



面向 21 世纪 课 程 教 材  
Textbook Series for 21st Century

# 现代机械工程 基础实验教程

第二版

陈秀宁 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材  
Textbook Series for 21st Century

# 现代机械工程 基础实验教程

## 第二版

浙江大学 陈秀宁 沈萌红 周继烈 丁启全  
顾大强 周银生 蒋晓夏 编著  
东南大学 钱瑞明 王兴松  
重庆大学 李俊 任亨斌 陈国聪  
陈秀宁 主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

## 内容提要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。

本书是为适应新世纪高层次创新人才培养的需要,在机械基础系列课程实验教学改革研究和实践的基础上编写并在第一版的基础上修订而成的。本书按实验自身系统引导学生掌握现代机械工程基础实验的基本原理与知识、基本技能与方法。

全书共 12 章,主要内容有三大部分:一是基础和支撑部分,包括导论,现代机械工程基础实验常用的仪器设备,实验数据采集和误差分析及处理;二是实体部分,包括工程材料的组织性能测试与分析,机械零件几何精度和传递链精度的测量与分析,机械创新设计实验,机械运动和动力参数的测试与分析,力学性能和工作能力的测试与分析,机械摩擦、磨损和润滑的测试与分析,液压、气动元件及系统性能测试;三是拓展部分,包括机电一体化系统实验,实验设计及虚拟实验。全书还提供若干自选设计实验。

本书可作为高等学校的教材,也可供有关教师、工程技术人员和科研人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代机械工程基础实验教程/陈秀宁主编. —2版.  
—北京:高等教育出版社,2009.5  
ISBN 978-7-04-026287-2

I. 现… II. 陈… III. 机械工程-实验-高等学校-教材 IV. TH-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 045735 号

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
总 机 010-58581000  
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京中科印刷有限公司

购书热线 010-58581118  
免费咨询 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landraco.com>  
<http://www.landraco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16  
印 张 22  
字 数 410 000

版 次 2002 年 8 月第 1 版  
2009 年 5 月第 2 版  
印 次 2009 年 5 月第 1 次印刷  
定 价 28.20 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

物料号 26287-00

## 第二版前言

纵观人类从使用原始工具到今天的智能机器人、航天飞机等现代机械,无不历经科学实验的求索和验证。科学实验是理论的源泉、科学的基础、发明的沃土、创新人才的育床。

实验教学是高等理工科教学的重要组成部分,它不仅是学生获取知识的必经之路,而且对培养学生的学风和素质、实验工作能力、科学研究能力和创新能力均至关重要。

机械基础系列课程实验教学的现状与新世纪高层次创新人才的培养要求差距甚大,迫切需要加大改革力度。许多高校十分重视并积极试点改变过去那种把实验附属于相关机械课程的做法,而按实验自身系统优化整合、单独设置机械工程实验课,反映时代特征和创新理念,采用模块结构分层次安排实验教学。在教育部机械基础课程教学指导组和教改立项课题组的领导与支持下,组织浙江大学、东南大学、重庆大学的教师编写本书,作为面向21世纪机械基础系列课程一种新实验体系的教材。本书第一版自1992年出版以来,受到广大师生、工程技术人员以及有关部门专家和读者的热情支持,实践表明其基本思路、引领方向和总体安排符合改革要求,对学生机械基础实验能力和素质的培养与提高卓有成效,越来越广泛地得到引用和辐射。随着当前教育改革和科学技术的深入发展,特别是培养高素质创新人才的需要,本书修订的第二版被列为教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书旨在培养学生掌握现代机械工程基础实验的基本原理与知识、基本技能与方法。编写中注意处理现代与传统、创新与继承、基本与拓展、集中与分散的辩证关系;强化公共性、淡化专用性;采用多模式和可拆加递推的结构,便于不同学校、不同层次要求按实际情况选用。本次修订保持了第一版特色,并对导论、机械创新设计实验、机械摩擦磨损实验、机电一体化系统实验、实验设计、虚拟实验以及实验思考创意、实验技术发展等内容进行了较多的充实与拓展。

本书第1章由浙江大学陈秀宁修订;第2章由重庆大学任亨斌、陈国聪修订;第3章由东南大学王兴松修订;第4章由浙江大学周继烈修订;第5章由浙江大学丁启全修订;第6章、第9章由浙江大学顾大强修订;第7章由东南大学钱瑞明修订;第8章由重庆大学李俊修订;第10章由浙江大学蒋晓夏修订;第11章、第12章由浙江大学沈萌红修订。全书由陈秀宁主编。

