

普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

机械制造工艺及计算机 辅助工艺设计

曾淑畅 主 编

张安民 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育),是机械制造及自动化、机电一体化等机械类专业的一门主要专业课教材。本书力求在保证基本内容的基础上,增加部分新内容以反映现代制造技术的发展,本书内容精炼,注重用图表来表达叙述相关内容;力求简明扼要,深入浅出,通俗易懂;注重理论联系实际。全书共九章,内容包括机械加工工艺过程的基本概念、机械加工工艺规程的制订、典型零件加工方法、机械加工精度、机械加工表面质量、装配工艺基础、特种加工与数控加工、计算机辅助工艺设计基础、计算机辅助工艺系统设计。每章均有适量的思考题和习题。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人院校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机械类和机电类专业的教材,也可作为本科院校同类专业教材或参考用书,同时也可供工厂企业工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺及计算机辅助工艺设计/曾淑畅主编.
—北京:高等教育出版社,2003.7
ISBN 7-04-012629-X

.机... .曾... .机械制造工艺-高等学校-教材
计算机辅助设计 机械设计-高等学校-教材
TH16 TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第055778号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×1092 1/16	版 次	年 月 第 版
印 张	15.25	印 次	年 月 第 次印刷
字 数	360 000	定 价	19.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

策划编辑 赵 亮
责任编辑 赵 亮
封面设计 于 涛
责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚
责任校对 存 怡
责任印制

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

机械制造工艺是机械制造类专业的主要专业课。为了适应现代制造业的发展需求,本书编写时参阅、分析了国内近十几年来出版的本、专科不同版本的机械制造工艺学、计算机辅助工艺设计等教材,以《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作意见》为指导,结合编者多年从事高职高专教育、科研的经验和体会编写而成,本书有以下特点:

(1) 基本理论知识以“必需、够用”为度,突出实用性,尽量用例、图、表来表达叙述性的内容,注重培养学生综合分析及应用能力。

(2) 全书在保证基本内容的基础上,增加先进制造工艺技术的内容,内容选择尽量考虑职业性和应用性,突出重点,循序渐进,力求通俗易懂。

(3) 贯彻国家最新标准,如计量单位、图形符号、各项公差配合、表面粗糙度、机械制造工艺学术语、尺寸链计算方法等都采用最新国家标准。

(4) 注重本课程与有关课程的衔接,注重本课程基本理论部分与计算机辅助工艺设计的衔接,注重本课程前后章节的衔接,加强理论与实践相结合。

(5) 计算机辅助工艺设计的编写着重从培养应用型人才出发,尽量结合实际应用,力争内容新颖,表述清晰易懂,强调可操作性,便于学生掌握,为学生今后从事机械制造工艺工作创造一个良好的开发平台。

本书课堂讲授安排在 70 学时左右,课堂以外应配有实验、习题、生产实习和课程设计等教学环节,书中的典型零件加工部分可安排到现场教学,并与生产实习教学环节紧密配合。

参加本书编写的人员有张安民、曾淑畅(绪论、第一章、第四章、第五章),姬清华、孙敏、李文星、陈锡渠(第二、八、九章),梁炜、张振西(第三章),于保敏(第六章),郭贵中、余英良(第七章)。本书由曾淑畅任主编,张安民任副主编。华中科技大学宾鸿赞教授对书稿进行了认真细致地审阅,提出了不少宝贵意见,在此,谨向宾鸿赞教授和有关为本书编写提供热心帮助的老师 and 同行致以衷心的感谢。

由于水平有限,编写时间又较仓促,书中难免有欠妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2003 年 4 月

目 录

绪论.....	1
第一章 机械加工工艺过程的基本概念.....	6
§ 1 - 1 概述.....	6
§ 1 - 2 基准的概念.....	10
§ 1 - 3 工件的安装.....	12
§ 1 - 4 获得加工精度的方法.....	23
习题与思考题.....	25
第二章 机械加工工艺规程的制订.....	27
§ 2 - 1 概述.....	27
§ 2 - 2 零件的工艺分析.....	31
§ 2 - 3 毛坯的选择.....	33
§ 2 - 4 定位基准的选择.....	34
§ 2 - 5 工艺路线的拟订.....	38
§ 2 - 6 确定加工余量、工序尺寸及其公差.....	44
§ 2 - 7 工艺尺寸链.....	48
§ 2 - 8 工艺过程的技术经济分析.....	54
§ 2 - 9 时间定额与提高劳动生产率的工艺措施.....	57
习题与思考题.....	59
第三章 典型零件加工方法.....	62
§ 3 - 1 轴类零件加工.....	62
§ 3 - 2 箱体加工.....	80
§ 3 - 3 圆柱齿轮加工.....	94
习题与思考题.....	110
第四章 机械加工精度.....	113
§ 4 - 1 机械加工精度的基本概念.....	113
§ 4 - 2 工艺系统的几何误差对加工精度的影响.....	114
§ 4 - 3 工艺系统的受力变形对加工精度影响.....	121
§ 4 - 4 工艺系统的热变形对加工精度的影响.....	132
§ 4 - 5 加工误差的综合分析.....	137
§ 4 - 6 提高和保证加工精度的途径.....	145
习题与思考题.....	147
第五章 机械加工表面质量.....	148

