

中等专业学校教材

火电厂热力过程自动化

北京电力学校主编

电力工业出版社

中等专业学校教材

本书是《热能自动控制系统》(原《热力发电厂自动控制》)教材的修订本。本书是根据《热能自动控制系统》(原《热力发电厂自动控制》)教材的修订本。本书是根据《热能自动控制系统》(原《热力发电厂自动控制》)教材的修订本。

火电厂热力过程自动化

北京电力学校主编

编出书第

030006

热能自动控制系统

热力发电厂

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷 16开 32.75印张 815千字 1册

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷 16开 32.75印张 815千字 1册

电力工业出版社

内 容 提 要

本书是根据1978年制订的《火电厂热力过程自动化》教学大纲(草案)编写的。全书共分三篇:第一篇主要阐述火电厂热力过程中热工参数的测量原理、方法及常用的典型仪表;第二篇介绍自动调节的基本知识,火电厂常用的自动调节器、执行器以及热力设备的自动调节系统;第三篇简要介绍火电厂的热工控制系统、热工信号系统及热机保护等。

本书为中等专业学校热能动力类专业三、四年制的通用教材,亦可供有关专业的技术人员参考。

中等专业学校教材

火电厂热力过程自动化

北京电力学校主编

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 22.75印张 517千字 1插页

1980年7月第一版 1980年7月北京第一次印刷

印数 00001—20400册 定价 2.00元

书号 15036·4091

前 言

本书是根据1978~1981年水利电力类高等学校、中等专业学校教材编审出版规划(草案)组织编写的。

本课程的教学大纲和教材编写大纲是由十一所学校共同讨论制订的。根据各学校的意见,要求教材内容的深度和广度应尽可能适应各校现行教学计划的不同学制年限,并建议将本课程分设为《热工测量和仪表》及《火电厂热力过程自动化》两门课程。由于教材篇幅所限,在最后定稿时,对原计划编写的内容作了适当的删节。各校使用本教材时,可按照实际的教学时数及所在地区的具体情况,决定取舍和再作必要的压缩或补充。书中标有*号的内容可供学生课外选读。

全书由北京电力学校、湖南省电力学校和山东省电力学校分工编写。参加编写工作的有:陈勤奇(绪论,第一、二章)、罗砚鑫(2-6节,第三、四、五、六章)、李锦藻(第七、八章)、徐乃煊(9-1节)、赵祥生(9-2、9-3节,第十、十一、十二章)等同志。由陈勤奇同志主编并对全稿作了统一订正。

全书由南京电力学校汪建国、王雨春、丁轲轲等同志主审,参加审稿工作的有西安电力学校殷树德、周仁等同志。本书在编写过程中得到华北电力学院、《火电厂热工自动化设计手册》编写组、电力工业部西安热工研究所、华东电管局电力试验研究所、山东省电力设计院、山东省电力科学研究试验所、上海闸北发电厂、上海自动化仪表三厂、重庆长江仪表厂等单位有关同志的支持和帮助,在此一并致谢。

由于编者水平所限,书中一定存在不少缺点和不妥之处,恳切希望读者批评指正。

编 者

1979年12月

目 录

前 言	
绪 论	1

第一篇 热工测量和仪表

第一章 热工测量的基本知识	3
---------------	---

1-1 热工测量概述	3
------------	---

一、测量及测量过程；二、测量误差；三、工业自动化仪表的主要品质指标

1-2 工业自动化仪表的组成和分类	8
-------------------	---

一、工业自动化仪表的组成；二、工业自动化仪表的分类

第二章 温度测量	10
----------	----

2-1 温度测量的基本概念	11
---------------	----

一、温度和温度测量；*二、温标；三、温度测量仪表的分类和比较

2-2 热电高温计	16
-----------	----

一、热电偶测温的基本原理；二、热电偶的材料；三、热电偶的结构及其类型；四、热电偶冷端(参考端)温度的修正和处理方法；*五、热电偶常用的测量线路；*六、热电偶测量误差的分析；七、热电偶的安装

