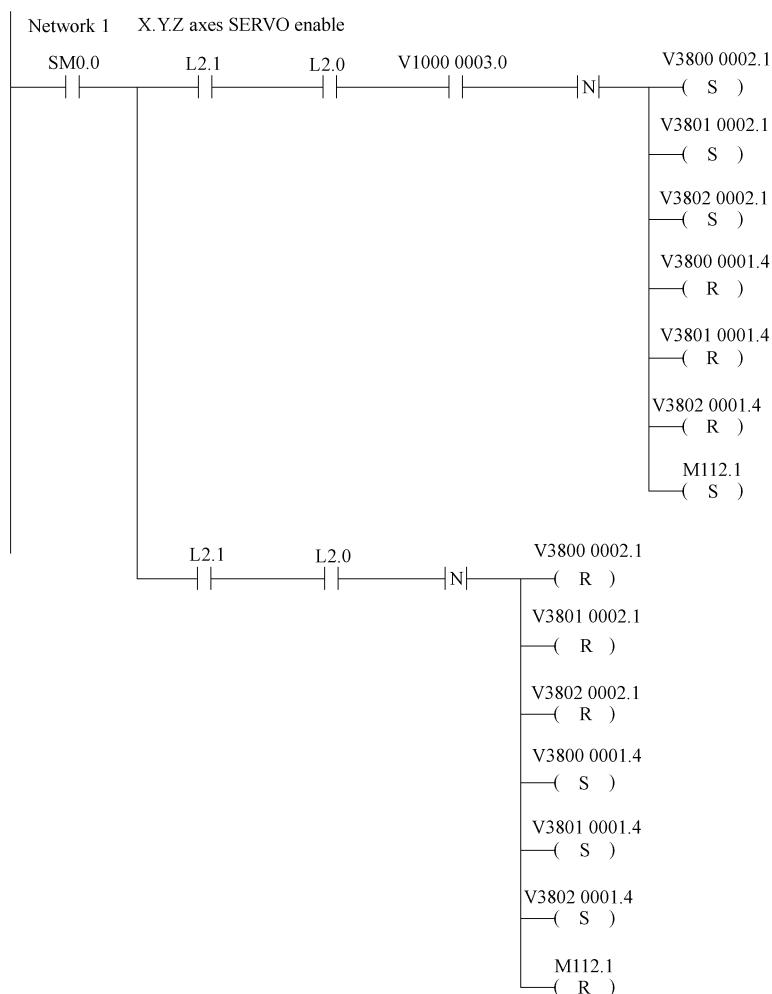


图 6.3-1 伺服使能控制程序

脉冲使能中有一个为 0，L2.0 及 L2.1 的下降沿将立即使轴控制信号 V380 \* 0002.1（伺服使能）置 0、V380 \* 0001.4（跟随控制）置 1，进给轴将撤销 CNC 闭环位置控制功能、并切换到位置跟随控制方式，从而使进给轴能够在驱动器急停或断开时，可通过 CNC 检测实际位置，这对实际机床控制是必要的。

程序中的 M112.1 为 CNC 伺服使能的状态信号，该信号用于后述的进给使能或其他程序控制。

对于 4 轴机床控制，可按照 1~3 轴同样的方式，在图示程序上增加第 4 轴伺服使能信号 V3803 0002.1 和跟随控制信号 V3803 0001.4。

### 3. 进给使能控制

CNC 进给轴的进给使能/停止控制，可通过 CNC 轴控制信号 V380 \* 0004.3（进给停止）的复位/置位实现。对于 3 轴数控铣床，其 PLC 程序如图 6.3-2 所示。

Network2 中的局部变量 L3.5、L3.6 是在原 SBR40 基础上所补充的轴进给使能/停止控制信号。在 SIEMENS 810/828/840D 等高性能 CNC 上，CNC 配套提供的标准机床操作面板

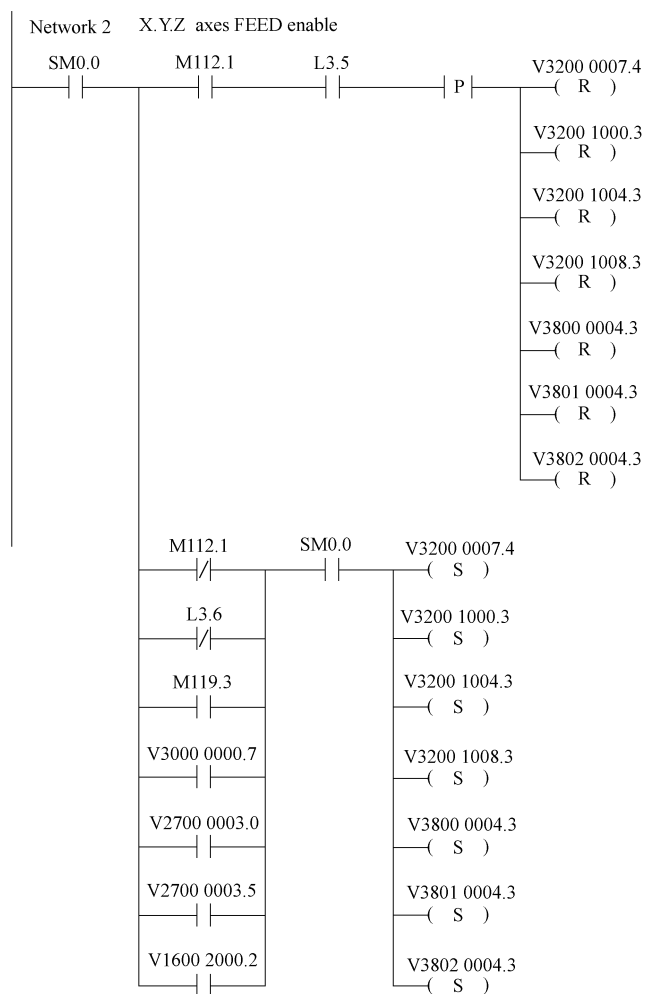


图 6.3-2 进给使能控制程序

(MCP) 设计有专门的进给使能【FEED. START】和进给停止【FEED. STOP】操作按键 (参见 4.5 节), 按键的输入信号可直接作为子程序变量 L3.5、L3.6 的赋值信号。但是, 802S/C/D 配套的 MCP 上无进给使能/停止按键, 为此, 在设计 PLC 程序时, 可借用 MCP 上的 CNC 起动/停止键【NC. START】/【NC. STOP】来控制进给使能和停止。

设计进给使能/停止控制程序时, 需要注意 MCP 上的按键信号极性。在 SIEMENS 配套提供的 MCP 上, 【FEED. STOP】、【NC. STOP】等按键通常采用常闭触点, 因此, 程序中的【NC. STOP】按键输入 L3.6 使用了常闭触点控制, 如 MCP 按键的输入为常开触点, 则程序中的 L3.6 应改为常开触点。

在 Network2 中, CNC 的进给轴停止信号 V380 \* 0004.3 可在轴伺服使能、状态信号 M112.1 = 1 后, 通过 MCP 上的 CNC 起动按键【NC. START】(变量 L4.0) 复位。由于【NC. START】需要同时用于通道的程序运行控制, 因此, 设计 PLC 程序时, 该信号需要同时复位通道轴进给停止信号 V3200 0007.4 以及变成轴的进给停止信号 V3200 1000.3、V3200 1004.3、V3200 1008.3 等。

#### 4. 制动器控制

制动器和伺服使能必须互锁。因为，制动器一旦制动，电动机轴将被锁紧，如果驱动系统的闭环位置调整有效，将直接导致驱动电动机的过载，因此，制动器制动一旦制动，必须撤销进给轴伺服使能信号；同样，如果伺服使能、位置控制生效，则必须松开制动器。

Network 3      Condition of motor brake release—no emergent case active

```

graph LR
    V2700_00001[V2700 0000.1] --- V4500_10174[V4500 1017.4]
    V4500_10174 --- V3900_00015[V3900 0001.5]
    V3900_00015 --- V4500_10181[V4500 1018.1]
    V4500_10181 --- L37[L3.7]
    L37 --- L40[L4.0]
    L40 --- Coil(( ))
    
    V4500_10174 --- V4500_10175[V4500 1017.5]
    V4500_10175 --- V3901_00015[V3901 0001.5]
    V3901_00015 --- L37
    
    V4500_10174 --- V4500_10176[V4500 1017.6]
    V4500_10176 --- V3902_00015[V3902 0001.5]
    V3902_00015 --- L37
    
    V4500_10174 --- V4500_10181_parallel[V4500 1018.1]
    V4500_10181_parallel --- L22[L2.2]
    L22 --- L37
  
```

Network3 中的 V4500 1017.4 ~ V4500 1017.6 为 CNC 用户数据 MD14512 [17] bit4 ~ bit6 的设定值, 在模板程序中, 它用来选择安装制动器的进给轴。

程序中的 V4500 1018.1 为 CNC 用户数据 MD14512 [18] bit1 的设定值, 该设定用于调试、维修时的制动器松开控制。MD14512 [18] bit1 设定 1 时, 可在驱动器调试或维修时, 利用面板上的制动器松开按钮, 直接控制制动器的松开或制动。在模板程序中, 用于调试或维修方式制动器松开的信号 (变量 L2.2) 应为具有保持功能的旋钮输入或标志寄存器 M。



当制动器被强制松开时，程序中的  $I4.0 = 1$ ，CNC 可显示报警 ALM 70026。

### 6.3.2 行程保护程序

#### 1. 行程保护的方法

从安全、可靠运行的角度考虑，数控机床的进给轴行程保护原则上应具有软件限位、硬件限位、超极限急停 3 层保护措施。

1) 软件限位。软件限位是通过 CNC 参数设定对进给轴行程所进行的限制和保护，它通常在轴完成回参考点操作、机床坐标系建立后才能生效。

软件限位是 CNC 根据进给轴的实际位置（手动）或指令位置（自动），通过软件判别坐标轴是否超程或可能出现超程的功能，当加工程序自动运行时，它可在运动指令执行前检测。软件限位一旦生效，CNC 将产生软件限位报警，对应的进给轴减速停止。软件限位可禁止进给轴在指定方向的运动，但通常可通过 JOG 方式的反向运动退出。

软件限位的位置有时可选择多个，例如，在 802S/C/D 上，当软件限位选择信号  $V380 * 1000.2 / V380 * 1000.3$  为 0 时，可选择 CNC 的第一软件限位设定参数 MD36100/36110 作为软件限位位置。如信号  $V380 * 1000.2 / V380 * 1000.3$  为 1，则可选择 CNC 的第二软件限位设定参数 MD36120/36130 作为软件限位位置等。

2) 硬件限位。硬件限位是通过 PLC 信号对进给轴行程进行的限制和保护，它需要在机床上安装行程限位开关，并编制相应的 PLC 处理程序。

无论进给轴是否完成回参考点操作、机床坐标系是否建立，硬件限位保护功能都将始终有效，因此，它也可用于进给轴回参考点前的手动操作保护。硬件限位信号一旦为“1”，进给轴将立即减速或快速停止，CNC 上显示硬件限位报警。硬件限位同样可禁止进给轴在指定方向的运动，但通常也能通过 JOG 方式的反向运动退出。

3) 超极限急停。超极限急停是通过紧急分断驱动器对进给轴行程进行的紧急保护，它需要通过紧急分断安全电路实现。超极限急停一旦生效，无论 CNC、PLC 处于何种状态，电气控制系统都将直接通过安全电路（强电控制线路）紧急制动驱动电动机、并分断驱动器主电源。进给轴出现超极限急停时，原则上只能通过驱动器断开时的机械手动操作，才允许退出超极限位置。

软件限位、硬件限位、超极限急停的保护位置一般按图 6.3-4 所示设置。软件限位通常设定在略大于正常加工区（1~2mm）的位置上；硬件限位的位置应位于软件限位之后；超极限急停则位于硬件限位之后。超极限急停开关动作时，应保证进给轴能够通过紧急制动，在产生机械碰撞或机械部件（如滚珠丝杠）损坏前停止。

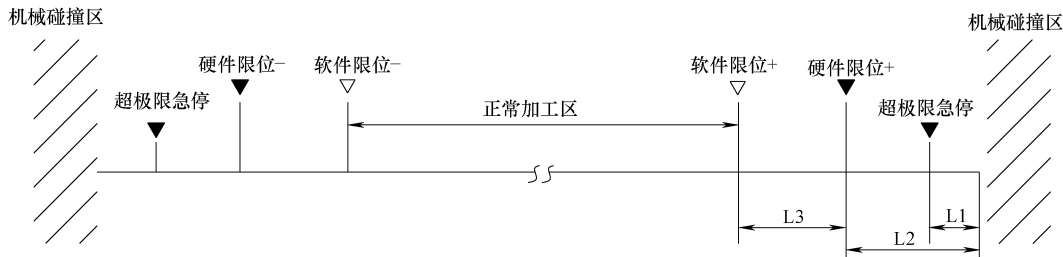


图 6.3-4 行程保护的设置



### 2. 程序设计要求

3 种行程保护的 PLC 程序设计基本要求分别如下。

1) 软件限位。软件限位功能由 CNC 实现，因此，设计 PLC 程序时，只需要提供软件限位选择信号  $V380 * 1000.2 / V380 * 1000.3$ ，以选择不同的 CNC 软件限位参数。例如，在主轴移动式换刀的加工中心上，可将换刀时的轴运动范围作为第 2 软件限位区，而将正常加工时的轴运动范围作为第 1 软件限位区。当机床执行自动换刀指令时，通过 PLC 程序，使  $V380 * 1000.2$  或  $V380 * 1000.3$  为 1，将行程保护区由第 1 软件限位切换至第 2 软件限位等。

2) 硬件限位。硬件限位需要安装行程检测开关。设计 PLC 程序时，只需要将对应轴、对应方向上的硬件限位开关输入信号转换为进给轴的硬件限位信号  $V380 * 1000.1 / V380 * 1000.0$ ，程序示例如图 6.3-5 所示。

3) 超极限急停。超极限急停是通过紧急分断安全电路进行的驱动器紧急分断，其控制由强电线路实现，有关内容可参见《数控机床电气设计典例》（机械工业出版社出版）一书。超极限急停时，CNC 急停输入断开，故可通过第 5 章的急停控制 PLC 程序，控制 CNC 和驱动器急停。

### 3. 硬件限位程序设计

硬件限位的 PLC 程序设计实例如图 6.3-5 所示。

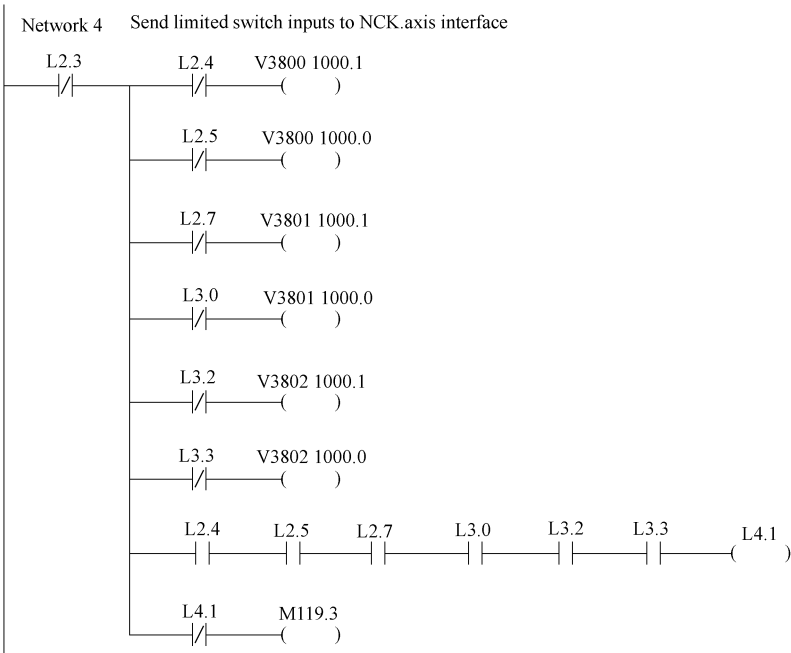


图 6.3-5 硬件限位保护程序

对于 802S/C/D，当机床 I/O 信号按模板程序要求连接时，其 X、Y、Z 轴的硬件限位开关 +XOT/-XOT、+YOT/-YOT、+ZOT/-ZOT 的输入地址分别为 I0.0/I0.4、I1.2/I1.4、I0.1/I0.5，以上输入经第 5 章的 I/O 初始化子程序 SBR62（FILTER）进行使能和极性变换处理后，其输入状态（常闭）缓冲寄存器分别为 M100.0/M100.4、M101.2/M101.4、M100.1/M100.5。因此，当局部变量按表 6.3-1 赋值时，只需要将局部变量依次转换为进给



轴的硬件限位信号  $V380 * 1000.1/V380 * 1000.0$ 。

Network4 中, 进给轴的正/负硬件超程信号可在对应的硬件限位开关动作 (常闭触点断开) 时输出 1; 在超程退出或输入超程解除信号 ( $I2.3 = 1$ ) 时恢复为 0。程序中的 M119.3 是用于前述进给停止控制程序的硬件限位动作信号, 在任一硬件限位开关动作时, 其状态将成为 1。

### 6.3.3 回参考点控制程序

#### 1. 程序设计要求

802S/C/D 等简单 CNC 一般采用减速开关回参考点方式, 回参考点的方向、回参考点速度、参考点搜索速度、参考点定位速度可通过 CNC 参数进行设定。

802S/C/D 的回参考点操作可在通道选定 JOG 操作方式、信号  $V3000\ 0000.2 = 1$  后, 通过 PLC 输出的回参考点选择信号  $V3000\ 0001.2 = 1$  生效。用于回参考点操作方式选择的 PLC 程序设计可参见第 5 章。

802S/C/D 的回参考点方式有手动回参考点和通道回参考点两种。手动回参考点为常用操作, 它可在 CNC 回参考点方式选定后, 通过操作 MCP 面板的手动方向键, 利用 PLC 程序输出的轴运动方向信号  $V380 * 0004.7$  (正) 或  $V380 * 0004.6$  (负向) 启动; 不同的轴可同时回参考点。通道回参考点可根据 CNC 参数设定的顺序, 依次自动完成全部轴的回参考点操作, 它通过通道控制信号  $V3200\ 0001.0$  启动。

进给轴回参考点的动作由 CNC 自动控制, 设计 PLC 程序时, 只需要选择回参考点操作方式和提供参考点减速信号。在模板程序上, X、Y、Z 轴的参考点减速开关 PLC 输入地址分别为  $I0.2$ 、 $I1.3$  和  $I0.3$ , 信号经第 5 章的 I/O 初始化子程序 SBR62 (FILTER) 进行使能和极性变换处理后, 其输入状态缓冲寄存器分别为  $M100.2$ 、 $M101.3$ 、 $M100.3$ 。因此, 设计 PLC 程序时, 只需要将这一信号转换为 CNC 进给轴的参考点减速信号  $V380 * 1001.7$ 。此外, 在模板程序上, 还可通过 CNC 用户数据 MD14512 [17] bit0 ~ bit2 的设定, 实现或撤销回参考点时的进给速度倍率调节功能, 如需要, 也可在 PLC 程序中设计相关的控制程序。

#### 2. PLC 程序设计

802S/C/D 的回参考点控制程序如图 6.3-6 所示, Network5 用于回参考点进给倍率调节功能选择, Network6 用于参考点减速开关信号处理。

在模板程序中, CNC 用户数据 MD14512 [16] bit0 用于机床调试维修, 设定 1 为机床调试维修操作, 机床正常工作时应设定 0; CNC 用户数据 MD14512 [17] bit0 ~ bit2 用于机床正常工作时的 X、Y、Z 轴回参考点进给倍率调节功能设定, 如设定 1, 对应轴的进给倍率调节对回参考点操作无效。

程序 Network5 中的信号  $V4500\ 1016.0$  为 CNC 用户数据 MD14512 [16] bit0 的设定值, 因此, 在机床调试维修时, 程序将禁止回参考点的进给倍率生效/撤销操作和通道回参考点操作。而在机床正常工作时, 则可根据 MD14512 [17] bit0 ~ bit2 的设定 (信号  $V4500\ 1017.0 \sim V4500\ 1017.3$  的状态), 利用通道回参考点 (REF 方式) 生效状态信号  $V3100\ 0001.2$  的上升沿, 复位对应轴的进给倍率生效信号  $V380 * 0001.7$ 、撤销进给倍率调节功能。由于模板程序中的进给倍率生效信号  $V380 * 0001.7$  仅在 PLC 首循环调用的 PLC 初始化程序 SBR32 (PLC\_INI) 中置位 (见第 5 章), 信号状态一旦被覆盖, 不重启 PLC 就不能恢复,



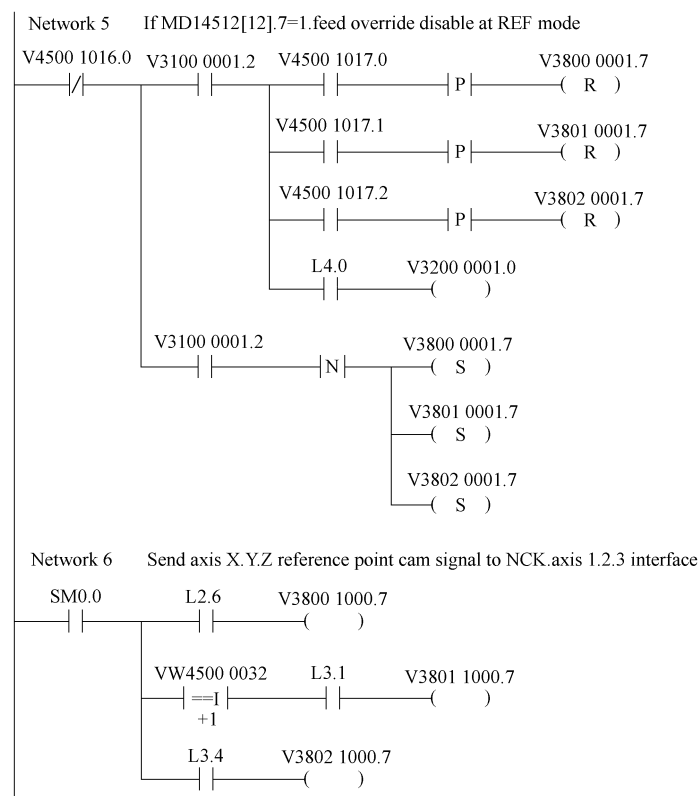


图 6.3-6 回参考点控制程序

因此，程序需要在 CNC 回参考点操作方式撤销时，利用通道状态信号 V3100 0001.2 (REF 方式生效) 的下降沿，重新恢复进给倍率生效信号 V380 \* 0001.7。

CNC 的通道回参考点操作可通过信号 V3200 0001.0 启动，轴回参考点的顺序由 CNC 参数设定。Network5 中的通道回参考点操作可通过局部变量 L4.0 启动，L4.0 一般可使用 MCP 上的【NC. START】键输入；通道回参考点操作启动后，可使全部进给轴按 CNC 参数设定的顺序，自动完成回参考点操作。

Network6 用于参考点减速开关处理。该程序只需要将连接到 PLC 输入的参考点减速开关信号，作为局部变量 L2.6 (DECX)、L3.1 (DECY)、L3.4 (DECZ) 的赋值，直接传送到 CNC 的进给轴参考点减速信号 V380 \* 1000.7 上。如果 CNC 用户数据 MD14510 [16] 设定为 0、选择数控车床时，VW4500 0032 的状态为 0，此时，无需传送 DECY 信号。

## 6.4 子程序 SBR40 说明

### 6.4.1 急停连接电路

802S/C/D 的子程序库提供了用于进给轴控制的急停电路、模板程序和子程序 SBR40 (AXIS\_CTL)。虽然，其急停电路、模板程序和子程序的部分设计有待商榷，不推荐读者直接使用；但由于它在实际机床上的应用较广、PLC 程序较为复杂，为了便于机床维修，并供



读者设计、改进参考，本节将对其进行简单说明。子程序 SBR40 (AXIS\_CTL) 的局部变量赋值可参照表 6.3-1。

### 1. 硬件保护方案

在 802S/C/D 模板程序中，进给轴的急停、硬件限位保护和伺服使能、进给停止通过子程序 SBR40 (AXIS\_CTL) 控制。模板程序建议机床的急停和硬件限位行程保护采用以下 3 种保护方案。

1) 使用正/负向硬件限位。当每一进给轴都安装独立的正、负向硬件限位开关时，应将 CNC 用户数据 MD14512 [18] bit4 ~ bit6、MD14512 [18] bit7 均设定为 0，+XOT/-XOT、+YOT/-YOT、+ZOT/-ZOT 硬件限位开关的常闭触点分别连接到 PLC 输入 I0.0/I0.4、I1.2/I1.4、I0.1/I0.5 上。

2) 正/负向共用硬件限位开关。当每一进给轴只安装一个限位开关时，应设定 CNC 用户数据 MD14512 [18] bit4 ~ bit6 = 1、MD14512 [18] bit7 = 0，X、Y、Z 轴硬件限位开关的常闭触点分别连接到 PLC 输入 I0.0、I1.2、I0.1 上。

3) 正/负向硬件限位和急停共用。当每一进给轴只安装一个硬件限位开关、限位开关同时用于急停控制时，应设定 CNC 用户数据 MD14512 [18] bit4 ~ bit6 = 1、MD14512 [18] bit7 = 1。此时，限位开关应按图 6.4-1 所示的电路（手册中称为急停链）连接。

### 2. 急停链说明

SIEMENS 推荐的急停链连接电路如图 6.4-1 所示。在该电路上，X/Y/Z 硬件限位开关和急停按钮串联，组成了机床急停控制的 DC24V 控制电路，电路中的并联按钮 S2 用于超程急停的退出；硬件限位、超程解除信号的 PLC 输入，从急停控制电路的限位开关互连端引出。

图 6.4-1 所示的电路连接简单，功能多用，可用于安全标准要求较低的简单设备控制。但是，在正规产品上，不推荐读者采用，原因如下。

1) 硬件限位保护和急停是不同的概念。急停应是机床发生紧急情况时的控制系统强行分断，而硬件限位一般用于进给轴超程时的指定方向运动禁止，这两者的性质和控制要求截然不同。

2) 为了确保安全，ISO 13849 等安全标准规定：机电设备的急停必须使用符合安全标准要求（如强制执行等）的行程开关、安全继电器，并通过冗余设计的安全电路实现，而不能采用图示的简单电路控制机床的急停。

3) 用于紧急分断的安全电路不允许连接除急停控制外的触点、线圈、PLC 输入等控制器件等。

因此，从严格意义上说，这样的控制方案并不符合数控机床的安全标准要求。有关紧急

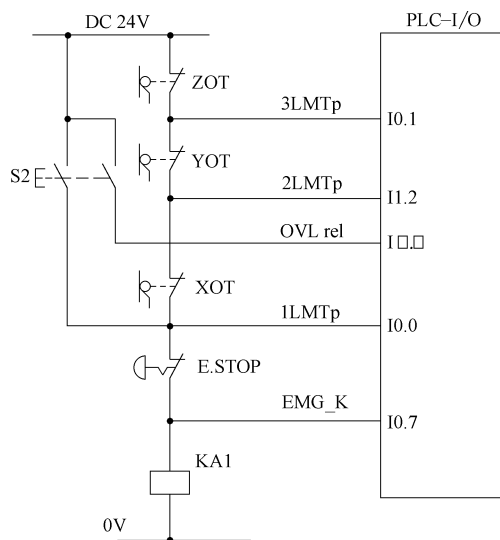


图 6.4-1 急停链连接电路



分断电路设计的更多内容,可参见《数控机床电气设计典例》(机械工业出版社出版)。

## 6.4.2 伺服和进给使能控制

### 1. PLC 程序设计

子程序 SBR40 (AXIS\_CTL) 所提供的 CNC 进给轴伺服使能、进给停止控制程序如图 6.4-2 所示,子程序 SBR40 (AXIS\_CTL) 的局部变量赋值可参照表 6.3-1。

在 Network1 上, X、Y、Z 轴的伺服使能和进给停止均直接通过驱动器电源模块的进给使能控制信号 64 (I2.0)、脉冲使能控制信号 63 (I2.1) 控制。程序可在电源模块进给使能控制端 64 为 1 时,利用进给使能信号 (I2.0) 的上升沿,将 CNC 轴控制信号中的伺服使能信号 V380 \* 0002.1 置 1、进给停止信号 V380 \* 0004.3 置 0,以实现 CNC 的闭环位置控制功能,允许轴进给。而当驱动器断开时,则首先通过进给使能信号 (I2.0) 的下降沿,将进给停止信号置 1,停止轴运动,然后,通过脉冲使能控制端 63 (I2.1) 的下降沿,将伺服使能信号置 0。

对于第 4 轴 (数控铣床的主轴),则是利用轴工作状态信号 V3903 0004.6/V3903 0004.7 (正/反运动) 控制其伺服使能信号 V3803 0002.1。

### 2. 使用注意点

图 6.4-2 所示的程序设计易导致概念混淆。因为,驱动器电源模块使能和 CNC 进给轴伺服使能、进给停止是不同的概念,设计 PLC 程序时宜按照如下方式区别对待。

驱动器电源模块使能的作用是控制驱动器通断。驱动器正常工作是进给轴工作的前提条件,故一般需要通过 6.1 节所述的驱动器通断控制程序控制。驱动器正常工作后,伺服模块的逆变功率管开放,伺服电动机可产生静态保持转矩,但并不产生运动;进给轴和主轴的实际运动需要利用来自 CNC 的进给使能信号、位置给定信号控制。

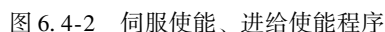
CNC 进给轴的伺服使能信号 V380 \* 0002.1 是用来实现 CNC 闭环位置控制功能的信号。伺服使能一旦取消,CNC 的闭环位置控制将被撤销,因此,该信号一般只能在驱动器急停、驱动器断开或通过机械制动器保持定位时,才能予以撤销。

CNC 进给轴的进给停止信号 V380 \* 0004.3 是 CNC 用来停止进给轴运动的控制信号。进给停止信号为 1 时,进给轴及在自动运行方式下参与该轴插补的其他轴,都将按正常的加减速要求减速停止。进给轴停止时,CNC 的闭环位置控制功能必须保留,以便通过 CNC 的闭环位置调节功能,消除位置跟随误差。

为了控制进给轴的起动/停止,在 SIEMENS 810/828/840D 等高性能 CNC 配套提供的标准机床操作面板上,设计有专门的进给起动【FEED. START】/进给停止【FEED. STOP】键,有关内容可参见第 4 章 4.5 节。但是,802S/C/D 配套的机床操作面板较简单,MCP 上无进给起动/停止控制键,因此,在设计 PLC 程序时,一般需要借用 MCP 上的 CNC 起动/停止键【NC. START】/【NC. STOP】来控制进给轴的使能和停止,而不应直接通过驱动器电源模块的进给使能信号来控制进给轴起动/停止。进给轴伺服使能、进给停止控制程序的设计可参见 6.2 节。

## 6.4.3 硬件超程控制程序

SBR40 (AXIS\_CTL) 所提供的硬件超程保护程序较为复杂,程序由超程方向与轴检别、



### 1. 超程方向与轴检别

SBR40 (AXIS\_CTL) 所提供的超程方向与轴检别程序如图 6.4-3 所示, Network2 用于超程方向检别; Network3 用于图 6.4-1 所示的急停链超程轴检别。程序中所使用的编程元件含义如表 6.4-1 所示, 超程方向与轴的检别结果被保存在 PLC 公共变量 VB1400 0063 上。变



量 VB1400 0063 的作用类似于数据存储单元，它具有断电记忆功能，其状态可用于主程序和全部子程序。

表 6.4-1 SBR40 编程元件说明表

编 程 地 址	信 号 类 别	作用与功能
L2.4	子程序局部变量	PLC 输入 I0.0, +X 超程或 ±X 超程、急停链输入 1
L2.5	子程序局部变量	PLC 输入 I0.4, -X 超程
L2.7	子程序局部变量	PLC 输入 I1.2, +Y 超程或 ±Y 超程、急停链输入 2
L3.0	子程序局部变量	PLC 输入 I1.4, -Y 超程
L3.2	子程序局部变量	PLC 输入 I0.1, +Z 超程或 ±Z 超程、急停链输入 3
L3.3	子程序局部变量	PLC 输入 I0.5, -Z 超程
VW4500 0032	CNC 用户数据	MD14510[16] 设定, 0 表示车床; 1 表示铣床
V4500 1018.4	CNC 用户数据	MD14512[18] bit4 设定, 1 表示 X 轴正/负硬件超程保护开关共用
V4500 1018.5	CNC 用户数据	MD14512[18] bit5 设定, 1 表示 Y 轴正/负硬件超程保护开关共用
V4500 1018.6	CNC 用户数据	MD14512[18] bit6 设定, 1 表示 Z 轴正/负硬件超程保护开关共用
V4500 1018.7	CNC 用户数据	MD14512[18] bit7 设定, 1 表示超程保护采用图 6.4-1 所示的急停链
V390 * 0004.7 <sup>①</sup>	轴工作状态信息	CNC 进给轴工作状态信号, 1 表示运动方向为正
V390 * 0004.6 <sup>①</sup>	轴工作状态信息	CNC 进给轴工作状态信号, 1 表示运动方向为负
V1400 0063.0	PLC 公共变量	X 轴运动方向, 1 为正; 0 为负
V1400 0063.1	PLC 公共变量	Y 轴运动方向, 1 为正; 0 为负
V1400 0063.2	PLC 公共变量	Z 轴运动方向, 1 为正; 0 为负

① “\*” 可以是 0、1、2、3、4，分别代表第 1、2、3、4、5 轴状态信号。

Network2 用于超程方向检别，它可通过 CNC 的运动方向信号 V390 \* 0004.6/ V390 \* 0004.7，检别进给轴在发生超程时的运动方向。根据模板程序的要求，当机床正/负限位共用 PLC 输入时，CNC 用户数据 MD14512 [18] bit4 ~ bit6 设定为 1；当硬件限位采用图 6.4-1 所示的急停链时，MD14512 [18] bit7 设定为 1。在模板程序中，变量 L2.4、L2.7、L3.2 的赋值分别为超程开关常闭触点输入（见表 6.4-1），故变量 V1400 0063.0 ~ V1400 0063.2 的输出状态为 X、Y、Z 轴超程前的最后运动方向，正向运动时为 1。

Network3 用于急停链超程轴检别。由图 6.4-1 可见，当机床采用急停链时，超程开关输入不仅不能反映运动方向，而且也不能直接区分运动轴。例如，当 X 轴超程时，变量 L2.4 为 0、L2.7 和 L3.2 为 1；Y 轴超程时，L2.4 和 L2.7 为 0、L3.2 为 1；Z 轴超程时，L2.4、L2.7 和 L3.0 均为 0。

根据急停链的信号输入状态，Network3 可通过输入变量 L2.4、L2.7、L3.0 的译码，在变量 L4.1、L4.2、L4.3 上得到超程轴检别信号。程序中的 M119.3 是用于前述进给停止控制的硬件限位信号，任一轴超程时，其状态均为 1。

## 2. 超程信号输出

综合模板程序提供的 3 种控制方案，对于 X 轴，其硬件超程信号 V3800 1000.1/V3800

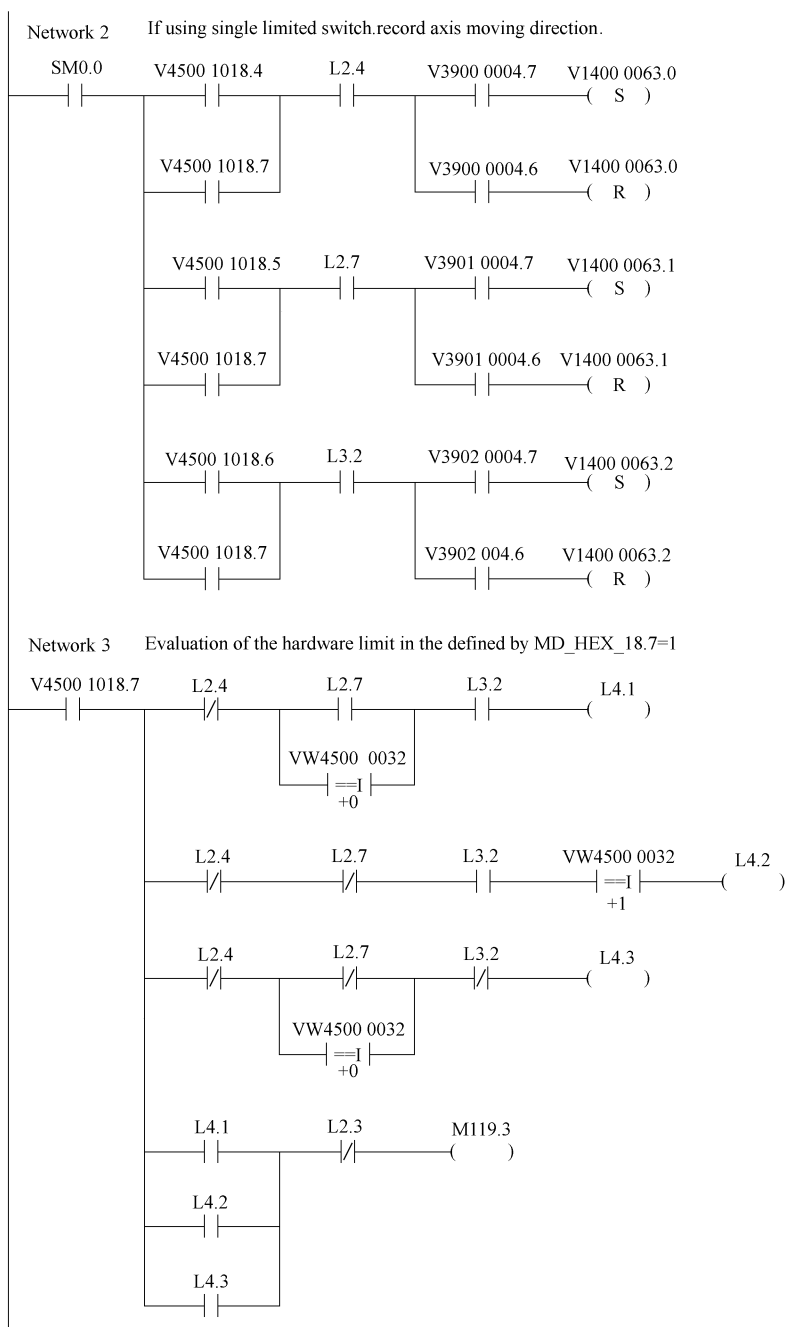


图 6.4-3 进给轴和运动方向检别程序

1000.0 输出的程序 Network4 如图 6.4-4 所示, Y、Z 轴程序 Network5、Network6 的设计类似。

1) 当 X 轴使用独立的正/负硬件限位开关时, 用户参数 MD14512 [18] bit4、bit7 均为 0; 故只需要将 +X/-X 限位开关的常闭触点输入 L2.4/L2.5 状态取反, 便可直接作为 CNC 的 +X/-X 硬件超程信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0。

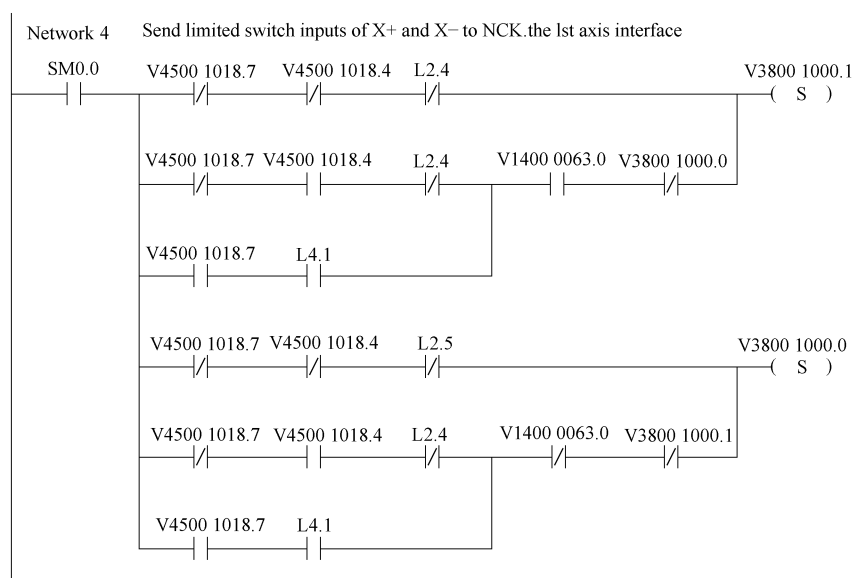


图 6.4-4 硬件超程信号输出程序

2) 当 X 轴的正/负硬件限位共用 PLC 输入时, CNC 用户数据 MD14512 [18] bit4 = 1、bit7 = 0; 此时, 限位开关输入 L2.4 可利用运动方向检别信号 V1400 0063.0, 转换为 +X/-X 硬件超程信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0。

3) 当硬件超程保护采用图 6.4-1 所示的急停链时, CNC 用户数据 MD14512 [18] bit7 = 1, 此时, 需要根据轴检别信号 L4.1 和运动方向检别信号 V1400 0063.0, 产生 +X/-X 硬件超程信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0。

### 3. 超程解除

SBR40 的硬件超程解除程序 Network7 如图 6.4-5 所示, 因 Network4 ~ Network6 中的硬件超程信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0 采用的是置位指令, 因此, 解除硬件限位需要对信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0 复位。

在原子程序 SBR40 上, CNC 的硬件超程复位既不能在轴退出硬件限位后自动进行, 也不能通过超程解除按钮进行; 而是需要通过 MCP 的 CNC 复位键, 利用 CNC 复位信号 V3000 0000.7 实现。

程序中的 I4.4 为 CNC 硬件超程信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0 的复位条件, 如超程保护采用图 6.4-1 所示的急停链 (CNC 用户数据 MD14512 [18] bit7 = 1), 它只有在超程解除按钮输入 (I2.3) 为 0 时才允许复位。

当硬件超程复位条件 I4.4 = 1、CNC 复位信号 V3000 0000.7 为 1 时, 如正/负硬件限位共用 PLC 输入或采用图 6.4-1 所示的急停链 (MD14512 [18] bit4 = 1), 只要 X/Y/Z 轴的超程信号输入 L2.4/L2.7/L3.2 为 1, 便可同时复位正/负硬件超程信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0; 如正/负硬件限位使用独立的 PLC 输入 (MD14512 [18] bit4 = 0), 则需要利用 X/Y/Z 轴的正/负超程信号输入 L2.4/L2.5、L2.7/L3.0、L3.2/L3.3, 分别复位正/负硬件超程信号 V380 \* 1000.1/V380 \* 1000.0。

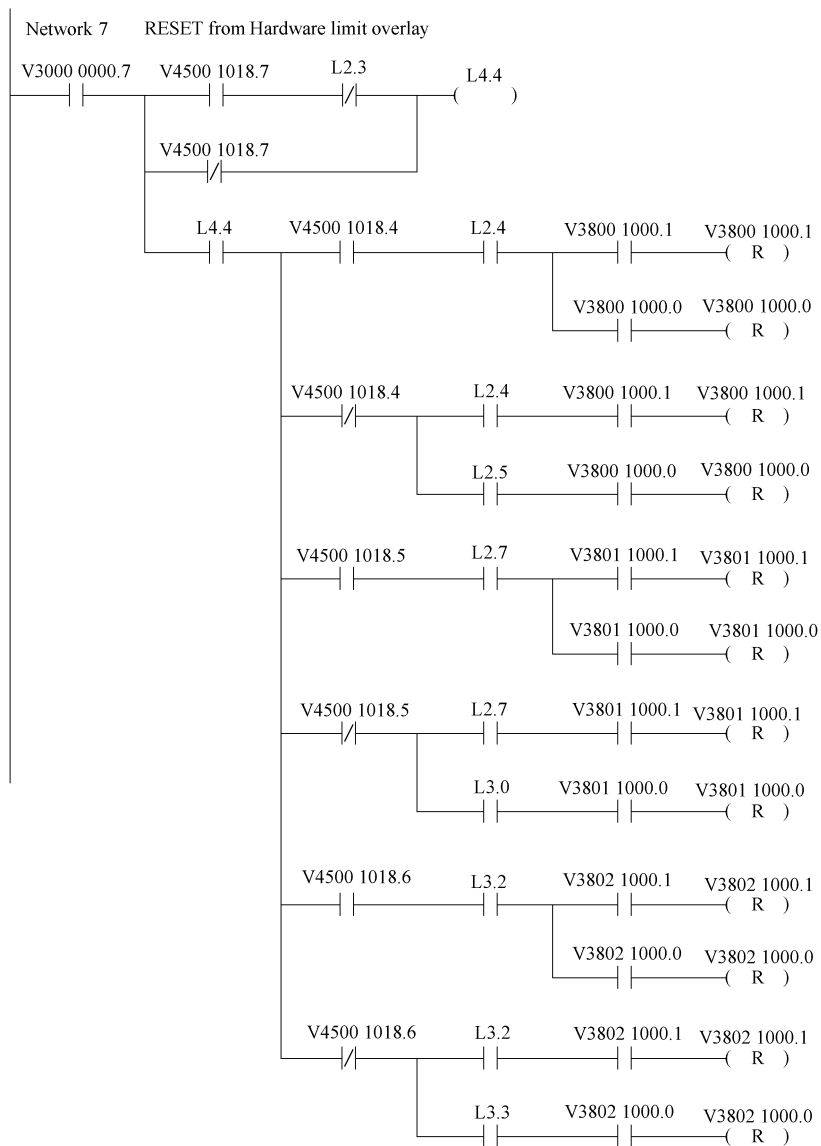


图 6.4-5 超程解除程序



# 第 7 章

## 主轴控制程序典例

### 7.1 主轴控制要求

#### 7.1.1 主轴控制方式

金属切削机床是利用刀具去除毛坯或被加工零件（简称工件）上的多余金属，使之获得一定形状、尺寸精度和表面质量的加工设备，它必须通过刀具和工件间的相对运动，才能实现切削加工。刀具和工件间的相对运动是金属切削机床的主运动，用来控制这一运动的轴称为主轴。

车削加工机床主要用于回转体零件加工，其切削主运动需要通过工件旋转实现，因此，主轴用来控制工件的旋转；镗铣加工机床是利用刀具旋转实现切削加工设备，其切削主运动需要通过刀具的旋转实现，因此，主轴用来控制刀具的旋转。

数控机床的主轴控制包括速度控制、螺纹切削和位置控制 3 类，其功能分别如下。

##### 1. 速度控制

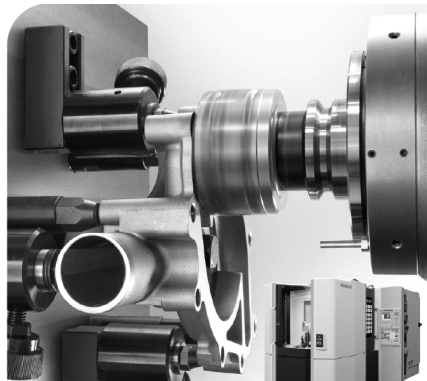
速度控制是金属切削机床的基本功能。如图 7.1-1 所示，数控机床加工时的切削速度与工件或刀具的转速、直径有关，其计算式如下：

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

式中  $v$ ——切削速度，单位为  $\text{m}/\text{min}$ ；



a) 车削加工



b) 镗铣加工

图 7.1-1 数控机床的速度控制



$n$ ——车削加工为工件转速，镗铣加工为刀具转速，单位为  $r/min$ ；

$D$ ——车削加工为工件直径，镗铣加工为刀具直径，单位为  $mm$ 。

不同材质的刀具和工件有不同的切削速度要求，数控机床需要满足不同的刀具和工件的加工需要，因此，主轴必须具备速度控制功能，调速范围越大，机床的适用范围就越广。

全功能数控机床的主轴调速由主轴驱动器控制，普及型数控机床一般使用通用变频器调速，简单数控机床有时还使用机械变速方案。使用主轴驱动器或变频器的机床，其主轴转向和转速可通过 CNC 加工程序中的 M、S 指令控制；使用机械变速的机床，加工程序只能控制主轴的转向，而不能控制速度。

## 2. 螺纹加工

螺纹加工通常是数控机床的基本功能。数控车床车削螺纹时，刀具的进给需要与工件的旋转保持同步，以保证工件旋转  $360^\circ$ ，刀具进给 1 个螺距。镗铣机床的螺纹加工一般采用攻螺纹方式，丝锥的轴向进给需要与旋转保持同步，以保证丝锥旋转  $360^\circ$ ，轴向进给为 1 个螺距。主轴的位置（转角）检测需要通过编码器实现，因此，用于螺纹加工的数控机床必须安装检测主轴位置检测编码器。

作为普通数控机床的简单螺纹加工控制，CNC 一般只是通过比例换算，直接将主轴的位置检测脉冲转换为刀具的轴向进给脉冲，使刀具进给能够跟随主轴运动，以实现螺纹加工的同步控制要求。这种方式的螺纹加工只需要安装主轴位置编码器便可实现，它对主轴驱动形式并无要求。

## 3. 位置控制

通常而言，数控机床的主轴位置控制功能包括主轴定向准停（Spindle Orientation）、主轴定位（Spindle Positioning）、Cs 轴控制 3 种，介绍如下。

1) 主轴定向准停。主轴定向准停一般用于镗铣加工数控机床，此类机床的刀具安装在主轴上，为了传递切削加工转矩，刀具与主轴间一般需要通过键进行啮合。因此，在需要进行图 7.1-2a 所示刀具自动交换的加工中心上，换刀时必须保证主轴的键与机械手或刀库上的刀具键槽对准，这就需要主轴具有在特定角度上准确定位停止的功能，这一功能称为主轴的定向准停功能。

主轴定向准停只要求主轴能够在某一特定的角度上定位并保持，其实现方式有多种。例如，可通过主轴位置检测编码器或专用接近开关检测主轴实际位置，然后利用 CNC 或驱动器的临时闭环位置控制功能，控制主轴定向准停；或者，直接通过插销等机械定位方式实现定向准停。

2) 主轴定位。在车削中心等机床上，不仅可以通过工件旋转实现车削加工，且还可像镗铣加工机床一样，通过刀具旋转进行图 7.1-2b 所示的回转体侧面或端面镗铣加工。因此，要求机床的主轴能够在任意角度上定位并保持，这一功能称为主轴定位控制功能。

主轴定位要求主轴能够在任意角度上定位并保持，因此，主轴必须安装能检测  $360^\circ$  范围内任意位置的编码器，然后利用 CNC 或驱动器的临时闭环位置控制功能实现定位。主轴定位的准确度通常较低，它一般只要求主轴安装 1024p/r 的编码器，编码器检测信号经过 CNC 的 4 倍频处理后，位置检测准确度为  $360^\circ / (4 \times 1024) = 0.088^\circ$ ；另外，由于交流主轴电动机、变频电动机、感应电动机的调速范围、低速输出转矩等性能，均与进给轴所配套的伺服电动机有很大的差距，因此，主轴定位功能不能用于下述的 Cs 轴控制。

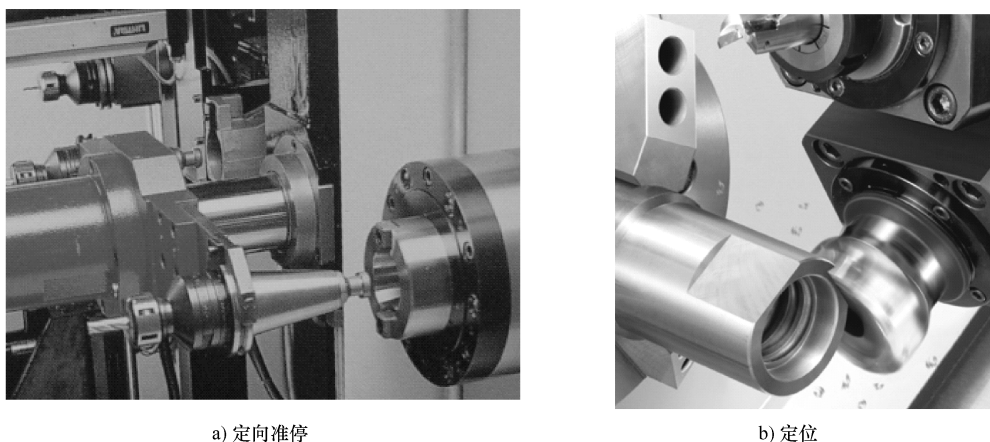


图 7.1-2 主轴位置控制

3) Cs 轴控制。在车削中心、车铣复合加工等现代先进数控机床上，主轴不仅可像数控回转进给轴一样，进行回参考点、任意位置定位、切削进给操作，且能够如图 7.1-3 所示参与进给轴的插补运算、实现回转体表面的轮廓加工。因此，主轴不但需要有定向、定位等简单位置控制功能，而且需要具备完全位置控制的 Cs 轮廓控制（Cs Contouring Control）能力，这一功能简称 Cs 轴控制。

