

大型火电机组运行维护培训教材

DAXING HUODIAN JIZU YUNXING WEIHU PEIXUN JIAOCAI



热控分册

周尚周 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

大型火电机组运行维护培训教材
DAXING HUODIAN JIZU YUNXING WEIHU PEIXUN JIAOCAI

热控分册

周尚周 编著

常州大学图书馆
藏书章



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《大型火电机组运行维护培训教材》之一，本丛书按专业进行分册，从汽轮机、锅炉、电气、热控、化学等方面较系统、完整地介绍了大型火电机组的工作原理、结构、启动、正常运行、异常运行、运行中的监视与调整、机组停运、事故处理等方面内容，紧密结合现场实际。

本丛书的作者和审稿人均是长年工作在生产一线的技术人员，有较好的理论基础以及丰富的实践经验和培训经验。

本册为《热控分册》，主要包括热工控制系统概论、集散控制系统、单元机组协调控制系统、燃烧管理系统、汽轮机数字电液控制系统、旁路控制系统、汽轮机检测与保护系统等内容。

本丛书既可供从事大型火电机组运行维护工作的技术人员培训使用，也可供电厂管理人员和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

大型火电机组运行维护培训教材. 热控分册/周尚周编著.
北京: 中国电力出版社, 2010
ISBN 978-7-5083-8403-0

I. 大… II. 周… III. ①发力发电-发电机-机组-技术培训-教材②热控制-技术培训-教材 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015831 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 4 月第一版 2010 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 532 千字
印数 0001—3000 册 定价 46.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言



在电力工业快速持续发展的今天，积极发展清洁、高效的发电技术是国内外共同关注的问题，对于能源紧缺的我国更显得必要和迫切。在国家有关部、委的积极支持和推动下，我国大型火电机组的国产化及高效大型火电机组的应用逐步提高。我国现代化、高参数、大容量火电机组正在不断投运和筹建，其发电技术对我国社会经济发展具有非常重要的意义。因此，提高发电效率、节约能源、减少污染，是新建火电机组、改造在运发电机组的头等大事。

为帮助大型火电机组专业技术人员更快、更好地掌握新技术、新设备、新工艺，适应本职工作，了解、掌握高参数、大容量机组的结构、系统及运行知识，增强专业实践操作技能，提高处理异常、故障的应急能力，特组织专家编写本套丛书。希望广大技术人员通过本套丛书的学习，能够提高运行管理能力，做好设备的运行维护工作，从而更加有效地将这些新知识运用到实际的工作中。

本套丛书共分五册，分别为《汽轮机分册》、《锅炉分册》、《电气分册》、《热控分册》、《化学分册》，主要讲述大型火电机组的工作原理、结构、启动、正常运行、异常运行、运行中的监视与调整、机组停运、事故处理等方面内容。全书编写内容紧密结合现场实际，知识全面，数据充分。选材上注重新设备、新技术；内容上将基本理论与成功的实用技术和实际经验结合，有针对性和可操作性，突出“干什么学什么，缺什么补什么”的原则。

本丛书既可供从事大型火电机组运行维护工作的技术人员培训使用，也可供电厂管理人员和高等院校相关专业师生参考。

《热控分册》是本丛书的第四分册，本书由周尚周主编，其中，第一章由武智谋、周尚周编写，第二章由周尚周、梁玉峰编写，第三章由郭彦斌、曹海虹、周尚周编写，第四章由周尚周、李碧清编写，第五章由雷金海、武辉威、卫建玲编写，第六章由侯均超、王晖、王忠编写，第七章由张东升、郝立前编写，全书由周尚周统稿。本书在编写过程中，得到了很多电厂、科研院所及相关技术人员的支持和帮助，在此表示感谢。

由于编者的水平和所收集的资料有限，书中的缺点和谬误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2010年1月

