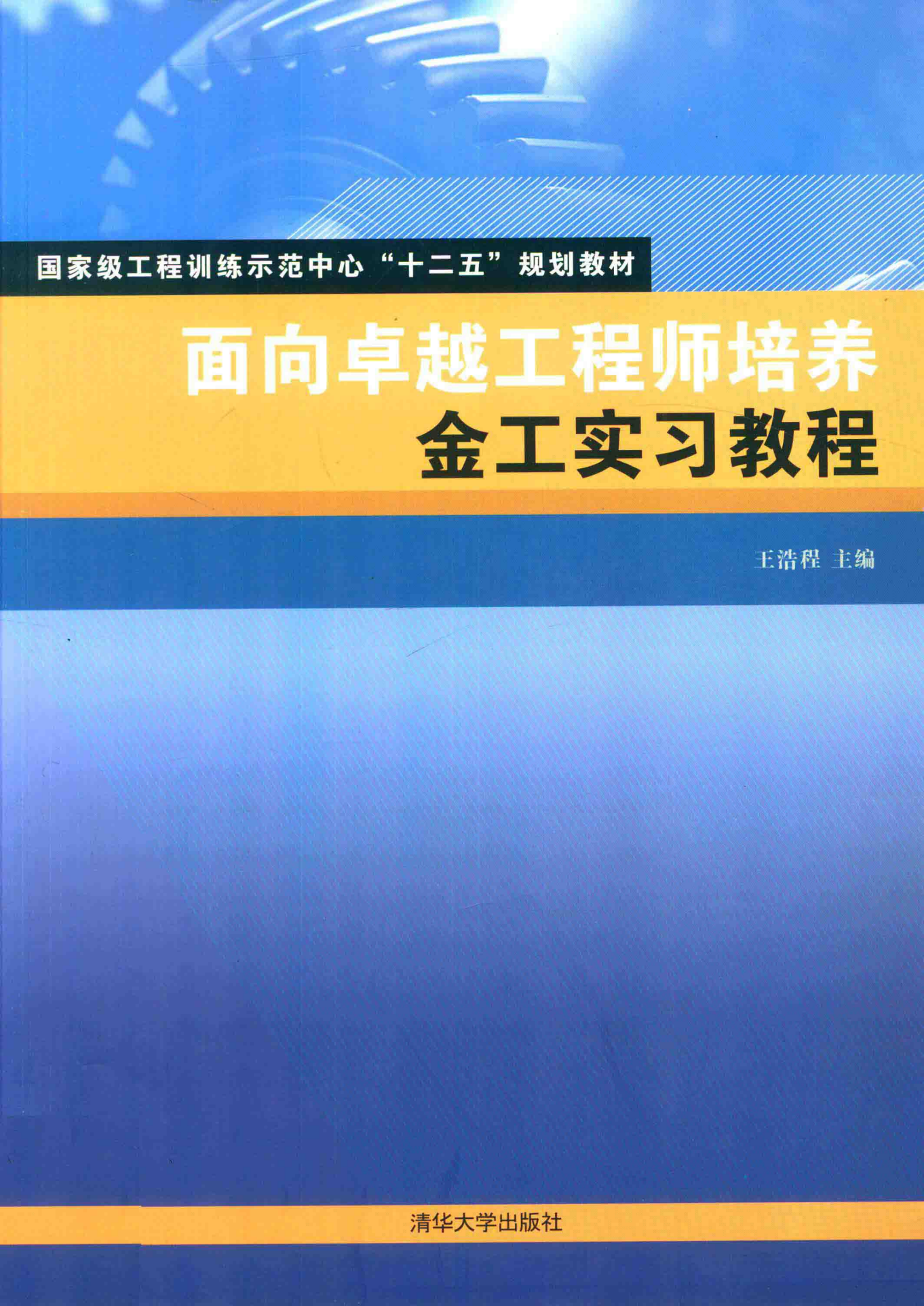




国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

# 面向卓越工程师培养 金工实习教程

王浩程 主编

清华大学出版社

国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

# 面向卓越工程师培养 金工实习教程

王浩程 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书立足于机械工程实践教学知识体系的完整,适应经济社会的发展对工程技术人才的要求,面向卓越工程师培养,着眼培养学生综合的工程素质和能力,概括介绍了从设计制造流程到机电一体化及工程创新的系统知识。全书包括工程设计、工程材料、金属成形工艺方法、传统切削加工工艺方法、先进制造技术理论及实践、机械测量、机电一体化、工程创新基础知识等内容。

