

客车车身设计

精编

彩色版

刘开春 编著

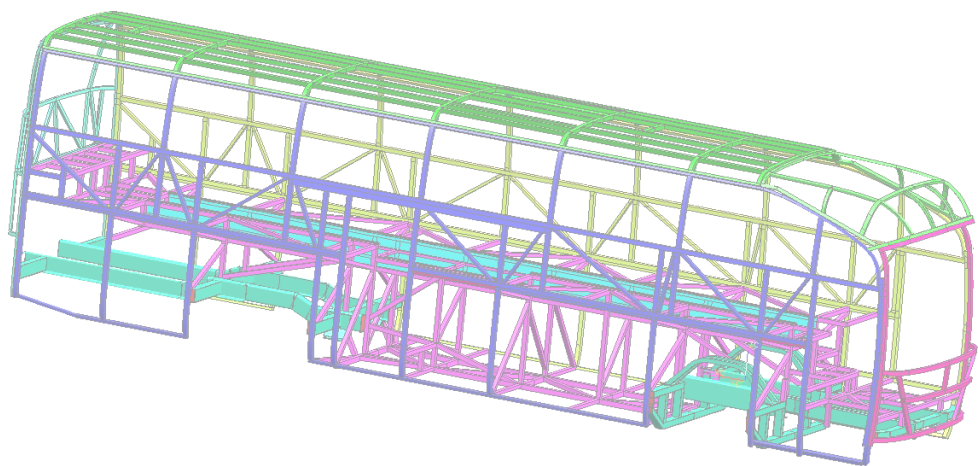


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

彩色版

客车车身设计精编

刘开春 编著



机械工业出版社

本书主要介绍了大型公路客车和城市客车的钢结构车身结构、工艺特点,重点说明了大客车车身不同于乘用车或载货汽车的精华部分,并针对这些特点给出设计和工艺上的解决方案。

本书可供高校教学参考使用,也可供客车企业的车身设计与制造工程师参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

客车车身设计精编:彩色版/刘开春编著. — 3版. — 北京:机械工业出版社, 2016.6

ISBN 978-7-111-53401-3

I. ①客… II. ①刘… III. ①客车—车体—设计 IV. ①U463.820.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 065348 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:杜凡如 连景岩 责任编辑:杜凡如 连景岩

责任校对:炊小云

封面设计:马精明

责任印制:李 洋

北京汇林印务有限公司印刷

2016 年 5 月第 3 版第 1 次印刷

169mm×239mm·8.25 印张·167 千字

0 001—2 500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-53401-3

定价:59.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

本书是以《2013年中国客车学术年会论文集》中的《客车车身的结构类型及其工艺特点》一文为提纲而写就的，目的是把大型客车的车身区别于乘用车、载货汽车的特点写出来，单独成为一本小册子。

要想做好机械产品的设计，必须有两个前提：一是了解其结构特点，二是了解其工艺特点。对于客车也是一样的，要做好车身的设计工作，必须了解客车车身的结构特点和工艺特点。

本书重点讲述了钢结构客车车身不同于载货汽车、乘用车的最精髓部分，这也是客车车身的结构和工艺最精华的部分，重点突出客车，尤其是大型客车自身独有的结构和工艺特点。

与大多数人的认识相反，我认为客车车身最精华的部分是骨架和蒙皮，而不是造型和内饰。无论是结构还是工艺，骨架和蒙皮都代表了客车车身最本质的特点。

本书不涉及不锈钢车身、全铝车身和复合材料车身，力求对钢结构客车车身的骨架和蒙皮的设计原则做出全面总结。

如何评价客车车身的设计和工艺水平？

车身骨架体现的是客车车身的设计水平。

客车的骨架是空间桁架结构，比建筑或桥梁的桁架结构要复杂得多，结构上非对称且为高度静不定。要想得到一个车身的刚度和强度结果，非有限元分析而不能为。但在设计之初，还是有一些结构规律可以遵循的，本书就是要总结出这样的一些设计规律，以避免车身骨架设计中的问题。

车身蒙皮体现的则是客车车身的工艺水平。

长期以来，人们看客车的印象是以造型和内饰为主。一看造型创意如何，二看涂装工艺水平如何。但本书却要给你这样一个结论：涂装也是迫不得已的工艺手段。

客车的水平看车身

车身的水平看外饰

外饰的水平看蒙皮

蒙皮的水平看没涂装的白车身

可以说，蒙皮尤其是侧围蒙皮，最能体现客车车身的技术难点，不论从设计、工艺，还是手艺上来看，客车的车身蒙皮都是最精华的部分。

因此，我觉得有必要专门就客车车身最精华的部分单独写一本小册子，力争用最少的篇幅来解释客车车身的要点，使新入行者能快速掌握客车车身的结构特

点和工艺特点。

对于客车车身，本书作为工作经验的总结，纯系个人观点，有错误的地方敬请谅解，也欢迎批评指正，电子邮箱 eeelkc@163.com。

关于乘用车的车身，我本外行，为了能更好地理解客车车身的结构和工艺特点，本书也试着从乘用车甚至飞机的角度来看客车，书中的论点纯系个人观点，错误在所难免，请行家莫笑。

刘开春

2015 年 3 月 16 日于厦门

前 言

第 1 章 客车车身的结构和工艺特点 1

1.1 客车车身的结构分类 2

1.2 客车骨架式车身的结构特点 5

1.3 客车骨架式车身的工艺特点 8

第 2 章 客车车身骨架的设计理念 13

2.1 客车车身骨架的设计原则 14

2.2 公路客车车身骨架的设计 27

2.3 城市客车车身骨架的设计 41

2.4 车架及其与车身的连接 46

2.5 用车身骨架的设计原则指导车架设计的应用举例 67

第 3 章 客车车身蒙皮的设计理念 79

3.1 客车车身蒙皮的设计原则 80

3.2 公路客车侧蒙皮的设计与工艺 85

3.3 城市客车侧蒙皮的设计与工艺 96

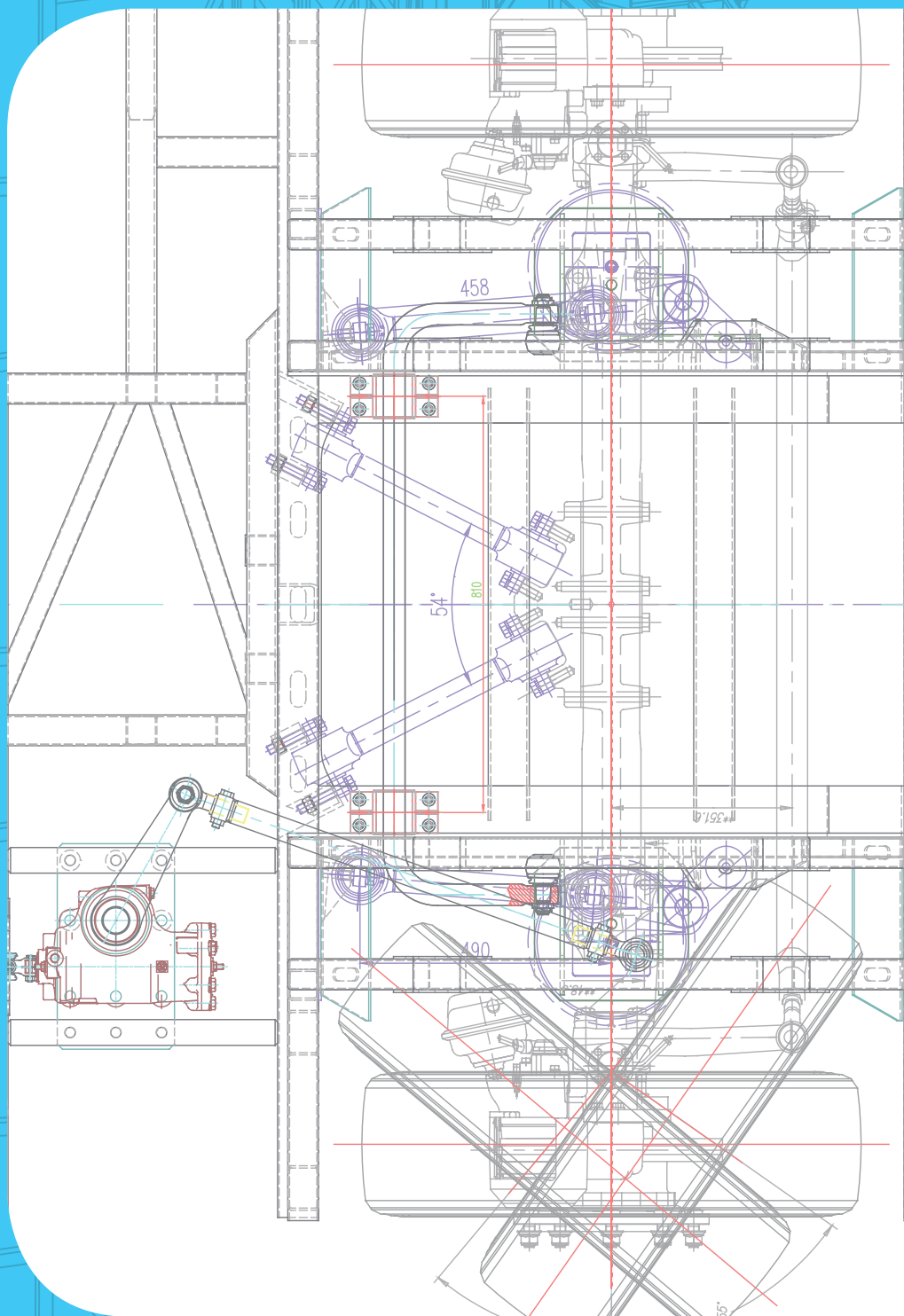
3.4 前后围蒙皮的设计与工艺 104

3.5 前后风窗玻璃的设计与工艺 111

3.6 顶盖蒙皮的设计与工艺 116

3.7 客车车身的设计与工艺水平的评价标准 124

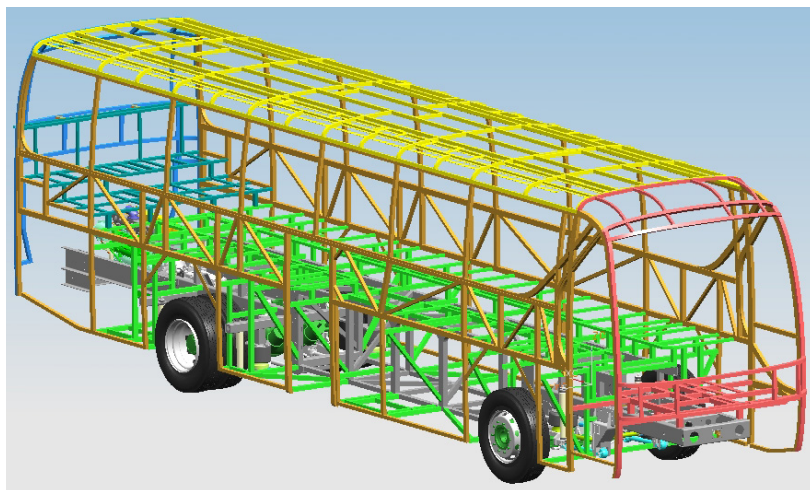
参考文献 126



第 1 章

客车车身

的结构和工艺特点



简单是客车车身的最大特点

1.1 客车车身的结构分类



前言中说过，要想做好机械产品的设计，必须有两个前提：一是了解其结构特点，二是了解其工艺特点。

客车的车身从结构上来讲可分为三个类型，它们具有不同的结构和工艺特点。

类型1：钣金冲压车身。

类型2：骨架式车身。

类型3：钣金和骨架复合式车身。

【钣金冲压车身】采用钣金冲压车身的客车几乎都是微型客车。图1-1所示的海狮轻客是典型的钣金冲压车身。其结构特点是车身由冲压成形的钣金内外板焊接而成，无骨架，车身参与承载。其工艺特点有两个：一是零部件的成形完全依赖于模具，且模具量大，投入高；二是焊装工作也必须依赖于高精度的工装夹具，但可实现流水化作业。从这两个特点来讲，采用钣金冲压车身的轻型客车完全可归为乘用车这个范畴，与大型客车相比，无论是结构还是工艺都存在很大差异，所以这类车身不在本书重点讨论范围内。

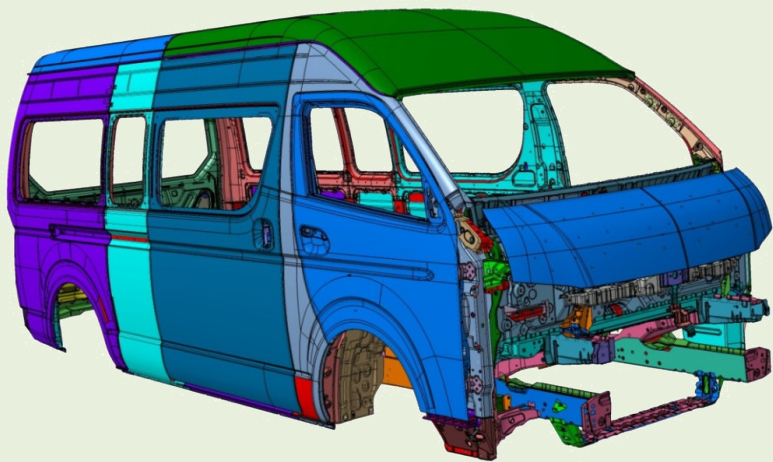


图1-1 钣金冲压车身

【骨架式车身】常见的大巴、中巴，其车身都具有一副由小断面管材焊接而成车身骨架。图1-2是一款大巴车型的骨架车身。正是由于这种有骨架的结构，使得大型客车既不同于乘用车，也不同于载货汽车，它有着自身特有的结构和工艺特点，是三个车身类型中最简单的一种。本书将重点介绍骨架式大客车车身，因为它是目前最广泛采用的车身结构形式，也是工艺最简单的车身结构。

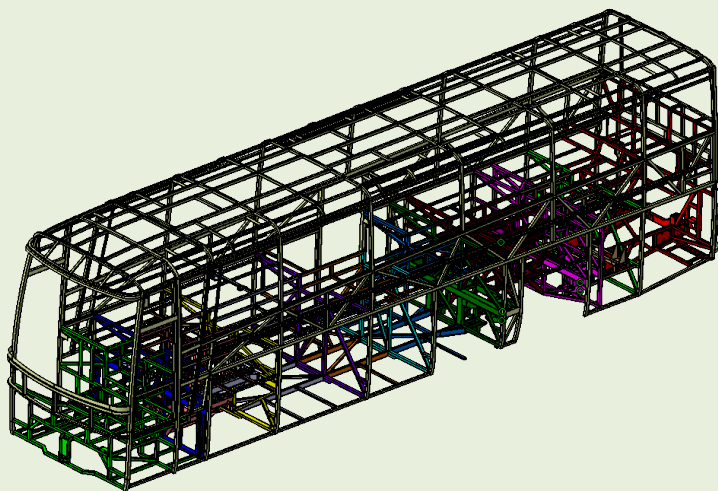


图 1-2 骨架式车身

【钣金和骨架复合式车身】这种车身形式常见于 6~7m 左右车长的中巴，其车身特点是既有钣金冲压覆盖件蒙皮，又有小方钢焊接而成的车身骨架，典型的例子是考斯特，如图 1-3 所示。这种“钣金+骨架”的车身是客车中最难的一种，难在工艺，我们将在后文论述其复杂性。

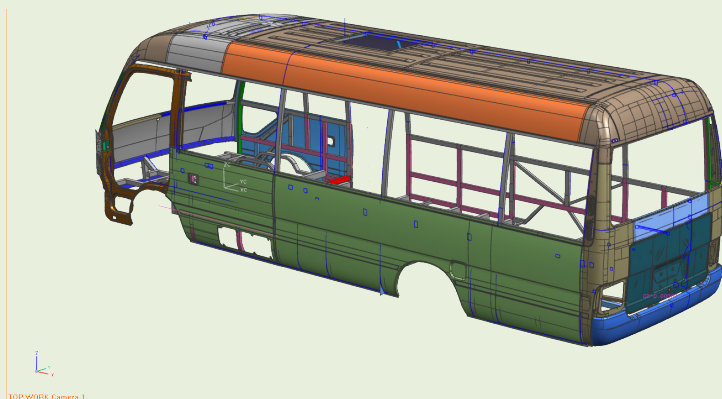


图 1-3 钣金和骨架复合式车身

大客车区别于乘用车或载货汽车的最大特点是其骨架式车身结构，现今各国的客车概莫能外。图 1-4 是日野公司 20 世纪 90 年代总结的客车车身结构变迁历史，可见骨架式车身早已是客车的主流结构。

图 1-4 中的应力外皮和应力内皮类似于航空器的蒙皮承载结构，英文为“monocoque”，中文意思为“硬壳式结构、单壳机身”。骨架式车身在欧洲又发展

出整体式结构，即车架与车身融为一体的小方钢桁架结构，英文为“unitized”，中文意思为“整体化车身”。

从应力外皮和应力内皮开始的车身都称为承载式车身，但“monocoque”和“unitized”都被中国的客车界译为“全承载车身”，因此，承载式车身就是全承载车身。

关于“全承载”一词，我们姑且把它作为这样一类客车的代名词，即具有“全小方钢桁架结构”车架的客车。

任何一个工业产品的产业现状，都是由该产品的结构、工艺或材料水平决定的，甚至可以说工艺或材料所起的决定作用更大。客车的车身也是如此，结构、工艺或材料决定了现今大客车车身的设计或工艺理念。

设计的最高境界是简单化，体现在两个方面：一是结构简化；二是工艺简化。如果二者不能兼得，应首先保证工艺简化！

一个机械产品，结构设计往往不难，甚至会有多种解决方案，但考虑到材料、加工、装配等工艺因素，可选择的设计结果会少之又少。

大客车车身结构之所以与乘用车或载货汽车区别很大，工艺因素起了决定性作用。

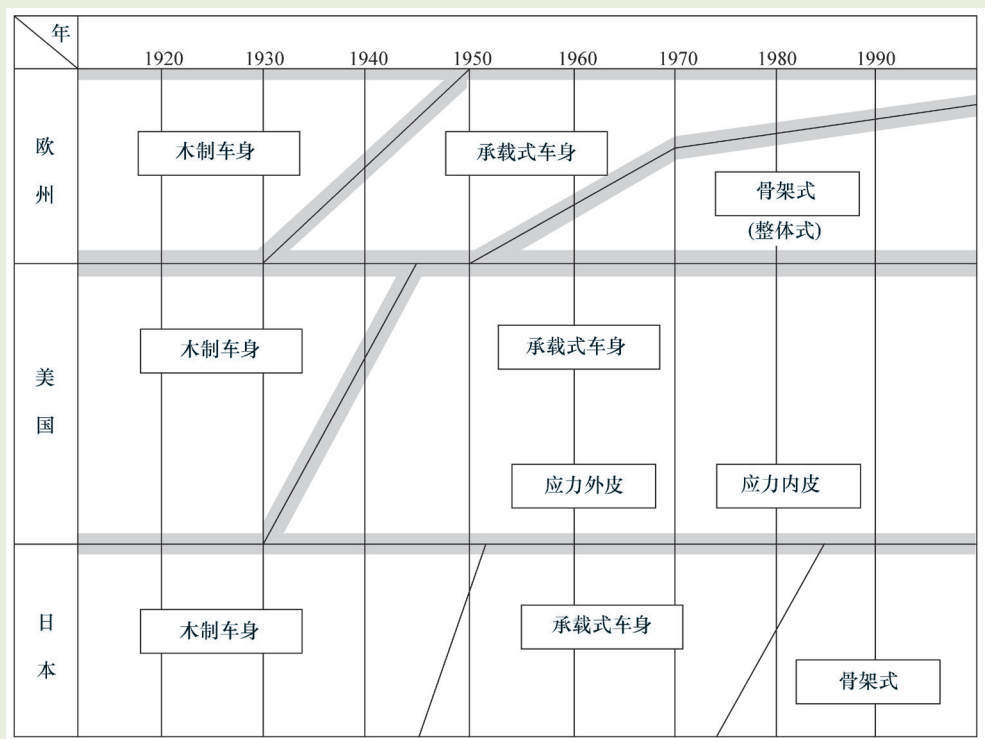


图 1-4 大中型客车车身变迁史

1.2 客车骨架式车身的结构特点



大客车的骨架式车身可归纳为三大结构特点：

- ① 六面体结构。
- ② 骨架负责承载，蒙皮不承载。
- ③ 尽可能不采用大型钣金冲压件做车身覆盖件。

【六面体结构】车身骨架可分为前围骨架、后围骨架、左侧围骨架、右侧围骨架、顶盖骨架和底骨架（车架与地板骨架），这是一种很好的模块化方案。图 1-5 所示为车身骨架分解图。这种模块化方案很方便地解决了车身系列化问题，也是所有骨架式车身结构中工艺最简单的一种。

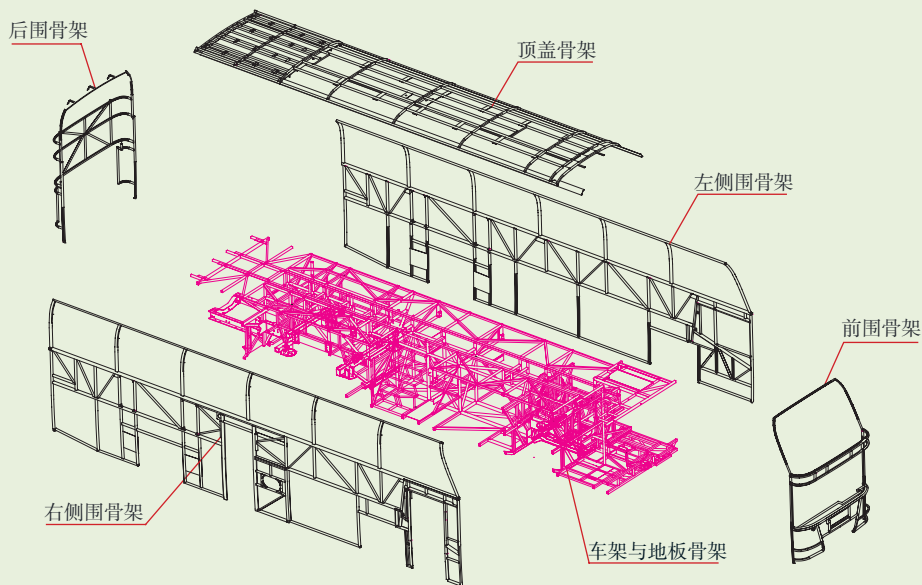


图 1-5 车身骨架六面体模块

但不同于六面体结构，骨架式车身的另一种模块化方式是沿车身纵向方向的切割式模块，如图 1-6 所示的美国 GWC 公司的单元式结构车身和图 1-7 所示的伊利萨尔（IRIZAR）公司的三段式车身。

纵向模块结构的最大优点是车身骨架的刚度好，极大地提高了骨架的抗变形能力，能很好地满足 GB17578—2013 所要求的侧翻时的上部结构强度。图 1-7 中的①、②、③、④是四个“从顶弯梁到侧窗立柱”的整体式 U 形结构梁，其抗变形能力明显好于六面体的分段式结构，这就是所谓的“鸟笼式”车身。

但这种纵向模块结构最大的缺点是工艺复杂，生产效率和装配精度难以保证。以图 1-7 为例，该车身骨架的工艺难点有两个：



- ① 如何保证 4 个 U 形梁的加工精度和一致性？
- ② 如何将 4 个 U 形梁装配到同一个车身柱面中，即装配误差如何控制？

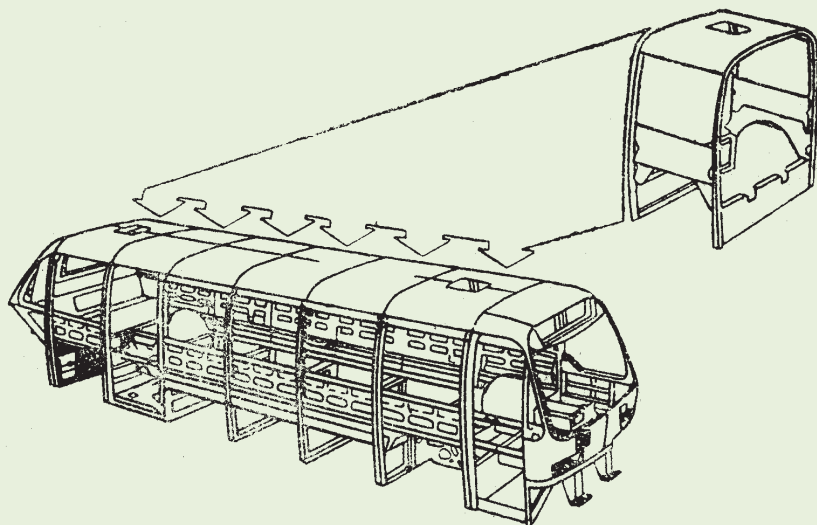


图 1-6 美国 GMC 公司生产的单元式结构车身

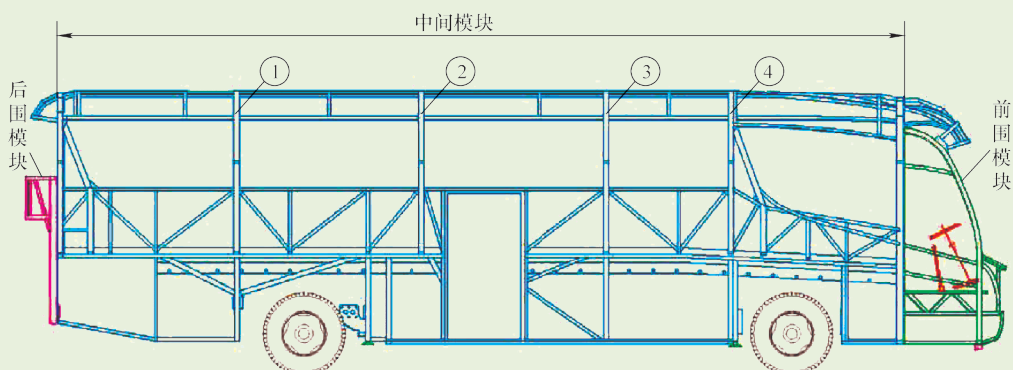


图 1-7 IRIZAR 公司生产的三段式结构车身

客车是一种大尺寸的机械产品，对于大客车车身而言，有两大工艺难点：

- ① 大尺寸范围内如何保证骨架的装配精度？
- ② 大尺寸范围内如何保证蒙皮的平整度？

因此，从工艺的角度来看，纵向模块结构不可能是大客车车身的主流状态。世界主流的、产量比较大的客车生产厂商，采用的都是六面体模块结构，如曼（MAN）公司、奔驰（BENZ）公司。这会大大降低车身的工艺难度，在后面讲述到车身蒙皮问题时我们还会就这一问题进行详细论述。

【骨架负责承载，蒙皮不承载】 车体受到的载荷绝大部分是由骨架承担的，蒙皮承担的载荷很小，这是大客车骨架式车身结构的最大特点。

承载的大小与刚度成正比,当车身骨架与车架刚性地连接在一起时,骨架所分担的载荷远远大于蒙皮。像图1-8这样一款大客车车身骨架,车身尺寸为 $12000\text{mm}\times 2550\text{mm}\times 3800\text{mm}$,桁架式车架,按CAE分析得到的弯曲刚度和扭转刚度组成如图1-9所示。可见蒙皮的弯曲刚度和扭转刚度与骨架结构相比都很小,就整个车体骨架而言,车架的弯曲刚度的贡献度为 $10\%\sim 20\%$ 、扭转刚度的贡献度为 $30\%\sim 40\%$ 。

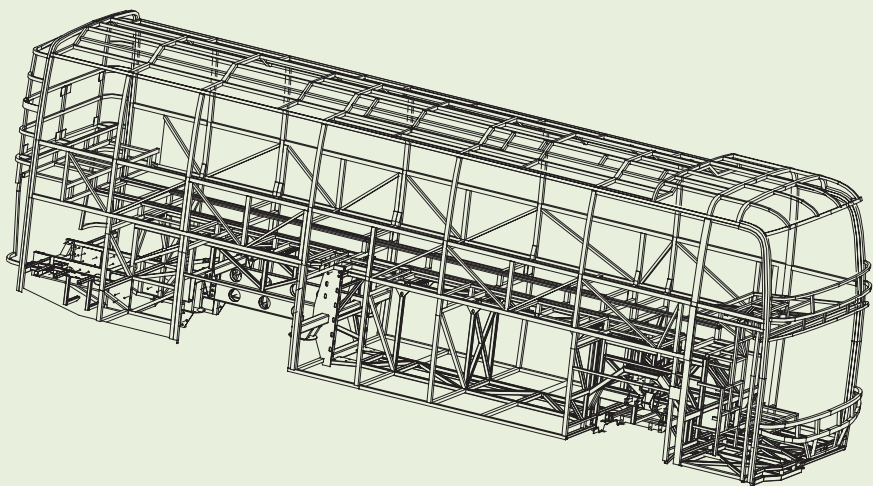


图 1-8 一款大客车车身骨架

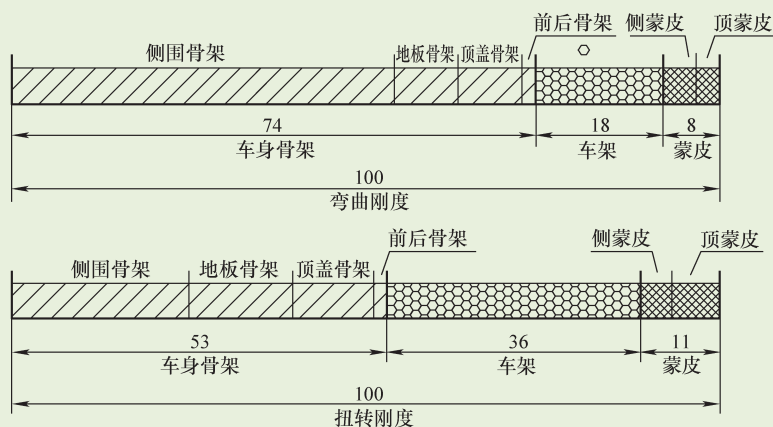
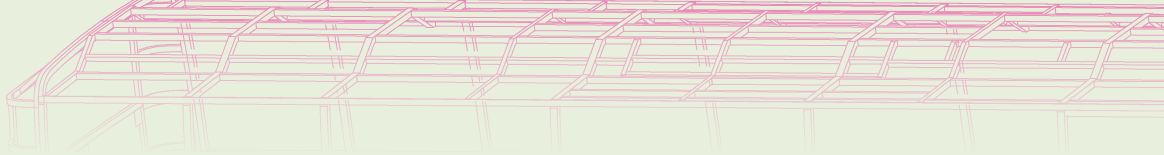


图 1-9 大客车车身骨架刚度分布

可见车身骨架和车架分担了绝大部分的载荷,蒙皮承载较小。因此,在车身设计上近似地认为蒙皮不承载,仅仅是装饰件,这带来了三大好处:

- ① 简化了车身的力学模型,给有限元分析带来方便。
- ② 使车身的力学性能只与骨架有关,给车身骨架的结构设计带来方便。
- ③ 简化了车身制造工艺,尤其是蒙皮的结构和工艺。如果蒙皮必须承载,会



使车身蒙皮的结构和工艺变得异常复杂。

强度和刚度是车身的两个重要力学性能，当蒙皮不参与承载时，车身的力学结构设计就仅仅是骨架的力学结构设计了，这极大简化了大客车车身结构的设计工作。毕其功于一役，专心研究骨架的力学结构就行了。客车车身的骨架都是由小断面的矩形方钢杆件焊接而成，因此此种杆件的力学特点就是大客车车身骨架的设计规范！这是客车车身骨架设计中必须铭记在心的真经秘诀。

我们会在后面单独讲述车身骨架的设计问题，并针对不同的车身类型来分别论述其设计要点，如公路客车与城市客车的骨架设计理念是不一样的，而城市客车中的低地板城市客车和双层城市客车的骨架设计理念又是有区别的。

【尽可能不采用大型钣金冲压件做车身覆盖件】车身覆盖件是指蒙皮、窗玻璃、开闭件等。蒙皮包括前围蒙皮、后围蒙皮、侧蒙皮、顶蒙皮等；窗玻璃包括前风窗玻璃、后风窗玻璃、侧窗玻璃等；开闭件包括行李舱门、乘客门等。

客车车身之所以尽量不采用冲压件，原因如下：

① 要简化工艺！既然骨架不采用冲压结构，那么蒙皮也干脆不用冲压件。大客车的车身有点像建筑上的钢混结构：框架负责承载，外墙和内饰不承载，仅仅作为装饰性的构件安装于钢混框架之上。

② 大客车的覆盖件不采用冲压结构也能达到使用要求。以往的观点认为客车不采用冲压件是因为客车产量小，达不到冲压模具的经济规模。现在看来这种观点有待商榷，因为现在单一车型达到年产量 1000 台以上的比比皆是。就客车这个品类来说，非冲压的覆盖件已能满足使用要求。拿乘用车的覆盖件来说，不但是冲压问题，更重要的是要有包边工艺、焊接装配工艺。冲压件的优点是生产效率高和表面质量好，这很好地符合了乘用车或载货汽车对产量和外观质量的要求。但客车不要求精准的外表曲面或曲线，非冲压件也能满足使用要求。

③ 拿侧蒙皮来说，这么大尺寸的零件如何冲压成形？若整体冲压则不能涨拉，不涨拉如何保证平整度？大型冲压蒙皮也无法保证平整度问题。也有分段成形的，但接缝的处理又是很难的工艺问题，怎么看都不是最好的工艺办法。最好的工艺办法必须是最简单的办法。

④ 拿前后围蒙皮来说，还存在冲压件蒙皮与骨架的精度匹配问题，这也能解释为什么乘用车不采用骨架式车身，此问题留在蒙皮设计一章中再详细论述。

至此，骨架式车身还可以总结出两大优点：

- ① 能提供有效的被动安全性：如侧翻时的上部骨架抗变形能力。
- ② 工艺简单：简化了车身工艺，是大型客车与乘用车和载货汽车的本质区别。

1.3 客车骨架式车身的工艺特点



从上节我们已经看出：骨架式车身的三大结构特点都指向了工艺简单化。产

业的工艺现状是由材料、经济产量的规模、可使用的品质要求等因素决定的。

工艺的最高原则是至简，最简单的就是最好的。

因此，设计的最高原则就是使工艺最简！

骨架式客车车身的两大工艺特点：

- ① 以骨架为基准，反求内外：骨架是内、外饰件加工装配的基准。
- ② 不求甚解，但粗中有细：不追求精准的外表曲线或曲面，只追求细节的工艺美感。

【以骨架为基准，反求内外】这是指车身的内饰件和外饰件的加工和装配以车身骨架为基准，表现在以下两个方面：

- ① 车身骨架的装配水平会影响内外饰件的装配水平，即车身骨架的装配一致性很重要。
- ② 内、外饰件的某些物料的制造依据是骨架实物而不是零件图样，即车身内、外饰覆盖件必须是相对于实物骨架而准确的。

如前后围的覆盖件和前后风窗玻璃在以骨架为基准的大型客车上就不宜依据图样制造，最合理的方法是依据标准骨架来制造。

【不求甚解，但粗中有细】这是指大客车的车身外曲线是不能、也没必要按曲线样板来检验的。大客车的车身外观不追求精准的气动外形，而是追求细节的工艺美感、追求美感与生产效率、追求美感与生产投入之间的适当平衡。

正是这两个特点使得大型客车的车身工艺根本不同于乘用车和载货汽车，也使得大型客车的车身工艺在汽车产品中是最简单的！

什么是工艺？

工艺研究两个问题：怎么做？做到何种水平？

任何加工环节都会产生误差，没有误差就没有工艺这门学问了。

精度越高成本也越高，但精度太低又不能满足使用要求。

工艺的学问在于如何适当地放宽加工精度又能满足使用要求。

客车的车身是由成千上万的零部件装配而成的，这些零件如何能顺利装配起来，而且要加工成本低、装配效率高，这正是工艺的核心内容。

工艺的核心是如何选择加工方法，尤其是对两个有相互装配关系的零件来说，更是如此。

因此，说到工艺问题，必须理解“相对准确度”的概念。

上一节说到大客车车身两大工艺难点：骨架的装配精度和蒙皮的平整度。要想正确理解蒙皮与骨架的装配工艺，必须明白两个概念：精度和准度。

单个零件的加工精度和准度如图 1-10 所示，十字线的交点表示目标尺寸，圆圈的大小表示加工的尺寸误差，误差小则直径小，反之则大。

图 1-10a 表示既精且准，图 1-10b 表示准度高但精度不高，图 1-10c 表示精度高但不准确，图 1-10d 表示不准确也没精度。

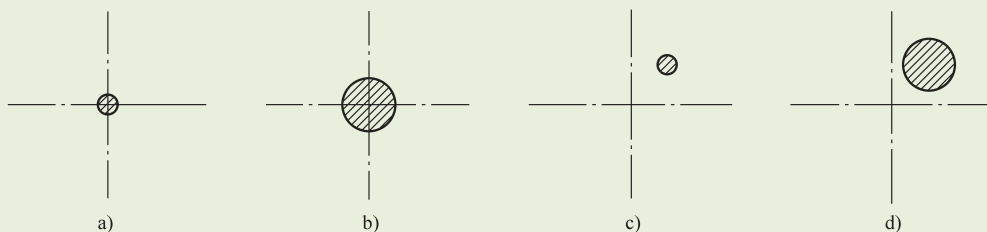
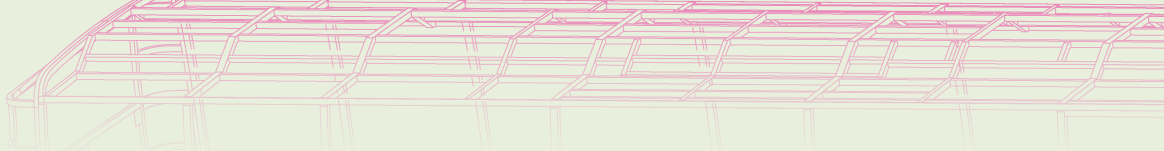


图 1-10 精度和准度

那么两个有相互装配关系的零件的精度和准度是什么关系呢？

如图 1-11 所示，这是两个有装配关系的零件，其精度和准度的关系如下：

图 1-11a 表示 B 相对于 A 来说是准确的，虽然 A 的加工精度和准度都不高，但 B 与 A 仍能实现装配。

图 1-11b 表示 B 虽然其精准度很高，但相对 A 是不准的，所以不能实现装配。

图 1-11c 表示二者能实现装配只是小概率事件。

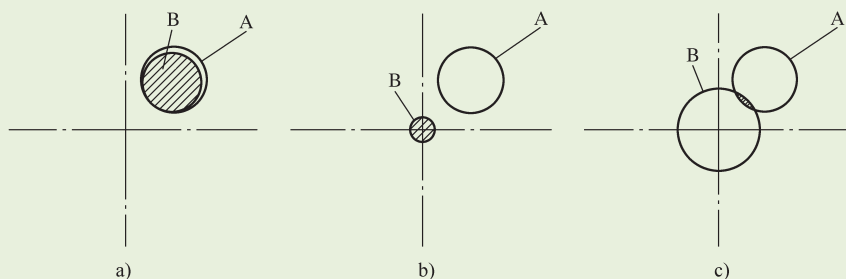


图 1-11 相对准确度

因此，两个有相互装配关系的零件，其准度必须是相对的，即相对于谁准确。

任何加工过程都会产生误差，客车车身的工艺路线必须是有利于保证相对准确度的。

做到这一点，关键是如何选择工艺基准。

基准是确定结构件之间相对位置的一些点、线、面。设计汽车时需要建立一些基准，如水平基准线、对称轴线等，我们称之为设计基准。设计基准一般是不存在于结构表面上的点、线、面，在生产中往往无法直接利用。

而工艺基准包含两方面内容：一是零件的制造基准，二是装配基准。

不管哪方面内容，工艺基准必须考虑三点：准确定位、顺利装配、方便测量。

就装配而言，其工艺基准是存在于结构表面上的点、线、面，在装配过程中可以用来确定结构件的装配位置。

制造基准未必一定都是图样或数模，也可以是工装、检具、模型，甚至是精

度的一致性保证得很好的零部件实物。

对于零件几何形状简单、加工步骤少的零部件，可选择图样为制造基准。

对于零件几何形状复杂、加工步骤多的零部件应选择工装、检具、模型、实物等实体为制造基准。

实体基准实际就是一把尺子，它必须保证几何尺寸的稳定性，因此这也要求实体基准必须有足够的物理刚度。

当刚性物体和柔性物体相互装配时，最好选刚性物体为装配基准。

比较骨架和蒙皮的物理特性，显然骨架符合作为蒙皮制造依据的所有要求，当然也是很好的蒙皮装配基准。

以骨架为基准，还得益于客车不追求精准的外表曲面，这一方面可降低蒙皮零件的加工精度，另一方面也可降低蒙皮与骨架的装配精度。

加工精度的适当降低是这种工艺安排的必然结果，带来的好处是成本下降、效率提高且品质并未下降。

那么能给个反例吗？既要求精准的外表曲面，又要求刚硬的内部骨架。

有，大型飞机。

大飞机就是这种机械产品：既要求精准的气动外形，又要求足够的机身强度和刚度。

因此，飞机的装配工艺存在两种装配基准：以骨架为基准和以蒙皮为基准。

以骨架为基准就是以骨架外形为基准，因为要保证气动外形。此时就要求骨架有很高的零件制造精度和装配精度，外形准不准看骨架的水平。

以蒙皮为基准则要求骨架与蒙皮不符时要修改骨架，想想看，刚性的物料修改容易还是柔性的物料修改容易？

飞机的这两种工艺方法都不容易，所以说制造大飞机难，主要是难在工艺！

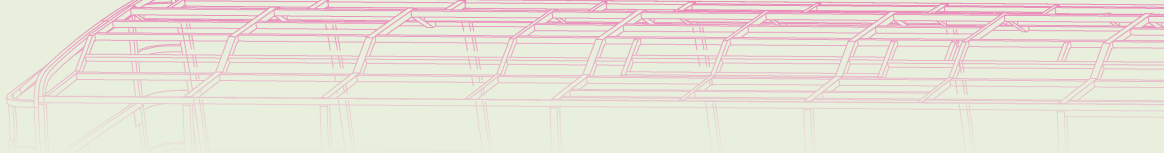
客车的车身不追求精准的外形曲面时，以骨架为基准的装配工艺是最简单的办法。同客车比较来看，乘用车属于小尺寸机械产品、规模产量大、外形要求高，冲压件足以满足其车身精度、强度、刚度的要求，因此其车身最好的工艺办法是冲压组焊。其实乘用车的车身工艺的核心不是如何冲压，而是各冲压件之间的加工精度和装配精度如何匹配，如怎样保证门周边的装配间隙？从这个角度说，乘用车是不能用“骨架+蒙皮”的结构，主要原因是方钢骨架和冲压蒙皮间的加工精度很难匹配。

也许，随着加工手段的进步，精度匹配的问题能得到解决，但对于钢结构的乘用车车身，采用骨架结构在轻量化上也没有优势。

精度匹配的目的就是实现零部件的装配和互换，不但要顺利装配，还要保证互换！因为对于批量生产的工业产品，不可能每个零件都要现场装配，必须保证不需修改的现场装配和零件之间的互换性。

因此，还必须再解释两个概念：互换与协调。

互换指的是独立制造的零件（组件、部件），装配时无需补充加工，就能满足



使用要求；同类零件可互相代替，是指同一种工件之间的一致性，装配时不需任何修配，即可保证产品性能。它是通过控制制造误差来达到。最典型的例子是标准件。

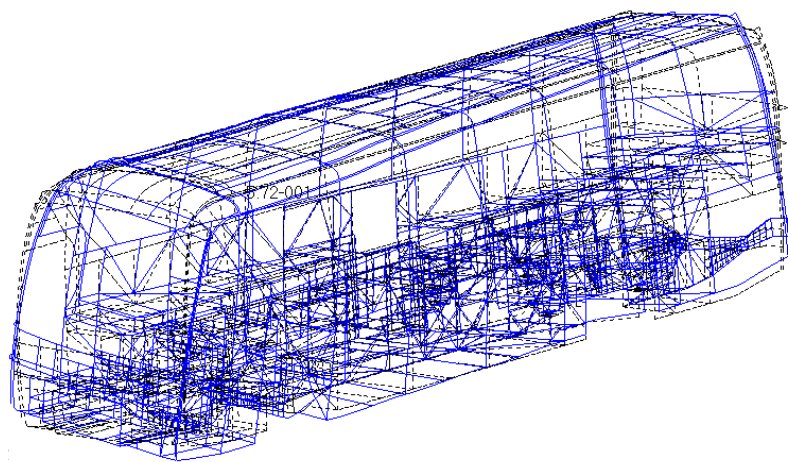
协调是指两个相互装配的零件（组件、部件）之间，其配合部位的几何形状和尺寸的相符合程度，它既可以通过控制制造误差来达到，也可以通过修配来达到。

车身工艺的核心是选择何种加工工艺路线来实现零部件的装配协调性！

第 2 章

客车车身

骨架的设计理念



刚度是车身骨架设计的第一原则

2.1 客车车身骨架的设计原则



机械设计必须遵循两个原则：结构原则和工艺原则。

客车车身的设计也应如此，车身骨架的设计必须遵循其自身的结构原则和工艺原则。

由于客车车身的骨架都是由小断面的矩形方钢杆件焊接而成，而此种杆件的力学特点是宜承受拉压载荷不宜承受弯扭载荷，因此，大客车车身骨架的结构设计原则是：

- ① 拉压胜过弯扭。
- ② 传力胜过受力。
- ③ 刚度胜过强度。
- ④ 细节胜过整体。

【拉压胜过弯扭】尽可能地使车身骨架的杆件承受拉、压载荷，不承受弯、扭载荷。

整车所受的集中载荷、弯曲载荷、扭转载荷在车身骨架的传递过程中，杆件的受力不外乎受拉、受压、弯曲、扭转这四种形式。

那么什么样的结构能有效地使整车的载荷尽可能地转变为骨架杆件的拉压载荷呢？很简单，就是在结构上要保证力流传递的连续性。

落实到具体的结构设计上，就是要使杆件的布置是节点到节点，使力的传递衔接有续。

在设计上应遵循两点：一是尽量采用封闭环结构，二是尽量避免 T 形接头。

封闭环是指顶盖横梁、侧窗立柱、侧舱立柱这三个主要的承载构件布置在一个承载断面上，或者是顶盖横梁、侧窗立柱、地板横梁布置在一个承载断面上。图 2-1 是依维柯（IVECO）客车的封闭环结构，所有的顶弯梁、侧窗立柱、地板横梁都呈封闭环形式。

实际上顶盖横梁和侧窗立柱的对齐是容易做到的，侧窗立柱和侧舱立柱的对齐不容易全实现，此时必须加斜撑引导，例如图 2-1 中倒数第二、第三侧窗立柱与侧舱立柱之间的斜撑布置。

再如图 2-2 的尼奥普兰（NEOPLAN）车身骨架，侧窗立柱是斜向布置的，很难与侧舱立柱对齐，此时就需在侧窗立柱与侧舱立柱之间加斜撑引导。

斜撑梁的另一个好处是提高侧围骨架的抗弯刚度和抗扭刚度。

尽量避免 T 形接头，图 2-3 所示是一款伊卡鲁斯（IKARUS）早期的客车车身骨架，图中的①、②两处就是 T 形接头，在此处窗下梁会承受额外的弯曲载荷。尤其在②处由于是在后桥的上方，整车弯曲载荷在此处为最大，这样的结构就是不可取的结构。

整车的弯曲或扭转载荷会使 T 形接头的部位产生很大的弯曲载荷，这是以杆

为主的工程结构应当避免的。

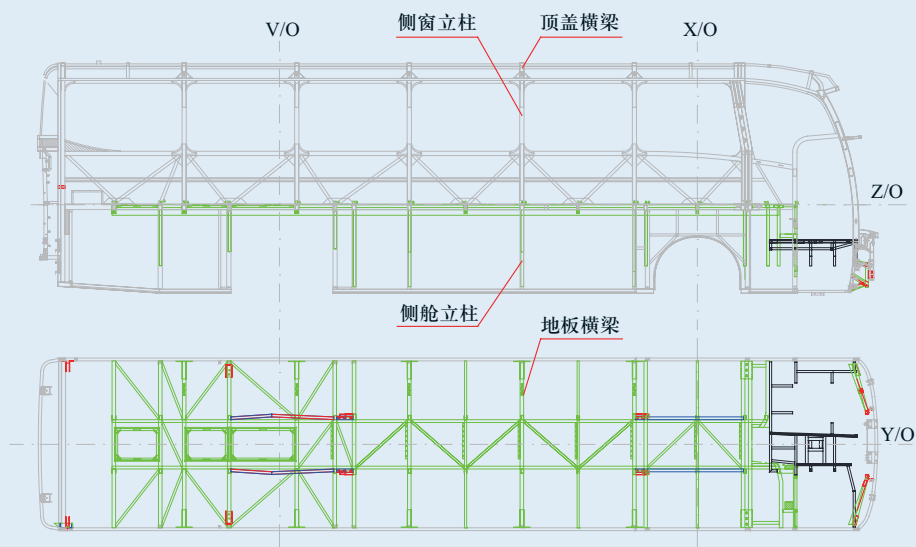


图 2-1 IVECO 客车车身骨架

但如果 T 形接头不能避免，如侧窗立柱与腰梁形成的 T 形接头，则应将其布置在某个三角形结构内，如图 2-1 中 V/O 处的窗立柱与斜撑结构。并且在此接头点应有地板横梁或斜撑与之衔接，如图 2-1 中的地板横梁的布置和图 2-4 的地板斜撑布置。