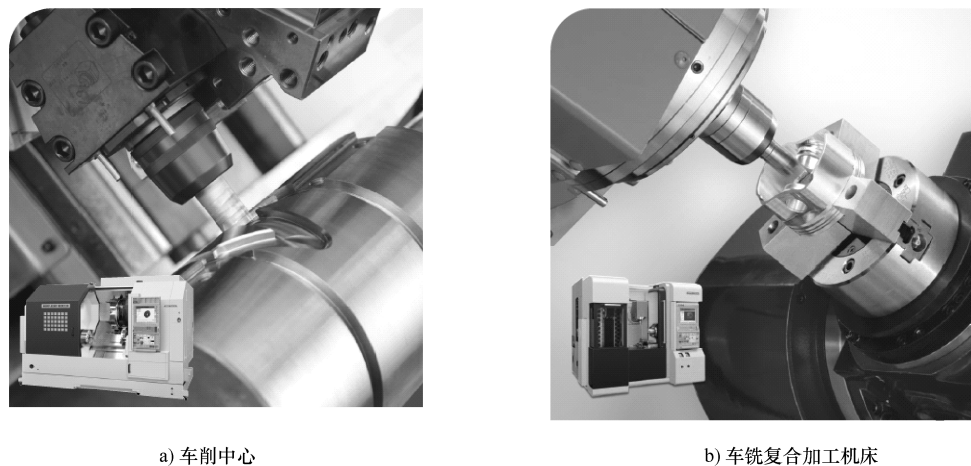


图 7.1-3 Cs 轴控制

Cs 轴控制功能的主轴必须具有类似于进给轴的调速范围、低速输出特性和位置控制准确度，因此，通常需要使用结构类似于伺服电动机的永磁同步主轴电动机驱动，并配备高精度的位置检测编码器。

### 7.1.2 传动级交换控制

#### 1. 功能说明

传动级交换简称换档，这是一种用于主轴速度控制方式的附加功能，用于带机械变速装置的主传动系统。主轴换档功能可根据主电动机和主轴的实际传动比，自动调整主电动机转



速，使主轴的转速和加工程序中的 S 代码指令保持一致。

在通用型数控车床、铣床及加工中心上，大直径工件的车削、大规格铣刀的铣削和攻螺纹等加工，均要求机床主轴具有低速大转矩输出特性。此外，由于金属切削机床单位时间能切除的材料体积和主轴功率成正比，为保证机床的加工效率，就要求主轴在不同转速下的输出功率能保持恒定，即具有恒功率输出特性。但是，由于主电动机的输出转矩受到结构和额定电流的制约，其额定转速以下的调速特性通常为恒转矩，在转速高于额定转速时，才能保证额定功率输出。因此，主轴需要通过图 7.1-4 所示的机械变速主轴箱，利用齿轮变速的方法，提高低速转矩和扩大恒功率调速范围。

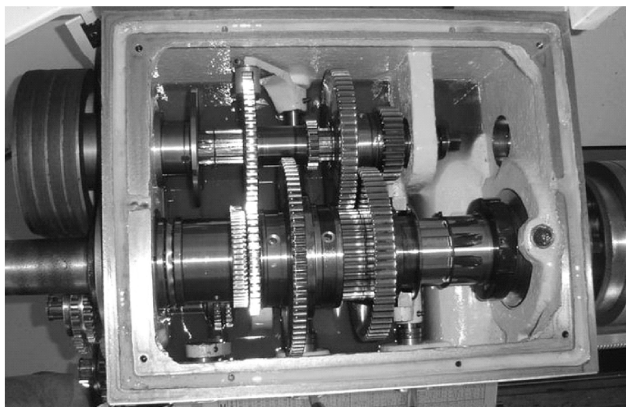


图 7.1-4 机械变速主轴箱

例如，对于额定输出为  $22\text{kW}/140\text{N}\cdot\text{m}$ 、额定转速为  $1500\text{r}/\text{min}$ 、最高转速为  $6000\text{r}/\text{min}$  的主电动机，在额定转速以下区域的输出转矩为  $140\text{N}\cdot\text{m}$ ，实际的恒功率调速范围只有 4 倍（ $1500 \sim 6000\text{r}/\text{min}$ ）。但如主轴采用 1:1 和 1:4 两级机械减速，便可获得图 7.1-5 所示的转矩和功率输出特性。

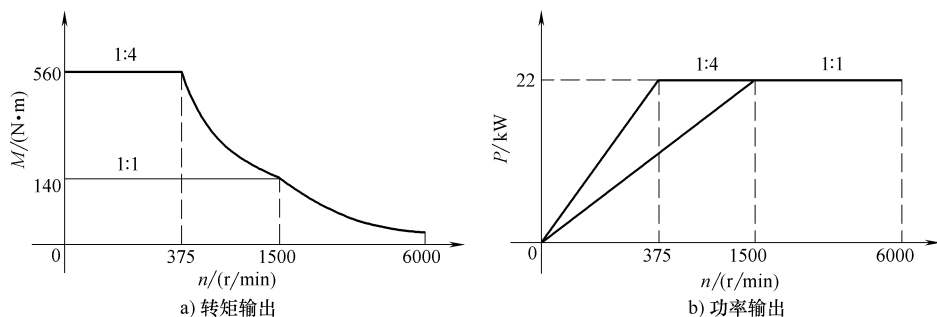


图 7.1-5 主轴变速输出特性

主轴增加机械变速后，在  $375\text{r}/\text{min}$  以下区域的输出转矩可提高到  $560\text{N}\cdot\text{m}$ ， $375 \sim 1500\text{r}/\text{min}$  区域的输出转矩也将显著提高；主轴的恒功率调速范围也将由 4 扩大到 16（ $375 \sim 6000\text{r}/\text{min}$ ）；而主轴最高转速仍可达到  $6000\text{r}/\text{min}$  不变。

以上带有机械变速装置的主传动系统，在不同的变速比下，同样的主轴转速要求主电动机有不同的转速。例如，对于图 7.1-5 所示的主轴传动系统，当主轴转速为  $1200\text{r}/\text{min}$  时，如机械传动比为 1:1，则主电动机转速同样应为  $1200\text{r}/\text{min}$ ；当传动比变为 1:4 时，则要求主电动机转速应为  $4800\text{r}/\text{min}$  等。为此，就要求 CNC 或主轴驱动系统具有根据实际机械传动比，自动改变主电动机转速的功能。

## 2. 控制要求

为了便于编程，数控机床加工程序中的 S 代码所指定的转速应为主轴转速，而主轴驱动



器的速度给定则来自 CNC 的主轴转速输出。因此，为了在同一 S 指令下，能够得到不同的主电动机转速，可采用两种方法：一是保持驱动器给定输入和电动机转速的对应关系不变，通过改变 CNC 的主轴转速输出改变电动机转速；二是保持 CNC 主轴转速输出不变，通过改变驱动器输出改变电动机转速。前者称 CNC 主轴换档功能，后者称驱动器换档功能。在使用主轴模拟量输出功能的 CNC 上，一般使用前者。

在使用 CNC 主轴换档功能的机床上，驱动器的速度给定输入与主电动机转速存在线性关系，因此，变换传动级时，实际上只需要根据机械传动比，调整 CNC 的主轴转速模拟量输出值。例如，对于图 7.1-6 所示、10V 模拟量对应电动机转速为 6000r/min 的驱动器，当传动比为 1:1 时，指令 S1200 的 CNC 主轴模拟量输出应为  $10V \times 1200/6000 = 2V$ ，主电动机转速为 1200r/min；而在传动比为 1:4 时，指令 S1200 所对应的 CNC 主轴模拟量输出应为  $2V \times 4 = 8V$ ，主电动机转速为  $6000 \times 8/10 = 4800r/min$ ，从而保证主轴转速仍为 1200r/min。

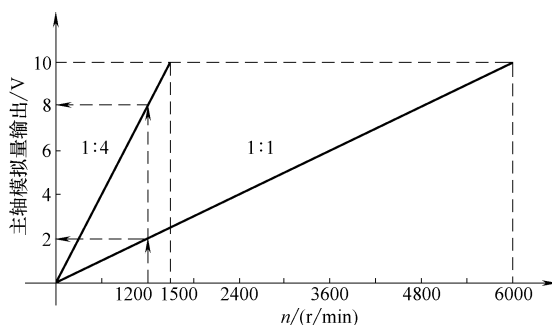


图 7.1-6 传动级交换功能

### 3. 换档抖动

数控机床的主轴机械变速通常利用滑移齿轮或电磁离合器实现，为了保证滑移齿轮或电磁离合器能可靠啮合，避免“顶齿”，传动级交换时主电动机一般需要进行图 7.1-7 所示的低速、间隙正反转的“换档抖动”动作。

控制主轴换档抖动的方法有多种。一般而言，对于采用 DC0 ~ 10V 单极性主轴模拟量输出的 CNC，可按图 7.1-7 所示，通过主轴换档转速输出信号的控制，使 CNC 输出一个低速主轴模拟量输出电压；然后，利用 PLC 程序控制驱动器的转向信号，实现主电动机的间隙正/反转。对于采用 DC-10 ~ 10V

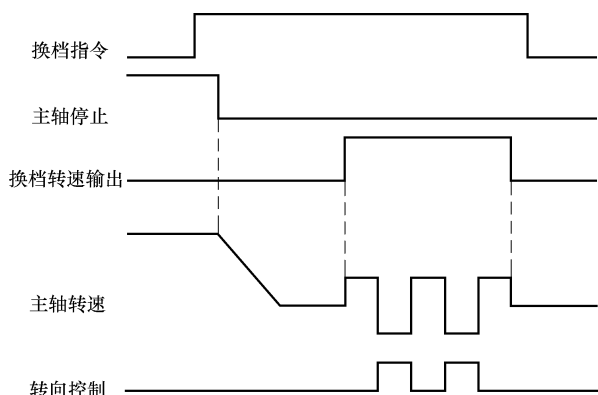


图 7.1-7 主轴换档抖动

双极性主轴模拟量输出的 CNC，则可通过 CNC 的主轴换档转速输出信号和转向控制信号，使 CNC 在换档时输出一个低速、极性自动变换的主轴模拟电压，控制主电动机的间隙正/反转。以上两种控制方式的主电动机间隙正/反转需要通过 PLC 程序进行控制，故称 PLC 控制抖动。

在 802S/C/D 上，为了方便用户使用，当主轴选择 DC-10 ~ 10V 双极性模拟量输出时，还可通过 CNC 参数的设定，自动产生极性自动变换的主轴模拟量输出，而无需 PLC 提供转向控制信号，这一功能称为 CNC 控制抖动。

换档抖动的目的是改变齿轮的啮合位置，无论采用何种抖动控制方式，抖动时的主电动



机正转运行和反转运行时间应不同。因此，采用 PLC 控制抖动时，应通过 PLC 程序保证正转和反转控制信号有不同的保持时间；采用 CNC 控制抖动时，则应对正转和反转时间参数设定不同的值。

## 7.2 主轴控制方案与信号

### 7.2.1 主轴控制方案

普通数控机床的主轴一般以速度控制、定向准停等基本控制为主，在使用机械变速主轴的简单机床上，甚至只需要进行主轴电动机的起停和转向控制。因此，配套 802S/C/D 的数控机床主轴的控制方案一般有以下 3 种。

#### 1. 感应电动机机械变速

在简单的数控车床、铣床或数控化改造的机床上，主传统系统有时采用普通机床同样的机械变速箱有级调速方案，主轴直接使用普通单速或多速感应电动机进行驱动。

这样的机床只需要 PLC 提供主轴转向、起停和多速电动机绕组切换的接触器控制信号，而不能通过 CNC 程序中的 S 代码控制主轴转速。因此，在设计 PLC 程序时，只需要将 CNC 加工程序中用于主轴转向和起停控制的辅助功能代码 M03/M04/M05，以及 MCP 面板上的主轴转向和起停控制键，转换为电动机起停、正反转的接触器控制输出。当主轴使用多速电动机时，也只需要通过自定义的辅助功能代码 M，直接控制接触器，进行绕组切换。

#### 2. 通用变频器调速

在对主轴无级变速性能要求不同的数控车、铣床上，主轴一般采用通用变频器控制普通感应电动机或变频电动机的调速方案，以降低生产成本。

采用变频调速的主轴可通过 CNC 加工程序中的 S 代码控制主轴转速。由于通用变频器的速度给定输入一般为 DC0 ~ 10V 或 DC-10 ~ 10V 的模拟电压，为此，CNC 需要选配主轴模拟量输出功能，以便能够通过 D-A 转换，将加工程序中的 S 代码转换为 CNC 的 DC0 ~ 10V 或 DC-10 ~ 10V 主轴模拟电压输出。

主轴采用变频器调速时，电动机的转速、转矩及加减速等都通过变频器控制，因此，设计 PLC 程序时，应根据主轴的实际控制需要，将 CNC 加工程序中用于主轴转向、起停等控制的 M03/M04/M05 等代码，转换为变频器的起停、正反转等控制信号。如果机床主轴同时使用了机械变速装置，还需要编制相应的主轴传动级交换 PLC 控制程序，以保证主轴实际转速和 S 代码指令相符。

#### 3. 交流主轴驱动

对主轴调速性能有较高要求的数控机床，需要选用 CNC 生产厂家配套提供的交流主轴驱动器及电动机。

从本质上说，交流主轴驱动系统是一种使用专用感应电动机（交流主轴电动机）的变频调速系统，因此，其 PLC 程序设计要求与变频调速系统类似。传统的主轴驱动器也采用 DC0 ~ 10V 或 DC-10 ~ 10V 模拟电压作为速度给定输入，它同样需要将 CNC 加工程序中的 M03/M04/M05 等代码，转换为驱动器的起停、正反转等控制信号。交流主轴驱动器一般都具备定向准停、定位、转矩限制等功能，它需要有较多的控制信号，为此，目前一般都使用



网络控制技术，主轴驱动器可通过总线和 CNC 连接，其控制信号可通过 CNC-PLC 接口，以内部信号的形式传输。

由于 CNC 功能、生产成本等方面的原因，配套 802S/C、802Se/Ce、802S base line/C base line 等廉价 CNC 的数控机床，一般较少使用 SIEMENS 交流主轴驱动器。

## 7.2.2 主轴控制信号

### 1. 信号分类

在配套 802S/C/D 的数控机床上，主轴通常可通过机床 I/O 信号、CNC 轴控制信号、CNC 通道辅助功能输出信号进行控制。在设计 PLC 程序时，应根据主轴的不同控制方案，进行不同的处理。

1) 机床 I/O 信号。机床 I/O 信号可用于感应电动机机械变速主轴的主电动机正反转、起停和多速电动机绕组切换等强电控制回路的接触器控制，或者，用于变频调速主轴的正反转、起停、主轴传动级（变速档）交换等控制。主轴控制用的机床 I/O 信号，一般可直接通过 PLC 程序对 CNC 辅助功能（M 代码）和 MCP 面板信号的处理生成。

2) 通道辅助功能输出。在 CNC 中，控制主轴正反转和起停的 M03/M04/M05 代码、传动级交换的 M40 ~ M45 代码及主轴转速代码 S 等，均属于 CNC 辅助功能的范畴，它们可通过 CNC 的通道输出信号传送给 PLC。在 802S/C/D 上，通道 M、S 代码输出信号的 PLC 编程地址为 VB 2500 1000 ~ VB 2500 1012 和 VD2500 4000 ~ VD2500 4012。

3) CNC 轴控制信号。与进给轴一样，CNC 的主轴控制也需要 PLC 程序提供轴控制信号。主轴的 CNC 轴控制信号同样包括基本控制信号和附加控制信号两类。

主轴基本控制信号的定义与进给轴相同，它是用于主轴位置控制的控制信号，例如，生效主轴的位置测量系统、选择主轴的控制方式、控制主轴的起动/停止等，信号的 PLC 编程地址为 VB 380 \* 0000 ~ VB 380 \* 1000（\* 为主轴在 CNC 配置中的轴序号）。对于无 Cs 轴控制功能的 802S/C/D，实际上只需要使用位置反馈生效、复位等少量与螺纹加工相关的信号。

主轴附加控制信号是专门用于主轴转速控制的信号。数控机床的主轴转速控制比进给轴复杂，它不仅需要有速度倍率调节等功能，而且还需要进行传动级交换等控制，因此，需要 PLC 程序提供速度倍率调节、传动级交换等信号。主轴附加控制信号的 PLC 编程地址为 VB3803 2000 ~ VB3803 2003。

### 2. 主轴控制信号

802S/C/D 用于主轴控制的主要信号，以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 7.2-1 所示。

表 7.2-1 主轴控制信号一览表

类别	编程地址 <sup>①</sup>	信号名称	作用与功能
CNC 轴控制信号	VB380 * 0000	进给倍率	进给倍率调节输入, V3803 2001.0 = 1 时有效
	V380 * 0001.5	位置反馈生效	1: 主轴位置反馈功能生效(参见 5.1 节)
	V380 * 0002.1	伺服使能	1: 主轴接口的驱动器使能信号输出 ON
	V380 * 0002.2	复位	1: 主轴模拟量输出置 0, 清除主轴定位、换档抖动动作
	V380 * 0004.3	主轴停止	1: 主轴旋转或定位停止, 撤销后可自动恢复运行





(续)

类别	编程地址 <sup>①</sup>	信号名称	作用与功能
主轴附加控制信号	V3803 2000.0 ~ .2	实际档位	主轴实际传动级(档位)输入 GRA ~ C
	V3803 2000.3	换档完成	1:主轴传动级交换(换档)完成
	V3803 2001.0	进给倍率生效	1:主轴倍率为 VB380 * 0000 输入;0:VB3803 2003 有效
	V3803 2001.6	转向交换	交换 M03/04 主轴转向
	V3803 2002.4	换档抖动方式	1:PLC 控制抖动;0:CNC 控制抖动
	V3803 2002.5	换档起动	1:CNC 进入主轴换档控制
	V3803 2002.6	反转抖动	1:主轴反转(用于 V3803 2002.4 = 1、PLC 换档抖动控制)
	V3803 2002.7	正转抖动	1:主轴正转(用于 V3803 2002.4 = 1、PLC 换档抖动控制)
	VB3802 2003	主轴倍率	主轴倍率调节输入,V3803 2001.0 = 0 时有效
通道辅助功能输出	V2500 0000.0 ~ .4	MF1 ~ MF5	M 代码修改信号 1 ~ 5(802D 为 V2500 0004.0 ~ .4)
	V2500 0006.0	SF	S 代码修改信号(仅 802D)
	V2500 1000.2	M02	M02 代码输出(1 个 PLC 循环脉冲信号)
	V2500 1000.3 ~ .5	M03 ~ M05	M03 ~ M05 代码输出(1 个 PLC 循环脉冲信号)
	V2500 1003.6	M30	M30 代码输出(1 个 PLC 循环脉冲信号)
	V2500 1005.0 ~ .5	M40 ~ M45	主轴换档 M40 ~ M45 代码输出(1 个 PLC 循环脉冲信号)
	VD2500 4000	S 代码 1	S 代码输出 1,32 位实数(仅 802D)
	VD2500 4004	静态 S 代码 1	1 字节 S 扩展代码输出 1(状态保持,仅 802D)
	VD2500 4008	S 代码 2	S 代码输出 2,32 位实数(仅 802D)
	VD2500 4012	静态 S 代码 2	1 字节 S 扩展代码输出 2(状态保持,仅 802D)

① “\*” 为主轴在 CNC 中的配置序号,车床一般为 2 (第 3 轴),铣床一般为 3 (第 4 轴)。

### 3. 工作状态信息

主轴由 CNC 控制时,其实际工作状态可通过 CNC 的轴工作状态信息和主轴附加工作状态信息进行监控。CNC 轴工作状态信息主要用于位置控制,在 802S/C/D 等简单 CNC 上较少使用;主轴附加工作状态信息主要用于速度控制,其中包括主轴传动级选择信号、主轴速度检测信号、主轴转向、主轴当前生效的控制方式等,它们是 PLC 程序设计时需要考虑的主要信号。

802S/C/D 的主轴工作状态信号及编程地址、作用与功能如表 7.2-2 所示。

表 7.2-2 主轴工作状态信号一览表

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
CNC 轴工作状态信息	V390 * 0000.0	CNC 轴控制类型	1:主轴;0:进给
	V390 * 0000.2	编码器频率超限	1:编码器已超过极限频率
	V390 * 0000.4	同步完成	1:主轴同步已完成
	V390 * 0000.6	粗定位完成	1:主轴已定位,并到达粗定位允差范围
	V390 * 0000.7	精确定位完成	1:主轴已定位,并到达精确定位允差范围
	V390 * 0001.4	主轴停止	1:主轴速度小于 CNC 参数设定的最低速度
	V390 * 0001.5	位置控制有效	1:主轴已处于闭环位置控制状态



(续)

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
CNC 轴工作状态信息	V390 * 0001.6	速度控制有效	1: 主轴已处于闭环速度控制状态
	V390 * 0001.7	转矩控制有效	1: 主轴已处于闭环转矩(电流)控制状态
	V390 * 0004.7	主轴正转	1: 主轴正转状态
	V390 * 0004.6	主轴反转	1: 主轴反转状态
主轴附加工作状态信息	V3903 2000.0 ~ .2	档位给定	主轴传动级(档位)给定命令
	V3903 2000.3	主轴换档命令	1: 主轴传动级需要进行交换(换档)
	V3903 2001.0	速度超差	1: 主轴转速已超出允差范围
	V3903 2001.1	速度过高	1: 主轴转速超过上限设定, 已被限制在上限
	V3903 2001.2	速度过低	1: 主轴转速低于下限设定, 已被限制在下限
	V3903 2001.5	转速到达	1: 主轴转速已到达允差范围
	V3903 2001.7	主轴实际转向	1: 正转
	V3903 2002.0	线速度恒定控制	1: 线速度恒定控制功能生效
	V3903 2002.3	刚性攻螺纹	1: 刚性攻螺纹功能生效
	V3903 2002.5	主轴定位	1: 主轴定位有效
	V3903 2002.6	主轴换档	1: 主轴换档有效
	V3903 2002.7	速度控制	1: 主轴速度控制有效(M03/04 或换档)

7.3 主轴基本控制程序

7.3.1 程序典例

802S/C/D 子程序库提供了用于主轴基本控制的 PLC 子程序 SBR35 (SPINDLE), 原程序的说明见 7.3.2 节。由于原 SBR35 的设计较复杂, 容易引起概念的混淆, 建议用户设计程序时参照以下方法, 进行必要的修改和完善。

配套 802S/C/D 的数控机床一般不使用 Cs 轴控制功能, 而螺纹加工大多数是通过进给轴的跟随运动实现, 因此, 设计主轴 PLC 程序一般只需要考虑主轴速度控制的要求。此外, 由于 PLC 初始化子程序 SBR32 (PLC\_ INI)、MCP 面板控制子程序 SBR38 (MCP\_ NCK) 已对主轴位置反馈、主轴倍率信号等进行了相关处理, 故只需要下述的简单 PLC 程序, 便可满足主轴的基本控制要求。

1. 编程元件定义

802S/C/D 子程序库提供的子程序 SBR35 (SPINDLE) 局部变量定义、模板程序中的变量赋值以及子程序所占用的标志寄存器如表 7.3-1 所示, 修改程序时可使用部分变量。

表 7.3-1 SBR35 编程元件定义表

局部变量与标志寄存器			数据类型	模板程序赋值要求	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	DELAY	IN	WORD	MW98	主轴制动时间, MD14510[23] 设定值

(续)

局部变量与标志寄存器			数据类型	模板程序 赋值要求	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
L2.0	T_64	IN	BOOL	M103.7	驱动器电源模块进给使能信号
L2.1	SP_EN	IN	BOOL	V1100 0000.1	主轴允许工作(主轴或刀具已夹紧)
L2.2	UNI_PO	IN	BOOL	V4500 1016.2	0 ~ 10V 模拟量输出有效(MD14512[16]bit2)
L2.3	KEY <sub>cw</sub>	IN	BOOL	V1000 0001.4	MCP【SP. CW】键
L2.4	KEY <sub>ccw</sub>	IN	BOOL	V1000 0001.6	MCP【SP. CCW】键
L2.5	KEY <sub>stop</sub>	IN	BOOL	V1000 0001.5	MCP【SP. STOP】键
L2.6	SP <sub>cw</sub>	OUT	BOOL	M102.0	主轴正转输出 Q0.0 缓冲存储器
L2.7	SP <sub>ccw</sub>	OUT	BOOL	M102.1	主轴反转输出 Q0.1 缓冲存储器
L3.0	SP <sub>brake</sub>	OUT	BOOL	M103.4	主轴制动输出 Q1.4 缓冲存储器
L3.1	SP_LED	OUT	BOOL	M104.4	主轴运行信号
L3.2	ERROR	OUT	BOOL	V1600 0002.5	主轴操作出错报警 ALM70021
L3.3	COND1	TEMP	BOOL	—	主轴运行条件 1
L3.4	COND0	TEMP	BOOL	—	主轴运行条件 0
L3.5	_CW_	TEMP	BOOL	—	主轴正转指令
L3.6	_CCW_	TEMP	BOOL	—	主轴反转指令
M115.0	Static_M03				M03 指令存储
M115.1	Static_M04				M04 指令存储
M115.2	M03_active				M03 有效
M115.3	M04_active				M04 有效
M115.4	M03_M04				M03/M04 转向变换
M115.5	M04_M03				M04/M03 转向变换
M115.6	SP_CW_m				正转控制
M115.7	SP_CCW_m				反转控制
M116.0	SPstopCMD				主轴停止
M116.1	SP_B_CMD				主轴制动

## 2. PLC 程序设计

以配套 802S/C/D 的 3 轴数控铣床为例,对于机械变速或变频器调速的主轴,可通过如下简单的 PLC 程序进行控制,程序一般只需要有主轴使能与停止、正反转控制及控制信号输出与报警等部分。

1) 主轴使能与停止。主轴使能与停止的控制程序如图 7.3-1 所示,该程序可用于接通主轴模拟量输出接口的主轴使能触点输出,并生成主轴停止控制信号 M116.0。

Network1 中的 V3803 0002.1 为 CNC 轴控制信号中的第 4 轴(铣床主轴)伺服使能信号,它在变量 L2.1 = 1(主轴允许工作)及 CNC 急停生效信号 V2700 0000.1 为 0(非急停)时输出 1。在使用

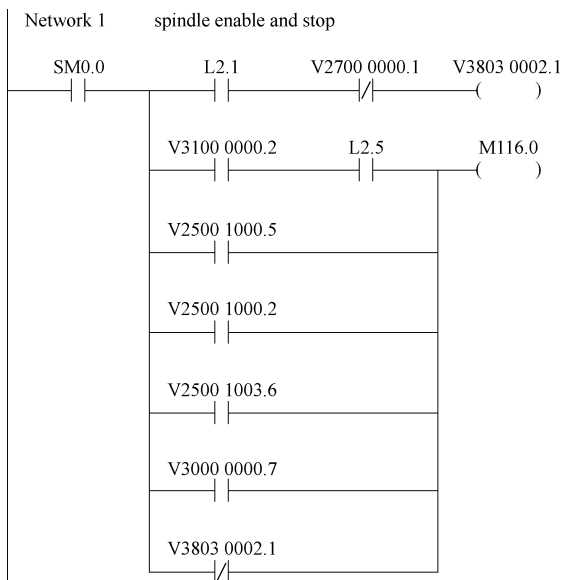


图 7.3-1 主轴使能与停止控制程序



CNC 主轴模拟量输出控制的变频器调速主轴上，该信号可用来接通主轴模拟量输出接口的使能触点；对于感应电动机机械变速的机床，信号可以不使用。

程序中的 M116.0 为主轴停止信号。当 CNC 选择 JOG 操作方式（V3100 0000.2 = 1）时，它可由 MCP 的主轴停止按键【SP. STOP】输入信号 L2.5 控制；当 CNC 执行辅助功能 M05/M02/M30 时，它由 M05/M02/M30 输出信号 V2500 1000.5/V2500 1000.2/V2500 1003.6 进行控制。此外，如 CNC 的复位信号 V3000 0000.7 为 1，或主轴伺服使能信号 V3803 0002.1 为 0，M116.0 也将输出 1。

2) 主轴正反转控制。主轴正反转控制程序如图 7.3-2 所示，程序中的 V2500 0000.3、V2500 0000.4 为 CNC 的 M03、M04 代码输出脉冲。当 CNC 加工程序运行时，Network2 可生成由 M03、M04 指令代码控制的主轴正反转信号 M115.0、M115.1；CNC 选择 JOG 操作时，它可通过 MCP 的【SP. CW】、【SP. CCW】按键输入 L2.3、L2.4，生成主轴手动正、反转控制信号 M115.6、M115.7。

在 SIEMENS 数控系统上，绝大部分 CNC 可在选择 JOG 操作时，利用 MDI/LCD 面板输入并执行辅助功能，因此，Network2 中的 M03/M04 主轴正反转控制信号 M115.0/M115.1，不需要对 CNC 的操作方式进行限制。信号 M115.0/M115.1 和 M115.6/M115.7 均采用了自保持典型程序，它们可通过主轴停止信号 M116.0 断开输出。

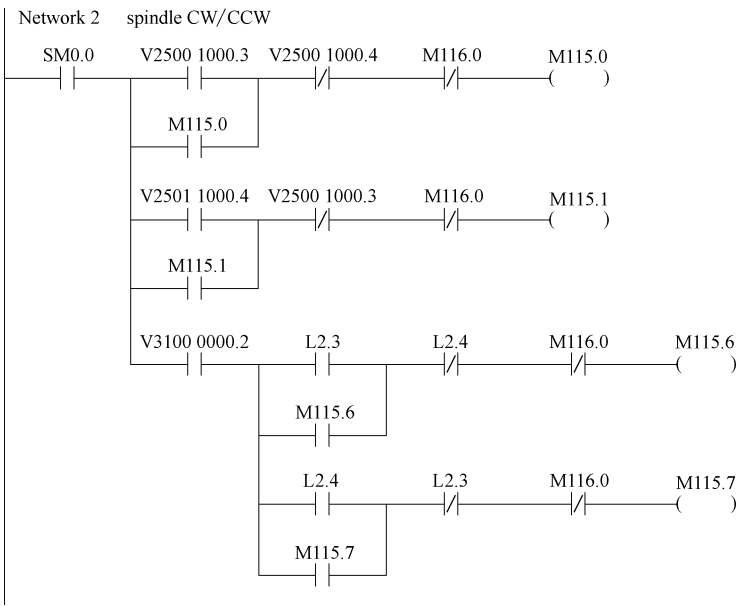


图 7.3-2 主轴正反转控制程序

3) 主轴控制信号输出与报警。主轴控制信号输出与报警如图 7.3-3 所示。

Network3 用于主轴正反转输出控制。主轴正转时局部变量 L2.6 输出 1；反转时局部变量 L2.7 输出 1；停止时 L2.6、L2.7 均输出 0。在模板程序上，L2.6、L2.7 为 PLC 输出 Q0.0、Q0.1 的输出缓冲状态，它们可直接作为主电动机正反转接的触器控制信号或变频器的正反转控制信号。

Network4 用于主轴报警。当主轴工作条件不满足（L2.1 = 0）时，如在 JOG 方式下操作



了【SP. CW】、【SP. CCW】键或执行了 M03/M04 指令，利用局部变量 L3.2 可使 CNC 显示操作报警 ALM 70021。

### 7.3.2 SBR35 子程序说明

802S/C/D 子程序库中的 SBR35（SPINDLE）是用于主轴控制的 PLC 程序，它可用于机械变速主轴或变频调速主轴的控制，并考虑了使用外部主轴制动器的情况。虽然，SBR35 的设计较为复杂，部分网络可简化，但由于该程序的实际使用较多，为了便于机床维修，一并介绍如下。

SBR35 的局部变量、标志寄存器定义如表 7.3-1 所示，程序分为转向控制、制动控制和控制信号输出 3 部分。

#### 1. 转向控制

SBR35 的 Network1 ~ Network4 用于主轴的转向控制，程序由 M03/M04 指令处理、MCP 的【SP. CW】/【SP. CCW】键处理、转向控制等网络组成。

Network1 的设计如图 7.3-4 所示，它可将 CNC 的 M03、M04 辅助功能脉冲输出信号转换为状态保持信号 M115.0、M115.1，并生成成本程序的主轴控制条件信号 L3.4、L3.3。

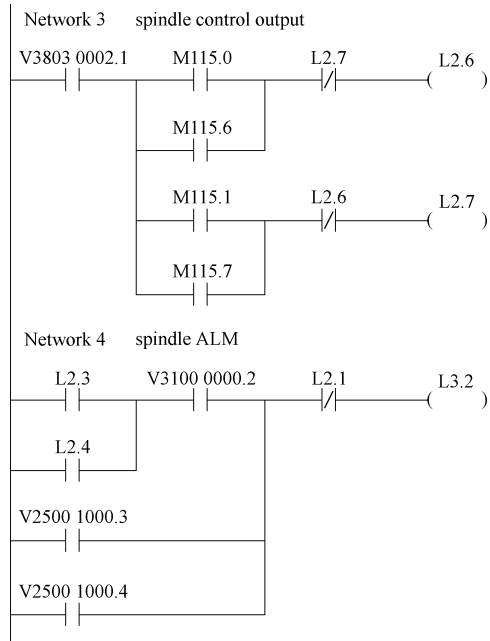


图 7.3-3 主轴控制信号输出与报警程序

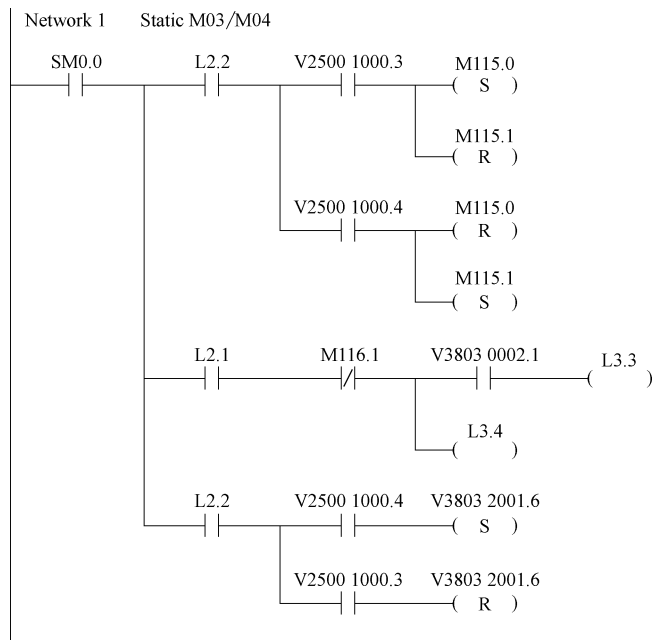


图 7.3-4 M03/M04 指令处理程序



在模板程序中，局部变量 L2.2 (UNI\_PO) 的赋值为 V4500 1016.2，即 CNC 用户数据 MD14512 [16] bit2 的设定值，该数据位在使用 CNC 单极性 DC0 ~ 10V 模拟量输出时要求设定为“1”。局部变量 L2.1 (SP\_EN) 的赋值为 V1100 0000.1 (主轴允许工作信号)，它在车床卡盘或铣床刀具夹紧时为“1”。因此，对于使用 DC0 ~ 10V 模拟量输出的 CNC，可通过 M03/M04 指令将标志寄存器 M115.0/M115.1 置 1，并输出主轴附加控制信号 V3803 2001.6，改变主轴转向。

程序中的 L3.4、L3.3 为主轴旋转条件，M116.1 为后述程序生成的主轴制动信号、V3803 0002.1 为主轴伺服使能信号。在子程序库中，V3803 0002.1 通过子程序 SBR40 (AXIS\_CTL) 生成，它在主轴正/反转状态信号 V3903 0004.6/V3903 0004.7 为 1 时置 1；在主轴停止状态信号 V3903 0001.4 为 1 时置 0。因此，如果使用子程序 SBR35，当主轴转速为 0 时，主轴模拟量输出接口上的使能触点及 PLC 的主轴正反转输出 Q0.0/Q0.1 将被同时撤销。程序中的 V3803 2001.6 信号控制条件与 M115.1 完全相同，故也可简化成由 M115.1 控制的输出。

SBR35 的 Network2 实际上是用于主轴位置控制方式手动正反转操作的程序，程序设计如图 7.3-5 所示，它可将 MCP 上的【SP.CW】、【SP.CCW】按键，转换为 CNC 轴方向控制信号和主轴正反转控制输出信号 Q0.0/Q0.1。

在 Network2 上，如 CNC 用户数据 MD14512 [16] bit2 设定为 0、CNC 的主轴模拟量输出将为 DC-10V ~ 10V 双极性输出，此时，来自 MCP 的按键【SP.CW】、【SP.CCW】输入 V1000 0001.4、V1000 0001.6 可转换为 CNC 基本轴控制信号中的主轴正、反信号 V3803 0004.7、V3803 0004.6，以便改变主轴模拟量输出极性、控制正反转。如 MD14512 [16] bit2 设定为 1、主轴使用 DC0 ~ 10V 单极性模拟量利用 Q0.0/Q0.1 控制转向时，MCP 的【SP.CW】、【SP.CCW】按键均可使 CNC 基本轴控制信号中的主轴正转信号 V3803 0004.7 为 1，同时，生成控制主轴转向输出 Q0.0/Q0.1 的局部变量 L2.6、L2.7。

利用 CNC 基本轴控制信号 V3803 0004.7、V3803 0004.6 控制的主轴手动操作，可通过 CNC 急停信号 V2700 0000.1、CNC 复位信号 V3000 0000.7、操作 MCP 的【SP.STOP】按键输入 V1000 0001.5、驱动器电源模块进给使能信号 L2.0 撤销。

程序 SBR35 的 Network3 ~ Network5 用来生成自动方式的主轴换向制动信号和主轴正反转控制命令，其程序设计如图 7.3-6 所示。

子程序 SBR35 和模板可用于带外部制动器的主轴控制，程序对主轴的转向变换做了如下规定。

- 1) 当 CNC 自动运行加工程序时，如 CNC 加工程序中出现直接从 M03 切换为 M04，或直接从 M04 切换为 M03 的主轴换向指令，需要先进行主轴的制动，然后才能改变转向。
- 2) 在手动操作方式下，通过 MCP 的【SP.CW】、【SP.CCW】按键变换主轴转向时，需要利用【SP.STOP】按键停止主轴后，才能变换主轴转向。

程序 Network3 用来生成加工程序自动运行时的换向制动信号。程序中的 M115.0、M115.1 为 Network1 生成的 M03、M04 指令信号；M115.2 (正转)、M115.3 (反转) 为当前有效的主轴转向，它由后述的 Network5 生成。因此，当加工程序自动运行时，如出现直接从 M03 切换为 M04，或直接从 M04 切换为 M03 的主轴换向指令，换向制动信号 M115.5 或 M115.4 将为 1。

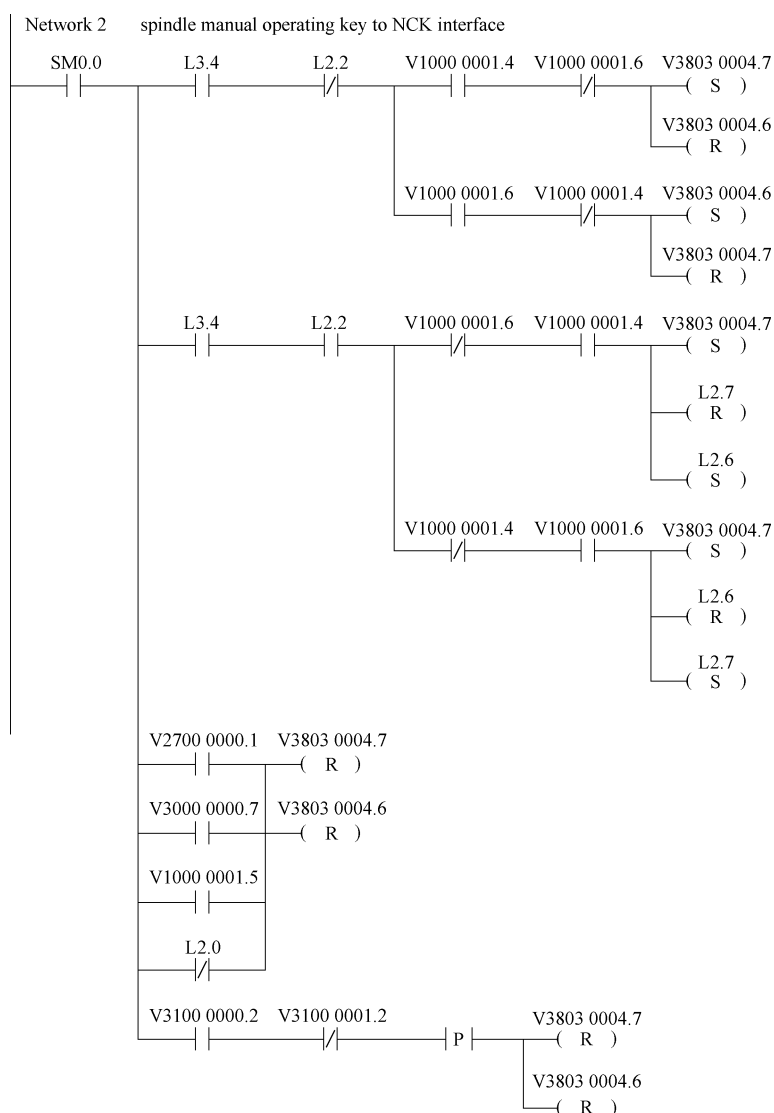


图 7.3-5 位置控制主轴手动操作程序

Network4 用于主轴正反转控制命令的生成。当 CNC 的操作方式选择自动 (AUTO 或 MDA) 时, 如主轴由停止状态直接起动, 则换向制动信号 M115.4、M115.5 为 0, PLC 程序可通过 CNC 加工程序中的 M03、M04 指令, 直接生成主轴正反转命令信号 L3.5、L3.6。当 CNC 操作方式为手动 (V3000 0000.2 = 1) 或示教 (V3100 0001.0 = 1) 时, 如主轴由停止状态直接起动, 则转向控制信号 M115.7、M115.6 为 0, PLC 程序可通过 MCP 的【SP. CW】、【SP. CCW】键, 生成主轴正反转命令信号 L3.5、L3.6。

程序 Network5 用来生成 Network3 所需的当前主轴转向信号 M115.2/M115.3 和 Network4 所需的转向记忆信号 M115.7/M115.6。

## 2. 制动控制

程序 SBR35 的 Network6、Network7 用来控制主轴的停止和制动, 其程序设计如图 7.3-7

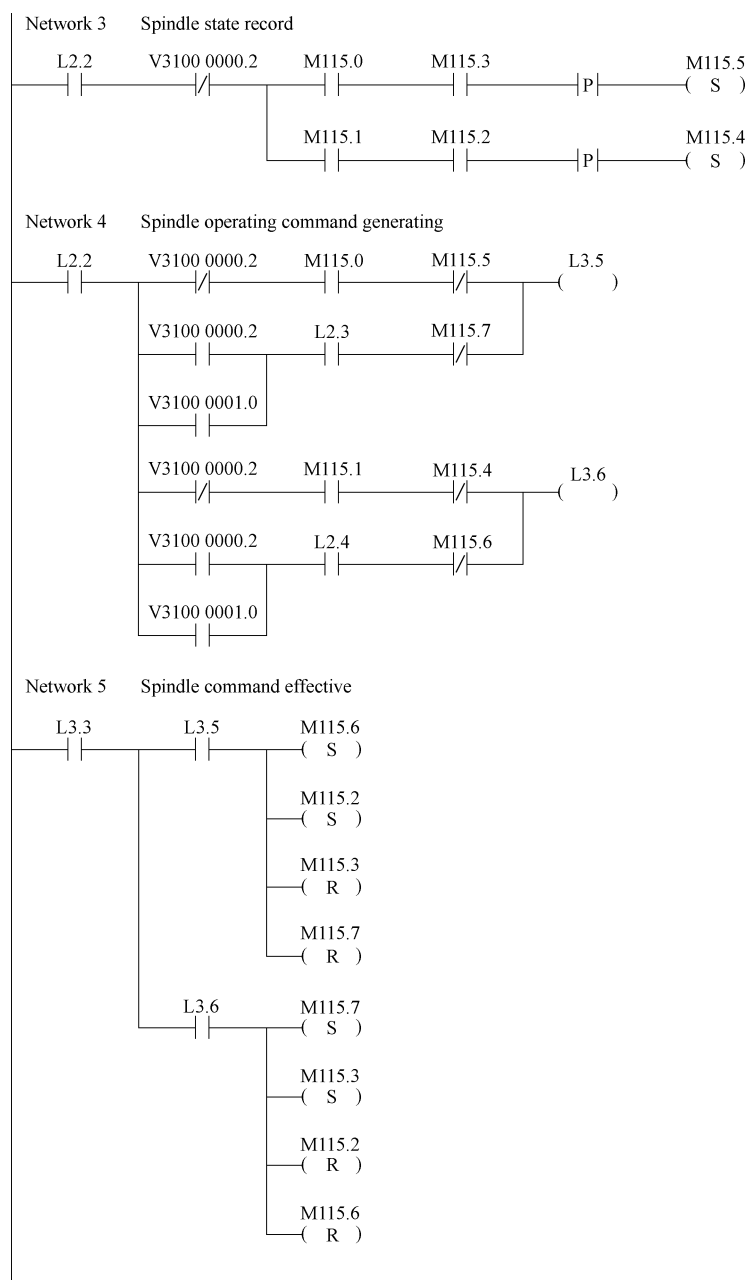


图 7.3-6 主轴换向和正反转控制程序

所示。

Network6 用来生成主轴停止命令 M116.0，并撤销 M03、M04 指令的记忆信号 M115.0、M115.1，在该程序中，运行中的主轴可通过以下方式停止。

- 1) AUTO 或 MDA 方式下执行 M05 或 M02 指令，即 JOG 方式选择信号 V3100 2000.2 为 0、V2500 1000.5 或 V2500 1000.2 为 1。
- 2) 手动或示教方式下操作 MCP 的【SP. STOP】键，即 V3100 2000.2 或 V3100 0001.0

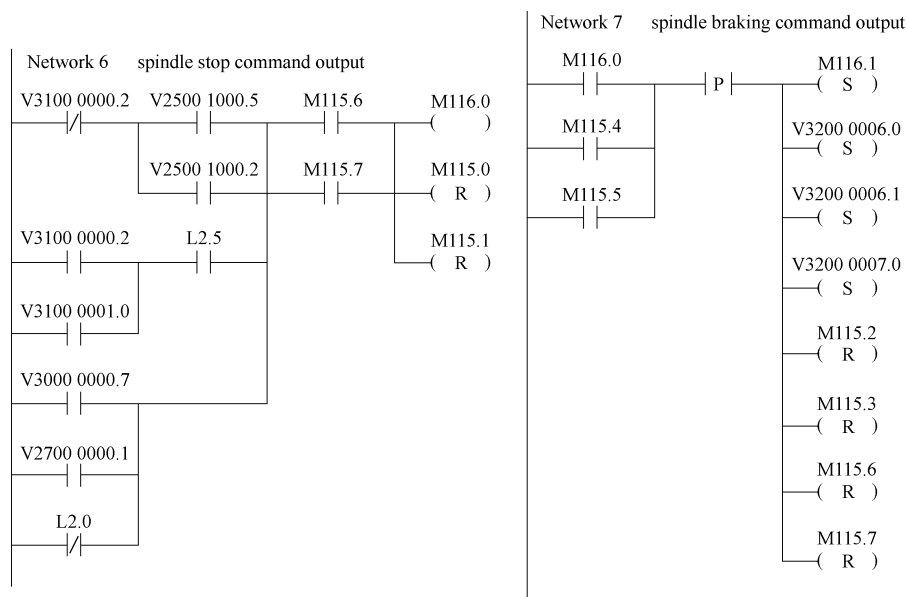


图 7.3-7 主轴停止和制动控制程序

为 1、【SP. STOP】键输入变量 L2.5 为 1。

3) CNC 复位 (V3000 0000.7 = 1)、急停 (V2700 0000.1 = 1) 或驱动器未起动 (L2.0 = 0)。

因此，在直接使用 SBR35 和模板程序控制主轴时，主轴既不能通过 CNC 加工程序中的 M30 指令停止，也不能通过 JOG 方式下的 M05、M02、M30 指令停止，这点在使用时需要引起注意。

Network7 用来生成主轴制动命令 M116.1、撤销主轴转向信号 M115.2/M115.3 和转向记忆信号 M115.6/M115.7，并生成主轴制动时的程序自动运行控制信号。

当运行中的主轴需要停止时，Network6 中的主轴停止命令信号 M116.0 为 1；当加工程序中出现直接由 M03 到 M04 或 M04 到 M03 的换向指令时，Network3 中的换向制动信号 M115.5 或 M115.4 将为 1，两种情况都需要进行主轴制动。

进行主轴制动时，不仅需要使制动命令 M116.1 为 1，而且，对于加工程序自动运行，CNC 需要像执行辅助机能同样，通过进给使能禁止信号 V3200 0006.0 互锁进给轴运动、通过读入使能禁止信号 V3200 0006.1 禁止下一程序段的读入、通过起动禁止信号 V3200 0007.0 禁止程序段的起动。

### 3. 主轴控制信号输出

SBR35 的输出变量主要有主轴正反转输出 Q0.0/Q0.1 控制信号 L2.6/L2.7、外部主轴制动控制信号 L3.0、主轴运行指示灯控制 L3.1 和 CNC 报警信号 L3.2，输出变量的控制程序如图 7.3-8 所示。

Network8 用于外部主轴制动信号延时控制，在模板程序上，制动延时时间可通过 CNC 用户数据 MD14510 [23] 设定，延时到达后，主轴制动信号 M116.1、进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1、起动禁止信号 V3200 0007.0 均被复位，程序自动运行将继续。



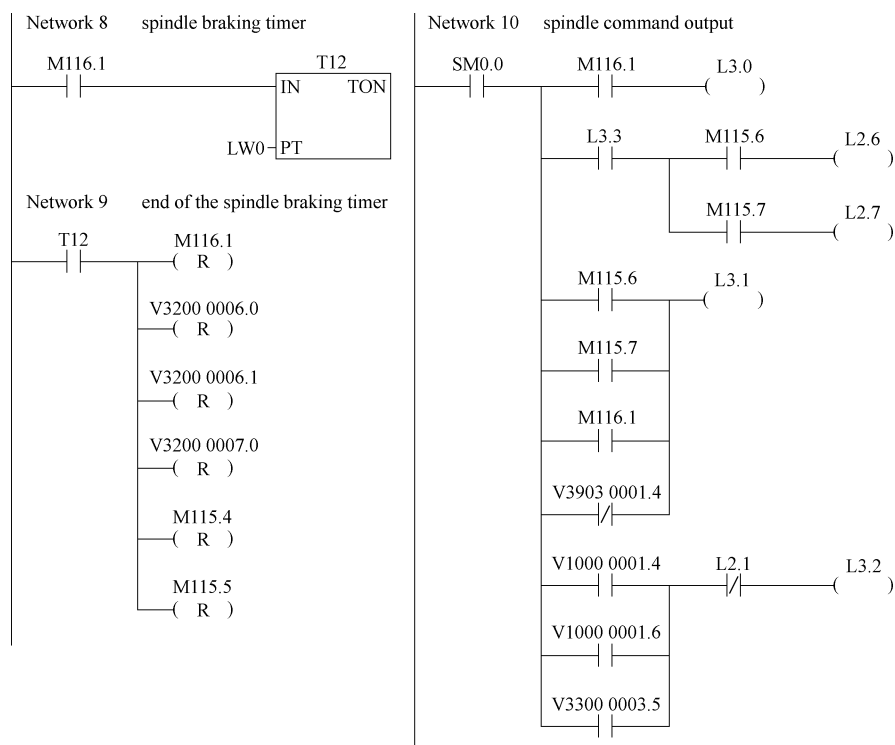


图 7.3-8 主轴控制信号输出程序

Network9 用于主轴控制信号输出，主轴制动、正/反转分别由对应的控制命令信号 M116.1、M115.6/M115.7 控制；主轴运行指示灯在正反转、制动及转速不为 0 时输出；当主轴允许工作信号 L2.1 为 0 时，如操作 MCP 的【SP. CW】、【SP. CCW】键，或者起动加工程序自动运行，则 CNC 显示报警 ALM 70021。

## 7.4 主轴传动级交换程序

### 7.4.1 传动级交换方法

#### 1. 基本说明

传动级交换是用于机械变速主轴的附加速度控制功能，使用 CNC 传动级交换功能时，CNC 能够根据主轴实际传动比调整主轴转速输出特性，以改变主电动机转速，使主轴转速和加工程序中的 S 代码指令保持一致。

802S/C/D 的主轴传动级交换可根据需要选择 M41 ~ M45 自由换档和 CNC 自动换档两种交换方式。选择前者，用户可通过 CNC 的辅助功能指令 M41 ~ M45，自由指定变速档；选择后者，用户可通过 CNC 的 M40 S□□□指令，由 CNC 根据编程转速 S，自动输出传动级选择命令、强制主轴切换到规定的档位。

不同传动级的主轴传动比可通过 CNC 的参数进行设定。在 802S/C/D 上，主轴最大可设定 5 级传动比，不同档位的主轴传动比设定参数号 MD 后缀的传动级序号 [n] 区分，如



MD35110 [1] 等。其中, 序号 [0] 用于进给轴, 对于主轴其设定值应与传动级 [1] 一致; 序号 [1] ~ [5] 依次为由低到高 5 个变速档的设定参数。如果主轴的实际档位少于 5 档, 应先使用低档参数, 并将不使用的档位参数设定为高速档同样的值。主轴的每一档位都可设定如下两组传动级交换参数。