吴鹿鸣教授、吴克坚教授、戴同教授以及中科院首届海外评审专家、日本立

命馆大学陈延伟教授等专家、学者对本书的编写与修订提出了中肯的建议。吴碧琴先生为本书整理书稿并作润色。编著者在此一并致以衷心的感谢。

限于编著者水平,书中误漏和不妥之处恳请专家和读者给予批评指正。

编著者

2008年8月

# 目 录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第1章 导 论                  | 1   |
| 1.1 实验的内涵及其重要性           | 1   |
| 1.2 加大力度改革实验教学           | 2   |
| 1.3 建立机械基础实验课程新体系的基本思路   | 3   |
| 1.4 机械基础实验课程的要求与精进       | 5   |
| 第2章 现代机械工程基础实验常用的仪器设备    | 9   |
| 2.1 概述                   | 9   |
| 2.2 常用传感器                | 10  |
| 2.3 常用指示和记录装置            | 41  |
| 第3章 实验数据采集和误差分析及处理       | 49  |
| 3.1 概述                   | 49  |
| 3.2 实验数据的采集              | 49  |
| 3.3 模数和数模转换              | 54  |
| 3.4 测量误差分析与处理            | 64  |
| 3.5 实验数据处理               | 71  |
| 第4章 工程材料的组织性能测试与分析       | 77  |
| 4.1 概述                   | 77  |
| 4.2 金相显微分析基础实验           | 81  |
| 4.3 钢的硬度测试               | 86  |
| 4.4 金属的塑性变形与再结晶实验        | 91  |
| 4.5 铁碳合金平衡组织的显微分析        | 94  |
| 4.6 常用铸铁的显微分析            | 97  |
| 4.7 钢的普通热处理实验            | 100 |
| 4.8 钢经热处理后不平衡组织的显微分析     | 103 |
| 4.9 计算机辅助金相定量分析          | 107 |
| 4.10 选材及热处理综合实验          | 110 |
| 第5章 机械零件几何精度和传动链精度的测量与分析 | 113 |
| 5.1 概述                   | 113 |
| 5.2 机械零件几何精度测量的基本概念      | 115 |

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| 5.3        | 长度的测量 .....                   | 120        |
| 5.4        | 表面粗糙度的测量 .....                | 128        |
| 5.5        | 形状和位置误差的测量 .....              | 135        |
| 5.6        | 螺纹测量 .....                    | 140        |
| 5.7        | 齿轮测量 .....                    | 146        |
| 5.8        | 传动链精度的测量与分析 .....             | 155        |
| <b>第6章</b> | <b>机械创新设计实验 .....</b>         | <b>168</b> |
| 6.1        | 机械的发展与创新展示 .....              | 168        |
| 6.2        | 机械装拆、测绘与反求设计创新实验 .....        | 172        |
| 6.3        | 机构创意设计实验 .....                | 178        |
| 6.4        | 人机工程创新设计实验 .....              | 187        |
| 6.5        | 自选机械创新设计实验 .....              | 190        |
| <b>第7章</b> | <b>机械运动和动力参数的测试与分析 .....</b>  | <b>193</b> |
| 7.1        | 概述 .....                      | 193        |
| 7.2        | 机构运动简图测绘与分析实验 .....           | 200        |
| 7.3        | 机构运动参数测定与分析实验 .....           | 202        |
| 7.4        | 凸轮机构凸轮轮廓检测与从动件运动规律分析实验 .....  | 204        |
| 7.5        | 渐开线直齿圆柱齿轮展成实验 .....           | 207        |
| 7.6        | 渐开线直齿圆柱齿轮几何参数测定与分析实验 .....    | 209        |
| 7.7        | 回转件动平衡实验 .....                | 214        |
| 7.8        | 平面机构惯性力平衡实验 .....             | 217        |
| 7.9        | 自行设计机器周期性速度调节实验 .....         | 222        |
| <b>第8章</b> | <b>力学性能和工作能力的测试与分析 .....</b>  | <b>223</b> |
| 8.1        | 概述 .....                      | 223        |
| 8.2        | 带传动的滑动及效率实验 .....             | 224        |
| 8.3        | 液体动压径向滑动轴承实验 .....            | 229        |
| 8.4        | 齿轮传动实验 .....                  | 237        |
| 8.5        | 螺栓连接特性实验 .....                | 243        |
| 8.6        | 自行设计齿轮的接触疲劳实验 .....           | 247        |
| <b>第9章</b> | <b>机械摩擦、磨损和润滑的测试与分析 .....</b> | <b>251</b> |
| 9.1        | 概述 .....                      | 251        |
| 9.2        | 面接触摩擦、磨损实验 .....              | 260        |
| 9.3        | 球摩擦、磨损实验 .....                | 262        |
| 9.4        | 环块摩擦、磨损实验 .....               | 264        |

