



新工科·普通高等教育汽车类规划教材

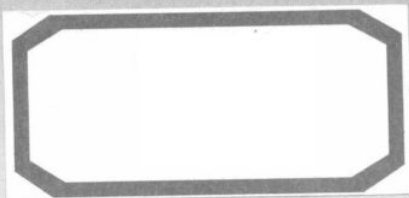
# 汽车制造工艺学

Automotive Manufacturing Technology

姚新改 © 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



新工科·普通高等教育汽车类规划教材

# 汽车制造工艺学

主 编 姚新改  
副主编 王时英 张 杰  
参 编 李文辉 王晓玲 白国庆 刘永红  
宋金鹏 张翠平 张瑞亮  
主 审 王先逵



机械工业出版社

本书在编写过程中贯彻“重基础、低重心、广知识、少学时、精内容、宽适应”的指导思想，以课题组建立的 MOOC 平台为依托，以汽车零件机械制造工艺及装配工艺为主线，综合考虑保证加工精度及生产率方面的内容，兼顾机床夹具原理、汽车车身制造工艺知识、汽车先进制造技术及汽车制造轻量化等内容，并注重反映本学科理论与技术的新进展。

本书主要内容包括绪论、汽车零件机械加工工艺规程的制定、机床夹具设计原理、汽车零件机械加工精度、机械加工表面质量、汽车装配工艺、汽车先进制造技术简介、汽车产品设计的结构工艺性、典型汽车零件的机械加工工艺、汽车车身制造工艺、汽车制造轻量化等。

本书可作为高等学校本科车辆（汽车）工程专业和相近专业的教材，也可供车辆（汽车）工程行业的技术人员、管理人员学习、参考。

本书配有 PPT 电子课件、习题答案、操作视频、MOOC 视频等资源，采用本书作为教材的教师，可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册下载。

## 图书在版编目（CIP）数据

汽车制造工艺学/姚新改主编. —北京：机械工业出版社，2019.8  
新工科·普通高等教育汽车类规划教材  
ISBN 978-7-111-62513-1

I. ①汽… II. ①姚… 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（2019）第 169123 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：宋学敏 责任编辑：宋学敏 章承林 尹法欣

责任校对：王欣 封面设计：张静

责任印制：郜敏

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2019 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.75 印张·459 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-62513-1

定价：49.80 元

电话服务

客服电话：010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

机工教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

# 前 言

汽车制造工艺学是普通高等学校车辆（汽车）工程专业本科人才培养方案中设置的一门专业必修课。通过该课程的学习，学生可以获得汽车制造工艺的基本知识、基本理论，并学会运用这些知识和理论来分析和评判车辆（汽车）零部件的结构工艺性、制造及装配工艺规程，使所设计的内容满足高质量、高可靠性、高效率生产的要求，为后续专业课程的学习、相关实践教学环节（课程设计和毕业设计）和毕业后从事车辆（汽车）的结构设计、工艺设计及管理工作奠定基础。

为适应高等教育“厚基础、宽口径”的汽车工程专业人才培养模式及新的课程改革的需求，编者在总结多年教学改革与实践经验的基础上编写了本书。本书在编写过程中贯彻“重基础、低重心、广知识、少学时、精内容、宽适应”的指导思想，以课题组建立的 MOOC 平台为依托，以汽车零件机械制造工艺及装配工艺为主线，综合考虑保证加工精度及生产率方面的内容，兼顾机床夹具原理、汽车车身制造工艺知识、汽车先进制造技术及汽车制造轻量化等内容，并注重反映本学科理论与技术的新进展。

本书建议课堂教学总学时为 64 学时，其中有 8 学时的选用章节（目录中标注“\*”的章节）可由各学校根据教学需要进行取舍，或供学生自学或参考之用。各章教学学时分配建议如下：第 1 章 2 学时，第 2 章 12 学时，第 3 章 12 学时，第 4 章 6 学时，第 5 章 6 学时，第 6 章 6 学时，第 7 章 4 学时，第 8 章 4 学时，第 9 章 4 学时，第 10 章 4 学时，第 11 章 4 学时。

本书由太原理工大学姚新改任主编，王时英、张杰任副主编。参加本书编写的有太原理工大学姚新改（第 1 章 1.1 和 1.2 节、第 3 章）、王时英（第 1 章 1.3 和 1.4 节、第 2 章）、张杰（第 4 章）、李文辉（第 5 章）、王晓玲（第 6 章）、宋金鹏（第 9 章）、张翠平（第 10 章）、张瑞亮（第 11 章），太原学院白国庆（第 7 章）、刘永红（第 8 章）。

本书由清华大学王先逵教授担任主审，他对本书进行了细致的审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。同时，本书的编写得到了太原理工大学教务部、太原理工大学机械与运载工程学院的领导和教职工的指导与支持，全国多所高校的同行专家，以及美国太平洋大学刘建成教授、无锡市威海达机械制造有限公司黄铁军总工、山西中电科技特种装备有限公司刘阳总工等提出了宝贵的意见和建议，谨此表示诚挚的谢意！本书在编写过程中参阅了国内外文献资料及教材，在此对原作者一并表示衷心的感谢！

