



附：热工测量及仪表自学考试考试大纲

热工测量及仪表

[2000年版]

组编 / 全国高等教育自学考试指导委员会
主编 / 吴文德

全国高等教育自学考试指定教材

电厂热能动力工程专业 (专科)

中国电

社

197447

TK31
W880

全国高等教育自学考试指定教材
电厂热能动力工程专业(专科)

热 工 测 量 及 仪 表

(附:热工测量及仪表自学考试大纲)

全国高等教育自学考试指导委员会 组编
吴文德 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是根据全国高等教育自学考试指导委员会制定的电厂热能动力工程专业(专科)《热工测量及仪表自学考试大纲》编写的。

全书共分八章,包括绪论、热工测量基础、温度测量、压力测量、流量测量、物位测量、成分分析、机械参数的测量及其他热工参数测量。每章末附有复习思考题及习题,并附有习题答案,旨在突出自学考试的特色。

本书依据自学的特点,知识点条理化,重点突出,密切联系电力生产实际,内容反映现代测试技术。

本书可做电厂热能动力工程专业(专科)的自学考试教材,也可作为电厂专业人员的培训或函授教材,并可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工测量及仪表:附热工测量及仪表自学考试大纲/
吴文德主编.-北京:中国电力出版社,2000

全国高等教育自学考试指定教材

ISBN 7-5083-0400-4

I. 热… II. 吴… III. ①热工测量-高等教育-自学考试-教材②热工仪表-高等教育-自学考试-教材
IV. TK31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 41225 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

责任编辑:刘宇峰 责任校对:崔燕 版式设计:王群

三河市新世纪印刷厂印刷

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 387 千字

印数:0001—5000 册 定价:23.00 元

版 权 所 有 不 得 翻 印

(本书如有印装质量问题,请与当地教材供应部门联系)

组 编 前 言

当您开始阅读本书时，人类已经进入了21世纪。

这是一个变幻难测的世纪，这是一个催人奋进的时代。科学技术飞速发展，知识更替日新月异。希望、困惑、机遇、挑战，随时随地都有可能出现在每一个社会成员的生活之中。抓住机遇，寻求发展，迎接挑战，适应变化的制胜法宝就是学习——依靠自己学习、终生学习。

作为我国高等教育组成部分的自学考试，其职责就是在高等教育这个水平上倡导自学、鼓励自学、帮助自学、推动自学，为每一个自学者铺就成才之路。组织编写供读者学习的教材就是履行这个职责的重要环节。毫无疑问，这种教材应当适合自学，应当有利于学习者掌握、了解新知识、新信息，有利于学习者增强创新意识、培养实践能力、形成自学能力，也有利于学习者学以致用、解决实际工作中所遇到的问题。具有如此特点的书，我们虽然沿用了“教材”这个概念，但它与那种仅供教师讲、学生听，教师不讲、学生不懂，以“教”为中心的教科书相比，已经在内容安排、形式体例、行文风格等方面都大不相同了。希望读者对此有所了解，以便从一开始就树立起依靠自己学习的坚定信念，不断探索适合自己的学习方法，充分利用已有的知识基础和实际工作经验，最大限度地发挥自己的潜能达到学习的目标。

欢迎读者提出意见和建议。

祝每一位读者自学成功。

全国高等教育自学考试指导委员会

1999年7月

编 者 的 话

本书按全国高等教育自学考试指导委员会于1998年10月所审定的《热工测量及仪表自学考试大纲》要求编写。力求做到章、节内容对应，知识点条理化，次重点分清，并配备好例题、思考复习题和相应习题及其答案，旨在突出自学考试的特色。

在内容选编方面的原则是贯彻先进性、针对性和教学性。先进性是考虑到读者现在和将来准备用计算机控制热力发电厂的需要，书中的基本理论和基本概念都应与分散微机控制系统有关；针对性是采纳300MW、600MW机组自动检测的技术手段为教学内容；教学性是指新技术、新内容的介绍要由浅入深，循序渐进，引至概念。

