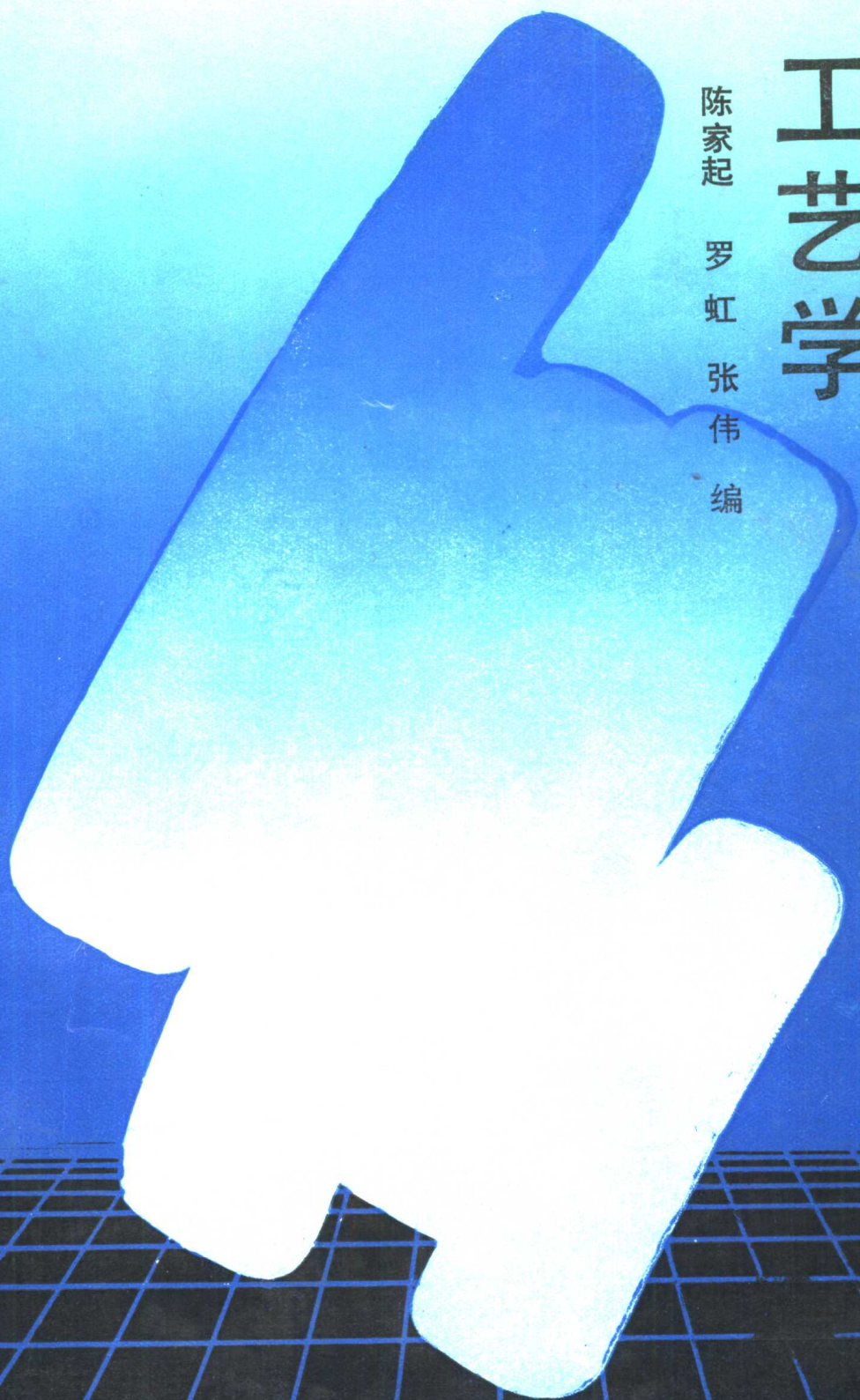


汽车车身制造

工艺学

陈家起 罗虹 张伟 编



重庆大学出版社

重庆大学出版社

汽车车身制造工艺学

汽车车身制造工艺学

陈家起 罗虹 张伟 编

重庆大学出版社

内 容 简 介

全书共分四章，包括绪论，车身冲压工艺，车身装焊工艺和车身涂装工艺。本书根据汽车车身制造的特点，着重介绍了汽车车身制造方面所需要的工艺基本理论和知识以及现代车身制造工程的先进技术。

本书可作为高等学校汽车专业、专科学校汽车专业的教材，还可供从事汽车拖拉机设计制造的工程技术人员参考。

汽车车身制造工艺学

陈家起 罗虹 张伟 编

责任编辑 梁涛

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆大学出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：8 字数：200千

