

Regong Celiang Yu
Kongzhi Jichu
China University of Mining and Technology Press

热工测量与 控制基础

主 编 程道来 仪垂杰
主 审 李瑞阳

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TK 3
5

热工测量与控制基础

主 编 程道来 仪垂杰
副主编 王清成 董智广 郑跃伟
主 审 李瑞阳

中国矿业大学出版社

内容摘要

本书由热工测量和自动控制两部分组成,共13章。全书首先介绍了热工测量的基础知识,热力系统中温度等参数测量原理、测量方法、测量所用仪器仪表;然后介绍了热力控制系统中的控制技术,包括自动控制原理、基本控制规律、自动控制仪表、执行器和自动控制系统等。各章以基础知识和最先进的成熟技术为主线,体现了热工参数测量和控制的原理、方法、基本结构、系统组成等,内容翔实,符合教学规律。

本书可作为普通高等院校热能与动力工程、建筑环境与设备等本科教学用书,也可供从事电力、石化、冶金、建筑等相关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工测量与控制基础/程道来,仪垂杰主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1576 - 5

I. ①热… II. ①程… ②仪… III. ①热工测量②热
力工程—自动控制 IV. ①TK3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 185278 号

书 名 热工测量与控制基础
主 编 程道来 仪垂杰
责任编辑 陈红梅
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 15 字数 368 千字
版次印次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

热工测量是指按照安全经济生产、改善劳动条件和提高劳动生产率的要求,选择被测参数和相应的仪表,确定取样位置(测点),设计热工测量系统、控制盘台和控制室;同时也是指检定测量器具,安装、调试和维护测量器具与测量系统,配合热力试验进行特殊测量。对热力设备及系统的热工参数进行测量、检测的仪表称为热工仪表。

热工控制是指对热力设备及系统的工艺过程进行调节、控制、保护与联锁。

随着科学技术的快速发展,我国的热力设备和系统不断向大容量、超高参数、高度自动化方向发展,热工参数的检测、显示和热力设备和系统的控制已从单一的温度、压力、湿度、流速、流量、热量、液位等传感器(一次仪表)和简单的显示仪表(二次仪表),向着多个热工参数精准的检测、快速的显示和热力系统控制高度自动化发展。新的测量技术、测量方法、检测仪表、控制系统的不断出现对从事热能与动力工程专业学习的大学生及工程技术人员提出了更高的要求。一方面,要系统、深入地掌握热工检测和控制的基本理论原理和方法;另一方面,要不断学习新的测量方法、新的控制技术,以确保热力设备和系统的运行处于完好、准确、可靠状态,保障机组安全经济运行。

本书由热工测量和自动控制两部分组成,共13章。分别详细地介绍了热工测量的基础知识、温度测量、压力测量、湿度测量、流速测量、流量测量、热量测量和液位测量、自动控制原理、基本控制规律、自动控制仪表、执行器和自动控制系统等方面的知识。各章内容以基础知识和最先进的成熟技术为主线,体现了热工参数传统测量与控制原理、方法和现代测量方法、控制技术的结合。本书部分章节中引用了同行专家著作中的相关内容或观点,在此表示感谢!

本书得到了上海交通大学、上海理工大学相关专家的评阅,他们提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢!

最后,衷心感谢热能与动力工程专家、博士生导师、上海市教育委员会副主任李瑞阳教授百忙中对全书进行审稿。

由编者的水平所限,加之编写时间仓促,书中难免有疏漏或不足,敬请广大读者不吝指正(请发邮件到 daolaicheng@163.com)。

本书配备了丰富的教学资源,包括PPT、视频资料、图片等。读者可进入 <http://ncc.sit.edu.cn/> 精品课程网,或通过E-mail向编者、出版社获取。