限于编者的水平，书中的错误或不足在所难免，恳请广大读者批评指正。

# 目 录

前 言	
第 1 章 绪论	1
1.1 我国汽车制造业的现状	1
1.2 汽车制造工艺人员的根本任务	2
1.3 课程教学目标	2
1.4 教学内容与安排	3
第 2 章 汽车零件机械加工工艺规程的制订	5
本章提要	5
2.1 零件制造的工艺过程	5
2.1.1 生产过程	5
2.1.2 工艺过程	5
2.2 工艺规程的作用及设计步骤	9
2.2.1 工艺规程卡片的格式	9
2.2.2 工艺规程的作用	9
2.2.3 工艺规程设计的步骤	10
2.3 基准	11
2.3.1 基准的分类	11
2.3.2 工件的装夹	12
2.3.3 定位基准的选择	13
2.4 工艺路线的拟定	16
2.4.1 零件各表面加工方法及使用设备的选择	16
2.4.2 加工阶段的划分	20
2.4.3 工序的划分	21
2.4.4 工序的安排	22
2.5 加工余量的确定	23
2.5.1 加工余量的概念	23
2.5.2 影响加工余量的因素	24
2.5.3 确定加工余量的方法	25
2.6 尺寸链	26
2.6.1 尺寸链的概念	26
2.6.2 尺寸链的分类	28
2.6.3 极值法解尺寸链	29
2.6.4 极值法确定工序尺寸	32
2.6.5 概率法解尺寸链	38
2.7 时间定额及经济分析	41
2.7.1 时间定额	41
2.7.2 工艺过程的经济分析	42
本章小结	43
思考题与习题	43
第 3 章 机床夹具设计原理	46
本章提要	46
3.1 机床夹具概述	46
3.1.1 机床夹具的作用和组成	46
3.1.2 机床夹具的分类	51
3.2 工件的定位	52
3.2.1 六点定位原理	52
3.2.2 定位元件	54
3.2.3 组合定位分析	60
3.2.4 几种典型组合形式的定位分析	65
3.2.5 定位误差	65
3.2.6 定位误差计算实例	73
3.3 工件的夹紧	75
3.3.1 夹紧力三要素设计原则	76
3.3.2 常用的夹紧装置	79
3.4 典型机床夹具简介	90
3.4.1 铣床夹具	90
3.4.2 钻床夹具	93
3.4.3 镗床夹具	97
3.5 现代夹具发展简介	100
3.5.1 夹具柔性化	101
3.5.2 夹具自动化和智能化	104
3.5.3 应对“寻位-加工”的挑战	104
3.6 机床夹具的基本要求和设计步骤	105
3.6.1 机床夹具的基本要求	105
3.6.2 机床夹具的设计步骤	106



本章小结 .....	108	硬化 .....	155
思考题与习题 .....	108	5.3.2 机械加工后表面层金相组织的 变化 .....	156
<b>第4章 汽车零件机械加工精度</b> .....	<b>113</b>	5.3.3 机械加工后表面层的残余 应力 .....	158
本章提要 .....	113	5.3.4 降低磨削温度的工艺途径 .....	160
4.1 机械加工精度的基本概念 .....	113	5.4 零件表面光整加工技术 .....	161
4.2 影响加工精度的因素 .....	115	5.4.1 零件表面光整加工技术的 内涵 .....	161
4.2.1 加工原理误差 .....	115	5.4.2 典型的零件表面光整加工 工艺 .....	162
4.2.2 机床误差 .....	116	本章小结 .....	167
4.2.3 工艺系统受力变形 .....	121	思考题与习题 .....	167
4.2.4 工艺系统的热变形 .....	128	<b>第6章 汽车装配工艺</b> .....	<b>169</b>
4.2.5 工件残余应力引起的变形 .....	131	本章提要 .....	169
4.3 加工误差的统计分析 .....	132	6.1 汽车装配基本问题概述 .....	169
4.3.1 加工误差的性质 .....	133	6.1.1 各种生产类型的装配特点 .....	169
4.3.2 分布曲线法 .....	133	6.1.2 装配精度与零件精度的关系 .....	170
4.3.3 点图法 .....	137	6.1.3 装配中的连接方式 .....	171
4.4 提高加工精度的途径 .....	139	6.2 保证装配精度的方法 .....	171
4.4.1 减少误差法 .....	139	6.2.1 互换法 .....	172
4.4.2 误差补偿法 .....	139	6.2.2 选配法 .....	177
4.4.3 误差分组法 .....	140	6.2.3 修配法 .....	179
4.4.4 误差转移法 .....	140	6.2.4 调整法 .....	182
4.4.5 “就地加工”法 .....	141	6.3 装配尺寸链的建立 .....	186
4.4.6 误差平均法 .....	141	6.4 装配工艺规程的制订 .....	190
4.4.7 控制误差法 .....	142	6.4.1 装配工艺规程的内容 .....	190
本章小结 .....	142	6.4.2 制订装配工艺规程所需的原始 资料 .....	190
思考题与习题 .....	142	6.4.3 装配工艺规程的制订步骤和 方法 .....	191
<b>第5章 机械加工表面质量</b> .....	<b>146</b>	6.4.4 发动机装配工艺制订实例 .....	194
本章提要 .....	146	本章小结 .....	200
5.1 机械加工后的表面质量 .....	146	思考题与习题 .....	200
5.1.1 表面质量的含义 .....	146	<b>第7章 汽车先进制造技术简介</b> .....	<b>203</b>
5.1.2 表面完整性的含义 .....	147	本章提要 .....	203
5.1.3 表面质量和表面完整性对零件 使用性能的影响 .....	148	7.1 特种加工技术 .....	203
5.1.4 表面质量和表面完整性对产品 使用性能的影响 .....	151	7.1.1 电火花加工 .....	204
5.2 机械加工后的表面几何特征 .....	152	7.1.2 电火花线切割加工 .....	205
5.2.1 切削加工后的表面粗糙度 .....	153	7.1.3 电解加工 .....	207
5.2.2 磨削加工后的表面粗糙度 .....	154	7.1.4 激光加工 .....	207
5.2.3 机械加工后的毛刺 .....	155		
5.3 机械加工后的表面层物理力学 性能 .....	155		
5.3.1 机械加工后表面层的冷作			

