



普通高等教育“九五”部级重点教材

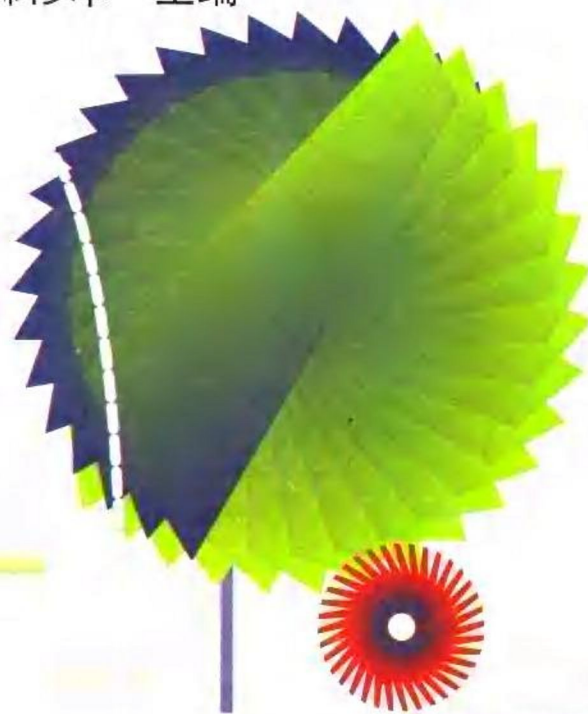
GZ

普通高等工科教育机电类规划教材

机械制造工艺学

江南大学 郑修本 主编

第2版



机械工业出版社

普通高等工科教育机电类规划教材

机械制造工艺学

第2版

主 编 郑修本
副主编 徐增豪 徐 雳
参 编 王振龙 于相慧
主 审 王启平



机械工业出版社

本书是1992年版本的修订本,被列为部级重点教材。这次修订力争做到将工艺理论和实践知识(典型零件加工与加工方法)有机地结合,并使两者都有所加强和创新;内容面向21世纪的制造业,树立生产制造系统的观点和反映现代制造技术的新成就和动向;严格贯彻有关国家标准;每章均有习题和思考题,以引导思维、掌握要点和培养能力;叙述简明扼要,由浅入深,通俗易懂;贯彻少而精的原则,总篇幅比第1版有所减少。

全书共六章,主要内容包括机械加工工艺规程的制订和工艺尺寸链、机械加工精度、机械加工表面质量、典型零件加工(主轴、曲轴、丝杠、套筒、箱体、圆柱齿轮、活塞、连杆)与加工方法、装配工艺基础和装配尺寸链、现代制造技术(特种加工、超精密加工、机械制造系统自动化技术)等。

本书主要作为高等工科院校“机械制造工艺及设备”、“机械设计制造及其自动化”和“机械工程及自动化”等专业的教材,也可作为职业大学、电视大学、职工大学、函授大学、业余大学和自学考试等学生的教材,并可供从事机械制造业的工程技术人员参考和培训。

机械制造工艺学

第2版

江南大学 郑修本 主编

*

责任编辑:赵爱宁 版式设计:张世琴

封面设计:姚毅 责任校对:姚培新

责任印制:何全君

*

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 22·字数 537千字

1999年5月第2版第1次印刷

印数 185501—188500 定价:28.00元

*

ISBN 7-111-06853-X/TH·910(课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

第 2 版前言

“机械制造工艺学”是“机械制造工艺及设备”、“机械设计制造及其自动化”和“机械工程及自动化”等专业的一门主要专业课，它对培养有关制造工艺（技术）方面的应用型人才起到直接的和重要的作用。

近一个世纪以来，国内外专家和学者对培养制造工艺（技术）方面的应用型人才持有两种不同的观点：一种是偏重于掌握各种具体的工艺实践知识（典型零件加工与加工方法），即工艺的个性；另一种是偏重于掌握制造工艺理论，即工艺的共性。因此，制造工艺教材也有两种与之相应的模式。我们认为，这两种观点都有其正确的一面，最佳的方案应该是两者的有机结合。如何结合？这是个值得探索的课题。

近代，随着科学技术的迅猛发展和市场需求的变化及竞争的加剧，传统的制造技术发展到一个崭新的阶段。传统制造技术不断吸取机械、电子、信息、材料、能源及现代管理等技术成果，并将其综合应用于产品整个生命周期，成为“市场——设计——制造——市场”的大的生产制造系统。在生产制造系统中，各个专业学科间不断交叉、融合，其界限逐渐淡化甚至消失，它的总目标是以满足市场（用户）的要求作为其战略决策的核心，以取得理想的技术经济效果。这样，传统的制造工艺学如何适应科技发展的需要，进行内容的变更，这是又一个值得探索的课题。

上述两个课题的实质，不仅是本书编写的问题，更是专业改造、扩大，课程体系重组和学科教学内容变更的问题，是教改的基础。

本书第 1 版自 1992 年出版以来，受到广大师生和读者的欢迎和支持，每年重印一次，印刷 7 次，累计印数近 20 万册，并于 1996 年获机械工业部全国高等学校机电类专业优秀教材二等奖。