2-3 电阻温度计	62
-----------	----

一、热电阻的测温原理；二、热电阻的材料；三、热电阻的结构；*四、热电阻测量误差的分析；*五、半导体热敏电阻

*2-4 热辐射式高温计	75
--------------	----

一、辐射测温的一般概念；二、光学高温计；三、全辐射式高温计

2-5 温度测量显示仪表	85
--------------	----

一、动圈式指示仪表；二、电子自动平衡式显示仪表概述；三、电子自动电位差计；四、电子自动平衡电桥

2-6 DBW型温度(温差)变送器	121
-------------------	-----

一、输入回路；二、自激调制式直流放大器；三、负反馈回路；四、整机线路分析

第三章 压力测量	132
----------	-----

*3-1 液柱式压力计	132
-------------	-----

一、U形管压力计；二、单管压力计；三、倾斜式微压计

3-2 弹性压力计	135
-----------	-----

一、单圈弹簧管压力计；二、膜盒式风压表；三、弹性压力计的使用

3-3 压力信号变送器	141
-------------	-----

一、电阻式压力变送器；*二、霍尔压力变送器；三、力平衡式变送器

第四章 流量测量	153
----------	-----

4-1 差压式流量计的工作原理及标准节流装置	153
------------------------	-----

一、差压式流量计的工作原理；二、标准节流装置及其取压方式；三、标准节流装置的流量方程

式；四、蒸汽流量测量的压力温度校正；五、差压式流量计的安装	
4-2 差压式流量计的显示仪表——差压计	168
一、膜片式差压计；二、双波纹管差压计	
*4-3 火电厂燃油流量的测量仪表	173
一、靶式流量计；二、罗茨流量计	
第五章 水位测量	177
5-1 低置水位计	177
一、“水位-压差”转换装置；二、低置水位计标尺刻度关系的计算	
5-2 汽包水位测量的压力自动校正	180
一、校正原理；二、实用校正系统	
5-3 电接点水位计	182
一、工作原理；*二、电极和水位容器；*三、电接点水位计的二次仪表	
第六章 烟气含氧量的测量	186
*6-1 磁性氧量表	187
一、工作原理；二、磁性氧量表的发送器；三、磁性氧量表的电气测量线路；四、磁性氧量表的气水系统	
6-2 氧化锆测氧计	193
一、氧化锆测氧计的结构和工作原理；二、氧化锆测氧计的测量系统	
第二篇 热力设备的自动调节	
第七章 自动调节的基本概念	199
7-1 概述	199
一、常用术语；二、自动调节系统的组成和方框图；三、调节过程的品质指标；四、调节系统的分类	
7-2 基本环节的静态和动态特性	206
一、环节的特性及其表示方法；二、比例环节；三、惯性环节；四、积分环节；五、微分环节；六、迟延环节；七、具有纯迟延的惯性环节；*八、环节的联接	
7-3 热工调节对象的特性	221
一、有自平衡能力的对象；二、无自平衡能力的对象；三、具有迟延、无自平衡能力的对象；四、汽水热交换器；五、热工调节对象的特点及其对调节过程的影响	
7-4 自动调节器的几种典型动作规律及其对调节过程的影响	228
一、引言；*二、位式调节器；三、比例作用(P 作用)调节器；四、比例加积分作用(PI 作用)调节器；五、比例加积分加微分作用(PID 作用)调节器；六、采用 P 、 PI 、 PID 调节器系统的调节过程比较	
7-5 调节机构的特性及其对调节过程的影响	244
一、引言；二、调节阀的静特性、工作特性和动态特性	
*7-6 调节器参数的整定	246
一、引言；二、临界比例度法；三、飞升曲线法；四、经验法；五、衰减曲线法	
第八章 自动调节器和执行器	250
8-1 DDZ-II型电动单元组合仪表	251
一、概述；二、DTL-121型调节器	
8-2 电动执行器	264

