

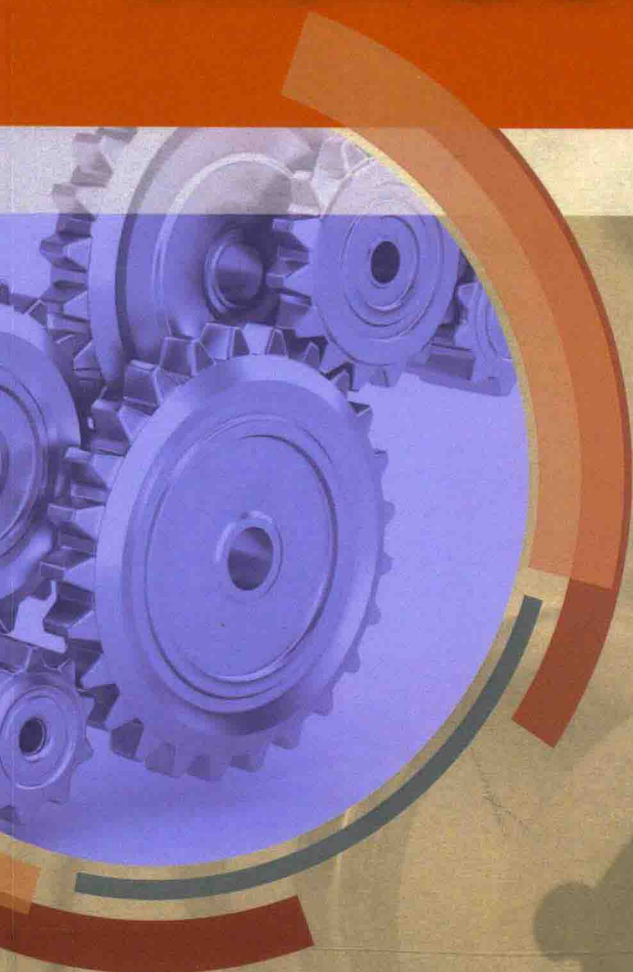


机械类 国家级实验教学示范中心系列规划教材

机械工程综合实验教程

主 编 郭 盛

副主编 蔡永林



科学出版社

机械类国家级实验教学示范中心系列规划教材

机械工程综合实验教程

主 编 郭 盛

副主编 蔡永林

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是为适应高层次创新人才培养的需要,按照教育部高等教育教学改革工程的要求,在教学实践和改革的基础上撰写而成的。

书中系统地介绍了机械工程的基本实验技术,每一章均对实验目的、实验内容和实验步骤做了比较系统的论述,对实验中常用仪器的原理、构造、操作规程做了较详细的介绍,各实验均附有思考题。按照体现教学主线、强调实验设计能力、重视实验方法研究的原则,力求将机械工程专业课程与实验课程有机结合,同时加入机器人等现代机械设计内容,突出具有创新意义和拓展研究性质的实验内容,为机械工程专业的教师和学生提供实验指导。

本书可作为高等工科院校机械类及近机类各专业的实验综合教材,也可作为成人高等工科院校师生及有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程综合实验教程/郭盛主编. —北京:科学出版社, 2016.6

机械类国家级实验教学示范中心系列规划教材

ISBN 978-7-03-048341-6

I. ①机… II. ①郭… III. ①机械工程-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 111629 号

责任编辑:毛莹 张丽花 / 责任校对:桂伟利

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:9

字数:220 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

机械工程教育的目标是培养复合型高级机械工程技术人才,使学生具备较高的工程素质,全面掌握相关的工程基础知识,具备较强的工程实践能力、创新能力和工程管理能力,实践性教学是最有效的途径。教学实验作为实践性教学的一部分,通过教学实验环节的训练将有助于未来的机械工程师获取前人的知识和经验,并且有助于创新和创造,对于机械工程专业学生的培养具有重要的意义。

本书是在收集了国内有关院校大量资料的基础上,结合北京交通大学机械工程专业实验教学的经验和改革成果编写而成的。按照教育部高等教育教学要求,在本书的编写过程中,力求框架结构、章节层次安排合理,重点、难点处理得当。此外,在处理好与理论课关系的前提下,建立了独立的实验教学体系,并大多自成章节,同时加大了设计性、综合性和创新性实验的比例。书中对实验原理和实验步骤做了比较系统的论述,对实验中常用的仪器,尤其是新型仪器设备的原理、构造、操作规程有较详细的介绍。

