

热能与动力工程测试技术

RE NENG YU DONG LI GONG CHENG CE SHI JI SHU

郑正泉 姚贵喜 马芳梅 戴汝平 编

华中科技大学出版社

热能与动力工程 测试技术

郑正泉 姚贵喜 马芳梅 戴汝平 编

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

热能与动力工程测试技术/郑正泉 等编
武汉:华中科技大学出版社, 2001年8月
ISBN 7-5609-2510-3

- I. 热…
II. ①郑… ②姚… ③马… ④戴…
III. 热能-动力工程-测试技术-高等学校教材
IV. TK0

热能与动力工程测试技术

郑正泉 编著

责任编辑:叶见欣

责任监印:张正林

责任校对:蔡晓瑚

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

排 版:华中科技大学出版社照排室
印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开本:787×1092 1/16

印张:18

字数:418 000

版次:2001年8月第1版

印次:2004年2月第3次印刷

定价:22.00元

ISBN 7-5609-2510-3/TK·42

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书系统地叙述了动力工程及动力机械主要参数的测试原理、测试方法,以及测量传感器、误差分析与微机接口的基本知识。全书共分九章:第一章介绍测试系统的基本概念,仪表的主要参数及误差分析的基础知识;第二、三、四章介绍基本的热工参数:温度、压力、流速、流量的测量;第五、六章介绍液面测量和气体成分分析;第七、八章介绍动力机械的基本参数:转速、功率、振动、噪声的测量;第九章介绍测试系统中微机接口技术的基本原理。

本书为高等学校热能与动力工程专业本科生的通用教材,亦可供从事动力机械及动力工程的工程技术人员参考。

前 言

为了适应拓宽专业面,推行素质教育的需要,我们于1993年着手编写一本适合于动力类各专业的测试技术教材,经过一年多的努力,于1995年初完成了初稿,定名为“动力工程与动力机械测试技术”,并于同年印成了讲义。该讲义经过五届学生的使用,听取了各方面的意见。在此基础上,对讲义的内容又进行了增删与修改,使它更适应教育部颁布的新专业目录的教学要求。改编后的教材定名为《热能与动力工程测试技术》,讲授学时为60学时。

本书由郑正泉、姚贵喜、马芳梅、戴汝平共同编写。其中,第一、四章由姚贵喜编写;第二、六章以及第五章的第二节由马芳梅编写;第三、九章及第五章的第一节由郑正泉编写;第七、八章由戴汝平编写。全书由郑正泉统稿。

本书初稿经华中科技大学动力系周隆碧副教授主审,提出了许多宝贵意见。本书在编写过程中还得到华中科技大学动力系郭方中、白尉君、吴钢、乐景等老师的帮助和指导,在此一并致以深切的谢意!

本书是高等学校热能与动力工程专业本科生的基本教材,也可供有一定基础的工程技术人员自学或参考。

由于本书涉及的知识面较广,作者在编写过程中虽然尽了最大努力,但限于水平,其中错误、缺点和不当之处在所难免,恳请读者给予批评、指正。

编 者

2001年1月

目 录

第一章 测量系统概论及误差分析简介	(1)
第一节 测量的基本概念	(1)
一、被测量	(1)
二、测量过程	(1)
三、测量方法	(1)
四、测量系统	(2)
五、测量元件	(3)
六、测量仪表的主要性能	(4)
第二节 误差的基本知识	(6)
一、测量误差的分类	(7)
二、误差理论基础	(8)
三、间接测量中的误差分析	(11)
思考题与习题	(15)
第二章 温度测量	(16)
第一节 测温原理及温标	(16)
一、测温的热力学原理	(16)
二、温标	(17)
第二节 热电偶测温技术	(19)
一、热电偶测温原理	(19)
二、热电偶回路的基本定律及其应用	(20)
三、热电偶参比端温度的恒定及补偿	(22)
四、热电势测量电路	(26)
五、几种常用的热电偶及其性能	(30)
六、热电偶总温探针及其在高速气流温度测量中的应用	(34)
第三节 热电阻测温技术	(35)
一、电阻测温原理	(35)
二、金属热电阻温度计	(35)
三、热电阻的结构	(37)
四、半导体电阻温度计	(39)
五、电阻测温线路	(40)
第四节 其它型式的温度计	(42)
一、二极管温度计	(42)
二、光学高温计	(43)
三、红外测温仪	(46)
第五节 温度计的选择、安装与标定	(47)

