



普通高等教育汽车类“十二五”规划教材

# 汽车制造工艺

◎ 何耀华 主编



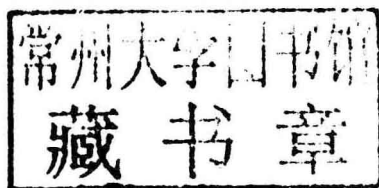
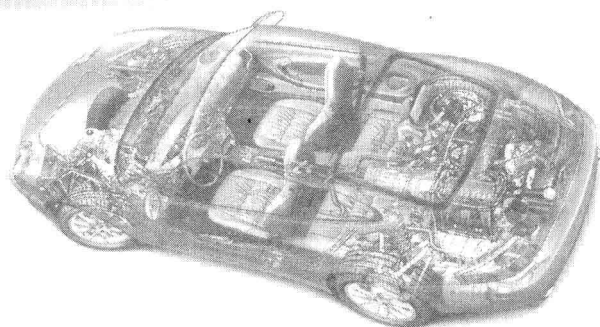
机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育汽车类“十二五”规划教材

# 汽车制造工艺

何耀华 主 编  
华 林 主 审



机械工业出版社

本书针对汽车产业模式由过去的企业内部配套转换为现在的社会化配套这一重要特点,以汽车整车制造为中心,重点介绍了汽车整车制造的冲压、焊装、涂装和总装四大工艺。对于汽车零部件的制造工艺,本书采用以点带面的方式,介绍了具有广泛代表性的毛坯件的制造工艺、典型零件的加工工艺和零件表面强化工艺。

本书从汽车产业的实际出发,力求能反映汽车制造工艺技术的最新发展动态,力戒内容过时及与其他课程的重复。

本书可作为高等院校车辆工程及相关专业的教材,也可供汽车制造、汽车服务及交通运输等领域的工程技术人员使用和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车制造工艺/何耀华主编. —北京:机械工业出版社,2012.3  
普通高等教育汽车类“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-111-37367-4

I. ①汽… II. ①何… III. ①汽车-生产工艺-高等学校-  
教材 IV. ①U466

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第018108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:赵海青 责任编辑:赵海青 丁锋

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京双青印刷厂印刷

2012年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·409千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37367-4

定价:39.80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

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

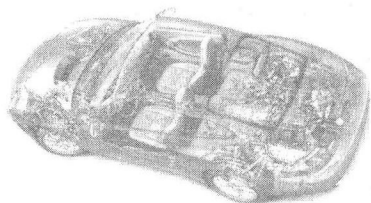
教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言



早期的汽车制造模式都是采用企业内部配套的体系，即汽车整车制造企业均自建了一个十分庞大的汽车零部件配套系统，几乎所有的汽车零部件（大到汽车大总成、大系统、小到汽车用螺栓、螺母等标准件）均由企业内部配套生产。任何一款汽车新产品的开发，从整车到所有的零部件，从产品设计到工艺准备均由汽车整车制造企业统一规划、统一实施。汽车总成部件生产工厂只是附属汽车整车制造企业的生产单元。这种汽车制造模式在过去相当长的时间内（超过半个世纪）为世界汽车制造产业的成长、壮大起到过十分重要的作用，也为世界汽车产业创造了十分丰厚的利润。然而，到20世纪中后期，汽车产品同一化的消费观逐渐被个性化消费观所取代，过去一种车型连续生产销售数百万辆乃至数千万辆的时代早已一去不复返。在现阶段，最畅销的车型其累计销售量最多只能是刚过百万辆，许多成功车型的累计销售量只有30万~50万辆。此外，汽车制造企业为了使自己在愈演愈烈的市场竞争中立于不败之地，均不遗余力地加大技术创新和产品更新的力度，汽车产品更新换代的速度越来越快。

在这个汽车市场环境发生了根本性变化的时代，若仍然采用过去那种由整车汽车制造企业“大包干”的企业内部配套的传统生产模式，不仅会严重制约汽车产品更新换代的速度，还会使汽车整车制造企业无力承担越来越巨大的产品开发风险。为了充分调动汽车零部件生产厂家在产品开发方面的积极性，分摊汽车新产品的开发任务，缩短产品开发周期，分散产品开发的开发风险，自20世纪80年代起，国际上各大汽车制造企业纷纷将原来从属于汽车整车制造企业的汽车零部件制造企业剥离出来，成立具有独立、自主研发能力的汽车零部件制造公司，由过去汽车制造企业的内部配套变为全球范围内的社会化配套。如德尔福原来只是美国通用汽车公司旗下专门为通用汽车公司生产汽车配件的一个生产单元，脱离通用汽车公司后很快成长为全球性特大型汽车总成、系统制造公司，为全球各大汽车公司开发和生产汽车关键总成部件。这样的汽车总成部件制造公司还有很多，如日本电装、德国博世等数百家企业。

