普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

自动检测技术

(第 圆版)

宋文绪　杨　帆　主编

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容提要

本书在第 员版《自动检测技术》的基础上对部分章节进行了整合，删除了“测量误差与分配”等仅为简单说明但又不容易理解的难点，增加了“数码照相机”等一些新技术及新成果。以温度、压力、物位、厚度、流量、位移、速度、磁场、气体成分、浓度及光电等参数检测为主线，按传感器的用途分章讲述各类传感器的工作原理、结构、技术指标及使用特点。同时对传感器的一般特性及抗干扰技术等进行了讲述。本书的编写力求系统性、实用性与先进性相结合，理论与实践相交融，既注重传统知识的讲授，又兼顾新技术、新成果的应用。

本书可作为电气工程与自动化、机械电子工程、电子信息工程、测控技术与仪器、机械等专业的教材，也可供其他专业学生和有关的专业技术人员参考使用，或作为自学用书。

图书在版编目 (悄瞬数据

自动检测技术蝌宋文绪，杨帆主编 郾-圆版 郾-北京：
高等教育出版社，圆圆圆圆示

隙圆自 圆圆郾 Ⅱ郾①宋 圆圆郾①杨 圆圆郾 Ⅲ圆自动检测 原高等学校 原教材 Ⅳ圆

中国版本图书馆 悄瞬数据核字 (圆圆圆第 员圆圆圆号

策划编辑 孙 杰 责任编辑 李 刚 封面设计 王凌波 责任绘图 吴文信
版式设计 王艳红 责任校对 杨凤玲 责任印制

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 源号
邮政编码 员圆圆圆示
总 机 园园原缘圆圆圆圆

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 苑园园园 员圆元
印 张 员圆缘
字 数 源圆圆圆圆

购书热线 园园原远圆圆圆愿
免费咨询 愿圆原愿园原园圆愿
网 址 澡澡澡.悄悄悄.圆圆圆.糟糟糟.圆圆圆.耘

版 次 年 月第 员版
印 次 年 月第 次印刷
定 价 圆圆圆圆元

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：员缘圆原圆圆

出 版 说 明

为加强高职高专教育的教材建设工作，□□□□年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》（教高司□□□□□号），提出了“力争经过□年的努力，编写、出版□□□□种本左右高职高专教育规划教材”的目标，并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施：先用□至□年时间，在继承原有教材建设成果的基础上，充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验，解决好高职高专教育教材的有无问题；然后，再用□至□年的时间，在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神，有关院校和出版社从□□□□年秋季开始，积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据□□□□年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》（草案）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（草案）编写的，随着这些教材的陆续出版，基本上解决了高职高专教材的有无问题，完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

□□□□年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题，将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略，抓好重点规划”为指导方针，重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设，特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材；同时还要扩大教材品种，实现教材系列配套，并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系，在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材（高职高专教育）适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

□□□□年□月□日

前　言

检测技术作为信息科学的一个重要分支与计算机技术、自动控制技术和通信技术等一起构成了信息技术的完整科学。在人类进入信息时代的今天，人们的一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心，传感器作为信息获取与信息转换的重要手段，是实现信息化的基础技术之一。“没有传感器就没有现代科学技术”的观点已为全世界所公认。以传感器为核心的检测系统就像神经和感官一样，源源不断地向人类提供宏观与微观世界的种种信息，成为人们认识自然、改造自然的有力工具，广泛地应用于工业、农业、国防和科研等领域，已成为工科院校大部分专业学生必修的专业基础课。

本书涉及领域广泛，包括许多新技术、新器件在检测技术领域里的应用。全书共分十章：第员章是检测技术的基础知识；第圆章至第怨章为一些常用参数的检测，包括温度、压力、流量、物位、厚度、位移、速度、磁场、成分、光电等参数的检测；第员远章讲述了抗干扰技术。且在每章后都附有一定量的思考题与习题。

本书以充分体现高职高专教育的特点，提高学生分析问题及解决问题的能力为基本原则，在第员版的基础上编写而成的。本书具有以下几个特点：

① 精选教学内容，内容的选取基本上从我国当前工业生产及科研应用的实际出发，以信息的传感、转换、处理为核心，从基本物理概念入手，阐述热工量、机械量、几何量等参数的检测原理及方法。重点突出，应用性强，注重新技术、新成果的应用。