一、温度计的选择	(47)
二、常温及高温测量中温度计的安装	(47)
三、低温测量中温度计的安装	(49)
四、温度计的标定	(50)
五、温度计标定的自动化	(53)
思考题与习题	(54)
第三章 压力测量	(56)
第一节 压力的基本概念	(56)
一、压力的定义	(56)
二、压力的分类	(57)
第二节 稳态压力的测量	(57)
一、流体稳态压力测量的基本原理	(57)
二、流体静压的测量及静压探针	(59)
三、滞止压力的测量及总压探针	(61)
四、压力探针的测量误差分析	(62)
第三节 稳态压力指示仪表	(64)
一、液柱式压力计	(64)
二、弹性式压力计	(66)
第四节 动态压力测量	(68)
一、应变式压力传感器	(68)
二、压电式压力传感器	(72)
三、电感式压力传感器	(74)
四、电容式压力传感器	(78)
五、压阻式压力传感器	(80)
六、压磁式压力传感器	(81)
七、霍尔效应压力传感器	(82)
第五节 压力传感器及压力测量系统的标定	(83)
一、静态标定	(83)
二、动态标定	(84)
第六节 压力仪器的安装及测压系统的组成	(85)
一、普通压力测量系统	(85)
二、水蒸气压力测量系统	(86)
三、易蒸发液体压力测量系统	(87)
四、层分离及相分离液体压力测量系统	(87)
五、凝固性液体压力测量系统	(87)
第七节 真空测量	(88)
一、基本概念	(88)
二、低真空测量仪	(88)
三、高真空测量仪	(89)
四、磁控放电真空计	(90)

五、放射性电离真空计	(91)
六、真空测量仪表的使用与安装	(92)
思考题与习题	(94)
第四章 流速和流量的测量	(95)
第一节 流体速度大小的测量	(95)
一、速度探针	(96)
二、可压缩性对气流速度测量的影响	(98)
第二节 二维流场中流动方向的测量	(100)
一、方向探针	(100)
二、二维流场中流向的测量	(101)
第三节 三维流场中流向的测量	(106)
一、测量方法	(106)
二、测量探针	(106)
第四节 热线风速仪	(111)
一、探头及其型式	(111)
二、工作原理和测速的数学表达式	(111)
三、热线测速的方法	(113)
四、热线风速仪的方向特性	(114)
第五节 激光多普勒测速仪	(115)
一、激光多普勒测速仪的工作原理	(115)
二、激光多普勒测速仪的光学部件	(116)
三、激光多普勒测速仪的信号处理系统	(117)
第六节 流量测量方法概述	(118)
第七节 节流压差式流量计	(119)
一、基本原理	(119)
二、标准节流装置	(121)
三、标准节流装置的有关参数	(122)
四、标准节流装置中的管道	(125)
五、流量测量误差	(126)
第八节 速度式流量计	(127)
一、涡轮流量计	(127)
二、涡街流量计	(129)
三、进口流量管	(131)
四、流速法测量流量	(132)
第九节 其它型式的流量计	(134)
一、罗茨流量计	(134)
二、浮子流量计	(135)
思考题与习题	(136)
第五章 液面测量	(137)
第一节 低温液体液面的测量	(137)