这种汽车制造模式的变革开创了汽车零部件与汽车整车同步开发，甚至超前于整车开发的全新时代，为汽车产业技术的进步提供了新的强劲的推动力，同时还带来了汽车制造工艺的大变革。过去一条生产线只加工一种零件，只生产一种车型的刚性生产模式被彻底送进了“博物馆”，取而代之的是多品种、多车型共线生产的柔性生产方式。汽车整车制造企业的生产内容只剩下四大部分，即人们常说的“冲压、焊装、涂装和总装”；汽车零部件企业则





按照专业协作的方式进行多品种、大规模的专业化生产，如此既可保证产品质量，又可大幅降低生产成本。为了适应汽车总成部件多品种、大规模生产的需要，相继将各类先进、高效的生产设备如数控机床、加工中心、复合加工机床等投入使用。

尽管在我国汽车制造模式于十多年前就已基本完成了上述重要变革（发达国家领先我国 20 年），然而，我国有关汽车制造工艺方面的高校教材的内容却并没有同步更新，依然还是介绍那些于数十年前已被淘汰的陈旧工艺。不仅如此，还有大量的篇幅与《金属工艺学》重复。

本书针对已变革的、社会化配套的、新的汽车生产模式，基于汽车整车与零部件制造工艺的特点，从实际需要出发，力求跟踪汽车制造工艺技术的最新进展、力戒内容的过时和与其他课程的重复。在介绍汽车制造工艺基本理论时，力求做到既简明扼要、通俗易懂，又不失其系统和严谨；在介绍具体的工艺方法时，尽可能通过对典型实例的剖析，以便于学生了解汽车制造工艺的规律和细节。

本书由武汉理工大学汽车工程学院和神龙汽车公司联合编写，何耀华任主编。武汉理工大学的华林教授负责本书的主审。编者具体分工如下：第一章由何耀华编写，第二章由秦训鹏编写，第三章由何耀华、亢书生、周洁、师建兴、何焕勤、吴帆、章皎、王正军、刘凯丰、何林编写，第四章由何耀华、李斌编写，第五章由何耀华、唐超美编写，第六章、第八章由韩爱国编写，第七章由何耀华编写。

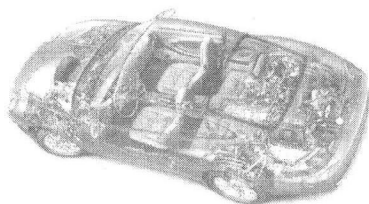
本书在编写过程中得到了国内同行和汽车整车与零部件制造企业的大力帮助和支持，书中用到了神龙、上海大众、一汽大众、北京现代、东风日产、重庆长安、吉利、长城等国内多家汽车制造公司的宣传资料。在此，真诚地向对在本书编写过程中给予帮助和支持的同行和汽车整车与零部件制造公司道一声谢谢！

本书可作为高等院校车辆工程及相关专业的教材，也可供汽车制造、汽车服务及交通运输等领域的工程技术人员使用和参考。

由于编者水平有限，本书难免会有疏漏和不当之处，敬请业内专家、同行及读者批评指正。

编 者

# 目 录



## 前言

<b>第一章 概论</b> .....	1
<b>第一节 汽车制造业的特点</b> .....	1
一、汽车整车生产 .....	2
二、总成部件生产 .....	5
<b>第二节 汽车产业结构的演变与发展</b> .....	9
一、手工生产阶段的汽车产业结构 .....	9
二、大量生产阶段的汽车产业结构 .....	9
三、精益生产阶段的汽车产业结构 .....	10
四、现代生产方式 .....	11
<b>第三节 汽车制造的新技术新工艺</b> .....	12
一、高速干式切削加工工艺 .....	12
二、无屑加工工艺 .....	13
三、激光焊接工艺 .....	13
四、激光热处理工艺 .....	15
<b>第二章 冲压工艺</b> .....	18
<b>第一节 汽车冲压工艺的特点与地位</b> .....	18
一、冲压技术在汽车制造业中的地位 .....	18
二、汽车制造业冲压生产的特点 .....	19
三、汽车工业是推动冲压技术发展的强大动力 .....	20
<b>第二节 冲压材料</b> .....	20
一、汽车冲压用钢板的性能要求 .....	20
二、汽车冲压用钢板系列 .....	21
三、冲压材料的成形性能 .....	25
<b>第三节 汽车冲压工艺设计</b> .....	26
一、冲压工艺设计的基本内容 with 要求 .....	27
二、冲压工艺方法 .....	28
<b>第四节 汽车典型零件的冲压工艺</b> .....	39