为了适应 7 年来机械制造技术的发展和教学改革的需要，并吸取广大读者使用后的意见和建议，决定对本书第 1 版进行修订；并于 1997 年由全国高等学校机电类专业教学指导委员会推荐和审核，经原机械工业部教育司批准，将本书第 2 版定为部“九五”重点规划教材。

本书总的修订原则是在进一步探索前述两个课题的基础上，力争做到将工艺理论和实践知识（典型零件加工与加工方法）有机地结合，并使两者都有所加强和创新；内容要面向 21 世纪制造业的全球化，要贯彻少而精的原则，使总篇幅在第 1 版基础上有所压缩。具体修订原则如下：

- 1) 工艺理论的论述中注重建立基本概念及其应用。要按认识规律，结合实例由浅入深地解决重点和难点，富有启发性，以利能力培养和自学。

- 2) 工艺实践知识方面，在保留原有典型零件和加工方法种类较多的基础上精简内容，叙述详略有序，一类型零件讲透一种，其余举一反三地讲特点；加工方法上讲清原理、工艺特点和应用，培养分析能力，同时，又增加了近年来国内外采用的先进技术。

- 3) 把特种加工和超精密加工并入现代制造技术中，内容要面向 21 世纪制造业，树立生产制造系统的观点和反应现代制造技术的新成就和动向，使本书具有先进性。

4) 每章均附有习题及思考题,以引导思维、掌握要点、培养能力。

5) 全书严格贯彻有关国家标准,并做到全书一致。

本书按专业教学指导委员会所制订的教学计划和教学大纲编写,课堂学时(含实验和习题)为60~70学时,另有生产实习和课程设计等教学环节。

本书主要作为高等工科院校“机械制造工艺及设备”、“机械工程及自动化”和“机械设计制造及其自动化”等专业的教材,也可作为职业大学、电视大学、职工大学、函授大学、业余大学和自学考试等学生的教材,并可供从事机械制造业的工程技术人员参考和培训使用。

本书由江南大学郑修本教授任主编,上海理工大学工程技术学院徐增豪高级工程师和哈尔滨理工大学工业技术学院徐雳副教授任副主编。具体分工如下:绪论、第一章和第五章由郑修本编写,第二章、第四章第四、六节由徐雳编写,第三章由长春大学机械工程学院于相慧编写,第四章第一、二、三、五节、第六章第二节由徐增豪编写,第六章第一、三、四节由哈尔滨工业大学王振龙副教授(博士)编写并完成本章初统稿。全书由哈尔滨工业大学王启平教授主审。

本书初稿完成后,编者互审,主编、副主编审稿,经多次修改并于1998年4月召开审稿会,参加审稿会的除编审人员和责任编辑外,还有长春水利电力高等专科学校李德仁副教授和孙伟副教授,专家们对初稿提出了不少宝贵意见,在此谨向他们表示衷心感谢,并在此向使用过本书第1版并提出宝贵意见的读者一并致意。

由于水平有限,有些观点有探索性质,难免有不少欠妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1998年9月

第1版前言

本书是根据高等专科学校“机械制造”专业教材编审委员会审定的指导性教学计划和机械制造工艺学教学大纲，由教材编审委员会组织编审并推荐的教材。

本书可作为高等专科学校各种“机械制造”专业的教材，也可作为职业大学、电视大学和职工大学的教材，并可供从事机械制造专业的工程技术人员参考。

本书内容分为机械制造工艺的基本理论和典型零件加工两部分。基本理论部分包括：制订机械加工工艺规程与装配工艺规程的原则和方法、机械加工精度及表面质量、工艺尺寸链与装配尺寸链理论及其应用、机械加工的生产率与经济性分析等。典型零件加工部分包括轴（主轴、曲轴、丝杠、花键轴等）、套、圆柱齿轮、箱体、活塞和连杆等的工艺分析与加工方法。还编入了特种加工、超精密加工和现代制造技术。

根据教学大纲的要求，为突出高等专科学校的特点，本书强调应用性和能力的培养。在基本理论的论述中，注重建立基本概念和原理的具体应用；为培养主管产品工艺的初步能力，加强了装配工艺的基础知识，从保证产品质量出发，分析装配工艺以及装配和机械加工工艺的关系；紧紧围绕质量、生产率和经济性三者的辩证关系分析工艺问题。在典型零件加工工艺中，注重工艺分析和能力的培养，以适应各种“机械制造”专业的教学。现代机械制造技术和超精密加工反映了国内外机械制造的发展动向，以扩大视野，开阔思路。

本书贯彻了国家最新标准（含机械制造工艺术语、尺寸链的计算方法等），内容新颖、简明扼要，阐述清晰易懂，并附有实例。

本书由江南大学郑修本副教授任主编，上海机械专科学校冯冠大副教授任副主编。绪论和第一章由郑修本编写；第二章由苏焕斌（哈尔滨机电专科学校）编写；第三章由孙光华（郑州机械专科学校）编写；第四章一、二、五节由冯冠大编写；第四章第三、四、六节由增家驹（湘潭机电专科学校）编写；第五章由冯冠大编写；第六章由郑修本编写；第七章由徐嘉元（南京机械专科学校）编写。全书由郑州机械专科学校刘世定副教授主审。