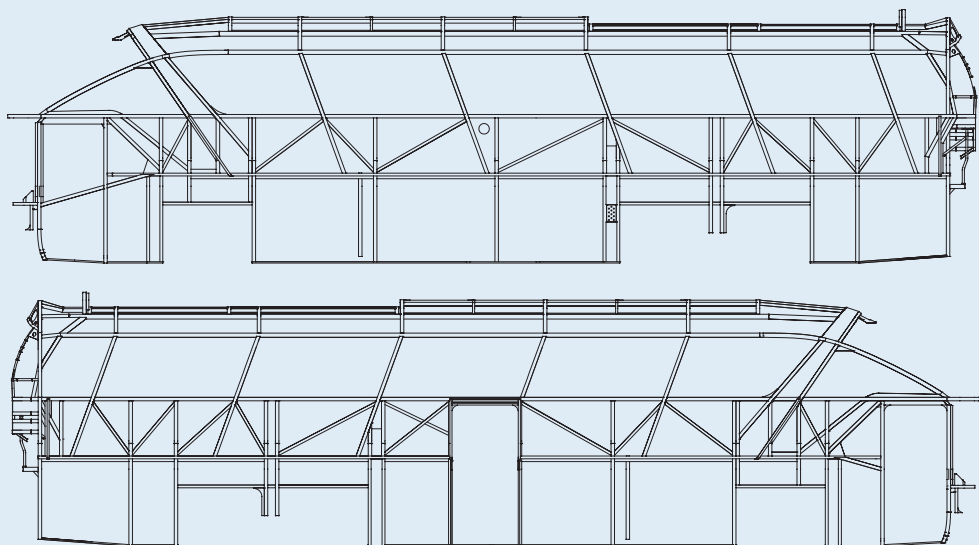


图 2-2 NEOPLAN 客车车身骨架

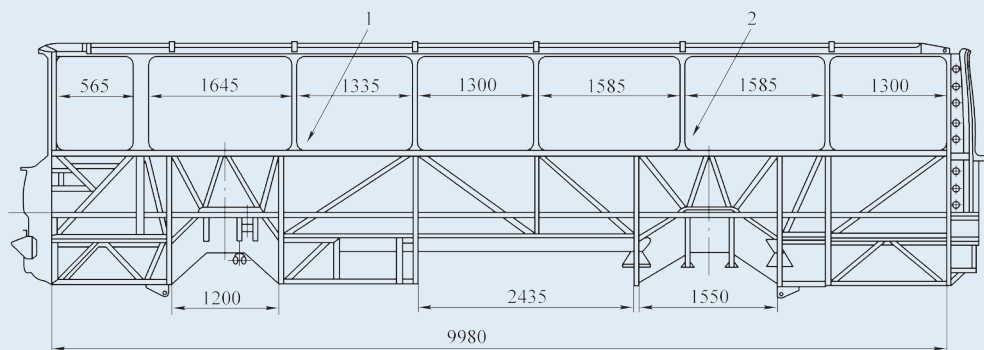


图 2-3 IKARUS 客车车身骨架

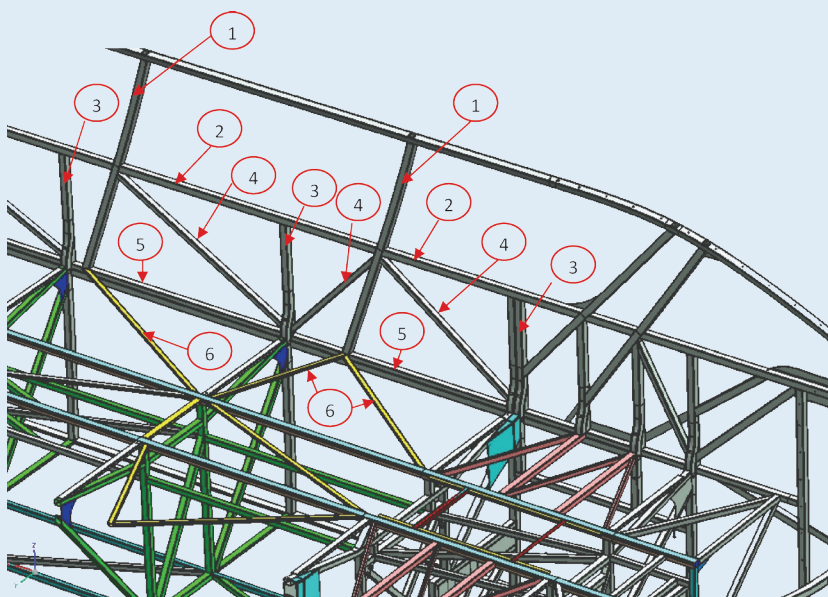


图 2-4 NEOPLAN 车身骨架细节

①—侧窗立柱 ②—侧窗下梁 ③—侧舱立柱 ④—侧围斜撑 ⑤—侧围腰梁 ⑥—地板斜撑

T 形接头的另一情况表现在双梁并接的情形。设计中有时为了加强骨架而采用两根梁并接，如图 2-5 中的梁 A 和梁 B 采用并接方式，梁 C 和梁 D 分别与梁 A 和梁 B 焊接，而梁 A 和梁 B 的并接焊缝远离结构中心点 M，这导致了梁 C 和梁 D 传来的力会使梁 A 和梁 B 在局部产生严重变形，我们说这种连接方式是柔性的。因此在并梁情况，焊缝的设置应引起重视。从结构力学上讲，能用单梁坚决不用双梁。若必须采用双梁并接，则必须严格规定焊缝的位置。

【传力胜过受力】 对于一个力学结构，首先要对其在各种使用工况下的受力特点做出准确的分析，这是做好结构设计的前提。拿客车来说，悬架的结构形式和

发动机的位置对载荷在车身上的分布影响最大，如钢板弹簧和空气弹簧、空气弹簧中的梁下簧和外摆簧、独立悬架和整体刚性桥，不同的悬架结构会导致载荷有不同的作用点和传递方式。

传力胜过受力的设计原则是说：必须在车身骨架（包括车架）中规划一个明晰的力的传递和扩散路线。即受力结构要明确哪些是负责承载的、哪些是不参与承载的。承载的结构要做大做强，不承载的结构要做小做弱，这也是车身轻量化设计的首要原则。

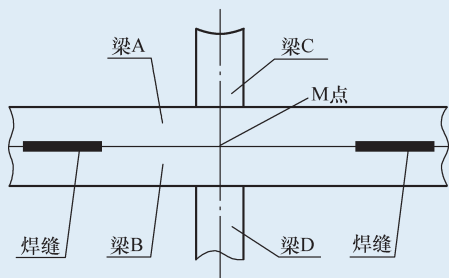


图 2-5 双梁并接的焊缝布局

传力胜过受力的设计原则也要求：承载结构必须简单明了，能直接传递的力就不要拐弯传递，如封闭环结构就是最好的力学结构。

图 2-6 是一款 12m 板簧二级踏步城市客车“全承载”车架的前簧前吊耳处的承载结构，此处既可以选择 A—A 断面为承载断面，也可选择 B—B 断面为承载断面，但图中没给出侧重点，即我们看不出哪个是主要承载结构，设计上没能规划出一个明确的承载结构。

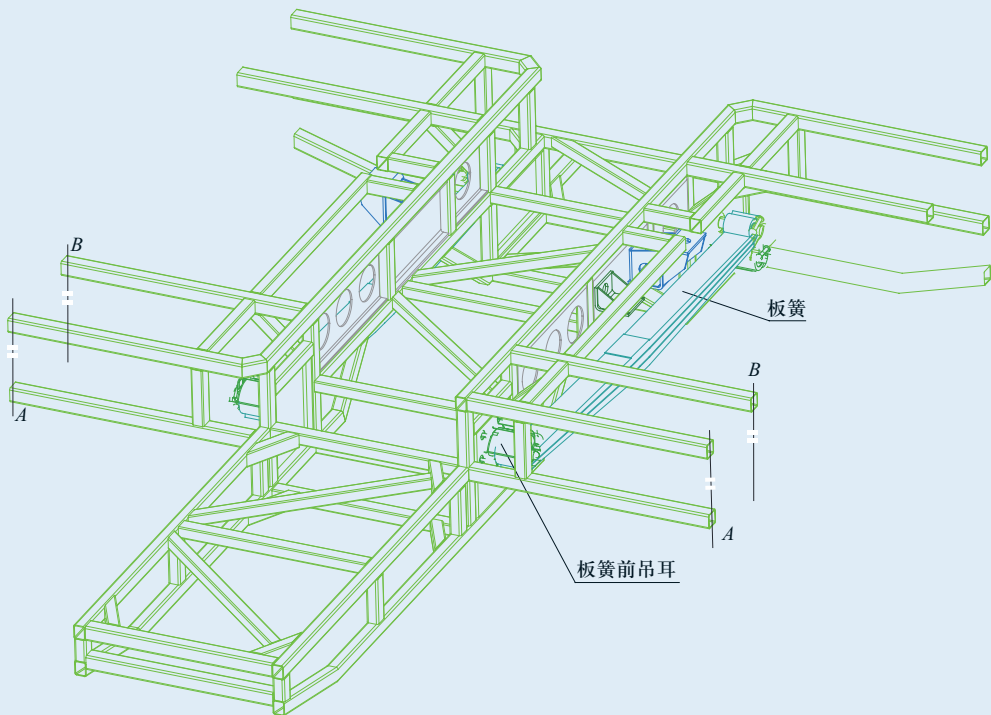


图 2-6 一款 12m 板簧二级踏步城市客车车架前簧前吊耳处的承载结构

而图 2-7 是在图 2-6 基础上做了改进，规划了一个明确的承载断面和承载结构即承载主结构。在此处，车身传向车架的力即由这个“承载主结构”承载并传递。承载的结构一定要做强，而不承载的“梁 1”和“梁 2”则可以弱化。

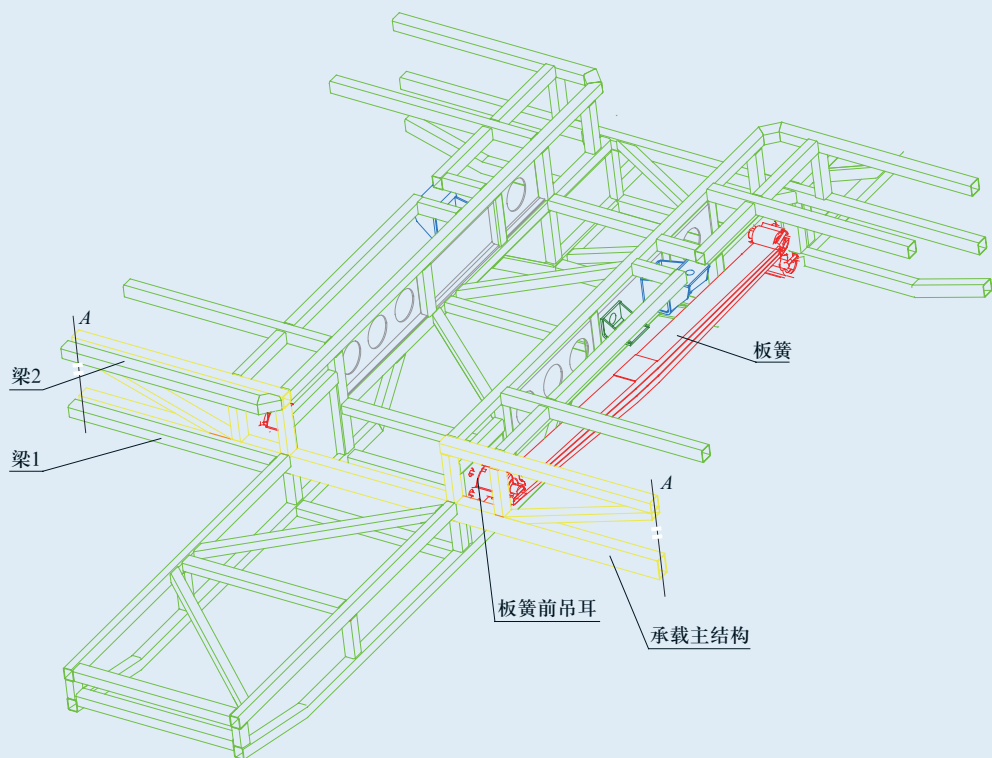


图 2-7 结构改进

图 2-8 是图 2-7 中的“承载主结构”的详细结构，其贯通主梁规格为 $80\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$ 。

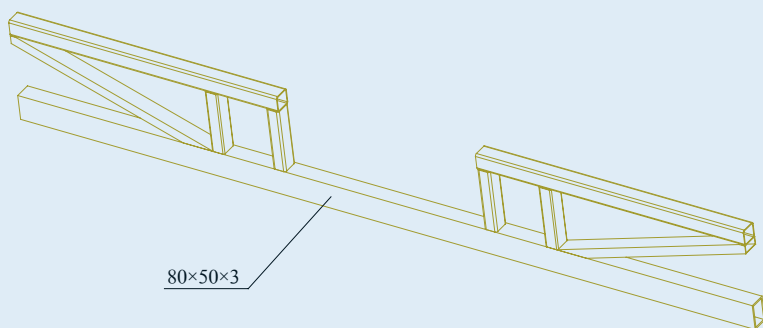
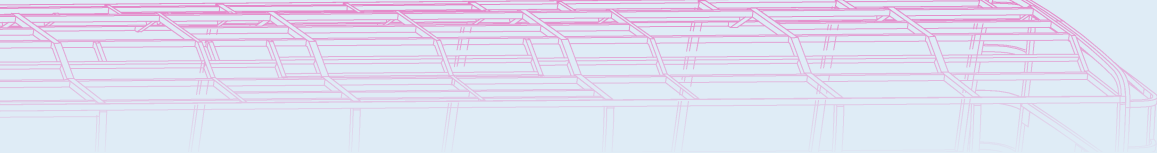


图 2-8 承载主结构



所以,没有真正的“全承载”结构,合理的车身骨架必须分清承载构件的主与次。在“全承载”车架(小方钢结构)的设计上,这一点也必须牢记。

从结构上看,与大客车相近的机械产品莫过于飞机了,我们不妨看看飞机在结构设计上如何进行传力分析:

(1) 弄清结构所受的载荷最后应传向何处。除了了解结构中各构件能否承受某种载荷外,还必须考察结构中各构件的连接能否传递该种载荷,即某个力能否传到某构件上(传入);又能否从该构件传到另外一个构件上(传出);最后能否传到该结构的基础上(传至基础)。三个条件缺一不可。

(2) 分清结构主要和次要受力元件,以及主要和次要受力部分。着重研究在总体受力中占主导地位的受力部分和元件的受力传力作用。略去次要元件和次要结构部分。

(3) 弄清各主要元件的连接关系与连接方式,以便正确地确定支持形式和传力方式。

(4) 从结构的外载荷作用处开始,依次取出各个构件部分或元件为分离体,按它们各自的受力特性合理简化成典型的受力构件——盒式梁、平面梁、板和杆等,并根据与该部分结构相连的其他构件的受力特性及它们之间的连接关系,由静力平衡条件,确定出各级分离体上的“外载”(作用力)和支承力。这样才能反映出正确的传力路线,同时还可知道各构件的传力功用和大致的内力分布。

(5) 分析传力必须具备刚度概念。刚度是指构件在载荷作用下抵抗变形的能力,即构件产生单位变形所需的外载值,包括拉伸刚度、剪切刚度、弯曲刚度和扭转刚度。对静不定系统,除静力平衡方程外,还必须同时根据变形协调条件才能求出各元件内力,即力的分配与各元件本身的刚度和支承条件有关。刚度大的分配到的载荷大;刚性支持分配到的载荷大,弹性支持分配到的载荷小。静不定系统各元件的传力情况还与其传力路线长短有关,传力路线短的元件传递的力多。

【刚度胜过强度】客车是大尺寸的机械产品,大尺寸机械结构的难点在于如何保证力学刚度。车身骨架的断裂往往表现为刚度不足而引起的大变形应力破坏,因此车身骨架结构设计的首要问题是刚度,如果刚度能满足,其强度一般不是问题,理由如下:

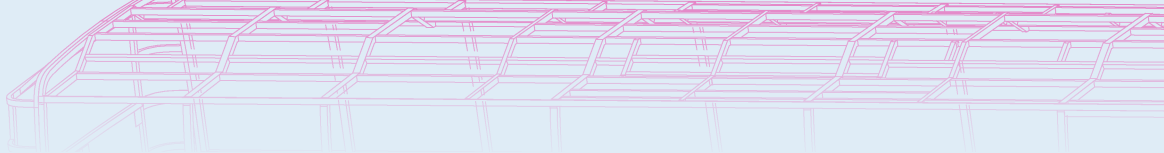
① 静不定系统中,力的求解取决于变形协调方程,而能直观反映出构件变形量的物理参数就是构件的刚度。

② 弹性变形范围内存在刚度,超过屈服极限的塑性变形阶段则不存在刚度,因此在静不定系统中如果刚度能满足,强度一般不是问题。

③ 在静不定系统中,力的分配取决于构件的刚度。

刚度与几何形状、支承条件有关,正确的受力分析与合理的结构布置是提高车身骨架刚度的关键。

车身轻量化设计的原则是:在不降低刚度的前提下降低重量。例如,在采用



高强度钢时，什么结构可减小壁厚、什么情况不能减小壁厚，这必须具体问题具体分析。

客车的骨架（车身或车架）是高度的静不定系统，在这种超静定系统中，构件的载荷分配取决于其自身刚度，刚度大的载荷大。图 2-9 所示是一款 12m 板簧二级踏步城市客车“全承载”车架的前簧后吊耳处的承载结构，此处有两个断面可选择作为承载断面：C 断面（吊耳前）和 D 断面（吊耳后），究竟选择哪个合理呢？

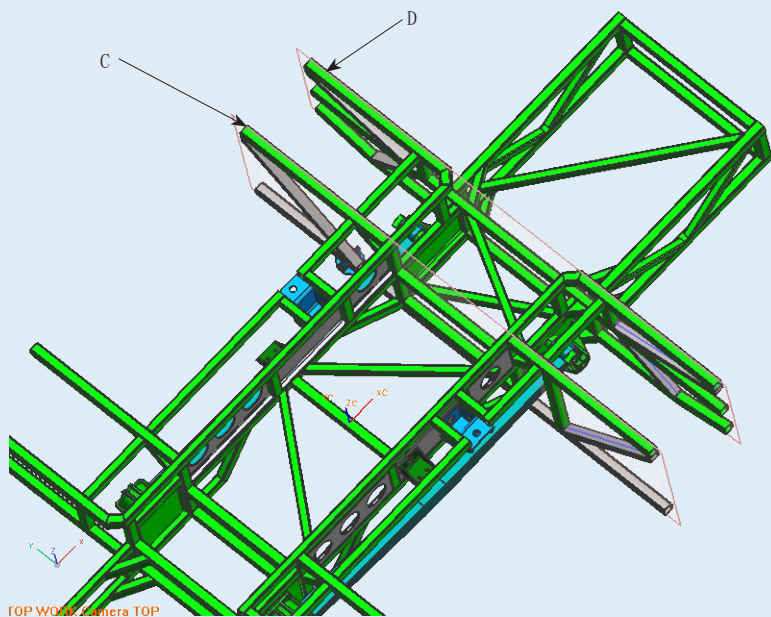


图 2-9 一款 12m 板簧二级踏步城市客车前簧后吊耳处的承载结构

不妨按下面三条来判断其合理性：

- ① 看谁的承载能力强。
- ② 看谁有利于车架的前桥模块与中段模块的连接。
- ③ 看谁有利于车身的布置。

那么如何判断承载能力的强弱呢？就是看 C 断面（图 2-10）和 D 断面（图 2-11）谁的刚度大，刚度大的承载能力也大，它就是承载主断面。而另一个作为非承载主断面，要么弱化，要么取消。

判断图 2-10 和图 2-11 的结构刚度的方法很简单：分别建立两种结构的数字模型，采取相同的支承条件、施加相同的载荷，在 CAE 中分析它们各自的变形，变形量小的刚度大。这种小结构的 CAE 分析快速高效，能为设计者提供有效的结构判别依据，不需做整车的 CAE 分析就可判定结构的优劣。

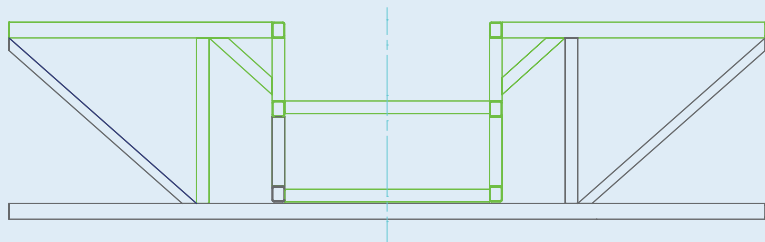


图 2-10 C 断面

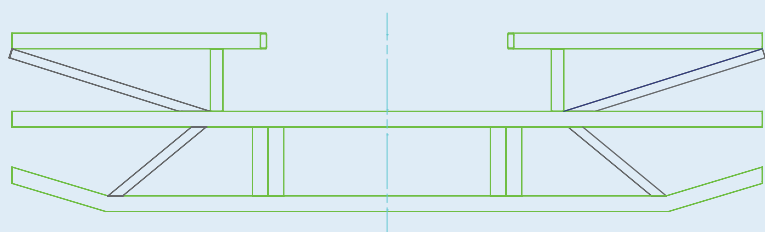


图 2-11 D 断面

我们称这种方法为“局部有限元”分析法，此法在局部结构的选择上非常高效可靠。

再举一例，图 2-12 是一种低入口城市客车的中段车架的结构：上下两层的小断面方钢，焊接量大。其主承载构件的底横梁如图 2-13 所示，那么此结构能否换成单层结构，如 $70\text{mm} \times 60\text{mm} \times 3\text{mm}$ 或 $80\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$ 这种极简单的结构梁呢？（方钢的长边一定在高度方向上）

能否更换，其前提是构件的刚度不能下降，即承载能力不能下降。对此我们可以分别对这种结构做 CAE 分析，前提是支承条件相同、加载相同。其结果见表 2-1，可见刚度最大的是 $80\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$ 这种单梁，且每个底横梁可减重 7kg，更重要的是单层结构的焊接量大大减少，图 2-14 是简化后的结构图，总计减重 55kg。

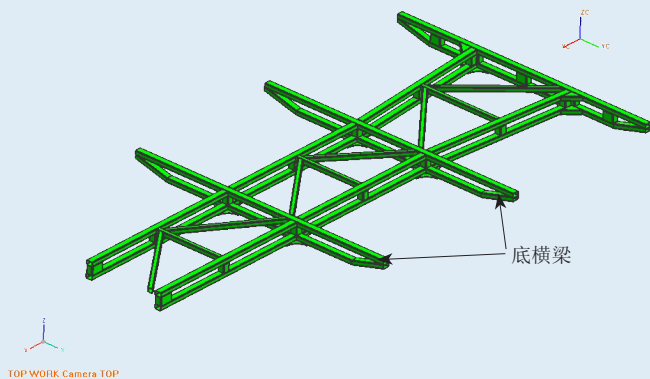


图 2-12 低入口城市客车的中段车架结构

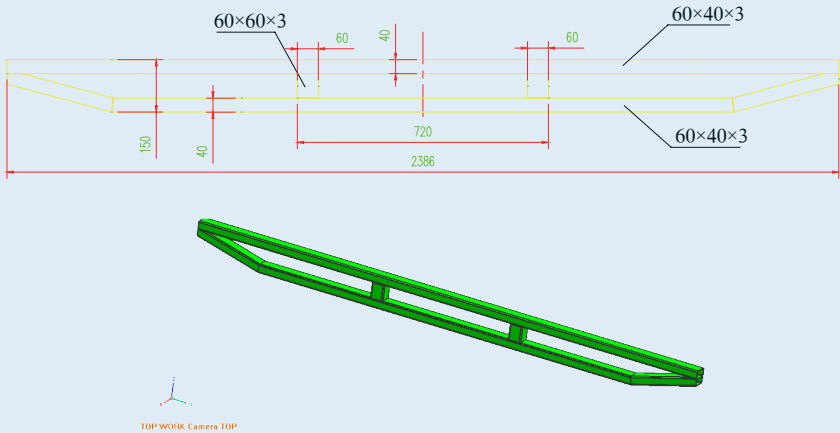
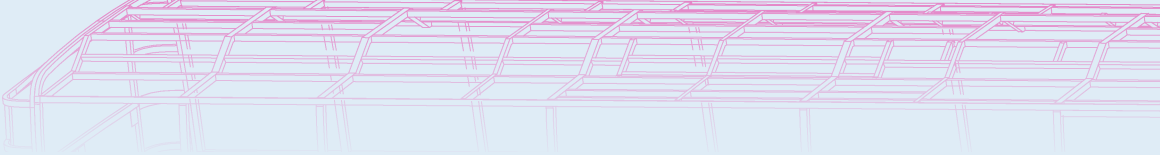


图 2-13 底横梁结构

表 2-1 三种梁结构的 CAE 分析结果

CAE 结果	结构特点	最大挠度 /mm	重量 /kg
	组合梁，见图 2-11	0.2284	20.9
	单梁，方钢规格 70mm×60mm×3mm	0.2629	13.9
	单梁，方钢规格 80mm×50mm×3mm	0.1219	13.9

注：分别约束横梁两端的六个自由度，并在横梁中间施加 1000N 的力。此时，集中载荷作用于简支梁的中点，最大挠度发生在梁的中点。

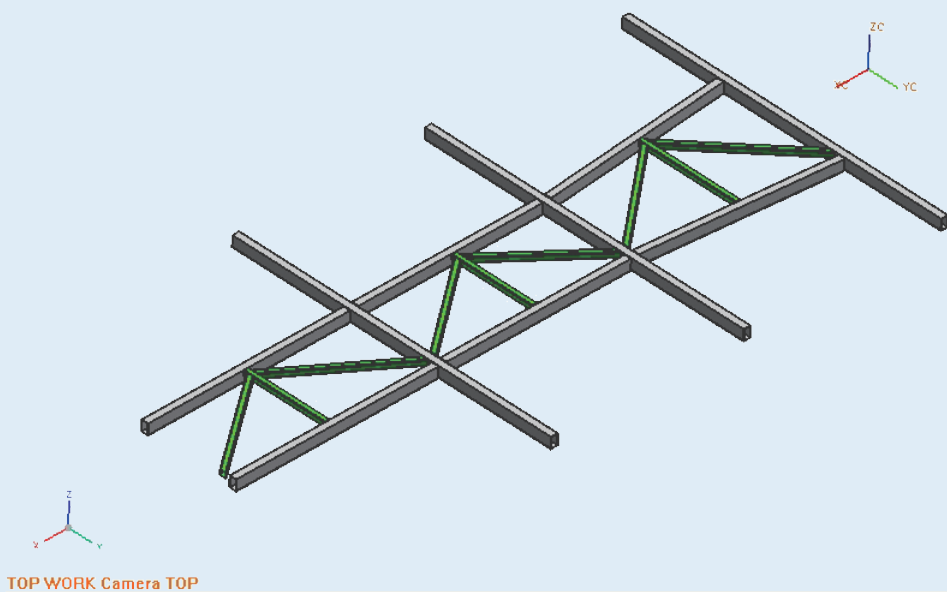


图 2-14 简化后的结构

【细节胜过整体】车身骨架的设计，不能只看是否全承载和封闭环，我们更应注意骨架在接头部位的细节设计，正是这些细节设计，决定了骨架结构的成败。图 2-15 中，结构 1 最好，结构 3 次之，结构 2 最差。这其实也是“传力”和“刚度”原则在微观上的应用，结构 2 和 3 都是拐弯传力，不可取。结构 2 和 3 实际上是构件在微观上的支承条件不利于载荷的作用与传递，反映到宏观上是整体刚度的下降，亦即承载能力下降。如双梁拼接时的焊缝问题也可认为是细节问题。

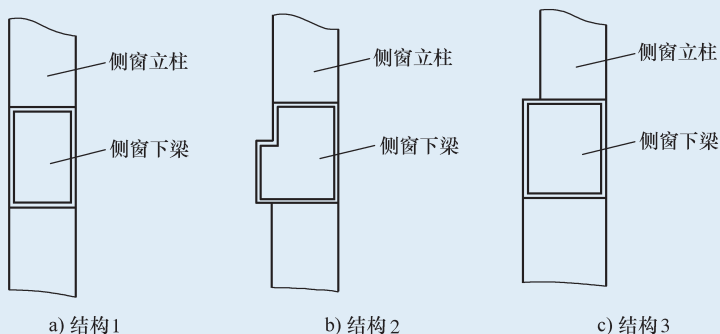


图 2-15 杆件接头部位的细节设计

因此，细节胜过整体的设计原则是：杆件在接头部位应尽可能等断面连接，即在微观上保证力流传递的连续性。

把握整体，推敲细节，是车身结构设计中决定成败的关键。

这几年客车行业最流行“全承载”这个概念，而问题在于现今的全承载概念大都只注重杆件的宏观布局，如有几个封闭环，而很少考虑骨架的细节设计，尤其是杆件在接头部位的细节设计。图 2-16 所示的一款全承载结构的车身骨架，既有封闭环又有斜撑引导，宏观上是看不出问题的。但其在腰梁处的微观结构就值得推敲了：如图 2-17 所示，其腰梁采用一个复杂断面的异型管材，但恰恰是这种不等断面的设计，会使侧围众多的窗立柱对上部结构强度几乎没有贡献，即侧翻时抗变形能力变弱。

所以，在车身骨架的承载杆件中，不主张采用 P 形管、异型钢管这类管材，在非承载的杆件上则可以使用。

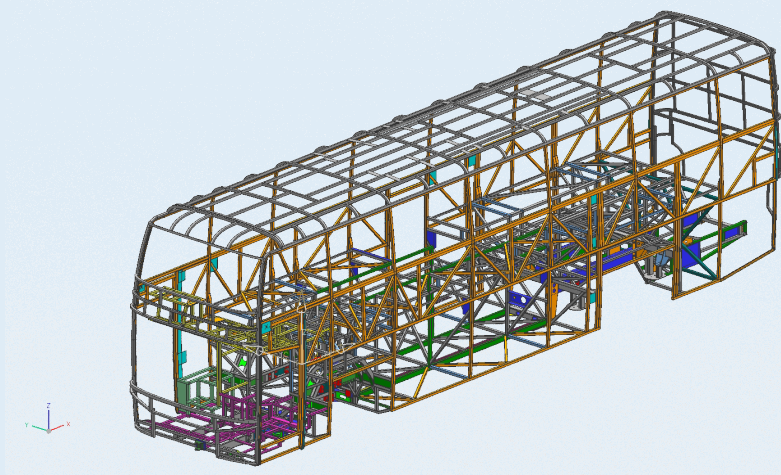


图 2-16 全承载车身骨架

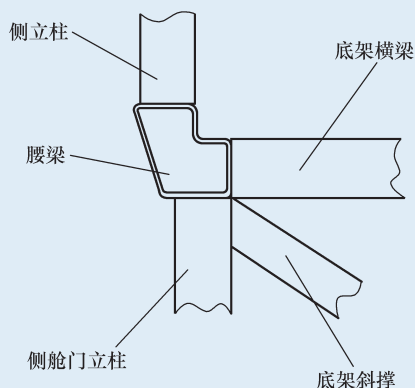
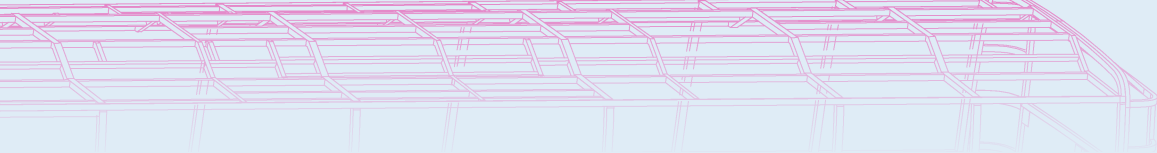


图 2-17 腰梁结构细节

目前的全承载概念并不一定等同于车身结构的安全。关于车身的安全性能，



应体现如下两点：

① 碰撞性能：一是取决于车架的结构，直大梁或三段式的好于全承载式的；二是取决于体量的大小，体量大的一定好于体量小的。如大客车一定胜过小轿车。但碰撞的安全是相对的，既要保护自己，又得保护对方。因此碰撞安全结构的设计是非常难的，难在对于结构刚度的把握。

② 侧翻性能：与车架的结构形式无关，只取决于侧围骨架和顶骨架的结构。

综上所述，“拉压胜过弯扭”、“传力胜过受力”、“刚度胜过强度”、“细节胜过整体”这四条原则是评判车身骨架结构好与坏的标准。

本着这四个结构设计原则，我们能在有限元分析之前来定性地判断骨架设计得是否合理。

更进一步说，“刚度原则”是客车车身骨架设计的总原则，因为“拉压、传力、细节”这三条原则可以作为“刚度原则”的推论：

① “拉压胜过弯扭”实际上是因为杆件的轴向载荷刚性远比径向载荷的刚性好。

② “传力胜过受力”是因为载荷总是沿着刚度大的构件传递。

③ “细节胜过整体”是因为不能由于微观刚度的下降而影响宏观的整体刚度。如果认为车身与车架是刚性连接，那么整车刚度 = 车身刚度 + 车架刚度。

表 2-2 是五种车架的弯曲刚度和扭转刚度，车长都是 12m，有城市客车也有公路客车。

纵向弯曲刚度是指绕 Y 轴弯曲，纵向扭转刚度是指绕 X 轴扭转。

从刚度的绝对值看，表现较好的是公路客车的三段式车架，较差的是城市客车的车架。进一步地从比刚度这个角度看，较好的也是公路客车的三段式车架，较差的也是城市客车的车架。

至于公路客车的全承载车架，貌似刚度值较低，甚至不如二级踏步的城市客车，那是因为在这个计算中我们采用了全承载的裸车架来计算，即没有考虑地板骨架这层结构。如果考虑“车架骨架 + 地板骨架”，那么公路客车的底架这一层的刚度肯定比城市客车的要好，并且全承载式公路客车也可以采用如图 2-62 的结构来提高车架的刚度。

对于公路客车（旅游客车或长途客车）而言，“车架骨架 + 地板骨架”对整车刚度的贡献较大，上部结构可以适当弱化，如顶盖骨架。但由于侧翻时对上部结构的要求，侧围是不能弱化的，此时侧窗立柱采用高强度钢时就不宜减小壁厚，因为侧翻试验考验的是侧围骨架的刚度，不是强度。

城市客车可分三种形式：一级踏步城市客车、二级踏步城市客车和双层城市客车。

一级踏步城市客车又有低地板和低入口两种，此时车架所能贡献的刚度很有限，整车的刚度就要依靠上部车身骨架了，所以说，低地板城市客车的车身骨架是大客车中最难设计的。

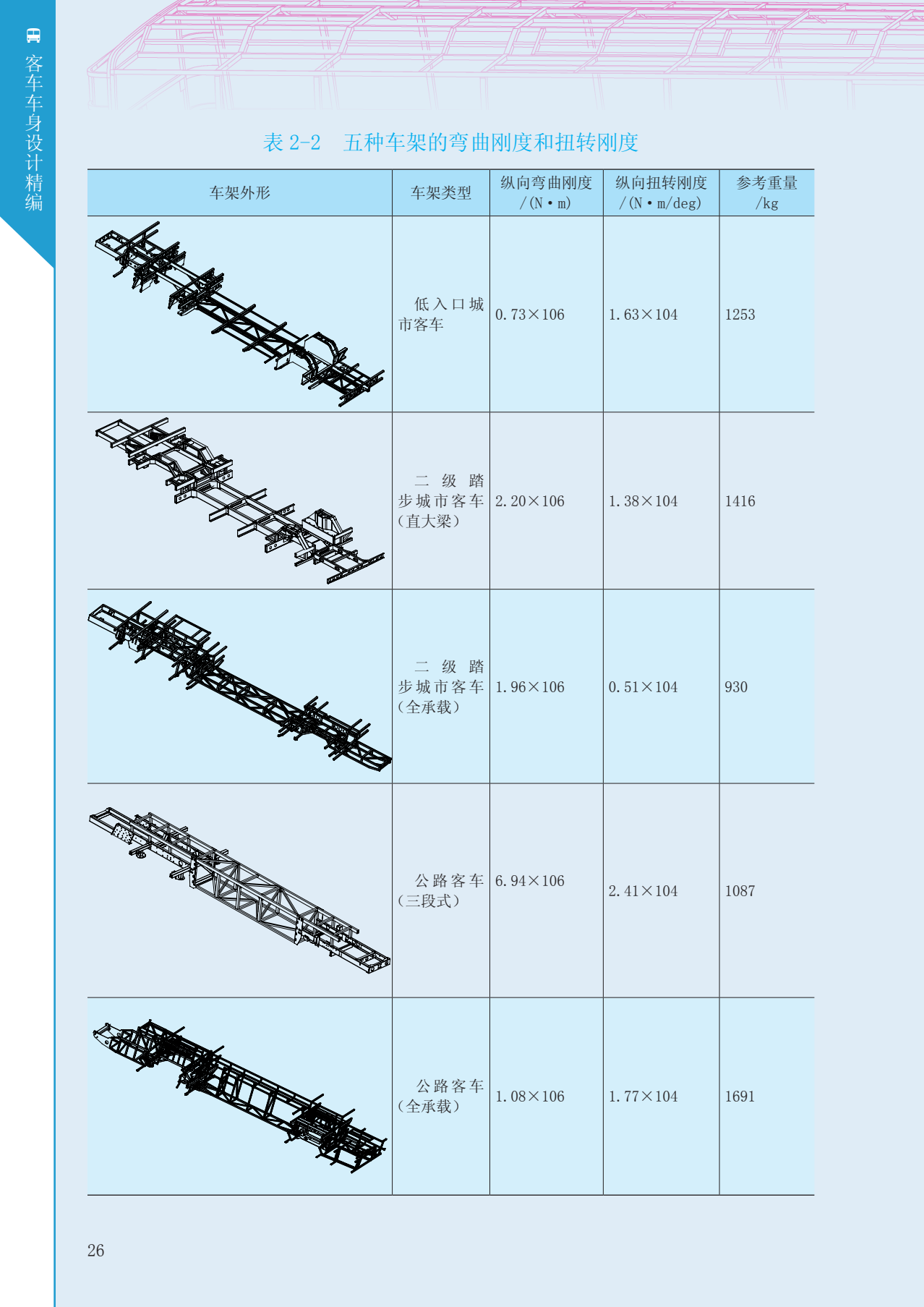
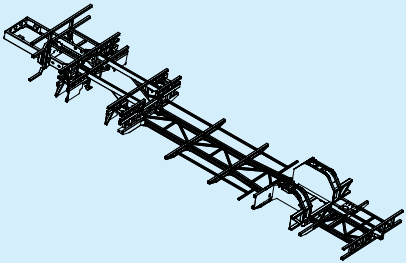
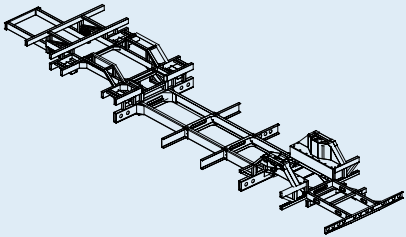
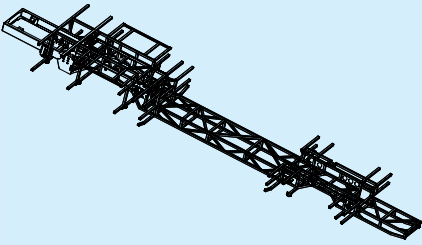
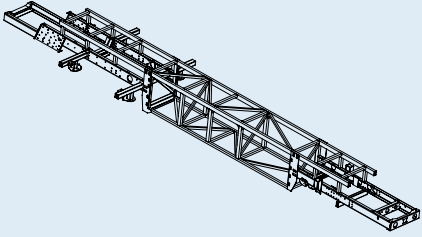
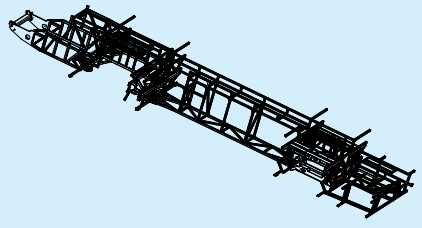


表 2-2 五种车架的弯曲刚度和扭转刚度

车架外形	车架类型	纵向弯曲刚度 / (N·m)	纵向扭转刚度 / (N·m/deg)	参考重量 /kg
	低入口城市客车	0.73×10^6	1.63×10^4	1253
	二级踏步城市客车 (直大梁)	2.20×10^6	1.38×10^4	1416
	二级踏步城市客车 (全承载)	1.96×10^6	0.51×10^4	930
	公路客车 (三段式)	6.94×10^6	2.41×10^4	1087
	公路客车 (全承载)	1.08×10^6	1.77×10^4	1691

二级踏步城市客车的地板虽然有一定的高度，但其车架所能贡献的刚度也是有限的，此时需要上部车身来提供刚度。这种城市客车在车身与车架连接的设计上必须注意一点：牛腿（支承梁）结构的横向刚度。

双层城市客车，不要认为它体型大、载荷重，车身骨架就要相应地加大、加粗。恰恰相反，由于双层城市客车的上层地板结构，使得其车身刚度极大提高。此时车身骨架的管材规格倒可以减小了。所以，优秀的工程师必须能做到因地制宜，具体问题具体分析，抓住问题的关键点。

车身结构设计的关键是刚度匹配，刚度匹配的目的是使整车的应力水平趋于均衡。只有应力水平趋于均衡，才能提高材料利用率，从而达到轻量化目的。

从分析结果看，所谓的全承载形式，即小方钢的桁架结构未必是重量轻的结构。从表 2-2 的结果看，在公路客车中，应首选三段式车架，因为它刚度大、重量轻、工艺简单。结构的好与坏不能以复杂性为评判依据，而应以简单、合理为原则。简单的就是最好的，这是结构设计的最高原则——大道至简！客车车身设计的首要原则是“刚度原则”：

- ① 刚度相同时首选重量轻的；
- ② 刚度不同时首选刚度大的，重量在其次；
- ③ 刚度大而重量又降不下来，说明该结构不能减重。

车身骨架设计的工艺原则是工艺至简。这应表现在结构简化和工艺简化两个方面。

结构简化是指在保证刚度的前提下尽量减少材料用量，如在车身上尽可能大量使用直杆管材，能用一根梁绝不用两根梁，其目的不只是减重，也是为了减少焊接量。大量的焊接不仅增加生产成本，还增加骨架的变形量。

工艺简化是指尽量减少零部件的加工环节，用一道工序能解决的绝不用两道工序。车身虽然有很多弧杆料，但通过结构处理，有一些的弧杆料可用直杆料代替，这明显使得零件的加工工艺变得简单。工艺简单带来的好处是有利于产品质量的保证、有利于提高生产效率、有利于降低制造成本。

2.2 公路客车车身骨架的设计



对于六面体结构的车身骨架，可以按顶盖骨架、地板骨架、前后围骨架、侧围骨架及侧翻结构这四个部分来讨论。

【顶盖骨架】公路客车车身骨架设计的重点是解决上部结构强度，即满足 GB17578—2013 规定的加载侧翻试验。由于侧翻时顶盖的变形量不大，可以认为它是刚性体。

但完全刚性的物体是不存在的，对于重量大、车身高车型，要想能通过侧

翻试验，也需对顶骨架做适当的加强。

如图 2-18 所示，图 a 是顶横梁在侧翻时的受力模型，图 b 是等跨度等规格的直梁的等载荷受力模型，显然，图 a 的刚度肯定不如图 b。所以，在设计侧翻结构时，应考虑顶骨架的刚度，仅在 B 柱和 C 柱加强即可，图 2-19 是一种侧翻结构的顶骨架加强方案。

因此，从刚度的角度来说，顶盖的造型曲线越平直越好、顶盖横梁的材料规格越大越好。

图 2-20 是图 2-1 的 IVECO 大客车顶盖骨架，图 2-21 是图 2-2 的 NEOPLAN 大客车顶盖骨架，图中给出了主要构件的材料规格，可见它们在主要承载路线上的用料都是大规格的，非承载构件的用料都是小规格的，NEOPLAN 的非承载构件甚至采用了开口件。尤其是 IVECO 的顶盖骨架，承载结构非常明晰。而 NEOPLAN 的 C—C 剖面结构，则是利用空调的安装结构来加强侧翻结构。

对于顶盖横梁，是车身承载断面中的主要受力结构，至少应采用 $50\text{mm} \times 40\text{mm} \times 3.0\text{mm}$ 这种规格的型钢，材料的屈服极限至少要达到 345MPa 。

顶盖骨架设计的另一个重点是减重，是统筹规划顶盖外蒙皮和顶盖内饰安装结构来减轻顶盖骨架的重量，要做到集约化、一体化设计：如空调安装、内饰安装、天窗安装、灯具安装等，尽可能使固定点安排在同一个纵梁上，这样才能减少纵梁数量，如图 2-21 所示的 NEOPLAN 顶盖骨架结构。

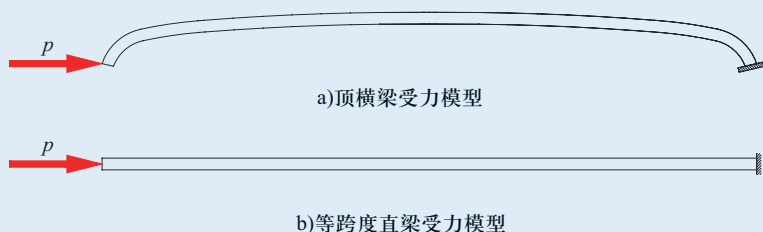


图 2-18 顶横梁在侧翻时的受力模型

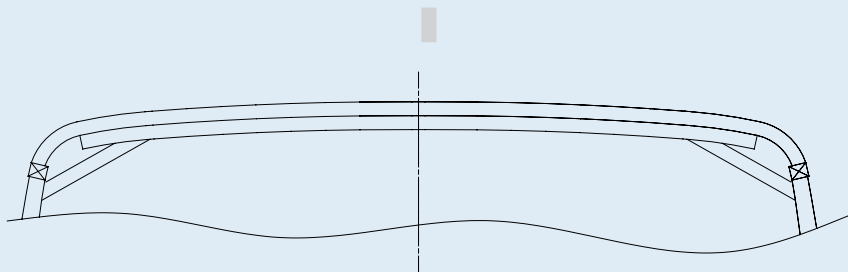


图 2-19 一种侧翻结构的顶骨架加强方案

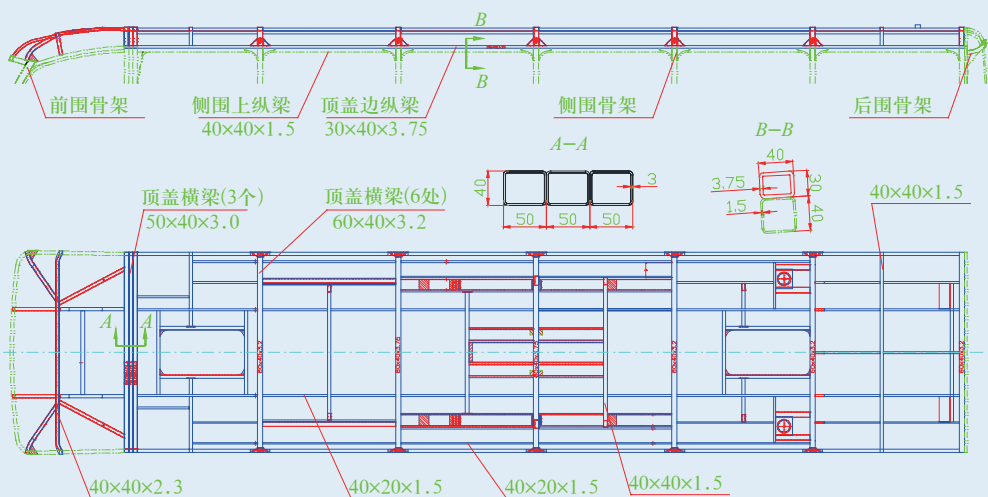


图 2-20 IVECO 客车顶盖骨架

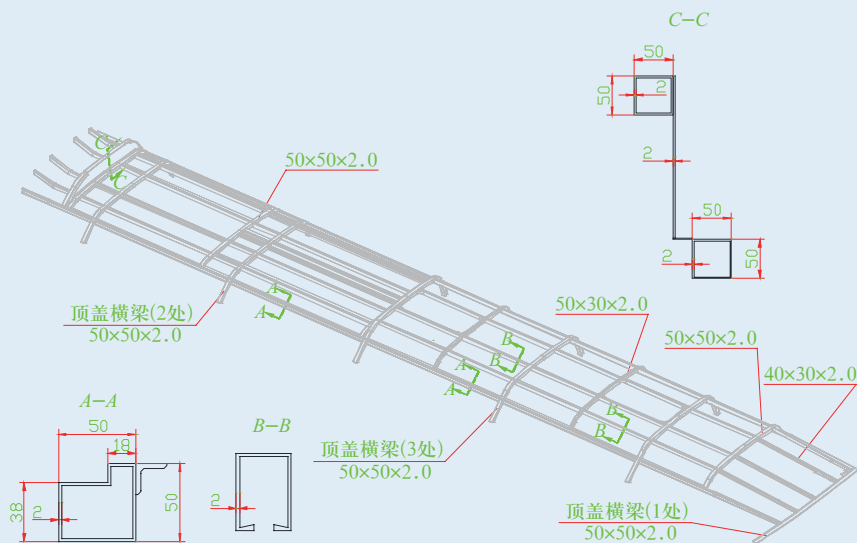


图 2-21 NEoplan 客车顶盖骨架

【地板骨架】地板骨架的设计重点是减重，是统筹考虑使用特点、车身与车架的连接来减轻重量。由于乘客的体重是通过座椅两端的安装点传到车体上的，所以公路客车乘客区的地板骨架不承载乘客重量，要尽可能减少用料，必要时可采用斜撑杆来增加抗扭刚度。