|               |                             |            |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 9.5           | 销盘摩擦、磨损实验 .....             | 266        |
| 9.6           | 磨粒分析实验 .....                | 267        |
| 9.7           | 自行设计摩擦、磨损实验 .....           | 269        |
| <b>第 10 章</b> | <b>液压、气动元件及系统性能测试 .....</b> | <b>271</b> |
| 10.1          | 概述 .....                    | 271        |
| 10.2          | 液压传动综合实验台 .....             | 274        |
| 10.3          | 液压传动基础实验 .....              | 275        |
| 10.4          | 液压系统节流调速实验 .....            | 278        |
| 10.5          | 溢流阀静、动态特性实验 .....           | 279        |
| 10.6          | 变量叶片泵静、动态特性实验 .....         | 281        |
| 10.7          | 气动控制系统实验 .....              | 283        |
| <b>第 11 章</b> | <b>机电一体化系统实验 .....</b>      | <b>286</b> |
| 11.1          | 概述 .....                    | 286        |
| 11.2          | 检控信息类型及其输入输出 .....          | 287        |
| 11.3          | 机电一体化检控系统 .....             | 291        |
| 11.4          | 伺服系统的常用执行机构 .....           | 301        |
| 11.5          | 机电一体化系统顺序控制实验 .....         | 303        |
| 11.6          | X-Y 平台控制实验 .....            | 306        |
| 11.7          | 工业机器人实验 .....               | 308        |
| <b>第 12 章</b> | <b>实验设计及虚拟实验 .....</b>      | <b>317</b> |
| 12.1          | 实验设计 .....                  | 317        |
| 12.2          | 虚拟实验 .....                  | 326        |
| <b>参考文献</b>   | <b>.....</b>                | <b>340</b> |

# 第1章 导 论

## 1.1 实验的内涵及其重要性

广义而言,实验是根据一定目的、运用必要的手段、在人为控制的条件下,观察研究事物本质和规律的一种实践活动,它是科学认识的基础,又是判断认识是否具有真理性的标准。

实验一般多指科学实验,即自然科学实验。科学实验是根据一定目的,运用仪器设备等物质手段,在人为控制的条件下,模拟自然现象进行研究的方法,以认识自然界事物的本质和规律为目的和任务,包括实验者、实验手段和实验对象三要素。其特点是:可以纯化、简化或强化和再现科学研究对象,延缓和加速自然过程,为理论概括准备充分、可靠的客观依据,可以超越现实生产所及的范围,缩短认识周期。随着科学技术的发展,科学实验的范围和深度不断拓展和升华,科学实验具有越来越重要的作用,成为自然科学理论的基础;当然,科学实验离不开科学理论的指导,科学理论对科学实验具有巨大的推动作用。

科学发展的历史表明:许多伟大的发现、发明和突破性理论的产生莫不是来自科学实验。纵观机械的发展和创新,人类从使用原始工具到原始机械、古代机械、近代机械乃至今天的智能机器人、航天飞机等现代机械,无一不是历经科学实验的探索和验证。这里摘引一些文献从6位华裔科学家荣获诺贝尔奖的成功经历观察和思考自然科学成就与实验的关系。李政道和杨振宁在1956年提出李-杨假说“在基本粒子间的弱相互作用是不守恒的”,被另一华裔女实验物理学家吴健雄通过大量的实验证明后而获得1957年诺贝尔奖。在实验室里夜以继日工作了两年多的丁肇中于1974年11月向全世界宣布,他的小组经过艰苦、复杂的实验发现了一种新的基本粒子——J粒子,这项突破发现使他获得了1976年诺贝尔物理奖。朱棣文以实验物理的方法发展出激光冷却和捕捉原子的方法而获得1997年诺贝尔奖。李远哲1967年在哈佛大学从事分子动力学研究,自己设计和动手,搭建了一台交叉分子束实验装置,这项工作为他日后获得诺贝尔奖奠定了基础。崔琦在贝尔实验室工作,因发现并解释了电子量子流体这一特殊的现象,于1998年获得诺贝尔物理奖。诺贝尔奖被公认为代表自然科学的最高水平,据文献统计,诺贝尔物理奖自1901年以来的91个奖项中,72%