② 本书采用按用途分章的方法进行讲述，便于使用者对传感器进行类比、选型，突出了教材的实用性，且检测的参数、方法较多，应用领域广泛。

③ 全书将基础知识、科研新成果及发展新动向相结合，以检测系统的器件集成化、信息数字化和测试智能化为主线。

④ 立足基本理论，面向应用技术，以必须、够用为尺度，以掌握概念、强化应用为重点。加强了理论知识和实际应用的统一。

本书可作为电气工程与自动化、机械电子工程、电子与信息工程、测控技术与仪器、机械等专业的教材，也可供其他专业学生和有关的专业技术人员参考使用，或作为自学用书。

本书由宋文绪、杨帆主编。其中第员员章由宋文绪编写，第猿源章由张秀梅编写，第圆缘远苑章由杨帆编写，第愿怨章由徐舜华编写。

本书由北京联合大学自动化学院蒋蔚副教授主审，蒋蔚副教授对本书的总体结构和内容细节等进行了全面审定，提出许多宝贵而富有价值的审阅意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中错误、不妥之处在所难免，殷切希望广大读者提出宝贵意见。

编者

圆园园源年 缘月

目　录

第 员章　检测技术的基础知识 …… 员
员援员　检测技术的基本概念 …… 员
员援员援员　检测技术 …… 员
员援员援圆　自动检测系统 …… 员
员援员援猿　传感器 …… 圆
员援圆　测量方法 …… 源
员援圆援员　直接测量、间接测量与联立测量 … 源
员援圆援圆　比较式测量 …… 源
员援猿　测量误差 …… 缘
员援猿援员　误差的基本概念及表达方式 …… 缘
员援猿援圆　误差的分类与来源 …… 远
员援猿援猿　系统误差和随机误差的表达式 …… 苑
员援猿援源　基本误差和附加误差 …… 苑
员援猿援愿　测量误差的估计和校正 …… 愿
员援源　传感器的基本特性 …… 员园
员援源援员　传感器的静态特性 …… 员员
员援源援圆　传感器的动态特性 …… 员远
思考题与习题 …… 圆园
第 圆章　温度检测 …… 圆源
圆援员　温标及测温方法 …… 圆源
圆援员援员　温标 …… 圆源
圆援员援圆　温度检测的主要方法及分类 …… 圆愿
圆援圆　膨胀式温度计 …… 圆远
圆援圆援员　双金属温度计 …… 圆苑
圆援圆援圆　压力式温度计 …… 圆苑
圆援猿　电阻式温度传感器 …… 圆愿
圆援猿援员　金属热电阻传感器 …… 圆愿
圆援猿援圆　半导体热敏电阻传感器 …… 猿员
圆援源　热电偶传感器 …… 猿源
圆援源援员　热电偶测温原理 …… 猿源
圆援源援圆　热电极材料及常用热电偶 …… 猿苑
圆援源援猿　热电偶的结构 …… 源园
圆援源援源　热电偶冷端温度补偿 …… 源员
圆援源援愿　热电偶常用测温电路 …… 源缘
圆援愿　辐射式温度传感器 …… 源愿
圆援愿援员　辐射测温的物理基础 …… 源愿
圆援愿援圆　辐射测温方法 …… 源苑
圆援苑　光纤传感器 …… 源愿
圆援苑援员　光纤传感原理 …… 源愿
圆援苑援圆　光纤温度传感器 …… 缘园
圆援员园　集成温度传感器 …… 缘园
圆援员园援员　电流输出型集成温度传感器 …… 缘园
圆援员园援圆　集成温控开关 …… 缘愿
圆援员员　测温系统实例 …… 缘苑
圆援员员援员　高精度 运型热电偶数字温度仪表 …… 缘苑
圆援员员援圆　红外热辐射温度仪 …… 缘愿
思考题与习题 …… 远员
第 猿章　压力及力检测 …… 远圆
猿援员　压力的概念及单位 …… 远圆
猿援圆　应变式压力计 …… 远源
猿援圆援员　电阻应变效应 …… 远源
猿援圆援圆　电阻应变片 …… 远缘
猿援圆援猿　电阻应变片的粘贴及温度补偿 … 远苑
猿援圆援源　转换电路 …… 远愿
猿援圆援愿　应变式压力传感器 …… 苑园
猿援圆援苑　应变式力传感器 …… 苑愿
猿援猿　压电式压力及力传感器 …… 苑缘
猿援猿援员　压电效应 …… 苑缘
猿援猿援圆　压电材料 …… 苑苑
猿援猿援猿　测量电路 …… 苑愿
猿援猿援源　压电式压力传感器 …… 愿园
猿援源　压磁式压力传感器 …… 愿猿
猿援源援员　压磁式传感器工作原理 …… 愿猿
猿援源援圆　压磁元件 …… 愿源
猿援源援猿　压磁式测力传感器应用特点 …… 愿缘
猿援缘　电容式压力及力传感器 …… 愿缘
猿援缘援员　电容式传感器的工作原理 …… 愿缘
猿援缘援圆　差分电容式传感器 …… 愿苑
猿援缘援猿　测量电路 …… 愿愿
猿援缘援源　电容式压力及力传感器 …… 怨员