减重设计的原则是：承载的要做大做强，不承载的要小做做弱。

图 2-22 是 NEoplan 的一款全承载平地板结构的中段地板骨架，乘客区采用了 $40\text{mm} \times 20\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的小管材做斜撑，横梁则采用了 $20\text{mm} \times 50\text{mm} \times 20\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的槽型件，座椅固定处则采用了不等壁厚的异型组合型材。

对于通道式的全承载地板骨架，还要通过通道侧板的结构来提高车架的刚度。

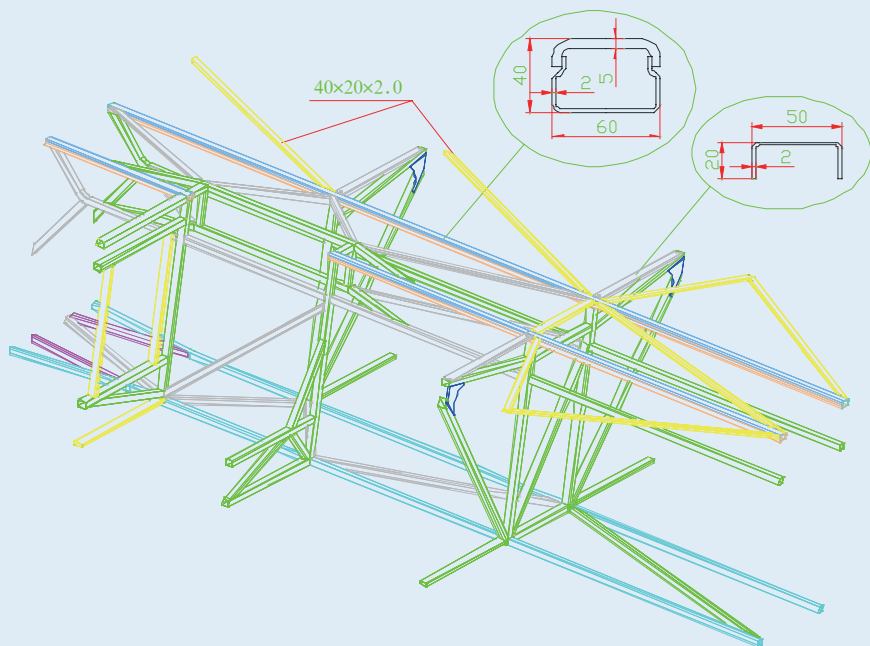


图 2-22 NEOPLAN 中段地板骨架

图 2-23 是 IVECO 的地板骨架简图，其特点是承载的构件规格都比较大，非承载的构件规格都比较小。

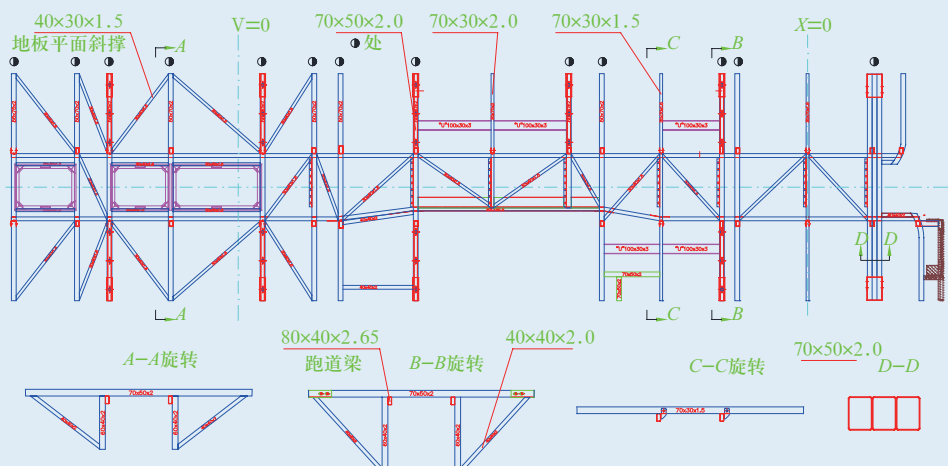


图 2-23 IVECO 地板骨架简图

【前后围骨架】前后围骨架的设计重点是通过简化结构来简化工艺，如尽量用直杆料代替弧杆料。另一点，由于前后围属于复杂的空间结构件，其装配依赖工装夹具，因此在设计上也必须考虑弧杆件的定位、装配、测量的方便性。原则

是能用直料就不用弯料、能用单曲的就不用双曲的。图 2-24 所示为一款简化的前围骨架，件 1 做了简化，件 2 做成整体料，目的是增加整体前围的抗扭刚度。有 CAE 计算表明，在弯扭工况下，前围骨架对角线差值的变化量能达到 10mm，由于现在客车的风窗玻璃采用的都是胶粘结构，所以我们必须考虑骨架变形对玻璃的影响，也就是要提高前围骨架的刚度。

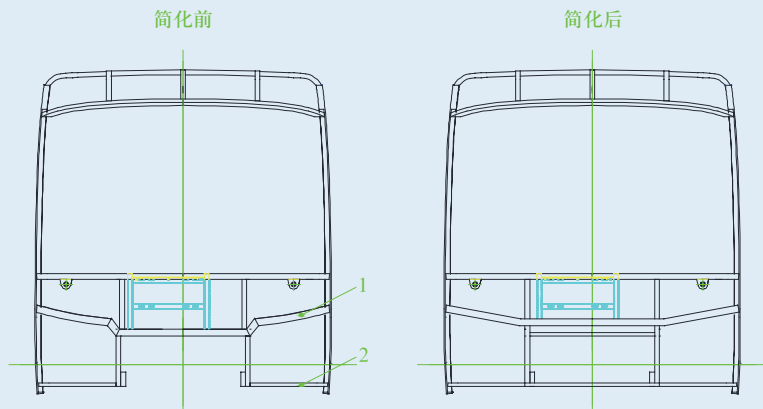


图 2-24 前围骨架的简化

图 2-25 是 IVECO 的前围骨架，由于其 A 柱是单柱结构，所以其风窗四周的弧杆件用料规格都比较大。

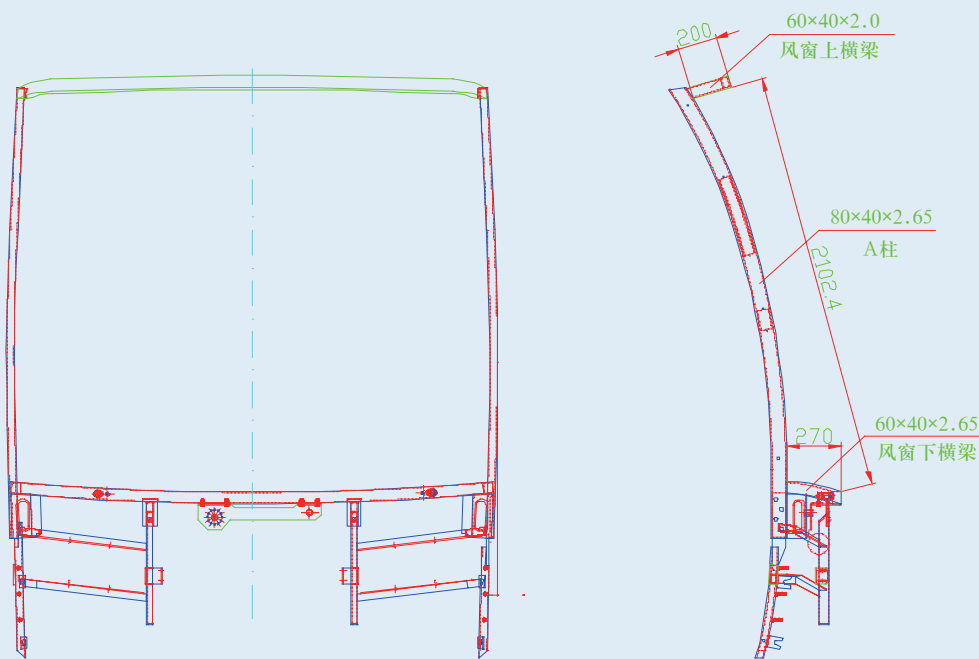


图 2-25 IVECO 前围骨架

对于后围骨架，应尽量缩小风窗洞口尺寸以提高后围骨架在侧翻时的抗变形能力，同时要注意后风窗四周的加强措施，图 2-26 所示的 NEOPLAN 和图 2-27 所示的 IVECO 的加强板处理方式都是典型实例。

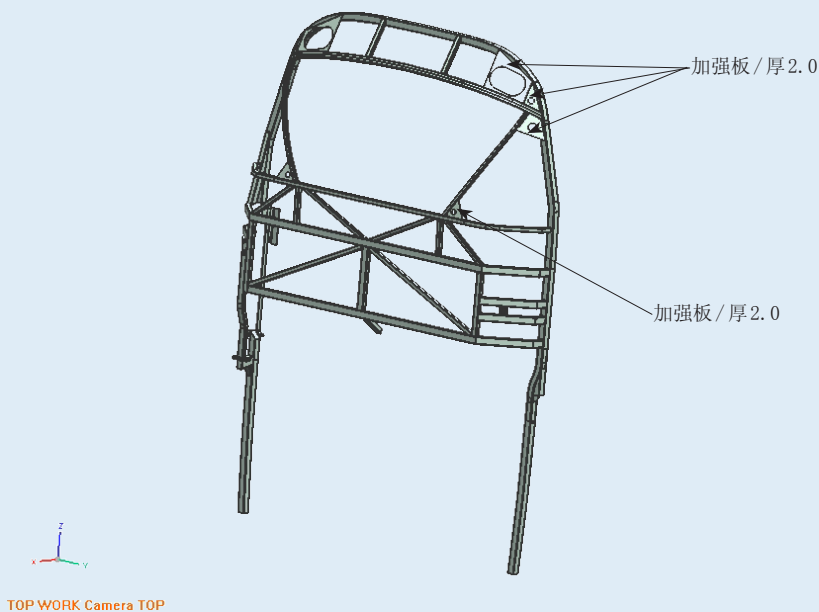


图 2-26 NEOPLAN 后围骨架

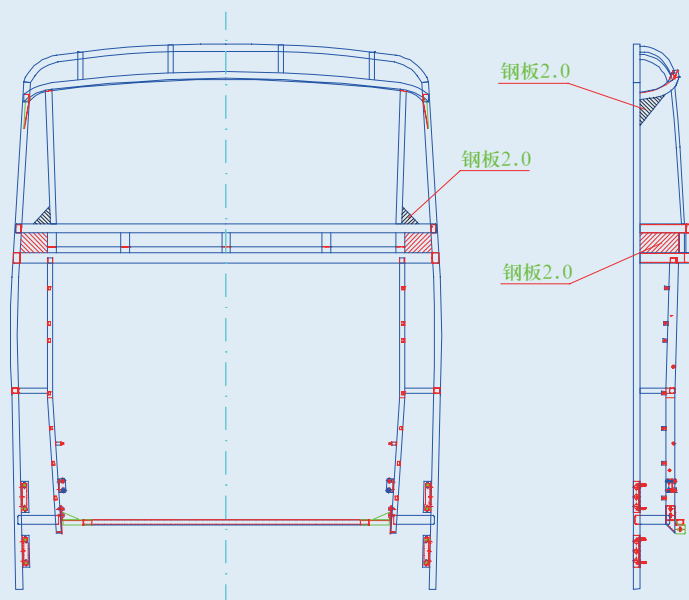
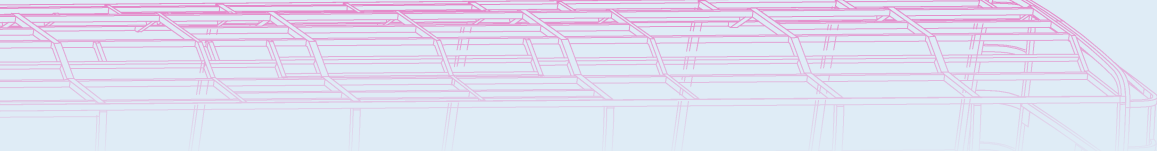


图 2-27 IVECO 后围骨架



【侧围骨架及侧翻结构】公路客车侧围骨架设计的重点是解决上部结构强度，即满足 GB 17578—2013 规定的加载侧翻试验。由于侧翻时顶盖的变形量不大，可以认为它是刚性体，车身主要的变形和吸能都是由侧围骨架完成的。

因此，对于侧围骨架，是车身力学结构设计重点，要遵守如下两个原则：

① 尽可能使所有的侧窗立柱都对上部结构强度贡献力量。

② 重点加强 B 柱和 C 柱处的侧围骨架刚度（A 柱是前围和侧围的对接柱、B 柱是驾驶人窗后立柱、C 柱是侧围和后围的对接柱）。

要使侧窗立柱对上部结构强度的提高有益，必须增加侧窗立柱的刚度。最有效的方法是将侧窗立柱向下直通到腰梁，如图 2-28 所示，贯通方向 AB 的刚度比断开方向 $A'B'$ 的刚度大约要增加 30%。

刚度必须增加在力的作用方向上。

合理地布置中乘客门的位置，使门的前立柱或后立柱对上部结构强度有帮助，如图 2-29b 中的布置要比图 2-29a 的布置好。

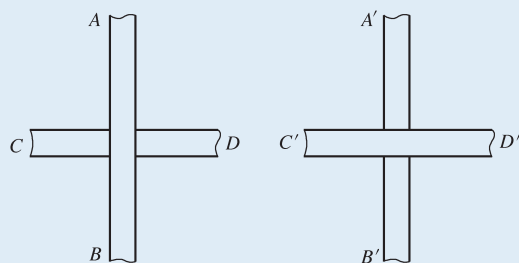


图 2-28 骨架的十字接头

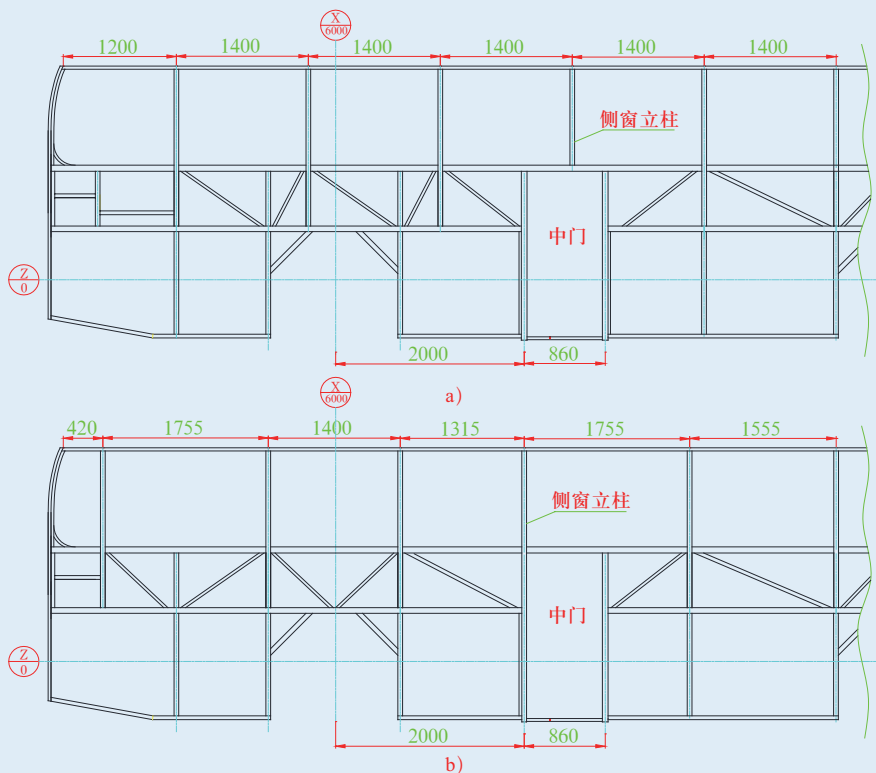


图 2-29 中门位置与侧窗立柱的关系

分析侧翻试验的特点，侧窗立柱可简化为悬臂梁模型，如图 2-30 所示，侧翻后侧窗立柱上端的弹性变形量为 Y ，则

$$Y = \frac{FL^3}{3EI}$$

式中 F ——触地时的外力，取决于整车质量和重心高度。降低车重和重心有利于通过侧翻试验；

L ——侧窗立柱高度，降低该高度有利于通过侧翻试验。

图 2-30 中， E 为材料的弹性模量，越大越好，碳钢可取为 200GPa，铝合金为 70GPa，所以公路客车一般不采用铝合金车身； I 为截面惯性矩，与几何形状有关：料厚为 t 的矩形管材的 $I = \frac{t}{6} [H^3 + (b-2t)(3H^2 - 6Ht + 4t^2)]$

因此，料厚 t 对 Y 的影响是线性反比关系；弯曲方向的高度 H 对 Y 的影响是接近立方反比关系，表现最明显；而宽度 b 的作用甚微。

总结起来，侧围骨架在弹性范围内的刚度与材料的屈服极限无关，因此在采用高强度钢材时，应慎重减小壁厚，否则会使侧围骨架的侧翻抗弯刚度受到损失。如果空间允许，增加弯曲方向上的管材高度会有较好结果。

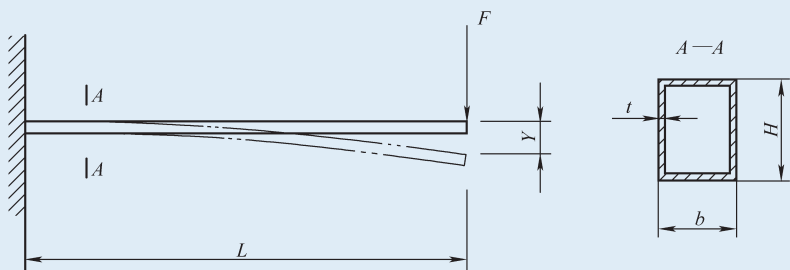


图 2-30 侧窗立柱的悬臂梁力学模型

1. B 柱和 C 柱之间的侧围骨架侧翻结构

图 2-31 给出了三种典型的公路客车的侧围骨架结构，其中图 a 是 NEOPLAN 的，其窗立柱直通腰梁，舱立柱直通窗下梁，二者在侧蒙皮这段区域内上下交错，其整车骨架见图 2-2；图 b 是 IVECO 的，其窗立柱直通腰梁，舱立柱与腰梁对齐，其整车骨架见图 2-1；图 c 是其他车型的，其窗立柱直通腰梁，舱立柱与侧围立柱搭接。

这三种结构最好的是图 a，即 NEOPLAN 的，其窗立柱与舱立柱的上下交错结构很好地提高了侧围骨架的抗变形能力，其次是图 c，再次是图 b。

图 2-32 是 NEOPLAN 侧围骨架的详细结构，其特点是利用侧舱立柱上延来加强上部结构，关键是在腰梁处的侧舱立柱采用了管内套管的结构。在材料的选择上，NEOPLAN 要求侧舱立柱的外管和内管的屈服极限至少为 420MPa。

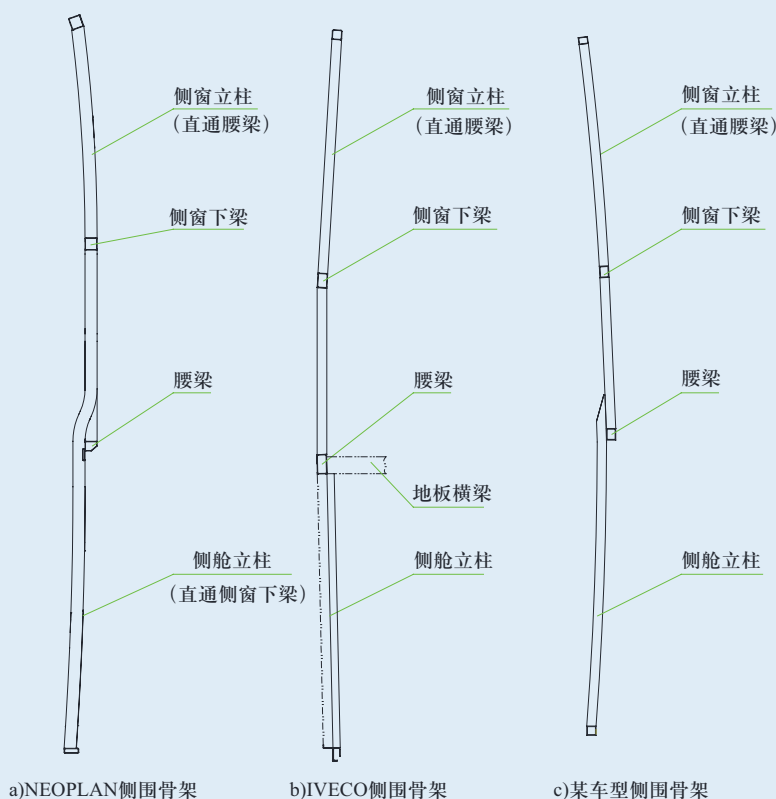
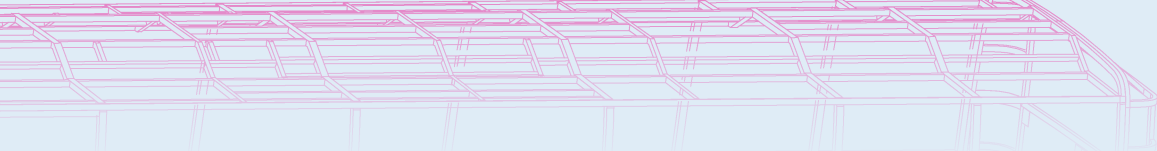


图 2-31 三种典型的侧围骨架结构

侧翻时侧围对生存空间的侵入量由两部分组成：一是弹性变形引起的侵入量，二是塑性变形引起的侵入量。

由于弹性变形不可避免，所以在材料选择上能做的工作只有两个：一是选择弹性模量大的材料，二是选择屈服极限大的材料。大弹性模量是为了减小弹性变形量，高屈服极限是为了使结构达到屈服的时间点后移，即减小塑性变形量对生存空间的侵入。

可见，既要轻量化又要上部结构强度，必须采用高强度结构材料。

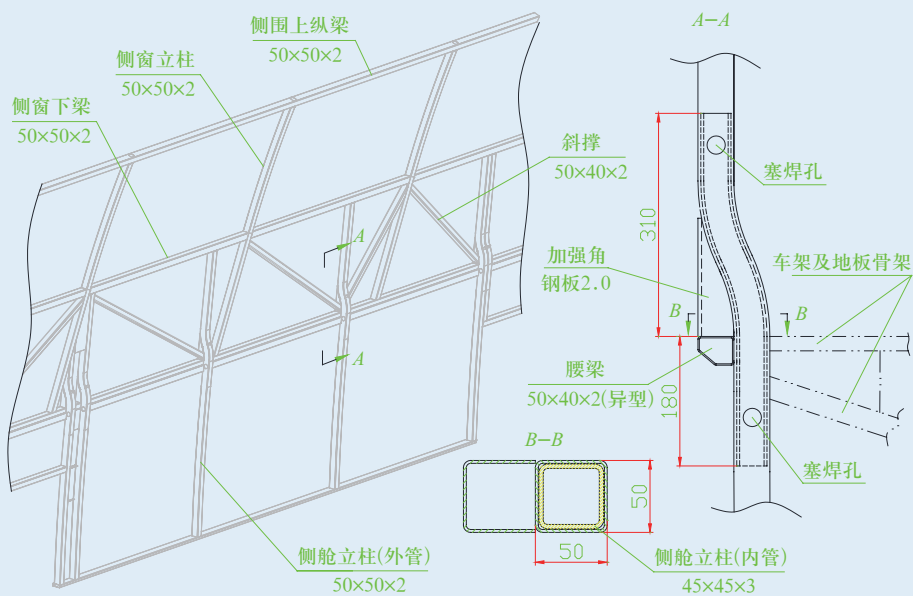


图 2-32 NEOPLAN 侧围骨架的中段侧翻结构

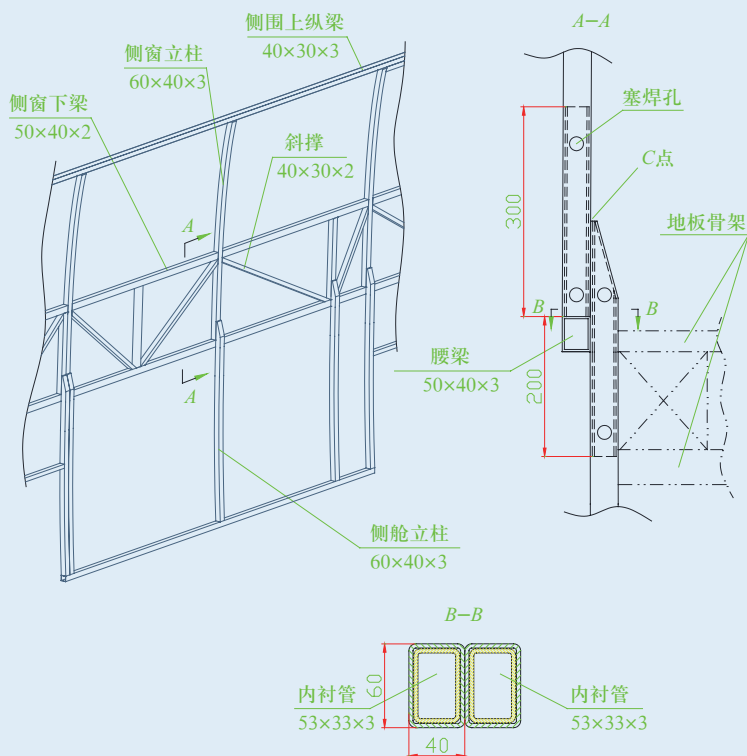


图 2-33 某车型侧围骨架的中段侧翻结构

图 2-33 是图 2-31c 的结构, 与 NEOPLAN 结构的区别在于该方案在侧围腰梁处采用的是侧窗立柱和侧舱立柱搭接, 并且在搭接处两个立柱都采用了内衬管来加强。如果不采用内衬管, 在侧翻试验时侧窗立柱首先在 C 点位置产生塑性变形并弯折。但采用内衬管后, 侧窗立柱的弯折点或者上移、或者开始弯折的时间点后移, 这都有利于生存空间的保证。

图 2-34 是 IVECO 侧围骨架的中段侧翻结构, 有如下两个特点:

- ① 侧窗立柱在上端和中下部都做了内衬加强。
- ② 其中段车身的侧翻结构是侧围、顶盖和地板横梁形成一个封闭框, 如在侧围与顶盖的连接部位、侧围与地板横梁的连接部位都做了加强连接。

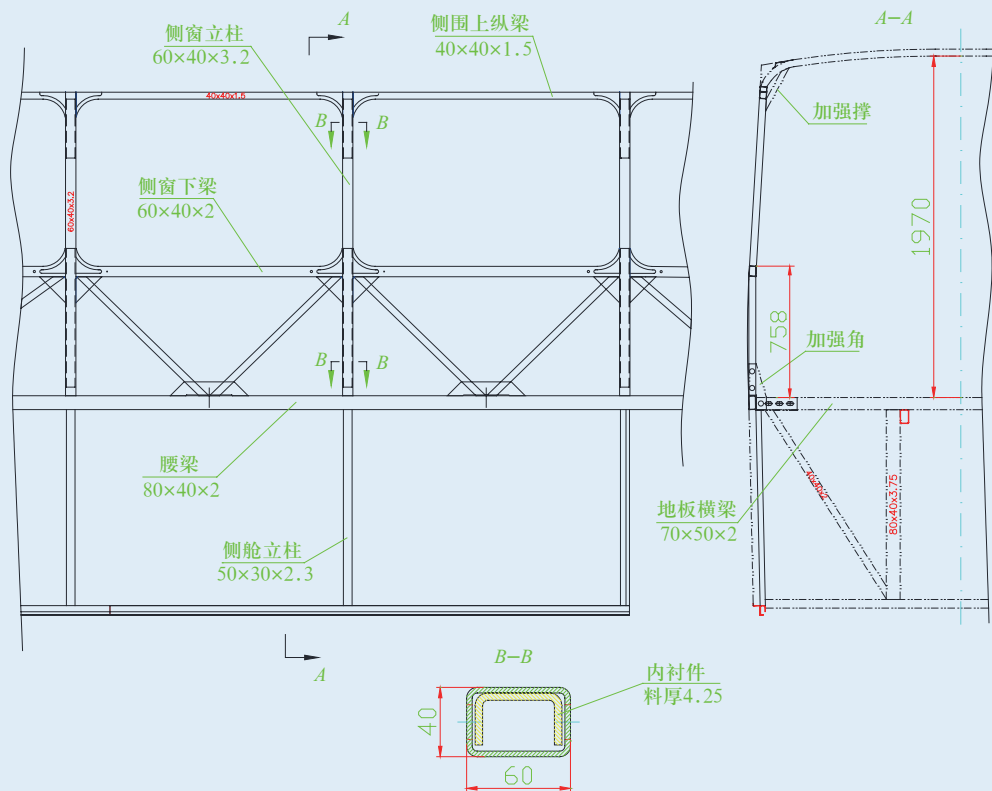


图 2-34 IVECO 侧围骨架的中段侧翻结构

2. B 柱、C 柱的侧翻结构

仅仅就试验台上的侧翻而言, 车身在触地的瞬间不是前端先着地就是后端先着地, 如图 2-35 所示, 不可能车身上的触地点同时着地。由于 A 柱受结构限制而无法做加强处理, 最有利于做结构加强的是 B 柱和 C 柱位置。因此, 如果 B 柱或 C 柱在触地瞬间能撑得住, 那么整车就能经得起侧翻检验。于是我们特别推荐在 B 柱和 C 柱处做如图 2-36 所示的结构加强处理, 最好在 B 柱位置能内并一个

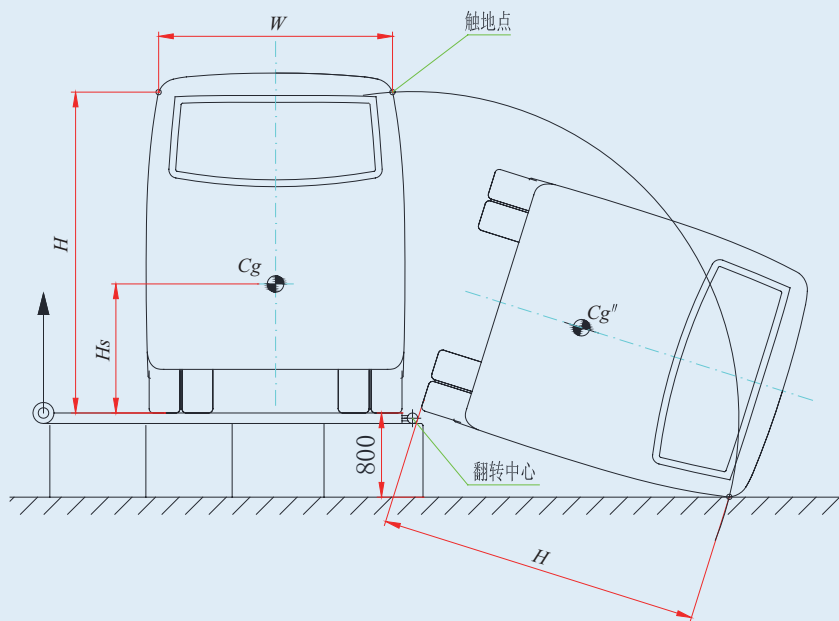


图 2-35 试验台上的侧翻

有的车做得更彻底，只靠 B 柱和 C 柱来解决侧翻问题，图 2-37 所示是 VDL 公司的一款大客车，其侧窗立柱在窗下梁处是断开的，而 B 柱却做得异常强大，图 2-38 则是想象的 VDL 结构图。

从目前的结果看，车长 10m 以下的中巴车型不需要 B 柱和 C 柱做太多的加强，但窗立柱必须向下贯通。车长 10m 以上、车高 3.7m 以下的大巴，B 柱甚至中门必须做如图 2-27 的加强，C 柱必须做内并双梁结构。车高超过 3.8m 的单层大巴，非常有必要借鉴图 2-36 的结构。

图 2-39 是对应图 2-2 的 NEOPLAN 车型的侧翻骨架方案结构：其着重强化了 B 柱和 C 柱，在 B 柱设计成 U 形框架结构，在 C 柱则与后围骨架形成一个整体的框架结构。

车高越低对侧翻越有利，所以，从欧洲客车的趋势看，车高是向低发展的。

图 2-40 是对应图 2-1 的 IVECO 车型的 B 柱侧翻结构，其方案与中段结构相似，即侧围骨架、顶盖骨架和地板横梁形成一个整体框架，只不过是结构更强：采用三道整体框架并接。

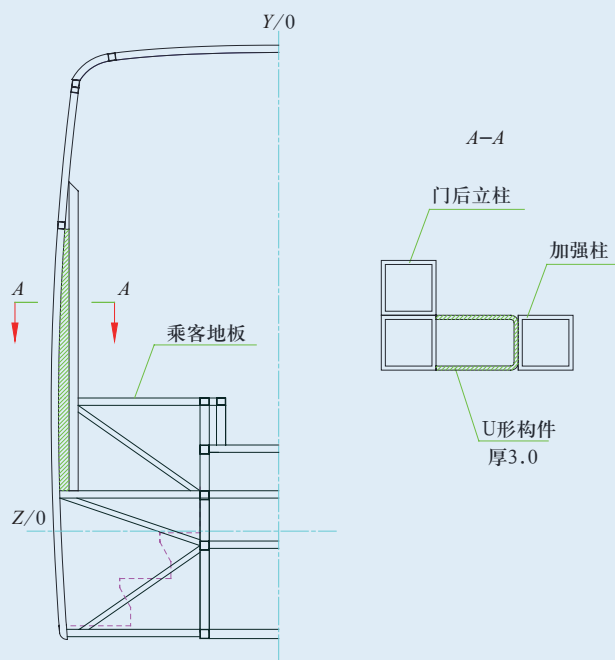
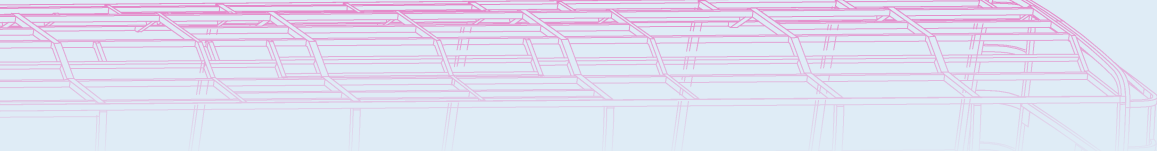


图 2-36 B 柱的加强方案



图 2-37 B 柱的加强方案实例

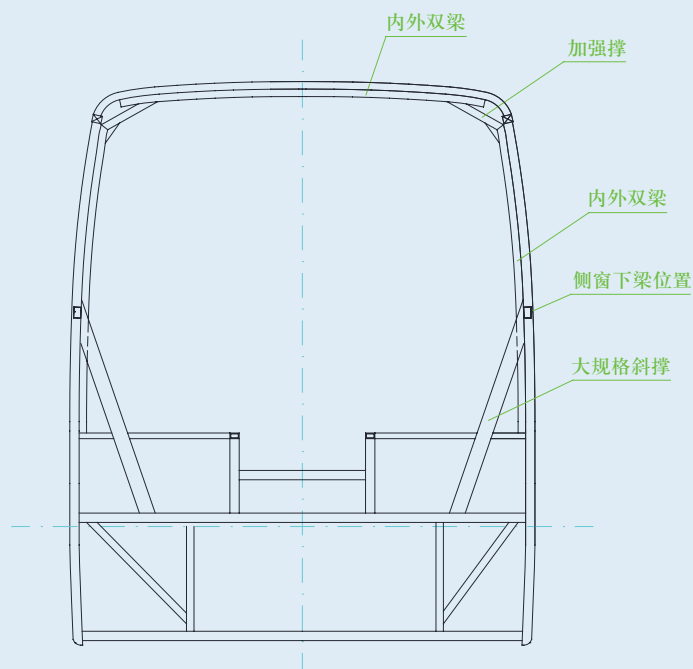


图 2-38 VDL 客车的 B 柱侧翻结构方案

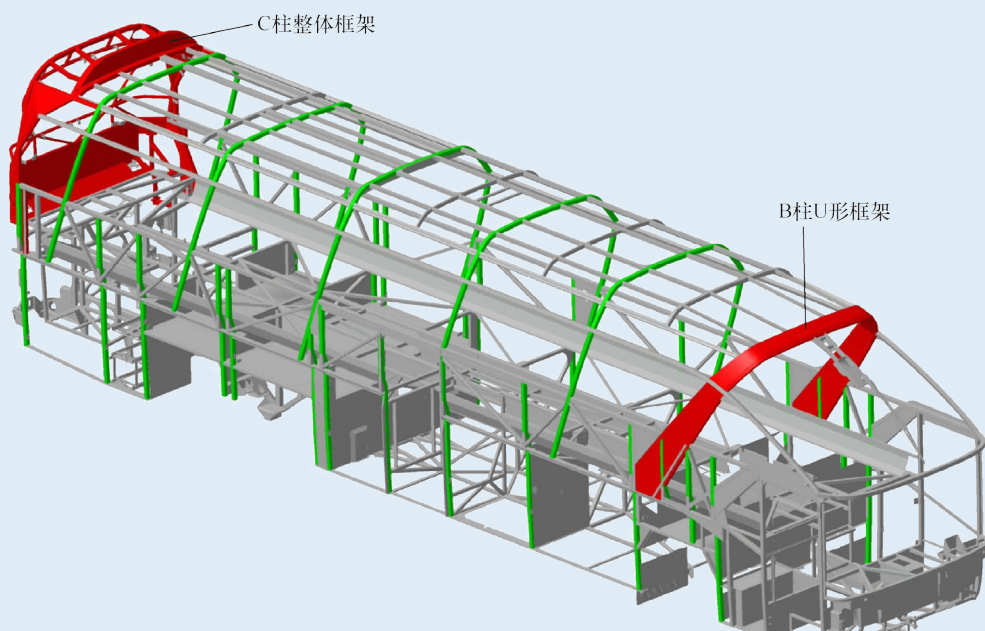


图 2-39 NEOPLAN 的 B 柱和 C 柱侧翻结构方案

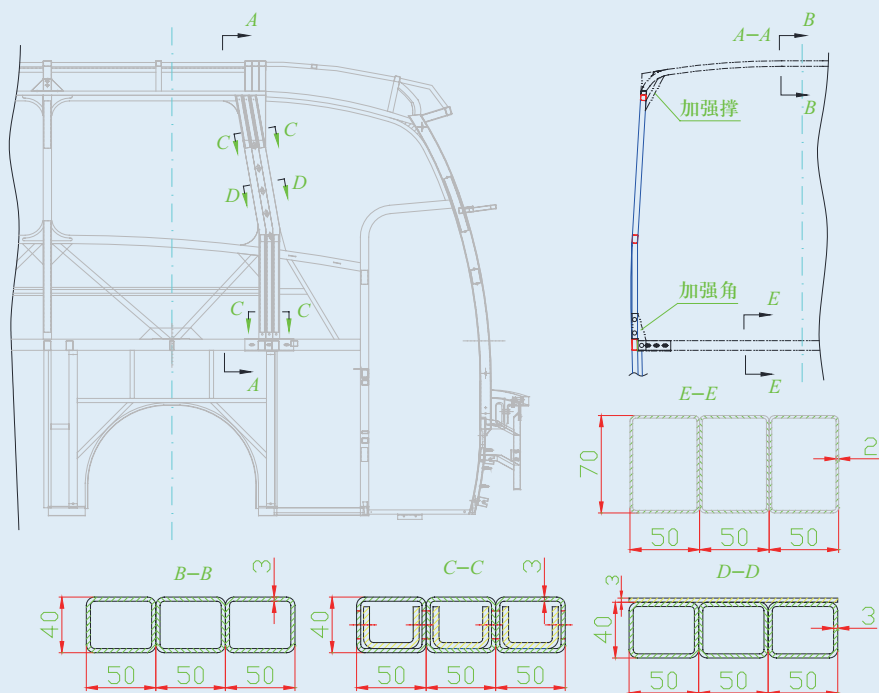


图 2-40 IVECO 的 B 柱侧翻结构方案

2.3 城市客车车身骨架的设计



大客车车身骨架的设计必须是基于刚度原则的，因此城市客车骨架的设计可分两种情况讨论：单层公交和双层公交。

单层公交车又有一级踏步和二级踏步两种形式，不管哪种形式，其“车架 + 地板层”的刚度与同车长的公路客车相比要小得多，再加上公交车型必须是开双门且门口的开度也比公路客车大，所以单层公交车骨架设计的重点是如何依靠车身骨架来提高整车刚度。

最常见、最有效的设计方法是通过侧围骨架上部结构来提高整车的抗弯刚度和抗扭刚度。图 2-41 所示的 IVECO 低入口公交车身骨架，侧围骨架上部采用大规格双梁并接，与顶盖骨架的边纵梁形成高度 345 mm 的桁架区域来提高车身的刚度，并且在顶盖边梁与侧围纵梁之间增加了内外双层加强板，该加强板带有翻边冲孔结构，既减轻重量又增加板的刚度，同时门柱也采用了大规格的双梁并接结构。这些措施都是为了增加车身的抗弯刚度和抗扭刚度。

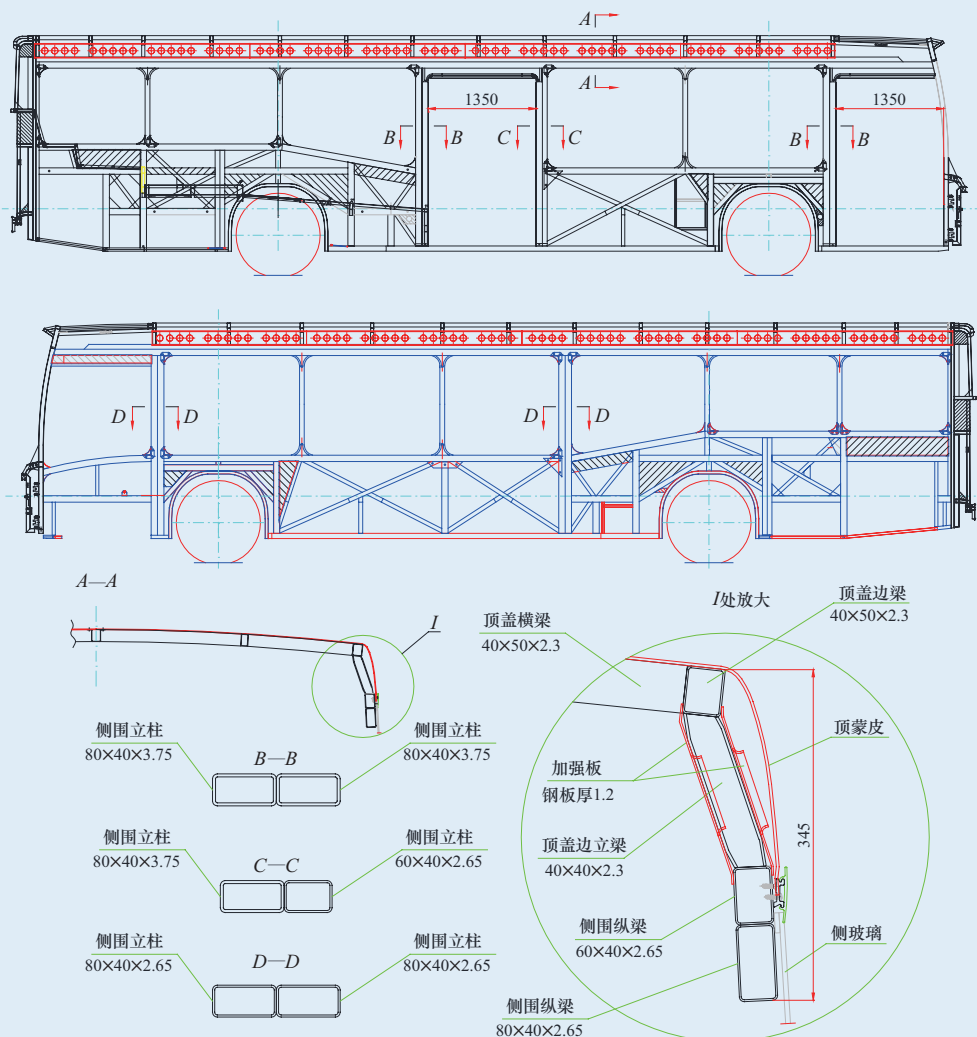


图 2-41 IVECO 低入口公交车身骨架

图 2-42 所示的另一款低入口公交的车身骨架，也是利用乘客门以上的这段高度来做成从前至后的桁架结构，如图中的上部斜撑。这样，抗弯性能的提高就取决于该桁架段的高度了，抗扭性能的提高则得益于门、窗的洞口尺寸的减小。

图 2-42 中的 I 处放大了显示了原车设计的侧围骨架上部和顶盖连接部位的结构，图中的尺寸“360mm”是侧围上部能提供抗弯刚度的高度，PQ 线是顶盖与侧围的分界线。

“I 处放大的结构改进”视图是对原结构做了改进：将顶盖的圆角变小，侧围骨架向上加高，侧与顶的转角处改用前后贯通的异型管材，侧窗立柱直通该型材，

即侧围与顶盖不采用双梁并接方案。侧与顶是以 PQ 为分界还是以 PR 为分界取决于顶盖蒙皮的装配工位。改进后能提供抗弯刚度的高度尺寸为“440mm”，比改进前大了“80mm”，图 2-43 是这种改进前后的顶盖骨架形状对比。图 2-44 是 NEOPLAN 和 MAN 公交客车的侧围骨架上部结构，图 2-45 是 MAN 公交侧围骨架实物，其上部结构与顶盖结合在一起。

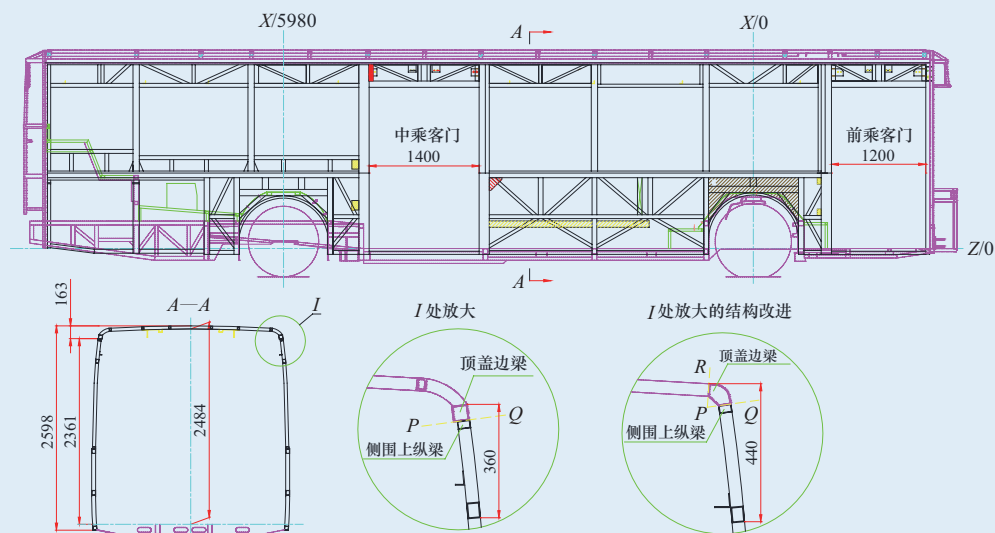


图 2-42 一款低入口公交的车身骨架

公交侧围结构的这种特点，使城市客车外观效果显得更“方正”了，这就是公交车型的造型越来越像“方盒子”的原因。图 2-46 和图 2-47 分别是 MAN 和 BENZ 公交车的图片，都是方基调造型。