一、电阻式低温液面计	(137)
二、超导式低温液面计	(138)
三、电容式低温液面计	(139)
四、差压式低温液面计	(140)
第二节 常温及高温液面的测量	(141)
一、静压式液面计	(141)
二、连通器式液面计	(142)
三、差压式水位计	(146)
思考题与习题	(152)
第六章 气体成分分析	(153)
第一节 气相色谱分析法	(153)
一、色谱法原理	(153)
二、分析系统的组成	(154)
三、色谱柱及固定相	(155)
四、检测器	(155)
五、色谱图及色谱仪的定性定量分析	(156)
第二节 氧气分析仪	(159)
一、氧化锆氧气分析仪	(159)
二、热磁式氧气分析仪	(162)
第三节 红外气体分析仪	(167)
第四节 化学发光气体分析仪	(169)
第五节 烟度计	(170)
一、波许烟度计	(170)
二、哈特里奇烟度计	(171)
三、PHS 烟度计	(172)
四、重量式烟度计	(173)
思考题与习题	(173)
第七章 转速及功率测量	(174)
第一节 转速测量方法概述	(174)
第二节 数字式转速表	(176)
一、转速传感器	(176)
二、数字式测速仪	(177)
第三节 激光转速仪	(179)
第四节 功率测量概述	(180)
第五节 转矩的测量	(182)
一、相位差式转矩仪	(182)
二、应变式转矩测量仪	(188)
第六节 电机功率测量	(190)
第七节 测功器	(192)
一、电力测功器	(192)

二、水力测功器	(194)
思考题与习题	(196)
第八章 振动及噪声的测量	(197)
第一节 概述	(197)
第二节 测振基本原理及测振传感器	(199)
一、相对式测振仪的原理	(199)
二、绝对式(惯性式)测振仪的原理	(201)
三、涡电流式振动位移传感器	(205)
四、测振传感器的选择与使用	(206)
第三节 振动测试仪器	(209)
一、振动测试仪器的选用	(210)
二、测振放大器	(210)
三、振动分析仪器	(210)
第四节 振动测量	(213)
第五节 噪声测量的基本概念	(215)
一、噪声的物理度量	(216)
二、级的合成、分解与平均	(217)
三、噪声的频谱	(220)
第六节 噪声的评价	(221)
第七节 噪声测试仪器	(223)
一、传声器	(224)
二、放大器与衰减器	(225)
三、频率计权网络	(225)
四、均方根检波器	(225)
第八节 噪声测量	(226)
一、现场 A 声级测量	(226)
二、声功率的测量	(226)
三、等效连续 A 声级及其计算	(227)
四、测量环境和测量方法对测量结果的影响	(228)
五、几种典型动力机械测点布置	(229)
思考题与习题	(230)
第九章 微机在测试系统中的应用	(231)
第一节 微机测控系统的基本组成及其功能	(231)
一、信号调理器	(231)
二、多路转换开关	(235)
三、采样保持器	(238)
四、A/D 转换器	(240)
第二节 数据采集系统集成模块介绍	(246)
一、PCL-818HG 逻辑功能	(246)
二、PCL-818HG 数据采集板的性能	(246)

第三节 模拟通道数据预处理	(249)
一、输入、输出是双极性时的数据预处理	(250)
二、输入是单极性,输出是双极性时的数据预处理	(251)
第四节 高速数据采集系统	(251)
第五节 数据采集系统的标定	(252)
一、数据采集系统软件概述	(252)
二、常用数据采集系统的标定方法	(253)
第六节 微机测控系统实例介绍	(254)
一、系统的组成	(254)
二、系统软件简介	(255)
三、数字直接控制(DDC)系统中的PID算法	(257)
思考题与习题	(258)
附录	(260)
附表1 铂铑10-铂热电偶分度表	(260)
附表2 镍铬-镍硅热电偶分度表	(263)
附表3 铜-康铜热电偶分度表	(266)
附表4 铂电阻温度计分度表	(271)
附表5 铂电阻温度计分度表	(273)
参考文献	(275)

第一章 测量系统概论及误差分析简介

在热能与动力工程中,要想通过纯理论的方法来提高机器的性能是不可能的,因为它们的工作过程极为复杂,尽管目前已有许多简化的理论模型,但它们都与实物机差别较大,因此,用实验的方法来解决动力工程中一些基本问题就显得十分重要。