本书初稿完成后，曾于1990年11月召开了初审会议，并于1991年4月召开终审会议定稿。参加审稿会的专家有：北京航空航天大学杨光薰教授、沈阳冶金机械专科学校孙奎武教授、郑州纺织工学院郭承燕副教授、哈尔滨机电专科学校陈德祺副教授、北京机械工业管理学院李庆寿副教授等。专家们对初稿提出了不少宝贵意见，在此谨向他们表示衷心地感谢。

由于水平有限，编写时间又较紧迫，书中难免有不少欠妥之处，恳请读者批评指正。

编者 1991年4月

目 录

第2版 前言

第1版 前言

绪论 1

习题与思考题 5

第一章 机械加工工艺规程的制订和

工艺尺寸链 6

第一节 基本概念 6

第二节 零件结构工艺性分析 17

第三节 确定毛坯 21

第四节 定位基准的选择 22

第五节 工艺路线的拟定 29

第六节 确定加工余量、工序尺寸及其公差 36

第七节 时间定额和提高劳动生产率的工艺途径 40

第八节 工艺过程的技术经济性分析 46

第九节 工艺尺寸链 50

习题与思考题 69

第二章 机械加工精度 75

第一节 概述 75

第二节 工艺系统的几何误差 76

第三节 工艺系统的受力变形 83

第四节 工艺系统的热变形 94

第五节 工件残余应力引起的误差 99

第六节 加工误差的统计分析和综合分析实例 100

第七节 提高和保证加工精度的途径 118

习题与思考题 119

第三章 机械加工表面质量 122

第一节 机械加工表面质量的含义及其对零件使用性能的影响 122

第二节 影响表面粗糙度的工艺因素

及其改善措施 125

第三节 影响零件表面层物理力学性能的因素及其改善措施 127

第四节 工艺系统的振动 133

习题与思考题 143

第四章 典型零件加工与加工

方法 145

第一节 轴类零件加工 145

第二节 套筒零件加工 180

第三节 箱体加工 191

第四节 圆柱齿轮加工 205

第五节 活塞加工 221

第六节 连杆加工 236

习题与思考题 244

第五章 装配工艺基础和装配

尺寸链 248

第一节 概述 248

第二节 建立装配尺寸链的方法 253

第三节 保证装配精度的方法——解装配尺寸链 262

第四节 装配工艺规程的制订 278

第五节 产品的结构工艺性 285

习题与思考题 289

第六章 现代制造技术 292

第一节 概述 292

第二节 特种加工 294

第三节 超精密加工 309

第四节 机械制造系统的自动化技术 319

习题与思考题 342

参考文献 343

绪 论

一、我国机械工业的现状、差距和任务

机械工业是国民经济的装备部，是为国民经济提供装备和为人民生活提供耐用消费品的产业。不论是传统产业，还是新兴产业，都离不开各种各样的机械装备。机械工业所提供装备的性能、质量和成本，对国民经济各部门的技术进步和经济效益，有很大的和直接的影响。机械工业的规模和技术水平是衡量国家经济实力和科学技术水平的重要标志。因此，世界各国都把发展机械工业作为发展本国经济的战略重点之一。

1. 我国机械工业的现状

经过建国 49 年来的发展，机械工业已经成为我国工业中产品门类比较齐全、具有相当规模和一定技术基础的最大的产业之一。机械工业现有企业数、职工人数、工业总产值、利税总额等指标占全国工业的比重已分别达 $1/5 \sim 1/3$ ，固定资产占全国工业比重的 15%，机械工业的发展速度高于同期工业的平均增长速度。

改革开放 20 年以来，机械工业充分利用国内外两方面的技术资源，有计划地推进企业的技术改造和新产品开发，引导企业走依靠科技进步的道路，使制造技术、产品水平及经济效益都发生了显著变化，为满足国内市场需求、扩大出口创汇、推动国民经济的发展做出了很大贡献。主要表现在：

1) 增强了提供大型成套设备、关键设备及汽车的能力。如国产化的 60 万 kW 火电机组和 30 万 kW 水电机组、宝钢三期和四期工程成套设备、1000 万 t 级露天矿成套设备以及各种新型的轿车、越野车、轻型车和重型车等。

2) 企业产品开发能力和制造技术有了长足进步。约有 9% 的企业已迈入了高技术企业的行列，约 7% 的企业成了出口创汇超过总销售额一半的外向型企业，66% 的企业建立了专门的技术开发机构。

3) 产品结构正向合理化方向发展。

4) 科技体制改革深化，绝大多数研究院所已进入经济建设主战场。

2. 我国机械工业的差距

虽然我国机械工业的综合技术水平在近几年有了大幅度提高，但与工业发达国家相比仍存在着阶段性的差距，反映了制造技术的落后。其突出表现是：

1) 技术开发能力和技术基础薄弱。近几年来开发成功的产品，大部分依赖引进国外技术。对引进技术的消化吸收仍停留在掌握已有技术、提高国产化率的低层次上，没有上升到形成产品自主开发能力和技术创新的高度。

2) 全员劳动生产率低。产值增长速度主要依靠资金和劳动力的投入，技术进步的贡献率低。这表明机械工业的发展还没有真正转移到依靠技术进步的轨道上来，缺乏将科技成果转化为现实生产力的健全有效的机制；还没有形成推动科技与经济密切结合的联动体系。

