

客车车身设计

精编

彩色版

刘开春 编著

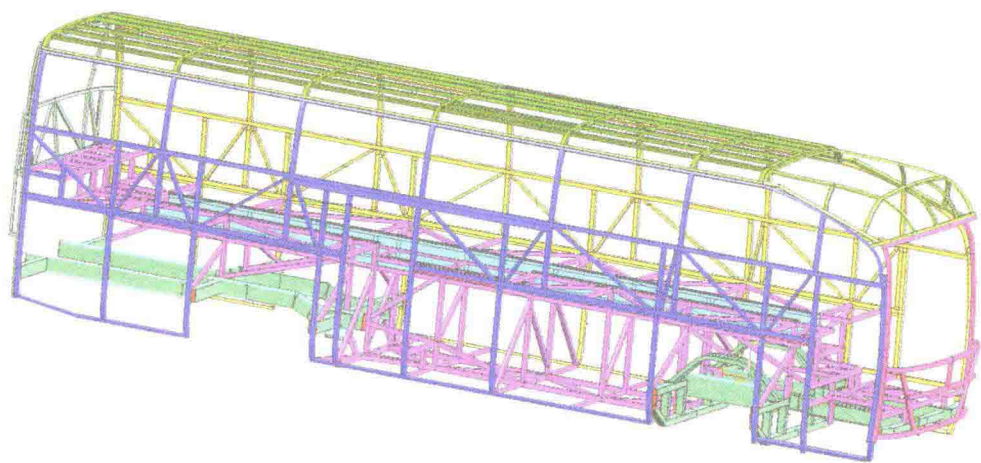


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

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

封面无防伪标均为盗版

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

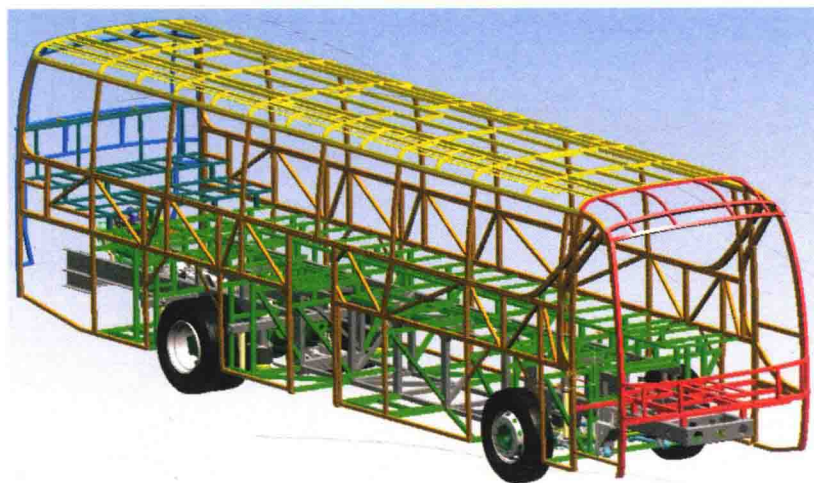
- 2.1 客车车身骨架的设计原则.....14
- 2.2 公路客车车身骨架的设计.....27
- 2.3 城市客车车身骨架的设计.....41
- 2.4 车架及其与车身的连接.....46
- 2.5 用车身骨架的设计原则指导车架设计的应用举例.....67