为便于分析测量参数的可信性,在学习测试技术之前,先介绍有关测量系统和测量误差的基本知识。

第一节 测量的基本概念

一、被测量

在动力工程中,常常需要对某些物理量的大小进行检测,通常把要检测的物理量称为被测量或被测参数。在动力工程测试中经常遇到的被测量有:压力、温度、气流速度、流量、液位、运转机械的转速、功率、振动及噪声等。按被测量在测试中的变化情况,被测量可分为静态的和动态的两种。

(一)静态量

所测量的物理量在整个测量过程中其数值始终保持不变,即被测量不随时间变化而变化,这种量称为静态量,例如:稳定状态下流体压力、温度和速度。

(二)动态量

所测量的物理量在测量过程中随时间的不同而不断改变其值,这种量称为动态量,例如:汽轮机启动过程中的转速、功率;非稳定工况下流体的压力、温度和速度。

二、测量过程

要知道被测量的大小,就要用相应的测量仪表来检测它的数值,而仪表的测量过程就是把被测量的信号,以能量形式进行一次或多次转换和传递,并与相应的测量单位进行比较的过程。例如,弹簧管压力计对压力的测量过程是,被测压力作用在弹簧管上使其发生角变形,再通过杠杆传动机构的传递和放大以及齿轮机构的传动,角变形变成压力表指针的偏转,最后与压力刻度标尺上的测压单位进行比较而显示出被测压力的数值。又如,用热电偶测量温度时,它是利用热电偶的热电效应,把被测温度转换成热电势信号,然后再把热电势信号转换成毫伏表上的指针偏转,并与温度标尺相比较而显示出被测温度的数值的。

三、测量方法

根据获得测量结果的方式不同,测量可分为直接测量和间接测量等两种。

(一)直接测量

凡是将被测参数直接与测量单位进行比较,其测量结果可以直接从测量仪表上获得的测

量称为直接测量。直接测量又可以分为直读法测量和比较法测量两种。

1. 直读法

被测参数可以直接从仪表上读出,如水银温度计、压力表等,这种方法的优点是使用方便,但一般精度较差。

2. 比较法

这种测量方法一般不能从测量仪表上直接读得测量结果,而往往要使用标准量具,因此,测量手续麻烦,但测量仪表本身的误差往往能在测量中抵消,故测量精确度比直读法的高。比较法又分为如下三种。

(1) 零值法

在测量时,使被测量的作用与已知量的作用相抵消,使总效应为零,这种方法称为零值法,这样被测量就等于已知量,例如,用电位差计来测量热电偶在测量温度时产生热电势的大小。

(2) 差值法

若测出被测量 X 与已知量 a 之差为 $(X-a)$,则有

$$X = (X - a) + a$$

这种方法称为差值法,例如,用热电偶和毫伏计测量温度 t 时,从毫伏计上得到的电动势,应是被测温度 t 与冷端温度 t_0 之差所产生的热电势,然后根据冷端温度 t_0 ,在相关表上查出一个热电势,二者相加就得到所要求的热电势,再根据它求得被测温度。

(3) 代替法

在被测量无法直接测量的条件下,可选择一可测的能产生相同效应的已知量代替它,这种方法称为代替法,例如,用光学高温计测量钢水的温度。

(二) 间接测量

在由若干基本物理量组成的一个新物理量中,有许多量是不能用直接测量法测出的,例如:汽轮机、内燃机和压缩机的轴功率;管道中介质的流量;运行机组的效率等,这时就需要用间接测量法对它们进行测量。

所谓间接测量就是在所求量与若干相关变量的关系中,先对各相关变量进行直接测量,然后将所得数值代入某关系式进行计算,从而求得未知量的数值的测量。在间接测量中,未知量 Y 可以表示成

$$Y = f(X_1, X_2, \dots)$$

式中, X_1, X_2, \dots 是用直接测量方法得到的变量值,例如,透平机械的轴功率可表示为

$$\{N\}_{\text{kw}} = \frac{2\pi\{M\}_{\text{N}\cdot\text{m}}\{n\}_{\text{r}/\text{min}}}{60 \times 10^3} \quad (1-1)$$