7.1.5 电子束加工与离子束加工 .....	208	9.3 箱体加工工艺 .....	253
7.1.6 超声加工 .....	210	9.3.1 箱体的结构特点及主要技术 要求 .....	253
7.1.7 磨料流加工 .....	211	9.3.2 箱体的材料及毛坯 .....	254
7.1.8 水射流切割 .....	211	9.3.3 箱体的机械加工工艺流程 分析 .....	254
7.2 快速成形制造技术 .....	212	9.3.4 箱体机械加工的工艺流程 .....	258
7.2.1 光敏树脂液相固化成形 .....	212	本章小结 .....	259
7.2.2 选择性激光粉末烧结成形 .....	213	思考题与习题 .....	259
7.2.3 薄片分层叠加成形 .....	214	<b>第 10 章 汽车车身制造工艺</b> .....	260
7.2.4 熔丝堆积成形 .....	214	本章提要 .....	260
7.3 先进制造生产模式 .....	215	10.1 汽车车身冲压材料 .....	260
7.3.1 计算机集成制造系统 .....	215	10.1.1 汽车车身覆盖件的结构特点及 质量要求 .....	260
7.3.2 并行工程 .....	218	10.1.2 汽车车身冲压材料 .....	261
7.3.3 精益生产 .....	221	10.2 汽车车身覆盖件冲压工艺 .....	262
7.3.4 敏捷制造 .....	222	10.2.1 冲压工艺的特点 .....	262
7.3.5 虚拟制造 .....	223	10.2.2 车身覆盖件冲压模具 .....	263
本章小结 .....	225	10.2.3 车身覆盖件冲压工艺实例 .....	265
思考题与习题 .....	225	* 10.3 汽车车身焊装工艺 .....	266
<b>第 8 章 汽车产品设计的结构</b>		10.3.1 焊接的实质及车身焊装的 特性 .....	266
<b>工艺性</b> .....	226	10.3.2 白车身的焊装流程 .....	267
本章提要 .....	226	10.3.3 车身常用的焊接方法 .....	268
8.1 零件机械加工的结构工艺性 .....	226	10.3.4 车身焊装夹具及焊装生产线 .....	270
8.2 产品结构的装配工艺性 .....	235	* 10.4 汽车车身涂装工艺 .....	271
本章小结 .....	241	10.4.1 车身涂装的基本概念 .....	271
思考题与习题 .....	241	10.4.2 车身涂料 .....	271
<b>第 9 章 典型汽车零件的机械加工</b>		10.4.3 车身漆前表面处理 .....	273
<b>工艺</b> .....	242	10.4.4 电泳涂装底漆 .....	274
本章提要 .....	242	10.4.5 中涂与面漆工艺 .....	275
9.1 连杆加工工艺 .....	242	10.4.6 汽车车身典型涂装工艺 .....	276
9.1.1 连杆的结构特点及主要技术 要求 .....	242	本章小结 .....	277
9.1.2 连杆的材料和毛坯 .....	244	思考题与习题 .....	277
9.1.3 连杆的机械加工工艺流程 分析 .....	244	<b>* 第 11 章 汽车制造轻量化技术</b>	
9.1.4 连杆机械加工的工艺流程 .....	247	<b>简介</b> .....	279
9.2 曲轴加工工艺 .....	248	本章提要 .....	279
9.2.1 曲轴的结构特点及主要技术 要求 .....	249	11.1 高强度钢及其加工技术和应用 .....	279
9.2.2 曲轴的材料及毛坯 .....	249	11.1.1 高强度钢概况 .....	279
9.2.3 曲轴的机械加工工艺流程 分析 .....	250	11.1.2 高强度钢的分类 .....	279
9.2.4 曲轴机械加工的工艺流程 .....	251	11.1.3 高强度钢先进成形加工技术与	



应用 .....	280	11.4.3 天然纤维 .....	295
11.2 铝合金及其加工技术和应用 .....	283	11.5 工程塑料及其加工技术和应用 .....	298
11.2.1 铝合金概况 .....	283	11.5.1 工程塑料概况 .....	298
11.2.2 铝合金的分类及应用 .....	284	11.5.2 工程塑料的分类及应用 .....	299
11.2.3 铝合金先进成形加工技术与 应用 .....	286	11.5.3 工程塑料成型加工技术 .....	300
11.3 镁合金及其加工技术和应用 .....	287	11.6 连接技术 .....	301
11.3.1 镁合金概况 .....	287	11.6.1 连接技术概况 .....	301
11.3.2 镁合金的分类及应用 .....	287	11.6.2 激光钎焊技术 .....	301
11.3.3 镁合金先进成形加工技术与 应用 .....	288	11.6.3 搅拌摩擦焊 .....	301
11.4 纤维增强复合材料及其加工技术和 应用 .....	290	11.6.4 锁铆及自锁铆 .....	302
11.4.1 纤维增强复合材料概况 .....	290	11.6.5 胶接和密封技术 .....	302
11.4.2 碳纤维 .....	290	本章小结 .....	303
		思考题与习题 .....	303
		<b>参考文献</b> .....	<b>304</b>