本书由郭盛担任主编,蔡永林担任副主编。各章编写分工如下:第1章由郭盛编写,第2章由李卫京编写,第3章由蔡永林编写,第4章由张欣欣编写,第5、6章由焦风川编写,第7章由张冬泉编写,第8章由徐双满和张秀丽编写。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2016年2月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 现代机械工程实验的目的与意义	1
1.2 现代机械工程实践教学体系及内容	3
1.3 现代机械工程实验教学的方法和要求	5
第 2 章 材料成形及技术测量基础实验	7
2.1 材料成形技术基础实验	7
2.1.1 铸造内应力的形成及测量分析实验	7
2.1.2 合金的流动性实验	8
2.1.3 金属锻造纤维组织观察实验	10
2.1.4 焊接接头金相组织分析实验	11
2.2 技术测量及误差分析实验	12
2.2.1 用干涉显微镜测量表面粗糙度实验	13
2.2.2 用电动轮廓仪测量表面粗糙度实验	15
2.2.3 用电感测微仪测量圆跳动实验	17
2.2.4 用正弦规测量锥体的锥度误差实验	18
2.2.5 用立式光学计测量塞规实验	20
2.2.6 用大型工具显微镜测孔心距实验	22
2.2.7 用内径指示表测量孔径实验	23
2.2.8 平面度测量实验	24
2.3 技术测量应用实验	25
2.3.1 刀具几何角度检测实验	25
2.3.2 切削要素对表面粗糙度的影响实验	28
2.3.3 齿轮齿圈径向跳动误差的分析与测定实验	30
第 3 章 现代制造技术实验	32
3.1 数控机床常用刀具、夹具实验	32
3.1.1 数控加工刀具认知实验	32
3.1.2 数控加工典型夹具的定位与夹紧实验	35
3.2 数控加工切削用量选取实验	37
3.2.1 数控铣切削用量选取实验	37
3.2.2 数控车切削用量选取实验	38
3.3 计算机辅助工艺设计编制实验	39
3.4 数控手工编程与试切实验	42
3.4.1 数控铣编程与试切实验	42

3.4.2 数控车编程与试切实验	44
3.5 计算机辅助数控编程实验	46
第4章 机械工程测试技术实验	48
4.1 压力传感器静态标定实验	48
4.2 扭矩测试系统设计实验	50
4.3 转速、温度及功率测试综合实验	52
第5章 液压与气动技术实验	55
5.1 液压、气动执行元件的拆装与使用维修、故障诊断实验	55
5.2 液压、气动控制阀的拆装与使用维修、故障诊断实验	59
5.3 液压系统性能实验	62
5.3.1 液压泵性能实验	62
5.3.2 增速回路实验	65
5.3.3 液压系统节流调速实验	66
第6章 机电一体化系统实验	70
6.1 机电一体化系统功能部件认知及应用实验	70
6.2 可编程控制器的结构和使用实验	75
6.3 自动化生产线虚拟设计及调试实验	79
第7章 制造装备及其自动化技术实验	85
7.1 工业机器人编程控制实验	85
7.1.1 工业机器人编程环境基础实验	85
7.1.2 工业机器人编程仿真实验	87
7.1.3 工业机器人编程控制实验	90
7.2 PLC 编程控制实验	94
7.2.1 熟悉 PLC 硬件及 STEP7 软件环境实验	94
7.2.2 MSM 2103 环境 PLC 编程控制实验	96
7.2.3 自动仓库和包装站点 PLC 控制实验	99
7.3 柔性制造系统综合实验	101
7.3.1 熟悉 SL-FMS 综合实验台认知实验	101
7.3.2 SL-FMS 综合自动化实验	105
第8章 机器人技术实验	108
8.1 引言	108
8.2 机器人基础实验	108
8.2.1 机器人创意设计与控制实验	108
8.2.2 移动机器人运动控制实验	112
8.3 工业机器人系统认知实验	116
8.3.1 UP6 型工业机器人本体认知与分析实验	116

8.3.2 IRB-120 型工业机器人认知及初始化实验	120
8.4 工业机器人控制与运用实验	126
8.4.1 UP6 型工业机器人示教控制及其运用实验	126
8.4.2 IRB-120 工业机器人程序控制及应用实验	129
参考文献	135

第1章 绪 论

机械工程专业培养目标可以描述为：“培养满足现代制造业发展需要，具备健全人格，掌握坚实的数学、外语、物理与计算机应用基础知识，具有机械设计制造及自动化的专门知识与技能、工程实践能力和可持续发展潜力，能够在科研部门、研究院所和企业等从事机械工程及自动化领域的工程设计、机械制造、技术开发、科学研究、生产组织和管理的复合型工程技术人才。”

上述培养目标达成的重要表现即使学生在毕业时具备“掌握工程基础知识和本专业的基本理论知识，具有系统的工程实践学习经历；了解本专业的前沿发展现状和趋势；具备设计和实施工程实验的能力，并能够对实验结果进行分析；掌握基本的创新方法，具有追求创新的态度和意识；具有综合运用理论和技术手段设计系统和过程的能力，设计过程中能够综合考虑经济、环境、法律、安全、健康、伦理等制约因素”等能力。

实现上述培养目标的重要达成手段和教学环节即实践教学。实验教学作为实践教学的重要组成部分，对于学习和验证专业理论知识、培养实践和创新能力、提高机械工程专业学生的能力和素质具有重要作用。

与上述培养目标相对应的是一个系列完整、包含机械工程专业主要知识环节的现代实验平台以及指导教材。但是目前，在高校人才培养工作中，实践教学和实验教学环节较为薄弱，严重制约了机械工程专业教学质量的提高和培养目标的达成。鉴于此，北京交通大学机电学院机械工程专业在原有实验教学的基础上，结合实践教学改革的成果，同时收集和借鉴国内兄弟院校的先进经验编写了本书。