本书的特点是涵盖了包括设计、制造、机电一体化及创新在内的工程素质培养的实践教学内容,以自制的教学设备及产学研合作内容为教学实例,突出实用性和针对性,注重培养解决问题的能力,而不是学科导向。全书共9章,每章后附有思考练习题,以满足教学需要。

本书可作为工科专业工程实践课程教材,也可作为企业技术和管理人员的参考读物。

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

面向卓越工程师培养:金工实习教程/王浩程主编.--北京:清华大学出版社,2015

国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

ISBN 978-7-302-40730-0

I. ①面… II. ①王… III. ①金属加工—实习—高等学校—教材 IV. ①TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 162037 号

责任编辑:赵 斌

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.5 字 数:324 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版 印 次:2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:32.00 元

产品编号:065672-01

国家级工程训练示范中心“十二五”规划教材

## 编审委员会

顾问

傅水根

主任

梁延德 孙康宁

委员(以姓氏首字母为序)

陈君若 贾建援 李双寿 刘胜青 刘舜尧  
邢忠文 严绍华 杨玉虎 张远明 朱华炳

秘书

庄红权

# 序言



## PREFACE

自国家的“十五”规划开始,我国高等学校的教材建设就出现了生机勃勃的局面,工程训练领域也是如此。面对高等学校高素质、复合型和创新型的人才培养目标,工程训练领域的教材建设需要在体系、内涵以及教学方法上深化改革。

以上情况的出现,是在国家相应政策的主导下,源于两个方面的努力:一是教师在教学过程中,深深感到教材建设对人才培养的重要性和必要性,以及教材深化改革的客观可能性;二是出版界对工程训练类教材建设的积极配合。在国家“十五”期间,工程训练领域有 5 部教材列入国家级教材建设规划;在国家“十一五”期间,约有 60 部教材列入国家级“十一五”教材建设规划。此外,还有更多的尚未列入国家规划的教材已正式出版。对于国家“十二五”规划,我国工程训练领域的同仁,对教材建设有着更多的追求与期盼。

随着世界银行贷款高等教育发展项目的实施,自 1997 年开始,在我国重点高校建设 11 个工程训练中心的项目得到了很好的落实,从而使我国的工程实践教学有机会大步跳出金工实习的原有圈子。训练中心的实践教学资源逐渐由原来热加工的铸造、锻压、焊接和冷加工的车、铣、刨、磨、钳等常规机械制造资源,逐步向具有丰富优质实践教学资源的现代工业培训的方向发展。全国同仁紧紧抓住这百年难得的机遇,经过 10 多年的不懈努力,终于使我国工程实践教学基地的建设取得了突破性进展。在 2006—2009 年期间,国家在工程训练领域共评选出 33 个国家级工程训练示范中心或建设单位,以及一大批省市级工程训练示范中心,这不仅标志着我国工程训练中心的发展水平,也反映出教育部对我国工程实践教学的创造性成果给予了充分肯定。

经过多年的改革与发展,以国家级工程训练示范中心为代表的我国工程实践教学发生了以下 10 个方面的重要进展。

(1) 课程教学目标和工程实践教学理念发生重大转变。在课程教学目标方面,将金工实习阶段的课程教学目标“学习工艺知识,提高动手能力,转变思想作风”转变为“学习工艺知识,增强工程实践能力,提高综合素质,培养创新精神和创新能力”;凝练出“以学生为主体,教师为主导,实验技术人员和实习指导人员为主力,理工与人文社会学科相贯通,知识、素质和能力协调发展,着重培养学生的工程实践能力、综合素质和创新意识”的工程实践教学理念。

(2) 将机械和电子领域常规的工艺实习转变为在大工程背景下,包括机械、电子、计算机、控制、环境和管理等综合性训练的现代工程实践教学。

(3) 将以单机为主体的常规技术训练转变为部分实现局域网络条件下,拥有先进铸造技术、先进焊接技术和先进钣金成形技术,以及数控加工技术、特种加工技术、快速原型技术和柔性制造技术等先进制造技术为一体的集成技术训练。

(4) 将学习技术技能和转变思想作风为主体的训练模式转变为集知识、素质、能力和创

新实践为一体的综合训练模式,并进而实现模块式的选课方案,创新实践教学在工程实践教学逐步形成独有的体系和规模,并发展出得到广泛认可的全国工程训练综合能力竞赛。

(5) 将基本面向理工类学生转变为除理工外,同时面向经济管理、工业工程、工艺美术、医学、建筑、新闻、外语、商学等尽可能多学科的学生。使工程实践教学成为理工与人文社会学科交叉与融合的重要结合点,使众多的人文社会学科的学生增强了工程技术素养,不仅成为我国高校工程实践教学改革的重要方向,并开始纳入我国高校通识教育和素质教育的范畴,使越来越多的学生受益。

