

唐远志 向雄方 编著

汽车车身制造工艺



QICHE CHESHEN



ZHIZAO GONGYI



化学工业出版社



·北京·

前 言

汽车制造业是我国的支柱产业之一，而车身又是汽车三大总成之一，车身制造工艺复杂多样、发展迅速。为适应我国快速发展的车身制造业，需要培养一大批掌握车身制造技术的新人，从事车身技术的工程人员也需要车身工艺方面的书籍。

随着车身制造业的发展，各大专院校开设车身专业或开设车身工艺课程，有逐渐增多的趋势。相对而言，车身工艺方面的书籍较少，而与实践结合紧密并反映最新实用车身工艺的内容更少。本书就是为弥补这方面的不足而编写的。

本书是在多年教学实践基础上，结合技术工作经验、研究成果，同时考虑实际工作中的实用性编写而成。在内容安排上，遵循了学生学习车身制造工艺的认知规律，首先讲车身结构，再讲工艺、质量、装备，最后介绍工艺改进。

书中有大量的编者亲历的真实工程案例，深受学生欢迎，可极大地激发学生的学习兴趣。这是本书一大亮点。在讲述知识的同时也介绍一些工程理念，有助于培养学生的工程思维方式。

教材内容均可在课堂讲授，其中带“*”号的章节内容也可供学生课外自学。

本书由湖北汽车工业学院唐远志、向雄方编著。唐远志编写了第1章、第3章、第4章、第7章~第17章；向雄方编写了第5章、第6章；湖北汽车工业学院的王维志编写了第2章。

本书读者对象为高等学校及专科学校的汽车专业及相关专业学生，也适于从事车身制造工艺及相关专业的工程技术人员参考使用。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请使用本书的广大师生、读者及同仁多提宝贵意见。

编者

目 录

第 1 篇 车身结构与材料

第 1 章 车身结构	1
1.1 车身概述	1
1.2 车身结构	1
1.3 车身焊缝布置及工艺性	6
1.4 车身结构精度	9
1.5 车身结构刚度	11
第 2 章 车身材料	14
2.1 冲压工艺对材料的要求	14
2.2 汽车材料的发展趋势	16

第 2 篇 车身冲压工艺

第 3 章 冲压工艺概述与压力机	19
3.1 冲压工艺特点及其分类	19
3.2 压力机的选择	23
3.3 曲柄压力机	24
* 3.4 新型伺服压力机	29
第 4 章 塑性变形理论与车身材料	30
4.1 冲压塑性变形的概述	30
4.2 冲压塑性变形的基本理论	31
4.3 板料冲压成形性能	35
第 5 章 冲裁分离工艺	38
5.1 冲裁板料分离过程	38
5.2 冲裁模间隙	41
5.3 冲裁模刃口尺寸的计算	42
5.4 冲压力和冲模压力中心	44
5.5 冲裁件排样	47
5.6 冲裁模分类及结构简介	48
第 6 章 弯曲成形工艺	52
6.1 弯曲变形分析	52
6.2 弯曲件质量分析与工艺设计	55
6.3 弯曲工艺计算	61

6.4	弯曲模简介	64
第7章	拉深成形工艺	66
7.1	概述	66
7.2	圆筒形零件的拉深	66
7.3	盒形件的拉深	72
7.4	拉深工艺设计	73
第8章	局部成形工艺	80
8.1	概述	80
8.2	胀形工艺	80
8.3	翻边工艺	82
第9章	车身覆盖件冲压工艺	87
9.1	车身覆盖件的冲压工艺特点	87
9.2	车身覆盖件拉深工艺设计	90
9.3	大型覆盖件成形模结构	97
9.4	覆盖件冲压质量检查	100
*9.5	发动机罩外板凹陷原因及措施	101

第3篇 车身焊装工艺

第10章	车身焊装工艺概述	103
10.1	车身焊装工艺特点	103
10.2	电阻焊原理与分类	104
10.3	点焊热源	107
10.4	点焊规范参数与质量	112
10.5	车身质量问题与措施	117
10.6	车身焊装精度及质检	120
第11章	车身焊装装备	125
11.1	点焊设备	125
11.2	焊装夹具概述	128
11.3	装焊件在夹具上的定位与夹紧	129
11.4	车身装焊夹具	134
第12章	车身焊接装配线	141
12.1	车身焊接装配线的组成	141
12.2	贯通式装焊线	142
12.3	循环式装焊线	145
12.4	“由内往外”夹具	146
*第13章	车身焊装工艺改进案例	147
13.1	焊装线焊机发热分析及对策	147
13.2	车身液压升降机技术改进	149
13.3	轿车车门下沉问题	152
13.4	车门阻涩与侧围夹具改进	154
13.5	油箱孔座螺母焊爆炸故障研究	155

13.6 两项专利.....	158
----------------	-----

第4篇 车身涂装工艺

第14章 车身涂装概论与涂料	161
14.1 车身用涂料概述.....	161
14.2 车身用底漆.....	164
14.3 车身用中间层涂料.....	166
14.4 车身用面漆.....	167
14.5 车身其他涂料.....	168
第15章 车身漆前表面处理	170
15.1 漆前表面处理的目​​的及内容.....	170
15.2 金属表面的脱脂.....	170
15.3 金属表面磷化处理.....	173
第16章 车身涂饰工艺及装备	177
16.1 车身涂饰工艺.....	177
16.2 涂漆方法及装备.....	178
16.3 涂膜干燥.....	185
16.4 提高涂装质量的措施与质量检查.....	186
*第17章 车身涂饰工艺案例	190
17.1 车身底漆吊具.....	190
17.2 车身发货交接吊具.....	192
17.3 喷漆支架.....	193
17.4 轿车发动机盖锁扣合问题.....	194
17.5 尾门漏水分析及措施.....	196
17.6 底漆线温度控制改造.....	197
17.7 可旋式轿车保险杠漆面打磨平台.....	197
附录 某整车装调规范（摘录）	199
参考文献	203

第 1 篇 车身结构与材料

第 1 章 车身结构

1.1 车身概述

随着科学的发展和社会的进步，我国汽车工业从无到有，从小到大，发展成为一个完整的工业体系。从 20 世纪 50 年代初到 20 世纪 80 年代中期，主要生产卡车，到 20 世纪 80 年代末才开始生产轿车，轿车工业的真正发展只有二十多年的时间，因此车身制造技术一直是我国汽车工业中的最薄弱的环节。为提高我国汽车工业的水平和满足日益增长的人们物质生活需要，应重视车身技术的研究和发展。

汽车由三大总成组成，包括发动机、车身、底盘。其中车身既重要又特殊，其特点如下。

① 制造成本较高，经济效益较好。车身制造成本约占整车成本的 50%；除具有使用价值外，车身还具有艺术价值，经验表明，造型美观的车身能使整车总价值提高 10%~40%，车身的经济效益远远高于其他两大总成。