3) 产品质量不够高、能耗高、国际竞争乏力。尽管机械产品的出口增长迅速，但进出口逆差仍然很大。

3. 今后的任务

从现在起到 2010 年是我国积极进行经济体制和经济增长方式两个根本转变(由计划经济向社会主义市场经济转变, 由依靠资金和劳动力投入的粗放型经济增长方式向依靠科技进步和提高劳动者素质的经济增长方式转变)的关键时期, 也是国际产业结构重组和国际分工不断深化、科技迅猛发展的时期。世界各国都把提高产业竞争力和发展高技术、抢占未来经济制高点作为科技工作的主攻方向。我国经济、科技与世界的联系日益紧密, 中国市场与国际市场进一步接轨。面对这种形势, 我们应当抓住机遇、迎接挑战, 用科技进步推动机械工业的振兴。

机械工业科技发展的指导思想是: 根据“科技兴国”的战略, 紧紧围绕机械工业振兴的目标, 大力推进科技与经济结合, 从满足国民经济发展和出口的需求出发, 以重大工程项目、重大技术装备、基础件、基础机械和轿车为载体, 以先进制造技术为重点, 以高技术和新产品的推广应用、工程化、产业化为桥梁, 以提高企业竞争力为目的, 全面提高全行业的科技水平, 推进机械工业的振兴。

为实现机械工业的振兴, 科技发展分两步走: “九五”期间为第一阶段, 重点是为机械工业的振兴打好技术基础; 2000 年~2010 年为第二阶段, 重点是提高和基本形成企业的产品自主开发能力和技术创新能力。

“九五”期间研究开发和产业化的重点有以下五个方面:

- 1) 国民经济重大工程所需的成套技术装备及其关键技术。
- 2) 汽车产品规模生产的关键技术与装备。
- 3) 先进的制造技术。
- 4) 综合自动化技术和工程。
- 5) 环境保护与现代农业工程技术与装备。

二、机械制造工艺学的研究对象

传统的机械制造工艺学是以机械制造中的工艺问题为研究对象的一门应用性制造技术学科。所谓工艺, 是使各种原材料、半成品成为产品的方法和过程; 而机械制造工艺, 是指各种机械的制造方法和过程的总称。所谓制造技术学科就是在深入了解实际的基础上, 利用各种基础理论知识(如数学、物理、化学、力学、机械原理和金属切削原理等), 经过实事求是地分析对比, 找出客观规律, 解决面临的工艺问题的学科。

本世纪初, 机械制造业中的大量生产为机械制造工艺学的建立和发展奠定了基础。50 年代以来, 机械制造业向高精度、高效率、高度自动化和柔性化方向的发展, 使机械制造工艺学发展到一个新的水平。

机械制造工艺的内容极其广泛, 它包括零件的毛坯制造、机械加工、热处理和产品的装配等。机械制造工艺学的研究范围主要是零件的机械加工和产品的装配两部分。

机械制造工艺学涉及的行业有百余种, 产品品种成千上万, 但是研究的工艺问题则可归纳为质量、生产率和经济性三类。

(1) 保证和提高产品的质量 产品质量包括整台机械的装配精度、使用性能、使用寿命和可靠性, 以及零件的加工精度和加工表面质量。近代, 由于宇航、精密机械、电子工业和军工的需要, 对零件的精度和表面质量的要求越来越高, 相继出现了各种新工艺和新技术, 如

精密加工、超精密加工和微细加工等，加工精度由 $1\mu\text{m}$ 级提高到 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$ 级，目前正在向 nm ($0.001\mu\text{m}$) 级精度迈进。

(2) 提高劳动生产率 提高劳动生产率的方法：一是提高切削用量，采用高速切削、高速磨削和重磨削。近年来出现的聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼等新型刀具材料，其切削速度可达 $1200\text{m}/\text{min}$ ，高速磨削的磨削速度达 $200\text{m}/\text{s}$ 。重磨削是高效磨削的发展方向，包括大进给、深切深缓进给的强力磨削、荒磨和切断磨削等；二是改进工艺方法、创造新工艺。例如，利用锻压设备实现少无切削加工，对高强度、高硬度的难切削材料采用特种加工等；三是提高自动化程度，实现高度自动化。例如，采用数控机床、加工中心、柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS) 和无人化车间或工厂等。

成组技术的出现，能解决多品种尤其是中、小批生产中存在的生产周期长、生产效率低的问题，也是企业实现高度自动化的基础。

(3) 降低成本 要节省和合理选择原材料，研究新材料；合理使用和改进现有设备，研制新的高效设备等。

对上述三类问题要辩证地全面地进行分析。要在满足质量要求的前提下，不断提高劳动生产率和降低成本。能以优质、高效、低耗的工艺去完成零件的加工和产品的装配，这样的工艺才是合理的和先进的工艺。

工艺的发展不仅要依赖生产的发展，还要进行试验研究，用科学的方法分析和研究工艺问题，解决工艺问题，提高工艺水平。工艺的发展也促进了设备和工艺装备（刀、夹、辅和量具等）的改进和发展。