(6) 将面向低年级学生的工程训练转变为本科4年不断线的工程训练和研究训练,开始发展针对本科毕业设计,乃至硕士研究生、博士研究生的高层人才培养,为将基础性的工程训练向高层发展奠定了基础条件。

(7) 由单纯重视完成实践教学任务转变为同时重视教育教学研究和科研开发,用教学研究来提升软实力和促进实践教学改革,用科研成果的转化辅助实现实验技术与实验方法的升级。

(8) 实践教学对象由针对本校逐渐发展到立足本校、服务地区、面向全国,实现优质教学资源共享,并取得良好的教学效益和社会效益。

(9) 建立了基于校园网络的中心网站,不仅方便学生选课,有利于信息交流与动态刷新,而且实现了校际间的资源共享。

(10) 卓有成效地建立了国际和国内两个层面的学术交流平台。在国际,自1985年在华南理工大学创办首届国际现代工业培训学术会议开始,规范地实现了每3年举办一届。在国内,自1996年开始,由教育部工程材料及机械制造基础课指组牵头的学术扩大会议(邀请各大区金工研究会理事长参加)每年举办一次,全国性的学术会议每5年一次;自2007年开始,国家级实验教学示范中心联席会工程训练学科组牵头的学术会议每年两次;各省市级金工研究会牵头举办的学术会议每年一次,跨省市的金工研究会学术会议每两年一次。

丰富而优质的实践教学资源,给工程训练领域的系列课程建设带来极大的活力,而系列课程建设的成功同样积极推动着教材建设的前进步伐。

面对目前工程训练领域已有的系列教材,本规划教材究竟希望达到怎样的目标?又可能具备哪些合理的内涵呢?个人认为,应尽可能将工程实践教学领域所取得的重大进展,全面反映和落实在具有下列内涵的教材建设上,以适应大面积的不同学科、不同专业的人才培养要求。

(1) 在通识教育与素质教育方面。面对少学时的工程类和人文社会学科类的学生,需要比较简明、通俗的“工程认知”或“实践认知”方面的教材,使学生在比较短时间的实践过程中,有可能完成课程教学基本要求。应该看到,学生对这类教材的要求是比较迫切的。

(2) 在创新实践教学方面。目前,我们在工程实践教学领域,已建成“面上创新、重点创新和综合创新”的分层次创新实践教学体系。虽然不同类型学校所开创的创新实践教学体系的基本思路大体相同,但其核心内涵必然会有较大的差异,这就需要通过内涵和风格各异的教材充分展现出来。

(3) 在先进技术训练方面。正如我们所看到的那样,机械制造技术中的数控加工技术、特种加工技术、快速原型技术、柔性制造技术和新型的材料成形技术,以及电子设计和工艺中的电子设计自动化技术(EDA)、表面贴装技术和自动焊接技术等已经深入到工程训练的



许多教学环节。这些处于发展中的新型机电制造技术,如何用教材的方式全面展现出来,仍然需要我们付出艰苦的努力。

(4) 在以项目为驱动的训练方面。在世界范围的工程教育领域,以项目为驱动的教学组织方法已经显示出强大的生命力,并逐渐深入到工程训练领域。但是,项目训练法是一种综合性很强的教学组织法,不仅对教师的要求高,而且对经费的要求多。如何克服项目训练中的诸多困难,将处于探索中的项目驱动教学法继续深入发展,并推广开去,使更多的学生受益,同样需要教材作为一种重要的媒介。

(5) 在全国大学生工程训练综合能力竞赛方面。2009年和2011年在大连理工大学举办的两届全国大学生工程训练综合能力竞赛,开创了工程训练领域无全国性赛事的新局面。赛事所取得的一系列成功,不仅昭示了综合性工程训练在我国工程教育领域的重要性,同时也昭示了综合性工程训练所具有的创造性。从赛事的命题,直到组织校级、省市级竞赛,最后到组织全国大赛,不仅吸引了数量众多的学生,而且提升了参与赛事的众多教师的指导水平,真正实现了我们所长期企盼的教学相长。这项重要赛事,不仅使我们看到了学生的创造潜力,教师的创造潜力,而且看到了工程训练的巨大潜力。以这两届赛事为牵引,可以总结归纳出一系列有价值的东西,来推进我国的高等工程教育深化改革,来推进复合型和创造型人才的培养。

