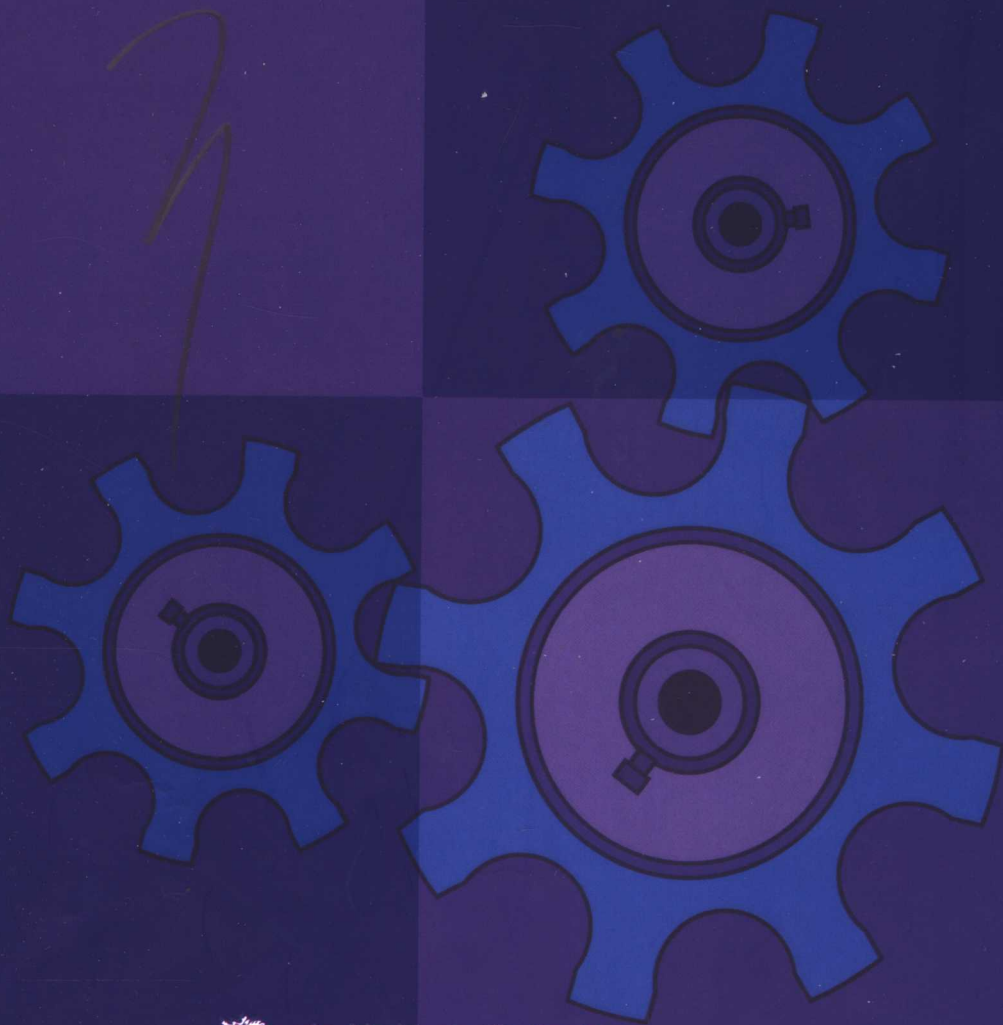


机械基础实验教程

张伟华 陈良玉 孙志礼 巩云鹏 王淑仁



高等教育出版社

机械基础实验教程

张伟华 陈良玉 孙志礼 巩云鹏 王淑仁

高等教育出版社

内容简介

本教程是在机械基础系列课程实验教学体系与内容改革研究和实践的基础上编写的。它以培养学生的创新能力为目标,按实验课程自身的体系引导学生掌握机械基础实验的基本原理、基本技能和方法。

全书共8章。第1章阐述机械基础实验的意义和要求;第2章介绍测量误差和实验数据的分析与处理方法;第3章简单介绍常用传感器的原理与应用;第4章介绍机械系统的实验设计和实验设计示例;第5章介绍基本实验,包括机构及零部件认知、机械的结构分析与创新认识、金相组织系列实验、刚性转子动平衡和带、齿轮传动实验;第6章介绍综合性、设计型、创新性实验,包括摩擦学综合实验、典型机械零件失效分析、机构改进创新设计、机构组合创新设计、凸轮机构运动参数测试、教学机器人与平面机构运动控制、机械传动性能综合测试、“慧鱼”机电一体化系统设计、开链式三自由度机器人运动控制与仿真、焊接工艺实验、碳钢的热处理方法与硬度测定;第7章介绍虚拟实验,包括机构设计虚拟实验、机构动力学性能仿真实验、减速器拆装虚拟实验、ADAMS实用练习;第8章介绍课外科技实践,包括摩擦学实验研究、“慧鱼”创意设计、机械基础虚拟实验课件研制、课外科技制作与机械设计竞赛。