本书的特色是内容新颖，各章、节都反映现代测试技术。全书共八章。第一章热工测量基础中指出了仪表精确度与随机误差的相关应用，介绍了计算机对疏失误差的坏值实时处理流程。第二章温度测量中介绍了微机型仪表对热电偶的冷端补偿和非线性处理方法以及热电阻测温的非线性处理，还介绍了微机型温度巡回仪的原理与系统。第三章压力测量中重点介绍了电容式压力（差压）变送器及其HART通信器应用。第四章流量测量中提出了标准节流件孔径设计时径比 β 快速收敛的迭代公式，叙述了数字式流量计设计基本原理及修正过热蒸汽压缩比 ϵ 的必要性。第五章物位测量中强调了锅炉汽包重量水位重要性，并介绍了差压式水位计应用微机实现全补偿的方法。在煤粉粉位测量中介绍了超声粉位测量。第六章成分分析中除介绍了常用的氧化锆氧量计、导电率仪表和硅酸根（BF-8061型）仪表外，还重点叙述了能直接检测空气污染物的ML-7000型大气监测系统 and MULTOR-610型烟气监测系统。第七章机械参数的测量介绍了汽轮发电机的参数保护测量与仪表。第八章其他热工参数测量中介绍了电子皮带秤、核子皮带秤和INFLO型谐振式微机型煤秤，炉膛火焰信号测量叙述了闪频与光强的原理和方法以及汽机热应力原理与测量等。

本书是上海电力学院1994年专业综合改革教材之一的《热工测试与技术》讲义经修改再版的基础上重新选编而成，也是多年来热工测量仪表教学实践的结晶。

全书由东北电力学院程大亨教授主审。参加审稿的还有西安交通大学杨林森教授、上海电力学院朱祖涛教授和ABB公司崔大勇副教授，他们对编写本书提出了很多宝贵意见，对此深表感谢。杨林森教授还为本书及本书考纲做了统筹工作。

限于作者的水平和能力，错误与不妥之处在所难免，期望读者批评指正。

编 者

2000年2月于上海电力学院

目 录

绪论	1
第一章 热工测量基础	5
§ 1-1 测量系统性能指标	5
1.1.1 测量误差的表示	5
1.1.2 精确度与基本误差	5
1.1.3 测量变差(滞后误差)	6
1.1.4 非线性误差(线性度)	7
1.1.5 灵敏度、不灵敏区及分辨率	7
§ 1-2 测量误差的分类及其处理	8
1.2.1 疏失误差及其处理	8
1.2.2 系统误差及其处理	12
1.2.3 随机误差及其处理	14
§ 1-3 误差的传递与合成	18
1.3.1 误差的传递	18
1.3.2 误差的合成	19
§ 1-4 多精度测量及其处理	20
1.4.1 多精度测量的权重	20
1.4.2 多精度测量的数学期望	21
复习思考题	22
习题	22
第二章 温度测量	24
§ 2-1 国际温标与温度传递	24
2.1.1 国际温标	24
2.1.2 温标传递	24
§ 2-2 热电偶测温	25
2.2.1 热电动势及热电偶温度计	25
2.2.2 热电偶基本定律	28
2.2.3 常用热电偶材料、结构及分度号	30
2.2.4 热电偶冷端温度补偿方法	33
2.2.5 热电动势的模拟显示仪表	39
2.2.6 热电动势的 A/D 转换及非线性处理	43