需要全本请访问 www.ertongbook.com

猿园节 霍尔式压力计 …… 猿源
猿园员节 霍尔效应 …… 猿源
猿园圆节 霍尔式压力计工作原理 …… 猿缘
猿园猿节 霍尔式压力计的误差及补偿 …… 猿远
猿园源节 霍尔式压力计 …… 猿愿
猿园远节 电子秤 …… 猿愿
猿园远员节 电子秤的原理 …… 猿愿
猿园远圆节 称重传感器原理 …… 员园员
猿园远猿节 电子秤的应用 …… 员园员
猿园苑节 差分变压器 …… 员园员
猿园苑员节 差分变压器工作原理及特性 …… 员园员
猿园苑圆节 差分变压器测压力 …… 员园猿
猿园愿节 测压系统实例 …… 员园源
猿园愿员节 应变式压力测量系统 …… 员园源
猿园愿圆节 电子扫描多点压力测量系统 …… 员园缘
思考题与习题 …… 员园远
第源章 流量检测 …… 员园愿
源园节 流量的检测方法 …… 员园愿
源园员节 节流差压法 …… 员园愿
源园圆节 容积法 …… 员园怨
源园猿节 速度法 …… 员园怨
源园源节 流体阻力法 …… 员园怨
源园缘节 流体振动法 …… 员园怨
源园远节 质量流量测量 …… 员园怨
源员节 差压式流量计 …… 员员园
源员员节 节流装置的工作原理 …… 员员园
源员圆节 流量方程 …… 员员员
源员猿节 流量系数的确定 …… 员员员
源员源节 标准节流装置 …… 员员猿
源员缘节 取压方式 …… 员员猿
源员远节 差压计 …… 员员缘
源员苑节 标准节流装置的安装要求 …… 员员苑
源员愿节 差压式流量计的使用 …… 员员怨
源圆节 容积式流量计 …… 员员怨
源圆员节 椭圆齿轮流量计 …… 员员圆
源圆圆节 腰轮流量计 …… 员员圆
源圆猿节 旋转活塞式流量计 …… 员员圆
源圆源节 刮板式流量计 …… 员员员
源猿节 速度式流量计 …… 员员圆
源猿员节 叶轮式流量计 …… 员员圆
源猿圆节 涡轮式流量计 …… 员员猿
源猿缘节 振动式流量计 …… 员员猿
源猿远节 漩涡式流量计 …… 员员源
源猿苑节 旋进式漩涡流量计 …… 员员缘
源猿愿节 电磁流量计 …… 员员远
源猿怨节 电磁流量计的工作原理 …… 员员远
源缘园节 电磁流量计的结构 …… 员员远
源缘员节 质量流量的测量 …… 员员苑
源缘圆节 推导式质量流量测量 …… 员员苑
源缘猿节 直接式质量流量测量 …… 员员愿
思考题与习题 …… 员圆园
第缘章 物位及厚度检测 …… 员圆员
缘园节 浮力式物位检测 …… 员圆员
缘园员节 恒浮力式物位检测 …… 员圆员
缘园圆节 变浮力式物位检测 …… 员圆圆
缘园猿节 静压式物位检测 …… 员圆猿
缘园源节 静压式物位检测原理 …… 员圆猿
缘园缘节 压力计式液位计 …… 员圆源
缘园远节 差压式液位计 …… 员圆缘
缘园苑节 量程迁移 …… 员圆缘
缘园愿节 电容式物位计 …… 员圆苑
缘园怨节 电容式物位计原理 …… 员圆苑
缘员园节 电容式物位传感器 …… 员圆愿
缘员员节 电容式物位传感器应用举例 …… 员圆怨
缘员圆节 超声传感器及物位、厚度检测 …… 员猿园
缘员猿节 超声检测原理 …… 员猿园
缘员源节 超声传感器 …… 员猿员
缘员缘节 超声传感器测物位 …… 员猿猿
缘员远节 超声传感器测厚度 …… 员猿缘
缘员苑节 核辐射物位与厚度检测 …… 员猿苑
缘员愿节 放射源和探测器 …… 员猿苑
缘员怨节 测量电路 …… 员猿怨
缘圆园节 核辐射厚度计 …… 员猿怨
缘圆员节 核辐射液位计 …… 员猿员
缘圆圆节 电涡流传感器及厚度检测 …… 员猿员
缘圆猿节 涡流效应 …… 员猿猿
缘圆源节 高频反射式涡流传感器 …… 员猿猿
缘圆缘节 低频透射式涡流传感器 …… 员猿远
思考题与习题 …… 员猿苑
第远章 位移检测 …… 员猿愿
远园节 电感式传感器与位移检测 …… 员猿愿
远园员节 电感式传感器的工作原理及分类 …… 员猿愿