近代，随着科学技术的迅猛发展和市场需求的变化及竞争的加剧，传统的制造技术发展到一个崭新的阶段；称为现代（先进）制造技术。它是传统制造技术不断吸收机械、电子、信息、材料、能源及现代管理等技术成果，并将其综合应用于从产品设计、加工制造到产品销售及使用维护等全过程，成为“市场——产品设计——制造——市场”的大生产制造系统。它能够实现优质、高效、低耗、清洁无污染和灵活的柔性生产，并取得理想的技术经济效益。要取得理想的技术经济效益，必须以满足市场（用户）的要求作为其战略决策的核心。所谓优质、高效、低耗，也将随之增加了新的内涵。即优质不是单纯的产品质量越优越好，而是要恰如其分地满足市场（用户）的质量要求；同时，企业必须从传统的质量控制和管理模式转换为完整的和可靠的质量保证体系。高效不单是产品的数量要多，更重要的是响应市场（用户）的要求快、更新产品的速度快，即上市快。低成本不仅指产品的成本低，而是指企业的综合效益要好。用户不仅在购买商品时便宜，而且在使用、维护直到商品废弃的全过程也是经济的；同时，由于商品的生命周期越来越短，用户购买商品后，都希望得到不断改善产品性能的服务，因而要重视售后服务，形成企业与用户间长期的依存关系，保证企业稳定的产品市场。

现代（先进）制造技术中，生产制造系统的概念和研究扩大和丰富了制造技术学科的内容，也指出了它的研究方向，这是制造技术学科的一个重大的突破。

三、学习本课程的目的与要求

机械制造工艺学是“机械制造工艺及设备”、“机械设计制造及其自动化”和“机械工程

及自动化”等专业的一门主要专业课。通过本课程的教学过程（如课堂理论教学、现场教学、实验和习题等）及有关教学环节（如生产实习和课程设计等）的配合，使学生初步具有分析和解决工艺等制造技术问题的能力，及自学工艺理论和新工艺、新技术的能力。具体有以下三点要求：

1) 掌握机械制造工艺的基本理论（包括定位和基准理论、工艺和装配尺寸链理论、加工精度和误差分析理论、表面质量和机械振动理论等），注重建立基本概念和理论的具体应用，学会进行工艺分析和试验研究的方法。

2) 具有制订中等复杂零件的机械加工工艺规程、一般产品的装配工艺规程和主管产品工艺的初步能力。

3) 树立生产制造系统的观点，了解现代（先进）制造技术的新成就、发展方向和一些重要的现代（先进）制造技术，以扩大视野、开阔思路、提高工艺等制造技术水平和增强人才的竞争力及就业能力。

本课程只能涉及工艺理论中最基本的内容，不管工艺水平发展到何种程度，都和这些基本内容有着密切的关系。因此，要掌握最基本的内容，为今后通过工作实践和继续学习，不断增加工艺知识和提高分析、解决工艺等制造技术问题的能力打好基础。

四、本课程的特点和学习方法

(1) 实践性强 本学科的内容来自生产和科研实践，而工艺理论的发展又促进和指导生产的发展。学习工艺学的目的在于应用，在于提高工艺水平。因此，要多下工厂、多实践，要重视试验、生产实习和专业实习。有了一定的感性知识，就容易理解和掌握工艺学的概念、理论和方法。在学习过程中，要着重理解和掌握基本概念及其在实际中的应用，要多做习题和思考题，要重视课程设计。不少工艺原则只能用理论概括说明，很难用数学方法揭示其严密的关系。

(2) 涉及面广及内容丰富 传统的制造技术本来面就很广，涉及各类制造方法和过程，如从毛坯制造、热处理到机械加工、表面处理和装配，还涉及设备及工艺装备等“硬件”；而现代（先进）制造技术还要涉及产品设计、管理和市场甚至经济学等人文学科。各学科间相互渗透、结合、互补和促进是现代科学技术的特点和发展趋势。人才培养必须适应这种要求。为此，课程在理论上和内容体系上要不断改革和完善，要进行多种而不是一种课程组合方案的试验研究。学习时要善于综合运用已学过的专业基础课和专业课，如金属工艺学、机械工程材料、计算机应用技术、电工电子学、检测技术、金属切削原理、工艺装备、液压与气动、金属切削机床、企业管理与技术经济等课程，更深入接触社会，了解我国的经济政策和亚洲及世界的经济形势，拓宽知识面。这也是制造业全球战略的需要。

(3) 灵活多变 机械制造工艺学是制造技术学科中的核心内容，属“软技术”范畴，特别是工艺理论和工艺方法的应用灵活性很大。因此，必须根据具体条件和情况实事求是地进行辩证的分析。要多学点辩证法，学会抓主要矛盾和矛盾的主要方面，特别要注意矛盾和矛盾主要方面的转化。例如：分析设计和制造一对矛盾时，一般情况下，设计是矛盾的主要方面，制造要服从设计。但是，当情况特殊时，如市场竞争剧烈，要求迅速提供新品种时，矛盾的主要方面就会转化，把制造提到和设计并列的地位，甚至强调设计适应制造，这也是符

合辩证观点的，适应企业的根本利益。

习题与思考题

- 0-1 简述机械工业在国民经济中的地位。
- 0-2 简述我国机械工业的现状和差距。
- 0-3 我国机械工业科技发展的指导思想是什么？“九五”期间的重点有哪些？
- 0-4 本门课程是一门什么样的学科？它的发展方向如何？
- 0-5 传统的制造技术和现代先进制造技术有哪些相同点和不同点？
- 0-6 为什么说生产制造系统的提出和研究是本学科的一个重大突破？
- 0-7 从哪三方面来分析研究工艺问题？近来这些问题又有哪些新的内涵？
- 0-8 为什么要学习本课程？怎样能学好本课程？