§ 2-3 热电阻测温	50
2.3.1 热电阻测温原理与特点	50
2.3.2 标准化热电阻技术特性与分度号	51
2.3.3 热电阻的结构和使用要求	54
2.3.4 热电阻的模拟显示仪表	54
2.3.5 热电阻的 A/D 转换及非线性处理	57
§ 2-4 微机型数字温度巡测仪	59
2.4.1 SRE 型温度巡测仪结构	60
2.4.2 SRE 型温度巡测仪工作原理	62
§ 2-5 热辐射测温及仪表	63
2.5.1 热辐射测温基本原理	63
2.5.2 光学高温计	65
2.5.3 全辐射高温计	66
2.5.4 红外光电温度计	68
复习思考题	70
习题	70
第三章 压力测量	73
§ 3-1 概述	73
§ 3-2 直接作用式测压仪表	74
3.2.1 液柱式压力计	74
3.2.2 弹性式压力计	75
§ 3-3 压力信号的电变送方法	80
3.3.1 力平衡式压力变送器	80
3.3.2 扩散硅式压力变送器	82
3.3.3 电容式压力变送器	87
§ 3-4 压力仪表的选用、安装和使用	94
3.4.1 压力仪表的选用	94
3.4.2 测压仪表的安装	94
3.4.3 测压仪表的使用	95
复习思考题	96
习题	96
第四章 流量测量	98
§ 4-1 概述	98
4.1.1 流量种类及其关系	98
4.1.2 流量测量方法分类	99
§ 4-2 节流式流量计系统	101
4.2.1 节流式流量计原理、公式与应用	101
4.2.2 标准节流装置, 计算命题及误差分析	105

4.2.3	在线运行中流体参数的补偿	114
4.2.4	过热蒸汽热量的测量原理	116
§ 4-3	速度式流量计系统	117
4.3.1	涡轮式流量计	117
4.3.2	漩涡式流量计	119
§ 4-4	计算机在流量测量中应用	121
4.4.1	数字式流量计的工作原理	121
4.4.2	SDC型数字式流量计的性能、构成与应用	125
第四章附表		129
复习思考题		138
习题		138
第五章 物位测量		140
§ 5-1	概述	140
§ 5-2	汽包云母式水位计	141
5.2.1	云母式水位计工作原理	141
5.2.2	云母水位计的误差因素	141
§ 5-3	汽包电接点水位计	142
5.3.1	电接点水位计工作原理与构成	142
5.3.2	电接点水位计故障及改进	144
§ 5-4	汽包差压式水位计	145
5.4.1	差压式水位计的特点与组成	145
5.4.2	刻度特性及水位误差因素	146
5.4.3	汽包工作压力和冷凝水温度全补偿	150
5.4.4	计算机在差压式水位计中的应用	152
§ 5-5	煤粉仓粉位测量	156
5.5.1	煤粉仓粉位测量的特点	157
5.5.2	粉仓粉位的测量方法	157
复习思考题		161
习题		162
第六章 成分分析		163
§ 6-1	炉烟成分分析与大气监测要求	163
6.1.1	炉烟成分分析概述	163
6.1.2	大气对炉烟监测要求	166
§ 6-2	氧化锆氧量计	168
6.2.1	工作原理与计算公式	168
6.2.2	误差因素及使用要求	171
§ 6-3	工业电导仪	173
6.3.1	电导仪分析原理	174

6.3.2	DDD-32B 型工业电导仪	176
§ 6-4	硅酸根分析仪	178
6.4.1	比色分析法测硅原理	178
6.4.2	BF-8061 型硅酸根仪	180
§ 6-5	大气污染监测系统	184
6.5.1	ML-7000 型大气监测系统	184
6.5.2	MULTOR-610 型烟气监视系统	190
	复习思考题	195
	习题	195
第七章	机械参数的测量	196
§ 7-1	轴转速的测量	196
7.1.1	离心式、磁电式转速表	196
7.1.2	磁阻式转速变送器和测速发电机	199
§ 7-2	机组轴向位移、热膨胀和相对膨胀测量	200
7.2.1	高频涡流传感器和差动铁芯传感器	200
7.2.2	汽机轴向位移的测量	205
7.2.3	汽机热膨胀和相对膨胀测量	206
§ 7-3	机组振动的测量	206
7.3.1	感应式和压电式振动传感器	207
7.3.2	机组振动监测系统	210
	复习思考题	211
第八章	其他热工参数测量	212
§ 8-1	锅炉燃料量的测量	212
8.1.1	电子皮带秤原理与误差因素	212
8.1.2	核子皮带秤原理与测量系统	215
8.1.3	炉膛给煤量的测量	217
§ 8-2	锅炉火焰信号的测量	220
8.2.1	光电传感器原理与特性	221
8.2.2	炉膛燃烧器的火焰测量	224
8.2.3	炉膛火球的火焰测量	229
§ 8-3	机组热应力测量	231
8.3.1	热应力的产生与计算	232
8.3.2	汽轮机热应力控制器应用	235
	复习思考题	238
	习题答案	239
	后记	241
	附：热工测量及仪表自学考试大纲	243