总之,只要我们主动实践、积极探索、深入研究,就会发现,可以纳入本规划教材编写视野的内容,很可能远远超出本序言所囊括的上述5个方面。教育部工程材料及机械制造基础课程教学督导组经过近10年的努力,所制定的课程教学基本要求,也只能反映出我国工程实践教学的主要进展,而不能反映出全部进展。

我国工程训练中心建设所取得的创造性成果,使其成为我国高等工程教育改革不可或缺的重要组成部分。而其中的教材建设,则是将这些重要成果进一步落实到与学生学习过程紧密结合的层面。让我们共同努力,为编写出工程训练领域高质量、高水平的系列新教材而努力奋斗!

清华大学 傅水根

2011年6月26日

# 前言



## FOREWORD

在卓越工程师培养计划实施的工程背景下,大学工程实践教学基地应立足于对具备优秀工程素质人才的培养,努力构建理念先进、设施优良、管理科学、体系创新的工程训练平台。应围绕培养创新精神和实践能力的建设理念,从教学体系、平台功能、模式改革等方面探讨工程训练平台的建设方案,建设适于应用型、创新型人才成长的工程实践教育基地,使之利于具有创新精神和实践能力的卓越工程技术人才脱颖而出。工程教育关系到社会的进步和国家经济的发展。目前我国工程教育领域存在很多问题,如以学生能力培养为导向的现代工程教育理念亟待更新,技术与技能培养的定位模糊,学生培养过程中实践环节的实效性差,实验室、实训车间先进的软硬件建设相对滞后等。工程教育的根本目标是培养适应现代工程技术发展需要的工程师,其改革应着眼于大学生创新思维能力和工程实践能力的培养。目前国际倡导的 CDIO 工程教育模式中,以培养卓越工程技术人才为主旨的金工实习教学应不断深化内涵,拓展外延。面向工程实际,加强能力锻炼,是当代国际高等工程教育实践教学改革的共同趋势。

工程实践教学是高等工科院校培养和提高学生工程综合实践能力的重要环节。工程实践教学的过程是在特定的工程实践环境中对学生进行综合的以工程设计、制造、管理、创新等环节为一体的全面工程技术训练。随着现代设计与制造技术、信息技术、自动化技术、现代管理技术等与现代工程的相互交融、渗透,工程实践教学的内涵不断深化,教学内容不断拓展。目前在工程实践教学存在着设计与工艺严重脱节、应试性的计划教学痕迹过重、亟待建立创新性工程实践教学模式、工程素质培养界定不清等突出问题。面对这些问题,工程实践教学改革必须贯彻以学生为本,知识、能力、素质协调发展,学习、实践、创新相互促进的实践教学理念,探索和构建新的工程实践教学课程体系,深化教学方法改革。

基于上述背景和要求,我们组织编写了《面向卓越工程师培养——金工实习教程》。与传统的金工实习教材相比,本教材力求体现以下特点:

(1) 增加了工程设计实践教学内容,旨在强调工程实践中设计与加工制造具有同等的重要性,培养学生设计与工艺相互融合的工程意识。

(2) 增加了机电一体化教学内容,与前面设计、材料和工艺内容相呼应,使学生认识到工程实践不单纯是常规制造技术基础训练,应在掌握技术技能的同时,了解机械、检测、驱动、控制等内容,对多种相关技术有机融合的机电一体化系统有基本把握。

(3) 增加了基于工程实践项目案例的教学内容,以自行研制的教学设备和科研生产实例为教学内容,目的是将教师的启发、引导与学生的主动体验、积极探究有机结合,提高学生的学习兴趣。

(4) 增加了工程创新教育实践教学内容,针对学生受传统应试教育思维束缚严重的现状,以机电控制创新作品为实例,从创造性思维和技术创新方法论两个角度训练学生的思维



创新能力与创新精神。

(5) 传统工程实践教学内容力求简洁,适应工科学生的认知实习,期望能够结合实际操作,起到提纲挈领的作用。

全书由王浩程任主编,各章具体编写分工为:第1、6、7章王浩程,第2、3章贾文军,第4章蔡军,第5章刘健,第8章刘健、刘玮,第9章周风帆。王浩程负责全书的策划、组织和统稿工作,张彦春、刘玮对全书图形的绘制、整理做了大量工作。

尽管主观上做了很大努力,但由于作者水平有限,书中难免有不足甚至错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015年3月