一、汽车覆盖件冲压工艺	39
二、汽车车架冲压工艺	44
三、精密冲裁技术在汽车零件生产上的应用	48
第五节 冲压模具和冲压设备	51
一、冲压模具	51
二、冲压设备	51
第六节 冲压件的质量检验	58
一、精度检验	58
二、外观检验	58
第三章 汽车焊装工艺	59
第一节 车身焊装工艺流程与工艺布局	59
一、车身焊装工艺流程	59
二、车身焊接工艺布局	59
三、车身焊装工艺方法	60
第二节 电阻焊	63
一、点焊	63
二、凸焊	65
第三节 熔化焊	67
一、CO <sub>2</sub> 气体保护焊	67
二、混合气体保护焊 (MAG 焊)	69
三、MIG 焊	69
四、螺柱焊	69
五、钎焊	70
第四节 特种焊接	70
一、等离子弧焊	70
二、电子束焊	71
三、激光焊	72
四、激光复合焊	74
五、包边工艺	75
第五节 焊装生产线整体效率评价	76
一、焊装工位布局有效性评价的目的	76
二、焊装工位布局有效性评价的指标	76
第六节 车身焊装工艺	77
第七节 常用焊装设备	84
一、点焊机	84
二、电弧螺柱焊机	84
三、气体保护焊机	86
四、激光焊机	86
五、机器人	88



第八节 车身焊装工艺过程的涂胶工艺 .....	89
一、胶的分类 .....	89
二、涂胶的尺寸要求 .....	89
三、涂胶的位置要求 .....	90
四、涂胶的方法 .....	91
第九节 间隙面差调整与外观返修 .....	91
一、零件非外观表面的返修 .....	91
二、外观面上缺陷的返修 .....	92
<b>第四章 汽车涂装工艺 .....</b>	<b>96</b>
第一节 汽车涂装工艺流程 .....	96
第二节 漆前处理 .....	98
一、脱脂 .....	98
二、除锈 .....	99
三、表调 .....	99
四、磷化 .....	100
五、水洗 .....	102
六、钝化 .....	102
第三节 电泳涂装工艺 .....	103
一、电泳涂装膜的形成原理 .....	103
二、电泳涂装膜的增厚 .....	104
三、电泳涂装的特点 .....	104
四、电泳涂装工艺流程 .....	105
五、电泳涂装工艺参数 .....	106
六、电泳后清洗 .....	108
七、电泳涂膜的烘干 .....	108
八、强冷 .....	109
第四节 PVC 涂装与防振隔声材料装贴工艺 .....	109
一、PVC 密封胶的涂装工艺 .....	109
二、PVC 防石击涂料的涂装工艺 .....	111
三、减振隔声材料装贴 .....	112
第五节 中涂、色漆、清漆及返修工艺 .....	112
一、中涂工艺 .....	112
二、色漆喷涂工艺 .....	116
三、清漆喷涂工艺 .....	118
四、面漆的修饰与喷蜡 .....	118
五、涂装厂房的合理利用 .....	121
第六节 塑料件的涂装工艺 .....	122
一、塑料件的漆前处理 .....	122
二、塑料件的涂装 .....	123