目 录



前言

第一章 热工控制系统概论	1
第一节 热工测量	1
第二节 热工测量仪表	6
第三节 调节执行机构	17
第四节 大型火电机组控制系统	20
第五节 DCS 控制系统概述	22
第六节 热控系统的相关制度	38
第二章 集散控制系统	47
第一节 DCS 系统的技术要求	47
第二节 DCS 系统的通信技术	54
第三节 DCS 系统的抗干扰技术	57
第四节 DCS 系统介绍	66
第五节 DCS 系统管理制度	82
第六节 DCS 系统的运行与检修	85
第七节 DCS 系统故障处理	93
第三章 单元机组协调控制系统	109
第一节 概述	109
第二节 热工自动控制系统的组成	111
第三节 单回路控制系统	112
第四节 锅炉蒸汽温度控制系统	120
第五节 锅炉燃烧控制系统	133
第六节 锅炉给水控制系统	150
第七节 单元机组协调控制	159
第八节 单元机组 AGC 系统	172
第四章 燃烧管理系统	175
第一节 概述	175
第二节 热工保护与顺序控制系统	184
第三节 火焰检测	191
第四节 燃烧器控制系统	204
第五节 燃料安全系统	213

第六节 典型的燃烧器管理系统介绍	222
第五章 汽轮机数字电液控制系统	230
第一节 概述	230
第二节 DEH 系统的基本功能	242
第三节 DEH 系统操作说明	253
第四节 故障诊断及分析	257
第六章 旁路控制系统	270
第一节 概述	270
第二节 典型旁路控制系统	276
第三节 运行与维护	298
第七章 汽轮机检测与保护系统	305
第一节 汽轮机安全监视系统	305
第二节 本特利 3500	317
第三节 飞利浦 MMS6000 系统	321
第四节 汽轮机紧急跳闸保护系统	324
附录 常用名词概念	334

热工控制系统概论

热工控制系统主要由测量装置、执行机构（执行装置）和控制系统组成，测量装置和执行机构从原理和结构上没有新的变化，只是引入了智能化、网络通信接口、微处理器等，已可以实现计算机远程设定甚至控制，逐步向现场总线控制发展，其核心已逐步由计算机控制系统所取代。

近20年来热工自动化专业发展非常快，无论是测量技术控制理论，还是仪表设备控制装置以及控制系统的构成，与20年前相比，都已有了很大的变化，以新原理、新材料、新工艺生产的各种传感器、变送器不断地被开发出来，控制系统、控制装置也是日新月异。

到20世纪80年代初期，由于大规模集成电路和电子计算机技术以及通信理论和技术的发展，国外在对局域网大量研究的基础上，推出了用于过程控制的网络型分散控制系统，即通常说的DCS系统。现在，DCS系统已在我国大、中型火电厂中得以普遍应用。

另外，控制理论发展也很快，在经典的控制理论和现代控制理论的基础上，新的控制理论和控制策略不断涌现，并且在生产实践中得到应用。如专家系统、模糊控制、神经元网络控制技术等。以现代控制理论为基础的自适应最优控制，具有状态变量观测器的状态变量控制以及预估算法控制等都得了广泛的应用。