1) GEAR\_STEP\_MAX\_VELO\_LIMIT [n] /GEAR\_STEP\_MIN\_VELO\_LIMIT [n]: 档位高/低速极限 ( $S_{\max[n]}/S_{\min[n]}$ ) 设定, 该组参数用来设定传动比, 以确定主轴转速输出特性。对于主轴模拟量输出的 CNC, 其设定值应为 CNC 最大/最小主轴模拟量输出 (DC10V/0V) 所对应的 S 代码编程转速值, 当编程转速超出参数设定的范围时, 如不改变传动级, 其主轴模拟量输出将被限制在 DC10V 或 DC0V 上。例如, 当档位高/低速极限参数设定为 2000/20 时, 执行加工程序中 S2500、S2000、S1000、S10、S5 指令, 其主轴的模拟量输出将分别为 10V、10V、5V、0V、0V 等。

2) GEAR\_STEP\_MAX\_VELO [n] /GEAR\_STEP\_MIN\_VELO [n]: 档位最大/最小转速 ( $G_{\max[n]}/G_{\min[n]}$ ) 设定, 该组参数用于 CNC 自动换档, 参数的设定范围不能超过档位高/低速极限 ( $S_{\max[n]}/S_{\min[n]}$ ) 转速。当 CNC 自动换档功能生效时, 如 S 代码编程转速大于当前档位最大转速  $G_{\max[n]}$  或小于当前档位最小转速  $G_{\min[n]}$ , CNC 将自动启动传动级交换功能, 并向 PLC 发送传动级交换命令 V3903 2000.3 和传动级选择信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2, 启动 PLC 的传动级交换控制程序。

M41 ~ M45 自由换档和 CNC 自动换档的 PLC 程序设计要求和主轴转速输出特性如下。

## 2. M41 ~ M45 自由换档

自由换档的主轴变速档可通过 CNC 的辅助功能指令 M41 ~ M45 自由选择。CNC 执行 M41 ~ M45 指令时, 可在输出 M 代码信号的同时, 向 PLC 发送传动级交换命令信号 V3903 2000.3 和档位选择信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2; PLC 程序应根据档位选择信号所指定的档位换档。换档完成后, PLC 程序需要将当前的档位通过主轴附加控制信号 V3803 2000.0 ~ V3803 2000.2 通知 CNC, 并利用 V3803 2000.3 结束换档、生效当前传动级; 随后, CNC 便可按该档位的传动比设定, 输出对应的主轴转速。

采用 M41 ~ M45 自由换档方式时, 如不重新执行 M41 ~ M45, CNC 将始终按照当前的传动比输出主轴转速, 而不管 S 代码编程转速是否超出该档位的转速范围, 因此, 编程转速 S 可不受 CNC 档位最大/最小转速设定参数及当前档位高/低速极限设定参数的限制。但是, 当主轴转速超过当前档位最高转速时, CNC 可通过主轴工作状态信号 V3803 2001.1, 向 PLC 发送“转速过高”信号; 当主轴转速低于当前档位最低转速时, 则可通过主轴工作状态信号 V3803 2001.2, 向 PLC 发送“转速过低”信号。

以主轴转速模拟量输出为例, M41 ~ M45 自由换档的输出特性如图 7.4-1 所示, 档位 [n] 在不同编程转速 S 下的 CNC 主轴模拟量输出分别如下。

$S < G_{\min[n]}$ : 输出 0V, 主轴工作状态信号 V3803 2001.2 输出 1。

$G_{\min[n]} \leq S \leq G_{\max[n]}$ : 输出在 0 ~  $V_{\max[n]}$  范围按比例变化, 主轴工作状态信号 V3803 2001.1、V3803 2001.2 均输出 0。

$S > G_{\max[n]}$ : 输出 10V, 同时, 主轴工作状态信号 V3803 2001.1 输出 1。

## 3. CNC 自动换档

CNC 自动换档功能可通过编程指令 M40 S□□□生效。自动换档功能生效时, CNC 将

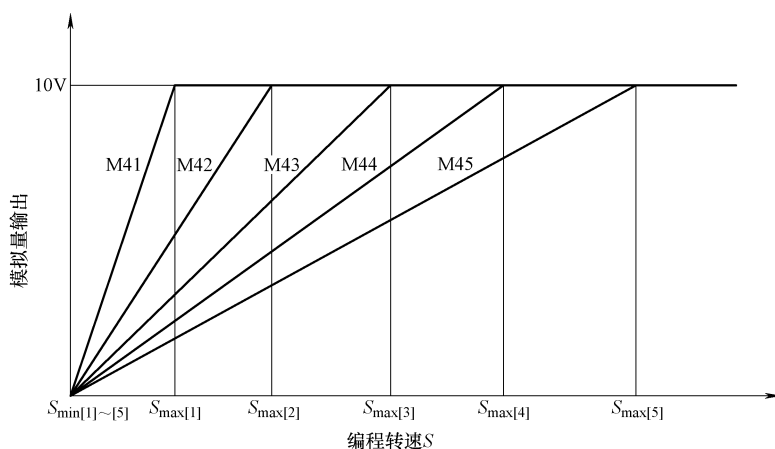


图 7.4-1 M41 ~ M45 换档特性

根据编程转速  $S$ ，自动向 PLC 发送传动级交换命令信号 V3903 2000.3 和传动级选择信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2，起动 PLC 执行传动级交换程序。PLC 程序应按照传动级选择信号的要求进行换档。换档完成后，PLC 程序同样需要通过主轴附加控制信号 V3803 2000.0 ~ V3803 2000.2，将当前变速档告知 CNC，并利用 V3803 2000.3 结束换档。CNC 在确认实际变速档和传动级选择信号要求一致时，将生效当前传动级，并按该档位的传动比，输出主轴转速指令值。

CNC 自动换档时，各档位的主轴转速输出特性同样由高/低速极限 ( $S_{\max[n]}/S_{\min[n]}$ ) 参数设定，但其 S 代码编程转速将受到档位最大/最小转速 ( $G_{\max[n]}/G_{\min[n]}$ ) 参数的限制。如果编程转速大于当前档位最大转速  $G_{\max[n]}$ ，或者小于当前档位最小转速  $G_{\min[n]}$ ，CNC 将中断程序执行过程、输出换档命令信号和传动级选择信号，起动 PLC 换档程序。

自动换档可通过 S 代码编程转速由 CNC 选择档位，以避免出现低速档工作时主电动机转速过高的情况；此外，为了避免 S 代码编程转速在档位切换转速附近时的频繁换档，相邻档位的主轴转速允许有重叠。

以 M41/M42、M42/M43 自动换档为例，CNC 自动换档的主轴转速模拟量输出特性如图 7.4-2 所示，M43/M44、M44/M45 的换档过程与此类似。

图 7.4-2 中的  $G_{\min[1]} \sim G_{\max[1]}$  和  $G_{\min[2]} \sim G_{\max[2]}$  分别为档位 M41 和 M42 所允许的 S 代码编程转速范围。对于不同的主轴档位和 S 代码编程转速，CNC 自动换档要求和主轴模拟量输出特性分别如下。

1) 低档切换高档。如主轴当前档位为 M41，对于不同的编程转速  $S$ ，CNC 自动进行如下处理。

$S < G_{\min[1]}$ ：主轴无需换档，模拟量输出限制在 0V；换档命令信号 V3903 2000.3 输出 0、传动级选择信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2 保持为 M41。

$G_{\min[1]} \leq S \leq G_{\max[1]}$ ：主轴无需换档，模拟量输出在  $V_{\min[1]} \sim V_{\max[1]}$  范围内按比例变化；换档命令信号 V3903 2000.3 输出 0、传动级选择信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2 保持为 M41 状态。

$G_{\max[1]} < S < G_{\max[2]}$ ：换档命令信号 V3903 2000.3 输出 1、传动级选择信号 V3903

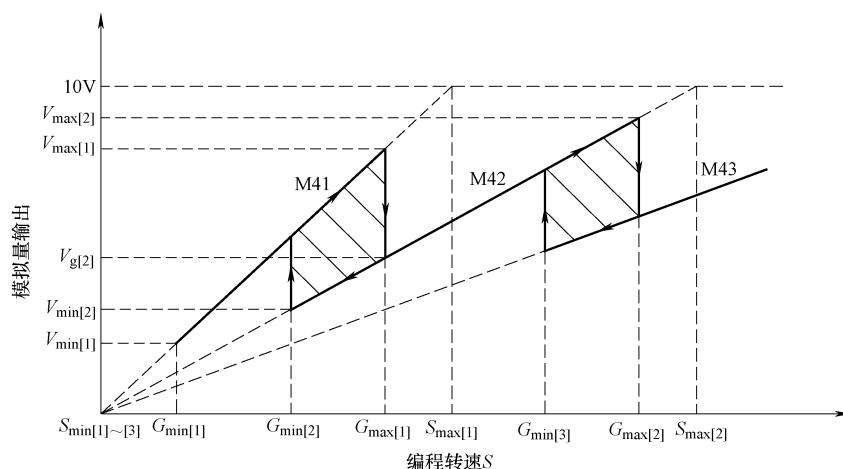


图 7.4-2 M40 自动换档特性

2000.0 ~ V3903 2000.2 变为 M42，强制 PLC 执行 M42 换档程序、切换至档位 M42；换档完成后，模拟量输出在  $V_{g[2]} \sim V_{\max[2]}$  范围内按比例变化。

$S > G_{\max[2]}$ ：自动比较 M43、M44、M45 档位所设定的最高转速  $G_{\max[3]}$ 、 $G_{\max[4]}$ 、 $G_{\max[5]}$ ，强制选择所需要的档位。例如，当  $G_{\max[2]} < S < G_{\max[3]}$  时，输出换档命令和 M43 传动级选择信号，强制 PLC 切换至 M43；如  $G_{\max[3]} < S < G_{\max[4]}$  或  $G_{\max[4]} < S$ ，则输出换档命令及 M44 或 M45 传动级选择信号，强制 PLC 切换至 M44 或 M45。换档完成后，模拟量输出在所选择的档位范围内按比例变化。

2) 中档切换高档或低档。如主轴当前档位为 M42，对于不同的编程转速  $S$ ，CNC 自动进行如下处理。

$G_{\min[2]} \leq S \leq G_{\max[2]}$ ：主轴无需换档，模拟量输出在  $V_{\min[2]} \sim V_{\max[2]}$  范围内按比例变化；换档命令信号 V3903 2000.3 输出 0、传动级选择信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2 保持为 M42 状态。

$S < G_{\min[2]}$ ：切换低档，换档命令信号 V3903 2000.3 输出 1、传动级选择信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2 变为 M41，强制 PLC 执行 M41 换档程序、切换至低档；换档完成后，模拟量输出在  $0 \sim V_{\max[1]}$  范围内按比例变化。

$S > G_{\max[2]}$ ：自动比较 M43、M44、M45 档位设定的最高转速  $G_{\max[3]}$ 、 $G_{\max[4]}$ 、 $G_{\max[5]}$ ，自动输出换档命令和 M43 或 M44、M45 传动级选择信号，强制 PLC 执行换档程序、切换至要求的档位。换档完成后，模拟量输出在所选择的档位范围内按比例变化。

#### 7.4.2 PLC 程序设计要求

主轴换档的 PLC 程序设计要求与 CNC 辅助功能处理相同。PLC 程序需要根据 CNC 的传动级交换命令控制主轴驱动器、机床执行元件和 CNC 的动作；程序执行期间，需要通过 CNC 的读入禁止、进给使能禁止信号，使 CNC 进入辅助功能执行等待状态；换档完成后，需要向 CNC 发送现行档位信号和换档完成信号，并撤销 CNC 的读入禁止、进给使能禁止信号，使得 CNC 能够继续执行随后的加工程序。

802S/C/D 与主轴传动级交换控制相关的主要控制信号，以及主轴换档的 PLC 程序设计



要求分别如下。

1. 换档命令信号

无论 M41 ~ M45 自由换档还是 CNC 自动换档，主轴换档的控制命令均来自 CNC。采用 M41 ~ M45 自由换档时，既可通过来自 CNC 主轴附加工作状态信息中的主轴换档命令、档位给定或转速过高、转速过低等信号起动换档和选择档位，也可直接通过 CNC 的通道辅助功能输出信号 M41 ~ M45 起动换档和选择档位。采用 CNC 自动换档时，则必须通过主轴换档命令信号和档位给定信号起动换档和选择档位。

802S/C/D 最多可使用 5 档变速，CNC 用于主轴传动级交换控制的主要命令信号，以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 7.4-1 所示。

表 7.4-1 主轴传动级交换控制命令信号一览表

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
通道辅助功能输出	V2500 0000.0 ~ .4	MF1 ~ MF5	M 代码修改信号 1 ~ 5(802D 为 V2500 0004.0 ~ .4)
	V2500 1005.0	M40	CNC 自动换档 M40 代码输出(脉冲信号)
	V2500 1005.1 ~ .5	M41 ~ M45	主轴换档 M41 ~ M45 代码输出(脉冲信号)
主轴附加工作状态信息	V3903 2000.0 ~ .2	档位给定	主轴传动级(档位)选择命令
	V3903 2000.3	主轴换档命令	1:主轴传动级需要进行交换(换档)
	V3903 2001.1	速度过高	1:主轴转速超过当前档位上限,被限制在上限
	V3903 2001.2	速度过低	1:主轴转速低于当前档位下限,被限制在下限
	V3903 2002.6	主轴换档	1:主轴换档中

CNC 执行 M41 ~ M45 或 M40 S□□□自动换档指令时，其档位给定信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2 的输出状态如表 7.4-2 所示。

表 7.4-2 档位给定命令信号与换档要求

信 号	变 速 档				
	M41	M42	M43	M44	M45
V3903 2000.0	0 或 1	0	1	0	1
V3903 2000.1	0	1	1	0	0
V3903 2000.2	0	0	0	1	1

2. CNC 控制信号

用于主轴换档的 CNC 控制信号有以下 3 类，它们需要 PLC 程序生成，并以 CNC 主轴附加控制信号的形式发送至 CNC。

1) 换档抖动信号。在使用滑移齿轮、齿牙盘离合器变速的机床上，为了避免换档时的“顶齿”，在滑移齿轮动作或齿牙盘离合器吸合时，主轴需要有间隙正反转的“换档抖动”动作。CNC 的换档抖动信号主要包括抖动控制方式选择、换档转速输出及 PLC 抖动时的转向控制等。

2) 实际档位信号。主轴换档完成后，PLC 需要将主轴当前的档位通过实际档位信号告知 CNC，CNC 将根据实际档位选择主轴模拟量输出特性。

3) 换档完成信号。主轴换档实际上就是 CNC 执行辅助功能指令 M41 ~ M45 的过程，因此，换档时 CNC 加工程序需要进入程序段执行等待状态；换档完成后，需要通过换档完成



信号撤销 CNC 的换档转速输出、换档抖动等动作，继续执行随后的加工程序。

802S/C/D 与主轴传动级交换相关的主要 CNC 控制信号，以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 7.4-3 所示。

表 7.4-3 主轴换档 CNC 控制信号一览表

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
主轴附加控制信号	V3803 2000.0 ~ .2	实际档位	档位检测输入 GRA-C, 信号输入要求与表 7.4-2 同
	V3803 2000.3	换档完成	1: 主轴传动级交换完成
	V3803 2002.4	换档抖动方式	1: PLC 控制抖动; 0: CNC 控制抖动
	V3803 2002.5	换档起动	1: CNC 进入主轴换档控制
	V3803 2002.6	反转抖动	1: 主轴反转(用于 PLC 换档抖动控制)
	V3803 2002.7	正转抖动	1: 主轴正转(用于 PLC 换档抖动控制)

### 3. PLC 程序设计要求

主轴换档实际上就是 CNC 执行辅助功能指令 M41 ~ M45 的过程，其 PLC 程序设计要求与 CNC 执行辅助功能相同，具体如下。

1) CNC 执行换档指令 M41 ~ M45 或 M40 S□□□、输出辅助功能代码 M40 ~ M45，同时，发送主轴换档命令信号 V3903 2000.3 和档位给定信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2。

2) PLC 收到传动级交换命令后，通过 CNC 的读入禁止、进给使能禁止信号，使 CNC 进入辅助功能执行等待状态。

3) PLC 确认主轴为停止状态，如主轴处于运行状态，则通过 PLC 程序停止主轴。

4) 主轴停止后，PLC 程序向 CNC 发送换档抖动方式选择信号 V3803 2002.4，选择换档抖动的控制方式；并通过换档起动信号 V3803 2002.5 起动换档抖动动作。

5) 如换档抖动方式选择信号 V3803 2002.4 = 0、选择 CNC 控制抖动，CNC 将自动输出机床参数设定的间隙正反转模拟量；如档抖动方式选择信号 V3803 2002.4 = 1、选择 PLC 控制抖动，则应通过 PLC 程序生成间隙正反转的 CNC 转向控制信号 V3803 2002.7/V3803 2002.0 或直接控制主轴驱动器的 PLC 输出信号。

6) 通过 PMC 程序，控制电磁阀或离合器，执行换档动作。

7) 滑移齿轮到位或离合器吸合后，利用 PLC 程序向 CNC 发送主轴实际档位信号 V3803 2002.0 ~ V3803 2002.2，并将换档完成信号 V3803 2000.3 置 1，结束 CNC 的主轴换档动作。

8) PLC 程序撤销 CNC 的读入禁止、进给使能禁止信号，完成主轴换档。

在 802S/C/D 上，主轴换档可通过机床参数 MD35400、MD34510 进行换档模拟量输出和加速度（模拟量上升/下降时间）的设定。如果使用 CNC 换档抖动功能，还可通过机床参数 MD35430、MD34540/34550 选择换档抖动的初始转向和正/反转时间等。

### 7.4.3 传动级交换程序典例

802S/C/D 子程序库提供了用于主轴换档控制的 PLC 子程序 SBR41 (GEAR\_ CHG)，该程序的说明见后。SBR41 只能用于 CNC 控制抖动、2 档变速的主轴换档控制，且对 CNC 机床参数设定和主轴正反转控制信号的连接有规定的要求，程序的使用面较窄，一般需要予以重新设计。



以下是主轴换挡控制程序例，该子程序可用于5档变速、PLC控制抖动的感应电动机机械变速或通用变频器调速的主轴换挡控制，程序需要占用T11、T14、T15共3个定时器，PLC程序设计时不能在其他程序中重复使用。

### 1. 局部变量定义

主轴换挡子程序可在用户子程序编号范围内定义一个子程序号，如SBR10等，为了便于使用，子程序可进行表7.4-4所示的局部变量定义。

表 7.4-4 主轴换挡子程序局部变量定义表

局部变量			数据类型	程序调用 赋值要求	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	SSTP_time	IN	WORD	常数	主轴停止时间
LW2	CW_time	IN	WORD	常数	换挡抖动时的主轴正转时间
LW4	CCW_time	IN	WORD	常数	换挡抖动时的主轴反转时间
L6.0	GEAR_M41	IN	WORD	I或M	主轴实际档位 M41 检测信号
L6.1	GEAR_M42	IN	WORD	I或M	主轴实际档位 M42 检测信号
L6.2	GEAR_M43	IN	WORD	I或M	主轴实际档位 M43 检测信号
L6.3	GEAR_M44	IN	WORD	I或M	主轴实际档位 M44 检测信号
L6.4	GEAR_M45	IN	WORD	I或M	主轴实际档位 M45 检测信号
L6.5	SP_STOP	IN	BOOL	I或M	主轴停止信号输入,不使用时赋值0
L6.6、L6.7	NODEF	IN	BOOL	—	无定义
L7.0	SP_cw	OUT	BOOL	M102.0	主轴正转输出 Q0.0 缓冲存储器
L7.1	SP_ccw	OUT	BOOL	M102.1	主轴反转输出 Q0.1 缓冲存储器
L7.2	M41_gear	OUT	BOOL	Q或M	主轴变速档 M41 ~ M45 电磁阀或离合器接通信号,信号可同时用于 M41 ~ M45 指示灯控制
L7.3	M42_gear	OUT	BOOL	Q或M	
L7.4	M43_gear	OUT	BOOL	Q或M	
L7.5	M44_gear	OUT	BOOL	Q或M	
L7.6	M45_gear	OUT	BOOL	Q或M	
L7.7	OSC_LED	OUT	BOOL	Q或M	主轴传动级交换状态指示
L8.0	M41_cmd	TEMP	BOOL	—	M41 换挡命令
L8.1	M42_cmd	TEMP	BOOL	—	M42 换挡命令
L8.2	M43_cmd	TEMP	BOOL	—	M43 换挡命令
L8.3	M44_cmd	TEMP	BOOL	—	M44 换挡命令
L8.4	M45_cmd	TEMP	BOOL	—	M45 换挡命令
L8.5-L8.7	NODEF	TEMP	BOOL	—	无定义
L9.0	GEAR_fini	TEMP	BOOL	—	M41 ~ M45 换挡完成

### 2. PLC 程序设计

主轴换挡控制子程序SBR10的设计如下，程序由实际档位信号转换、档位比较、抖动控制、阀输出和结束处理等网络组成。

1) 实际档位信号转换。实际档位信号转换程序如图7-4.3所示。利用程序Network1,可将来自机床的M41~M45档位检测信号输入L6.0~L6.4,转换为CNC所要求的二进制编



码主轴实际档位 GRA ~ GRC 输入信号 V3803 2000.0 ~ V3803 2000.2。

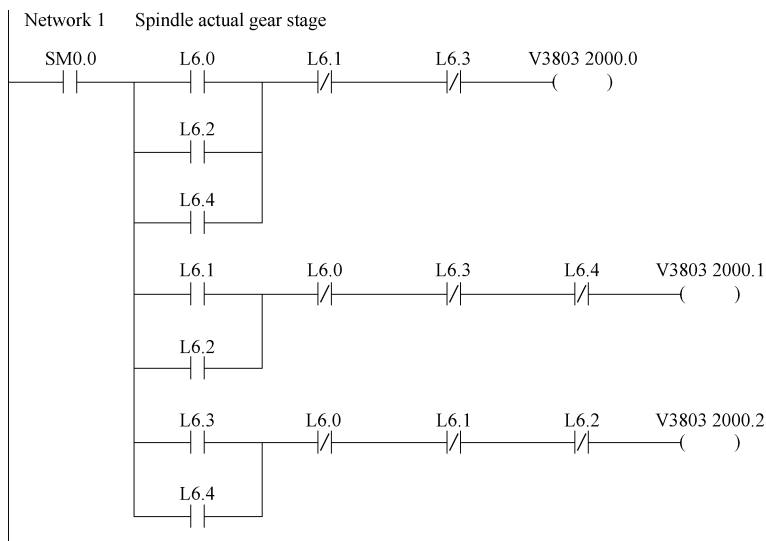


图 7.4-3 档位信号转换程序

2) 档位比较。档位比较程序如图 7.4-4 所示，它包括指令译码 Network2 和档位比较 Network3 两部分。

CNC 执行主轴换档指令 M41 ~ M45 或 M40 S□□□时，将向 PLC 发送主轴换档命令信号 V3903 2000.3 和二进制编码的档位给定信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2，利用程序 Network2，可将 CNC 输出的换档命令信号和表 7-4.2 所示的二进制编码档位给定信号，转换为与 M41 ~ M45 换档对应的独立换档指令信号 L8.0 ~ L8.4。

程序 Network3 用于档位比较，它可通过 M41 ~ M45 换档指令信号 L8.0 ~ L8.4 和实际档位检测信号 L6.0 ~ L6.4 的一一比较，生成档位一致信号 L9.0。

3) 抖动控制。主轴换档的抖动控制程序如图 7.4-5 所示，Network4 用于主轴停止控制，Network5 用于间隙正反转控制。

当 CNC 执行主轴换档指令、发

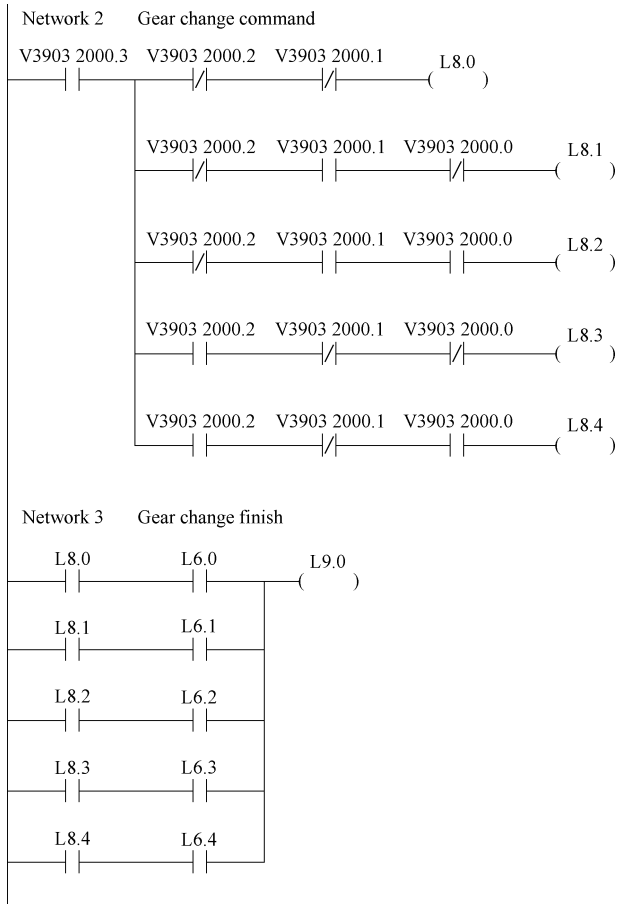


图 7.4-4 档位比较程序





送换挡命令信号 V3903 2000.3 时,如指令档位和实际档位不一致,信号 L9.0 将为0,主轴需要进行传动级交换。此时,通过 Network4,可将 CNC 的进给使能禁止信号 V3200 0006.0 和读入使能禁止信号 V3200 0006.1 置1,禁止下一程序段的读入和运行,CNC 进入辅助功能执行等待状态。

如传动级交换开始时主轴处于旋转状态,首先需要停止主轴。在使用变频调速的主轴上,主轴停止可通过来自变频器的主轴停止信号 L6.5 检查,如主轴尚未停止 ( $L6.5 = 0$ ),则同时撤销 PLC 的主轴正/反转输出信号 L7.0/L7.1,使主电动机停止;如主轴已停止 ( $L6.5 = 1$ ),则换挡起动信号 L7.7 置1,起动换挡抖动动作。

如机床不使用主轴停止信号,则可通过定时器 T11 的延时替代主轴停止信号;T11 延时到达后,换挡起动信号 L7.7 置1,起动换挡抖动。由于程序中的换挡起动信号 L7.7 采用了 T11 延时触点和主轴停止信号 L6.5 并联控制,因此,在使用主轴停止信号的机床上,T11 的延时设定应大于主轴停止所需要的时间。

换挡起动信号  $L7.7 = 1$  后,通过 Network5,PLC 可向 CNC 发送 PLC 换挡抖动选择信号 V3803 2002.4 和换挡起动信号 V3803 2002.5,使 CNC 的主轴模拟量输出切换为换挡低速。在采用单极性模拟量输出控制的主轴驱动系统上,一般可直接通过 PLC 的主轴正反转输出信号,控制驱动器(如变频器)实现换挡抖动,因此,可将 CNC 的正转抖动信号 V3803 2002.7 直接置为1,使换挡转速模拟量输出为固定值。

Network5 中的 T14、T15 用来生成主轴间隙正反转输出信号。其中,主轴正转输出信号 L7.0 的保持时间由 T14 控制,反转输出信号 L7.1 的保持时间由 T15 控制。为了保证齿轮的错位,T14 和 T15 的延时设定值 LW2 和 LW4 一般应为不同的值。

4) 阀输出和结束处理。阀输出和结束处理程序如图 7.4-6 所示。

图 7.4-6a 中的 Network6、Network10 分别用于 M41、M45 阀输出控制,M42 ~ M44 阀输出控制 Network7 ~ Network9 的设计方法同 Network6。Network6 ~ Network10 可在主轴抖动启动后 ( $L7.7 = 1$ ),将 CNC 要求的 M41 ~ M45 换挡指令信号 L8.0 ~ L8.4,转换为 PLC 的 M41 ~ M45 电磁阀或离合器控制输出。程序还可通过 PLC 首循环脉冲 SM0.1 和实际档位检

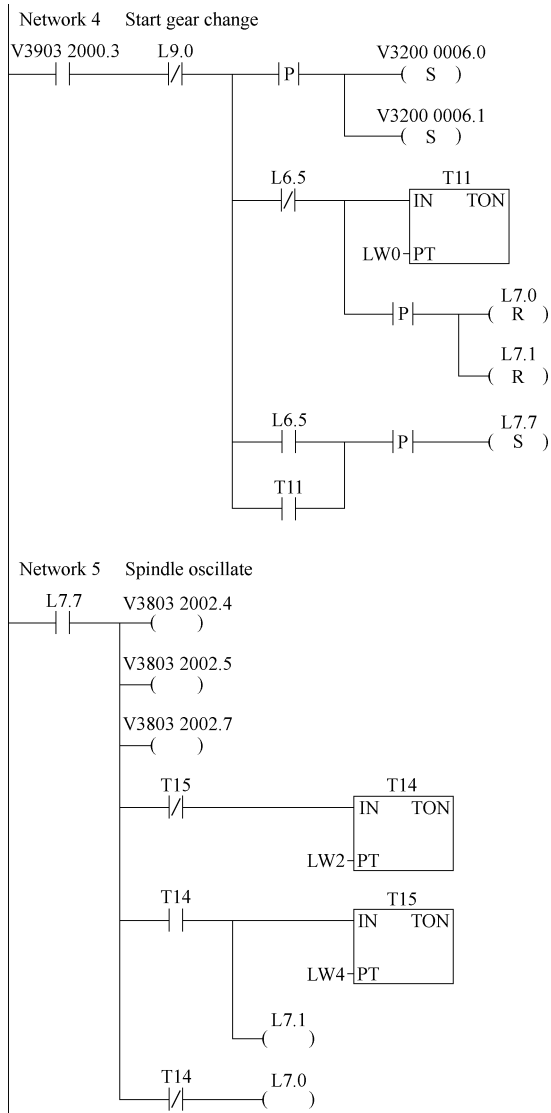


图 7.4-5 抖动控制程序

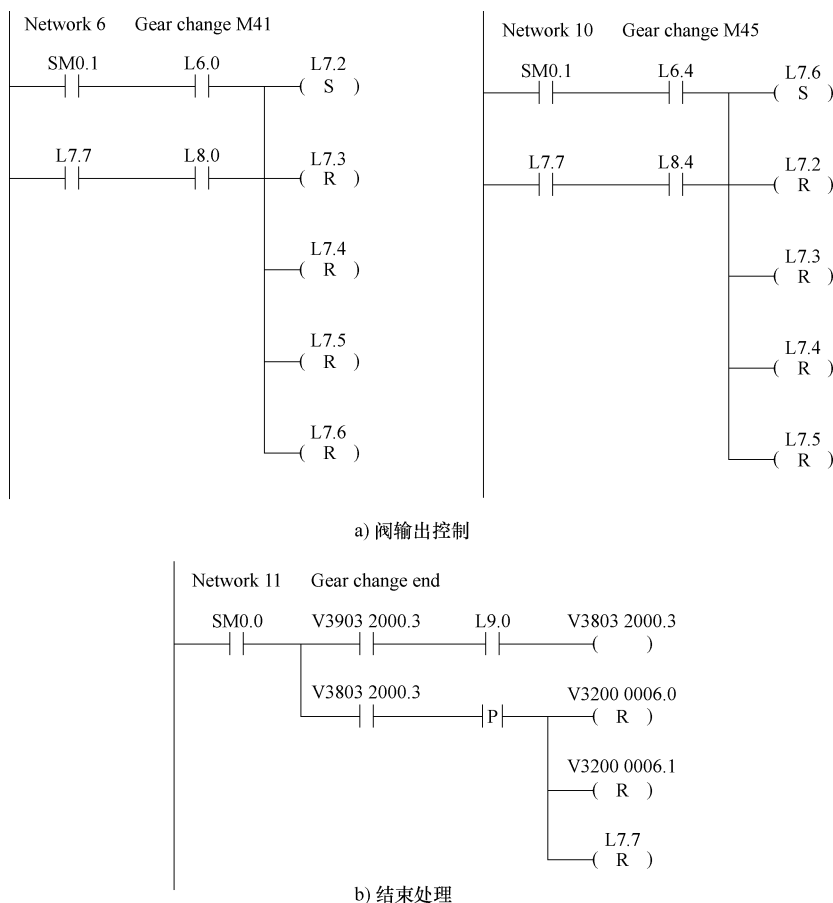


图 7.4-6 阀输出和结束处理程序

测信号，在 CNC 开机时保持主轴当前的档位。

换档完成后，前述 Network3 中的档位一致信号 L9.0 将为 1，通过 Network11，PLC 可向 CNC 发送换档完成信号 V3803 2000.3，结束 CNC 的主轴换档动作，同时撤销 CNC 的读入禁止、进给使能禁止信号，结束主轴换档动作。

#### 7.4.4 SBR41 子程序说明

802S/C/D 子程序库中提供了主轴换档控制的 PLC 子程序 SBR41 (GEAR\_ CHG)，该子程序可用于 CNC 控制换档抖动、M41/M42 高低档变速的主轴换档控制，为了便于机床维修人员参考，现一并介绍如下。

##### 1. 编程元件定义

在模板程序中，调用子程序 SBR41 需要设定 CNC 用户数据 MD14510 [16] = 1 (铣床控制)、MD14512 [11] bit6 = 1 (主轴换档有效)，程序需占用定时器 T11/T14/T15、标志寄存器 MB117、公共变量 V1400 0063.6/V1400 0063.7，这些编程元件不能再用于其他用户程序。SBR41 的变量、标志寄存器定义及模板程序中的赋值要求等如表 7.4-5 所示。



表 7.4-5 SBR41 编程元件定义表

变量与标志寄存器			数据类型	模板程序 赋值要求	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	D_CHG	IN	WORD	常数 20	换挡阀或离合器输出延时(单位 0.1s)
LW2	D_MON	IN	WORD	常数 100	换挡监控时间(单位 0.1s)
LW4	D_SO	IN	WORD	常数 5	换挡抖动起动延时(单位 0.1s)
L6.0	S_hold	IN	BOOL	1(不使用)	主轴停止信号输入,模板程序赋值 SM0.0
L6.1	S_alarm	IN	BOOL	0(不使用)	主轴报警信号输入,模板程序赋值 0
L6.2	LGi	IN	BOOL	M101.0	档位 M41 检测信号 I1.0 输入
L6.3	HGi	IN	BOOL	M101.1	档位 M42 检测信号 I1.1 输入
L6.4	LGo	OUT	BOOL	M103.0	M41 换挡阀或离合器输出 Q1.0 缓冲存储器
L6.5	HGo	OUT	BOOL	M103.1	M42 换挡阀或离合器输出 Q1.1 缓冲存储器
L6.6	LG_in	OUT	BOOL	M127.1	M41 换挡指示,模板程序不使用
L6.7	HG_in	OUT	BOOL	M127.1	M42 换挡指示,模板程序不使用
L7.0	Out_pos	TEMP	BOOL	—	主轴换挡开始
V1400 0063.6	LGv	—	—	—	M41 低档位置记忆
V1400 0063.7	HGv	—	—	—	M42 高档位置记忆
M117.0	LGom	—	—	—	开机初始 M41 输出
M117.1	HGom	—	—	—	开机初始 M42 输出
M117.2	LGcmd	—	—	—	M41 换挡命令
M117.3	HGcmd	—	—	—	M42 换挡命令
M117.4	Dchg	—	—	—	换挡阀或离合器输出启时启动信号
M117.5	Dmon	—	—	—	换挡动作时间监控启动信号
M117.6	Dstill	—	—	—	主轴抖动延时启动信号
M117.7	SPhold	—	—	—	主轴抖动开始信号

子程序 SBR41 (GEAR\_CHG) 大致可分为换挡命令生成、主轴抖动、换挡启/停、结束处理 4 部分, 程序设计如下。

## 2. 换挡命令生成

SBR41 的高低档换挡命令生成程序如图 7.4-7 所示。

程序 Network1 用于开机时的 M41/M42 初始状态输出控制, 它可利用 PLC 开机时的首循环脉冲 SM0.1, 检测并保持初始档位。CNC 开机时, 如局部变量 L6.3 (M42 高档检测信号 I1.1 输入缓冲状态) 为 1, 主轴初始 M42 换挡命令信号 M117.1 将为 1; 如局部变量 L6.2 (M41 低档检测信号 I1.0 输入缓冲状态) 为 1, 则主轴初始 M41 换挡命令信号 M117.0 为 1。Network1 还考虑了开机时主轴“脱档”的情况, 如开机时 M41、M42 检测信号输入 L6.2、L6.3 均为 0, 它仍可根据后述 Network15 中生成的、利用断电保持公共变量 V1400 0063.6、V1400 0063.7 所记忆的状态, 产生主轴初始 M41/M42 输出信号 M117.0/M117.1, 以恢复主轴原档位。

Network2、Network3 用于 CNC 换挡命令处理和高低档指令信号的生成。当 CNC 执行主

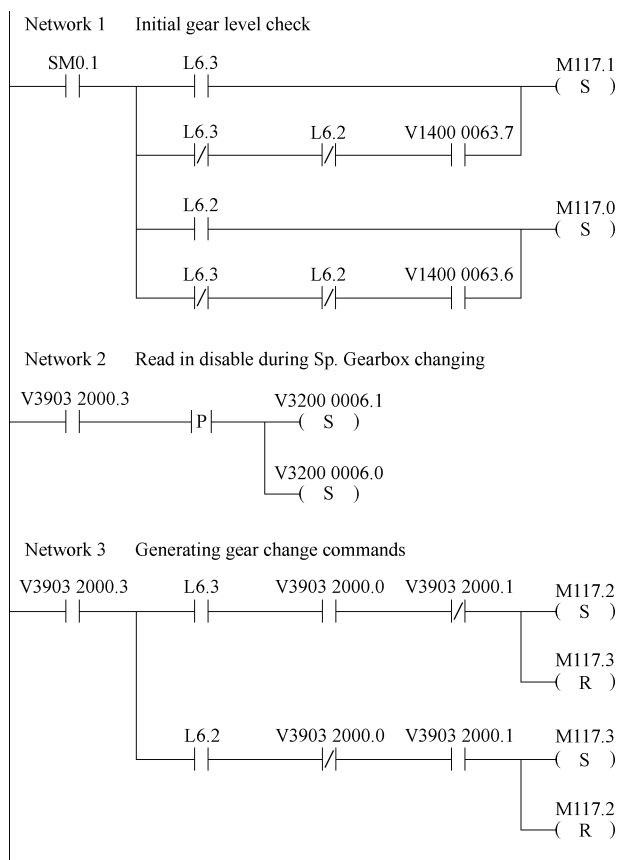


图 7.4-7 换挡命令生成程序

轴换挡指令 M41、M42 或 M40 S□□□时，将向 PLC 发送主轴换挡命令信号 V3903 2000.3 和二进制编码的档位给定信号 V3903 2000.0 ~ V3903 2000.2，此时，可通过 Network2，将 CNC 的进给使能禁止信号 V3200 0006.0 和读入使能禁止信号 V3200 0006.1 置 1，禁止下一程序段的读入和运行，CNC 进入辅助功能执行等待状态。如果现行档位与 CNC 指令要求的档位不符，则可通过 Network3 生成 M41 换挡命令信号 M117.2 或 M42 换挡命令信号 M117.3。

### 3. 主轴抖动

SBR41 的主轴换挡抖动控制程序由主轴停止检测、抖动起动、换挡阀输出、抖动监控等部分组成。主轴停止检测和抖动起动生成程序的设计如图 7-4.8 所示。

程序 Network4 用于主轴停止检测。由于子程序 SBR41 的主轴换挡抖动通过 CNC 进行控制，当 PLC 收到来自 CNC 的主轴换挡命令信号 V3903 2000.3 后，首先需要通过后述的程序 Network7、Network10，利用换挡开始信号 L7.0，向 CNC 发送主轴停止信号 V3803 0004.3，以取消 CNC 的主轴使能和模拟量输出，停止主轴。当主轴停止、来自驱动器的主轴停止输入信号 L6.0 为 1 后，利用标志 M117.6 起动主轴抖动延时定时器 T11，延时到达后，主轴抖动开始标志位 M117.7 置 1。

程序 Network5 用来起动 CNC 主轴换挡抖动。如 Network3 中的 M41 或 M42 换挡命令信

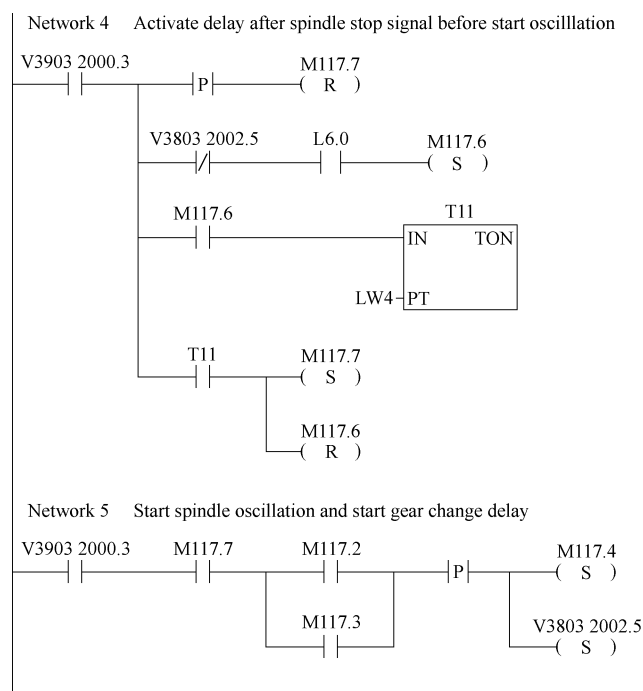


图 7.4-8 主轴停止检测和抖动起动程序

号 M117.2 或 M117.3 为 1，当主轴抖动开始标志位 M117.7 为 1 后，程序中的换挡电磁阀输出延时起动信号 M117.4 将被置 1；同时，PLC 将向 CNC 发送主轴换挡抖动起动信号 V3803 2002.5，使 CNC 按照机床参数设定的要求，输出主轴抖动间隙正反转模拟量、控制主轴抖动。由于 CNC 换挡抖动在抖动方式选择信号 V3803 2002.4 为 0 时生效，因此，程序中可不进行信号 V3803 2002.4 的处理（保持 0 状态）。

SBR41 的主轴换挡阀输出和抖动监控程序设计如图 7.4-9 所示。

程序中的定时器 T14 用于换挡阀输出延时控制。当 PLC 向 CNC 发送换挡抖动起动信号 V3803 2002.5、起动主轴抖动后，电磁阀输出延时起动信号 M117.4 经 T14 的延时（模板程序中设定 2s），PLC 将输出 M41 或 M42 换挡电磁阀接通信号 M117.0 或 M117.1，控制滑移齿轮或离合器动作，并将标志位 M117.5 置 1，起动换挡动作时间监控功能。

换挡动作时间监控信号 M117.5 为 1 后，如滑移齿轮或离合器在 T15 的监控时间内（模板程序中设定 10s）完成换挡，则可通过后述的程序 Network7，复位监控信号 M117.5，结束换挡动作；如在监控时间内不能完成换挡，表明齿轮或离合器可能“顶齿”，此时，程序将通过交换 M41 和 M42 的阀输出状态、退出换挡齿轮，然后，将电磁阀输出延时起动信号 M117.4 重新置 1，再次执行换挡动作。

#### 4. 换挡起/停

SBR41 的主轴换挡起动/停止控制程序如图 7.4-10 所示。

程序 Network7 用于换挡起动和停止控制。程序中的 L7.0 为换挡开始信号，它在 CNC 换挡命令信号和实际档位不符时置 1。换挡开始时，可通过 Network10，利用 L7.0 的上升沿，向 CNC 发送主轴停止信号 V3803 0004.3，以取消 CNC 的主轴使能和模拟量输出，停止主



轴。换档完成后，则可通过 L7.0 的下降沿，撤销 CNC 的主轴停止信号 V3803 0004.3，恢复主轴正常工作状态。当 PLC 的 M41 或 M42 换档电磁阀接通信号输出后，如在 T15 的监控时间内完成了换档，Network5 可复位换档动作监控信号 M117.5，以结束换档动作。

程序 Network8 用于急停处理，当 CNC 急停时，可通过主轴复位信号 V3803 0002.2，撤销主轴换档动作。

程序 Network9 用于换档完成处理，当 CNC 指令档位和实际档位一致时，可撤销主轴抖动信号 V3803 2002.5，发送换档完成信号 V3803 2000.3；同时，撤销 CNC 的读入禁止、进给使能禁止信号，结束主轴换档动作。

程序 Network10 用于主轴停止控制，主轴换档开始或驱动器报警（L6.1 = 1）时，可通过主轴停止信号 V3803 0004.3 取消 CNC 的主轴使能和模拟量输出，停止主轴。

### 5. 结束处理

SBR41 的换档结束处理程序包括实际档位信号传送、状态信号输出两部分。

实际档位信号传送程序如图 7.4-11 所示。Network11、Network12 可分别将 M41、M42 的档位检测信号输入 L6.2、L6.3 转换为 CNC 所要求的实际档位输入二进制编码信号 V3800 0000.0 ~ V3800 0000.2。

SBR41 的状态信号输出程序如图 7.4-12 所示，它可生成 M41/M42 状态指示信号、开机初始档位记忆信号及 M41/M42 电磁阀或离合器接通控制信号。

Network13/Network14 用于 M41/M42 状态指示信号的生成，信号在模板程序中实际未使用。如果需要，用户可通过对子程序 SBR41 输出变量 L6.6/L6.7 的赋值，来控制 M41/M42 指示灯等。

M41/M42 状态指示信号带有闪烁指示功能，程序中的 SM0.5 为 PLC 系统特殊标志位，该信号为周期为 1s 的脉冲。因此，在主轴换档时，如 PLC 输出 M41 或 M42 换档电磁阀接通信号后，指令档位未到达（L6.2 或 L6.3 为 0）；或者，主轴驱动器出现报警，且 L6.1 = 1 时，L6.6 或 L6.7 将输出周期为 1s 的闪烁信号。

Network15 用于 M41/M42 状态记忆信号的生成，信号用于 Network1 的主轴初始 M41/M42 输出信号 M117.0/M117.1 的控制。由于 M41/M42 状态记忆信号使用了断电保持公共变量 V1400 0063.6/V1400 0063.7，因此，即使开机时出现主轴“脱档”的情况，它仍可生成初始档位信号，恢复主轴原档位。

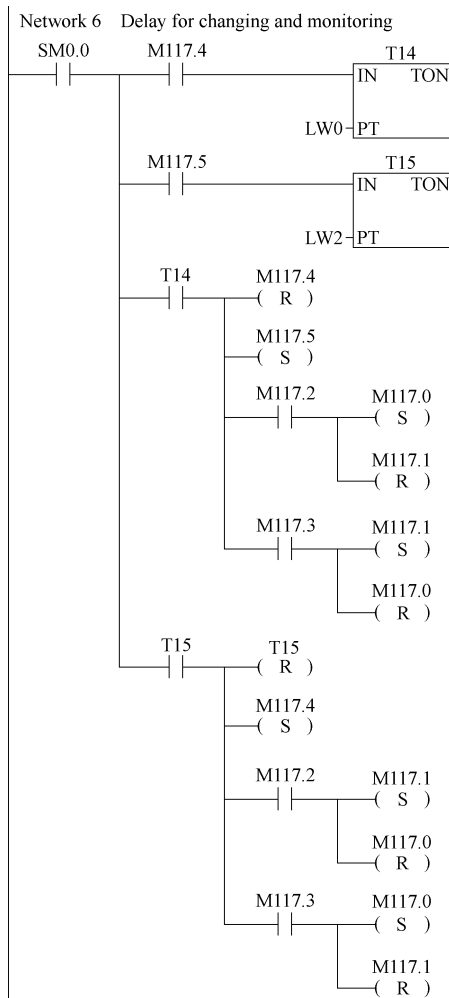


图 7.4-9 换档阀输出和抖动监控程序

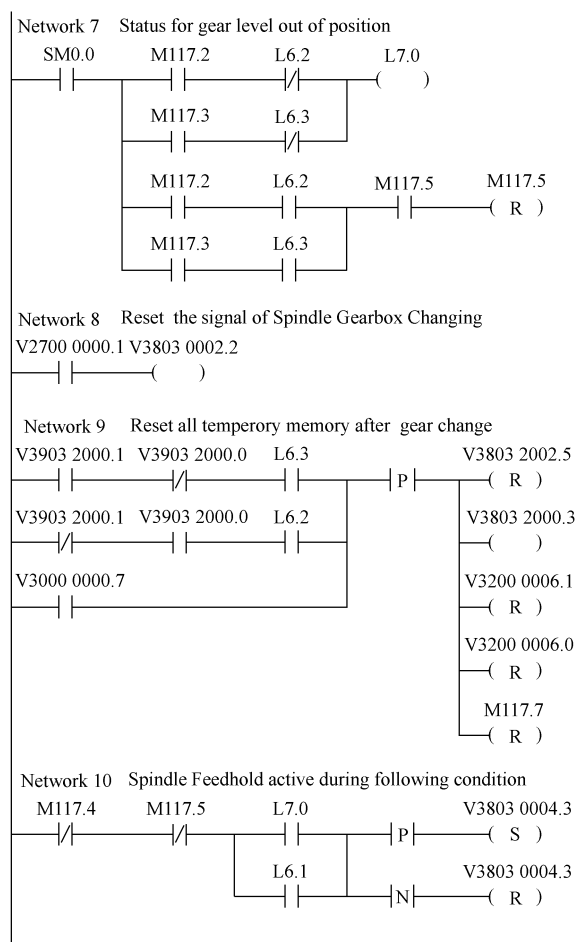


图 7.4-10 换挡启动/停止控制程序

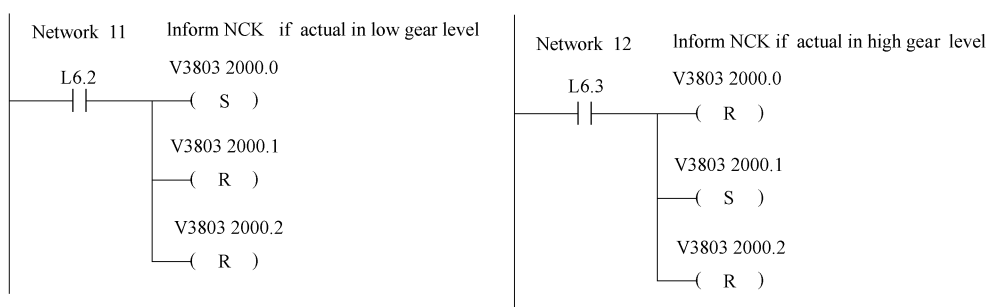


图 7.4-11 实际档位信号传送程序

Network16 用于 M41/M42 换挡电磁阀或离合器接通信号的输出，它可将本程序中的 M41/M42 输出控制信号 M117.0/M117.1 通过子程序调用指令对变量 L6.4/L6.5 的赋值，控制所需要的 PLC 换挡电磁阀或离合器输出。

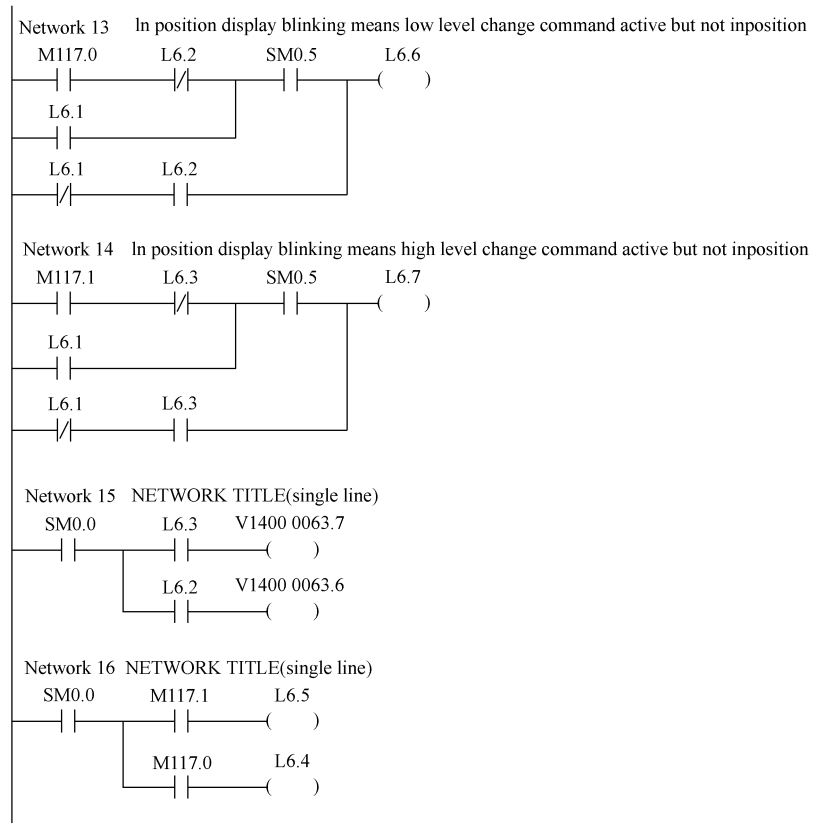


图 7.4-12 状态信号输出程序



# 第 8 章

## 数控车床换刀程序典例

### 8.1 电动刀架控制程序

#### 8.1.1 程序设计要求

##### 1. 结构特点

电动刀架具有结构简单、控制容易、价格低廉等特点，它是图 8.1-1 所示的平床身国产普及型数控车床使用最为广泛、最简单的车床自动换刀装置。

电动刀架一般由专业厂家生产，产品有立式、卧式两种结构形式，可安装的刀具数量一般为 4~6 把，并以图 8.1-1b 所示的立式 4 刀位电动刀架为常用。



图 8.1-1 普及型数控车床与刀架

电动刀架的结构简单、控制容易、配套方便、价格低廉，但可安装的刀具数量少，且只能装夹方柄车刀，此外，刀架的定位精度较低，刀架只能进行单向回转选刀，换刀时间较长，因此，通常不用于全功能型数控车床。