本书结合机械工程专业认证的要求进行编写，按照体现教学主线、强调实验设计能力、重视实验方法研究的原则，力求将机械工程专业课程与实验课程有机结合，同时加入机器人等现代机械设计内容，突出具有创新意义和拓展研究性质的实验内容，为机械工程专业的教师和学生提供实验指导。

1.1 现代机械工程实验的目的与意义

人类在自身的发展过程中不断地感知、认知世界，为了探索和揭示事物变化的客观运动规律，人们采取的有效方法，除理论分析外，就是实验(试验)。在现代工程设计与制造领域，实验和测试是保证产品质量的重要手段，掌握工程实验和测试的方法是工程技术人员必备的素质。

机械工程是研究、设计、制造、使用、管理各类机械设备与装置的工程科学。所对应的工程实验主要是指针对机械工程学科领域内相关环节，人们利用科学仪器和设备等物质手段作用于研究对象，在纯化、简化、强化或模拟各种条件的情况下考察研究对象的实践方式和研究方法。

实验的基本要素为实验目标、输入条件、研究对象、状态信息和信息处理。

实验目标：对实验结果设定一个期望值或通过实验达到的目的，解决为什么要开展实验

的问题。

输入条件：实验的初始条件，设定实验环境。

研究对象：被测物体或实验研究对象。

状态信息：实验中被测对象的运动状态和能量变化信息，通过各种传感器获得。

信息处理：利用相关技术，将获得的状态信息进行处理，以便得到实验结果。

实验在机械工程技术研究中占有十分重要的地位。以机械产品为例，在产品方案设计、产品制造、成品鉴定等各个环节，技术人员都要进行相关的结构模拟实验、零部件及整机性能实验，甚至当产品投入市场还要跟踪调查，将损坏零件进行分析测量，以便改进产品。

通过实验可以达到对理论分析的补充和验证的目的。随着信息化和自动化程度的提高，现代机械工程设计更加依赖先进的设计方法和计算机虚拟技术。一个产品是否达到设计要求，需要通过实验和测试来验证。

通过实验可以达到为技术设计和研制提供数据资料和经验公式的目的。在传统的机械设计中，常常采用一些实验公式和经验公式(或表)；具有先进水平的产品不仅取决于先进的设计和制造，而且要具备先进的试验手段。因为仅仅依靠理论和资料进行设计与制造，不能准确提供产品的疲劳寿命和可靠性指标。因此，设计人员为摸清产品零部件的受力情况，需要进行一系列的电测应力实验和模拟工况实验，以达到设计要求。从某种程度上讲实验是工程设计的关键。

实验是检验技术成果的手段。现代机械产品往往凝聚多重技术成果，包括新技术、新材料、新工艺等。那么，其中的每一个环节就可能有潜在的缺陷。我们需要通过实验和测试找到这些缺陷，用科学的实验数据来论证产品的性能指标，直至实验结果达到设计标准才开始批量生产投放市场。

在现代机械工程设计和制造过程中，更加依赖实验环节。不论是虚拟实验还是真实实验，都可以帮助人们认识事物的本质。人们通过简化和纯化实验条件，借助仪器设备所制造的特殊条件，排除复杂因素中的次要干扰因素，找出主要因素，以便更容易地、精确地认识研究对象。同样人们通过强化对研究对象的作用条件，以期获得常规状态下难以得到的结果，以便更充分地认识产品的性能和规律。

综上所述，实验在机械工程领域具有十分重要的作用和意义。先进的实验技术和实验手段是衡量工程研究能力的标志，也是产品质量的重要保证。

不难理解，机械工程教育更加离不开实验环节。机械工程教育的目标是培养复合型高级机械工程技术人才，他们除了要具备思想政治素质、科学素质、文化素质和心理素质，还要具备较高的工程素质。工程素质(现代化工程意识、基础工程意识、实践能力、创新能力、经营管理能力)的培养目标是：树立现代工程观念，全面掌握相关的工程基础知识，具备较强的工程实践能力、创新能力和工程管理能力。

要做到强化工程素质培养，实践性教学是最有效的途径。教学实验作为实践性教学的一部分，它不仅承袭了一般工程实验的性质，而且承担着对未来工程师综合工程能力的培养和训练。通过教学实验环节的训练将有助于未来的机械工程师更快地获取前人的知识和经验，并且有助于创新和创造，对于机械工程专业学生的培养具有重要的意义。

现代机械工程实验系统组成如图 1-1 所示。

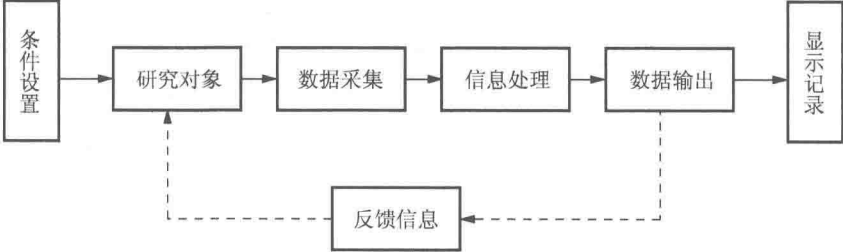


图 1-1 现代机械工程实验系统组成

1.2 现代机械工程实践教学体系及内容

高等机械工程教育是以提高学生机械工程综合设计能力和实践能力为中心而进行的。机械工程学科本身就是具有极强实践性的学科。对从事工程技术的人员来讲，工程本身就是实践，对学校来讲工程教育就是为实践做准备。检验工程教育效果的标准就是学生是否具备工程应用的实践能力。基于这一目标，在加强基础理论教学的同时，更要强化实践教学体系的建设，尊重实验教学的规律，使实验教学环节与理论教学环节的关系从附属关系变为并行关系，突出工程实践教学环节的重要地位。