一、概述；二、DKJ型电动执行单元

第九章 热力设备的自动调节系统279

9-1 汽鼓型锅炉的自动调节系统279

一、概述；二、给水自动调节系统；三、过热蒸汽温度的自动调节系统；四、燃烧过程的自动调节系统

*9-2 直流锅炉的自动调节系统310

一、直流锅炉的调节任务和特点；二、直流锅炉的动态特性；三、直流锅炉的自动调节系统

9-3 辅助设备的自动调节318

一、中间储仓式钢球磨煤机的自动调节；二、除氧器的自动调节

第三篇 热 工 控 制

第十章 火力发电厂的热工控制系统328

10-1 热工检测控制系统和自动调节系统328

一、锅炉汽水热工检测控制系统；二、锅炉燃烧热工检测控制系统；三、热工自动调节系统

*10-2 热工控制盘和控制台331

一、锅炉控制盘；二、锅炉控制台

第十一章 热工信号系统339

11-1 热工信号的作用和分类339

一、热工信号的作用；二、热工信号系统的分类

11-2 典型热工信号系统及其工作原理340

一、可控硅直流重复音响信号系统；二、交流重复音响信号系统

11-3 JBJ-II型闪光报警器342

一、JBJ-II型闪光报警器的特点；二、JBJ-II型闪光报警器的原理

第十二章 热机保护346

12-1 概述346

一、热机保护的目；二、机炉热工信号保护的内容

12-2 汽轮机保护举例348

一、汽轮机轴向位移保护；二、汽轮机汽缸与转子相对膨胀保护

12-3 锅炉火焰监视及灭火保护353

一、概述；二、MB-3型火焰监测装置

绪 论

电力工业是转化能源的工业,它是把一次能源转化为通用性广、效率高的二次能源——电能,而为国民经济建设提供动力的工业。为了实现四个现代化,必须加快发展我国的电力工业,以适应用电负荷不断增长的需要。电力工业生产的特点是产品(电能)无法储存,发电、供电、用电是同时完成的。为了充分发挥发电设备的能力,必须做到安全、经济、满发。实现火电厂热力过程的自动化,就是为达到上述目的而采取的必要技术手段。

火电厂热力过程自动化包括热工检测、自动调节、热工控制操作、热工信号、自动保护与连锁等部分。它不仅有利于发电机组的安全、经济运行,还可延长机组使用寿命,提高劳动生产率和改善劳动条件。对于大容量、高参数的发电机组,自动化已成为机组运行不可缺少的组成部分。因为大型机组主辅机的结构和热力系统均较复杂,运行中需要监视和操作的项目显著增多。对于不同容量的机组需要监视和操作的项目数量可作如下比较:

机组容量(千瓦):	5万	12.5万	20万	30万
监视项目(测量点):	115~135	540~600	560	950~1050
操作项目(执行器数):	70~75	142	280	410~450

特别是中间再热单元机组的锅炉、汽轮发电机组及辅机,已构成一个完整的控制对象,当工况发生变化时,一系列参数将随之变化,尤其是在机组启停或事故处理过程中,各种参数不仅变化迅速,而且往往需要同时监视几个参数并进行复杂频繁的操作。因此,人工监视和控制已不可能胜任,只有采用自动化技术,方能对机组的工况进行全面、准确而迅速的检测,并通过分析和综合判断,自动地进行操作和控制,从而保证机组安全可靠地运行。但是,必须指出,火电厂的自动化不能片面地追求所谓的高水平,而应根据机组的容量和参数等进行技术经济比较作出合理的选择。

我国火电厂热力过程的自动化,随着工业技术的发展而有了显著的提高。控制方式已从分散就地操作、局部集中控制发展到机组集中控制,目前,我国所采用的机组集中控制方式,由于多方面的原因,还只能适应正常运行工况的监视和调整,在机组启停或事故处理时仍需要就地操作与之配合。但是,机组集中控制方式已是火电厂自动化的发展趋势,并且还要进一步走向整个电厂的综合自动化。

