

地方电厂岗位运行培训教材



辽宁省电力工业局 组编 张本贤 主编

热工控制与运行



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

地方电厂岗位运行培训教材

热工控制与运行

辽宁省电力工业局 组编 张本贤 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

近 10 多年来,全国有一大批地方电厂、企业自备电厂和热电厂的 6~100MW 火力发电机组相继投产,运行岗位新职工和生产人员迅速增加。为了搞好运行生产人员岗位技术培训和技能鉴定,按照部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》、《电力工人技术等级标准》和《火力发电厂运行岗位规范》以及运行规程的要求,突出岗位重点、注重操作技能、便于考核培训等,组织专家对 1995 年出版的第一版内容进行了全面修订和出版了《地方电厂岗位运行培训教材》(第二版),分为锅炉运行、汽轮机运行、电气运行、热工控制与运行和电厂化学 5 册。

本书是《地方电厂岗位运行培训教材》(热工控制与运行),共五篇 28 章,主要内容有:第一篇热工检测,介绍热工测量方法、误差、品质指标、组成分类和热工计量,温度测量及仪表、温度变送器,压力测量及仪表、压力变送器,流量测量及仪表,水位测量及仪表,汽轮机监测仪表,其他测量仪表等;第二篇自动控制原理,介绍自动控制概念、组成分类、系统特性、环节特性、动态特性、连接方式、等效变换、性能指标,调节对象动态特性,控制器控制规律及控制过程分析,自动控制系统整定;第三篇自动控制装置,介绍自动控制装置组成原理、信号制、供电方式、抗干扰,电动单元组合仪表、温度变送器,组件组装仪表,可编程序调节器,可编程序控制器 PLC,调节器与执行机构;第四篇自动控制系统,介绍汽包锅炉、过热蒸汽温度、再热蒸汽温度、给水和燃烧过程等自动控制系统,汽轮机控制系统、运行工况与系统功能,单元机组负荷自动控制系统,计算机控制基础,分散控制系统结构、硬件、软件和通信,数据采集系统特点功能、事件顺序记录、数据采集系统调试及运行;第五篇热工保护与顺序控制,介绍热工报警和保护系统,锅炉系统热工保护,汽轮机超速保护、甩负荷保护、凝汽器真空低保护、轴承润滑油压低保护、轴向位移过大保护和其他保护,单元机组热工保护,顺序控制系统及实例等。

本书适用于全国地方电厂、企业自备电厂和热电厂 6~100MW 火力发电机组、具有高中及以上文化程度的热工控制与运行的生产人员、工人、技术人员、管理干部以及有关电气专业师生等的岗位技能和技能鉴定的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

热工控制与运行/张本贤主编;辽宁省电力工业局组编. —北京:中国电力出版社, 2006
地方电厂岗位运行培训教材
ISBN 7-5083-4087-6

I. 热... II. ①张... ②辽... III. 火电厂-热力工程-控制系统-技术培训-教材 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 007176 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)
北京密云红光印刷厂印刷
各地新华书店经售

2006 年 5 月第一版 2006 年 5 月北京第一次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 24.5 印张 660 千字
印数 0001—4000 册 定价 38.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

电力工业部水电开发与农村电气化司
关于推荐《地方电厂岗位运行培训教材》
一 书 的 通 知

(办农电 [1993] 155 号)

各省、市、自治区电力局（农电局）：

近些年来，一大批小型供热发电机组相继投产，运行岗位新人员迅速增加。尽快提高运行人员技术素质，是确保地方电厂和电网安全经济运行的当务之急。

为了搞好运行人员技术培训，按部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》、《电力工人技术等级标准》（火力发电部分）和《火力发电厂运行岗位规范》的要求，我司委托辽宁省电力工业局，组织有较深造诣和现场经验丰富的技术人员，经过三年多的时间，编写出一套《地方电厂岗位运行培训教材》，分锅炉、汽轮机、电气、热工、化学等五个专业分册。本教材在收集近年来许多电厂运行资料的基础上，结合地方电厂运行人员的实际水平，在理论上由浅入深，在实际上注重可操作性，是小型火力发电厂运行人员岗位培训和技能鉴定的理想教材。本教材将配有初、中、高三个技术等级的考核题库，可作为认定和晋升技术等级的考核依据。