绪 论

测量是人们借用工具对生产过程取得数量观念的试验过程。测量是为了获取信息。信息是人们赖以认识和控制过程状态的依据。没有这种信息将使生产陷入盲目性、产生严重后果。

热工测量是为获取热力过程中各种参数。热工测量的参数有压力、温度、流量、水位、烟气成分等，此外也包括与热力生产密切相关的其他参数，如炉膛燃料量、火焰信号、机组振动及热应力等等。

在热力发电厂中，通过热工参数的测量，可以及时反映热力设备的运行工况，为运行人员提供操作依据；为电厂控制系统准确及时地提供信号；为信息管理系统提供分析数据。因此，热工测量是保证热力设备安全、经济运行及实现自动化的必要条件，也是保护环境、开发和研究新型设备和系统的重要手段。

一、测量系统分类

完成热工测量中某一个或几个参数测量的工具称为热工测量系统。根据测量系统信号传递与处理、显示方式及功能等的不同，其结构会有悬殊的差别。它可能仅有一只测量仪表的简单测量系统，也可能是一套价格昂贵、高度自动化的复杂测量系统。不过，任何一个测量系统都可由有限个具有一定基本功能的环节组成。现代热工测量系统可按用模拟显示件还是数字显示件，应用微机与不应用微机来划分，大致有以下几种类型。

1. 简单模拟量测量系统

此系统由传感器、中间件和显示件（二次仪表）所组成，应用于测量参数简单，无修正、无补偿的场合。

2. 具有统一电信号的模拟量测量系统

此系统采用了传感器与模拟量变送器，其输出标准统一电信号 $0 \sim 10\text{mA}$ 或 $4 \sim 20\text{mA}$ ，具有远距离传送、负载能力强的特点。

3. 带补偿型模拟量测量系统

某些热工参数（如汽包水位、蒸汽流量）的测量要采用多个参数的信号补偿与校正才能正确测定，这时采用多个传感器及计算机组成测量系统。

4. 简单数字式显示型测量系统

此系统包括主要部分应是变换放大、非线性校正和模拟量与数字量转换（A/D）。显示件由数字器 LED 或 CRT 组成。其特点是结构简单，用于单参数测量。

5. 微型多参数采集显示系统

此系统由于采用了微机中央处理单元 CPU，按分时、多功能运算，储存容量大，故可以多参数采集测量，并实现信号补偿和故障自检查，俗称智能化仪表。

6. 分散微型数据采集系统

本系统适用于参数量大、地点分散、运算多功能的场合。各地点的参数可由下位机 CPU 进行采集和运算，并贮存于本身数据存储器 RAM 中。上位机 CPU 不仅与这些下位机 CPU 通信，还可以与更高位管理计算机通信，从而实现系统的数据采集与自动控制。数据采集系统也简称为 DAS。

二、测量系统基本环节

测量系统的构成与生产过程的自动化水平密切相关。无论简单的测量系统或复杂的测量系统，组成测量系统的基本环节有：传感器、变换器、传输通道和显示装置。以下说明这些基本环节的功能、性质及其要求。

