

火电生产类学徒工初级工培训教材

热工仪表自动化

(试 用 本)

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为火电生产类学徒工初级工培训教材之一, 主要讲述火电厂热工仪表自动化专业的基本知识。内容包括热工参数测量原理, 自动调节系统的组成原理、整定试验方法, 自动化仪表与装置的原理、结构、维修、调校以及热工保护与控制系统的组成原理及应用等。

火电生产类学徒工初级工培训教材

热工仪表自动化

(试 用 本)

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 15.5印张 342千字
1983年12月第一版 1983年12月北京第一次印刷

印数 00001—18000册 定价 1.25元

书号 15143·5307

前 言

为了提高水利电力系统学徒工初级工的技术水平,使技工培训工作逐步走向正规化、系统化,我们统一组织编写了水电生产、水电施工、火电生产、火电建设和供电等五类学徒工初级工的培训教材。

这五类培训教材是按照原水利部、原电力工业部颁发的工人技术等级标准中相应的应知技术理论要求编写的。每一工种的培训教材包括基础课与专业课两部分,注意到学徒工初级工两个阶段技术理论教育的系统性和完整性,力求密切联系实际,深入浅出,突出工人培训教材的特点。

火电生产类培训教材包括22个工种共23本,其中基础课11本,专业课12本,委托山西省电力工业局组织编写,并约请各大区网局和省电力工业局的有关同志参加审稿。

《热工仪表自动化》系专业课教材之一。参加编写工作的有:梁美珠(第一、六章)、雷宗杰(第二、三、十一、十二章)、马雨亭(第四章)、潘祖礼(第五章)、宋有福(第七、八章)、刘维善(第九章)、荆炜(第十章)等同志。第一至六章由雷宗杰统稿,第七至十二章由宋有福统稿。上海南市发电厂,陕西卢县热电厂、大连发电总厂、大港发电厂、天津第三发电厂及河南电力科学试验研究所等单位进行了审定。

由于编写时间仓促,又缺乏经验,培训教材中难免存在错误和不妥之处,现以试用本出版,内部发行。希望使用单位和广大读者提出宝贵意见,以提高再版的质量。

水利电力部

1982年10月

目 录

前 言

第一章 热工测量的基本知识	1
第一节 热工测量在生产中的作用	1
一、热工测量和热工测量仪表(1) 二、热工测量在电力生产中的作用(1)	
第二节 热工测量仪表的组成	2
一、感受件(3) 二、显示件(3) 三、中间件(4)	
第三节 热工测量仪表的误差及其质量指标	4
一、测量仪表的误差(4) 二、仪表的质量指标(6) 三、测量系统的综合误差(9) 四、测量过程中的附加误差(9)	
第二章 压力测量仪表	12
第一节 压力概念及压力仪表分类	12
一、压力的定义及单位(12) 二、绝对压力、表压力、真空(14) 三、压力测量仪表的分类(15)	
第二节 液柱式压力计	15
一、U形管压力计(15) 二、单管压力计(16) 三、倾斜式微压计(18)	
第三节 弹性压力表	19
一、弹簧管压力表(20) 二、膜盒式风压表(27)	
第四节 远传式压力测量仪表	29
一、电阻式远传压力变送器(30) 二、差动变压器式远传压力变送器(31)	
第五节 压力表的使用	34
一、压力表的选择(34) 二、压力测点的选择(35) 三、压力信号管路的选择和敷设(35) 四、压力表的安装(37) 五、压力表位 置误差的修正(37) 六、压力表的使用注意事项(39)	