1993 年 6 月 2 日

《地方电厂岗位运行培训教材》

编 委 会

主任委员 孟铁钹

副主任委员 尹 炼 张菊珍 杨洪魁 陈建明

委 员 李甫林 曲之怀 刘洪汉 丁道明

任西萍 张进儒 庞经颢 王 芃

张金凯 王泽标 邵和春 范圣波



前言

近 10 多年来,有一大批地方电厂、企业自备电厂和小型供热发电厂的发电机组相继投产,运行岗位新职工和生产人员迅速增加。尽快提高运行人员的技术水平,是确保地方电厂和电网安全经济运行的当务之急。

为了搞好运行人员技术培训和技能鉴定,参照部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》、《电力工人技术等级标准》(火力发电部分)和《火力发电厂运行岗位规范》的要求,1993 年受电力工业部水电开发和农村电气化司委托,辽宁省电力工业局组织大连电力学校和一些地方电厂具有丰富现场运行经验和教学经验的工程技术人员和教师,经过三年多的时间,于 1995 年 4 月编写并由中国电力出版社出版了本套《地方电厂岗位运行培训教材(第一版)》,本次是对第一版进行全面修订,并增加《热工控制与运行》分册,现将本套教材分为锅炉运行、汽轮机运行、电气运行、热工控制与运行和电厂化学五个分册。

本套教材根据地方电厂发电设备运行的实际情况和运行人员的特点,从实用性出发,在系统、全面的基础上,依据规范标准,理论突出重点,实践注重技能操作,便于自学、培训和考核,对地方电厂运行工人和生产人员掌握应知专业理论知识和应会操作技能将起很大作用。

本套教材作为从事 6~100MW 火力发电机组运行工作、具有高中文化程度的运行人员培训教材,也可作为电力中等职业学校和技工学校的教材。

为配合本套教材的教学、考核命题以及运行生产人员平时带着问题自学的需要,我们还将对 1996 年底与《地方电厂岗位运行培训教材(第一版)》相配套编写出版的一套《地方电厂运行人员技术等级考核题库(第一版)》进行全面修订,也分为锅炉运行、汽轮机运行、电气运行、热工控制与运行和电厂化学五个分册,并与本套教材的第二版相配套,以满足培训和考核需要。

《地方电厂岗位运行培训教材》(热工控制与运行)是根据部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》、《电力工人技术等级标准》(火力发电部分)和《火力发电厂运行岗位规范》的要求,结合地方电厂现状进行编写的,是作为地方电厂、企业自备电厂和热电厂 6~100MW 火力发电机组电气运行岗位技能和技能鉴定的培训教材。

《地方电厂岗位运行培训教材》(热工控制与运行)由大连电力学校(东北电网大连培训中心)张本贤主编,并编写了第一篇和第三篇;李晓明编写了第二篇和第四篇;王晓滨编写了第五篇。全书由张正芝主审。

由于编者水平和经历有限,书中难免存在不妥之处,希望读者批评指正。

编 者

2005 年 12 月

目 录

前言

第一篇 热 工 检 测

第一章 热工测量概述	1
第一节 热工测量概念及方法	1
第二节 测量误差	2
第三节 热工测量仪表主要品质指标	4
第四节 工业自动化仪表组成和分类	6
第五节 热工计量	8
复习思考题	10
第二章 温度测量及仪表	11
第一节 概述	11
第二节 热电偶测温	13
第三节 热电阻测温	26
第四节 热辐射式高温计	31
第五节 温度测量显示仪表	32
第六节 温度变送器	40
复习思考题	40
第三章 压力测量及仪表	42
第一节 液柱式压力计	42
第二节 弹性压力计	44
第三节 压力变送器	47
复习思考题	54
第四章 流量测量及仪表	55
第一节 概述	55
第二节 差压式流量计	59
第三节 差压式流量计显示仪表	67
第四节 其他型式流量计	69
复习思考题	86
第五章 水位测量及仪表	88
第一节 云母水位计	88
第二节 差压式水位计	90
第三节 电触点水位计	93
复习思考题	97