编者

2012年8月

目 录

第一章 测量基本知识	1
第一节 测量概念和测量方法	1
第二节 测量系统	3
第三节 测量传感器	4
第四节 测量误差	6
第五节 测量仪表的基本特性	10
复习思考题	15
第二章 温度测量	16
第一节 概述	16
第二节 膨胀式温度计	19
第三节 热电偶温度计	20
第四节 热电阻温度计	30
第五节 非接触式测温计	34
第六节 新型温度传感器	34
第七节 温度变送器	35
第八节 温度仪表选型原则	36
复习思考题	37
第三章 压力测量	38
第一节 概述	38
第二节 液柱式压力计	40
第三节 弹性压力计	42
第四节 电气式压力计和活塞式压力计	45
第五节 压力(压差)变送器	47
第六节 压力检测仪表的选择及安装	49
复习思考题	51
第四章 湿度测量	52
第一节 概述	52
第二节 干湿球法湿度测量	53

第三节	露点法湿度测量	55
第四节	吸湿法湿度测量	57
第五节	湿度计的标定校正与选择	61
	复习思考题	62
第五章	流速测量	63
第一节	机械方法测量流速	63
第二节	散热率法测量流速	65
第三节	动力测压法测量流速	65
第四节	激光多普勒流速测量	68
第五节	流速测量仪表的标定	69
	复习思考题	70
第六章	流量测量	71
第一节	概述	71
第二节	压差式流量计	72
第三节	转子流量计	76
第四节	椭圆齿轮流量计	78
第五节	涡轮流量计	79
第六节	电磁流量计	81
第七节	其他流量计	83
第八节	流量仪表选型与安装	84
	复习思考题	84
第七章	热量测量	86
第一节	概述	86
第二节	热流密度的测量	88
第三节	热量及冷量的测量	89
第四节	饱和蒸汽热量的测量	91
	复习思考题	92
第八章	物位测量	93
第一节	概述	93
第二节	直读式液位计	94
第三节	浮力式液位计	95
第四节	静压式液位计	99
第五节	电容式物位计	102
第六节	导电式液位计	104
第七节	超声波式物位计	105

第八节	核辐射式物位计	107
	复习思考题	109
第九章	自动控制原理	110
第一节	控制理论和自动控制系统发展概述	110
第二节	自动控制系统的组成与分类	111
第三节	自动控制系统的过渡过程	116
第四节	线性自动控制系统的数学描述	120
第五节	被控对象的动态特性	129
	复习思考题	134
第十章	基本控制规律	135
第一节	概述	135
第二节	位式控制	135
第三节	比例积分微分控制	137
第四节	预测控制	151
	复习思考题	153
第十一章	自动控制仪表	154
第一节	自动控制仪表的分类	154
第二节	模拟式控制仪表	156
第三节	数字式控制仪表	165
第四节	新型显示仪表	170
	复习思考题	171
第十二章	执行器	172
第一节	概述	172
第二节	气动执行器	173
第三节	电动执行器	176
第四节	阀门定位器和电—气转换器	177
第五节	调节阀(调节机构)	179
第六节	执行器选型原则	188
第七节	变频(调速)器	189
第八节	智能化变送器和智能化执行器	191
	复习思考题	192
第十三章	自动控制系统	193
第一节	自动控制系统发展概述	193
第二节	复杂控制系统	196

101	第三节 可编程控制器.....	205
100	第四节 集散控制系统.....	212
	第五节 现场总线控制系统.....	217
110	第六节 高级控制系统.....	224
111	复习思考题.....	228
111	参考文献.....	229
130	.....	
130	.....	
131	.....	
132	.....	
133	.....	
134	.....	
135	.....	
136	.....	
137	.....	
138	.....	
139	.....	
140	.....	
141	.....	
142	.....	
143	.....	
144	.....	
145	.....	
146	.....	
147	.....	
148	.....	
149	.....	
150	.....	
151	.....	
152	.....	
153	.....	
154	.....	
155	.....	
156	.....	
157	.....	
158	.....	
159	.....	
160	.....	
161	.....	
162	.....	
163	.....	
164	.....	
165	.....	
166	.....	
167	.....	
168	.....	
169	.....	
170	.....	
171	.....	
172	.....	
173	.....	
174	.....	
175	.....	
176	.....	
177	.....	
178	.....	
179	.....	
180	.....	
181	.....	
182	.....	
183	.....	
184	.....	
185	.....	
186	.....	
187	.....	
188	.....	
189	.....	
190	.....	
191	.....	
192	.....	
193	.....	
194	.....	
195	.....	
196	.....	
197	.....	
198	.....	
199	.....	
200	.....	

