



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

机械制造工艺学

李凯岭 主编

中国机械工程学科教程项目组
China Mechanical Engineering Curricula
中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社

014030832

TH16-43
202



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

机械制造工艺学

李凯岭 主编



清华大学出版社



北航

C1719514

TH16-43
202

内 容 简 介

本书以加工工艺为主线,将古典机械加工工艺、数控加工工艺技术、机床夹具、典型零件加工工艺、机械制造中的几何测量、非常规加工方法、机械加工精度和机械加工表面质量、装配工艺等有机统一,体系完整,简明精炼。内容包括绪论、机械加工工艺规程的制定、机床夹具设计基本原理、典型零件加工、数控加工工艺技术、机械制造过程中的几何测量、非常规加工技术、机械加工精度、机械加工表面质量、机械装配工艺基础、制造模式与制造技术的发展 11 部分。本教材强调对基本概念和基本知识的理解和掌握,突出机械加工精度和制造过程中的几何测量及其应用,以及机床夹具典型结构设计、典型工艺及其典型应用,注重机械加工工艺过程中理论与实际问题的分析和结合,具有系统性和科学性。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、工业企业管理、过程装备与控制工程、工业工程等专业本科生教材,也可作为相应的高职高专教学用书,还可供从事机械制造行业工程技术人员学习参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学/李凯岭主编.--北京:清华大学出版社,2014

中国机械工程学科课程配套系列教材暨教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

ISBN 978-7-302-34567-1

I. ①机… II. ①李… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 282565 号

责任编辑:庄红权

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:26.75

字 数:645 千字

版 次:2014 年 2 月第 1 版

印 次:2014 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:42.00 元

产品编号:054513-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

编 委 会

顾 问

李培根院士

主 任 委 员

陈关龙 吴昌林

副主任委员

许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)

韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书

庄红权

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从20世纪90年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况,甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写并出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

前言

FOREWORD

为了适应制造业快速发展形势下机械工程专业人才的培养目标和要求,我国高校对机械专业主干课程的教学体系进行了持续的改革和探索,力求造就一代知识面较广、适应性较强的宽厚型、复合型、开放型、适应社会需求的新型专业人才。

《机械制造工艺学》课程是机械制造及自动化专业方向的主干专业课程,它是以机械制造中的工艺问题与夹具等工艺装备设计为研究对象的一门应用性技术学科,是建立本科学生专业基础知识的重要课程,高校机械类各个专业均应开设此课程。

本书编写内容是按照机械设计制造与自动化专业的培养目标和要求,为该专业培养通用人才奠定专业基础、专业基本知识和基本原理而选择的。

全书在内容安排上侧重机械制造方面冷加工领域的基本知识、基本原理和基本方法,突出了专业基础内容,添加了加工过程中的质量检验技术、数控加工工艺等新内容;在章节次序的安排上,既考虑了专业知识本身的内在联系,又遵循了专业基础与专业知识前后贯通的原则;集基础性、传统性、应用性、系统性、学以致用等特点为一身。本书内容的取材,包括经典机械加工工艺和数控加工工艺、金属切削机床夹具、典型零件加工、制造过程中的测量与检验、机械装配工艺、加工尺寸链和装配尺寸链理论,以及有关制造过程中的加工质量、加工精度、非常规加工等方面的必备知识;此外,也包括了先进制造工艺技术 with 生产模式的内容。全书内容简明扼要,重点突出,便于学生自学,也给主讲教师留有发挥的余地。本书可以作为高等院校机械类专业的教材及大专院校机械相关学科的教学参考书,也可供从事机械制造行业的工程技术人员、管理人员及有关专业的师生参考。

全书由山东大学李凯岭主编。具体参编人员有:山东大学李凯岭(绪论及第5章,并参与其他各章节部分内容的编写);青岛市特种设备检验所王丽丽;中国重汽集团青岛重工有限公司于明宝(第1、4、6章);青岛农业大学李爱芝(第2章);山东大学王志(第3章);山东科技大学王叶青(第9章);青岛理工大学李长河(第10章)。

