



工业和信息化高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪普通高等教育机电工程类规划教材

21 SHIJI PUTONGGAODENGJIAOYU JDIANGONGCHENGLEI GUIHUA JIAOCAI

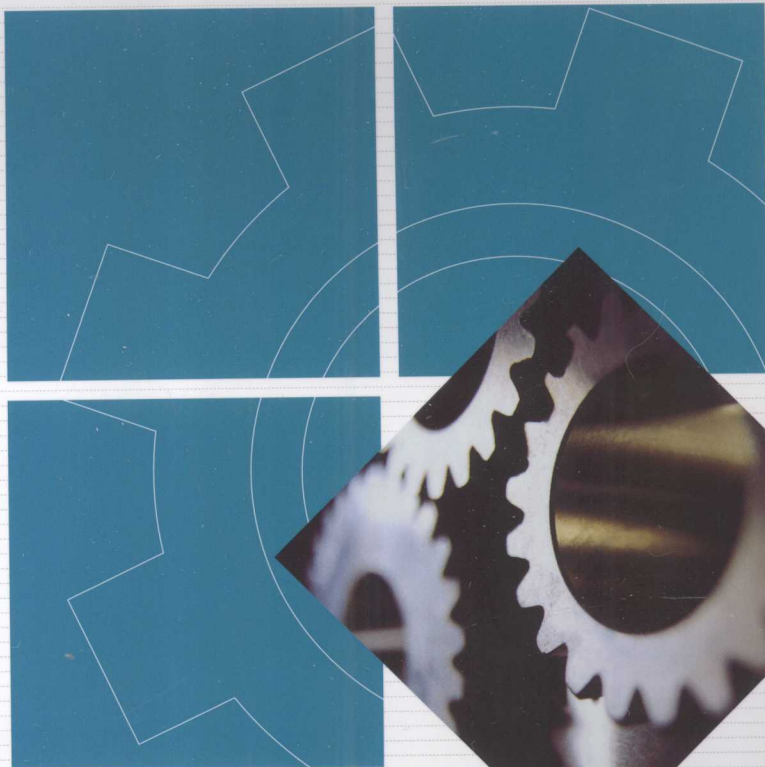
机械工程实验

(第2版)



Jixie Gongcheng Shiyān

■ 周青 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

013071276



工业和信息化高等教育“十二五”

TH-33
17-2



21 世纪普通高等教育机电工程类规划教材

21 SHIJI PUTONGGAODENGJIAOYU JDIANGONGCHENGLI GUIHUA JIAOCAI

机械工程实验

(第2版)

■ 周青 主编

徐桂梅 熊骏 副主编

陈云 周细林 曾东保 孙淑梅 参编

张歧生 主审



北航

C1680179

人民邮电出版社

北京

TH-33

17-2

01301576

图书在版编目(CIP)数据

机械工程实验 / 周青主编. -- 2版. -- 北京: 人民邮电出版社, 2013. 8
21世纪普通高等教育机电工程类规划教材
ISBN 978-7-115-32859-5

I. ①机… II. ①周… III. ①机械工程—实验—高等学校—教材 IV. ①TH-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第198228号

内 容 提 要

本书以培养高等学校机械学科类学生实践动手能力为目的,系统地介绍了机械类实验的实验原理、实验目的、基本实验方法和操作过程。具体涵盖了机械原理、机械设计、工程材料、机械制造工艺、液压与气动、公差配合与测量、模具设计与制造、传感器与测试技术、机械传动与动平衡等方面的实验知识。

本书可作为普通本科、高职高专类院校机械学科各专业的教学用书,也可作为其他有关技术人员参考、学习用书。

-
- ◆ 主 编 周 青
 - 副 主 编 徐桂梅 熊 骏
 - 参 编 陈 云 周细林 曾东保 孙淑梅
 - 主 审 张歧生
 - 责任编辑 李育民
 - 执行编辑 王丽美
 - 责任印制 沈 蓉 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
 - 邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 16.75 2013年8月第2版
 - 字数: 409千字 2013年8月北京第1次印刷
-

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

前言

实验教学是机械类专业教学的重要组成部分,它与课堂教学紧密结合,对培养学生理论联系实际的能力具有重要作用。为使学生掌握专业课程实验方法与技能,启发学生的创新思维,我们根据实验教学大纲要求,保证必要的演示性及验证性实验项目,并结合高校实验教学条件,充分利用先进的仪器设备,增加了一些与生产实际紧密结合的综合性、设计性实验项目,以满足当今社会对应用型人才的需求。