3.1.1 光电耦合器的基本工作原理 …… 63
3.1.2 光电耦合器件 …… 64
3.1.3 光电耦合器件的应用 …… 67
3.2 数码照相机 …… 68
3.2.1 数码照相机的特点 …… 68
3.2.2 数码照相机的组成原理 …… 69
3.2.3 数码照相机的发展 …… 71
思考题与习题 …… 71
第4章 抗干扰技术 …… 72
4.1 干扰的类型及产生 …… 72
4.1.1 干扰的类型 …… 72
4.1.2 干扰的产生 …… 73
4.1.3 信噪比和干扰叠加 …… 74
4.2 干扰信号的耦合方式 …… 75
4.2.1 静电电容耦合 …… 75
4.2.2 电磁耦合 …… 76
4.2.3 共阻抗耦合 …… 77
4.2.4 漏电流耦合 …… 78
4.2.5 电子测量装置的两种干扰 …… 79
4.2.6 共模干扰抑制比 …… 80
4.3 常用的抑制干扰措施 …… 80
4.3.1 屏蔽技术 …… 80
4.3.2 接地技术 …… 82
4.3.3 浮置 …… 84
4.4 其他抑制干扰措施 …… 84
4.4.1 隔离 …… 84
4.4.2 滤波 …… 85
4.4.3 平衡电路 …… 86
4.4.4 脉冲电路的噪声抑制技术 …… 87
思考题与习题 …… 88
参考文献 …… 89

第员章

检测技术的基础知识

员援员 检测技术的基本概念

员援员援员 检测技术

检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

广义地讲,检测技术是自动化技术四个支柱之一,从信息科学角度考察,检测技术任务为:寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号,以及确定两者间的定性、定量关系;从反映某一信息的多种信号表现中挑选出在所处条件下最为合适的表现形式,以及寻求最佳的采集、变换、处理、传输、存储、显示等的方法和相应的设备。

信息采集是指从自然界诸多被测量(物理量、化学量、生物量与社会量等)中提取有用的信息。

信息变换是将所提取出的有用信息进行电量形式的幅值、功率等的转换。

信息处理的任务,视输出环节的需要,可将变换后的电信号进行数字运算(求均值、极值等)、模拟量原数字量变换等处理。

信息传输的任务是在排除干扰的情况下经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

虽然检测技术服务的领域非常广泛,但是从这门课程的研究内容来看,不外乎是传感器技术、误差理论、测试计量技术、抗干扰技术以及电量间互相转换的技术等。提高自动检测系统的检测分辨率、精度、稳定性和可靠性是本门技术的研究课题和方向。

自动检测技术已成为一些发达国家的最重要的热门技术之一,它可以给人们带来巨大的经济效益并促进科学技术飞跃发展,因此在国民经济中占有极其重要的地位和作用。

员援员援圆 自动检测系统

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号处理等诸系统的总称,它的组成如图员援员援员所示。在上述诸系统中,都包含被测量、敏感元件、电子测量电路和输出单元,它们之间的区别仅在于输出单元。如果输出单元是显示器或记录器,则该系统是自动测量系统;如果输出单元是计数器或累加器,则该系统是自动计量系统;如果输出单元是报警器,则该系统是自动保护系统或自动诊断系统;如果输出单元是处理电路,则该系统是部分数据分析系统、

自动管理系统或自动控制系统。

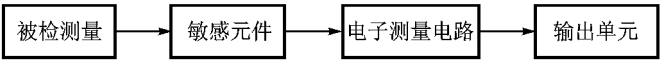


图 员猿源员 自动检测系统框图

员猿源员猿 传感器

一、传感器

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。

这一概念包含下面四个方面的含意：

① 传感器是测量装置，能完成信号获取任务。

② 它的输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等。

③ 它的输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等，这种量可以是气、光、电量，但主要是电量。

④ 输出输入有对应关系，且应有一定的精确度。

二、传感器的组成

传感器的功用是一感二传，即感受被测信息，并传送出去。传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成，如图 员猿源圆所示。

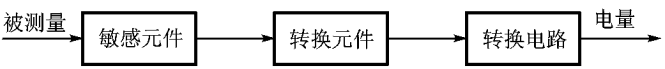


图 员猿源圆 传感器组成框图

员敏感元件

它是直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。

圆转换元件

敏感元件的输出就是它的输入，它把输入量转换成电路参数量。

猿转换电路

上述电路参数接入转换电路，便可转换成电量输出。

实际上，有些传感器很简单，有些则较复杂，也有些是带反馈的闭环系统。

最简单的传感器由一个敏感元件（兼转换元件）组成，它感受被测量时直接输出电量，如热电偶。有些传感器由敏感元件和转换元件组成，没有转换电路，如压电式加速度传感器，其中质量块是敏感元件，压电片是转换元件。有些传感器转换元件不止一个，要经过若干次转换。

