

普通高等院校机电工程类规划教材

机电工程实验教程

李振武 闫冰洁 主编



清华大学出版社

普通高等院校机电工程类规划教材

机电工程实验教程

李振武 闫冰洁 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据教育部关于技术应用型人才培养和机械设计基础课程的教育与教学改革基本要求,以及新颁布的有关国家标准编制。全书分五篇 33 章,包括基础实验篇、机械工程实验篇、电气工程实验篇、车辆工程实验篇、创新性实验篇。本实验教程力求概念定义清楚、内容简洁实用,同时注重学生实际动手能力和创新能力的培养,便于师生使用。

本书可作为高等院校机械类和近机类专业的机械工程基础实验教材,也可供其他专业的师生和工程技术人员参考,部分内容可以作为科技创新竞赛的指导材料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

机电工程实验教程/李振武,闫冰洁主编. —北京:清华大学出版社,2014

普通高等院校机电工程类规划教材

ISBN 978-7-302-37079-6

I. ①机… II. ①李… ②闫… III. ①机电工程—实验—高等学校—教材 IV. ①TH-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 146085 号

责任编辑:王一玲

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:李红英

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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.75 字 数:539 千字

版 次:2014 年 9 月第 1 版 印 次:2014 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:39.00 元

产品编号:059317-01

前 言

本实验教程是机械类及近机类各专业的必修实验课程,通过实验使学生掌握科学的思维方法,锻炼综合解决实际问题的能力和科技创新能力,全面提高学生的工程素养和科学精神;同时进一步培养学生热爱科学、实事求是、严肃认真、一丝不苟的工作作风以及良好的团队协作精神和职业道德。该教材是山东省实验教学示范中心建设成果和“机电学科示范化实训教学体系的建构”课题研究的成果之一。

该教材在编写过程中,综合吸收其他教材的长处,力求文字简练、结构紧凑、内容翔实、重点突出,主要有以下特点:

一是综合性强,便于实验教学。教材结合新建本科院校工科专业的实际,将机械类和近机类所有实验项目结合在一起,便于实验教学活动开展。

二是紧密结合教学基本要求,教材内容精炼,重点突出。对传统的实验内容进行了必要的调整和增删,与理论教学相辅相成更适于专业教学。

三是注重综合能力和创新能力的培养,强调知识的应用性和针对性,结合大学生学科竞赛增加了创新实验项目。

四是力求图文并茂、通俗易懂,有明确的教学目标、重点难点,教学方法较为先进科学。

教材共分五篇,由李振武、闫冰洁任主编,江峰、孟云男任副主编,任国军、张海英、赵光辉、刘冠军任编委,北京航空航天大学机器人研究所所长、机械专家毕树生教授担任主审,共同完成教材的编写审校工作。

由于编者水平有限,加之时间仓促,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 12 月

目 录

第一篇 基础实验

第 1 章 大学物理实验	3
实验 1 长度的测量	3
实验 2 利用单摆测定重力加速度	5
实验 3 牛顿第二定律的验证	7
实验 4 动量守恒定律的验证	9
实验 5 测定空气的比热容比	12
实验 6 示波器及函数信号发生器	14
实验 7 用板式电位差计测量电池的电动势	17
实验 8 静电场的描绘	19
实验 9 磁场的描绘	22
实验 10 用牛顿环测透镜的曲率半径	23
第 2 章 画法几何及机械制图实验	27
实验 1 平面图形画法作图	27
实验 2 组合体三视图	28
实验 3 机件剖视图	29
实验 4 常用测量工具及其使用	29
实验 5 传动轴测绘	32
实验 6 轮盘类测绘	33
实验 7 螺纹紧固件的连接画法	34
实验 8 计算机绘图	34
第 3 章 材料力学实验	35
实验 1 拉伸实验	35
实验 2 压缩实验	38
实验 3 扭转实验	39
实验 4 梁的弯曲正应力实验	41
实验 5 薄壁圆筒在弯扭组合变形下主应力测定	45
实验 6 冲击实验	47