随着我国自动化仪表工业体系的形成,很多种仪表进行了统一设计,提高了标准化、系列化和通用化的程度,并且不断采用新技术、新材料和新工艺,为生产过程自动化提供了可靠的物质基础。在火电厂的热工检测方面,除了常规的检测仪表外,巡回检测仪表及数字式仪表也已日益增多;在调节仪表方面,QDZ-II型气动单元组合仪表和DDZ-II型电动单元组合仪表已得到广泛应用,20万千瓦以上的机组正拟采用集成电路的组件组装式调节仪表。

当前,国内火电厂热工自动调节的运行水平还是比较低的,主要是因为自动装置的投

入率不高。据1978年的不完全统计，火电厂中的给水自动调节、主蒸汽温度自动调节和主蒸汽压力自动调节等项目的投入率分别为96%、68%和55%，其余项目自动调节的投入率则多低于30%。自动装置投入率不高，除自动装置本身存在缺陷外，机组的可控性能差也是一个重要的原因。因此，要实现电力生产的自动化，还需要提高设备制造工业的技术水平，改进生产设备，消除生产设备中不适应自动化的各种缺陷。

随着大型机组的投运，程序控制已成为电厂自动化的重要组成部分。我国于六十年代初期，在一些电厂的制粉系统启停、锅炉定期排污和吹灰以及水处理离子交换器的再生等方面已使用了程序控制，并取得了一定的经验，而且，还要逐步发展为综合性的程序控制，如汽轮发电机组的自启停、锅炉点火和带负荷过程的自动化以及按负荷自动切投燃烧器等等。可以预计，程序控制在今后的电厂自动化中将发挥更大的作用。关于电子计算机在电厂中的应用，我国尚处于摸索和积累经验的阶段，今后将在总结国产机组和引进机组应用计算机经验的基础上，结合国外这方面技术的发展动向，来确定我国今后大型机组采用电子计算机控制的原则、方案和系统。

总之，火电厂实现自动化的程度，是火电厂技术与管理水平的一个标志。热力设备专业的技术人员，除应掌握热力设备的结构和运行技术之外，还必须掌握热工自动化的基本知识，正确认识热力设备本身的结构及运行与自动化之间的密切关系，为提高电力工业技术和自动化水平作出积极的贡献。

（一）火电厂自动化的发展概况

1. 国外火电厂自动化的发展概况

国外火电厂自动化的发展，是从20世纪40年代开始的。最初，国外火电厂自动化主要是在锅炉和汽轮机两个方面进行。在锅炉方面，主要是实现给水自动调节、蒸汽温度自动调节和蒸汽压力自动调节。在汽轮机方面，主要是实现转速自动调节和负荷自动调节。随着技术的进步，国外火电厂自动化逐渐向综合性的方向发展。20世纪60年代，国外火电厂开始采用电子计算机进行控制。最初，电子计算机主要用于锅炉和汽轮机的控制。随着电子计算机技术的不断发展，国外火电厂自动化水平不断提高。目前，国外火电厂自动化水平已达到较高的程度。在锅炉方面，可以实现给水、蒸汽温度和蒸汽压力的自动控制。在汽轮机方面，可以实现转速、负荷和蒸汽温度的自动控制。此外，国外火电厂还实现了燃烧器自动调节、制粉系统自动调节和水处理系统自动调节等。在电子计算机应用方面，国外火电厂已经实现了从数据采集、控制运算到执行机构的全程自动控制。国外火电厂自动化的发展，为国内火电厂自动化提供了宝贵的经验和借鉴。

2. 国内火电厂自动化的发展概况

国内火电厂自动化的发展，是从20世纪50年代开始的。最初，国内火电厂自动化主要是在锅炉和汽轮机两个方面进行。在锅炉方面，主要是实现给水自动调节、蒸汽温度自动调节和蒸汽压力自动调节。在汽轮机方面，主要是实现转速自动调节和负荷自动调节。随着技术的进步，国内火电厂自动化逐渐向综合性的方向发展。20世纪60年代，国内火电厂开始采用电子计算机进行控制。最初，电子计算机主要用于锅炉和汽轮机的控制。随着电子计算机技术的不断发展，国内火电厂自动化水平不断提高。目前，国内火电厂自动化水平已达到较高的程度。在锅炉方面，可以实现给水、蒸汽温度和蒸汽压力的自动控制。在汽轮机方面，可以实现转速、负荷和蒸汽温度的自动控制。此外，国内火电厂还实现了燃烧器自动调节、制粉系统自动调节和水处理系统自动调节等。在电子计算机应用方面，国内火电厂已经实现了从数据采集、控制运算到执行机构的全程自动控制。国内火电厂自动化的发展，为国内火电厂自动化提供了宝贵的经验和借鉴。