1993年1月第1版 1993年1月第1次印刷

印数：1—5000

标准书号：ISBN7-5624-0537-9 定价：4.00元
U·8

(川)新登字020号

序 言

世界经济的历史一再表明，在一个国家经济起飞时，以汽车工业作为支柱产业，每每取胜。这并非偶然，而是由于汽车是现代“工业之花”，它不断吸收几乎包括各行业的新技术与管理于一身，又可带动较宽领域相关产业的高度化、集约化发展。

经历十年的改革开放，我国经济正走向持续、高速发展的重要阶段，无论是国家还是各省市地方，自觉或不自觉都在寻求经济发展的生长点，寻求经济结构调整的带头产业。人们从各自的实践出发，几乎都得出了同一的结论——即汽车是左右经济发展的支柱。

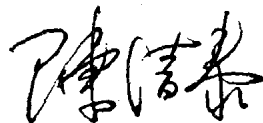
正如《改变世界的机器》一书的编者所描述的：“汽车工业是世界上第一个全球化工业，汽车是世界唯一兼有零件以万计，产量以千万计，保有量以万万计的综合性、高精度、大批量生产的产品。”

汽车设计和制造技术大致可分三大部分，即发动机、底盘和车身。而人们追求汽车的安全、舒适、新颖和豪华的特色，大多通过汽车车身来体现的。在我国，由于经济落后，加之长期单一计划经济体制的影响，在汽车工业中车身技术未能放到应有的重要地位，与另两大部分相比，车身技术就更显落后，技术人才就更显匮乏。

在我国改革经济体制，发展有计划商品经济的十年中，汽车已较早地体现了竞争性行业的特点；在对外开放，不断扩大国际经济交往中，中国的汽车市场正在成为世界市场的一部分，这种变化了的环境已使汽车车身的设计与制造水平在市场竞争中显示了特殊重要的作用。

为适应这一需要，由武汉工学院、重庆大学合编了这部《汽车车身制造工艺学》，汽车车身制造是一涉及众多专业的高技术领域。本书较系统地介绍了汽车车身制造方面所需的工艺基本理论知识和现代车身工程的一些先进技术，是一本兼顾理论与实践的书籍，可供汽车专业学生和有关工程技术人员学习参考。

我将此书推荐给同学和同行，是希望借助这一著作的出版，推动我国汽车工业，特别是我国汽车车身设计和制造水平的提高。



1992年2月

前 言

汽车车身制造工艺是一门综合性的系统工程，它包括车身冲压、装焊、涂装等重要专业技术。为了适应我国汽车工业的发展，满足我国汽车工业对车身设计、制造技术的迫切需要，特编写《汽车车身制造工艺学》一书，可作为汽车专业学生学习这门课程的教材，也供从事汽车设计制造的工程技术人员参考。

本书在编写中按照少而精、理论联系实际的原则，根据汽车专业学生的知识结构，对内容进行了精选，深入浅出地介绍了车身冲压、装焊、涂装工艺的基本知识及其应用实例，并注意反映国内外汽车制造的先进技术和研究成果。本书力求层次清晰，文字精炼，以便学生学习。

本书第一章由重庆大学张伟编写，第二章由重庆大学罗虹编写，第三章和第四章由武汉工学院陈家起编写。

全书由武汉工学院胡骅副教授主审。胡骅副教授在审稿中提出了很多宝贵的意见，在此，我们表示衷心感谢。

本书在编写过程中还得到了湖北车桥厂的大力支持，在此也表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1992年2月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 轿车车身及其生产流程.....	(1)
第三节 客车车身及其生产流程.....	(2)
第四节 货车车身及其生产流程.....	(3)
第五节 汽车车身生产的特点.....	(3)
第二章 车身冲压工艺	(6)
第一节 概述.....	(6)
第二节 车身冲压用材料.....	(8)
第三节 冲裁.....	(13)
第四节 弯曲.....	(18)
第五节 拉延.....	(25)
第六节 其它成形工艺.....	(34)
第七节 冲压设备.....	(38)
第八节 车身覆盖件冲压工艺.....	(44)
第九节 覆盖件冲压模具.....	(53)
第三章 车身装焊工艺	(62)
第一节 概述.....	(62)
第二节 电阻焊的定义和分类.....	(63)
第三节 点焊.....	(67)
第四节 点焊设备.....	(76)
第五节 CO ₂ 气体保护焊.....	(79)
第六节 汽车车身装焊夹具.....	(87)
第七节 车身装焊的机械化和自动化装置.....	(68)
第八节 车身装焊生产方式.....	(97)
第四章 车身涂装工艺	(102)
第一节 概述.....	(102)
第二节 涂料的组成.....	(103)
第三节 车身用底漆.....	(103)
第四节 车身用中间层涂料.....	(104)
第五节 车身用面漆.....	(105)
第六节 涂漆前的表面处理.....	(106)
第七节 汽车车身涂装工艺的关键工序.....	(112)
第八节 汽车车身涂装典型工艺及设备.....	(116)
主要参考文献	(121)