# CONTENTS

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 工程设计                   | 1  |
| 1.1 工程设计概述                   | 1  |
| 1.1.1 机械工程设计                 | 1  |
| 1.1.2 设计、制造和工艺的关系            | 4  |
| 1.2 工程设计实例分析                 | 5  |
| 1.2.1 设计任务                   | 5  |
| 1.2.2 机械结构设计                 | 6  |
| 1.2.3 电动机驱动及控制设计             | 7  |
| 1.2.4 工艺设计                   | 8  |
| 1.3 工程设计软件基础知识               | 10 |
| 1.3.1 常用软件介绍                 | 10 |
| 1.3.2 SolidWorks 2008 软件基本功能 | 11 |
| 思考练习题                        | 18 |
| 第 2 章 工程材料                   | 19 |
| 2.1 工程材料基础知识                 | 19 |
| 2.1.1 工程材料的分类和应用             | 19 |
| 2.1.2 金属材料的组织                | 24 |
| 2.1.3 金属材料的性能                | 26 |
| 2.2 金属材料改性实例                 | 29 |
| 2.2.1 金属材料的改性方法              | 29 |
| 2.2.2 典型机械零部件的热处理工艺          | 32 |
| 2.2.3 汽车半轴零件的材料和热处理工艺        | 33 |
| 2.2.4 机床齿轮零件的材料和热处理工艺        | 34 |
| 思考练习题                        | 34 |
| 第 3 章 金属成形工艺                 | 36 |
| 3.1 金属液态成形                   | 36 |



|            |                       |           |
|------------|-----------------------|-----------|
| 3.1.1      | 实例分析 .....            | 36        |
| 3.1.2      | 砂型铸造基础知识 .....        | 37        |
| 3.1.3      | 特种铸造方法 .....          | 40        |
| 3.2        | 金属固态成形 .....          | 41        |
| 3.2.1      | 实例分析 .....            | 41        |
| 3.2.2      | 金属固态成型的主要方法概述 .....   | 43        |
| 3.3        | 金属连接工艺 .....          | 50        |
| 3.3.1      | 实例分析 .....            | 50        |
| 3.3.2      | 常用焊接方法 .....          | 52        |
|            | 思考练习题 .....           | 56        |
| <b>第4章</b> | <b>传统切削加工 .....</b>   | <b>57</b> |
| 4.1        | 实例分析 .....            | 57        |
| 4.1.1      | 轴类零件 .....            | 57        |
| 4.1.2      | 盘套类零件 .....           | 60        |
| 4.2        | 机械加工工艺规程概述 .....      | 65        |
| 4.3        | 切削加工工艺方法及应用范围 .....   | 65        |
| 4.3.1      | 车削加工 .....            | 66        |
| 4.3.2      | 铣削加工 .....            | 72        |
| 4.3.3      | 刨削加工 .....            | 75        |
| 4.3.4      | 磨削加工 .....            | 77        |
| 4.3.5      | 钳工工艺 .....            | 80        |
| 4.3.6      | 典型表面加工方案 .....        | 82        |
| 4.4        | 切削加工技术经济分析 .....      | 83        |
| 4.4.1      | 切削加工主要技术经济指标 .....    | 83        |
| 4.4.2      | 产品加工材料的选用原则 .....     | 84        |
| 4.4.3      | 切削用量的合理选择 .....       | 85        |
| 4.4.4      | 材料切削加工性的选择 .....      | 85        |
| 4.4.5      | 切削加工经济精度 .....        | 86        |
|            | 思考练习题 .....           | 87        |
| <b>第5章</b> | <b>先进制造技术 .....</b>   | <b>89</b> |
| 5.1        | 数控加工实践 .....          | 89        |
| 5.1.1      | 数控原理基础知识 .....        | 89        |
| 5.1.2      | 数控车削原理及实例分析 .....     | 102       |
| 5.1.3      | 数控铣削原理及实例分析 .....     | 110       |
| 5.2        | 特种加工实践 .....          | 123       |
| 5.2.1      | 电火花成形加工原理及实例分析 .....  | 123       |
| 5.2.2      | 电火花线切割加工原理及实例分析 ..... | 128       |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 思考练习题                         | 134 |
| 第 6 章 机械测量技术                  | 136 |
| 6.1 产品质量的概念                   | 136 |
| 6.2 测量方法                      | 138 |
| 6.3 常用机械测量工具                  | 139 |
| 6.4 三坐标测量技术                   | 141 |
| 6.4.1 三坐标测量机简介                | 141 |
| 6.4.2 三坐标测量机的类型、组成和结构         | 142 |
| 6.4.3 三坐标测量机的测量系统             | 143 |
| 思考练习题                         | 145 |
| 第 7 章 机电一体化技术概论               | 146 |
| 7.1 机电一体化技术概述                 | 146 |
| 7.2 机电一体化产品的组成和主要特点           | 148 |
| 7.3 机电一体化的单元技术                | 150 |
| 7.3.1 机械技术                    | 150 |
| 7.3.2 传感检测技术                  | 153 |
| 7.3.3 伺服驱动技术                  | 157 |
| 7.3.4 自动控制技术                  | 159 |
| 思考练习题                         | 163 |
| 第 8 章 基于项目的工程实践案例             | 164 |
| 8.1 项目及项目管理                   | 164 |
| 8.2 基于项目的工程实践案例               | 165 |
| 8.2.1 基于“迷你台钳”的卓越工程师培养实训项目    | 165 |
| 8.2.2 基于五轴联动多功能数控机床的机电一体化实训项目 | 172 |
| 思考练习题                         | 177 |
| 第 9 章 工程创新教育                  | 178 |
| 9.1 创造性思维概论                   | 178 |
| 9.1.1 思维的结构                   | 179 |
| 9.1.2 创造性思维的形式                | 180 |
| 9.1.3 创造性思维的方向                | 182 |
| 9.1.4 创造性思维的特征                | 183 |
| 9.2 技术创新方法概论                  | 184 |
| 9.2.1 传统创新方法                  | 184 |
| 9.2.2 TRIZ 理论                 | 187 |