② 车身设计涉及多门类学科专业知识。理工学科方面，涉及流体力学、材料学、机械原理、人体工程学等；艺术学科方面，涉及艺术造型、美学知识等。

③ 车身制造工艺复杂多样。车身的制造工艺有冲压、焊装、涂装。至今，总装、涂装工艺中部分工序还难以实现机械化，需人工完成。

④ 车身质量较大。乘用车车身的质量约占整车的 30%~40%，商用车车身的质量约占整车的 16%~30%。

⑤ 车身工程相对底盘、发动机发展较晚，但已成为发展最迅速的分支。轿车的发展主要在车身技术。

1.2 车身结构

车身结构是车身技术中的一个重要问题，所有的车身制造技术都是围绕车身结构的实现而发展的。

1.2.1 车身组成

车身是指卡车驾驶室和轿车车身。未涂漆的车身称为白车身，白车身由车身骨架和覆盖件总成两部分组成。

(1) 车身骨架

轿车车身骨架见图 1-1，由发动机舱总成、空气盒总成、顶盖、地板总成、侧围总成、行李

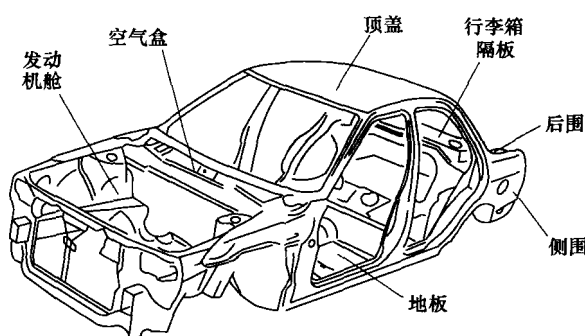


图 1-1 轿车车身骨架

箱隔板、后围等总成组成。

(2) 车身覆盖件

车身覆盖件是指覆盖车身骨架结构的表面板件，包括车门、发动机罩、前翼子板、行李箱盖板、顶棚等（图 1-2）。

(3) 车身结构分类

汽车的品种很多，车身造型各异，按车身是否承受载荷来分，有非承载式车身和承载式车身。

1.2.2 非承载式车身

非承载式车身由车架与车身组成，车架与车身由螺栓连接，两者之间有橡胶垫。车身内部的载荷作用在车架上，车身本身不受力，主要起“罩子”的作用。车架是非承载式车身的—一个重要部件。

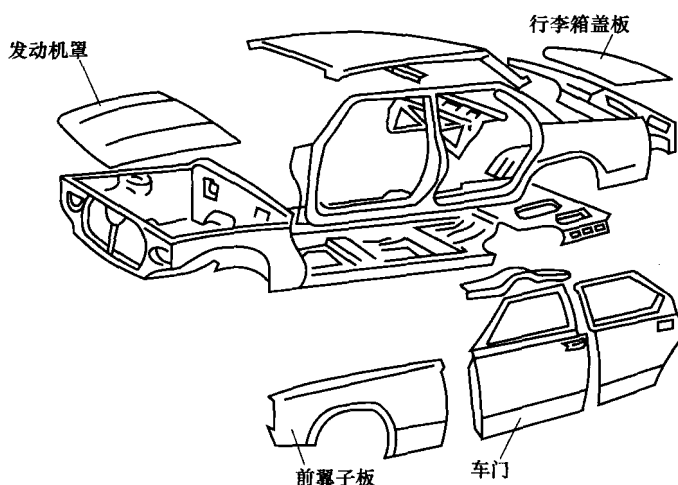


图 1-2 轿车白车身覆盖件

车架是架装在汽车前、后轴上的梁式结构。车架是汽车各个部件装配的基体，任何部件都直接或间接安装在车架上，它承受着各个方向的力和力矩，因此必须具有足够的强度、刚性和韧性。车架是单独制造的，制造工艺比车身简单。卡车车身和早期轿车均采用非承载式车身结构。

车架结构有三种形式：框式、脊梁式、综合式。

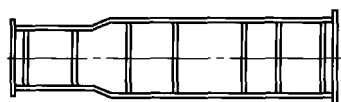


图 1-3 双梁式车架

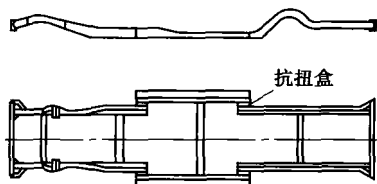


图 1-4 三段双梁式车架

(1) 双梁式车架

双梁式车架结构（图 1-3）便于安装车身等总成，可满足改装车和发展多品种的需要，所以

被广泛应用于卡车、专用汽车、大客车以及早期轿车上。三段双梁式车架（图 1-4）前后两段窄中间宽，前后两段与中段由抗扭盒连接，在力的作用下，三段双梁相互间可发生小角度相对转动，吸收冲击、降噪，整车稳定性好，但结构复杂，成本高，适用于中高档轿车。

(2) 单梁式车架

单梁式车架由一根位于车身对称中心上的粗大钢管和若干根横向悬伸托架所组成（图 1-5），其特点是有很好的扭转柔度，结构上容许车轮有较大的垂直跳动，便于安装独立悬架，因此被应用于某些高越野性车上。

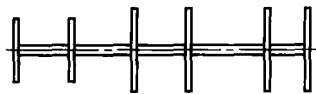


图 1-5 单梁式车架

(3) 单双组合式车架

它是综合上述两种车架结构特点而成（图 1-6），多用于早期轿车上。车架的前、后均近似于双梁式车架，前、后端便于分别安装发动机和后桥。中部为一短脊梁，有很好的扭转柔度。

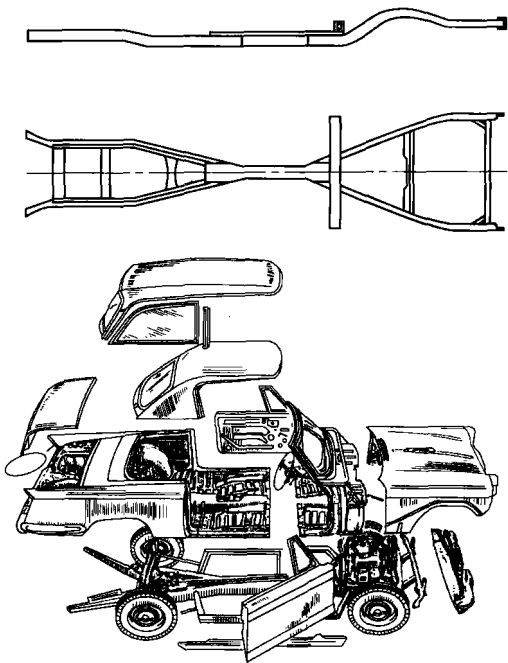


图 1-6 综合式车架及应用

非承载式车身的车架与车身之间有橡胶垫，可以起到缓冲、吸收车架扭转变形和降低噪声的作用。由于有车架作为整车基础，所以改变车身可制成各种改装车，如客车等。发生撞车事故时，车架可以保护车身。车架单独制造，工艺简单。