第一章

测量基本知识

本章内容摘要:首先介绍了热工测量基本概念,包括测量、测量技术及其分类、测量的三要素、测量方法等;然后介绍了测量系统环节、组成和作用;测量传感器和测量误差;最后介绍了测量的静态特性和动态特性。

本章重点和难点:热工测量中,不同测量方法、不同误差的比较和分析、适应范围以及热工测量中的测量仪表的不同特性。

第一节 测量概念和测量方法

一、测量概念

1. 测量

测量就是用合格的仪表、适当的方法,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。

测量是人类对自然界中客观事物取得数量观念的一种认识过程。具体地说,测量是人们借助于专门工具,通过企业现场、实验室等对获取数据、分析计算、处理,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。

2. 测量技术

测量技术是指按照被测对象的特点,采用某种测量方法和测量仪表,并遵从测量原理,获取被测量值的全过程。

测量技术可分为若干分支,如热工测量、力学测量、电学测量等。

热工测量是指对温度、湿度、压力、流量、烟气成分等热力参数的测量。

热工仪表有温度表(计)、湿度表(计)、压力表(计)、流量表(计)等显示检测或监测仪表。

3. 测量的数学表达式

式中, x_0 为被测量真值(理想值); α 为测量单位(标准值); x 为测量值。

式中近似等号的意义:考虑到在测量过程中会受到各种因素的影响,无论采用怎样的精确设备和测量方法进行测量,得到的被测量值,即测量结果 αx ,不可避免地存在误差,它只能近似等于被测量值 x_0 。

4. 测量原理

测量原理是指采用什么样的机理去测量(感受)被测量,实际上就是传感器原理。例如:物理、化学、电子学、热学、流体力学、光学、电学、声学、生物学、材料学等。

5. 测量的基本三要素

测量的基本三要素是测量单位、测量方法、测量工具。

测量单位:测量过程中使用的标准量应该是国际或国内公认的性能稳定的量。

测量方法:根据不同参数性质、采用不同的测量原理对热工参数测量的手段。

6. 测量的应用

测量主要应用于以下几个方面:结果显示——显示测量结果,直接提供给生产过程;过程监测——对过程参数的监测;过程控制——为生产过程的自动控制提供依据;试验分析与系统辨识——解决科学上和过程上的问题,一般需要综合运用理论和实验的方法。

二、测量方法

1. 测量方法分类

测量方法分类有多种,主要按以下方式进行:

(1) 按测量结果产生的方式分类

① 直接测量法:使被测量直接与选用的标准量进行比较,或者预先标定好的测量仪表进行测量,从而直接求得被测量数值的测量方法。

② 间接测量法:通过直接测量与被测量有某种确定函数关系的其他各个变量,然后将所测得的数值代入函数关系进行计算,从而求得被测量数值的方法。

③ 组合测量法:测量中使各个未知量以不同的组合形式出现(或者改变测量条件以获得这种不同组合),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。

(2) 按照获得测量值的方式分类

① 偏差式测量:在测量过程中,利用测量仪表指针相对于刻度初始点的位移(即偏差)来决定被测量的测量方法。

在使用这种测量方法的仪表内并没有标准量具,只有经过标准量具校准过的标尺或刻度盘。测量时,利用仪表指针在标尺上的示值读取被测量的数值,它以间接方式实现被测量和标准量的比较。例如,弹簧秤是一种偏差式测量,测量简单、迅速,但精度不高。偏差测量方法广泛应用于工程测量中。