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。

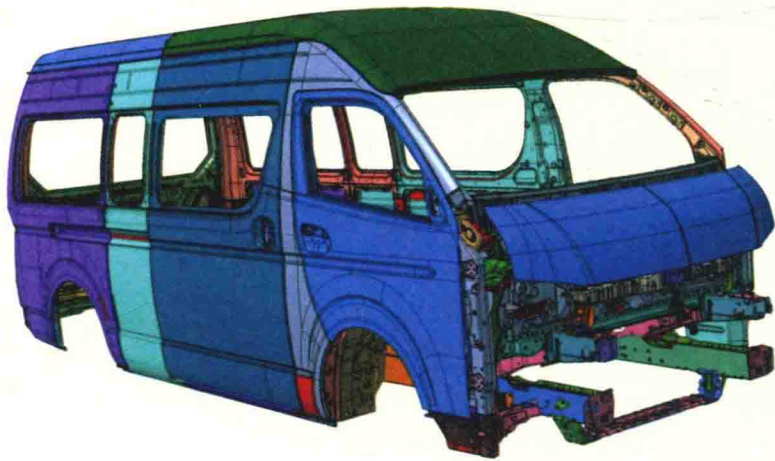


图 1-1 钣金冲压车身

【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。

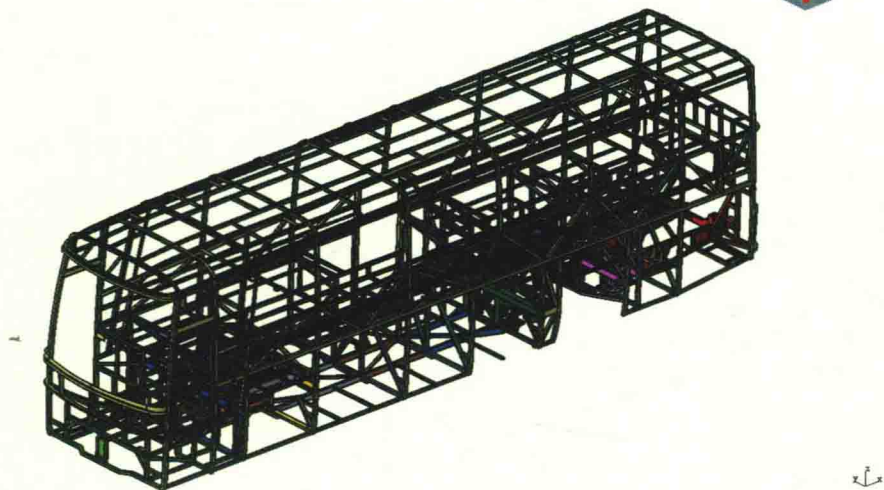


图 1-2 骨架式车身

【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。

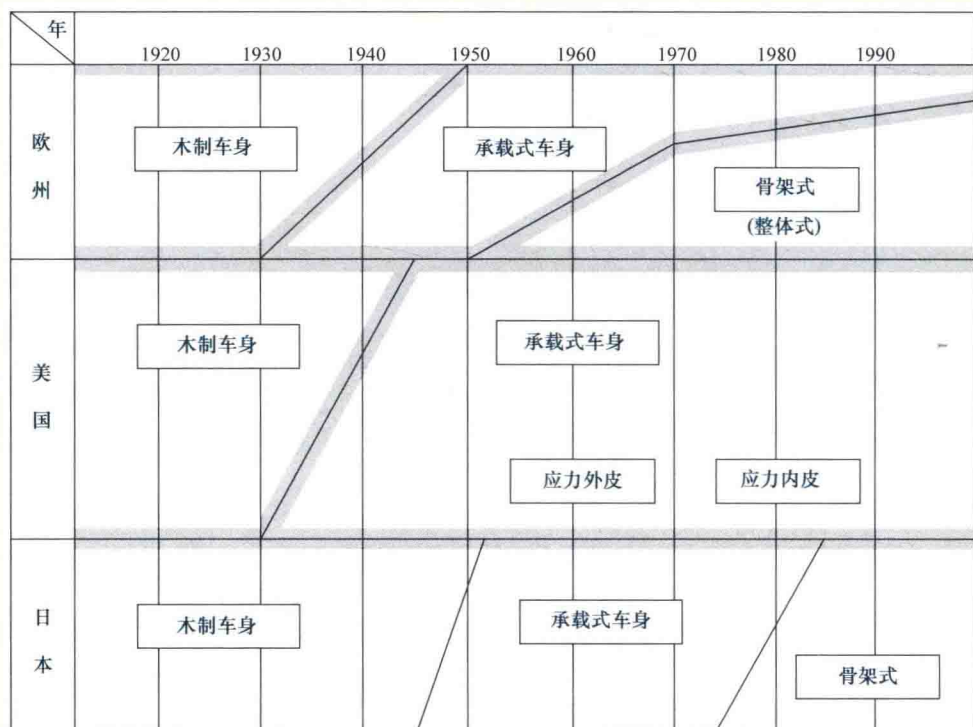


图 1-4 大中型客车车身变迁史

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。