|                        |     |
|------------------------|-----|
| 9.3 机电综合创新实例分析 .....   | 193 |
| 9.3.1 作品创新总体设计方案 ..... | 193 |
| 9.3.2 作品技术方案 .....     | 196 |
| 思考练习题 .....            | 197 |
| 参考文献 .....             | 199 |



## 工 程 设 计

### 学习目的

- 了解工程设计的概念和一般过程
- 结合实例加深对工程设计过程的认识
- 了解当前常用的工程设计软件及其优劣性
- 能够根据实际情况选择合适软件进行工程设计

### 1.1 工程设计概述

工程设计是设计者在工程领域为满足人们对产品功能的需求,运用基础及专业知识、实践经验、系统工程等方法进行构思、计算和分析,最终以技术文件的形式提供产品制造依据的全过程活动。工程设计是形成产品的第一步工作。产品的质量和效益取决于设计、制造及管理的综合运作,这中间设计工作非常重要,没有高质量的设计就没有高质量的产品。狭义的设计通常指产品从概念到绘出图纸或建出模型的过程。从广义上讲,设计的概念和内容非常广泛,如材料选择、机构分析、运动和动力分析、强度校核、建模仿真、优化分析等。在实际设计中,往往根据产品的功能、结构及使用场合来选取设计的具体内容。

由许多机器、装置、监控仪器等组成的大型工程系统或由零件、部件等组成的机器(或机器中的局部)都可以看成是一个机械系统或者称为一个机械工程项目。机械工程设计可以是应用新的原理或新的概念,开发创造新的机器,也可以是在已有机器的基础上,重新设计或作局部的改造,即工程设计的任务是围绕着开发新产品或改造老产品而进行的,工程设计的最终目的是提供满足人们功能及外观需求、优质高效、价廉物美,并具有市场竞争力的产品。

#### 1.1.1 机械工程设计

机械工程设计涉及技术、经济等许多领域,尤其随着现代制造技术及计算机科学与应用技术的迅速发展,使机械工程的设计方法和手段更加现代化。从总体来讲,现代机械工程设计应具有社会性、系统性、创造性、宜人性、最优性、数字化及绿色环保化等。当然,“现代机械工程设计”与“传统机械工程设计”只是相对而言。

传统机械工程设计流程如图 1-1 所示,其设计流程往往根据任务和目标,先做出第一方案,甚至造出样机,然后通过评定与考核,进行修改,形成第二方案,如此反复,直到满意为止。各分系统设计之间缺乏协调,在设计过程中无法对整个系统给出准确的描述,整个系统的性能只能靠实验来检验,缺乏有效的改进系统性能的技术手段,存在重复设计、工作效率低、产品开发周期长、开发费用高的缺点。