本书涵盖了机械原理、机械设计、机械制造基础、公差配合与测量、液压与气压传动、工程材料、测试技术、机械传动、塑料成型与模具设计、冲压工艺与模具设计等理论课程要求的知识点,围绕认知实验、基础实验、设计型实验、综合型实验、创新型实验等方面设计实验项目,注重实验项目设置的系统性和科学性,力求构建新型机械工程基础实验课程体系,进一步培养学生的动手能力、工程应用能力和创新能力。

本书由江西科技学院周青任主编,徐桂梅、熊骏任副主编,张歧生任主审。其中,周青编写第1章、第3章、第6章和第12章,并负责全书的统稿工作;徐桂梅编写了第2章和第5章;熊骏编写了第4章和第7章;陈云编写了第8章;周细林编写了第10章;曾东保编写了第11章;孙淑梅编写了第9章。另外,本书编写过程中,得到了杭州电子科技大学陈磊老师的大力协助。

在本书编写过程中,力求实验项目设置更加合理,实验内容更充实、更具有典型性和代表性,参阅了相关文献和部分仪器设备说明书,在此表示感谢。

由于水平有限,本书在编写过程中可能存在不足之处,敬请读者谅解并提出宝贵意见。

编者

2013年6月

目 录

第1章 绪论	1	2.5 回归分析	35
1.1 机械工程基础实验课程的重要性、性质与任务	1	2.5.1 一元线性回归	35
1.1.1 机械工程基础实验课程的重要性	1	2.5.2 一元非线性回归	40
1.1.2 机械工程基础实验课程的性质与任务	2	2.6 试验数据的表图表示法	42
1.2 机械工程基础实验课程的主要内容	2	2.6.1 列表法	42
1.3 机械工程基础实验课程的学习方法	3	2.6.2 图示法	43
1.4 机械工程实验课程的要求	4	第3章 公差配合与测量试验	48
1.4.1 实验室管理规则	5	3.1 基本尺寸的测量与检验	48
1.4.2 学生实验守则	6	3.1.1 长度尺寸的测量与检验	48
1.4.3 实验室卫生管理规定	6	3.1.2 外圆尺寸的测量与检验	50
第2章 试验设计与数据处理	7	3.1.3 内圆尺寸的测量与检验	52
2.1 正交试验设计	7	3.1.4 孔深及键槽深尺寸的测量与检验	53
2.1.1 基本概念	7	3.2 配合尺寸的测量与检验	54
2.1.2 安排试验的原则	8	3.2.1 轴与孔的配合尺寸的测量与检验	54
2.1.3 正交表	9	3.2.2 滚动轴承配合尺寸的测量与检验	55
2.2 正交表的使用和极差分析	10	3.3 零件形状误差的测量与检验	56
2.2.1 试验方案设计	10	3.3.1 直线度测量与检验	56
2.2.2 试验结果处理——极差分析法	11	3.3.2 平面度测量与检验	58
2.2.3 多指标试验的极差分析法	15	3.3.3 圆度测量与检验	60
2.3 正交试验的方差分析	16	3.3.4 圆柱度测量与检验	62
2.4 试验误差分析与数据处理	22	3.4 零件位置误差的测量与检验	63
2.4.1 误差的基本概念	22	3.4.1 平行度测量与检验	63
2.4.2 随机误差	24	3.4.2 垂直度测量与检验	64
2.4.3 系统误差	26	3.4.3 同轴度测量与检验	65
2.4.4 粗大误差及其剔除	30	3.4.4 圆柱径向跳动测量与检验	66
2.4.5 有效数字计算与结果的表示	33	3.4.5 端面圆跳动测量与检验	67
		3.4.6 对称度测量与检验	68
		3.5 表面粗糙度测量	69

3.6 普通螺纹尺寸的测量与检验	74
3.6.1 用螺纹样板测量螺距	74
3.6.2 外螺纹中径尺寸的测量与检验	75
3.6.3 用螺纹环规和塞规检验内、外螺纹	77
3.7 键与花键尺寸的测量与检验	79
3.7.1 单键配合尺寸的测量与检验	79
3.7.2 花键配合尺寸的测量与检验	80
3.8 齿轮尺寸的测量与检验	81
3.8.1 齿轮齿厚偏差的测量与检验	81
3.8.2 齿轮公法线长度偏差的测量与检验	83
3.9 齿轮形位误差的测量与检验	86
3.9.1 齿圈径向跳动测量与检验	86
3.9.2 齿轮齿向误差测量与检验	87
3.10 用三坐标机测量轮廓度误差	88
第4章 液压与气动实验	91
4.1 液压实验	91
4.1.1 概述	91
4.1.2 液压元件拆装实验	93
4.1.3 二位四通电磁阀控制连续往复换向回路实验	95
4.1.4 两级调压回路实验	99
4.1.5 回油节流调速回路实验	102
4.1.6 行程开关控制顺序动作回路实验	107
4.2 气压传动基础实验	111
4.2.1 概述	111
4.2.2 双作用汽缸单电控连续往复换向回路实验	112
4.2.3 双作用汽缸双向节流调速实验	113
4.2.4 单电控双缸顺序动作回路	114