(一) 传感器

传感器（也称感受件、敏感元件、检测元件）是根据其物理、化学的效应（规律）将被测参数转换成某种信号。例如，测温传感器采用铂热电阻时，其输出信号是电阻 R_1 ，它与被测温度 t 具有下列关系式

$$R_1 = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (0-1)$$

传感器的输出信号能否精确、快速和稳定地与被测参数相转换，对测量系统的好坏有着决定性的作用。通常对传感器要求具有下列特性：

- (1) 传感器的输出与输入之间应具有单值函数关系。
- (2) 传感器的输出与输入之间应具有单元函数关系。
- (3) 输出信号与被测参数具有足够的灵敏度和稳定性。

实际的传感器很难同时满足上述三个要求，常用的方法是限制测量条件，通过理论与实验的反复检验，并采用补偿、修正等技术手段，才能使传感器满足测量要求。

(二) 变换器

变换器（包括前置放大器、A/D 转换器和非线性校正器）是将传感器来的微弱信号经某种方式的处理转换成检测显示所要求的信号。前置放大器通常安装于传感器部分，这是为避免微弱信号传送丢失而需要预先放大，这也利于测量系统的简化。A/D 转换器用于将模拟信号转换成数字量信号。非线性校正器用于使输出信号正比于被测参数，有利于数字信号及控制信号的产生。

(三) 传输通道

传输通道（包括脉冲管路、电缆、光纤、通信线等）用于将信号在测量基本环节之间传输。根据传输的方式，可以分为开环传输和闭环传输、串行传输和并行传输。

信号的开环传输和闭环传输常见于模拟信号的测量仪表（系统），如图 0-1 和 0-2 所示。

开环传输的仪表（系统）属于直接变换式测量原理，它由各个环节开环联结。令各个

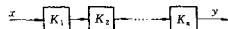


图 0-1 开环测量系统

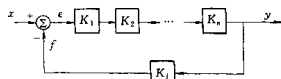


图 0-2 闭环测量系统

环节的输出 y_i 与输入 x_i 信号之比 (传递系数) 为 K_i ($i=1, 2, \dots, n, y_i = K_i x_i$); y 、 x 为系统输出和输入, 则总的传递系数为 K , 即

$$K = \frac{y}{x} = K_1 K_2 \cdots K_n = \prod_{i=1}^n K_i \quad (0-2)$$

即开环系统中任一环节的 K_i 变化, 都将影响到输出 y 的改变 (在输入 x 一定时)。

闭环传输的仪表 (系统) 属于反馈 (平衡) 式测量原理, 它由正向传递环节 K_p 和反向传递环节 K_f (其输出反馈量 f) 组成闭环。

$$K_p = \frac{y}{\epsilon} = K_1 K_2 \cdots K_n \quad (0-3)$$

$$K_f = \frac{f}{y} \quad (0-4)$$

由于采用负反馈, 差值为 ϵ

$$\epsilon = x - f \quad (0-5)$$

利用上面二式运算可以得到闭环系统传递系数

$$K_c = \frac{y}{x} = \frac{K_p}{1 - K_p K_f} \quad (0-6)$$

通常由于 $K_p \gg 1$ 故上式分母中的 1 可以略去, 于是

$$K_c = \frac{1}{K_f} \quad (0-7)$$

由此可见, 闭环系统中 K_p 的变化不会影响到输出 y 的变化 (在输入 x 一定时), 而且闭环传递系数 K_c 仅取决于反馈环节的传递系数 K_f 。

信号的串行传输和平行传输常见于数字量信号的微型测量仪表 (系统)。

串行传输是把 1 个字节 (1 个八位二进制数) 的数据的各位, 每次一位地发送至单根线 (TXD) 上, 或者反过来, 从单根线上每次一位地接收数据 (RXD), 然后拼组成一个字节或二个字节的数据。串行传输的优点是适合远距离并只需要两根导线, 这是最经济的。

图 0-3 中三台微机可以分别是主从机之间传递信号, 也可以是上位机与带有 CPU (中央处理单元) 的传感 (变送) 器之间传递信号。全双工通信是指装置之间, 接收或发送可以同时进行。