第一章 绪 论

第一节 概 述

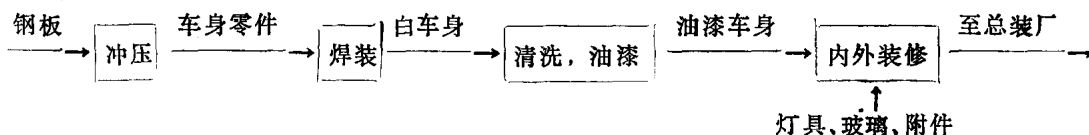
汽车从问世至今已有一百多年的历史，由于科学技术的发展和人们生活的需要，汽车形成了轿车、客车、载货汽车及特种专用汽车等类型。

汽车车身是汽车的上层建筑，汽车车身不仅是乘客的遮蔽外壳和货物的承载装置，而且已成为社会物质文明和精神文明的具体体现。车身的设计和制造综合地运用了工业造型艺术、人-机系统工程、汽车空气动力学，汽车材料学，汽车车身制造工艺学等技术理论。汽车车身直接关系到人们“行”的方便性、舒适性、安全性和货物运输效率等，并给人们以现代技术集成和时代造型技术相结合的美的享受。它代表了一个国家机械工业、材料工业、电子工业等方面的技术水平和工业造型艺术的水平。

汽车的现代化流线型外形，汽车车身各部分的制作质量，汽车外部油漆的光泽和豪华气质，汽车内部精美的装饰和完善的性能，无一不是由车身制造工艺技术来实现的。要使我国汽车工业成为国家支柱工业，并在品种质量上赶超世界先进水平，首先就必须发展和提高我国汽车制造技术，尤其是汽车车身制造工艺水平。没有汽车制造工艺的保证，就不会有高水平、高质量的汽车。

第二节 轿车车身及其生产流程

全世界汽车保有量约 5 亿辆，其中轿车约占 80%，全世界汽车年产量约 2800~3000 万辆，其中轿车约占 75%。轿车生产集中代表了一个国家汽车工业水平。轿车生产规模一般都比较大，我国第一汽车制造厂生产的高尔夫和奥迪牌轿车年产量将达 15~30 万辆，第二汽车制造厂生产的雪铁龙牌轿车年产量将达 15~30 万辆，上海汽车厂生产的桑塔那牌轿车年产量达 10 万辆。轿车车身的生产工艺包括零部件的冲压、合件及总成的焊装、车身的涂装和车身内外饰的装修，其生产流程如下：



典型轿车是由车前钣金件（车头）、车厢和车后钣金件（行李舱）组成的三厢式轿车。当把车后钣金件布置在车厢内部时，则变型为两厢式轿车。这就是轿车的两种主要外形。

轿车车身结构有以下两种：

1) 非承载式结构 其特点是有一个车架，由车架来支承发动机和传动系，并依靠车身和车架的连接来加强轿车的刚度，车架承受了各种作用力并保护了轿车底部，适应于制造各种不同的车型和易于汽车外形的改换，多用于中、高级轿车。

2) 承载式结构 其特点是没有完整的车架，由加强了的车头、车身、车尾和底板所组成的空间结构来承受各种作用力，可减轻车身重量。其车身重量轻、刚度大、地板低、上下车方

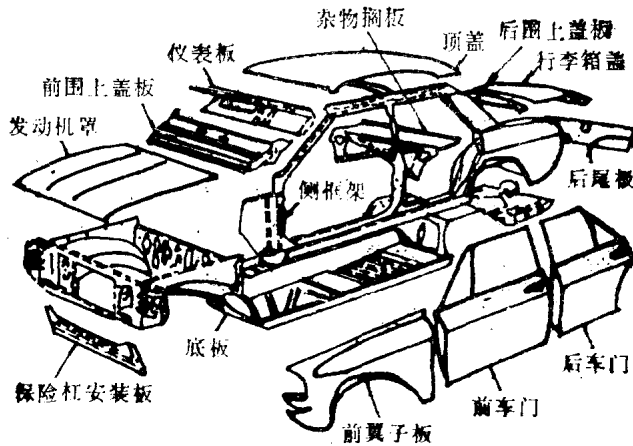


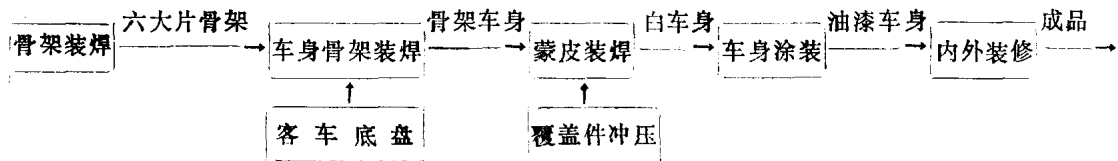
图1-1 轿车车身分块组合方式

便，但对变化适应性差，换型较困难，常用于小型普通轿车。

轿车车身分块组合方式如图1-1。

第三节 客车车身及其生产流程

客车是我国城乡主要的交通工具，有城市公共汽车、长途客车、团体客车、旅游客车等。座位数从4座至180座（包括立席）。客车生产批量一般都较小。我国年生产能力在3000辆以上的客车厂为数不多，大多数客车厂年产量在300~500辆水平。客车车身的生产工艺包括车身骨架的装焊、车身部分覆盖件的冲压或钣金加工，车身蒙皮装焊、车身涂装和车身后外饰的装修，其生产流程如下：