第三章 流量测量仪表	42
第一节 差压式流量计的工作原理及标准节流装置	43
一、差压式流量计的工作原理(43) 二、标准节流装置的使用条件(44)	
三、标准节流装置的型式(44) 四、标准节流件的计算公式(46)	
五、节流装置的安装和信号管路的敷设(49)	
第二节 差压测量仪表及变送器	55
一、膜片式差压计(55) 二、双波纹管差压计(58) 三、DDZ-II 型	
仪表中的差压变送器(64)	
第三节 比例积算器和开方器	75
一、比例积算器(75) 二、开方器(87)	
第四节 燃油流量测量仪表	91
一、靶式流量计(91) 二、涡轮流量计(93)	
第四章 温度测量仪表	100
第一节 膨胀式温度计	100
一、玻璃管液体温度计(100) 二、压力式温度计(102) 三、双金属式	
温度计(104)	
第二节 热电阻温度计	105
一、热电阻测温的基本原理(105) 二、常用热电阻的种类(105)	
三、热电阻的结构(106) 四、热电阻的故障与检修(108)	
第三节 热电偶温度计	108
一、热电偶测温的基本原理(108) 二、常用热电偶的种类(109)	
三、热电偶的构造(110) 四、热电偶冷端温度补偿(111) 五、热电偶	
的故障及测量误差(113)	
第四节 温度计的校验	116
一、膨胀式温度计的校验(116) 二、热电阻的校验(117) 三、热电偶	
的校验(119)	
第五节 动圈式显示仪表	121
一、动圈式显示仪表的原理(123) 二、动圈式显示仪表的结构(123)	
三、动圈式显示仪表的测温电路(126) 四、动圈式显示仪表的	
校验(128)	
第六节 电子自动平衡式仪表	130

一、电子自动平衡式仪表的原理(130)	二、测量系统(132)	三、晶体管放大器(136)	四、平衡机构和可逆电动机(141)	五、同步电动机和记录装置(141)	六、电子自动平衡式仪表的校验与调整(141)
第七节 温度变送器	144				
一、温度变送器的原理(144)	二、温度变送器的校验和检修(150)				
第八节 测温元件和仪表的安装	153				
一、测温元件的安装(153)	二、二次仪表的安装(155)				
第五章 其它参数的测量仪表	157				
第一节 液位测量仪表	157				
一、差压型低置水位计(157)	二、电极式水位计(161)				
第二节 烟气含氧量测量仪表	168				
一、磁性氧量计(168)	二、氧化锆测氧计(177)				
第三节 转速测量仪表	185				
一、测速发电机式转速表的工作原理(186)	二、3T-1型转速测量和超速保护装置(186)	三、ZQC-11型转速测量和超速保护装置(189)			
第四节 振动测量仪表	191				
一、SS-46型双向测振仪(191)	二、1BA型测振仪(194)	三、振动测量仪表的使用(195)			
第五节 数字显示式仪表	198				
一、数字显示式电极水位计(198)	二、数字显示式转速表(199)	三、数字显示式巡回检测仪表(205)			
第六节 电子皮带秤	210				
一、测量原理(210)	二、电子皮带秤的使用(215)				
第六章 校验用的主要仪器仪表的使用	220				
第一节 活塞式压力计的使用	220				
一、活塞式压力计的构造与原理(220)	二、活塞式压力计的使用(221)	三、活塞式压力计的使用注意事项(223)			
第二节 直流电位差计的使用	224				
一、原理线路(225)	二、电位差计的线路(226)	三、电位差计的分类及主要技术特征(229)	四、直流电位差计使用时的注意事项(229)	五、简易线路连接法及其注意事项(234)	六、电位差计所配用的

辅助设备及其技术特性(236)	
第三节 直流电桥的使用	239
一、直流电桥的分类及主要技术特性(239)	
二、直流电桥的工作原理(239)	
三、直流电桥的使用注意事项(244)	
第四节 温度计校验设备的使用	246
一、零点槽(246)	
二、水槽(247)	
三、油槽(248)	
四、管形电炉(248)	
五、恒温槽的技术特性(249)	
第五节 转速表校验装置的使用	250
一、转速源(251)	
二、转速源使用时的注意事项(252)	
第七章 自动调节的基础知识	255
第一节 自动调节的基本概念	256
一、常用术语与调节系统的分类(256)	
二、调节系统的原理方框图及其应用(258)	
三、调节过程的品质指标(261)	
第二节 调节对象的特性及其测试	265
一、调节对象的静态特性(265)	
二、调节对象的动态特性(265)	
三、调节对象动态特性的测试(267)	
第三节 调节规律	271
一、比例调节规律(271)	
二、比例积分调节规律(272)	
三、比例积分微分调节规律(274)	
第四节 调节阀门的特性及其试验	276
一、调节阀门的静特性(276)	
二、调节阀门的流量特性(278)	
三、调节阀门的试验(280)	
第五节 调节器参数的整定	281
一、稳定边界法(281)	
二、飞升曲线法(282)	
三、经验法(283)	
四、衰减法(284)	
第八章 自动调节设备	286
第一节 调节设备的分类	286
一、按设备的结构形式分类(286)	
二、按设备使用的能源分类(286)	
三、DDZ-II型电动单元组合仪表的分类(288)	
第二节 调节单元	289
一、概述(289)	
二、调节器的工作原理(290)	
三、DTL-331型调节器	