第一节 热工测量

热工测量是指在热工过程中对各种热工参数，如温度、压力、流量、物位等的测量（热力发电厂中，有时也把成分分析、转速、振动等列入其中）。

在热力发电厂中，通过热工测量可以及时地反映热力设备以及热力系统的运行工况，为运行人员提供操作的依据，并且为热工自动控制准确、及时地提供所需的信号。

因此，热工测量是保证热力设备安全、经济运行及实现自动控制的必要手段。

一、测量的概念和测量方法

（一）测量的定义

所谓测量，就是利用测量工具，通过实验的方法将被测量与同性质的标准量（即测量单位）进行比较，以确定出被测量是标准量多少倍数的过程。所得到的倍数就是被测量的值。

（二）测量方法

测量是一种实验工作，为了及时获得准确可靠的数据，必须根据行业的要求及被测对象的特点，选择合理的测量方法。

（1）根据获得测量结果的程序不同，测量可分为以下几方面。

1）直接测量。就是将测量直接与所选用的标准量进行比较，或者用预先标定好的测量仪表进行测量，从而直接得出测量值的方法。如用尺测长度，用玻璃管水位计测水位等。

2）间接测量。通过直接测量与被测量有确定函数关系的其他各个变量，然后将所得的



数值代入函数式进行计算，从而求得被测量值的方法称为间接测量。例如，用平衡容器测量汽包水位，通过测量导线电阻、长度及直径求电阻率等。

3) 组合测量。组合测量是在测量出几组具有一定函数关系的量值的基础上，通过解联立方程来求取被测量的方法。例如，在一定温度范围内铂电阻与温度的关系。

(2) 根据检测装置动作原理不同，测量可分为以下几种方法。

1) 直读法。被测量作用于仪表比较装置，使比较装置的某种参数按已知关系随被测量发生变化，由于这种变化关系已在仪表上直接刻度，故直接可由仪表刻度尺读出测量结果。例如，用玻璃管水银温度计测量温度时，可直接由水银柱高度读出温度值。

2) 零值法（平衡法）。将被测量与一个已知量进行比较，当二者达到平衡时，仪表平衡指示器指零，这时已知量就是被测量值。例如，用天平测量物体的质量。

3) 微差法。当被测量尚未完全与已知量相平衡时，读取它们之间的差值，由已知量和差值可求出被测量值。用不平衡电桥测量电阻就是用微差法测量的例子。零值法和微差法测量对减小测量系统的误差很有利，因此测量准确度高，应用较为广泛。

(3) 根据仪表是否与被测对象接触，测量可分为以下几种方法。

1) 接触测量法。仪表的一部分与被测对象相接触，受到被测对象的作用才能得出测量结果的测量方法。例如用玻璃管水银温度计测温度时，温度计的温包应该置于被测介质之中，以感受温度的高低。

2) 非接触测量法。仪表的任何部分都不必与被测对象直接接触就能得到测量结果的测量方法。例如用光学高温计测温，是通过被测对象所产生的热辐射对仪表的作用而实现测温的，因此仪表不必与对象直接接触。

二、热工测量仪表的组成与分类

(一) 组成

热力发电厂中的热工参数，多数不能直接测量，一般总是借助于一些物质的物理、化学性质的关联性把测量参数转变为其他便于测量的相关量，以间接得出被测参数的数值。因此，各种测量仪表尽管工作原理、结构外形等有所不同，但从其各部分结构的功能和作用上看，总不外乎由三部分组成，即感受部件、传输变换部件及显示部件。

1. 感受部件

感受部件也称一次仪表，它是测量仪表的感受部分直接与被测对象相联系（但不一定直接接触）。它的作用是感受被测参数的大小和变化，并且必须随着被测参数变化产生一个相应的信号输出到传输变换部件。

仪表能否快速、准确地反映被测参数的大小，很大程度上取决于感受部件。对感受部件的具体要求是：

(1) 输出信号与被测参数的变化之间呈单值函数关系，最好呈线性关系，并有较高的灵敏度，即有较小的被测量变化时，输出信号就有较显著的变化。

(2) 对非被测量的变化，感受部件应不受影响或受影响极小。

(3) 反应快、迟延小。

感受部件要完全满足上述条件一般比较困难，因而通常在仪表内部采取一些措施加以弥补。例如设置中间放大环节以弥补感受件灵敏度的不足，设置补偿环节以克服非被测量的影响以及采用线性化环节克服非线性等。

2. 传输变换部件

传输变换部件也称中间件，它的作用是将感受件输出的信号，根据显示件的要求传送给显示件。因此有的中间件只是单纯起传递作用，有的则可放大感受件发出的信号，还有的在感受件输出信号不便于远距离传送或者因某些特定要求需要变为某种统一的信号时，中间件可以根据要求将感受件的输出信号变换为相应的其他输出量，如电流、电压等，再送到显示部件。这种传输变换部件往往构成独立完整的器件，通称为变送器。