车架增加了整车高度，也增加了整车风阻系数。车架要求具有足够的强度和刚度，因此应采用厚钢板材料，这将导致整车重量增加，另外车架加工成本也较高。

1.2.3 承载式车身

(1) 承载式轿车车身

考虑到非承载式车身整车较高的缺点，承载式车身的设计思路是将整个车身与车架融为一体，即将车架隐藏在侧围下方，以降低车身，降低高度，降低风阻系数，降低重量，扩大车内使用空间。

图 1-7 所示为蓝鸟轿车承载式车身，车身由两侧围、地板、顶盖、前散热器架、空气盒、后围等装焊而成，形成一个稳固的整体，体现了现代轿车车身结构特点。整车采用薄钢板材料，使重量明显减少。由于底盘与车身之间没有车架，明显降低了整车高度，风阻系数明显减小，适应现代流线型车身的制造特点。

各分总成均为封闭的圈梁结构，目的是增加刚度。从总体看，轿车车身前、后门的前、后柱及门中立柱组成六立柱结构，顶棚圈梁和底板圈梁组成二圈梁结构。这种六立柱、二圈梁结构，有效提高

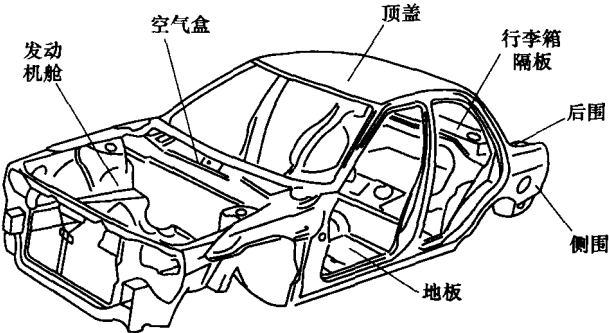


图 1-7 承载式轿车车身骨架

了车身的刚度。

但承载式车身增加了制造成本。由于没有车架，来自传动系统和悬架的振动和噪声将直接传递给车身，而车厢本身又是易形成空腔共鸣的共振箱，因此降低了乘坐舒适性，为此，必须采用大量的隔振材料，从而增加成本。另外改型较困难，抗扭性较差，不适宜小批量生产。

(2) 承载式大客车车身

大客车承载式结构可分为底座承载式和整体承载式。

底座承载式结构是将车身腰围线以下到地板部分作为车身承力骨架，其他部分采用薄板材制作。如 20 世纪 50 年代苏联产拉斯牌大客车车身（图 1-8）就是承载式车身结构，其地板为格栅式结构。

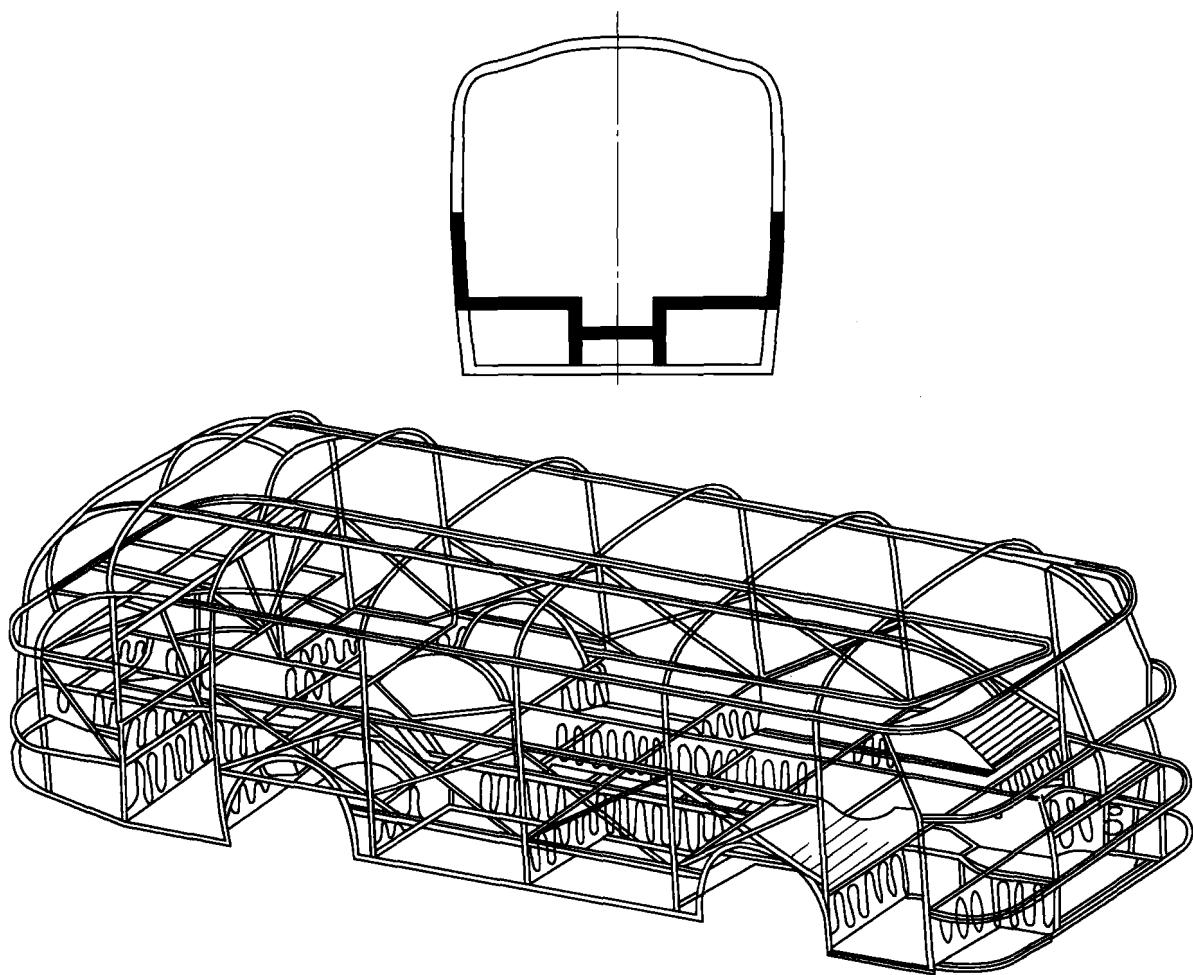


图 1-8 拉斯牌大客车车身

格栅式结构的特点：由尺寸相近的型钢组成，易于建立较符合实际结构的有限元模型，从而提高计算精度。通过变动杆件的数量和位置调整杆件中的应力，从而达到等强度设计的目的。具有较大的抗扭刚性，节省材料，降低加工成本。