本书可作为高等工科大学本科机械类专业机械基础课程的实验教材,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

机械基础实验教程/张伟华等. —北京:高等教育出版社, 2005.6

ISBN 7-04-016604-6

I. 机... II. 张... III. 机械学-实验-高等学校-教材 IV. TP11-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第036316号

策划编辑 宋晓 责任编辑 庚欣 封面设计 李卫青 责任绘图 朱静
版式设计 胡志萍 责任校对 尤静 责任印制 孔源

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 100011
总机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京四季青印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

开本 787×1092 1/16
印张 11.25
字数 260 000

版次 2005年6月第1版
印次 2005年6月第1次印刷
定价 13.50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 16604-00

机械基础实验教学着重培养学生的基本实验技能和创新设计能力,是高等工科大学机械类专业教学中不可缺少的实践性教学环节。为了培养适应我国现代化建设需要的高级工程技术人才,机械基础实验教学必须不断深化改革,探索一条新路。东北大学在国家工科基础课程机械基础教学基地建设中,通过立项对机械基础实验进行了改革实践,并总结实践成果形成了本实验教程。

本书以培养学生创新能力和综合设计能力为目标,以机械基础实验方法自身的系统为主线,重新构建实验教学体系。在实验项目的开发和配置方面,改革原有的验证性实验项目,开发先进的设计型、综合性、研究型实验项目。实现实验内容由“单一型”、“局部型”向“综合型”、“整体型”的转变,实验方法由“演示型”、“验证型”向“参与型”、“开发型”、“研究型”转变,实验手段向计算机辅助测试拓展。

本书是在东北大学国家工科机械基础课程教学基地实验教学体系与内容改革研究和实践的基础上编写的,其中的实验项目、内容和方法以东北大学机械基础教学与研究中心现有的软硬件条件为基础,使用时可根据具体情况作适当调整。

全书共8章。第1章至第4章为机械基础实验基础理论,包括绪论、测量误差分析与实验数据处理、常用传感器简介、实验设计;第5章至第8章包括基本实验5项,综合性、设计型、创新性实验项目11项,虚拟实验项目4项,课外科技实践项目4项。

课程建议学时安排如下,其中“**”为必做实验,“*”为优先选做实验:

1. 机械基础实验基础理论,8学时。
2. 基本实验5项,12学时。其中:
 - (1) 机构及零部件认知实验**,2学时;
 - (2) 机械的结构分析与创新认识实验**,2学时;
 - (3) 金相组织系列实验**,4学时;
 - (4) 刚性转子动平衡实验**,2学时;
 - (5) 带、齿轮传动实验**,2学时。
3. 综合性、设计型、创新性实验项目11项,32学时。其中:
 - (1) 摩擦学综合实验*,4学时;
 - (2) 典型机械零件的失效分析*,2学时;
 - (3) 机构改进创新设计实验,2学时;
 - (4) 机构组合创新设计实验*,4学时;
 - (5) 凸轮机构运动参数测试实验*,2学时;
 - (6) 教学机器人与平面机构运动控制实验*,4学时;

- (7) 机械传动性能综合测试实验*, 4 学时;
 - (8) “慧鱼”机电一体化系统设计实验, 4 学时;
 - (9) 开链式三自由度机器人运动控制与仿真实验, 2 学时;
 - (10) 焊接工艺实验, 2 学时;
 - (11) 碳钢的热处理方法与硬度测定*, 2 学时。
4. 虚拟实验 4 项, 10 学时。其中:
- (1) 机构设计虚拟实验*, 2 学时;
 - (2) 机构动力学性能仿真实验, 2 学时;
 - (3) 减速器装拆虚拟实验*, 2 学时;
 - (4) ADAMS 实用练习, 4 学时。
5. 课外科技实践项目 4 项。在教师指导下主要在课外完成。

本书由张伟华、陈良玉、孙志礼、巩云鹏、王淑仁担任主编, 参加编写的还有王丹、孙德志、闫玉涛、吕朝阳、张雅静、王晓光、黄须强、张凤和等。本书由清华大学申永胜教授审阅。