式中, M 是透平机械传递的扭矩;

n 是主轴转速。

若先分别对扭矩 M 和转速 n 进行直接测量,再将它们代入上式,就可以计算出轴功率 N 的数值。

四、测量系统

测量过程中所使用的一切量具、仪器仪表及各种辅助设备统称测量系统,有些测量只要用一种简单仪表就能完成测量任务,有些则需要多种仪器仪表及辅助设备,才能完成测量任务。因此,测量系统有简单与复杂之分。

(一)简单测量系统

例如,水银温度计中,装水银的小球感受到温度变化后,在玻璃体的毛细管内水银体积随之变化,这时有刻度的玻璃管就将水银的体积变化转换成温度变化。又如,半导体点温计中,装有热敏电阻的感温元件,感受到温度变化后,热敏电阻值就会随温度的变化而变化,通过桥式电路的电流值也跟着变化,这反映在表盘上相应的值就是温度变化。上述两种都是简单测量系统。

(二)复杂测量系统

用声级计测量噪声的系统是一种复杂测量系统,如图 1-1 所示。声音信号经电容式(或压电式)传声器变成电信号,此信号经信号调节器的放大或衰减,再经信号处理器中加权网络的滤波,最后在显示器的表盘上显示出噪声值的大小。在精密声级计中有频谱分析仪。频谱分析仪能将不同频率段的噪声分检出来,然后在显示器的表盘上显示出来或由自动记录仪记录下来,这些组成元件需供电施以能量。

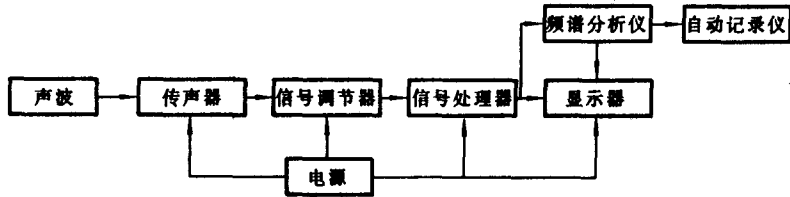


图 1-1 声级计测量噪声系统

五、测量元件

从上述可知,任何一个测量系统,都要有三个主要作用元件:感受元件、传递元件及显示元件,下面将分别叙述它们的功能及对它们的要求。

1. 感受元件

感受元件直接与被测对象发生联系,但并不一定要直接接触,它的作用是感受被测量的变化,随之内部产生变化,并向外发出一个相应的信号。

水银温度计的感温泡,能感受被测介质的温度变化,并按温度高低发出与之相应的水银柱位移信号,这就是水银温度计感受元件的作用。

作为测量系统的感受元件,必须满足下列条件:

①只能感受被测参数的变化而发出相应信号。如被测量是压力,感受元件只能在压力变化时发出信号,其它量变化时就不应发出同样信号。

②感受元件发出的信号与被测量之间呈单值函数关系,最好是线性关系。

事实上有些仪表不能完全满足上述两个条件,经常遇到感受元件在非被测量变化时也会产生内部变化,在这种情况下,只好限制这类无用信号的量级,使它远远小于有用信号,例如,用金属热电阻测温时,要忽略压力变化对电阻的影响。有时用理论计算的方法(如引入修正系数)或用试验手段(如在线路上加补偿装置)来消除附加因素的影响。

2. 传递元件

传递元件的作用是将感受元件发出的信号,经过加工或转换传递给显示元件。例如,电阻应变片在工作时发出的信号是电阻变化值,它通过电桥变成电压信号,再由直流电压表来显

示。当感受元件发出的信号过小(或过大)时,传递元件应将信号进行放大(或衰减),使之成为能被显示元件所接受的信号。

用测压探针和U形管测量压力时,连接它们之间的橡皮管就是传递元件,这种简单的传递元件,一般只有在感受元件发出的信号较强和感受元件与显示元件之间的距离不大时才能应用。当感受元件发出的信号较弱或感受元件与显示元件距离较远时,往往要将感受元件发出的信号加以放大,甚至改变信号性质,才能进行远距离传送。