# 第1章

## 绪 论

汽车工业是国民经济的支柱产业，在社会进步和经济发展中起着举足轻重的作用。在现代社会中，汽车工业不仅能为人类提供数量最多且最灵活适宜的交通运输工具，而且还能带动相关产业及工业技术的发展，促进整个社会的繁荣。

汽车工业是当代工业大生产的典型代表。它采用大批量生产，追求规模化、质量优、成本低与效益高的综合经济目标。为此，汽车工业不断吸收与采纳新技术、新工艺和新材料方面的最新研究成果，已成为先进制造技术的重要载体，许多高效自动的加工制造技术，如计算机集成制造系统（CIMS）、增材制造（Additive Manufacturing）、并行工程（Concurrent Engineering）等，均已应用于汽车制造业中。近年来空气质量日益恶化使先进电动汽车（Electric Vehicle, EV）包括纯电动汽车（Battery Electric Vehicle, BEV）、混合动力汽车（Hybrid Electric Vehicle, HEV 或 HV）和燃料电池汽车（Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV）发展迅速，它集机械、电子、汽车、电机、智能控制、化学电源、计算机、新材料等科学领域和工程技术中最新成果于一身，是多种高新技术凝聚的结果。但是，无论是燃油汽车还是先进电动汽车，是传统的制造技术还是先进制造技术，其核心均是以工艺信息系统为中心，可见汽车制造工艺学在现代汽车制造中的重要性。

### 1.1 我国汽车制造业的现状

我国汽车制造产业发展较晚，1980年，我国汽车年销量仅20万辆。2001年，我国加入WTO，汽车制造产业迎来了黄金发展期。近20年来，汽车制造业迅猛发展，企业数量和资产规模快速扩大，截至2017年9月，我国汽车行业的企業数量达到14620家，占全国工业企业数量的3.8%。汽车制造企业的产品销售量和销售收入也持续增加，2018年全年我国乘用车销量达到2235万辆。同时，一些技术含量较高的产品，如汽油机电喷系统、轿车用ABS、汽车安全气囊等，已在国内批量生产。现阶段，我国的汽车市场快速普及的高增长阶段已经过去，新的消费时代悄然而至，这对于中国的汽车制造业提出了新的挑战。

我国电动汽车产业在政府各项政策的推动下，2018年电动汽车产量和销量分别达到127万辆和125.6万辆，稳居全球第一名，发展电动汽车是我国能源和环保战略的一个重要方向。中国电动汽车仍处于持续发展阶段，产业即将进入快速发展的机遇期，并开始步入创新之路。现在我国电动汽车的驱动电机、电池系统、电控等关键技术以及整车技术已经取得了显著进步。

随着汽车技术的飞速发展，电动汽车底盘结构、混合动力及氢燃料电池汽车技术、高级驾驶员辅助系统、车联网和自动驾驶技术等新趋势、新方向领域的课题也已被我国相关部门专门列入重点研发专项，电动汽车产业的商业化创新模式也有了飞速发展。

随着全球经济一体化分工体系的确立和汽车制造产业的转移,我国汽车工业已形成多品种、全系列各类整车和零部件生产及配套体系,在产业规模、产品研发、结构调整、市场开拓、对外开放等方面实现了跨越式发展,已成为全球汽车工业体系的重要组成部分,并逐步由汽车生产大国向汽车产业强国转变。

虽然我国的汽车工业已取得了举世瞩目的快速发展,但是在产品研发、零部件生产技术等方面与发达国家相比仍存在一定的差距。

## 1.2 汽车制造工艺人员的根本任务

汽车工业是技术密集型产业,在生产中应用了各种高新工艺技术,在从原材料进厂到产品出厂的整个生产过程中,都离不开工艺。汽车生产的工艺过程十分复杂,是包括生产准备、原材料供应、制造工艺、计划管理、生产计划调度、组织劳动生产、产品检验与测试等整个生产过程的多方面统一体。汽车的生产工艺是对整个汽车生产过程的正确表述,其核心是汽车制造工艺。汽车制造工艺是企业生产的基础,它直接影响着产品的质量生产效率、企业的有序运作和经济效益。

汽车的质量和性能首先取决于设计,有了好的设计,汽车的质量和可靠性则取决于工艺水平。在保证汽车产品质量的前提下,降低生产成本同时提高劳动生产率是研究汽车制造工艺的出发点,也是汽车制造工艺人员的根本任务。

学习和研究汽车制造工艺学的目的是为完成上述根本任务打好必要的理论基础。对于工艺人员,重点是要研究保证汽车零件加工质量的方法,同时研究如何制订合理的工艺方案。工艺理论和工艺方法的运用灵活性很大,因此在掌握基础理论和方法后,需对实际应用中的具体问题具体分析,本着优质、高产、低耗的原则,在生产中正确运用工艺理论和工艺方法,不断提高工艺人员的工艺水平。汽车制造工艺人员不但要能熟练地制订工艺,而且要有相应的管理知识、能力和相关专业的技术知识——既要有一定的铸造、锻压、热处理等专业知识,还要有刀具和夹具的设计与制造、机床维修及数控技术等方面的知识;要经常到生产中调研、总结,密切研究国内外汽车制造企业的先进制造工艺及技术动态等。这样,才能成为具有较强能力的合格工艺人员。