限于编者水平, 书中难免有疏漏与不妥之处, 敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5.3 直接测量结果的表示	16
1.1 机械基础实验的内涵及意义	1	2.5.4 间接测量与误差分析	17
1.2 机械基础实验课程的体系和 内容	1	2.6 实验数据处理	19
1.2.1 基本实验	1	2.6.1 实验数据的一般处理步骤	19
1.2.2 综合性、设计型、创新性实验	2	2.6.2 实验数据图示	20
1.2.3 虚拟实验	3	2.6.3 实验数据列表	20
1.2.4 课外科技实践	3	2.6.4 经验公式与回归分析	21
1.3 机械基础实验课程的要求	4	第 3 章 常用传感器简介	28
第 2 章 测量误差分析与实验数据 处理	6	3.1 常用传感器分类	29
2.1 误差的基本性质	6	3.2 电阻应变式传感器	29
2.1.1 真值与误差	6	3.2.1 电阻应变片的结构、特点和 分类	29
2.1.2 误差的分类	6	3.2.2 金属电阻应变片的工作原理	30
2.1.3 精度、准确度、精密度和 精确度	7	3.2.3 电阻应变片的测量电路	30
2.2 随机误差的估计与处理	7	3.2.4 半导体应变片	31
2.2.1 算术平均值与真值	7	3.2.5 电阻应变式传感器的应用	31
2.2.2 测量列中单次测量的标准差	8	3.3 电感式传感器	33
2.2.3 测量列的算术平均值的 标准差	8	3.3.1 自感式电感传感器	34
2.2.4 最大误差法计算标准差	9	3.3.2 互感式差动变压器	34
2.2.5 随机误差的其他分布	10	3.3.3 电感式传感器的应用	35
2.3 系统误差的发现与排除	10	3.3.4 电涡流式传感器	36
2.3.1 系统误差的发现	10	3.4 电容式传感器	37
2.3.2 系统误差的排除	12	3.4.1 电容式传感器的工作原理	37
2.4 疏失误差的判别与剔除	13	3.4.2 电容式传感器的应用	38
2.4.1 3σ 准则(莱以特准则)	14	3.5 磁电式传感器	39
2.4.2 格拉布斯准则	14	3.5.1 恒定磁通式传感器	39
2.5 测量结果的表示	15	3.5.2 变磁通式传感器	40
2.5.1 有效数字的概念	15	3.5.3 磁电式传感器的应用	41
2.5.2 有效数字计算准则	16	3.6 压电式传感器	42
		3.6.1 压电式传感器的工作原理	42
		3.6.2 压电式传感器的应用	42
		3.7 光电式传感器	44

3.7.1 模拟式光电传感器	44	5.3.5 铁碳合金平衡组织	65
3.7.2 数字式光电传感器	45	5.3.6 焊接件的宏观及微观组织	66
3.8 传感器选择原则	46	5.3.7 思考题	67
第4章 实验设计	48	附:金相显微镜的使用规程	68
4.1 机械系统设计与实验设计的 区别	48	5.4 刚性转子动平衡实验	69
4.2 机械系统中的实验项目	48	5.4.1 实验目的	69
4.3 实验设计的内容和步骤	49	5.4.2 实验设备及工具	69
4.4 实验设计示例	50	5.4.3 刚性转子动平衡的基本原理	69
4.4.1 用普通台秤设计能粗略测出排 球击地时对地的冲击力的实验 (示例一)	50	5.4.4 动平衡试验机的结构	70
4.4.2 用简单器材设计在失重条件下测 量物体质量的实验(示例二)	51	5.4.5 硬支承动平衡机操作方法	71
4.4.3 金属带式无级变速器摩擦系数和 传动效率的实验研究(示例三)	51	5.4.6 实验内容及要求	72
第5章 基本实验	58	5.4.7 注意事项	72
5.1 机构及零部件认知实验	58	5.4.8 实验报告	72
5.1.1 实验目的	58	5.4.9 思考题	73
5.1.2 实验场所	58	附:确定转子平衡精度等级的方法	73
5.1.3 实验内容	58	5.5 带、齿轮传动实验	73
5.1.4 实验报告	58	5.5.1 实验目的	73
5.1.5 思考题	58	5.5.2 实验设备	74
5.2 机械的结构分析与创新认识 实验	59	5.5.3 实验内容	74
5.2.1 实验目的	59	5.5.4 带传动效率及滑动率测定实验— (普通带传动实验台)	74
5.2.2 实验设备及使用工具	59	5.5.5 带传动效率及滑动率测定实验二 (DCS-II型微机控制带传动实 验台)	77
5.2.3 实验内容	59	5.5.6 齿轮传动效率测定实验—(普通 齿轮传动实验台)	80
5.2.4 机械结构的分析步骤	59	5.5.7 齿轮传动效率测定实验二(CLS- II型微机控制齿轮传动实 验台)	81
5.2.5 实验准备	60	5.5.8 实验报告	84
5.2.6 实验报告	60	5.5.9 思考题	84
5.2.7 思考题	60	第6章 综合性、设计型、创新性实验	85
附:各机械中主机机构的位移线图	61	6.1 摩擦学综合实验	85
5.3 金相组织系列实验	62	6.1.1 润滑油运动粘度测定实验	85
5.3.1 实验目的	62	6.1.2 流体动压润滑实验	86
5.3.2 实验仪器、材料	62	6.1.3 润滑剂承载能力测定实验	90
5.3.3 实验内容	63	6.1.4 摩擦磨损实验	92
5.3.4 金相试样的制备	63	6.1.5 摩擦学实验项目的综合	93