典型客车是一厢式（很少有长头式或短头式客车），由前围、左侧围、右侧围、后围、顶盖、地板等“六大片”组成，各片骨架在专用装焊台上组焊成型后，在汽车底盘上进行拼焊，然后在各个骨架上焊接或铆接覆盖件和蒙皮，它们的生产工艺与轿车生产工艺有很大区别。

客车车身结构有以下几种：

1) 非承载式车身 通常采用一汽、二汽、南汽、济汽等汽车制造厂提供的专用三类客车底盘（有完整车架）来改装客车，以副车架为基础组装客车车身，然后固定于底盘车架上，全部载荷均由底盘车架承受，此车身为非承载式车身。

2) 半承载式车身 通常采用底盘厂所供应的三段式（格栅式）底盘或由散件（四类底盘）来改装客车。客车有一个支承主车架，在车架中部构成承载格栅，或在车架两侧伸出承载横梁，在它们上面焊接车身各片骨架，各骨架承担部分载荷，此类车身为半承载式车身。

3) 承载式车身 这种车身和半承载式车身的主要区别就在于取消了客车的支承主车架，全部由桁架式底架或与车身构成的整体空间桁架来构成客车车身，并承担全部载荷，此类车身为承载式车身。

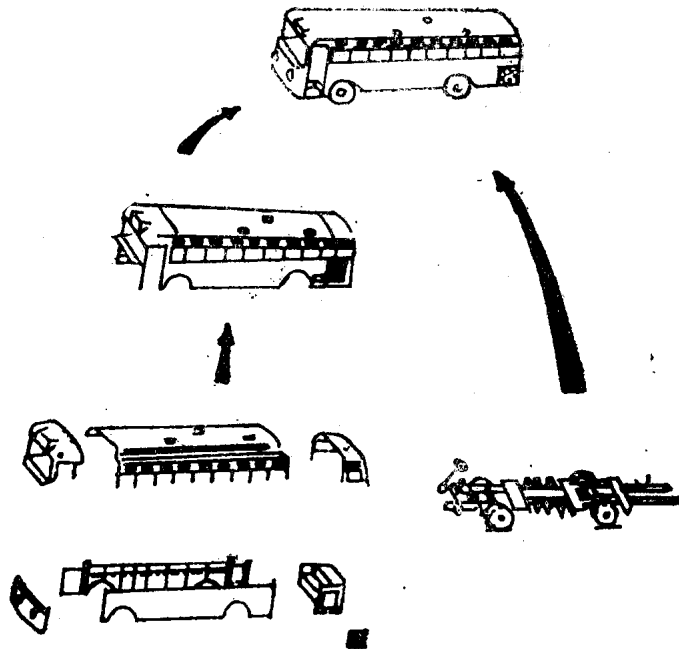


图1-2 客车车身分块组合方式

客车车身分块组合方式如图1-2。

第四节 货车车身及其生产流程

我国幅员广阔，全国汽车货运量约占全国货运量60~70%，它是火车运输和轮船运输的延续，又是我国内陆主要运输力量。我国拥有世界最大货车生产厂第二汽车制造厂。一汽货车年产10万辆以上，二汽货车年产量15万辆以上，其它轻型、重型货车生产量也很大，已具有年产60~70万辆生产能力。货车的主要特点是在底盘车架上装置一个驾驶室和一个货箱。驾驶室的生产流程与轿车生产流程相同，需要大规模的冲压厂、焊装厂、油漆厂等来完成。货箱的生产流程则根据货箱的不同结构（木结构、钢木结构）而有所不同，钢木结构货箱除少数冲压件外，大部分为钣金件制品。专用货车品种有近500种，其结构主要有自卸车、厢式车、罐式车、消防车、起重车及其它特殊用途专用车，这些专用车一般采用了货车驾驶室，其专用部分的“车身”通常由各专用汽车改装厂来制造。在生产中绝大部分都采用了钣金加工工艺来制造。

第五节 汽车车身生产的特点

车身生产类型和生产纲领关系如下表：

表1-1 车身生产类型和生产纲领关系表

生产类型	单件生产	小批生产	中批生产	大批生产	大量生产
生产纲领	<300辆	300~3000辆	3000~30000辆	30000~150000辆	>150000辆