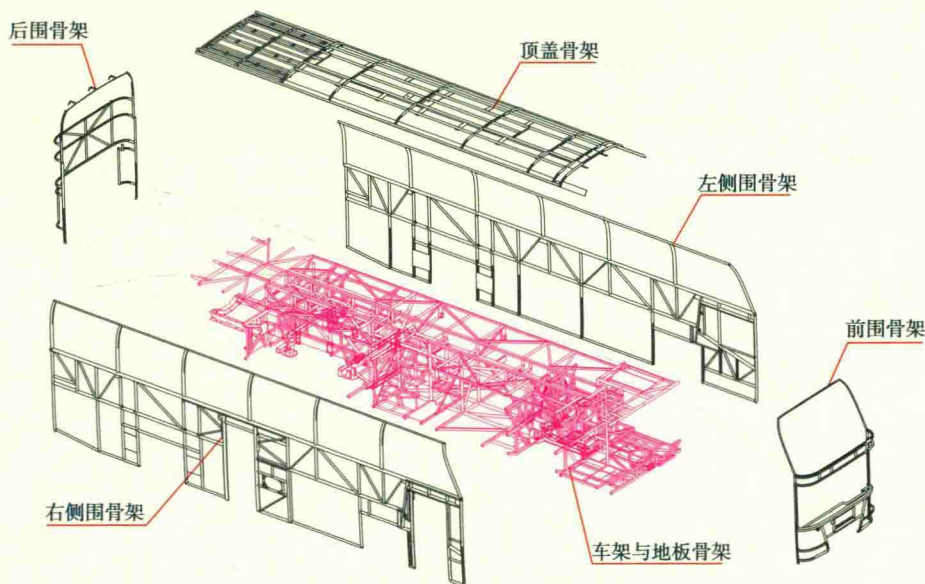


图 1-5 车身骨架六面体模块

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?

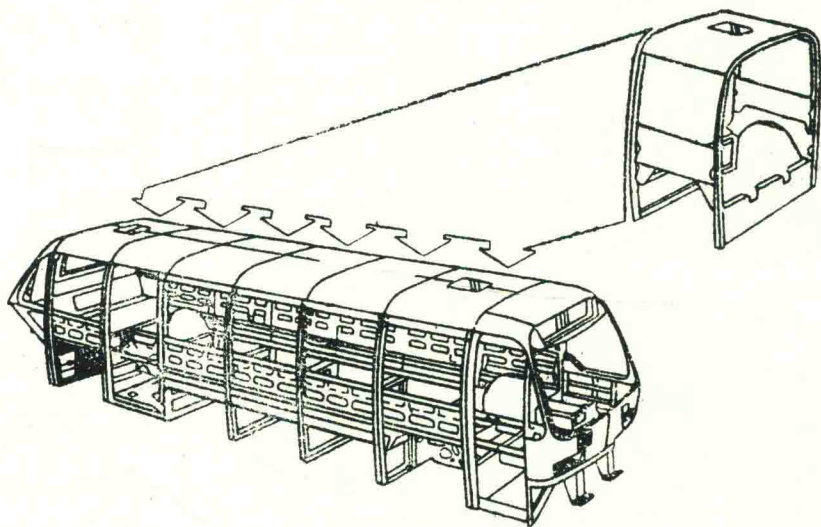


图 1-6 美国 GMC 公司生产的单元式结构车身

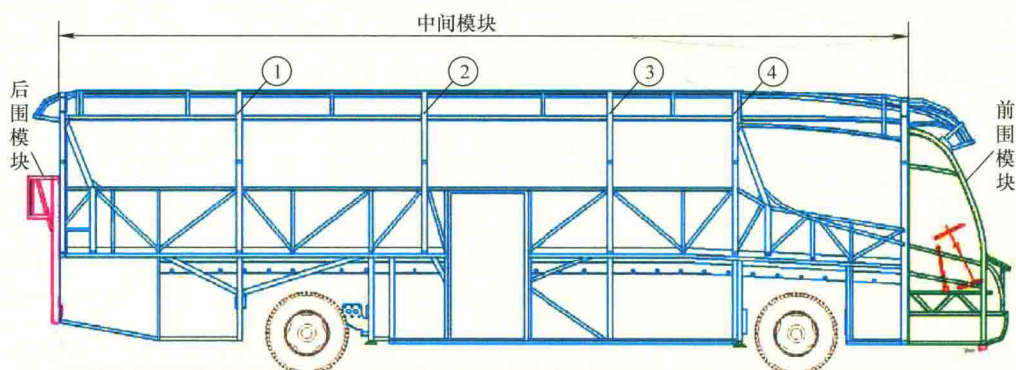


图 1-7 IRIZAR 公司生产的三段式结构车身

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、产量比效大的客车生产厂商, 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 $30\% \sim 40\%$ 。