## 1.3 课程教学目标

车辆(汽车)工程专业培养面向汽车整车设计制造,汽车零部件生产、管理,汽车检测、维修与销售服务等行业人才。现代大学生应该具有职业岗位所需要的相应基础知识和专业技能、良好的职业道德和职业生涯发展基础,在人才竞争中充分利用各种机遇和优势加速培养自身价值和竞争力。

本书的编写力求体现内容、方法的不断改革创新及教学过程的实践性和开放性,制作MOOC<sup>①</sup>,在爱课程——中国大学MOOC平台为学生提供更多的碎片化学习内容,力求浅

① MOOC (Massive Open Online Courses), 即大型开放式网络课程。



显易懂和形象化，注重反映本学科理论与技术的新进展，着力于提高学生对课程的学习兴趣和综合能力。

## 1.4 教学内容与安排

### 1. 教学内容

#### 第2、9章 汽车零件机械加工工艺规程的制订及典型实例

机械加工的目的就是将毛坯加工成符合产品要求的零件，“加工”包含了机械加工手段与过程，汽车中的大多数零件都要进行机械加工。通常，毛坯需要经过若干工序才能转化为符合产品要求的零件。在现有的生产条件下如何采用经济有效的加工方法，并将若干加工方法以合理路径安排以获得符合产品要求的零件是这两章所要解决的重点问题。第2、9章的主要内容：掌握工序、工步、走刀、安装、工位、基准、生产过程与机械加工过程等概念，在此基础上将重点学习机械加工工艺规程的作用、内容及编制方法，其中包括基准内容及工艺基准选用原则，加工方法选用原则，加工阶段和加工顺序安排原则，加工余量的确定和工艺尺寸链的计算等内容；熟悉连杆、曲轴和箱体三种典型汽车零部件的结构特点，掌握其机械加工中的定位、工艺过程、加工方法、质量控制及热处理工艺的应用等。

#### 第3章 机床夹具设计原理

机床夹具是机械加工工艺系统的一个重要组成部分。为保证工件某工序的加工要求，必须使工件在机床上相对刀具的切削或成形运动处于准确的相对位置。本章主要围绕工件在夹具上的定位、夹紧原理展开。其主要内容包括工件定位的基本原理、基本定位元件对工件的定位、定位误差的分析与计算、夹紧力及夹紧装置设计的一般原则、常用的夹紧机构、典型机床夹具简介、现代夹具发展趋势、机床夹具的设计步骤。

#### 第4章 汽车零件机械加工精度

汽车产品的质量与零件的加工质量和装配质量有着密切的关系。汽车零件的加工质量是由加工精度和表面质量两方面所决定的，它将直接影响机器的工作性能和使用寿命。生产实际中经常遇到的许多工艺问题，其多数表现为加工精度问题。本章主要是研究机械加工精度，从加工精度概念入手，深入了解和研究加工误差的产生原因和影响因素，掌握加工误差的变化规律，寻求提高加工精度的途径以确保零件的加工质量。机械加工精度是本课程的核心内容之一。本章的主要内容有机械加工精度的基本概念、影响加工精度的因素、加工误差的统计分析及提高加工精度的途径四个方面。

#### 第5章 机械加工表面质量

机械加工的表面质量与机械产品的使用性能、使用寿命和可靠性密切相关。任何经过机械加工的零件表面，都不是完全理想的表面，总是会存在一定程度的微观不平、表面缺陷、冷作硬化、残余应力及金相组织变化等现象。虽然这些变化只发生在零件很薄的表面层内，但机械零件的腐蚀、磨损和疲劳断裂等失效事故常常起源于表面及表面层。本章主要内容有机械加工表面质量和表面完整性的含义，表面质量和表面完整性对耐磨性、疲劳性、耐蚀性等使用性能的影响，零件表面和表面层在加工中的变化和发生变化的机理，以及机械加工中各种工艺因素对零件表面和表面层的影响规律。

## 第6章 汽车装配工艺

汽车装配是汽车制造过程中最后的工艺环节,它将最终保证汽车部件的质量。若装配工艺制订不合理,即使所有机械零件都符合质量要求,也不能装配出合格产品。只有做好装配的各项准备工作,选择适当的装配方法,才能高质量、高效率、低成本地完成装配任务。本章主要内容有明确汽车装配解决的基本问题,掌握互换法、选配法、修配法和调整法的基本原理、计算方法及应用范围,了解装配工艺规程制订内容,掌握装配工艺文件的整理与编写要求。

## 第7章 汽车先进制造技术简介

现代科学技术的发展与交叉融合,不仅给汽车制造技术提出了新的要求,也给汽车制造技术提供了强大支持,因此,近年来涌现出了许多新的汽车制造技术。根据现代汽车制造技术的发展趋势,本章主要介绍特种加工技术、快速成形制造技术的基本原理、方法和特点,以及先进制造生产模式的基本概念、组成和特点。

## 第8章 汽车产品设计的结构工艺性

在汽车产品设计时,除了应满足产品的使用性能要求外,还应满足制造工艺要求,不满足制造工艺要求的设计将影响产品及零部件制造时的生产效率和经济性,甚至无法制造。因此,汽车产品设计时就考虑如何满足制造工艺要求是非常重要的,所设计的整车及其零部件都应具有良好的工艺性。本章主要内容有零件机械加工的结构工艺性和产品结构的装配工艺性。