以上是授予实验项目的。实验工作对理论性极强的物理学彰显得如此重要,对实践素质和能力要求更高的工科学生包括机械专业的学生来说,其重要性就更不言而喻了。在素质教育中强调要培养学生的实践能力、想象力和创造性,实验正是培养这些能力极好的育床。

实验是将新思想、新设想、新信息转化为新技术、新产品的孵化室,有条件的地方甚至是高科技转化为市场的中试基地,著名的贝尔实验室就是这种基地的典型代表。高校的绝大多数科研成果和高科技产品均是在实验室里通过实验研究而诞生的。科学实验是探索未知、推动科学发展的强大武器,对经济持续发展、综合国力和国防实力的提高具有重大的深远和现实意义。

科学实验是理论的源泉、科学的基础、发明的沃土、创新人才的育床。

## 1.2 加大力度改革实验教学

综上所述,实验在人类文明的进程中的地位 and 重要性毋庸置疑,已经得到举世公认。实验教学是理工科教学中重要的组成部分,它不仅是学生获得知识的重要途径,而且对培养学生的学风和素质、实际工作能力、科学研究能力和创新能力具有十分重要的作用;对体现知识、能力、素质并重的教学思想,即实现“KAQ 培养原则”起着关键作用。

自 1980 年以来,世界机械工业产值达到世界工业产值的 1/3 以上,并一直维持这一水平。历史一再表明:机械工业与机械工程,不仅是经济建设与社会发展的支柱产业与支柱学科之一,而且是基础产业与基础学科之一。近几十年来,随着科学技术的急速发展,机械工业与机械工程发生了极为深刻而广泛的变化,这些变化也深刻地影响着其他部门与学科。历史还一再证明:机械类专业人才需要量最大,不仅为机械类部门服务,而且这些人才在进一步学习其他有关专业知识后将成为相关部门的重要力量。

机械基础系列课程,如工程材料、互换性技术测量、机械原理、机械设计、液压传动,是机械类本科教学提高机械学科起点、打好机械基础的重要课程,其教学内容和体系的改革是涉及和影响专业的关键,它关系到所培养的机械类人才是否具有面向 21 世纪高层次人才所需的创新能力与素质。编者对其实验教学的现状进行了广泛的调研。当前多数院校基本上能开出原课程大纲所列的几个实验,虽然近几年来实验教学和实验室条件有不同程度的改善,但必须清醒地看到仍较普遍存在以下问题:① 所开设的实验多为常规性传统实验,内容较为陈旧;② 实验手段落后,不能反映当代实验技术的发展;③ 实验侧重于验证书本理论;学生不能从实验中探求未知、进行研究和开拓;④ 实验题目和时间受硬性规定限制,学生不能自主选择;⑤ 实验方案和步骤均由指导书确定,学生只能照

搬执行;⑥ 实验台套数少,实验过程中学生参与水平低,动手机会少;⑦ 实验仅作为课堂教学的附属,课程成绩也不能反映学生的实验能力和水平;⑧ 各课程的实验自成一体,没有从实验整体优化要求和素质培养出发形成机械基础课程的整体实验教学体系。

上述问题的存在导致实验本身缺乏吸引力,从而挫伤了学生进行实验的积极性和主动性,客观上助长了重理论、轻实验的错误观点,扼杀了学生的个性发展和创造性,极大地影响和降低了实验教学应有的效果和水平。特别是实验过程中没有提供实验设计研究的条件,所以也就谈不上学生通过实验探求未知,培养研究能力和创新能力。上述问题的存在反映了传统实验教学的严重弊端和对实验教学功能要求与定位认识上的差距,其实质是培养人才的教学思想和观念的差距。实验教学的现状与面向 21 世纪培养高层次机械人才的要求差距很大。现在已是 21 世纪,世界正步入知识经济和技术创新的时代,机械基础课程实验体系改革非常迫切,应加大力度。