3. 显示部件

显示部件也称二次仪表，其作用是接受传输变换部件送来的信号并将其转换为测量人员可以辨识的信号。

根据显示方式不同，仪表一般可分为模拟显示仪表、数字显示仪表和屏幕显示仪表。模拟显示仪表通过指针、液面、光标或图形图像等形式反映被测量的连续变化，数字显示仪表则用数字量显示出被测量值的大小，屏幕显示仪表通过液晶屏或 CRT 显示屏以图形、数字等多种形式显示被测量的大小。

有些测量仪表根据不同的需要，还具有记录、累计、报警及调节等功能，有些还可以巡回检测多个不同的参数。

(二) 仪表的分类

根据仪表的用途、原理及结构等不同，热工仪表可分为多种类型。

(1) 按被测参数不同，可分为温度、压力、流量、物位、成分分析及机械量（位移、转速、振动等）测量仪表。

(2) 按仪表的用途不同，可分为标准用、实验室用及工程用仪表。

(3) 按显示特点和功能不同，可分为指示式、记录式、积算式、数字式及屏幕式仪表。

(4) 按工作原理不同，可分为机械式、电气式、电子式、化学式、气动式和液动式仪表。

(5) 按安装地点不同，可分为就地安装式及盘用仪表。

(6) 按使用方式不同，可分为固定式和便携式仪表。

在热工生产现场，大多采用结构牢固，能适应较为恶劣环境的工程用仪表，标准仪表则常作为实验室校验工程用仪表以及标准传递之用。

三、测量误差及其种类

(一) 测量误差

测量工作是一种实验工作，所以在进行测量工作时，由于仪表本身不完善，测量人员操作不当，测量时客观条件的变化以及受人类自身认识水平的局限等原因，都会使得测量结果与被测量的真实值之间出现不符的现象，即存在测量误差。测量误差一般有以下三种表示方法。

1. 绝对误差

绝对误差是指仪表的测量值与被测量的真实值之间的差值。在测量过程中测量误差的存在是不可避免的，任何测量值都只能近似反映被测量的真实值。

在实际的热工测量中，绝对准确的真实值是得不到的。因此，在常规的测量中，我们一般把比所用的测量仪表更准确的标准表的测量结果作为被测量的真实值。

2. 相对误差



相对误差是仪表的绝对误差与被测量的真实值之比，用百分数表示。对于大小不同的测量值，相对误差比绝对误差更能反映测量的准确程度，相对误差越小，测量的准确性越高。

3. 折合误差

绝对误差和相对误差的表示形式都不能用于判断测量仪表的质量，因为，两只仪表如果绝对误差相同，但仪表的量程不同，显然量程范围大的那只仪表准确度更高些。所以，判断仪表的质量时一般不采用绝对误差和相对误差的表示形式，而采用折合误差。

折合误差也称为引用误差，是指仪表的绝对误差与该仪表的量程范围之间的百分比。

(二) 测量误差的分类

根据误差的性质不同，可分为以下三个大类。

1. 系统误差

在相同条件下多次重复测量同一被测量时，如果每次的测量值误差基本保持不变或者按一定规律变化，则这种误差被称为系统误差。

系统误差通常是由于仪表的测量方法或测量系统本身不够完善，或者仪表使用不当，以及测量时外界条件变化等原因造成的。例如，仪表的零位变化或者量程未调整好，仪表未在规定的温度下使用，仪表的安装不符合要求等。

在掌握了系统误差产生的原因后，可以对仪表加以校对。可以通过采用正确的使用方法，在仪表规定的条件下使用仪表，对测量仪表或测量系统进行完善，或对测量结果加修正值等措施，来设法消除系统误差，以提高测量的准确程度。