虽然，国内生产电动刀架的厂家较多，但其内部结构与原理基本一致。刀架由底座、刀架体、驱动电动机、蜗轮蜗杆、螺纹升降机构、端面齿牙盘和刀位检测装置等部件组成，车刀通过刀架体上部的固定螺钉夹紧于刀架体上，刀架定位利用端面齿牙盘实现。电动机正转时，刀架体可在蜗轮蜗杆的带动下，通过螺纹升降机构抬起、端面齿牙盘脱开，并回转换



刀。电动机反转时，刀架体的螺纹升降机构将带动刀架进行粗定位并落下，端面齿牙盘啮合、刀架夹紧。刀架的刀位检测一般使用霍尔元件，每一刀位都有独立的检测信号。

有关电动刀架的内部结构和原理可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》（机械工业出版社出版）。

## 2. 换刀过程

电动刀架的换刀一般直接通过 CNC 的辅助功能指令 T 进行控制，其换刀动作如下。

1) 刀架抬起。当 CNC 执行换刀指令 T 时，如现行刀位与 T 指令要求的位置不符，PLC 应输出刀架正转信号，控制刀架电动机起动并正转，使刀架体向上抬起，脱开端面齿牙盘，松开刀架。

2) 刀架转位。当刀架体抬到一定位置、端面齿牙盘被完全脱开后，刀架上的转位销将插入螺纹升降机构中，使刀架体和螺纹升降机构啮合，电动机的转动将带动刀架体转位，进行刀具交换。

3) 刀架定位。刀架体转动时，将带动刀位检测的霍尔元件发信磁体转动，当发信磁体转到指定刀位时，PLC 应撤销刀架正转信号，输出刀架反转信号，使刀架电动机反转。电动机反转时，刀架体将粗定位并落下。由于电动刀架的回转存在惯性，到位检测信号的发信范围较窄，因此，刀架从回转到位、正转停止到反转锁紧的过程中，刀位检测信号的状态一般存在 1→0→1 间断变化。

4) 刀架锁紧。随着电动机反转的继续，刀架体的端面齿牙盘将与底座啮合并锁紧，电动机被堵转停止，PLC 经过一定的延时后，撤销刀架反转信号，结束换刀动作。

## 3. PLC 程序设计要求

车削类数控机床的自动换刀可直接通过 CNC 加工程序中的 T 代码指令起动，因此，数控车床加工程序中的辅助功能代码 T 兼有指定刀号、起动换刀、指定刀具补偿号等多方面的作用，这一点与加工中心有所不同。

根据电动刀架的结构特点和 802S/C/D 的辅助机能指令 T 的执行要求，可得到配套 4 刀位电动刀架的普及型数控车床的自动换刀 PLC 程序设计要求如图 8.1-2 所示。

在 802S/C/D 上，根据子程序库和模板程序的要求，用于数控车床电动刀架控制的主要信号以及它们在 PLC 程序中的编程地址、作用与功能如表 8.1-1 所示。

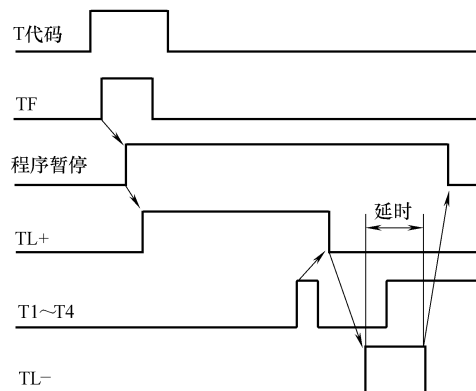


图 8.1-2 电动刀架的 PLC 程序设计要求

表 8.1-1 电动刀架控制信号一览表

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
CNC 用户数据设定及报警输出信号	VW4500 0032	机床类型	用户数据 MD14510[16] 设定,0:车床;1:铣床
	VW4500 0040	刀架最大刀位数	用户数据 MD14510[20] 设定值
	V4500 1011.7	电动刀架有效	用户数据 MD14512[21] bit7 设定,1:电动刀架有效
	MW90	反转锁紧时间	经 SBR31 处理后的用户数据 MD14510[22] 设定值
	MW92	最大选刀时间	经 SBR31 处理后的用户数据 MD14510[21] 设定值



(续)

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
CNC 用户数据设定及报警输出信号	V1600 0002. 7	报警 700023	报警 700023;编程刀具号大于刀架最大刀位数
	V1600 0003. 0	报警 700024	报警 700024;在监控时间内未找到目标刀具
	V1600 0003. 1	报警 700025	报警 700025;刀架无位置检测信号
CNC 及通道 I/O 信号	V2500 0001. 4	TF	来自 CNC 的 T 修改信号
	VD2500 2000	T 代码输出	来自 CNC 的 32 位二进制 T 代码信号
	V2700 0000. 1	CNC 急停	来自 CNC 的急停状态信号
	V3100 0002. 2	JOG 方式	来自 CNC 的 JOG 操作方式信号
	V3200 0006. 0	进给使能禁止	输出至 CNC 的通道进给使能禁止信号
	V3200 0006. 1	读入使能禁止	输出至 CNC 的通道读入使能禁止信号
MCP 面板 I/O 信号	V10000 000. 3	MCP-K4 键	MCP K4 键输入,定义为手动换刀键
	V1000 0003. 0	MCP-NC 复位键	MCP NC 复位键输入
	V11000 000. 3	MCP-K4 键指示灯	MCP K4 键指示灯输出
机床 I/O 信号	M101. 0	刀位 1 检测输入	PLC 输入 I1. 0,经 SBR62 处理后的结果(见第 5 章)
	M101. 1	刀位 2 检测输入	PLC 输入 I1. 1,经 SBR62 处理后的结果(见第 5 章)
	M101. 2	刀位 3 检测输入	PLC 输入 I1. 2,经 SBR62 处理后的结果(见第 5 章)
	M101. 3	刀位 4 检测输入	PLC 输入 I1. 3,经 SBR62 处理后的结果(见第 5 章)
	M101. 4	刀位 5 检测输入	PLC 输入 I1. 4,经 SBR62 处理后的结果(见第 5 章)
	M101. 5	刀位 6 检测输入	PLC 输入 I1. 6,经 SBR62 处理后的结果(见第 5 章)
	M102. 4	刀架正转输出	PLC 输出 Q0. 4,状态由 SBR62 输出(见第 5 章)
	M102. 5	刀架反转输出	PLC 输出 Q0. 5,状态由 SBR62 输出(见第 5 章)

### 8.1.2 刀架控制程序典例

802S/C/D 子程序库提供了电动刀架控制的 PLC 子程序 SBR46 (TURRET1), 该程序的说明在后文介绍。由于 SBR46 的设计方法较特殊, 可能给程序阅读、理解、调试等带来不便, 在实际机床上可进行重新设计。以下是根据电动刀架控制要求设计的 PLC 子程序实例, 使用时可根据需要定义一个子程序号 (如 SBR11 等), 并在主程序中予以调用。

子程序 SBR11 的电动刀架 I/O 信号连接、CNC 用户数据设定要求, 以及程序中所使用的编程元件标志寄存器、定时器等基本与 SBR46 相同, 使用时可直接替代 SBR46。子程序 SBR11 分为刀号转换、T 代码换刀控制、手动换刀控制、刀架锁紧和监控、输出处理等部分, 程序设计如下。

#### 1. 编程元件定义

子程序 SBR11 的局部变量定义、调用时的变量赋值要求及子程序所占用的标志寄存器、定时器等编程元件含义如表 8.1-2 所示, 除局部变量 I8.1、LD20、M112.6、M112.7、M113.1 的含义稍有不同外, 其他编程元件的含义均与原 SBR46 (TURRET1) 一致。

表 8.1-2 SBR11 编程元件定义表

局部变量与标志寄存器			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	Tmax	IN	WORD	VW4500 0040	刀架刀位数,用户数据 MD14510[20]设定
LW2	C_time	IN	WORD	MW90	反转锁紧时间,见表 8.1-1
LW4	M_time	IN	WORD	MW92	最大选刀时间,见表 8.1-1
L6.0	T_KEY	IN	BOOL	V1000 0000.3	手动换刀键,MCPK4 键
L6.1	T_01	IN	BOOL	M101.0	刀位 1 检测信号 I1.0,见表 8.1-1
L6.2	T_02	IN	BOOL	M101.1	刀位 2 检测信号 I1.1,见表 8.1-1
L6.3	T_03	IN	BOOL	M101.2	刀位 3 检测信号 I1.2,见表 8.1-1
L6.4	T_04	IN	BOOL	M101.3	刀位 4 检测信号 I1.3,见表 8.1-1
L6.5	T_05	IN	BOOL	M101.4	刀位 5 检测信号 I1.4,见表 8.1-1
L6.6	T_06	IN	BOOL	M101.5	刀位 6 检测信号 I1.5,见表 8.1-1
L6.7/7.0	NODEF	IN	BOOL	—	不使用
L7.1	OVLoad	IN	BOOL	I 或 M	刀架电动机过载输入,常闭触点
L7.2	T_CW	OUT	BOOL	M102.4	刀架正转输出 Q0.4,见表 8.1-1
L7.3	T_CCW	OUT	BOOL	M102.5	刀架反转输出 Q0.5,见表 8.1-1
L7.4	T_LED	OUT	BOOL	V1100 0000.3	MCP 手动换刀键 K4 指示灯
L7.5	ERR1	OUT	BOOL	V1600 0003.1	报警 700025,见表 8.1-1
L7.6	ERR2	OUT	BOOL	V1600 0002.7	报警 700023,见表 8.1-1
L7.7	ERR3	OUT	BOOL	V1600 0003.0	报警 700024,见表 8.1-1
L8.0	ERR4	OUT	BOOL	Q、M 或 V	刀架电动机过载报警信号
L8.1	T_still	TEMP	BOOL	—	刀架停止
LD12	T_DW_C	TEMP	DWORD	—	32 位二进制编码的实际刀位
LD16	TmaxDW	TEMP	DWORD	—	32 位二进制编码的最大刀号
LD20	T_NC	TEMP	DWORD	—	32 位二进制编码的 CNC 指令刀号
M112.0	T_CWm	—	—	—	刀架正转指令
M112.1	T_CCWm	—	—	—	刀架反转指令
M112.6	Tp_eq_0	—	—	—	编程刀号为 0
M112.7	Tp_eq_Tc	—	—	—	编程刀号和实际刀位一致
M113.1	Tch_ST	—	—	—	T 代码换刀起动

## 2. 刀号转换程序

刀号转换程序 Network1 的设计如图 8.1-3 所示,程序用于最大编程刀号设定值、刀位检测输入信号的格式转换,并可在刀架停止位置不正确时,产生报警“ALM 700025:刀架无位置检测信号”。

Network1 的第 1 行通过 32 位累加器 AC0 的数据读入和输出移动操作,可将 CNC 用户数

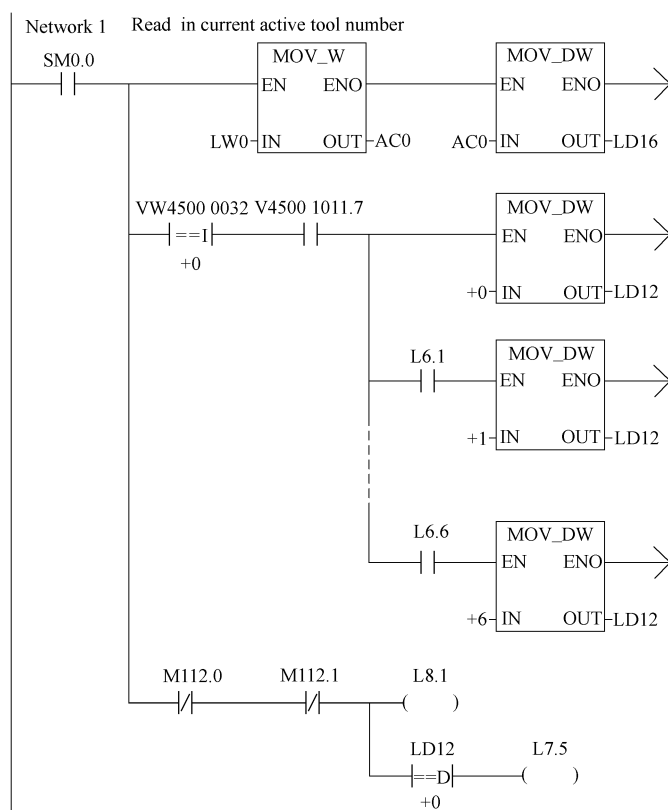


图 8.1-3 刀号转换程序

据 MD14510 [20] 上以 16 位二进制格式设定的刀架刀位数转换为 32 位二进制格式的数据，并保存到局部变量 LD16 上。

Network1 的后续部分，可在 CNC 用户数据 MD14510 [16] 设定为 0（机床类型为车床）、MD14512 [11] bit7 设定 1（电动刀架有效）时，将变量 L6.1 ~ L6.6 输入的刀位检测信号转换为 32 位二进制格式的数值数据，并保存到局部变量 LD12 上。如果刀架停止、M112.0 和 M112.1 为 0 时，刀架无位置检测信号输入，LD12 的值将为 0；此时，通过子程序的变量 L7.5 输出，可使 CNC 的报警变量 V1600 0003.1 为 1，CNC 将显示报警“ALM 700025：刀架无位置检测信号”。

### 3. T 代码换刀控制

数控车床可通过 T 代码指令直接进行换刀。利用 T 代码控制刀架自动换刀的程序 Network2 设计如图 8.1-4 所示，在 802 不同系列产品上，程序中 T 代码修改信号 TF 的编程地址有所区别，如 802S/C 为 V2500 0001.4，802D 为 V2500 0008.1 等，这点在程序设计时需要引起注意。

Network2 的前面部分用于编程 T 代码的读入和判断。当来自 CNC 的 T 代码修改信号 TF 为 1 时，程序可将 CNC 编程的 32 位二进制 T 代码刀号输出读入到 LD20 上。如 LD20 大于刀架刀位数设定值 LD16，通过子程序的输出变量 L7.6 可使 CNC 的报警变量 V1600 0002.7 为 1，CNC 将显示报警“ALM 700023：编程刀具号大于刀架最大刀位数”，L7.6

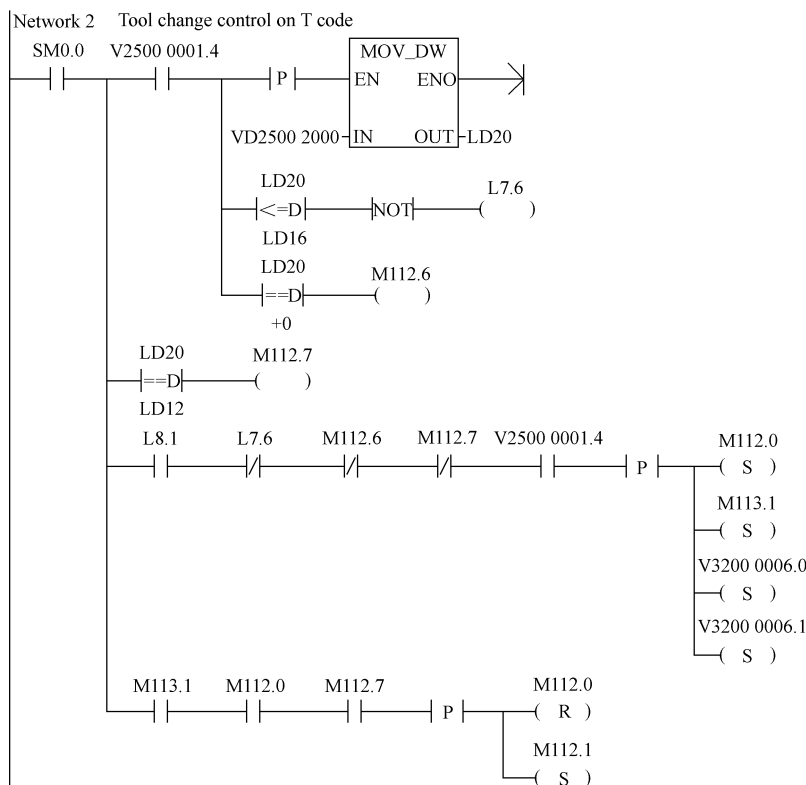


图 8.1-4 T 代码换刀控制程序

可同时禁止刀架回转信号 M112.0。如编程刀号 LD20 为 0，或者 LD20 与当前实际刀位 LD12 的值一致，则可分别通过信号 M112.6 或 M112.7，禁止刀架回转信号 M112.0，无需进行换刀动作。

Network2 的后面部分用于刀架回转和反转锁紧控制。当 T 代码修改信号 TF 为 1、编程刀号正确且刀架需要回转换刀时，刀架正转信号 M112.0 和 T 代码自动换刀起动信号 M113.1 将被置 1，信号 M112.0 可通过后述的程序，输出刀架正转信号 Q0.4；信号 M113.1 用于后述程序中的最大选刀时间监控等。刀架回转换刀时，应将 CNC 的进给使能禁止信号 V3200 0006.0 和读入使能禁止信号 V3200 0006.1 置为 1，以禁止下一程序段的读入和进给，使 CNC 进入辅助功能执行等待状态。

由于 CNC 编程 T 代码 LD20 和实际刀位 LD12 的一致判别指令始终有效，因此，只要编程的刀位到达，信号 M112.7 即可为 1。此时，可复位刀架回转信号 M112.0，将刀架反转锁紧信号 M112.1 置 1。信号 M112.1 可通过后述的程序，输出刀架反转信号 Q0.5，使得刀架反转锁紧。

#### 4. 手动换刀、反转锁紧及选刀时间监控

电动刀架的手动换刀、反转锁紧及最大选刀时间监控程序设计如图 8.1-5 所示。

程序 Network3 用于手动换刀控制，它在 CNC 选择 JOG 操作方式且 V3100 0000.2 = 1 时有效。手动换刀可通过 MCP 上的 K4 按键输入信号 L6.0 的上升沿，直接将刀架正转信号 M112.0 置 1，起刀架回转；按键松开时，L6.0 的下降沿将清除刀架正转信号 M112.0，并

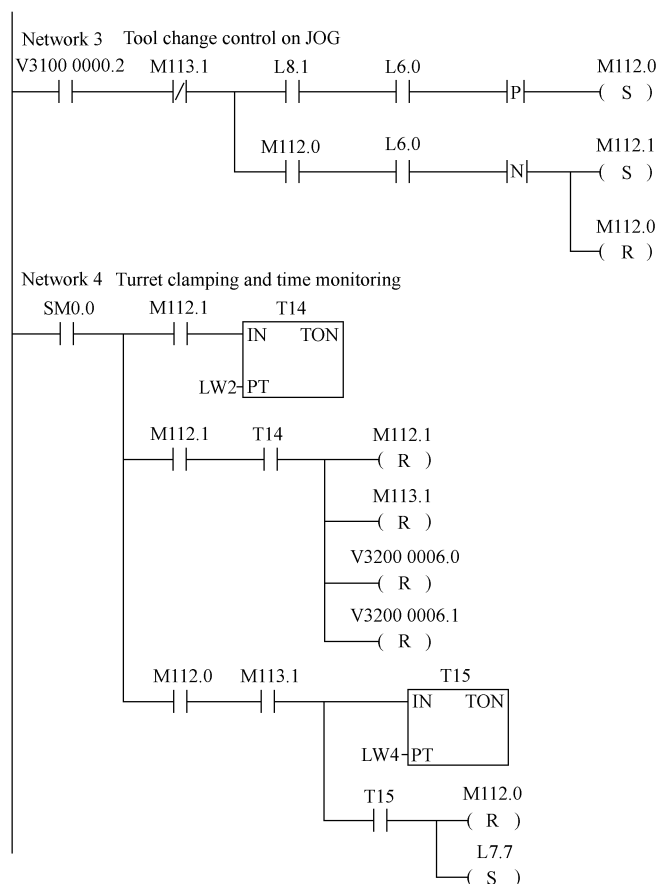


图 8.1-5 手动换刀、反转锁紧及最大选刀时间监控程序设计

将反转锁紧信号 M112.1 置 1，使刀架反转锁紧。本程序中的手动换刀不受回转时间和刀位数的限制，如 K4 键一直保持为 1，刀架可持续回转。

程序 Network4 用于反转锁紧及最大选刀时间监控。无论 T 代码换刀，还是手动换刀，只要刀架反转锁紧信号 M112.1 为 1，均将起动反转锁紧定时器 T14。一旦 T14 到达 CNC 用户数据 MD14510 [22] 所设定的反转锁紧时间 LW2，便可复位刀架反转信号 M112.1、T 代码换刀起动信号 M113.1、进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1，结束辅助功能 T 的执行。

最大选刀时间监控仅对 T 代码自动换刀方式有效。当 T 代码换刀起动信号 M113.1 为 1 时，可通过刀架正转信号 M112.0，起动最大选刀时间监控定时器 T15。如信号 M112.0 的保持时间超过了 CNC 用户数据 MD14510 [21] 所设定的最大选刀时间 LW4，刀架正转信号 M112.0 将被复位，刀架停止旋转。与此同时，子程序输出变量 L7.7 将被置 1，使 CNC 的报警变量 V1600 0003.0 为 1，CNC 显示报警“ALM 700024：在监控时间内未找到目标刀具”。

## 5. 输出处理

电动刀架的控制信号输出处理程序设计如图 8.1-6 所示。

刀架的换刀动作可随时通过 MCP 上的 NC 复位按键 V1000 0003.0 中断。NC 复位时，可

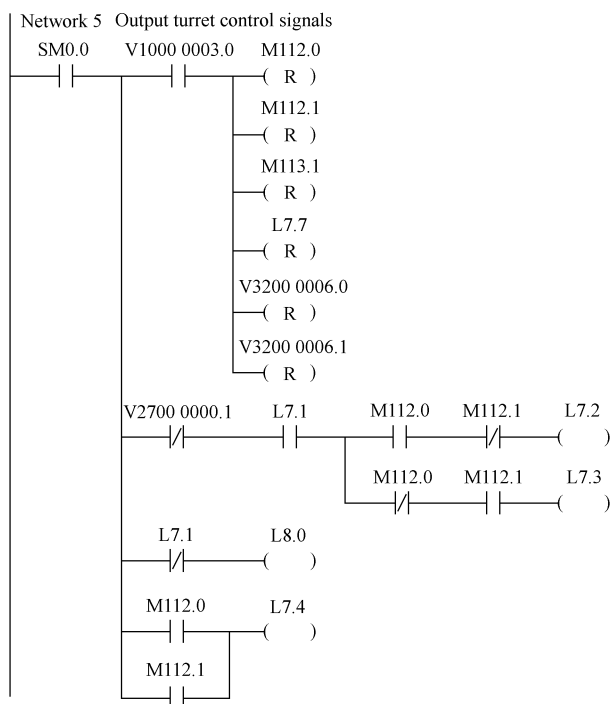


图 8.1-6 电动刀架控制信号输出处理程序

直接清除刀架正转信号 M112.0、反转信号 M112.1、T 代码换刀起动信号 M113.1，复位进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1 和报警信号 L7.7，结束换刀动作。

Network5 中的 V2700 0000.1 为 CNC 急停生效状态信号，L7.1 为刀架电动机过载常闭触点输入，L7.2/L7.3 为刀架正/反转控制信号 M102.4/M102.5 的输出变量；M102.4/M102.5 可通过第 5 章的用户初始化程序 SBR62，直接控制刀架电动机的正反转 PLC 输出 Q0.4/Q0.5。正常情况下，M102.4/M102.5 由上述程序中的刀架正/反转信号 M112.0/M112.1 控制。但是，如 CNC 急停信号 V2700 0000.1 为 1，或刀架电动机过载信号 L7.1 为 0，刀架正反转信号的输出将被直接禁止。

Network5 中的变量 L8.0 可用于刀架电动机过载报警指示灯输出，或利用 CNC 的报警变量，设置一个模板程序未使用的 CNC 报警；输出变量 L7.4 为 MCP 按键 K4 的指示灯输出信号，可用作刀架运行状态指示。

### 8.1.3 SBR46 子程序说明

在 802S/C/D 子程序库提供了电动刀架控制的 PLC 子程序 SBR46 (TURRET1)。由于设计人员的不同，该程序采用了不同于其他子程序的设计方式，为方便维修人员参考，一并介绍如下。

SBR46 (TURRET1) 大致可分为初始化处理、出错处理、刀架正反转和定时控制 4 部分，程序中的编程元件定义基本与表 8.1-2 相同，存在区别的编程元件将在下述程序介绍中分别予以说明。





1. 初始化处理

子程序 SBR46 的初始化处理程序 Network1 的设计如图 8.1-7 所示。

Network1 可在 SBR46 调用时，首先通过 32 位累加器 AC0 的数据读入和输出移动操作，将 CNC 用户数据 MD14510 [20] 上以 16 位二进制格式设定的刀架刀位数转换为 32 位二进制格式的数据，并保存到局部变量 LD16 上。随后，将子程序全部输出变量 L7.2 ~ L8.0 的状态复位为 0，以避免出现错误输出。

2. 出错处理

子程序 SBR46 的出错处理程序由 Network2 ~ Network5 组成，程序的设计和作用分别如下。

Network2 的设计如图 8.1-8 所示，该程序用于刀架换刀超时和刀架电动机过载报警的处理。

当刀架正转选刀时间超过 CNC 用户数据 MD14510 [21] 所设定的最大选刀时间时，后述程序 Network8 中的换刀超时信号 M113.0 将为 1，输出变量 L7.7 将使 CNC 报警变量 V1600 0003.0 置 1，CNC 显示报警“ALM 700024：在监控时间内未找到目标刀具”。如刀架电动机出现过载，输入变量 L7.1 = 0，则可利用输出变量 L8.0 产生刀架电动机过载报警信号，或利用 CNC 的报警变量设置一个模板程序未使用的 CNC 报警。

CNC 的换刀超时报警可直接通过 MCP 上的 NC 复位键清除，NC 复位键输入 V1000 0003.0 为 1 时，可同时复位 CNC 的进给使能禁止信号 V3200 0006.0 和换刀超时报警信号 M113.0，清除 CNC 的换刀超时报警。

Network3 用于实际刀位检测信号的格式转换和刀架停止位置不正确时的报警处理，其程序设计如图 8.1-9 所示。

刀位检测信号格式转换程序可将变量 L6.1 ~ L7.0 输入的刀位检测信号 T01 ~ T08 转换为 32 位二进制格式的数值数据，并保存到局部变量 LD12 上。如无刀位检测信号输入，则 LD12 保持为 0。转换程序可根据 CNC 用户数据 MD14510 [20] 上的刀架刀位数设定，选择需要转换的实际刀位检测信号。例如，当 MD14510 [20] 设定为 4 时，程序

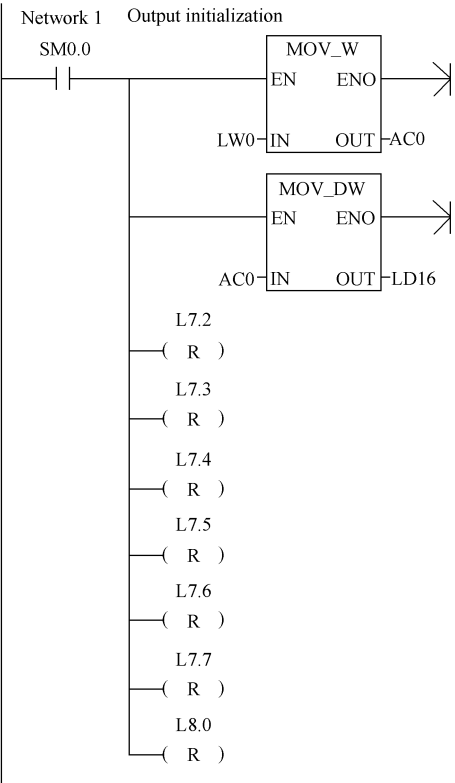


图 8.1-7 初始化处理程序

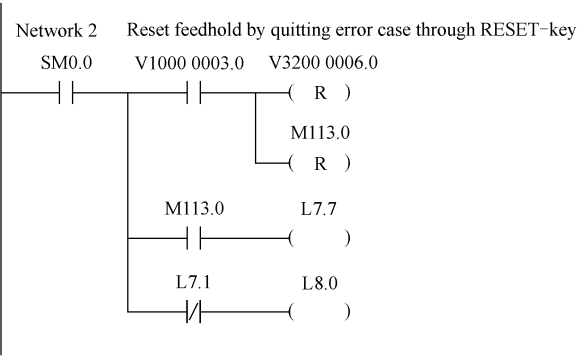


图 8.1-8 程序 Network2 设计



只进行变量 L6.1 ~ L6.4 (T01 ~ T04) 的转换; 当 MD14510 [20] 设定为 6 或 8 时, 则分别可进行 L6.1 ~ L6.6 (T01 ~ T06) 或 L6.1 ~ L7.0 (T01 ~ T08) 的转换。在模板程序中, 刀位检测信号 T01 ~ T06 的输入变量 L6.1 ~ L6.6 按表 8.1-2 进行赋值, 但 T07、T08 的输入变量 L6.7、L7.0 的赋值为状态 0, 因此, 当使用 8 刀位电动刀架时, 需要在主程序 OB1 的 SBR46 调用指令上对输入变量 L6.7 和 L7.0 进行相应的赋值。

程序中的 M112.0、M112.1 为后述程序所生成的刀架正反转指令信号, SBR46 的 L20.0 被定义为刀架停止状态信号。当刀架停止、L20.0 为 0 时, 如无刀位检测信号输入、LD12 为 0, 则可通过变量 L7.5 的输出, 使 CNC 的报警变量 V1600 0003.1 为 1, CNC 将显示报警

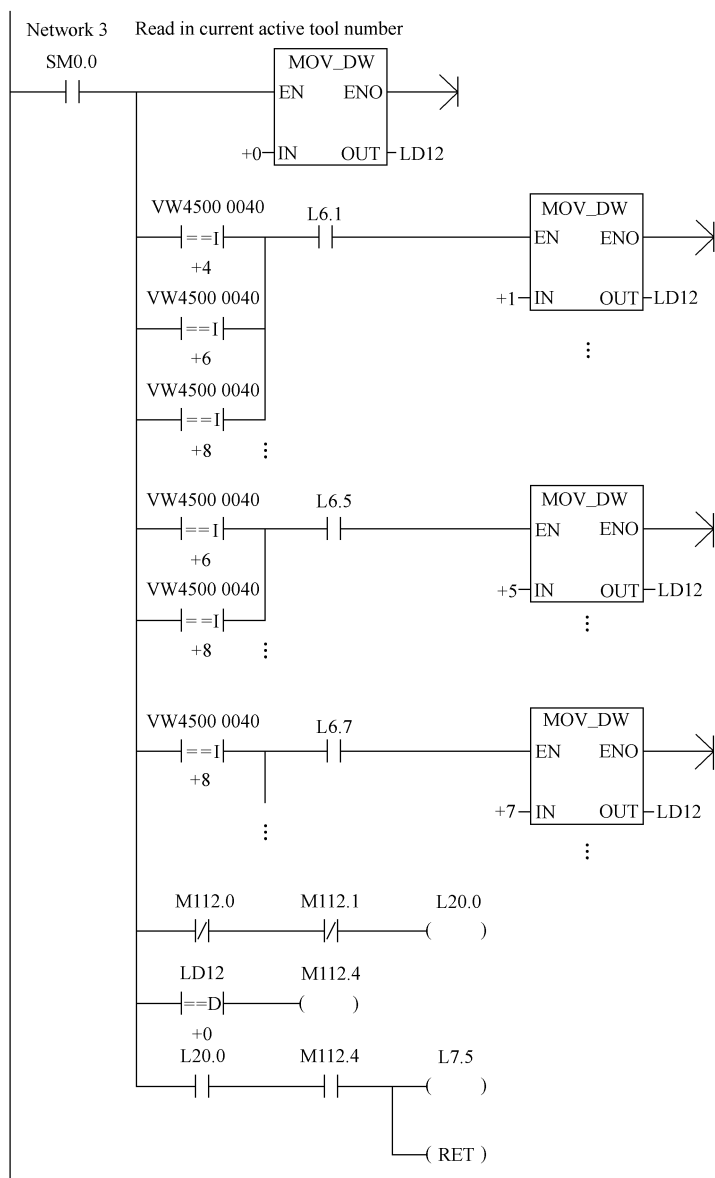


图 8.1-9 程序 Network3 的设计



“ALM 700025：刀架无位置检测信号”。同时，将直接生效子程序返回指令 RET，结束 SBR46 的执行过程。

Network4、Network5 用于 CNC 急停、换刀超时、刀架电动机过载、编程刀号超过实际刀位数等报警的处理，其程序设计如图 8.1-10 所示。

Network4 可在 CNC 急停（V2700 0000.1 = 1）、换刀超时（M113.0 = 1）、刀架电动机过载（L7.1 = 0）及程序测试运行（V3300 0001.7 = 1）时，复位全部刀架控制信号，并直接结束 SBR46 的执行过程。

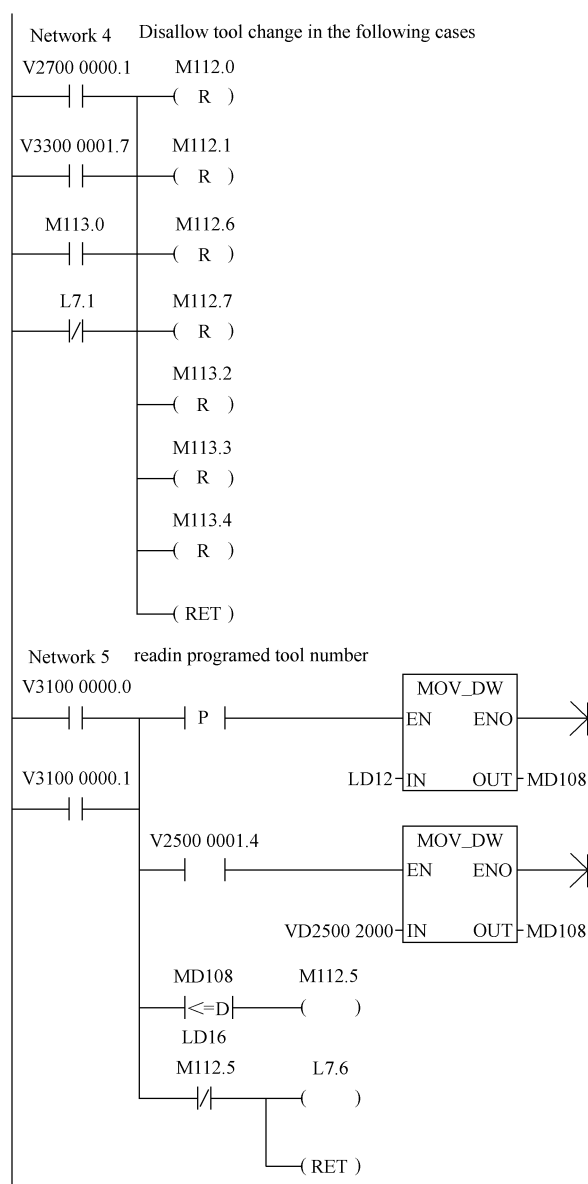


图 8.1-10 程序 Network4、5 的设计

Network5 用于编程刀号的读入和判别。SBR46 的 T 代码换刀只能在 AUTO 方式 (V3100 0000.0 = 1) 或 MDA 方式 (V3100 0000.1 = 1) 进行, CNC 执行 T 代码指令时, 可利用 TF 信号 V2500 0001.4 将 CNC 输出的 32 位 T 代码读入到标志寄存器 MD108 上。如 MD108 大于刀架刀位数设定值 LD16, 则 M112.5 为 0, 通过子程序的变量 L7.6 输出可使 CNC 的报警变量 V16000002.7 为 1, CNC 将显示报警 “ALM 700023: 编程刀具号大于刀架最大刀位数”, 并直接结束 SBR46 的执行过程。

### 3. 刀架正反转

SBR46 的刀架正反转的控制程序包括手动换刀控制和 T 代码自动换刀控制 2 部分。

手动换刀控制程序 Network6 的设计如图 8.1-11 所示, 每次操作手动换刀键, 可使刀架回转 1 个刀位。Network6 可在 CNC 选择 JOG 操作方式 (V3100 0000.2 = 1) 且刀架停止 (L20.0 = 1) 时, 通过 MCP 上的 K4 按键输入信号 L6.0, 将手动换刀起动信号 M113.3 置 1, M113.3 的上升沿可使刀架正转信号 M112.0 置 1, 起动刀架回转。同时, 可通过 CNC 进给使能禁止信号 V3200 0006.0 禁止轴运动。

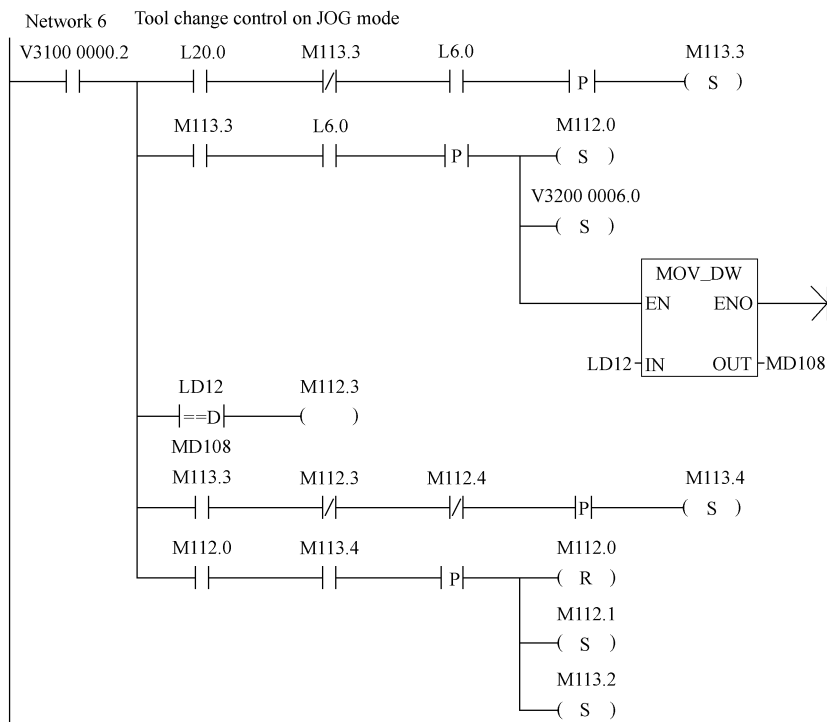


图 8.1-11 手动换刀控制程序

SBR46 的每次手动换刀只能回转 1 个刀位。在刀架起动的瞬间, M113.3 的上升沿可将回转开始时的现行刀位 LD12 写入到 MD108 中, 使 M112.3 状态为 1, 以禁止反转锁紧信号 M113.4 置 1。当刀架回转 to 下一刀位时, M112.3 以及 Network3 中的 M112.4 状态将同时为 0, 反转锁紧起动信号 M113.4 被置 1。M113.4 的上升沿可复位正转信号 M112.0, 并将刀架反转信号 M112.1 和反转状态指示信号 M113.2 置 1, 起动刀架反转锁紧。

T 代码自动换刀控制程序 Network7 的设计如图 8.1-12 所示。SBR46 的 T 代码换刀只能



在 CNC 选择 AUTO (V3100 0000.0 = 1) 或 MDA (V3100 0000.1 = 1) 方式时进行, 当 CNC 执行 T 代码指令, T 代码修改信号 TF (V2500 0001.4) 输出 1 时, 如 Network5 所读入的编程刀号 MD108 不为 0, 且 MD108 与现行刀位 LD12 不一致, 则 M112.6、M112.7 的状态为 1, 刀架正转信号 M112.0 被置 1, 刀架回转起动。同时, 可通过 CNC 进给使能禁止信号 V3200 0006.0 禁止轴运动。

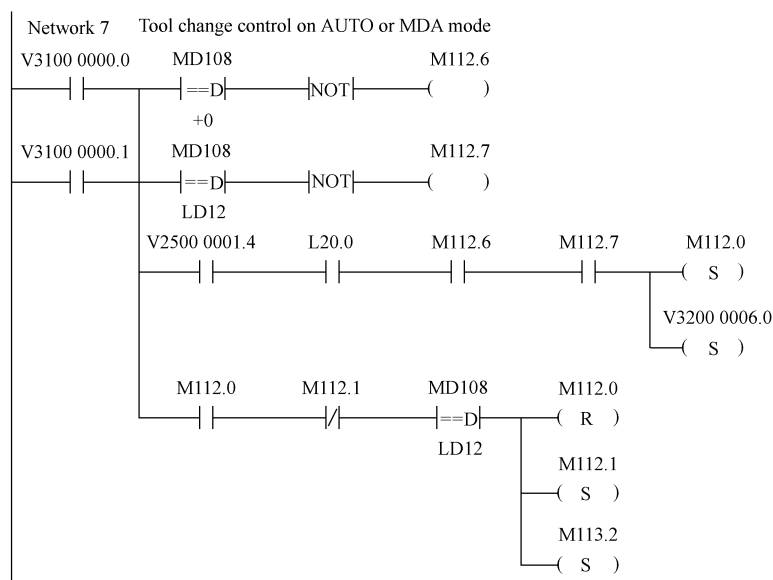


图 8.1-12 T 代码自动换刀控制程序

当刀架回转到达编程刀位时, MD108 和 LD12 相等, 正转信号 M112.0 被复位, 刀架反转信号 M112.1 和反转状态指示信号 M113.2 置 1, 起动刀架反转锁紧。

需要注意的是: SBR46 执行 T 代码换刀指令时, 只是通过 CNC 的进给使能禁止信号 V3200 0006.0 禁止了轴的进给运动, 但没有利用 CNC 的读入使能禁止信号 V3200 0006.1 禁止下一程序段的读入。因此, 在编写加工程序时, 不能在 T 代码指令段和下一进给程序段之间编入可能导致机床碰撞和干涉的其他运动指令。

#### 4. 定时控制

SBR46 的刀架定时控制包括最大选刀时间监控和反转锁紧定时控制 2 部分, 其程序设计如图 8.1-13 所示。

最大选刀时间由程序 Network8 监控, 它对手动换刀和 T 代码自动换刀均有效。当刀架正转信号 M112.0 为 1 时, 定时器 T15 起动计时, 如刀架正转信号 M112.0 的保持时间超过 LW4 中输入的最大选刀时间, 换刀超时报警信号 M113.0 将为 1。M113.0 可通过前述的 Network2, 输出报警变量 L7.7, 使 CNC 显示报警 “ALM 700024: 在监控时间内未找到目标刀具”。

刀架反转锁紧时间由程序 Network9 控制。当手动或自动换刀的刀架反转开始时, 反转状态指示信号 M113.2 将为 1; M113.2 可起动定时器 T14 进行反转锁紧延时, T14 延时到达后, 将复位反转信号 M112.1、进给使能禁止信号 V3200 0006.0、反转状态指示信号 M113.2 及手动换刀的起动信号 M113.3、反转锁紧信号 M113.4, 结束换刀动作。

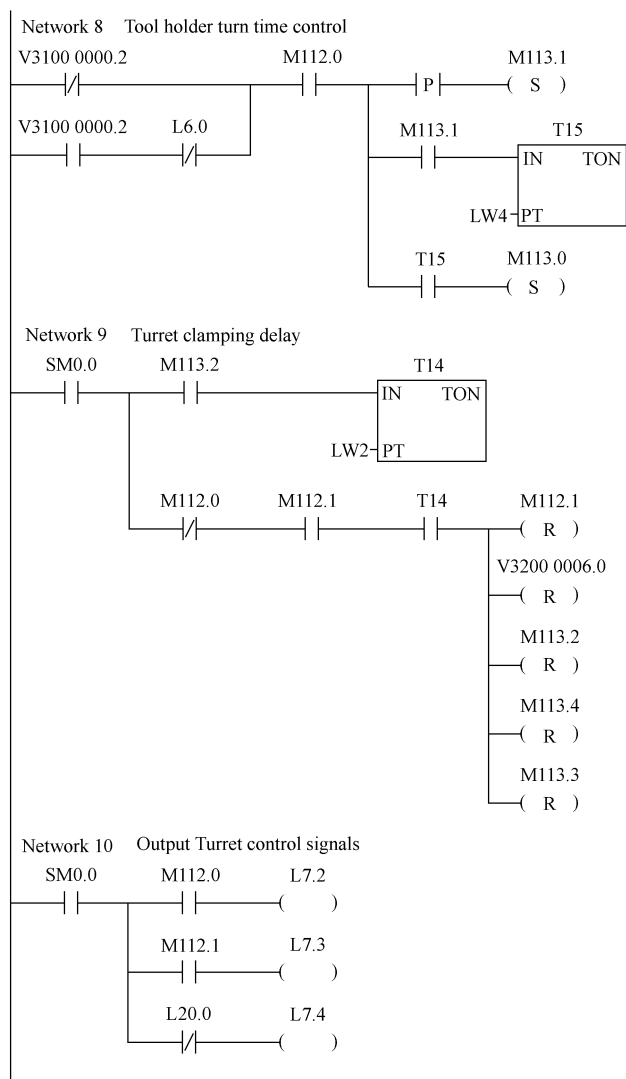


图 8.1-13 定时控制程序

程序 Network10 用于刀架正反转信号 M112.0/M112.1 的输出。L7.2/L7.3 为刀架正/反转控制信号 M102.4/M102.5 的输出变量；M102.4/M102.5 可通过第 5 章的用户初始化程序 SBR62，直接控制刀架电动机的正反转 PLC 输出 Q0.4/Q0.5。输出变量 L7.4 为 MCP 按键 K4 的指示灯输出信号，可用作刀架运行状态指示。

## 8.2 液压刀架控制程序

### 8.2.1 程序设计要求

#### 1. 结构特点

液压刀架的刀具容量大、换刀速度快、夹紧可靠、分度精度高，它是图 8.2-1 所示的中



小规格普通全功能型数控车床所常用的自动换刀装置。液压刀架一般由专业生产厂家生产，数控机床生产厂家可直接选配通用型产品。通用液压刀架可安装的刀具数量一般为8~12把，刀架可双向回转、捷径选刀，其换刀速度较快。



图 8.2-1 中小型数控车床及刀架

通用液压刀架一般由刀架体、刀塔、刀塔松夹油缸和定位齿牙盘、刀塔回转油缸和分度机构等部件组成。刀塔的松夹和准确定位利用松/夹油缸和精密齿牙盘实现；刀塔的回转分度利用普通感应电动机驱动的蜗杆凸轮间隙分度机构，或者液压回转油缸驱动的共轭凸轮间隙分度机构实现；刀塔回转定位一般不需要有预减速和粗定位动作。

有关蜗杆凸轮分度、共轭凸轮的液压刀架结构和原理，可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》一书。通用液压刀架的换刀过程如下。

1) 刀塔抬起。刀塔抬起一般均通过液压控制的松/夹油缸实现。刀塔抬起后，刀架定位齿牙盘脱开，松开检测开关发信，此时，刀塔可在电动机或液压回转油缸的驱动下进行双向回转选刀。

2) 回转选刀。刀塔的回转选刀通过普通感应电动机驱动的蜗杆凸轮分度机构，或者液压回转油缸驱动的共轭凸轮分度机构实现。凸轮回转 $360^\circ$ ，刀塔可转过一个刀位。蜗杆凸轮分度和共轭凸轮分度都是一种间隙运动机构，它们可通过凸轮曲线的设计，保证刀塔每转一个刀位，都有加速、快速回转、减速、到位停顿4个过程。刀塔可利用分度到位时的运动停顿，保证其不会因电动机或液压油缸停止位置偏差而出现的定位点偏移，因此，刀塔分度一般不需要有减速粗定位动作。

3) 刀塔夹紧。刀塔夹紧同样通过液压松/夹油缸实现。刀塔分度回转到位后，可通过松/夹油缸，实现落下和夹紧动作，使准确定位的齿牙盘啮合并夹紧，刀塔被精确定位。

## 2. PLC 程序设计要求

SIEMENS 子程序库和模板程序未提供完整的数控车床液压刀架控制程序，因此，使用此类刀架时，需要用户自行设计和补充 PLC 程序。

通常而言，液压刀架一般有刀塔落下夹紧（Tcl）、刀塔抬起松开（Tuc）、刀位计数



(Tcon) 3 个位置检测信号 (PLC 输入), 部分刀架可能还安装有 1 号刀位检测的参考点开关。刀位计数开关用于实际刀位的计算, 开关一般安装在凸轮的驱动轴上, 刀塔每转个一个刀位, 检测开关输出 1 个计数脉冲; 参考点开关用于 1 号刀位的检测, 信号可用于刀位计数器的初始值设定, 以替代机床调试时的实际刀位预置操作。

液压刀架的控制信号 (PLC 输出) 一般有刀塔正转 (TL +)、刀塔反转 (TL -)、刀架松开 (Tuc)、刀塔夹紧 (Tcl) 等。TL +/TL - 用于刀塔分度电动机或油缸的双向回转控制, 进行捷径选刀; Tuc/Tcl 用于刀塔抬起/落下电磁阀控制, 以实现刀塔的夹紧和松开。

根据通用液压刀架的结构特点和 802S/C/D 的辅助机能指令执行要求, 可得到配套此类刀架的中小型普通全功能型数控车床的换刀控制要求, 如图 8.2-2 所示。

为了增加程序通用性, 设计 PLC 程序时可使用部分电动刀架控制用的 CNC 用户数据和标志寄存器。后述典型程序所涉及的信号及功能如表 8.2-1 所示, 表中带阴影的信号功能与电动刀架控制程序有所不同。

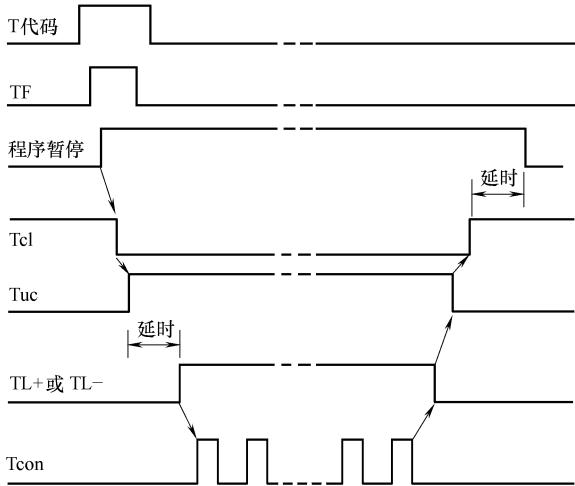


图 8.2-2 通用液压刀架的换刀要求

表 8.2-1 液压刀架控制信号一览表

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
CNC 用户数据设定及报警输出信号	VW4500 0032	机床类型	用户数据 MD14510[16] 设定,0:车床;1:铣床
	VW4500 0040	刀架最大刀位数	用户数据 MD14510[20] 设定值
	V4500 1011.7	电动刀架有效	用户数据 MD14512[21] bit7 设定,0:定义为液压刀架
	MW90	反转锁紧时间	用户数据 MD14510[22] 设定值,用作刀塔松/夹延时
	MW92	最大选刀时间	用户数据 MD14510[21] 设定值
	V1600 0000.1	报警 700001	报警 700001:刀号出错
	V1600 0002.7	报警 700023	报警 700023:编程刀具号大于刀架最大刀位数
	V1600 0003.0	报警 700024	报警 700024:在监控时间内未找到目标刀具
	V1600 0003.1	报警 700025	报警 700025:刀架无位置检测信号
CNC 及通道 I/O 信号	V2500 0001.4	TF	来自 CNC 的 T 修改信号
	VD2500 2000	T 代码输出	来自 CNC 的 32 位二进制 T 代码信号
	V2700 0000.1	CNC 急停	来自 CNC 的急停状态信号
	V3100 0002.2	JOG 方式	来自 CNC 的 JOG 操作方式信号
	V3200 0006.0	进给使能禁止	输出至 CNC 的通道进给使能禁止信号
	V3200 0006.1	读入使能禁止	输出至 CNC 的通道读入使能禁止信号





(续)

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
MCP 面板 I/O 信号	V1000 0000.3	MCP-K4 键	MCP K4 键输入,定义为手动换刀键
	V100 00003.0	MCP-NC 复位键	MCP NC 复位键输入
	V1100 0000.3	K4 键指示灯	MCP K4 键指示灯输出
机床 I/O 信号	M101.0	刀位计数输入	PLC 输入 I1.0 经 SBR62 处理后的结果
	M101.1	刀架参考点输入	PLC 输入 I1.1 经 SBR62 处理后的结果(可不用)
	M101.2	刀塔夹紧输入	PLC 输入 I1.2 经 SBR62 处理后的结果
	M101.3	刀塔松开输入	PLC 输入 I1.3 经 SBR62 处理后的结果
	M102.4	刀塔正转输出	PLC 输出 Q0.4,状态由 SBR62 输出
	M102.5	刀塔反转输出	PLC 输出 Q0.5,状态由 SBR62 输出
	M103.2	刀塔松开阀输出	PLC 输出 Q1.2,状态由 SBR62 输出,1:松开;0:夹紧