并行传输是一次多位同时传递数据, 其特点是传输效率高, 但需要有多根导线, 这通常用于计算机内部, 不用于其外部。

(四) 显示装置

显示装置 (也称二次仪表) 是测量系统最终输出器件。可以是指针仪表、LED 数字显示器或计算机 CRT 读取窗口。指针仪表可由指示刻度值读取被测量值。当配上记录纸或信号器后, 有利于分辨出被测量变化趋势

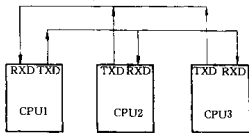


图 0-3 串行传输方式 (多机全双工)

或越限报警。数字显示器的读数误差小，至多为末位数字的 ± 0.5 字。数字显示器动态响应快，但不能读出变化过程的读数。应用数字显示器的仪表通常都应考虑非线性校正环节。具备计算机 CRT 读取窗口的测量系统适用于多参数带信号补偿、信号贮存与自检查。虽然计算机应用，成本费用昂贵，但需要将检测信号进行补偿修正、集中远传、驱动、自动控制及报警连锁时，这种计算机用于检测系统仍是值得可取的。

第一章 热工测量基础

§ 1-1 测量系统性能指标

评定测量系统品质好坏的性能指标可以从静态特性、动态特性和可靠性等方面来划分。不过热工测量中多数的测量可近似看成为静态测量，故本教材注重测量系统的静态性能指标。

测量系统的性能指标有：基本误差，滞后误差，非线性误差，不灵敏度，稳定性等等。

1.1.1 测量误差的表示

在测量技术中，首要关心的是测得准不准，故对测量误差的研究是必要的。

如果用 x 表示测量值（读数）， x_0 表示被测参数的实际值，也称真值（或由标准表读得的标准值），取

$$\delta = x - x_0 \quad (1-1)$$

$$\gamma = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

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

则称 δ 为测量的绝对误差； γ 为相对误差（注意：计算结果中 δ 有正、负值，有量纲；而 γ 为有正、负值无量纲）。

如果某仪表（测量系统下同）的测量上限值为 A_2 ，测量下限值为 A_1 ，量程（代数差 $A_2 - A_1$ ）范围内最大绝对误差为 δ_{\max} ，则取

$$\gamma_c = \pm \frac{|\delta_{\max}|}{A_2 - A_1} \times 100\% \quad (1-4)$$

称 γ_c 为该仪表的折合（引用）误差。

1.1.2 精确度与基本误差

测量的精确度表示仪表的测量值与被测量的真值之间的逼近程度。对同一被测量进行多次测量，则测量值偏离被测量真值的程度称为精确度（也称精度）。

测量仪表的精确度由国家按离散化系列加以规定，并且直接与允许误差（Permit error）相对应，见表 1-1。

表 1-1

工业仪表精度等级与允许误差

精度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	4
允许误差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 4\%$

对于给定的仪表,在规定的正常工作条件下,通过检定(校验),在整个刻度范围内各点示值误差中最大的误差之绝对值称为仪表的基本误差。一般可用 γ_0 表示仪表的折合误差。如果写成绝对值形式,基本误差也可用 $\pm \delta_{\max}$ 表示。

允许误差是该精度等级下仪表的基本误差不允许超过的极限值。表 1-1 中表示的是允许误差的折舍值;允许误差的绝对值可用下式表示,例如对于精度等级 0.5 表:

$$\Delta_p = \pm 0.5 \times (A_2 - A_1) / 100 \quad (1-5)$$

式中: $A_2 \sim A_1$ 为测量量程,由刻度上、下限之代数差求得

比较仪表的基本误差与允许误差的大小,如果基本误差不超过允许误差,则该仪表的基本误差指标为合格;否则为不合格,仪表应降级使用。当所有性能指标都合格时,称仪表合格。但只要有一个性能指标不合格,则该仪表不合格。

【例 1-1】有二支温度计,刻度范围和精度分别为

A 表 0 ~ 800℃ 1.0 级

B 表 -50 ~ 400℃ 1.5 级

试问:哪个温度计精度等级高、允许误差小;要求测温误差不得超过 $\pm 7^\circ\text{C}$ 时,应选用哪个温度计?