的校验与调整(302)	四、DTL-331 型调节器的故障判断和检查	
(306)	五、微分调节器(309)	
第三节	电动执行器	312
一、工作原理(313)	二、电动执行器的校验与调整(324)	
第四节	操作器	328
一、DFD型操作器(简称D型)(328)	二、DFQ型操作器(简称Q型)	
(329)		
第九章	锅炉的自动调节系统	335
第一节	汽包锅炉的给水调节系统	336
一、给水自动调节的任务(336)	二、给水调节对象的动态特性(337)	
三、给水调节系统(340)	四、DDZ-II 型设备组成的三冲量给水	
调节系统(344)	五、三冲量给水调节系统的整定方法(346)	
六、给水调节系统投入的准备工作及试投步骤(349)		
第二节	主蒸汽温度的调节系统	358
一、过热蒸汽温度调节的必要性(358)	二、过热汽温调节对象的动	
态特性(358)	三、双冲量过热蒸汽温度调节系统(361)	
四、过热汽	温的串级调节系统(369)	
五、汽温调节系统投入前的准备工作		
(373)		
第三节	汽包锅炉燃烧调节系统	373
一、燃烧自动调节的任务(373)	二、汽压调节对象的动态特性(374)	
三、并列运行锅炉燃烧调节系统的组成(380)	四、单元制机组的	
燃烧调节系统(386)		
第四节	直流锅炉的自动调节系统	396
一、直流锅炉的调节任务和特点(396)	二、直流锅炉的动态特性	
(398)	三、直流锅炉的自动调节系统(403)	
第十章	汽轮机辅助设备的自动调节	409
第一节	除氧器压力、水位的自动调节	409
一、除氧器压力的自动调节(409)	二、除氧器水位的自动调节(412)	
第二节	加热器水位和轴封压力的自动调节	414
第十一章	热工信号和保护	417
第一节	基本知识	418

一、热工控制回路的常用电器(418)	二、热工控制系统接线的基本知识(426)	
第二节	热工信号系统	427
一、冲击继电器式交流重复音响信号系统(428)	二、采用闪光报警器的热工信号系统(432)	
第三节	锅炉保护装置	434
一、锅炉保护的主要内容(434)	二、安全门保护(437)	
第四节	汽轮机保护装置	442
一、汽轮机保护系统介绍(443)	二、电气式轴向位移监视与保护装置(447)	
第五节	单元机组的保护	456
一、单元机组旁路保护系统(457)	二、给水泵保护(458)	
第十二章	程序控制	461
第一节	概述	461
一、应用程序控制的意义(461)	二、程序控制装置(462)	三、程序控制装置的基本类型(464)
第二节	简易型程序控制器的工作原理	464
一、由继电器组成的基本逻辑电路(464)	二、由矩阵组成的基本逻辑电路(465)	三、基本逻辑型程控器的控制功能(469)
四、基本逻辑型程序控制器(469)	五、步进型程序控制器(471)	
第三节	程序控制在火电厂中的应用	474
一、程序控制装置的应用情况(474)	二、程序控制装置应用举例(475)	