目 录

§ 5 - 1 机械加工表面质量及其对产品使用性能的影响.....	148
§ 5 - 2 影响表面粗糙度的工艺因素及其改善措施.....	150
§ 5 - 3 影响零件表面层物理机械性能的因素及其改善措施.....	153
§ 5 - 4 机械加工中的振动.....	159
习题与思考题.....	168
第六章 装配工艺基础.....	169
§ 6 - 1 概述.....	169
§ 6 - 2 装配尺寸链.....	173
§ 6 - 3 保证装配精度的方法——解装配尺寸链.....	178
§ 6 - 4 装配工艺规程的制订.....	184
习题与思考题.....	186
第七章 特种加工与数控加工.....	188
§ 7 - 1 特种加工.....	188
§ 7 - 2 数控加工.....	191
习题与思考题.....	194
第八章 计算机辅助工艺设计(CAPP)基础.....	195
§ 8 - 1 CAPP(Computer Aided Process Planning)应用原理.....	195
§ 8 - 2 CAPP 基本概念及发展趋势.....	196
§ 8 - 3 零件分类编码和成组工艺.....	199
§ 8 - 4 数控工艺及其设计标准化.....	207
习题与思考题.....	207
第九章 计算机辅助工艺(CAPP)系统设计.....	209
§ 9 - 1 CAPP 系统的输入与输出.....	209
§ 9 - 2 CAPP 编程语言、图形处理软件及数据库.....	216
§ 9 - 3 CAPP 系统设计内容分析.....	217
§ 9 - 4 CAPP 系统框架设计.....	218
§ 9 - 5 CAPP 系统的数据库和图形库.....	219
§ 9 - 6 CAPP 软件中静态与动态参数.....	221
§ 9 - 7 CAPP 的切削用量模块设计.....	225
§ 9 - 8 工序卡片中的图形处理.....	228
§ 9 - 9 CAPP 工艺规程最终结果的输出.....	229
§ 9 - 10 CAD/CAPP/CAM 集成.....	230
习题与思考题.....	232
主要参考文献.....	233

绪 论

一、我国机械制造业的地位、作用和任务

党的十五届五中全会通过的《关于制定国民经济和社会发展第十个五年计划的建议》明确提出：“要大力振兴装备制造业，依托重点技术改造和重大工程项目，提高设计和制造水平，推进机电一体化，为各行业提供先进和成套的技术装备”。党的“十六大”又进一步提出了“坚持以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化路子”。“用高新技术和先进适用技术改造传统产业，大力振兴装备制造业”。此战略目标的提出，充分证明了机械制造业在我国国民经济建设中的地位和作用。

1. 我国机械制造业的作用和现状

国家“十五”规划明确指出，机械工业是国民经济的装备产业，是科学技术物化的基础，是高新技术产业化的载体，是国防建设的基础工业，也是为提高人民生活质量提供消费类机电产品的行业。机械工业具有产业关联度高，需求弹性大，对经济增长带动促进作用强，对国家积累和社会就业贡献大等特点。各工业化国家经济发展的历程表明，没有强大的装备制造业，就不可能实现国民经济的工业化、现代化和信息化。

经过建国 53 年来的发展，机械制造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。机械制造业现有企业数、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 ~ 1/4，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 多年来，我国产业技术水平和科技都取得了长足的进步。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。

2. 我国机械制造业存在的差距

从总体上看，我国目前现有的制造工业水平还远远落后于世界工业发达国家。我国制造业的工业增加值仅为美国的 22.14%、日本的 35.34%。我国制造业的劳动生产率约为美国的 4.38%、日本的 4.07%、德国的 5.56%。科技仍处于较低的水平。主要表现在产业领域，一般加工能力过剩，附加值和高技术含量大的产品生产能力不足，能够支撑成果系统软件等附加值大的高技术含量产品的生产能力缺口大，大量依赖进口，缺乏能够支持结构调整和产业技术升级的技术能力，特别是具有自主知识产权的关键性技术供给和技术储备严重不足，大型设备基本上靠进口，20%左右的生产设备处于国际落后水平等。据有关专家测算，传统产业的技术水平同国际先进水平相比，差距多在 15 年至 20 年。高技术产业增加值占国内生产总值的比重只有 2% 左右，