### 3. 换刀子程序及功能

通用液压刀架的 PLC 控制程序一般可分为刀位计数、捷径选择和换刀控制 3 部分。其中,刀位计数、捷径选择程序也可用于加工中心的自动换刀控制,因此,一般以独立子程序的形式进行编程。

1) 刀位计数。SIEMENS 子程序库未提供用于液压刀架刀位计数的子程序,该子程序需要用户自行设计。本节后述的子程序 SBR20 是用于数控车床液压刀架、加工中心刀库刀位计数的通用程序,该子程序可通过刀位计数开关的计数计算和生成刀架、刀库的实际刀位信号,并将计算结果保存在具有断电记忆功能的 PLC 公共变量 VD1400 0056 上。

子程序 SBR20 为刀架和刀库计数通用程序,安装或不安装参考点检测开关的刀架、刀库均可使用。为了使机械位置和刀位检测信号统一,在无参考点开关的刀架和刀库上,可以在机床首次调试或机械调整后,通过特定的 M 代码(示例中为 M96)和指定的 CNC 用户数据(示例中为 MD14510 [0]),将 CNC 用户数据所设定的刀位直接写入到公共变量 VD1400 0056 上,从而完成刀位预置操作。在安装有参考点检测开关的刀架和刀库上,则可通过参考点信号,使机械位置和刀位检测信号统一。

2) 捷径选择。SIEMENS 子程序库提供了用于刀架和刀库回转捷径选择的子程序 SBR48 (TOOL\_ DIR),该子程序既可用于连续回转的高速刀架和刀库的减速位置计算,也可用于不需要预减速的通用液压刀架和刀库的捷径回转方向选择。SBR48 用于通用液压刀架控制时,只需要使用其转向输出信号,判断捷径回转方向。

3) 换刀控制。SIEMENS 子程序库未提供用于液压刀架换刀控制的子程序,该子程序需要用户自行设计。本节后述的子程序 SBR21 是用于数控车床液压刀架换刀控制的通用子程序,它可通过 CNC 的 T 代码指令,直接控制刀架的抬起(松开)、回转、到位判别、落下(夹紧)等自动换刀动作。

### 8.2.2 刀位计数程序典例

通用型的数控车床液压刀架、加工中心刀库的刀位检测需要通过计数开关输入信号,利用回转计数的方式实现,SIEMENS 子程序库未提供该子程序,为此,可利用如下的子程序



SBR20 实现刀位计数功能。

### 1. 局部变量定义

子程序 SBR20 的局部变量定义以及调用时的变量赋值要求如表 8.2-2 所示。

表 8.2-2 SBR20 局部变量定义表

局部变量			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	Tmax	IN	WORD	VW4500 0040	刀架刀位数,用户数据 MD14510[20]设定
LW2	Tini	IN	WORD	VW4500 0000	M96 预置刀位,用户数据 MD14510[0]设定
L4.0	T_con	IN	BOOL	M101.0	刀位计数输入信号 I1.0
L4.1	T_ref	IN	BOOL	M101.1	参考点(1号刀位)输入信号 I1.1,可不用
L4.2	T_cw	IN	BOOL	M102.4	正转信号,刀架正转输出 Q0.4 缓冲状态
L4.3	T_ccw	IN	BOOL	M102.5	反转信号,刀架正转输出 Q0.5 缓冲状态
L4.4	T_set	IN	BOOL	V2500 1012.0	刀位预置命令,M96 代码
L4.5	T_err	OUT	BOOL	V16000 000.1	实际刀位出错报警 ALM 700001
LD8	T_curr	OUT	DWORD	VD1400 0056	实际刀位输出(32 位二进制)
LD12	T_maxD	OUT	DWORD	VD1400 0060	最大刀号设定值输出(32 位二进制)
LW16	T_no	TEMP	WORD	—	实际刀位存储器(16 位整数)
LW18	T_comp	TEMP	WORD	—	最大刀位判别数据,其值为刀位数加 1
LW20	T_buf	TEMP	WORD	—	实际刀位中间存储器

为了增加程序的通用性, SBR20 沿用了 802S/C/D 模板程序的 CNC 用户数据 MD14510 [20] (最大刀位数)、MD14510 [16] (机床类型)、MD14512 [11] bit7 等, 刀架正/反转的控制信号输出地址仍定义为 Q0.4/Q0.5。因此, 它仍可利用用户初始化程序 SBR62 (FILTER) 进行输出使能和极性变换。液压刀架的刀位计数开关和参考点检测开关则依次定义为 PLC 输入 I1.0、I1.1, 它们同样可通过用户初始化程序 SBR62 (FILTER) 进行使能和极性变换。

利用计数开关计算得到的 PLC 实际刀位保存到断电保持的存储器上, 对于 802S/C/D, 其实际刀位和最大刀位的输出变量 LD8、LD12 可定义为变量 VD1400 0056、VD1400 0060 (802C/S) 或 VD1400 0092、VD1400 0096 (802D) 等。

### 2. PLC 程序设计

刀架和刀库计数器子程序 SBR20 分为刀位预置、正转计数、反转计数、格式转换 4 部分, 说明如下。

1) 刀位预置。刀位预置程序 Network1 的设计如图 8.2-3 所示。

Network1 的第 1 行用来生成最大刀位判别参数 LW18, 其值为最大刀位数加 1。

Network1 的第 2 行用于实际刀位预置。程序可通过 CNC 的辅助功能代码 M96 (脉冲信号 V2500 1012.0), 将输入变量 LW2 直接写入到实际刀位存储器 LW16 中。输入变量 LW2 的刀位预置值可通过 CNC 用户数据 (如 MD14510 [0] 等) 进行赋值。

Network1 的第 3 行用于带参考点 (1 号刀位) 检测信号的刀架和刀库的实际刀位预置。只要刀库回转时到达参考点 (1 号刀位), 信号 L4.1 的上升沿可将实际刀位存储器 LW16 强

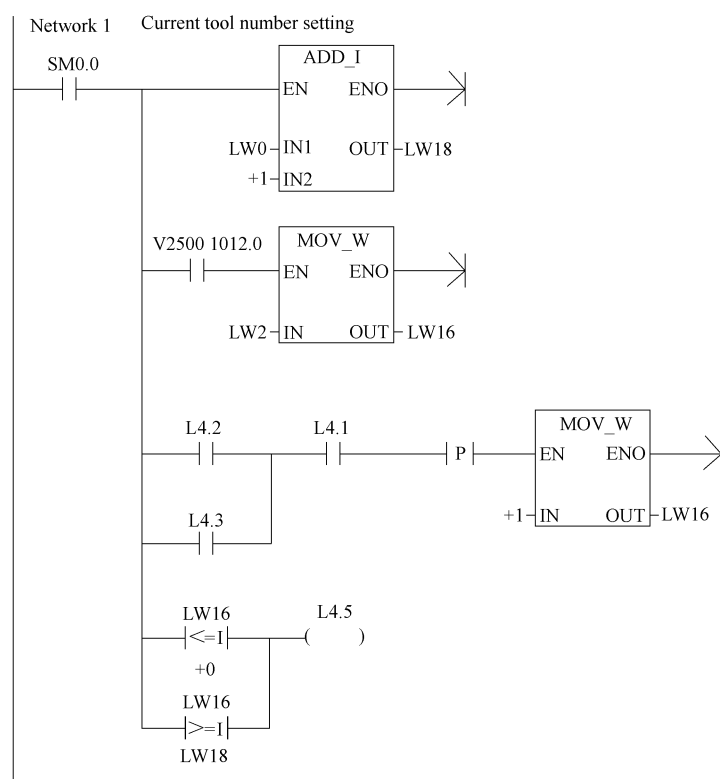


图 8.2-3 刀位设定与判别程序

制设定为 1，完成刀位预置。

程序中的 L4.5 为刀位出错报警输出变量，当 PLC 的实际刀位存储器小于等于 0 或大于最大刀位设定值时，CNC 可显示报警“ALM700001：实际刀位出错”。

2) 正/反转计数。刀架正、反转计数程序 Network2、Network3 的设计如图 8.2-4 所示。

Network2 用于刀架正转计数。当刀架正转（L4.2 = 1）时，刀位计数输入信号 L4.0 的每一上升沿均可使实际刀位存储器 LW16 加 1 后，输出至中间存储器 LW20 上。如 LW20 的值小于等于最大刀位数 LW0，LW20 可直接作为实际刀位输出到 LW16；如 LW20 的值大于最大刀位数，则 LW20 需减去最大刀位数 LW0 后，作为实际刀位输出到 LW16。

Network3 用于刀架反转计数。当刀架反转（L4.3 = 1）时，刀位计数输入信号 L4.0 的每一上升沿，均可使实际刀位存储器 LW16 减 1 后，输出至中间存储器 LW20 上。如 LW20 的值大于等于 1，则 LW20 直接作为实际刀位输出到 LW16；如 LW20 的值小于等于 0，则 LW20 需要加上最大刀位数 LW0 后，作为实际刀位输出到 LW16。

3) 格式转换。刀号格式转换程序 Network4 的设计如图 8.2-5 所示。

由于 CNC 的 T 代码输出为 32 位二进制数据，为了便于刀号的比较和计算，在后述的转向判别子程序 SBR48 等上，要求实际刀位检测值和最大刀位值均为 32 位数据。为此，需要通过累加器 AC0 的移位操作将实际刀位存储器 LW16、最大刀号设定值输入 LW0 分别转换为 32 位二进制数据输出变量 LD8、LD12。

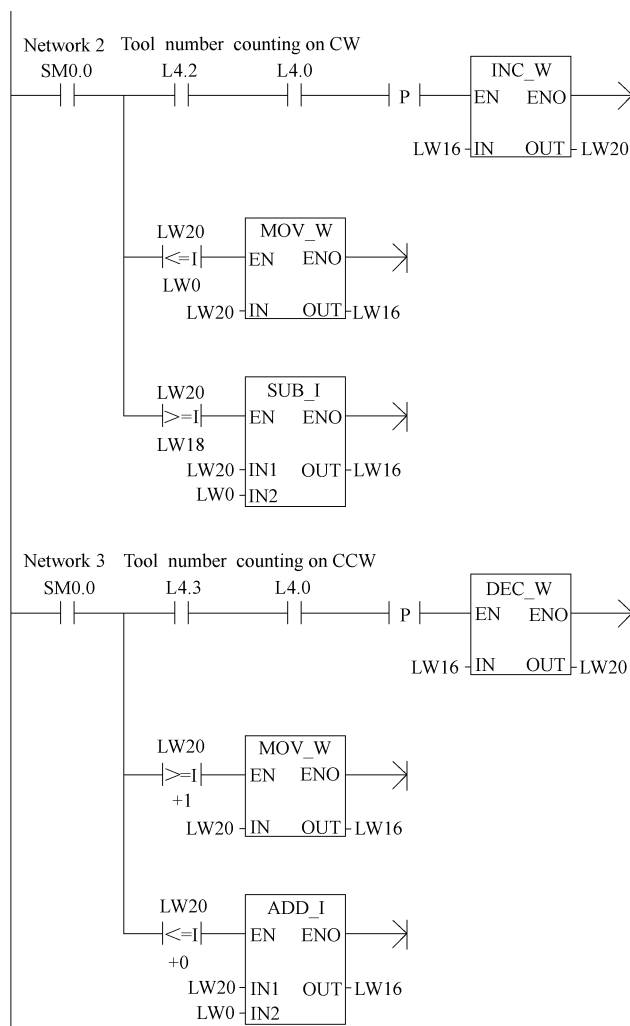


图 8.2-4 正反转计数程序

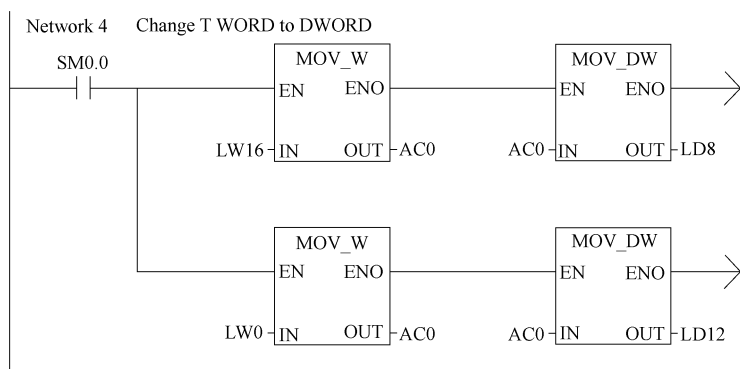


图 8.2-5 刀号格式转换程序



8.2.3 捷径选择程序典例

SIEMENS 子程序库提供了刀架和刀库转向判别子程序 SBR48 (TOOL\_ DIR)，该子程序既可用于蜗轮蜗杆或齿轮传动的连续回转高速刀架、加工中心刀库的减速刀位计算，也可用于不需要预减速的间隙分度通用液压刀架和加工中心刀库的捷径回转方向选择。SBR48 程序设计如下。

1. 局部变量定义

子程序 SBR48 的局部变量定义以及调用时的变量赋值要求如表 8.2-3 所示。

表 8.2-3 SBR48 局部变量定义表

局部变量			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LD0	Tmax	IN	DWORD	VD1400 0060	刀架最大刀位数,使用 SBR20 输出
LD4	Tprog	IN	DWORD	VD2500 2000	目标刀位,如 CNC 的 T 代码输出
LD8	Tcurr	IN	DWORD	VD1400 0056	实际刀位,如 SBR20 的实际刀位输出
LD12	P_INDXo	OUT	DWORD	MD, 如 MD16	32 位二进制减速刀位输出
L16.0	DIR	OUT	BOOL	M, 如 M20.1	转向输出,1:正转(刀号增加方向);0:反转
LD20	DIFF	TEMP	DINT	—	计算参数,编程刀号和实际刀位之差
LD24	MAX_2P	TEMP	DINT	—	计算参数,最大正向旋转刀位数
LD28	MAX_2N	TEMP	DINT	—	计算参数,最大反向旋转刀位数
LD32	MAX_P1	TEMP	DINT	—	计算参数,最大刀位数加 1
LD36	P_INDXt	TEMP	DINT	—	计算参数,减速刀位中间状态
L40.0	LE_M2P	TEMP	BOOL	—	中间状态,正向旋转刀位小于等于 $T_m/2$
L40.1	LE_M2N	TEMP	BOOL	—	中间状态,反向旋转刀位小于等于 $T_m/2$
L40.2	GE_M2P	TEMP	BOOL	—	中间状态,正向旋转刀位大于 $T_m/2$
L40.3	GE_M2N	TEMP	BOOL	—	中间状态,反向旋转刀位大于 $T_m/2$

2. PLC 程序设计

子程序 SBR48 (TOOL\_ DIR) 的设计由计算参数生成及刀号判别程序 Network1、转向判别和减速刀位计算程序 Network2 组成。

程序 Network1 的设计如图 8.2-6 所示。

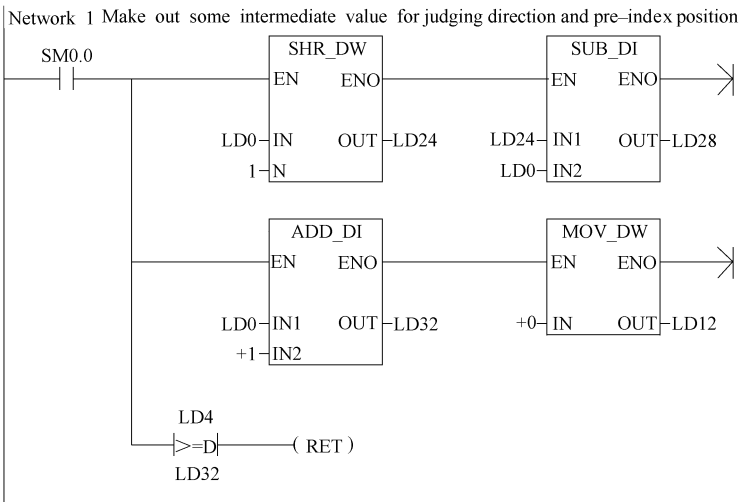


图 8.2-6 计算参数生成及刀号判别程序

程序 Network1 的第 1 行,利用刀最大刀位数设定值 LD0 的右移位操作 SHR\_ DW,替代除法运算,可在 LD24 上得到捷径选刀时最大正向旋转刀位数(正整数)。接着,利用减法运算指令 SUB\_ DI,在 LD28 上得到了最大反向旋转刀位数(负整数)。

程序 Network1 的第 2 行, 通过对最大刀位数设定值 LD0 加 1 的操作, 可在 LD32 上得到目标刀位大于最大刀位的判别值。接下来的移动指令 MOV\_ DW 可将减速刀位预设为初始值 0。

程序 Network1 的第 3 行用于目标刀位判别，当目标刀位大于最大刀位数时，代表 CNC 编程错误，直接利用子程序结束指令 RET，结束子程序。

程序 Network2 的设计如图 8.2-7 所示, 该网络用于捷径转向输出变量 L16.0 和减速刀位输出变量 LD12 的生成。

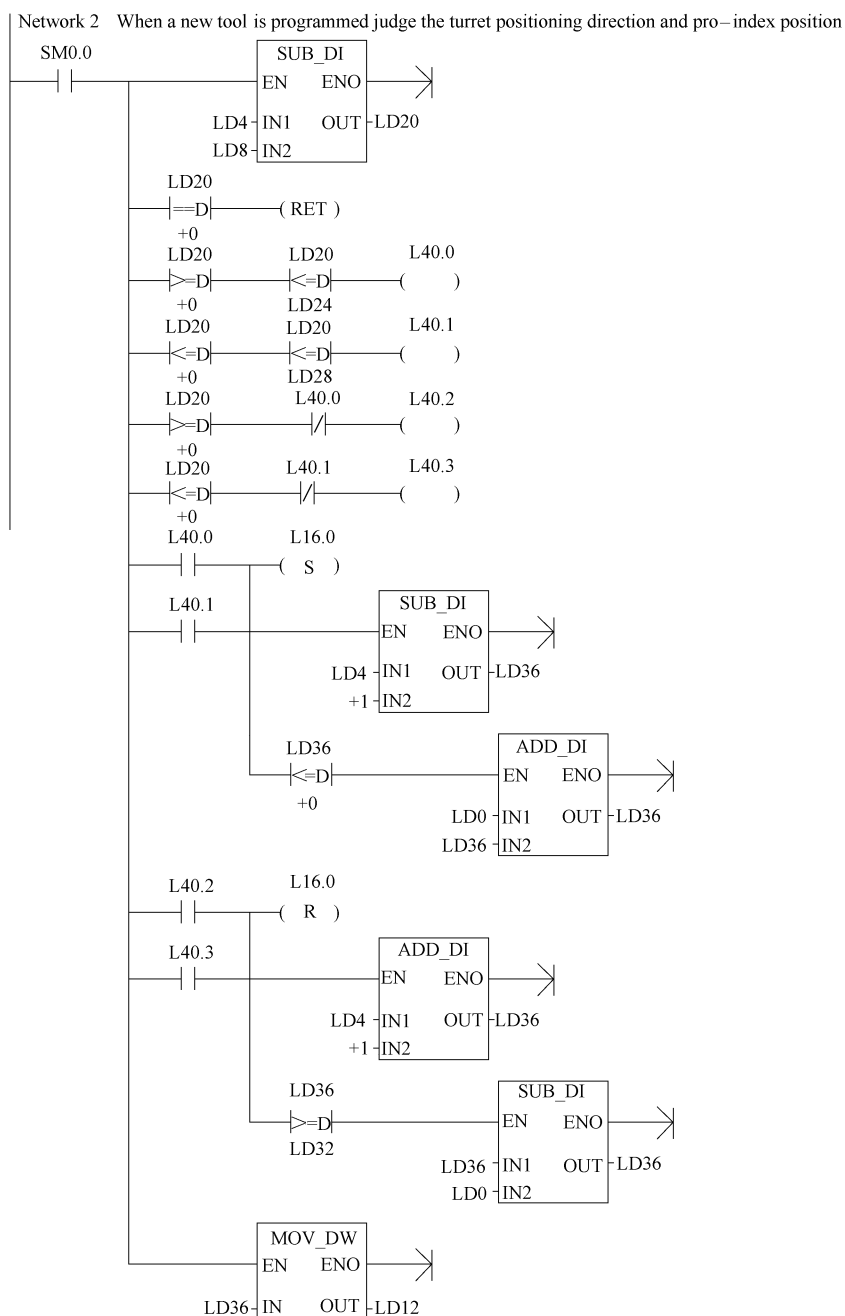


图 8.2-7 转向选择和减速刀位计算程序



程序 Network2 的第 1 行,通过目标刀位 Tprog (LD4) 与现行实际刀位 Tcurr (LD8) 的减法运算,可在 LD20 上得到刀塔需要回转的刀位数。如目标刀位和现行实际刀位一致,则可直接利用第 2 行的子程序结束指令 RET,结束子程序。

程序 Network2 的第 3~6 行用来生成转向判别信号。当需要回转的刀位数 LD20 为正、且小于最大正向旋转刀位数 LD24 时,刀架应正转,状态信号 L40.0 为 1;当需要回转的刀位数 LD20 为负、且绝对值大于最大负向旋转刀位数 LD28 时,刀架同样需要正转,状态信号 L40.1 为 1。当需要回转的刀位数 LD20 为正且状态信号 L40.0 为 0 时,刀架应反转,状态信号 L40.2 为 1;当需要回转的刀位数 LD20 为负且状态信号 L40.1 为 0 时,刀架同样需要反转,状态信号 L40.3 为 1。

程序 Network2 的第 7~9 行用于正转时的转向信号和减速刀位输出。第 7 行可将转向输出信号 L16.0 置 1 (正转);第 8、9 行用于减速刀位计算。当目标刀位不为 1 时,正转时的减速刀位 LD36 就是目标刀位减去 1 后的值;当目标刀位为 1 时,减速刀位 LD36 就是最大刀位。第 9 行程序也可直接利用双字移动指令 MOV\_DW,将 LD0 传送至 LD36,程序的概念更清晰,也便于理解。

程序 Network2 的第 10~13 行用于反转时的转向信号和减速刀位输出。第 10 行可将转向输出信号 L16.0 置 0 (反转);第 11、12 行用于减速刀位计算。当目标刀位不为最大刀号时,反转时的减速刀位 LD36 就是目标刀位加上 1 后的值;当目标刀位为最大刀号时,减速刀位 LD36 就是 1 号刀位。为了便于理解,第 12 行也可直接利用双字移动指令 MOV\_DW,将常数 1 传送至 LD36。第 13 行用于减速刀位输出变量 LD12 的生成。

### 8.2.4 换刀控制程序典例

SIEMENS 子程序库未提供通用液压刀架换刀控制的子程序,下述的子程序 SBR21 是用于此类刀架换刀控制的程序典例。SBR21 分为 T 代码处理、换刀起动、换刀控制、信号输出及报警处理等部分,说明如下。

#### 1. 编程元件定义

子程序 SBR21 的局部变量定义以及调用时的变量赋值要求及子程序所占用的标志寄存器和定时器等编程元件含义如表 8.2-4 所示。SBR21 需要调用刀架捷径选择子程序 SBR48,并占用用户程序用的 6 字节 PLC 标志寄存器 MB16~MB21 及 3 个定时器 T10~12。

表 8.2-4 SBR21 编程元件定义表

局部变量与标志寄存器			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LD0	T_maxD	IN	DWORD	V1400 0060	刀架刀位数,使用计数子程序 SBR20 输出
LD4	T_currD	IN	DWORD	V1400 0056	现行实际刀位,使用计数子程序 SBR20 输出
LW8	C_time	IN	WORD	MW90	刀塔松开、夹紧延时,见表 8.2-1
LW10	M_time	IN	WORD	MW92	最大允许换刀时间,见表 8.2-1
L12.0	T_KEY	IN	BOOL	V1000 0000.3	手动换刀键,MCP K4 键
L12.1	OVLoad	IN	BOOL	I 或 M	刀塔回转驱动电动机过载输入,常闭触点
L12.2	TU_cl	IN	BOOL	M101.2	刀塔夹紧检测信号 I1.2,见表 8.2-1



(续)

局部变量与标志寄存器			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
L12. 3	TU_unc1	IN	BOOL	M101. 3	刀塔松开检测信号 I1. 3, 见表 8. 2-1
L12. 4	T_cw	OUT	BOOL	M102. 4	刀塔正转控制信号 Q0. 4, 见表 8. 2-1
L12. 5	T_ccw	OUT	BOOL	M102. 5	刀塔反转控制信号 Q0. 5, 见表 8. 2-1
L12. 6	T_unc1	OUT	BOOL	M103. 2	刀塔夹紧/松开控制信号 Q1. 2, 见表 8. 2-1
L12. 7	T_LED	OUT	BOOL	V11000 000. 3	MCP 手动换刀键 K4 指示灯
L13. 0	ERR2	OUT	BOOL	V1600 0002. 7	报警 700023, 见表 8. 2-1
L13. 1	ERR3	OUT	BOOL	V1600 0003. 0	报警 700024, 见表 8. 2-1
L13. 2	ERR4	OUT	BOOL	Q、M 或 V	刀塔回转驱动电动机过载报警
L13. 3	ERR5	OUT	BOOL	Q、M 或 V	编程刀号等于 0 报警
LD16	T_comD	TEMP	DWORD	—	目标刀位缓冲存储器
MD16	P_INDXo	—	—	—	子程序 SBR48 的减速刀位输出
M20. 0	Tp_eq_Tc	—	—	—	编程刀号和实际刀位一致
M20. 1	TU_dir	—	—	—	刀塔转向, 1: CW; 0: CCW
M20. 2	T_auto	—	—	—	T 代码换刀
M20. 3	T_cwM	—	—	—	刀塔正转命令
M20. 4	T_ccwM	—	—	—	刀塔反转命令
M20. 5	T_jog	—	—	—	手动换刀
M20. 6	ATC_start	—	—	—	换刀起动
M20. 7	T_clM	—	—	—	夹紧命令
M21. 0	T_unc1O	—	—	—	刀塔松开输出
M21. 1	T_cwO	—	—	—	刀塔正转输出
M21. 2	T_ccwO	—	—	—	刀塔反转输出
T10	UC_delay	—	—	—	刀架松开、夹紧延时相同, 延时值可通过用户数据 MD14510[22] 设定
T11	C_delay	—	—	—	
T12	M_time	—	—	—	最大换刀时间监控, 用户数据 MD14510[21] 设定

## 2. T 代码处理程序

SBR21 的 T 代码处理程序 Network1 的设计如图 8. 2-8 所示, 该程序可在 CNC 输出 T 代码时, 利用 TF 信号将 CNC 输出的 T 代码读入到程序的目标刀位缓冲存储器 LD16 上, 并对其进行如下判别与处理。

T 代码大于刀架最大刀位数设定: 输出变量 L13. 0 = 1, CNC 显示报警 “ALM70023: 编程刀号大于刀架最大刀位数”; 标志 M20. 2 = 0。

T 代码小于等于 0: 输出变量 L13. 3 = 1, 用户可通过变量的赋值, 显示 CNC 报警或利用指示灯显示报警; 标志 M20. 2 = 0。

T 代码与刀架现行实际刀位一致: 标志 M20. 0 = 1; 标志 M20. 2 = 0。





T 代码正确，且与现行实际刀位不符：标志 M20.2 置 1，起动 T 代码换刀动作。

程序 Network1 中 T 代码修改信号 TF 的编程地址在 802 不同系列的 CNC 上有所不同。图中以 802S/C 系列为例，其地址为 V2500 0001.4，当程序用于 802D 系列 CNC 控制时，TF 编程地址应为 V2500 0008.0。

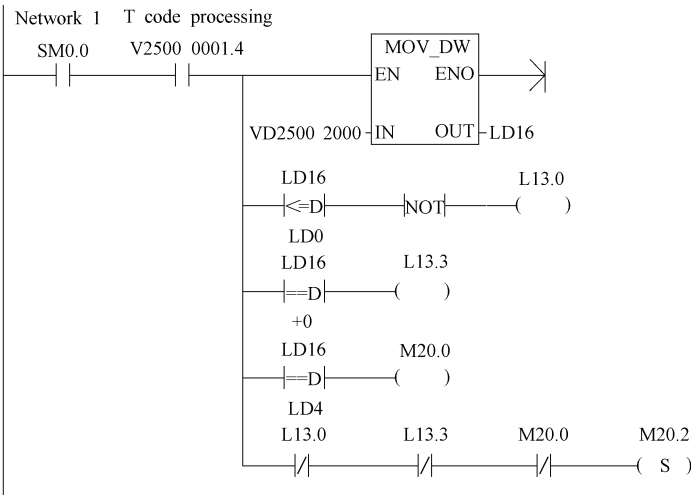


图 8.2-8 T 代码处理程序

### 3. 换刀起动程序

SBR21 的换刀起动程序 Network2 的设计如图 8.2-9 所示，该程序可用于 T 代码换刀时的转向选择和手动换刀的转向及目标刀位设定。子程序 SBR21 的手动换刀可在 CNC 选择 JOG 操作方式时，通过操作 MCP 上的 K4 键进行。每次操作 K4 键，刀架均可正向回转一个刀位。

程序 Network2 的第 1 部分用于 T 代码换刀控制，它在 CNC 执行 T 代码、Network1 的 T 代码换刀起动信号 M20.2 为 1 时有效。程序通过 M20.2 的上升沿调用刀架捷径选择子程序 SBR48，以生成刀架捷径转向信号 M20.3（正转）或 M20.4（反转）。与此同时，还可将 CNC 的通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1 置为 1，使得 CNC 进入辅助功能执行等待状态。

程序 Network2 的第 2 部分用于手动换刀控制，它在 CNC 选择 JOG 操作方式（V3200 0000.2 = 1）、操作 MCP 的 K4 键（L12.0 = 1）时有效。程序可通过 K4 键输入信号 L12.0 的上升沿，起动 32 位加法运算指令 ADD\_DI，将目标刀位缓冲存储器 LD16 的值设置为现行实际刀位的下一位置。当现行实际刀位为刀架最大刀位时，则目标刀位 LD16 直接置 1、目标刀位为 1 号刀位。与此同时，可将手动换刀时的刀架转向规定为正转（M20.3 = 1），并使得手动换刀标志 M20.5 为 1。

程序 Network2 的第 3 部分用来产生刀架运行起动信号。当 T 代码指令正确、换刀起动信号 M20.2 为 1，或者，JOG 方式下通过 K4 键选择手动换刀、手动换刀标志 M20.5 为 1 时，刀架运行起动信号 M20.6 将置 1。

### 4. 换刀控制程序

SBR21 的自动换刀控制程序 Network3 如图 8.2-10 所示，它在运行起动信号 M20.6 = 1

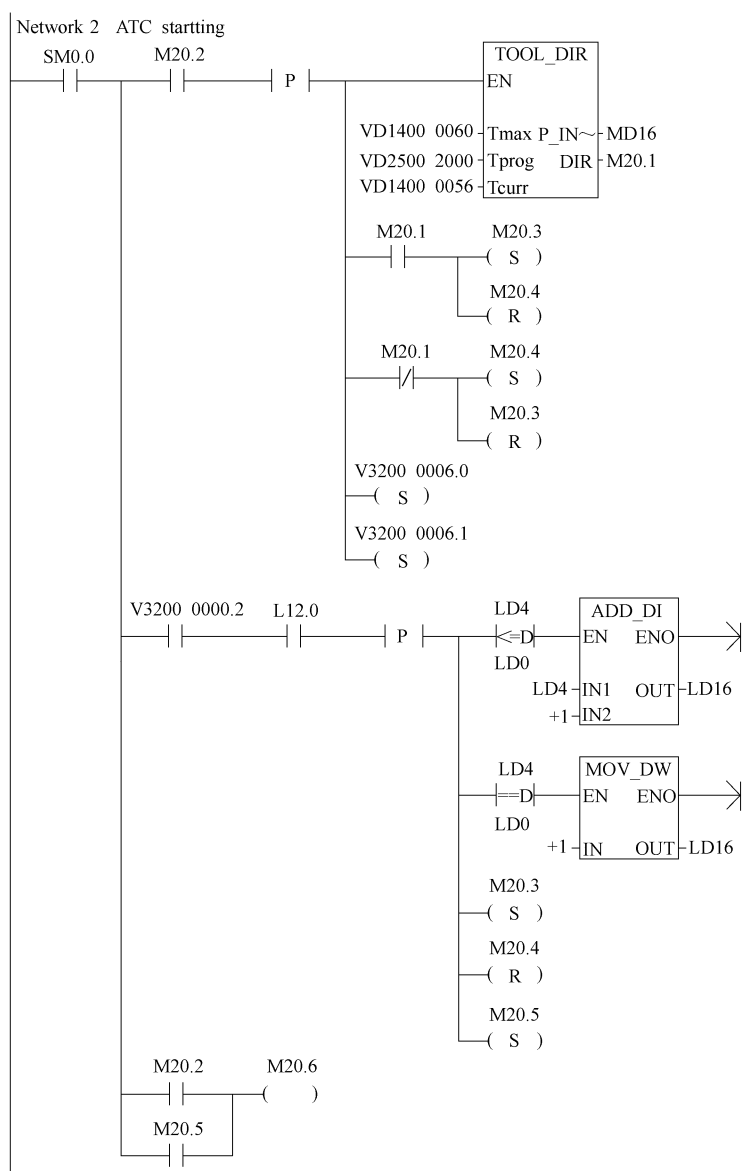


图 8.2-9 换刀起动程序

时执行。

Network3 的第 1 部分用于刀塔的松开控制。由于换刀前刀塔始终处于夹紧状态 ( $L12.2 = 1$ )，故运行起动信号 M20.6 的上升沿将使刀塔松开信号 M21.0 置 1。M21.0 可通过后述的程序 Network4，将 PLC 的刀塔松开输出控制信号 L12.6 置 1，以接通刀塔松开电磁阀，松开刀塔。刀塔松开后，其松开检测信号输入  $L12.3 = 1$ ，信号经过定时器 T10 延时 CNC 用户数据 MD14510 [22] 设定的时间后，可根据转向信号 M20.3 和 M20.4 的状态，分别将刀塔正转或反转的输出控制信号 M21.1 或 M21.2 置 1。M21.1、M21.2 可通过后述的程序 Network4，将 PLC 的刀塔正、反转输出控制信号 L12.4 和 L12.5 置 1，控制刀塔正反转。

Network3 的第 2 部分用于刀塔回转到位检测。当刀塔回转到达目标位置时，现行刀号输

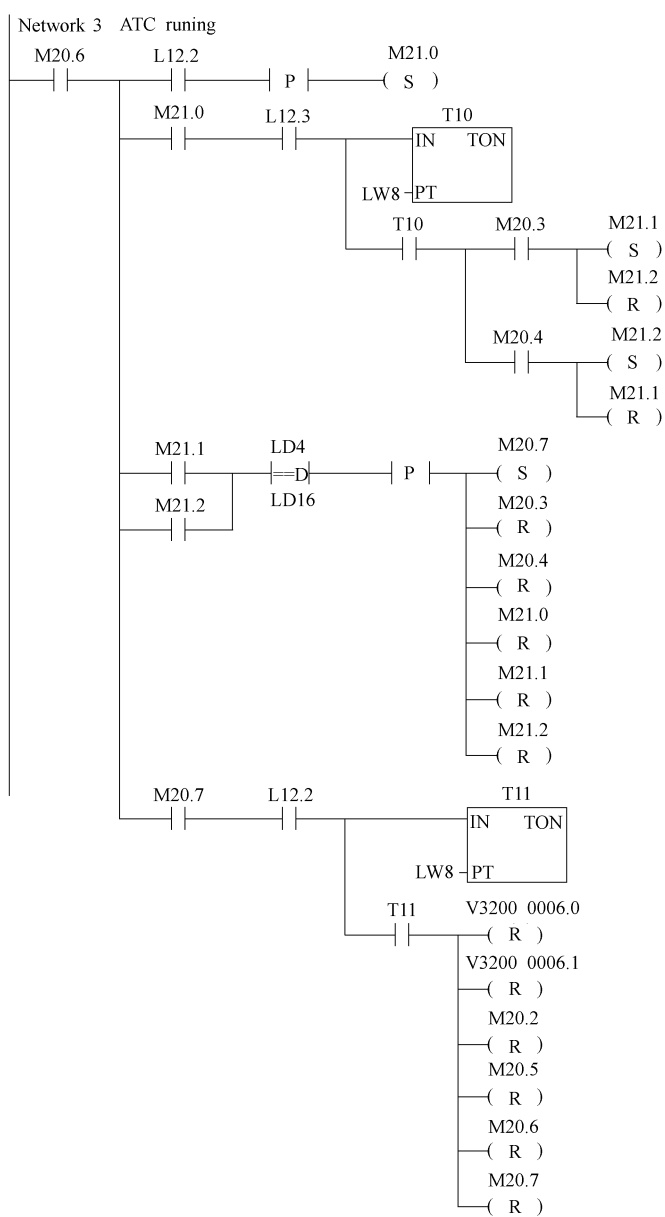


图 8.2-10 换刀控制程序

入 LD4 和目标刀位 LD16 一致，程序将使刀塔夹紧信号 M20.7 置 1，松开控制信号 M21.0 置 0，使后述程序 Network4 的 PLC 刀塔松开输出控制信号 L12.6 置 0，以断开刀塔松开电磁阀、夹紧刀塔。同时，还可清除正/反转状态信号 M20.3/M20.4 和正/反转输出控制信号 M21.1/M21.2，停止刀塔旋转。

Network3 的第 3 部分用于刀塔的夹紧控制。当刀塔夹紧信号 M20.7 为 1，刀塔夹紧后，如夹紧检测信号输入 L12.2 = 1，再经过定时器 T11 延时，便可完成全部换刀动作，复位



CNC 的通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1，清除换刀起动信号 M20.2、M20.5、M20.6 和夹紧信号 M20.7，结束换刀。定时器 T11 的夹紧延时同样使用 CNC 用户数据 MD14510 [22] 设定的值。

### 5. 输出及报警处理程序

SBR21 的自动换刀控制信号输出程序 Network4 和报警处理程序 Network5 的设计如图 8.2-11 所示。

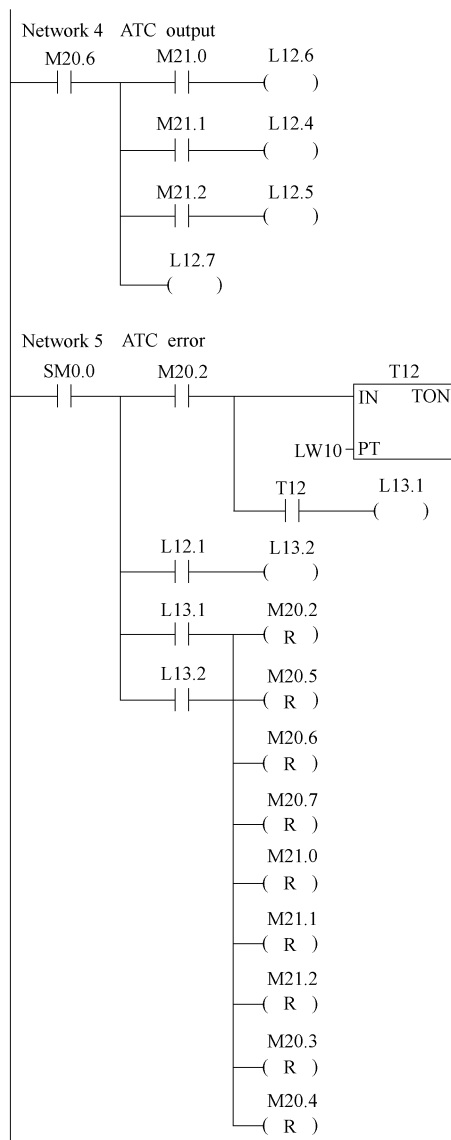


图 8.2-11 控制信号输出和报警处理程序

Network4 用于 PLC 的刀塔松开、刀塔正/反转的电磁阀线圈控制信号和自动换刀指示灯控制信号输出变量 L12.6、L12.4/L12.5 和 L12.7 的控制。L12.6、L12.4/L12.5、L12.7 只有在换刀起动信号 M20.6 为 1 时才能输出 1。机床不换刀时，其输出总是为 0，因此，刀塔



始终保持夹紧和停止状态。

Network5 用于最大换刀时间监控报警和刀架电动机过载报警的处理。

换刀时间监控通过定时器 T12 实现，功能仅对 T 代码自动换刀有效，T12 的延时可通过 CNC 用户数据 MD14510 [21] 进行设定。当 CNC 执行 T 代码换刀指令时，程序将通过 T 代码换刀起动信号 M20.2，起动定时器 T12，监控自动换刀时间。信号 M20.2 在 CNC 输出 T 代码时置 1，对于正常的换刀动作，当换刀完成、刀塔夹紧后信号将被复位为 0。如信号 M20.2 的保持时间超过了 T12 的设定值，SBR21 的报警输出变量 L13.1 将为 1，CNC 可显示报警“ALM 700024：在监控时间内未找到目标刀具”。

程序中的 L13.2 为刀塔回转电动机过载报警变量，它仅用于感应电动机驱动的刀架。SBR21 的报警输出变量 L13.2 直接由刀架电动机过载输入变量 L12.1 的控制，它可根据需要，在子程序调用指令中，将其赋值为 CNC 的报警显示变量 V 或标志寄存器 M、指示灯输出 Q 等，并利用其他 PLC 程序，使机床产生相应的报警。

自动换刀报警信号 L13.1 和 L13.2 一旦为 1，将复位换刀起动信号 M20.2/M20.5/M20.6、正/反转状态信号 M20.3/M20.4 和夹紧信号 M20.7，清除刀架松开输出控制信号 M21.0 和正/反转输出控制信号 M21.1/M21.2，停止刀塔旋转。

## 第 9 章

# 加工中心换刀程序典例

### 9.1 刀库移动换刀程序

#### 9.1.1 ATC 结构与动作

##### 1. 加工中心换刀方式

总体而言，加工中心的自动换刀（Automatic Tool Change, ATC）方式有无机械手换刀和机械手换刀两类。

1) 无机械手换刀。采用无机械手换刀的加工中心，刀具交换可通过刀库或主轴的相对运动实现，刀具在刀库中的安装位置一般不变，其自动换刀装置结构简单、控制容易。但是，采用这种方式换刀时，首先需要将主轴上的刀具放回刀库，然后才能进行刀库回转选刀和主轴装刀等动作，因此，如不采用刀具缓冲等特殊结构，其换刀时间一般较长，故多用于对换刀速度要求不高的普通加工中心或大、中型加工中心。

无机械手换刀加工中心的换刀方式有刀库移动和主轴移动两种。刀库移动式换刀多用于中小规格工作台移动式加工中心，换刀动作主要通过气动或液压系统控制的刀库运动实现，它是普通中小型加工中心最简单、最常见的结构。完全主轴移动式换刀的刀库安装位置固定，换刀动作主要通过 X、Y、Z 轴的运动实现，它常用于大中型立柱移动式、箱体移动式或龙门式加工中心的大规格刀具交换。

无机械手换刀的加工中心，其刀具在刀库中的安装位置一般固定不变，PLC 程序的设计较为简单，本节及 9.2 节将对此进行介绍。

2) 机械手换刀。采用机械手换刀的加工中心，换刀前一般应将下一把需要更换的刀具事先回转到刀库的换刀位上，然后通过机械手的运动完成主轴和刀库侧的刀具交换，其换刀速度较快。机械手自动换刀装置的结构较复杂、可靠性要求较高，因此，多用于对换刀速度要求较高的小型加工中心或刀库容量大、位置离主轴远的大、中型加工中心。

机械手的运动控制主要有机械凸轮联动和液压（或气动）控制两类。采用机械凸轮联动的自动换刀装置结构紧凑、动作可靠、控制简单，但其刀具重量受到一定的限制，故多用于换刀速度较快的中小规格加工中心。采用液压或气动控制的自动换刀装置布置灵活、动作可靠，可使用大规格刀具，故多用于刀库容量大、位置离主轴远的大、中型加工中心。

机械手换刀时，一般都通过机械手的 180° 回转，直接进行主轴和刀库换刀位刀具的交换，因此，随着刀具交换的进行，刀具在刀库中的安装位置将随机改变，故需要通过 PLC

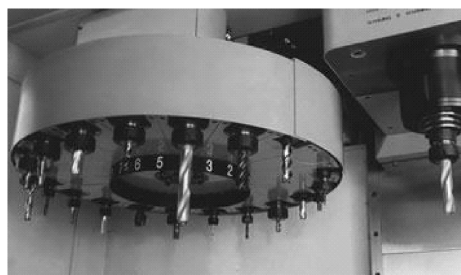
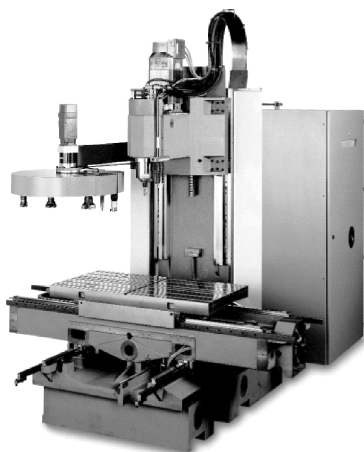


程序或 CNC 换刀程序建立刀座和刀具的对应关系表（刀具安装表），其 PLC 程序设计较复杂，典型 PLC 程序将在 9.3 节介绍。

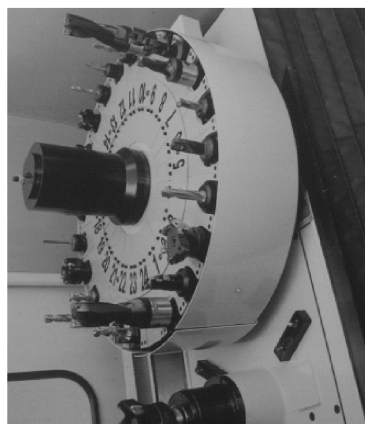
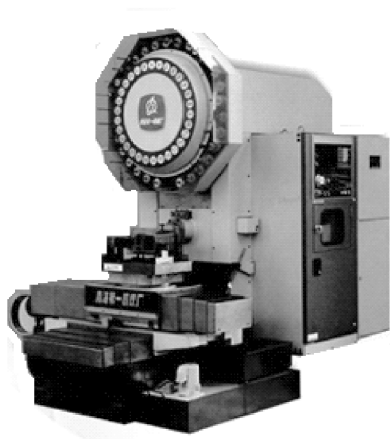
## 2. 斗笠式刀库结构

为了减轻机床运动部件的质量，提高可靠性，加工中心的刀库一般安装在机床床身上。在工作台移动式加工中心上，由于主轴相对于床身的前后、左右的空间位置不能改变，因此，多采用刀库移动式换刀或机械手换刀方式。

刀库容量不大、换刀速度要求不高的普通中小规格加工中心通常采用图 9.1-1 所示的典型结构。这种机床的刀库形状类似于斗笠，故又称斗笠式刀库，它是普通加工中心最简单、最常见的换刀方式。斗笠式刀库可通过改变刀库和主轴的相对位置实现换刀，刀具的装卸可利用刀库的运动实现，也可通过主轴的运动实现。



a) 立式



b) 卧式

图 9.1-1 采用斗笠式刀库的加工中心

刀库移动式换刀加工中心的刀库前后、上下移动，可通过气动或液压控制系统实现，刀库的回转一般采用槽轮分度定位机构，换刀装置结构简单、控制容易、动作可靠；换刀前后刀具在刀库中的安装位置保持不变。



斗笠式刀库一般不能进行刀具预选，换刀时先需要将主轴上的刀具放回刀库，然后进行刀库回转选刀和装刀。因此，立式加工中心换刀一般需要有刀库前移抓刀、下移卸刀、回转选刀、上移装刀、刀库后退等一系列动作。对于卧式加工中心，则需要有刀库前移卸刀、回转选刀、后移装刀等动作，其换刀时间通常大于 5s。

斗笠式刀库的刀库轴线必须与主轴平行。立式加工中心的刀库还需要进行前后、上下移动，故刀库容量一般不大，刀具长度和重量受限；在安装有全封闭防护罩的机床上，刀库上的刀具装卸和更换也不方便，故多用于 20（立式）或 40（卧式）把刀以下、效率要求不高的普通中小规格加工中心。

有关斗笠式刀库的机械结构和工作原理，可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》一书。

### 3. ATC 动作

使用斗笠式刀库的立式加工中心，自动换刀时的刀库动作过程如图 9.1-2 所示。

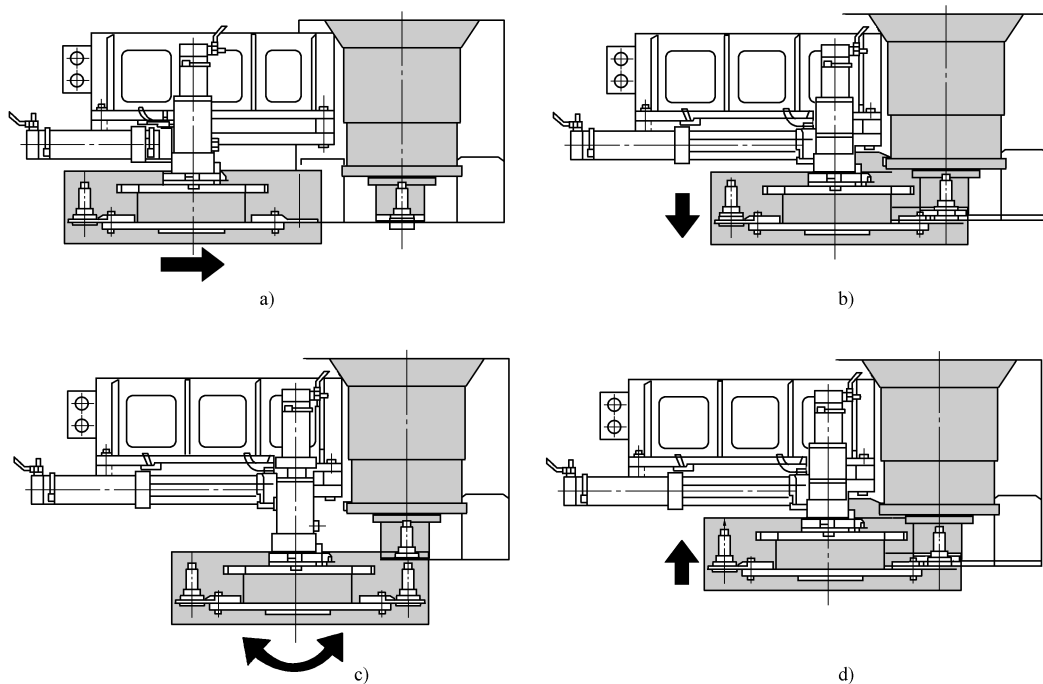


图 9.1-2 斗笠式刀库的换刀动作

1) 换刀准备。机床加工时，刀库应处于后上位，自动换刀前，首先需要进行主轴的定向准停，使主轴上的刀具键槽和刀库刀爪上的定位键对准。同时，主轴箱（Z 轴）需要运动到图 9.1-2a 所示的换刀位置，为刀库前移做好准备。

2) 刀库前移抓刀。换刀开始后，刀库向右移动到图 9.1-2b 所示的主轴下方，使刀库上的刀爪插入到主轴刀具的 V 形槽中，完成抓刀动作。

3) 刀具松开、吹气。刀库完成抓刀后，接通用于刀柄清洁的主轴吹气和主轴上刀具松开的电磁阀，松开主轴上的刀具。

4) 刀库下移卸刀。主轴上的刀具松开后，刀库下移到图 9.1-2c 所示的位置，将主轴上



的刀具从主轴锥孔中取出，完成卸刀动作。

5) 回转选刀。刀库下移到位后，刀库回转电动机起动，将需要更换的新刀具回转到主轴下方的换刀位上。刀库可双向回转、捷径选刀，并能通过槽轮机构自动定位。

6) 刀库上移装刀。选刀完成后，刀库重新上升到图 9. 1-2d 所示的上位，将新刀具装入到主轴的锥孔内，完成装刀动作。

7) 刀具夹紧。刀库装刀完成后，断开主轴吹气和松刀电磁阀，主轴上的刀具通过蝶形弹簧进行自动夹紧。

8) 刀库后移。刀具夹紧后，刀库后移到图 9. 1-2a 所示的初始位置，结束换刀。

上述换刀的所有动作都由刀库运动实现，无需 Z 轴运动。但在部分加工中心上，以上 4)、6) 步动作也可通过 Z 轴的上、下运动实现，其自动换刀需要有进给轴和刀库的联合运动，因此，一般通过 CNC 程序和 PLC 程序进行联合控制，有关内容可参见 8. 3. 4 节。

9. 1. 2 ATC 控制要求

**1. CNC 控制要求**

加工中心的自动换刀一般通过“T□□ M06”指令实现，其动作较数控车床复杂，PLC 的程序设计需要考虑 CNC 控制和机床控制两方面的要求。CNC 的自动换刀控制要求一般如图 9. 1-3 所示。