解 A 表 1.0 级小于 B 表 1.5 级, A 表精度等级高, A 表允许误差 $\pm 1.0\%$, 且测量范围大。B 表允许误差 $\pm 1.5\%$, 且测量范围小,从仪表性能指标来选,通常选 A 表优于 B 表。另一方面,为了监控温度不超过 $\pm 7^\circ\text{C}$, 应计算允许误差绝对值: $\Delta_{PA} = \pm (1.0\% \times 800^\circ\text{C}) = \pm 8^\circ\text{C}$; $\Delta_{PB} = \pm 1.5\% \times [400 - (-50)] = \pm 6.75^\circ\text{C}$ 。可见,选用 B 表较为合理。

本例说明,正确选择仪表的测量范围、精度等级应视具体要求而定,不能一概而论。

1.1.3 测量变差 (滞后误差)

被测量分别按增加和减小两个方向缓慢变化达到同一个值时,仪表的两个输出量(读数)的最大值差称为测量仪表的变差(也称滞后误差或回差)。

图 1-1 表示了测量系统变送器输出电流(mA)与输入参数($^\circ\text{C}$)之间的滞后现象及滞后误差。计算时应取图中最大差值 Δ'_{\max} 为绝对量或取其与量程 $(A_2 - A_1)$ 的比值 $\frac{\Delta'_{\max}}{A_2 - A_1} \times 100\%$ 为最大变差的相对量。要求仪表的实际变差不超过允许误差。

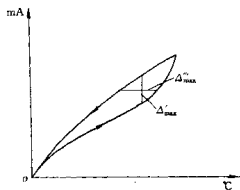


图 1-1 测量系统变差与不灵敏区

变差是由于仪表系统的机械摩擦、间隙、弹性元件及磁场强度的滞迟等引起。减小变差是提高测量精度的重要措施。

1.1.4 非线性误差 (线性度)

当测量系统中某一环节的输入与输出存在非线性关系时, 往往造成测量系统被测量与输出信号之间的非线性特性。仪表输出一输入特性曲线与某一直线之间最大偏差量 Δ''_{\max} (或其相

对象 $\frac{\Delta''_{\max}}{A_2 - A_1} \times 100\%$) 称为仪表的非线性误差。

非线性误差大小与直线的取法有关, 此直线或以切线形式或以割线形式都可, 如图 1-2 所示。

非线性误差越小, 线性度越高, 反之亦然。希望非线性误差不超过仪表 (测量系统) 规定的允许误差。

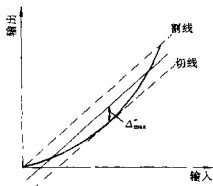


图 1-2 非线性误差

克服非线性误差的措施是: 在指针或模拟仪表上画成非线性 (不均匀) 刻度; 对数字式仪表系统中应采用线性化器。通常用于控制调节的信号都希望是线性的 (无非线性误差), 因为线性控制系统容易设计和实现。

1.1.5 灵敏度、不灵敏区及分辨率

仪表输出信号的增量与对应输入信号的增量之比 (即变化率) 称为灵敏度。具有线性输出一输入特性的仪表, 灵敏度为常数。而非线性关系的输出一输入特性, 其灵敏度是变数, 其值即为曲线的斜率 (导数)。

灵敏度较高的仪表, 有利于运行中对被测参数的监控, 但过高灵敏度的仪表并不保证应有的精确度。

不能引起输出变化的输入信号范围, 即缓慢地向增大或减小方向改变输入信号时, 输出不发生变化的最大输入变化幅度值称为仪表 (或系统) 的不灵敏区。图 1-1 中, 温度变送器输出电流 mA 不变时, 对应最大的温度变化量 Δ''_{\max} 即为温度变送器的不灵敏区。