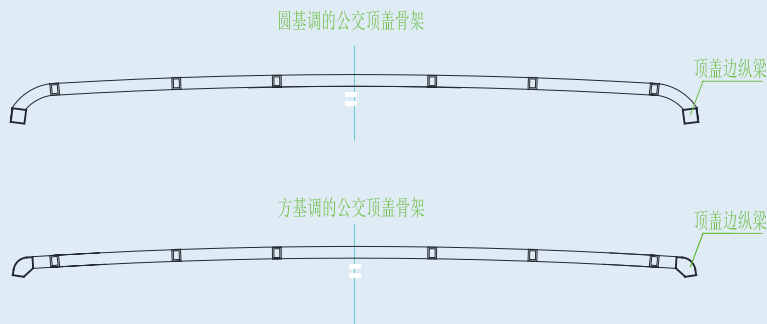
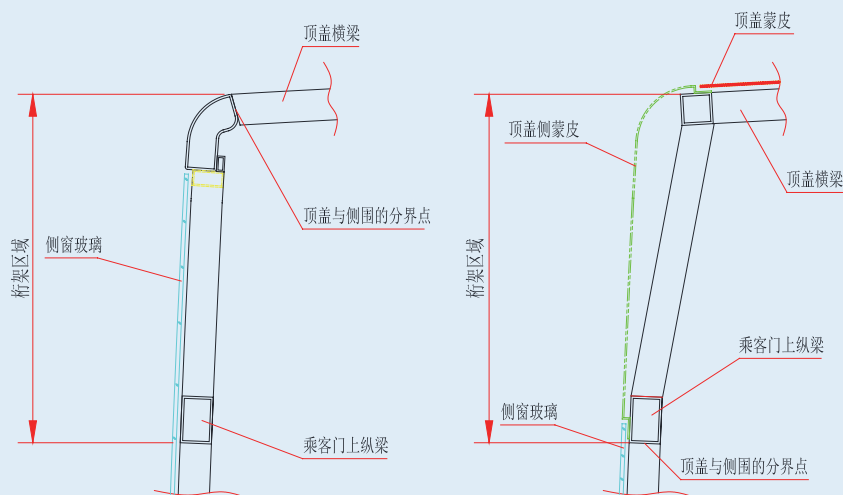


图 2-43 公交车型顶盖骨架的两种风格



a) ENOPLAN 公交侧围骨架上部结构

b) MAN 公交侧围骨架上部结构

图 2-44 NEOPLAN 和 MAN 公交侧围骨架的上部结构



图 2-45 MAN 公交侧围骨架的上部结构



图 2-46 MAN 公交的外观照片



图 2-47 BENZ 公交的外观照片

从材料力学的观点来看：

① 当车身的高、宽尺寸确定后，造型越方，抗弯、抗扭刚度越好，即材料越向外围分布，越有利于抗弯扭。

② 车身上的开孔越小，抗弯、抗扭刚度越好，越有利于抗弯扭。

因此，公路客车可以适当牺牲一点刚度来换取圆基调造型，而城市客车则最好采用方基调造型，并且将侧围骨架和顶盖骨架对接于一个主梁上。图 2-48 所示即为典型的公交客车骨架结构。

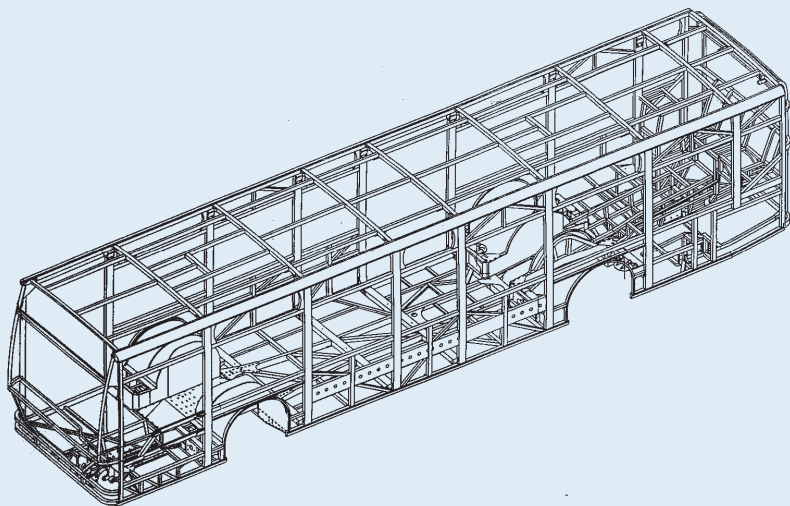
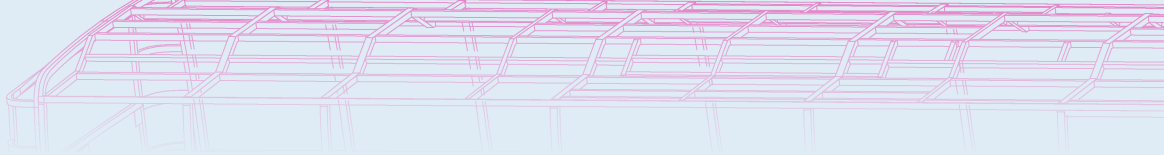


图 2-48 典型的公交客车骨架结构

如果车身断面的高度尺寸相同，那么采用如图 2-43 中方基调顶骨架的车身的纵向抗弯刚度肯定比图中圆基调顶骨架的车身的要大。

从结构力学来看，公交车的方型骨架还有如下优点：

① 简化了力流传递路线，简化了骨架结构。



② 优化了顶盖骨架的受力状态，避免了圆造型在顶横梁两端处产生的不必要弯扭。

③ 简化了顶蒙皮结构。

为了进一步提高顶盖骨架的抗扭刚度，在空间允许的情况下，可在两个顶横梁之间增加斜撑结构。

相反，双层公交客车由于上层地板的存在，使得其车身的弯曲刚度和扭转刚度在客车中是最大的，这就允许双层公交的车身骨架可以大胆简化。图2-49和2-50是一款双层公交车身骨架减重前后的对比，主要减在侧围骨架，如中门前后立柱可采用小规格管材。

对于双层公路客车骨架的设计，其理念与双层公交客车是一样的。

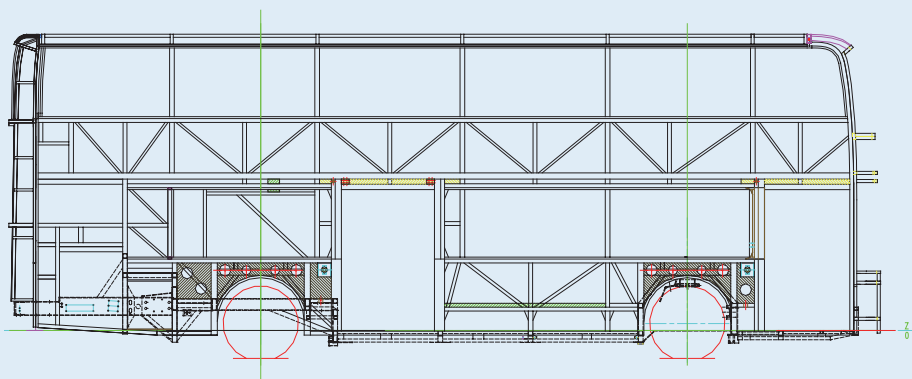


图 2-49 典型的双层公交骨架

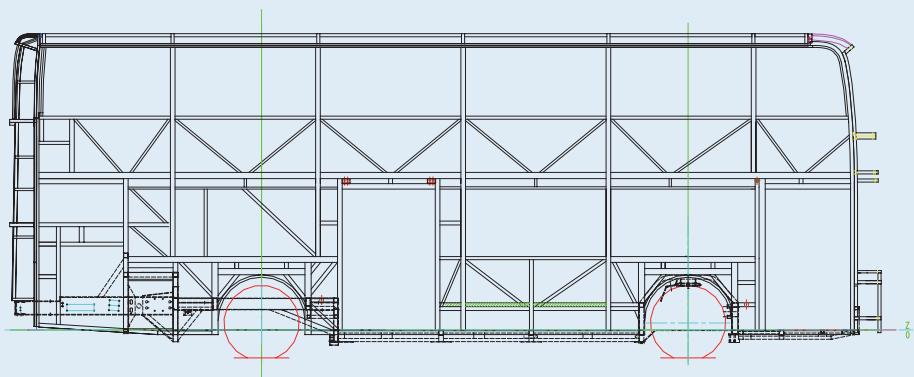


图 2-50 减重后的双层公交骨架

2.4 车架及其与车身的连接



本书虽然写的是车身内容，但如果涉及骨架的力学结构，无论如何也绕不开

车架。因为车架是整个车体的直接承载结构，其自身的结构设计、与车身的连接结构都影响到整车的承载能力。

车身所承受的载荷，最后都传递到车架，由车架传递到悬架，由悬架传递到轮胎，再由轮胎传递到路面。同时根据力的作用与反作用原理，来自路面的力，则是通过轮胎→悬架→车架→车身来传递。因此，车架的设计原则必须考虑两个问题：

① 车架自身的承载结构，关键看其能否满足悬架载荷的作用与传递。不同的车架结构其构件不同，因此承载特性也不同，应对载荷传递特点进行分析、选择合适的刚度原则、判断主要传力构件之间的连接细节能否满足传力要求等。

② 车架与车身的连接，关键看其能否将车架所受的载荷顺利地传递到车身。现今的客车都是承载式车身，除考虑车架的刚度和强度外，还必须考虑车架与车身的连接结构对于载荷的分配和载荷的传递的影响。车架和车身的刚度是不可能相等的，车身骨架设计的关键是如何确定车架与车身的连接刚度以达到最优载荷分配，最优载荷分布的表现是车架和车身的应力分布趋于一致。

目前我们常见的车架有三种结构形式：直大梁车架、三段式车架、全承载车架。

直大梁车架的结构是整个车架由大断面的槽形梁构成，目前主要用于二级踏步的城市客车和前置发动机的公路客车，图 2-51 就是一款二级踏步城市客车的直大梁车架。

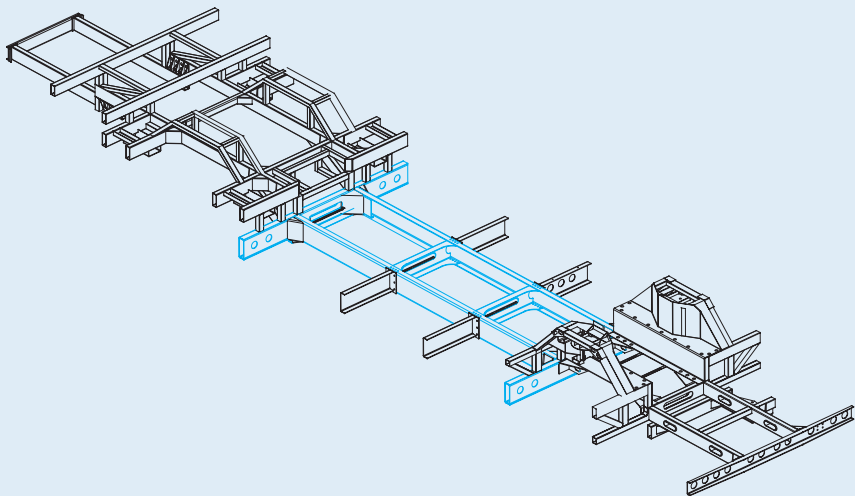


图 2-51 直大梁结构车架

三段式车架如图 2-52 所示，其结构特点是中间行李舱段由矩形方钢构成，其余部分仍由大断面的槽形梁构成。三段式车架是目前公路客车的主流形式。

全承载车架如图 2-53 所示，其结构特点是整个车架都是由小断面的矩形方钢构成，它是目前高等级公路客车的主流形式。另一种形式的全承载车架是低地板城市客车的车架。

同车身骨架一样，要做好车架的设计必须了解它的结构特点和工艺特点。

车架的构件通常有大断面槽形梁、大断面矩形梁和小断面矩形梁三种形式，它们都宜承载轴向的拉力或压力，但径向受力特性各有特点，小断面管材的特性在前面讲车身骨架时已作了介绍，现将大断面槽形梁和大断面矩形梁的径向受力特性汇总于表 2-3。

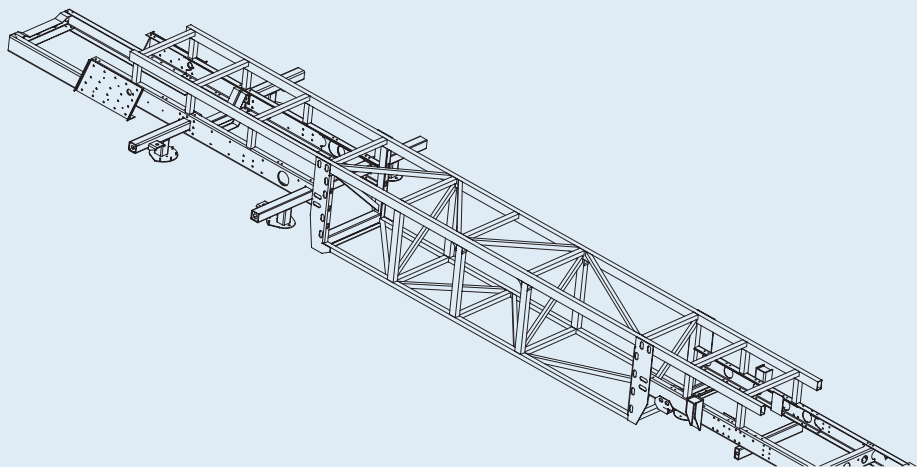


图 2-52 三段式结构车架

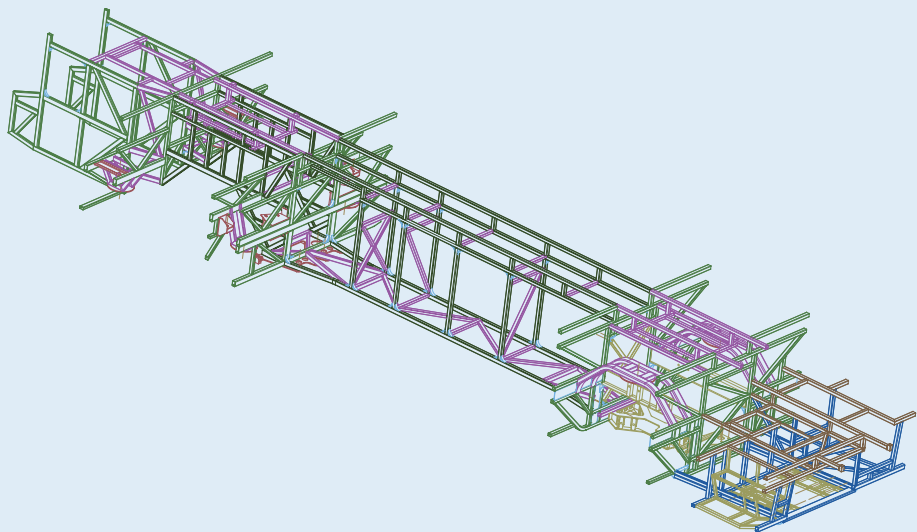
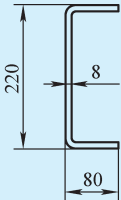
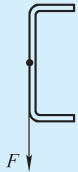
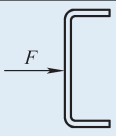
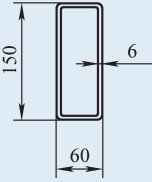
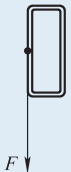
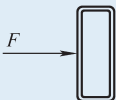


图 2-53 全承载结构车架

表 2-3 大断面槽形梁和大断面矩形梁的径向受力特性

梁形式	受力形式	评价	结论
大断面槽形梁 		好	大断面槽形梁的腹面受力性能好，翼面受力性能差。如果将槽形梁作为支承基础，应将载荷传递至腹面，不能传递至翼面
		一般	
		差	
大断面矩形梁 		好	大断面矩形梁的两面受力性能均可，但支承点之间的跨距不能太大，否则会使矩形梁承受大弯矩载荷。最好也不要使腹面的中间承受载荷
		一般	
		一般	

【车架自身的承载结构】车架结构的设计必须考虑悬架的载荷作用特点，不同的悬架，其在车架上受力点处的力的作用、传递的方式是不一样的。

汽车的悬架系统，按力的分解来看都要承载垂直力、纵向力和横向力，这三个方向的力都是要通过悬架的结构构件传递到车架上，再由车架向车身传递。

评判车架承载结构的好与坏，无非是看车架的结构是否有利于承载这三个方向的力，即对于大断面槽形梁、大断面矩形梁、小断面矩形梁（全承载）这三种形式的车架，看力的作用是否符合其结构的轴向或径向受力特性。

（1）直大梁车架 我们把单纯直大梁车架、三段式车架、嵌入槽形梁的小方钢车架归在一类里面来讨论，因为这些车架的共同特点是在悬架段都有槽形梁，

不同的是槽形梁所受的载荷如何向三段式桁架和小方钢桁架传递的问题。

① 钢板悬架：簧片通过吊耳与车架连接，在吊耳处车架受到三个方向的集中载荷——纵向的驱动力或制动力、垂直方向的路面反作用力、横向的侧倾力。纵向力可由车架自己承载；垂直力可由车架自己承载，也可由车架与车身共同组成的桁架结构来承载；横向力不是槽形梁的承载优势，所以直大梁车架在板簧吊耳处必须设置横梁，如图 2-54 所示。

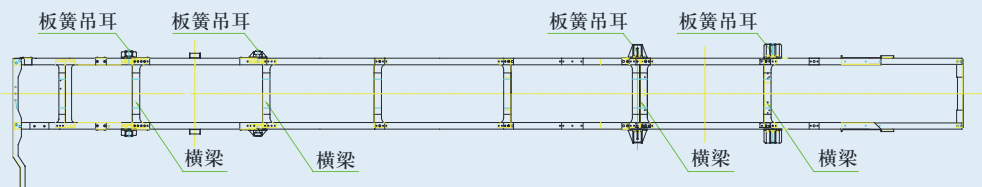


图 2-54 板簧直大梁车架

② 空气悬架：常见有独立悬架（如前独立空气悬架）、刚性桥空气悬架等。不同的悬架有不同的载荷分解形式，图 2-55 所示是六气簧后悬架的受力分析图。由于其自身的结构特点，空气弹簧只能承载垂直载荷，即车身在垂直方向的载荷

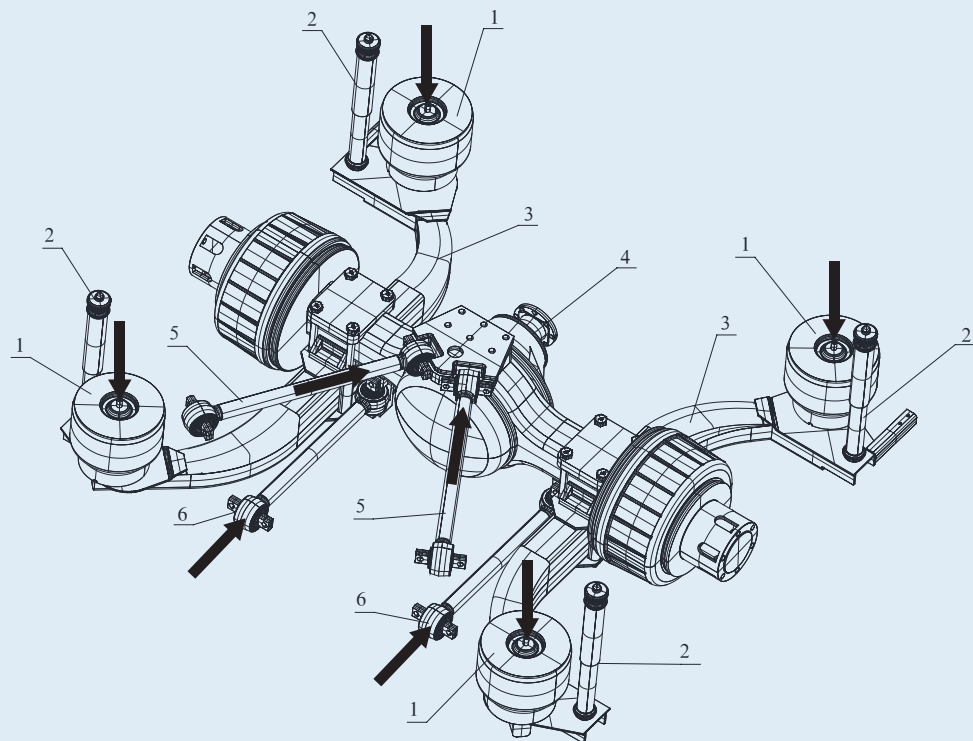


图 2-55 六气簧后悬架的受力分析

1—空气弹簧 2—减振器 3—外摆梁 4—后桥 5—横向推力杆 6—纵向推力杆

由气囊承载;纵向推力杆承载纵向力,如驱动力或制动力;横向推力杆承载横向力,如侧倾力,由于其在纵向也有分力,故也能承载一定的纵向力。

图 2-56 中给出了两种六气簧的横向推力杆在布置上的差异,图 a 中横向推力杆的力全部由车架的横向贯通梁承载(轴向力+径向力,径向力使贯通梁产生弯曲);图 b 中横向推力杆支座布置在横向贯通梁和纵向槽形大梁交点上,横向推力杆的力在纵向由槽形梁前后传递、在横向由贯通梁轴向传递,这种力的分流符合受力构件的承载特点,是合理的。图 b 中的贯通梁规格是 $150\text{mm}\times 100\text{mm}\times 5\text{mm}$,图 a 中的贯通梁规格是 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 6\text{mm}$ 。贯通梁除了承载横向推力杆的力外,还承载气囊的径向载荷,这也使其产生弯曲载荷,梁的断面虽大,但也要尽量减小弯曲载荷。从这点看,图 b 的结构比图 a 合理。图 a 中的贯通梁抗弯性能还与与车身连接时的结构有关。再看看图 2-51 的前桥处车架结构,这是一款六气簧、刚性前桥、二级踏步的公交车架,车架在前桥处的受力分析见图 2-57。图中仅表达了一侧力流,略去纵向力和横向力。垂直力的作用与传递没有问题(垂直

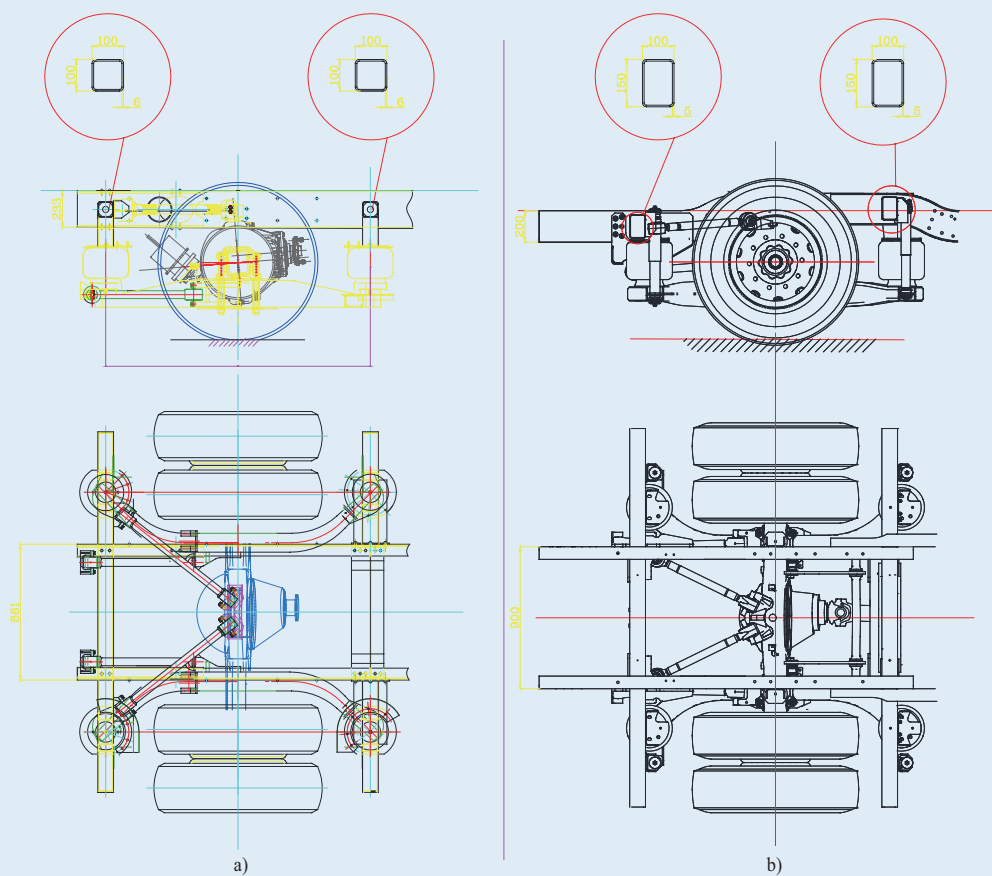


图 2-56 两种六气簧的横向推力杆

力向车身传递是由前后断面上的左右贯通梁来完成的,此二梁必须有足够的刚度)、纵向力直接传递到车架槽形梁,也没问题,横向力由桥上方的钣金盒体结构承载,务必考察其作用点的强度和传递刚度。这种横向布置的推力杆的作用点的力学结构是车架设计上的难点。

图 2-58 是一款梁下二气簧悬架的横向推力杆布置方式,其结果是使车架纵梁要承载很大的径向载荷,由表 2-3 知道,即使是大断面的槽形梁,这种径向载荷的承载特性也是一般的,所以这种结构可以判定为不好。实际使用中也发生过车架断裂的现象,要采

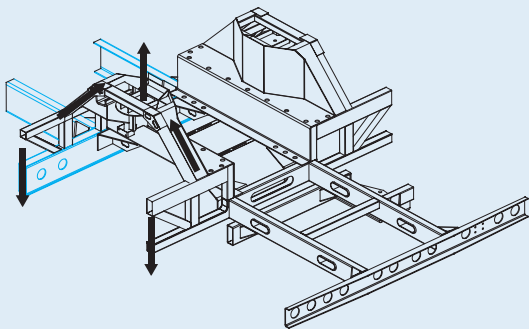


图 2-57 车架受力分析举例

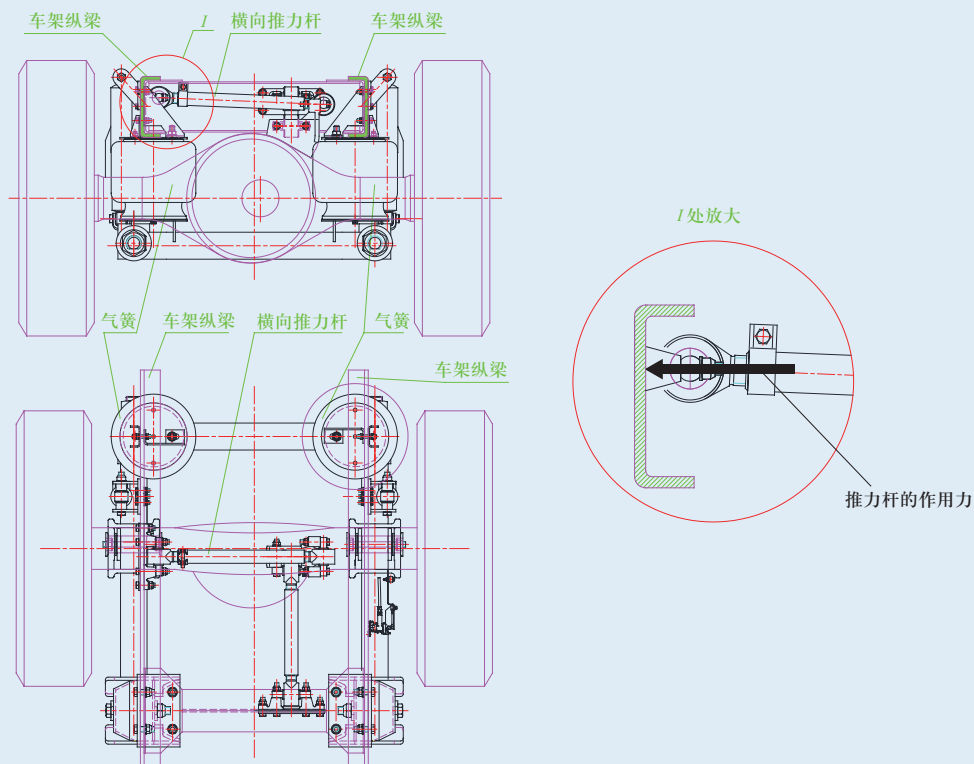


图 2-58 横向推力杆的车架受力分析举例

用这种结构，一定要使车架设计得异常强大。而像图 2-59 的气簧前悬架的横向推力杆，其车架的横向承载能力也需认真推敲，尤其在全承载的小方钢结构车架采用这种悬架时，应特别注意。

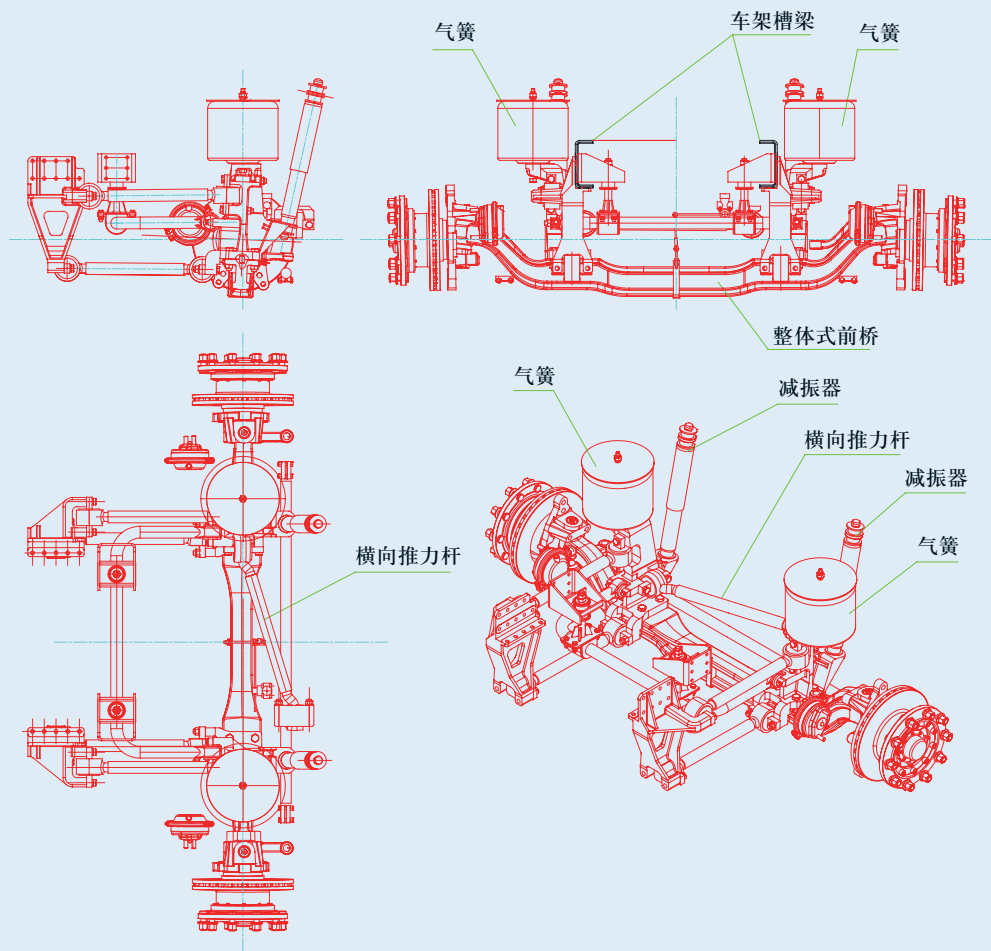


图 2-59 一种气簧前悬架

如果空间允许，前桥的横向推力杆可采用 V 形结构，如图 2-60 所示，其优点是侧倾产生的横向推力由车架的 F1 断面来承载。

图 2-61 是前独立悬架的受力分析，上下摆臂承载的垂直力都非常小，更多的是纵向力（制动力）和横向力（侧倾力），而且就横向力来说，上摆臂永远受压，下摆臂永远受拉。由此，前独立悬架车架设计的关键是上下摆臂与车架连接处的结构能否满足力的承载与传递要求。

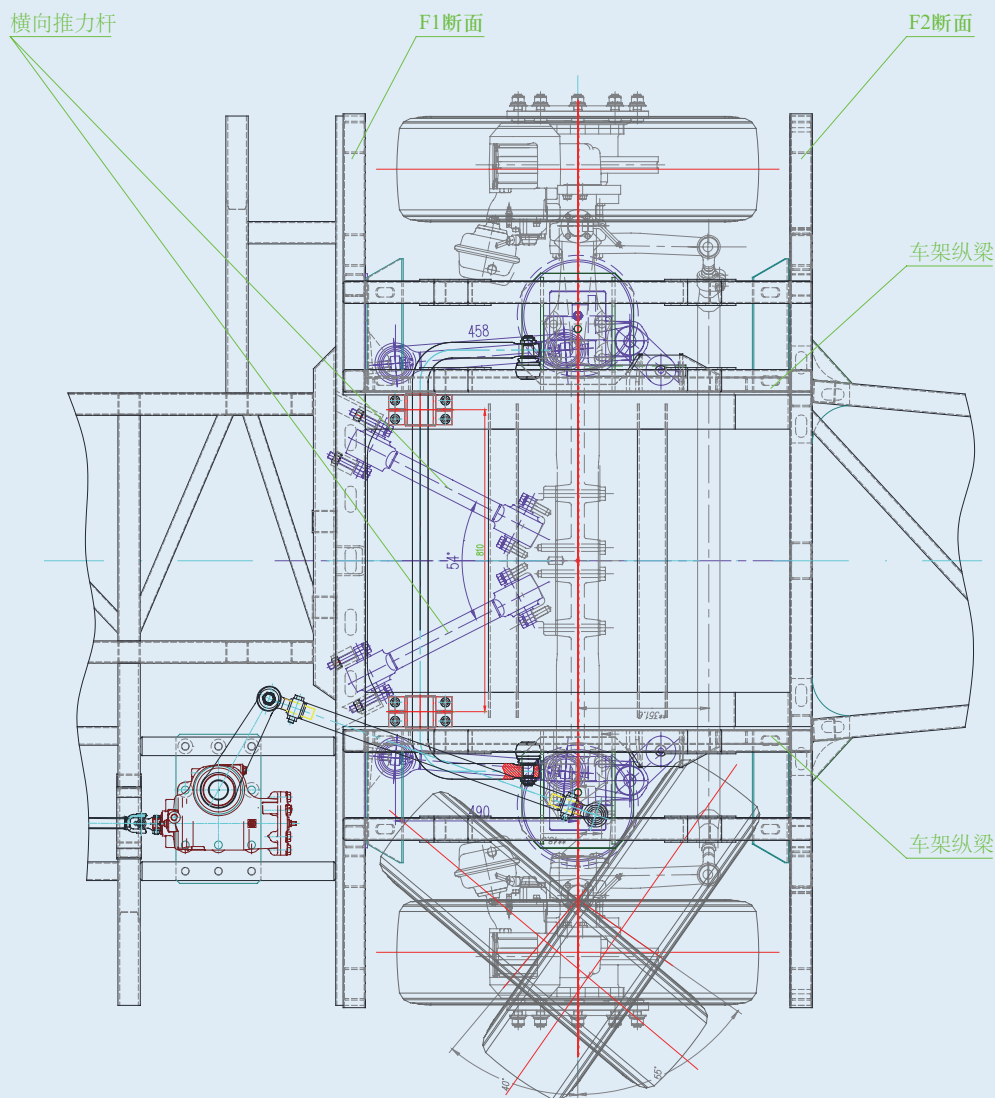


图 2-60 前横向推力杆的 V 形布置

(2) 全承载车架 全承载车架即小方钢桁架结构，设计时应注意两个问题：悬架连接点处的力的作用与传递、车架整体的刚度。

① 悬架连接点处的力的作用与传递：本着“拉压、传力、刚度、细节”四原则分析结构能否满足力的作用与传递要求，如前横向推力杆横向布置时，应特别注意小方钢桁架的抗弯、抗扭性能。

② 车架整体的刚度：在行李舱段，由于功能上的要求，该段不能采用斜撑结构，导致车架整体的抗弯和抗扭刚度下降。改善的办法是利用地板通道两侧的封板来提高结构刚度。

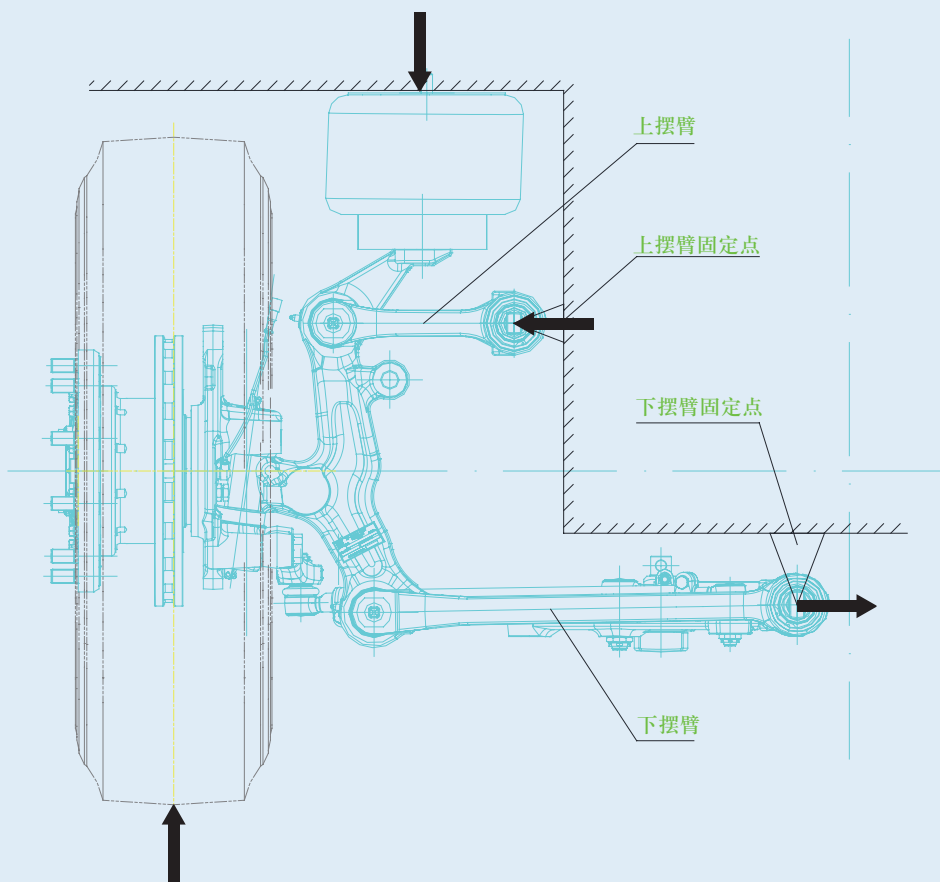


图 2-61 前独立悬架受力分析

如图 2-62 所示的 BENZ 的 TOURISMO 车型，将通道两侧的封板做成结构件，使之与车架骨架形成“板+杆”的力学结构，能明显改善车架的抗弯刚度和抗扭刚度。

【车架与车身的连接】车架与车身的刚度是不等的，如果二者的连接是刚性的，那么各自承载的载荷也不一样。合理的车身骨架设计应是车架和车身的应力水平趋于一致，实际上这很难做到，这需要通过 CAE 方法对车架刚度、车身刚度、二者的连接刚度不断地优化、改进、再优化、再改进……这是一个无穷逼近的设计过程。现实中也很难采用这样的设计过程，在此也不打算讨论这个问题，而着重指出在产品设计中应避免的一些不合理结构。

研究构件的力学问题必须明确其支持基础，研究车身的传力是以车架为支持基础，研究车架的传力是以车身为支持基础。

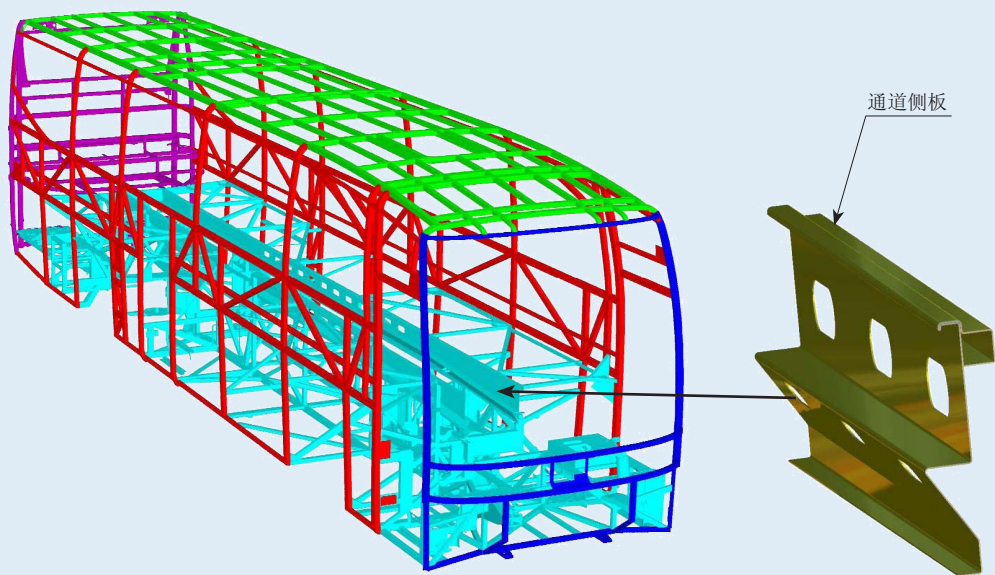
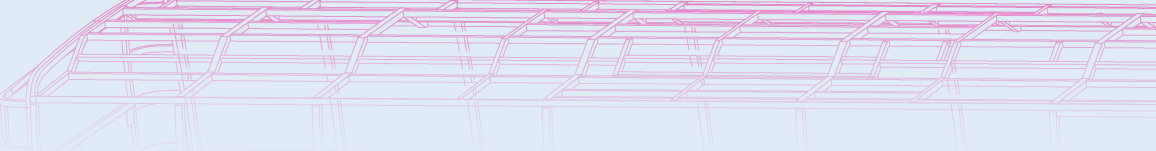


图 2-62 改善全承载车架刚度的方法

因此，车架与车身的连接问题可归纳如下：

- ① 来自车身的力如何传递到车架，再由车架传递到悬架。
- ② 来自悬架的力如何传递到车架，再由车架传递到车身。

由于力的传递是基于作用与反作用原理，因此这两个问题实质是一个问题。

设计骨架的力学结构，必须着眼于两个方面：一是力的作用点能否承担起载荷的作用，即结构支承点的选择是否合理；二是力向支承点的传入或由支承点传出的路径能否满足传力要求，即所选择的传力构件是否有利于载荷的传递。

为了明晰思路，我们在三个方向上讨论车架与车身的连接：纵向力、横向力和垂直力。

（1）纵向力方向 从前面讨论的车架结构看，来自车桥的驱动力或制动力都能由车架自身承载掉，而来自车身的惯性力和空气阻力如何传到车架？在纵向力的传递上，绝大多数客车都没问题，设计中可以不考虑它。但有的车型还是有所考虑，如图 2-63 所示的 IRIZAR 车型，其后轴处的两个斜撑的作用就是将来自车身的惯性力传递至车架。

图 2-64 是另一个例子，直大梁车架，乘客地板距车架很高（595mm），乘客的惯性力在传到车架的过程中会产生弯矩。靠弯矩来传递力是不好的选择，因此在其后桥上方增加了两个斜撑杆来传递车身的惯性力，斜撑的下端必须与车架纵梁相连。

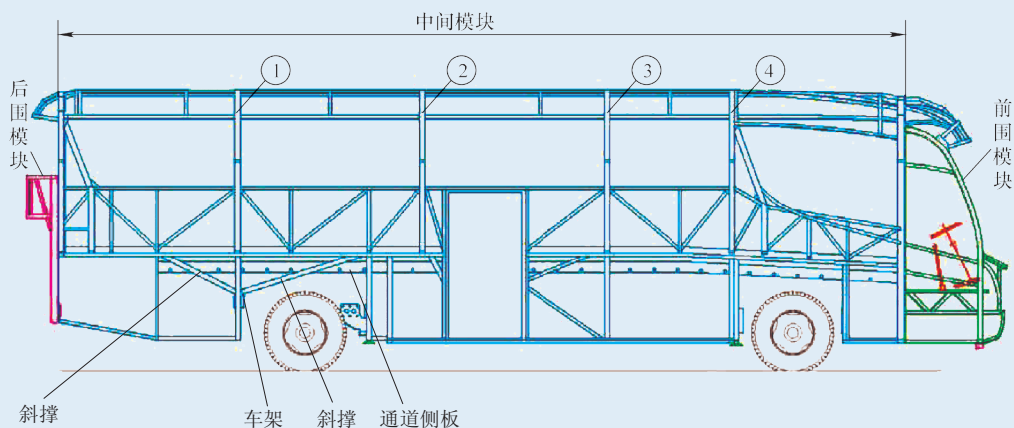


图 2-63 IRIZAR 的纵向力处理方法

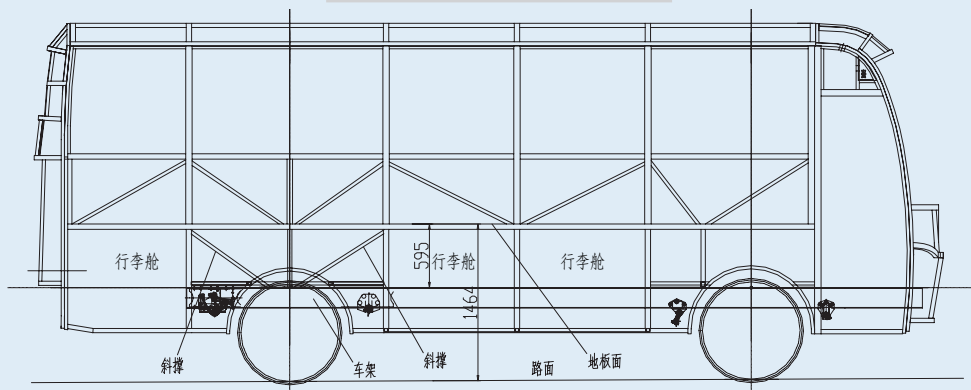


图 2-64 纵向力处理方法

(2) 横向力方向 所有的车型在此方向的传力结构都不存在问题，只是当乘客地板距车架较远时（图 2-64），要采用斜撑疏导力流的传递，见图 2-65。

(3) 垂直力方向 车身的承载主要在侧围骨架，悬架的簧距永远小于车宽，因此垂直力的传递过程不可避免地要产生弯曲力矩。在设计车架与车身的连接时，主要的工作是看连接结构能否满足这种弯矩的传递，即传递垂直力的抗弯刚度如何。

【车身骨架立柱】车身骨架若干立柱如图 2-66 所示，各柱定义如下：

A 柱：前风窗玻璃与驾驶员窗之间的立柱，是车身的第一道立柱断面，通常在

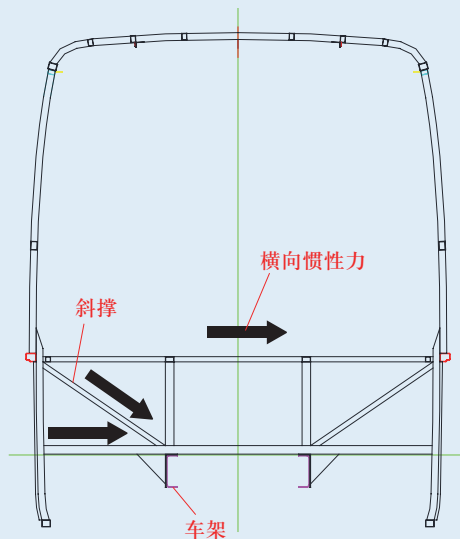


图 2-65 横向力的引导

大巴车型中被称为乘客门前柱。

B 柱：大巴车型的乘客门后柱或驾驶员窗后柱。

F1 柱：前轴前端面立柱。

F2 柱：前轴后端面立柱。

S 柱：中间的行李舱断面立柱。

R1 柱：后轴前端面立柱。

R2 柱：后轴后端面立柱。

M 柱：后轴后端面与 C 柱之间的立柱。

C 柱：后围骨架与侧围骨架的对接立柱，是车身的最后一道立柱断面。

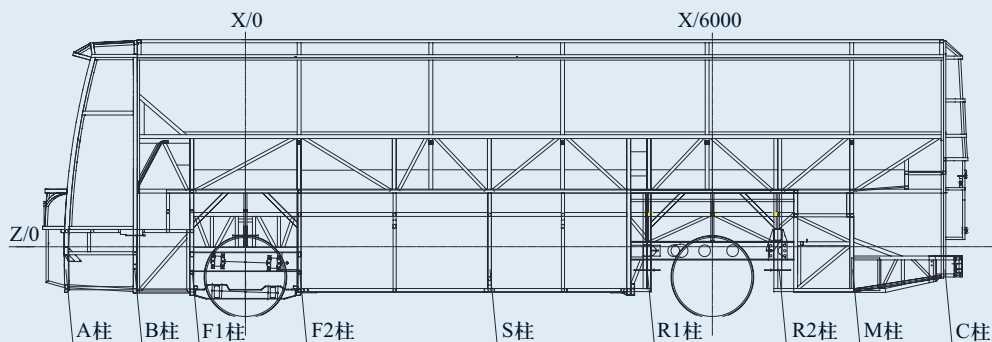


图 2-66 车身骨架若干立柱

每个柱的位置就是一个承载断面，应尽可能形成一个骨架封闭环。骨架应在承载断面内采用贯通式整体梁，在车身纵向采用断开梁。

小方钢的全承载车身在这些立柱所在位置的承载结构都能得到很好处理，这是因为如果构件的物理、材料特性相近，那么它们的连接结构在强度和刚度的匹配上就相对容易，所以全承载骨架的优点是力学特性匹配容易，缺点是结构复杂、工艺性差、精度难保证。