第一篇 热工测量和仪表

第一章 热工测量的基本知识

1-1 热工测量概述

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。

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。

通常，把用来检测热工参数的仪表称为热工仪表，也可以统称为工业自动化仪表，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锅炉、汽轮发电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。一般按被检测参数项目的用途及其重要性的不同，可分为四类：

I类是为安全、经济运行或仅为安全运行而必须检测的参数，一般称为重要参数。缺少其中任一参数的仪表，都不允许机组（或辅助设备）投入运行；

II类是为经济分析或核收费用而必须测量的参数，一般称为次要参数。缺少这类参数的仪表，将无法掌握最经济的运行工况，而影响机组的效率，或者无法核收费用；

III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；

IV类是仅为机组启停过程中特别需要监视的参数。

此外，还有一些专为热效率试验的检测项目，一般都是在进行试验时，临时选择和装设测量设备。

一、测量及测量过程

测量是人类对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。在任何测量过程中，都是借助于专门的测量设备，通过实验方法，将被测参数与所选用的测量单位进行比较，求得以所选用的测量单位表示的被测参数的数值大小。这个专门的测量设备，即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，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。

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。

直接测量是将被测的未知量与作为标准的量直接进行比较,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,用米尺测量物体的长度、用温度计测量物体的温度以及用接入电路的电流表测量流过该电路的电流等等都属于直接测量。

间接测量是通过未知量与若干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 $\rho = \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{R}{l}$ 计算求得该导线的电阻系数。又如本书第四章中介绍的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和已确定(或测定)的各系数,同时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(或改变测量条件来获得这种不同的组合),根据直接测量和间接测量所得的数据,通过求解联立方程组以求得被测未知量的数值。例如,标准电阻线圈的电阻与温度的关系可用下式表示:

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

式中 R_t ——在 $t^\circ\text{C}$ 下电阻的实际值,欧姆;

R_{20} ——在 20°C 下电阻的实际值,欧姆;

α 和 β ——电阻温度系数, $1/^\circ\text{C}$ 和 $1/^\circ\text{C}^2$ 。

由于 20°C 的稳定温度不易维持,则 R_{20} 就不能直接测量求得;电阻温度系数 α 和 β 也无法测定。因此,为了求得 R_{20} 、 α 和 β 值,至少需要先列出在三种已知温度状态下表示电阻的方程式,再将在这三个温度下测量所得到的电阻值分别代入方程式联立求解。然后便可利用上述关系式求得在任意温度下的电阻值 R_t 。

一般说来,组合测量方法只是在实验室工作中采用。

二、测量误差

在工程技术和科学研究领域中,测量工作是基础工作。对于所得到的测量结果是否符合被测参数的真实数值,它的可信程度如何?应该作出正确的估计。

虽然人们对于被测参数真实值的认识,随着实践经验的积累和科学技术的发展将愈来愈接近,但决不可能达到绝对精确的程度。这是因为在测量中,通过实验方法来求得被测参数的真实值时,总是存在着各种各样的影响因素,例如,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、客观条件的变化、测量工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,都会使所测得的数值与被测参数的真实值之间存在一定的差值。也就是说,在实际测量工作中,测量误差的存在是不可避免的。

所谓真实值(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,因此,它的真实值具有时间和空间的涵义。误差理论指出,对于等精度测量,即在同一条件下所进行的一系列重复测量,在排除了系统误差的前提下,当测量次数为无限多时,测量结果的算术平均值极近于真实值,因而可将它视为被测参数

的真实值。但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价值作为真实值。有时为了强调它并非真正的真实值，而把它称为实际值。