第一章 热工测量的基本知识

第一节 热工测量在生产中的作用

一、热工测量和热工测量仪表

在发电厂中，热工测量通常是指热力生产过程中各种热工参数（如温度、压力、流量、液位等）的测量方法。而用来测量热工参数的仪表叫做热工测量仪表。

二、热工测量在电力生产中的作用

为了监视和控制设备运行，分析和统计各种指标，在电厂中机炉等设备上都安装了许多热工测量仪表，如一台20万千瓦发电机组的热工参数测点可达500多个。通过对热工参数准确可靠地测量，可使运行人员及时地了解热力设备的运行工况；使热工自动化装置及时地获得信号。运行人员或自动调节设备，就是根据测量提供的信号发出指令对设备进行必要的（手动或自动）操作，从而使生产过程按预定的最安全、最稳定、最经济的工况运行。

随着电厂热力设备日益向大容量、高参数的方向发展，对热工测量的要求也愈来愈高。如果没有仪表，运行人员就无法判断设备的运行情况，就不能保证及时地、正确地操作，这样不仅会造成很大的经济损失，甚至会严重地危及生产安全。例如：对现有的大型汽包锅炉来说，如果没有水位表，就没有控制给水的依据，操作不当，用不了一分钟就可能造成锅炉严重缺水或满水事故。又如：火力发电厂每天要消耗大量燃料。一座40万千瓦的高温高压电厂，如果煤耗降

低百分之一，每年可节约煤一万五千吨。而烟气中 CO_2 的含量比正常值每下降百分之一、锅炉排烟温度比正常值每升高 $10\sim 15^\circ\text{C}$ 、凝汽器真空度每下降百分之一、都会使煤耗增加百分之一。如果没有连续测量 CO_2 含量、排烟温度、凝汽器真空度的仪表，运行人员就不能把这些参数控制在正常值，这样每年就会浪费数万吨煤。由此可知，热工测量是现代火力发电厂安全经济运行的必要保证。热工测量仪表是各种热力设备中不可缺少的辅助设备。我们常用“仪表是工业的眼睛”这样的说法来形象地比喻仪表的重要作用，是十分恰当的。

为了管好和用好热工测量设备及仪表，各电厂都设有热工车间，并配有足够的热工仪表检修、维护工作人员。从事电厂热工测量工作的人员，其首要工作任务就是保证热工仪表准确、灵敏、可靠地进行测量和显示。为了能胜任工作，热工人员必须掌握下述几个方面的知识和技能：熟悉热工仪表的结构、原理和特性；能依据被测参数的性质和测量的目的正确地选择各种测量仪表及其辅助设备；具有安装、检修、校验热工仪表的技能；能根据测量系统情况及热力设备性能，正确判断测量误差的来源，并能设法消除它。

第二节 热工测量仪表的组成

无论是简单仪表或是复杂仪表，尽管原理、结构各不相同，但就其部件的作用来看，基本上都是由感受件2、显示件4、中间件3三个部件组成，如图1-1所示。各部件可以是各自独立存在，也可以是三者组合在一个整体中。

由于各部件的作用不同，因而对各部件的要求也不同。

下面分别讨论这三个部件的作用和特点。

一、感受件

感受件又叫做敏感元件、一次元件或发送器等。它的作用是感受被测参数的变化，并将感受到的被测参数的变化转换成相应的输出信号。

例如热电偶就是一个感受件，它把被测对象的温度变化转换成热电势的变化，作为它的输出信号。

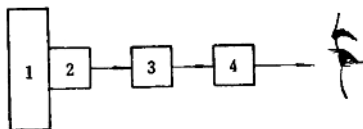


图 1-1 仪表的三个作用部件

1—被测对象；2—感受件；

3—中间件；4—显示件

对感受件的要求是：

(1) 输出信号必须是随被测参数变化而变化。

(2) 输出信号只能是随被测参数变化而变化。

(3) 输出信号与被测参数之间必须是单值关系（即对应一个被测参数值，感受件只能有一个输出数值），而且最好是线性关系。

目前常用的仪表感受件几乎都不能完全满足上述三个条件，因此，它们各自都要求一定的使用条件。如果不注意使用条件，就会得到错误的测量结果。例如：用热电偶测温时要求冷端温度恒定，否则，测量结果误差大。又如用电阻温度计测温时，流过电阻温度计的电流不允许太大，否则，也会有较大的测量误差。