当特性曲线区间取得很小时, 可以认为仪表 (系统) 的变差、灵敏度和不灵敏区存在下列关系

$$\text{仪表变差} = \text{灵敏度} \times \text{不灵敏区} \quad (1-6)$$

为了表征仪表读数的精密性, 通常采用分辨率。取仪表显示器最小刻度分度量对应的输入参数变化量称为分辨率。例如, 模拟仪表刻度范围 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$, 总共有 160 格分度, 则分辨率为 $\frac{150 - (-50)}{160} = 1.25^\circ/\text{格}$; 数字仪表为四位 LED 显示器 (带一位小数点), 则末位数字变动 “1” 所对应分辨率为 $0.1^\circ/\text{末字}$ 。

【例 1-2】某指示压力表, 量程范围为 $(0 \sim 16) \text{ MPa}$, 标尺总弧度为 270° , 1.5 级精确度, 在正常工作条件下用标准表校验结果如表 1-2 所示。试求: (1) 仪表的允许误差;

(2) 仪表的基本误差; (3) 仪表的变差; (4) 仪表的灵敏度; (5) 是否合格。

表 1-2 压力表校验记录

标准压力 p (MPa)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	
被校压力 p (MPa)	上行程	0.00	0.98	2.15	3.20	4.32	5.06	6.10
	下行程	0.05	1.02	2.00	3.05	4.30	4.85	5.90

解 (1) 由仪表精确度 1.5 级可得 $\Delta_p = \pm 1.5\%$ ，或用式 (1-5) 求得

$$\Delta_p = \pm 1.5\% (6.0 - 0) = \pm 0.09\text{MPa}$$

(2) 为求基本误差 Δ_B ，在 14 个校验点中挑出最大绝对误差值，加上 \pm 号

$$\Delta_{\max} = 4.32 - 4.0 = 0.32\text{MPa} \quad \Delta_B = \pm 0.32\text{MPa} > \pm 0.09\text{MPa}$$

折合形式的基本误差由式 (1-4) 算得

$$\Delta_B = \pm \frac{0.32}{6.0 - 0} \times 100\% = \pm 5.3\% > \pm 1.5\%$$

无论相对形式、绝对形式基本误差均已超过允许误差。

(3) 仪表变差应在 7 组上下行程读数差中选最大者，即

$$\Delta_h = 5.06 - 4.85 = 0.21\text{MPa} > \pm 0.09\text{MPa}$$

或者有

$$\Delta_h = \frac{0.21}{6.0 - 0} \times 100\% = 3.5\% > \pm 1.5\%$$

皆已超差。

(4) 因仪表输出量为指针偏转角 270° ，最大输入量为 6.0MPa 故该表灵敏度取比值 $270^\circ / 6.0\text{MPa} = 45^\circ / \text{MPa}$ 。

(5) 该表因超差不合格。

§ 1-2 测量误差的分类及其处理

在测量中测量误差的存在是不可避免的。无论所采用的测量方法多么完善，仪表多么精确，操作者多么细心和认真，由于人的认识水准及科学技术水准的不足、不完善，人们只能将误差控制在一定的限度之内而不能完全消除。

按照误差性质不同，可以把误差分成疏失误差、系统误差和随机误差三种。

1.2.1 疏失误差及其处理

由于测量者疏失大意，或者仪表受到偶然干扰，甚至发生突然故障等原因，使测量仪表（系统）的某些读数显得毫无价值，其测量值也明显地歪曲了应有的结果，这类误差称为疏失误差。这种含有疏失误差的读数完全不可信赖，并称之为坏值，数据处理时必须加以剔除。例如，电子仪表的线路因受到偶然强电磁场干扰，造成了虚假指示；传压脉冲水（或气）管路因积聚气（或水）未被排除干净而造成了延迟指示，这些都属于坏值读