### 1.3 建立机械基础实验课程新体系的基本思路

#### 1. 总框架

突破原有学科与课程界限,以机械基础实验方法自身的系统为主线建立实验教学新体系。把实验由附属于相关机械课程改为按实验自身体系独立设置机械工程实验课,成绩单独考核和记分。以先进性、创造性、实践性作为准则拟定实验课程教学大纲,采取模块结构分层次教学。重视实验内容由“单一型”、“局部型”向“综合型”、“整体型”拓展;实验方法由“示范型”、“验证型”向“参与型”、“开发型”拓展;重视实验教学与科研、生产相结合。增加实验内容和选题的柔性及开放性。摒弃“抱”着学生走,改进实验指导方法,体现教师导学、学生自学实践和探索。改革传统实验与开拓新型实验。撰写有特色的实验教材。建设机械基础实验实践基地与胜任面向 21 世纪实验教学高水平的师资队伍。

#### 2. 模块结构与分层次教学

将机械基础与专业实验组成机械工程实验,分几个学期开设。采取模块结构分层次教学,有计划地科学优化组合,对学生进行机械实验原理、测试技术、调试技术、数据采集、误差分析及处理、实验设计等内容的实验技术理论和实验技能、素质与能力的教育与培养。

机械基础实验分为基本实验与实验设计研究两个层次。机械基础基本实验有普通型和提高型两个档次,提高型实验含有一定的实验设计 and 研究量。一般认为当前普通型与提高型二者的实验学时比例约 1:1,数量比例约 3:1 较为适宜。

在学生掌握基本实验的基础上,对需应用多种技术、难度和工作量大的,可在机械基础系列课程后期开设“机械实验设计研究”课。它属于综合性大型实验选修课,要求学生根据实验专题(如火车轮与铁轨摩擦磨损实验研究,机构或结构改进创新实验研究)查阅资料,确定方案,选用仪器和装置完成实验设计、调试、数据测定及处理,撰写有分析的实验设计研究报告。通过实验培养学生的自学能力、研究能力、思维能力、动手能力、表达能力以及组织管理和独立工作能力。每个专题参加学生一般不得超过4人。

### 3. 瞄准先进性、创造性、实践性

机械基础实验课程无论是基本实验还是实验设计研究,都必须瞄准先进性、创造性、实践性。实验的先进性反映在实验设备、实验内容、实验手段以及实验教学思想和方法的先进性上。实验设备先进是硬件保证。实验内容应在某种程度上反映机械学科的发展方向,通过在实验中引入 PLC(可编程控制器)控制和机电一体化,采用电算和 CAT(计算机辅助实验)技术。一定要将实验从为了验证书本理论以及注入式、封闭式的禁锢中解放出来,鼓励独立构思实验方案,实现必做实验与选做实验结合并行,增加实验内容和选题的柔性 with 开放性,发展学生个性,为学有余力的学生提供更多、更好的锤炼机会,可采取预约实验时间和场地以及创造条件“全天候”开放实验,在保证人身和设备安全的基础上放手让学生自主实验。实验中要鼓励和培养学生的创造性,充分发挥想象力,允许“标新立异”,提出前人所未有提出的新理论、新方法、新技术,并给学生以必要的指引。

### 4. 改革传统实验与开拓新型实验

陈旧的实验内容和装置必须改革,但要对实验装置在短期内进行全面、大规模的更新是不现实的。如何从现有条件出发进行合理构思,以充分发挥传统实验的潜能,对实验新体系的启动、运转具有重要意义。事实上,对于传统实验的任何一个具体实验而言,它们除了包括可进行验证性和演示性实验功能以外,还包含其他更多的信息载体,这就为在传统实验装置中开发更先进的实验以及体现更先进的教学思想提供了基础。至少可以在以下几个方面进行深层次的挖掘:① 突出实验设计这一重点,使得原先类型不同的装置作为不同设计目标的具体实现而成为目标反求技术的具体载体;② 在可能的条件下,允许学生对实验装置的有关部分进行组装和改造;③ 引进先进的数据采集和数据处理手段,例如建立信号转换接口、实现计算机技术在机械基础实验上的应用等。