加工中心自动换刀指令中的 T 代码仅用来指定刀具或进行刀具预选，刀具交换动作由 M06 指令起动。斗笠式刀库无刀具预选动作，其 T 代码只用来指定刀具，因此，执行 T 代码时无需暂停程序。机械手换刀的加工中心可通过 T 代码预选刀具，但为了提高效率，刀具预选应在加工时进行，因而，执行 T 代码同样不需要暂停程序。

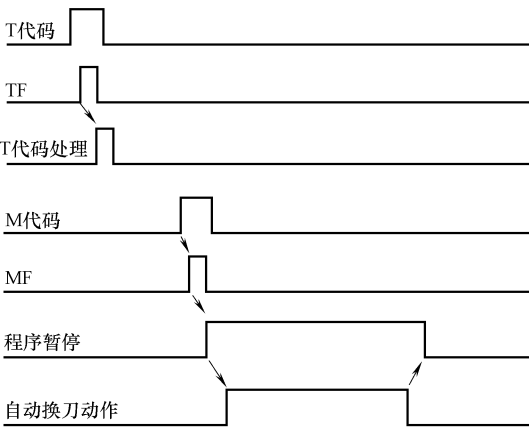


图 9. 1-3 加工中心的换刀控制要求

**2. 机床控制要求**

中小型立式加工中心的刀库运动一般采用气动或液压系统控制，图 9. 1-4 为典型的气动控制系统原理图，换刀时的电磁元件动作如表 9. 1-1 所示。

表 9. 1-1 斗笠刀库换刀的电磁元件动作表

序号	换 刀 动 作	电磁阀动作						检测开关动作					
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	初始位置	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-
2	刀库前移	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
3	刀具松开、吹气	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-
4 <sup>①</sup>	刀库下移	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+
5	回转选刀	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+
6 <sup>①</sup>	刀库上移	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-



(续)

序号	换刀动作	电磁阀动作						检测开关动作					
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
7	刀具夹紧	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
8	刀库后移	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-

注：+ 为电磁阀接通或开关发信；- 为电磁阀断开或开关不发信。

① 在部分立式加工中心上，刀库的上下运动还可通过 Z 轴的移动代替；而对于卧式加工中心，刀库抓刀则通过 Y 轴的上下移动实现。这两种机床均无电磁阀 Y5、Y6，但需要安装 Z 轴或 Y 轴上下位置检测开关 S5/S6，其控制更加简单，有关内容可参见 9.2 节。

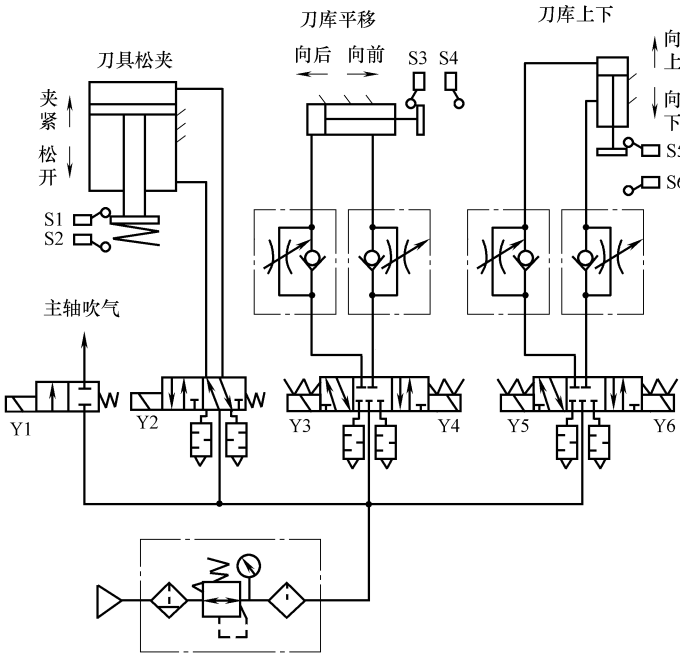


图 9.1-4 斗笠式刀库气动系统原理图

3. 控制信号

当 802S/C/D 用于采用上述斗笠式刀库的加工中心控制时，其自动换刀 PLC 程序设计所涉及的控制信号及功能如表 9.1-2 所示。为了增加程序通用性，表中带阴影的信号可借用部分车床控制用的 CNC 用户数据和标志寄存器。

表 9.1-2 斗笠式刀库控制信号一览表

类别	编 程 地 址	信 号 名 称	作用与功能
CNC 用户数据设定及报警输出信号	VW4500 0032	机床类型	用户数据 MD14510[16] 设定,0:车床;1:加工中心
	VW4500 0040	刀库最大刀位数	用户数据 MD14510[20] 设定值
	V4500 1011.7	电动刀架有效	用户数据 MD14512[21] bit7 设定,0:加工中心刀库
	MW90	反转锁紧时间	用户数据 MD14510[22] 设定,用作主轴刀具松/夹延时
	V16000 000.1	报警 700001	报警 700001:刀号出错
	V1600 0002.7	报警 700023	报警 700023:编程刀具号大于刀库最大刀位数



(续)

类别	编 程 地 址	信 号 名 称	作用与功能
CNC 及通道 I/O 信号	V2500 0000.0	MF	来自 CNC 的 M 修改信号
	V2500 1000.6	M06 代码输出	来自 CNC 的 M06 代码信号(脉冲)
	V2500 0001.4	TF	来自 CNC 的 T 修改信号
	VD2500 2000	T 代码输出	来自 CNC 的 32 位二进制 T 代码信号
	V2700 0000.1	CNC 急停	来自 CNC 的急停状态信号
	V3100 0002.2	JOG 方式	来自 CNC 的 JOG 操作方式信号
	V3200 0006.0	进给使能禁止	输出至 CNC 的通道进给使能禁止信号
	V3200 0006.1	读入使能禁止	输出至 CNC 的通道读入使能禁止信号
MCP 面板 I/ O 信号	V1000 0000.1	MCP-K2 键	MCP K2 键输入,定义为主轴刀具松开键
	V1000 0000.3	MCP-K4 键	MCP K4 键输入,定义为手动刀库回转键
	V1000 0003.0	MCP-NC 复位键	MCP NC 复位键输入
	V1100 0000.1	K2 键指示灯	MCP K2 键指示灯输出
	V1100 0000.3	K4 键指示灯	MCP K4 键指示灯输出
机 床 I/O 信号	I2.0	刀位计数输入 S10	PLC 输入,地址可改变
	I2.1	刀库参考点输入 S11	PLC 输入,地址可改变
	I2.2	刀具夹紧输入 S1	PLC 输入,地址可改变
	I2.3	刀具松开输入 S2	PLC 输入,地址可改变
	I2.4	刀库后位输入 S3	PLC 输入,地址可改变
	I2.5	刀库前位输入 S4	PLC 输入,地址可改变
	I2.6	刀库上位输入 S5	PLC 输入,地址可改变
	I2.7	刀库下位输入 S6	PLC 输入,地址可改变
	Q2.0	刀库正转输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.1	刀库反转输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.2	主轴吹气阀 Y1 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.3	刀具松开阀 Y2 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.4	刀库向前阀 Y3 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.5	刀库向后阀 Y4 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.6	刀库向上阀 Y5 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.7	刀库向下阀 Y6 输出	PLC 输出,地址可改变

#### 4. 程序组成

斗笠式刀库换刀的 PLC 控制程序一般可分为刀位计数、捷径选择和换刀控制 3 部分。其中,刀位计数和捷径选择程序可直接使用第 8 章中数控车床液压刀架控制子程序 SBR20、SBR48,换刀控制子程序需要进行单独设计。

1) 刀位计数。数控车床液压刀架的刀位计数子程序 SBR20 同样可用于加工中心的刀位计数。程序可通过刀位计数开关的输入,生成刀库的实际刀位检测信号,并保存在 PLC 的断电记忆公共变量 VW1400 0090 上。但是,调用子程序 SBR20 时,需要根据 CNC 的电气连



接图，对刀位计数开关、参考点检测的输入地址进行相应的修改。

子程序 SBR20 可用于安装或不安装 1 号刀位参考点检测开关的刀库计数。在无参考点检测开关的刀库上，为了使机械位置和 PLC 实际刀位检测信号相一致，需要在机床首次调试或刀库位置调整后，通过特定的 M 代码（示例中为 M96）和指定的 CNC 用户数据（示例中为 MD14510 [0]），将 CNC 用户数据所设定的刀位直接写入到公共变量 VW1400 0090 上，进行实际刀位的预置。在安装有参考点检测开关的刀架上，可通过参考点检测信号，使机械位置和 PLC 实际刀位检测信号相一致。

2) 捷径选择。SIEMENS 子程序库和模板程序所提供的刀库转向判别子程序 SBR48 (TOOL\_DIR)，可直接用于斗笠式刀库的捷径回转方向选择。由于斗笠式刀库采用的是机械槽轮分度定位机构，回转选刀时无需进行预减速，故不需要使用减速刀位输出信号。

3) 换刀控制。SIEMENS 子程序库和模板程序未提供用于斗笠式刀库换刀控制的子程序，该子程序需要用户自行设计。下述的子程序 SBR22 是用于加工中心斗笠式刀库换刀控制的子程序。

### 9.1.3 PLC 程序典例

SIEMENS 子程序库和模板程序未提供斗笠式刀库换刀控制的子程序，下述的子程序 SBR22 是用于此类刀库换刀控制的程序典例。SBR22 分为 T 代码处理、M06 代码处理以及卸刀、选刀、装刀控制，手动刀库回转，PLC 输出处理等部分，说明如下。

#### 1. 编程元件定义

子程序 SBR22 的局部变量定义、调用时的变量赋值要求及子程序所占用的标志寄存器、定时器等编程元件含义如表 9.1-3 所示。

表 9.1-3 SBR22 编程元件定义表

局部变量与标志寄存器			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LD0	T_maxD	IN	DWORD	VD1400 0060	刀库刀位数,使用计数子程序 SBR20 输出
LD4	T_currD	IN	DWORD	VD1400 0056	现行实际刀位,使用计数子程序 SBR20 输出
LW8	C_time	IN	WORD	MW90	主轴刀具松/夹延时, MD14510[22]设定
L12.0	ATC_EN	IN	BOOL	I 或 M	换刀条件,如主轴定向、Z 轴到位等
L12.1	K4_MCP	IN	BOOL	V1000 0000.3	MCP K4 键,手动刀库回转键
L12.2	T_cII	IN	BOOL	I2.2	主轴刀具夹紧检测信号 I2.2
L12.3	T_uncII	IN	BOOL	I2.3	主轴刀具松开检测信号 I2.3
L12.4	MG_backI	IN	BOOL	I2.4	刀库后位检测信号 I2.4
L12.5	MG_forwI	IN	BOOL	I2.5	刀库前位检测信号 I2.5
L12.6	MG_upI	IN	BOOL	I2.6	刀库上位检测信号 I2.6
L12.7	MG_downI	IN	BOOL	I2.7	刀库下位检测信号 I2.7
L13.0	MG_inpos	IN	BOOL	I 或 M	刀库回转到位
L13.1	ERR1	OUT	BOOL	V1600 0002.7	报警 700023,编程刀号大于最大刀号
L13.2	ERR2	OUT	BOOL	Q、M 或 V	编程刀号等于 0 报警



(续)

局部变量与标志寄存器			数据类型	局部变量 参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
L13.3	ERR3	OUT	BOOL	Q、M 或 V	M06 不允许
L13.4	MG_cwO	OUT	BOOL	Q2.0	刀库正转
L13.5	MG_ccwO	OUT	BOOL	Q2.1	刀库反转
L13.6	T_unclO	OUT	BOOL	Q2.2	主轴刀具松开
L13.7	SP_airO	OUT	BOOL	Q2.3	主轴吹气
L14.0	MG_forwO	OUT	BOOL	Q2.4	刀库向前
L14.1	MG_backO	OUT	BOOL	Q2.5	刀库向后
L14.2	MG_upO	OUT	BOOL	Q2.6	刀库向上
L14.3	MG_downO	OUT	BOOL	Q2.7	刀库向下
L14.4	K4_LED	OUT	BOOL	V1100 0000.3	ATC 指示, MCP 面板 K4 键灯
LD16	T_comD	TEMP	DWORD	—	目标刀位缓冲存储器
MD16	P_INDXo	—	—	—	子程序 SBR48 的减速刀位输出
M20.0	Tp_eq_Tc	—	—	—	编程刀号和实际刀位一致
M20.1	MG_dir	—	—	—	刀库转向, 1: CW; 0: CCW
M20.2	T_ok	—	—	—	T 代码正确
M20.3	MG_cwM	—	—	—	刀库正转
M20.4	MG_ccwM	—	—	—	刀库反转
M20.5	T_fini	—	—	—	T 代码执行完成
M20.6	ATC_en	—	—	—	ATC 使能
M20.7	ATC_start	—	—	—	ATC 起动
M21.0	MG_forw	—	—	—	刀库向前
M21.1	T_uncl	—	—	—	刀具松开
M21.2	MG_down	—	—	—	刀库向下
M21.3	MG_cw	—	—	—	正转命令
M21.4	MG_ccw	—	—	—	反转命令
M21.5	ROT_fini	—	—	—	选刀完成
M21.6	MG_up	—	—	—	刀库向上
M21.7	T_cl	—	—	—	刀具夹紧
M22.0	MG_back	—	—	—	刀库向后
T10	Tcl_del	—	—	—	主轴刀具松开、夹紧延时相同, 延时值可通过用户数据 MD14510[22] 设定
T11	Tunc_del	—	—	—	
T12	MGfo_del	—	—	—	刀库前位到达延时, 固定 0.5s
T13	MGup_del	—	—	—	刀库上位到达延时, 固定 0.5s

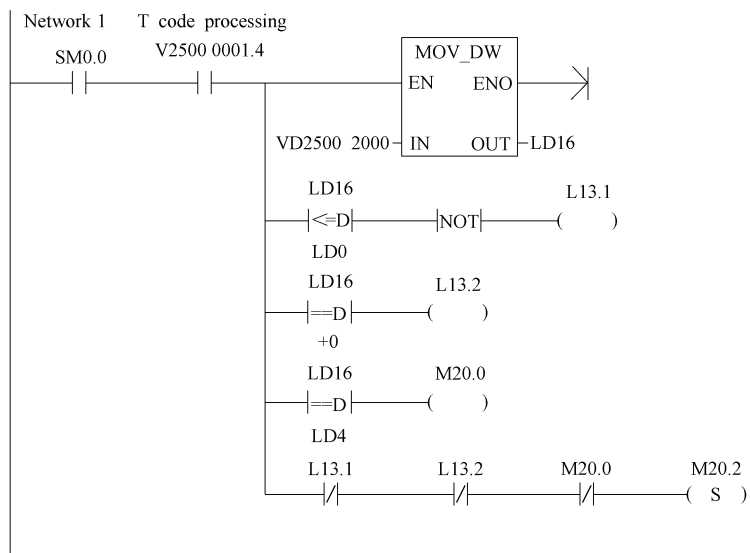
子程序 SBR22 需要调用刀架捷径选择子程序 SBR48, 并占用用户程序用的 6 字节 PLC 标志寄存器 MB16 ~ MB21 和 4 个定时器 T10 ~ T13。



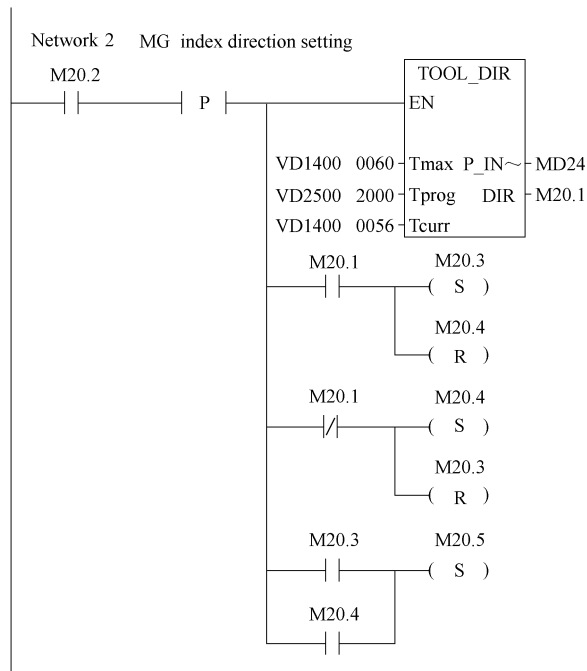
## 2. T 代码处理程序

斗笠式刀库自动换刀的 T 代码处理程序设计如图 9.1-5 所示，程序的设计思路与液压刀架相同（参见 8.2 节）。

图 9.1-5a 所示 Network1 用于编程 T 代码的判别，它可对 CNC 加工程序中的 T 代码进行校验。如 T 代码大于刀库最大刀位数，输出变量 L13.1 = 1；如 T 代码等于 0，输出变量



a) T代码处理



b) 转向判别

图 9.1-5 T 代码处理程序



L13.2 = 1。变量 L13.1、L13.2 可通过 PLC 报警程序在 CNC 上显示相应的报警。如编程的 T 代码与现行实际刀位一致，则 M20.0 = 1；如编程 T 代码正确、刀具需要交换，则标志 M20.2 置 1。

图 9.1-5b 所示的 Network2 用来产生刀库捷径转向。当 M20.2 = 1 时，Network2 将调用子程序 SBR48，在 M20.3（正转）或 M20.4（反转）上得到刀库的捷径转向。程序中的 M20.5 为 T 代码处理完成标志，该信号是 M06 自动换刀的起动条件。

### 3. M06 处理与卸刀控制程序

斗笠式刀库自动换刀的 M06 代码处理和卸刀控制程序如图 9.1-6 所示。

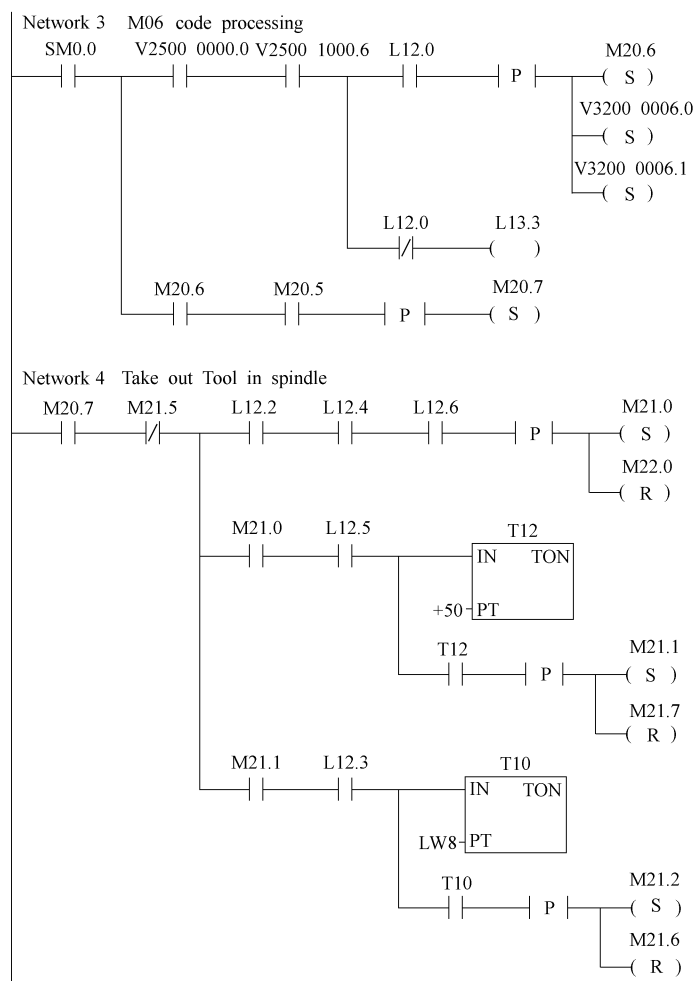


图 9.1-6 M06 代码处理和卸刀控制程序

Network3 用于 M06 代码的处理。当 CNC 输出 M06 代码 V2500 1000.6 及 MF 信号 V2500 0000.0 时，如主轴定向、Z 轴到位等换刀起动条件具备（L12.0 = 1），则 ATC 使能信号 M20.6、CNC 通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1 将置 1，CNC 进入辅助功能执行等待状态；如自动换刀起动条件不具备（L12.0 = 0），则报警输



出变量 L13.3 为 1, L13.3 可通过子程序调用指令的赋值, 通过其他 PLC 程序, 使机床产生相应的报警。当 ATC 使能信号 M20.6 为 1 时, 如 T 代码已处理完成, 则 ATC 起动信号 M20.7 将为 1, 下述的自动换刀程序将被起动。

Network4 用来取出机床主轴上的刀具 (卸刀)。考虑到换刀完成、刀库返回到达后位瞬间的检测开关信号状态和刀库前移时相同等情况, 为防止刀库出现重复动作, 该部分程序需要用回转完成信号 M21.5 的常闭触点进行互锁。

Network4 在 ATC 起动信号 M20.7 为 1 时, 如主轴刀具夹紧 (L12.2 = 1)、刀库处于后上位 (L12.4 = 1、L12.6 = 1), 则刀库前移命令 M21.0 为 1、刀库向后命令 M22.0 复位。前位到达、检测信号 L12.5 为 1 后, 经定时器 T12 延时 0.5s, 可产生刀具松开命令 M21.1、复位刀具夹紧信号 M21.7。刀具松开、检测信号 L12.3 为 1 后, 经定时器 T10 延时用户数据 MD14510 [22] 设定的时间, 将产生刀库向下命令信号 M21.2、复位刀库向上信号 M21.6。

M21.0、M21.1、M21.2 可通过后述的 Network9 分别使输出变量 L14.0、L13.6/L13.7、L14.3 为 1, 以接通刀库前移、刀具松开和主轴吹气、刀库向下电磁阀, 控制刀库运动。

#### 4. 回转选刀程序

斗笠式刀库的回转选刀控制程序 Network5 如图 9.1-7 所示。

Network5 在刀库向下 (M21.2 = 1) 到达下位 (L12.7 = 1) 时, 按照 Network2 生成的转向信号 M20.3 或 M20.4, 产生刀库正转或反转命令信号 M21.3 或 M21.4。M21.3、M21.4 可通过后述的程序 Network9 利用输出变量 L13.4、L13.5 接通刀库正反转继电器, 控制刀库回转选刀。

当刀库回转到达目标刀位后, 现行实际刀位输入变量 LD4 将和 Network1 生成的 T 代码指令刀号 LD16 相等, 此时, 只要刀库到位信号 L13.0 为 1, 便可复位转向信号 M20.3、M20.4, 正/反转命令信号 M21.3、M21.4, 停止刀库的回转, 并将刀库回转完成信号 M20.5 置为 1。

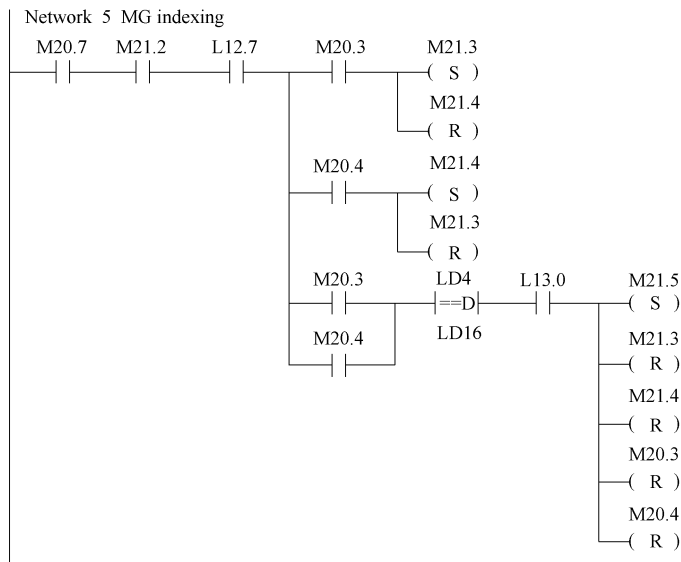


图 9.1-7 回转选刀控制程序

#### 5. 装刀控制程序

斗笠式刀库的装刀控制程序如图 9.1-8 所示。Network6 用于刀库向上和夹紧控制, Net-





work7 用于自动换刀结束处理。

Network6 在刀库回转完成后,通过信号 M21.5 的上升沿,使刀库向上命令信号 M21.6 置 1,并复位刀库向下命令信号 M21.2。当刀库到达上位后,检测信号 L12.6 经定时器 T13 延时 0.5s,将刀具夹紧命令信号 M21.7 置 1,并复位刀具松开信号 M21.1。刀具松开到位后,检测信号 L12.2 经定时器 T11 延时用户数据 MD14510 [22] 设定的时间,将产生刀库向后命令信号 M22.0,并复位刀库向前信号 M21.0。

M21.6、M22.0 可通过后述的 Network9,分别使输出变量 L14.2、L14.1 为 1,以接通刀库向上、后移电磁阀,控制刀库运动;刀具的夹紧只需要复位刀具松开信号 M21.1,便可断开刀具松开和主轴吹气电磁阀,夹紧刀具。考虑到换刀完成、刀具夹紧后的检测开关信号瞬间状态和刀库前移到位时相同等情况,为防止刀库动作出错,该部分程序同样需要用回转完成信号 M21.5 的常开触点互锁。

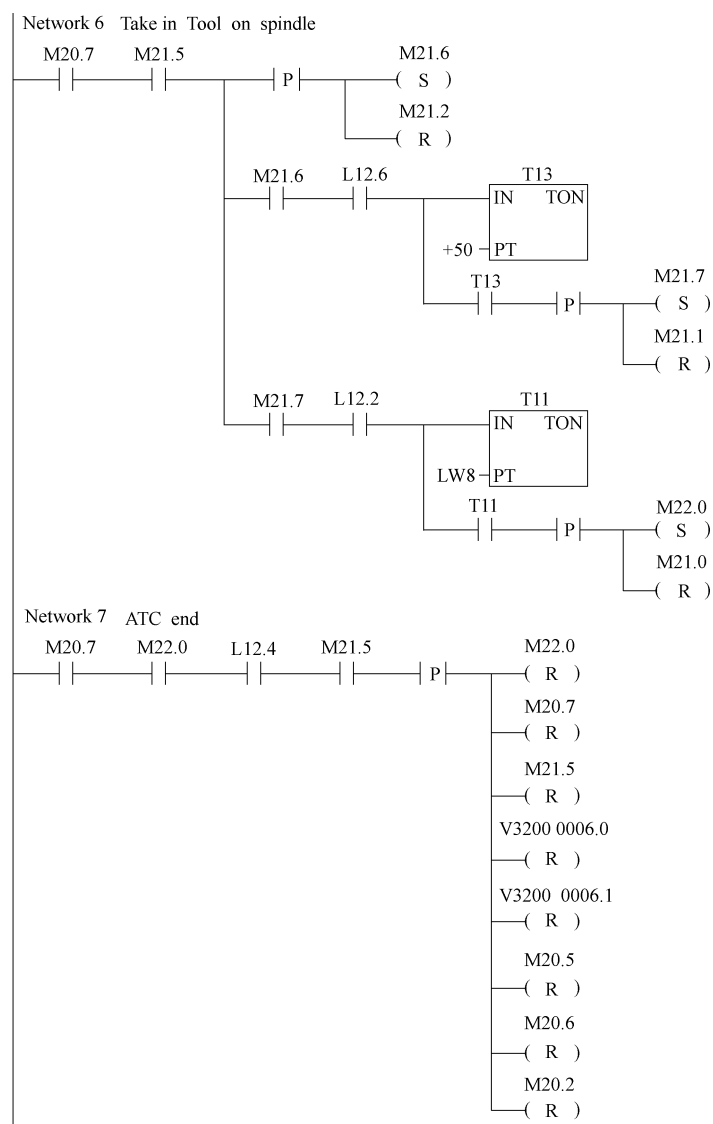


图 9.1-8 装刀控制程序



Network7 用于自动换刀结束处理，它可在刀库后移到达后位时，利用刀库后位检测信号 L12.4 的上升沿，复位刀库向后 M22.0、自动换刀起动 M20.7 命令信号；清除刀库回转完成信号 M21.5；复位 CNC 的通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0 和读入使能禁止信号 V3200 0006.1；清除 T 代码处理信号 M20.5、M20.6、M20.2；结束 M06 指令。

## 6. 手动回转和输出控制程序

斗笠式刀库的手动刀库回转和输出控制程序如图 9.1-9 所示。Network8 用于手动刀库回转，Network9 用于输出控制。

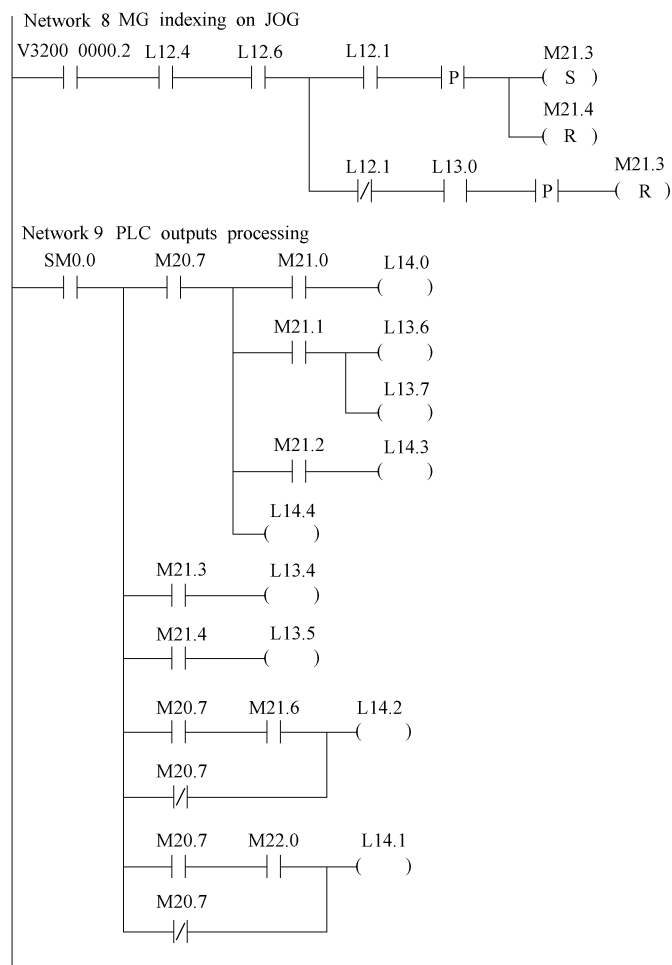


图 9.1-9 手动刀库回转和输出控制程序

手动刀库回转一般用于刀库的刀具手动安装，Network8 可在 CNC 选择 JOG 操作 (V3200 0000.2 = 1)、刀库处于后、上位 (L12.4、L12.6 = 1) 时，通过操作 MCP 的 K4 键 (L12.1) 直接将刀库正转输出信号 M21.3 置 1，使刀库正转。为了保证刀库的正确定位，刀库手动回转时的正转输出 M21.3 需要在松开 K4 键、刀库回转到位信号 L13.0 为 1 时撤销。

PLC 输出控制程序 Network9 可将 Network4 ~ Network8 的刀库运动控制信号 M21.0 ~ M22.0 转换为程序的输出变量。其中，电磁阀控制信号刀库前移 L14.0、刀具松开/吹气



L13.6/L13.7、刀库下移 L14.3，只能在自动换刀起动信号 M20.7 为 1 时输出；自动换刀指示灯在 M20.7 为 1 时输出；刀库的正/反转控制信号 L13.6/L13.7 可在手动或自动时输出；刀库向上和后移电磁阀控制信号 L14.2、L14.1 的输出，在自动换刀起动信号 M20.7 为 1 时由换刀程序控制，而在自动换刀起动信号 M20.7 为 0 时将始终输出 1，以便刀库能够在后、上位保持。

## 9.2 Z 轴移动换刀程序

### 9.2.1 CNC 程序设计

#### 1. 换刀动作

部分采用斗笠式刀库的加工中心自动换刀，需要通过进给轴和刀库的联合运动实现，但是，其刀库的前后移动和主轴刀具的松夹，一般仍通过气动或液压系统控制。

在采用斗笠式刀库的立式加工中心，其 Z 轴移动换刀动作过程如图 9.2-1 所示，它在刀库前移抓刀、刀具松开/吹气动作完成后，利用 Z 轴向上运动到卸刀点 Z1，取出主轴上的刀具；而在回转选刀完成后，则利用 Z 轴向下运动到起始点 0，将新刀具装入主轴。其他的动作与刀库移动式换刀相同。

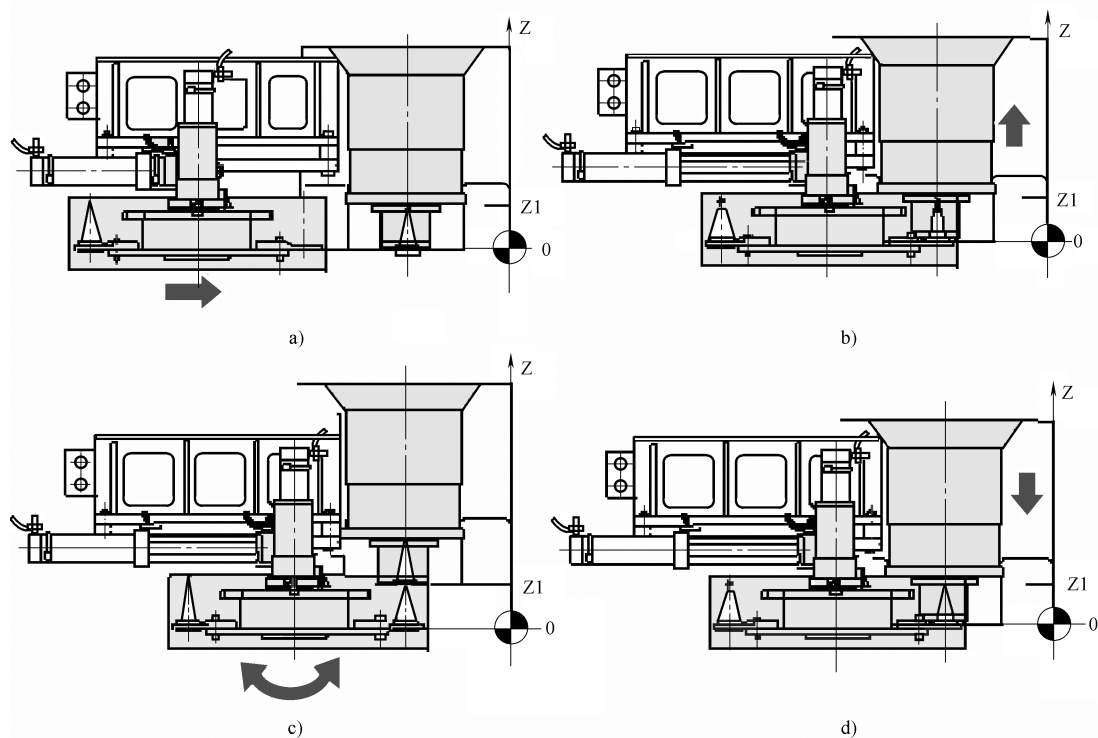


图 9.2-1 Z 轴移动换刀动作

#### 2. M 代码定义

Z 轴移动换刀需要通过编写特定的 CNC 换刀子程序或用户宏程序，通过进给轴和刀库



的联合运动实现。在 CNC 换刀程序中，自动换刀的各个动作需要分解成由 CNC 辅助机能代码 M 控制的独立运动，动作间的延时也可直接通过 CNC 的暂停指令 G04 实现。这样，不仅可简化 PLC 程序的设计，提高程序可靠性，还可在调试时通过执行指定的 M 代码，进行每一步动作的检查和调试。

例如，对于上述 Z 轴移动换刀的斗笠式刀库控制，其换刀动作可分解为以下 M 代码控制的独立运动。

M06：自动换刀起动；  
M81：换刀调试；  
M82：刀库前移；  
M83：刀库后移；  
M84：主轴刀具夹紧、吹气关闭；  
M85：主轴刀具松开、吹气；  
M86：刀库回转选刀；  
M80：自动换刀或调试结束。

上述的 M80 ~ M86 代码也可以是与 CNC 内部控制无关的其他 M 代码，如 M50 ~ M56 等，但不能使用系统生产厂已规定用途的 M 代码。

### 3. CNC 换刀程序设计

在 802S/C/D 上，CNC 换刀程序一般以子程序的形式编程，子程序可通过程序号（如 L06 等）或程序名（如 ATC\_ST 等）在 CNC 加工程序中利用指令“L06”或“ATC\_ST”直接调用。

对于上述斗笠式刀库控制，假设 CNC 换刀子程序号为 L06，自动换刀开始时的 Z 轴起始点为 Z 轴参考点，换刀时 Z 轴的运动行程为 120mm（参考值）、移动速度为 5000mm/min（参考值）；刀库前移到位、刀具松开/夹紧的延时均为 0.5s（参考值）。则按以上思路设计的 CNC 换刀子程序典例如下。

```
L06;                // CNC 换刀子程序号
G28 Z0 M19;         // 确保换刀前 Z 轴已回参考点、主轴定向准停
M06;                // 自动换刀起动
STOPRE;             // 停止译码,等待 M06 完成
/N1 GOTOF ATC_END;  // 选择跳段有效时跳转至 ATC_END 结束换刀
M82;                // 刀库前移
G04 F0.5;           // 刀库前位延时 0.5s
M85;                // 主轴刀具松开、吹气
G04 F0.5;           // 刀具松开延时 0.5s
N2 G91 G01 Z120.0 F5000; // Z 轴上移至卸刀点 Z1
M86;                // 刀库回转选刀
N3 G91 G01 Z-120.0 F5000; // Z 轴下移至换刀起始点
M84;                // 主轴刀具夹紧、吹气关闭
G04 F0.5;           // 刀具夹紧延时 0.5s
M83;                // 刀库后移
```



```
N10 ATC_END:M80;           // 自动换刀结束
M02;                       // 子程序返回
```

上述程序中，从 N1 ~ N10 间的程序段为可跳过程序段，其目的是在 T 代码不正确或编程刀号与现行实际一致时，可通过 CNC 选择跳段信号的控制，利用跳转指令 GOTOF，直接跳转至标记 ATC\_END，结束换刀子程序。

### 9.2.2 PLC 程序典例

#### 1. 程序组成

用于 Z 轴移动换刀的加工中心自动换刀 PLC 程序同样可由刀位计数、捷径选择、换刀控制 3 部分组成。其中，刀位计数和捷径选择程序可直接使用前述车床液压刀架相同的子程序 SBR20、SBR48，换刀控制子程序需要进行单独设计。

假设换刀控制子程序号为 SBR23，该子程序需要对表 9.1-3 所示的输入/输出变量进行表 9.2-1 所示的调整，其他输入/输出变量的定义与 SBR22 相同。

表 9.2-1 SBR23 输入/输出变量调整表

局部变量			数据类型	参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW8	NODEF	IN	WORD	—	不使用
L12.6	Z_stpI	IN	BOOL	I2.6	Z 轴到达换刀起始点检测信号 I2.6
L12.7	Z_uppI	IN	BOOL	I2.7	Z 轴到达卸刀点 Z1 检测信号 I2.7
L14.2	NODEF	OUT	BOOL	—	不使用
L14.3	NODEF	OUT	BOOL	—	不使用

SBR23 可参照 SBR22 编写，程序可分为 T 代码处理、换刀起动，卸刀、选刀、装刀控制，换刀调试，输出处理等部分。其中，T 代码处理程序 Network1 和 Network2 的设计与上述 SBR22 程序 Network1 和 Network2 完全相同，可参见图 9.1-5。程序可在 T 代码编程正确时，通过调用子程序 SBR48，得到刀库的捷径转向信号 M20.3（正转）或 M20.4（反转），并将自动换刀准备信号 M20.5 置为 1；如 T 代码与现行实际刀位一致，则 M20.5 为 0。如编程 T 代码大于刀库最大刀位数，或 T 代码等于 0，则 M20.5 将为 0，并输出相应的报警信号。程序的其他部分说明如下。

#### 2. 换刀起动程序

换刀起动控制程序 Network3 的设计如图 9.2-2 所示。当 CNC 执行换刀子程序 L06 时，首先执行 M06 指令。

执行 M06 指令时，如 T 代码编程正确并处理完成（M20.5 = 1）、主轴定向及 Z 轴到位等换刀起动条件具备（L12.0 = 1），则 ATC 起动信号 M20.7 和程序跳段信号 V3200 0002.0 置 1，使得 CNC 换刀子程序中的程序段“/N1 GOTOF ATC\_END”被跳过，启动随后的自动换刀程序段。如刀号一致或 T 代码出错（M20.5 = 0），则程序跳段 V3200 0002.0 置 0，CNC 可通过执行程序段“/N1 GOTOF ATC\_END”，直接跳转至 N10，执行 M80 指令结束子程序 L06。如自动换刀起动条件不具备（L12.0 = 0），则报警输出变量 L13.3 为 1。L13.3 可通过子程序调用指令的赋值，通过其他 PLC 程序使机床发出相应的报警信号。

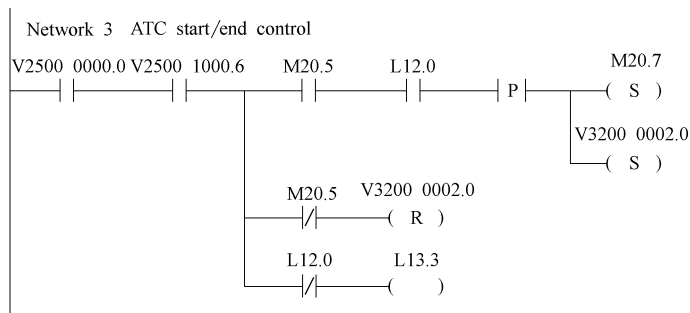


图 9.2-2 换刀起动程序

### 3. 卸刀控制程序

卸刀控制程序 Network4 的设计如图 9.2-3 所示。

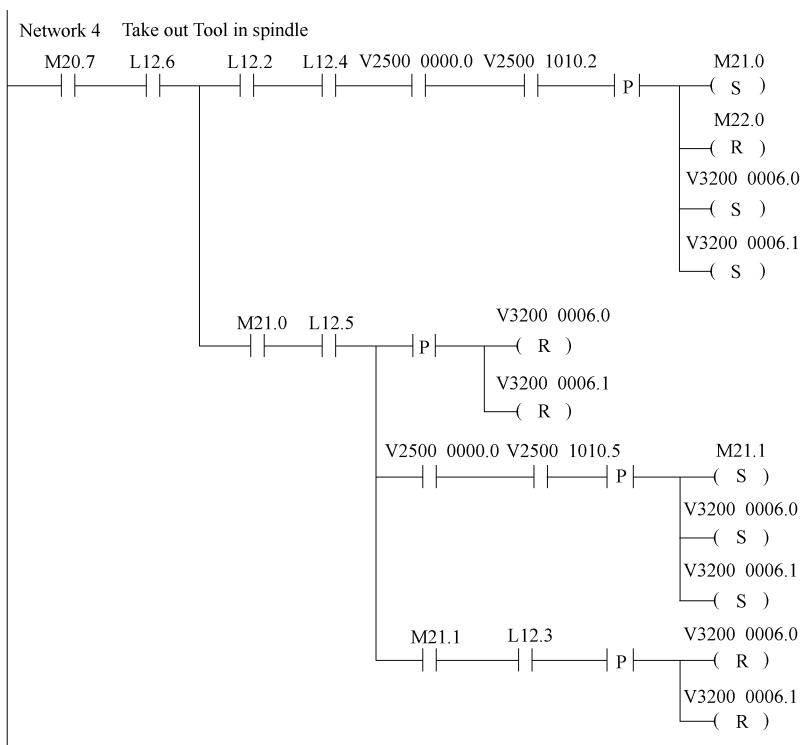


图 9.2-3 卸刀控制程序

当 ATC 起动信号 M20.7 为 1，且刀库处于起始位置时，执行 CNC 换刀子程序中的刀库前移指令 M82，则刀库前移命令 M21.0 为 1，刀库向后命令 M22.0 复位，并将 CNC 通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1 置 1，使 CNC 进入辅助功能执行等待状态。

当刀库前位到达、检测信号 L12.5 为 1 后，CNC 通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1 将恢复 0，CNC 继续执行换刀子程序中的程序暂停指令 G04 F0.5，延时 0.5s。接着，执行刀具松开指令 M85，PLC 产生刀具松开命令信号 M21.1，并再次将信号 V3200 0006.0 和 V3200 0006.1 置 1，使 CNC 再次进入辅助功能执行等待状态。



刀具松开后，检测信号 L12.3 为 1，CNC 通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1 恢复 0。随后，CNC 将继续执行程序暂停指令 G04 F0.5，延时 0.5s，接着，执行 Z 轴移动指令，使 Z 轴上升至换刀点。

#### 4. 回转选刀程序

回转选刀程序 Network5 的设计如图 9.2-4 所示。

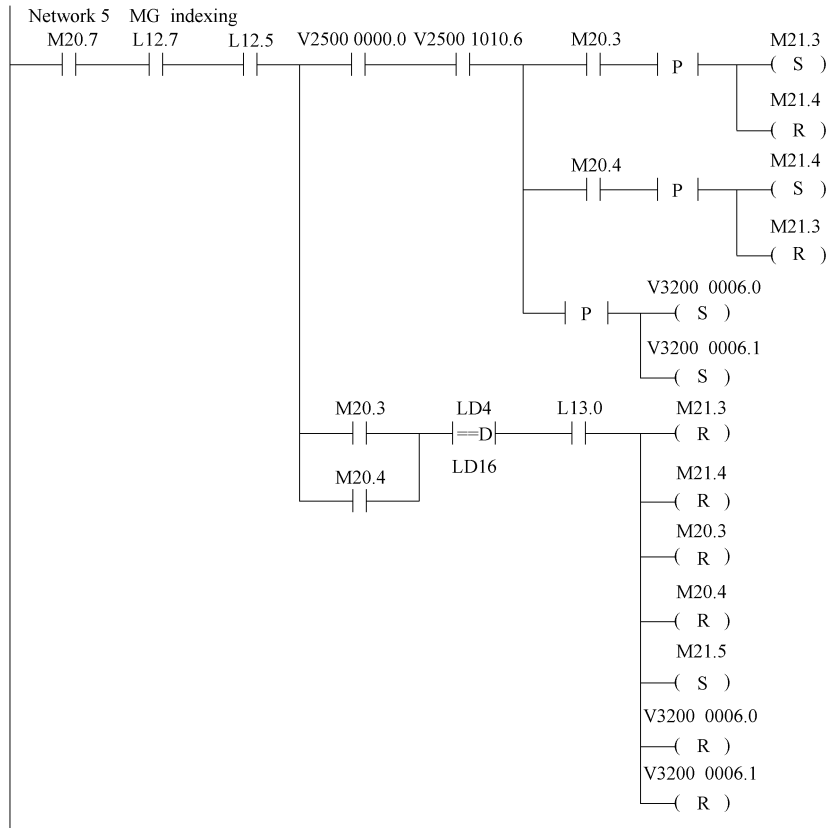


图 9.2-4 回转选刀程序

当 Z 轴上移到达卸刀点后，Z 轴上位检测信号 L12.7 为 1。CNC 将执行回转选刀指令 M86，PLC 程序将根据子程序 SBR48 输出的转向信号 M20.3/M20.4，输出刀库正/反转命令信号 M21.3/M21.4，并利用信号 V3200 0006.0 和 V3200 0006.1 使 CNC 进入辅助功能执行等待状态。

当刀库回转到达目标刀位后，当前实际刀位输入变量 LD4 将和 Network1 生成的 T 代码指令刀号 LD16 相等，此时，只要刀库到位信号 L13.0 为 1，便复位转向信号 M20.3/M20.4、正/反转命令信号 M21.3/M21.4，停止刀库的回转，同时，将刀库回转完成信号 M20.5 置为 1、信号 V3200 0006.0 和 V3200 0006.1 恢复为 0。随后，CNC 将执行换刀子程序中的 Z 轴下移程序段，将新刀具装入主轴。

#### 5. 装刀控制程序

装刀控制程序 Network6 的设计如图 9.2-5 所示。

在 Network6 上，当 Z 轴通过 CNC 换刀子程序下移到换刀开始点时，检测信号 L12.6 为

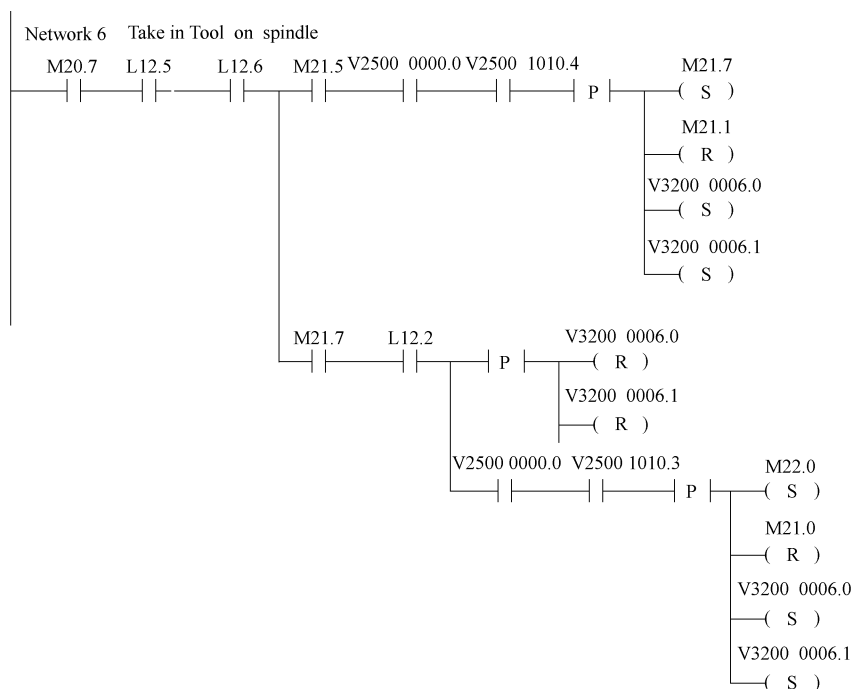


图 9.2-5 装刀控制程序

1。CNC 继续执行刀具夹紧指令 M84，PLC 程序将发出刀具夹紧命令信号 M21.7 和复位刀具松开信号 M21.1，并利用 CNC 通道进给使能和读入使能禁止信号 V3200 0006.0 和 V3200 0006.1，使 CNC 进入辅助功能执行等待状态。

刀具夹紧后，检测信号 L12.2 为 1，进给使能和读入使能禁止信号 V3200 0006.0 和 V3200 0006.1 恢复为 0，CNC 继续执行换刀子程序中的程序暂停指令 G04 F0.5，延时 0.5s。接着，执行刀库向后指令 M83，PLC 发出刀具向后命令信号 M22.0 和复位刀库向前信号 M21.0，并再次将进给使能和读入使能禁止信号 V3200 0006.0 和 V3200 0006.1 置 1，使 CNC 重新进入辅助功能执行等待状态，直至刀库到达后位。

#### 6. 结束处理程序

自动换刀结束处理程序 Network7 的设计如图 9.2-6 所示，程序有 3 方面用途，下面逐一介绍。

对于正常的自动换刀，程序可在刀库到达后位、检测到信号 L12.4 = 1 时，将进给使能和读入使能禁止信号 V3200

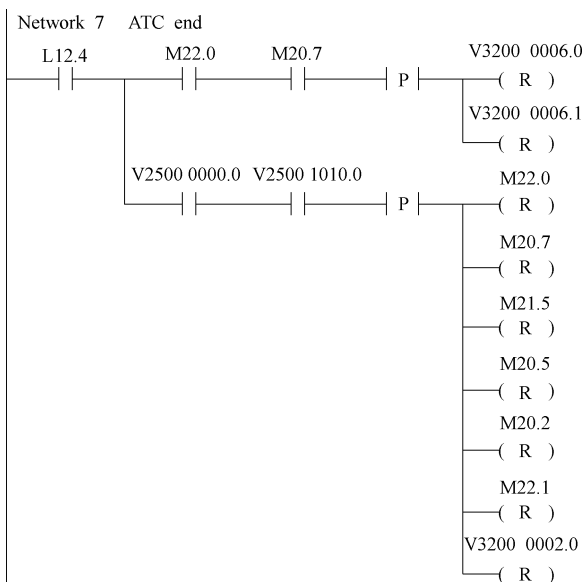


图 9.2-6 结束处理程序





0006.0 和 V3200 0006.1 恢复为 0，使 CNC 将继续执行结束指令 M80，以复位刀库后移信号 M22.0 和自动换刀起动信号 M20.7、回转记忆信号 M21.5、T 代码处理完成信号 M20.2 和 M20.5，结束换刀。

当 CNC 编程 T 代码出错或编程刀号和实际刀位一致时，如调用 CNC 换刀子程序，子程序 L06 中的换刀指令 M82 ~ M86 将被跳过，而直接执行 M80。此时，M80 可复位由 M06 指令生成的程序跳段信号 V3200 0002.0，取消程序跳段功能。