6.1.6 思考题	94	6.6.4 串联机器人的数据文件及操作 方法	114
6.2 典型机械零件的失效分析	95	6.6.5 并联机器人的数据文件及操作 方法	115
6.2.1 实验目的	95	6.6.6 平面六杆机器人的数据文件及 操作方法	115
6.2.2 实验内容	95	6.6.7 摆动从动件盘形凸轮机构的数据 文件及操作方法	116
6.2.3 实验设备及材料	95	6.6.8 直动从动件盘形凸轮机构的数据 文件及操作方法	116
6.2.4 机械零件的典型失效形式	95	6.6.9 实验报告	117
6.2.5 机械零件失效分析的一般 方法和步骤	99	6.6.10 控制软件的维护和使用异常的 处理方法	117
6.2.6 实验报告	99	6.6.11 注意事项	117
6.2.7 思考题	99	6.6.12 思考题	118
6.3 机构改进创新设计实验	99	附:各机器人与平面机构控制软件所包 含的文件	118
6.3.1 实验目的	99	6.7 机械传动性能综合测试实验	119
6.3.2 实验内容	100	6.7.1 实验目的	119
6.3.3 实验要求	100	6.7.2 实验设备	119
6.3.4 实验报告	100	6.7.3 实验原理	120
6.3.5 注意事项	100	6.7.4 实验准备	121
6.3.6 思考题	100	6.7.5 操作方法	122
6.4 机构组合创新设计实验	101	6.7.6 实验报告	122
6.4.1 实验目的	101	6.7.7 思考题	122
6.4.2 实验器材	101	6.8 “慧鱼”机电一体化系统设计 实验	123
6.4.3 实验要求	109	6.8.1 实验目的	123
6.4.4 实验准备	109	6.8.2 实验器材	123
6.4.5 实验报告	110	6.8.3 实验准备	123
6.4.6 思考题	110	6.8.4 实验内容	123
6.5 凸轮机构运动参数测试实验	110	6.8.5 实验报告	124
6.5.1 实验目的	110	6.8.6 思考题	124
6.5.2 实验设备	110	6.9 开链式三自由度机器人运动控制 与仿真实验	124
6.5.3 测试原理	112	6.9.1 实验目的	124
6.5.4 实验准备	112	6.9.2 实验设备及软件	124
6.5.5 盘形凸轮机构实验步骤	112	6.9.3 实验内容	125
6.5.6 圆柱凸轮机构实验步骤	113		
6.5.7 实验报告	114		
6.5.8 思考题	114		
6.6 教学机器人与平面机构运动 控制实验	114		
6.6.1 实验目的	114		
6.6.2 实验设备及工具	114		
6.6.3 实验内容	114		