全书由李凯岭完成统稿,另外,陈业威、臧淑华也对本书稿的编写、修改作了大量工作。采用过本教材体系的主讲教师对书稿和内容提出了许多宝贵的建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请同行和读者不吝指正。

编 者

2013 年 12 月

目 录

CONTENTS

第 0 章 绪论	1
0.1 生产与制造	1
0.1.1 生产的含义	1
0.1.2 生产过程与分类	2
0.1.3 产品制造的含义	3
0.1.4 制造技术	4
0.1.5 工艺过程	4
0.2 机械制造业在国民经济中的地位及其发展	5
0.2.1 机械制造业在国民经济中的地位	5
0.2.2 机械制造业的发展	6
0.2.3 我国机械制造业面临的挑战和机遇	7
0.3 机械工艺师的基本工作内容和知识	9
0.4 本课程的内容、特点和学习方法	10
0.4.1 本课程的内容	10
0.4.2 本课程的性质和学习要求	11
0.4.3 本课程的特点及学习方法	11
习题与思考题	12
第 1 章 机械加工工艺规程的制定	13
1.1 机械加工工艺过程的基本概念	13
1.1.1 机械加工工艺过程的组成	13
1.1.2 生产纲领与生产类型	15
1.1.3 机械加工工艺规程与工艺文件	17
1.2 制定机械加工工艺规程的要求与步骤	21
1.3 零件加工工艺性分析与毛坯的选择	22
1.3.1 分析零件技术要求及其合理性	22
1.3.2 零件的结构工艺性审查	22
1.3.3 毛坯的选择	24
1.4 工件定位的基本原理	25
1.4.1 六点定位原理	25

1.4.2	六点定位原理的应用	26
1.4.3	定位及夹紧符号标注	28
1.5	机械加工工艺规程设计中的主要定性问题	29
1.5.1	定位基准的选择	29
1.5.2	加工工艺路线的拟定	31
1.5.3	机床与工艺装备的选择	36
1.5.4	切削用量的确定	37
1.6	加工余量及其确定方法	37
1.6.1	加工余量的概念	38
1.6.2	影响加工余量的因素	38
1.6.3	确定余量的方法	39
1.7	加工工艺尺寸的分析计算	40
1.7.1	尺寸链的基本概念	40
1.7.2	加工尺寸链概述	43
1.7.3	加工工艺尺寸计算举例	45
1.7.4	求解加工尺寸链的几种情况	51
1.8	工艺方案的生产率及技术经济性分析	51
1.8.1	生产率分析	51
1.8.2	技术经济性分析	52
1.9	提高机械加工生产率的工艺措施	55
1.9.1	缩短单件时间定额	55
1.9.2	采用先进工艺方法	57
1.9.3	实行多台机床看管	57
1.9.4	进行高效及自动化加工	58
	习题与思考题	58

第2章 金属切削机床夹具设计

61

2.1	机床夹具的基本概念	61
2.1.1	机床夹具的分类	61
2.1.2	机床夹具在机械加工中的作用	62
2.1.3	夹具的组成	63
2.2	定位方式与定位元件	64
2.2.1	工件以平面定位及其定位元件	64
2.2.2	工件以圆柱孔定位及其定位元件	68
2.2.3	工件以外圆柱面定位及其定位元件	71
2.2.4	组合表面定位	73
2.3	定位误差的分析与计算	76
2.3.1	定位误差的产生原因及组成	77
2.3.2	定位误差的计算方法	77