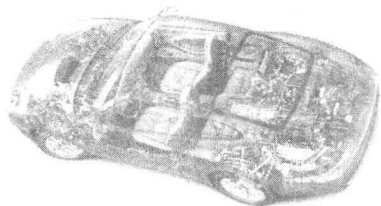
第七节 涂装质量控制 .....	123
一、汽车涂装质量标准 .....	124
二、常见涂装质量缺陷及应对措施 .....	124
第八节 涂装工艺设计的基本原则 .....	125
一、采用先进、成熟的设备与技术 .....	125
二、将节能与环保的理念贯穿涂装工艺设计的全过程 .....	125
三、工艺设计应注重“以人为本”的原则 .....	125
四、柔性化原则 .....	126
五、物流路线最短原则 .....	126
六、涂装功能区化原则 .....	126
<b>第五章 汽车总装工艺</b> .....	<b>127</b>
第一节 汽车总装工艺的设计原则 .....	127
一、人、零件、汽车整车无交叉物流路线原则 .....	127
二、工位时间均衡原则 .....	128
三、柔性化原则 .....	128
四、经济性原则 .....	128
五、节能降耗原则 .....	128
六、总装工序集中与分散相结合的原则 .....	128
第二节 总装工艺流程 .....	129
一、汽车总装工艺的总体规划 .....	129
二、汽车总装生产方式 .....	132
三、汽车总装配工艺 .....	134
第三节 汽车总装输送系统 .....	159
一、汽车总装输送系统的分类 .....	159
二、总装输送系统的基本要求与功能 .....	164
第四节 整车性能测试与调整 .....	169
一、检测线 .....	170
二、外观检查 .....	171
三、道路测试 .....	172
第五节 汽车的返修 .....	173
<b>第六章 零件毛坯制造工艺</b> .....	<b>175</b>
第一节 砂型铸造 .....	175
一、砂型铸造工艺过程 .....	175
二、零件结构的铸造工艺性 .....	182
三、铸造工艺设计 .....	184
四、铸件热处理 .....	186
五、铸件质量控制 .....	187
第二节 钢模铸造 .....	189
一、钢模铸造的工艺要求 .....	189

二、钢模铸造的特点和应用范围 .....	190
第三节 压力铸造 .....	190
一、压力铸造的工艺过程及原理 .....	190
二、压力铸造的特点及应用范围 .....	192
第四节 精密铸造 .....	192
一、精密铸造的工艺过程 .....	192
二、精密铸造的特点及应用范围 .....	193
第五节 模锻 .....	194
一、模锻设备与工艺过程 .....	194
二、模锻的特点与应用 .....	195
三、锻件缺陷的形成及预防 .....	195
第六节 辊锻 .....	196
一、辊锻工艺的分类及特点 .....	196
二、辊锻的基本原理 .....	198
第七章 典型零件的加工工艺 .....	201
第一节 箱体零件的加工 .....	201
一、发动机缸体的加工工艺模式 .....	202
二、发动机缸体加工工艺 .....	202
第二节 圆柱齿轮的加工 .....	209
一、圆柱齿轮加工原理 .....	209
二、齿轮加工方法 .....	211
第三节 锥齿轮的加工 .....	217
一、直齿锥齿轮的加工 .....	217
二、曲线齿锥齿轮的加工 .....	220
三、齿轮的无屑加工 .....	222
第四节 曲轴、凸轮轴的加工 .....	223
一、曲轴的加工 .....	224
二、凸轮轴的加工 .....	227
第八章 零件表面强化工艺 .....	230
第一节 零件表面机械强化处理 .....	230
一、表面机械强化处理的原理 .....	230
二、表面喷丸处理 .....	231
三、表面喷砂处理 .....	235
第二节 化学处理 .....	236
一、化学热处理的基本原理 .....	236
二、化学热处理分类 .....	237
第三节 表面淬火处理 .....	245
一、感应淬火 .....	246
二、火焰淬火 .....	247





第四节 激光热处理技术 .....	248
一、激光表面处理设备 .....	249
二、激光表面处理工艺 .....	249
第五节 其他热处理工艺简介 .....	251
一、退火处理 .....	251
二、回火 .....	252
三、调质 .....	253
参考文献 .....	254



自 1885 年德国人卡尔·苯茨发明了第一辆三轮汽车以来，汽车已经历了 100 多年的发展历史。尽管我国汽车产业的诞生时间与西方相比晚了半个多世纪，但近 20 年来，国内汽车产业与国际性跨国汽车公司的全面合资、合作及汽车产业技术的大规模引进，已对我国汽车产业产生了十分深远的影响，使得我国汽车产业几乎与西方发达国家同步完成了产业结构的调整。过去汽车整车生产企业（业内常将其称为主机厂）直属的汽车总成部件专业生产厂家纷纷与主机厂脱离从属关系，走上了自主研发的道路，成为为全行业各大汽车公司提供配套和技术服务的独立公司。这种转变使得汽车制造企业与汽车零部件生产企业的分工和职能发生了根本性的改变，于是汽车制造工艺亦跟着发生了很大的变化。对于汽车整车制造企业来说，汽车制造工艺只剩下冲压成形、焊装、涂装和总装四大部分，而汽车总成部件的生产通常根据零件的结构特征进行归类加工。