系统误差的大小表明了测量结果偏离真实值的程度，即“正确度”的大小。系统误差越小，测量的正确度越高。

2. 随机误差

在设法消除了系统误差之后，在相同条件下，对同一量值进行多次反复测量（亦称等精度测量）时，也会出现绝对值和符号不确定的微小误差，这种误差称为随机误差，也称为偶然误差。

随机误差大多数是由于测量过程中大量彼此独立的微小因素对测量的影响造成的，这些因素往往是尚未知道和难以控制的。随机误差表面看好像无任何规律，但仔细研究却可以发现，随着重复测量的次数增加，随机误差的出现还是有规律可循的，即绝对值越小的误差出现的机会越多，正负误差出现的机会基本相同。

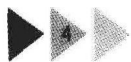
随机误差的大小表明了一个测量系统的测量“精密度”。如果在一组等精度测量中，绝对值小的随机误差出现率越高，也就是说随机误差越小，则表明该测量系统的测量“精密度”越高，即多次测量值的一致性越好。

3. 疏忽误差

疏忽误差是由于测量人员在测量过程中疏忽大意、仪表的误动作等原因造成的测量误差，也称为粗大误差。

疏忽误差一般数值较大，严重影响测量结果的真实性，所以含有疏忽误差的测量值也被称为坏值。因此，测量人员在测量过程中应有高度的责任感和熟练的操作技术，尽量避免坏值的出现。

坏值对测量是没有意义的，应该从测量结果中剔除。鉴别和剔除坏值也要遵循一定的准则。



很显然，一个好的测量系统，应该尽量减小测量的系统误差和随机误差，并避免疏忽误差的出现。这就要求不断完善测量仪表的工作原理，不断提高测量工作人员的技术素质。

四、仪表的质量指标及仪表的校验

(一) 仪表的质量指标

仪表的质量指标是评估仪表质量优劣的标准，它与仪表的设计和制造质量有关，是正确选择和使用仪表的重要依据，也是仪表工校验仪表、判断仪表是否合格的重要依据。

1. 仪表的准确度（精确度）等级及允许误差

准确度是正确度和精密度的总称。正确度表征系统误差的大小；精密度表征随机误差的大小。因此，仪表的准确度是表示测量结果与被测真值之间综合的接近程度。

国家根据各类仪表的设计制造质量不同，对每种仪表都规定了正常使用时允许其具有的最大误差，即允许误差。允许误差是一种极限误差，在仪表的整个量程范围内，各示值点的误差都不能超过允许误差，否则该仪表为不合格仪表。

允许误差去掉百分号后取绝对值，就是该仪表的准确度等级，又称精确度等级。

2. 仪表的基本误差和附加误差

在规定的技术条件下（一般就是标准条件），仪表在全量程范围上各示值点的误差中，绝对值最大者叫做该仪表的基本误差。显然，仪表的基本误差应小于或等于允许误差，否则为不合格。

仪表未在规定的正常工作条件下工作，或由外界条件变动引起的额外误差，称为附加误差。

3. 变差

在规定的使用条件下，使用同一仪表进行正行程和反行程测量时，在相同示值点上，正行程测量值之差的绝对值称为此刻度点的变差。在全量程范围内，仪表各刻度点的变差中的最大者称为仪表的变差。变差一般是由于仪表的机械传动系统的摩擦、间隙以及弹性元件的弹性滞后等原因造成的。

变差是反映仪表精密程度的一个指标，仪表的变差应小于或等于仪表的允许误差，否则该仪表视为不合格。

4. 重复性

在同一工作条件下，按同一方向对同一被测量进行多次重复测量时，所得的多个测量值的一致程度称为重复性。重复性是以全量程上最大的不一致值相对于量程范围的百分数来表示的。