6.9.4 开链式三自由度机器人模型的结构组成	125	7.1.8 范成法切削制齿轮	146
6.9.5 开链式三自由度机器人模型的控制原理	125	7.1.9 齿轮机构设计	146
6.9.6 实验步骤与操作方法	126	7.1.10 组合机构设计	147
6.9.7 实验要求	132	7.1.11 实验报告	148
6.9.8 实验报告	132	7.1.12 思考题	148
6.9.9 注意事项	132	7.2 机构动力学性能仿真实验	148
6.9.10 思考题	132	7.2.1 实验目的	148
6.10 焊接工艺实验	133	7.2.2 实验设备及软件	149
6.10.1 实验目的	133	7.2.3 实验内容	149
6.10.2 实验原理	133	7.2.4 机构动力学性能仿真软件的使用方法	149
6.10.3 仪器设备和材料	135	7.2.5 实验要求	154
6.10.4 实验步骤	135	7.2.6 实验报告	154
6.10.5 思考题	136	7.2.7 思考题	154
6.11 碳钢的热处理方法与硬度测定	137	7.3 减速器装拆虚拟实验	155
6.11.1 实验目的	137	7.3.1 实验目的	155
6.11.2 实验内容	137	7.3.2 实验内容	155
6.11.3 实验设备和材料	137	7.3.3 圆柱齿轮减速器设计与装配	156
6.11.4 实验原理——钢的热处理工艺	137	7.3.4 摆线针轮减速器造型与装配	156
6.11.5 实验步骤	138	7.3.5 实验报告	157
6.11.6 热处理操作注意事项	139	7.3.6 思考题	157
6.11.7 实验报告	139	7.4 ADAMS 实用练习	157
6.11.8 思考题	139	7.4.1 ADAMS 软件功能	157
第7章 虚拟实验	141	7.4.2 实验目的	157
7.1 机构设计虚拟实验	141	7.4.3 实验内容	158
7.1.1 实验目的	141	7.4.4 操作方法与要求	158
7.1.2 实验内容	142	7.4.5 实验报告	158
7.1.3 刚体导引机构设计(两个位置)	142	7.4.6 思考题	158
7.1.4 刚体导引机构设计(四个位置)	143	第8章 课外科技实践	159
7.1.5 函数生成机构设计	143	8.1 摩擦学实验研究	159
7.1.6 连杆机构结构设计及运动仿真	144	8.1.1 目的与意义	159
7.1.7 凸轮机构设计	145	8.1.2 项目管理办法	159
		8.1.3 实验条件和研究内容	159
		8.1.4 项目的技术规范和验收标准	160
		8.2 “慧鱼”创意设计制作	161
		8.2.1 实验目的	161
		8.2.2 项目管理办法	161
		8.2.3 实验器材	161

8.2.4 研究内容	161	8.4.1 目的	163
8.2.5 项目验收标准	162	8.4.2 竞赛项目管理办法	163
8.3 机械基础虚拟实验课件研制	162	8.4.3 竞赛的主要内容	163
8.3.1 目的与要求	162	8.4.4 竞赛形式及规则	164
8.3.2 项目管理办法	162	8.4.5 评奖办法	164
8.3.3 项目的技术规范和验收标准	162	附录 “机械基础实验报告”样式	165
8.4 课外科技制作与机械设计		主要参考文献	166
竞赛	163		

◎ 第 1 章 绪 论

1.1 机械基础实验的内涵及意义

实验一般多指科学实验,是按照一定的目的,运用相关的仪器设备,在人为控制条件下,模拟自然现象进行研究,从而认识自然界事物的本质和规律。实验是纯化、简化或强化和再现科学研究对象,延缓或加速自然过程,为理论概括准备充分可靠的客观依据。实验可以超越现实生产所及的范围,缩短认识周期。

纵观机械的发展史,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、宇航飞船等现代机械,都历经了科学实验的探索和验证。随着科学技术的发展,科学实验的广度和深度不断拓展,其作用越来越重要,已成为自然科学理论的直接基础,许多伟大的发现、发明和突破性理论都是来自科学实验。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,是将新思想、新设想、新信息转化为新技术,新产品的孵化室,更是高科技转化为社会生产力的中试基地。

1.2 机械基础实验课程的体系和内容

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,对高校实现知识、能力、素质并重的培养目标起着关键作用。

新的机械基础实验课程体系,改变了以往实验仅作为课堂教学的附属,课程成绩不能反映学生的实际能力和水平,学生不重视实验的状况,而代以培养学生创新能力和综合设计能力为目标,以机械基础实验方法自身的系统为主线,独立设置课程,单独考核,重视实验教学与科研、生产相结合。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“演示型”、“验证型”向“参与型”、“开发型”拓展;实验手段向计算机辅助测试拓展。新课程体系将实验分为基本实验(必做),综合性、设计型与创新性实验(选做),虚拟实验(选做),课外科技实践项目(自由申请,立项进行)几个部分,必做实验与选做实验结合并行,增加了实验内容和选题的灵活性与开放性,注重学生的个性发展,为学有余力的学生提供了更好的锻炼机会和发展空间。