第六章 汽轮机监测仪表	98
第一节 汽轮机转速测量	98
第二节 振动测量仪表	100
第三节 机械位移测量	101
第四节 汽轮机监测仪表 TSI	104
复习思考题	108
第七章 其他测量仪表	110
第一节 生产过程物质成分分析仪表	110
第二节 煤量测量仪表	115
复习思考题	118

第二篇 自动控制原理

第八章 自动控制概述	119
第一节 自动控制基本概念	119
第二节 自动控制系统组成与分类	121
第三节 系统与环节特性	124
第四节 基本环节及其动态特性	127
第五节 环节典型连接方式及方框图等效变换	135
第六节 控制过程性能指标	137
复习思考题	141
第九章 被控对象动态特性	143
第一节 研究被控对象动态特性的意义	143
第二节 影响被控对象动态特性的结构性质	143
第三节 被控对象动态特性与其结构性质的关系	145
复习思考题	149
第十章 控制器控制规律及控制过程分析	150
第一节 控制器动作规律	150
第二节 比例控制规律及控制过程分析	151
第三节 比例积分控制规律及控制过程分析	154
第四节 微分控制规律、比例微分控制规律及控制过程分析	158
第五节 比例积分微分控制规律及控制过程分析	162
第六节 控制器控制规律实现方法	164
复习思考题	170
第十一章 自动控制系统整定	171
第一节 概述	171
第二节 控制规律及控制器参数对系统性能的影响	173
第三节 单回路控制系统整定	175
第四节 串级控制系统	177
第五节 前馈—反馈控制系统	179
复习思考题	180

第三篇 自动控制装置

第十二章 自动控制装置概述	181
第一节 概述	181
第二节 自动控制仪表信号制和供电方式	184
第三节 自动控制设备组成原理	187
第四节 仪表抗干扰	189
复习思考题	190
第十三章 电动单元组合仪表	191
第一节 单元组合仪表概述	191
第二节 DDZ 系列仪表组成简单控制系统	192
第三节 DDZ - II 型组合仪表温度变送器	194
复习思考题	196
第十四章 组件组装仪表	197
第一节 组装仪表系统组成和结构	197
第二节 组装仪表设备分类	198
第三节 组装仪表功能组件主要基本电路	199
复习思考题	203
第十五章 可编程序控制器	204
第一节 单回路数字控制器概述	204
第二节 可编程序控制器基本原理	206
复习思考题	212
第十六章 可编程序控制器 PLC	213
第一节 PLC 基本概念	213
第二节 PLC 在火力发电厂中的应用	220
复习思考题	224
第十七章 控制器与执行机构	225
第一节 DTL 控制器	225
第二节 电动执行机构	229
第三节 气动执行机构	234
复习思考题	236

第四篇 自动控制系统

第十八章 汽包锅炉自动控制系统	237
第一节 汽包锅炉自动控制系统任务	237
第二节 过热蒸汽温度自动控制系统	237
第三节 再热蒸汽温度控制系统	242
第四节 给水自动控制系统	243
第五节 燃烧过程自动控制系统	252

复习思考题	257
第十九章 汽轮机控制系统	258
第一节 汽轮机控制基础知识	258
第二节 功频电液控制系统	264
第三节 汽轮机数字电液控制系统 (DEH) 主要部件	266
第四节 DEH 控制系统运行工况与系统功能	269
复习思考题	274
第二十章 单元机组负荷自动控制系统	275
第一节 概述	275
第二节 单元机组协调控制策略	277
第三节 单元机组协调控制系统结构	282
复习思考题	284
第二十一章 计算机控制基础	285
第一节 计算机控制概述	285
第二节 过程通道	289
第三节 信号处理、控制算法及人机联系设备	294
复习思考题	297
第二十二章 分散控制系统	298
第一节 分散控制系统概述	298
第二节 分散控制系统结构	300
第三节 分散控制系统主要硬件	305
第四节 分散控制系统软件	319
第五节 分散控制系统通信	322
复习思考题	326
第二十三章 数据采集系统 (DAS)	327
第一节 概述	327
第二节 数据采集系统结构组成与特点	327
第三节 数据采集系统基本功能	328
第四节 事件顺序记录 (SOE)	331
第五节 DAS 系统调试及运行	333
复习思考题	335