科技水平的落后,直接影响了我国经济发展的质量、效益和竞争力。

3. 认识和方向

从 20 世纪 90 年代末,以信息技术为代表的现代科学技术的发展对装备制造业提出了更高、更新的要求,更加突现了机械装备制造业作为高新技术产业化载体在推动整个社会进步和产业升级中不可替代的基础作用。作为国民经济增长和技术升级的原动力,机械工业将伴随高新技术和新兴产业的发展而共同进步,并充分体现先进制造技术向智能化、柔性化、网络化、精密化、绿色化和全球化方向发展的总趋势和时代特征。

为了进一步适应市场经济,振兴我国机械制造业,把产品推向国外,并牢固地占有国际市场,当前,很有必要重新认识机械制造业,研讨 21 世纪初机械发展的总趋势,机械制造工艺装备的特点以及我国机械制造工程师应当掌握高新技术的主要方向。

(1) 重新认识制造业

1) 它已经不是传统意义上的机械制造业,即所谓的机械加工。它是集机械、电子、光学、信息科学、材料科学、生物科学、激光学、管理学等最新成就为一体的一个新兴技术与新兴工业的复合体。

2) 从一般意义上讲,机械制造自动化的目标是提高劳动生产率,保证产品的质量,降低产品的成本。这就意味着自动化的结果要大大提高设备的利用率,减少大量的工人,减少生产面积,根本改善劳动条件。但就当前机械产品市场激烈竞争态势来看,面向市场的机械自动化的目的不仅仅在于上述的追求,更主要的目的是在于提高制造业的竞争能力,也就是对于市场的适应能力和响应速度。

3) 从产品全生命周期的角度探索绿色制造模式、坚持可持续发展目标。产品全生命周期是指产品从设计开始,不仅要考虑它如何满足使用要求,而且要考虑当生命终结时如何处置它,使它对自然界的污染和破坏最小,而对自然资源的利用最大。在知识经济来临的条件下,现代产品日趋复杂、庞大和昂贵,其中的知识含量与日俱增,单靠用户的经验和技能已经很难保证它们的正常工作和有效运行,而由于故障所造成的停机损失往往也严重到用户所不能承受的程度。同时,随着制造业正在演变为某种形式的“服务业”,以前企业那种注重产品功能设计、面向制造和面向装配的设计均已难于满足企业在激烈的市场竞争中求生存、求发展的需要。今天的设计者必须考虑到他所设计的产品从产品论证到设计开发、零件制造、装配、销售及售后服务,直到报废、回收等各个阶段所可能出现的各种问题及其解决方法。设计工作必须面向产品的“全生命周期”,对所生产的产品“负责一辈子”。

同时,在设计 and 制造过程中,还必须坚持在产品的生产和消费两个方面承担起节约资源和保护环境的重要职责。其目标是使产品从设计、制造、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中,对环境的影响(负作用)最小,资源利用效率最高。建立极少产生废料和污染物的工艺或技术系统。

4) 无需模具和任何加工而形成实体样件的快速原型制造技术。该技术是 20 世纪 80 年代末才出现的一种新技术。最初这一技术被称为激光实体平版印刷术。就其工作原理而言,已从过去由激光的层析扫描,使液态热固性塑料固化成实体样件,而发展到今天直接由丝状成型材料经层析沉积成实体样件。它的最大优点就在于无需模具或任何加工,仅凭 CAD 的三维实体造型的层析数据,便能通过快速成型设备而迅速制取与三维实体完全一致的实体样件。它多用于

铸造的模型、注塑模的样板模型或电加工的电极模型等,使模具或模型的制造大为简化。

5) 敏捷制造技术。它是将柔性生产技术、熟练掌握生产技能和有知识的劳动力与促进企业内部和企业之间相互合作的灵活管理集成在一起,通过所建立的共同基础结构,对迅速改变或无法预见的消费者需求和市场时机作出快速响应。其特点为:

能迅速推出全新产品。

形成可重构并可不断改变的生产系统,即可重新编排、可重新组合、可连续更换的生产系统。

形成信息密集的、生产成本与批量无关的新型制造系统。

高质量的产品,在产品整个生命周期内使用户感到满意,不断发展的产品系列具有相当长的生命,与用户和商界建立长远关系。

重视长期的财务行为,采用动态组织机构,建立虚拟公司。

通过人、管理、技术 3 种资源,集成为一个协调的、相互关联的系统来实现敏捷性。

(2) 21 世纪机械制造业发展的总趋势为“四化”