机械工程实践教学应该包括实验教学、实习教学、综合设计实践教学、其他实践教学四大模块和三个层次，如图 1-2 所示。通过四大模块的教学环节的实施，使学生得到以下方面的训练。

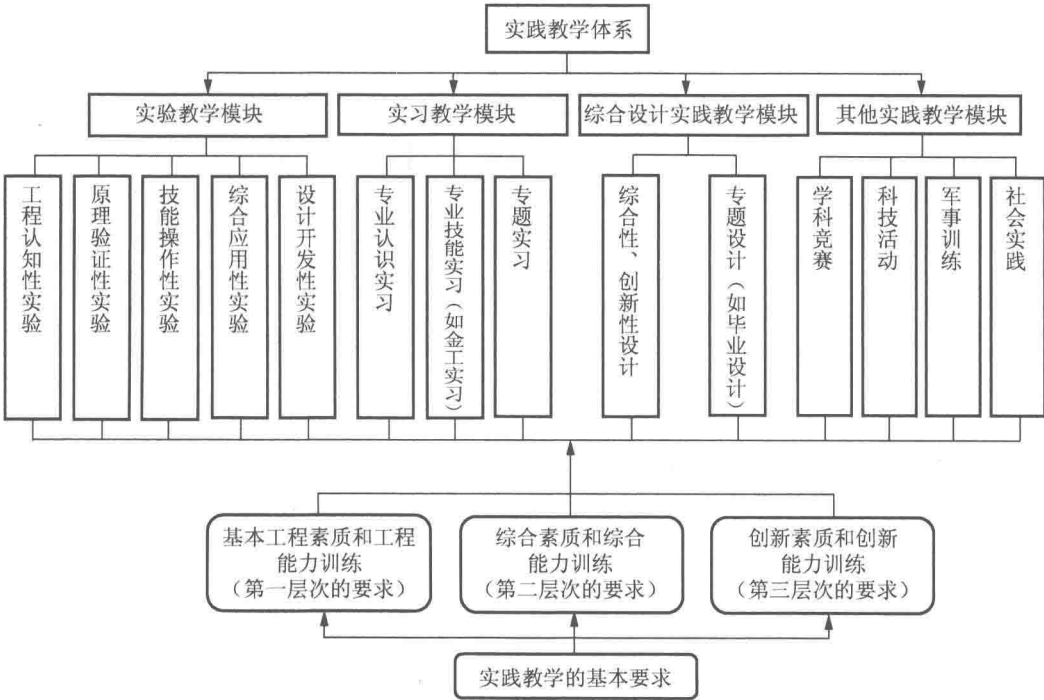


图 1-2 实践教学体系基本框架

1. 基本工程素质和工程能力训练

包括科学实验、观察能力、获取新知识和信息、外语和计算机基础的训练，主要通过实

验、认识实习、有关课程设计和上机等教学实践活动来实现。第一层次的实践教学基本要求为：应掌握有关实验装置、仪器仪表的操作规程并学会操作；掌握实验、测试、数据分析等研究技能；掌握有关工程设计程序、方法和技术规范以及图表绘制；建立工程概念、提高工程实践能力；能通过调查研究、参观访谈、文献检索等获取可利用的资料信息；熟练掌握一门外语和计算机语言。

2. 综合素质和综合能力训练

主要通过生产实习、社会实践、有关课程设计、毕业设计、设计性和综合性实验来实现。第二层次的实践教学基本要求是：培养学生严谨、求实、刻苦和敬业的精神；能综合应用所学基础理论知识和专业知识，解决一般工程技术问题；通过工程实践，完成工程师的基本训练，熟悉有关规程、手册和工具书，为今后独立工作打下基础；具有撰写调查报告、文件、技术总结、论文的能力，进行设计、施工、组织管理和方案的技术经济论证、分析、比较，初步具有独立的综合决策力；能运用一门外语阅读、翻译本专业外文资料；能独立操作使用常用计算机软件，具备一定的开发能力。

3. 创新素质培养和创新能力训练

主要通过综合性设计训练、设计性和综合性实验、学科竞赛和科技活动来实现。第三层次的实践教学基本要求是：根据学生的能力、个性和爱好，安排、设计和提供富有创造性、综合性的实践活动，使学生熟悉和了解创造性活动的一般方法和程序，培养和激发学生的创新思维和创新精神，创造性地掌握和运用所学的专业知识来解决新问题的能力或提出新设想。