1.2.1 基本实验

1. 机构及零部件认知实验

通过参观陈列室,使学生了解各种机械、机构的基本结构,了解各种机械、机构的工作原理、特点、功能及应用,了解各种机械零件、部件的结构及应用。

2. 机械的结构分析与创新认识实验

针对牛头刨床、缝纫机、颚式破碎机、分级机、码边机、掌鞋机、锁裤脚机、电动玩具、插齿机、并联机器人等模型,进行结构分析、传动链分析、机构运动简图绘制、机构自由度验证等,使学生了解各种机构的运动变换功能和实际应用。

3. 金相组织系列实验

学生自己动手制作试件,利用金相显微镜观察金属材料的表面形貌、金相组织结构等;了解金相显微镜的构造,初步掌握金相显微镜的使用方法;学习金相试样的制备过程;了解金相显微组织的显示方法。

4. 刚性转子动平衡实验

以实际转子,如曲轴、真空泵轴、电动机轴等实际需要进行动平衡的构件为实验对象,完成构件的静动态平衡实验,使学生了解动不平衡的危害及进行动平衡设计的重要性,掌握静、动平衡的方法。

5. 带、齿轮传动实验

通过实验验证带传动的弹性滑动和打滑现象,加深对带传动工作原理的理解。通过测定齿轮传动效率,了解利用封闭式功率流测定机械传动效率的原理,同时了解计算机控制实验台的构建及数据采集和处理方法。

1.2.2 综合性、设计型、创新性实验

1. 摩擦学综合实验

通过实验使学生对机械中的摩擦、磨损、润滑的基本理论以及它们在机械中的作用有一个全面的认识,了解摩擦学的各种测试方法。实验内容包括滑动轴承实验,润滑油的粘度测定,磨痕的微观观察、磨损的规律、 P_B 的测定等。

2. 典型机械零件的失效分析

通过目测、放大镜、立体显微镜观察断裂零件的断口和磨损,胶合零件表面的宏、微观形貌特征,找出断裂源和其他断裂、损伤特征,分析失效形式和原因。通过实验使学生了解典型机械零件失效的特征、原因以及提高机械零件承载能力的方法,掌握机械零件失效分析的一般方法和步骤。

3. 机构改进创新设计实验

认真分析实验室现有机械设备(如各种缝纫机械)的功能、结构和特点,对原有机器的结构提出改进方案,或提出新的设计方案,并分析其优缺点。这是机构创新设计的初步实践,目的是使学生了解基本设计规律和方法,培养创新意识。

4. 机构组合创新设计实验

利用标准实验台架提供的常用机构,如连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等连接组成各种不同的机构,并完成运动学及动力学的测试。通过实验使学生加深对机构组成原理的理解,培养学生机构设计的创新意识、综合设计能力及动手能力。

5. 凸轮机构运动参数测试实验

通过测试盘形凸轮机构和圆柱凸轮机构的运动参数,了解凸轮机构的运动特点和凸轮轮廓对推杆运动的影响,掌握凸轮运动参数测试的原理和计算机辅助测试的方法。

6. 教学机器人与平面机构运动控制实验

了解可重组机器人的构造,进行可重组机器人的运动学实验,使学生对机电一体化产品建立感性认识,了解机器人与机构运动控制的方法。

7. 机械传动性能综合测试实验

通过测试常见机械传动装置(如带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等)在传递运动与动力过程中的参数(速度、转矩、传动比、功率、传动效率、振动等)及其变化规律,加深对常见机构传动性能的认识和理解;认识智能化机械传动性能和综合测试实验台的工作原理,掌握计算机辅助实验的新方法,培养进行设计型实验和创新性实验的能力。