而槽形梁或大断面矩形梁的结构则正相反：车身的小方钢与车架的大断面梁在力学特性匹配上不容易，但其结构简单、工艺性好、精度易保证。

因此，我们将着重讨论直大梁或三段式这类车架的垂直力传递结构。

对于垂直力的传递，设计者面临的问题是：在车架的结构上，纵梁贯通好还是横梁贯通好？

我们可通过刚度原则分析如下：

①在静不定结构中，力的传递首先选择刚度大的构件传递。

②垂直力对于纵梁或横梁来说都是径向载荷。

③杆件的径向刚度都比不上轴向刚度，大断面杆件也不例外。

④轴向尺寸越大，其径向刚度越差。

因此，由于车身的横向尺寸永远小于纵向尺寸，所以做大横向刚度比做大纵向刚度容易，在垂直力的传递问题上应首选横向贯通结构。

(1) A、B 柱断面 这两个位置的载荷不是很大（除非 B 柱与 F1 柱重合），尤其是车身弯曲或扭转时，B 柱往前的位置还是自由端。因此，这两个承载断面上能在车架上设计出贯通式横梁并使之与车身连接成封闭环，处理好横梁与车架的连接结构就可。

图 2-67 所示是 SCANIA 的结构，其贯通式横梁的规格是 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 5\text{mm}$ 。由于垂直力由车身向车架的传递过程中会产生弯曲力矩，所以大断面的贯通梁就是为了提供足够的抗弯刚度。

图 2-68 所示是一款公交车的 A 柱断面连接方式，强度、刚度都有富裕，从轻量化角度看，可以将其外伸梁改成贯通式横梁，并且工艺性也要好得多。

图 2-69 所示是旅游车型在 B 柱位置的一种连接方式，处理好地板横梁与车架槽梁的连接就行了。

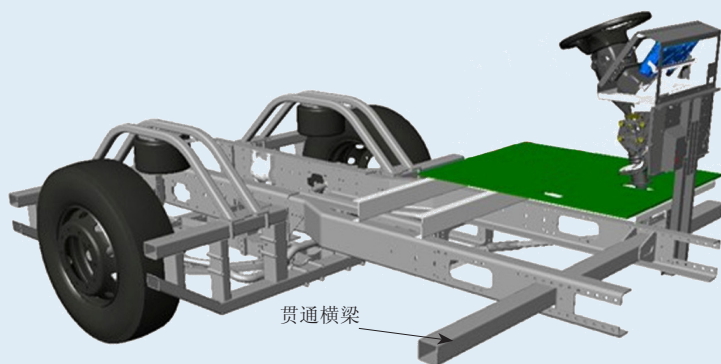


图 2-67 SCANIA 底盘的 A 柱连接方式

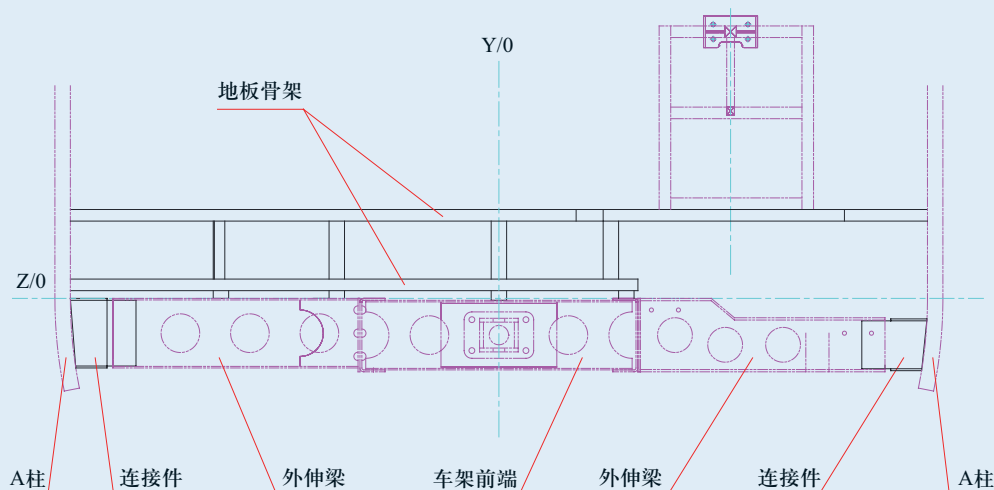


图 2-68 一种公交车架 A 柱断面连接方式

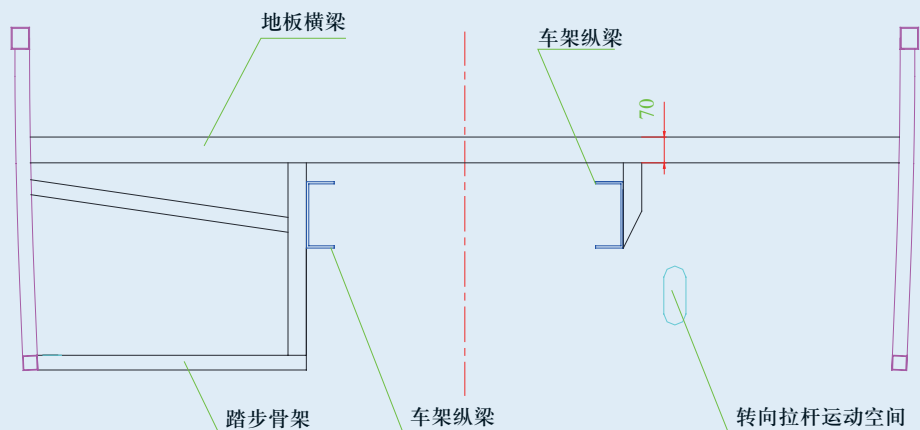


图 2-69 一款旅游车型 B 断面连接方式

(2) F1、F2、R1、R2 柱断面 这是四个最重要的承载断面，因为悬架的垂直作用力是通过这四个断面向车身传递。我们一再强调的车架与车身的连接强度，其实就是要做强在各断面处车架与车身连接结构的横向抗弯刚度。从力学角度讲，提高抗弯刚度最有效的方法是增加抗弯断面高度，就客车而言，高地板比低地板的横向结构刚度好，进一步说是客运车比公交车横向结构刚度好。另外，由于悬架形式的不同也会影响前后轴两侧断面的结构刚度：气簧悬架由于其结构紧凑，更有利于做强车身与车架的连接。

由于受空间限制，气簧低地板公交客车、板簧公路客车、板簧二级踏步公交客车、板簧一级踏步公交客车这四种车型的 F1、F2、R1、R2 断面连接结构较难处理。

图 2-70 是 MAN 的低地板公交车在后轴前的结构形式，由于低地板全承载车架不存在地板骨架与车架的连接，所以为传递气囊的垂直力，采用了一个横贯左右的整体结构件，它就是承载主梁，一定要做大做强。



图 2-70 MAN 低地板公交车的结构形式

板簧公路客车，如果地板高度较高，可采用图 2-71 的连接方式，尽可能加大高度 H 的尺寸，即来自板簧吊耳座的垂直力传向车身侧围骨架时产生的弯曲力矩将由“ H ”这段高度的桁架结构来承载。高度越大，抗弯刚度越好，承载能力越强。

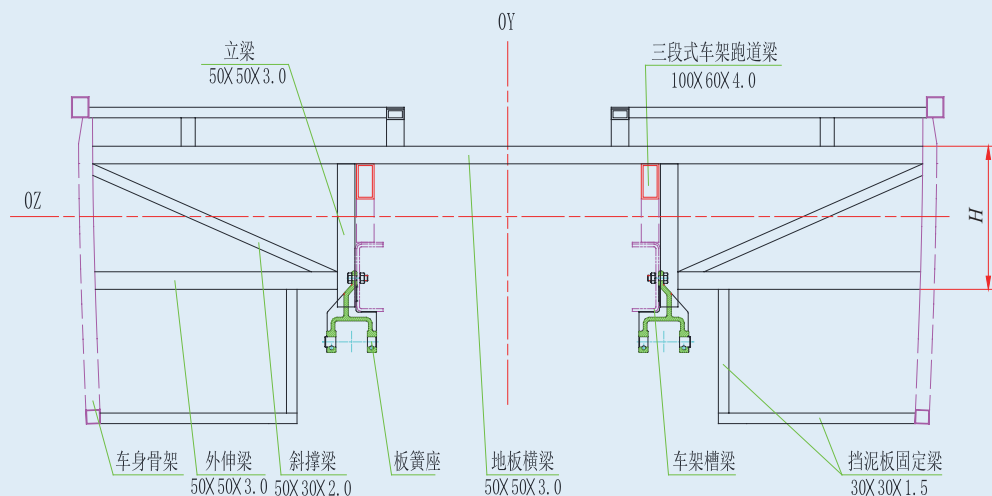


图 2-71 一种板簧公路客车 F1-F1 断面连接方式

图 2-72 则是另两种连接方式，根据力流传递的连续性原则，图 b 的结构比图 a 的好，因为图 a 方案中的 I 处连接方式不可取。也有采用图 2-73 结构的，但来自板簧吊耳座的垂直力 F 会在地板横梁的 A 点和 B 点之间产生强烈的弯曲力矩，所以这种结构不好。之所以采用这种结构而没出现结构故障，或者是因为车架的刚度太强而使其承担了绝大部分的垂直载荷，或者是因为车身其他部件与底盘连接的刚度太大，而使来自车身的载荷没有传递到板簧吊耳处。

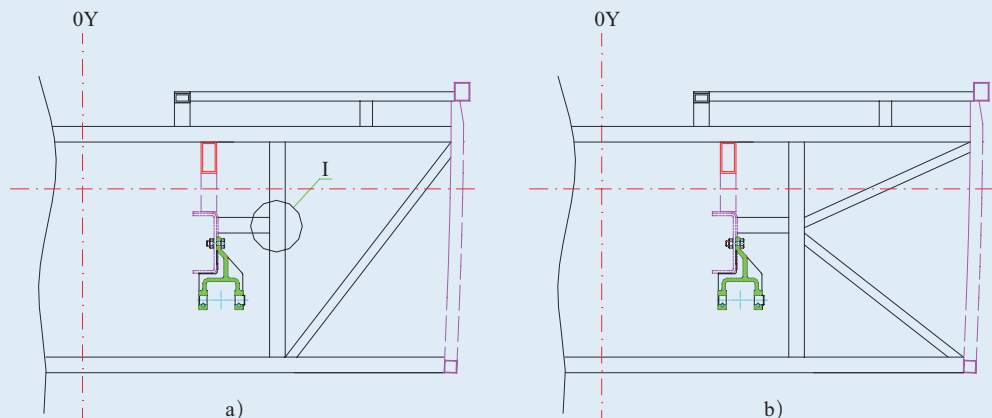


图 2-72 两种板簧客运车 F1-F1 断面连接方式

图 2-73 中的 A 点也会产生强烈的应力集中。

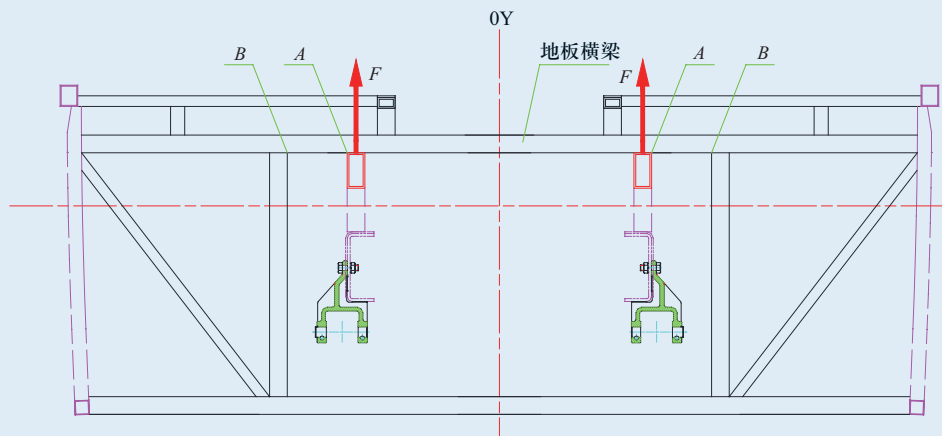


图 2-73 另一种板簧公路客车 F1-F1 断面连接方式

板簧公路客车，如果地板高度较低，没有做桁架结构的空间，可采用车架伸出外伸梁结构，即牛腿，如图 2-74 所示。

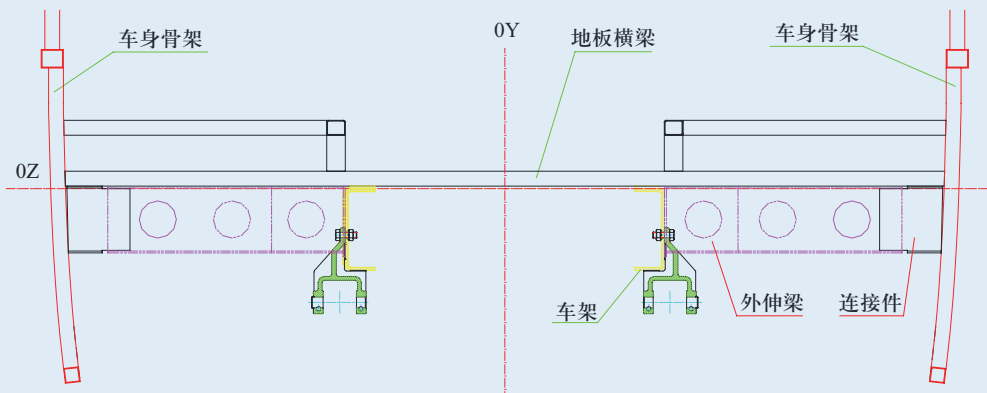


图 2-74 外伸梁结构的 F1-F1 断面连接方式

牛腿是一种笨重的结构，使用它实属迫不得已。若不采用牛腿，有时不得不出图 2-75 这种的“扁担梁”结构，此时地板横梁的规格至少要达到 $80\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$ 。

扁担梁在大型客车车桥的前后承载断面使用，绝对不是一种好的结构形式。但对于中小型客车，由于载重小、车身窄，在车身骨架与车架的连接上则是普遍采用扁担梁的结构形式。图 2-76 所示是 IVECO 中巴的设计，其结构特点是全是“扁担梁”，简单而干练。

板簧车型出现的这些问题，有两点原因：

① 承载断面与板簧座的位置重合，车架与车身的连接结构无法在车架上生根，即无法找到有效的支承点，如果承载断面能跨过板簧座，则结构上就非常容易处

理了。

② 槽形梁的车架在上下翼面上无法做结构的支承点,导致传力结构设计困难。

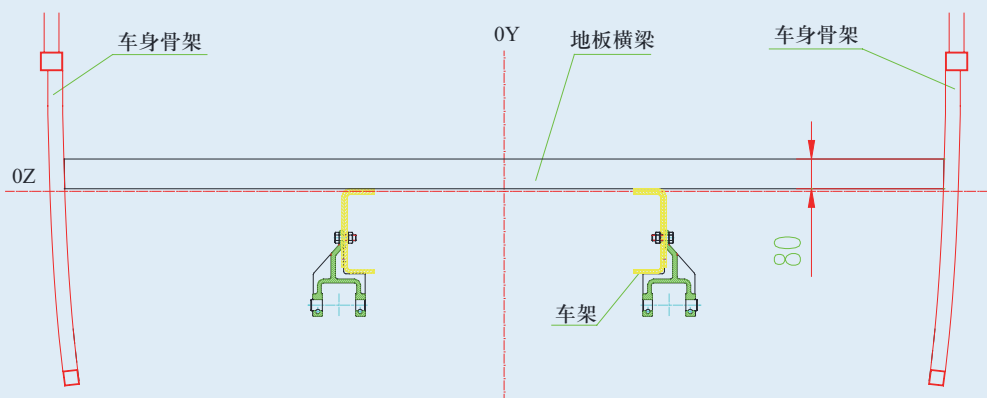


图 2-75 扁担梁的 F1-F1 断面连接方式

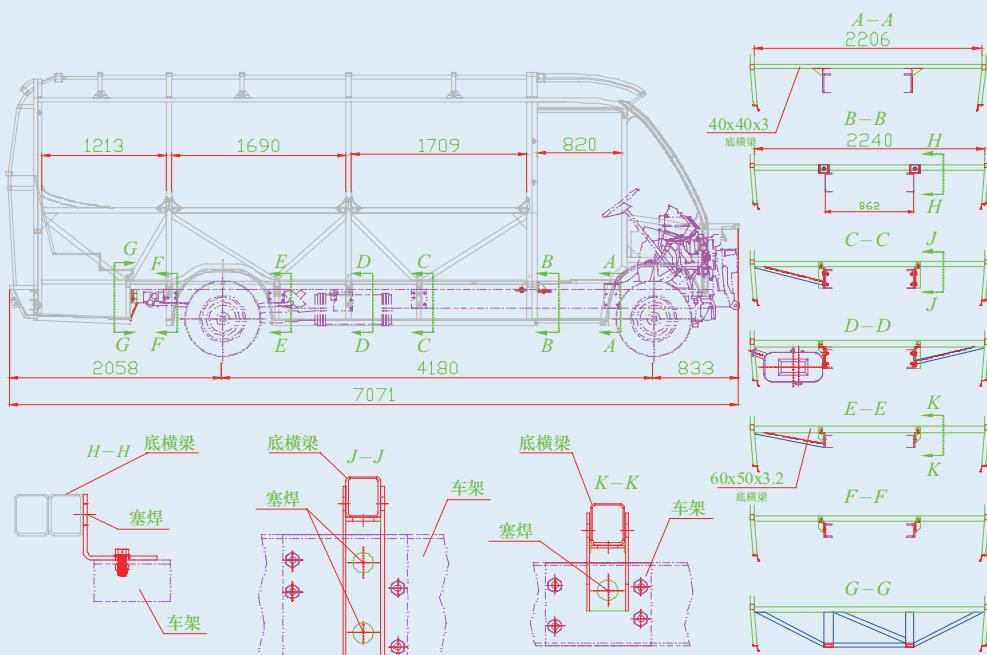


图 2-76 IVECO 中巴的车身与车架连接

如果采用“全承载”式的小方钢桁架的车架结构,则板簧车型的这些问题就迎刃而解了。图 2-77 是板簧全承载车架在前簧处的结构,图 2-78 是板簧全承载车架在后簧处的结构,像这种全方钢的板簧车架,其传力结构反而容易设计。

所有的板簧车型中,直大梁二级踏步的公交车型,其前簧前吊耳处车架与车身的连接是最难设计的,如果采用全承载式车架,会更容易解决。

而板簧一级踏步公交车，则必须是全承载式车架，没有其他的解决方案，必须遵守第 2.1 节所阐述的四点设计原则。

R1、R2 处的结构方式与 F1、F2 处的类同，不再多述。



图 2-77 板簧全承载车架的前簧处结构



图 2-78 板簧全承载车架的后簧处结构

(3) S 柱断面 即 F2 与 R1 之间的位置, 三段式 and 全承载式的车架都不存在与车身的连接问题, 有问题的是直大梁结构车架。图 2-79 和图 2-80 是较好的连接结构, 图 2-81 和图 2-82 是较差的连接结构。判断这些结构好与坏的依据是: 看载荷的作用方式是否有利于构件的承载, 如小方钢、大断面槽形梁等各有不同的承载特性。

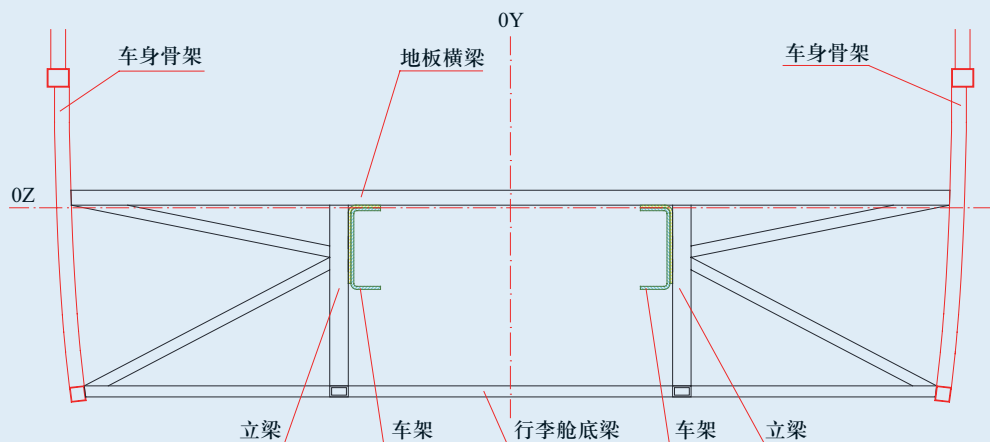


图 2-79 公路客车直大梁 S 断面连接方式

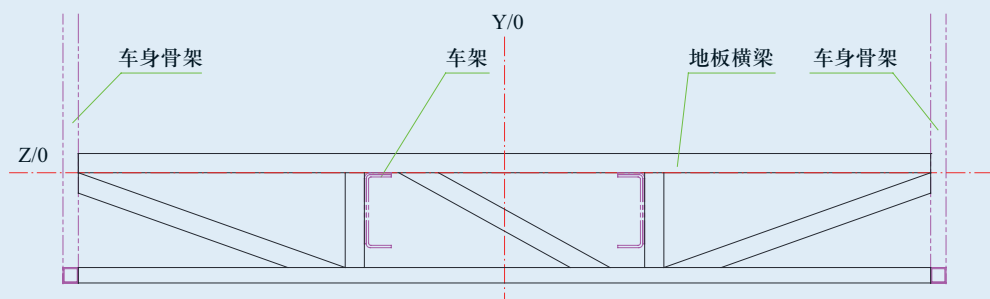


图 2-80 公交客车直大梁 S 断面连接方式

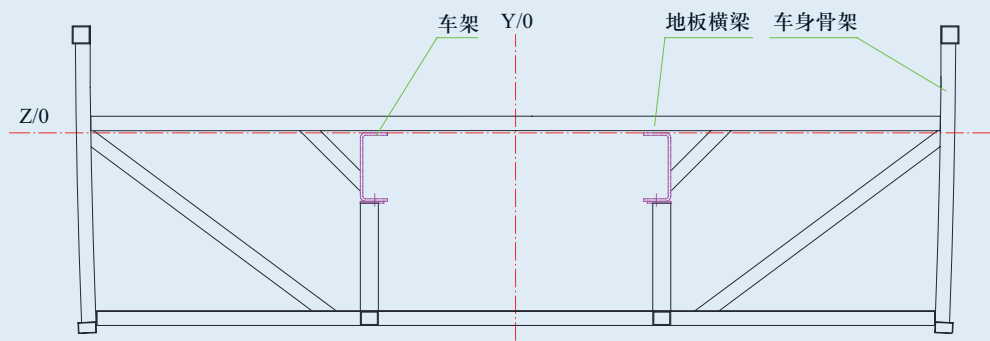


图 2-81 较差的公路客车直大梁 S 断面连接方式

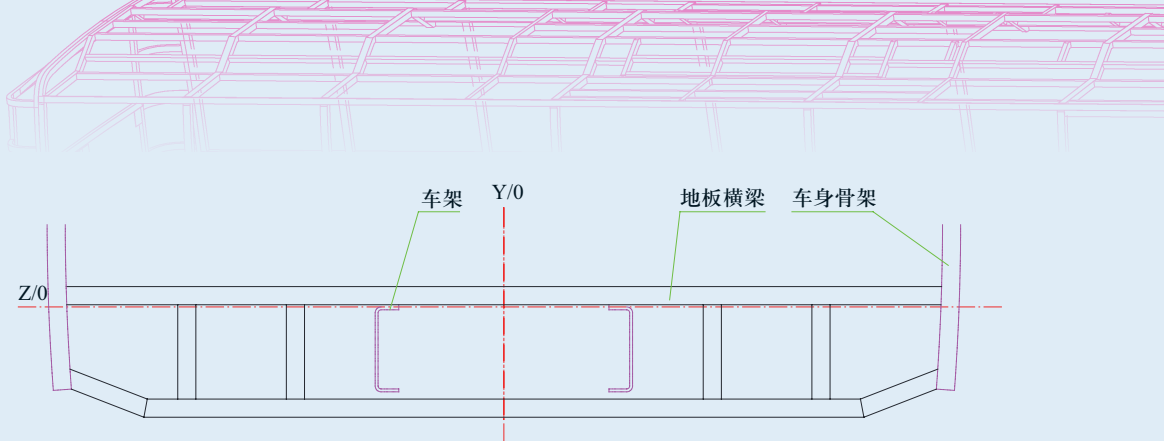


图 2-82 较差的公交客车直大梁 S 断面连接方式

(4) C 柱断面 即侧围与后围的连接断面，此处不但承载发动机的垂直载荷，还承载来自发动机的扭转载荷。这个断面要做大横向刚度不太容易，图 2-83 是 BENZ 的结构方式，图 2-84 是 SCANIA 的结构方式。图 2-85 是 SCANIA 早期的车架尾横梁结构，想想看，为什么要改成图 2-85 的结构？



图 2-83 BENZ 的 C 断面连接方式

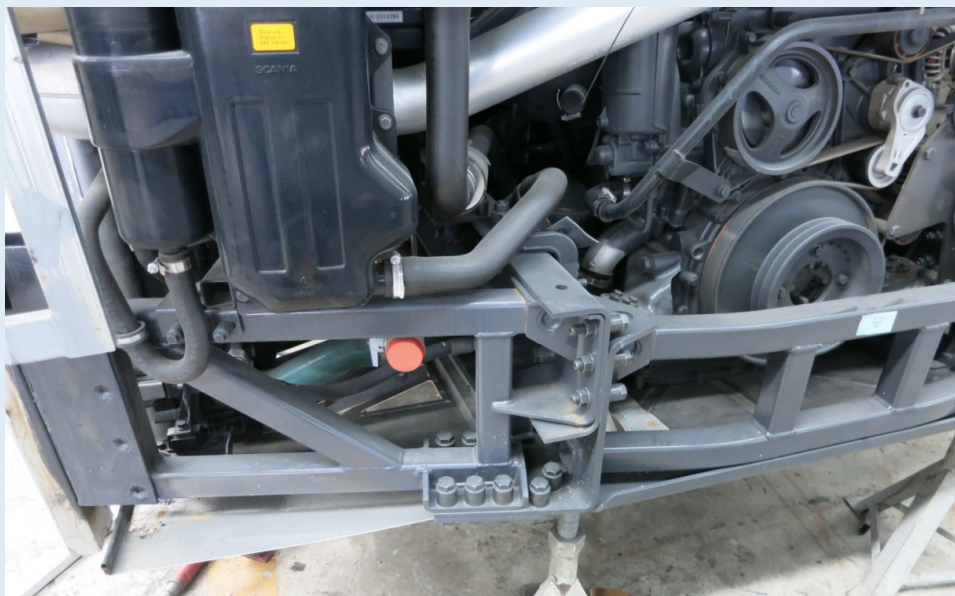


图 2-84 SCANIA 的 C 断面连接方式

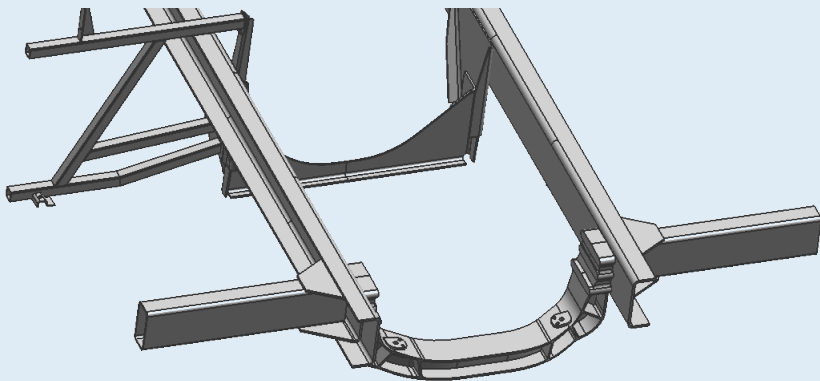
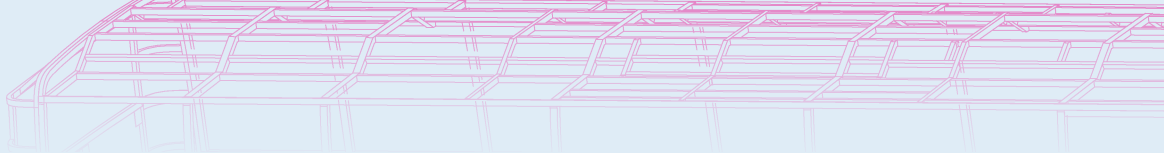


图 2-85 SCANIA 的 C 断面早期的连接方式

2.5 用车身骨架的设计原则指导车架设计的应用举例

前文讲了很多客车车身或车架的设计理念或设计原则，那么如何用这些知识



来指导设计或评判结构的合理性呢？

最好的办法是通过案例来回答这个问题，并且还要举个结构上最复杂的例子。

从结构上看，最复杂的骨架结构莫过于全承载的小方钢车架了，图 2-86 和图 2-87 是两款全承载车架的前桥模块，都是独立悬架。现在的问题是：如何判断它们的结构合理性？

说来也简单，分两步：结构的受力和结构对所受的力的承载能力。

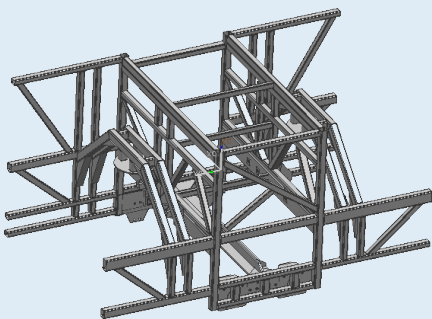


图 2-86 一种独立悬架的前桥车架模块

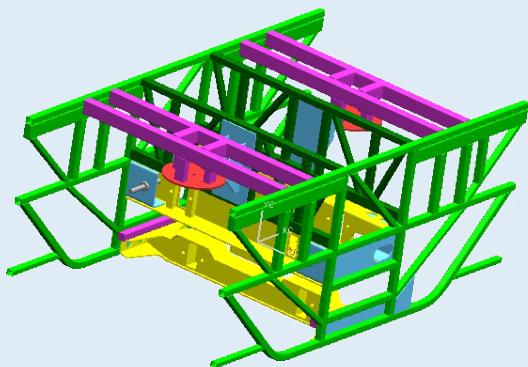


图 2-87 另一种独立悬架的前桥车架模块

下面是以图 2-86 为例的具体分析过程：

【第一步：受力分析】图 2-86 的悬架装配结构见图 2-88，悬架对车架的作用力见图 2-89。图中给出了垂直力和横向力，纵向力未画出。

垂直力：气囊产生的垂直力作用在车架的弓形组梁，再由弓形组梁传递给 F1 断面（前轴前断面）和 F2 断面（前轴后断面）。减振器产生的垂直力作用在上摆臂固定梁上，由于减振器与上摆臂固定梁所在的平面夹角较小，故可认为减振器

的力是垂直力。

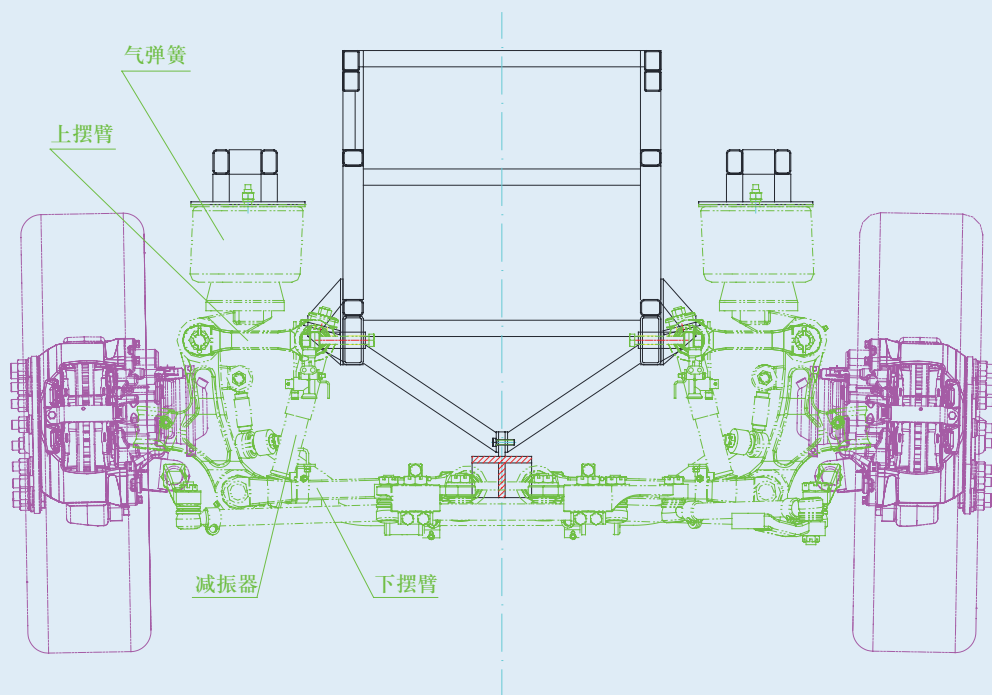


图 2-88 独立悬架的安装结构

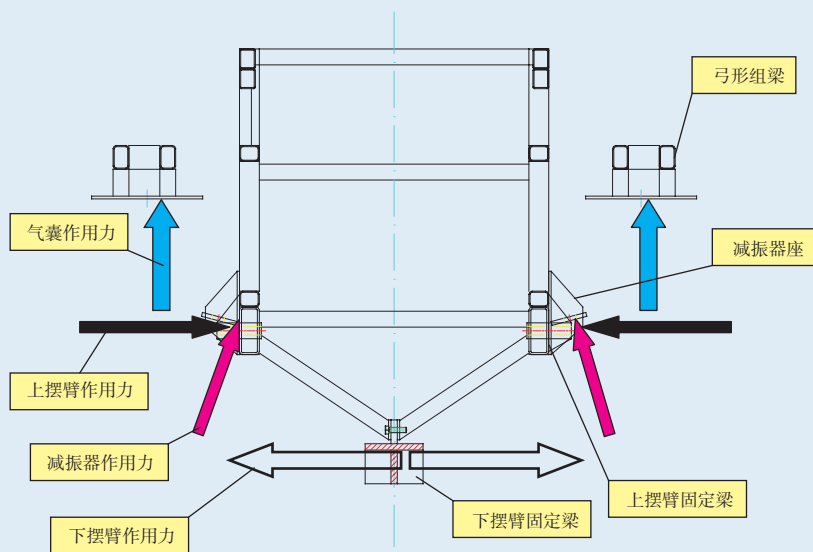
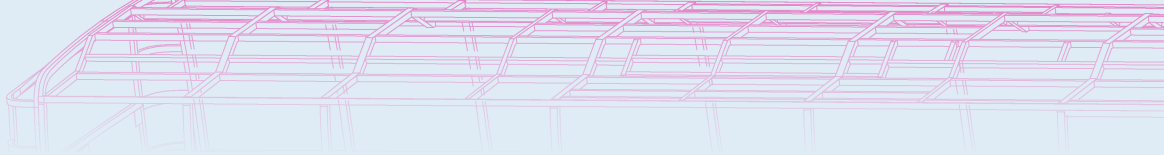


图 2-89 独立悬架对车架的作用力分析

横向力：有两个来源，一是上摆臂和下摆臂这种二力杆产生的横向力，二是



客车在转弯工况下产生的惯性力，它们都作用在上摆臂固定梁和下摆臂固定梁上。

纵向力：即前轮对车体施加的阻力，作用在上摆臂固定梁和下摆臂固定梁上。

【第二步：分析结构的承载能力】

（1）垂直力的承载

1) 气囊的垂直力。当此力由弓形作用于梁传递到 F1 断面和 F2 断面时，首先看弓形梁的合理结构是什么？我认为图 2-86 的弓形比图 2-87 的直杆形好，直杆梁在气囊垂直力的作用下会产生强烈的弯曲力矩，为保证结构的强度，必须加大直杆梁的规格，从轻量化的角度来看是不可取的。图 2-86 的弓形梁在斜线段的载荷基本就是沿其轴线方向的拉力，我们知道杆件的受拉性能是最好的，所以这种弓形梁是最好的。但图 2-86 的弓形梁是方钢组焊件，应注意焊接缺陷的控制。最好的弓形梁是如图 2-90 所示的整体成型结构。

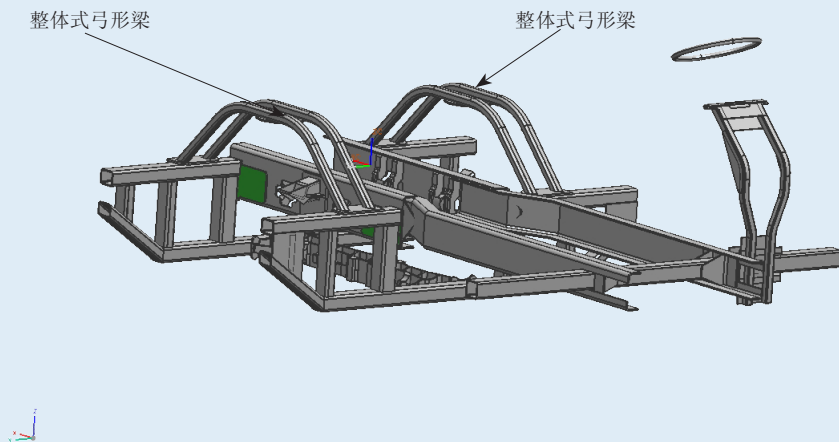


图 2-90 前独立悬架的整体式弓形梁

当气囊的垂直力传递到 F1 断面和 F2 断面后，看这两个断面是否能承载这个垂直力。

图 2-91 是 F1 断面的原设计结构，该设计的缺点是未明确悬架的垂直力向侧围传递的承载结构。向车身侧围传递的原因是车体的垂直力主要是由侧围骨架承载的。还要说明的是：分析车架的受力结构时要以车身为支持基础（刚性约束），分析车身的受力结构时要以车架为支持基础。图 2-92 是改进后的 F1 断面结构，明确了横梁 1 和横梁 2 之间这段 388mm 的高度是承载结构，且横梁 1 和横梁 2 采用贯通梁结构，横梁 1 的规格为 80mm×50mm×3mm，是承载主梁。由于该车是低驾驶区车型，上车踏步限制了横梁 1 的工作高度。

图 2-93 是 F2 断面的原设计结构，由于断面高度大，该断面的承载能力有很大富余量，那我们该如何对它简化呢？

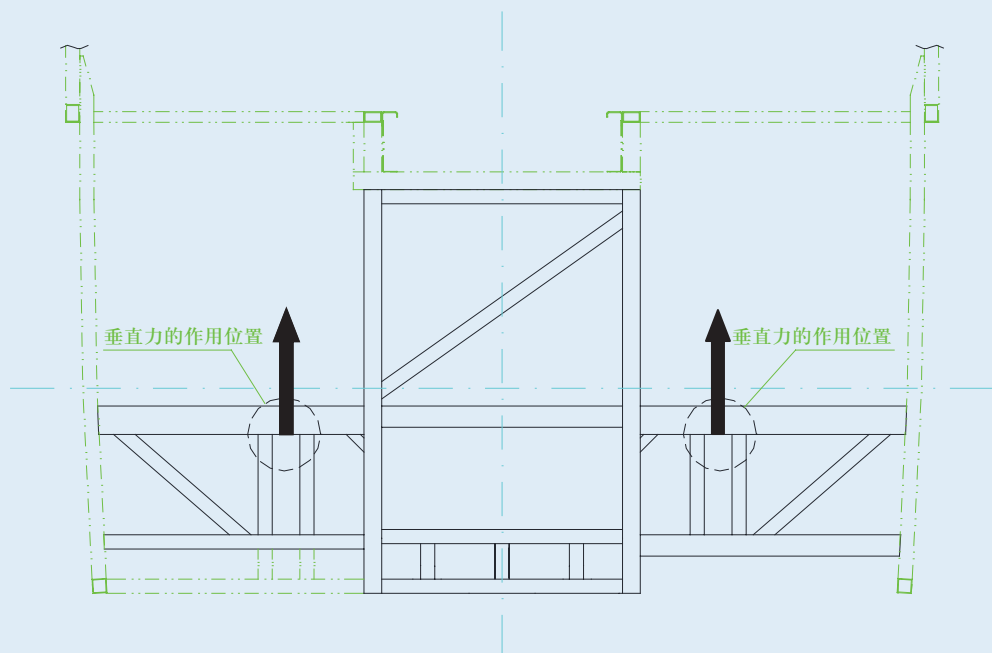


图 2-91 F1 断面的原设计结构

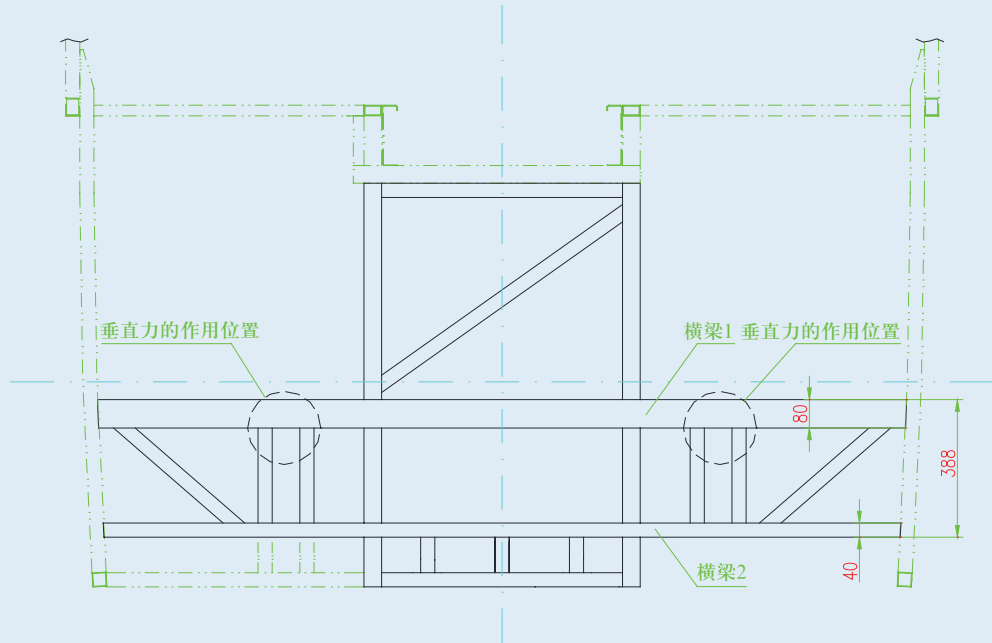


图 2-92 改进后的 F1 断面设计结构

① 由于地板横梁的存在，横梁 1 可以去掉。

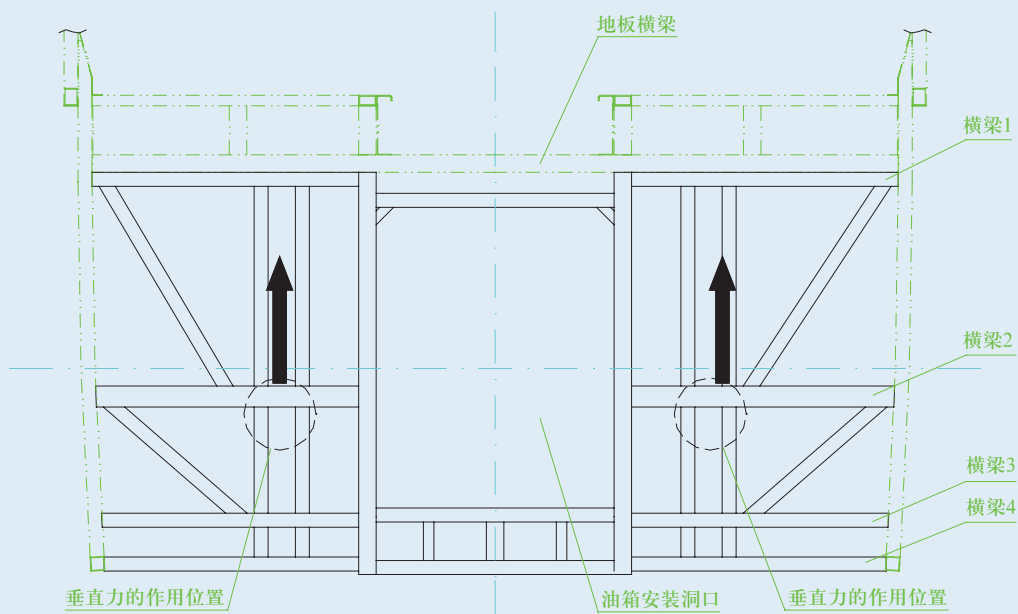
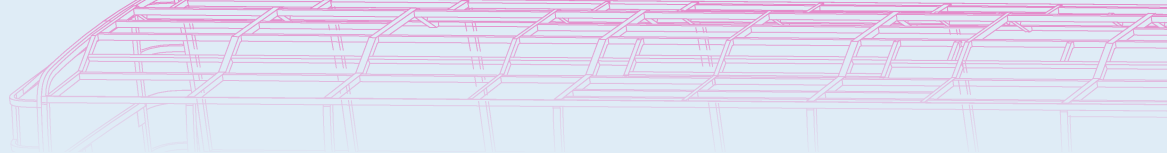


图 2-93 F2 断面的原设计结构

② 横梁 1 和横梁 2 之间改成两个斜撑作为力的引导梁。

③ 横梁 3 和横梁 4 改成横向贯通结构。

改进后 F2 断面结构见图 2-94。

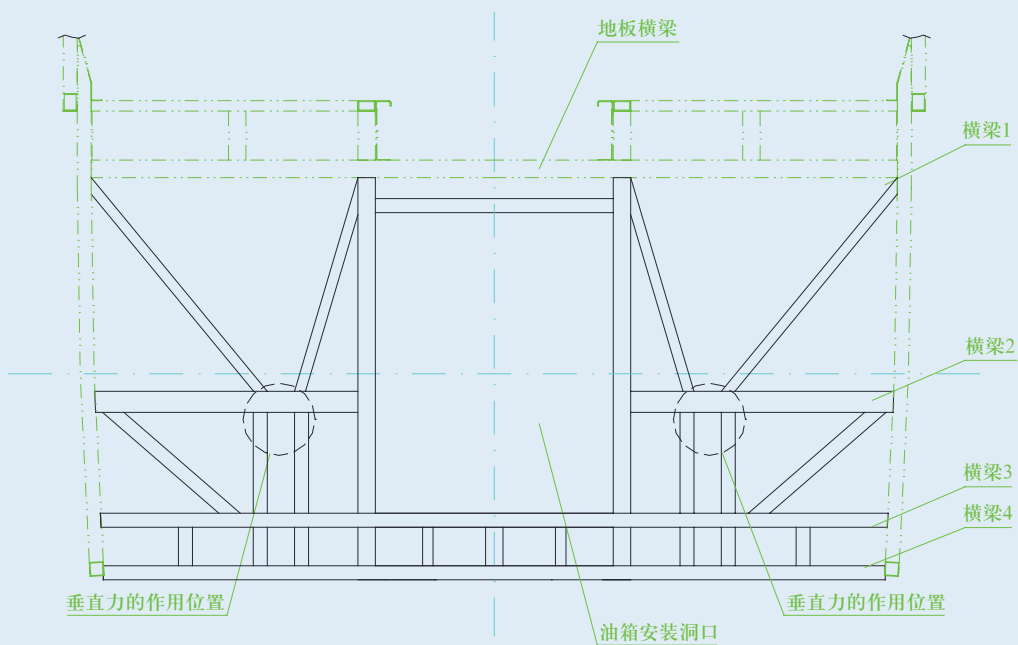


图 2-94 改进后的 F2 断面设计结构

2) 减振器的垂直力。减振器产生的力从数值上讲不是很大,就图 2-95 来说,该结构承载减振器的力是绰绰有余的。但该受力面还要承载上摆臂传来的纵向力及上摆臂固定梁还要承载上摆臂传来的横向力,所以该结构还要有一定的刚度和强度。从这几方面考虑,改进后的结果如图 2-96 所示:一是使结构简单化,二是不采用双梁并接,三是减振器固定座缩小了。原结构包含了油箱安装结构,改进后的结构将此删除了,我们认为在客车骨架的设计中,尽量不要使承载结构与非承载结构(或是主要的承载结构)混杂在一起,混杂的结果只能是结构复杂、主次不清,貌似都承载,其实没主干。当结构分清主与次后,那么主要的承载结构就必须做强,次要的承载结构就必须做弱,这是轻量化设计的铁律。