如图 1-2 所示，第一层和第二层要求是基础，是实践教学必须确保的，第三层的实现具有一定的难度。根据这三个层次的要求，需要对各个模块的设置及内容做精心的设计和安排，建立一个优化整合的实践教学体系，明确各环节在这个体系中处于什么位置，每一环节均要从不同角度、不同方面体现这三个层次的教学要求，据此来安排实践教学内容。

机械工程实验教学贯彻以设计、制造为主线，通过四年的正规实验教学，使学生的基础工程综合能力得以提高。基础工程综合能力主要指：①基本实验操作能力；②动手能力；③创新意识和创新能力；④综合应用知识分析问题和解决问题的能力；⑤初步的科学实验研究能力。

专业培养计划要明确强调对学生的各种能力的培养需贯穿于大学四年的各个教学环节中，是不可分割的，但具体实施时考虑到能力的培养应遵守循序渐进的原则，每个阶段重点培养的能力侧重面是不同的，阶段能力培养目标如图 1-3 所示。

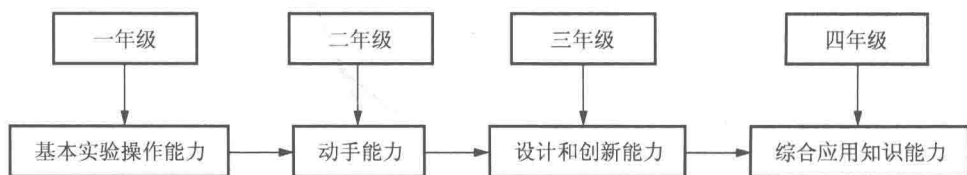


图 1-3 阶段能力培养目标

大学一年级、二年级阶段的实验教学侧重基本实验操作能力和动手能力的培养，主要依赖大学基础课程的实验环节和通识课程的实践环节，如物理实验、化学实验、电工电子实验、金工实习、专业认识实践等环节。机械工程专业实验教学侧重设计能力、创新能力以及综合应用知识能力的培养，主要依赖专业技术基础课程、专业课程、专业扩展课程、专业课程的教学环节。

基于对机械工程专业实践教学体系的设计，现代机械工程实验教程的内容主要由以下三

个部分组成。

1) 机械基础实验

介绍机械工程材料与制造技术基础知识, 包括材料成形技术基础实验、机械制造技术实验、技术测量及误差统计与分析实验等内容(第2章, 李卫京编写); 机械工程测试技术实验, 包括压力传感器静态标定实验、扭矩检测系统设计实验、转速、温度及功率检测综合实验等内容(第4章, 张欣欣编写)。

重点学习内容: 掌握有关机械工程的基本实验方法和数据处理方法, 学会对显微镜、传感器等实验仪器的操作。

2) 现代制造技术实验

现代制造技术实验, 包括数控机床常用夹具、刀具实验, 数控加工切削用量选取实验, 计算机辅助工艺设计编制实验, 计算机辅助数控编程实验等内容(第3章, 蔡永林编写); 制造装备及其自动化技术实验, 包括工业机器人编程控制实验、PLC 编程控制实验、柔性制造系统综合实验等内容(第7章, 张冬泉编写)。

重点学习内容: 掌握数控机床的基本操作、数控编程方法、CAD/CAM 以及 FMS 的综合应用。

3) 机械系统控制实验

介绍流体传动及控制实验(第5章, 焦风川编写)、机电一体化系统实验(第6章, 焦风川编写)、机器人运动与控制实验(第8章, 张秀丽、徐双满编写)。

重点学习内容: 掌握自动控制技术基本原理, 以机器人和 AS-100 教学实验系统为典型研究对象, 进行机电一体化技术的应用与实践。

以上三部分实验内容体现了机械工程三大核心技术内容, 即工程设计、加工制造、机电一体化技术。总体而言, 通过现代机械工程实验教程的学习, 学生应具备机械工程师的机械工程应用的实践能力, 同时具备应用实验平台验证理论知识及进行机械工程创新设计能力。

1.3 现代机械工程实验教学的方法和要求

机械工程实验教学侧重工程教育, 内容的设计要注重学生综合能力的培养, 这一目标的实现要依赖实验教学的实施方法。实验教学方法根据实验类型和目的的不同, 采用相应的教学方法, 见表 1-1。

表 1-1 实验类型与教学方法

实验类型	实验目的	实验方法和要求
工程认知性实验	了解和认识实验内容, 增强感性认识	以教师讲授为主, 教师做示范性演示, 学生以参观和视听为主
原理验证性实验	特定条件下验证特定的理论和现象, 加深对实验的工作原理的理解	有固定(规范)的实验步骤, 教师具体讲解和指导实验内容; 要求学生预习指导书, 按步骤做实验, 并得到正确的结果, 要求学生掌握实验仪器的使用
设计开发性实验	利用实验资源, 围绕一定的研究主题, 学习独立设计实验方案, 进行实验研究; 鼓励创造和探索	有一定的实验目的和要求, 学生根据实验资源的情况提出实验方案和方法; 独立完成实验过程并分析实验结果, 提交实验设计报告
综合应用性实验	学习多重知识的融合应用, 掌握不同技术在实验中的作用, 培养工程综合能力	教师明确提出实验目的, 学生要利用多重知识设计实验方案, 实验方案具有多个实验环节或多个人参与, 综合实验结果, 进行结果分析