## 第一节 汽车制造业的特点

谈到汽车制造业的特点，人们一定会想到“大批大量生产”。事实上，“大批大量生产”方式早在 1908 年就在美国福特汽车公司实现了，而且迅速在全球得到了广泛推广。

“大批大量生产”方式大大节省了制造汽车的工作时间，大幅降低了汽车的生产成本，极大地刺激了汽车消费市场，带来了汽车产业的高度繁荣。但大批大量生产也给汽车产业的管理带来了极大的挑战，如工艺流程的合理规划、工位工作量的均衡配置、生产工艺过程的有序进行、物流供应的及时配送、配套件库存的有效控制、流动资金的快速回笼等。

为了解决好因“大批大量生产”方式所带来的上述诸多问题，20 世纪 50 年代中期，日本汽车产业在政府的严格保护和支持下，以丰田汽车公司为代表，在对美国汽车产业管理和生产模式进行深入研究的基础上，于 1961 年成功地创立了旨在“以最少的投入，产出尽可能多的和最好的产品”的独特管理模式——精益生产方式，并于 20 世纪 80 年代掀起了世界汽车工业的第三个高潮。1980 年，日本以 1104 万辆的年产量将一直占据世界汽车工业霸主地位的美国拉下了台。

失去世界汽车霸主地位的美国汽车业并不甘心认输，在面临北美汽车市场的激烈竞争、日本汽车厂商咄咄逼人的态势下，美国汽车业积极吸取丰田精益生产方式的精华，结合自身



的特点，更多地引入计算机服务于汽车产业的管理，演绎出“拉式流”的生产管理模式，创立了称之为“现代生产方式”的 MRP II（Manufacturing Resources Planning，制造资源计划）和 ERP（Enterprise Resource Plan，企业资源计划）的管理模式。这是一种将计算机技术、现代制造技术有机融于一体的计算机辅助企业管理系统，在合理利用资源与优化内部管理、有效控制库存与流动资金占用、缩短生产周期和降低成本、灵活快速地响应市场变化、显著提高企业竞争力与获得最大利润等方面表现出卓越的效果。

目前，我国汽车产业处在“大量生产、精益生产、现代生产”三种生产方式共存的特殊时代。对于单纯的民族汽车产业，尚停留在“大量生产方式”阶段；多数合资汽车制造业基本实现了“精益生产方式”；部分合资或独资的汽车整车与零部件生产企业已引入了“现代生产方式”。

无论是“大量生产方式”、“精益生产方式”，还是“现代生产方式”，汽车产业“流水线”、“大批大量生产”的模式始终没有变，而且随着产业的升级，自动流水生产线的比例日益增加。

## 一、汽车整车生产

对于现代化的汽车整车生产企业，通常只建有四大工厂，分别对应四大典型生产工艺，即：冲压、焊装、涂装和总装。

### 1. 冲压工艺

冲压工艺是汽车车身制造的第一个工艺环节，它建立在金属塑性变形的基础上，在常温条件下利用磨具和冲压设备对板料施压加工，使其产生塑性变形，以获得形状、尺寸和性能均符合设计要求的结构件或覆盖件。

冲压工艺的生产设备主要有开卷剪切自动线、冲压生产线、垛料翻转机、模具研配机及适当的其他修模设备，可以完成卷料存放、开卷、校平、剪切、落料、堆垛，冲压件的拉深、成形、整形、修边、冲孔、翻边等工艺，以及冲压件的存放及发送的整套工艺过程。图 1-1、图 1-2 所示是冲压工艺的典型示例。