8. “慧鱼”机电一体化系统设计实验

学生根据给定的设计题目,利用“慧鱼”创意模型进行机电一体化的基本设计实验,锻炼机械创新设计能力,初步建立对机电一体化产品的认识。

9. 开链式三自由度机器人运动控制与仿真实验

对开链式机器人进行轨迹规划,控制机器人按给定的轨迹运动。了解开链式三自由度机器人机构的结构特点,了解机器人模型运动控制的基本原理。

10. 焊接工艺实验

使学生掌握埋弧自动焊、CO₂ 气体保护焊、MIG 焊、TIG 焊、电阻点焊等焊接方法的原理、工艺过程及特点,并动手完成实验。

11. 碳钢的热处理方法与硬度测定

使学生了解钢的常用热处理方法及碳含量、加热温度、冷却速度、回火温度对碳钢热处理后性能(硬度)的影响。

1.2.3 虚拟实验

1. 机构设计虚拟实验

利用提供的课件,学生根据给定的设计题目在计算机上完成自己的设计,画出机构图,进行机构运动学和动力学分析。通过实验,对计算机在机构设计中的应用有一个较全面的认识。

2. 机构动力学性能仿真实验

利用虚拟样机分析软件 ADAMS,仿真外力作用下四杆机构中曲柄的真实运动规律和连杆机构惯性力各种平衡方法的效果;进行凸轮机构运动仿真和受力分析。

3. 减速器装拆虚拟实验

利用圆柱齿轮减速器和摆线针轮行星减速器的课件,学生可在计算机上进行减速器的装拆虚拟实验。通过该实验使学生了解减速器的构造、构件间的合理装配关系和各零件的固定方法。

4. ADAMS 实用练习

利用虚拟样机分析软件 ADAMS,设计、组装常用的机构,进行机构的运动学和动力学仿真,使学生初步掌握 ADAMS 软件的机械系统建模、运动学和动力学仿真、计算结果可视化及输出等基本操作。

1.2.4 课外科技实践

1. 摩擦学实验研究

通过实验使学生对摩擦、磨损、润滑的基本理论及其在机械中的作用有一个全面的了解,掌握摩擦学的各种测试方法、仪器设备,了解润滑油的性能、添加剂的作用、金属及非金属材料的磨损规律、摩擦表面的形貌。

2. “慧鱼”创意设计

学生组成研究小组,每组配备指导教师。在教师的指导下拟定设计题目。设计完成后,利用“慧鱼”创意设计模型相应模块中的元器件进行组装,完成设计的实体化,并调试运转。通过对机构的设计及对机械系统整体的布局,机构的装配与调试,机、光、电对机械系统的控制等方面的训练,使学生对机械系统有一个整体的认识与了解。

3. 机械基础虚拟实验课件研制

学生组成研制小组,在教师的指导下拟定虚拟实验课件的题目,完成课件脚本的制作和虚拟实验课件研发。实验室为学生提供计算机和相应的软件。

4. 课外科技制作与机械设计竞赛

结合学校每年一届的机械设计竞赛,开展课外科技制作活动。教师拟定一些设计题目,在校园网上发布,学生也可以自己拟定题目。学生可组成参赛小组,每个小组配备一名指导教师。设计小组完成自己的作品后,经评审选出一些优秀作品给予奖励,并推荐参加省级、国家级的机械设计竞赛。特别优秀的作品由学校出经费制作模型或实物。

1.3 机械基础实验课程的要求

通过机械基础实验课程的学习和实验实践,要求学生:

(1) 充分认识科学实验的内涵和重要意义;

(2) 了解和熟识机械基础实验常用的实验装置和仪器,掌握实验原理、实验方法、测试技术、数据采集、误差分析及处理方法;

(3) 严格按科学规律从事实验工作,遵守实验操作规程,求实求是,不粗心大意、主观臆断,更不允许弄虚作假;

(4) 实验过程中认真观察实验现象,不忽视和放过“异常”现象,敢于“存疑、探求、创新”,对实验结果和实验中观察到的一些现象作出自己的解释和分析,树立实验能验证理论,也能发展和创造理论的观点;

(5) 实验报告是展示和保存实验成果的依据,同时也是实验教学中对学生分析综合、抽象概括、判断推理能力及语言文字、曲线图表、数理计算等表达能力的综合实践训练,要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。

实验实践报告的内容以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。

实验技术报告是针对某一项目所进行的试验研究报告或论证,往往包含有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,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。结论不是罗列实验研究的结果,而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。

实验报告的文字应该简洁易懂,对于所作结论应明确指出其适用范围或局限性。如果实验在某一方面取得了新成果或有新发现,则应作为重点详细阐述。实验报告也可以写经验和教训,为后续的实验者提供借鉴,避免重复或走弯路。

◎ 第 2 章 测量误差分析与实验数据处理

2.1 误差的基本性质

在科学实验中所有的实验结果都有误差,这是误差的公理。随着科学技术的日益发展和人们认识水平的提高,虽然可以将误差控制得越来越小,但终究不能完全消除它。研究误差的目的,是为了掌握误差的规律和产生的原因,以便正确处理数据,正确设计和组织实验,合理设计和选用测量装置,提高科学实验的水平。