传递元件中的放大方式有两类:一类是将感受的信号利用机械式的机构(杠杆、齿轮等)放大,如弹簧管压力表测压时,压力信号使弹簧管发生角变形,此变形量很小,需由拉杆和齿轮机构加以放大;另一类是将感受的信号利用电子电路加以放大,例如,用热电偶和电位差计测温时,电位差计中的晶体管电路就能将热电偶产生的温差电动势放大。又如,当选用测压探针为测量系统的感受元件,而选用压力巡回检测仪做显示元件时,由于它要求输入循环码电信号,这样,传递元件的任务就在于如何通过本身的转换装置,将压力信号单值地转换成显示元件能接受的循环码电信号。数字编码压力传感器就能完成上述的转化功能。

3. 显示元件

显示元件直接与测量人员发生联系,它的作用是根据传递元件传来的信号向观测人员显示出被测量在数量上的大小和变化。根据显示方式的不同,仪表可分为指示式、记录式和数字式等三种。

指示式仪表是以指针、液面和标尺的相对位置来显示被测量的数值的,例如,弹簧式压力计是以指针偏转角度来显示压力大小的,U形管是以液面高低来显示压力大小的,大气压力计是以标尺的位置来显示大气压力的。指示式仪表只能指出被测量当时的瞬时值,如要知道被测量随时间的变化而变化的情况,就需要用记录式仪表。

记录式仪表可以将测量值记录在随时间变化而连续移动的纸上,如X-Y记录仪、磁带记录仪及电子电位差计等。

数字显示式仪表是将模拟量,通过模数编码转换器转换成二进制码的数字量,再由译码器将二进制数字量译成十进制数字量,并通过数码管直接向观测人员显示被测量的数值和单位的仪表。数字频率计和数字电压表是最典型的数字式仪表。

除上述三种显示记录方式以外,还有一种称为信号式仪表,它不需要显示正常运转状态下的瞬时值,而只要求机器出现异常时它能够报警,例如轴位移指示器,当转子的轴向窜动过大时,它能够以灯光闪烁的方式向观测人员报警,实现机器的自动保护。

六、测量仪表的主要性能

为了正确地选择和使用仪表,应当对测量仪表的主要性能和指标有所了解,下面对测量仪表中常用的性能作简要介绍。

(一)量程

仪表的量程是指仪表能测量的最大输入量与最小输入量之间的范围,量程也可称为测量范围。

选用仪表时,首先要对被测量有一大致估计,务使测量值落在仪表量程之内(最好落在2/3量程附近),因为在测量过程中,一旦被测量超过仪表量程,时间长了就会损坏仪表或使仪表精度降低。

(二)精度(精确度)

仪表的精度是指测量某物理量时,测量值与真值的附合程度。仪表精度的表示方法常用满量程时仪表所允许的最大相对误差的百分数来表示,即

$$\delta = \frac{\Delta_{\max}}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, δ 是仪表的精度;

Δ_{\max} 是仪表所允许的最大误差;

A_0 是仪表的量程。

例如,某压力表的量程是10MPa,测量值的误差不允许超过0.02MPa,则仪表的精度为

$$\delta = \frac{0.02}{10} \times 100\% = 0.2\%$$

即该仪表的精度等级为0.2级。

仪表的精度等级有:

I级标准表:0.01、0.02、0.05级;

II级标准表:0.1、0.2、0.5级;

工业用仪表:1、1.5、2.5、4级。

仪表的精度越高,其测量误差越小,但仪表的造价越昂贵,因此,在满足使用的条件下,应尽可能选用精度低的仪表。

(三)灵敏度

灵敏度是指仪表在作静态测量时,输出端的信号增量 ΔY 与输入端信号增量 ΔX 之比,即

$$K = \Delta Y / \Delta X \quad (1-3)$$

显然 K 值越大,仪表灵敏度越高。

仪表的用途不同,其灵敏度的量纲也不同,对于电量压力传感器,灵敏度的量纲常用mV/Pa表示,而对于指示型压力表,灵敏度的量纲则用小格/Pa表示。

(四)分辨率

分辨率是指仪表能够检测出被测量最小变化的能力。在精度较高的指示仪表上,为了提高分辨率,刻度盘的刻度又密又细。

(五)稳定性

仪表的稳定性是指在规定的工作条件下和规定的时间内,仪表性能的稳定程度。它用观测时间内的误差来表示。例如,用毫伏计测量热电偶的温差电动势时,在测点温度和环境温度不变的条件下,24h内示值变化1.5mV,则该仪表的稳定度为 $\frac{1.5}{24} \text{mV} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(六)重复性