## 第10章 汽车车身制造工艺

汽车车身是汽车驾驶人操纵汽车的乘坐室,也是承载货物和人员的载体。汽车车身是支承、连接汽车的底盘、发动机,同时将底盘、发动机等部件进行覆盖的钣金件总称。汽车车身是一个形状复杂的空间薄壁壳体,其制造工艺是一类较为特殊的生产工艺,它是将薄钢板进行冲压成形,再使用焊接设备进行钣金件的焊接,从而获得满足碰撞法规要求的安全车身,然后使用涂装设备对覆盖件进行表面处理,进而获得耐用和美观的车身。本章主要内容有汽车车身冲压材料、汽车车身覆盖件冲压工艺、汽车车身装焊工艺、汽车车身涂装工艺。

## 第11章 汽车制造轻量化

汽车轻量化是实现汽车节能减排的重要技术措施,是国家能源安全战略的需要,是汽车发展的重要方向之一。汽车轻量化技术通常包括结构轻量化设计、轻量化材料、轻量化制造工艺和轻量化连接技术等方面。本章主要内容有了解汽车轻量化材料及其相关成形工艺,了解汽车制造中的轻量化连接技术。

### 2. 教学安排

学习本课程前完成画法几何及工程制图、机械设计、互换性与技术测量、汽车构造、汽车材料、金工实习等技术基础课程和相关实践教学环节的教学。学完本课程后安排汽车设计、发动机设计、汽车测试技术与试验等课程;进行汽车生产实习,主要是现场学习典型零件的加工工艺与汽车制造生产运行;安排2~3周“汽车制造工艺学”课程设计,可使学生在课程中学到的汽车制造工艺相关知识得以巩固与应用,为将来从事工艺类课题研究或工作中开展工艺技术创新等方面奠定一定的基础。

## 第2章

# 汽车零件机械加工工艺规程的制订

### 本章提要

机械加工的目的就是将毛坯加工成符合产品要求的零件，“加工”包含了机械加工手段与过程，汽车中的大多数零件都要进行机械加工。通常，毛坯需要经过若干工序才能转化为符合产品要求的零件。在现有的生产条件下如何采用经济有效的加工方法，并将若干加工方法以合理路径安排以获得符合产品要求的零件是本章所要解决的重点问题；批量生产、调整法加工是本章研究问题的出发点和基础。学习本章，首先需要掌握工序、工步、走刀、安装、工位、基准、生产过程与机械加工过程等概念，在此基础上将重点学习机械加工工艺规程的作用、内容及编制方法，其中包括基准内容及工艺基准选用原则，加工方法选用原则，加工阶段和加工顺序安排原则，加工余量的确定和工艺尺寸链的计算等内容。本章重点是粗基准、精基准的选择原则，加工阶段的划分，工序的集中及分散，加工余量的确定，极值法解尺寸链；难点是粗基准、精基准的选择原则的深入理解和应用，综合应用各种工艺规程设计原则编制合理的工艺规程，应用极值法解尺寸链。

## 2.1 零件制造的工艺过程

### 2.1.1 生产过程

任何一辆汽车的制造，都要经过市场调研分析、产品设计、生产准备、原材料的运输和保管、毛坯制造、机械加工、热处理、装配和调试、检验和试车、喷漆和包装等若干过程，这些相互关联的劳动过程的总和，称为生产过程。

这个过程往往是由许多工厂或工厂的许多车间联合完成的，这样有利于专业化生产，使工厂或车间的产品简单化，对提高生产效率、保证产品质量、降低成本大有好处。例如汽车、拖拉机等装备制造一般就采用这种专业化生产的方法。

生产过程的实质是由原材料（或半成品）变为产品的过程。因此一个工厂的生产过程，又可按车间分成若干个车间的生产过程。某个工厂或某个车间所生产的产品（或半成品）可能是另一个工厂或车间的原材料，如铸造车间的产品是机械加工车间的原材料。

### 2.1.2 工艺过程

一辆汽车有3万多个零部件，作为一个运输装备，其大多数零件处于运动副配合状态，要保证它们的良好运动特性，这些零部件必须要有很高的加工精度，因此汽车关键零

部件都要进行机械加工，这也是目前高精度汽车零部件加工的唯一高效经济的制造方法。

用机械加工的方法，直接改变原材料或毛坯的形状、尺寸和性能等，使之变为合格零件的过程，称为零件的机械加工工艺过程，又称工艺路线或工艺流程。

将零件装配成部件或产品的过程，称为装配工艺过程。

### 1. 工艺过程的组成

工艺过程是由一个或若干个依次排列的工序所组成的。毛坯顺次通过这些工序就变成了成品或半成品。

(1) 工序 一个（或一组）工人，在一个固定的工作地点（一台机床或一个钳工台），对一个（或同时对几个）工件所连续完成的那部分工艺过程，称为工序。它是工艺过程的基本单元，又是生产计划和成本核算的基本单元。