第4章 电工技术实验	49
实验1 电路中电位的测量	49
实验2 基尔霍夫定律	50
实验3 日光灯电路的连接与功率因数的提高	52
实验4 三相鼠笼式异步电动机的使用	54
实验5 三相鼠笼式异步电动机正反转控制	57
实验6 二极管、三极管的判别与检测	60
实验7 单级交流放大电路	62
实验8 整流滤波电路	63
实验9 集成运放及其应用	64
实验10 组合逻辑电路的设计与测试	67
实验11 时序逻辑电路	70
第5章 工程材料及应用	73
实验1 金属材料的硬度试验	73
实验2 铁碳合金平衡组织分析	77
实验3 碳素钢的热处理	79
第6章 机械基础实验	82
实验1 机构运动创新设计方案	82
实验2 PDC-B 智能型带传动	83
实验3 机械传动方案设计及性能测试分析	87
第二篇 机械工程实验	
第7章 液压与气压传动实验	91
实验1 液压泵性能	91
实验2 液压泵和液压马达拆装	93
实验3 溢流阀特性	96
实验4 阀的拆装	99
实验5 液压基本回路一：差动回路	101
实验6 液压基本回路二：快进-工进回路	102
实验7 液压基本回路三：卸荷回路	103
实验8 调速回路性能试验一：采用节流阀的节流调速回路	104
实验9 调速回路性能试验二：采用调速阀的节流调速回路	107
实验10 气动元件认识和气动回路实验	110

第 8 章 互换性与技术测量实验	112
实验 1 常用测量工具的使用	112
实验 2 合像水平仪测量直线度误差	118
第 9 章 金属切削实验	122
实验 1 车刀几何角度测量	122
实验 2 加工精度统计分析	124
实验 3 切削力的测定	127
实验 4 工艺系统静刚度的测定	130
第 10 章 机械原理实验	133
实验 1 机构认知	133
实验 2 齿轮范成原理	133
实验 3 动平衡实验	136
第 11 章 机械设计实验——滑动轴承	140
第 12 章 数控机床与编程实验	144
实验 1 数控车床的调整、手工编程	144
实验 2 数控铣床的调整、手工编程	145
实验 3 数控铣、加工中心刀具	146
实验 4 数控铣床加工	148
实验 5 数控线切割加工	150
实验 6 电火花成型加工	152

第三篇 电气工程实验

第 13 章 电气控制及 PLC	157
实验 1 PLC 认知	157
实验 2 抢答器程序设计	160
实验 3 十字路口交通灯程序设计	161
实验 4 自动配料装车控制系统	162
实验 5 自控轧钢机控制	164
实验 6 机械手控制设计	166
第 14 章 单片机实验	169
实验 1 流水灯实验	169
实验 2 汽车转向灯控制	169

实验 3 步进电机熟悉实验	170
实验 4 工业顺序控制	171
实验 5 中断嵌套实验	172
实验 6 单片机控制数码管	173
实验 7 定时器/计数器使用	173
第 15 章 信号与系统	176
实验 1 零输入、零状态及完全响应	176
实验 2 一阶系统的脉冲响应与阶跃响应	177
实验 3 非正弦周期信号的分解与合成	178
第 16 章 过程控制	180
实验 1 控制系统组成及认识	180
实验 2 单容水箱特性测试	184
实验 3 双容水箱特性测试	187
实验 4 上水箱液位 PID 整定实验	189
第 17 章 现代控制理论	192
实验 1 系统的传递函数阵和状态空间表达式的转换	192
实验 2 多变量系统的能控、能观和稳定性分析	194
实验 3 状态反馈和状态观测器的设计	196
第 18 章 自动控制原理	199
实验 1 典型环节及其阶跃响应	199
实验 2 典型系统动态性能和稳定性分析	200
实验 3 线性系统串联校正	201
第 19 章 计算机控制系统	202
实验 1 A/D 与 D/A 转换	202
实验 2 数字 PID 控制算法的研究	202
实验 3 串级控制算法的研究	203
实验 4 最少拍控制算法的研究	203
第 20 章 计算机网络实验	205
实验 1 TCP/IP 实用程序的使用	205
实验 2 利用停止等待协议传输数据文件	206
实验 3 计算机组网综合	206
实验 4 协议分析软件的使用	210
实验 5 Web 服务器的构建与 HTTP 协议分析	212