第五篇 热工保护与顺序控制

第二十四章 热工报警和保护系统	337
第一节 概述	337
第二节 热工信号和自动报警系统	338
第三节 热工保护原理和要求	344
复习思考题	348
第二十五章 锅炉系统热工保护	349
第一节 锅炉主蒸汽压力保护	349

第二节 汽包锅炉水位保护	352
第三节 炉膛灭火保护	353
复习思考题	353
第二十六章 汽轮机保护	355
第一节 汽轮机超速保护	355
第二节 甩负荷保护	355
第三节 凝汽器真空低保护	356
第四节 轴承润滑油压低保护	356
第五节 轴向位移过大保护	357
第六节 其他保护	358
复习思考题	359
第二十七章 单元机组热工保护	360
第一节 辅机故障减负荷控制 (RB)	360
第二节 机组快速甩负荷控制 (FCB)	361
第三节 主燃料跳闸保护 (MFT) 和机组大连锁	362
复习思考题	364
第二十八章 顺序控制系统	365
第一节 顺序控制基本概念	365
第二节 联动控制系统	365
第三节 联动控制举例	368
第四节 顺序控制器特点	377
第五节 顺序控制在火电厂中的应用	378
复习思考题	380

第一篇

热 工 检 测

第一章 热工测量概述

第一节 热工测量概念及方法

一、概述

测量技术是研究测量原理、测量方法和测量器具的技术学科。热工测量技术是所有热工生产过程中极为重要的基础环节,它是了解生产过程中的物质变化和状态的手段,其目的在于监视、控制和调节生产过程,使之在预定的条件下,确保生产的优质、高效和安全。具体的热工测量是指在热力生产过程中对诸如温度、压力、流量、含氧量、振动、位移和物位等参数及物理量的测量。

在火力发电厂中,为了保证热力设备的安全、经济运行,必须对热力过程中的各种参数,如温度、压力、流量、物位等热工参数以及某些物质成分进行检查和测量,使运行值班人员能够及时了解主辅设备及热力系统的运行情况,以便有效地进行调整和操作。而且,只有正确的测量,才能为实现生产过程自动化提供可靠的依据。对于采用计算机控制的设备和机组,为保证控制水平,更要求测量的准确性。

通常,把用来检测热工参数的仪表称为热工测量仪表,简称热工仪表。也就是应用于热力生产过程的工业自动化仪表,它是工业生产自动化的主要技术工具之一。随着工业生产和自动化水平的提高,无论对测量技术和仪表的品种、质量以及数量诸方面,都将不断提出更高的要求。

在火电厂热力过程中,需要检测的参数项目是根据机组及其辅助设备的型式、结构特点,汽水系统和燃烧系统的组成以及运行控制方式的要求等方面,从保证其安全、经济运行出发来确定的。一般可按用途及其重要性的不同,将热工仪表分为以下四类:

一类是为了机组或设备的安全、经济运行或仅为安全运行而必须检测的重要参数。缺少其中任一参数的仪表,或不能保证其测量的准确性,都不允许机组(或辅助设备)投入运行。

二类是为经营管理、经济分析或费用结算而进行测量的参数,一般称为次要参数。缺少这类参数的仪表,将不能准确即时地掌握最经济的运行工况,从而影响机组的效率和费用结算。

三类是为分析上述两类参数中的问题而提供的相关参数,一般称为辅助参数。

四类是仅为机组启停过程中特别需要监视的参数。

还有一系列专门为进行热效率试验的而检测参数,一般都是在进行试验时,临时选择和装设测量设备。

二、测量及其分类

1. 测量定义

测量是人对自然界的客观事物的一种定量认识过程。任何测量过程都必须借助于专门的测量

设备或器具,通过实验方法,将被测量与同性质的标准量(测量单位)进行比较,求得以所选用的测量单位表示的被测参数的数值。这个专门的测量设备——测量仪表,就是实现上述比较的工具。如果在测量过程中,将被测的未知量与经过精确确定并经国家计量部门认可作为标准的单位相比较来加以测定时,则这种过程便属于计量的范畴。因此,从这个意义上来说,计量是测量的一种特殊形式。