2.1.1 真值与误差

被测参数在理论上的确定值为真值。由于测量误差的存在,实际测量值往往不等于真值,实际测量值 x 与真值 u 之差 Δx 称为绝对误差,即

$$\Delta x = x - u \quad (2-1)$$

一般真值是无法求得的,在实际测量中常用被测量的多次测量值的算术平均值或上一级精度测量仪器的测量值代替真值。

绝对误差 Δx 与被测量真值 u 的比值称为相对误差。因测量值与真值接近,故也可用绝对误差与测量值之比作为相对误差,即

$$e = \frac{\Delta x}{u} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (2-2)$$

对于相同的被测量,用绝对误差 Δx 评定其测量精度的高低;对于不同的被测量以及不同的物理量,用相对误差 e 评定其测量精度的高低。

2.1.2 误差的分类

按误差的性质和表现特征,误差可分为系统误差、随机误差和疏失误差。

在同一条件下多次测量同一量时,绝对值与符号保持不变或按一定规律变化的误差称为系统误差。例如测量仪器刻度不准确,测量方法或测量条件引入了按某种规律变化的因素时引起的误差。误差的绝对值和符号已确定的系统误差是已定系统误差;误差的绝对值和符号未确定的系统误差是未定系统误差,通常可以估计误差的范围。

在同一测量条件下,多次测量同一值时,绝对值和符号以不可预知的方式变化的误差称为随机误差。例如测量仪器中传动件的间隙,连接件的弹性变形等引起的示值不稳定导致的误差。随机误差就个体而言是不确定的,但总体却有一定的统计规律。在了解了其统计规律后,可以控制和减少它们对测量结果的影响。

疏失误差也称过失误差或粗大误差,是一种明显超出规定条件下预期误差范围的误差。它

是由某种不正常的原因造成的,例如测量时对错了标志,读错或记错了数据,或测量仪器有缺陷等。在处理测量数据时应剔除含有疏失误差的数据,但要有充分的依据。

2.1.3 精度、准确度、精密度和精确度

反映测量结果与真值接近程度的量称为精度。精度又分为准确度、精密度和精确度。准确度反映测量结果中系统误差的影响程度,精密度反映测量结果中随机误差的影响程度,精确度反映测量结果中系统误差和随机误差综合的影响程度。它们之间的相互关系可用打靶的例子来说明。图 2-1a 的弹着点分散但环绕靶心,表示系统误差小而随机误差大,故精密度低而准确度高;图 2-1b 的弹着点密集但偏离靶心,表示随机误差小而系统误差大,精密度高而准确度低;图 2-1c 表示随机误差和系统误差都较小,精密度和准确度均较高,这种情况称精确度高,即精度高。

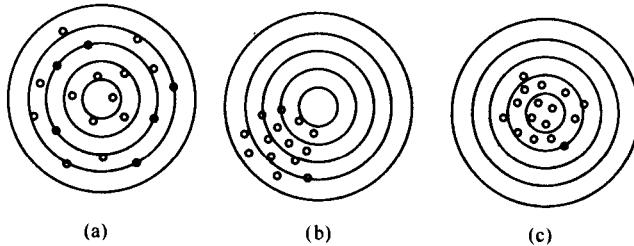


图 2-1 精度比较

2.2 随机误差的估计与处理

设被测量的真值为 u , 一系列的测量值(常称为测量列)为 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, 若测量列中不包含系统误差和疏失误差, 则测量列中的随机误差 δ_i 为

$$\delta_i = x_i - u \quad (2-3)$$

这些随机误差具有下列特征:

- (1) 对称性: 绝对值相等的正负误差出现的次数相等;
- (2) 单峰性: 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多;
- (3) 有界性: 在一定的测量条件下, 随机误差的绝对值不会超过一定的界限;
- (4) 抵偿性: 随着测量次数的增加, 随机误差的算术平均值趋于零。

大多数随机误差都服从正态分布, 其概率密度函数和方差分别为

$$\begin{aligned} \text{概率密度} \quad f(\delta) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \\ \text{方差} \quad \sigma^2 &= \int_{-\infty}^{+\infty} \delta^2 f(\delta) d\delta \end{aligned}$$

2.2.1 算术平均值与真值

对某一物理量进行 n 次等精度测量, 得到一测量列 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$, 其算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-4)$$