1) 柔性化 使工艺装备与工艺路线能适应于生产各种产品的需要,并能适用于迅速更换工艺、更换产品的需要;

2) 敏捷化 使生产力推向市场的准备时间缩为最短,使工厂机制能灵活转向;

3) 智能化 柔性自动化的重要组成部分,它是柔性自动化的新发展和延伸;

4) 信息化 机械制造业将不再是由物质和能量借助于信息的力量生产而是由信息借助于物质和能量的力量生产。

(3) 21 世纪初机械制造工艺装备的特点

进入 20 世纪 90 年代末,面临动态多变市场的机械制造业,产品周期短、产品更新加快、品种增多、批量减少,产品的质量、价格和交货期已成为增加企业竞争力的三个主要决定性因素。为此,21 世纪初机械制造工艺装备的特点是:

1) 专机是高精度、结构简单、使用方便、低价位、通用可调的数控专用机床。

2) 夹具是高精度、结构简单、使用方便、通用可调的夹具。

3) 刀具将是高速切削、超高速切削、高速磨削、强力磨削、砂带磨削、涂层刀具、超硬刀具和模具。此外还有激光辅助车削和铣削。

4) 量具是结构简单、通用性、高精度的量具。

(4) 机械制造工程师的主攻方向

本专业的主要培养目标是具有一定的机械制造工艺学理论知识、专业技能,并能将先进制造技术与传统理论知识相融合,科学解决生产过程中关于优质、高产、低成本等诸问题的第一线工程技术人员,其主攻方向为:(1)以计算机为主的信息科学与技术;(2)材料科学;(3)控制论;(4)管理科学等。只有熟练地掌握了以上高新技术,才能适应 21 世纪初机械制造业发展的需要。

从事机械制造的工程技术人员应该不断地进行更新知识、拓宽技能和掌握高新技术。要创造条件到先进的外资或合资企业去学习实践,同时要勇于深入基层,在生产第一线发现问题,增长才干。这样才能为我国机械制造业在 21 世纪初登上一个新台阶奠定坚实的基础。

4. 发展目标

(1) 预测

根据预测,未来 20 年我国制造业发展将呈现以下特点:我国制造业增长率将略高于我国 GDP 增长率。我国制造业的增加值在 GDP 中的比重将有所上升,从 2000 年的 34.3% 上升到 2010 年的 35.2% 和 2020 年的 36%。装备制造业将继续高速增长,在制造业中的比重将有明显提高,从 2000 年的 28%,提高到 2020 年的 35%。

加入世贸组织,大部分装备制造业产品会面临国外同类产品的冲击,装备制造业企业将面临国外企业的冲击。同时,我国装备制造业进一步参与国际分工、国际国内装备制造业产品市场一体化进程的加快,对我国装备制造业发展将产生推动作用。

(2) 目标

力争在 10 到 15 年内,把我国的制造业做强做大,使我国的制造业和装备制造业的总体水平分别上升至世界第 3 位,成为世界制造中心之一。

二、机械制造工艺及计算机辅助工艺设计的研究对象

在发展机械工业的过程中,应十分重视机械制造工艺技术的研究。机械制造工艺学是研究如何科学地、最优地生产各种机械设备和装备的一门技术科学,也就是研究在机械制造中优质、高产、低消耗地生产机械设备和装备的原理和方法的科学。生产中的工艺问题涉及面极广,它包括毛坯制造、机械加工、热处理和产品装配等。机械制造工艺学的研究范围主要是机械加工和装配方面的工艺问题。

一个好的产品,要靠好的设计、好的工艺和好的材料来保证。产品是龙头,工艺是基础,再好的设计,也要通过工艺来实现。有些产品的性能、寿命达不到预定的要求,往往在于工艺过不了关。引进国外先进技术时,最保密的核心技术,恰恰是一些工艺方面的诀窍。有人说设计是一次专利,工艺则是多次专利,也是这个含义。工艺上的诀窍外国企业是不卖的,要卖也是让你觉得价格上受不了。

当前世界上机械制造工艺技术的发展方向可以归结为两个方面,一个是以解决中小批生产的自动化问题为主要目标的柔性制造技术,另一个则是以提高加工质量为主要目标的精密加工工艺。不管哪一方面的问题都要追求最经济原则,这还是优质、高产、低消耗三类老问题。

第一类问题是保证产品质量的问题。近代已发展起来精密加工、超精密加工和微细加工等精密加工工艺,国际上能够达到的加工精度为 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$) 稳定掌握的加工精度为 $0 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 。