2. 测量方法

测量作为一项实验性工作,必须正确选择测量方法。根据测量结果获得的方式不同,可将测量方法分为直接测量、间接测量和组合测量三种。

直接测量是将被测测量与标准量直接进行比较,用预先定度好的测量器具进行测量,从而直接求得未知量的数值。例如,用尺测量物体的长度、用测温计测量工质的温度以及用接入电路的电压表测量供电电压等等都属于直接测量。

间接测量是通过未知量与另外一个或几个变量相联系的函数关系式,先分别对各变量进行直接测量,然后将所测得的数值代入该关系式进行计算,从而求得未知量的数值。例如,要确定导线的电阻系数 ρ ,则先分别直接测量导线的长度 l 、直径 d 和导线的电阻值 R ,然后通过它们之间的关系式即欧姆定律计算求得该导线的电阻系数。又如,用直尺测量矩形的长和宽计算面积。后面人们要接触到用差压式流量计测量介质流量时,也是把所测得的节流装置前后压差代入流量公式进行计算,才能求得被测介质的流量。

组合测量是使各个被测的未知量以不同的组合形式出现,根据直接测量和间接测量所得的数据,通过求解方程组以求得被测未知量的数值。

一般说来,组合测量方法只是在实验室工作中采用。

3. 测量方法其他分类

按被测测量与测量单位的比较方式来分,测量方法可分为偏差测量法和零值测量法两种。按仪表是否与被测对象相接触可分为接触式测量法和非接触式测量法两种。

第二节 测量误差

在工程技术及科研领域中,测量工作作为基础性工作,应力求得到的测量结果尽可能反映被测参数的真实数值,同时要正确地估计它的可信程度如何。

随着实践经验的积累和科学技术的发展,人们对于被测参数的认识将愈来愈接近其真实值,但决不可能达到绝对精确的程度。这是因为在测量中总是存在着各种各样的影响因素。这些因素包括对被测对象本质认识的局限性、测量方法不完善、测量设备不准确和客观条件的变化等等。测量操作中的疏忽或错误以及对测量结果的多种偶然因素的影响,也会使所测得的数值与被测参数的真实值之间存在着一定的差距。可以肯定地说,在实际测量工作中,测量误差的存在是不可避免的。

这里所说的真实值(或真值)是指被测参数本身所具有的真实大小。在不同的时间和空间,被测参数具有不同的大小,即真实值具有时间和空间的涵义。根据误差理论,对于等精度测量,即在同一条件下所进行的一系列无限多次重复测量,在排除了系统误差的前提下,测量结果的算术平均值极其接近于真实值,故可将它看作是被测参数的真实值。在工业测量中,由于系统误差不可能完全排除,通常只能把由更高一级的标准仪器所测得的值作为真实值。由于它并非真正的真实值,可以称为实际值。

一、误差概念

仪表测量值与被测量的真实值之间的差值,称为绝对误差。如果用 X 表示由测量显示装置

指示出来的被测参数值,即测量仪表的示值,而用 X_0 表示被测参数的真实值,那么绝对误差 δ 可用公式表示为

$$\delta = X - X_0 \quad (1-1)$$

绝对误差值的数值和它的符号(正或负),表明了测量仪表的示值偏离真实值(实际值)的程度和方向。因此,在测量工作中,应力求使测量仪表的示值 X 尽可能地接近于被测参数的真实值 X_0 ,以减小测量误差,提高测量结果的可信程度。

如果用一个与绝对误差值大小相同,符号相反的量值 a 和测量仪表的示值代数相加,便可得到被测参数的真实值。通常,把 a 称为修正值(或校正值)。若将测量仪表刻度范围内各点示值的修正值连成曲线,即可得到该测量仪表的修正曲线(或校正曲线)。

绝对误差在许多场合下不能确切地反映测量的精确程度。例如,一支医用体温计的绝对误差为 $\pm 1^\circ\text{C}$,则这支体温计应当报废。而对于测量锅炉炉膛内 1000°C 以上的火焰温度时所用的温度表,却是很难达到绝对误差为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 这样高的精确程度。因此,为了正确地表示仪表测量的精确程度,必须引用相对的概念。