第5章 机械设计实验	116
5.1 概述	116
5.2 机构运动简图的测绘	118
5.3 渐开线齿轮范成实验	120
5.4 齿轮几何参数测定的实验	122
5.5 轴系结构测绘实验	125
5.6 机械创新设计陈列柜演示实验	127
5.7 减速器结构分析及拆装实验	133
5.8 结构创新设计试验	136
第6章 机械制造实验	140
6.1 机械原理控制陈列柜介绍	140
6.2 机械设计陈列柜介绍	142
6.3 材料成形与切削加工陈列柜介绍	143
6.4 金属切削机床车床 CA6140	144
6.5 Y38 型滚齿机	153
第7章 工程材料实验	157
7.1 硬度实验	157
7.1.1 布氏硬度实验	157
7.1.2 洛氏硬度实验	158
7.1.3 实验报告	160
7.2 金相试样的制作和显微镜的使用	160
7.3 铁碳合金的平衡组织观察	164
7.4 碳钢非平衡显微组织观察	168
7.5 碳钢的热处理	173
7.6 工业用钢、铸铁、有色合金、粉末冶金的金相组织观察	179
7.7 钢的中频感应加热表面淬火实验	184
第8章 测试技术实验	186
8.1 概述	186
8.2 应变片与直流电桥(单臂、半桥、全桥比较)	189
8.3 应变片温度效应及补偿实验	192
8.4 热敏电阻测温实验	194

8.5	气敏传感器实验	196
8.6	差动变压器的性能实验	197
8.7	电涡流式传感器的精态标定	200
8.8	半导体霍尔式传感器	202
8.9	热电式传感器——热电偶	204
8.10	光纤位移传感器实验	205
8.11	光电传感器的应用——光电转速测试	207
第9章	机械传动与动平衡实验	209
9.1	带传动效率测试实验	209
9.2	齿轮与蜗杆传动测试实验	213
9.3	螺旋传动测试分析实验	216
9.4	机械速度波动调节实验	221
9.5	液体动压滑动轴承实验	227
9.6	转子动平衡测试实验	231
第10章	塑料成型工艺与模具设计实验	235
10.1	HY—350 注塑机	235

10.2	注射模具拆装实验	238
10.3	注射模具零部件测绘实验	239
10.4	塑料成型工艺实验	240
第11章	冲压工艺及模具设计实验	242
11.1	概述	242
11.2	J—36 冲床	242
11.3	典型冲压模具的结构认知实验	248
11.4	典型冲压模具拆装实验	249
11.5	典型冲压模具测绘实验	250
第12章	实验报告撰写	252
12.1	概述	252
12.2	学生实验报告的编写	253
12.3	技术报告的编写	254
附录		258

第1章

绪论

1.1

机械工程基础实验课程的重要性、性质与任务

1.1.1 机械工程基础实验课程的重要性

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。实验的目的是纯化、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。科学发展的历史表明,许多伟大的发现、发明和重大的研究成果都产生于科学实验。例如,居里夫人就是在实验室里夜以继日工作了10多年才发现和提炼了铀。回顾机械的发展历史,人类从使用原始工具到创造发明原始机械、古代机械、近代机械乃至今天的汽车、数控机床、智能机器人、载人宇宙飞船、航天飞机等现代机械,都是经过艰辛的科学实验的结果。随着科学技术的迅速发展,高新技术产品不断问世,高等学校绝大多数的科研成果和高新技术产品诞生都是在实验室里实验研究的结果。据资料表明,诺贝尔物理奖自1900年以来的100多个奖项中,可以认为70%以上是授予实验项目的。由此可见实验对理论和科学研究的重要性。随着科学技术的发展,科学实验的范围和深度不断拓展和深入,科学实验具有越来越重要的作用,成为自然科学理论和工程技术的直接基础。