图 2-1 所示为阶梯轴的零件图。若其生产批量比较小，则其加工工艺过程可由五个工序组成，见表 2-1。棒料毛坯依次通过这五个工序就变成阶梯轴的产品零件。

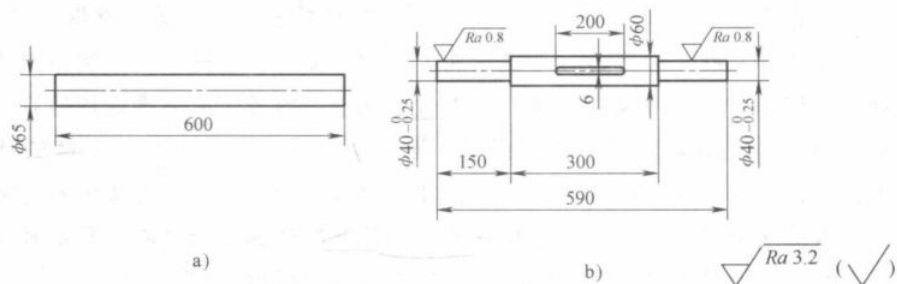


图 2-1 阶梯轴的零件图

a) 坯料 b) 半成品

表 2-1 阶梯轴加工工艺过程

工序号	工序名称	工作设备
5	车端面, 钻中心孔	车床
10	车外圆	车床
15	铣键槽	立式铣床
20	磨外圆	磨床
25	去毛刺	钳工台

同样加工图 2-1 所示零件，若生产批量比较大，此时可将工序 5 变为两个工序，即将每个毛坯在一台车床上由一个工人车削一个端面和钻其上的中心孔，然后卸下来，转移到另一台车床上由另一个工人调头车削另一个端面和钻中心孔，这样对每个毛坯来说，左、右端面和中心孔不是连续加工的，因此表 2-1 中的工序 5 就分成了两个工序。

由表 2-1 可以看出，工序号的编制是不连续的，以方便更改。例如，在批量生产中，工序 5 就可以方便地分为 5、7 两道工序：5 为车左端面，钻中心孔；7 为车右端面，钻中心孔。

(2) 工步 工步是工序的组成单位。在被加工的表面（或装配时的连接表面）和切削刀具（或装配工具）均保持不变的情况下，所连续完成的那部分工序，称为工步。当



其中有一个因素变化时,则为另一个工步。当同时对一个零件的几个表面进行加工时,则为复合工步。

划分工步的目的,是便于分析和描述比较复杂的工序,更好地组织生产和计算工时。

(3) **走刀** 被加工的某一表面,由于余量较大或其他原因,在切削用量不变的条件,用同一把刀具对它进行多次加工,每加工一次,称一次走刀。

(4) **安装** 工件在加工前,在机床或夹具中相对刀具应有一个正确的位置并给予固定,这个过程称为装夹,一次装夹所完成的那部分加工过程称为安装。安装是工序的一部分。

每一个工序可能有一次安装,也可能有几次安装。如表 2-1 中的工序 5,若对一个工件的两端连续进行车端面、钻中心孔,就需要两次安装(分别对两端进行加工),每次安装有两个工步(车端面和钻中心孔)。

在同一工序中,安装次数应尽量少,这样既可以提高生产效率,又可以减少由于多次安装带来的加工误差。

(5) **工位** 为减少工序中的装夹次数,常采用回转工作台或回转夹具,使工件在一次安装中,可先后在机床上占有不同的位置进行连续加工,每一个位置所完成的那部分工序,称一个工位。

如图 2-2a 所示,两个齿轮零件装夹在回转夹具上,用两个压板夹紧,立式铣刀铣削齿轮端面的五个槽。每加工完一个槽,松开压板及两个定位销,转动齿轮回转  $72^\circ$ ,再加工下一个槽,直到将五个槽加工完毕。因此共有五个工位。

如图 2-2b 所示,在三轴钻床上利用回转工作台,按四个工位连续完成每个工件的装夹、钻孔、扩孔和铰孔。

采用多工位加工,可以提高生产率和保证被加工表面间的相互位置精度。

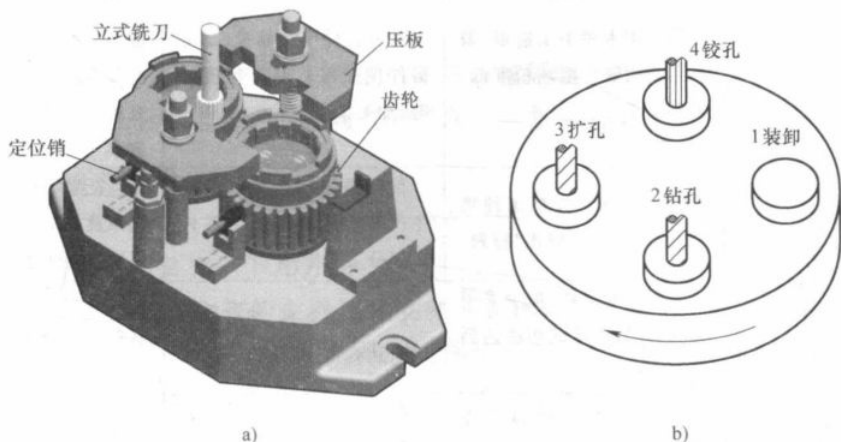


图 2-2 多工位加工

## 2. 生产类型对工艺过程的影响

工艺路线是零件加工工艺的步骤,其基本内容的组成和特征与工件的结构形状、技术条件、生产条件等有关,但是生产类型也对它有着重要的影响。当生产类型不同时,生产组织和生产管理、车间的机床布置、毛坯的制造方法、采用的工艺装备(刀、夹、量

