

热工测量与自动控制

张子慧 主编



西北工业大学出版社

陕新登字009号

内 容 简 介

本书共十七章，一至十章为热工测量内容，其中包括热工测量基本知识，测量误差与数据处理，温度、湿度、压力等十种热工参数的测量；十一至十三章为自动控制基础，其中包括自动控制原理、自动控制装置及自动控制系统；十四至十七章为专业应用，其中包括空调自动控制、工业锅炉自动控制、燃气燃烧自动控制以及制冷自动控制等内容。

本书系统性较强，取材较新，内容适用、便于教学选用。

本书可作为大专院校供热通风空调专业与城市燃气热能供应工程专业教材，亦可供从事供热通风空调与燃气供应系统及其自控系统和设备设计、制造、安装和运行人员参考。

热 工 测 量 与 自 动 控 制

张子慧 主编

责任编辑 柴文强

© 西北工业大学出版社出版发行
(西安市友谊西路127号 邮编710072)
全国各地新华书店 经销
西安冶金建筑学院印刷厂印装

开本787×1092毫米 1/16 22.375 印张 498千字

1993年7月第1版 1993年7月第1次印刷

印数：1—2000册 定价：13.8元

ISBN 7-5612-0563-5/TP·64

前 言

本书是高等工科院校供热通风空调专业与燃气热能供应工程专业本科的《热工测量与自动控制》课的教材,亦可供函授、夜大同类专业使用。遵照“全国高等院校供热通风空调及燃气工程学科专业指导委员会”指示:本书兼顾两个专业按教学学时70~80的要求,依据本科、本课程教学大纲编写而成。

随着社会的进步和技术的发展,供热通风空调与城市燃气的应用越来越广泛,她正在人们的生产和生活中,发挥着重要作用。同时,人们也注意到供热通风空调及燃气供应的能量与能源的消耗,在建筑物与工业生产中的能耗,占有相当大的比重。

为了使供热通风空调及燃气供应系统的运行与调节,在保证合理和节能的前提下,既保证人们对生产和生活上的要求,又能安全运行,采用自动检测与自动控制技术,具有重大意义。自动检测与自动控制已成为供热通风空调与燃气供应技术中的发展方向,是该技术中不可缺少的组成部分。

自动检测与自动控制的发展十分迅速。以供热通风空调为例,许多国家都生产本专业的专用自动检测与自动控制仪表,其中包括应用计算机技术的智能化仪表和微机控制装置,使设计、使用十分方便。在节能控制方面,已从60年代末期的个别环节控制,进入到综合节能控制,现已发展到基于电子计算机控制的能量管理控制系统,使系统达到最佳控制。

我国近年来,在供热通风空调与燃气供应工程方面自动检测与自动控制有很大发展,控制系统不仅采用单回路控制,也采用了多回路、多功能的节能控制;在自动化装置方面,已能生产供热通风空调专用的新型功能模块式电子组装仪表,为空调自控设计、使用提供了成套装置。现已在供热通风空调与燃气供应工程中,采用了基于计算机技术的监督控制与直接数字控制。

工程技术的现代发展,要求供热通风空调及燃气供应工程师,都必须具有一定的自动检测与自动控制的知识;应对自动测量原理与仪表,自动控制原理、自动控制装置与自动控制系统有一定的了解;应特别掌握所从事的专业对自动检测、自动控制的要求。曾经有过控制系统不能正常工作的情况,究其原因,可能是:其一由于工艺系统内在的缺陷,使系统变得无法控制;其二是由于自控系统设计的不合理或调整不当或维修管理不善所致。目前,越来越多的工程技术人员,参加或将要参加供热通风空调与燃气供应自控系统设计、安装、调试和使用工作。鉴于这样的客观形势,促使编者编写此书,希望本书对读者有所帮助。

本书前身为《热工测量与自动调节》(高等学校试用教材,西安冶金建筑学院、同济大学编,1983年7月,中国建筑工业出版社),经过多年、多所院校使用,喜得宝贵反馈建议,使得本书在重编时,有了可靠的修改依据。本次编写时隔十年,在编写过程中,注意总结编者在多年教学过程中的实践经验;又注意吸取了当代一些新技术、新成