这就告诉我们，为了保证测量的精确度，在选择和使用感受件时，一定要考虑它的使用条件。

二、显示件

显示件的作用是反映被测参数在数量上的变化。常见的仪表显示件有指示式、记录式、累计式、接点式（声光报

警)等。最近,在电力生产中已迅速扩大使用数字显示装置和屏幕显示装置。

数字式显示:直接以数码形式给出被测量,所以不会有读数视差。但这种显示与模拟显示相比直观形象较差。

屏幕显示:这是电视技术在测量显示上的应用,是目前最先进的显示方法。它既能按模拟式给出曲线,也能给出数字,或两者同时显示。屏幕显示具有形象性和易于读数的优点,并能同时在屏幕上显示大量数据,有利于比较判断。

三、中间件

中间件的作用是将感受件输出的信号传送给显示件。根据不同情况,中间件可分别具有远距离传送、放大、线性化或转变信号形式等功能。

需要注意的是,无论中间件如何加工处理由感受件送来的信号,它必须保证输出与输入间的转换关系恒定不变。

在测量过程中,如果输出与输入间的关系一旦变化,就会产生测量误差。

此外,中间件常将信号的形式加以转换,信号被转换后所用的测量仪表(显示件)被称作二次仪表。由于常把非电量信号转换成电量信号,所以近代热工测量中的二次仪表几乎都是电测仪表。由于信号形式可以转换,所以相同的感受件并不一定要配用相同的中间件和显示件。

第三节 热工测量仪表的误差 及其质量指标

一、测量仪表的误差

通过上面对仪表作用部件的讨论知道,被测量及其变化

的信号，要经过一些元部件的转换与传递作用，才能在表头上显示出被测量的数值。其中可能有很多情况与仪表所要求的情况不相一致，这就造成仪表的指示值和被测量的真实值之间存在着差别，这个差别就是仪表的“误差”。

要求仪表的示值绝对正确是做不到的，任何一种仪表的测量结果都会有误差。常见的仪表误差的表达形式有三种：

1. 绝对误差

仪表的指示值与被测量真实值之间的差值叫做绝对误差。但是被测量的真实值是不知道的，一般是用相应标准表的示值代替真实值，称为标准值。如果测量仪表的示值为 a ，标准仪表的示值为 b ，则该点示值的绝对误差为

$$\delta = a - b$$

绝对误差有正有负，正误差表明指示值比标准值大，负误差表明指示值比标准值小。

在仪表标尺范围内，所有绝对误差中的最大值称做仪表的绝对误差。

2. 相对误差

相对误差是指绝对误差和标准值之比的百分数，即

$$\text{相对误差} = -\frac{a-b}{b} \times 100\%$$

3. 引用误差

引用误差是一种能表示仪表本身性能优劣的误差，仪表的绝对误差不能用来判断仪表的优劣。例如有两块压力表，它们的绝对误差值相同，都是 2 公斤/厘米²，但它们的测量范围不同，第一块表的量程为 10 公斤/厘米²，第二块表的量程为 100 公斤/厘米²，相比之下用第一块表测量 10 公斤/厘米² 的压力，误差达 2 公斤/厘米²，其准确度太低。而用第二

块表测量100公斤/厘米²的压力，误差只有2公斤/厘米²，准确度足够高。所以，判断仪表性能的优劣不用仪表的绝对误差，而用仪表的引用误差。所谓仪表的引用误差就是把仪表的绝对误差折合成该仪表标尺范围的百分数，其计算式为

$$\text{仪表的引用误差} = \frac{\text{仪表的绝对误差}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

对上例来说，第一块表的引用误差为20%，第二块表的引用误差为2%。从绝对误差看两只表都是2公斤/厘米²，但从引用误差大小能清楚地看出第二块表的质量是较高的。

4. 误差的修正

在某些试验工作中，为了获得可靠的测量结果，需要对仪表示值误差进行修正。经常采用的修正方法是在仪表示值上加一个修正值。这个修正值与示值的绝对误差数值相等、符号相反，即

$$\text{修正值} = \text{标准表的示值} - \text{被校表的示值}$$

为了便于使用，常根据仪表各点的修正值在坐标纸上画出曲线，叫做修正曲线。校验后将仪表的示值加上由修正曲线查得的相应的修正值，便得到标准值。标准值就是标准仪表的示值，它比测量仪表的示值准确些，但不是被测量的真实值。