整体承载式车身的上部与下部形成一个统一的整体封闭环，在下部承受载荷发生变形时，上部将会对下部产生约束反力来共同抵抗变形。整体承载式车身的优点是可以设计出等强度的空间结构，使

车身重量小、刚度大，易于保持低重心，可用空间大，易于实现自动化生产，安全性高。

图 1-9 为英国 National 牌大客车，其特点是顶盖上的弧形横梁与两侧的力柱和地板下的槽形横梁构成一较强的封闭环，然后利用顶盖纵梁、顶盖侧纵梁、腰梁和地圈梁等将这些封闭环连接起来，从而构成一刚性很强的空间框架结构。该车身结构能确保翻车时乘员的安全，而且使用寿命长。其缺点是窗立柱太粗、柱距过小，视野较差。

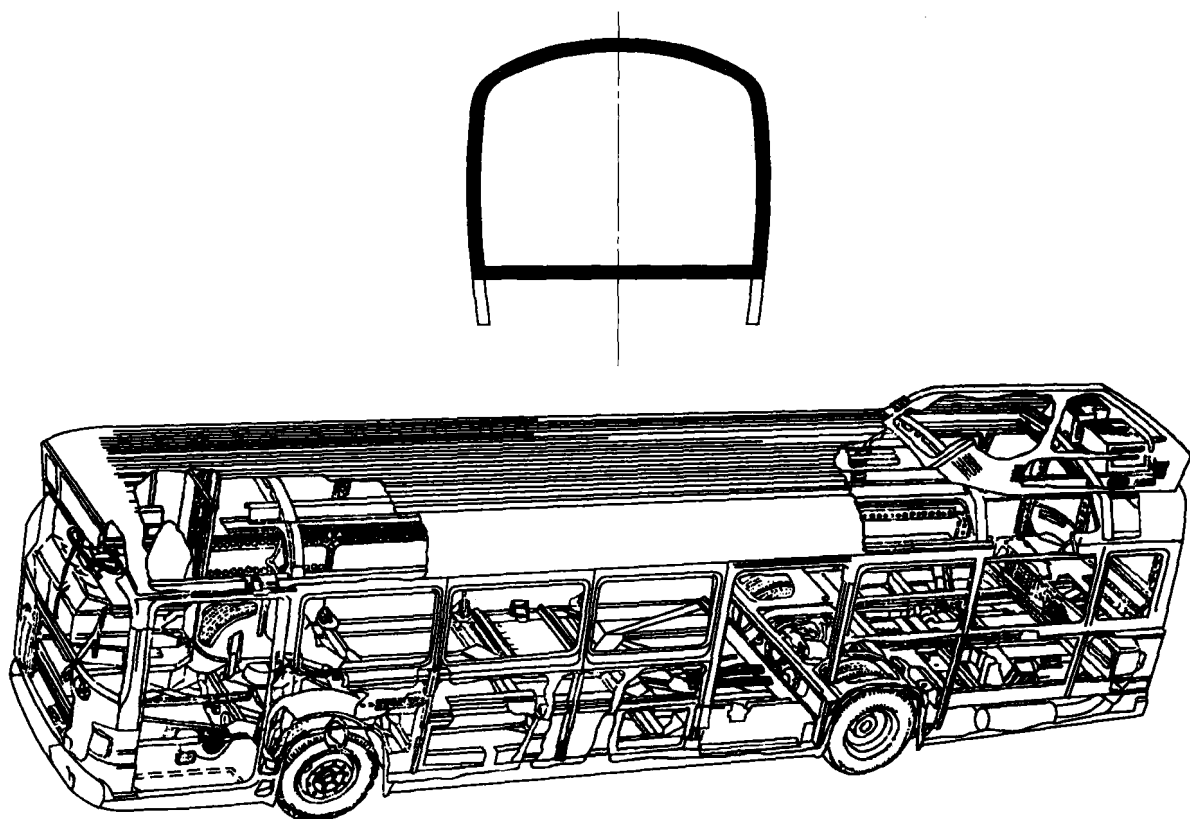


图 1-9 英国 National 牌大客车

1.2.4 车身覆盖件

车身覆盖件可分为骨架外蒙皮式和内外板组合式两种。

(1) 骨架外蒙皮式

骨架外蒙皮式是指内骨架外表贴焊薄钢板车身，骨架采用方管或其他型材制作。图 1-10 所示为国产解放牌卡车驾驶室结构，它由骨架总成、后围板、顶盖总成、前围总成组成。

因骨架材料一般较大，外蒙皮的钢板也较厚，所以车身重量较大，但生产工艺较简单、投资少，适于小规模生产。由于有骨架，对车身造型和改型有限制，所以此类结构不适于造型复杂的轿车，多用于外形简单的卡车和中巴车。

(2) 内外板组合式

内外板组合式车身由双层钢板组成，外侧的钢板称为外板，另一钢板为内板。因内外板中部为空心，边缘点焊连接，所以刚度较大，见图 1-11。

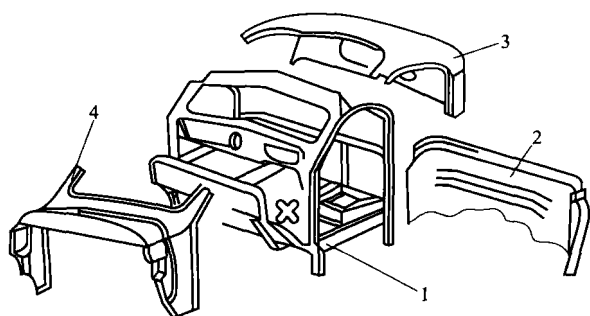


图 1-10 国产解放牌卡车驾驶室结构

1—骨架总成；2—后围板；3—顶盖总成；4—前围总成

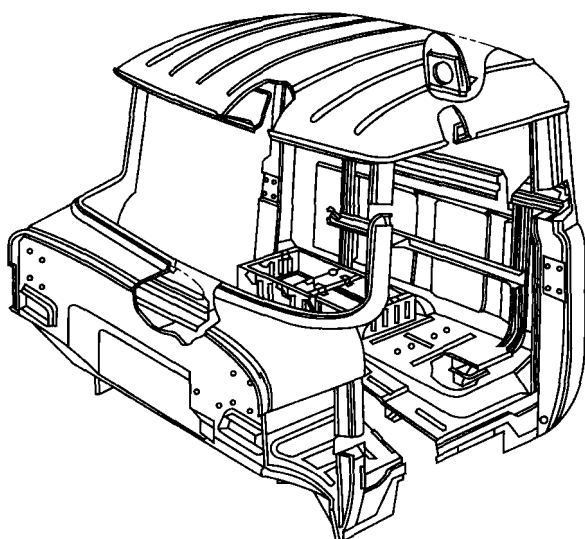


图 1-11 内外板组合式苏联吉尔牌卡车驾驶室

内外板组合式车身对拉深加工工艺要求较高，成本较高，但适用各种复杂造型，且重量轻。内外板组合式车身适于大规模生产，现代轿车基本都采用内外板组合式结构。

覆盖件外板采用拉延工艺制作，易形成空心结构，提高构件的抗弯刚度，使外观圆角化，拉延件发生冷作硬化可提高强度。

1.3 车身焊缝布置及工艺性

轿车车身各覆盖件总成及骨架均由内外薄钢板组成，覆盖件外板采用表面质量好的材料，内板次之，内外板接触处为搭接，在搭接处采用点焊将两者固连。内外板之间为空腔结构，其目的是提高焊件刚度，同时节省材料和减轻重量。