果，力求反映现代水平。

本书按热工测量、自动控制与专业应用顺序编写。前十章为热工测量内容，主讲要述测量与测量仪表的基本知识、各种热工量测量仪表的结构、原理与使用。第十一至第十三章分别讲述自动调节的基础、自动控制装置和控制系统。第十四至第十七章分别介绍空调、工业锅炉、燃气燃烧与制冷的自动检测与自动控制的具体应用。

本书由西安冶金建筑学院张子慧主编，编写第一章至第五章、第十一章至第十五章及第十七章，太原工业大学苏保青编写第六章至第十章，西安交通大学曹琦编写第十三章的第三节、第十四章的第三节，北京建筑工程学院郭全编写第十六章。

出版社柴文强编辑对本书出版付出了辛勤的劳动，有关兄弟院校老师提出了许多宝贵意见，谨此致以衷心的感谢。

此外，本书在编写过程中，得到编者所在学校以及中国建筑科学院空调所、天津商学院函授部、天津商学院函授部陕西站、西北大学制冷空调开发公司等单位的大力支持和帮助，在此也顺致谢意。

由于我们水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者不吝指正。

编 者

1993年元月于西安

目 录

第一章 测量与测量仪表的基本知识

第一节 测量的意义和测量方法	(1)
一、测量的意义	(1)
二、测量方法	(1)
第二节 测量系统的组成及其功能	(3)
一、测量系统的组成	(3)
二、测量环节的功能	(3)
第三节 测量误差与测量精度	(4)
一、测量误差的概念	(4)
二、测量误差的分类	(5)
三、测量精度	(5)
第四节 测量仪表的基本技术指标	(6)
一、量程范围	(6)
二、仪表精度	(6)
三、变差	(7)
四、灵敏度和灵敏限(分辨率)	(7)

第二章 误差的基本性质与处理

第一节 偶然误差	(9)
一、正态分布	(9)
二、算术平均值原理	(10)
三、测量值误差评价指标	(11)
第二节 直接测量值的处理	(14)
一、直接测量值的最优概值	(14)
二、计算标准误差	(14)
三、测量结果的表达式	(14)
第三节 间接测量值的处理	(16)
一、函数误差的基本公式	(16)
二、函数系统误差计算	(16)
三、函数随机误差计算	(18)
四、函数误差的分配	(18)

第三章 温度测量

第一节 温度传感器与变送器	(22)
一、热电阻温度传感器	(22)

二、热电偶温度传感器.....	(26)
三、压力式温度传感器.....	(30)
四、双金属片温度传感器.....	(30)
五、温度变送器.....	(31)
第二节 温度显示、记录仪表.....	(32)
一、动圈式指示仪表.....	(32)
二、自动平衡式记录仪表.....	(34)
第四章 湿度测量	
第一节 干湿球温度传感器与湿度计.....	(36)
一、普通干湿球湿度计.....	(37)
二、干湿球电信号传感器与湿度计.....	(37)
第二节 氯化锂电阻湿度传感器与变送器.....	(38)
一、传感器.....	(39)
二、变送器.....	(40)
第三节 氯化锂露点湿度传感器及变送器.....	(40)
一、传感器.....	(40)
二、相对湿度变送器.....	(43)
第四节 电容式湿度传感器与变送器.....	(44)
一、电容式湿度传感器.....	(44)
二、电容式湿度变送器.....	(44)
第五节 毛发、纤维湿度变送器.....	(46)
第五章 压力、压差测量	
第一节 弹性式压力、压差传感器.....	(48)
第二节 力平衡式压力、压差变送器.....	(49)
第三节 位移式压力、压差变送器.....	(50)
一、电容式压差传感器及变送器.....	(50)
二、霍尔片式弹簧管压力变送器.....	(51)
第四节 固体压阻传感器.....	(52)
第六章 流量测量	
第一节 差压式流量计.....	(54)
一、差压式流量计的组成.....	(54)
二、节流件的工作原理.....	(55)
三、标准节流装置.....	(56)
四、实用流量公式及有关参数的确定.....	(63)
五、标准节流装置的设计计算.....	(70)
第二节 涡轮流量计.....	(80)
一、涡轮流量计的组成.....	(80)