实验 6 电子邮件相关协议分析	213
第 21 章 微机原理实验	215
实验 1 简单程序设计	215
实验 2 循环程序设计	216
实验 3 分支程序设计	217
实验 4 子程序设计	219
实验 5 存储器读写实验	220
实验 6 使用 8259A 的单级中断控制	220
实验 7 8253A 定时/计数器	222
第 22 章 传感器	224
实验 1 金属箔式应变片 1: 单臂电桥性能	224
实验 2 金属箔式应变片 2: 半桥性能	225
实验 3 金属箔式应变片 3: 全桥性能	226
实验 4 直流全桥的应用: 电子秤	227
实验 5 电涡流传感器的位移特性	227
实验 6 被测体材质、面积大小对电涡流传感器的特性影响	229
实验 7 光纤传感器位移特性	230
第 23 章 电路	231
实验 1 基尔霍夫定律	231
实验 2 叠加原理	232
实验 3 电压源与电流源的等效变换	233
实验 4 戴维南定理和诺顿定理	234
第 24 章 电机拖动	237
实验 1 认识实验	237
实验 2 三相异步电动机的起动与调速	239
实验 3 直流他励电动机的机械特性	242
实验 4 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性	246
第四篇 汽车实验	
第 25 章 汽车构造课程实验	251
实验 1 常用汽车拆装机具和工具认识与使用	251
实验 2 汽车发动机整机拆装与调整	253
实验 3 曲柄连杆机构和配气机构拆装	255
实验 4 汽油机燃料系主要部件拆装	256

实验 5 柴油机燃料系主要部件拆装	257
实验 6 冷却系主要部件拆装	257
实验 7 润滑系主要部件拆装	258
实验 8 离合器和手动变速器拆装	259
实验 9 驱动桥拆装	261
实验 10 转向系主要部件拆装	262
实验 11 制动系主要部件拆装	263
第 26 章 汽车电器与电子技术课程实验	266
实验 1 硅整流交流发电机的拆装及检修	266
实验 2 起动机拆装及性能检测	267
实验 3 点火系统结构原理与检测	268
实验 4 电控燃油喷射系统	270
实验 5 电控自动变速器	273
实验 6 ABS 防抱死制动系统仿真	277
实验 7 全车总线路分析	278
第 27 章 汽车理论课程实验	280
实验 1 汽车总体参数的测定	280
实验 2 汽车动力性	281
实验 3 汽车燃油经济性	284
实验 4 汽车安全性	285
第 28 章 汽车检测与诊断技术课程实验	287
实验 1 发动机功率检测	287
实验 2 发动机综合分析仪的应用	288
实验 3 车轮定位检测	289
实验 4 汽车安全性能检测	290
第五篇 创新性实验	
第 29 章 机械类	297
实验 1 基于机构组成原理的拼接设计	297
实验 2 基于机构创新原理的拼接设计	304
实验 3 轴系结构设计	311
实验 4 创新思维与设计	311
第 30 章 单片机类	317
实验 1 简易计算器	317