第一章 机械加工工艺规程的制订和工艺尺寸链

机械加工工艺规程的制订是机械制造工艺学的基本内容之一。具有制订机械加工工艺规程的初步能力是学习本课程的主要任务之一。本章阐述制订机械加工工艺规程的基本原理和主要问题。合理的工艺规程与生产实际有着密切的联系，因而制订者必须具有一定的生产实践知识，这方面的知识还要通过其它教学环节（如金工实习和生产实习等）来获取。

第一节 基本概念

一、生产过程和生产系统的概念

生产过程是指将原材料转变为成品的全过程。对机械制造而言，全过程包括下列过程：

- 1) 原材料、半成品和成品（产品）的运输和保管。
- 2) 生产和技术准备工作。如产品的开发和设计、工艺设计、专用工艺装备的设计和制造、各种生产资料的准备以及生产组织等方面的准备工作。
- 3) 毛坯制造。如铸造、锻造、冲压和焊接等。
- 4) 零件的机械加工、热处理和其他表面处理等。
- 5) 部件和产品的装配、调整、检验、试验、油漆和包装等。

由上述过程可以看出，机械产品的生产过程是相当复杂的。为了便于组织生产，现代机械工业的发展趋势是组织专业化生产，即一种产品的生产是分散在若干个专业化工厂进行，最后集中由一个工厂制成完整的机械产品。例如，制造机床时，机床上的轴承、电机、电器、液压元件甚至其他许多零部件都是由专业厂生产的，最后由机床厂完成关键零部件和配套件的生产，并装配成完整的机床。专业化生产有利于零部件的标准化、通用化和产品的系列化，从而能在保证质量的前提下，提高劳动生产率和降低成本。

上述生产过程的内容十分广泛，从产品开发、生产和技术准备到毛坯制造、机械加工和装配，影响的因素和涉及的问题多而复杂。为了使工厂具有较强的应变能力和竞争能力，现代工厂逐步用系统的观点看待生产过程的各个环节及它们之间的关系。即将生产过程看成一个具有输入和输出的生产系统。用系统工程学的原理和方法组织生产和指导生产，能使工厂的生产和管理科学化；能使工厂按照市场动态及时地改进和调节生产，不断更新产品以满足社会的需要；能使生产的产品质量更好、周期更短、成本更低。

二、工艺过程及其组成

（一）工艺过程的概念

改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。它是生产过程中的主要部分。采用机械加工的方法，直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量等，使其成为零件的过程称为机械加工工艺过程（以下简称为工艺过程）。

（二）工艺过程的组成

机械加工工艺过程往往是比较复杂的。在工艺过程中，根据被加工零件的结构特点、技

术要求，在不同的生产条件下，需要采用不同的加工方法及其加工设备，并通过一系列加工步骤，才能使毛坯成为零件。为了便于深入细致地分析工艺过程，必须研究工艺过程的组成，并对它们作出科学的定义^①。

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成的，而工序又可分为安装、工位、工步和行程。毛坯依次通过这些工序就成为成品。

1. 工序

一个或一组工人，在一个工作地对同一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程，称为工序。划分工序的主要依据是工作地是否变动和工作是否连续。如图 1-1 所示阶梯轴，当加工数量较少时，其工序划分如表 1-1 所示；当加工数量较大时，其工序划分如表 1-2 所示。

在表 1-1 的工序 2 中，先车一个工件的一端，然后调头装夹，再车另一端。如果先车好一批工件的一端，然后调头再车这批工件的另一端，这时对每个工件来说，两端的加工已不连续，所以即使在同一台车床上加工也应算作两道工序。

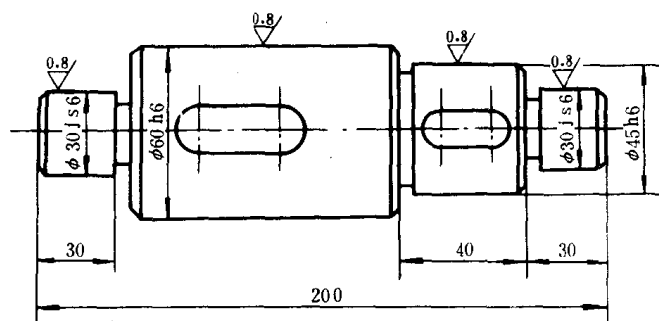


图 1-1 阶梯轴简图

表 1-1 阶梯轴工艺过程（生产量较小时）

工序号	工 序 内 容	设备
1	车端面，钻中心孔	车床
2	车外圆，车槽和倒角	车床
3	铣键槽，去毛刺	铣床
4	磨外圆	磨床

表 1-2 阶梯轴工艺过程（生产量较大时）

工序号	工 序 内 容	设备
1	两边同时铣端面，钻中心孔	铣端面钻中心孔机床
2	车一端外圆，车槽和倒角	车床
3	车另一端外圆，车槽和倒角	车床
4	铣键槽	铣床
5	去毛刺	钳工台
6	磨外圆	磨床