相对误差 γ 定义为绝对误差与实际值之比,可用百分数来表示,即

$$\gamma = \frac{\delta}{X_0} \times 100\% = \frac{X - X_0}{X_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 X ——仪表指示值(被校仪表的读数值);

X_0 ——被测真实值(标准仪表的读数值)。

另一种相对的误差是折合误差。折合误差为绝对误差与所用仪表的量程之比,也用百分数表示,即

$$\gamma_0 = \frac{\delta}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ ——测量仪表刻度的上限值和下限值。

在上述绝对误差比较的举例中,虽然两支温度表示值的绝对误差均为 $\pm 1^\circ\text{C}$,但由于它们的示值不同或仪表的刻度范围不同,其测量的精确程度差别很大。通常,体温表的刻度范围为 $32^\circ\text{C} \sim 42^\circ\text{C}$,测锅炉炉膛温度的温度表选用刻度范围为 $600^\circ\text{C} \sim 1600^\circ\text{C}$,那么它们的折合误差则分别为

$$\text{体温表} \quad \gamma_0 = \frac{\pm 1}{42 - 32} \times 100\% = \pm 10\%$$

$$\text{炉温表} \quad \gamma_0 = \frac{\pm 1}{1600 - 600} \times 100\% = \pm 0.1\%$$

这两支温度表在示值的绝对误差相等的情况下,刻度范围大的温度表的测量精确程度要比刻度范围小的温度表高。因此,一般都采用相对误差来判断和比较测量的精确程度,具有同样相对误差的示值,其精确程度也是相同的。

二、测量误差分类

测量误差按其产生的原因和本身最基本的性质和特点不同,可分为以下三类。

1. 系统误差

系统误差(也称为确定性误差)是由于仪表使用不当或测量时外界客观条件变化等原因所引起的测量误差。它的数值是固定的或按一定的规律(方向)变化的,有时可用一定的公式或曲线表示出来。系统误差的大小表明了一个测量结果偏离真实值的程度,可用“正确度”来表示。由

于系统误差具有规律性,因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法来消除。例如,采用标准孔板测量蒸汽流量时,若实际的蒸汽状态参数与设计计算孔板时所用的数据不一致,将会引起测量的误差,这种误差就属于系统误差。如果测量时蒸汽的状态参数为已知,就可通过一定的关系式进行计算,对仪表的示值加以修正,便可减小或消除此项误差。

系统误差的存在决定了测量的准确度,系统误差越小,测量结果越准确。因此,在测量工作中,发现和消除系统误差是十分重要的。

2. 疏忽误差

疏忽误差是由于测量工作中测量人员的操作错误和疏忽大意而造成的测量误差,包括读数或记录错误、操作仪器不正确,测量过程中的失误以及计算错误等。这类误差的数值很难估计,可能会远远超过同一客观条件下的其他误差而明显地歪曲了测量结果。因此要求测量工作人员在测量工作中,必须认真细心,避免发生疏忽误差,并能及时发现和剔除含有疏忽误差的测量数据。

3. 偶然误差

偶然误差也叫随机误差,是由于在测量过程中的一些偶然因素的影响而引起的。这些因素的出现没有一定的规律,其误差数值的大小和性质也不固定。偶然误差的出现服从于统计规律,即绝对值相等的正误差和负误差出现的次数相同,绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的次数多,而且误差越小的出现次数越多,误差越大的出现次数越少。可以从概率理论来估计偶然误差对测量结果的影响。

偶然误差是由于人们认识事物有一定的局限性,对某些复杂的微小变化因素一时还无法控制而引起的。偶然误差决定了测量的精密度,偶然误差越小,测量结果的精密度越高。精密度是说明在一个测量过程中,在同一条件下进行重复测量时,所得到的测量结果之间的一致程度。而准确度是说明测量结果与真实值的偏离程度。因此,精密不一定准确,准确也不一定精密。一般用精确度来综合反映测量结果的精密与准确的程度,精确度高就意味着偶然误差和系统误差都很小。所有测量工作的精密和准确程度,都应力求达到精确度的要求。