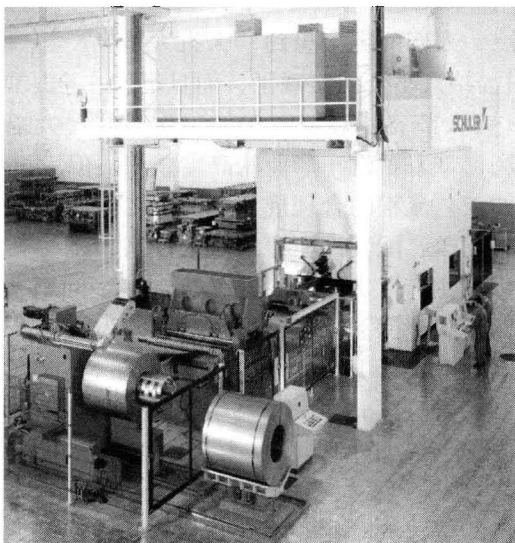


图 1-1 开卷整平成套设备

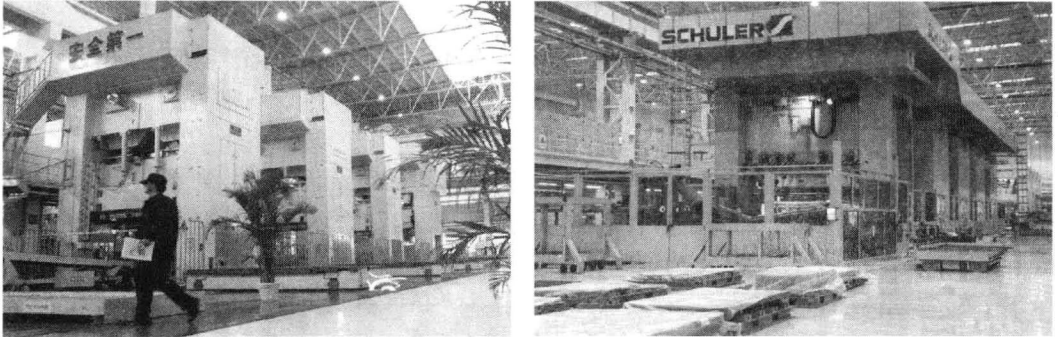


图 1-2 冲压生产线

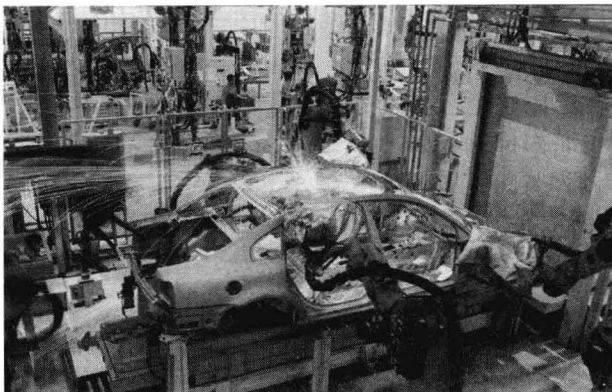
## 2. 焊装工艺

焊装工艺是汽车制造中应用范围最广的工艺之一，但谈到汽车制造四大工艺中的焊接工艺，则通常是特指在汽车车身制造过程中将经冲压成形的汽车车身结构件和覆盖件，用焊接加工的方式将其组合成不可拆卸的具有完整功能的结构件或汽车白车身的加工工艺过程。

在当今汽车制造公司的焊装车间，焊装生产线大多为柔性设计，且机械化、自动化程度通常都很高。图 1-3 所示是汽车焊装工艺的典型示例。



a)



b)

图 1-3 焊装生产



### 3. 涂装工艺

对于轿车生产企业来说，涂装车间通常是自动化程度最高、生产环境要求最严格的场所。涂装生产设备多采用轻钢结构、全面封闭、强制性通风换气、自然光照及局部人工照明的采光方式。

涂装工艺主要由前处理、电泳线、密封底涂线、中涂线、面涂线、精修线及烘干系统等组成。全线工件输送系统多采用空中悬挂和地面滑橇相结合的机械化输送方式，如图 1-4 所示。

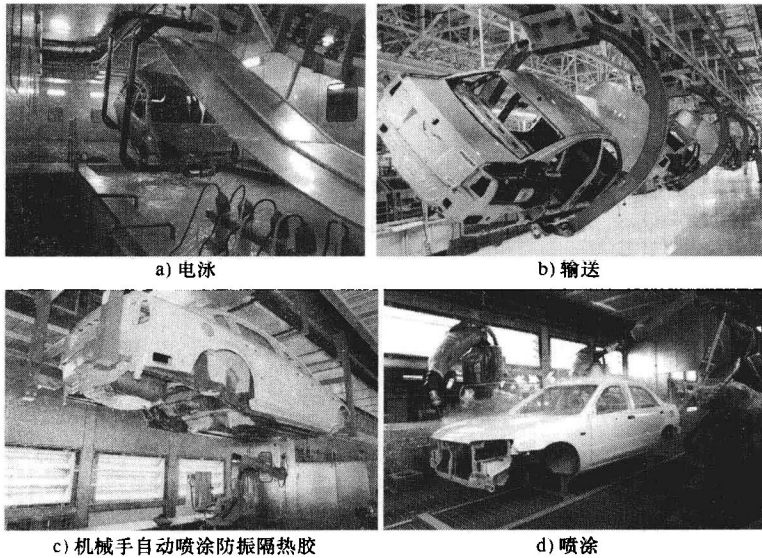


图 1-4 涂装生产工艺

### 4. 总装工艺

总装是汽车制造过程中最后一个工艺环节，对于当今的轿车生产厂家，总装线 100% 采用柔性生产方式，以适应多车型、多品种的混流生产。汽车总装工艺包括物流、输送、装配、下线检测等多个生产环节，图 1-5 所示是不同生产环节中的典型工位。