我国汽车工厂近600个，除少数汽车制造厂生产纲领在10000辆以上外，大部分属于单件生产和小批生产范畴。由于生产纲领不同，车身制造厂所使用的设备及工艺装备不同，生产过程的机械化自动化程度也不同，因此其工艺特征有很大区别。

在单件生产中，车身的大型覆盖件往往是以钣金工艺为主，使用少量的胎具及机械化工具，配备少量的拉延（成形）模具，产品质量在很大程度上取决于工人的技术水平。车身的装配是在平板上用简易样架结合划线找正来定位，并用各种装配方法来保证各部分具有合适的装配间隙。其焊接除点焊外还大量采用气焊、电弧焊和二氧化碳保护焊。为获得平整的车身表面，常在零件表面刮腻子并打磨；表面处理采用手工清洗和喷漆，漆膜可不经烘干而采取自然干燥。

在小批生产中，车身覆盖件的制造常将其主要成形加工工序放在液压机或机械式双动压力机上，用简易冲模拉延出来，然后将已成形的拉延件在滚剪、振动剪及一些专用胎具上按照样板手工操作或使用机械化工具来完成修边、翻边和冲孔等工序。模具比单件生产要多一些。车身的装配是在固定式的装配台上完成的。零件的相互位置是用夹具来定位的，车身的互换性较差。焊接以接触点焊工艺为主。表面处理具有简单清洗室、喷漆室和烘干室，操作仍多为手工。产品运输使用一般的机械化装置，如电动葫芦或可在地面轨道上运行的轻便小车来完成。

在单件和小批生产中，近年来车身覆盖件的拉延和主要成形工序开始采用低熔点合金模具来完成。

在中批和大批生产中，覆盖件的冲压基本上是全部采用了模具，覆盖件的各道工序是在一台或数台压力机上分别用冲模压制而成。由数台压力机组成的冲压线要承担数种甚至数十种冲压件的生产，故属于成批流水线生产性质。车身主要部件的装配采用多工位的各种形式的通用装配生产线，生产线上对零件定位和夹紧用的夹具有固定的，也有随行的。焊接采用少量多点焊机及专用焊钳和焊枪。车身的表面处理具有较完善的油漆生产线。工序间运输使用滑道、输送带、悬挂运输链及专用叉车等。施工工艺除人工操作外，部分实现半机械化、机械化和半自动化。

在大量生产中，机械化、自动化程度更高，车身覆盖件的冲压相当部分是在通用或专用冲压自动线或半自动冲压生产线上完成，属于成批流水线和连续流水线生产。车身及其部件的装配焊接和涂漆多是在专用生产线上进行的。这些生产线多数实现了自动控制。

汽车车身制造特点：

1) 车身质量由冲模和装配夹具保证，互换性强。

对汽车车身而言，除一部分标准件以外，几乎全部由板料冲压件焊装而成。为了获得具有互换性的车身总成，除需要具有正确的冲压件外，还需采用装配夹具。由于车身冲压件大部分是具有一定形状的成形零件，而且有很多是属于复杂空间形状的大型拉延件，因此冲模和装配夹具是车身质量的保证。

2) 车身材料种类多，加工工艺复杂。

由于车身制造品种多，生产性质复杂。一般一辆货车车身由400~700种零件合件组成；轿车和大客车车身则达500~800种；另外还有标准件和非金属协作件200~300种，因此需要的材料品种规格多。如每辆解放牌汽车车身，需材料18个钢种，钢板有20余种厚度，上百种规格，40余种非金属材料。有成批生产（如剪切和冲压）、流水线生产（如装配线、涂漆线）

和单件生产（如设备、工装维修）等生产型式，包括冷冲压、焊接、铆接、表面涂漆和装饰以及机电修理等多种专业，近50个基本工种。

3) 车身零部件的合理分块是获得良好工艺性的重要方法之一。

车身设计要求与制造可能之间是一对矛盾。一般来说，产品设计要求是矛盾的主要方面，制造应保证设计要求，但设计也必须考虑制造的可能性与合理性，即产品应具有良好的工艺性。产品在一定的生产条件和保证使用性能的前提下，能否以高生产率、低劳动量、低材料消耗以及低成本制造出来，称为该产品的工艺性。根据产品的要求、生产规模和设备条件，车身零部件的合理分块是获得良好工艺性的重要方法之一。

4) 由于车身覆盖件和冲压操作的特殊性，工人劳动强度大。

与机械加工相比，由于产品和冲压操作的特殊性，决定了冲压生产的劳动强度大，每个班每个工人的搬运量一般在几吨至十余吨，有的高达27至30吨。在冲压生产中，由于压机滑块速度快，操作者的手有时在滑块下的危险区运动，特别是在没有自动上下料的情况下，发生人身、设备、冲模事故的不安全因素多。