第二类问题是提高劳动生产率。提高生产率的方法一是提高切削用量,目前聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼刀具其切削速度达 900 m/min ,高速磨削速度达 200 m/s ,大进给、深切深缓进给的强力磨削,荒磨和切断磨削也是发展方向。二是改进工艺方法,创造新工艺,如少屑、无屑加工、特种加工等。三是发展以成组技术为基础的柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)。

第三类问题是降低成本问题。要采用新材料、新工艺、新设备,向技术进步要效益。不论科学技术怎么发展,都要按经济规律办事,否则不能增加积累、扩大再生产,经济就会衰退。

上述三类问题之间具有辩证的关系,在解决任何一个工艺技术问题时,必须全面地加以综合的考虑,即在保证质量的前提下,不断提高劳动生产率和降低成本,只有这样的工艺才是先进合理的工艺。

机械制造工艺技术科学的发展,不仅要积极进行试验研究,还要不断吸收现代科学理论的营养,使机械制造工艺学向更加科学化、系统化方向发展。如应用优化方法来研究工艺路线的优化和切削用量的优化;应用控制理论来研究加工误差的补偿控制;应用系统论的观点来研究生产系统,如采用及时生产方式,将离散的机械制造过程连续化等。

三、学习本课程的目的要求和学习方法

机械制造工艺学及计算机辅助工艺设计是机械、机电类专业的一门主要专业课。通过理论教学、生产实习、课程设计、实验等实践环节的配合,使学生掌握机械制造工艺学的基本理论,能对具体的工艺问题进行分析,找出加工中产生误差的原因,并能提出改善产品质量、提高生产效率、降低工艺成本的工艺途径;熟悉制订工艺规程的原则、步骤和方法,具备利用计算机辅助工艺设计手段制订中等复杂零件机械加工工艺规程及设计机床夹具的能力;要拓宽专业面,对机械制造中的新工艺、新技术和发展动向应有所了解,以扩大视野,开阔思路。

本课程的特点是它的实践性、综合性和灵活性。所以相应的学习方法是:多阅读、广见闻、勤实践(验)。

本课程的内容来源于生产实践和科学实验,是一门实践性很强的课程,要有丰富的感性知识,才能容易地理解和掌握工艺学的概念、理论和方法。所以要重视专业实习,了解各种生产类型下各种零件的加工方法、所用设备和工艺装备的结构和原理,只有这样才能在应用中得心应手。

本课程不仅涉及机械加工和装配,还涉及毛坯制造、热处理、加工设备、工艺装备和企业管理等知识,是一门综合性极强的课程。要善于综合运用已学过的工程材料基础、互换性与技术测量、金属切削原理及刀具、金属切削机床、测试技术、计算机应用技术和企业管理等课程的知识才能解决好实际的工艺问题。譬如加工中的质量问题,往往不仅要从机械加工的角度,而且还要从毛坯制造或其他角度才能使问题得到解决。

与其他专业课相比,工艺学最鲜明的特征是它的灵活性。所以应用时切忌死搬教条,要透过现象看本质,要活学活用,善于对具体的工艺问题作辩证的分析。

第四章 机械加工精度

零件加工质量一般包括机械加工精度和表面质量两大内容,本章主要研究与加工精度有关的问题。研究的目的,就是要搞清楚各种原始误差对加工精度的影响,制订控制加工误差的有效措施,从而经济可靠的保证零件的加工精度。

§ 4 - 1 机械加工精度的基本概念

一、加工精度的概念

所谓加工精度,是指零件加工后的实际几何参数(尺寸、形状和位置)与理想几何参数的符合程度。它们之间的偏离程度称为加工误差。加工精度越高,则加工误差越小;反之越大。加工精度的高低是以国家有关尺寸、形状、位置公差标准来表示的。从保证产品的使用性能分析,没有必要把每个零件都加工的绝对准确,可以允许有一定的加工误差。由此可见,加工精度和加工误差是评定零件几何参数准确程度的两种不同提法。在生产中,加工精度的高低是用加工误差的大小来表示的。所谓保证和提高零件的加工精度,实际上就是采取措施消除和减少加工误差,将其控制在允许的偏差范围内,即为合格品。

研究和分析加工误差的产生原因,掌握其变化的基本规律,是保证和提高零件加工精度的主要措施。

二、影响加工精度的原始误差

机械加工中,由机床、夹具、刀具和工件组成的统一完整的系统,称为工艺系统。在完成任何一个加工过程中,工艺系统各种原始误差在不同具体条件下,会以不同的程度反映为加工误差。由于工艺系统的误差是“因”是根源,而加工误差是“果”是表现,因此把工艺系统的误差称为原始误差。

按误差的性质,原始误差归纳如下三个方面:

(1) 工艺系统的几何误差,包括加工原理误差、机床几何误差、刀具和夹具的制造误差、工件装夹误差以及工艺系统磨损造成的误差等。

(2) 工艺系统受力变形引起的误差。

(3) 工艺系统热变形引起的误差。

三、原始误差与加工误差的关系

在加工过程中,各种原始误差的影响,使机床刀具和工件之间正确的几何关系遭到破坏,就会产生加工误差。工艺系统的各种原始误差,其大小和方向各不相同,因此它们对加工精度的影

响也不一样。当原始误差的方向与工序尺寸方向一致时,其对加工精度的影响最大。下面以外圆车削为例说明两者的关系。

如图 4 - 1 所示,车削时工件的回转轴为 O,刀尖正确位置在 A。设某一瞬时由于各种原始误差的影响,使刀尖位移动到 A',AA'即为原始误差,它与OA间的夹角为φ,由此引起工件加工后的半径由R₀ = OA变为R = OA',故半径上的加工误差ΔR为

$$\Delta R = \overline{OA'} - \overline{OA} = \sqrt{R_0^2 + \delta^2 + 2R_0\delta\cos\varphi} - R_0 \quad (4 - 1)$$

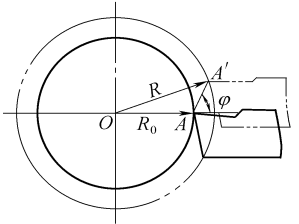


图 4 - 1 原始误差与加工误差的关系

可以看出,当原始误差的方向恰为加工表面的法线方向(φ = 0°)引起的加工误差最大(ΔR_{φ=0°} = δ);当原始误差的方向恰为加工表面的切线方向(φ = 90°)时,引起的加工误差最小(ΔR_{φ=90°} = δ/2),一般可以忽略不计。为了便于分析原始误差对加工精度的影响程度,把对加工精度影响最大的那个方向(即通过切削刃的加工表面的法向)称为误差的敏感方向,对加工精度影响最小的那个方向(即通过切削刃的加工表面的切向)则称为误差不敏感方向。}}

四、研究加工精度的方法

研究加工精度的方法通常有两种：

1. 单因素分析法

为简单起见,分析某一确定因素对加工精度的影响,一般不考虑其他因素对加工精度的影响,通过分析计算或测试、试验,得出该因素与加工误差间的关系。

2. 统计分析法

以生产现场的实测结果为基础,运用数理统计方法进行数据处理,用以控制工艺过程的正常进行。当发生质量问题时,可以从中判断误差的性质,找出误差出现的规律,以帮助我们解决有关的加工精度问题。统计分析法只适用于批量生产。

在实际生产中,这两种方法常常结合起来应用,一般先用统计分析法寻找误差的出现规律及其影响因素,初步判断产生误差的可能原因,然后运用单因素分析法进行分析、试验,以便迅速、有效的找出影响加工精度的主要原因。本章将分别对它们进行分析。

§ 4 - 2 工艺系统的几何误差对加工精度的影响

一、加工原理误差

加工原理误差是指采用了近似的成形运动或近似的切削刃轮廓进行加工而产生的误差,例如车削模数蜗杆时,由于蜗杆的螺距等于蜗轮的齿距(m),其中m是模数而π是一个无理数(π = 3.14159...),但是车床配换齿轮的齿数是有限的。因此,在选择配换齿轮时,只能将π化为近似的分数值计算,这样就会引起刀具相对工件的成形运动(螺旋运动)不准确,造成螺距误差。但

是,这种螺距误差可通过配换齿轮的合理选配而减小。又如,滚齿加工用的齿轮滚刀有两种误差:一是切削刃齿廓近似造形误差,由于制造上的困难,采用阿基米德基本蜗杆或法向直廓基本蜗杆代替理论上正确的渐开线基本蜗杆;二是由于滚刀齿数有限,实际上加工出的齿形是一条折线,和理论上的光滑渐开线有差异,这些都会产生加工原理误差。

采用近似的成形运动或近似的切削刃轮廓,虽然会带来加工原理误差,但往往可简化机床或刀具的结构,有时反而能得到较高的加工精度。因此,只要其误差不超过规定的精度要求,一般原理误差应小于 10%~15% 工件的公差值,在生产中仍能得到广泛的应用。

二、机床的几何误差

机床的几何误差是影响加工精度的重要因素之一,例如机床的制造误差、安装误差以及使用中的磨擦误差,都直接影响工件的加工精度。下面重点分析对加工精度影响较大的机床主轴回转误差、导轨误差和传动链误差。