实验教学具备探索性和拓展性,因此在实验教学过程中提倡师生双向能力提升并重的实验教学模式和教学要求。教学过程中的能力提升具有双向性,即教师实验教学能力的提升和学生通过实验教学获取知识、应用知识能力的提升。

对于教师来说,能力提升的主要内涵包括:实验教学过程能力的提升,实验教学内容及专业知识水平的提升两部分。其目标是能够通过高水平的专业知识准备,设计符合教学特点的科学教学模式,取得传授知识和传导能力两个方面的成功。对于学生来说,能力提升的主要内涵包括:自主精神、合作意识、责任感和信息收集能力、沟通能力、批判能力等方面的内在能力的提升,以及专业知识的系统理解、掌握、应用乃至创造能力的提升。其目标是通过能力的提升,具备发现问题、自主学习并且解决问题的素质和能力,成为专业合格人才。为达到上述的能力提升目标,结合教学实践和前期研究成果,针对本书所涉及的机械工程专业实验内容,提出下述两类基于能力提升的实验教学模式。

1. 回溯式主动学习能力提升的实验教学模式设计

机械工程实验所涉及的知识体系中各部分具有相对独立性,例如,有关材料、制造、液压、机电控制等内容具有明显的独立特点,教学过程存在条块分割的问题。教学经验告诉我们,学生在学习新的独立内容的同时,将很快忘记原有的内容。在以往教学中,这一问题,将通过严格按照实验手册完成实验内容的教学模式进行解决,但是,对于学生能力的提升不会发生实质性效果。

合理设计具有研究性质和综合性质的实验,使学生在学习过程中始终感受到知识体系,感知到随着学习进程的推进,所掌握的机械元素不断增加,解决机械工程问题的手段随之增多,且各类机械实验的构成、特点、分析方法、应用场合等在整体体系内有所区分,在学习后一阶段的内容时,通过研究性教学手段和教学模式的设计,促使学生自觉追溯前一阶段的学习,与新讲授的机构及相关知识进行比较性自主学习,有效破除机械工程专业教学中存在的部分内容分割,克服学生在应用机械知识解决实际问题时缺乏整体解决能力的困难。

2. 激发式创造能力提升教学模式设计

机械工程专业教学内容繁多,课程体系庞大,任何一个课程的内容,一旦涉及真实的工程问题,必然会延伸出新的内容,甚至是目前科学研究的前沿内容。在解决和完成实验内容的同时,必须追溯和综合所学的机械工程专业理论,结合现代实验手段,进行深入研究和解决,不仅使学生的能力得以提升,也使教师的能力有很大程度的提升,达到教学相长的效果。同时提升实验教师的理论水平和科研水平。

上述效果的产生,需要在实验教学过程中精心设计出一种可以激发学生进行创造能力提升的实验教学模式。在实验教学过程中,通过细致的示例,以及研究相关的参考文献,使学生感受到,目前的学习不仅仅是在完成实验,而且也有创造和创新,距离一流的研究不是那么遥不可及,激发学生深度学习的热情,提高探索欲望与创造能力。并且有方向性地付出时间和精力,在学习过程中感受科学研究的乐趣。这对于少数具有天赋且对机械工程问题怀有极大兴趣的优秀学生具有重要意义。而上述教学效果的产生,必然要求实验教师和指导教师具有相应的理论知识,熟悉机械工程前沿研究内容,且具备较强的科研能力和动手能力,这样才能够实质性地指导学生解决问题和完成具有创新意义的实验。这也必然使得实验教师自发提高科研水平,实现师生能力双向提升的目标,从而达成机械工程专业的培养目标。

第2章 材料成形及技术测量基础实验

本章共三部分，第一部分是材料成形技术基础实验；第二部分是技术测量及误差统计与分析实验；第三部分是技术测量应用实验。材料成形技术是工业制造的基础，材料成形的质量对后续零件的机加工质量产生重要影响。因此，通过材料成形技术的相关实验，使学生加深有关材料成形基本理论的理解，初步掌握铸造性能、锻造组织分析、焊接组织分析等材料成形基本知识。零件机械加工选用的毛坯来自于材料成形工艺，机械零件的尺寸及公差决定了零件是否合格。通过对机械加工零件的测量和误差分析，能够反向指导零件的机械加工精度及控制。通过本章实验，巩固和深化课堂理论知识，掌握选择毛坯、零件制造性能以及误差分析的能力，掌握常用的技术测量方法。