二、涡轮流量变送器.....	(81)
三、插入式涡轮流量变送器.....	(83)
四、自校正双涡轮流量变送器.....	(87)
第三节 其它流量计.....	(88)
一、旋涡流量计.....	(88)
二、转子流量计.....	(90)
三、靶式流量计.....	(92)
四、电磁流量计.....	(93)
五、容积式流量计.....	(94)
第七章 流速测量	
第一节 毕托管.....	(96)
一、毕托管的工作原理.....	(96)
二、毕托管的型式.....	(97)
三、毕托管的使用.....	(99)
第二节 热电风速仪.....	(104)
一、热球(线)风速仪.....	(104)
二、热敏电阻恒温风速仪.....	(104)
第八章 液位测量	
第一节 浮力式液位计	(107)
一、浮子式液位计	(107)
二、浮筒式液位计	(108)
第二节 差压式液位计	(111)
一、利用静压差测量液位的原理	(111)
二、开口容器的液位测量	(112)
三、密闭容器的液位测量	(112)
四、用差压变送器测量汽包水位	(115)
第三节 电容式液位计	(116)
一、电容式液位计的工作原理	(116)
二、电容式液位传感器	(117)
三、电容式液位计的组成	(118)
第四节 其它液位计	(118)
一、电接触式液位计	(118)
二、磁动式液位计	(120)
三、电感式液位计	(122)
第九章 热流测量	
第一节 热流测量概述	(123)
一、热流测量的概念	(123)
二、热流计的分类	(123)

第二节 热阻式热流计	(124)
一、热流传感器——热阻式热流测头	(124)
二、热流显示仪表	(134)
三、热阻式热流计的使用误差计算	(137)
四、热阻式热流计的使用	(141)
第三节 热水热量指示积算仪	(143)
一、热水热量指示积算仪工作原理	(143)
二、热水热量指示积算仪的组成	(144)
三、热水热量指示积算仪的使用	(144)
第四节 蒸汽热量指示积算仪	(147)
一、蒸汽热量指示积算仪的工作原理	(147)
二、蒸汽热量指示积算仪的组成	(147)
三、蒸汽热量指示积算仪的使用	(148)
第十章 其它参数的测量	
第一节 热磁式氧量计	(150)
一、热磁式氧量计的基本原理	(150)
二、热磁式氧量计传感器的结构	(152)
三、热磁式氧量计的测量电路与显示仪表	(154)
四、热磁式氧量计的辅助系统	(155)
第二节 氧化锆氧量计	(157)
一、氧化锆氧量计的工作原理	(157)
二、氧化锆传感器的结构	(158)
三、氧化锆传感器的安装与测量系统	(158)
第三节 工业电导仪	(160)
一、工业电导仪的测量原理	(160)
二、工业电导仪的传感器	(163)
三、工业电导仪的组成	(163)
第十一章 自动控制原理	
第一节 自动控制概述	(165)
一、自动控制与自动控制系统	(165)
二、反馈控制系统的分类	(167)
三、反馈控制系统的过渡响应	(167)
第二节 构成环节的特性	(170)
一、环节信号的传递和特性	(170)
二、拉普拉斯变换与传递函数	(171)
三、对象的过渡响应和数学描述	(179)
四、传感器和变送器特性	(185)
五、调节器特性	(186)