新型实验包括两个方面,即新的内容、原理和实验方法的实验以及允许学生实现自己新构思的实验。这两类实验,前者侧重点在于如何使学生掌握各种新实验;后者侧重设计研究,显然要求更高,难度更大。机械类实验具有较强的硬件依存性,而所涉及的硬件又缺乏机动性,要根据机械基础实验课程的具体内容并在条件允许的情况下充分考虑超前设计的可能性。在此基础上,提取其中有

关的共性问题,选取具有代表性的实验类型并建立可在一定条件下进行组装的实验模块,以实现在节省经费的同时又不影响新型构思这一基本指导思想。此外,在机械类实验中引入计算机仿真技术和虚拟实验,可在很大程度上解决机械基础实验中最令人头痛的硬件依存性问题,使机械基础实验具有合适的柔性,从而使学生能更好地在实验中体现自己的构思。

#### 5. 为新的实验体系编写试用教材

本书名为《现代机械工程基础实验教程》:“机械工程基础实验”界定为机械工程中的基础实验,不是原来附属于相关机械课程的实验,也不是专业实验;“现代”反映实验的内容和方法具有时代气息,面向 21 世纪;“教程”指明是教材而不是实验学术专著。

本书主要内容有三大块:一是基础和支撑部分,包括导论,现代机械工程基础实验常用的仪器设备,实验数据采集和误差分析及处理;二是实体部分,包括工程材料的组织性能测试与分析;机械零件的几何精度和传动链精度的测量与分析;机械创新设计实验;机械运动和动力参数的测试与分析;力学性能和工作能力的测试与分析;机械摩擦、磨损和润滑的测试与分析;液压、气动元件及其系统性能测试;三是拓展部分,包括机电一体化系统实验;实验设计、虚拟实验。每个实验均含思考题及启迪创意。

本书采用“可拆+递推”的结构,便于不同学校、不同层次要求按具体情况选用;同时还注意与世行贷款机械基础实验项目接轨,在某种意义上可属于探索填补空缺、面向 21 世纪机械基础系列课程实验教学改革、具有一定特色的新实验体系模式的试用教材。

#### 6. 学、研、产相结合

机械基础课程实验体系改革应走教学与科研、生产相结合的道路,这将给培养学生能力和素质、理论联系实际、提高实验教学水平、优选实验题目、加强实验指导力量,乃至改善实验装置、场地和经费状况等注入极大的活力。

## 1.4 机械基础实验课程的要求与精进

### 1. 课程的要求

机械基础实验课是机械工程实验教学的重要组成部分,机械基础实验课程改革是面向 21 世纪机械基础系列课程教学内容体系改革中的一个重大举措。其总体框架思路、内容和目的均已在上一节作了较系统的阐述,通过本课程的学习和实验实践,要求学生达到:① 了解科学实验的内涵及其重要意义;② 了解和熟识机械工程基础实验常用的仪器和装置;③ 掌握机械基础基本实验的实验原理、实验方法、调试技术、测试技术、数据采集、误差分析及处理等基本理论和

基本技能;④初步了解并实践机电一体化系统的测控实验;⑤初步领会和涉及机械基础基本实验设计和研究,了解虚拟实验的基本概念;⑥理解以机械基础实验方法自身的系统为主线建立实验教学新体系的精神实质,培养与提高实验能力和素质。

## 2. 培养实验能力和素质

实验能力主要有6点:①理解、改进和构思实验方案的能力;②操作仪器系统的技术和能力;③具有实验数据采集和处理的能力;④分析实验误差和提高精度的能力;⑤对实验具有观察、分析、综合以至上升为理论的能力;⑥撰写实验报告的能力。

实验素质一般可概括为7项:①科学实验者的精神品质,包括为祖国科学事业发展的献身精神,不怕困难和挫折、勇于探索创新的精神,爱国主义、集体主义和团结合作的精神;②严格按科学规律从事实验工作,遵守实验操作规程和实验室规章制度,求实求是,反对粗心大意、主观臆断,更不允许弄虚作假;③从事实验的研究人员必须树立实验可以验证理论是否正确、实验更能发展和创造理论的观点;④养成重分析与综合思考的习惯,对实验结果与实验中观察的一些现象应做出自己的解释和分析,训练理性思维;⑤实验过程中对实验现象的观察应全神贯注,不忽视和放过“异常”现象;⑥突破“唯书、唯师”,敢于“存疑、探求、创新”;⑦关注吸收引入其他学科的成就,如激光测量、全息摄影、热像测温、图像处理、智能控制、加速试验、虚拟试验等,推进实验技术和理论的发展。学生的科学实验能力与素质只有以科学的态度,在严谨的科学实验实践中才能得到卓有成效的培养与提高。