② 零位式测量:用已知的标准量去平衡或抵消被测量的作用,并用指零式仪表指示差值,从而判定被测量值等于已知标准量的方法(如天平)。

在零位式测量中,标准量具处于测量系统中,被测量能够直接与标准量相比较,测量误差主要取决于标准量具的误差,可获得比较高的测量精度。另外,示零机构越灵敏,平衡的判断越准确,越有利于提高测量精度。这种方法需要平衡操作,测量过程较复杂,花费时间长,即使采用自动平衡操作,反应速度也受到限制,只适用于变化缓慢的被测量,而不适用于变化较快的被测量。

③ 微差式测量法:综合零位式测量和偏差式测量的优点而提出的一种测量方法。该方法是:将被测量 x 的大部分先与已知标准量 N 的作用相抵消,剩余部分,即两者差值 Δ 再用偏差法测量(如台秤)。

微差式测量中,由于总是设法使差值 Δ 很小,因此可选用高灵敏度的偏差式仪表测量之。即使差值的测量精度不高,但最终结果仍可达到较高的精度。

微差式测量法的优点是反应速度快,测量精度高,特别适合于在线控制参数的测量。

(3) 测量方法的其他分类

① 根据传感器是否与被测对象直接接触分为接触式测量和非接触式测量。

② 按不同的测量条件分为等精度测量和非等精度测量。

③ 按被测量在测量过程中的状态不同分为静态测量和动态测量。

2. 测量方法的选择原则

在选择测量方法时,要综合考虑下列主要因素:被测量本身的特征、所要求的测量精度、测量环境和现有测量条件(如测量设备)等。在此基础上,选择合适的测量仪器和正确的测量方法。

不应简单地认为只有使用精密的测量仪表才能获得准确的测量结果。实际上,有时选择一种好的、正确的测量方法,即使用极为普通的设备,也同样可以得到相当令人满意的结果。

第二节 测量系统

一、测量系统含义

测量系统是为完成测量任务而将不同的测量环节有机组合在一起的部件(单元)的总体,一般由 4 个基本环节组成:传感器、变换器或变送器、传输通道和显示装置(图 1-1)。

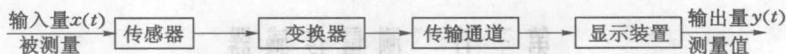


图 1-1 测量系统的组成

无论测量系统如何复杂都可简化为:处理输入量 $x(t)$ 、系统传输特性 $h(t)$ 和输出量 $y(t)$ 三者之间的关系(图 1-2)。

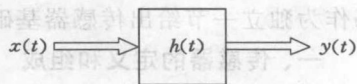


图 1-2 输入和输出之间的关系

当输入和输出可测量(已知)时,则可通过它们推断系统的传输特性。由此根据测试要达到的要求正确、合理地选用仪器。

二、测量系统的组成环节

1. 传感器(敏感元件)

传感器又称为敏感元件,它是测量系统直接与被测对象发生联系的部分。经传感器转换后的输出量通常是电量,一般是模拟信号。传感器作为理想敏感元件,应具有准确性和稳定性、负载小、灵敏性高、非干扰性强、好的经济性和高的耐腐蚀性等特点。

2. 变换器(变送器)

变换器是传感器和显示装置中间的部分,是将传感器输出的信号变换成显示装置易于接收的标准信号的部件,即将传感器的输出信号进行远距离的发送、放大、线性化和转换成标准信号的装置,是对物理性质的变换、同性质的物理量放大。仪表接受的标准信号有:DC 0~10 mA、DC 4~20 mA、DC 0~10 V 等。对变换器的要求是:性能稳定,精确度高,使信息损失最小。