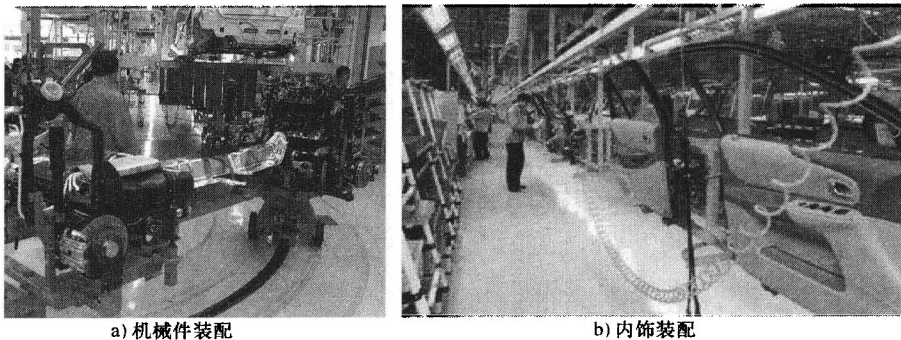


图 1-5 汽车总装工艺典型工位

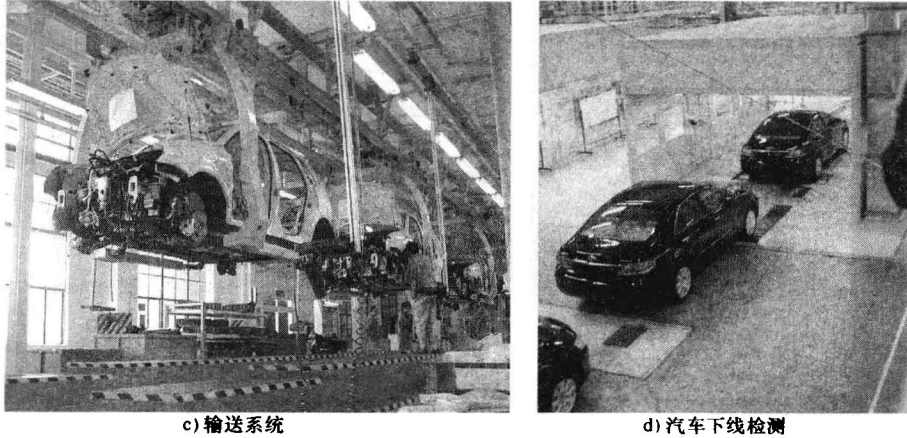
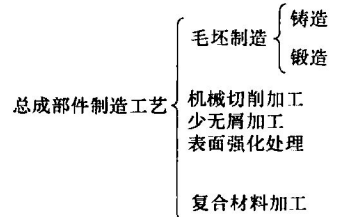


图 1-5 汽车总装工艺典型工位 (续)

## 二、总成部件生产

汽车总成部件的生产所涉及的工艺内容远比整车生产多，为了便于理解，常按照工艺特点将其分为毛坯制造、机械切削加工、少无屑加工、表面强化处理、复合材料加工五大类，如图 1-6 所示。



### 1. 毛坯制造

图 1-6 总成部件加工工艺分类

毛坯制造中的铸、锻、焊三大工艺在机械制造行业常将其统称为金属材料的热加工，其工艺特点是通过加热的工艺手段将各种不同的金属材料转换成形状、尺寸符合后续工艺过程要求的零件毛坯，如图 1-7 ~ 图 1-9 所示。