由于传感器空间限制等其他原因，转换电路常装入箱柜中。然而，因为不少传感器要在通过转换电路之后才能输出电量信号，从而决定了转换电路是传感器的组成部分之一。

三、传感器的分类

目前传感器主要有四种分类方法：根据传感器工作原理分类法；根据传感器能量转换情况分类法；根据传感器转换原理分类法和按照传感器的使用分类法。

表 员猿源员按传感器转换原理分类，给出了各类型的名称及典型应用。

表 员猿缘 传感器分类表

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参量			
电参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器传感器	位移
		改变电阻丝或电阻片的尺寸	电阻丝应变传感器、半导体应变传感器	微应变、力、负荷
		利用电阻的温度效应（电阻温度系数）	热丝传感器	气流速度、液体流量
			电阻温度传感器	温度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		利用电阻的光敏效应	光敏电阻传感器	光强
		利用电阻的湿度效应	湿敏电阻传感器	湿度
	电容	改变电容的几何尺寸	电容传感器	力、压力、负荷、位移
		改变电容的介电常数		液位、厚度、含水量
		改变磁路几何尺寸、导磁体位置	电感传感器	位移
		涡流去磁效应	涡流传感器	位移、厚度、硬度
		利用压磁效应	压磁传感器	力、压力
	电感	改变互感	差分变压器	位移
			自整角机	位移
			旋转变压器	位移
	频率	改变谐振回路中的固有参数	振弦式传感器	压力、力
			振筒式传感器	气压
			石英谐振传感器	力、温度等
	计数	利用莫尔条纹	光栅	大角位移、大直线位移
		改变互感	感应同步器	
		利用拾磁信号	磁栅	
	数字	利用数字编码	角度编码器	大角位移
电量	电动势	温差电动势	热电偶	温度、热流
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通、电流
		电磁感应	磁电传感器	速度、加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	辐射电离	电离室	离子计数、放射性强度
		压电效应	压电传感器	动态力、加速度

需要全本请访问 www.ertongbook.com

员爱圆 测 量 方 法

对于测量方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法。本节重点阐述按测量手段分类的直接测量、间接测量和联立测量,及按测量方式分类的偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

员爱圆爱员 直接测量、间接测量与联立测量

一、直接测量

在使用测量仪表进行测量时,对仪表读数不需要经过任何运算,就能直接得到测量的结果,称为直接测量。例如用弹簧管式压力表测量流体压力就是直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而迅速,缺点是测量精度不易达到很高。这种测量方法是工程上广泛采用的方法。

二、间接测量

在使用仪表进行测量时,首先对与被测物理量有确定函数关系的几个量进行测量,将测量值代入函数关系式,经过计算得到测量所需的结果,这种测量称为间接测量。例如:导线电阻率 ρ 的测量就是间接测量,由于 ρ 越砸$_{\tau}$酱蛹原差其中 砸 造凿分别表示导线的电阻值、长度和直径。这时,只有先经过直接测量得到导线的 砸 造凿以后,再代入 ρ 的表达式,经计算得到最后所需要的结果 ρ 值。在这种测量过程中,手续较多,花费时间较长,有时可以得到较高的测量精度。间接测量多用于科学实验中的实验室测量,工程测量中亦有应用。

三、联立测量

在应用仪表进行测量时,若被测物理量必须经过求解联立方程组才能得到最后结果,则这样的测量称为联立测量。在进行联立测量时,一般需要改变测试条件,才能获得一组联立方程所需要的数据。

对联立测量,其操作手续很复杂,花费时间长,是一种特殊的测量方法。它只适用于科学实验或特殊场合。

员爱圆爱圆 比较式测量

一、偏差式测量

在测量过程中,用仪表指针的位移(即偏差)决定被测量的测量方法,称为偏差式测量法。应用这种方法进行测量时,标准量具不装在仪表内,而是事先用标准量具对仪表刻度进行校准;在测量时,输入被测量,按照仪表指针在标尺上的示值,决定被测量的数值。它是以间接方式实现被测量与标准量具的比较。例如,用磁电式电流表测量电路中某支路的电流,用磁电式电压表测量某电气元件两端的电压等,就属于偏差式测量法。采用这种方法进行测量,测量过程比较简单、迅速。但是,测量结果的精度低。这种测量方法广泛用于工程测量中。

二、零位式测量

在测量过程中,用指零仪表的零位指示检测测量系统的平衡状态。在测量系统达到平衡时,用已知的基准量决定被测未知量的测量方法,称为零位式测量法。应用这种方法进行测量时,标准量具装在仪表内,在测量过程中,标准量直接与被测量相比较,调整标准量,一直到被测量与标

准量相等，即使指零仪表回零。如图 员猿援圆所示电路是电位差计的简化等效电路。在进行测量之前，应先调 砸员，将回路工作电流 隐校准 在测量时，要调整 砸的活动触点，使检流计 郧回零，这时 隔越园即 哉砸越哉曾，这样，标准电压 哉砸的值就表示被测未知电压值 哉曾。