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,又称为显示仪表、显示器等。

显示装置的基本形式:模拟式显示器、数字式显示器和屏幕式显示器。对显示装置(仪表)还有其他不同的分类方法,即:

- ① 按被测参数不同分为温度、压力、流量、物位、成分分析及机械量(包括位移、转速、振动等)测量仪表。
- ② 按用途分为标准用、实验室用及工程用仪表。
- ③ 按显示特点分为指示式、记录式、积算式、数字式及屏幕式仪表。
- ④ 按工作原理分为机械式、电气式、电子式、化学式、气动式及液动式仪表。
- ⑤ 按装置地点不同分为就地式安装及盘用仪表。
- ⑥ 按使用方式不同分为固定式和便携式仪表。

4. 传输通道

传输通道是仪表各环节间输入与输出信号的连接部分,包括电线、光导纤维和管路等传输形式。

三、测量系统的基本功能

测量系统的基本功能包括:测量变换功能、选择功能、比较与运算功能、显示与记录功能、打印功能等。

第三节 测量传感器

所有的热工仪表都离不开传感器,它是热工测量系统中最重要、最基础的组成部分,本书作为独立一节给出传感器基础知识,以便读者认识、理解传感器。

一、传感器的定义和组成

1. 传感器定义

传感器是能够感受规定的被测量并按一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。它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。

传感器的输入量是物理量、化学量和生物量等,输出量主要是电量(电量最便于传输、转换、处理及显示)。输入与输出的转换规律(关系)已知,转换精度要满足测控系统的应用要求。

2. 传感器组成

传感器主要由敏感元件、转化元件和转换电路组成,如图 1-3 所示。

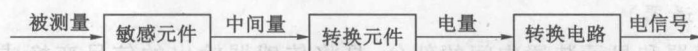


图 1-3 传感器组成框图

图 1-4 所示为气体压力传感器。

由敏感元件与转换元件二合一组成的传感器称为组合传感器,能直接将被测量转换为电量输出,如热电偶、压电传感器、光电池、热敏电阻等。

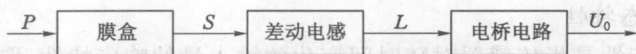


图 1-4 气体压力传感器组成框图

二、传感器分类及要求

1. 传感器的分类

(1) 按能量转换分类

① 能量控制型传感器。该类传感器需要外供电源，只起到信号转换作用，不可进行能量转换。

② 能量转换型传感器。该类传感器不需要外加电源，本身起到能量转换作用。

(2) 按物理工作原理分类

该分类方法主要是指按传感器的结构、原理、测量电路及应用进行分类，如温度传感器、压力传感器、流量传感器等。这种分类条理较清晰，同一原理的传感器可测不同的非电量。本书传感器分类就是按工作原理进行分类的。

(3) 按输入物理量(用途)分类

被测物理量可用不同的传感器测量，这样分类的目的是使读者(工程技术人员)有针对性地查阅所需要的传感器。一般工程书籍及参考书、手册均按此类方法分类。

(4) 按输出信号的性质分类

按该分类方法具体可分为模拟式传感器和数字式传感器。

2. 传感器实例

液位传感器和温度传感器如图 1-5 所示。

3. 传感器的要求

① 稳定性、可靠性。一般用平均无故障时间来衡量稳定性、可靠性。在计量、工业生产等领域中，稳定性、可靠性至关重要。

② 静态精度。测量静态量，传感器精度应满足系统的精度要求。

③ 动态性能。测量动态量，如响应速度、工作频率、稳定时间等。

④ 量程。测量被测量的范围，一般量程越大，精度越低。

⑤ 抗干扰能力。工业现场环境较恶劣，存在温湿度、电磁等干扰，设计的传感器能克服这些干扰，安全稳定运行。

⑥ 体积小、能耗低、成本低。结构型传感器向物性型半导体传感器发展，如测量人体血压的电子血压计(μW 、 mW 级)。

三、传感器的基本特性

传感器的基本特性一般用静态特性和动态特性描述。

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输出与输入关系，常用的衡量指标有线性度、灵敏度、迟滞和重复性等，它们是衡量传感器优劣的重要指标。