六、执行器特性	(187)
第三节 环节的综合和特性分析	(188)
一、环节的综合和等效变换	(188)
二、系统的传递函数和过渡响应	(191)
三、影响过渡响应的因素	(198)
第十二章 自动控制仪表	
第一节 自动控制仪表的分类	(205)
一、按能源分类	(205)
二、按结构分类	(206)
三、按调节规律分类	(208)
第二节 电气式调节器	(208)
第三节 电子式调节器	(210)
一、断续输出的电子调节器	(210)
二、连续输出的电子调节器	(216)
第四节 执行器	(220)
一、电磁阀	(220)
二、电动调节阀	(221)
三、电动调节风门	(223)
四、电动阀门定位器 (EPOS)	(223)
五、电压调节装置	(224)
六、电动执行器	(226)
七、电-气转换器	(226)
第五节 调节阀的选择与计算	(227)
一、调节阀的流量特性及其选择	(227)
二、调节阀的流通能力及其口径的选择	(230)
三、调节风门的流量特性及其选择	(233)
第十三章 自动控制系统	
第一节 单回路控制系统	(236)
一、被控参数的选取	(236)
二、操作量的选取	(237)
三、控制规律的选择	(238)
四、控制系统的调整	(239)
第二节 多回路控制系统	(242)
一、串级控制系统	(242)
二、前馈控制系统	(244)
三、比值控制系统	(246)
四、分程控制系统	(247)
五、自动选择控制系统	(249)

第三节 微型计算机控制系统	(251)
一、计算机控制的一般概念	(252)
二、微型计算机控制的典型应用方式	(253)
三、计算机控制规律算式	(258)
第十四章 空气调节自动控制	
第一节 空调单回路控制系统	(269)
一、空气系统静压自动控制系统	(269)
二、空气混合温度自动控制系统	(269)
三、恒温、恒温空调自动控制系统	(270)
第二节 空调多回路控制系统	(273)
一、按混风温度和新风温度控制系统	(273)
二、按新、回风焓值比较控制新风量系统	(273)
三、新风温度补偿自动控制系统	(277)
四、空调串级控制系统	(279)
五、空调分程控制系统	(281)
六、带自动选择的分程自动控制系统	(281)
第三节 空调计算机控制系统	(284)
一、建筑物自动化管理系统	(284)
二、集中空调 DDC 控制系统	(286)
三、变频式空调器	(289)
四、模糊控制变频调速空调器	(290)
第十五章 工业锅炉自动控制	
第一节 工业锅炉汽包水位自动调节	(297)
一、汽包水位调节对象的动态特性	(297)
二、单冲量调节系统	(298)
三、双冲量调节系统	(299)
四、三冲量调节系统	(300)
第二节 燃烧自动调节	(301)
一、位式调节系统	(301)
二、连续调节系统	(301)
第三节 工业锅炉测控系统实例	(304)
一、水位自动调节系统	(304)
二、燃烧自动调节系统	(304)
三、引风自动调节系统	(304)
四、热工参数检测	(304)
第十六章 燃气燃烧自动控制	
第一节 燃气燃烧装置的自动点火	(307)
一、电热丝式自动点火装置	(307)

二、电火花式自动点火装置	(308)
第二节 火焰安全装置	(311)
一、温度式火焰安全装置	(311)
二、光电式火焰安全装置	(313)
三、火焰离子化及其应用	(317)
第三节 燃烧过程控制	(318)
一、燃气/空气比例的基本控制方法	(318)
二、点火过程的程序控制	(320)
三、比值控制系统在燃烧控制中的应用	(321)
四、单回路数字调节器在燃烧控制中的应用	(323)
第十七章 制冷自动控制	
第一节 蒸发器的控制	(330)
一、利用热力膨胀阀控制	(330)
二、利用电磁阀控制	(331)
三、蒸发压力调节	(335)
四、小型空调机蒸发器调节——控制蒸发器组数	(339)
第二节 制冷压缩机的控制	(339)
一、压缩机的安全保护控制	(339)
二、压缩机的能量控制	(343)
附录：图例说明	(346)

第一章 测量与测量仪表的基本知识

第一节 测量的意义和测量方法

一、测量的意义

测量是人们对客观事物取得数量观念的一种认识过程。在这一过程中,人们借助于专门工具、通过试验和对试验数据的分析计算,求得被测量的值,获得对于客观事物的定量的概念和内在规律的认识。

人类的知识许多是依靠测量得到的。在科学技术领域内,许多新的发现、新的发明往往是以测量技术的发展为基础的,测量技术的发展推动着科学技术的前进。在生产活动中,新的工艺、新的设备的产生,也依赖于测量技术的发展水平。而且,可靠的测量技术对于生产过程自动化、设备的安全以及经济运行,都是不可少的先决条件。