实验 2 简易测温系统	317
实验 3 基于 MCS-51 单片机的步进电机速度控制程序设计	318
实验 4 51 系列单片机键盘和 LED 显示接口电路研究	319
实验 5 单片机串行显示、键盘的设计与实现	320
第 31 章 电机类	321
实验 1 单相变压器的并联运行	321
实验 2 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性	321
第 32 章 自动控制类	323
实验 1 双旋翼飞机模拟控制系统的设计	323
实验 2 单(三)容水槽的液位控制系统设计	324
实验 3 控制系统的分析与设计	324
第 33 章 机器人人类	327
实验 1 机器人假肢关节舵机控制研究	327
实验 2 井下救援机器人控制系统	327
实验 3 太阳自动跟踪系统控制	328
实验 4 慧鱼技术创意设计	329
实验 5 HERO-1 机器人功能开发设计	330

第一篇 基础实验

第1章 大学物理实验

实验1 长度的测量

【实验目的】

- (1) 掌握游标卡尺及螺旋测微原理。
- (2) 正确使用游标卡尺、螺旋测微计。
- (3) 掌握多次等精度测量误差的估计。

【实验内容】

1. 游标卡尺

(1) 原理

游标卡尺在构造上的主要特点是：游标刻度尺上一共有 m 分格，而 m 分格的总长度和主刻度尺上的 $(m-1)$ 分格的总长度相等。设主刻度尺上每个等分格的长度为 y ，游标刻度尺上每个等分格的长度为 x ，则有

$$mx = (m-1)y$$

主刻度尺与游标刻度尺每个分格之差 $y-x=y/m$ 为游标卡尺的最小读数，即最小刻度的分度数值。主刻度尺的最小分度是毫米(mm)，若 $m=10$ ，即游标刻度尺上 10 个等分格的总长度和主刻度尺上的 9mm 相等，每个游标分度是 0.9mm，主刻度尺与游标刻度尺每个分度之差 $\Delta x=1-0.9=0.1(\text{mm})$ ，称作 10 分度游标卡尺；如 $m=20$ ，则游标卡尺的最小分度为 $1/20\text{mm}=0.05\text{mm}$ ，称为 20 分度游标卡尺；还有常用的 50 分度的游标卡尺，其分度数值为 $1/50\text{mm}=0.02\text{mm}$ 。

(2) 读数

游标卡尺的读数表示的是主刻度尺的 0 线与游标刻度尺的 0 线之间的距离。读数可分为两部分：首先，从游标刻度上 0 线的位置读出整数部分(毫米位)；其次，根据游标刻度尺上与主刻度尺对齐的刻度线读出不足毫米分格的小数部分，二者相加就是测量值。以 10 分度的游标卡尺为例，看一下如图 1-1 所示读数。毫米以上的整数部分直接从主刻度尺上读出为 21mm。读毫米以下的小数部分时应细心寻找游标刻度尺上哪一根刻度线与主刻度尺上的刻度线对得最整齐，对得最整齐的那根刻度线表示的数值就是我们要找的小数部分。若图中是第 6 根刻度线和主刻度尺上的刻度线对得最整齐，应该读作 0.6mm。所测工件的读数值为 $21+0.6=21.6(\text{mm})$ 。如果是第 4 根刻度线和主刻度尺上的刻度线对得最整齐，那么读数就是 21.4mm。20 分度的游标卡尺和 50 分度的游标卡尺的读数方法与 10 分度游标卡尺相同，读数也是由两部分组成。

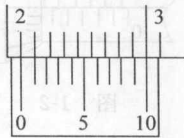


图 1-1

(3) 注意事项

① 游标卡尺使用前,应该先将游标卡尺的卡口合拢,检查游标刻度尺的0线和主刻度尺的0线是否对齐。若对不齐说明卡口有零误差,应记下零点读数,用以修正测量值。

② 推动游标刻度尺时,不要用力过猛,卡住被测物体时松紧应适当,更不能卡住物体后再移动物体,以防卡口受损。

③ 用完后两卡口要留有间隙,然后将游标卡尺放入包装盒内,不能随便放在桌上,更不能放在潮湿的地方。

2. 螺旋测微器

(1) 原理

螺旋测微器内部螺旋的螺距为0.5mm,因此副刻度尺(微分筒)每旋转一周,螺旋测微器内部的测微螺丝杆和副刻度尺同时前进或后退0.5mm,而螺旋测微器内部的测微螺丝杆套筒每旋转一格,测微螺丝杆沿着轴线方向前进0.01mm,0.01mm即为螺旋测微器的最小分度数值。在读数时可估计到最小分度的1/10,即0.001mm,故螺旋测微器又称为千分尺。