三、减少和消除测量误差方法

首先要消除系统误差产生的根源。在测量时尽量使测量环境符合仪表要求的使用条件。要熟悉仪表的各种性能,正确地安装和调试仪表,可以使系统误差尽可能地减小。

随机误差要通过统计规律来处理,通过反复多次的测量,并通过计算算术平均值作为测量结果。可以通过改进测量技术来减小随机误差。

可以对测量结果进行修正。要求在测量前即确定出修正值,可以利用修正公式、修正曲线和修正表格,可以采取补偿措施,可以采用标准测量方法和典型测量技术。

第三节 热工测量仪表主要品质指标

热工测量仪表的品质指标是用来衡量仪表质量的标准。它的项目很多,除了前而提到的绝对误差、相对误差和折合误差外,还有如下几项指标。

1. 基本误差

仪表的基本误差是指在规定条件(即正常工作条件,包括环境温度、湿度、电源电压、频率等)下,仪表示值误差的最大值。它通常用引用相对误差的形式表示

$$\text{基本误差} = \frac{\delta_{\max}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, $\delta_{\max} = (X - X_0)_{\max}$, 因为在校验仪表时, 常以标准仪表的示值作为被测参数的真实值, 所以 $\delta_{\max}$ 就表示被校仪表与标准仪表示值之间的最大绝对误差。

例如, 用标准压力表校验 0 ~ 10MPa 的弹簧管压力表时, 得到的最大绝对误差为 0.1MPa, 那么这块弹簧管压力表的基本误差为 1%。由于 $\delta_{\max}$ 可能出现在仪表刻度范围内的任何一点上, 因此用这块压力表测量 1MPa 的压力时和测量 10MPa 的压力时, 都可能产生 0.1MPa 的最大绝对误差, 而对于前者其实际相对误差为 10%, 对于后者的实际相对误差仅为 1%, 这就说明了选用 0 ~ 10MPa 的压力表测量 1MPa 的压力是很不合适的, 因为其相对误差过大。当然, 用 0 ~ 10MPa 的压力表测量 10MPa 的压力也是不合适的, 因为一旦被测压力超过 10MPa, 就可能损坏压力表, 甚至酿成生产事故。

所以, 从保证实际测量的精确度和生产安全考虑, 一般建议在选用仪表刻度范围时, 对压力表应保证其经常工作在刻度范围的 1/2 ~ 2/3 处; 对其他检测仪表可在其刻度范围的 2/3 ~ 3/4 处工作。

2. 精度等级

仪表的精度等级是按国家统一规定的允许误差大小来划分的, 仪表的允许误差大小表明了保证该仪表所能达到的精确程度, 这与仪表的精度等级是同义的。或者说, 仪表的精度等级决定了仪表的允许误差。一般仪表的精度等级就是用允许误差去掉百分号后的数字表示的。例如, 某仪表的允许误差为 $\pm 1.5\%$, 则该仪表的精度等级为 1.5 级。

国家精度等级序列为: 0.005、0.01、0.02、(0.035)、0.04、0.05、0.1、0.2、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、5.0。级数越小, 精度越高。其中工业用仪表的精度等级一般为 0.5 ~ 5.0 级。仪表的精度等级通常以一个圆圈(或括弧)内的数字标明在仪表刻度盘上。

仪表的精度等级是在规定条件(或正常使用条件)下仪表本身的质量指标和计量特性。若仪表不是在这样的条件下使用, 由于外界条件变动的影响而引起有额外误差(称为附加误差)时, 其测量精度就不可能达到仪表的精度等级。

3. 变差

仪表的变差又称为滞后误差。是指在外界条件不变的情况下, 用同一仪表对某一参数进行正行程(上下行程)测量时, 在相同被测参数值上仪表示值的最大差值, 如图 1-1 所示。它出现在仪表标尺上的任一点处。仪表的变差也可用相对的形式来表示, 即

$$\text{变差} = \frac{(X_p - X_n)_{\max}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% = \frac{\Delta_{\max}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 X_p ——在某一被测参数值上仪表正行程的示值;