供热、供燃气、通风、空调以及环境科学领域与其它科学技术领域一样,需要对若干物理、化学量进行测量、获得必要的信息,以便促进本学科技术的发展。

测量技术一般应用在以下几个方面:

1. 过程监测 对生产过程进行监测的目的是作为生产指导。例如,环境工程中用来测量大气温度、气压、气流速度以及 CO_2 浓度等;在城市给水处理厂中用来测量水量、水压水中余氯量等;在燃气供应燃烧系统中测量燃气压力、流量等;在供热空调中测量蒸汽压力、流量,空气温度、湿度等。由于对过程进行监测,可以保证安全生产和经济运行。

2. 过程控制 测量是生产过程自动控制不可缺少的必要依据。例如,为了控制某个参数,首先必须测量它,然后根据测得的结果与要求的值进行比较,再依据其差值对过程进行控制。对于更复杂的系统,则需测量更多的参数,以便为控制系统提供必要的信息。从此可以看出测量在控制系统中的地位和作用。

3. 实验分析 解决科学和工程上的问题,一般需要综合运用理论和实验的方法。因此,测量技术在实验分析中占有重要地位。

测量技术对自然科学、工程技术的重要作用愈来愈为人们所重视,它已逐步形成一门完整的、独立的学科。根据被测对象的差异,测量技术可分为若干分支,例如力学测量、电学量、热工测量等等。其中热工测量技术是指各种热工参数(如温度、湿度、压力、流量、气流速度、烟气成分等等)的测量技术。在供热、供燃气、环境科学中大都属于热工过程,其过程参数的测量,也多属于热工测量的范畴。本书将介绍热工测量技术。

二、测量方法

测量就是用实验的方法,把被测量与同性质的标准量进行比较,确定被测量与标准

量的比值,从而得到被测量的量值。欲使测量结果有意义,测量必须满足以下的要求:
1. 用来进行比较的标准量应该是国际上或国家公认的,且性能稳定; 2. 进行比较所用的方法和仪器必须经过验证。

根据上述测量的概念,被测量的值可表达为

$$X = aU \quad (1-1)$$

式中 X ——被测量;

U ——标准量(即选用的测量单位);

a ——被测量与标准量的数字比值。

从式中可知,比值 a 的大小与所选用标准量的大小有关。当所选用的标准量单位改变时,求得的数字比值 a 也将随之产生相应地变化。

测量方法就是实现被测量与标准量比较的方法。一般分为直接测量、间接测量和组合测量等方法。这种分类方法有利于研究测量误差。

1. 直接测量

使被测量直接与选用的标准量进行比较,或者用预先标定好了的测量仪表进行测量,从而直接求得被测量数值数的测量方法,称为直接测量。例如,用压力表测量容器内介质压力,用温度计测量介质温度等。

2. 间接测量

通过直接测量与被测量有确定函数关系的其它各个变量,然后将所测得的数值代入函数关系式进行计算,从而求得被测量数值的方法,称为间接测量法。例如,用测压管测出管道中流体的动压值,以此计算出管道中流体的流速与流量,这就是间接测量法应用的一例。

3. 组合测量

测量中使各个未知量以不同的组合形式出现(或改变测量条件以获得这种不同的组合),根据直接测量或间接测量所获得的数据,通过解联立方程组以求得未知量的数值,这类测量称为组合测量。例如,铂电阻温度传感器的电阻值与温度的关系是

$$R_\theta = R_0 (1 + a\theta + b\theta^2)$$

式中 R_θ ——温度为 $\theta^\circ\text{C}$ 时铂电阻电阻值(Ω);

R_0 ——温度为 0°C 时铂电阻电阻值(Ω);

a 、 b ——铂电阻温度系数($\Omega/^\circ\text{C}$)。

为了确定铂电阻温度系数 a 、 b ,首先需要测定铂电阻在不同温度下的电阻值,然后再建立联立方程求解,得到 a 、 b 的数值。

除上述按测量结果产生的方式对测量方法分类外,还可以根据测量中的其它因素分类。例如按不同的测量条件,可分为等精度测量与非等精度测量。在测量条件完全相同的情况下,进行的一系列重复测量称为等精度测量。反之,在多次测量中,测量条件不尽相同,此种测量称非等精度测量。例如,同一测量者,用同一仪器,采用同一测量方法,在同一环境条件下,重复测量某一参数,此为等精度测量。如对某参数进行多次重复测量,但测量方法、测量仪器或测量的环境条件不同,则属非等精度测量。