1. 机床主轴误差

(1) 主轴回转运动误差的概念

机床主轴往往是工件或刀具的位置基准和运动基准,主轴的回转误差直接影响被加工工件的加工精度,尤其在精加工时,机床主轴的回转误差往往是影响工件圆度误差的主要因素,如坐标镗床、精密车床和精密磨床,都要求主轴有较高的回转精度。在理想的情况下,主轴的回转轴在空间的位置应是确定不变的,是唯一的。但是,由于各种误差因素的存在,主轴的回转轴线瞬时都在变化,通常以各瞬时回转的平均位置作为平均回转轴线。所谓主轴的回转误差是指主轴的实际回转轴线与平均回转轴线在误差敏感方向上的最大变动量。变动量越小,主轴回转精度越高;反之越低。主轴的回转运动误差可分解为端面圆跳动、径向圆跳动、角度摆动三种基本形式,如图 4-2 所示。

端面圆跳动——瞬时回转轴线沿平均回转轴线方向的轴向运动,如图 4-2a 所示。它主要影响工件端面形状和轴向尺寸精度。

径向圆跳动——瞬时回转轴线始终平行于平均回转轴线方向的径向运动,如图 4-2b 所示,它主要影响工件横断面的圆度和径向尺寸精度。

角度摆动——瞬时回转轴线与平均回转轴线成一倾斜角度,但其交点位置固定不变的运动,如图 4-2c 所示,在不同横截面内,轴心运动误差轨迹相似,它主要影响工件圆柱面与端面加工精度。

必须指出,实际上主轴工作时,其回转轴线的运动,通常是上述三种形式的误差运动的合成。

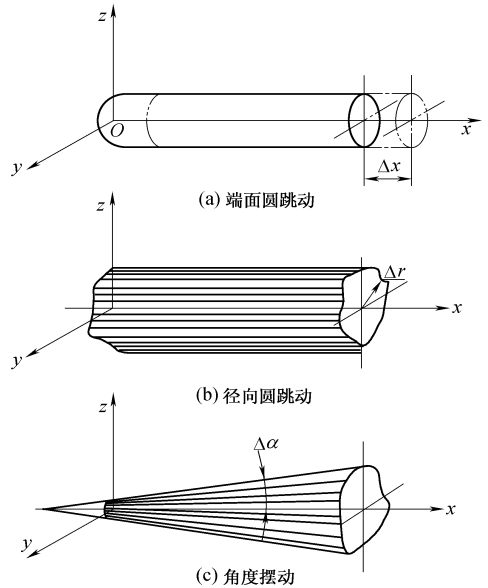


图 4-2 主轴回转误差的基本形式

在不同横截面内轴心的误差运动轨迹既不相同,又不相似,既影响所加工工件圆柱面的形状精度,又影响端面的形位精度。

(2) 主轴回转运动误差的影响因素

影响主轴回转运动误差的主要原因是:主轴的误差、轴承的误差、轴承的间隙、与轴承配合零件的误差、主轴系统的径向不等刚度、热变形和振动等。

对于不同类型的机床,其影响因素也各不相同。如对工件回转类机床(如车床、外圆磨床),因切削力的方向不变,主轴回转时作用在支承上的作用力方向也不变化。此时,主轴的支承轴颈的圆度误差影响较大,而轴承孔圆度误差影响较小,即图中为最大的回转误差,如图4-3a所示;对于刀具回转类机床(如钻、铣镗床),切削力方向随旋转方向而改变,此时,主轴支承轴颈的圆度误差影响较小,而轴承孔的圆度误差影响较大,图4-3b所示为轴颈回转到不同位置时与轴承孔接触的情况。图中为不同回转类机床的最大回转误差。

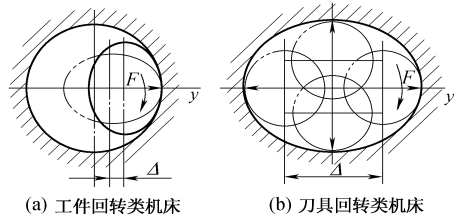


图4-3 两类主轴回转误差的影响

(3) 主轴回转精度的测量

1) 千分表测量法(径向、轴向)

生产现场常用的方法是心棒检测法,将精密心棒插入主轴锥孔,在其圆周表面和端部用千分表测量,如图4-4所示。

此法简单易行,目前在国内仍普遍采用,它属于静态检验法,但不能反映主轴工作状态下回转误差的真实情况,也不能区分产生误差的原因。如在测量的径向圆跳动中,既包含主轴回转轴线的圆跳动,又含有主轴锥孔相对回转轴线的同轴度误差所引起的径向圆跳动。