5) 冲压用重型设备多，厂房造价高

车身制造厂的设备，多数需用压力在几百吨至几千吨的压力机。与机械加工和装配厂比，车身制造厂房高度一般高出30~50%，单位面积造价高50~100%。

第二章 车身冲压工艺

第一节 概 述

冲压是塑性加工的基本方法之一。它主要用于加工板料，故又叫板料冲压。冲压加工时，板料在模具的作用下，其内部产生使之变形的内力，当内力达到一定数值时，板料的某些部分就会产生与内力的作用性质相对应的变形，从而获得一定形状、尺寸和性能的零件。

一、冲压加工的特点

冲压与铸造、锻造、切削加工等其它加工方法比较，具有下列优点：

1) 应用范围广 可冲压金属材料，亦可冲压非金属材料；可加工小型零件，亦可加工大型零件；可获得简单形状的零件，亦可获得其它加工办法难以加工的复杂曲面零件。

2) 生产率高 冲压大型零件，一台冲压设备的生产率可达每分钟几件，小件的高速冲压则可达每分钟上千件。

3) 质量稳定 冲压件的尺寸精度是靠模具保证的，所以质量稳定。一般不需再经机械加工，就可满足装配和使用要求。

4) 省能 冲压时不需要加热，也不像切削加工那样，在把金属切成大量碎屑时，消耗很大的能量。

5) 材料利用率高 冲压加工可做到少废料甚至无废料生产，还可以充分利用边角余料。

6) 制件表面质量好 冲压过程中材料表面不受破坏，因此制件表面质量好。

7) 易于实现机械化或自动化 冲压操作简单，又是冷态加工，有利于实现机械化或自动化。

由于冲压加工具有上述优点，所以在汽车车身制造中占有非常突出的地位。车身的绝大多数零件都是用冲压方法制造的。特别是大型车身覆盖件，由于其形状复杂，尺寸大，表面质量要求高，采用冲压工艺来制造是其它任何加工方法都无法比拟的。

但是，由于冲压模具的制造技术要求高，制造周期较长，成本高，因而冲压加工在单件和小批量生产中的应用受到一定的限制。

二、冲压工序的基本分类

由于冲压零件的形状、尺寸、精度要求、生产批量、材料性能等不同，各生产厂家的生产条件各异，因此在生产中采用的冲压方法是多种多样的。根据材料的变形特点及现行的习惯，冲压的基本工序可分为分离工序和成形工序两大类。

分离工序是使冲压件与板料沿要求的轮廓线相互分离，同时使冲压件分离断面的质量满足一定的要求。成形工序是使冲压毛坯在不发生破坏的条件下产生塑性变形，以得到要求的制件形状和尺寸精度。车身冲压中常见的一些冲压加工方法及特点见表2-1和表2-2。

表2-1 分离工序

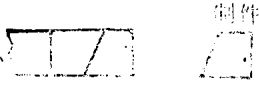

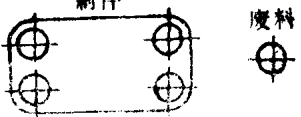
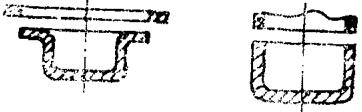

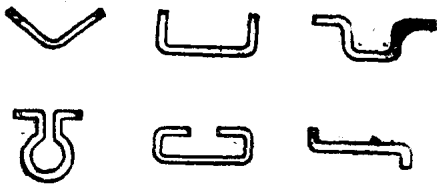



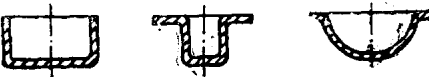


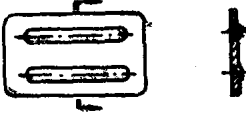

工序名称	简 图	特 点
切 断		沿不封闭轮廓曲线切断
落 料		沿封闭轮廓曲线冲切，冲下部分为制件
冲 孔		沿封闭轮廓曲线冲切，冲下部分为废料
修 边		将成形制件的边缘修切整齐或切成一定形状
剖 切		将冲压成形的半成品切开成为二个或数个零件

表2-2 成形工序

工序名称	简 图	特 点
弯 曲		把板料沿直线弯成各种形状
卷 圆		把板料端部卷成接近封闭的圆头
扭 曲		把半成品扭转成一定角度

续表.

工种名称	简图	特点
拉弯		毛坯在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形
拉延		把板料毛坯冲制成各种空心的零件
翻孔		把半成品上的孔冲制出竖直的边缘
翻边		把半成品的边缘沿曲线翻成竖直的边缘
胀形		在板料毛坯或零件表面上用局部成形的方法制成各种形状的凸起和凹陷
校形		对已成形的零件进行局部校正以提高尺寸精度

第二节 车身冲压用材料

一、材料的质量和冲压性能

汽车车身冲压件的材料除了要保证足够的强度和刚性以满足车身的性能要求外，还必须满足冲压工艺的要求。冲压用材料的质量是冲压工艺中一个非常重要的因素；它直接影响到冲压工艺过程设计、冲压件的质量和使用寿命，还关系到冲压件的成本和组织均衡生产。因此，一方面应提高冲压件的结构工艺性来改善冲压过程的变形条件，以降低对材料的质量要求；另一方面应选择具有适当冲压性能的材料，以适应冲压过程的变形要求，保证制件质量。