当 CNC 通过后述 M81 指令进行换刀调试操作时，M80 可复位换刀调试信号 M22.1，结束调试操作。

### 7. 换刀调试程序

换刀调试程序 Network8 的设计如图 9.2-7 所示。

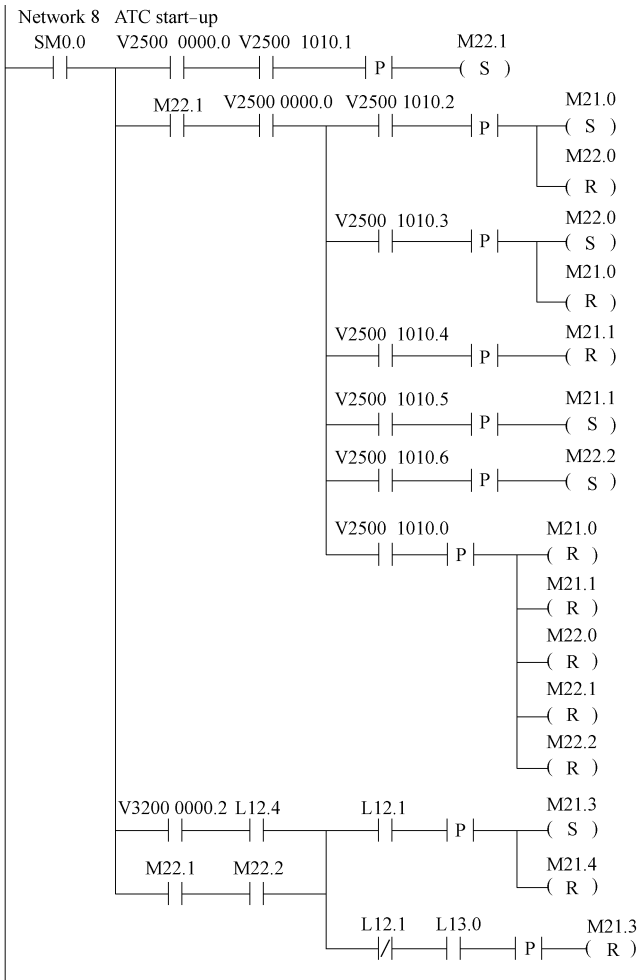


图 9.2-7 换刀调试程序

自动换刀的调试可在 CNC 选择操作方式 MDA 或 JOG 时，通过执行 M81 指令选择换刀调试操作，在此基础上，可利用换刀指令 M82 ~ M86 进行动作的调试。调试方式一旦选定，信号 M22.1 将为 1，此时，执行 M82 ~ M85 指令将生成对应的刀库运动和刀具松夹等控制信



号，调试结束后，可利用 M80 复位全部调试信号。

刀库的回转可通过两种方式进行。在 JOG 操作方式下，如刀库位于后位 ( $L12.4 = 1$ )，可直接利用 MCP 的按键 K4 ( $L12.1$ ) 手动回转刀库，进行装刀等操作；在刀库调试时 ( $M22.1 = 1$ )，可通过 M86 指令生效刀库手动回转操作，并利用 MCP 的按键 K4 ( $L12.1$ ) 手动回转刀库，它对刀库的位置没有规定的要求。

### 8. 输出处理程序

输出处理程序 Network9 的设计如图 9.2-8 所示，它可将换刀控制信号转换为子程序 SBR23 的输出变量，控制相关电磁元件动作。

程序中的换刀调试和自动换刀时的输出处理稍有不同。例如，对于刀库的前后移动，换刀调试 ( $M22.1 = 1$ ) 时，需要检查 Z 轴的位置，以防碰撞；在自动换刀 ( $M20.7 = 1$ ) 时，前后移动信号 M21.0 和 M22.0 已经考虑了动作条件，故可直接控制输出变量。此外，为了使得机床正常加工时能保持刀库后位和刀具夹紧的状态，程序中的刀库前移输出 L14.0 及刀具松开/吹气输出 L13.6/L13.7，只能在 M20.7 或 M22.1 为 1 时输出；而刀库后移的输出 L14.1 可在正常工作、M20.7 及 M22.1 = 0 时保持为 1。

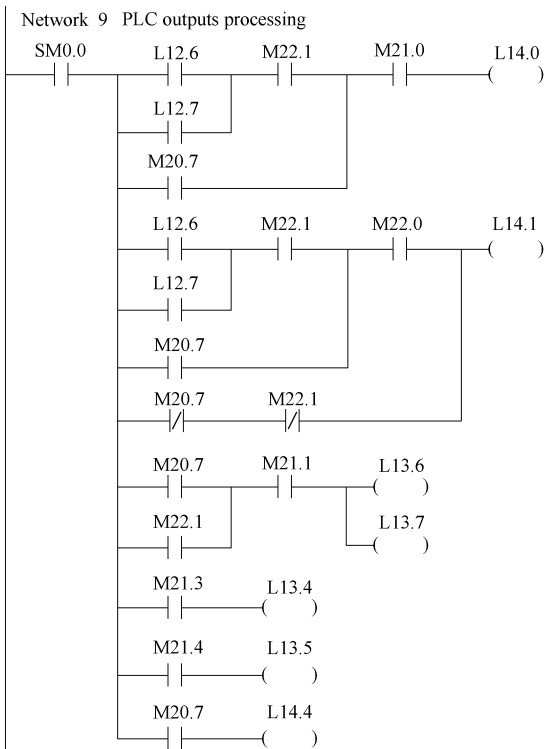


图 9.2-8 输出处理程序

## 9.3 凸轮机械手换刀程序

### 9.3.1 ATC 结构与动作

#### 1. 基本结构

由于结构设计和生产制造成本等多方面原因，除极少数高速、高精度加工中心外，采用刀库或主轴移动式无机械手换刀的加工中心一般都不能实现刀具的预选动作。无机械手换刀的机床进行自动换刀时，必须先将主轴上的刀具放回刀库的原刀位，然后才能进行刀库回转选刀和装刀等动作，其换刀时间通常较长（大于 5s）。同时，它对刀库的安装方式和安装位置都有一定的要求，刀具容量和刀具规格受到局限。因此，在要求换刀时间短或刀库容量大的加工中心上，需要采用机械手换刀方式。

采用机械手换刀的中小规格加工中心如图 9.3-1 所示。

立式加工中心的机械手换刀刀库的常见形式有图 9.3-2 所示两种，盘式刀库的容量通常



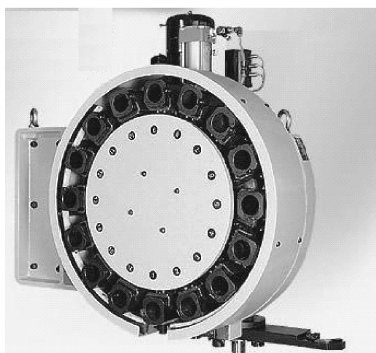
a) 立式



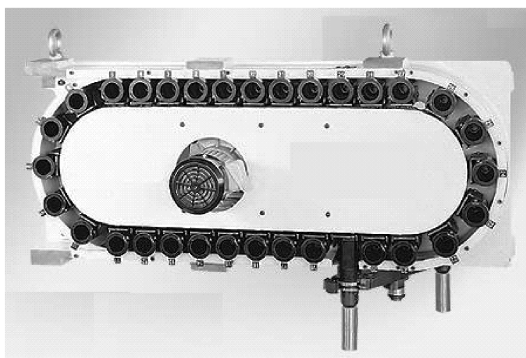
b) 卧式

图 9.3-1 机械手换刀加工中心

在 24 把以内，链式刀库的容量可达 60 把左右。图中的刀库如在结构上旋转 90°后安装，便是卧式加工中心的刀库，因此，对于结构相似的刀库，立式和卧式加工中心的换刀控制实际并无太大区别。



a) 盘式



b) 链式

图 9.3-2 立式加工中心刀库

在采用机械手换刀的加工中心上，刀库一般布置于机床的侧面，刀库上的刀具轴线和主轴轴线垂直，故刀库的容量可以较大，允许安装的刀具长度也较长。此外，这种换刀方式还可在换刀前，先将需要更换的下一刀具提前回转到刀库的换刀位上，实现刀具的预选。自动换刀时只需要执行换刀位刀套翻转、机械手回转和伸缩等运动，就可一次性完成主轴和刀库侧的刀具交换，其换刀速度非常快。因此，它是目前高速加工中心常用的自动换刀方式。

机械手换刀装置的机械手运动控制，有机械联动凸轮驱动和液压（或气动）系统控制两种。采用机械联动凸轮驱动的换刀装置结构紧凑、换刀快捷、控制容易，但它对机械部件的安装位置和调整有较高的要求，故多用于小规格工作台移动的加工中心。采用液压（或气动）系统控制的换刀装置，需要配套相应的液压或气动系统，其结构部件较多，生产制造成本较高，但其使用方便、动作可靠、调试容易，且可满足不同结构形式的加工中心换刀要求，故可用于大、中型加工中心。

链式刀库和盘式刀库只是形状、容量和机械结构上的区别，两者在 PLC 程序设计上并



无太大的区别。此外，采用同类换刀装置的立式和卧式加工中心的换刀动作也基本相同。

常用规格的机械手换刀装置，目前已有专业生产厂家生产，机床生产厂家通常直接选配标准功能部件，故绝大多数加工中心的换刀原理相同，PLC 程序设计要求一致。此外，由于 802S/C/D 等简单 CNC 较少用于液压驱动机械手换刀的加工中心，因此，本节的以下内容将以使用盘式刀库、机械联动凸轮驱动的立式加工中心为例，来介绍机械手换刀机床的 PLC 程序设计要求和方法。

## 2. 换刀动作

立式加工中心常用的机械联动凸轮驱动的机械手换刀装置结构如图 9.3-3 所示，换刀装置主要由刀库回转系统和机械手驱动系统两大部分组成。

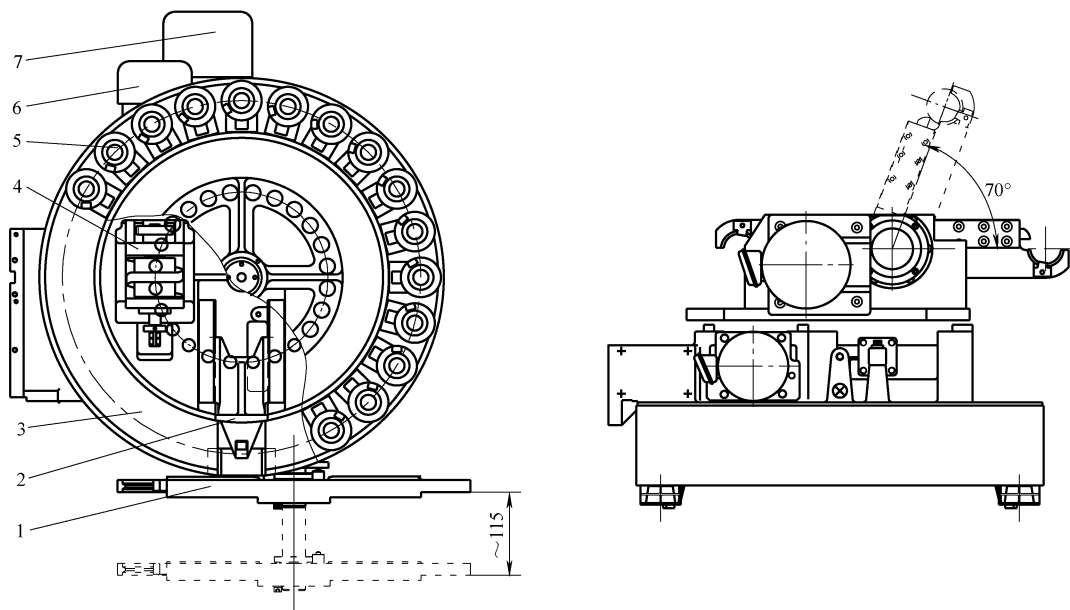


图 9.3-3 凸轮联动换刀装置的结构

1—刀臂 2—刀套翻转机构 3—刀库 4—回转机构 5—刀套 6—回转电动机 7—机械手驱动电动机

刀库回转系统由回转电动机、减速器、蜗杆凸轮回转机构、刀库、刀套、换刀位刀套翻转机构等部件组成，它主要用于来安装刀具、实现刀具预选和换刀位刀套翻转。机械手驱动系统由机械手驱动电动机、弧面/平面组合凸轮、弧面凸轮驱动的机械手回转机构、平面凸轮驱动的刀臂伸缩机构等部件组成，它用来实现机械手的回转和刀臂伸缩等动作，进行刀库换刀位和主轴上的刀具交换。

有关换刀装置的内部结构与原理，可参见本书作者编写的《现代数控机床设计典例》一书。

机械联动凸轮换刀装置的刀库回转系统控制要求与斗笠式刀库类似，机械手驱动系统的换刀动作如图 9.3-4 所示，换刀时机械手的动作过程如下。

1) 刀具预选。在刀具交换前，机械手应位于上位、0°的初始位置，机床可以在加工的同时，通过 T 代码指令将刀库上安装有下一把刀具的刀座（刀套）事先回转到刀库的刀具交换位上，做好换刀准备，完成刀具预选动作。执行自动换刀指令（M06）前，主轴应先进

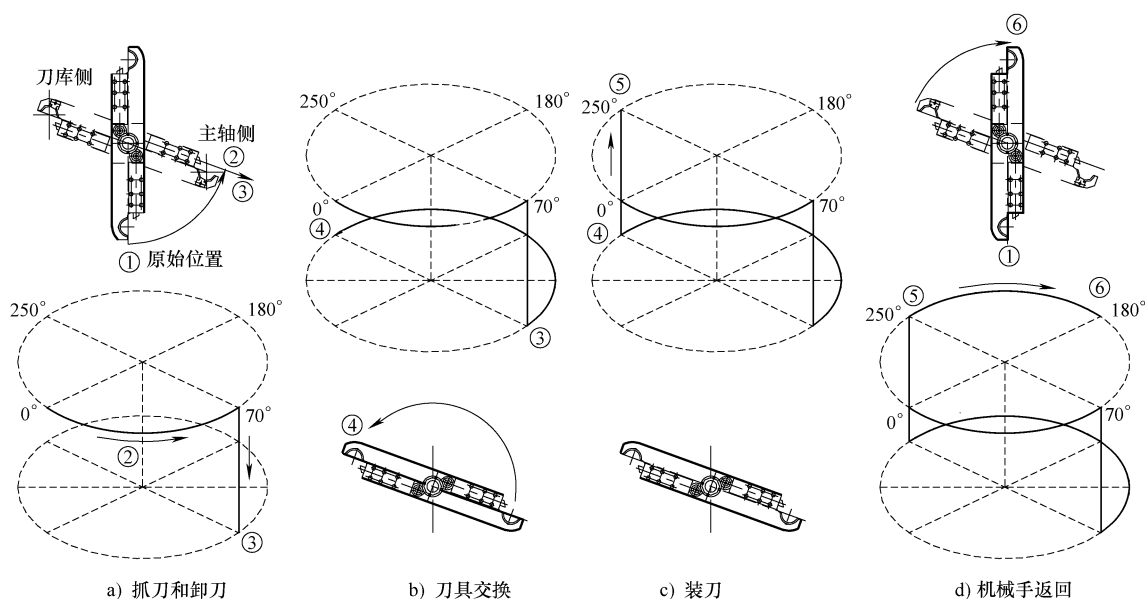


图 9.3-4 机械手换刀动作

行定向准停，Z 轴应快速运动到换刀位置。

2) 机械手回转抓刀。换刀开始后，首先通过气动（或液压）系统将刀库换刀位的刀套连同刀具翻转  $90^\circ$ ，使刀具轴线和主轴轴线平行。然后，起动机械手驱动电动机，机械手可在弧面凸轮的驱动下进行  $70^\circ$  左右的回转（不同机床有所区别），使两侧的手爪同时夹持刀库换刀位和主轴上的刀具刀柄，完成抓刀动作。

3) 卸刀。机械手完成抓刀后，机械手驱动电动机停止。然后，利用气动（或液压）系统松开主轴上的刀具，进行主轴吹气。刀具松开后，再次起动机械手驱动电动机，机械手将转换到平面凸轮驱动模式，刀臂在平面凸轮的驱动下伸出（SK40 为  $115\text{mm}$  左右），刀库和主轴上的刀具被同时取出。

4) 刀具交换。卸刀完成后，机械手重新转换到弧面凸轮的驱动模式，进行  $180^\circ$  旋转，将刀库和主轴侧的刀具互换。

5) 装刀。刀具交换完成后，机械手又将转换到平面凸轮驱动模式，刀臂自动缩回，将刀具同时装入刀库和主轴。接着，停止机械手驱动电动机，并利用气动（或液压）系统夹紧主轴上的刀具，关闭主轴吹气。

6) 机械手返回。主轴上的刀具夹紧完成后，第 3 次起动机械手驱动电动机，机械手将在弧面凸轮的驱动下返回到  $180^\circ$  位置，机械手换刀动作结束。此时，可利用气动（或液压）系统将刀库刀具交换位的刀套连同刀具向上翻转  $90^\circ$ ，回到水平位置。

由于机械手的结构完全对称，因此，其  $180^\circ$  位置和  $0^\circ$  位置并无区别，故可在  $180^\circ$  位置上继续进行下一刀具的交换。在部分机床上，换刀位刀套的  $90^\circ$  翻转动作有时还可在预选完成后直接进行，但这种控制方式，在加工程序中连续执行 T 代码指令时，会产生刀套翻转的多余动作。

以上机械手换刀装置的刀臂回转（弧面凸轮驱动）、刀臂伸缩（平面凸轮驱动）及驱动



电动机启动/停止、主轴上刀具松开/夹紧的动作配合曲线如图 9.3-5 所示。

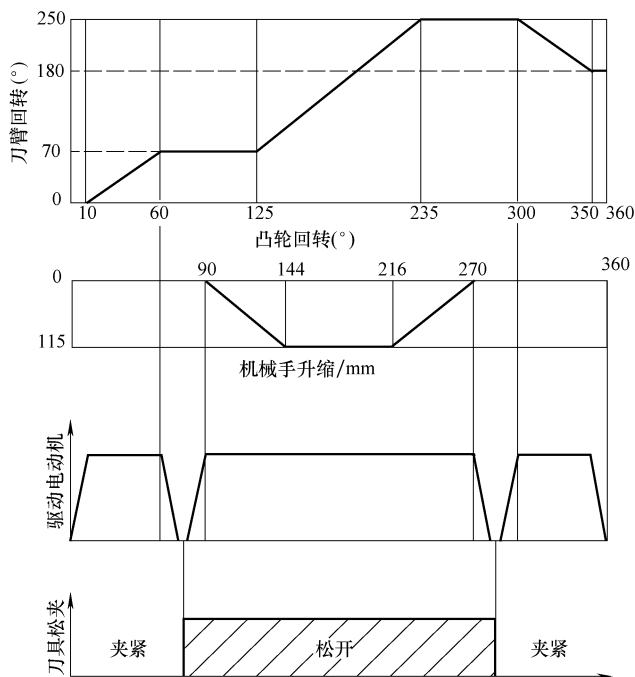


图 9.3-5 机械手换刀动作配合曲线

换刀开始前，弧面/平面凸轮停止在  $0 \pm 10^\circ$  的范围，机械手处于上位、 $0^\circ$  的初始位置。换刀开始后，启动机械手驱动电动机使凸轮转过  $60^\circ$  左右，机械手将在弧面凸轮的驱动下，完成  $70^\circ$  转位动作。回转到位后，应立即停止驱动电动机，并保证凸轮停止在  $60 \sim 90^\circ$  范围内。此时，可通过气动（或液压）系统松开主轴上的刀具。

刀具松开完成后，需要再次启动机械手驱动电动机，机械手将在平面凸轮、弧面凸轮的联合驱动下，连续执行机械手伸出、 $180^\circ$  回转和机械手缩回装刀动作。当凸轮回转到  $270^\circ$  后，应再次停止机械手驱动电动机，并通过气动（或液压）系统夹紧主轴上的刀具。

刀具夹紧完成后，第 3 次启动机械手驱动电动机，使凸轮转到  $360 \pm 10^\circ$  位置，弧面凸轮将驱动机械手完成  $70^\circ$  返回动作，回到  $180^\circ$  位置，结束换刀动作。

### 9.3.2 PLC 程序设计要求

#### 1. 换刀控制要求

为了提高换刀速度，机械手换刀的加工中心需要有刀具预选动作，在加工程序中，用来预选刀具的 T 代码指令与执行换刀动作的 M06 指令一般需要分开编程。

T 代码指令可在机床加工的同时指定，以启动刀具预选。执行 T 代码，可立即启动刀库回转选刀动作，将安装有下一把需要更换刀具的刀库刀套回转到刀库换刀位上。

换刀指令 M06 在加工完成、主轴定向准停、Z 轴移动到换刀位置（通常为参考点）后执行，以启动机械手换刀动作循环。执行 M06 指令，需要进行刀库换刀位的刀套  $90^\circ$  翻转/复位、机械手驱动电动机起/停、主轴刀具松/夹等动作控制。在绝大多数情况下，机械手换刀加工中心的刀套  $90^\circ$  翻转/复位、主轴上的刀具松开/夹紧都采用气动或液压系统控制，而



机械手的回转、伸缩等运动则全部通过机械手驱动电动机的起/停实现。因此，凸轮机械手换刀的电磁元件动作通常如表 9.3-1 所示。

表 9.3-1 机械手换刀电磁元件动作表

序号	机械手动作	电磁元件			检测开关								
		M3	Y1/Y2	Y3	Y4	S30	S31	S22	S23	S24	S25	S26	S27
1	初始位置	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-
2	刀套翻转 90°	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-
3	机械手 70°回转	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+
4	刀具松开/吹气	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+
5	刀臂伸出	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-
6	机械手 180°回转	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-
7	刀臂缩回	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+
8	刀具夹紧/关气	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+
9	机械手返回	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-
10	刀套返回 0°	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-
11	换刀完成	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-

注：+ 为电磁阀接通或开关发信；- 为电磁阀断开或开关不发信。

## 2. 相关控制信号

当 802S/C/D 用于采用上述机械手换刀加工中心控制时，其自动换刀 PLC 程序设计所涉及的控制信号及功能如表 9.3-2 所示。为了增加程序通用性，表中带阴影的信号可借用模板程序的 CNC 用户数据和标志寄存器。

表 9.3-2 机械手换刀控制信号地址一览表

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
CNC 用户数据设定及报警输出信号	VW4500 0032	机床类型	用户数据 MD14510[16] 设定,0:车床;1:加工中心
	VW4500 0040	刀库最大刀位数	用户数据 MD14510[20] 设定值
	V4500 1011.7	电动刀架有效	用户数据 MD14512[21] bit7 设定,0:加工中心刀库
	MW90	反转锁紧时间	用户数据 MD14510[22] 设定,用作主轴刀具松/夹延时
	V1600 0000.1	报警 700001	报警 700001:刀号出错
	V1600 0002.7	报警 700023	报警 700023:编程刀具号大于刀库最大刀位数
CNC 及通道 I/O 信号	V2500 0000.0	MF	来自 CNC 的 M 修改信号
	V2500 1000.6	M06 代码输出	来自 CNC 的 M06 代码信号(脉冲)
	V2500 0001.4	TF	来自 CNC 的 T 修改信号
	VD2500 2000	T 代码输出	来自 CNC 的 32 位二进制 T 代码信号
	V2700 0000.1	CNC 急停	来自 CNC 的急停状态信号
	V3100 0002.2	JOG 方式	来自 CNC 的 JOG 操作方式信号
	V3200 0006.0	进给使能禁止	输出至 CNC 的通道进给使能禁止信号
	V3200 0006.1	读入使能禁止	输出至 CNC 的通道读入使能禁止信号



(续)

类别	编程地址	信号名称	作用与功能
MCP 面板 I/O 信号	V1000 0000.1	MCP-K2 键	MCP K2 键输入,定义为主轴刀具松开键
	V1000 0000.3	MCP-K4 键	MCP K4 键输入,定义为手动刀库回转键
	V1000 0003.0	MCP-NC 复位键	MCP NC 复位键输入
	V1100 0000.1	K2 键指示灯	MCP K2 键指示灯输出
	V1100 0000.3	K4 键指示灯	MCP K4 键指示灯输出
机床 I/O 信号	I2.0	刀位计数输入 S20	PLC 输入,地址可改变
	I2.1	刀库参考点输入 S21	PLC 输入,地址可改变
	I2.2	刀臂上位 S22	PLC 输入,地址可改变
	I2.3	刀套垂直 S23	PLC 输入,地址可改变
	I2.4	刀套水平 S24	PLC 输入,地址可改变
	I2.5	刀臂下位 S25	PLC 输入,地址可改变
	I2.6	机械手 0°S26	PLC 输入,地址可改变
	I2.7	机械手 70°S27	PLC 输入,地址可改变
	I3.0	刀具夹紧 S30	PLC 输入,地址可改变
	I3.1	刀具松开 S31	PLC 输入,地址可改变
	Q2.0	刀库正转输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.1	刀库反转输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.2	主轴吹气阀 Y1 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.3	刀具松开阀 Y2 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.4	刀套垂直阀 Y3 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.5	刀套水平阀 Y4 输出	PLC 输出,地址可改变
	Q2.6	机械手电动机 M3 起动	PLC 输出,地址可改变

### 3. PLC 程序设计

采用机械手换刀的加工中心换刀程序相对较复杂,它不仅需要有刀位计数、转向判别、刀库回转和换刀控制等基本程序,而且由于刀库刀座上所安装的刀具将随着换刀的进行而变化。因此,需要通过刀座的刀具安装表,建立起刀具和刀座间的对应关系。在此基础上,再通过刀具检索程序,将安装有 T 代码指定刀具的刀座,回转到刀库的换刀位,完成刀具预选。换刀完成后,还需要有刀具安装表更新程序,建立新的刀具安装表。

在 802S/C/D 上,机械手换刀程序一般需要编写和调用如下子程序。

1) 刀位计数程序。机械手换刀的加工中心刀库通常也采用感应电动机驱动的蜗杆凸轮分度机构,刀库上的刀座位置计数通过计数开关和参考点开关实现,因此,刀位计数同样可通过调用 8.2 节所介绍的子程序 SBR20 实现。需要注意的是:在机械手换刀加工中心上,程序 SBR20 所生成的刀位输出 VD1400 0056 应是刀库换刀位的刀座号,而不是换刀位刀座上所安装的刀具号。

2) 刀具安装表初始化程序。该子程序用来建立刀库刀座的初始刀具安装表。由于 802S/C/D 的功能较简单,它不像 FANUC 系统那样有大量可通过 MDI 面板设定数值的数据





存储器可供 PLC 程序使用，PLC 和 CNC 间的数据交换只能通过有限的 CNC 用户数据 MD14510 和 MD14512 实现，因此，进行刀具安装表初始化时，需要在刀库刀座上一次性安装全部刀具，并保证刀座号和刀具号一致，即：1 号刀座安装刀具 T1、2 号刀座安装刀具 T2…。SIEMENS 子程序库所提供的刀具安装表初始化子程序 SBR52（MGZ\_INI）就是按照以上要求设计的程序，编程时可根据需要直接或对其修改后使用。

3) 刀具检索程序。该子程序用于刀具预选。程序应根据 CNC 编程的 T 代码，通过刀具安装表，查找 T 代码指定刀具所在的刀库刀座号，以便将该刀座事先回转到刀库的换刀位上，以完成刀具预选动作。SIEMENS 子程序库所提供的刀具检索子程序 SBR50（MGZ\_SRCH）可用于刀具检索控制，编程时可根据需要直接或对其修改后使用。

4) 转向判别程序。机械手换刀的加工中心刀库一般允许双向选择，故同样可通过调用 SIEMENS 子程序库的捷径选择程序 SBR48（TOOL\_DIR），生成刀具预选所需的刀库捷径转向。子程序 SBR48 的说明可参见 8.2 节，调用子程序 SBR48 时，输入变量 Tprog（目标刀位）应赋值为通过刀具检索程序得到的、T 代码指定刀具所在的刀库刀座号。

5) 自动换刀控制程序。该子程序需要用户自行设计。子程序应根据机械手换刀的动作要求编写，它需要包括刀具预选和机械手换刀控制等内容，详见后述。

6) 刀具安装表更新程序。该子程序用于刀具安装表在更新，程序在自动换刀动作完成后执行。刀具安装表在更新时，需要将原主轴上所安装的刀具号写入至刀库换刀位的刀座上，将 CNC 编程 T 代码指定的刀具号写入至主轴上。SIEMENS 子程序库所提供的刀具安装表更新子程序 SBR51（MGZ\_RNEW）可用于刀具安装表的更新，编程时可对其修改后使用。

### 9.3.3 刀具安装表初始化程序典例

#### 1. 刀具安装表

在机械手换刀的加工中心上，为了在刀库刀座上找到 T 代码所指定的刀具，需要建立一个数据表，以表明刀具在刀套上的安装位置，这一数据表称为刀具安装表，又称随机刀具安装表。这样，便可通过刀具预选将安装有 T 代码指定刀具的刀座回转到刀库的换刀位，以便通过机械手换刀动作，将其装入主轴。

刀具安装表需要有断电保持功能，因此，对于 802S/C/D，它需要通过公共变量 V 实现。SIEMENS 子程序库所提供的子程序 SBR50 ~ SBR52 最大可用于 40 刀位的刀库控制，子程序规定的刀具安装表如表 9.3-3 所示。

表 9.3-3 刀具安装表的定义

数据寄存器地址	对应刀座号	数据格式	数据长度	数据寄存器的内容(数值)
VB1400 0000	主轴	二进制	1 字节	现行主轴上的刀具号
VB1400 0001	1	二进制	1 字节	1 号刀座上的刀具号
VB1400 0002	2	二进制	1 字节	2 号刀座上的刀具号
.....		.....	.....	.....
VB1400 0040	40	二进制	1 字节	40 号刀座上的刀具号

表中的断电保持公共变量 VB1400 0000 代表主轴，VB1400 0001 ~ VB1400 0040 代表刀库刀座 1 ~ 40，变量所存储的数值，就是安装在对应刀座上的刀具号。

802S/C/D 定义刀具安装表时需要注意以下几点。



1) CNC 加工程序中的 T 代码实际上用来指定加工所需的刀具号, 但 PLC 程序所能够控制的只是刀架或刀库上用来安装刀具的刀座位置, 两者实际上是不同的概念。

2) 对于数控车床刀架、无机械手换刀的加工中心刀库, 由于换刀前后刀具在刀架或刀库上的安装位置一般不变, 为了便于 PLC 编程和控制, 通常将刀架或刀库的刀座号和 CNC 加工程序中的刀号定义成一致, 即 CNC 加工程序中的编程刀号 T 就是刀架或刀座号。因此, 加工程序中的编程 T 代码范围受刀架或刀座刀位数的限制。例如, 对于 12 刀位的刀架或刀库, CNC 加工程序中的 T 代码编程范围应为 T1 ~ T12 等。故在 PLC 程序设计时, 需要设计对应的 T 代码范围判别程序。

3) 在采用机械手换刀的加工中心上, 由于刀具可安装在刀库的任意刀座上, CNC 加工程序中 T 代码指定的刀具号和刀库的刀座号并不对应, 因此, 从一般意义上说, T 代码的编程范围可不受刀库刀位数的限制。例如, 对于 18 刀位的刀库, 刀座中所安装的刀具号既可以是 T1 ~ T18, 也可以为 T101 ~ T118 或 T20、T38、T106 等任意值。故在 PLC 程序设计时, 一般不需要设计 T 代码范围判别程序。

4) 由于 802S/C/D 的功能简单, 它不能通过 CNC 的面板操作设定 PLC 的公共变量 V 和建立随机刀具安装表。因此, 只能通过规定的刀具安装方法, 利用下述的简单刀具安装表初始化子程序 SBR52 (MGZ\_INI) 建立刀具安装表, 勉强满足机械手换刀加工中心的自动换刀要求。利用 SBR52 建立刀具安装表时, 必须在刀库上规定一次性安装全部刀具, 并保证刀库刀座号和刀具号完全一致, 因此, 刀库上所安装的刀具号和加工程序中的编程刀号仍然不能超过刀库刀位数的范围。

## 2. PLC 程序与使用

机床首次安装刀具或重新安装刀具时, 需要进行刀具安装表的输入与编辑, 刀具安装表初始化程序的作用是建立刀座的初始刀具安装表。SIEMENS 子程序库所提供的刀具安装表初始化子程序 SBR52 (MGZ\_INI) 就是为了实现这一功能而设计的, PLC 用户程序设计时可直接使用。

刀具安装表初始化子程序 SBR52 (MGZ\_INI) 非常简单, 其程序 Network1 如图 9.3-6 所示。由于 S7-200 编程软件的网络指令数量限制, 对于容量为 24 ~ 48 把刀的刀库, 需要增加相应的程序 Network2。

程序 Network1 可通过字节移动指令 MOV\_B, 将常数 0 及 1 ~ 24 依次写入到刀具安装表的主轴及刀座 1 ~ 24 上, 初始化刀具安装表。因此, 使用子程序 SBR52 (MGZ\_INI) 时必须注意以下几点。

1) 刀具安装表初始化只能在刀具首次安装或刀具重新安装时进行, 因此, 子程序 SBR52 需要通过特定的控制信号或特殊的辅助功能指令 (如 M60) 进行调用, 而不能通过 PLC 的首循环信号 SM0.1 或在程序执行过程中始终保持为 1 的信号 SM0.0 等进行调用。

2) 由于 802S/C/D 的功能限制, 执行刀具安装表初始化子程序 SBR52, 对主轴和刀库上的刀具初始化安装有规定的要求。即: 初始化安装时需要保证主轴上无刀具 (刀具号为 0); 刀库的所有刀座上应一次性安装全部刀具, 并保证刀座号和刀具号完全一致, 也就是说, 1 号刀座必须安装刀具 T1、2 号刀座必须安装刀具 T2 等。

3) PLC 在执行刀具安装表初始化子程序 SBR52 后, 其刀具安装表的设定值将为 VB1400 0000 = 0、VB1400 0001 = 1、VB1400 0002 = 2 等。这一结果应在执行 SBR52 后、自





## 2. PLC 程序

SIEMENS 子程序库所提供的刀具检索子程序 SBR50 (MGZ\_SRCH) 设计如图 9.3-7 所示。同样, 由于 S7-200 编程软件的网络指令数量限制, 对于容量为 13~48 把刀的刀库, 需要在程序上插入与 Network3 类似的 Network4 或 Network5、Network6 等, 此时, 图中 Network5~Network7 的编号依次后移。

程序中的 Network1 用来生成刀具检索标志 L8.0, 执行程序时首先将其状态置为 1。如刀库上未安装 T 代码所指定的刀具, L8.0 的状态可通过后述的 Network5 为 0, 变量 LD4 上输出初始状态 0。

Network2 的作用是通过移动指令 MOV\_B, 将累加器 AC0 中的 32 位二进制格式的 CNC 编程刀号输入变量 LD0 转换为字节型的刀号, 并保存到变量 LB9 上, 使之和刀具安装表上的刀号格式 (字长) 一致。

Network3 可通过 LB9 和刀具安装表存储器 V1400 0000~V1400 0012 内容的依次比较, 检查刀座 1~12 上是否安装有 CNC 编程的刀具。如果 CNC 编程刀具存在, 程序可通过移动指令 MOV\_B 将变量 LB10 设定为刀具预选的目标刀座号, 然后直接利用程序跳转指令 JMP, 跳转至标记 100 (图中的 Network6) 处, 继续执行。

对应 13~24 刀座的刀库, 需要增加 Network4。Network4 的设计思路与 Network3 完全相同, 它可通过 LB9 和刀具安装表存储器 V1400 0013~V1400 0024 内容的依次比较, 检查刀座 13~24 上是否安装有 CNC 编程的刀具。如果刀库刀座超过 24, 则还可增加同样的程序 Network5 和 Network6 等。

图中的 Network5 用于刀具检索标志 L8.0 的复位, 如刀库所有刀座上均未安装 T 代码所指定的刀具, L8.0 的状态将被复位为 0, 变量 LB10 为初始状态 0。Network6 为 JMP 指令的跳转目标标记, 如刀具安装表中检索到 T 代码所指定的刀具, Network5 将被跳过, 刀具检索标志 L8.0 保持状态 1。

Network7 用于目标刀座的格式转换, 它可通过移动指令 MOV\_DW, 将累加器 AC0 中字节形式的目标刀座号 LB10 转换为 32 位二进制格式的数据, 并输出到变量 LD4 上。

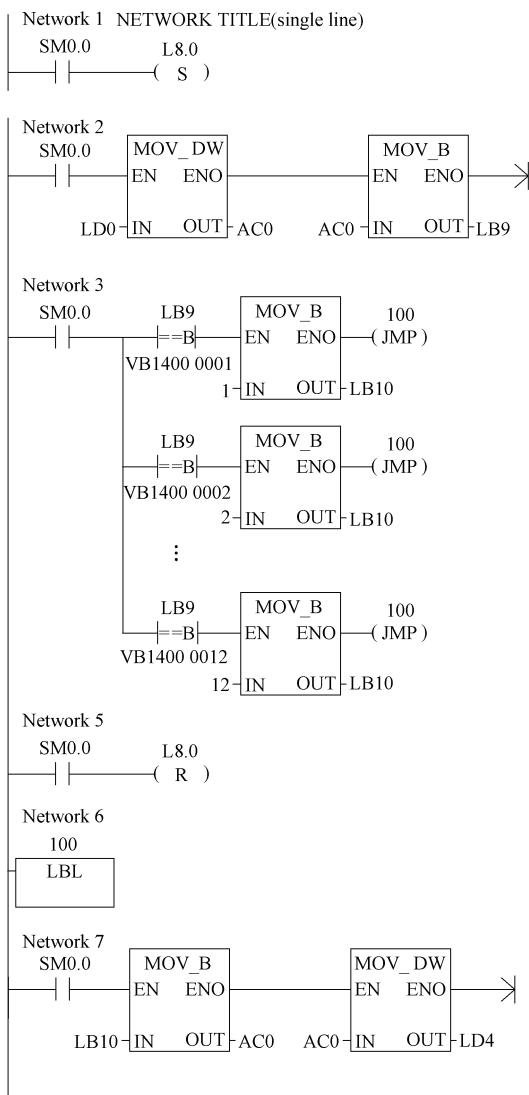


图 9.3-7 刀具检索程序



### 9.3.5 刀具安装表更新程序典例

#### 1. 子程序说明

刀具安装表更新程序用于刀具自动交换后的刀具安装表数据更新。在机械手换刀的加工中心上，刀具交换完成后，主轴上的刀具将和刀库现在换刀位上的刀具相互交换。因此，需要通过刀具安装表更新程序，对刀具安装表中的主轴上的刀号、刀库现在换刀位刀座上的刀号进行修改。即：将原主轴刀号存储变量 VB1400 0000 上的值写入到刀库现在换刀位刀座存储器上，而将加工程序中 T 代码指令的刀号写入到主轴刀号存储变量 VB1400 0000 上，以完成刀具安装表的数据更新。

SIEMENS 子程序库所提供的刀具安装表更新子程序 SBR51（MGZ\_RNEW）可用于刀具安装表的数据更新。但是，子程序 SBR51 只能实现将原主轴刀号写入现在换刀位刀座存储器的功能，用户实际使用时，需要增加将加工程序中 T 代码指令的刀号，写入到主轴刀号存储变量 VB1400 0000 局部变量的 PLC 程序中。

修改后的子程序 SBR51 的局部变量定义如表 9.3-5 所示。使用时应注意，表中的 LD4、LD8、LB12 与 SIEMENS 子程序库提供的 SBR51 变量定义有所不同。

表 9.3-5 SBR51 局部变量定义表

局部变量			数据类型	参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LB0	T_No	IN	BYTE	VB1400 0000	原主轴上的刀号
LD4	P_TOOL	IN	DWORD	VD2500 2000	CNC 编程刀号(32 位二进制 T 代码)
LD8	HD_NO	IN	DWORD	VD1400 0056	刀库现在换刀位的刀座号(32 位二进制 T 代码),使用计数子程序 SBR20 输出
LB12	HDnum	TEMP	BYTE	—	刀库现在换刀位的刀座号(字节型)

#### 2. PLC 程序

修改后的刀具安装表更新子程序 SBR51（MGZ\_RNEW）的设计如图 9.3-8 所示。同样，由于 S7-200 编程软件的网络指令数量限制，对于容量为 13~48 把刀的刀库，需要在程序上插入与 Network2 类似的 Network3 或 Network4、Network5 等，此时，图中 Network4 的编号依次后移。

Network1 的作用是通过移动指令 MOV\_B 将累加器 AC0 中的 32 位二进制格式的刀库现在换刀位刀座号输入变量 LD8 转换为字节型的刀座号，并保存到变量 LB12 上，使之和刀具安装表上的刀座号格式（字长）一致。刀库现在换刀位刀座号输入变量 LD8 的值来自刀位计数子程序 SBR20 的输出。

Network2 用于刀库换刀位的刀号更新。程序通过刀座号 LB12 和常数 1~12 的依次比较，判断刀库现在换刀位的刀座号，如两者相等，程序可通过移动指令 MOV\_B 将变量 LB0 的值（原主轴上的刀号）写入到刀具安装表的该刀座存储器上。例如，当刀库现在换刀位刀座号 LB12 = 2，原主轴上的刀具号输入变量 LB0（即 VB1400 0000）为 5 时，执行程序后，刀库 2 号刀座存储器 VB1400 0002 上的刀具号将成为 5 等。

Network4 用于主轴刀号的更新。程序通过移动指令 MOV\_B，将累加器 AC0 中的 32 位



二进制格式的 CNC 编程刀号输入变量 LD4 转换为字节型的刀具号，并保存到刀具安装表的主轴刀号存储器 VB1400 0000 上。

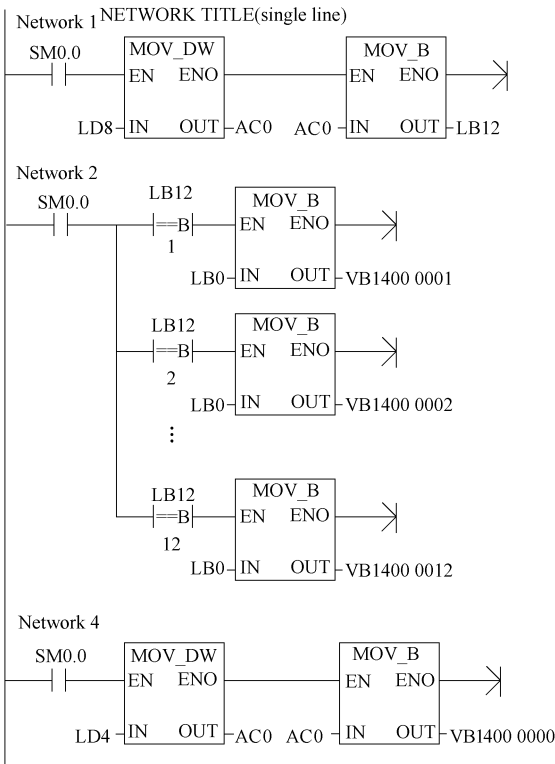


图 9.3-8 刀具安装表更新程序

9.3.6 刀具预选程序典例

采用机械手换刀的加工中心换刀程序通常由刀具预选子程序和换刀控制子程序组成，刀具预选子程序由 CNC 加工程序中的 T 代码控制，其作用是将安装于 T 代码指定刀具的刀座回转到刀库换刀位上，为自动换刀做好准备；换刀控制子程序由 CNC 加工程序中的 M06 代码控制，它可以通过机械手的运动实现刀库换刀位刀具与主轴刀具的交换。

SIEMENS 子程序库和模板程序未提供此子程序，以下 SBR24 是用于刀具预选控制的子程序例，换刀控制的子程序 SBR25 可参照 9.3.7 节进行设计。

1. 局部变量定义

子程序 SBR24 的局部变量定义及调用时的赋值要求如表 9.3-6 所示。

表 9.3-6 SBR24 局部变量定义表

局部变量			数据类型	参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LD0	T_maxD	IN	DWORD	VD1400 0060	刀库刀位数,刀位计数器子程序 SBR20 输出
LD4	T_currD	IN	DWORD	VD1400 0056	刀库换刀位刀座号,计数器子程序 SBR20 输出
LB8	T_spno	IN	BYTE	VB1400 0000	当前主轴刀号



(续)

局部变量			数据类型	参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
L9.0	ERR1	OUT	BOOL	V16000002.7	报警 700023, 编程刀号大于最大刀号
L9.1	ERR2	OUT	BOOL	Q、M 或 V	编程刀号等于 0 则报警
L9.2	ERR3	OUT	BOOL	Q、M 或 V	T 代码指定的刀具未安装在刀库上
L9.3	MG_CW	OUT	BOOL	Q2.0	刀库正转(参考地址)
L9.4	MG_CCW	OUT	BOOL	Q2.1	刀库反转(参考地址)
L9.5	MG_rtok	OUT	BOOL	V1400 0055.0	刀库完成刀具预选回转
LD12	T_prog	TEMP	DWORD	—	CNC 编程刀号(32 位二进制 T 代码)
LD16	T_spnd	TEMP	DWORD	—	当前主轴刀号(32 位二进制 T 代码)

输出变量 L9.2 为刀具检索报警输出, 如换刀时机床尚未执行刀具安装表初始化子程序 SBR52 (MGZ\_INI), 刀具检索时可能出现 T 代码指定刀具未在刀库上安装的报警, L9.2 的输出将为 1。输出变量 L9.5 为刀库刀具预选完成信号, 信号在刀库完成预选后输出 1, 变量 L9.5 一般定义为断电保持的 PLC 公共变量。

## 2. PLC 程序

用于刀具预选控制的 PLC 子程序一般由 T 代码判别和刀库回转控制两大部分组成, 程序实例说明如下。

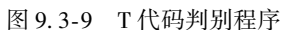
1) T 代码判别。T 代码判别程序用于 CNC 加工程序中的编程 T 代码检查, 程序设计如图 9.3-9 所示, Network1 和 Network2 在 CNC 执行 T 指令、T 代码修改信号 TF (V2500 0001.4) 为 1 时执行。

程序 Network1 用于 T 代码编程范围检查, 只要 CNC 执行 T 代码指令、输出 TF 信号, 该程序必然被执行。如前所述, 由于 802S/C/D 的功能简单, 利用刀具安装表初始化子程序 SBR52 (MGZ\_INI) 建立初始刀具安装表时, 必须保证刀库的刀座号和刀具号的一一对应, 因此, CNC 加工程序中的编程刀号仍然受到刀库刀位数的限制, PLC 程序需要对 T 代码编程范围进行检查。

在 Network1 上, 当 CNC 输出 TF 信号时, 将首先复位编程刀号和当前主轴刀号一致标志 M30.0, 刀具预选完成状态输出变量 L9.5。然后, 进行 T 代码编程范围判别, 如 T 代码大于刀库刀位数, 报警变量 L9.0 输出 1; 如 T 代码编程为 T0, 则报警变量 L9.1 输出 1。程序的报警输出信号 L9.0 和 L9.1 可通过专门的 PLC 报警处理程序处理; 当 CNC 加工程序中的 T 代码编程错误时, 可直接停止子程序的执行。

程序 Network2 用于编程刀号一致检查。子程序的输入变量 LB8 的赋值为存储器 VB1400 0000, 在刀具安装表上, 其内容为当前主轴上所安装的刀具号。LB8 可通过累加器 AC0 和移动指令 MOV\_DW 转换为 32 位二进制格式的数据, 并保存到变量 LD16 上。如果当前主轴上所安装的刀具号 LD16 和 CNC 加工程序中的编程刀号 LD12 一致, 状态信号 M30.0 将置 1, 并直接结束子程序的执行。信号 M30.0 用于后述的 M06 自动换刀控制, M30.0 一旦为 1, PLC 将不再执行机械手换刀的动作。

2) 刀库回转控制程序。刀库回转控制程序包括刀具检索和刀库回转两部分, 程序设计



Network4 的第 2 部分为回转到位判别程序。当刀库正转 M20.3 或反转 M20.4 控制信号输出为 1 时, 如刀库回转到达了目标刀位 MD40, 程序将输出预选完成信号 I9.5 (V1400 0055.0), 并复位刀库正转输出信号 M20.3 或反转输出信号 M20.4。



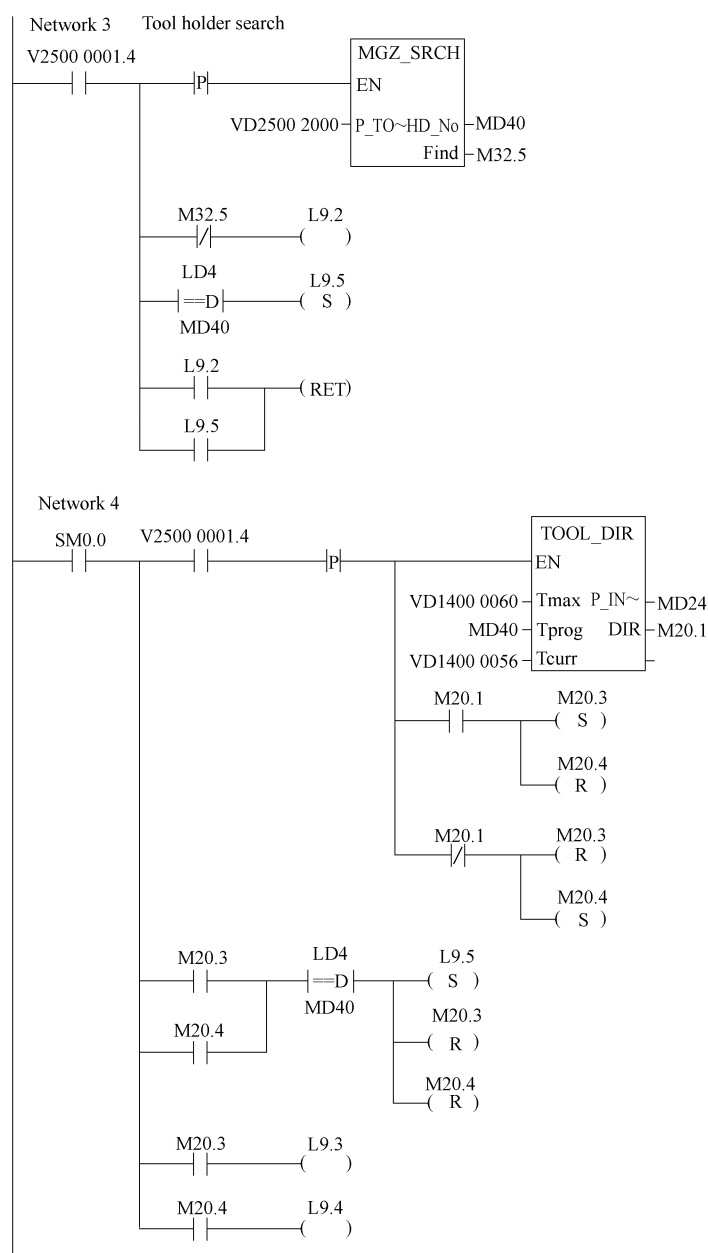


图 9.3-10 刀库回转控制程序

Network4 的第 3 部分为刀库正/反转控制信号输出程序，它可将刀库正/反转信号 M20.3/M20.4 的状态输出到变量 L9.3/L9.4 上，以控制刀库回转电动机的正反转。

以上刀具预选 PLC 程序可通过 CNC 的 T 代码指令执行，程序执行时，CNC 的通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0、读入使能禁止信号 V3200 0006.1 保持 0，因此，刀具预选可在机床加工的同时进行。刀具预选完成后，状态信号 V1400 0055.0 为 1，此时可通过加工程序中的换刀指令 M06，执行机械手换刀动作。



### 9.3.7 自动换刀程序典例

机械手换刀需要在刀具预选完成后执行，它一般通过 CNC 加工程序中的 M06 代码控制。机械手换刀的动作主要包括刀库换刀位刀套的 90° 翻转、主轴上刀具的松开/夹紧及机械手伸缩、回转等。当机械手采用机械凸轮驱动时，其伸缩和回转动作可由机械凸轮联动机构实现，PLC 程序只需要根据要求控制机械手驱动电动机的起停。

SIEMENS 子程序库和模板程序未提供机械手换刀子程序，以下 SBR25 是用于自动换刀控制的子程序例。自动换刀时的电磁元件动作要求可参见 9.3.1 节。

#### 1. 局部变量定义

子程序 SBR25 的局部变量定义及调用时的赋值要求如表 9.3-7 所示，程序中的主轴刀具夹紧/松开延时 LW0，可通过 CNC 用户数据 MD14510 [22] 设定。

表 9.3-7 SBR25 局部变量定义表

局部变量			数据类型	参考赋值	变量含义与作用
地址	符号名	类型			
LW0	C_time	IN	WORD	MW90	主轴刀具松开/夹紧延时，MD14510[22] 设定
I2.0	ATC_EN	IN	BOOL	I 或 M	ATC 起动条件，如主轴定向、Z 轴到位等
I2.1	MG_rtok	IN	BOOL	V1400 0055.0	刀具预选完成信号
I2.2	AR_up	IN	BOOL	I2.2	刀臂上位检测开关 S22
I2.3	HD_vert	IN	BOOL	I2.3	刀库换刀位刀套垂直(90°)检测开关 S23
I2.4	HD_hori	IN	BOOL	I2.4	刀库换刀位刀套水平(0°)检测开关 S24
I2.5	AR_down	IN	BOOL	I2.5	刀臂下位检测开关 S25
I2.6	AR_ref	IN	BOOL	I2.6	机械手 0° 检测开关 S26
I2.7	AR_rot	IN	BOOL	I2.7	机械手 70° 检测开关 S27
I3.0	SP_cl	IN	BOOL	I3.0	主轴刀具夹紧检测开关 S30
I3.1	SP_uncl	IN	BOOL	I3.1	主轴刀具松开检测开关 S31
I3.2	SP_airO	OUT	BOOL	Q2.2	主轴吹气阀 Y1 输出
I3.3	SP_uclO	OUT	BOOL	Q2.3	主轴刀具松开阀 Y2 输出
I3.4	HD_verO	OUT	BOOL	Q2.4	刀库换刀位刀套垂直阀 Y3 输出
I3.5	HD_horO	OUT	BOOL	Q2.5	刀库换刀位刀套水平阀 Y4 输出
I3.6	AR_motO	OUT	BOOL	Q2.6	机械手电动机 M3 起动输出