2.1 材料成形技术基础实验

2.1.1 铸造内应力的形成及测量分析实验

1. 实验目的

- (1) 了解坩埚炉熔炼原理及工艺过程。
- (2) 测试并计算应力框产生的铸造热应力。
- (3) 分析应力框产生内应力的原因，以及应力对铸件质量的影响。

2. 实验设备和工具

- (1) 坩埚电阻炉。
- (2) 应力框模具。
- (3) 潮模砂。
- (4) 手工锯。
- (5) 游标卡尺、卷尺。

3. 实验原理

根据 T 形杆冷却过程中形成“粗杆受拉、细杆受压”的原理，设计如图 2-1 所示的应力框。合金浇铸并冷却后，会在应力框的粗、细杆中形成大小和方向不同的应力。将粗杆锯断，使粗杆收缩受到的约束得到释放，应力框的尺寸会发生变化。测量中间应力杆的尺寸变化，根据胡克定律，便可计算出应力框中各应力杆的大小。应力框尺寸如图 2-1 所示，采用潮模砂造型，在电阻坩埚炉中熔炼 ZL101 合金，浇铸应力框。

4. 实验步骤及方法

- (1) 手工造型应力框铸型，应力框铸型如图 2-1 所示。
- (2) 估算应力框需要的重量，称取适量(约 3kg) ZL101 铝合金，将表面污物清理干净，置于坩埚电阻炉中升温至 800℃熔化，熔炼并除渣。
- (3) 测温达到浇铸温度 720℃后，进行应力框的浇铸。注意浇铸平缓，防止包裹气体及防止冲击浇道。

(4) 冷却, 清理应力框铸型黏砂。

(5) 将中间的粗杆打两点标志 A 和 B, 测量两点距离 L_0 , 然后将中间杆锯断, 再测量两点的距离 L_1 。

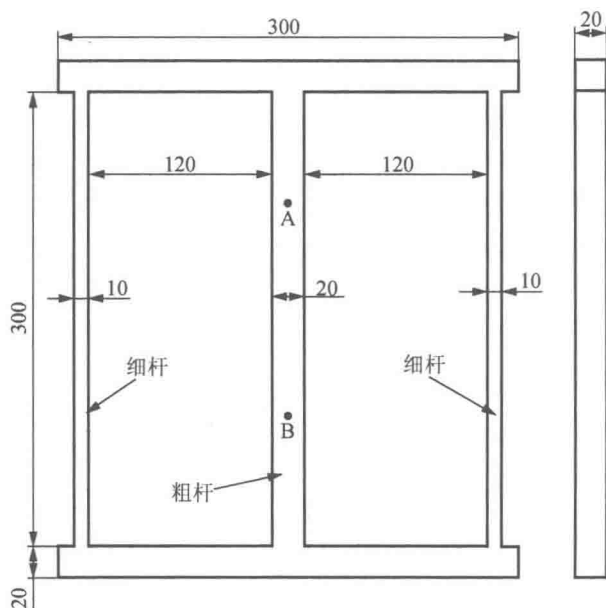


图 2-1 应力框铸型

(6) 根据测量结果, 计算杆中的铸造应力。

$$\sigma = E\varepsilon = E(L_1 - L_0) / L \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2-1)$$

式中, E 为弹性模量, ZL101 的弹性模量为 $72.4 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$; L 为中间杆的长度, mm; ε 为 ZL101 的应变; L_0 为初始时刻粗杆上两标志点的距离; L_1 为中间杆锯断后粗杆上两标志点的距离。

5. 实验报告

- (1) 简述坩埚炉熔炼原理以及熔炼铝合金过程中容易出现的质量问题。
- (2) 画出应力框图, 标出细杆和粗杆中存在的铸造应力性质(拉应力为+, 压应力为-)。
- (3) 测量并计算铸造应力。
- (4) 测量结果: L_0 、 L_1 、 L ; 计算结果: σ 。
- (5) 分析应力框产生的原因和铸造应力对铸件质量的影响。

2.1.2 合金的流动性实验

1. 实验目的

- (1) 了解流动性的概念。
- (2) 熟悉液态合金的测温方法。
- (3) 了解合金的化学成分和浇铸温度对金属液态充型能力和流动性的影响。
- (4) 熟悉采用螺旋形试样测定铸造金属液的流动性并评定其充型能力。

2. 实验设备和工具

- (1) 坩埚电阻炉。

- (2) 螺旋形试样模样(图 2-2)。
- (3) 热电偶测温仪。
- (4) 潮模砂。
- (5) 造型工具。
- (6) 浇铸工具。
- (7) 游标卡尺、卷尺。

3. 实验原理

充型能力是指金属液充满型腔并获得轮廓清晰、形状准确的铸件的能力。充型能力主要取决于液态金属的流动性,同时又受到相关因素的影响。金属液的流动性是金属液本身的流动能力,用规定铸造工艺条件下流动性试样的长度来衡量。流动性与金属的成分、杂质含量及物理性能等有关。

采用如图 2-2 所示的螺旋形试样,根据不同浇铸温度下流动性不同的原理,在不同温度下浇铸螺旋形试样,测量螺旋形试样的长度,确定流动性并进行分析比较。ZLL-1500III型螺旋线合金流动性试样如图 2-2 所示,采用砂型手工造型。