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，二者之间的差值则定义为绝对误差 A ，用公式表示为

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

绝对误差 A 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 A 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，即

$$X_0 = X + a \quad (1-2)$$

通常，把 a 称为修正值（或校正值）。若将对应于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）。一般在精密测量工作中，常需采用这种逐点校正的方法来保证测量的精确性。

但是，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，一支体温表的绝对误差为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，这支体温表的示值显然是不可信的，应当报废。而对于测量炉膛内 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。

相对误差的定义是绝对误差与约定值之比，可用百分数来表示。约定值可以是被测参数的真实值，也可以是测量仪表的示值，或者是测量仪表的刻度范围（即测量范围，又称量程）。因此，相对误差可用三种表示方法：

（1）实际相对误差：是指绝对误差与真实值之比，即

$$\delta_1 = \frac{A}{X_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

（2）标称相对误差：是指绝对误差与仪表示值之比，即

$$\delta_2 = \frac{A}{X} \times 100\% \quad (1-4)$$

（3）引用相对误差：是指绝对误差与仪表刻度范围之比，即

$$\delta_3 = \frac{A}{X_{\text{上限}} - X_{\text{下限}}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 $X_{\text{上限}}$ 和 $X_{\text{下限}}$ ——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，其示值的精确程度就有很大的差别。假如体温表的刻度范围为 $32 \sim 42^\circ\text{C}$ ，测炉温的温度表选用 $600 \sim 1600^\circ\text{C}$ 的刻度范围，那么，它们的引用相对误差则分别为

$$\text{体温表} \quad \delta_3 = \frac{\pm 1}{42 - 32} \times 100\% = \pm 10\%$$

$$\text{炉温表} \quad \delta_3 = \frac{\pm 1}{1600 - 600} \times 100\% = \pm 0.1\%$$

显然，这两支温度表示值的绝对误差虽然相等，但是，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。

测量误差按其产生的原因和它本身的性质不同，可分为三类：

(1) 系统误差：系统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变化的，并可用一定的公式或曲线表示出来。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，若蒸汽的压力和温度等状态参数与设计计算孔板时所用的数据不相符，将会引起测量的误差，这种误差就属于系统误差。如果，此时蒸汽的状态参数为已知，则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：疏忽误差也称为粗大误差，它是由于测量工作中的疏忽大意而造成的测量误差，例如，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等。这类误差的数值很难估计，一般都会远远超过同一客观条件下的其它误差而明显地歪曲了测量结果。因此，在测量工作中，必须认真细心，避免发生疏忽误差，并应注意及时发现和剔除含有疏忽误差的测量数据。

(3) 偶然误差：偶然误差也称为随机误差，它是由于在测量过程中偶然因素的影响而引起的，它的出现没有一定的规律，其数值的大小和性质也不固定。但是，从对同一参数进行多次重复测量的结果表明：偶然误差的出现是服从于统计规律的。即绝对值相等的正误差和负误差出现的次数相同，绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多，而且误差愈小的出现次数愈多，误差愈大的出现次数愈少。因此，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。这里必须指出，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。一般都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。所以，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、工业自动化仪表的主要品质指标

工业自动化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，在第一机械工业部关于仪器仪表的“部颁标准”中有详细的规定，在此仅对其中一些重要的品质指标作简要的说明。