机械工业与机械工程历来是国家经济建设的支柱产业和支柱学科之一,而且是基础产业与基础学科之一。随着科学技术的不断发展,社会对机械学科和机械类专业人才也提出了更高的要求。高等学校工科学生,尤其是机械类专业的学生,必须具有良好的实践能力、创新能力和综合设计能力。实验正是培养学生具有这些能力的极好的教学环节。实验教学是理工科专业教学中重要的组成部分,它不仅是学生获得知识和经验的重要途径,而且对培养学生的自学能力、工作态度、实际工作能力、科学研究能力和创新思维具有十分重要的作用,对实现培养学生成为适合国家和社会需要的高素质人才的目标起着关键的作用。

1.1.2 机械工程基础实验课程的性质与任务

随着计算机与信息技术的高速发展,学生对实际动手操作和工程实验渐渐失去了兴趣,而热衷于对各种 CAD、CAE 和 CAM 等工具软件的学习,他们并不清楚实验设计方法和实验基本技能才是进行科学研究的基础,因而他们对知识的学习是本末倒置的。

实验教学就是在教师的指导下,学生通过实验的方法进行学习的一种教学形式。这里所说的实验方法,是人们根据研究课题规定的任务,利用专门的仪器和设备对研究对象进行积极的干预,人为地变革、控制和模拟研究对象,以便在最有利的条件下对其进行观察,从而获得经验事实的一种方法。

机械工程类课程包括机械制造基础、公差与技术测量、机械原理、机械设计、测试技术、液压与气动、工程材料等。这些课程是重要的技术基础课,是连接基础课与专业课的重要环节,都有一系列的实验来支撑。为了适应知识经济和技术创新的时代要求,使实验教学的内容和水平符合培养高素质技术人才的要求,我们尝试对机械工程系列课程的实验进行整合、优化,形成系列课程互相衔接、互相配合、互相支撑的实验教学体系。注意反映当代机械工程实验技术,并引入相关学科,如激光测量、图像处理、智能控制、虚拟实验等新技术、新成果,丰富实验教学内容,提高实验的质量和水平,开出独立的机械工程综合实验课程。

本实验课程的主要任务就是让机械类的学生通过对机械工程基础实验的原理和方法的学习、实验操作训练及数据分析总结,达到以下目的。

- (1) 了解机械工程基础实验在机械学科研究中的重要地位,养成严格按科学规律从事实验工作,勇于探索创新和实事求是的科学态度。
- (2) 了解机械工程基础实验各实验内容的原理,掌握实验中常用评价参数的内容、测定方法及相关仪器设备的选择和使用方法。
- (3) 了解现代工程实验方法在机械工程基础实验领域中的应用。
- (4) 初步具备根据工程实际情况正确设计实验、完成实验内容、分析实验结果的能力以及撰写实验报告的表达能力。
- (5) 具有理解、构思、改进机械工程实验方案的基本能力。
- (6) 具备在实验过程中发现问题、分析问题、解决问题的能力。
- (7) 具有吃苦耐劳及团队合作的精神。

1.2

机械工程基础实验课程的主要内容

机械工程实验课程以机械工程实验方法自身的系统为主线设置实验课,成绩单考核和计分。实验课的教学内容注意培养学生的创新能力和综合设计能力。重视实验内容由“验证性”转为“开发性”,“单一性”转为“综合性”,注意实验内容的创新性,增加实验内容和选题

的自主性,改进实验指导方法,尽量发挥教师指导、学生自主的作用。

机械工程实验课程分为基本实验和实验设计研究两个层次。机械工程基本实验包括必修和选修两个部分。选修实验含有一定的实验设计和研究实践,供学有余力的学生使用。本实验教程增加实验内容和选题的柔性与开放性,以发挥学生的个性和创造能力,鼓励学生充分自主,发挥想象力,敢于打破“思维定势”的约束,提出新方案、新方法、应用新技术。实验设计属研究型综合实验,要求学生根据实验题目或专题(如机械加工工艺设计实验、机器人性能设计实验等)进行实验设计。在老师指导下,学生根据任务自主查阅资料、确定实验方案、选用实验设备和测试仪器完成实验设计,进行实验获取和处理实验数据,并撰写有分析内容的实验设计研究报告。

机械工程实验课程的实验内容应反映机械学科的发展方向,改革陈旧的实验内容和实验装置是必需的。因此,我们要充分考虑现有的工作条件,处理好传统实验与综合性实验、创新性实验之间的关系,在发挥传统实验作用的基础上,采取①开发更新实验装置;②增加实验设计;③引进先进的数据采集和数据处理手段,实现计算机技术在机械工程实验中的应用等方式,引入控制技术和机电一体化技术等先进的实验设备、实验内容、实验手段,达到培养学生的创新能力、综合设计能力和掌握新的科学技术的目的。