(2) 读数

读数可分两步:首先,观察固定标尺读数准线(即微分筒前沿)所在的位置,可以从固定标尺上读出整数部分,每格0.5mm,即可读到半毫米;其次,以固定标尺的刻度线为读数准线,读出0.5mm以下的数值,估计读数到最小分度的1/10,然后两者相加。

如图1-2所示,整数部分是5.5mm(因固定标尺的读数准线已超过了1/2刻度线,所以是5.5mm),副刻度尺上的圆周刻度是20的刻线正好与读数准线对齐,即0.200mm。所以,其读数值为 $5.5 + 0.200 = 5.700\text{mm}$ 。如图1-3所示,整数部分(主尺部分)是5mm,而圆周刻度是20.9,即0.209mm,其读数值为 $5 + 0.209 = 5.209(\text{mm})$ 。使用螺旋测微器时要注意0点误差,即当两个测量界面密合时,看一下副刻度尺0线和主刻度尺0线所对应的位置。经过使用后的螺旋测微器0点一般对不齐,而是显示某一读数,使用时要分清是正误差还是负误差。如图1-4和图1-5所示,如果零点误差用 δ_0 表示,测量待测物的读数是 d 。此时,待测量物体的实际长度为 $d' = d - \delta_0$, δ_0 可正可负。

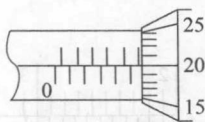


图 1-2

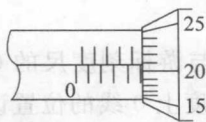


图 1-3

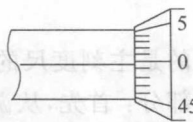


图 1-4

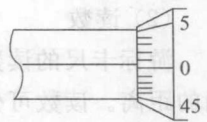


图 1-5

在图1-4中 $\delta_0 = -0.006\text{mm}$, $d' = d - (-0.006) = d + 0.006(\text{mm})$ 。

在图1-5中 $\delta_0 = +0.008\text{mm}$, $d' = d - \delta_0 = d - 0.008(\text{mm})$ 。

3. 读数显微镜

(1) 原理

测微螺旋螺距为1mm(即标尺分度),在显微镜的旋转轮上刻有100个等分格,每格为0.01mm,当旋转轮转动一周时,显微镜沿标尺移动1mm,当旋转轮旋转过一个等分格,显微镜就沿标尺移动0.01mm。0.01mm即为读数显微镜的最小分度。

(2) 测量与读数

① 调节目镜进行视场调整,使显微镜十字线最清晰即可;转动调焦手轮,从目镜中观测使被测工件成像清晰;可调整被测工件,使其被测工件的一个横截面和显微镜移动方向平行。

② 转动旋转轮可以调节十字竖线对准被测工件的起点,在标尺上读取毫米的整数部分,在旋转轮上读取毫米以下的小数部分。两次读数之和是此点的读数 A 。

③ 沿着同方向转动旋转轮,使十字竖线恰好停止于被测工件的终点,记下此值所测量工件的长度即 $L = |A' - A|$ 。

(3) 使用注意事项

① 在松开每个锁紧螺丝时,必须用手托住相应部分,以免其坠落和受冲击。

② 注意防止回程误差,由于螺丝和螺母不可能完全密合,螺旋转动方向改变时它的接触状态也改变,两次读数将不同,由此产生的误差叫回程误差。为防止此误差,测量时应向同一方向转动,使十字线和目标对准,若移动十字线超过了目标,就要多退回一些,重新再向同一方向转动。