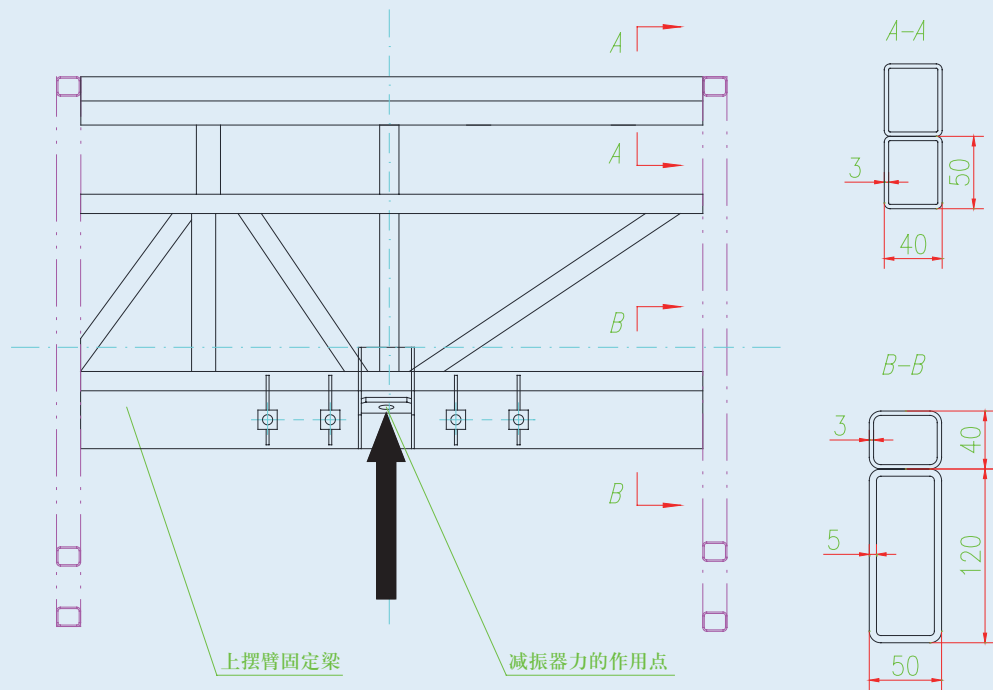


图 2-95 减振器垂直力的原承载结构

(2) 横向力的承载

1) 上摆臂横向力的承载。考察该横向力所在的平面的承载结构,如图 2-97 的原设计结构,主梁虽然用了 $120\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 规格的大方钢,但这种径向载荷对大截面方钢也是不利的。即使在两个主梁之间采用了 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的联系方钢,我们认为整个结构的横向抗弯刚度还是不足的,在改进的方案中增加了一个 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的斜撑以提高整体刚度,如图 2-98 所示。

同时,在联系方钢 1 所在的垂直平面内,将原结构的水平方钢改为斜撑方钢,依靠车身地板来约束上摆臂固定梁的变形位移,如图 2-99 所示。

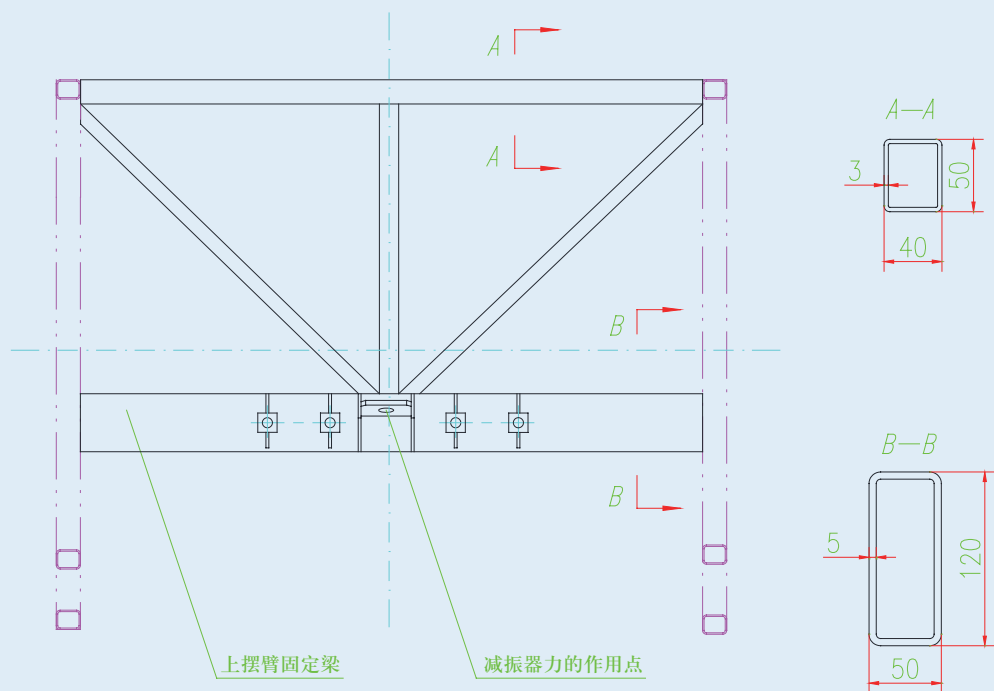
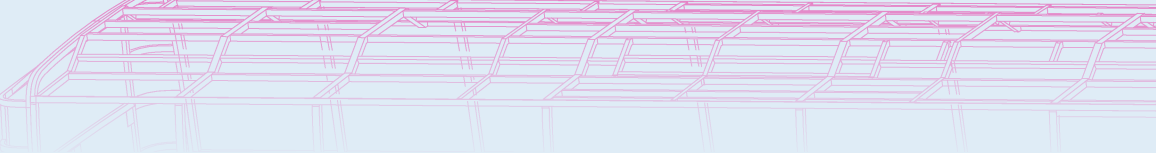


图 2-96 改进后的减振器垂直力承载结构

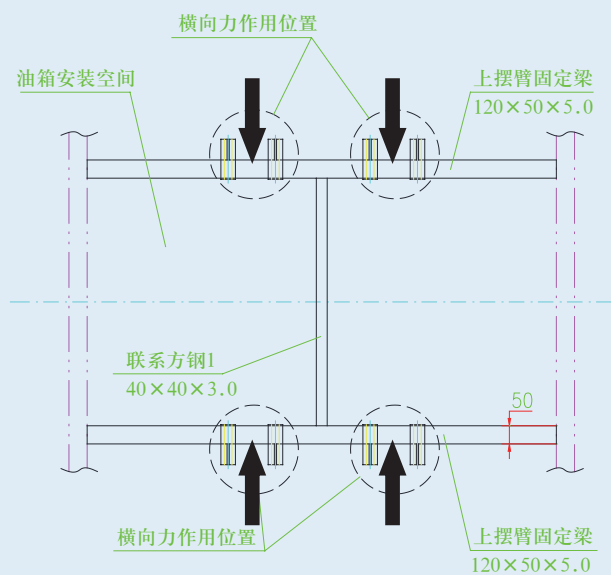


图 2-97 上摆臂横向力的原承载结构

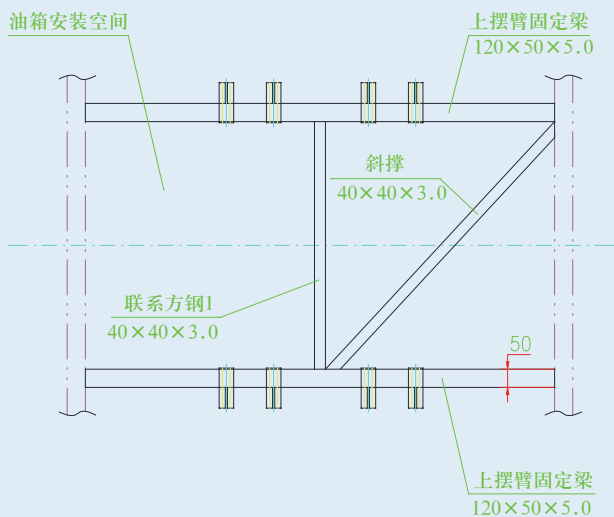


图 2-98 改进后的上摆臂横向力承载结构

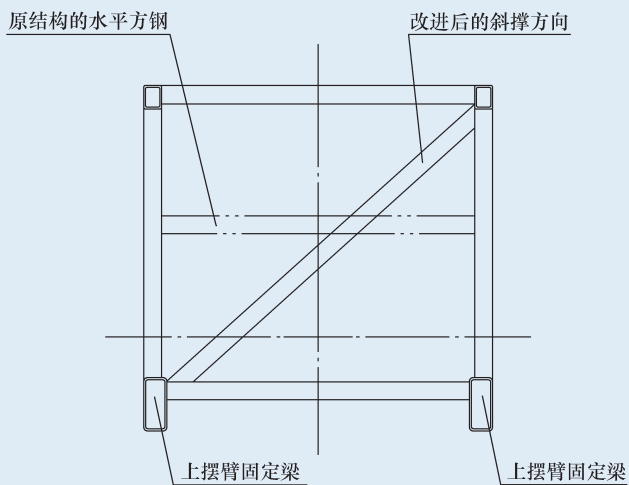


图 2-99 增加上摆臂横向位移的约束

2) 下摆臂横向力的承载。图 2-100 所示的原设计结构, 下摆臂固定梁的最大位移发生在靠近中间点的固定座处, 由于下摆臂固定梁在横向力的作用平面内增加刚度的操作空间有限, 所以选择了在中间固定座处的垂直平面内做结构的方案, 即图中的联系方钢 1、斜撑方钢 1 和斜撑方钢 2 组成的三角形结构, 相当于在下摆臂固定梁的中间位置增加了支撑点, 即增加了它的横向抗弯刚度。所以, 原设计方案没有问题, 不需做改进。

(3) 纵向力的承载

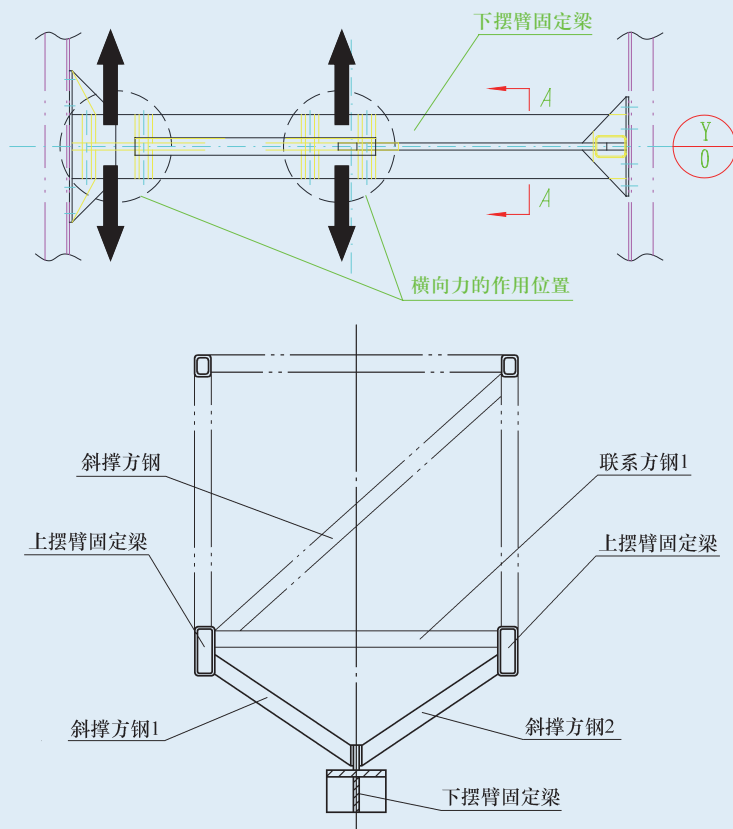


图 2-100 下摆臂横向力的承载结构

1) 上摆臂纵向力的承载。

上摆臂纵向力作用在减振器的承载平面内，无论是原结构还是改进后的结构，都能很好地承载并传递该纵向力。图 2-101 是在改进后的减振器承载结构上做的纵向力分析，通过斜撑将纵向力传递到车身地板骨架，而车身地板骨架能很好地承载纵向力。

2) 下摆臂纵向力的承载。

该纵向力是由中段行李舱的底骨架和驾驶区底骨架承载的，原设计的结构没问题，如图 2-102 所示。

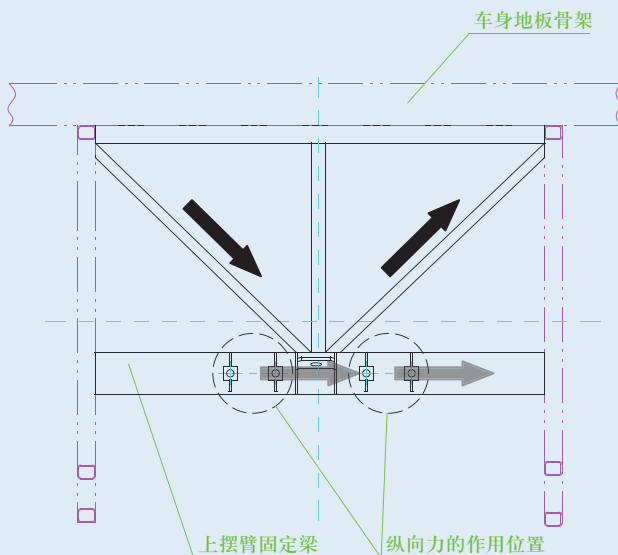


图 2-101 上摆臂纵向力的承载结构

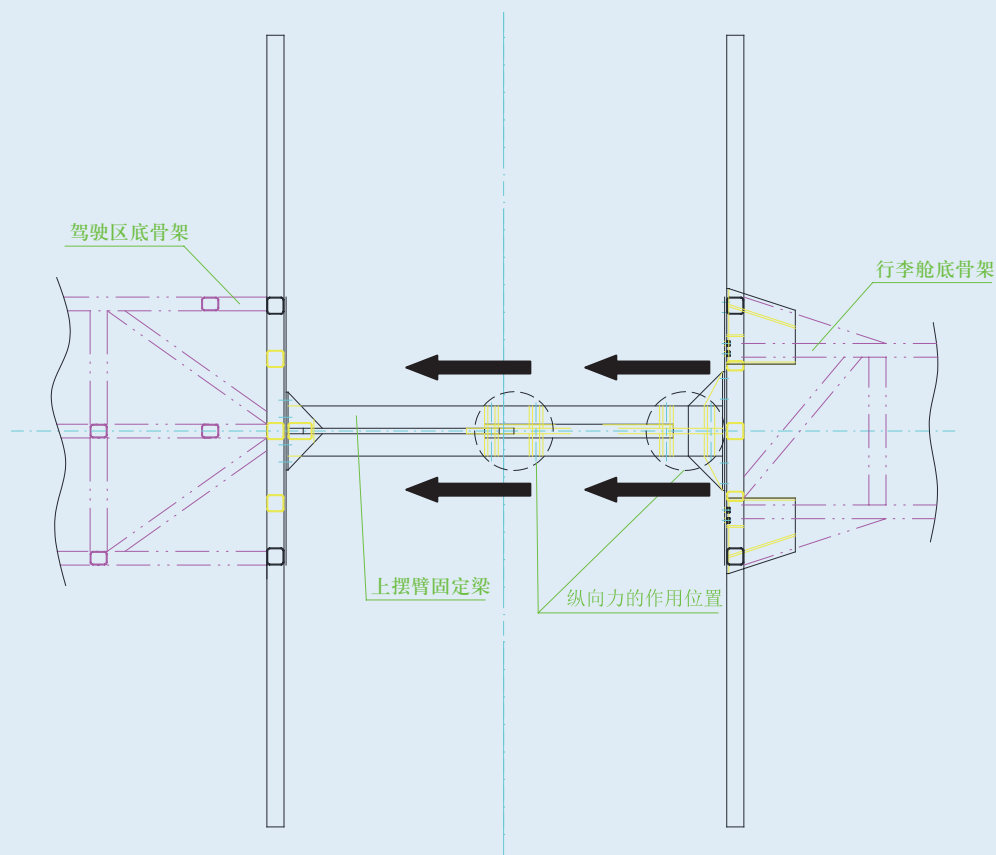


图 2-102 下摆臂纵向力的承载结构

通过上面的分析和改进，新的结构见图 2-103，共减重 45kg，减重效果达 11.4%。

总结起来，对于车身骨架或车架骨架的设计，我们要分两步走：

第一步：确保骨架结构的构型正确，即结构能满足力的承载与传递要求，这一步要遵守的是刚度原则，从刚度上推敲结构的合理性，即定性阶段。

第二步：在构型正确的前提下，确保骨架结构的强度要求，即结构能满足构件的强度要求，此时要采用 CAE 手段，分析构件的最小用料规格，从而达到最小重量，即定量阶段。

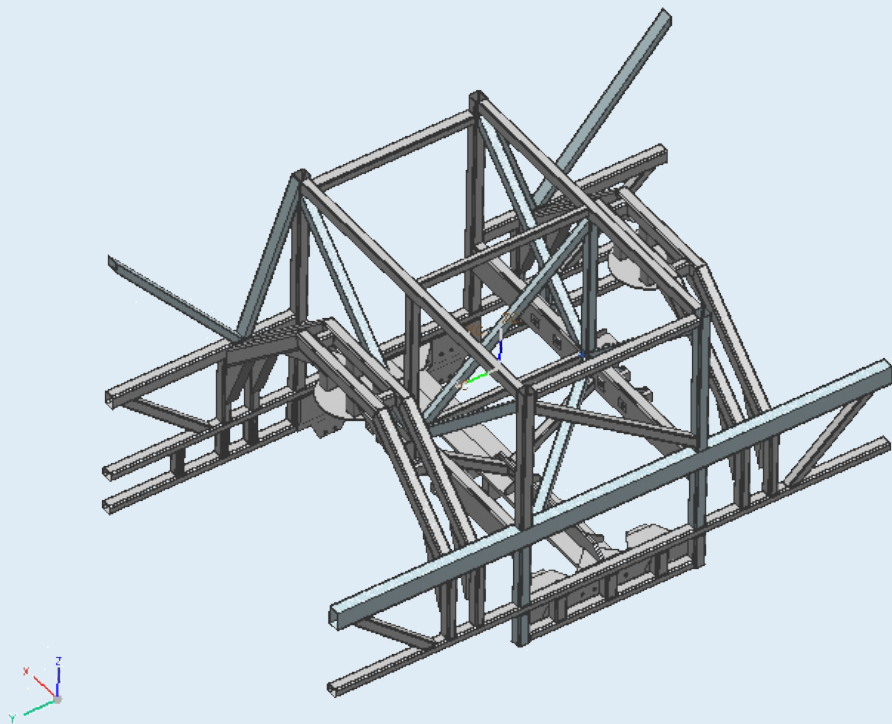
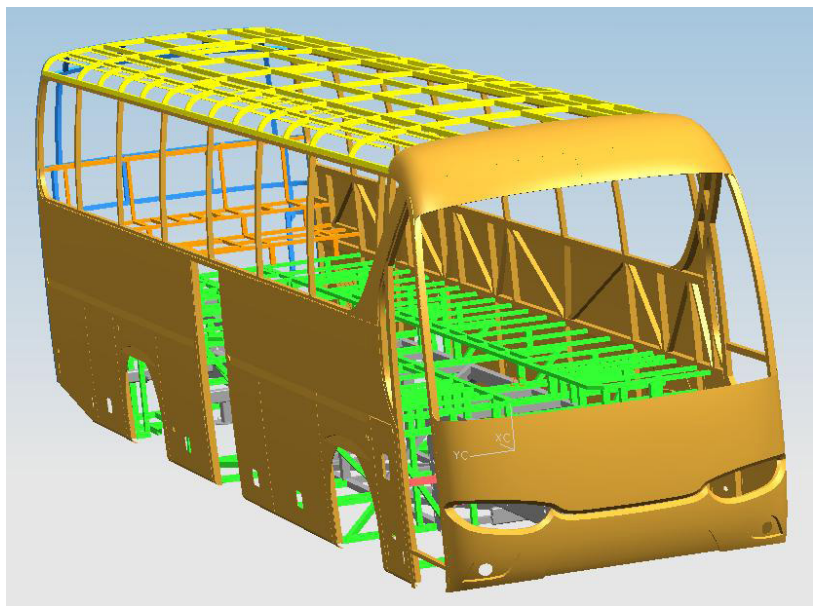


图 2-103 改进后的前桥车架模块

第 3 章

客车车身

蒙皮的设计理念



腻子量是评价白车身工艺水平的首要指标

3.1 客车车身蒙皮的设计原则



任何机械设计都必须遵循结构和工艺两方面原则，有的设计要工艺满足结构，有的则是结构要满足工艺。对于客车车身蒙皮而言，必须是结构要满足工艺，因此我们先说说客车车身蒙皮的工艺原则是什么？

我们知道客车车身工艺的难点之一是大尺度范围内如何保证蒙皮的平整度，如果车身蒙皮的平整度出现问题，现在最常见的解决办法是刮腻子，所以我们说：评价车身设计和工艺水平是看未进涂装的白车身，不是看从涂装出来的彩车身。

因此，大客车车身蒙皮的**工艺原则是：尽量减少腻子量。**

腻子不是必不可少，而是迫不得已的工艺手段。

减少腻子量的前提是车身外钣的表面质量好、缺陷瑕疵少，这反映在两个方面：

① 蒙皮零件自身的表面成形质量好，如由模具加工成形的肯定比手工成形的表面质量好。

② 蒙皮零件的装配方式也影响车身外钣的表面质量，如粘接的比焊接好、焊点隐藏的比焊点外露的好。再比如乘用车的车门，是由冲压成形的内外钣焊接而成，虽然门外钣本身的表面质量很好，但与内钣焊接时的焊点是否会影响外钣的表面质量呢？如果无法避免这种焊接缺陷，则在涂装外钣时必须使用腻子。

本着“尽量减少腻子量”这条工艺原则，再结合第1章中总结的骨架式客车车身的结构特点，我们给出大客车车身蒙皮的设计原则（即结构设计原则）如下：

- ① 蒙皮不承载。
- ② 尽量不采用大型冲压件蒙皮。
- ③ 毛边不外露。
- ④ 焊点不外露。
- ⑤ 能冷作不热作。
- ⑥ 避免连续焊接。

【蒙皮不承载】蒙皮不能作为承载结构，否则将使车身结构复杂化，得不偿失。虽然某些结构的侧蒙皮和顶蒙皮也能部分承载弯扭载荷，但也只能看作是蒙皮的“副业”，其“主业”仍是附着于骨架之上的装饰件。

【尽量不采用大型冲压件蒙皮】虽然冲压蒙皮的表面质量好，但在客车车身上我们仍然主张尽量不采用之，原因有以下三点：

① 从精度匹配角度讲，如果冲压模具的精度高则显得浪费，如果精度低则表面质量又不理想，这是冲压蒙皮与方钢骨架在装配工艺上的主要难点。

② 如果采用冲压蒙皮，则最好有包边工艺或翻边工艺，否则蒙皮的毛边必须在结构上能隐藏或另加遮盖物处理。乘用车冲压蒙皮的核心就在于包边工艺，尤其是其车身的开闭件，如果没有包边工艺，乘用车的车身工艺简直无法想像。而

客车的开闭件如行李舱门，由于不能采用冲压件包边工艺，则采用厚铝合金板或厚复合材料板材来解决毛边和平整度问题。

③ 客车不追求精准的外表曲线，某些在理论上有曲线造型的零件也可用直线替代，不影响装配和使用，从而降低制造成本。图 3-1 所示是一款公路客车的驾驶人窗下蒙皮，理论上应该有个侧弧曲线，但在这么短的高度尺寸上此曲线基本上接近于直线，因此该图正确画法是将侧弧处理成直线，那么此件就可用折弯这样简单的工艺来成形了。如果必须追求这个侧弧，那么这样小的弧面如何加工呢？采用冲压工艺？模具成本何时能收得回来？不采用模具冲压而用手工成形，那表面质量又如何保证？到最后又得用腻子来补救。

【毛边不外露】任何物料的裁切边都是毛边。毛边表现的缺陷在两方面，一是表面平整度变差，如毛边起波浪；二是毛边会影响防腐效果，如蒙皮的缝隙会淌黄水。

但我们认为薄板料的裁切边是毛边，而厚板料的则不是，因为厚板料的毛边不会起波浪，不影响平整度。

解决毛边的方法一是隐藏，二是遮盖。图 3-1 的蒙皮四周都有翻边，外露的只是光滑的工艺 R 角，这就是隐藏法。而遮盖法则是用外装饰件来盖住毛边。

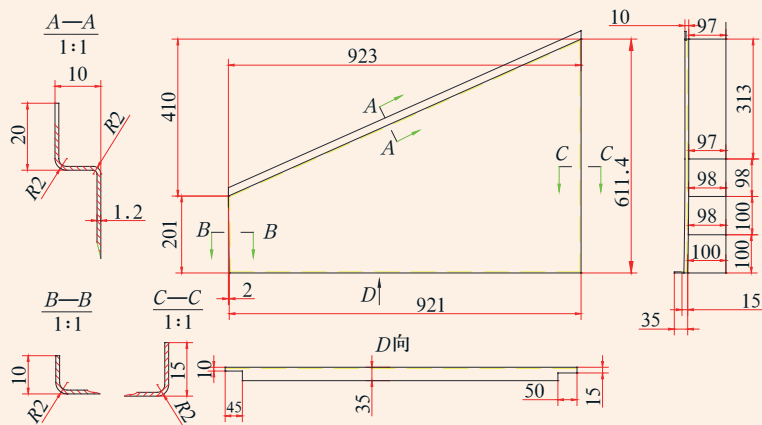


图 3-1 驾驶人窗下蒙皮的结构形式

客车车身蒙皮的平整度最难的地方是侧蒙皮，侧蒙皮最难处理的是如何开孔洞，如经常需要在侧蒙皮上开发动机进气口，此时的结构和工艺手法就会极大影响侧蒙皮的平整度。最常见的方式是用进气口罩板来遮盖孔洞的毛边，如图 3-2 所示，这种方式的缺点是蒙皮在开孔的周边也需要与骨架焊接或粘接，孔周边也使用少量的腻子，只是毛边被进气口罩板盖住了。

图 3-3 是 BENZ 的进气口结构形式，预先在侧蒙皮上冲压成形了进气口，既避免了毛边外露又增加了局部刚度，体现了很高的工艺水准。



图 3-2 发动机进气口的一种结构形式

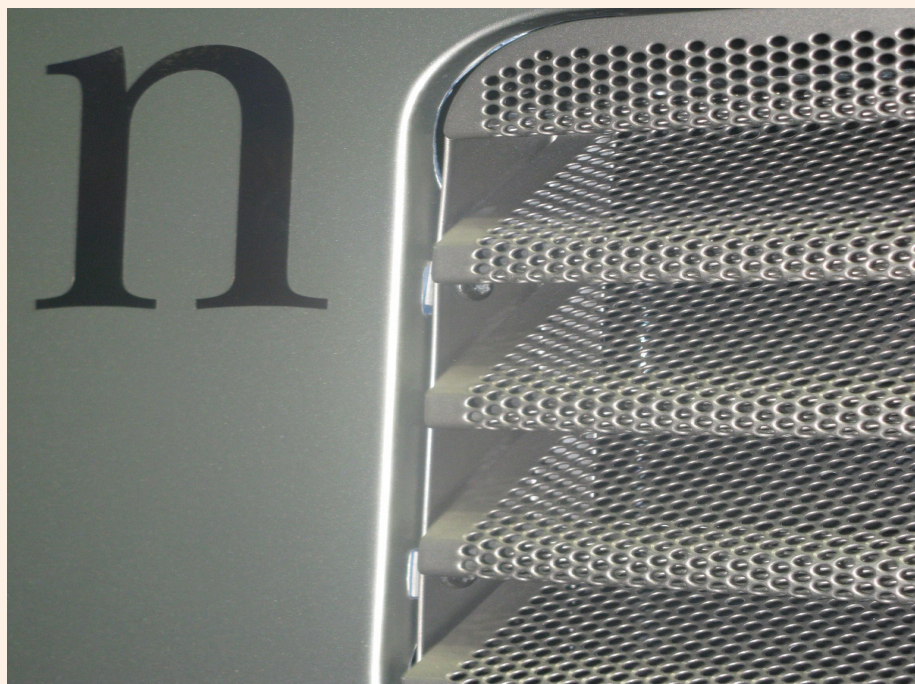


图 3-3 BENZ 侧进气口的结构形式

图 3-4 是最糟糕的处理方式，进气口罩板直接与侧蒙皮焊接，然后打磨、刮腻子。

为了避免在侧蒙皮上开孔，很多车型的发动机进气口干脆不开在侧蒙皮上，或在后围蒙皮上，或独立一块与侧蒙皮不相干。图 3-5 中的①是 NEOPLAN 做在后围蒙皮上的结构方式，②是 IVECO 的独立结构形式。



图 3-4 最糟糕的侧进气口的结构形式

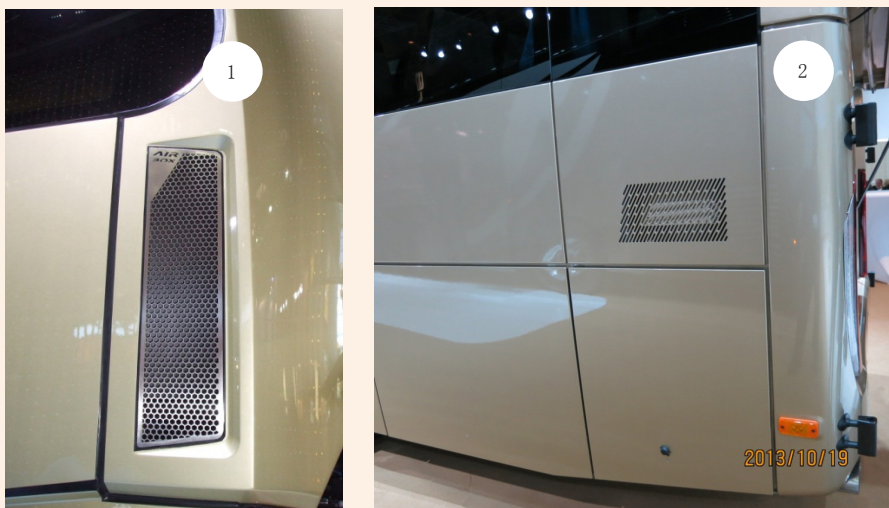


图 3-5 进气口与侧蒙皮分离

【能冷作不热作】能采用冷连接的，尽量不采用热连接。我们称螺栓连接、铆钉连接、粘接为冷连接，称焊接为热连接。焊接工艺不可避免地会引起变形和焊点瑕疵，除非能将焊点隐藏。螺接和铆接虽然不产生热变形，但必须将螺栓或铆钉隐藏，否则这种安装方式没太大的意义，这也是现今客车车身设计的基本理念之一：内外饰无钉化。而粘接则是车身外饰件的最好安装方式，尤其是尺寸、面积较小的外蒙皮构件，应首选粘接方式。如图 3-6 中①的侧造型蒙皮，它不与侧蒙皮焊接，而采用粘接方式来固定，而②的侧造型蒙皮则自成一體，不与侧蒙皮发生焊接。

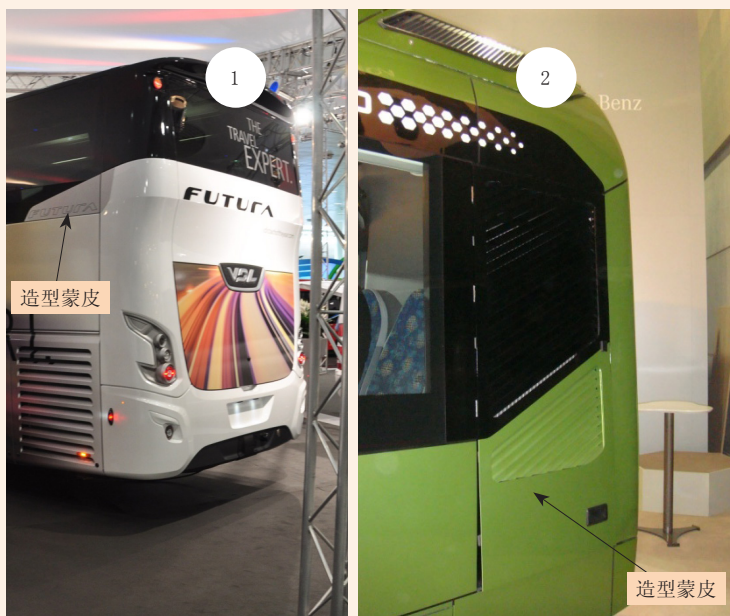


图 3-6 侧装饰蒙皮的粘接

【避免连续焊接】尽量不采用大长度、大面积的连续焊接。如果焊接不可避免，则尽可能采用定位焊、断续焊，不要采用连续焊接。尽可能使焊点隐藏，不外露。如图 3-7 所示，某车型侧蒙皮在后部设计有造型，而这块造型蒙皮不可能与主板侧蒙皮是整体结构的，此图中的这块造型蒙皮肯定与主板蒙皮采用了连续焊接，这样既破坏主板蒙皮的平整度，又要打磨、刮腻子，而且腻子量肯定不少。所以这种造型表面看个性十足，但看其未进涂装之前的白车身，肯定得不到高分。



图 3-7 不可取的侧蒙皮结构

而图 3-8 则是将造型蒙皮设计在后围蒙皮上, 由后围蒙皮整体成形。后围蒙皮与侧围主板蒙皮之间不采用焊接, 而是直接设计成结构胶缝。这是最合理的客车蒙皮结构, 设计理念就应如此。



图 3-8 可取的侧蒙皮结构

3.2 公路客车侧蒙皮的设计与工艺



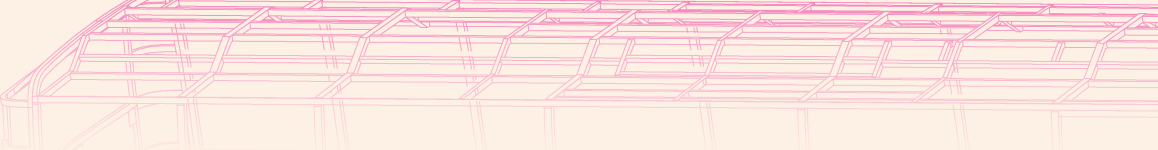
客车车身工艺最大的难点是如何保证大尺度蒙皮的平整度, 如侧围蒙皮和顶盖蒙皮。顶盖蒙皮由于往往不在人们的视线范围内, 故对其平整度不做严格要求。因此侧围蒙皮的平整度水平反映了车身的结构设计和工艺手段的最高水准, 是客车车身最精华的部分。

由于车型结构上的特点, 我们将分公路客车侧蒙皮和城市客车侧蒙皮两个小节来讨论。

公路客车又分为大型客车和中型客车两个类型, 而微型或轻型客车都是冲压车身, 不在本书的讨论内容之内。

【大型公路客车的侧蒙皮】从结构形式上可分为平板蒙皮、辊压蒙皮和型材蒙皮三种, 从安装方式上可分为焊接、粘接和铆接三种, 从材料上可分为冷轧钢板、铝合金板和和复合材料三种。表 3-1 是它们之间的搭配表, “7” 表示基本不可行





或不采用，“3”表示可行。

表 3-1 大型公路客车侧蒙皮的类型

蒙皮形式	蒙皮材料	安装方式			是否涨拉
		焊接	粘接	铆接或螺栓	
平板蒙皮	冷轧钢板	3	3（两端焊接）	3	3
	铝合金板		3（两端铆接或螺栓）	3	3
	复合材料	7	3	3	×
辊压蒙皮	冷轧钢板	3	7	3	3
	铝合金板	7	7	3	3
型材蒙皮	铝合金型材	7	3	3	7
	复合材料	7	3	3	7

1. 平板蒙皮

平板蒙皮主要以冷轧钢板为主，是最传统的钢车身蒙皮，早期的平板蒙皮还采用了铆接工艺，1990 年代以后改进为点焊（定位焊）工艺，再后来进一步出现了粘接工艺。平板蒙皮是定宽度尺寸的钢带卷料，经涨拉后两端焊接在车身骨架上，上下两边则是通过点焊或粘接固定于骨架上。

由于铆接安装的铆钉外露会影响车辆外观的美观度，平板涨拉蒙皮早已不采用铆接安装方式了，否则必须增加遮盖件以掩盖铆钉。而采用焊接的优点，一是作业效率高，二是焊点很容易用腻子遮盖。

涨拉是必不可少的工艺手段，目的是将后期使用过程中的蒙皮变形余量“拉平”，以保证其平整度。大尺度薄钢板的受力特性是宜受拉力不宜受压力，受压的结果是失稳，即蒙皮起皱，外观平整度不好。涨拉工艺就是要让薄板蒙皮始终处于受拉状态，始终处于绷紧状态，自然就不会起皱褶了。因此，也可以这样说，涨拉工艺也是一种迫不得已的工艺，不是先进得不得了工艺，那是因为人们解决不了大尺寸薄板蒙皮的起皱问题，才不得已而为之，不应该将其写进产品的宣传广告中。

图 3-9 是平板侧蒙皮的焊接结构，我们所说的侧蒙皮焊接或粘接是指上下两条边的固定方式，而其两端，不管是平板蒙皮还是辊压蒙皮，因为涨拉的原因，都必须焊接于车身骨架上，都不可避免地存在焊点外露，所以现在的钢结构客车身在理论上就做不到不使用腻子，只能追求尽可能少地使用腻子，而当今的乘用车可做到在理论上不使用腻子。

侧蒙皮的焊接采用的都是点焊，图 3-9 所示的装配结构，出现了焊点外露，所以在蒙皮的上下两条边都加装了装饰条来遮盖焊点。也经常不加装饰条，将焊点磨平、刮腻子再通过涂装面漆处理干净。而在蒙皮的中间部位则增加了一道蒙皮撑梁，蒙皮撑梁与侧蒙皮之间垫有海棉条，其目的是使蒙皮在上下方向上也能绷紧。

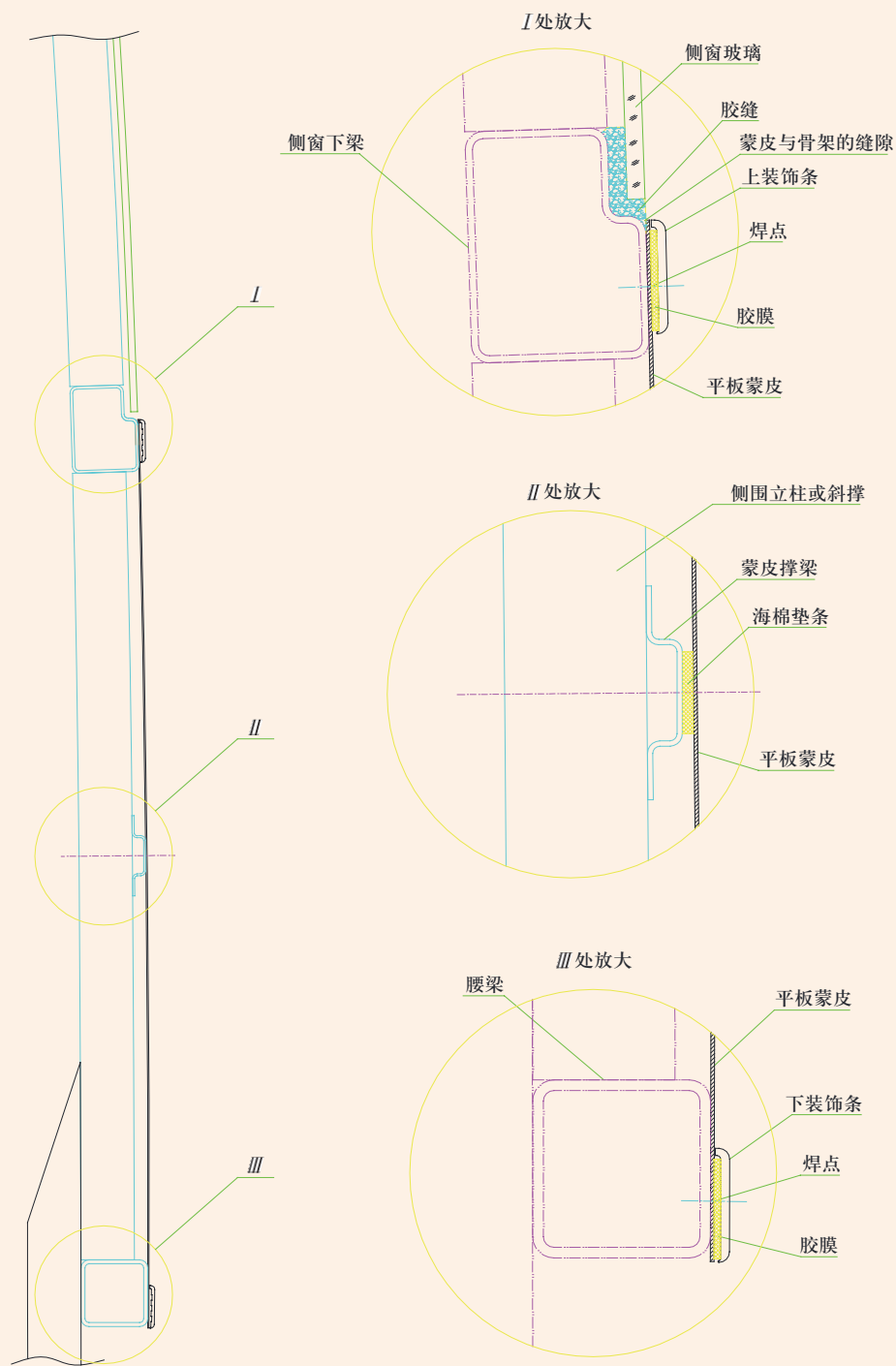


图 3-9 平板侧蒙皮的焊接结构

平板焊接蒙皮的最大缺陷是在蒙皮与骨架之间存在外露的间隙，尤其是在上端，由于不可能是连续焊接，这个间隙迟早会有进水的可能，因为腻子、胶、油漆层都迟早会开裂、老化。进水后的结果就是锈蚀、“淌黄水”。所以淌黄水现象不是防腐工艺不过关，而是结构使然。如果这个“蒙皮与骨架之间的外露间隙”存在，“淌黄水”就不可避免，即使是电泳车身也不可避免，因为电泳也不是百分百防腐。如果不存在这个间隙，就不会淌黄水，如粘接蒙皮和辊压蒙皮。因为粘接蒙皮不存在间隙、辊压蒙皮则是间隙不外露。

平板焊接蒙皮的上下两边是直接焊接在骨架上的，因此骨架的直线度水平就决定了侧蒙皮的平整度。以前的做法是侧窗下梁和腰梁都是前后贯通的整根管材，由于上部结构强度受标准 GB 17578—2013 的约束，侧围骨架大多数都采用了侧窗立柱直通到腰梁的结构，这使得侧窗下梁成为断开结构，此时的平板焊接蒙皮的平整度如何保证确实是个问题。

解决办法有如下两个：

① 侧窗立柱不通到底、侧窗下梁仍前后贯通，将侧翻结构处理成图 2-17 和图 2-18 的结构，即侧翻问题仅靠 B 柱和 C 柱解决。不过此法对于车型小的较容易，车越大越难。

② 侧窗立柱仍通到腰梁、侧窗下梁断开，此时在侧窗下梁外侧加垫一个 25mm×10mm 规格的前后贯通的过渡梁，如图 3-10 所示，即蒙皮与过渡梁焊接。

平板蒙皮最大的优点是表面平整度好，尤其是平板粘接蒙皮，由于是冷作连接，平整度更好，图 3-11 是平板侧蒙皮的粘接结构。粘接蒙皮一般不采用图 3-9 中的“蒙皮撑梁”，因为上下方向的绷紧会增加胶层的负担。通常的做法是在图 3-11 所示的侧窗下梁和腰梁之间的立柱和斜撑上也要打胶，所以粘接蒙皮一般都是接近于平面形的蒙皮，稍有弧曲的蒙皮不太适宜用粘接工艺。

由于胶缝是连续的，所粘接蒙皮的上下两边不认为是毛边。

粘接蒙皮的缺点是生产效率低、作业环境严。

粘接蒙皮的优点是设计满足 GB 17578—2013 要求强度的上部结构。

铝合金材料的平板侧蒙皮，现在已不多见，早期的 IVECO 大巴采用过，如图 3-12 所示，铝蒙皮板材厚度为 1.2mm，上下两边采用铝型材与车体固定，两端直接采用螺钉或铆钉固定，最后用外装饰件遮盖这些紧固件。铝蒙皮的优点是重量轻，如 IVECO 大巴的侧蒙皮，与钢板蒙皮相比单台车能减重 70kg。

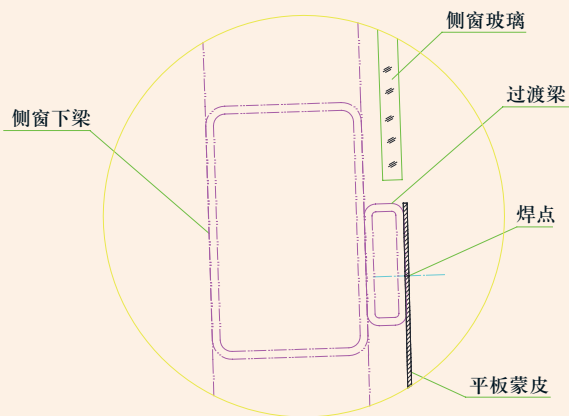


图 3-10 平板侧蒙皮的过渡焊接结构

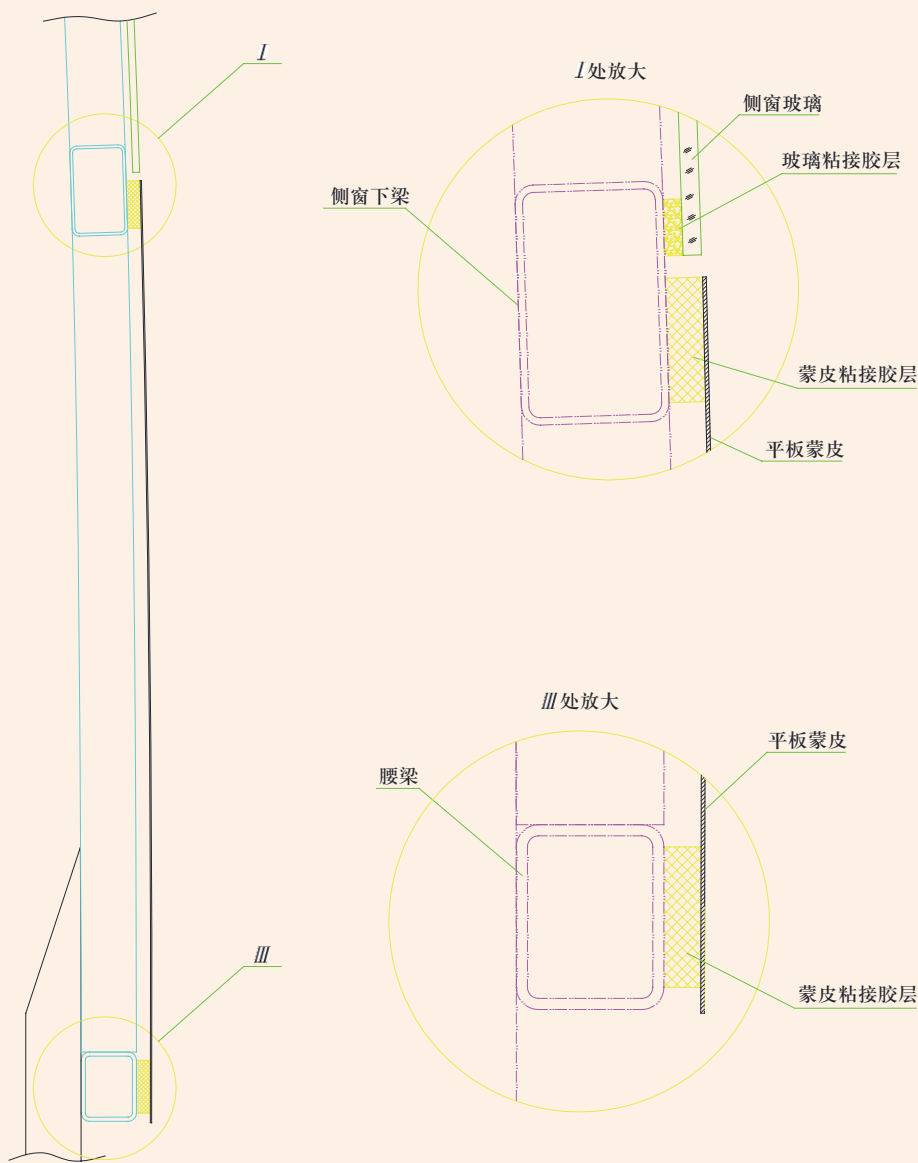


图 3-11 平板侧蒙皮的粘接结构

从工艺的角度看，不锈钢板与铝合金板是等价的，即也可将 IVECO 大巴蒙皮换成不锈钢板。

至于复合材料的平板蒙皮，应用的案例不多，目前使用的是树脂 + 纤维增强材料，常用的树脂有不饱和邻二甲酸聚酯树脂（UP）、乙烯基树脂（VE）、环氧树脂（EP）、甲基丙烯酸树脂（A）等，常用的纤维增强材料是玻璃纤维和碳纤维。