2. 安装

工件在加工前，先要把工件放准。确定工件在机床上或夹具中占有正确位置的过程称为定位。工件定位后将其固定，使其在加工过程中保持定位位置不变的操作称为夹紧。将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程称为装夹。

工件（或装配单元）经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在一道工序中，工件可能被装夹一次或多次，才能完成加工。如表 1-1 所示的工序 1 要进行两次装夹：先装夹工件一端，车端面、钻中心孔，称为安装 1；再调头装夹，车另一端面、钻中心孔，称为安装 2。

① 本章所用的术语及其定义均按国家标准《机械加工工艺基本术语》GB4863—85。

工件在加工中应尽量减少装夹次数，因为多一次装夹，就会增加装夹的时间，还会增加装夹误差。

3. 工位

为了减少工件的装夹次数，常采用各种回转工作台、回转夹具或移动夹具，使工件在一次装夹中，先后处于几个不同的位置进行加工。

为了完成一定的工序部分，一次装夹工件后，工件（或装配单元）与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置，称为工位。如表 1-2 中的工序 1 铣端面、钻中心孔，就是两个工位。工件装夹后，先铣端面，然后移动到另一位置钻中心孔，如图 1-2 所示。

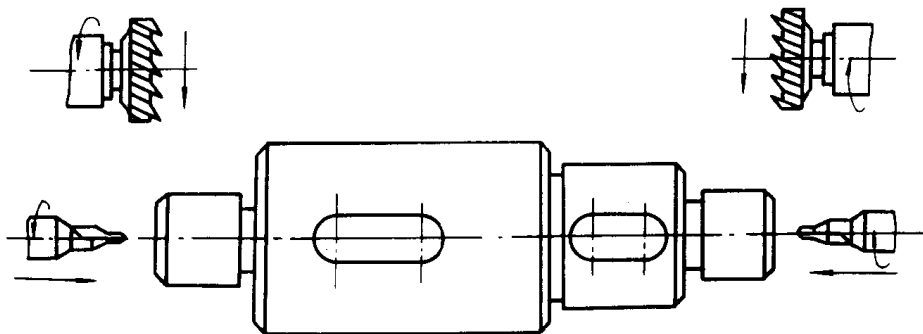


图 1-2 铣端面和钻中心孔实例

4. 工步

在加工表面（或装配时的连接表面）和加工（或装配）工具不变的情况下，所连续完成的那一部分工序称为工步。如表 1-1 中的工序 1，每个安装中都有车端面、钻中心孔两个工步。

为简化工艺文件，对于那些连续进行的若干个相同的工步，通常都看作一个工步。例如，加工图 1-3 所示零件，在同一工序中，连续钻四个 $\phi 15\text{mm}$ 的孔，就可看作一个工步。

为了提高生产率，用几把刀具同时加工几个表面，这也可看作一个工步，称为复合工步。如图 1-2 铣端面、钻中心孔，每个工位都是用两把刀具同时铣两端面或钻两端中心孔，它们都是复合工步。

除上述工步概念外，还有辅助工步，它是由人和（或）设备连续完成的一部分工序，该部分工序不改变工件的形状、尺寸和表面粗糙度，但它是完成工步所必需的，如更换工具等。引入辅助工步的概念，是为了能精确计算工步工时。

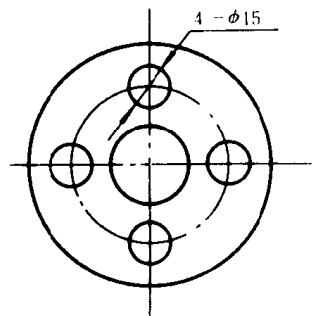


图 1-3 简化相同工步的实例

5. 行程

行程（进给次数）有工作行程和空行程之分，工作行程是指刀具以加工进给速度相对工件所完成一次进给运动的工步部分；空行程是指刀具以非加工进给速度相对工件所完成一次进给运动的工步部分。

引入行程的概念是为了反映工步中的进给次数和工序卡片中相吻合（参看表 1-8 机械加工工序卡片格式），并能精确计算工步工时。它比过去引用的走刀概念更科学。

三、生产纲领、生产类型及其工艺特征

各种机械产品的结构、技术要求等差异很大，但它们的制造工艺则存在着很多共同的特征。这些共同的特征取决于企业的生产类型，而企业的生产类型又由企业的生产纲领决定的。

1. 生产纲领

生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。计划期常定为1年，所以生产纲领也称年产量。

零件的生产纲领要计入备品和废品的数量，可按下列式计算：

$$N = Qn(1 + \alpha)(1 + \beta)$$

式中 N ——零件的年产量（件/年）；

Q ——产品的年产量（台/年）；

n ——每台产品中，该零件的数量（件/台）；

α ——备品的百分率；

β ——废品的百分率。

2. 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。一般分为大量生产、成批生产和单件生产三种类型。

（1）单件生产 产品品种很多，同一产品的产量很少，各个工作地的加工对象经常改变，而且很少重复生产。例如，重型机械制造、专用设备制造和新产品试制都属于单件生产。

（2）大量生产 产品的产量很大，大多数工作地按照一定的生产节拍（即在流水生产中，相继完成两件制品之间的时间间隔）进行某种零件的某道工序的重复加工。例如，汽车、拖拉机、自行车、缝纫机和手表的制造常属大量生产。