一辆载货汽车车身有 1000 多个焊点，轿车车身的焊点达 4000~5000 个、累计焊缝长达 40m 以上，了解焊缝结构对加深理解整车结构有很大帮助。

1.3.1 焊缝布置

各覆盖总成之间的连接一般为搭接结构，通过点焊连接在一起。为美观起见，焊点不暴露于车身外表面，特别是覆盖件表面和外露的骨架表面。因此搭接边设计应考虑以下问题。

具有隐蔽性。搭接结构是连接结构，设计时要考虑避开人们的视线范围。如搭接结构应设在被车门等覆盖件遮盖的位置：门框、窗框、地板等，覆盖件搭接结构设在雨水槽、装饰条遮盖的位置。

图 1-12 为轿车车身侧围与顶盖、地板的搭接。由图 1-12 中 A—A 可以看出，侧围与地板的搭接有两处，一个在车身底部，另一个在侧围门槛中部。置于车身底部一般人们视线不能达到，所以不影响外观；在侧围门槛中部，车门关闭遮盖后也不影响外观。

地板 U 形结构与侧围 U 形结构点焊形成两个刚度较大的截面，为矩形纵梁，增加了车身整体的刚度。

图 1-12 中 B—B，顶盖与侧围的搭接边巧妙设计在雨水槽中，雨水槽外边遮盖了搭接边，既不影响焊接操作，又具有隐蔽性，外表美观。

图 1-12 中 H—H，地板与侧围的搭接边向内倾斜是为了避开人的视线，同时不影响车身下

端与地面的高度。

图 1-12 中 $C-C$ 和 $E-E$ ，在顶盖前后端下方设有加强梁，既提高了顶盖的强度和刚度，又为安装内饰提供了固定螺母的基础。

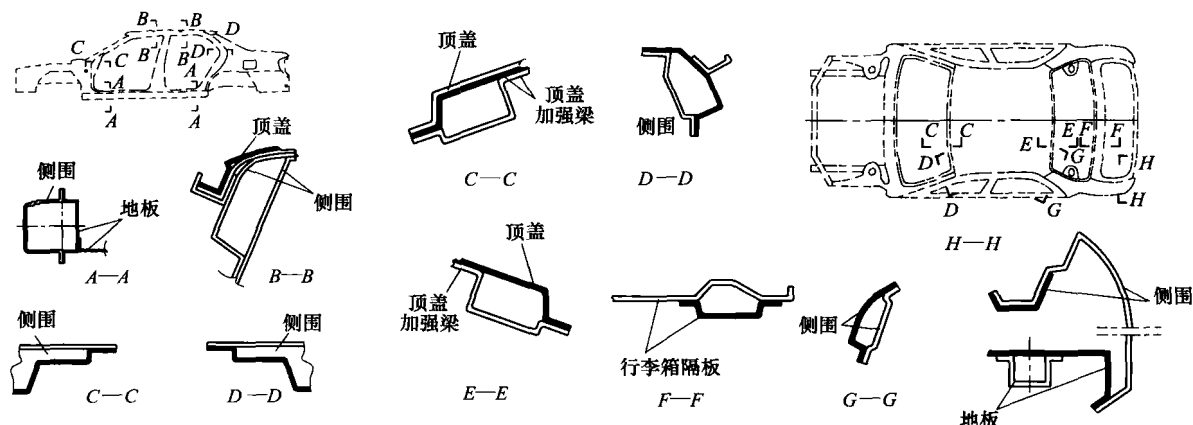


图 1-12 轿车车身侧围与顶盖、地板的搭接

可以看出，一般外板形状较为复杂，内板多为平面、较简单。

1.3.2 制造工艺的要求

(1) 搭接宽度适中

搭接宽度适中，宽度要超过一个焊点直径并留有一定的余量，一般为 15~18mm。

(2) 便于点焊操作

所有的搭接处一般选在两连接板料的边缘，不宜远离边缘，主要是考虑焊枪容易操作，同时减小焊枪臂长，减轻焊枪重量，如图 1-13 所示。

图 1-14 为轿车车身侧围与后围板的搭接，行李箱隔板和行李箱后围板设有加强板。开设的工艺孔是为了给焊枪臂留出进入通道，焊接上部的搭接焊点。

卡车驾驶室部件间搭接见图 1-15、图 1-16。搭接边尽量选在易焊接但又不影响美观的地方。

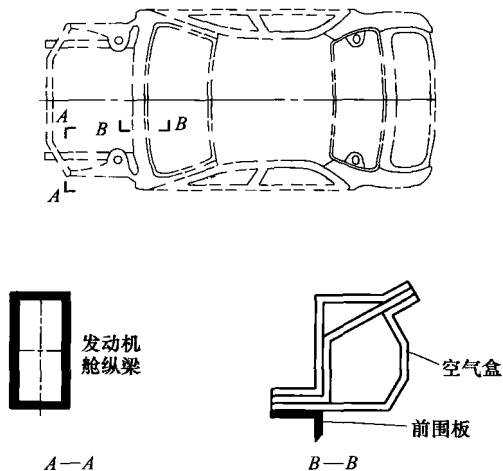


图 1-13 轿车车身空气盒与前围板的搭接

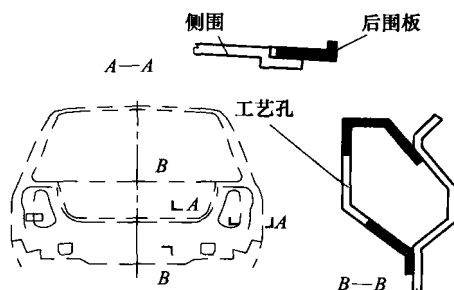


图 1-14 轿车车身侧围与后围板的搭接

如图 1-15 中 A—A 剖面。外板与顶盖内板在雨水槽下面搭接，既容易焊接，又不影响外观。顶盖内板的搭接形成前窗框并被密封圈罩住，可谓一举两得。焊点尽量选在内板或腹板上，而外板尽量不设焊点。