机械工程实验课程应有较多的创新设计实验内容,允许学生实现自己构思的原理方案,为了节省经费又不约束学生的新构思,实验装置可采用在一定条件下的组装式实验模块。此外,在机械工程部分实验中采用计算机仿真技术和虚拟实验,以增加实验的柔性,让学生在实验中能充分体现自主性。

机械工程实验课程的主要内容有以下3个部分。

(1) 实验的基本知识,包括概论、机械工程实验常用仪器设备、实验数据采集和误差分析及处理。

(2) 基本实验,包括机械组成的认识实验、机械零件几何精度的测量、机械设计实验、液压与气动实验、工程材料实验、测试技术实验等。

(3) 拓展实验,包括机械创新设计实验、综合设计实验,在每门课程中均可开设。

本实验课程的各个实验之间有相对独立性,便于不同系、不同层次的师生根据学校的实际情况选择使用。

1.3

机械工程基础实验课程的学习方法

1. 重视实际动手能力的培养,注重细节

机械工程基础实验课程是一门以学生实际操作为主的技术基础课程,在具体的实验过程中需要使用多种仪器设备和工具,因此,要求学生具有较强的动手能力。培养自己的动手能力不仅仅是学会操作使用各种仪器设备和工具,还要培养自己小心谨慎的工作作风,要注重细节,

搞清楚各种工具的使用规范和注意事项。

2. 要善于思考、总结, 培养分析能力

许多学生在做实验的过程中, 往往是按照实验步骤机械模仿, 对于实验过程和实验结果很少进行分析和思考, 尤其对于验证性实验, 认为其无非是对理论的检验, 没有什么值得思考的。这种做法使学生在做完实验后只是验证了某个定理或者公式, 并不能得到任何实用性结论, 失去了做实验的意义。学习本门课程应该有意识地对实验过程和实验结果进行思考, 为什么实验要安排这一个步骤? 去掉这个步骤可行吗? 实验得到的数据和理论是完全一致的吗? 什么原因导致了误差甚至实验的失败? 通过这样的思考可以很好地培养自己的分析能力, 得到实用性的结论, 提高自身的工程实践能力。

3. 注意理论知识的综合应用, 培养创新精神

机械工程基础实验课程作为一门技术基础课, 涉及多门理论课程的知识, 特别是一些较复杂的综合设计型实验更是对多门学科知识的有机结合的应用, 因而成为培养学生创新能力的重要平台。在学习本门课程的过程中, 在重视动手能力的同时, 也要注意夯实自己的理论基础, 将多门学科的知识有机结合, 在理论指导下综合利用各种实验设备和仪器设计出新的实验方案, 提高自身的创新能力。

4. 具有吃苦耐劳, 以及团队协作的精神

机械工程基础实验课是一门实践性很强的课程, 它与工程实践密切相关, 实验过程中, 往往难以避免油污、铁屑等污物。学生应该克服实验环境的不利影响, 严格按照要求完成实验。要注意培养自己的团队协作精神, 须知, 个人的能力和精力是有限的, 在规定的时间内完成一个较为复杂的综合设计型实验往往需要多人的协作, 各行其是会降低实验的效率, 甚至会导致实验的失败。

1.4

机械工程实验课程的要求

机械工程实验课程是机械工程实验教学的重要组成部分, 是机械工程系列课程的重要教学内容和课程体系改革的主要内容之一。要求学生通过本课程的学习和实验实践, 掌握以下基本内容。

(1) 充分认识科学实验的内涵和重要意义。

(2) 了解和熟识机械工程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。

实验完成后,必须严谨规范地撰写实验报告。实验报告是显示并保存实验数据和成果的载体,是分析、解决问题的依据。实验报告包括实验名称、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、附录等内容。

1.4.1 实验室管理规则

(1) 学生应按时参加实验课,进入实验室应佩戴身份卡并及时签名,未经指导教师同意不得动用任何仪器设备,不得随意进出实验室。

(2) 学生应在实验课前认真预习实验内容,写好预习报告,无预习报告者不得参与实验课程。

(3) 学生在实验操作前要认真听取指导教师讲解,明确实验目的、原理、方法和步骤,以小组为单位由小组长签名领取相关的工具和零配件,如有问题应及时向指导教师提出。

(4) 实验室以小组为单位进行实验,分工负责、有序进行,严禁任意调换座位,更不得影响他人实验,不准动用教师控制台的各种设备。

(5) 实验室应保持整洁、安静,不得在桌面、仪器设备上乱涂写,不得将与实验无关的物品带入实验室,不乱扔纸屑、杂物,严禁高声喧哗、吸烟、随地吐痰,不准在实验室吃东西。