按被测量在测量过程中的状态不同,又可分为静态与动态测量。在测量过程中,被

测量不随时间而变化,称为静态测量。若被测量随时间而具有明显的变化,则称为动态测量。例如,恒温房间稳定的温度、稳定的气流速度等等,在测量过程中不随时间而变化,因而是静态测量。压力容器在升压或降压的过程中的压力测量、人工气候室在升温或降温过程中的温度测量,这些被测量都是随时间而发生明显地变化,因而是属于动态测量。相对于静态测量动态测量更为困难,这不仅在于参数本身的变化可能是很复杂的,而且测量系统的动态特性对测量的影响是很复杂的。

第二节 测量系统的组成及其功能

一、测量系统的组成

测量设备(测量仪表、测量装置、测量元件及辅助设备)与被测对象组合成测量系统。任何一次有意义的测量都必须由测量系统来实现。当然,由于测量原理不同、测量精度要求不同,测量系统的构成会有很大差别。它可能是仅有一个测量仪表与被测对象构成的简单测量系统(例如用水银温度计直接测量介质温度);也可能是一套高度自动化的复杂测量系统(例如,用计算机数据采集和处理系统自动检测大气数据)。对任何一个测量系统都是由有限个具有一定基本功能的测量环节组成的。所谓环节是指建立输出与输入两种物理量之间某种函数关系的一个基本部件。

测量系统除被测对象外,一般由传感器、变换元件、传输通道和显示装置组成,图1-1是测量系统组成框图。

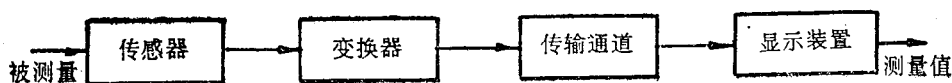


图1-1 一般测量系统框图

二、测量环节的功能

1. 传感器 又称敏感元件,它是与被测对象直接发生联系的部分,故又称一次仪表。传感器是实现测量与自动控制的首要环节,它将被测量(包括物理量、化学量、生物量等)按一定规律转换成便于处理和传输的另一种物理量(一般为电量)的元件。其转换要求将被测量以单值函数关系,稳定而准确地变成另一种物理量,以便提供后续环节变换、比较运算与显示记录被测量。以温度传感器为例有热电阻、热电偶等等。

传感器能否精确、快速地产生与被测量相应的信号,对测量系统的测量质量有着决定性的影响。一个完善的、理想的传感器是十分难得的。首先,要找到一个选择性很强、以单值函数关系变换的元件并非易事。这时,只好限制无用信号在全部信号中的成分,可采用线路补偿等方法提高选择性。其次,传感器总要从被测介质中取得能量,或多或少总要对被测介质有所干扰。一个良好的传感器,只能是尽量减少这种干扰。

2. 变换元件与变送器 它是传感器与显示装置中间的部分,它将传感器输出的信号变换成显示装置易于接收的信号。传感器输出的物理量有位移、电阻、电势、电容量

等等。在大多数情况下，它们在性质上、信号强度上总是与显示装置所能接受的信号有所差异。通过变换元件将传感器输出信号进行变换，这个变换可能是物理量性质的变换，如通过测量电桥将电阻信号变成电压信号；也可能是将同性质的物理量加以放大，如通过机械连杆机构将微小位移量变成放大的位移量，以便带动显示装置中的指针。

现代的自动指示、记录与调节仪表，除了可直接接受传感器信号外，为了标准化，有的仪表接受标准信号（如， $0 \sim 10\text{mA} \cdot \text{DC}$ 、 $4 \sim 20\text{mA} \cdot \text{DC}$ 、 $0 \sim 10\text{V} \cdot \text{DC}$ 等）。为此，需将传感器转换来的信号变换到标准信号。将传感器输出信号变换到标准信号的器件叫变送器。