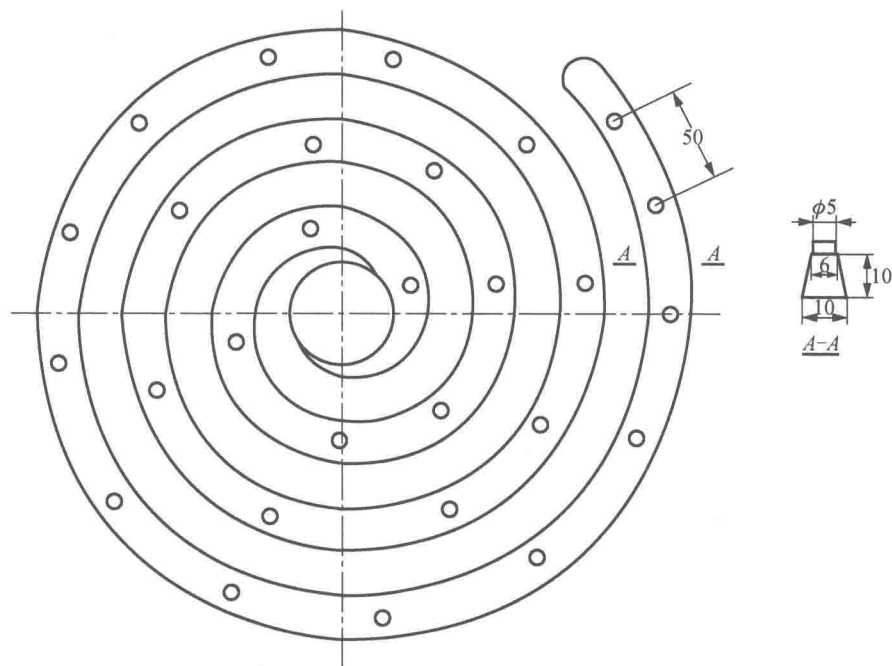


图 2-2 螺旋形试样模样

4. 实验步骤及方法

- (1) 造型。手工造型制造流动性试样铸型(螺旋形试样,如图 2-2 所示)。
- (2) 合金熔化保温。在电阻坩埚炉中熔化 ZL101 合金。用热电偶测温仪测量合金温度,设定三组不同的温度,分别在 750℃、700℃、650℃下进行流动性试样的浇铸。
- (3) 开型、落砂。待试样冷却凝固后,即可开型并落砂。
- (4) 测定流动性。完全冷却后,分别测量不同浇铸温度下螺旋线试样的长度,判断流动性。

5. 实验报告

(1) 绘制浇铸温度及流动性曲线如下：

浇铸温度 $T/^{\circ}\text{C}$	750	700	650
螺旋试样长度 L/mm			

- (2) 简述影响流动性的因素，重点分析浇铸温度对合金流动性的影响。
- (3) 分析讨论流动性对铸件质量的影响，以及提高合金流动性的方法措施。

2.1.3 金属锻造纤维组织观察实验

1. 实验目的

- (1) 观察金属热变形后形成的纤维组织及其分布情况。
- (2) 分析纤维组织对金属力学性能的影响。

2. 实验设备和工具

- (1) 实验材料为中碳钢。
- (2) 样品：道钉纵断面样品、盘形齿轮坯纵断面样品、弯曲类锻件纵切面样品。
- (3) 金相砂纸、硝酸酒精浸蚀液。
- (4) 金相抛光机。

3. 实验原理

金属在再结晶温度以上产生的塑性变形，称为热变形，例如，锻造、热轧等。锻造及热轧工艺可改善原材料的组织 and 性能。

(1) 打碎柱状晶，改善宏观偏析，把铸态组织变为锻态组织，并在合适的温度和应力条件下，焊合内部孔隙，提高材料的致密度。

(2) 铸锭经过锻造形成纤维组织，进一步通过轧制、挤压、模锻，使锻件得到合理的纤维方向分布。

- (3) 控制晶粒的大小和均匀度。
- (4) 改善第二相(如莱氏体钢中的合金碳化物)的分布。
- (5) 使组织得到形变强化或形变-相变强化。

由于上述组织的改善，锻件的塑性、冲击韧度、疲劳强度及持久性能等也随之得到了提高。热变形最原始的坯料来自于金属铸锭，铸锭中含有多种夹杂物，且多分布在晶界上，既有塑性夹杂物(如 FeS 、 MnS 等)，也有脆性氧化物(如 FeO 、 SiO_2 等)。在产生热变形时，晶粒沿变形最大方向伸长，塑性夹杂物也随着一起被拉长，脆性氧化物被打碎呈链状分布。通过再结晶，晶粒被细化，而夹杂物却依然呈条状和链状被保留下来，从而形成了纤维组织，如图 2-3 所示。

锻造比是锻造生产中代表金属变形程度大小的一个参数。随着锻造比的增加，纤维组织的形成越加明显，如图 2-3 所示上下砧板右侧组织。由于纤维组织的形成，使金属的力学性能呈现方向性，如纵向(顺纤维方向)的塑性和韧性高于横向(垂直纤维方向)，至于强度，两个方向上差别不大。但当锻造比过大时，锻件的力学性能便不再升高，而是使得各向异性增加。

由于纤维组织的稳定性很高，无法通过热处理的方法加以消除，只能再次通过锻造方法使金属在不同的方向上变形，才能改变纤维组织的方向和分布状况，因此，为了获得具有最