采用零位式测量法进行测量时，优点是可以获得比较高的测量精度，但是测量过程比较复杂。采用自动平衡操作以后，虽然可以加快测量过程，但它的反应速度由于受工作原理所限，也不会很高。因此，这种测量方法不适用于测量变化迅速的信号，只适用于测量变化较缓慢的信号。

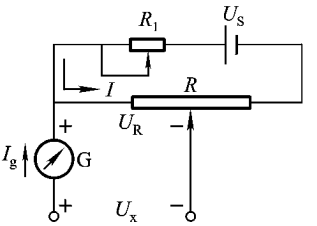


图 员猿援圆 电位差计简化等效电路

三、微差式测量

微差式测量法是综合了偏差式测量法与零位式测量法的优点而提出的测量方法。这种方法是将被测的未知量与已知的标准量进行比较，并取得差值后，用偏差法测得此值。应用这种方法测量时，标准量具装在仪表内，并在测量过程中标准量直接与被测量进行比较。由于两者的值很接近，因此在测量过程中不需要调整标准量，而只需要测量两者的差值。

微差式测量法的优点是反应快，而且测量精度高，特别适用于在线控制参数的检测。

员猿援猿 测 量 误 差

人们对客观世界的认识总是带有一定的局限性，与客观事物的本来面貌存在差异。测量是在一定的物质基础上进行的。因此，人们在进行各种实际测量时，尽管被测量在理论上存在真值，但由于客观实验条件的限制，被测量的真值实际上是测不到的，因而测量结果只能是真值的近似值，这样就不可避免地存在着测量误差。

员猿援猿援员 误差的基本概念及表达方式

一、绝对误差

绝对误差是示值与被测量真值之间的差值。设被测量的真值为 蕴曾，测量值或示值为 曾则绝对误差 △曾为

$$\triangle 曾 = 曾 - 蕴曾 \qquad (员猿援猿援员)$$

由于真值 蕴曾一般来说是未知的，所以在实际应用时，常用实际真值 蕴来代表真值 蕴曾，并采用高一级标准仪器的示值作为实际真值。故通常用

$$\triangle 曾 = 曾 - 蕴 \qquad (员猿援猿援圆)$$

来代表绝对误差。

在实际测量中，还经常用到修正值这个名称，它的绝对值与 △曾相等但符号相反，用符号 糟表示，即

$$糟 = -\triangle 曾 = 蕴 - 曾$$

修正值给出的方式不一定是具体的数值，也可以是一条曲线、公式或数表。某些智能化仪表中，修正值预先被编制成有关程序，储存于仪表中，所得测量结果已自动对误差进行了修正。

二、相对误差

绝对误差的表示方法有不足之处,因为它不能确切地反映出测量的准确程度。例如:测量两个电阻,其中 R_1 越来越Ω,误差 ΔR_1 越来越Ω;R_2 越来越Ω,误差 ΔR_2 越来越Ω,尽管 ΔR_1 约 ΔR_2,但不能由此得出测量电阻 R_1 比测量电阻 R_2 准确程度高的结论。因为 ΔR_1 越来越Ω,相对于 Ω来讲是Ω,而 ΔR_2 越来越Ω,相对于 Ω来讲是Ω,所得结论是 R_2 的测量比 R_1 的测量更准。因此,为反映测量质量的高低,需引出相对误差的概念,由绝对误差与真值或实际值之比表示相对误差 δ,即

$$\delta = \frac{\Delta}{R_2} \approx \frac{\Delta}{R_1} \qquad (1)$$

相对误差通常用于衡量测量的准确程度,相对误差越小,准确程度越高。

三、引用误差

引用误差是一种实用方便的相对误差,常在多挡和连续刻度的仪器仪表中应用。这类仪器仪表测量范围不是一个点,而是一个量程,这时按式(1)计算,由于分母是变量,随被测量的变化而变化,所以计算很麻烦。为了计算和划分仪表精度等级的方便,通常采用引用误差,它是从相对误差演变过来的,其分母为常数,取仪器仪表中的量程值,因而引用误差 γ_n 为

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{M} \qquad (2)$$

式中,M—仪表的量程。

我国电工仪表共分七级:Ω,Ω,Ω,Ω,Ω,Ω及Ω。例如,Ω级表的引用误差的最大值不超过Ω;Ω级表的引用误差最大值不超过Ω等。工业自动化仪表的精度等级一般在Ω~Ω级之间。

引用误差从形式上看像相对误差,但是对某一具体仪表来说,由于其分母 M 是一个常数,与被测量大小无关,因此它实质上是一个绝对误差的最大值。例如,量限为Ω的毫伏表,精度等级为Ω,即 γ 越来越(Δ最大)/Ω越来越Ω。从这个式子可以求出 Δ最大越来越Ω Ω越来越Ω,这说明无论指示在刻度的哪一点,其最大绝对误差不超过Ω,但各点的相对误差是不同的。在选用仪表时,一般使其最好能工作在不小于满刻度值Ω的区域。