3. 显示装置 显示装置是测量系统直接与观测者发生联系的部分，分为模拟式、数字式和屏幕式三种。模拟式仪表最常见的为指针式仪表，指针在标尺上连续移动可指示被测量值。读数的最低位由测量者估计，容易产生视差。但由于其结构简单、价格低廉，仍是目前主要的显示装置。记录时，则以曲线形式给出数据。数字式显示装置是以数字形式给出被测量值，不会产生视差。记录时可以打出数据。这种显示装置存在量化误差，量化误差的大小取决于模—数转换器的位数。其缺点是直观性不如模拟仪表。屏幕式显示仪表是电视技术在测量中的应用，它既可以按模拟方式给出曲线，也可以给出数字，或者两者同时显示，具有形象性和易于读数的优点，并能在屏幕上显出大量的数据，便于比较判断。它是目前最先进的显示方式。

4. 传输通道 是仪表各环节间输入、输出信号的连接部分，它分为电线、光导纤维和管路等。它应按规定要求进行选择和布置，否则会造成信息损失，信号失真或引入干扰。

第三节 测量误差与测量精度

一、测量误差的概念

测定值与被测量真值之差称为测量的绝对误差，或简称测量误差，用下式表示

$$\delta = x - X_0 \quad (1-2)$$

式中 δ ——测量误差；

x ——测定值；

X_0 ——被测量真值。

测量误差或大或小、或正或负。若已知测定值和测量误差，可由式（1-2）求得被测量真值。

应该指出，测量过程中测量误差的存在是不可避免的，任何测定值都只能近似地反映被测量的真值。这首先是因为测量过程中无数随机因素的影响，使得即使在同一条件下，对同一对象进行重复测量也不会得到完全相同的测定值。其次，传感器总要从被测量中吸取能量，这就意味着测定值并不能完全准确地反映被测量的真值。因此，无论所采用的测量方法多么完善、测量仪表多么精确、测量者多么精心、认真，测量误差是必然存在。在科学研究中，只有当测量结果的误差已经知道，或者测量误差的可能范围已

经指出时，科学试验所提供的资料才是有意义的。

二、测量误差的分类

按测量误差出现的规律不同，测量误差可分为三类：系统误差、随机误差和粗差。

1. 系统误差 在相同测量条件下，对同一被测量进行多次测量，误差的绝对值和符号保持恒定不变，或按一定的规律变化，这类误差称为系统误差。前者称恒值系统误差，后者称变值系统误差。在变值系统误差中，又可按误差变化规律的不同分为累进系统误差、周期性系统误差和按复杂规律变化的系统误差。例如，测量仪表指针零点偏移将产生恒值系统误差；电子电位差计滑线电阻的磨损将导致累进性的系统误差；而测量现场电磁场干扰，往往会引入周期性的系统误差。

系统误差就个体而言是具有规律性的，其产生的原因往往是可知的。例如，由于仪表使用不当或测量时外界条件变化等因素。因此可以通过试验的方法加以消除，也可以通过引入修正值的方法加以修正。

2. 随机误差 在相同测量条件下，对同一被测量进行多次测量，由于受到大量的、微小的随机因素的影响，测量误差绝对值的大小和符号没有一定的规律，且无法简单估计，这类误差为随机误差。所谓随机因素是指测量者无法严格控制的因素，例如，仪表内部存在有摩擦和间隙等不规则变化；测量过程中外界环境条件（如气压、温度、湿度、空气振动、电磁干扰等）的瞬间变化；测量时不稳定的读数误差等等。

应该注意，随机误差与系统误差既有区别又有联系，两者之间并无绝对的界限，在一定的条件下可以相互转化。对某一具体误差，在某一条件下为系统误差，而在另一条件下可为随机误差；反之亦然。过去视为随机误差的测量误差，随着对误差认识水平的提高，有可能分离出来作为系统误差处理；而有一些变化规律复杂、难以消除或没有必要花费很大代价消除的系统误差，也常当作随机误差处理。