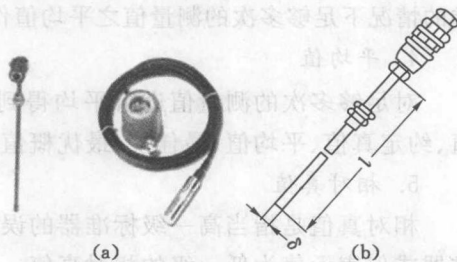


图 1-5 传感器实例

(a) 液位传感器；(b) 温度传感器

2. 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指传感器对随时间变化的输入量的响应特性,取决于传感器本身,且与被测量的变化形式有关。

动态特性中输出量与输入量的关系不是一个定值,是时间的函数。输出量随输入量频率的变化而变化,这表征了传感器动态特性输入量与输出量的关系方法是微分方程和传递函数,常用正弦信号和阶跃信号作为分析输入信号。

测量仪器的核心重要组成是传感器,传感器的基本特性就是指测量仪表的基本特性,详见本章第五节。

第四节 测量误差

一、测量中的不同值

1. 真值(理想值)

真值是本身客观存在的值,是一个变量本身所具有的真实值,用 x_0 表示。真值是一个理想的概念,一般是无法得到的,所以在计算误差时一般用约定真值或相对真值来代替。

2. 测量值

用仪器检测到的结果,即仪表指示值,用 x 表示。

3. 约定真值

约定真值是一个接近真值的值,它与真值之差可忽略不计。实际测量中,以在没有系统误差的情况下足够多次的测量值之平均值作为约定真值。约定真值又称为最佳值或最优概值。

4. 平均值

对足够多次的测量值进行平均得到的结果称为平均值,用 $\bar{x}$ 表示。在一定情况下,真值、约定真值、平均值、最佳值、最优概值可取同一平均值 $\bar{x}$ 。

5. 相对真值

相对真值是指当高一级标准器的误差仅为低一级的 $1/3 \sim 1/20$ 时,可认为高一级的标准器或仪表示值为低一级的相对真值。

二、测量误差及几种表现形式

测量误差是指仪表读得的被测值(测量值)与被测参数的真实值之间的差值。由于测量过程中受各种随机因素的影响,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量值。同时,被测量总是要对敏感元件施加能量才能使测量系统给出测量值,这就意味着测量值并不能完全准确地反映被测参数的真值,测量过程中存在测量误差是不可避免的,任何测量值只能近似反映被测量的真值。

测量误差主要有以下几种表现形式。

1. 绝对误差(测量误差)

测定值 x 与被测量真值 x_0 之差称为测量的绝对误差,或简称测量误差。

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-2)$$

2. 相对误差

绝对误差与约定值之比值称为相对误差,为无量纲量,以百分数表示,又称为相对百分误差。

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

一般约定值 x_0 有如下几种取法,可得到不同的相对误差:

- ① 取测量仪表的指示值时,称为标称相对误差或示值相对误差。
- ② 取测量的实际值时,称为实际相对误差。
- ③ 取仪表的满刻度值时,称为引用相对误差:

$$\delta = \frac{\Delta_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

3. 对绝对误差和相对误差的几点认识

- ① 绝对误差是有单位的量,其单位与测定值和实际值相同。
- ② 绝对误差是有符号的量,其符号表示出测定值与实际值的大小关系。
- ③ 相对误差是无单位量,其值一般用正值表示。
- ④ 测定值与被测量实际值之间的偏离程度和方向通过绝对误差来体现。
- ⑤ 对于相同被测量,用绝对误差评定其测量精度高低。但是,对于不同的被测量,则应采用相对误差来评定。

4. 允许误差(最大相对百分误差)