因此在设计时，设计师不但要考虑工艺性、节省材料，也要考虑艺术性。

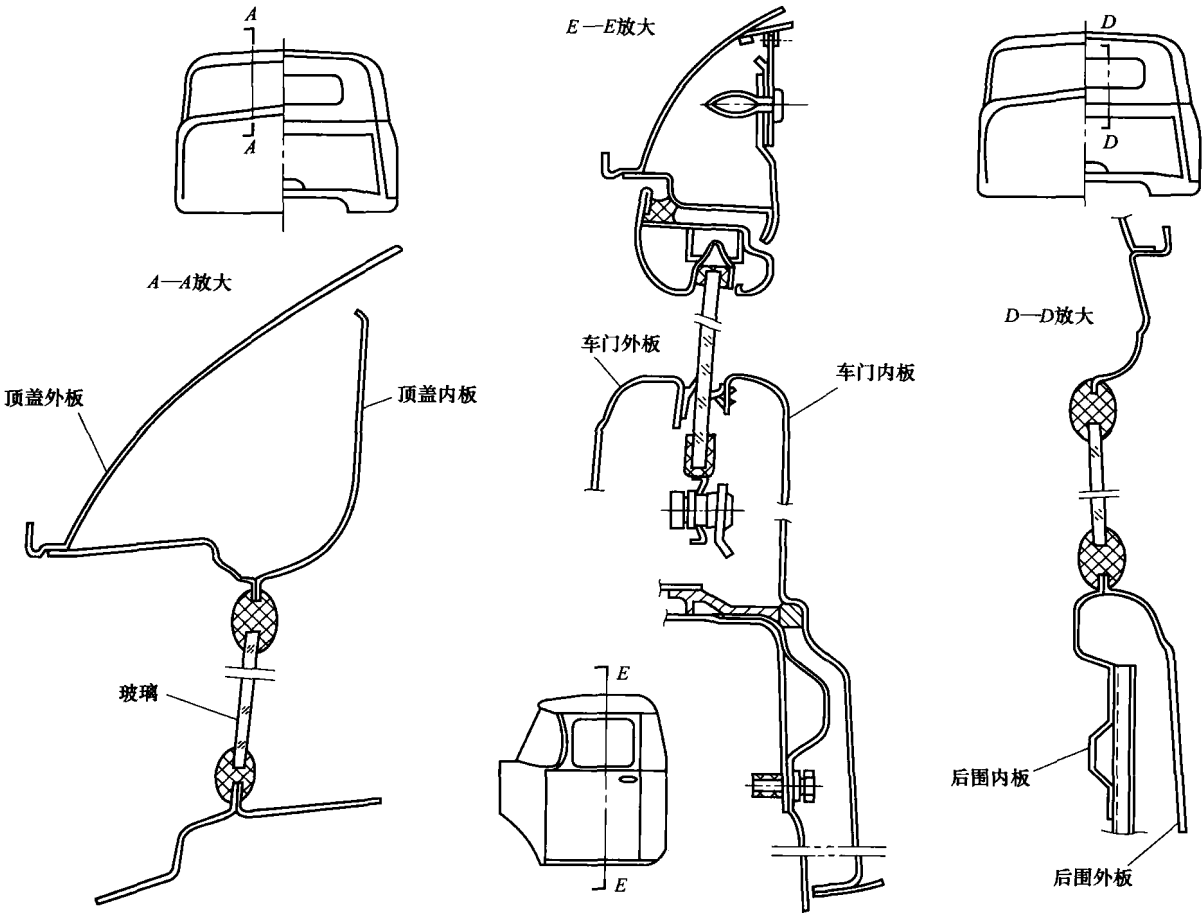


图 1-15 卡车驾驶室覆盖件间的搭接

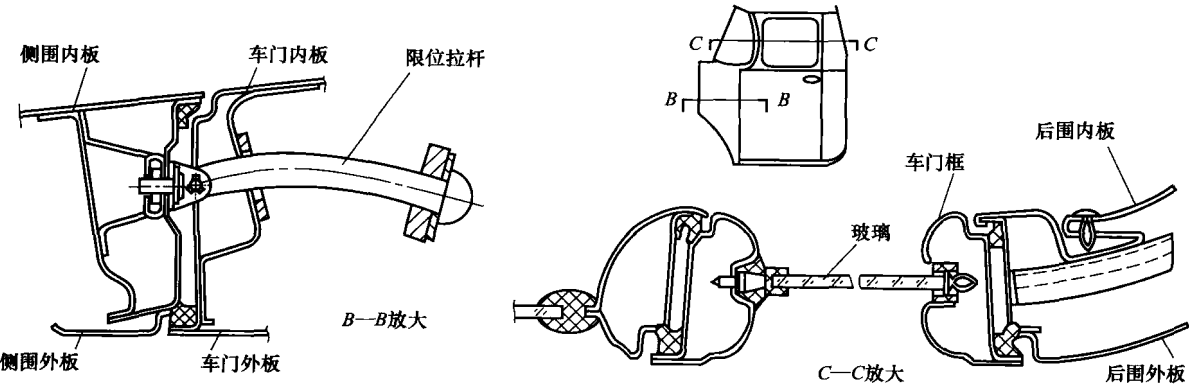


图 1-16 卡车驾驶室覆盖件间的搭接

1.4 车身结构精度

(1) 车身三维坐标

汽车车身产品图以空间三维坐标来标注尺寸。为了表示覆盖件在汽车上的位置和便于标注尺寸，汽车车身一般每隔 100mm 或 400mm 画一坐标网线，整车坐标系各不相同，这里以轿车为例，如图 1-17 所示。