X_n ——在此被测参数值上仪表反行程的示值。

造成仪表变差的原因很多, 如传动机构的间隙、运动件的摩擦、弹性元件的弹性滞后的影响以及电磁元件的滞滞影响等。一般规定仪表的变差也不得超过仪表的允许误差。

4. 灵敏度

仪表灵敏度的定义是仪表输出端的信号变化与引起变化的被测量的变化之比, 如被测量变化 ΔX 引起仪表指针产生的位移(直线或转角)为 Δl , 则该仪表的灵敏度为

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta l}{\Delta X} \quad (1-6)$$

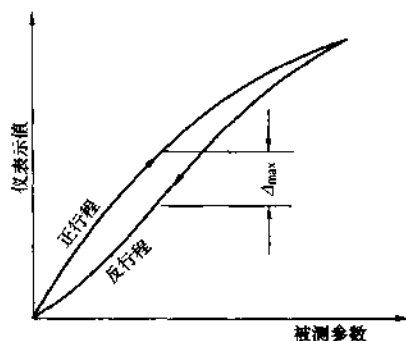


图 1-1 变差

仪表的灵敏度是表示仪表对下限测量值反应能力的指标,仪表的灵敏度愈高,就愈能反应被测量的微小变化。采用增大放大系统的放大倍数或是减小仪表量程的办法,可以提高仪表的灵敏度。但仪表的性能主要决定于仪表的基本误差,如果一味地追求提高仪表的灵敏度,反而可能会导致其精确度下降,尤其要注意小于允许误差绝对值的精确读数是毫无意义的。因此,通常规定仪表刻度标尺上的分格值不应小于仪表允许误差的绝对值。

5. 分辨力

分辨力是指仪表可能检测出被测量最小变化的能力。可用能引起仪表指针发生动作的被测参数的最小(极限)变化量来表示。分辨力也称为分辨率或灵敏限,它表示仪表的不灵敏区的大小。分辨力和灵敏度都与仪表的测量范围有关,并与仪表的精确度相适应。一般仪表分辨力的数值应不大于仪表允许误差绝对值的一半。

6. 重复性

重复性是指在同一工作条件下,按同一方向输入信号,并在全量程范围内多次变化信号时,对于同一输入值,仪表输出值的一致性。它是以全量程上最大的不一致值相对于量程的百分数来表示的。

7. 漂移

在一定的环境和工作条件下,保持输入信号不变,经过一段时间后,输出的变化称为漂移。一般是由元件的老化、失效、磨损和污染等原因引起的,可以用仪表全量程上输出的最大变化量对量程的百分数表示。

第四节 工业自动化仪表组成和分类

一、工业自动化仪表组成

工业自动化仪表是对生产过程自动化或半自动化所需要收集的信息进行检测与显示或控制的仪表。这些仪表在工作过程中,一般都是根据各种物理的或化学的原理,将被测参数变换成为易于测量、显示、记录和传送的信号。所以工业测量仪表的组成,包括敏感元件、传输与变换部件、显示装置等主要环节,这些环节可以分立,也可以组成一个整体。

1. 敏感元件

敏感元件又称为传感器,检测元件或检测部件等。它的作用是感受被测参数的大小,并能输出一个与被测参数相应的信号,以便于进行测量和显示。因此,要求敏感元件的输出信号与被测参数的变化之间,具有单值的函数关系,而且这种函数关系最好是线性的,以使仪表的刻度均匀,便于读数;敏感元件的输出特性,还应具有足够的灵敏度和稳定性,以保证测量的精确性。另外,对于与被测对象直接接触的敏感元件,还要求尽量减小引起被测对象的能量消耗和对被测对象生产工艺过程的干扰。由于被测参数的测取是加工运算和处理的前提,所以敏感元件已成为实现自动检测和控制的重要环节。

2. 传输与变换部件

传输与变换部件的作用是将敏感元件输出的测量信号传输到显示装置。根据显示装置的不同要求,除信号的直接传输方式外,有时还需要将测量信号放大、变换信号的形式或者变换成统一的标准信号,以便于传输和集中显示。这种放大信号或变换信号的功能是由变换器(或称转换器)来完成的。最常见的导线、压力信号导管等都是信号的传输部件,对它们都有一定的要求,如导线的材料、电阻值,导管的材料,直径、长度以及它们的安装方式等,都应符合规定条件,以免信号传输失真造成测量误差。对于信号的变换部件,则要求经放大或变换后的信号仍与被测