#### 2. PLC 程序

机械手换刀控制的 PLC 子程序一般由换刀起动与卸刀、机械手装刀、换刀完成与输出处理等部分组成，程序实例说明如下。

1) 换刀起动与卸刀。换刀起动与卸刀程序如图 9.3-11 所示，程序 Network1 用于换刀起动、Network2 用于卸刀控制。

在 Network1 中，当 CNC 执行换刀指令 M06，输出 M06 信号 V2500 1000.6 及 MF 信号 V2500 0000.0 时，如 T 代码指令刀号和当前主轴刀号不一致，则刀具预选子程序的状态信号 M30.0 = 0，程序中的换刀开始信号 M21.0 将置 1。同时，CNC 的通道进给使能禁止信号

换刀开始信号 M21.0 为 1 后, 如主轴定向准停等自动换刀开始条件已具备 (L0.0=1), 刀库的刀具预选已完成 (L0.1=1), 则换刀起动信号 M21.1 输出 1, 以起动后述的机械手换刀动作; 否则, 将等待自动换刀条件 L0.0 或刀具预选完成信号 L0.1。

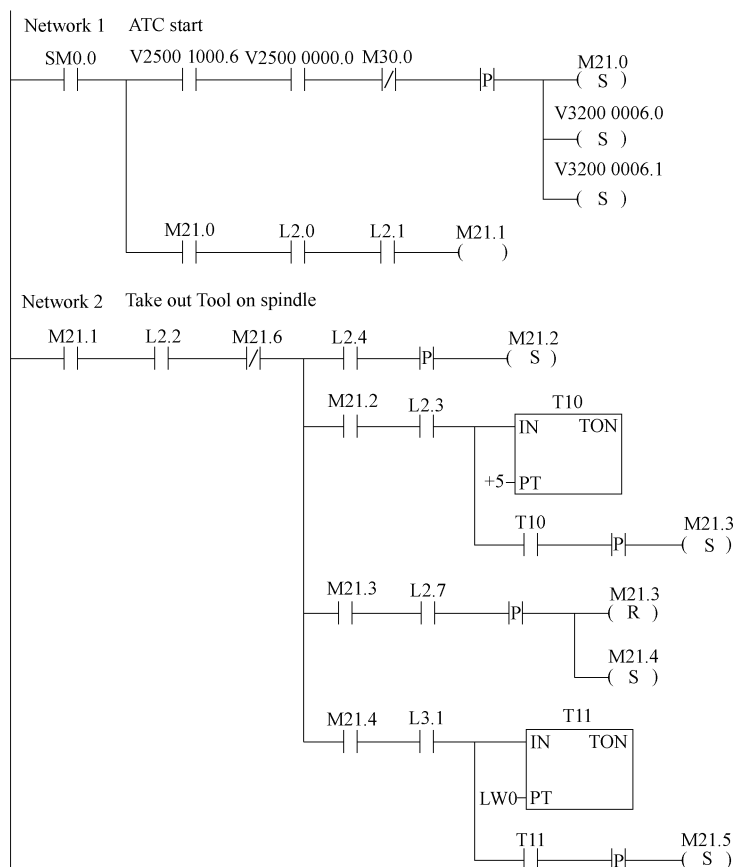


图 9.3-11 换刀起动与卸刀程序

如果机械手未进行换刀动作,当自动换刀信号 M21.1 为 1 时,Network2 可产生刀库换刀位刀套 90°翻转信号 M21.2,使刀套成为垂直状态。90°翻转到位后,刀套垂直检测开关输入信号 L2.3=1,该信号经 T10 延时 0.5s 后,将产生机械手 70°回转信号 M21.3,启动机械手驱动电动机,使机械手回转 70°,完成抓刀(扣刀)动作。

主轴上的刀具松开后,检测开关输入  $L3.1=1$ ,该信号经 T11 延时后,将产生刀具交换信号 M21.5,再次起动机械手驱动电动机,控制机械手连续进行刀臂伸出、机械手  $180^\circ$  回转、刀臂缩回动作,完成刀具交换。



2) 装刀控制。机械手装刀控制程序如图 9.3-12 所示。

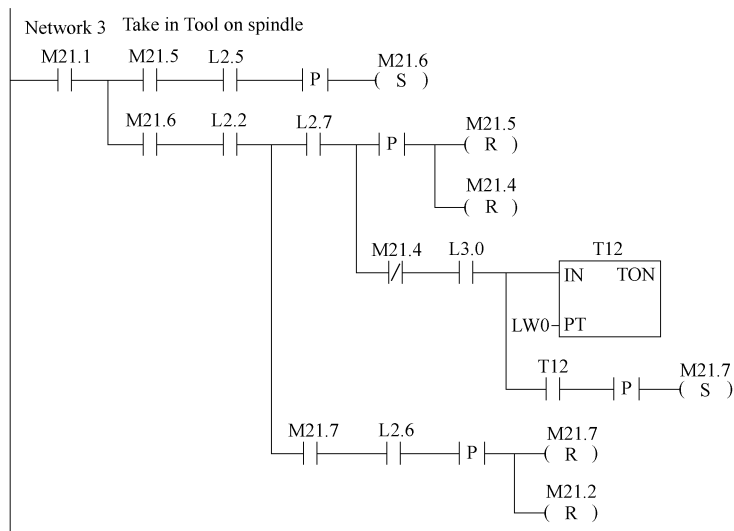


图 9.3-12 机械手装刀控制程序

当机械手刀具交换信号 M21.5 为 1、机械手驱动电动机再次起动后，机械手将在凸轮的驱动下，首先进行刀臂伸出动作；伸出到位后，刀臂下位检测开关 L2.5 = 1。信号 L2.5 可将机械手动作记忆信号 M21.6 置 1，以便禁止 Network2，防止机械手在刀具交换完成后再次出现换刀动作。

机械手换刀时，其刀臂伸出、机械手 180°回转、刀臂缩回为机械凸轮驱动连续动作，动作完成后，刀臂将回到上位、70°位置，检测信号 L2.2、L2.7 恢复为 1，此时，可立即复位刀具交换信号 M21.5，再次停止机械手驱动电动机，并复位主轴刀具松开信号 M21.4，断开主轴松开和吹气电磁阀，重新夹紧主轴上的刀具。

主轴上的刀具夹紧后，检测开关输入 L3.0 = 1，该信号经 T12 延时后，将产生机械手返回信号 M21.7，第 3 次起动机械手驱动电动机，控制机械手返回到 180°位置。由于机械手结构完全对称，机械手 180°与 0°的状态完全相同；返回到位后，机械手 0°检测开关输入 L2.6 为 1。信号 L2.6 一旦为 1，将立即复位机械手返回信号 M21.7，第 3 次停止机械手驱动电动机，并复位刀库换刀位刀套 90°翻转信号 M21.2，使刀套重新成为水平状态。

3) 换刀完成与输出处理。换刀完成与输出处理程序的设计如图 9.3-13 所示。程序中的 Network4 用于换刀完成和刀具安装表更新处理，Network5 用于 PLC 的输出处理。

在 Network4 上，当机械手换刀动作完成，上位、0°检测开关输入 L2.2、L2.6 为 1 时，如刀库换刀位刀套成为水平状态 (L2.4 = 1)，将复位换刀开始信号 M21.0，撤销换刀起动信号 M21.1，并复位机械手动作记忆信号 M21.6 及 CNC 的通道进给使能禁止信号 V3200 0006.0 和读入使能禁止信号 V3200 0006.1，使 CNC 继续执行加工程序。与此同时，PLC 将调用按 9.3.5 节修改后的刀具安装表更新子程序 SBR51 (MGZ\_RNEW)，将原主轴上的刀具号 VB1400 0000 写入到现在换刀位刀座存储器上；而将加工程序中 T 代码指令的刀具号，重新写入到主轴刀号存储变量 VB1400 0000 上。

Network5 可将程序中的机械手换刀动作信号转换为子程序的输出变量，以控制 PLC 的

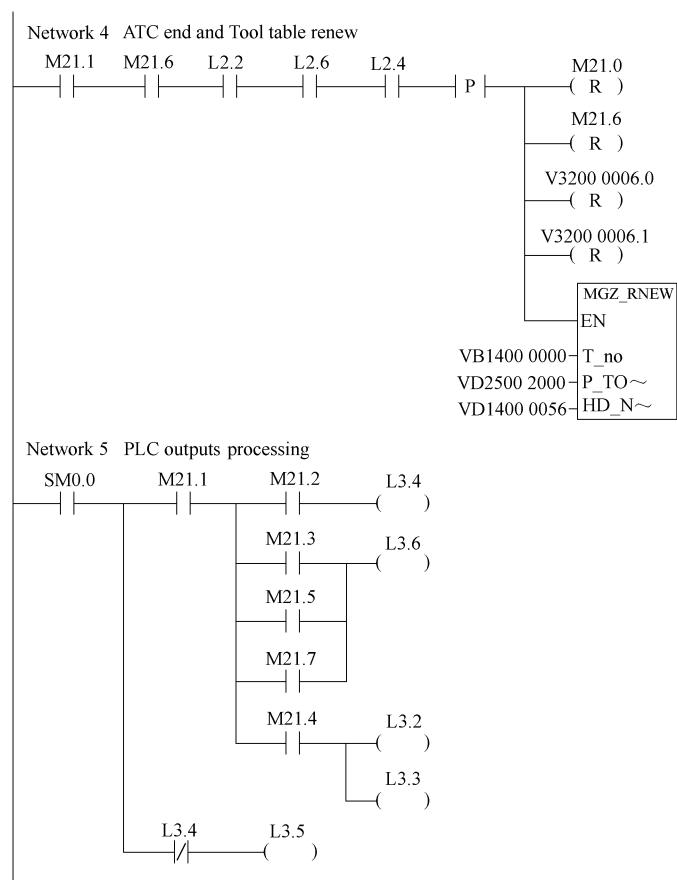


图 9.3-13 换刀完成与输出处理程序

输出。程序中的刀库换刀位刀套 90° 翻转输出 L3.4，只能在自动换刀起动信号 M21.1 为 1 时，通过信号 M21.2 输出；如 L3.4 为 0，刀套 0° 输出信号 L3.5 将保持为 1，从而使得正常情况下刀套始终能够位于水平状态。机床的主轴吹气和刀具松开电磁阀通常都为单电控阀，只要输出 L3.2、L3.3 为 0，即可自动关闭主轴吹气，使刀具成为夹紧状态。机械手驱动电动机输出信号 L3.6，需要考虑机械手 70° 回转（M21.3）、刀具交换（M21.5）和机械手返回（M21.7）3 种情况。

以上是机械手换刀加工中心的常用控制程序，在部分凸轮机械手换刀装置上，机械手的检测开关安装可能有所不同，读者可参照上述程序进行适当修改后使用。此外，部分机床还可能采用液压机械手控制，此时，以上自动换刀控制子程序 SBR25 也需要进行相应修改，限于篇幅，本书不再对此进行说明。



# 附 录

## 附录 A 802S/C/D 集成 PLC 功能指令表

802S/C/D 集成 PLC 功能指令表见表 A-1 ~ 表 A-7。

表 A-1 数据比较指令表

指令类别	梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
整数比较 (字节型)	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} =B —— \\ b \end{array}$	$a = b$ , 触点闭合	$a/b$ : 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} >=B —— \\ b \end{array}$	$a \geq b$ , 触点闭合	
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} <=B —— \\ b \end{array}$	$a \leq b$ , 触点闭合	
整数比较 (字型)	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} =I —— \\ b \end{array}$	$a = b$ , 触点闭合	$a/b$ : 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} >=I —— \\ b \end{array}$	$a \geq b$ , 触点闭合	
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} <=I —— \\ b \end{array}$	$a \leq b$ , 触点闭合	
整数比较 (双字型)	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} =D —— \\ b \end{array}$	$a = b$ , 触点闭合	$a/b$ : 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} >=D —— \\ b \end{array}$	$a \geq b$ , 触点闭合	
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} <=D —— \\ b \end{array}$	$a \leq b$ , 触点闭合	
实数比较	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} =R —— \\ b \end{array}$	$a = b$ , 触点闭合	$a/b$ : 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} >=R —— \\ b \end{array}$	$a \geq b$ , 触点闭合	
	$\begin{array}{c} a \\ \text{——} <=R —— \\ b \end{array}$	$a \leq b$ , 触点闭合	



表 A-2 定时、计数指令表

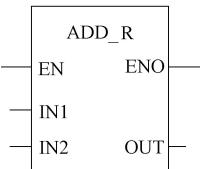
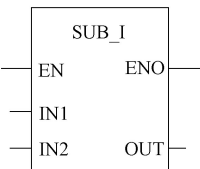
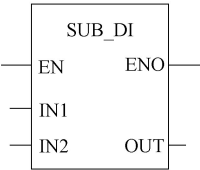
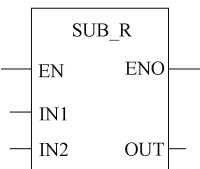
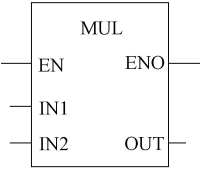
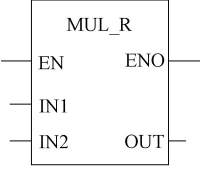
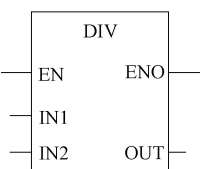
指令类别	梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
定时指令		EN = 1, 定时器启动; EN = 0, 停止计时、定时值复位。 计时值大于等于 PT, 定时器触点闭合	EN: 定时启动触点 PT: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC
		EN = 1, 定时器启动; EN = 0, 停止计时、定时值保持。 计时值大于等于 PT, 定时器触点闭合	
计数指令		CU 上升沿: 计数值加 1; R = 1: 计数器复位。 计数值大于等于 PV, 计数器触点闭合	CU: 加计数触点 CD: 减计数触点 R: 复位触点 PV: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC
		CU 上升沿: 计数值加 1; CD 上升沿: 计数值减 1; R = 1: 计数器复位。 计数值大于等于 PV, 计数器触点闭合	

表 A-3 算术运算指令表

指令类别	梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
加法运算		EN = 1, 启动加法运算; $OUT = IN1 + IN2$	EN: 启动触点 IN1/IN2: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT: QW、MW、VW、AC、T、C
		EN = 1, 启动加法运算; $OUT = IN1 + IN2$	



(续)

指令类别		梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
加法运算	实数相加		EN = 1, 起动加法运算; $OUT = IN1 + IN2$	EN; 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
	整数相减		EN = 1, 起动减法运算; $OUT = IN1 - IN2$	EN; 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT: QW、MW、VW、AC、T、C
减法运算	双整数相减		EN = 1, 起动减法运算; $OUT = IN1 - IN2$	EN; 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
	实数相减		EN = 1, 起动减法运算; $OUT = IN1 - IN2$	EN; 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
乘法运算	整数相乘		EN = 1, 起动乘法运算; $OUT = IN1 \times IN2$	EN; 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT: QD、MD、VD、AC
	实数相乘		EN = 1, 起动乘法运算; $OUT = IN1 \times IN2$	EN; 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
除法运算	整数相除		EN = 1, 起动除法运算; $OUT = IN1 \div IN2$	EN; 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT: QD、MD、VD、AC





(续)

指令类别		梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
除法运算	实数相除	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">DIV_R</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN1</div> <div></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN2</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动除法运算; $OUT = IN1 \div IN2$	EN; 启动触点 IN1/IN2; 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT; QD、MD、VD、AC
求根运算	实数平方根	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">SQRT</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动二次方根运算; $OUT = (IN)^{1/2}$	EN; 启动触点 IN; 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT; QD、MD、VD、AC
加 1 运算	字节加 1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">INC_B</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN 上升沿; 加 1 运算; $OUT = IN + 1$	EN; 启动触点 IN; 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT; QB、MB、VB、AC
	整数加 1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">INC_W</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN 上升沿; 加 1 运算; $OUT = IN + 1$	EN; 启动触点 IN; 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT; QW、MW、VW、AC
	双整数加 1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">INC_DW</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN 上升沿; 加 1 运算; $OUT = IN + 1$	EN; 启动触点 IN; 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT; QD、MD、VD、AC
减 1 运算	字节减 1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">DEC_B</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN 上升沿; 减 1 运算; $OUT = IN - 1$	EN; 启动触点 IN; 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT; QB、MB、VB、AC
	整数减 1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">DEC_W</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN 上升沿; 减 1 运算; $OUT = IN - 1$	EN; 启动触点 IN; 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT; QW、MW、VW、AC



(续)

指令类别		梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
减 1 运算	双整 数减 1		EN 上升沿; 减 1 运算; $OUT = IN - 1$	EN: 起动触点 IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC

表 A-4 多位逻辑运算指令表

指令类别		梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
“位与” 运算	8 位与 运算		EN = 1, 起动“位与”运算; $OUT = IN1 \& IN2$	EN: 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT: QB、MB、VB、AC
	16 位 与运算		EN = 1, 起动“位与”运算; $OUT = IN1 \& IN2$	EN: 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC OUT: QW、MW、VW、AC
	32 位 与运算		EN = 1, 起动“位与”运算; $OUT = IN1 \& IN2$	EN: 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
“位或” 运算	8 位或 运算		EN = 1, 起动“位或”运算; $OUT = IN1 \text{ or } IN2$	EN: 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT: QB、MB、VB、AC
	16 位或 运算		EN = 1, 起动“位或”运算; $OUT = IN1 \text{ or } IN2$	EN: 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC OUT: QW、MW、VW、AC
	32 位或 运算		EN = 1, 起动“位或”运算; $OUT = IN1 \text{ or } IN2$	EN: 起动触点 IN1/IN2: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC

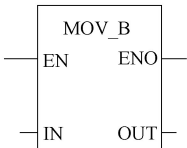
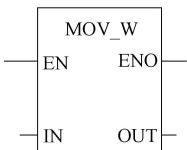
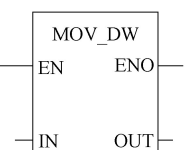
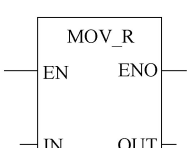
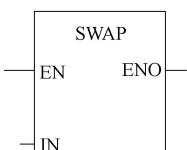
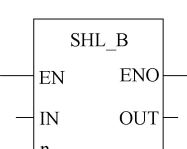
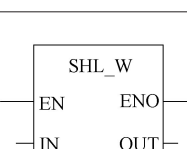


(续)

指令类别	梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
“位异或”运算	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">WXOR_B</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN1</div> <div></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN2</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动“位异或”运算; $OUT = IN1 \text{ xor } IN2$	EN: 启动触点 IN1/IN2: 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT: QB、MB、VB、AC
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">WXOR_W</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN1</div> <div></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN2</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动“位异或”运算; $OUT = IN1 \text{ xor } IN2$	EN: 启动触点 IN1/IN2: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC OUT: QW、MW、VW、AC
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">WXOR_DW</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN1</div> <div></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN2</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动“位异或”运算; $OUT = IN1 \text{ xor } IN2$	EN: 启动触点 IN1/IN2: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
“位取反”运算	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">INV_B</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动“位取反”运算; $OUT = \overline{IN}$	EN: 启动触点 IN: 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT: QB、MB、VB、AC
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">INV_W</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动“位取反”运算; $OUT = \overline{IN}$	EN: 启动触点 IN: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC OUT: QW、MW、VW、AC
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <div style="text-align: center;">INV_DW</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— EN</div> <div>ENO —</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>— IN</div> <div>OUT —</div> </div> </div>	EN = 1, 启动“位取反”运算; $OUT = \overline{IN}$	EN: 启动触点 IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC



表 A-5 数据移动移位指令表

指令类别	梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
数据移动指令	字节移动 	EN = 1, 启动移动操作; OUT = IN	EN: 启动触点 IN: 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT: QB、MB、VB、AC
	字移动 	EN = 1, 启动移动操作; OUT = IN	EN: 启动触点 IN: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT: QW、MW、VW、AC
	双字移动 	EN = 1, 启动移动操作; OUT = IN	EN: 启动触点 IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
	实数移动 	EN = 1, 启动移动操作; OUT = IN	EN: 启动触点 IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
字节交换	高/低字节交换 	EN = 1, 启动字节交换操作; 存储器 IN 的高、低字节数据互换	EN: 启动触点 IN: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C
数据移位指令	字节左移 	EN 上升沿; 数据左移 $n$ 位; OUT = $IN \times 2^n$	EN: 启动触点 IN/ $n$ : 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT: QB、MB、VB、AC
	字左移 	EN 上升沿; 数据左移 $n$ 位; OUT = $IN \times 2^n$	EN: 启动触点 $n$ : 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC IN: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT: QW、MW、VW、AC



(续)

指令类别	梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
数据移位指令	双字左移 	EN 上升沿: 数据左移 $n$ 位; $OUT = IN \times 2^n$	EN: 起动触点 $n$ : 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
	字节右移 	EN 上升沿: 数据右移 $n$ 位; $OUT = IN \div 2^n$	EN: 起动触点 IN/ $n$ : 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC OUT: QB、MB、VB、AC
	字右移 	EN 上升沿: 数据右移 $n$ 位; $OUT = IN \div 2^n$	EN: 起动触点 $n$ : 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC IN: 常数 K、IW、QW、MW、VW、AC、T、C OUT: QW、MW、VW、AC
	双字右移 	EN 上升沿: 数据右移 $n$ 位; $OUT = IN \div 2^n$	EN: 起动触点 $n$ : 常数 K、IB、QB、MB、VB、AC IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC

表 A-6 数据格式转换指令表

指令类别	梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
格式转换	双整数转换为实数 	EN = 1, 起动数据格式转换, 双整数 IN 转换为实数 OUT	IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC
	实数转换为双整数 	EN = 1, 起动数据格式转换, 实数 IN 取整、转换为双整数 OUT	IN: 常数 K、ID、QD、MD、VD、AC OUT: QD、MD、VD、AC



表 A-7 程序控制指令表

指令类别		梯形图符号	指令功能	可使用的操作数
程序 跳转	跳转		运算结果为 1, 跳转到标记 LBL n 处	n: 常数 0 ~ 127
	跳转 目标		跳转目标标记	n: 常数 0 ~ 127
子程序调用			EN = 1: 调用子程序 SBR Name (子程序符号名)	Pi <sub>1</sub> ~ Pi <sub>n</sub> : 输入变量, 格式由子程序定义; Po <sub>1</sub> ~ Po <sub>m</sub> : 输出变量, 格式由子程序定义
子程序结束			运算结果为 1, 子程序结束, 返回主程序	

## 附录 B 802S/C/D 集成 PLC 接口信号表

802S/C/D 集成 PLC 接口信号表见表 B-1 ~ 表 B-3。

表 B-1 PLC 输入信号汇总表

信号地址	作用和功能	参见章节	备 注
MCP→PLC / 802S/C 机床面板按键信号			
V1000 0000.0	用户自定义键 K1	4. 2/4. 3、5. 2	模板程序为驱动器起/停
V1000 0000.1	用户自定义键 K2	4. 2/4. 3、5. 2	模板程序为卡盘刀具松/夹
V1000 0000.2	用户自定义键 K3	4. 2/4. 3、5. 2	—
V1000 0000.3	用户自定义键 K4	4. 2/4. 3、5. 2	模板程序为手动换刀
V1000 0000.4	用户自定义键 K5	4. 2/4. 3、5. 2	模板程序为手动润滑
V1000 0000.5	用户自定义键 K6	4. 2/4. 3、5. 2	模板程序为手动冷却
V1000 0000.6	操作方式选择: 增量进给	4. 2/4. 3、5. 2	—
V1000 0000.7	操作方式选择: JOG 进给	4. 2/4. 3、5. 2	—
V1000 0001.0	操作方式选择: 回参考点	4. 2/4. 3、5. 2	—
V1000 0001.1	操作方式选择: 自动	4. 2/4. 3、5. 2	—
V1000 0001.2	操作方式选择: 单程序段	4. 2/4. 3、5. 2	—
V1000 0001.3	操作方式选择: MDA	4. 2/4. 3、5. 2	—
V1000 0001.4	主轴点动: 正转	4. 2/4. 3、5. 2	—



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备 注
MCP→PLC / 802S/C 机床面板按键信号			
V1000 0001.5	主轴点动;停止	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0001.6	主轴点动;反转	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0001.7	手动方向键 1	4.2/4.3/5.2	jK16 或 K22
V1000 0002.0	手动方向键 2	4.2/4.3/5.2	K17 或 K23
V1000 0002.1	手动方向键 3	4.2/4.3/5.2	K18 或 K24
V1000 0002.2	手动方向键 4	4.2/4.3/5.2	K19 或 K25
V1000 0002.3	手动快速键	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0002.4	手动方向键 5	4.2/4.3/5.2	K21 或 K27
V1000 0002.5	手动方向键 6	4.2/4.3/5.2	K22 或 K28
V1000 0002.6	手动方向键 7	4.2/4.3/5.2	K23 或 K29
V1000 0002.7	手动方向键 8	4.2/4.3/5.2	K24 或 K30
V1000 0003.0	CNC 复位键(RESET)	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0003.1	循环启动;C. START	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0003.2	进给保持;F. HOLD	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0003.3	不使用、状态为 0	—	—
V1000 0003.4	用户自定义键 K7	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1000 0003.5	用户自定义键 K8	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1000 0003.6	用户自定义键 K9	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1000 0003.7	用户自定义键 K10	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1000 0004.0	进给倍率调节 A 或倍率增加键	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0004.1	进给倍率调节 B	4.2/4.3/5.2	802S/C
V1000 0004.2	进给倍率调节 C 或倍率 100% 键	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0004.3	进给倍率调节 D	4.2/4.3/5.2	802S/C
V1000 0004.4	进给倍率调节 E 或倍率减少键	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0004.5	用户自定义键 K11	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1000 0004.6	用户自定义键 K12	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1000 0004.7	不使用、状态为 0	—	—
V1000 0005.0	主轴倍率调节 A 或倍率增加键	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0005.1	主轴倍率调节 B	4.2/4.3/5.2	802S/C
V1000 0005.2	主轴倍率调节 C 或倍率 100% 键	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0005.3	主轴倍率调节 D	4.2/4.3/5.2	802S/C
V1000 0005.4	主轴倍率调节 E 或倍率减少键	4.2/4.3/5.2	—
V1000 0005.5	不使用、状态为 0	—	—
V1000 0005.6	不使用、状态为 0	—	—
V1000 0005.7	不使用、状态为 0	—	—



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备 注
NCK→PLC/ 机床报警状态信号			
V1600 2000.0	机床报警;NC 启动禁止	4.2、4.3	—
V1600 2000.1	机床报警;读入禁止	4.2、4.3	—
V1600 2000.2	机床报警;进给保持	4.2、4.3	—
V1600 2000.3	机床报警;急停	4.2、4.3	—
V1600 2000.4	机床报警;PLC 停止	4.2、4.3	—
HMI→PLC/ 软功能键操作信号			
V1700 0000.5	M01 生效软功能键	5.2	—
V1700 0000.6	程序试运行软功能键	5.2	—
V1700 0001.3	快速倍率生效软功能键	5.2	—
V1700 0001.7	程序测试软功能键	5.2	—
V1700 0002.0	程序选择跳段软功能键	5.2	—
V1700 0003.7	JOG 刀具测量操作软功能键	5.2	仅 802D
V1800 0000.0	AUTO 软功能键	5.2	—
V1800 0000.1	MDA 软功能键	5.2	—
V1800 0000.2	JOG 软功能键	5.2	—
V1800 0000.4	操作方式禁止软功能键	5.2	—
V1800 0000.6	刀具测量启动软功能键	5.2	仅 802D
V1800 0001.0	TEACH IN(示教)软功能键	5.2	—
V1800 0001.2	REF 软功能键	5.2	—
V1900 0000.6	程序模拟软功能键	5.2	仅 802D
V1900 1003.0 ~ .2	第 1 手轮轴选择软功能键	5.2	—
V1900 1003.7	第 1 手轮机床轴选择软功能键	5.2	—
V1900 1004.0 ~ .2	第 2 手轮轴选择软功能键	5.2	—
V1900 1004.7	第 2 手轮机床轴选择软功能键	5.2	—
V1900 1005.0 ~ .2	第 3 手轮轴选择软功能键	5.2	仅 802D
V1900 1005.7	第 3 手轮机床轴选择软功能键	5.2	仅 802D
NCK→PLC/ CNC 辅助功能信号			
V2500 0000.0 ~ .4	M 代码修改信号 MF1 ~ MF5	第 7、8、9 章	802C/S
V25000001.4	T 代码修改信号 TF	第 8、9 章	802C/S
V2500 0004.0 ~ .4	M 代码修改信号 MF1 ~ MF5	第 7、8、9 章	802D
V2500 0006.0	S 代码修改信号 SF	7.2	802D
V2500 0008.0	T 代码修改信号 TF	第 8、9 章	802D
V2500 0010.0	D 代码修改信号 DF	—	802D
V2500 0012.0 ~ .2	H 代码修改信号 HF1 ~ HF3	—	802D
V2500 1000.0	M00 代码脉冲输出	第 7、8、9 章	—





(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备 注
NCK→PLC/ CNC 辅助功能信号			
.....	.....	第 7、8、9 章	—
V2500 1012.3	M99 代码脉冲输出	第 7、8、9 章	—
VD25002000	32 位二进制 T 代码输出	第 8、9 章	—
VD2500 4000	S 代码 32 位实数输出 1	7.2	仅 802D
VB2500 4004	S 扩展代码输出 1	7.2	仅 802D
VD2500 4008	S 代码 32 位实数输出 2	7.2	仅 802D
VB2500 4012	S 扩展代码输出 2	7.2	仅 802D
VD2500 5000	32 位二进制 D 代码输出	7.2	仅 802D
VD2500 6000	H 代码 32 位实数输出 1	7.2	仅 802D
VB2500 6004	H 扩展代码输出 1	7.2	仅 802D
VD2500 6008	H 代码 32 位实数输出 2	7.2	仅 802D
VB2500 6012	H 扩展代码输出 2	7.2	仅 802D
VD2500 6016	H 代码 32 位实数输出 3	7.2	仅 802D
VB2500 6020	H 扩展代码输出 3	7.2	仅 802D
NCK→PLC/ CNC 基本状态信号			
V2700 0000.1	急停生效	5.3	
V2700 0001.0	测头生效	—	仅 802D
V2700 0001.7	英制生效	—	仅 802D
V2700 0002.5	驱动器运行	—	仅 802D
V2700 0002.6	驱动器准备好	5.3	—
V2700 0003.0	NCK 报警	5.3	—
V2700 0003.6	NCK 过热	5.3	—
NCK→PLC/ CNC 有效操作方式信号			
V3100 0000.0	操作方式 AUTO(自动)生效	5.2	—
V3100 0000.1	操作方式 MDA 生效	5.2	—
V3100 0000.2	操作方式 JOG(手动)生效	5.2	—
V3100 0000.3	CNC 准备好	5.2	仅 802D
V3000 0001.0	操作方式 TEACHIN 生效	5.2	—
V3000 0001.2	操作方式 REF 生效	5.2	—
NCK→PLC/ 通道工作状态信号			
V3300 0000.5	M00/M01 有效	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0001.0	回参考点有效	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0001.4	程序检索	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0001.5	M02/M30 有效	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0001.7	程序测试	6.2、6.3、6.4	—



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
NCK→PLC/ 通道工作状态信号			
V3300 0003.0	加工程序运行	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0003.1	加工程序等待	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0003.2	程序运行停止	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0003.3	程序运行中断	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0003.4	程序复位	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0003.5	通道运行	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0003.6	通道中断	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0003.7	通道复位	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0004.2	自动回参考点完成	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0004.3	轴停止	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0004.6	通道报警	6.2、6.3、6.4	—
V3300 0004.7	加工程序报警	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1000.0 ~ .2	第1轴手轮1~3有效	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1000.3	第1轴进给停止	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1000.4	第1轴锁定	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1000.5	第1轴手动快速	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1000.6	第1轴负向运动	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1000.7	第1轴正向运动	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1001.0	第1轴 INC × 1	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1001.1	第1轴 INC × 10	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1001.2	第1轴 INC × 100	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1001.3	第1轴 INC × 1000	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1001.4	第1轴 INC × 10000	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1001.5	第1轴 INC Var	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1001.6	第1轴 JOG	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1004.0 ~ .2	第2轴手轮1~3有效	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1004.3	第2轴进给停止	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1004.4	第2轴锁定	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1004.5	第2轴手动快速	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1004.6	第2轴负向运动	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1004.7	第2轴正向运动	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1005.0	第2轴 INC × 1	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1005.1	第2轴 INC × 10	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1005.2	第2轴 INC × 100	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1005.3	第2轴 INC × 1000	6.2、6.3、6.4	—



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备 注
NCK→PLC/ 通道工作状态信号			
V3300 1005.4	第2轴 INC × 10000	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1005.5	第2轴 INC Var	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1005.6	第2轴 JOG	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1008.0 ~ .2	第3轴手轮 1 ~ 3 有效	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1008.3	第3轴进给停止	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1008.4	第3轴锁定	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1008.5	第3轴手动快速	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1008.6	第3轴负向运动	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1008.7	第3轴正向运动	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1009.0	第3轴 INC × 1	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1009.1	第3轴 INC × 10	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1009.2	第3轴 INC × 100	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1009.3	第3轴 INC × 1000	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1009.4	第3轴 INC × 10000	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1009.5	第3轴 INC Var	6.2、6.3、6.4	—
V3300 1009.6	第3轴 JOG	6.2、6.3、6.4	—
V3300 4001.0	外部编程语言有效	—	仅 802D
V3300 4001.1	工件数量到达	—	仅 802D
V3300 4003.7	换刀命令无效	—	仅 802D
VB3500 0000	当前有效的 G1 组代码	—	仅 802D
VB3500 0001	当前有效的 G2 组代码	—	仅 802D
.....	.....	.....	.....
VB3500 0063	当前有效的 G64 组代码	—	仅 802D
VD3700 0000	当前有效的主轴 M 代码	—	仅 802D
VD3700 0004	当前有效的主轴 S 代码	—	仅 802D
NCK→PLC/进给轴、主轴通用工作状态信号			
V390 * 0000.4	回参考点完成	6.2、6.3	
V390 * 0000.6	粗定位完成	6.2、6.3	
V390 * 0000.7	精确定位完成	6.2、6.3	
V390 * 0001.3	跟随控制	6.2、6.3	
V390 * 0001.4	进给轴停止	6.2、6.3	
V390 * 0001.5	位置控制有效	6.2、6.3	
V390 * 0001.6	速度控制有效	6.2、6.3	
V390 * 0001.7	转矩控制有效	6.2、6.3	
V390 * 0004.0 ~ .2	手轮 1 ~ 3 有效	6.2、6.3	



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
NCK→PLC/进给轴、主轴通用工作状态信号			
V390 * 0004. 7	正向运动	6. 2、6. 3	
V390 * 0004. 6	负向运动	6. 2、6. 3	
V390 * 0005. 0	INC × 1	6. 2、6. 3	
V390 * 0005. 1	INC × 10	6. 2、6. 3	
V390 * 0005. 2	INC × 100	6. 2、6. 3	
V390 * 0005. 3	INC × 1000	6. 2、6. 3	
V390 * 0005. 4	INC × 10000	6. 2、6. 3	
V390 * 0005. 5	INC Var	6. 2、6. 3	
V390 * 0005. 6	JOG 操作	6. 2、6. 3	
V390 * 1002. 0	进给轴润滑脉冲	6. 2、6. 3	
V390 * 4000. 1	速度给定加减速无效	—	仅 802D
V390 * 4000. 3	速度给定滤波	—	仅 802D
V390 * 4001. 0 ~ . 2	当前有效驱动器参数组	—	仅 802D
V390 * 4001. 5	驱动器准备好	—	仅 802D
V390 * 4001. 6	速度调节器 P 生效	—	仅 802D
V390 * 4001. 7	驱动器脉冲使能生效	—	仅 802D
V390 * 4002. 0	电动机过热	—	仅 802D
V390 * 4002. 1	温度监控	—	仅 802D
V390 * 4002. 2	速度到达	—	仅 802D
V390 * 4002. 3	转矩监控	—	仅 802D
V390 * 4002. 4	速度为 0	—	仅 802D
V390 * 4002. 5	速度检测	—	仅 802D
V390 * 4002. 6	速度过低	—	仅 802D
V390 * 4002. 7	功能可变信号	—	仅 802D
V390 * 5000. 0	步进驱动旋转监控出错	6. 2、6. 3	仅 802S
NCK→PLC/主轴工作状态信号			
V3903 2000. 0 ~ . 2	档位给定	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2000. 3	主轴换档命令	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2001. 0	速度超差	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2001. 1	速度过高	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2001. 2	速度过低	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2001. 5	转速到达	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2001. 7	主轴实际转向	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2002. 0	线速度恒定控制	7. 2、7. 3、7. 4	
V3903 2002. 3	刚性攻螺纹	7. 2、7. 3、7. 4	



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
NCK→PLC/主轴工作状态信号			
V3903 2002.5	主轴定位	7.2、7.3、7.4	
V3903 2002.6	主轴换档	7.2、7.3、7.4	
V3903 2002.7	速度控制	7.2、7.3、7.4	
NCK→PLC/CNC 用户数据			
VW4500 0000	用户数据 MD14510[0]	4.2、4.3	2 字节整数
.....	.....	.....	.....
VW4500 0062	用户数据 MD14510[31]	4.2、4.3	2 字节整数
VB4500 1000	用户数据 MD14512[0]	4.2、4.3	二进制位参数
.....	.....	.....	.....
VB4500 1031	用户数据 MD14512[31]	4.2、4.3	二进制位参数
VD4500 2000	用户数据 MD14514[0]	—	4 字节实数
.....	.....	.....	.....
VD4500 2124	用户数据 MD14514[31]	—	4 字节实数
VB4500 3000	机床报警 700000 响应设定,CNC 用户数据 MD14516[0]	4.2、4.3	二进制位参数
.....	.....	.....	.....
VB4500 3031	机床报警 700031 响应设定,CNC 用户数据 MD14516[31]	4.2、4.3	二进制位参数
NCK→PLC/刀具寿命监控信号			
V5300 0000.0	刀具寿命预警	—	仅 802D
V5300 0000.1	刀具寿命到达极限	—	仅 802D
NCK→PLC/轴位置信号			
VD57 *0 0000	坐标轴实际位置		
VD57 *0 0004	坐标轴剩余行程		

表 B-2 PLC 输出信号表

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
PLC→MCP/机床操作面板指示信号			
V1100 0000.0	按键 K1 指示灯 L1	4.2/4.3、5.2	模板程序为驱动器启动
V1100 0000.1	按键 K2 指示灯 L2	4.2/4.3、5.2	模板程序为卡盘或刀具夹紧
V1100 0000.2	按键 K3 指示灯 L3	4.2/4.3、5.2	用户定义
V1100 0000.3	按键 K4 指示灯 L4	4.2/4.3、5.2	模板程序为换刀指示
V1100 0000.4	按键 K5 指示灯 L5	4.2/4.3、5.2	模板程序为润滑指示
V1100 0000.5	按键 K6 指示灯 L6	4.2/4.3、5.2	模板程序为冷却指示
V1100 0000.6	按键 K7 指示灯 L7	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0000.7	按键 K8 指示灯 L8	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0001.0	按键 K9 指示灯 L9	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0001.1	按键 K10 指示灯 L10	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
PLC→MCP/机床操作面板指示信号			
V1100 0001.2	按键 K11 指示灯 L11	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0001.3	按键 K12 指示灯 L12	4.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0001.4	进给倍率增加键指示灯	4.2、4.3、5.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0001.5	进给倍率减少键指示灯	4.2、4.3、5.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0001.6	主轴倍率增加键指示灯	4.2、4.3、5.2	802Se/Ce、802S/C baseline
V1100 0001.7	主轴倍率减少键指示灯	4.2、4.3、5.2	802Se/Ce、802S/C baseline
PLC→NCK / 机床报警显示信号			
VB1600 0000	机床报警 700000 ~ 700007	4.2、4.3、5.1	—
VB1600 0001	机床报警 700008 ~ 700015	4.2、4.3、5.1	—
.....	.....	4.2、4.3、5.1	—
VB1600 0007	机床报警 700056 ~ 700063	4.2、4.3、5.1	—
VD1600 1000	插入到 700000 报警文本的变量	4.2、4.3、5.1	—
VD1600 1004	插入到 700001 报警文本的变量	4.2、4.3、5.1	—
.....	.....	.....	.....
VD1600 1252	插入到 700063 报警文本的变量	4.2、4.3、5.1	—
PLC→HMI/ MDI/LCD 控制信号			
V1900 5000.2	禁止 MDI 键盘操作	5.2	仅 802D
V1900 5001.0	更新 LCD 的刀具补偿数据	—	仅 802D
V1900 5002.0	刀具测量操作	—	仅 802D
VD19005004	进行刀具测量操作的刀具号	—	仅 802D
PLC→NCK/ CNC 基本控制信号			
V2600 0000.1	急停	5.3	—
V2600 0000.2	急停应答	5.3	—
V2600 0000.4 ~ .7	保护级 7、6、5、4 选择	—	—
V2600 0001.0	INC 输入信号选择	—	仅 802D
V2600 0001.1	实际位置值输出至 PLC	—	—
V2600 0001.2	剩余行程输出至 PLC	—	—
PLC→NCK/ CNC 操作方式选择信号			
V3000 0000.0	操作方式选择 AUTO(自动)	5.2	—
V3000 0000.1	操作方式选择 MDA	5.2	—
V3000 0000.2	操作方式选择 JOG(手动)	5.2	—
V3000 0000.4	操作方式转换禁止	5.2	—
V3000 0000.7	CNC 复位	5.2	—
V3000 0001.0	操作方式选择 TEACHIN	5.2	—
V3000 0001.2	操作方式选择 REF	5.2	—
V3000 0002.0 ~ .6	INC 进给选择	5.2	802D, V2600 0001.0 = 1 有效



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
PLC→NCK/ 通道运行控制信号			
V3200 0000.4	单程序段运行	5.2、6.2、6.3	—
V3200 0000.5	选择暂停	5.2、6.2、6.3	—
V3200 0000.6	程序试运行	5.2、6.2、6.3	—
V3200 0001.0	起动坐标轴自动回参考点	5.2、6.2、6.3	—
V3200 0001.7	程序测试运行	5.2、6.2、6.3	—
V3200 0004.0 ~ .4	进给倍率调节 FVA ~ FVE	5.2、6.2、6.3	—
V3200 0005.0 ~ .4	快速进给倍率调节 RVA ~ RVE	5.2、6.2、6.3	—
V3200 0006.0	进给禁止	5.3、6.3	—
V3200 0006.1	读入禁止	5.3、6.3	—
V3200 0006.2	剩余行程删除	5.2	—
V3200 0006.4	程序中断	5.2	—
V3200 0006.6	快速进给倍率调节有效	5.2	—
V3200 0006.7	进给倍率调节有效	5.1	—
V3200 0007.0	NC 启动禁止	5.3、6.3	—
V3200 0007.1	NC 启动(即 C. START)	5.3、6.3	—
V3200 0007.2	程序段结束停止	5.3、6.3	—
V3200 0007.3	程序停止(即 F. HOLD)	5.3、6.3	—
V3200 0007.4	自动运行进给停止	5.3、6.3	—
V3200 1000.0 ~ .2	第1轴手轮1~3生效	5.3、6.3	—
V3200 1000.3	第1轴进给停止	5.3、6.3	—
V3200 1000.4	第1轴锁定	5.3、6.3	—
V3200 1000.5	第1轴手动快速	5.3、6.3	—
V3200 1000.6	第1轴负向手动	5.3、6.3	—
V3200 1000.7	第1轴正向手动	5.3、6.3	—
V3200 1001.0	第1轴增量进给×1	5.3、6.3	—
V3200 1001.1	第1轴增量进给×10	5.3、6.3	—
V3200 1001.2	第1轴增量进给×100	5.3、6.3	—
V3200 1001.3	第1轴增量进给×1000	5.3、6.3	—
V3200 1001.4	第1轴增量进给×10000	5.3、6.3	部分 CNC 可用
V3200 1001.5	第1轴增量进给 Var	5.3、6.3	部分 CNC 可用
V3200 1001.6	第1轴连续点动增量进给	5.3、6.3	—
V3200 1004.0 ~ .2	第2轴手轮1~3生效	5.3、6.3	—
V3200 1004.3	第2轴进给停止	5.3、6.3	—
V3200 1004.4	第2轴锁定	5.3、6.3	—
V3200 1004.5	第2轴手动快速	5.3、6.3	—
V3200 1004.6	第2轴负向手动	5.3、6.3	—
V3200 1004.7	第2轴正向手动	5.3、6.3	—
V3200 1005.0	第2轴增量进给×1	5.3、6.3	—
V3200 1005.1	第2轴增量进给×10	5.3、6.3	—
V3200 1005.2	第2轴增量进给×100	5.3、6.3	—



(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
PLC→NCK/ 通道运行控制信号			
V3200 1005.3	第2轴增量进给×1000	5.3、6.3	—
V3200 1005.4	第2轴增量进给×10000	5.3、6.3	部分 CNC 可用
V3200 1005.5	第2轴增量进给 Var	5.3、6.3	部分 CNC 可用
V3200 1005.6	第2轴连续点动增量进给	5.3、6.3	—
V3200 1008.0 ~ .2	第3轴手轮1~3生效	5.3、6.3	—
V3200 1008.3	第3轴进给停止	5.3、6.3	—
V3200 1008.4	第3轴锁定	5.3、6.3	—
V3200 1008.5	第3轴手动快速	5.3、6.3	—
V3200 1008.6	第3轴负向手动	5.3、6.3	—
V3200 1008.7	第3轴正向手动	5.3、6.3	—
V3200 1009.0	第3轴增量进给×1	5.3、6.3	—
V3200 1009.1	第3轴增量进给×10	5.3、6.3	—
V3200 1009.2	第3轴增量进给×100	5.3、6.3	—
V3200 1009.3	第3轴增量进给×1000	5.3、6.3	—
V3200 1009.4	第3轴增量进给×10000	5.3、6.3	部分 CNC 可用
V3200 1009.5	第3轴增量进给 Var	5.3、6.3	部分 CNC 可用
V3200 1009.6	第3轴连续点动增量进给	5.3、6.3	—
PLC→NCK/ 进给轴、主轴通用控制信号			
V380 * 0000.0 ~ .4	格雷码进给倍率信号 FVA ~ FVE	5.2	“*”可以是0、1、2、3、4,分别代表第1、2、3、4、5轴控制信号
V380 * 0001.3	轴禁止	6.1	
V380 * 0001.4	跟随方式	6.1	
V380 * 0001.5	位置反馈生效	5.1	
V380 * 0001.7	进给倍率生效	5.1	
V380 * 0002.1	位置控制生效	6.1	
V380 * 0002.2	轴复位	6.1	
V380 * 0002.3	夹紧监控	6.1	
V380 * 0004.0 ~ .2	手轮1、2、3进给操作生效	5.2	
V380 * 0004.3	轴停止	5.2	
V380 * 0004.4	禁止手动操作	5.2	
V380 * 0004.5	手动快速	5.2	
V380 * 0004.6	负向手动	5.2	
V380 * 0004.7	正向手动	5.2	
V380 * 0005.0	增量进给×1	5.2	
V380 * 0005.1	增量进给×10	5.2	
V380 * 0005.2	增量进给×100	5.2	





(续)

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
PLC→NCK/ 进给轴、主轴通用控制信号			
V380 * 0005.3	增量进给 × 1000	5.2	“*”可以是0、1、2、3、4, 分别代表第1、2、3、4、5轴控制信号
V380 * 0005.4	增量进给 × 10000	5.2	
V380 * 0005.5	增量进给 Var	5.2	
V380 * 0005.6	连续点动增量进给	5.2	
V380 * 1000.0	负向硬件限位	6.2、6.3、6.4	
V380 * 1000.1	正向硬件限位	6.2、6.3、6.4	
V380 * 1000.2	负向第2软件限位生效	6.2、6.3、6.4	
V380 * 1000.3	正向第2软件限位生效	6.2、6.3、6.4	
V380 * 1000.7	参考点减速	6.2、6.3、6.4	
V380 * 4000.1	速度给定加减速无效	—	仅 802D
V380 * 4000.3	速度给定滤波	—	仅 802D
V380 * 4001.0 ~ .2	驱动器参数组选择	—	仅 802D
V380 * 4001.6	速度调节器 PI/P 切换	—	仅 802D
V380 * 4001.7	驱动器脉冲使能	—	仅 802D
V380 * 5000.0	步进驱动旋转监控生效	6.2、6.3	仅 802S
PLC→NCK/ 主轴控制信号			
V3803 2000.0 ~ .2	实际主轴传动级 A ~ C	7.2、7.3、7.4	
V3803 2000.3	主轴传动级交换完成	7.2、7.3、7.4	
V3803 2001.0	主轴进给倍率调节有效	7.2、7.3、7.4	
V3803 2001.6	主轴 M03/M04 转向交换	7.2、7.3、7.4	
V3803 2002.4	主轴换档抖动生效	7.2、7.3、7.4	
V3803 2002.5	主轴换档抖动速度	7.2、7.3、7.4	
V3803 2002.6	主轴换档抖动为反转	7.2、7.3、7.4	
V3803 2002.7	主轴换档抖动正转	7.2、7.3、7.4	
V3803 2003.0 ~ .4	格雷码主轴倍率信号 SOVA-E	5.2	
PLC→NCK / 刀具寿命管理信号			
VD5300 1000	刀具寿命预警值	—	仅 802D
VD5300 1004	刀具寿命极限值	—	仅 802D

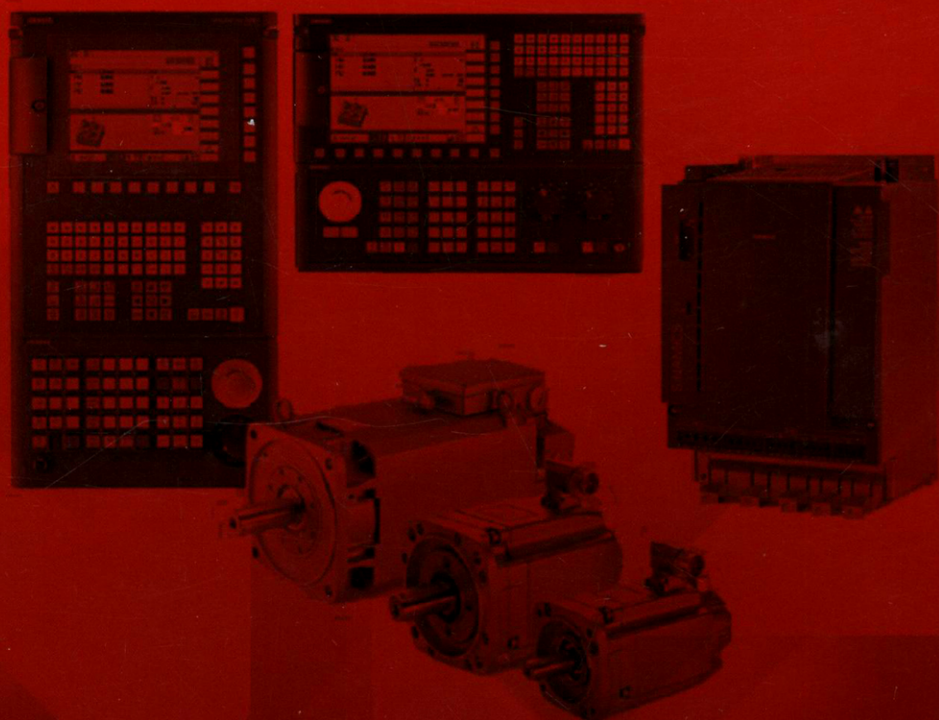
表 B-3 PLC 输入/输出信号表

信号地址	作用和功能	参见章节	备注
PLC 程序公共变量			
VB1400 0000	PLC 断电保持公共变量 V	8.2、9.3	PLC 程序用
.....	.....		
VB1400 0063	PLC 断电保持公共变量 V	8.2、9.3	PLC 程序用
VB1400 0064	PLC 断电保持公共变量 V	8.2、9.3	PLC 程序用, 仅 802D



(续)

信 号 地 址	作用和功能	参 见 章 节	备 注
PLC 程序公共变量			
.....	.....		
VB1400 0127	PLC 断电保持公共变量 V	8.2,9.3	PLC 程序用,仅 802D
CNC 变量			
VB4900 0000	偏置值 0	—	仅 802D
.....	.....	.....	.....
VB4900 0511	偏置值 511	—	仅 802D



地址：北京市百万庄大街22号  
 邮政编码：100037

电话服务

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



机械工业出版社E视界

上架指导 工业技术/数控

ISBN 978-7-111-50291-3

策划编辑◎徐明煜

ISBN 978-7-111-50291-3



9 787111 502913 >

定价：59.90元