2.3.3	典型表面定位时的基准位移误差	78
2.4	工件的夹紧	83
2.4.1	夹紧装置的组成及基本要求	83
2.4.2	夹紧力的确定	84
2.4.3	典型夹紧机构	87
2.5	分度装置	93
2.5.1	分度装置的类型	94
2.5.2	分度对定机构及控制机构	96
2.5.3	抬起及锁紧机构的设计	98
2.5.4	分度精度分析	98
2.5.5	端齿盘分度装置	99
2.6	典型机床夹具	101
2.6.1	车床夹具	101
2.6.2	钻床夹具	104
2.6.3	镗床夹具	109
2.6.4	铣床夹具	115
	习题与思考题	119
第3章	典型零件的加工	122
3.1	轴类零件的加工	122
3.1.1	轴类零件加工特点概述	122
3.1.2	轴类零件的主要技术要求	123
3.1.3	轴类零件的外圆表面加工	124
3.1.4	轴类零件机械加工的主要工艺问题	129
3.1.5	轴类零件加工实例——车床主轴的加工	130
3.2	套类零件的加工	136
3.2.1	套类零件加工特点概述	136
3.2.2	套类零件的主要技术要求	137
3.2.3	套类零件的内孔表面的加工	138
3.2.4	套类零件机械加工的主要工艺问题	140
3.2.5	套类零件加工实例——钻床主轴套筒的加工	141
3.3	箱体类零件的加工	143
3.3.1	箱体类零件加工概述	143
3.3.2	箱体类零件的主要技术要求	144
3.3.3	箱体零件的平面加工方法	145
3.3.4	箱体类零件机械加工的主要工艺问题	150
3.3.5	箱体类零件加工实例——主轴箱箱体的加工	152
3.4	直齿圆柱齿轮类零件的加工	154
3.4.1	直齿圆柱齿轮类零件概述	154

3.4.2	圆柱齿轮的主要技术要求	155
3.4.3	直齿圆柱齿轮的齿形加工	156
3.4.4	直齿圆柱齿轮机械加工的主要工艺问题	159
3.4.5	直齿圆柱齿轮加工实例	161
	习题与思考题	163

第4章 零件数控加工工艺技术

164

4.1	数控加工的基础知识	164
4.1.1	数控加工的特点及对象	165
4.1.2	数控机床坐标系	166
4.1.3	数控机床的运动方式	167
4.1.4	数控加工程序编制基础	168
4.1.5	CAM 数控编程技术	174
4.2	数控加工工艺设计	174
4.2.1	数控加工工艺内容的选择	175
4.2.2	零件数控加工工艺性分析	176
4.2.3	数控加工工艺路线的设计	177
4.2.4	数控加工工序设计	180
4.3	数控加工中常用典型夹具	189
4.3.1	拼装夹具	190
4.3.2	组合夹具	192
4.3.3	多面高效数控专用夹具	194
4.4	数控加工中常用工艺文件	195
4.4.1	数控操作计划卡片	195
4.4.2	数控加工刀具选用计划表	196
4.4.3	数控编程任务书	197
4.4.4	数控加工人工编程表	197
4.4.5	工件装夹设定卡	198
4.4.6	数控加工工序卡片	199
4.4.7	数控加工程序单	199
4.4.8	数控加工走刀路径图	199
	习题与思考题	200

第5章 机械制造过程中的几何测量

201

5.1	机械制造质量检验规程的制定	201
5.1.1	质量检验的基本概念	201
5.1.2	制定检验规程的依据和原则	203
5.1.3	制定检验卡片的主要工作内容	204
5.2	机械制造质量检验规范	209

5.2.1	检验规范的作用	209
5.2.2	检验规范的内容	210
5.2.3	质量检验计划	210
5.2.4	工序质量检验卡片	211
5.2.5	产品质量终检报告卡片	213
5.3	计量器具的特性与选择	213
5.3.1	量具量仪的分类	213
5.3.2	常规计量器具	214
5.3.3	计量器具的参数与特性	220
5.3.4	量具量仪的选择方法	221
5.4	典型测量装置简介	225
5.4.1	万能工具显微镜	225
5.4.2	三坐标测量机	227
5.4.3	光学投影仪	232
5.5	量规设计	234
5.5.1	光滑极限量规	234
5.5.2	直线尺寸量规	237
5.5.3	莫氏与米制圆锥量规	238
5.5.4	功能量规	240
5.6	专用技术测量量具	246
5.6.1	测量基准面的选择	246
5.6.2	传递装置	247
5.6.3	移动导向机构	247
5.6.4	辅助元件	249
5.6.5	测量装置举例	250
	习题与思考题	252