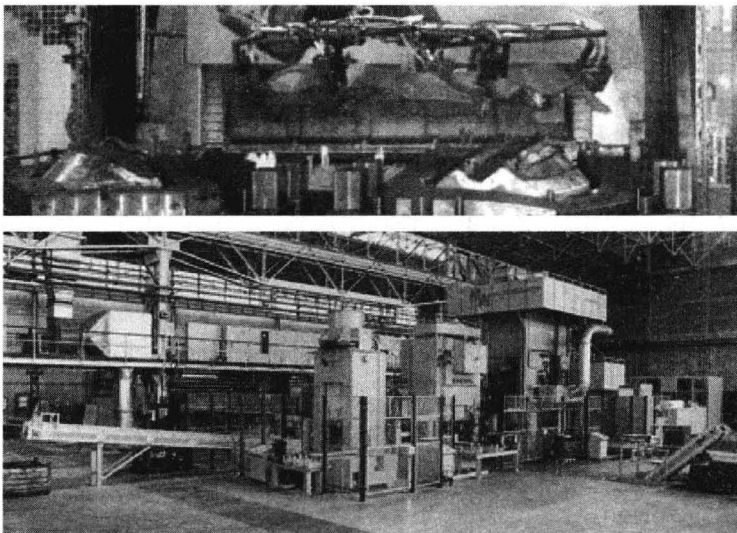


图 1-7 锻造工艺与设备



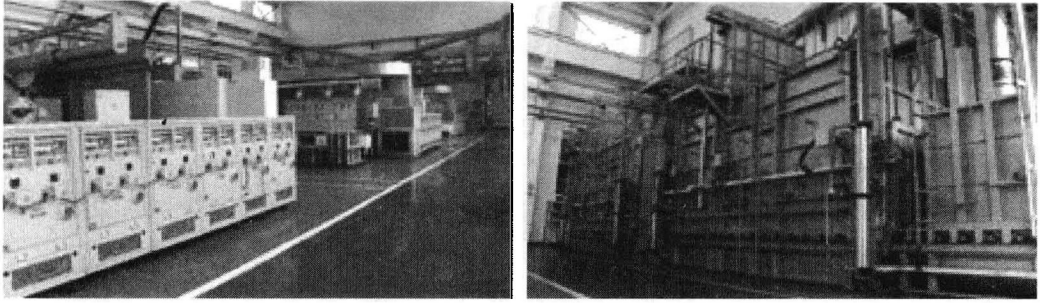
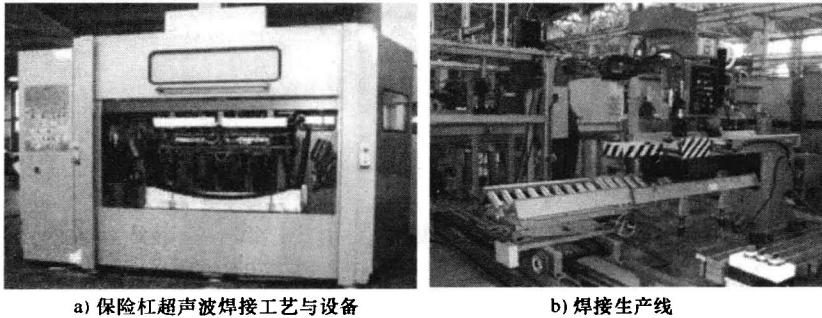


图 1-8 铸造工艺与设备



a) 保险杠超声波焊接工艺与设备

b) 焊接生产线

图 1-9 焊接工艺与设备

## 2. 机械切削加工

汽车中有大量高精度的功能件和运动部件，其中绝大多数需要通过机械切削加工的方法达到形状和尺寸的精度要求。汽车发动机和变速器零部件的加工是机械切削加工中最典型的，如图 1-10、图 1-11 所示。

## 3. 少无屑加工

少无屑加工是指在机械制造过程中用精确成形方法制造零件的工艺。传统的机械制造工艺大多采用切削加工的方法制造有尺寸、形状与位置精度要求的零件，生产过程中坯料质量的 30% 左右变成了切屑。这不仅浪费大量的材料和能源，而且占用大量的机床和人力。采用精密成形工艺，工件不需要或只需要少量切削加工即可制成高精度的汽车零件，可大大节约材料、设备和人力。少无屑加工工艺包括精密锻造、冲压、精密铸造、粉末冶金、工程塑料的压塑和注塑等，其中注塑成型在汽车零部件制造中占有十分重要的地位。为了减轻汽车的质量、降低汽车整体成本，汽车上大量采用塑料件，如仪表台、车身内饰、汽车保险杠等。事实上，汽车上还有相当数量的功能部件和总成（如储油罐、汽车空调系统等）主要由塑料制成。汽车上塑料件的制造工艺主要是注塑成型，如图 1-12 所示。

## 4. 表面强化处理

表面强化处理有表面机械强化和热处理强化两种不同的类型，为了提高汽车零部件的使用寿命，实现汽车的轻量化，几乎所有的汽车零部件都需进行表面强化处理，图 1-13 和图 1-14 所示是两种不同的表面强化处理工艺与设备。