## 3. 强化计算机辅助实验

在现代机械工程实验中,计算机可用于不断采集实验过程的数据,进行实时显示、分析、处理和存储;还可根据实验要求产生并控制各种可编程操作信号驱动实验设备对实验对象加载,并完成规定的动作;实验中还可对实验设备的运行参数进行反馈控制或做出报警反应。

计算机辅助实验可通过使用不同的软件有效地克服机械工程实验对设备依存性强的缺点,使其具有柔性和通用性,其快速反应能力特别适合人工难以胜任的高速、瞬时动态工程实验。此外,计算机辅助实验可以优化实验过程,提高工程实验的精确度和效率,可以随时反复再现采集和存储的多变量复杂实验的全过程,可以实现对恶劣环境和危险条件下实验过程的管理,可以共享计算机丰富的软件资源,实现机械工程实验的模型识别、在线建模以及非电系统的电模拟、仿真、虚拟实验。计算机辅助实验促进机械工程实验技术向智能化方向的发展方面显示出极大的优越性和研究创新潜力。

有计划地、科学地安排和强化计算机辅助实验是时代赋予机械工程基础实

验教学的要求。

#### 4. 重视实验报告的撰写

实验报告是显示并保存实验成果的依据,实验报告的质量体现实验的价值和影响,同时也是实验教学中对学生分析综合、抽象概括、判断推理等思维能力及语言、文字、曲线图表、数理计算等表达能力的综合实践训练与锻炼。为此,如同重视实验过程一样,也应重视实验报告的撰写。

实验报告有实验实践报告和实验技术报告两种类型。

实验实践报告以掌握实验技能和实验方法、验证某一理论等为主,一般包括实验名称、实验目的、实验原理、实验装置、实验步骤、数据处理、实验结果、分析与结论、回答问题和附录等。对于某一项具体的实验,根据实际情况,对以上内容可以做适当的合并或删减。

实验技术报告多数是针对某一项目所进行的试验研究或论证,往往包含新的探索或创造性成果。技术报告的格式与实验目的和内容有关,很难规定一种统一的书写格式,一般包括标题、摘要、前言、正文(包括实验原理、实验设备、实验过程、实验结果和讨论)、结论、致谢、附录及参考文献。其中,前言不是标题和摘要的简单重复,可以分成问题的提出和实验研究的经过两个方面来写;结论并不是罗列实验研究的结果,它比实验结果及其讨论要提高一步,结论的内容是根据实验结果经过分析、判断和推理而形成的主要论点,它反映出事物的本质、事物的内在有机联系;致谢是对实验研究和技术报告提供各种帮助的单位和个人表示感谢。

实验报告的文字应该简洁易懂,对于所做结论应明确指出其适用范围或局限性等。如果有的实验在某一方面取得新的成果或有新的发现,则应作为重点加以较详细的阐述。此外,实验报告除写明实验取得的结果和结论外,也可以写一些实验的经验和教训,为后续的实验者提供借鉴,避免重复或多走弯路。

#### 5. 课程要在实践中不懈探索与精进

把实验由附属于相关机械课程改变为按实验自身体系独立设置机械工程实验课,是面向 21 世纪机械基础系列课程实验教学内容体系改革中的一个重大举措,已由国内几所著名高校进行了试点。实践表明,基本思路符合改革方向的要求,对学生机械基础实验能力和素质的培养与提高具有成效。本书作为教育部面向 21 世纪课程内容体系改革研究立项中机械基础实验教学改革子项的一项成果,出版以来迅速地得到比较广泛的引用和辐射,有着填补空缺迈入新里程的意义。但这项改革举措面对突破长期传统实验教学的观念和习惯进行的模式,面临高科技、多学科对机械学科、机械实验技术理论交叉渗透的机遇和挑战。应该实事求是地说,尽管改革已现成效,但这项面向 21 世纪重大的实验教学改革还只能视为处于初级阶段,必须在实践中不懈地努力探索与精进。