材料的冲压性能是指材料对各种冲压加工方法的适应能力。冲压性能好的材料应是便于加工、容易得到高质量的冲压件，生产率高（一次冲压工序的极限变形程度和总的极限变形程度大），模具消耗低等。

影响板料冲压性能的质量指标主要是机械性能，此外还有化学成分、金相组织、表面质

量和尺寸精度等。

(一) 机械性能指标及其对冲压性能的影响

1. 延伸率 δ 和均匀延伸率 δ_u

材料的总延伸率 δ (简称延伸率) 是材料试样在拉伸试验中被拉断时的长度 l 同原有长度 l_0 的差与原有长度的比值, 即

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

延伸率 δ 是一个衡量材料塑性的指标。

均匀延伸率 δ_u 是试样在拉伸试验中受到的拉应力开始达到强度极限 σ_s (试样开始出现局部缩颈) 时的延伸率。

一般情况下, 冲压成形都是在板料的均匀变形范围内进行, 即板料的拉应力大于或等于屈服极限而小于或等于强度极限。因此, δ_u 对于冲压性能有更直接的意义。 δ_u 表示了板料产生均匀塑性变形的能力, 可用来间接地表示伸长类变形的极限变形程度。 δ_u 越高, 板料的冲压变形能力就越强。复杂曲面的车身覆盖拉延件要求材料具有较高的均匀延伸率 δ_u 。

2. 屈强比 σ_s/σ_b

屈强比是材料的屈服极限 σ_s 与强度极限 σ_b 的比值。较小的屈强比 σ_s/σ_b 对几乎所有的冲压成形都是有利的。

屈强比较小, 说明材料的 σ_s 较小或 σ_b 较大。 σ_s 较小时, 材料塑性变形所需要的应力小, 能充分变形, 弯曲件回弹变形小, 拉延件起皱的趋势小。 σ_b 较大时, 冲压件不易破裂, 有利于提高极限变形程度。

3. 硬化指数 n

常用金属材料在常温下的塑性变形过程中要出现硬化效应, 使材料机械性能强度指标 (屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b) 随变形程度的加大而增加, 同时使其塑性指标 (延伸率 δ 和断面收缩率 ψ) 降低。

材料在塑性变形中, 其变形抗力 (即每一瞬间的屈服应力) 随变形程度的变化可用硬化曲线来表示。在冲压生产中经常用指数曲线来近似表示硬化曲线, 其数学表达式为

$$\sigma = C\varepsilon^n \quad (2-1)$$

式中 σ ——材料的真实应力;

ε ——材料的真实应变;

C ——系数;

n ——硬化指数。

C 和 n 的值都取决于材料的种类和性能, 可用实验方法得到。

硬化指数 n 又称为 n 值, 它表示在塑性变形中材料的硬化程度。 n 值大, 表示材料的变形抗力随变形的进展而增大的速度高。因此, 在同样的条件下, n 值大的材料在冲压成形中不易出现局部的集中变形和破坏, 能扩展变形区, 使变形均匀稳定, 增大极限变形程度。在具有复杂曲面形状的车身覆盖件的深拉延工序中, 当毛坯中间部分的胀形成分较大时, n 值对冲压性能的这种影响尤为显著。

材料的硬化对冲压性能也有不利的影响。硬化的结果使需要的变形力增大, 还限制了毛坯的进一步变形。例如孔边缘部分材料硬化后容易在翻边时引起开裂。所以, 有时需要在后

续工序之前增加中间退火工序以消除硬化。

4. 板厚方向性系数 r

板厚方向性系数 r 又称 r 值, 它是板料试样在拉伸试验中试样延伸率为 20% 时的宽度应变 ϵ_B 与厚度应变 ϵ_t 之比

$$r = \frac{\epsilon_B}{\epsilon_t} = \frac{\ln \frac{B}{B_0}}{\ln \frac{t}{t_0}} \quad (2-2)$$

式中 B_0 ——变形前的试样宽度;

B ——变形后的试样宽度;

t_0 ——变形前的试样厚度;

t ——变形后的试样厚度。

由于在板料平面不同方向上所取试样的 r 值不同, 通常取板料的 r 值为

$$r = \frac{r_0 + r_{90} + 2r_{45}}{4} \quad (2-3)$$

r_0 、 r_{90} 、 r_{45} 分别是在板料上与纵向 (轧制方向) 成 0° 、 90° 、 45° 方向上所取试样的 r 值。

r 值表示了板料在受单向拉应力作用时, 板平面方向上的变形和厚度方向上的变形的相对难易程度。 r 值为 1 的材料叫各向同性材料。但一般金属材料的 $r \neq 1$ 。当 $r > 1$ 时, 板料在平面方向上比厚度方向更容易变形。所以 r 值大的材料, 厚度变薄量小, 拉延过程中在板料平面内的压缩变形比较容易, 起皱的趋向降低, 可使拉延极限变形程度增大, 有利于拉延过程的稳定性和产品质量的提高。