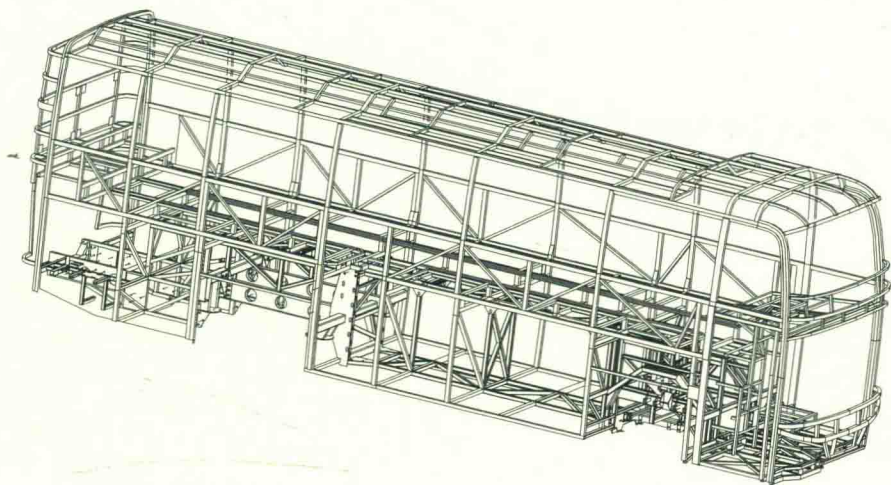


图 1-8 一款大客车车身骨架

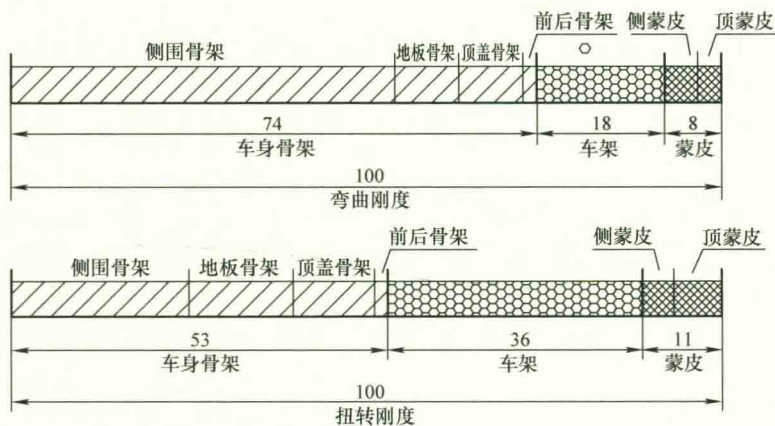


图 1-9 大客车车身骨架刚度分布

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，不但不是冲压问题，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。

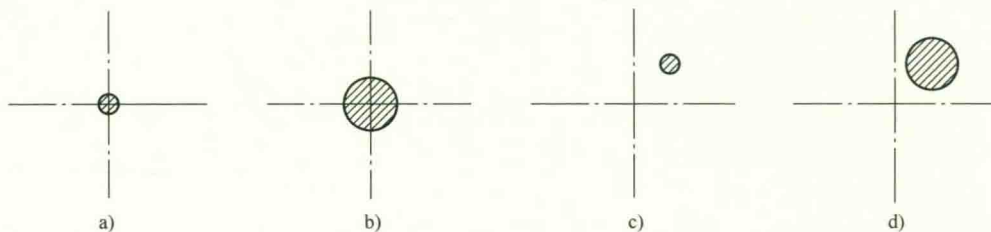


图 1-10 精度和准度

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。

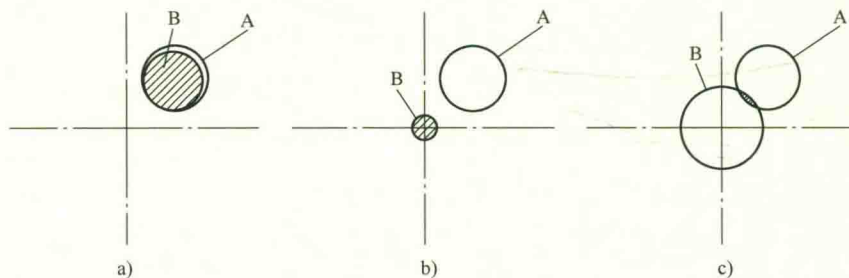


图 1-11 相对准确度

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。设计基准一般都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