X 轴：车身的对称平面与主地板的下平面之间的交线，向车身后方为正，前方为负。

Y 轴：过前轮的中心连线且垂直于车身地板下平面的平面与车身对称平面之间的交线，向车身右侧为正，左侧为负。

Z 轴：过两前轮中心且与主地板平面垂直的直线，向上为正，向下为负。

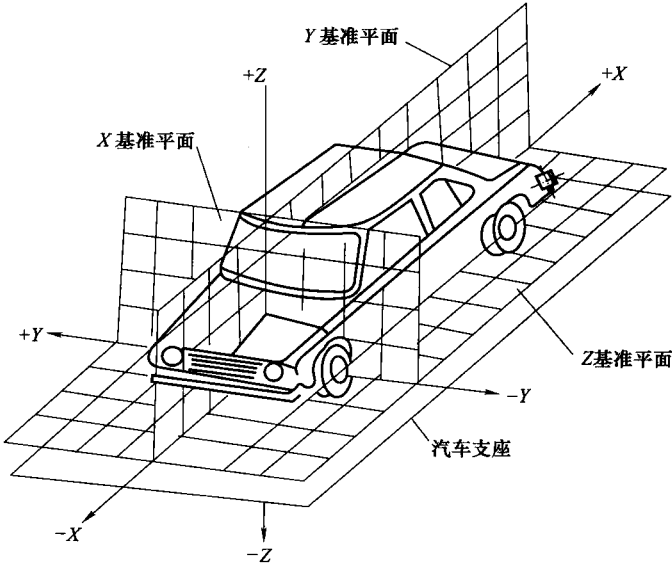


图 1-17 三维坐标系示意图

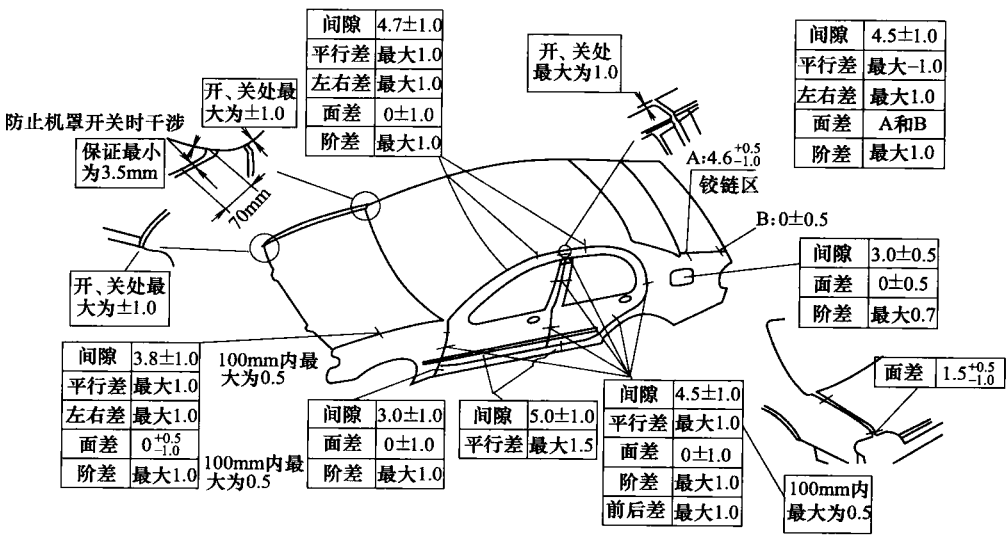


图 1-18 车身部件间外部精度

(2) 车身精度

车身装配精度包括外观精度与骨架精度，外观精度指门盖等开闭件装配后的间隙面差；骨架精度指三维坐标值。货车车身的装配精度一般控制在 1mm 内，轿车控制在 1mm 内。

图 1-18 所示为车身部件间外部精度，图 1-19 所示为车身部件间内部精度。可以看出，所有

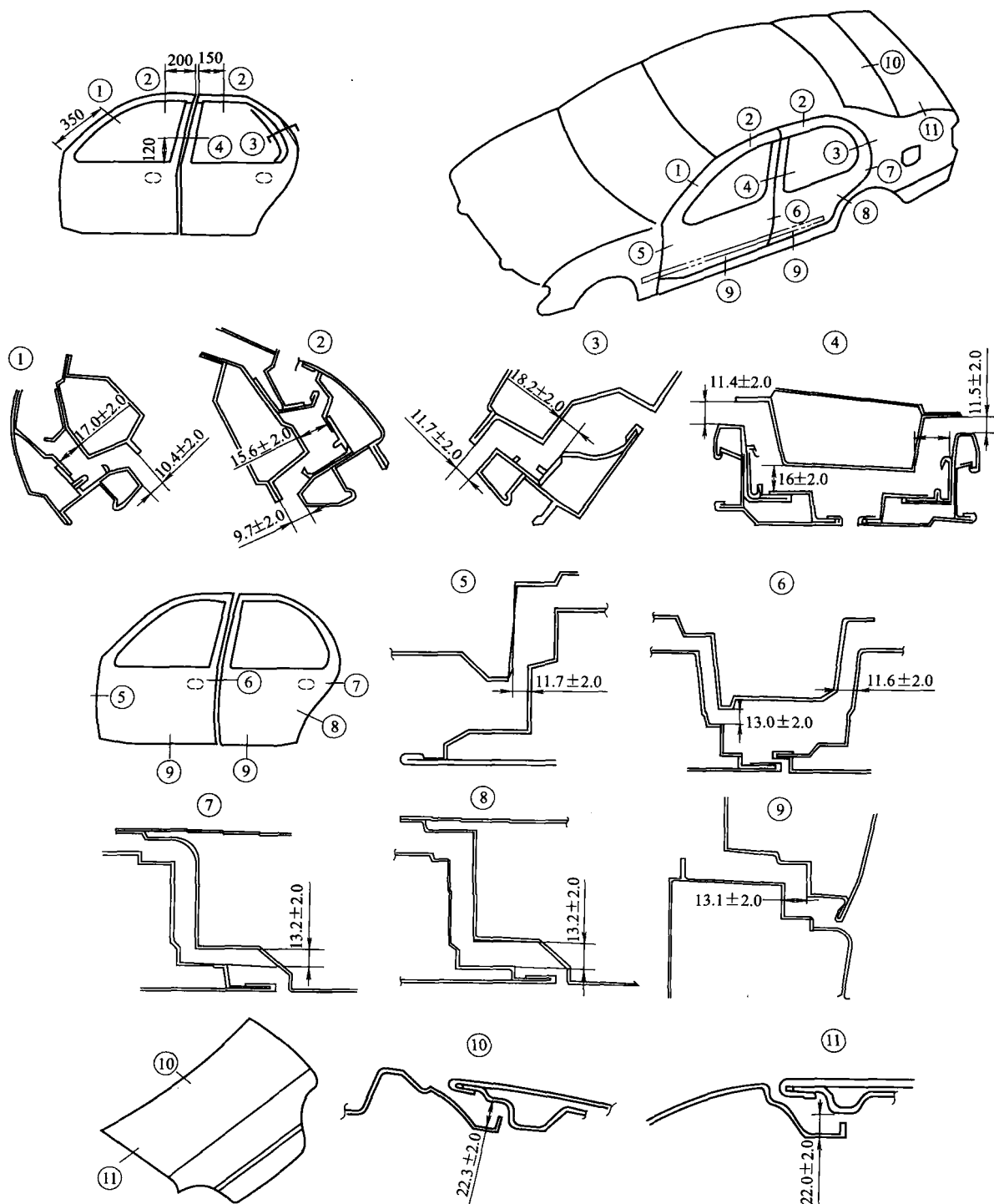


图 1-19 车身部件间内部精度

公差均在 1mm 内，外部精度高于内部精度体现了车身为艺术品的特点。

为了提高精度，尽量采用整体冲压件。在冲压工艺允许的情况下，应尽可能减少车身零件的分块，特别是不容易保证结构尺寸或尺寸要求较高的结构零件，要尽量采用整体冲压件，如整体门框、侧围及前风窗框等零件，以减少车身匹配时的装配误差和焊接变形。