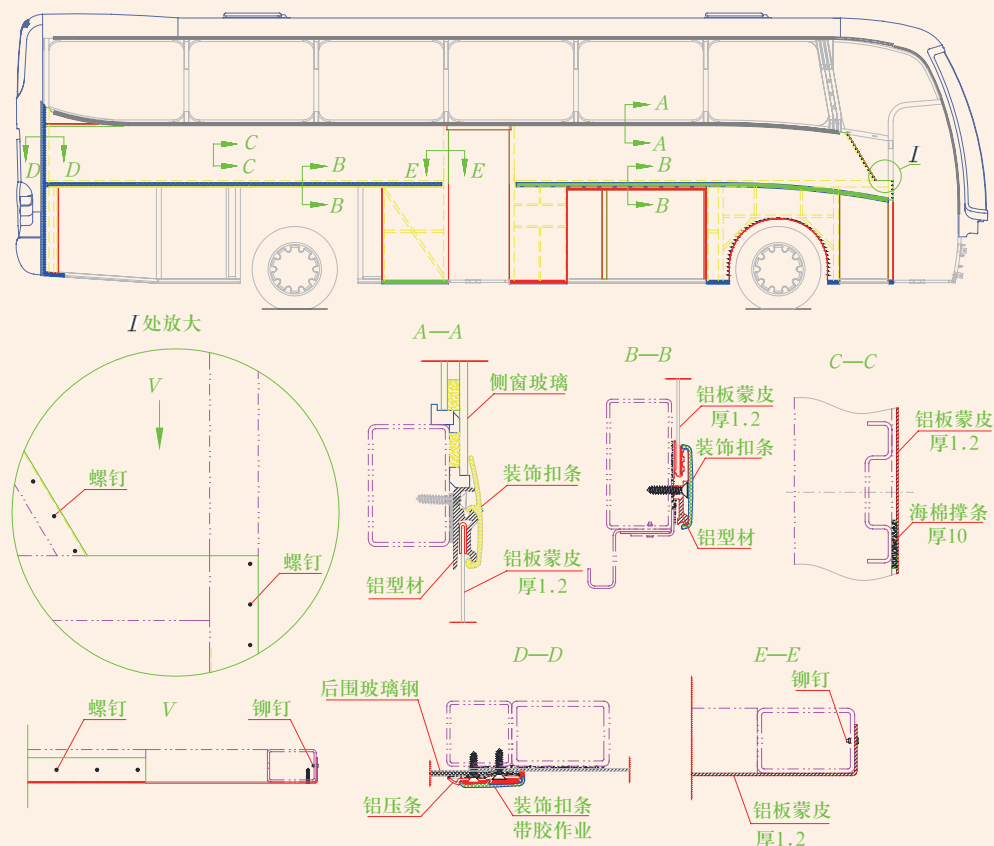


图 3-12 IVECO 大巴平板铝蒙皮安装平板结构

复合材料的侧蒙皮安装方式接近于铝蒙皮，不同的是复合材料蒙皮由于其延展性不好，故不宜采用涨拉工艺，即使涨拉，拉力也不能太大。

由于成本、工艺等多方面原因，与其采用复合材料侧蒙皮，倒不如采用铝蒙皮。

2. 辊压蒙皮

辊压蒙皮即成形蒙皮，是在侧蒙皮的上下两边轧制出翻边，既可避免平板焊接蒙皮的毛边，又比平板粘接蒙皮的生产效率高，并且辊压蒙皮的焊点或铆钉可以做到隐藏，经涨拉后，蒙皮的外观质量非常好。

辊压蒙皮是目前大中巴公路客车侧蒙皮的主流形式，工艺非常成熟，且能在蒙皮上设计造型。

辊压蒙皮的主要缺点是尺寸受辊机限制，宽度不能太宽。

相比于平板焊接蒙皮，辊压蒙皮对骨架平整度要求不严，同时也有利于侧窗立柱贯通到腰梁的结构设计，即有利于侧翻结构。

图 3-13 是辊压蒙皮的装配结构，蒙皮上端设计了斜面造型，上端的固定方式通常是焊接。中间要增加蒙皮撑梁，因为辊压后的蒙皮刚度增大，涨拉效果不如平板蒙皮，所以辊压蒙皮必须加撑梁。下端的固定方式采用焊接还是铆接要看设计要求而定，通常辊压蒙皮下端的结构形状要兼顾行李舱门的密封结构需要。

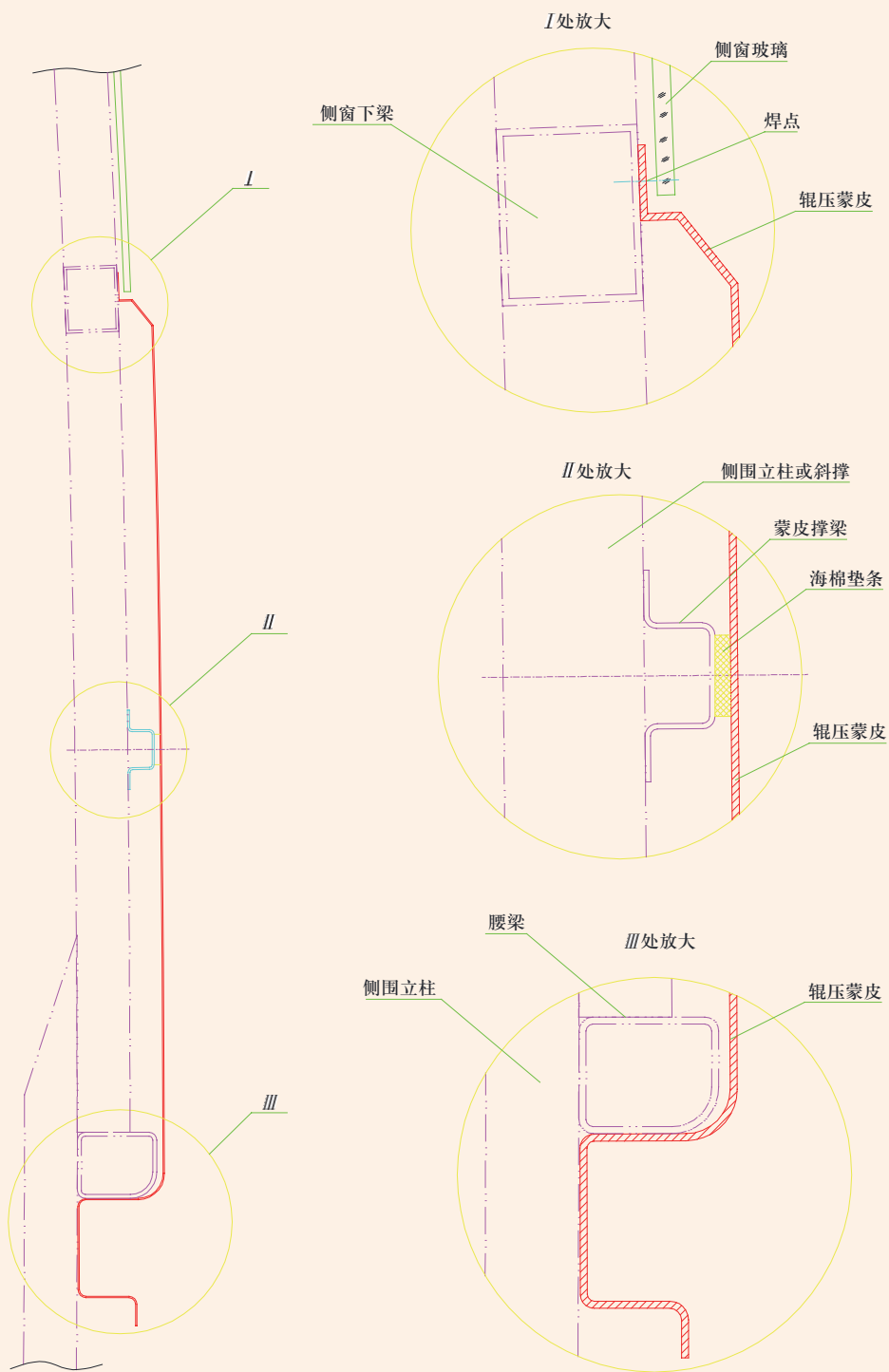


图 3-13 辊压蒙皮的装配结构

辊压蒙皮在客车车身上的应用具有革命性的意义，由于辊压工艺的简单性，使得在不采用冲压工艺的前提下，能很好地解决客车尤其是大型客车车身的外观质量，使得骨架式客车车身结构更加简单、更加合理。

3. 型材蒙皮

型材蒙皮有铝合金型材和复合材料挤出材两种，它们主要是通过料厚和构造来解决平整度问题。轻量化上比钢板蒙皮优势不大，随着辊压蒙皮的出现，现在已很少有大型公路客车采用铝型材蒙皮或复合材料蒙皮了，而在国外的某些城市客车上则有采用复合材料挤出材蒙皮的，其中原因将在下文中解释。

图 3-14 是一种旅游大巴的铝型材蒙皮的装配结构，其从上至下的装配关系对装配精度要求很高。

【中型公路客车的侧蒙皮】从结构形式上可分为平板蒙皮、辊压蒙皮、型材蒙皮和冲压蒙皮四种，前三种同理于前面讲过的大型公路客车的侧蒙皮，不再重复。在此想重点讨论中巴车型常遇到的冲压侧围蒙皮。

中巴车由于车型小、地板低，故在侧围裙边很少设置行李舱，其侧围若采用冲压蒙皮，一种形式是从侧窗到裙边整体式冲压件，但在前后方向由于尺寸太大，往往是分块的。图 3-15 所示是典型的 7m 考斯特冲压蒙皮，左侧侧蒙皮分为“侧蒙皮一”和“侧蒙皮二”两块。侧蒙皮二的尺寸是 3676mm×1037mm，A—A 剖视给出了其侧蒙皮的形状细节。这样大尺寸的薄板蒙皮虽然冲压有沟槽和弧面，但这种冲压仍是浅冲压，整体刚度仍显不够，且冲压蒙皮不能涨拉，只能在四边与骨架焊接，其结果是蒙皮的平整度较差，蒙皮装车后松松垮垮，解决的办法是在蒙皮内侧加支撑物。不管是骨架结构的考斯特还是全冲压结构的考斯特、不管是原装进口还是国产的考斯特，概莫能外。原因就是这种大尺寸的浅冲压薄板蒙皮的刚度差，不足以支持设计上所要求的几何形状，与工艺无关。解决此问题的最好办法是化整为零：缩小蒙皮尺寸以提高其刚度。但不能在前后方向上增加分块数，因为前后块与块的对接也是个难题。而是上下分块：上块改为辊压蒙皮，下块改为冲压，并且可根据设备舱的布置采用分块冲压件。如图 3-16a 所示，在上下两块侧蒙皮之间留有宽 10～12mm 的胶缝隙来遮盖螺钉。但考斯特的侧蒙皮上部的造型弧度较大，改为辊压件，其涨拉后如何做出这个曲线也很难。最理想的做法是将侧蒙皮的上部曲线设计得平直些，如图 3-16b 所示，这是另一个中巴车型的侧蒙皮结构，其上段蒙皮可以是辊压涨拉，但其上下蒙皮之间采用了对焊方式，且焊点外露，焊后需磨平并大量刮腻子，这是最不可取的设计方式。而图 3-16c 所示的结构则不同，其上下蒙皮之间设计了宽 50mm 的结构槽，上下蒙皮均采用辊压件，在沟槽处的焊点不需打磨，只要加装一个铝型材的装饰件来遮盖焊点即可，这是最合理的结构设计方式。

辊压侧蒙皮也可采用铝合金板，安装方式是铆接或螺接，蒙皮的两端必须采用外装饰件来遮盖铆钉或螺钉。但辊压铝蒙皮应用不多，原因是与其采用辊压蒙皮，倒不如采用铝型材蒙皮。

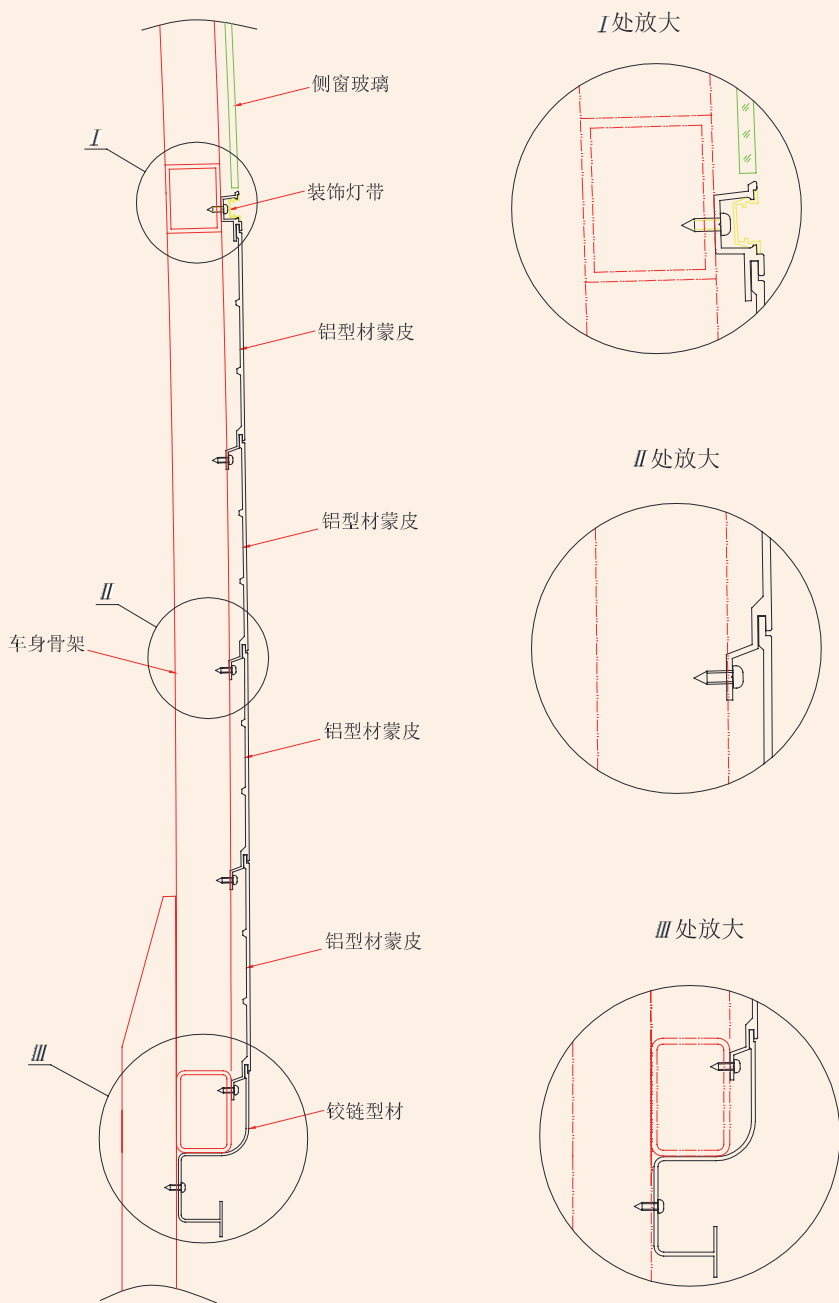


图 3-14 铝型材蒙皮的装配结构

图 3-17 是一款全冲压结构的考斯特实车照片，为了实现侧蒙皮的平整度，在蒙皮内侧加装了两道贯通前后的撑梁（图中仅显示了一道），且撑梁与冲压骨架之间通过弹簧钢片来实现始终撑紧的状态，但即使这样，在个别地方还使用了木块来塞紧，可见为使蒙皮达到一个理想的外观效果，在工艺上是多么难啊。

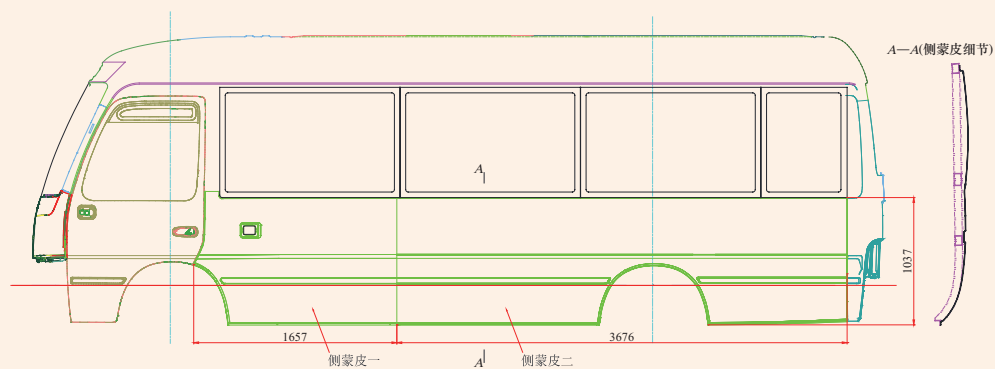


图 3-15 考斯特的冲压侧蒙皮

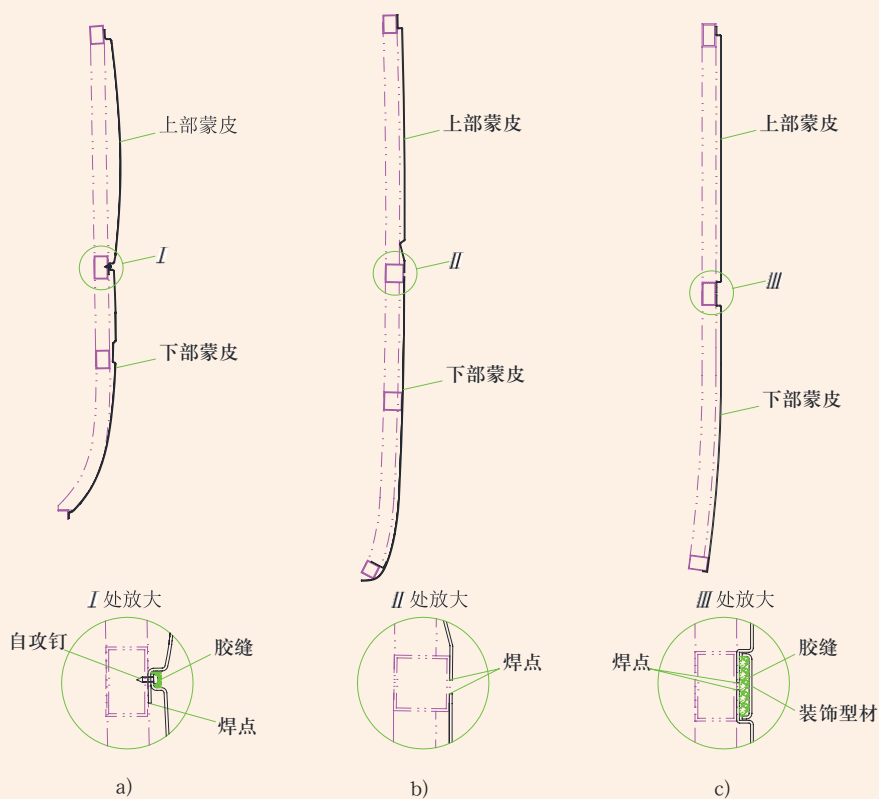


图 3-16 冲压侧蒙皮的分块方式

设计方案的选择取决于我们信奉什么样的设计理念和工艺理念。

冲压侧蒙皮的难点不是如何加工大型的冲压模具，不是如何保证加工精度，而是这种大型薄板冲压件在装配后如何保证平整度。客车的侧围蒙皮不可能是深冲压件，而大型浅冲压件的自身刚度是无法保证的，且装车时又不能涨拉，所以客车的大型冲压侧蒙皮的平整度在理论上就是无解的。

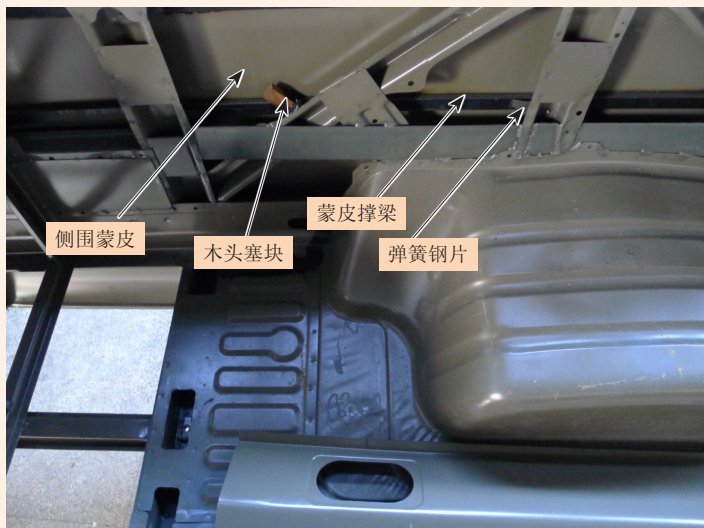


图 3-17 全冲压车身的考斯特侧蒙皮装配方式

回过头来再看大型公路客车，由于造型、使用和功能上的因素，其侧围从上到下依次是侧窗玻璃、侧蒙皮和侧行李舱门。玻璃和行李舱门由于都是厚材料，所以它们的自身刚度不存在问题，也就不存在表面平整度问题。而剩下的侧蒙皮宽度已经较小了，很少超过 800mm，且采用了辊压工艺后，现今的大型公路客车侧蒙皮的平整度都得到了很好的解决。

而中巴车由于裙边不设置行李舱，想要将侧蒙皮从上至下一通到底，结构上看似简单，但在工艺上却无法保证这种大型蒙皮的平整度。

所以说，结构简单未必工艺简单。设计的目的是使工艺至简！客车车身侧蒙皮就是结构简化和工艺简化不能兼得的典型例子。

为使工艺简化，增加结构上的复杂性是合理的。如将一块蒙皮分为上下两块，虽然结构上复杂了，但却很好地解决了蒙皮的平整度问题。

想想看，如果大型公路客车不要侧窗玻璃、不要侧行李舱门，整车侧面全采用蒙皮结构，这样的车身侧蒙皮该如何设计？用整张蒙皮从顶盖一直蒙到裙边？且不说有无这样宽的蒙皮，想想看这样的蒙皮做出来后会是什么外观效果？

所以，大型公路客车现在的结构布局状态是造型、功能、结构和工艺最完美的结合。比如：当今客车的侧窗玻璃都是直角窗，玻璃+胶缝能将窗立柱完全盖住。而老式的客车其侧窗玻璃四角都是圆角，那么在圆角处侧窗不能盖住窗立柱，如图 3-18 所示。那么想想看，在侧窗圆角处（蒙皮死角）侧蒙皮与窗立柱是什么关系？此处的蒙皮结构应该是什么结构？可以肯定地说，在这个地方任何结构、任何工艺都是无能为力的。所以说，客车的直角侧窗造型，不应总单纯地认为是造型发展趋势使然，更主要的原因很可能是蒙皮的工艺要求使然。只有采用直角窗，才能遮盖住这种蒙皮死角。



图 3-18 老式的客车造型

从中巴车型的侧蒙皮问题来看，客车车身的设计理念是尽可能不采用冲压蒙皮。乘用车冲压蒙皮的核心点是有包边工艺，包边的目的是一是解决毛边，二是增加刚度。

而客车是否能采用包边工艺取决于包边后的蒙皮件与骨架的匹配精度，因为包边后的零件刚度提高很多。如果蒙皮与骨架在装配时出现误差，是修整蒙皮还是修整骨架？要知道包边后的蒙皮是不能修整的。

如果不能采用包边工艺，则必须采用翻边结构，就是说毛边必须隐藏。如果客车车身的冲压件没有翻边结构，那么这样的零件都是毛坯料，所以说客车的冲压件同乘用车的冲压件有着本质区别。

3.3 城市客车侧蒙皮的设计与工艺



在第2章里我们从骨架设计的角度来看，城市客车的造型是方基调的。现在进而从蒙皮设计的角度来看，城市客车的造型也应是方基调的。

由于城市客车的地板要尽可能低且在裙边不宜设置设备舱门，城市客车的侧蒙皮大多采取从侧窗下沿到裙边一通到底的整张蒙皮结构。这种侧蒙皮的宽度都很宽，至少都在1000mm以上。由上节可知，这么宽的蒙皮很难保证其平整度。

表3-2是我们尝试着给城市客车侧蒙皮总结的一个结构类型表，表面上看与表3-1区别不大，但在具体的工程表现上却大相径庭。

表 3-2 城市客车侧蒙皮的类型

蒙皮形式	蒙皮材料	安装方式			是否涨拉
		焊接	粘接	铆接或螺接	
平板蒙皮	冷轧钢板	3	3（两端焊接）	3	3
	不锈钢板	7	3（两端铆接或螺接）	3	3
	铝合金板	7	3（两端铆接或螺接）	3	3
辊压蒙皮	冷轧钢板	3	7	3	3
	铝合金板	7	7	3	3
型材蒙皮	铝合金型材	7	3	3	7
	复合材料	7	3	3	7

1. 平板蒙皮

常见的材料有冷轧钢板、不锈钢板、铝合金板三种。

钢板蒙皮的安装方式有焊接和粘接两种，它们的优缺点同前面介绍的大型公路客车。

在国内大都采用焊接工艺，欧洲主流厂商则采用粘接工艺。图 3-19 所示为 MAN 公司公交侧蒙皮粘接，整张侧蒙皮粘接定型后，所有的轮孔、设备舱洞孔都是现场开制的，如图中的轮孔处的翻边和舱门处的翻边，都是现场手工成型的，操作者的手艺决定了后续使用腻子量的多少。



图 3-19 MAN 的公交侧蒙皮粘接

像城市客车这种大尺度的平板侧蒙皮是如何保证平整度呢？主要措施如下：

① 必须涨拉。

② 尽可能缩小侧蒙皮宽度，蒙皮尺寸越小，平整度越易保证。

③ 侧围曲线越平直越好，但还不能是绝对平，应是那种略微拱起的小弧度，使蒙皮在涨拉后在上下方向能产生一种绷紧的趋势。侧围在裙边的任何变曲率的、带圆角的造型都会增加侧围蒙皮的工艺难度。所以说城市客车的造型必须是平直方正的，否则必须考虑改变工艺手段。

即使注意了上述三点问题，这种大尺寸的薄板蒙皮也是很难保证平整度的，如骨架的加工水平也会影响蒙皮的装配水平。为解决零件的刚度低问题，一个办法是缩小零件尺寸，即化整为零。图 3-20 所示是 SOLARIS 的城市客车侧蒙皮结构：上部是整体涨拉粘接蒙皮，是不锈钢材质的；下部是分块粘接蒙皮，是铝合金板材质的。图 3-21 是其施工现场图片，上部的不锈钢蒙皮已经粘好，图中的两个工人正在施工下部蒙皮，一个在打胶，一个拿起蒙皮准备粘接。

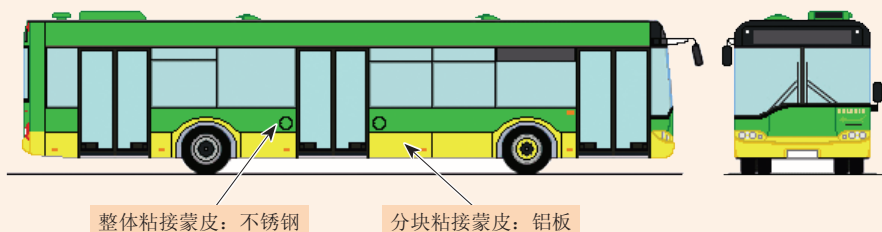


图 3-20 SOLARIS 的公交车侧蒙皮



图 3-21 SOLARIS 的公交车侧蒙皮施工现场

图 3-22 是 SOLARIS 的城市客车实车照片。

采用不锈钢或铝合金蒙皮粘接时，必须解决蒙皮两端的固定方式，例如：如果采用铆钉固定，那么应注意遮盖铆钉头。

不锈钢和铝合金侧蒙皮的最佳应用案例是图 3-22 所示的 SOLARIS 的城市客车。



图 3-22 SOLARIS 的城市客车实车照片

图 3-23 则是早期的 IVECO 城市客车铝合金板侧蒙皮的安装结构，板材厚度为 1.2mm、蒙皮宽度为 985mm，蒙皮在裙边处预先做了折边。

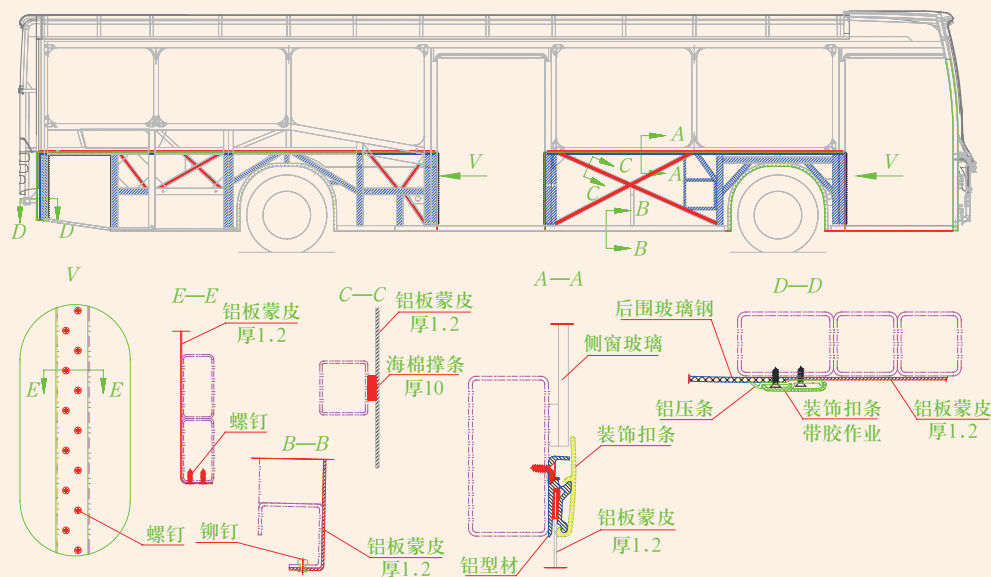


图 3-23 早期的 IVECO 城市客车铝合金板侧蒙皮

2. 辊压蒙皮

优点是能避免毛边和焊点外露问题，但在城市客车上很少采用，原因如下：

- ① 大尺寸的辊压件对机台的要求也较高。
- ② 大尺寸的辊压件平整度效果与平板蒙皮差别不大。

③ 由于轮孔、设备舱等原因，成型后的辊压蒙皮也要被切割改制等以进行二次成型，失去了成型件的意义。

图 3-24 是一款城市客车的辊压侧蒙皮结构，其仅在上端轧制了一个 7mm 的翻边，下端的弧造型是单独成型的，未与侧蒙皮整体成型，且采用了对焊方式，焊点外露。焊后会产生很大的打磨工作量和大量的腻子，此种结构是我们所不提倡的。最好的方式是侧蒙皮一通到底，再在裙边加装一个铝型材装饰条。

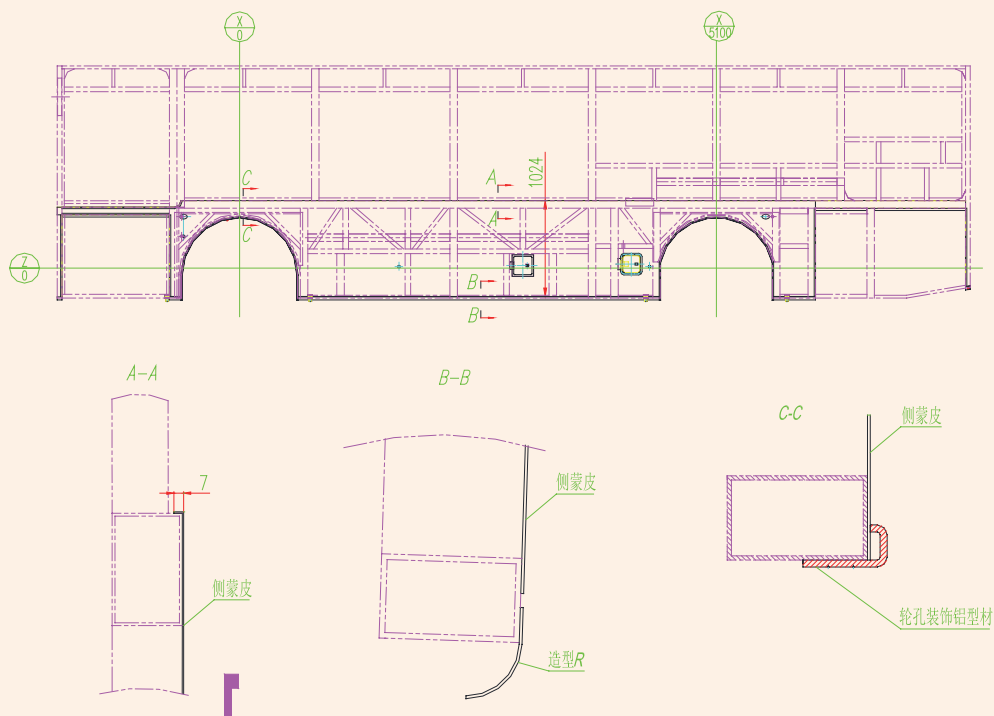


图 3-24 一款城市客车的侧辊压蒙皮结构

综合来看，城市客车的平板侧蒙皮和辊压侧蒙皮各有优点和缺点，如果仅仅局限于钢板材料或铝板材料的侧蒙皮，就目前的工艺习惯来说，最易满足平整度的侧蒙皮方案上下分块结构：上部是辊压涨拉焊接或铆接蒙皮，下部是分块粘接蒙皮。我们目前普遍采用的整体平板涨拉焊接方式，主要是工艺习惯决定的，其次是成本因素决定的。而这种以手工操作为主的工艺方式，其产品的质量取决于工人的手艺水平。而当今是一个缺乏能工巧匠的时代，这种产品结构只能使我国的城市客车车身水平长期在低水平上徘徊不前。而在欧洲，为解决城市客车侧蒙皮问题，现在已普遍采用成型蒙皮，尤其是复合材料蒙皮。

3. 型材蒙皮

型材蒙皮有铝合金型材和复合材料两种。

铝合金型材主要应用在全铝车身上，在此不多讲述。图 3-25 所示是一种城市客车用的铝合金型材侧蒙皮，其特点是宽度尺寸较大。但料厚 3mm 的设计，使得它比钢板蒙皮还要重，从轻量化的角度来说，全铝的城市客车侧蒙皮，倒不如采用图 3-23 的 IVECO 侧蒙皮结构。

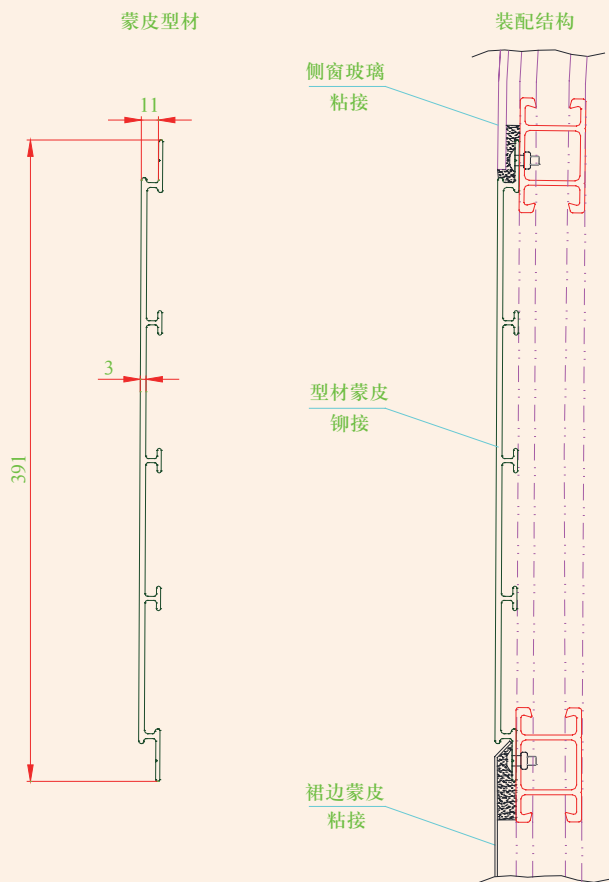
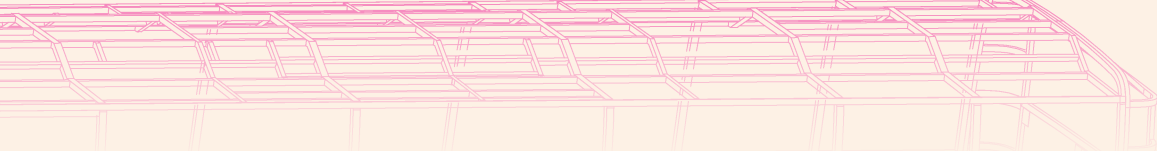


图 3-25 一款城市客车的铝合金型材蒙皮

复合材料侧蒙皮近来在欧洲城市客车上被广泛采用，有挤出型材和模压件两种。

复合材料的组成是树脂 + 纤维增强材料，常用的树脂有不饱和邻二甲酸聚酯树脂（UP）、乙烯基树脂（VE）、环氧树脂（EP）、甲基丙烯酸树脂（A）等，常用的纤维增强材料是玻璃纤维和碳纤维。其优点是成型效率高、表面质量好、质量轻。

作为城市客车复合材料侧蒙皮的例子，图 3-26 是几种断面的复合材料挤出材，图 3-27 是两种形状的复合材料模压件。而图 3-28 则是复合材料挤出材的再加工件。

由于不能涨拉，复合材料侧蒙皮的结构都是



图 3-26 几种断面的复合材料挤出材

分段安装的，采用粘接或铆接。图 3-29 和图 3-30 是 BENZ 的 CITARO 公交车侧蒙皮分段结构。由于可分段采用模压件，其侧窗下沿不再设计成直线，而是呈波浪起伏，这给造型带来了方便。



图 3-27 两种形状的复合材料模压件

由于是分段结构，相当于化整为零，减小了零件尺寸，同时在零件上可实现筋、槽等结构，这些因素都使侧蒙皮的刚度有所增加，从而保证了蒙皮的平整度。

所以说城市客车最能代表客车的技术水平，一是骨架的力学结构，二是蒙皮的工艺结构。

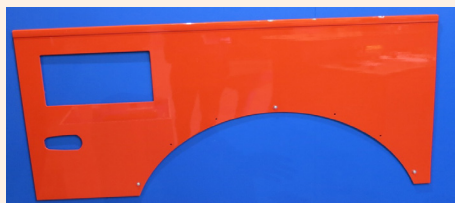


图 3-28 复合材料挤出材的再加工件



图 3-29 BENZ 的公交车侧蒙皮分段结构（一）

欧洲客车的设计理念，是蒙皮已不再是结构件，而是装饰件。侧蒙皮甚至不

需在涂装之前安装，完全可以在总装之后安装。这再次佐证了大客车车身结构的一大特点是：骨架负责承载，蒙皮不承载，只是装饰件。

如果说城市客车比公路客车难，那么城市客车的侧蒙皮比公路客车的侧蒙皮更难。以这种眼光来看，IVECO 现在的城市客车车身水平应当是最高的。图 3-31 和图 3-32 所示为 IVECO 公交侧蒙皮结构，图 3-33 是图 3-32 中①处的细节放大。能想像出这是什么材料的蒙皮吗？关键是图 3-33 中所显示的那道沟槽是如何做到的。这是工艺还是手艺？但在此处看，手艺的成分还是有的。有个词叫“巧夺天工”，我想用到此处是再恰当不过了。



图 3-30 BENZ 的公交车侧蒙皮分段结构（二）



图 3-31 IVECO 的公交车侧蒙皮分段结构（一）



图 3-32 IVECO 的公交车侧蒙皮分段结构（二）



图 3-33 IVECO 的公交车侧蒙皮细节结构

3.4 前后围蒙皮的设计与工艺



客车的前后围蒙皮仍然是工艺决定结构，既然目前在前后围上广泛使用玻璃钢和钢板两种材料，那么这两种材料的前后围蒙皮的工艺和结构也有所不同。

前后围的工艺不是平整度问题，而是加工基准如何选择的问题。

前面说过，大客车车身的工艺特点之一是“以骨架为基准反求内外”，这实际上就是对客车前后围蒙皮及前后风窗玻璃的工艺总结。

任何批量制造的机械产品。必须具备两个性能：互换与协调。

互换指的是独立制造的零件（组件、部件），装配时无需补充加工，就能满足使用要求；亦即同类零件可互相代替，装配时不需任何修配，即可保证产品性能。最典型的例子是标准件。

协调是指两个相互装配的零件（组件、部件）之间，其配合部位的几何形状和尺寸的相符合程度。

值得说明的是：互换是指同一种工件之间的一致性，它通过控制制造误差来达到。协调是指相配合工件之间配合尺寸、形状的一致性，它既可以通过控制制造误差来达到，也可以通过修配来达到。

拿前后围蒙皮和骨架的装配关系来说，互换是指蒙皮与蒙皮之间或骨架与骨架之间的一致性，协调是指蒙皮和骨架之间的装配吻合性。

蒙皮或骨架的一致性不难解决，如蒙皮由模具成型、骨架由工装装配。但往往蒙皮或骨架依图纸检验都合格时，在装配时却不能顺利装配。

实际上，零件的一致性考验的是制造准确度，装配的协调性考验的是协调准确度。

制造准确度是指产品的实际尺寸与图纸上要求的名义尺寸相符合的程度，符合程度越高，则制造准确度越高，亦即制造误差越小。它只与各零件本身的制造过程有关，取决于零件单独制造过程中的误差。

协调准确度是指两个互相配合的零部件之间相配合部位的实际几何形状及尺寸相符合的程度，这种符合程度越高，则协调准确度越高，亦即协调误差越小。它与两个零件的制造过程有关，取决于两个零件单独制造过程中的误差综合。

对于汽车、飞机等这些复杂的机械产品，对协调准确度的要求比对制造准确度的要求要高得多。

零件A与零件B要能顺利装配，必须满足一定的协调准确度。

那么如何保证协调准确度呢？

零件的产生过程其实是尺寸的传递过程，如在车身零件的制造过程中，其几何形状和尺寸的形成，都是根据图纸所确定的理论形状和尺寸，在产生中通过一定的量具、检具、工装、模具等手段而获得的。图3-34是一个典型的客车车身用的双弧杆件，其成品零件是通过图纸→样板→检具→弧杆件这几个步骤来完成

的，那么由图纸到成品件的尺寸传递过程也是“图纸→样板→检具→弧杆件”的这样一个过程。

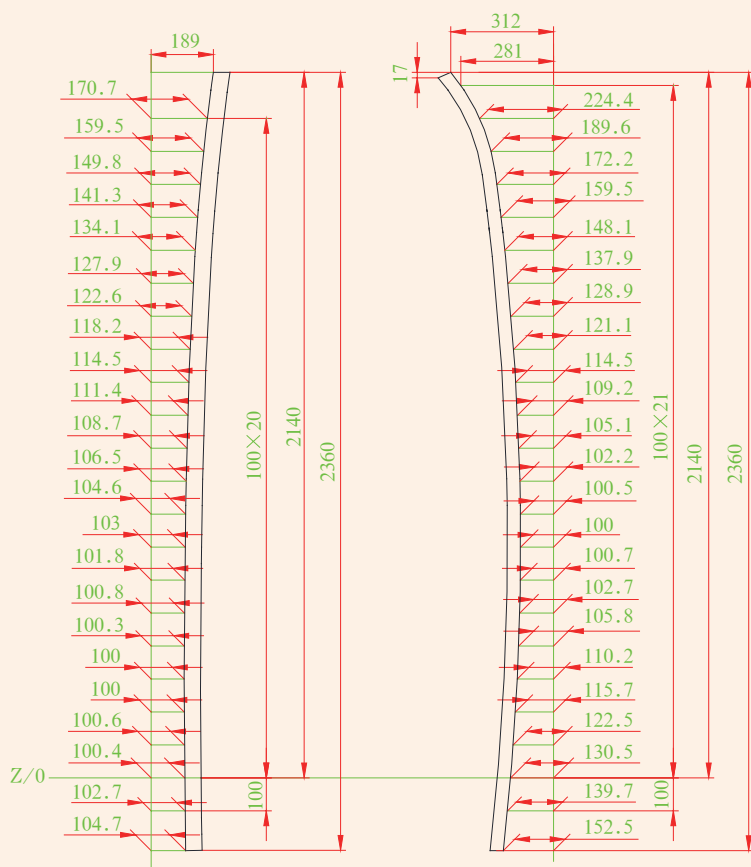


图 3-34 典型的双弧杆件

每一个加工过程也是尺寸“移形”过程。

要使两个相互装配零件的同名尺寸相互协调，它们的尺寸传递之间就必然存在一定的联系。如图 3-35 所示，零件 A 和 B 是要相互装配的， L_A 和 L_B 是协调尺寸，在加工过程中，经过多次的尺寸传递，既包括两个尺寸的公共环节，也包括两个尺寸的各自环节。

图 3-35 中的 L_{01} 相当于最原始的加工依据，如工程图纸或数字模型。从最初的图纸或数模到最终的成品零件，A 和 B 经历了许多加工步骤，每一个步骤都是尺寸的移形传递过程。这其中既有相同的移形过程，又有不同的移形过程。零件 A 或 B 最终同图纸或数模的误差取决于每一个移形步骤的加工精度，即各加工步骤的累积误差就是单个零件的制造精度。

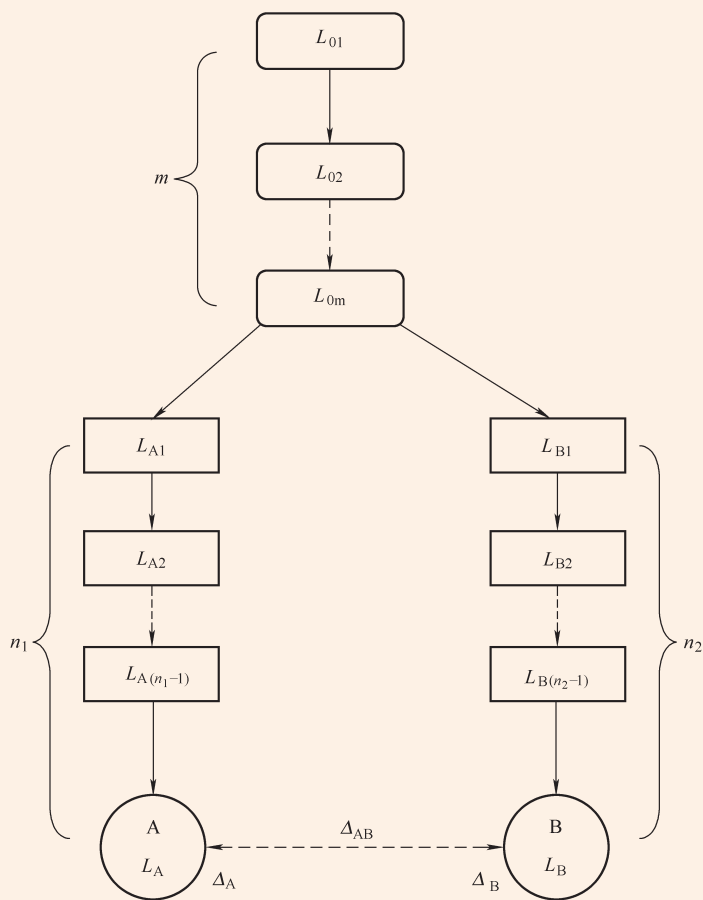


图 3-35 尺寸 L_A 与 L_B 的制造与协调路线

Δ_A 、 Δ_B ——A、B 零件的制造误差；

Δ_{0i} ——第 i 个共同环节的制造误差；

Δ_{Aj} ——A 零件单独制造的第 j 个环节的制造误差；

Δ_{Bk} ——B 零件单独制造的第 k 个环节的制造误差；

m ——尺寸传递过程中共同制造环节的总数；

n_1 ——A 零件尺寸传递过程中单独制造环节的总数；

n_2 ——B 零件尺寸传递过程中单独制造环节的总数。

那么零件 A 和 B 的最终制造误差分别是

$$\Delta_A = \sum_{i=1}^m \Delta_{0i} + \sum_{j=1}^{n_1} \Delta_{Aj}$$

$$\Delta_B = \sum_{i=1}^m \Delta_{0i} + \sum_{k=1}^{n_2} \Delta_{Bk}$$

那么决定 A 与 B 能否顺利装配的协调误差为：

$$\Delta_{AB} = \Delta_A - \Delta_B = \sum_{j=1}^{n_1} \Delta_{Aj} - \sum_{k=1}^{n_2} \Delta_{Bk}$$

可见 L_A 和 L_B 的协调误差 Δ_{AB} 是在各自的非公共环节过程中产生的。
用联系系数 k 来表示零件 A 和 B 在尺寸传递过程中的联系紧密程度:

$$k = \frac{2m}{n_1 + n_2}$$

若 $m=1$, 即两个零件在尺寸传递过程中只有一个共同环节, 此时 k 值最小, 相当于 A 与 B 各自独立制造;

m 逐渐增大, k 值也逐渐增大, A 与 B 的尺寸联系越加密切;

$n_1=n_2=1$ 时, k 值最大, 此时表明 A 与 B 是现场配装, 协调性最佳。

基于上述分析, 在制造过程中取得 L_A 和 L_B 两个协调尺寸的过程可采用三种不同的加工原则: 独立制造原则、相互联系制造原则和相互修配制造原则。

为解决客车的前后围蒙皮与骨架的装配协调准确度问题, 我们试着用上述这三个原则逐一分析前后围蒙皮和骨架的制造工艺问题。分析过程并不区分是玻璃钢材料还是钢板材料, 但对传统加工方式和数字加工方式做了对比。

传统加工方法是指手工样板、手工检具、手工模具这样的制造手段, 其特点是工艺步骤多、制造精度低。

数字加工方式是指以数字模型为加工依据、采用数控加工设备来生产制造零部件, 其特点是工艺步骤可减少, 更重要的是加工精度高。

【独立制造原则】采用独立制造原则时, 相当于蒙皮和骨架各自按工程图纸或数字模型制造。以下称工程图纸是“2D drawing”或“2D”, 称数字模型是“3D model”或“3D”。