具)、加工方法以及工人的熟练程度等都有很大的不同,因此在制订工艺路线之前必须明确该产品的生产类型。

生产类型是指企业(或车间、工段、班组、工作地)生产专业化程度的分类,一般分为:

(1) **单件生产** 单个地生产不同结构和不同尺寸的产品,并且很少重复。例如,重型机器制造、专业设备制造和新产品试制等。

(2) **成批生产** 一年中分批地制造相同的产品,制造过程有一定的重复性。例如,机床制造就是比较典型的成批生产。每批制造的相同产品的数量称为批量。根据批量的大小,成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产。小批生产工艺过程的工艺特点和单件小批生产相似;大批生产工艺过程的工艺特点和大量生产相似;中批生产工艺过程的工艺特点则介于单件小批生产和大批大量生产之间。

(3) **大量生产** 产品数量很大,大多数工作地点长年累月地重复进行某一个零件的某一道工序的生产加工。例如,汽车、拖拉机、轴承等的制造通常都是以大量生产的方式进行。

各种生产类型的工艺过程的特点可归纳成表 2-2,利用它可判断已有工艺路线的生产类型。

表 2-2 各种生产类型的工艺过程的特点

生产类型 工艺过程的特点	单件生产	成批生产	大量生产
工件的互换性	一般是配对制造,没有互换性,广泛用钳工修配	大部分有互换性,少数用钳工修配	全部有互换性。某些精度较高的配合件用分组选择装配法
毛坯的制造方法及加工余量	铸件用木模手工造型,锻件用自由锻。毛坯精度低,加工余量大	部分铸件用金属模,部分锻件用模锻。毛坯精度中等,加工余量中等	铸件广泛采用金属模机器造型,锻件广泛采用模锻,以及其他高生产率的毛坯制造方法。毛坯精度高,加工余量小
机床设备	通用机床。按机床种类及大小采用“机群式”排列	部分通用机床和部分高生产率机床。按加工零件类别分工段排列	广泛采用高生产率的专用机床及自动机床。按流水线形式排列
夹具	多用标准附件,极少采用夹具,靠划线及试切法达到精度要求	广泛采用夹具,部分靠划线法达到精度要求	广泛采用高生产率夹具,靠夹具及调整法达到精度要求
刀具与量具	采用通用刀具和万能量具	较多采用专用刀具及专用量具	广泛采用高生产率刀具和量具
对工人的要求	需要技术熟练的工人	需要一定熟练程度的工人	对操作工人技术要求较低,对调整工人技术要求较高
工艺规程	有简单的工艺路线卡	有工艺规程,对关键零件有详细的工艺规程	有详细的工艺规程



## 2.2 工艺规程的作用及设计步骤

“工艺规程”是规定产品或零部件制造工艺过程和操作方法等的工艺文件。工艺规程中包括各个工序的排列顺序，加工尺寸、公差及技术要求，工艺装备及工艺措施，切削用量及工时定额，工人等级等。

### 2.2.1 工艺规程卡片的格式

早期各厂所用的机械加工工艺规程的格式是不统一的，但大同小异，1982年机械工业部针对工艺规程格式的不统一制订了部颁标准（参阅 JB/Z 1187.3—1982），1998年又进行了修订（参阅 JB/T 9165.2—1998）。

在单件小批生产中，一般只编制内容比较简单的工艺过程综合卡片（简称过程卡），卡片中有产品名称和型号，零件的名称和件号，毛坯的种类和材料，工序的序号、名称和内容，完成各工序的车间、设备和工序装备及工时定额等。

在成批生产中，一般需要编制比较详细的工艺卡片，在卡片中不仅要填写上述的内容，而且要详细说明每一道工序所包括工位和工步的顺序、工艺尺寸和技术要求。对主要工序还要画出工序草图，在图上标示出被加工表面在该工序所达到的尺寸公差、几何公差和表面粗糙度及工件的安装方法等，在单件小批生产中，对某些重要零件的加工有时也制订工艺卡片。

在大批、大量生产中，则要求在工艺卡片的基础上，分别为每一道工序编制工序卡，在工序卡片上画有工序图，图上要标示出完成本工序后的零件形状、尺寸、公差和技术条件，工件的安装方式，刀具的形状及位置等。在中小批量生产中，有时个别重要工序也编制工序卡片。

对于在各种自动或半自动机床上完成的工序，还要编制调整卡片。对于检验工序，还要编制检验卡片。对于需建立质量控制点的工序，还要编制操作指导卡片等。

### 2.2.2 工艺规程的作用

工艺规程的作用主要有以下几方面：

(1) 工艺规程是指导生产的主要技术文件 正确的工艺规程，是在长期生产实践和科学试验的基础上，运用工艺理论，又结合具体生产条件制订的，并在实践过程中不断地加以改进和完善。因此按照工艺规程可以使各工序紧密配合、严格检查，有组织、有纪律地进行文明生产，不出差错，保证优质、高产、低消耗、低成本地制造出产品。

(2) 工艺规程是生产组织和生产管理工作的依据 产品投入生产之前，可根据工艺规程进行必要的技术准备和生产准备工作。例如，原材料和毛坯的供应、机床的准备和调整、专用工艺装备的设计和制造、劳动力的组织等。另外，工厂的生产计划和调度部门可以根据工艺规程安排投料时间，平衡设备负荷，下达生产计划，使生产有节奏而均衡地进行。