此外，冲压件的结构和型面设计、装配孔和工艺孔的安排布置及焊接的接头设计也要合理，这样才能很好地进行车身匹配时的定位焊接，从而减少车身匹配焊接误差。

1.5 车身结构刚度

随着高速公路的普及，轿车车速不断提高，在轿车轻量化的同时，还必须从保护乘员人身安全

1.5.1 车身前、中、后部位刚度

试验表明，在纵向撞车的情况下，车身各不同部位刚性对安全性的影响如图 1-20 所示，图中示出 4 种方案，剖面线部分表示刚性结构，无剖面部分表示弹性结构。

方案 4 较理想。在车身前部和后部均为弹性结构而中部为刚性结构的情况下，只有保证纵向碰撞发生时，车身前部或后部吸收 80% 以上的碰撞能量，才能确保乘员的安全。

可以通过合理分配力流和增加局部吸收碰撞能量的能力达到此目的。

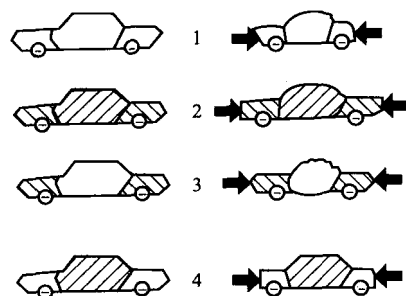


图 1-20 轿车车身各不同部位刚性对安全性的影响

1.5.2 立柱结构刚度

一般轿车车身有六个立柱，从前往后依次为前柱、中柱、后柱。轿车的立柱除了起支撑作用外，还起到门框的作用。

前柱几何形状要考虑前柱遮挡驾驶者障碍角度问题。一般情况下，驾驶者通过每根柱双目障碍角为 6° ，从舒适性看，障碍角越小越好。既要有一定的几何尺寸保持前柱的高刚度，又要减少驾驶者的视线障碍角。图 1-21 为沃尔沃概念车 SCC 通透式前柱。

中柱不但要支撑车顶盖，还要承受前、后车门的支撑力。因此中柱大都有外凸半径，以保证有较好的力传递性能。采用液压成形的封闭式截面中柱，它的刚度大大提高而重量大幅减小，有利于轿车的轻量化。

有的车考虑到上、下车的便利性，取消中柱。如法国雪铁龙 C3 轿车，如图 1-22 所示，中柱被取消，乘员完全无障碍上、下车。取消中柱就要相应增强前、后柱刚度，后柱构造尺寸可适当增大，并保证后柱与车身的密封性。

1.5.3 梁的结构刚度

由于纵向碰撞发生时，能量的 70% 需由车身纵梁吸收，因此纵梁的作用十分重要。碰撞时可依靠局部变形吸收能量，减少中部成员舱变形的可能性。局部变形可以依靠梁的局部弯曲。福特安全试验车为了能更好地吸收碰撞能，将汽车纵梁设计成波纹筒状纵梁结构（图 1-23）。大发 TAF (total advanced function)（图 1-24）发生碰撞时，发动机舱处汽车纵梁发生 V 形曲折，可防止发动机等侵入驾驶员空间。

在车辆行驶中，由于急打方向盘等原因会导致车辆翻车，为确保乘员有足够的生存空间，车



图 1-21 沃尔沃概念车 SCC 通透式前柱



图 1-22 雪铁龙 C3 轿车没有中柱

身结构必须加强，主要措施有加强车顶纵梁及立柱，这些措施在侧面碰撞防护中同样有效；在车顶设置翻车保护杠，如图 1-25 所示。

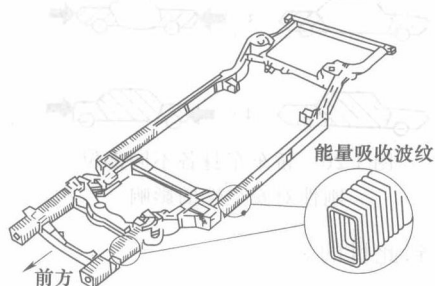


图 1-23 波纹筒状纵梁结构

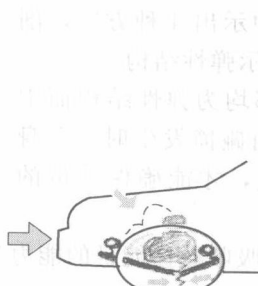


图 1-24 大发纵梁
发生 V 形曲折

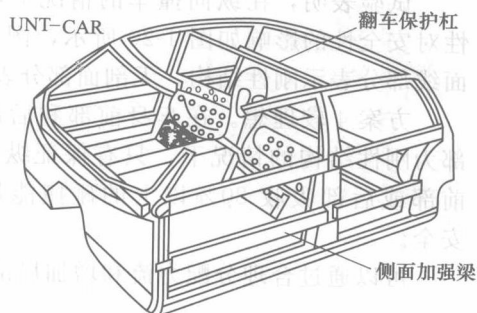


图 1-25 侧面碰撞保护加强梁和翻车保护杠

地板总成的门槛梁和分置在其间的横梁，可以起到防止地板折叠的作用。一般侧向要预留 100~300mm 的空间，供侧向铰折变形之用。为了提高门槛抗弯刚度，应尽量加大其断面尺寸。此外，还可以在门槛梁内增设加强板结构。如图 1-26 所示为桑塔纳门槛增设加强板。

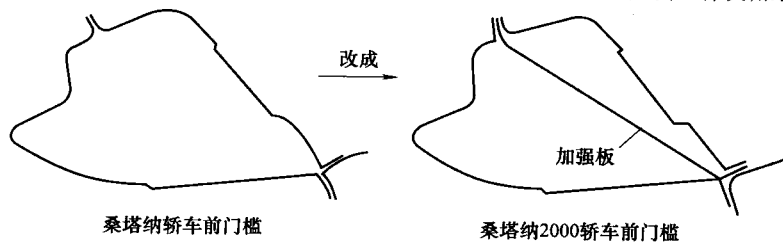


图 1-26 桑塔纳门槛增设加强板

一些承受应力较大的部位可使用高强度钢板，例如散热器支撑横梁、上边梁等。中空管状梁内填充发泡材料，可以大大提高其吸收能量的能力，如富康轿车后窗立柱，如图 1-27 所示。

1.5.4 覆盖件结构刚度

覆盖件组装后构成了车身或驾驶室的全部外部和内部形状，它既是外观装饰性的零件，又是封闭薄壳状的受力零件。车身覆盖件一般要产生拉延以提高刚度，另外可以改进结构。

发动机罩设计应确保能发生皱折而吸收碰撞能量。在发生碰撞时，发动机罩变形，薄弱环节