第6章 非常规加工技术

6.1	非常规加工方法概述	253
6.2	电火花成形加工	254
6.2.1	电火花加工的原理	254
6.2.2	电火花加工的工艺特点	255
6.2.3	影响电火花加工质量的主要因素	256
6.2.4	电火花成形加工工具电极的设计	257
6.2.5	电火花成形加工时电极和工件装夹	261
6.3	数控电火花线切割加工	267
6.3.1	电火花线切割加工原理	267
6.3.2	电火花线切割加工机床	267
6.3.3	数控电火花线切割编程	269

6.3.4	数控线切割加工常用夹具与工件装夹	273
6.4	电解加工	276
6.4.1	电解加工的原理	276
6.4.2	电解加工的工艺特点	277
6.4.3	电解加工的应用	277
6.4.4	电解磨削	277
6.5	激光加工	278
6.5.1	激光加工的基本原理	278
6.5.2	激光加工的工艺特点	279
6.5.3	激光加工的应用	279
6.6	电子束和离子束加工	280
6.6.1	电子束加工	280
6.6.2	离子束加工	281
6.7	超声波加工	282
6.7.1	超声波加工的基本原理	283
6.7.2	超声波加工的特点	283
6.7.3	超声波加工的设备简介	284
6.7.4	超声波加工工艺规律简介	284
6.7.5	应用实例	285
6.8	快速原型制造与 3D 打印技术	285
6.8.1	快速原型技术的特点	286
6.8.2	光敏树脂快速成形	286
6.8.3	层合快速成形	288
6.8.4	熔融沉积快速成形	290
6.8.5	选择性激光烧结法	290
	习题与思考题	291
第 7 章	机械加工精度	292
7.1	机械加工精度概述	293
7.1.1	加工精度和加工误差	293
7.1.2	获得加工精度的方法	293
7.1.3	影响加工精度的因素	295
7.1.4	原始误差与加工误差之间的关系	296
7.1.5	研究加工精度的方法	296
7.2	工艺系统的几何误差	297
7.2.1	加工原理误差	297
7.2.2	机床的几何误差	297
7.2.3	工艺系统的其他几何误差	302
7.3	工艺系统的受力变形	303

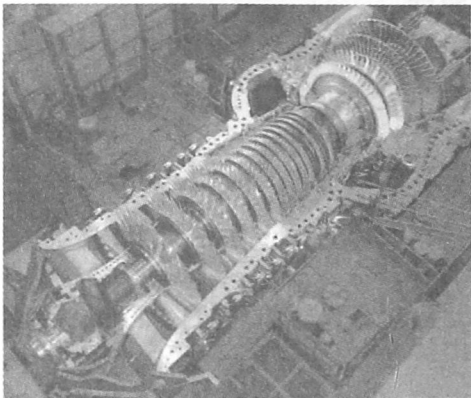
7.3.1	工艺系统受力变形现象	303
7.3.2	工艺系统的刚度	303
7.3.3	工艺系统受力变形对加工精度的影响	305
7.3.4	减少工艺系统受力变形的措施	309
7.3.5	工件内应力对加工精度的影响	311
7.4	工艺系统的热变形	312
7.4.1	工艺系统的热源	312
7.4.2	工艺系统的热变形对加工精度的影响	312
7.4.3	减少工艺系统热变形的措施	315
7.5	加工误差的统计分析	316
7.5.1	加工误差的统计性质	316
7.5.2	分布图分析法	316
7.5.3	点图分析法	322
7.6	提高和保证加工精度的途径	328
7.6.1	直接减少误差法	328
7.6.2	误差补偿法	328
7.6.3	误差分组法	328
7.6.4	误差转移法	329
	习题与思考题	330
第 8 章	机械加工表面质量	332
8.1	机械加工表面质量的含义	332
8.1.1	表面质量的含义	332
8.1.2	机械加工表面质量对零件使用性能的影响	334
8.1.3	表面的完整性	336
8.2	已加工表面形成机理	336
8.3	影响加工表面质量的因素	336
8.3.1	影响表面粗糙度的因素	337
8.3.2	影响加工表面层物理力学性能的因素	339
8.4	机械加工过程中的振动	343
8.4.1	受迫振动及其控制	344
8.4.2	自激振动及其控制	345
8.5	控制加工表面质量的途径	350
	习题与思考题	351
第 9 章	机械装配工艺基础	352
9.1	机械装配概述	352
9.1.1	装配的概念	352
9.1.2	装配工作的一般内容	352