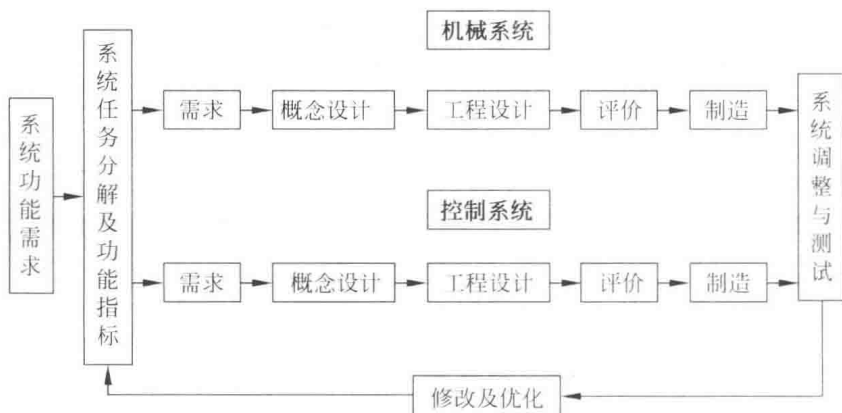


图 1-1 传统机械工程设计流程

现代机械工程设计流程如图 1-2 所示,在设计中可运用虚拟样机、快速成型、模拟仿真等技术,在样机制造之前就可以预测样机的性能,应用机、电、液、气等不同工程领域的知识,协调设计,共享数据,更完整透彻地理解系统模型,对不能用实验进行校验的场合进行仿真。由此可见,现代机械工程设计可显著降低设计成本,减少设计实验周期。

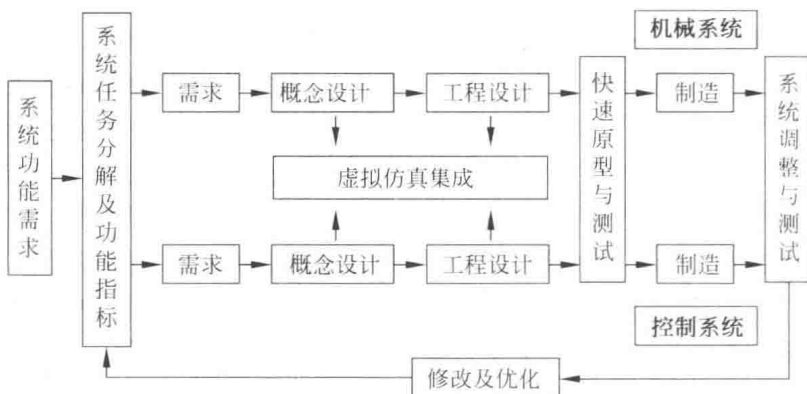


图 1-2 现代机械工程设计流程

传统机械工程设计建立在手工操作基础上,人脑的思维进度很大程度上制约着设计过程,许多原来始发于人脑的三维构思在传统机械工程设计中必须用抽象的二维图形加以表达。而代表现代机械工程设计的 CAD 技术很好地解决了这些问题,人们利用计算机可以很快获得进一步思维所必需的理论计算结果和信息。大量的绘图工作由计算机完成,屏幕上的三维图形可以直接实现人脑中的构思。在传统机械工程设计中,机器的动态效果只能通过抽象的运动学、动力学数据加以反映,且这些数据的精确性较低,而现代的虚拟样机技术能对未来机器的运转状态精准清晰地加以描述。

现代机械工程设计通常分为结构设计和工艺设计两部分。

## 1. 结构设计

结构设计是机械产品生产的第一道工序,也是决定机械产品质量的关键工序,一台机器的质量很大程度上决定于其设计质量。结构设计是一种创造性工作,从狭义的设计过程来看,结构设计一般分为提出设计任务、本体设计和编制技术文件三个阶段。

### 1) 提出设计任务、拟定计划

(1) 任务书的酝酿。设计任务通常是根据生产需要提出或经市场调查发现某种机器有较大需求时酝酿提出的。

(2) 任务书的内容。完整的任务书应包括机器的用途、主要性能参数范围、环境条件及有关特殊要求、生产批量、预期的成本范围以及设计周期等。

(3) 拟定计划。接到任务书后,应组织有关人员就设计任务书提出的各项要求进行全面分析和调查,深入理解设计任务的经济价值、技术要求、重点难点、攻关方向、完成任务的主要途径和关键技术等。