Ω 误差的分类与来源

根据误差出现的规律可分为系统误差、随机误差和粗大误差三种。

一、系统误差

在相同的条件下多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时,与某一个或几个因素成函数关系的有规律的误差,称为系统误差。例如仪表的刻度误差和零位误差,应变片电阻值随温度的变化等都属于系统误差。它产生的主要原因是仪表制造、安装或使用方法不正确,也可能是测量人员的一些不良的读数习惯等。

系统误差是一种有规律的误差,故可以采用修正值或补偿校正的方法来减小或消除。

二、随机误差

服从统计规律的误差称为随机误差,简称为随差,又称为偶然误差。只要测试系统的灵敏度足够高,在相同条件下,重复测量某一量时,每次测量的数据或大或小,或正或负,不能预知。虽

然单次测量的随机误差没有规律,但多次测量的总体却服从统计规律,通过对测量数据的统计处理,能在理论上估计其对测量结果的影响。

随机误差是由很多复杂因素对测量值的综合影响所造成的,如电磁场的微变,零件的摩擦、间隙,热起伏,空气扰动,气压及湿度的变化,测量人员感觉器官的生理变化等。它不能用修正或采取某种技术措施的办法来消除。

应该指出,在任何一次测量中,系统误差与随机误差一般都是同时存在的,而且两者之间并不存在绝对的界限。

三、粗大误差

粗大误差是一种显然与实际值不符的误差。如测错、读错、记错以及实验条件未达到预定的要求而匆忙实验,都会引起粗大误差。含有粗大误差的测量值称为坏值或异常值,在处理数据时应剔除掉。这样,测量中要估计的误差就具有系统误差和随机误差两类。

误差的来源是多方面的,例如测量用的工具不完善 (称工具误差);测试设备和电路的安装、布置、调整不完善 (称装置误差);测量方法本身的理论根据不完善 (称方法误差);测量环境如温度、湿度、气压、电磁场的变化 (称环境误差);甚至测量人员生理上的原因,如反应速度、分辨能力 (称人员误差) 等。

系统误差和随机误差的表达式

设对某被测量进行了等精度独立的几次测量,得值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$,则测定值的算术平均值 $\bar{x}$ 为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1}$$

式中,$\bar{x}$—取样平均值。

当测量次数 n 趋于无穷大 ($n \to \infty$) 时,取样平均值的极限称为测定值的总体平均值,用符号 μ 表示,即

$$\mu = \lim_{n\to\infty} \bar{x} = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{2}$$

测定值的总体平均值 μ 与测定值真值 x_0 之差被定义为系统误差,用符号 ε 表示

$$\varepsilon = \mu - x_0 \tag{3}$$

n 次测量中,各次测定值 x_i ($i = 1, 2, \cdots, n$) 与其总体平均值 μ 之差被定义为随机误差,用符号 δ_i 表示,即

$$\delta_i = x_i - \mu \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{4}$$

将式 (4) 和式 (3) 等号两边分别相加,得

$$\varepsilon + \delta_i = (\mu - x_0) + (x_i - \mu) = x_i - x_0 = \Delta x_i \tag{5}$$

式中,Δx_i—各次测定的绝对误差。

式 (5) 表明,各次测量值的绝对误差等于系统误差 ε 和随机误差 δ_i 的代数和。

基本误差和附加误差

按使用条件划分可将误差分为基本误差和附加误差。

一、基本误差

任何测量仪器和传感器都是在一定的环境条件下使用的。环境条件变化,测量误差也因环境条件(如温度、气压、湿度、电源电压和频率、振动等)的变化而变化。这样在对传感器和仪器进行检定和刻度时,应把所有起影响作用的外界因素控制在变化较窄的条件内。此条件由国家标准或企业标准文件明确规定,称为标准条件。仪器在标准条件下使用所具有的误差称为基本误差,它属于系统误差。

例如,仪表是在电源电压([illegible])、电网频率([illegible])、环境温度([illegible])、大气压力([illegible])、湿度([illegible])的条件下标定的。如果这台仪表在这个条件下工作,则仪表所具有的误差就是基本误差。换句话说,基本误差是测量仪表在额定条件下工作所具有的误差。

测量仪表的精度等级就是由其基本误差决定的。不同等级的传感器和仪表的基本误差在国家和企业标准中都有明确规定。

二、附加误差

当使用条件偏离标准条件时,传感器和仪表必然在基本误差的基础上增加了新的系统误差,称为附加误差。例如,温度附加误差、频率附加误差、电源电压波动附加误差等。

在使用传感器和仪表进行测量时,应根据使用条件在基本误差上再分别加上各项附加误差。例如,在电源电压([illegible])、温度范围([illegible])、[illegible]仪表可过载运行等条件下工作,可以知道测量仪表总误差不超过多少。