(6) 实验准备工作就绪后,要认真自查、互查,经指导教师检查同意后,方可进行实验,操作设备的旋钮和开关时不要用力过猛和超位,实验中应严格遵守设备操作规程,实验中严防用手触摸线路中带电的裸露导体,万一有人触电,应立即切断电源,采取必要的救护措施并报告老师,实验中认真观察和分析实验现象,及时记录实验数据,不准抄袭他人实验结果,不做与规定实验无关的事。

(7) 实验中要爱护实验仪器设备,爱护各种零配件和工具,注意安全,节约用电、节约消耗材料。凡违反操作规程或不听指导而造成事故、损坏公物者,必须写出书面检查,并按有关规定赔偿损失。

(8) 实验中若发现仪器设备故障或其他事故,应立即停止使用并切断电源、油源、气源,停止操作,保持现场并报告指导教师,等查明原因并排除故障后,方可进行实验,未经指导教师允许,不得改动实验室的配电板和更换保险丝,不得擅自拆卸仪表及实训设备。

(9) 实验完成后,应及时关掉电源、油源、气源,并将所用桌椅、仪器设备、工具、各种零配件等按摆放顺序整理好,交回原处并签名,做好清洁工作,将所做的实验报告交给指导教师批阅同意后,方可离开实验室。

(10) 学生实验时必须严格遵守《学生实验守则》和《学生实验安全操作规程》,如有违反,按规定处理,并通报有关部门。

1.4.2 学生实验守则

- (1) 学生必须按规定的时间参加实验课,不得迟到早退,迟到15分钟以上者,不得参加本次实验。
- (2) 学生进入实验室必须衣着整洁,室内必须保持安静、整洁和良好的工作环境,严禁高声喧哗、吸烟、随地吐痰、吃零食和乱扔纸屑杂物。
- (3) 服从实验指导教师的指导,严格遵守《实验室规则》等各项制度以及实验室操作规程。
- (4) 实验前应认真预习实验讲义,写好实验预习报告,仔细听取指导教师讲解,明确实验的目的、要求、方法和步骤,做好各项准备,经指导教师检查认可后方可开始实验。
- (5) 实验时应仔细观察现象,详细记录实验数据和结果,认真分析思考,得出结论。不得弄虚作假,马虎从事。
- (6) 实验后应按时做好实验报告,交指导教师批阅。不得无故不写或不交实验报告。
- (7) 实验中不准动用与实验无关的仪器和设备,不得动用他组的仪器、工具、文件和材料,不得随意做规定以外的其他实验。
- (8) 自觉爱护室内一切仪器、药品和其他设备,不准乱拿乱用、乱拆乱装,或私自借用甚至拿到室外。
- (9) 注意节约用电、用水、用气和药品材料,实验完毕后,及时断电、关水、停气,按规定处理实验废品,将仪器设备等物品清洗整理复原,经指导教师检查后方可离开。
- (10) 切实注意实验操作程序,严防在使用仪器、设备及试剂、原料时发生失火、爆炸、中毒、放射性污染、损坏仪器设备等事故。如违章操作又不听教师指导而造成事故者,要追究责任。
- (11) 凡属责任事故给实验室及其他仪器、设备造成损失者,均按学校颁布的有关规定处理。
- (12) 以上各条必须严格遵守,违者视情节轻重予以批评教育、经济赔偿直至纪律、刑事处分。

1.4.3 实验室卫生管理规定

实验室是学校教学和科研工作的重要场所,创建文明、卫生、安全的实验环境,是教学及科研实验正常进行的重要保证。

- (1) 实验仪器设备的布局要尽量和实验工艺一致,科学布置,摆放合理。实验结束后,各种仪器设备要及时清理,分类摆放。
- (2) 实验室各房间应设置专门的卫生负责人,要认真负责各房间的卫生工作,垃圾日产日清。
- (3) 实验室严禁随地吐痰,严禁乱扔瓜果皮核、纸屑等杂物;严禁吸烟、就餐、聚会;严禁存放私人物品。
- (4) 实验桌(台)、仪器柜、文件柜、抽屉等应保持整洁无尘,对各种仪器设备、文件资料要定期清扫或清洗,保持干净、无灰尘。
- (5) 保持实验室内无蚊蝇,墙面、地面无污迹,墙角无蜘蛛网,做到窗明几净。
- (6) 保持各种灯具无灰尘,安装整齐划一。