二、仪表的质量指标

仪表的质量指标，是评价仪表质量的标准。为了保证国家量值的统一，保证仪表很好地为生产服务，国家计量部门和仪表制造管理部门，在有关规程中详细规定了各类仪表的质量指标。新生产的仪表在出厂前检验时，及使用中的仪表在按一定的周期进行校验时，若发现不符合指标要求，不允许交付生产使用。制造厂家常把一些质量指标刻在表盘上或

印在说明书内，以便用户了解仪表性能、选择仪表。常见的仪表质量指标有：基本误差、精度、变差、灵敏度、稳定性等。

1. 容许误差、基本误差、精度

容许误差 根据仪表制造质量，在国家标准中规定了各种仪表的最大误差，称为容许误差，它常用引用误差表示。例如，一块量程为 100 公斤/厘米²的压力表，其容许误差为 $\pm 1\%$ ，即容许这块压力表在任何刻度点上有不大于 ± 1 公斤/厘米²的示值误差。

基本误差 仪表在正常工作条件下具有的最大误差，叫做基本误差。仪表的基本误差也用引用误差表示，一般小于或等于仪表的容许误差。

仪表的精度 仪表的质量一般用精度等级来表示。它的数值等于容许误差去掉百分号以后的绝对值。

一般工业仪表的精度等级应符合国家系列（0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4 等等）。各种仪表的标尺盘上均标明精度等级数。

需要指出的是：仪表的精度等级是仪表制造厂家按照国家规定在仪表设计制造时所保证的指标。一块合格的仪表，其测量误差应小于或等于容许误差。用户不能按自己检定的结果随意将仪表升级使用，但在某些情况下可降级使用。

2. 变差

当被测量逐渐上升和逐渐下降时，使仪表指针从上行和下行两个方向趋近并指在某一刻度线上，这时所对应的两个被测量的标准值之差的绝对值称为仪表在该刻度处的示值变差。其计算式为

$$\text{示值变差} = |x_{\text{上升}} - x_{\text{下降}}|$$

式中 $x_{\text{上升}}$ 和 $x_{\text{下降}}$ 分别为被测量平稳增加和减少，而使仪表示值达到同一刻度时所测得的被测量的标准值。

仪表的变差应小于仪表的容许误差。

3. 灵敏度

灵敏度是衡量仪表质量的重要指标之一。它的定义是，仪表的输出变化量与引起该变化量的输入变化量之比值。其计算公式为

$$\text{仪表灵敏度} = \frac{\Delta L}{\Delta X}$$

式中 ΔX 是输入量的变化量， ΔL 是输出量的变化量。 ΔL 可以是指针的直线位移量或偏转角大小，也可以是数码显示中的数字变化量。

仪表的灵敏度可用提高放大系统放大倍数的方法来提高。灵敏度高，则示值的位数可以增加，但是，灵敏度和容许误差要相适应。例如，用一块量程为100公斤/厘米²、精度等级为2.5级的压力表测量水压，仪表示值为90公斤/厘米²，其绝对误差的最大值为 ± 2.5 公斤/厘米²。这说明水压是在87.5公斤/厘米²到92.5公斤/厘米²范围内。如果靠提高灵敏度使仪表示值能读出90.05公斤/厘米²的压力，似乎提高表计灵敏度后示值更准了，其实读数的小数部分0.05是不准的，也就是说这种灵敏度的提高不能提高准确度，因而是毫无意义的。所以常规定仪表的分格值不能小于仪表的允许误差。

4. 示值稳定性

几乎所有仪表的示值都受仪表使用条件的影响。为了表示仪表示值受使用条件的影响程度，引用了仪表示值稳定性这个概念。示值稳定性多用影响系数来表示。例如室内温度变化引起示值变化的影响，可以用温度系数来表示。其数学