我们将采用独立制造原则时前围蒙皮与前围骨架的两种加工方式的误差分析列于表 3-3。

表 3-3 采用独立制造原则时前围蒙皮与骨架的两种加工方式误差分析

方法 1: 传统加工方法		方法 2: 数控加工方法	
前围蒙皮 (L_A)	前围骨架 (L_B)	前围蒙皮 (L_A)	前围骨架 (L_B)
蒙皮图纸 ↓ δ_1 蒙皮样板 ↓ δ_2 蒙皮模型 ↓ δ_3 蒙皮检具 ↓ δ_4 蒙皮模具 ↓ δ_5 蒙皮	骨架图纸 ↓ Δ_1 弧杆件样板 ↓ Δ_2 弧杆件检具 ↓ Δ_3 焊胎检具 ↓ Δ_4 焊胎 ↓ Δ_5 骨架总成	蒙皮数模 ↓ δ_1 蒙皮模具 ↓ δ_2 蒙皮	骨架数模 ↓ Δ_1 弧杆件样板 ↓ Δ_2 弧杆件检具 ↓ Δ_3 焊胎检具 ↓ Δ_4 焊胎 ↓ Δ_5 骨架总成
$\Delta_{AB} = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5) - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5)$		$\Delta_{AB} = (\delta_1 + \delta_2) - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5)$	

表 3-3 只是大致罗列了两种加工方法的工艺步骤，我们可以总结如下：

① 传统加工方法移形步骤多、移形误差大，比如其样板、检具、模具都是手工加工的，这种情况下各自按图纸制造的蒙皮和骨架是很难装配起来的，可以说是不可能的。这种制造方法加工出来的蒙皮与骨架是“分道扬镳”的。不要责怪操作者做不准，它根本就做不准。这就是玻璃钢为什么不能按图纸加工的根本原因，不是图纸不准，而是按图纸做不准。

② 数控加工方法，蒙皮由数模到成品的移形步骤大大简化，且移形精度也高，因此蒙皮相对于数模的准确度是有保障的。而骨架的移形步骤虽然同传统加工方法差不多，但其移形精度要比传统方法高得多。比如其样板、检具都是由数控加工而来，加工精度高，甚至焊胎也可由数控加工来制造。所以，采用数控加工方法的蒙皮和骨架是有可能装配起来的，关键在于骨架的制造精度。因为虽然骨架的移形精度高，但移形步骤也多，其误差累积也不容小视。而骨架的制造精度关键在于焊胎的精度，焊胎必须相对于数模是准确的。

③ 传统加工方法比数控加工方法的误差累积环节多，且同样的环节其加工误差也比采用数控方法的要大。

【相互联系制造原则】简而言之，为了减小 Δ_{AB} ，可使 L_A 和 L_B 在加工过程中尽可能多地采用相同的移形方法。采用相互联系制造原则时前围蒙皮与前围骨架的移形步骤大体相同，其加工流程如图 3-36 所示。

对图 3-36 这个流程，总结如下：

① 蒙皮和骨架相对于图纸（原始数据）的制造误差分别是：

$$\Delta_A = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5) + (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3)$$

$$\Delta_B = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5)$$

那么影响装配的协调误差是：

$$\Delta_{AB} = \Delta_A - \Delta_B = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5) + (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5) = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$$

可见，蒙皮与骨架的装配精度，不取决于蒙皮相对于图纸有多么准确，而取决于蒙皮相对于骨架有多准。

② 相互联系制造原则的核心是：蒙皮与骨架的装配精度，也不取决于骨架相对于图纸有多么准确，而取决于骨架能否保证一致性。

③ 骨架的一致性取决于零件的精度和工装的稳定性，即前后围骨架必须依靠高质量的焊胎来装配定型，并且从首台样车开始就应使用焊胎来制作。更深层地讲，骨架还只能是间接基准，最直接的基准是焊胎。因此，如果出现焊胎损坏需要重新制作时，从新胎具上出来的骨架与玻璃钢之间的装配协调性就需重新推敲了，严格地讲整个工艺路线都要重新协调一遍。

④ 从图纸到骨架，既可以采用传统方法制造，也可采用数控方法制造，因为骨架的精准度已无需过高要求，只要求其能保证一致性即可。

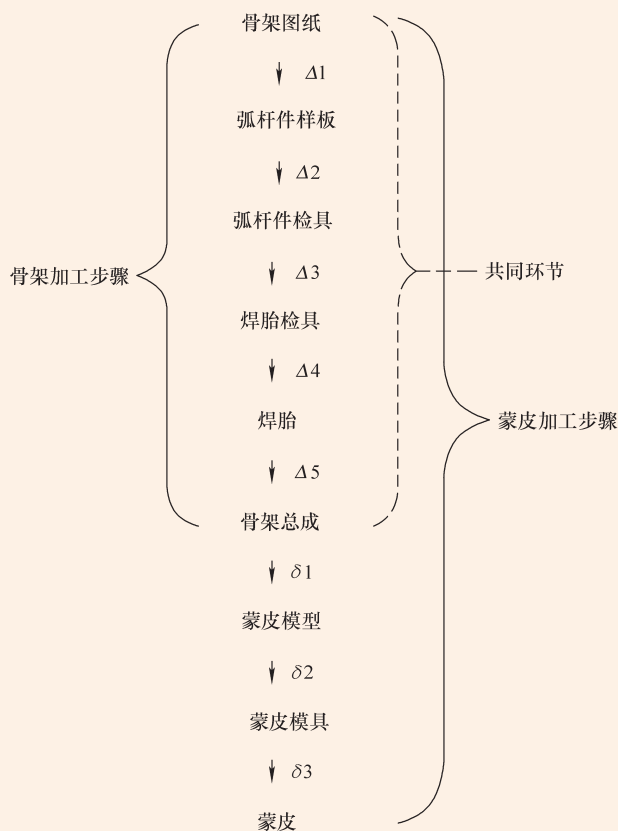


图 3-36 采用相互联系制造原则时前围蒙皮与前围骨架的移形步骤

⑤ 从骨架总成到蒙皮模型，一般采用手工制作，这相当于脱胎于骨架的标准样件。

⑥ 从蒙皮模型到蒙皮模具，有传统和数控两种方法：传统方法移形步骤多、误差大，显然没有数控方法有优势。但玻璃钢宜采用传统方法制造，因为玻璃钢模具可直接由蒙皮模型翻模。钢板蒙皮宜采用数控方法制造，因为钢冲压模可由蒙皮模型仿型铣制造。直接翻模和仿型铣的移形精度都很高。

⑦ 如果没有数控加工能力，或从加工成本角度考虑，采用相互联系制造原则来加工玻璃钢蒙皮是最可靠、最简单的方法。如果是钢板蒙皮，那么由蒙皮模型来制造钢冲压模，虽然移形步骤多，但蒙皮相对于骨架的准确度依然能得到保证。即使准确度差，在焊装现场以骨架为基准来修配钢蒙皮仍然没有困难，这也是钢

蒙皮在中国依然受欢迎的主要原因。因为如果玻璃钢的加工工艺不正确，玻璃钢成品与骨架误差大，那么现场修配玻璃钢时单单粉尘就令人难以接受。

【相互修配制造原则】即在生产现场一方以另一方为制造依据来加工，最简单的例子是现场配打孔、配开孔。最复杂的例子是制作首台样车时，钣金工依据骨架在现场制作前后围蒙皮。相互修配制造的零件是绝对能实现装配的，因为其移形误差仅仅取决于一个步骤，但现场加工的零件是不能互换的。因此，相互修配制造原则在批量生产时是不采用的，我们在此就不过多讨论了。

至此，再回想“工艺是如何做和能做到什么水平”这句话：选择如何做很关键，即选择合适的工艺路线，不但能降低制造难度，还能放宽加工精度。放宽精度也意味着提高生产效率、降低制造成本，更重要的是不影响顺利装配。

我们说设计的最高境界是简单化，那么工艺的最高境界又何尝不是呢？

我们现在也可以来讨论“钣金+骨架”的复合式车身了，它的难点依然不是设计问题，而是工艺问题。且不说大尺寸冲压蒙皮的平整度如何保证，仅仅冲压蒙皮与骨架的精度匹配问题，就是一道绕不过的坎。

冲压蒙皮的精度和一致性是很好的，但车身的骨架装配精度和一致性能做到什么水平呢？对骨架而言，零件的精度是一回事，总成的精度是另一回事。这种大尺寸的焊接件的装配精度是很难保证的，在蒙皮与骨架装配出现误差时必须要做现场修正，是修正骨架还是蒙皮呢？显然是修正蒙皮容易，那么此时作为蒙皮的冲压件精度做得过高又有什么用呢？因此我们总结如下：

① 以骨架为基准的客车车身制造工艺是最合理的。

② 客车的车身不可能追求精准的外表曲线，任何一个从总装下线的大客车，都不可能也没必要用曲线样板去检验其外表曲线是否正确。

③ 任何客车车身的冲压蒙皮都是也必须是毛坯料，因为毛坯料才易于修正。我们把不带翻边、不带包边的零件叫做毛坯料，如乘用车的冲压件就不是毛坯料。

④ 骨架式结构的客车车身，采用冲压件作为覆盖件是不合理的。

总之，大客车车身外覆盖件的制造和装配工艺，选择基准很重要。如果选择骨架作基准，那么蒙皮必须相对于骨架是准确的，而且是相对于从焊胎上装配出来的骨架是准确的，而不是相对于图纸或数模是准确的。

既然客车车身的冲压蒙皮都是毛坯料，那么这种毛坯料的毛边就必须在结构上给以遮盖，我们看看前后围蒙皮的毛边是如何处理的。

图 3-37 是前围蒙皮毛边的处理方式，图 a 的结构既适用于玻璃钢蒙皮又可适用于钣金蒙皮。而图 b 的方式只适用于玻璃钢，因为钣金蒙皮不太易于成型以用于安装流水槽的沉台。

图 3-38 是后围玻璃钢蒙皮毛边的两种处理方式，后围钣金蒙皮采用的基本都是与侧围蒙皮平面对焊的方式，靠腻子来做平外表面的，这是现阶段客车钣金蒙皮的通病。

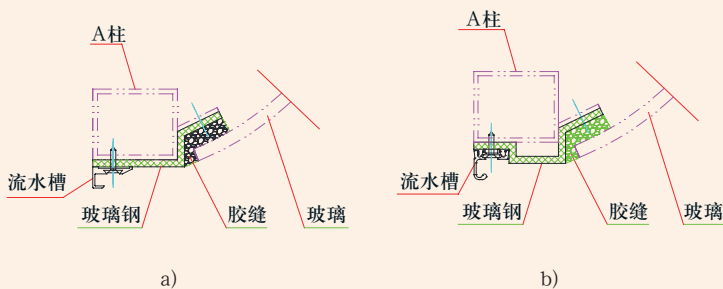


图 3-37 前围蒙皮毛边的处理方式

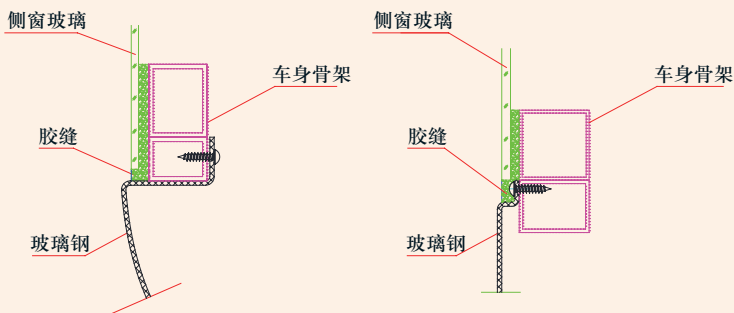


图 3-38 后围玻璃钢蒙皮毛边的处理方式

3.5 前后风窗玻璃的设计与工艺



客车的风窗玻璃，依然是工艺问题大于设计问题。因为风窗玻璃是典型的空
间双曲类零件，其几何形状和尺寸是无法用直尺直接测量的，必须借助于专用量
具或检具，这类零件如何能做到互换、协调是工艺问题的基本内容。

由于后风窗玻璃比较简单，我们将主要讨论前风窗玻璃。

1. 设计问题

(1) 材料 出于安全原因，法规规定前风窗玻璃必须是夹胶玻璃，后风窗玻
璃必须是钢化玻璃，后风窗要作为安全出口。前风窗的夹胶玻璃，是由两片玻璃
经透明的弹性胶片在一定温度压力条件下牢固黏合而成的，当玻璃在外力作用下
破碎时，其碎片仍黏附在中间胶片上，不会四处飞溅，因此对人体有良好的安全
保护作用。除此之外，夹胶玻璃还具有隔音、防紫外线等功能。

玻璃原片采用经退火处理的厚度均匀、无波纹、透光度不小于 85% 的优质平
板玻璃，最好选用符合 GB 11614—2009 规定的浮法玻璃。

胶层大多采用聚乙烯缩丁醛，即 PVB 胶片，其性能如下：

① 无色、高透明，透光率可达 90%。

- ② 吸湿性低。
- ③ 热稳定性好。
- ④ 光稳定性好，不易变色或发脆。
- ⑤ 黏结力强，玻璃破碎时不散落。
- ⑥ 弹性好，增加抗穿透性和吸振性能。

(2) 前风窗玻璃技术指标 对于前风窗玻璃，国内玻璃厂商能提供的主要技术指标如下：

① 厚度：2.5 + 2.5 (mm)，3 + 3 (mm)，3 + 4 (mm)，4 + 4 (mm)；PVB 胶片 0.76mm。

注：4+0.76+4 (mm) 最常用。

② 最大高度：2250 mm (常规公差 0~-4 mm)。

③ 最大宽度：3200mm。

④ 玻璃与检具的符合度：0 ~ +4。

⑤ 球面度：通常为高度的 4%，常规公差 ±7mm。

注：球面度是指 Y=0 平面内的玻璃弧高，根据玻璃的形状及难易度不同，会有不同的要求。

⑥ 最大拱高：550mm，最小曲率半径：120mm。

⑦ 钻孔：孔的最大直径 50mm，孔距玻璃边部的最小距离 35mm。

(3) 玻璃的四角最好倒圆 R20 ~ R25，因为在生产过程中尖角会伤人，也会造成运输过程中的破损；总之，在设计中最好不要走极端，否则其成品率会降低，成本会上升。比如，前风窗玻璃的高度最好不要大于 1800mm，曲面度越平直越好。

2. 工艺问题

采用上一节的方法，我们分别用独立制造原则、相互联系制造原则和相互修配制造原则来分析风窗玻璃的工艺问题。

【相互修配制造原则】相当于根据白车身配做风窗玻璃，这只能在修车时找不到配件或首台样车时采用，批量生产不可能采用此法，一是作业效率极低，二是无法满足售后维修所要求的互换性。

【相互联系制造原则】其骨架、玻璃钢和玻璃三者的加工和装配工艺流程如图 3-39 所示。

对图 3-39 这个流程，总结如下：

① 风窗玻璃与白车身的装配精度，不取决于玻璃相对于图纸有多么准确，而取决于玻璃相对于骨架有多准，而且是相对于从焊胎上装配出来的骨架是准确的。

② 风窗玻璃相互联系制造原则的核心是：玻璃与白车身的装配精度，也不取决于骨架相对于图纸有多么准确，而取决于骨架能否保证一致性。

③ 骨架的一致性取决于零件的精度和工装的稳定性，即前后围骨架必须依靠高质量的焊胎来装配定型，并且从首台样车开始就应使用焊胎来制作。更深层地讲，骨架还只能是间接基准，最直接的基准是焊胎。因此，如果出现焊胎

损坏需要重做时，从新胎具上出来的骨架与玻璃之间的装配协调性就需重新推敲了，严格地讲整个工艺路线都要重新协调一遍。

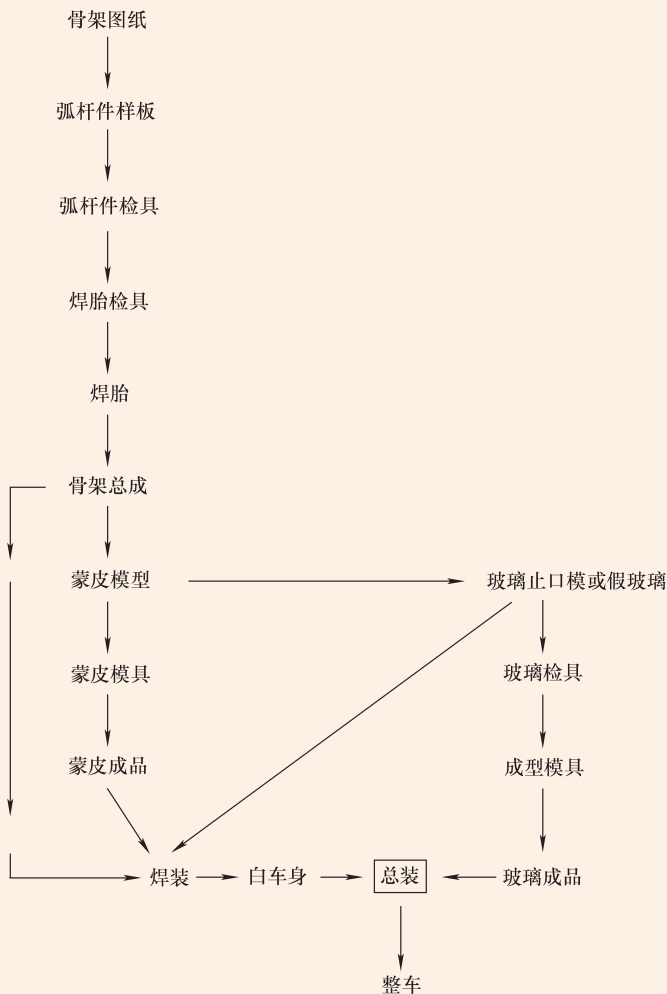


图 3-39 采用相互联系制造原则时的骨架、玻璃钢和玻璃工艺流程

④ 从图纸到骨架、从骨架到蒙皮模型，是与玻璃钢相同的工艺环节。

⑤ 从蒙皮模型到玻璃止口模或假玻璃，通常采用手工现场制造方法，相当于在标准模型上配做玻璃模型。玻璃的加工误差仅仅取决于玻璃模型、检具、模具、成品这几步的误差积累。而蒙皮是由传统方法还是数控方法制造不影响玻璃的装配，因为以骨架为装配基准并用玻璃止口模校正了蒙皮的装配后，玻璃的安装是不成问题的。

⑥ 此方法既适用于玻璃钢材料又适用于钣金材料，是最简单、最可靠的客车风窗玻璃加工工艺。

【独立制造原则】很多人还无法理解为什么不能按图纸加工、按图纸检验。车窗玻璃和骨架分别按图纸制造，其工艺流程如图 3-40 所示。

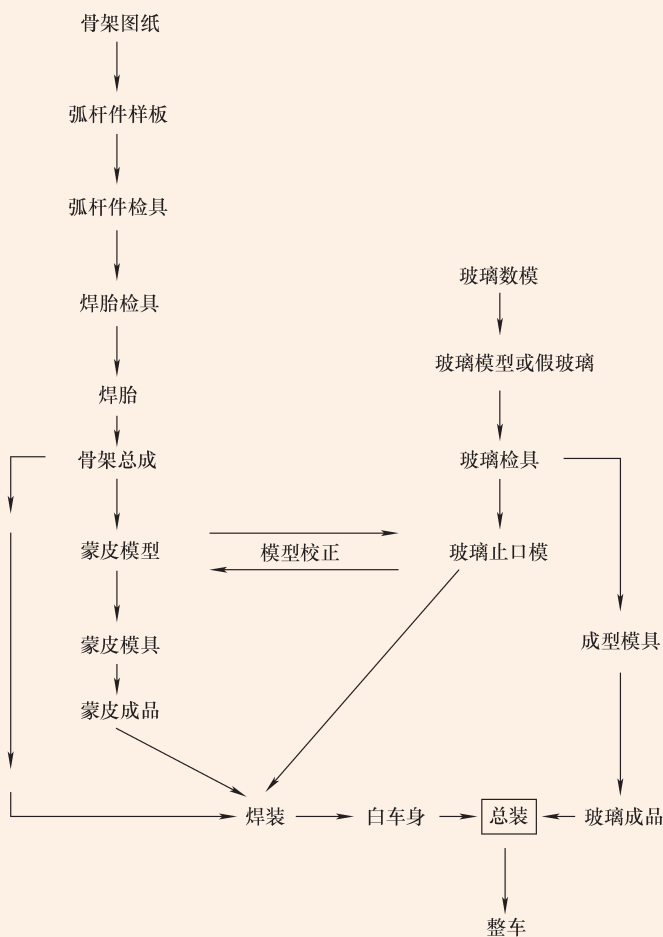


图 3-40 采用独立制造原则时的骨架、玻璃钢和玻璃工艺流程

为了避免按数模加工的玻璃与按图纸加工的骨架装配时无法匹配，在制作蒙皮模型时，必须用按数模制作的玻璃止口模或假玻璃来校核蒙皮模型，这实际上已不是严格意义上的独立制造，是一种掺杂了“相互修配”的联系制造。

在“模型校正”这一步，通常是用玻璃厂提供的止口模或假玻璃来校正蒙皮模型。

这个流程通常用于玻璃钢蒙皮，因为在模型校正这一步，玻璃钢的蒙皮模型较易于修正。即使这样，当玻璃厂提供的玻璃止口模与蒙皮模型差异太大时，蒙皮模型的修正量无法适应玻璃止口模时，就要重新制造玻璃止口模。

模型校正是此法的关键点。

这个流程也是骨架、蒙皮和玻璃三者的加工和装配流程。

前面从蒙皮到玻璃讲了很多关于加工过程的合理性问题，即怎么做。这仅仅完成了问题的一半，另一半做到何水平，也是工艺工作的重点内容。

以玻璃为例，如果“玻璃与检具的符合度： $0 \sim +4$ ”，即玻璃的制造误差是 $0 \sim +4$ 。要说明的是：玻璃不管是按数模制造，还是按模型制造，其最终只能判定与检具误差是多少。

现在的问题是：如果给定玻璃的制造误差是“ $0 \sim +4$ ”，那么白车身的风窗止口的装配误差应控制在什么水平？应如何做到这一水平？

如果风窗玻璃采用胶粘结构，理论胶缝宽度是8mm，允许风窗止口的制造误差是 $-2 \sim +6$ ，即最小胶缝宽2mm，最大胶缝宽14mm。

我们知道零件的最终误差是由各制造环节累积而来的，当采用最合理的相互联系制造原则时，风窗止口的装配误差是由如下这几步累积的：

蒙皮模型

↓ δ_1

蒙皮模具

↓ δ_2

蒙皮

↓ δ_3

焊装

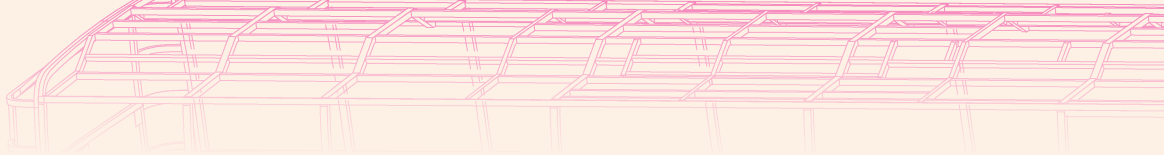
工艺工作的问题是如何将“ $-2 \sim +6$ ”这样一个公差分配到 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 中，即 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 分别是多少是最合理的。其合理性应体现在：

- ① 符合现有加工工艺水平，即不能超出现有的工艺能力。
- ② 适当放宽误差要求，即满足生产效率和生产成本要求。

显然，从现有加工水平来看，应是 $\delta_3 > \delta_1 > \delta_2$ ，究竟如何分配，这不只是一个简单的算术题，一是要充分了解各环节在当前的制造工艺究竟能达到什么水平，二是要通过概率分布来计算它们的分配关系。客车的工艺工作远没有做到如此细致，但对于乘用车则不然，如何控制全冲压车身外覆盖件的面差和间隙水平，是乘用车车身工艺的核心内容，比如当设定了覆盖件的间隙公差后，如何设置各加工环节的制造误差，以达到一个合理技术经济目标？并且合理的公差分配也是工艺设计和产品检验的最终依据。

从上面的分析可以看出，像风窗玻璃这类空间双曲的零件是不能按图纸检验的，零件的最终形态与所采用的加工过程密切相关，如何检定零件是否合格，不但是质量工程师的事，更是工艺工程师的事：

- ① 必须明确检验的依据是什么？
- ② 必须明确检验的依据是依据什么加工的？
- ③ 必须明确检验的依据由谁提供？
- ④ 必须明确检验的依据如何制造？



比如风窗玻璃，如果主机厂自己按数模或图纸制造一套检具，那么用此检具来检验入厂的玻璃，十有八九是不合格品。

所以，在产品的工艺设计中，必须明确检验依据、检验标准，哪些零件可用直尺直接测量，哪些必须用专用检具或专用量规，并且这些专用检具由谁制造、制造依据是什么、如何保管、如何检定都必须规定好。并且，如果某一个加工环节出现变更，如焊胎损坏需要重做，检具丢失需要重做，甚至更换供应商，这些都需要整个工艺路线重新协调，匹配一遍。

3.6 顶盖蒙皮的设计与工艺



客车的顶盖蒙皮由于不在可视范围内，故对其平整度要求不高，其重点是减重和毛边处理。

减重是因为顶盖蒙皮面积大，减重效果明显。毛边处理则是关系到防腐和防漏问题。

减重与毛边问题都与材料息息相关，顶盖蒙皮常用的材料有钢板、玻璃钢和铝板三种。

顶盖蒙皮用的钢板最常见的是 0.8mm 或 1.0mm 的冷轧镀锌钢板。

镀锌板顶蒙皮通常是分成三块的，即两侧板和中板，三者采用搭接结构。两侧板需预先加工成型、中板则是平板卷料。很少见有顶蒙皮采用整张钢板成型的，有两方面原因限制了整体顶蒙皮的使用：一是如此大面积的板材成型很困难，二是整体成型顶蒙皮与顶骨架的误差会严重影响二者的装配效果。

对于三块式顶蒙皮的设计，必须注意两方面的问题：中板与侧边板的搭接和侧边板与侧窗玻璃之间的结构关系。

(1) 中板与侧边板的搭接 图 3-41 反映的是钢板顶蒙皮的一般结构，设计中应注意以下两点：

①为了防水，中板是一定要压在侧板之上的，这也是常识。它们共同带胶点焊在纵梁之上，以保证防水。另外，为了顶蒙皮的平整度，中板蒙皮也要经过涨拉，有条件的能辊压成筋板则会更好。

②中板蒙皮的宽度是由这样两个因素决定的，一是目前钢厂提供的卷板宽度一般是不超过 1500mm 的，二是内饰中顶板的宽度及内行李架固定点的位置。综合考虑这些因素就是为了合并顶纵梁以达到减重的目的。

(2) 侧边板与侧窗玻璃之间的结构关系 在图 3-41 中的 II 处放大的位置，我们给出了如图 3-42 所示的四种结构形式。其实本书的内容写到此，我们早已有了评价骨架或蒙皮结构好与坏的标准，这就是骨架是否满足力流传递的连续性和蒙皮的结构是否不露毛边。依此标准评价图 3-42 中的四种结构如下：

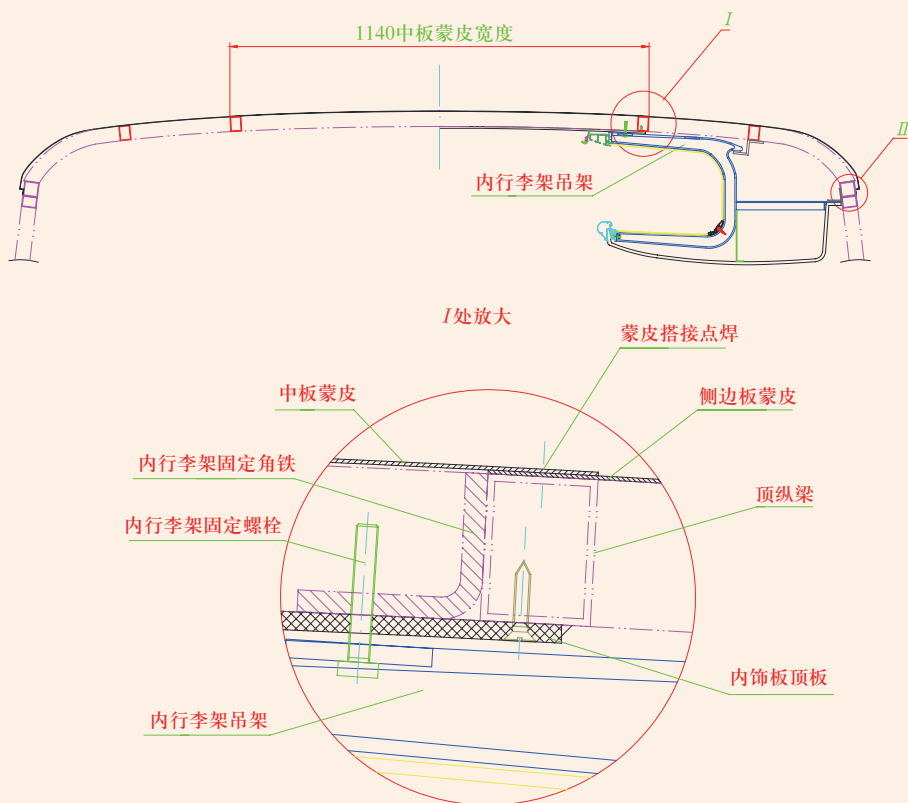


图 3-41 钢板顶蒙皮的一般结构

结构 a——好，骨架和蒙皮都满足评价标准，但顶盖侧蒙皮成型工艺复杂，需辊压成型。

结构 b——好，骨架和蒙皮都满足评价标准，顶盖侧蒙皮成型工艺也简单，但必须加装装饰条，此时的装饰条也可改造成流水槽。

结构 c——不好，骨架不满足评价标准，顶蒙皮成型 7mm 的折边也比较困难。

结构 d——不好，骨架不满足评价标准，顶蒙皮露毛边，必须装流水槽来遮盖。玻璃钢顶蒙皮有平板蒙皮和成型蒙皮两种。

平板玻璃钢顶蒙皮一般都是整幅的平板卷料，料厚为 2 ~ 3mm，装配时靠顶骨架的弧度成型。这就要求顶骨架的弧度要尽可能平缓，只有这样，整张结构的板材才能不需预成型而靠顶骨架来直接成型并装配，这是一种典型的现场配装现象。图 3-43 是 MAN 公交的顶蒙皮胶粘结构，图 3-44 至图 3-47 是 MAN 公交顶蒙皮的现场施工照片，其车身结构与图 3-43 略有差异，即对应的是侧窗玻璃加大的造型。而图 3-48 则对应的是图 3-43。

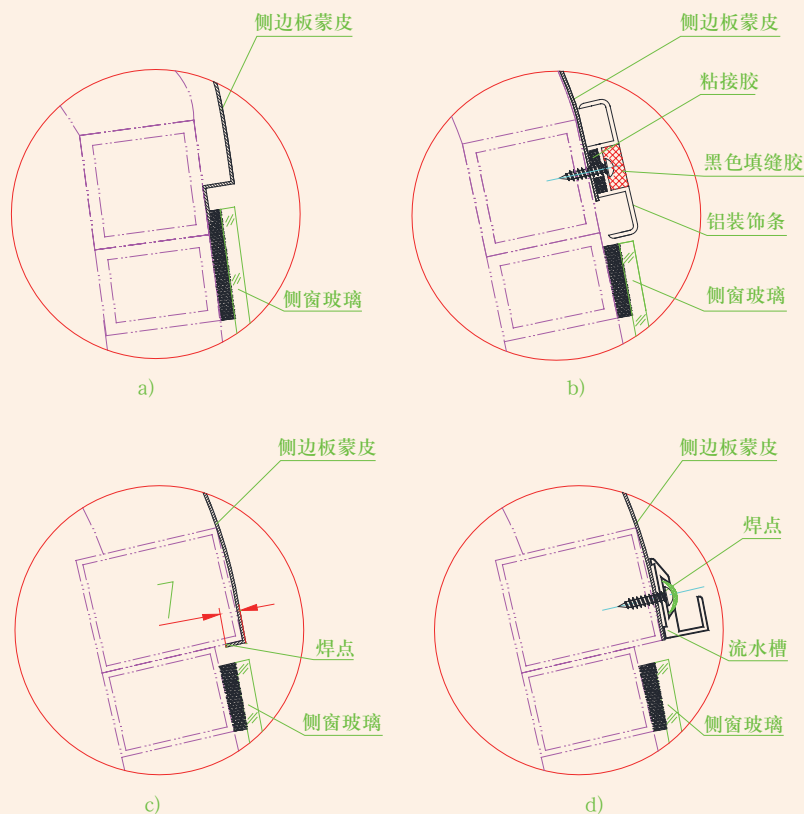


图 3-42 侧边板与侧窗玻璃之间的结构关系

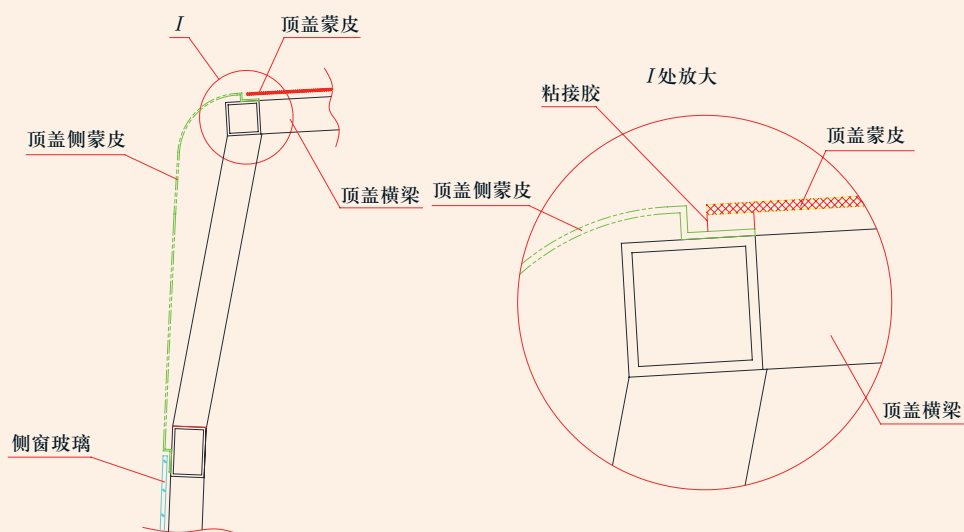


图 3-43 MAN 公交顶蒙皮粘接结构



图 3-44 MAN 公交顶蒙皮粘接过程（打胶）



图 3-45 MAN 公交顶蒙皮粘接过程（安装缓冲垫）



图 3-46 MAN 公交顶蒙皮粘接过程（铺蒙皮板）



图 3-47 MAN 公交顶蒙皮粘接过程（粘接完成）



图 3-48 MAN 公交的顶蒙皮胶粘状态

图 3-49 则是 BENZ 的 TOURISMO 顶蒙皮结构，其顶蒙皮侧围之间采用了辊压件型材，顶盖弧度做得很平缓，这样其顶蒙皮就能采用塑料板材粘接结构了。

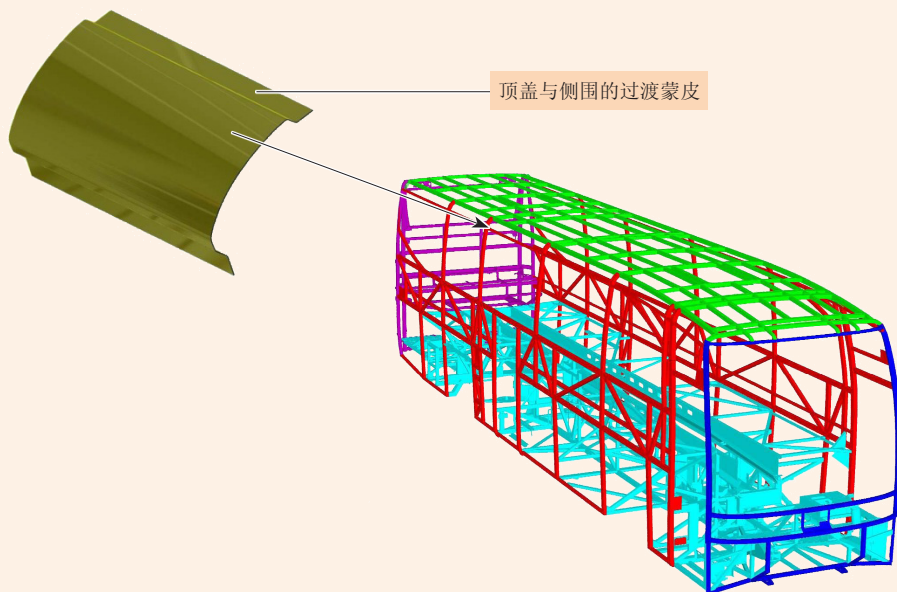


图 3-49 BENZ 的 TOURISMO 顶蒙皮结构

玻璃钢蒙皮减重效果明显，以 12m 车长为例，采用 2mm 厚玻璃钢板材时，

可减重约 100kg。

成型顶蒙皮则是一张蒙皮将顶侧弧度全部带出，图 3-50 所示为 IVECO 大巴玻璃钢顶蒙皮结构。

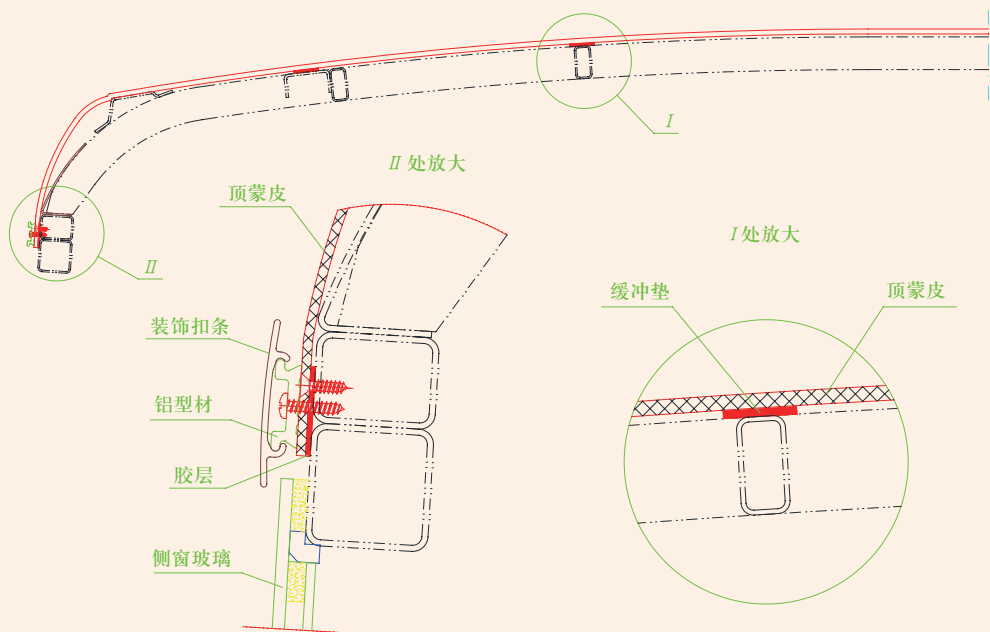


图 3-50 IVECO 大巴玻璃钢顶蒙皮结构

铝板蒙皮常见于全铝车身，图 3-51 是全铝车身的顶盖铝蒙皮的两种安装结构：一种是粘接的，另一种是铆接的。粘接的铝蒙皮，其结构和原理同塑料蒙皮，铆接结构的则在铆接后必须用密封胶盖住铆钉以解决防水问题。图 3-52 是顶盖铝蒙皮的铆接安装结构，图 3-53 是顶盖铆接铝蒙皮的密封胶结构。

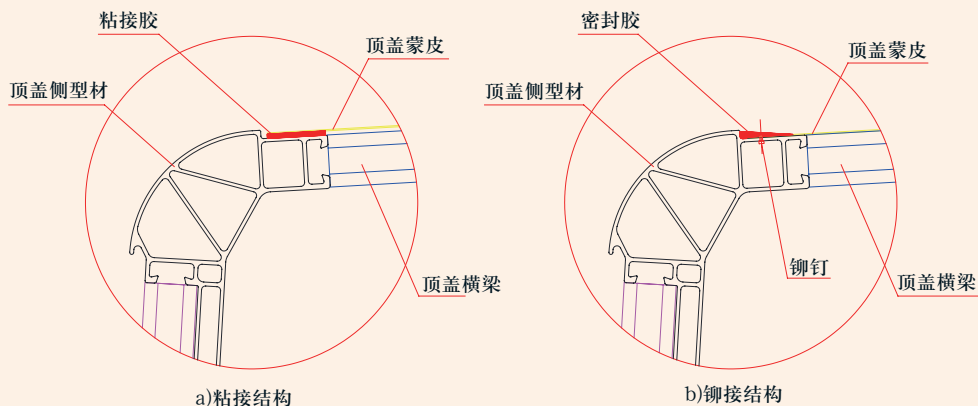


图 3-51 顶盖铝蒙皮的两种安装结构



图 3-52 顶盖铝蒙皮的铆接安装结构

铝蒙皮既可用于全铝车身，也可用于钢结构车身。

用于钢车身时减重效果明显，以 12m 车长为例，采用 1mm 厚铝板材时，也可减重约 100kg。

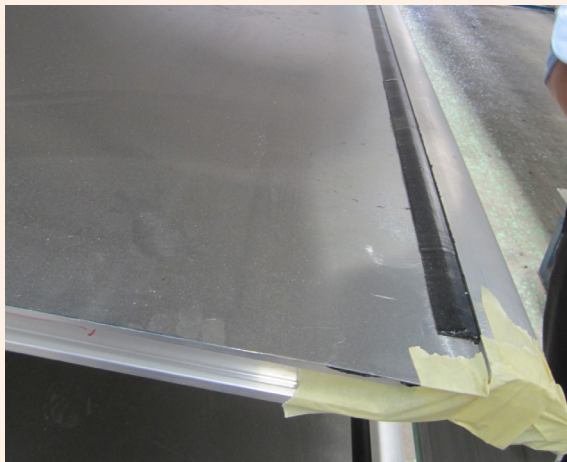


图 3-53 顶盖铆接铝蒙皮的密封胶结构

最后说说顶蒙皮的前后两端的处理方式。

以顶蒙皮为钢蒙皮为例：

- ① 前后围是钣金蒙皮时，目前通用的做法是钣金对焊并磨平，最后刮腻子。
- ② 前后围是玻璃钢时，目前常见的做法是用树脂和玻纤布在现场将对接缝糊住，最后再磨平、刮腻子。

但最合理的方式是做出结构缝、缝内打密封胶，此时顶蒙皮与前后围玻璃钢在对缝处都不是毛边，而是预留了胶槽，在胶槽内打填缝胶即可，例如，图 3-54 所示的胶槽结构是最好的处理方式。

这种方法仅限于前后围是玻璃钢材料，对于钣金的前后围则无法实现，原因是钣金件不易做出胶槽的沉台，从这点也可看出玻璃钢前后围比钣金的合理。

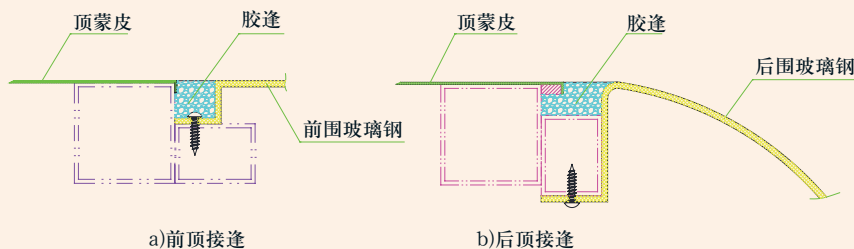


图 3-54 顶蒙皮与前后围玻璃钢的胶槽结构

3.7 客车车身的设计与工艺水平的评价标准



怎样看客车车身的设计和工艺水平？

设计的最高境界是简单化，一是结构简单，二是工艺简化。

客车车身设计的难点在于：如何既满足骨架的承载力学要求又满足蒙皮的工艺简化要求。

答案就是：创新。

创新是设计的灵魂。

没有创新，产品注定平庸！

因此，评判大客车车身设计水平的标准是：结构创新能力。

目前，我们讨论的是钢结构的客车车身，对全铝车身，或以后出现其他材料的车身，这条评判车身设计水平的标准是通用的、普适的。

大凡对于普适的东西，都可以上升到价值观的高度。

即对于车身设计，我们信奉的原则、认同的信仰是：创新！

创新是引领产品走向卓越的圭臬。

但大客车车身更大的难点在工艺不在设计。

我们已经知道，工艺的难点在于：

① 大尺度范围内保证骨架的装配精度。

② 大尺度范围内保证蒙皮的平整度。

难点即看点，那么评价大客车车身的设计和工艺水平，其着眼点就是看其车身的工艺水平，尤其是蒙皮的工艺水平，即

客车的水平看车身

车身的水平看外饰

外饰的水平看蒙皮

蒙皮的水平看焊装即看未涂装的白车身

评价车身不能看经过涂装后的车身，而要看未涂装的白车身。只有白车身才

能真实展现出车身的结构设计和工艺水平。

所以，如果你有幸参观一家客车工厂，你一定要去焊装车间看看，那里才能展现企业的最真实的实力和水平。

以往人们认为客车车身工艺的难点是防腐和涂装。

但仔细想想，防腐和涂装存在难点吗？

我认为不存在，原因有以下两点：

① 防腐主要是针对钢材问题，要解决防腐可以采用不锈钢车身或全铝车身，所以防腐不应是工艺难点。再说，即使采用钢车身，其防腐也可通过电泳工艺来解决。

② 涂装其实也是迫不得已的工艺手段，就如同蒙皮涨拉工艺。涂装的目的无非两个：一是解决车身防腐，二是遮盖焊装缺陷。

防腐可以通过换材料或电泳来解决，遮盖焊装缺陷则可通过结构设计或工艺创新来解决。本书在前面讲了很多大客车车身蒙皮的设计理念和工艺原则，就是为了尽可能地在焊装减少车身表面的缺陷——减少腻子量的前提是减少车身缺陷。

理想的车身是没有涂装，车身在焊装完工后就是原始的车身材料本色，表面无缺陷、焊点或连接件不外露，理论上可以不用涂装。这种水平的车身能制造出来吗？从目前的材料、结构、设计和工艺水平看，应该没问题，至少在乘用车上可以实现。因此，不存在难点的工艺能是看点吗？而“大尺度范围内骨架的装配精度和蒙皮的平整度”则不同，这与材料、与结构无关，是在目前的工艺水平下解决不了的问题，这才是大客车车身问题的看点！

俗语说：“内行看门道，外行看热闹”。那么本书从前到后所说的“骨架和蒙皮”就是大客车车身的“门道”，而其“热闹”又是什么呢？直白地讲，是“造型和内饰”。不是说造型和内饰的工作不重要，而是说造型和内饰在设计和工艺上不存在难点。评价车身有无技术含量要看骨架和蒙皮，评价车身是否豪华高档要看造型和内饰。所以，造型和内饰也是很有难度的车身工作，难在哪里？是难在内行的专业设计人员所干的活要给外行的人看、给外行的人来评价。

优秀的产品，除了设计和工艺外，还必须加上手艺。

切记：手艺不是工艺，不能把手艺当作工艺。

手艺是操作者将设计和工艺转变为实物的技能，手艺的最高境界是“物人合一”。

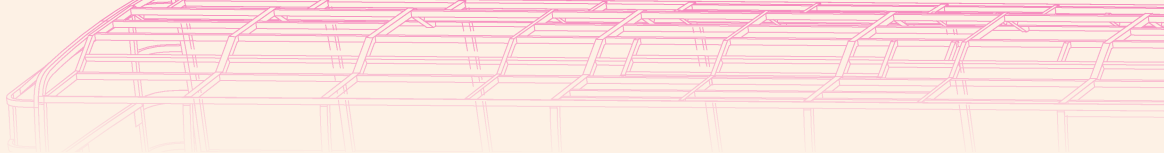
手艺的练就就如同修炼的过程，经历千锤百炼到最终觉悟到“物人合一”的至化之境，这种手艺完成的产品必有一种造化之美！

客车的车身，必须是设计、工艺和手艺的完美结合：

设计——别具匠心

工艺——巧夺天工

手艺——天衣无缝



参考文献

- [1] 刘开春. 客车车身的结构类型及其工艺特点 [C]. // 中国公路学会. 2013 年中国客车学术年会论文集. 西安: 陕西科学技术出版社, 2013.
- [2] 刘开春. 客车车身设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [3] 程宝蓁. 飞机制造协调准确度与容差分配 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1987.
- [4] 张德鹏, 蔡红民. 大客车车身制造工艺 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [5] 贾玉红, 何景武. 现代飞行器制造工艺 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [6] 宋晓琳. 汽车车身制造工艺学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [7] 酆正能. 飞行器结构学 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [8] 范玉青, 梅中义, 陶剑. 大型飞机数字化制造工程 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.



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

封面防伪标均为盗版



扫一扫，

机械工业出版社微信公众号 更多汽车精品图书供你选！

上架指导 交通运输 / 汽车技术

ISBN 978-7-111-53401-3

策划编辑◎杜凡如 连景岩 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-53401-3



9 787111 534013 >

定价：59.00元