3. 粗大误差 明显地歪曲了测量结果的误差称为粗大误差。粗大误差大多是由于测量者粗心大意造成的，例如读数错误、记录或运算错误、测量过程中的失误等等。因此，粗大误差也称过失误差。过失误差其数值往往大大地超过同样测量条件下的系统误差和随机误差，它对测量结果的歪曲是严重的，以致于使测量结果完全不可信赖。因此，粗大误差一经发现，必须从测量数据中剔除。

三、测量精度

反映测量结果与真实值接近程度的量称为测量精度，它与误差大小相对应。常用准确度、精密度和精确度来表示测量精度。

1. 准确度 它反映系统误差影响程度。系统误差小准确度高；系统误差大，准确度高。显然，准确度是反映对同一被测量进行多次测量，测量值偏离被测量真值的程度，故称准确度。

2. 精密度 它是反映随机误差影响的程度，随机误差小，精密度高。显然，精密度是反映对同一被测量进行多次测量，测量值重复一致的程度，或者说测量值分布密集程度，故称精密度。

3. 精确度 它反映系统误差和随机误差综合影响程度, 又称精度。

对于具体的测量, 精密度高的, 准确度不一定高; 准确度高的, 精密度也不一定高, 但精确度高的, 则精密度与准确度都高。图1-2说明了上述三种情况。图中 X_0 代表被测量真值, $\bar{x}$ 代表多次测量获得的被测量值的平均值, 黑点代表单个测量值。从图中可以看出, 图(a)的测量值密集于平均值 $\bar{x}$ 周围, 随机误差小, 表明测量精度高, 但测量值的平均值 $\bar{x}$ 偏离被测量真值较大, 系统误差大, 表明准确度低。图(b)的测量值分散性大, 随机误差大, 表明测量精密度低。但平均值较接近真值 X_0 , 表明系统误差小, 准确度高。图(c)测量值 x_k 明显地异于其它测定值, 可判定含有粗大误差的坏值, 可剔除。在剔除坏值 x_k 之后, 随机误差和系统误差都小, 表明精确度高。

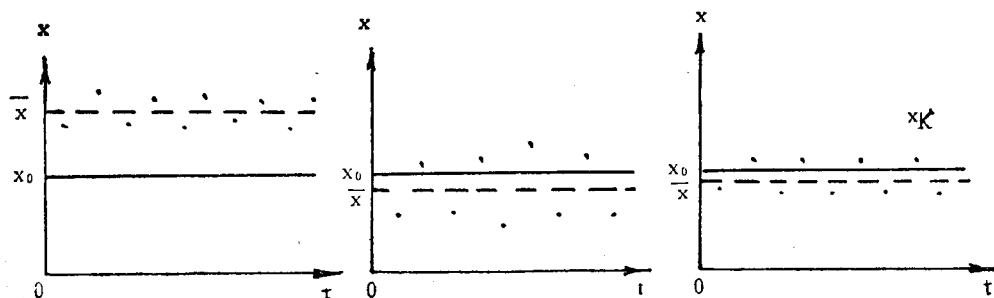


图1-2 精密度、准确度、精确度示意图

(a) — 精密度高、准确度低; (b) — 准确度高、精密度低; (c) — 精确度高

第四节 测量仪表的基本技术指标

选择与评价测量仪表, 需要了解仪表的基本性能指标, 一般有测量范围、精度、灵敏度、变差等。

一、量程范围

仪表能够测量的最大输入量与最小输入量之间的范围称作仪表的量程或量程范围, 而仪表显示盘上的刻度终值(满刻度)与起始值所限定的范围称作仪表的刻度范围。在实际使用中往往对量程与刻度范围不加区别。

选用仪表时, 首先应对被测量的大小有一初步估计, 务必使被测量的值都在仪表的量程之内, 如果被测量在满刻度的三分之二左右, 则能提高测量精度。

二、仪表精度

用任何仪表进行测量其测量结果都存在着误差, 故仪表存在着精确程度。

较合理的误差表示方法是利用仪表的基本误差 δ_f , 它的含义是: 仪表测量值中的最大示值绝对误差 Δ_m 与仪表量程 L_m 之比值,

$$\delta_f = \frac{\Delta_m}{L_m} \times 100\% \quad (1-3)$$