（3）成批生产 一年中分批轮流地制造几种不同的产品，每种产品均有一定的数量，工作地的加工对象周期性地重复。例如，机床、机车、电机和纺织机械的制造常属成批生产。

每一次投入或产出的同一产品（或零件）的数量称为生产批量，简称批量。批量可根据零件的年产量及一年中的生产批数计算确定。一年的生产批数根据用户的需要、零件的特征、流动资金的周转、仓库容量等具体情况确定。

按批量的多少，成批生产又可分为小批、中批和大批生产三种。在工艺上，小批生产和单件生产相似，常合称为单件小批生产；大批生产和大量生产相似，常合称为大批大量生产。

生产类型的具体划分，可根据生产纲领和产品及零件的特征或工作地每月担负的工序数，参考表1-3确定。

表 1-3 生产类型和生产纲领等的关系

生产类型	生产纲领 / (台·年 ⁻¹ 或件·年 ⁻¹)			工作地每月担负的工序数 工序数·月 ⁻¹
	小型机械或轻型零件	中型机械或中型零件	重型机械或重型零件	
单件生产	≤100	≤10	≤5	不作规定
小批生产	>100~500	>10~150	>5~100	>20~40
中批生产	>500~5000	>150~500	>100~300	>10~20
大批生产	>5000~50000	>500~5000	>300~1000	>1~10
大量生产	>50000	>5000	>1000	1

注：小型、中型和重型机械可分别以缝纫机、机床（或柴油机）和轧钢机为代表。

表 1-3 中的轻型、中型和重型零件可参考表 1-4 所列数据确定。

表 1-4 不同机械产品的零件质量型别

(kg)

机械产品类别	零 件 的 质 量		
	轻型零件	中型零件	重型零件
电子机械	≤ 4	$>4 \sim 30$	> 30
机床	≤ 15	$>15 \sim 50$	> 50
重型机械	≤ 100	$>100 \sim 2000$	> 2000

根据上述划分生产类型的方法可以发现,同一企业或车间可能同时存在几种生产类型的生产。判断企业或车间的生产类型,应根据企业或车间中占主导地位的工艺过程的性质来确定。

统计表明,目前我国机械工业中,批量为 10~100 件的零件约占生产零件种类总数的 70%。1972 年,国际生产工程研究协会(CIRP)曾对美国、日本和欧洲各工业部门所采用的生产类型进行一次调查,其调查结果如图 1-4 所示。图中的大批生产是指年产量为一万至几万件,大量生产是指年产量为十万件以上。由图 1-4 可知,无论是零件种类还是零件产值,单件和小批生产的零件都占多数。

随着科学技术的发展和市场需求的变化及竞争的加剧,产品更新换代的周期越来越短,多品种小批量生产的趋势还会不断增长。

3. 各种生产类型的工艺特征

生产类型不同,零件和产品的制造工艺、所用设备及工

艺装备、对工人的技术要求、采取的技术措施和达到的技术经济效果也会不同。各种生产类型的工艺特征归纳在表 1-5 中,在制订零件机械加工工艺规程时,先确定生产类型,再参考表 1-5 确定该生产类型下的工艺特征,以使所制订的工艺规程正确合理。

表 1-5 中一些项目的结论都是在传统的生产条件下归纳的。由于大批大量生产采用专用高效设备及工艺装备,因而产品成本低,但往往不能适应多品种生产的要求;而单件小批生产由于采用通用设备及工艺装备,因而容易适应品种的变化,但产品成本高,有时还跟不上市场的需求。因此,目前各种生产类型的企业既要适应多品种生产的要求,又要提高经济效益,它们的发展趋势是既要朝着生产过程柔性化的方向发展,又要上规模、扩大批量,以提高经济效益。成组技术为这种发展趋势提供了重要的基础,各种现代先进制造技术都是在这种要求下应运而生的。

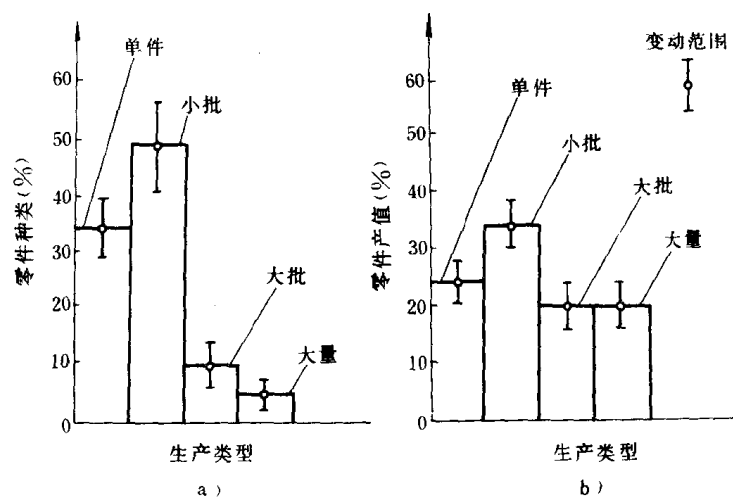


图 1-4 生产类型(美、日、欧洲)的分布情况