[illegible] 测量误差的估计和校正

测量误差中包括系统误差和随机误差。它们的性质不同,对测量结果的影响及处理方法也不同。

一、随机误差的影响及统计处理

在测量中,当系统误差被尽力消除或减小到可以忽略的程度之后,仍会出现对同一被测量重复进行多次测量时有读数不稳定的现象,这说明有随机误差存在。由随机误差性质可知,它服从统计规律,它对测量结果的影响可用方均根误差来表示。

方均根误差(又称标准误差)σ为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i^2}{n}} \qquad (\text{[illegible]})$$

式中,n—测量次数;

$\Delta x_i = x_i - x_0$,x_0为真值;

x_i—第i次测量值。

在实际测量中,测量次数n是有限的,真值x_0不易得到,因而用n次测量值的算术均值$\bar{x}$代替真值,第i次测量误差$\Delta x_i = x_i - \bar{x}$这时的方均根误差则为

$$\sigma_{估} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (\text{[illegible]})$$

用$\bar{x}$代替x_0产生的算术平均值的标准误差$\bar{\sigma}$为

$\bar{\sigma}$ 越 $\frac{\sigma_{泽}}{\sqrt{灶}}$

测量结果可表示为

曾越 $\bar{曾}$依$\bar{\sigma}$　或　曾越 $\bar{曾}$依猿　　(员)

方均根误差 σ 的物理意义是：在测量结果中随机误差出现在 原σ ~ 垣σ 范围内的概率是 $\frac{2}{3}$，出现在 原猿 ~ 垣猿 范围内的概率是 $\frac{1}{20}$。猿 是置信限，大于 猿 的随机误差被认为是粗大误差，则该测量结果无效，此数据予以剔除。

二、系统误差的发现与校正

(一)系统误差的发现与判别

由于系统误差对测量精度影响比较大，必须消除系统误差的影响，才能有效地提高测量精度，下面介绍的是发现系统误差的常用方法。

(员) 实验对比法

这种方法是通过改变产生系统误差的条件从而进行不同条件下的测量，以发现系统误差。这种方法适用于发现不变的系统误差。例如，一台测量仪表本身存在固定的系统误差，即使进行多次测量也不能发现。只有用精度更高一级的测量仪表测量，才能发现这台测量仪表的系统误差。

(二) 剩余误差观察法

剩余误差为某测量值与测量平均值之差即 责$_{测}$越曾$_{测}$原$\bar{曾}$ 根据测量数据的各个剩余误差大小和符号的变化规律，可以直接由误差数据或误差曲线图形来判断有无系统误差。这种方法主要适用于发现有规律变化的系统误差。如图 员猿所示，若剩余误差如图 (葬)所示，大体上是正负相间，且无显著变化规律，则不存在系统误差；若剩余误差如图 (遭)所示有规律地递增或递减，且在测量开始与结束时误差相反，则存在线性系统误差；若剩余误差如图 (糟)所示，符号有规律地逐渐由负变正，再由正变负、且循环交替重复变化，则存在周期性系统误差；若剩余误差有图 (凿)所示的变化规律，则应怀疑同时存在线性系统误差和周期性系统误差。图中 灶为测量次数。

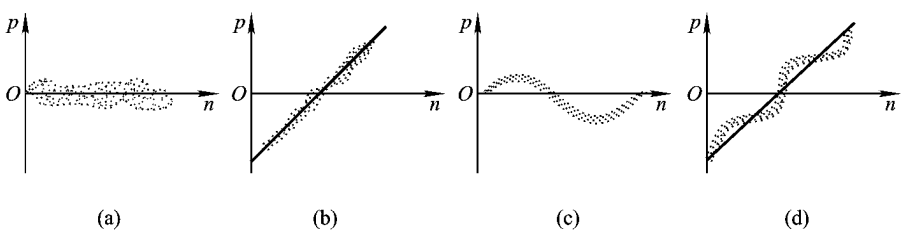


图 员猿　责原灶示意图

(三) 不同公式计算标准误差比较法

对等精度测量，可用不同公式计算标准误差，通过比较可以发现系统误差。使用上常采用贝塞尔公式和佩捷斯公式计算比较，即

$$\sigma_{员}\text{越}\sqrt{\frac{\sum_{测=员}^{灶}责_{测}^{2}}{灶(灶-员)}}\qquad \sigma_{圆}\text{越}\sqrt{\frac{\pi}{圆}}\frac{\sum_{测=员}^{灶}|责_{测}|}{\sqrt{灶(灶-员)}}$$

令 $\sigma_{圆}$-$\sigma_{员}$越员垣怎

需要全本请访问 www.ertongbook.com