第2章

试验设计与数据处理

2.1

正交试验设计

为了达到一定的目标,需要通过试验寻求该目标的一些因素的最优值。实验设计的目的是用尽可能少的试验次数,尽快找到这些因素的最优值。如果影响目标的因素只有一个,则称为单因素问题,否则称为多因素问题。实际问题要复杂得多,不仅影响目标的因素会有很多,而且有时需同时考察几项目标值。“正交试验设计”是处理这类问题的一种科学方法,它可以应用一种规格化的表——“正交表”,合理安排试验。用这种方法,可以进行最少的试验而判断出较优的条件,若再对试验结果进行简单的统计分析,还可以更全面、更系统地掌握试验结果,指导后续的试验和生产。

2.1.1 基本概念

正交试验设计简称正交设计(Orthogonal Design),它是利用正交表(Orthogonal Table)科学安排与分析多因素试验的方法。

【例 2-1】 45 钢热处理,考察不同工艺规范对热处理后钢性能的影响。

1. 试验指标

在一项试验中,用来衡量试验效果的指标称为试验指标,简称指标或试验结果,通常用 y 表示。本例中衡量钢调质后性能的指标为强度和塑性,而且越高越好,这就是试验指标。类似可以用数量表示的指标,称为定量指标;不能用数量直接表示的指标,称为定性指标,如产品外观质量、色泽等。在试验分析中,定性指标一般可以转化为定量指标。

2. 试验因素

试验中,凡对试验指标可能产生影响的原因,都称为因素,也称因子或元。需要在试验中考察的因素称为试验因素,通常用大写字母 A 、 B 、 C 等表示。在一般的试验研究中,并非要考察所有的因素,这需由技术人员的理论知识和实际经验确定。本例中,考察影响性能的因素主

要有淬火加热温度 (A)、回火加热温度 (B)、回火冷却方式 (C)，这就是试验中的 3 个因素。在试验中，有些因素能严格控制，是可控因素，本例中的 A 、 B 、 C 三个因素都是可控因素。有些因素难以控制，称为不可控因素，如本例中材料本身的微观偏差和试验中可能出现的随机误差。试验中可能出现的随机误差，对试验结果会产生影响，有时也列为因素处理。

3. 因素水平

因素在试验中所处的状态，或能取的不同值，称为该因素的水平，也简称水平或位级，通常用下标 1、2、3... 表示。如试验中一个因素的 K 个值，则称为 K 水平因素。本例中的加热温度取为 860°C 和 840°C 两个状态，则该因素有两个水平，称为二水平因素，用 $A_1 = 860$ 、 $A_2 = 840$ 分别表示 1 水平和 2 水平。因素的水平可以取为具体值，如本例中的温度；有的不能取为具体值，如冷却方式用空冷、水冷和油冷等。

明确指标，选好因素，恰当地定出各因素的水平变化范围是正交设计的重要环节，对得出正确结论有重要意义，需要慎重考虑。

4. 正交设计解决的问题

通过正交设计进行试验和分析，可以回答下面 4 个问题。

- (1) 试验中相应因素对指标影响的作用大小，作用大的因素，应是重点研究的因素。
- (2) 每个因素的水平对指标的影响，找出每个因素的最好水平。
- (3) 能够得到较好指标的最佳因素的水平组合，得出最佳的工艺和方案。
- (4) 通过方差分析，判断误差的作用。

2.1.2 安排试验的原则

现以 3 个因素，每个因素取 3 个水平为例说明安排试验的原则。

如果对每个因素中的 3 个水平分别选取 1 个水平组成可能的试验方案，共有 3^3 个试验。显然，做完这 27 种可能的搭配的试验，就能得到满意的结果，然而能否减少试验量，只在 27 种搭配中抽出一小部分搭配进行试验，就可以解决问题呢？如果可能，对于更多因素，更多水平的试验，其意义就更大。

应用正交试验设计的“均衡搭配”原则和在此基础上的“综合可比性”原则，就为解决这一问题提供了便利的条件。

如图 2-1 所示，每个“●”代表一个试验。在 27 个试验中只挑 9 个点进行试验，安排正交试验的原则，在这 9 个试验中，每一个因素的每一个水平都有 3 个试验，而且任一因素的任一水平与其他因素的每一个水平相遇一次，且仅相遇一次。选用其他点进行试验，则满足不了这一要求。