机械实验按科研和生产的需要,在功能上有求值实验、对比实验和确定不同因素(独立变量)对产品某些特征影响的析因实验。机械基础实验教学随着学生技术理论和技能的不断提高,一般逐步设置三类实验:①培养基础性实验能力的实验,如演示性实验、观察性实验、验证性实验、操作性实验;②培养工程基础实验能力的实验,如分析性实验、工作能力实验、损伤和故障排除实验;③培养综合能力的实验,如综合性实验、设计性实验、研究性实验。由于这三类实验在教学过程中的作用不同,因此在处理它们与理论教学体系中各课程之间关系时,也将出现超前、同步或滞后的不同状况。各个学校的具体情况不同,要求不尽一致。本书编写采取多模式和可拆加递推的结构,内容、顺序、安排均不作规定,而是由使用院校按照课程体系改革的精神有计划地、科学地予以优化组合。至于实验设备和装置、实验指导书更不可能规定为一个模式,应由各校自行确定并在试点实践中加以改进、提高和再创新。此外,处理传统的常规实验与先进的现代实验两者的关系也应由各校兼顾现状与发展,辩证地、科学地认识和解决;在开拓新型实验的同时,以精品意识改进传统实验,使之尽可能体现先进性、创造性、实践性,这些都具有重要的现实意义。

新设置的机械工程基础实验课程对教师和学生来说是改革初期的实践者,无疑他们会为这项改革的新颖性和魅力感到欢欣鼓舞,也可能会为改革中出现的若干新的问题和矛盾一时感到困惑。机械基础实验教学改革和其他改革一样,不会是一路绿灯和坦途,改革的生命在于坚韧不拔地在实践中勇于探索,不断修正、改进和创新,使之渐入佳境、更臻完善。教师和学生分别是教和学的主体,殷切期望他们努力参与改革实践,为机械基础实验教学改革做出更多、更大的贡献。也深信通过许多院校的改革实践和交流研讨,使这项尚属稚嫩的改革种芽,枝繁叶茂,向纵深发展,在培养和提高学生机械基础实验能力和素质的系统工程中踏上新的台阶、进入新的境界、取得新的硕果。

## 第2章 现代机械工程基础实验 常用的仪器设备

### 2.1 概 述

现代机械工程基础实验需要多种仪器设备。为了提高实验教学的质量,除了正确地设计实验之外,还需要良好的实验设备和实验软件的支持,合理配置实验仪器设备是开发一个实验的重要工作内容。本章主要介绍现代机械工程基础实验中常用、通用的仪器和设备的简要工作原理、外部特性和应用范围,这些知识是以后各章节的实验中所必需的。对于机械基础实验中的一些专用设备往往就是一些工程应用中的专用设备,结构复杂、体积庞大。这些设备将在相应的实验章节中作专门的介绍。

随着微电子技术和计算机技术的发展,现代机械工程基础实验用仪器设备正朝着小型化、数字化、智能化的方向发展。其中关键的技术是传感器技术。近年来传感器技术发展很快,它们能把各种机械量(非电量)转化为电量。先进的传感技术和成熟的接口技术相结合,为现代机械工程基础实验提供了现代化的实验设备和实验技术。传感器技术已成为许多实验技术的基础技术。目前许多传感器厂家为了扩大产品市场,往往把传感器和二次仪表集成在一起。这种一体化的传感仪器,实际上已经是一种实用的实验仪器。把几个这样的一体化传感仪器配上相应的测量机构和实验平台,就是一种复杂的实验设备。基于这种认识,本章的重点是介绍与机械基础实验相关的各种传感器的性能和使用,目的是让读者在了解传感器的工作原理和外部特性的基础上,能灵活地把它们应用于各种机械量的测量场合,同时也有助于对各种应用传感器技术的实验设备的了解。对实验设备的了解是做好实验的基础。

除了重点介绍传感器技术知识之外,本章还介绍了机械工程基础实验中常用的指示及记录装置和仪器。实验者通常是要通过指示和显示仪器的指示值和记录的数据来了解、分析和研究实验测试的结果。这些仪器也是通用的仪器,是每个实验操作人员都必须了解的。

在机械工程基础实验中,对各种机械量的测试和检测是非常重要的内容。所谓机械量,是指机械中所包含的几何学量、运动学量及力学量的总称。其中,几何学量包括长度、距离、位置、尺寸、厚度、深度和角度等;运动学量包括位移、