1. 基本误差

仪表的基本误差是指在规定条件下，仪表示值误差的最大值。通常用引用相对误差的形式表示：

$$\text{基本误差} = \frac{A_{\text{最大}}}{X_{\text{上限}} - X_{\text{下限}}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, $A_{\text{最大}} = (X - X_0)_{\text{最大}}$, 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 $A_{\text{最大}}$ 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 $0 \sim 100$ 公斤力/厘米² 的弹簧管压力表时, 得到的最大绝对误差为 1 公斤力/厘米²。那么, 这块弹簧管压力表的基本误差为 1%。由于 $A_{\text{最大}}$ 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 10 公斤力/厘米² 的压力时和测量 100 公斤力/厘米² 的压力时, 都可能产生 1 公斤力/厘米² 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 $0 \sim 100$ 公斤力/厘米² 的压力表测量 10 公斤力/厘米² 的压力是很不合适的, 当然, 用 $0 \sim 100$ 公斤力/厘米² 的压力表测量 100 公斤力/厘米² 的压力也是不合适的, 因为一旦被测压力超过 100 公斤力/厘米², 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 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 处; 对其它检测仪表可在其刻度范围的 $\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$ 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。仪表的允许误差是指在规定的条件下允许的示值误差的最大值, 一般用引用相对误差的形式表示。因此, 凡是合格的仪表其基本误差不得超过该仪表的允许误差值。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, 这和仪表的精度等级是同义的。也就是说, 仪表的精度等级决定了仪表的允许误差, 所以, 仪表的精度等级就是用允许误差去掉百分数后的数字表示的。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。

我国仪器仪表工业目前采用的精度等级序列为: 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。其中工业用仪表的精度等级一般为 0.5~5.0 级。仪表的精度等级常以一个圆圈内的数字标明在仪表刻度盘上。

应该指出, 仪表的精度等级是在规定条件下仪表本身的质量指标和计量特性。如果仪表不是在规定的正常工作条件下使用, 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。另外, 对于整个测量装置或测量系统, 若未标明整套仪表 (装置或系统) 的精度等级时, 由于各元、器件或设备都有其本身的误差和精度, 而仪表的精度等级只是表示它本身这一环节 (部件) 所具有的精度, 此时, 就不能只用仪表的精度等级来确定测量结果的精确度。例如, 用热电偶配电子自动电位差计测量温度时, 虽然电子自动电位差计是 0.5 级的显示仪表, 但并不能说明此时测量结果的误差不超过仪表的允许误差 ($\pm 0.5\%$)。

3. 变差

仪表的变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反行程 (即逐渐由小到大和逐渐由大到小) 测量时, 在相同被测参数值上仪表示值的最大差值。它可

出现在仪表刻度标尺上的任一点处。仪表的变差也可用引用相对误差的形式来表示,即

$$\text{变差} = \frac{(X_{\text{正}} - X_{\text{反}})_{\text{最大}}}{X_{\text{上限}} - X_{\text{下限}}} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 $X_{\text{正}}$ ——在某一被测参数值上仪表正行程的示值;

$X_{\text{反}}$ ——在同一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,例如传动机构的间隙、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

仪表的灵敏度通常定义为仪表输出端的信号变化与引起变化的被测量的变化之比。例如,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

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta l}{\Delta X} \quad (1-8)$$

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(机械的或电子的)的放大倍数,减小仪表量程的办法,可以提高仪表的灵敏度。但必须指出,仪表的性能主要决定于仪表的基本误差,如果不适当地提高了仪表的灵敏度,反而可能会导致其精确度下降,而且小于允许误差绝对值的精确读数也是毫无意义的。因此,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(死区)的大小。它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。

1-2 工业自动化仪表的组成和分类

一、工业自动化仪表的组成

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,一般说来,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,这些环节可以是分立的,也可以组成一个整体。

1. 敏感元件

敏感元件又称为传感器、检测元件或检测器等。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，例如，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参数的变化有确定的函数关系。

3. 显示装置

显示装置的作用是显示被测参数的测量结果。按其显示的方式不同，可分为模拟式、数字式和图象式三种。模拟式显示装置是通过指示器（如指针）在仪表刻度标尺上的位置来显示被测参数的数值，这种显示装置结构比较简单，使用和维修方便，造价低，但容易产生读数误差（视差）；数字式显示装置是以数字形式显示测量结果，因此便于读数，避免视差，显示的精度较高，而且便于与程控装置或计算机相联结，但这种显示装置结构比较复杂；图象式显示装置是利用显象管来显示被测参数的测量结果，它可以用模拟式显示也可以用数字式显示，还可以显示被测参数的分布图象，因此，图象式显示装置能快速地综合显示测量结果，并能在屏幕上显示出大量的数据。另外在模拟式仪表与数字式仪表之间，可以通过模/数转换器或数/模转换器来互相联系。