5. 板平面方向性

在板料平面内不同方向上裁取的试样, 在拉伸试验中所测得的机械性能不一样。板料平面内的机械性能与方向有关的性质称为板平面方向性。由于板料机械性能的各项指标中, 板厚方向性系数 r 对冲压性能的影响比较明显, 所以在冲压生产中都用 Δr 来表示板平面方向性的大小。 Δr 是板料平面内不同方向上板厚方向性系数 r 的差值。

$$\Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2r_{45}}{2} \quad (2-4)$$

式中 r_0 、 r_{90} 、 r_{45} 分别是板料上与纵向 (轧制方向) 成 0° 、 90° 、 45° 方向上的板厚方向性系数。

板平面方向性对冲压变形和冲压件质量都是不利的。它使拉延件在口部形成突耳, 增加了切边余量。它使毛坯变形分布不均匀, 局部变形程度加大, 从而导致总体的极限变形程度减小, 还可能使冲压件形成不等壁厚。因此, 应尽量降低板料的 Δr 值。

(二) 化学成分和金相组织对冲压性能的影响

材料的化学成分与冲压性能有密切关系。一般来说, 钢中的碳、硅、磷、硫的含量增加, 都会使材料的塑性降低, 脆性增加, 导致冲压性能变差, 其中含碳量对材料的塑性影响最大。含碳量不超过 0.05~0.15% 的低碳钢具有良好的塑性, 车身覆盖件多采用这种塑性较好的低碳优质钢。含硅量在 0.37% 以下的钢, 硅对塑性影响不大, 但超过这一数值, 即使含碳量很低也会使钢板变得又硬又脆。硫在钢中与锰或钢相结合后, 以硫化物的形态出现, 严

重影响钢材的热轧性能，促使条状组织产生，也使塑性降低。

钢板金相组织的晶粒大小也直接影响着冲压性能。晶粒大小不均最易引起裂纹。粗大的晶粒在冲压成形时，会在制件表面留下粗糙的“桔皮”，影响制件表面质量。过小的晶粒会使钢板的塑性降低，由于在变形过程中的硬化作用，更会使材料的硬度、强度增加，容易造成冲压件开裂、回弹、扭曲或起皱等。

(三)板料的尺寸精度和表面质量对冲压性能的影响

板料的尺寸精度对冲压性能影响最大的是板料的厚度公差。板厚公差的大小是钢板轧制精度的主要指标。一定的冲压模具凸、凹模间隙适应于一定的毛坯厚度。厚度超差则影响产品质量。板料过薄则回弹难以控制，或出现“压不实”现象；板料过厚会拉伤制件表面，缩短模具寿命，甚至损坏模具或设备。特别是在同一张钢板上厚度不均、偏差过大，不利因素就更难消除。

板料的表面质量也是影响冲压过程的因素之一。一般对板料的表面状况有如不要求：

1) 表面光洁 表面不应有气泡、缩孔、划痕、麻点、裂纹、结疤、分层等缺陷。否则在冲压变形过程中，缺陷部位就可能因应力集中而引起破裂。

2) 表面平整 如果板料表面瓢曲不平，在剪切或冲压时容易因定位不稳而出现废品；在冲裁过程中会因板料变形展开而损坏模具；在拉伸时可能使压料不均匀和影响材料流向而引起开裂或起皱。

3) 表面无锈 如果板料表面有锈，不仅对冲压不利，损伤模具，而且还影响后续的焊接、涂漆工序的正常进行。

二、冲压用钢板的类型

(一)按钢的品质分类

按钢的品质分，常用的冲压用钢板有普通碳素钢、优质碳素结构钢以及汽车专用的具有较高冲压性能的低合金高强度钢板。

(二)按钢板的拉伸级别分类

1) 厚度为4~14mm的热轧钢板的拉伸级别分为三级：

S——深拉伸级；

P——普通拉伸级；

W——冷弯成形级，用于简单压弯。

2) 厚度小于4mm的热轧和冷轧薄钢板的拉伸级别分为三级：

Z——最深拉伸级；

S——深拉伸级；

P——普通拉伸级

3) 厚度小于2mm的深冲压用冷轧薄钢板和钢带一般用于冲压汽车车身复杂的覆盖件。其拉伸级别分为三级：

ZF——用于冲制拉伸最复杂的零件；

HF——用于冲制拉伸很复杂的零件；

F——用于冲制拉伸复杂的零件。

上述三类钢板的拉伸级别从高到低排列顺序为：ZF→HF→F→Z→S→P→W。