### 2) 本体设计

本体设计包括总体设计、装配设计和零件设计三个阶段,这是具体进行机械设计的主要工作。

(1) 总体设计阶段。即从机器的工作原理到机构运动简图的阶段,也称设计方案拟定阶段。其具体任务是选择机器的工作原理,本着简单、实用、经济、美观等原则,绘制实现预期使用功能的机器机构运动简图。为此,要进行多种运动方案的比较及初步的承载动力分析,然后进行具体机构的原理设计,这里要求把机器各部分之间的运动关系、动力关系以及各机构主要零件在机器中的大体位置,用特定符号在图纸上标明,形成机器的机构运动简图。

(2) 装配设计阶段。即从机器的运动简图到装配图的阶段。装配设计阶段的具体任务是将运动简图中的符号变成具体的零件、部件。要考虑并确定各零部件的相对位置及连接方法,主要零件的具体形状、关键尺寸、材料、工艺、安装等一系列问题,进行必要的计算、类比和选择,有时还要做认定实验。要根据机器运动的具体情况,如运动动力特性、工作阻力、工作速度以及传动效率等,初步选择原动机;根据工作阻力或原动机的主要参数,计算出各主要零件的关键尺寸并选定材料;一些直接影响机器的性能、精度、寿命或特殊的关键部位,还应考虑选定合适的配合。在综合考虑以上问题后,绘出装配图,形成本阶段的设计成果。

(3) 零件设计阶段。此阶段就是从装配图拆出零件图,具体任务是把零件的全部尺寸、结构要素及加工技术要求等参数按机械绘图标准详细地表达出来。应该从总体要求出发,综合考虑零件的使用性能、工艺性能以及质量、体积、寿命、成本限制等因素,确定零件的材料、尺寸、结构要素(如圆角半径、倒角尺寸等)、制造精度(如尺寸公差、表面粗糙度等)以及技术条件(如硬度、表面防护、加工缺陷限制等)。完整的零件图体现出本阶段的设计成果。

本体设计完成后,提供了机器的运动简图、装配图和零件图,从原理上、结构上和工艺上为一台机器的制造准备了初步条件。应该注意,本体设计的三个阶段是密切联系的,前一阶段的工作为后一阶段提供了依据,三个阶段进行过程中,如果后一阶段经深入探讨确定的东西一旦超出前一阶段的限制,就会要求前一阶段的设计成果作适当修改。因此,本体设计的

三个阶段必然互相牵连、互相影响、互相交叉地反复进行。

### 3) 编制技术文件

技术文件的种类很多,通常有机器的设计计算说明书、产品使用说明书、标准件明细表、外购件明细表、主要零件检验项目及产品验收技术标准等。

## 2. 工艺设计

机械设计完成后,工艺设计所要解决的基本问题,就是如何用最小的加工成本生产出符合设计质量要求的产品。由于同一种产品或零件的生产通常可以用几种不同的工艺方案来完成,而不同的工艺方案所取得的经济效益和消耗的成本是不同的,因此,工艺设计过程就是要从众多的工艺方案中选出既符合技术标准要求,又具有较好技术经济效果的最佳工艺方案。

为了获得最佳工艺方案,工艺设计人员必须根据产品或零部件的结构特点、技术要求、生产类型及企业生产技术条件等诸多因素,应用各种加工方法结构工艺性的知识,对各工艺方案逐一进行充分的技术、经济分析后,从中选择一种比较适合的工艺方案;然后,对组成机械产品的所有零部件分别进行零件毛坯制造工艺设计、热处理工艺设计、零件机械加工工艺设计以及装配工艺设计和表面涂装工艺设计等,还包括必要的生产工艺装备的设计,主要包括刀具、夹具、工装设计及机床设备的改装等。完整考虑各个因素后,便能制定出相应的工艺规程。工艺规程种类繁多,例如零件的毛坯制造工艺规程有铸造工艺规程、锻造或冲压工艺规程、焊接工艺规程,还有机械加工工艺规程、装配工艺规程等,各种工艺规程一般都设计成表格形式的卡片。在现代设计制造方法中多采用计算机辅助工艺规程(CAPP)软件进行工艺设计。

### 1.1.2 设计、制造和工艺的关系

在工程领域,无论是学生学习,还是实际生产,必须重视设计、制造和工艺的关系。设计是产品从概念到模型(图纸)的转化;制造是产品实体的实现;而工艺则是从设计到制造的转化过程,具体来说就是转化过程中所用的方法与手段。设计、制造、工艺三者的关系如图 1-3 所示。



图 1-3 设计、制造、工艺三者的关系

从图 1-3 中可以看出,设计、制造、工艺三者在工程领域是相辅相成、缺一不可的。从理论与实践相结合的角度,不能认为某一方面更重要。要获得高质量的产品,企业要追求良好