重复性通常表示为在同一测量条件下,对同一数值的被测量进行重复测量时,测量结果的一致程度。重复性误差用 R_N 表示,即

$$R_N = \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{\max}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, ΔR_{\max} 是全程中被测量最大的重复性差值;

Y_{\max} 是满量程输出值。

(七)温度误差

仪表的输出特性将随工作环境温度的不同而变化。当环境温度偏离仪表的定标温度

(20℃)时,其输出值的变化称温度误差。通常用相对误差 δ_t 表示,即

$$\delta_t = \frac{Y_t - Y_{20}}{Y_{max}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, Y_t 和 Y_{20} 分别是在同一输入量条件下,仪表在 $t^\circ\text{C}$ 和 20°C 工作环境下的输出值;

Y_{max} 是仪表在 20°C 工作环境温度下满量程的输出值。

(八) 零点温漂

零点温漂是指仪表工作的环境温度偏离 20°C 时,零位的温度误差随温度变化而变化的变化率

$$X_{st} = \frac{Y_{0,t} - Y_{0,20}}{Y_{max,20} \Delta t} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, $Y_{0,t}$, $Y_{0,20}$ 分别是仪表的环境温度在 $t^\circ\text{C}$ 和 20°C 时,零位的输出;

$Y_{max,20}$ 是仪表在 20°C 以下满量程的输出;

Δt 是仪表的工作温度相对于 20°C 时的温差。

为了确定仪表的零点温漂,需要对仪表进行不同环境温度的试验。

(九) 动态误差与频响特性

在对随时间变化而变化的物理量进行测量时,仪表在动态下的读数和它在同一瞬间相应量值的静态读数之间的差值,称仪表的动态误差或称动态特性。

一个仪表可以看做是一个振动系统,一般可通过拉普拉斯变换来求解其微分方程,获得传递函数 $H(j\omega)$ 当仪表输入一个正弦信号 $x(t) = X\sin(\omega t)$, 输出一个信号 $y(t) = Y\sin(\omega t + \varphi)$ 时,仪表的传递函数为

$$H(j\omega) = \frac{y(t)}{x(t)} = \frac{Y\sin(\omega t + \varphi)}{X\sin(\omega t)} \quad (1-7)$$

其复数形式为

$$H(j\omega) = R(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \quad (1-8)$$

它可分解成幅频特性 $R(\omega)$ 和相频特性 $\varphi(\omega)$ 两部分。因此,传递函数 $H(j\omega)$ 又可称为幅相频特性或称为仪器的频响特性。式(1-8)中 $R=Y/X$ 为输出与输入信号的幅值比; φ 为输出与输入信号的相位差。若以角频率 ω 为横坐标,以 R 和 φ 为纵坐标,则可画出幅频特性和相频特性的曲线来。在动态测量中,要求仪表具有良好的频响特性,也就是说它的幅值比 $R=Y/X$ 在所要求的频率范围内要求变化不大,这也就是要求该系统的动态误差很小,同时在这个频率范围内相位差 φ 也很小。相位差太大,将会导致仪表失真。

第二节 误差的基本知识

测量的目的是求出被测量的真实值,然而在任何一次试验中,不管使用多么精密的仪器、测量方法多么完善,操作多么细心,都不可避免地会产生误差,使得测量结果并非真值而是近似值。因此,对于每次测量,需知道测量误差是否在允许范围内。分析研究测量误差的目的在于:找出测量误差产生的原因,并设法避免或减少产生误差的因素,提高测量的精度;其次是通过测量误差的分析和研究,求出测量误差的大小或其变化规律,修正测量结果并判断测量的可靠性。