对于自动调节和控制的仪表，其组成与上述工业测量仪表相仿，其中敏感元件在目前来说，大体上是一致的，只是对测量信号的“加工处理”的手段不同，它是根据调节和控制的要求，把测量信号变换成为调节和控制所需要的形式。

二、工业自动化仪表的分类

工业自动化仪表的分类方法很多，一般常用的主要是以下几种：

按被测参数的类型来分类，有热工量仪表（包括温度、压力、流量、物位等参数的检测仪表）、机械量仪表（例如位移、厚度、应力、振动、速度等参数的测量仪表）、电工量仪表（如电流表、电压表、相位仪、频率计等）和成分分析仪表（如测定物质酸度、粘度、导电度、浓度等的仪表和分析气体成分的分析器等）。

按仪表的作用来分类，有指示式仪表、记录式仪表、积算式仪表和调节式仪表等。

按仪表的安装地点来分类，有就地式仪表和远距离传送式仪表。

按仪表采用的信号能源来分类，有气动式仪表、液动式仪表、电动式仪表和电子式仪表。

按仪表的结构情况来分类,有基地式仪表和单元组合式仪表。

按仪表在自动化系统中所具有的功能来分类,有检测仪表、显示仪表、调节仪表和执行器。

按仪表的基本工作原理来分类,有力平衡(或力矩平衡)式、位移平衡式和电平衡式等仪表。

第二章 温度 测量

温度是表征物态的一个物理参数,它是促使物质矛盾转化的重要条件之一。人们在利用各种能源为人类服务时,往往是通过某些介质的温度变化来实现的。所以说,一切热工过程无不伴有温度的变化。而且,大多数的构件、材料的几何尺寸、密度、粘度、强度、弹性、导电性能、导热能力、辐射强度以及抗腐蚀等物理性质和化学性质,也都随温度而变化。因此,在生产和科学实验的各个领域,必然会遇到大量的有关温度和温度测量的问题。实现精确的温度测量和为满足现代化、大规模的生产及自动控制的需要,实现远距离的温度测量,便具有相当重要的意义。

在火电厂热力过程中,对各种工质或部件温度的监控尤其重要,其理由可概括如下:

(1) 温度是蒸汽质量的重要指标之一。火电厂锅炉产生的蒸汽是整个热力循环的工质,它不仅要运载着足够的热能通过汽轮发电机组将其转变为电能,而且还要满足各类热用户的用热需求。蒸汽品质的优劣,一般是用蒸汽的温度、压力及含盐量等来表示的,在运行过程中应保持这些参数在离给定值偏差很小的范围之内。

(2) 温度是影响热力设备效率的主要因素。任何热力循环的热效率都与其高、低温热源的温度有关,保证工质在进入和排出热机时的温度差,充分有效地利用工质的热能,是提高热机热效率的基本途径。在火电厂中,汽轮机进汽温度的降低会导致汽轮机效率的显著下降。因此,蒸汽温度是火电厂运行监控的重要参数。

(3) 温度是影响传热过程的重要因素。所有的传热过程都必须在有温差的条件下才能进行。因此,只有严格监督传热介质的温度,才能保证诸如锅炉设备的省煤器、空气预热器、过热器和汽轮机设备的冷凝器、加热器等各种热交换器的传热过程正常进行。

(4) 温度是保证热力设备安全的重要参数。各种材料的耐热能力总是有限的,在火电厂中,热力设备及管道的金属温度、汽轮机主轴承和推力轴承的温度以及发电机的绕组温度等等,都必须分别予以监控,否则均会造成重大事故。

由此可见,温度检测对于保证生产过程的安全、经济运行,提高产品的产量和质量,以及减轻工人的劳动强度,改善劳动条件具有极其重要的意义。为了在广阔的测温领域中获得对温度的精确而又方便的测量,就得根据对所测温度的范围、精度和显示形式的不同要求以及使用条件等,选用不同的测温方法和测温仪表。本章将以目前国内定型生产的仪表为典型,着重介绍工业上常用的测温方法和测温仪表的基本原理、结构及使用等内容。