正交设计所用的“正交表”正是按照上述原则建立的规范表格，只要根据选定的因素和水平数，选用相应的已经编排号的“正交表”安排试验和进行分析，就能达到上述目标。

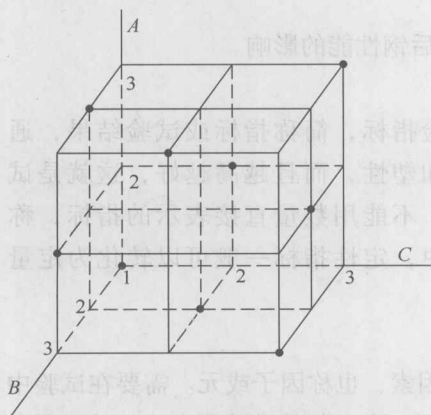


图 2-1 正交试验点分布

2.1.3 正交表

1. 正交表

正交表是正交试验设计的基本工具,它是根据均衡搭配的原则,运用组合数学理论构造的一种数字表格。

通常等水平正交表写成 $L_a(b^c)$, 其中 L 是 Latin 的第一个字母,表示正交表; a 是正交表的行数,即应安排的次数; b 表示正交表同一列中出现不同数字的个数或因素的水平数,因素有 b 个水平或在正交表中出现 b 个数字,就称为 b 水平正交表; c 表示正交表的列数,或正交表最多能安排的因素数,每列安排一个因素,因素数可以小于列数,把多余的列空缺或抹去,但不能多于列数。

$L_4(2^3)$ 是一张最简单的正交表,它表示一个具体的数字表格,见表 2-1。表中各个数字的含义说明如下。

表 2-1

 $L_4(2^3)$ 正交表

列号 试验号	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

显然, $L_4(2^3)$ 是一个二水平正交表。有四行三列,最多能安排 3 个因素,每个因素有二水平。所安排的试验数是 4 个,而全面试验数是 8 个,就是说,用 $L_4(2^3)$ 安排 3 个二水平因素试验时,可以比全面试验少做一半。

除等水平正交表外,还有非等水平正交表,一般表示为 $L_a(b_1^{c_1} \times b_2^{c_2})$, $L_a(b_1^{c_1} \times b_2^{c_2} \times b_3^{c_3})$ ($b_1 \neq b_2 \neq b_3$), 各字母表示意义与 $L_a(b^c)$ 相同。实际上这是一种不等水平的混合正交表。

常用正交表可分为:标准表、非标准表和混合型正交表。常用的正交表表格见附录。

2. 正交表的基本性质

(1) 正交性。具体表现为在任何一列中各水平都出现,且出现的次数相同;任意两列之间各种不同水平的所有可能组合都出现,且出现的次数相同。

由正交表的正交性可以看出如下内容。

① 正交表的各列之间可以相互置换,称为列间置换。

② 正交表的各行之间可以相互置换,称为行间置换。

③ 正交表中同一列的水平数字可以相互置换,称为水平置换。

上述 3 种置换为正交表的 3 种初等变换。经过初等变换得到的一切正交表,称为原正交表的同构表或等价表。实际应用时,可根据试验要求,把一个表变成与之等价的其他形式的表。

(2) 代表性。按照正交表安排的部分试验, 可以代表全面试验, 这是由正交表的“均衡搭配”原则得到的。

(3) 综合可比性。经过简单的数字处理, 可以单独比较一个因素对试验指标的影响大小, 这种综合可比性是正交试验设计进行结果分析的理论基础。

2.2

正交表的使用和极差分析

正交试验设计的基本程序是设计试验方案和处理试验结果两大步。设计试验方案时, 主要步骤可归纳如下。

- (1) 明确试验目的, 确定试验指标。
- (2) 确定需要考察的因素, 选取适当水平。
- (3) 选用合适的正交表。
- (4) 进行表头设计。
- (5) 编制试验方案, 组织实施。

处理试验结果的方法有多种, 这里先介绍极差分析法, 即直观分析法。

下面用实例介绍正交表的使用和极差分析法。

【例 2-2】 轴承圈退火试验, 试验目的为消除工件内应力, 降低硬度, 增加韧性。

2.2.1 试验方案设计

1. 确定指标

试验指标由试验目的确定。本例的指标是退火后的硬度合格率, 是一个定量指标, 且越大越好。

2. 确定因素并选出水平

根据理论分析和经验确定考查指标的因素及每一因素的变化水平。这是合理设计试验的重要环节, 应慎重考虑。当因素较多时, 选取因素不宜过多, 以 2~4 为宜, 经过试验, 分析出主要的影响因素后, 可再考查这些因素, 水平可适当多一些。

本例中的因素选择加热温度、保温时间和出炉温度 3 个因素, 每个因素考查两个水平。因素和水平变化情况见表 2-2。

表 2-2

因素水平表

因素 水平	(A) 加热温度	(B) 保温时间	(C) 出炉温度
1	800℃	6 h	400℃
2	820℃	8 h	500℃