允许误差是仪表允许的最大绝对误差值和仪表的满刻度值的比值,用百分数表示。允许误差又称为最大相对百分误差,即:

$$\delta_{\text{允}} = \pm \frac{\text{仪表允许的最大绝对误差值}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\% \quad (1-4)$$

三、几种常见误差的理解

1. 粗大误差(疏忽误差/人为误差)

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。粗大误差一经发现,必须立即从测量数据中剔除。

2. 系统误差

(1) 系统误差定义

系统误差是在相同测量条件下,对同一被测量进行多次测量,误差的绝对值和符号或者保持不变,或按一定的规律变化。测量实际值=测量读数+修正值;修正值=标准表值-实际仪表读数。

(2) 系统误差原因

该误差是在偏离规定条件时或由于测量方法所引入的因素,按某确定规律所引起的。

(3) 系统误差特征

系统误差主要有两类:恒值误差和变值误差。变值误差:累进性、周期性、按复杂规律变化,误差特征如图 1-6 所示。

3. 随机误差

随机误差是指在相同测量条件下进行多次测量同一量时,误差的绝对值和符号按不可预定的方式变化的误差。

- ① 随机误差就个体而言是无规律的,不能通过实验的方法来消除。

② 在等精度条件下,只要测量次数足够多,就会发现随机误差服从一定的统计规律,可以从理论上估计随机误差对测量结果的影响。

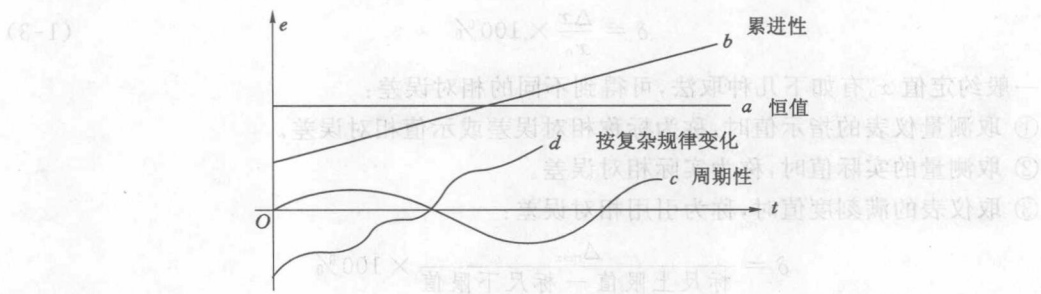


图 1-6 系统误差的特征

4. 系统误差、随机误差、粗大误差的关系图

具体如图 1-7 所示。

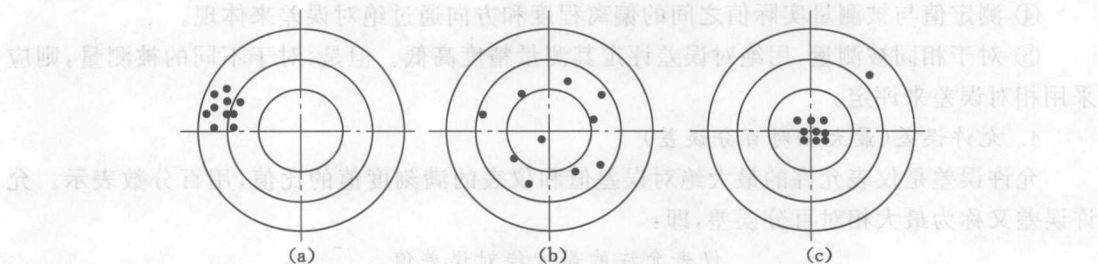


图 1-7 系统误差、随机误差、粗大误差的关系图

(a) 系统误差大、随机误差小; (b) 随机误差大、系统误差小; (c) 随机误差小、系统误差小, 有粗大误差

5. 仪表的基本误差、测量误差与附加误差

(1) 仪表的基本误差

仪表的基本误差是指在规定的条件下仪表的误差。仪表在制造厂出厂前, 都要在规定的条件下进行校验。规定条件一般包括环境温度、相对湿度、大气压力、电源电压、电源频率、安装方式等。仪表的基本误差是仪表本身所固有的, 它与仪表的结构原理、元器件质量和装配工艺等因素有关, 基本误差的大小常用仪表的精度等级来表示。