【实验步骤】

(1) 用米尺测一长方体的长、宽、高,并正确用误差理论的要求表示测量结果。

(2) 用游标卡尺测空心圆柱体的内径 d 、外径 D 和高 H ,求体积 V ,并正确用误差理论的要求表示测量结果。

(3) 用螺旋测微计测一小球的直径 D ,求体积 V ,并正确用误差理论的要求表示测量结果。

(4) 测量毛细管的内径,并正确用误差理论的要求表示测量结果。(选做)

【实验要求】

按要求完成实验报告,并分析误差产生的原因。

【思考题】

(1) 何谓仪器的分度数值? 米尺、20 分度游标卡尺和螺旋测微器的分度数值各为多少? 如果用它们测量一个物体约 2cm 的长度,问每个待测量能读得几位有效数字?

(2) 游标刻度尺上 30 个分格与主刻度尺 29 个分格等长,问这种游标尺的分度数值为多少?

实验 2 利用单摆测定重力加速度

【实验目的】

(1) 掌握用单摆测量重力加速度的方法。

(2) 学习电子停表(或机械秒表)的使用。

(3) 了解系统误差的来源,通过作直方图认识偶然误差的特点。

【实验仪器】

螺旋测微器,电子停表(或机械秒表),单摆装置,钢卷尺,三角板等。

【实验原理】

1. 单摆测重力加速度 g

用一根不可伸长的轻线悬挂一小球,当细线质量比小球的质量小很多,而且小球的直径又比细线的长度小很多时,作摆角 θ 很小的摆动,此种装置称为单摆,如图 1-6 所示。如果把小球稍微拉开一定距离,小球在重力作用下可在铅直平面内做往复运动,一个完整的往复运动所用的时间称为一个周期 T 。

设小球的质量为 m ,其质心到摆的支点 O 的距离为 L (摆长)。作用在小球上的切向力为 $mg\sin\theta$,它总指向平衡点 O_1 ,当 θ 角很小时,则 $\sin\theta \approx \theta$,切向力的大小为 $mg\theta$,按牛顿第二定律,质点的运动方程为

$$ma_{\text{切}} = -mg\sin\theta \quad mL \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg\theta \quad \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L}\theta$$

这是一个简谐运动方程,可知该简谐振动角频率的平方等于 g/L ,由此得出

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1-1)$$

所以

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2} \quad (1-2)$$

利用式(1-2)可求出重力加速度 g 。

2. 单摆测重力加速度的系统误差分析

式(1-1)是测 T 的理论公式,它要求:

- (1) 单摆的摆角很小,要小于 5° ;
- (2) 球的直径 D 应远小于单摆的摆长 L ;
- (3) 摆线的质量应远小于球的质量 m ;
- (4) 不记空气的浮力和阻力的影响。

3. 偶然误差的特点

偶然误差表现为无规则的涨落,在相同的条件下进行大量测量时,误差呈现出一定的统计规律,如图 1-7 的直方图所示。

【实验内容】

1. 单摆测 g

- (1) 测量摆长 L 将摆长取大约 1m,测量支点到球心的距离 L ,共测 3 次。
- (2) 测量摆角应保证摆角小于 5° 。
- (3) 测量摆动周期 T 用停表测定摆动 50 次所需时间 T_{50} ,则周期 T 为 $\frac{T_{50}}{50}$ (s)。
- (4) 计算重力加速度 g 由公式 $g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$ 计算出重力加速度 g ,利用误差的传递公式确定绝对误差 Δg ,并按误差理论的要求表示测量结果。

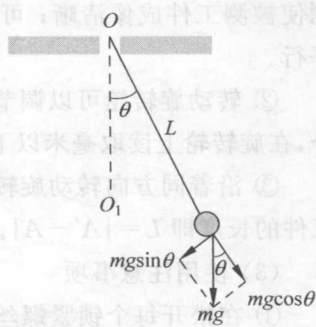


图 1-6