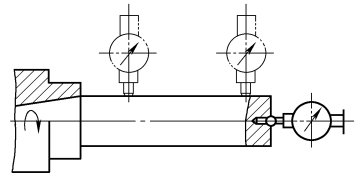


图4-4 主轴回转精度的千分表测量法

2) 传感器测量法

图4-5a所示是用于测量铣镗类机床主轴回转精度的装置,在主轴端部粘结一个精密测量球3,球的中心和主轴回转轴线略有偏心 e (由摆动盘1进行调整),在球的横向互相垂直的位置上安装两个位移传感器2、4,并与精密测量球之间保持一定间隙。当主轴旋转时,由于轴线的漂移引起测量间隙产生微小的变化,两个传感器就发出信号,经放大器5分别输入示波器6的水平 and 垂直的偏置板上。如果精密测量球是绝对的圆,主轴的旋转也是正确的,则示波器的光屏将显出一个以测量球偏心 e 为半径的真圆。反之,若主轴的旋转存在径向圆跳动,则传感器输出的信号中会将其跳动量叠加到球心所作的圆周运动上。此时,示波器光屏上的光点将描绘出一个非圆的李沙育图形,如图4-5b所示,它是由不重合的每转回转误差曲线叠加而成。包容该图形半径差为最小的两个同心圆半径差 R_{min} ,即为主轴回转轴线径向圆跳动,它影响加工工件的圆度误差。图形轮廓线宽度 B 表示随机径向圆跳动,它影响工件的表面粗糙度。

由于测量时示波器光屏上的光点是随主轴回转而描绘出的图形,它直接反映了镗刀刀尖的轨迹,因而这种方法能准确地反映铣镗床主轴的回转精度。

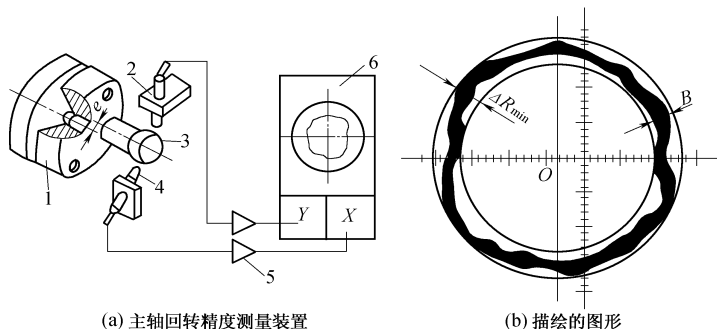


图 4 - 5 铣镗床类主轴回转精度测量法

1—摆动盘；2、4—传感器；3—精密测量球；5—放大器；6—示波器

(4) 提高主轴回转精度的措施

1) 提高主轴部件的制造精度 首先应提高轴承的回转精度,应选用高精度的滚动轴承、多油楔动压轴承和静压滑动轴承,其次是提高轴颈、支撑座孔、调整螺母等零件的加工精度。

2) 对滚动轴承进行预紧 对滚动轴承适当预紧以消除间隙,甚至产生微量过盈。由于轴承内、外圈和滚动体弹性变形的互相制约,既增加了轴承刚度,又对轴承内、外圈滚道和滚动体的误差起均化作用,因而可提高主轴的回转精度。

此外,可采取措施使主轴的回转精度不反映到工件上去,常采用两个固定顶尖支承,主轴只起传动作用。工件的回转精度完全取决于顶尖和中心孔的形状误差和同轴度误差,而提高顶尖和中心孔的精度要比提高主轴部件的精度容易且经济得多。例如,外圆磨床磨削外圆柱面时,就采用固定顶尖支承。

2. 机床导轨误差

机床导轨副是实现直线运动的主要部件,其制造和装配精度是影响直线运动的主要因素,直接影响工件的加工质量。

(1) 磨床导轨在水平面内直线度误差 如图 4 - 6 所示,导轨在 x 方向存在直线度误差,磨削外圆时工件沿砂轮法线方向产生位移(误差敏感方向),引起工件在半径方向上的误差 $R = \Delta$,当磨削长外圆时会造成圆柱度误差。

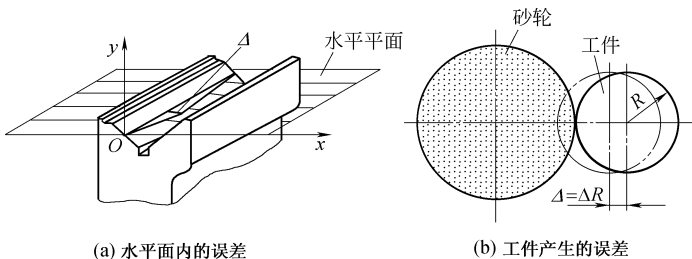


图 4 - 6 磨床导轨在水平面内的直线误差

(2) 磨床导轨在垂直面内直线度误差 如图 4 - 7 所示,由于磨床导轨在垂直面内存在直线