9.1.3	装配生产的组织形式	353
9.1.4	装配精度的基本概念	356
9.1.5	装配工艺性一般要求	357
9.2	装配尺寸链及其概率解法	359
9.2.1	装配尺寸链概述	359
9.2.2	装配尺寸链的建立	360
9.2.3	装配尺寸链的计算方法	362
9.3	获得装配精度的方法	364
9.3.1	互换装配法	364
9.3.2	选择装配法	365
9.3.3	修配装配法	367
9.3.4	调整装配法	369
9.4	装配工艺规程的制定	370
9.4.1	制订装配工艺规程的基本原则及所需的原始资料	371
9.4.2	制订装配工艺规程的步骤	371
	习题与思考题	376
第 10 章	制造模式与制造技术的发展	378
10.1	先进制造工艺技术	378
10.1.1	超精密加工	378
10.1.2	高速切削	380
10.1.3	干切削	384
10.1.4	成组技术	385
10.1.5	计算机辅助工艺规程设计	388
10.2	微机械和微机电系统制造技术的进展	390
10.3	机械制造自动化技术	392
10.3.1	机械制造系统自动化	392
10.3.2	柔性制造系统	393
10.3.3	计算机集成制造系统	396
10.3.4	工业机器人	398
10.4	先进制造生产模式	399
10.4.1	敏捷制造	400
10.4.2	并行工程	400
10.4.3	JIT 制造	401
10.4.4	精良生产	403
10.4.5	网络化制造	403
10.4.6	虚拟制造系统	404
10.4.7	可持续发展制造	406
	习题与思考题	407
	参考文献	409

绪 论

本章要点

- 生产与生产过程的概念
- 产品制造与制造技术
- 工艺过程的概念
- 制造业与机械制造业
- 机械制造技术的发展
- 机械工艺师的工作内容
- 课程内容与学习方法



本章说明

“机械制造工艺学”是 1953 年首次由苏联专家节门杰夫教授在清华大学正式讲授,经过我国学者多年努力,内容不断充实和发展起来的一门学科。《机械制造工艺学》课程是机械制造专业的最重要和最基本的专业主干课程之一。

本章简要阐述生产、制造、机械制造工艺及其系统等专业术语的含义,介绍了机械制造的发展和历史地位,以及机械工艺师的工作内容,对本课程的任务、特点以及学习方法进行了详尽的表述。

0.1 生产与制造

0.1.1 生产的含义

生产活动是人类赖以生存和发展的最基本活动。从系统观点出发,生产可定义为:一个将生产要素转变为产品财富,并创造效益的输入输出系统,如图 0-1 所示。

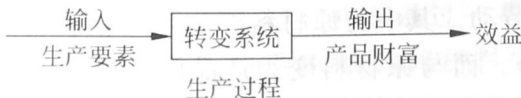


图 0-1 生产的定义

1. 生产系统输入的是生产要素

生产要素根据其基本作用可分为五类。