(2) 测量误差

使用仪表测量参数时, 测量的结果不可能绝对准确。这不仅因为仪表本身有基本误差, 而且还因为从开始测量到最后读数, 要经过一系列的转换和传递过程, 其中受到使用条件、安装条件、周围环境等一系列因素影响, 也要产生一定的误差。所以, 在很多情况下, 仪表的显示数值与标准值(真实值)之间存在着一个差值, 这个差值称为测量误差。

(3) 附加误差

附加误差是指仪表在非规定的参比工作条件下使用时另外产生的误差。如电源波动附加误差, 温度附加误差等。

一般情况下, 系统误差就是仪表的基本误差; 通常, 仪表的测量误差大于基本误差, 因为测量过程中产生的附加误差引起。

四、随机误差的处理

当系统误差消除后, 对一被测量进行无数次测量时, 同一方法、同一仪表, 测量次数无穷

多时,总的算术平均就是被测参数的真值。

1. 最佳值(最优概值)

工程中, n (测量次数)的数值不可能无穷大,所得的结果只是真值的近似 $\bar{x}$ 。

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-5)$$

2. 测量结果的正态分布

(1) 概率密度

$$y(\Delta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{\Delta^2}{2\sigma^2} \quad (1-6)$$

(2) 分布函数

$$\phi(\Delta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Delta} \exp - \frac{\Delta^2}{2\sigma^2} d\Delta \quad (1-7)$$

(3) 正态分布概率密度

如图 1-8 所示,测量值均匀地分布在真值的两边,差别越大的点出现的可能性越低。

五、测量精度

测量精度是描述测量值偏离真实值的程度,分别由正确度、精密度、精确度(准确度)表示。

1. 正确度

系统误差的大小用“正确度”表示。

正确度是指在规定条件下,测量中所有系统误差的综合。系统误差越小,测量结果越正确。

2. 精密度

对同一被测量进行多次测量,测量值重复一致的程度,或者说测量值分布的密集程度,称为测量的精密度。精密度反映了随机误差的影响,随机误差越小,精密度越高。

3. 精确度

精密度与准确度的综合指标称为精确度,或称为精度。精确度反映随机误差和系统误差的综合影响。

4. 正确度、精密度、精确度之间的关系

精密度高的,准确度不一定高;准确度高的精密度不一定高。但精确度高的,精密度与准确度都高。正确度、精密度和精确度如图 1-9 所示。

【例 1-1】 有一变化范围为 320~360 kPa 的压力。若用 A 和 B 两台压力变送器进行测量,那么在正常情况下哪一台的测量准确度高些? 压力变送器 A:1 级、0~600 kPa; 压力变送器 B:1 级、250~500 kPa。

解 用压力变送器 A 时,测量结果的最大误差:

$$|\Delta_{\max}| \leq NK = (600 - 0) \times 1\% = 6 \text{ (kPa)}$$

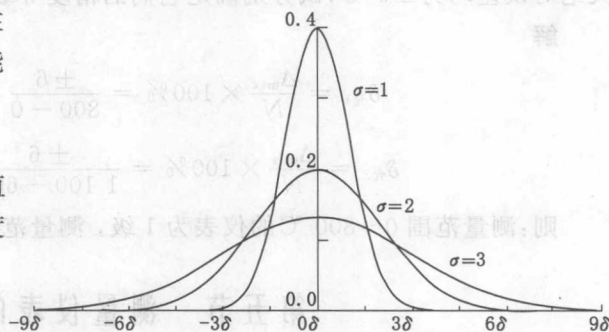


图 1-8 正态分布概率密度