5. 灵敏度和不灵敏区

灵敏度是指仪表感受被测参数变化的灵敏程度，或者说是对被测量变化的反应能力，在稳态下，用输出变化增量对输入变化增量的比值表示。

仪表能响应的输入信号的最小变化则被称为仪表的分辨率，也称灵敏度限。

不能引起仪表输出变化的输入信号的范围，即缓慢地向增大或减小方向改变输入信号时，仪表输出不发生变化的最大输入变化幅度相对于量程的百分数，称为不灵敏区。

分辨率和不灵敏区从不同的角度描述了仪表的灵敏性。一般来说，仪表的灵敏度越高，其分辨率也越高，读数时也越容易准确。测量仪表的灵敏度可以用增大放大系统的放大倍数的方法来提高。但必须指出，单纯加大灵敏度并不改变仪表的基本性能，即仪表准确度并没



有提高,相反有时还会出现振荡现象,造成输出不稳定。这时可能出现灵敏度很高,但准确度却下降的现象。为了防止准确度的下降,常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值;仪表灵敏度限的数值应大于仪表允许误差绝对值的一半。

6. 漂移

在环境及工作条件不变的前提下,保持一定的输入信号,经过一段时间后,输出的变化称为漂移。它是以前仪表全量程上输出的最大变化量对量程的百分比来表示的。

漂移是表示仪表稳定性的一个重要指标,它通常是由于元件的老化、磨损、污染及弹性元件失效等原因造成的。

(二) 仪表的校验

在工业生产中,为了确保测量结果的真实性和可靠性,对使用了一定时间之后以及检修过的仪表,都应进行校验,以确定仪表是否合格。仪表校验的步骤一般包括外观检查、内部机件性能检查、绝缘性能检查及示值校验等。示值校验一般是判断仪表的基本误差、变差等是否合格。示值校验方法通常有两种。

1. 示值比较法

用标准仪表与被校仪表同时测量同一参数,以确定被校仪表各刻度点的误差。校验点一般选取被校表上的整数刻度点,包括零点及满刻度点不得少于五点(校验精密仪表时,校验点不得少于七点),校验点应基本均匀分布于被校仪表的整个量程范围。各校验点的误差不超过该仪表准确度等级规定的允许误差则认为合格。

校验仪表时所用的标准仪表,其允许误差应不大于被校表允许误差的三分之一(绝对误差值),量程应等于或略大于被校仪表的量程。

2. 标准状态法

利用某些物质的标准状态来校验仪表。例如,利用一些物质(如水、各种纯金属)的状态转变点温度来校验温度计,利用空气中含氧量一定的特性来校验工程用氧量计等。

第二节 热工测量仪表

一、压力测量仪表

(一) 概述

在火力发电单元机组中,热力过程要求在一定的压力或一定的压力变化范围内进行,需测量或控制压力以保证工艺过程的正常进行,防止生产设备因过压而引起破坏或爆炸。同时,通过测量压力或压差可间接测量其他物理量,如温度、液位、流量、密度与成分量等。因此说,压力的监控是生产过程控制中一个非常重要的环节,它对机组的安全经济运行起着决定性作用,必须重视压力的测量及其准确性。

在各类压力测量仪表中,传感器采用的是应变原理的膜片、弹簧管;变送器采用的是位移检测原理或电阻电容检测原理,其一般为两线制 DC24 供电,4~20mA 信号输出;二次仪表则以数字显示为多。

火力发电单元机组程控保护中常涉及压力测量,锅炉主保护有炉膛压力、火检冷却风压、主蒸汽压力、汽包水位(差压);汽轮机主保护有润滑油压力、抗燃油压力、凝汽器真空、背压;主要辅机有辅机轴承润滑油压力及电动机轴承润滑油压力、冷却水(风)压力

等。调节控制中涉及压力测量的重要参数有调节级压力、主蒸汽压力、汽包压力、汽包水位(差压)、除氧器压力、排汽压力、各级抽汽压力、给水压力、炉膛压力、一次风压力、二次风压力、磨煤机出入口差压等。

(二) 常用压力测量仪表

就地显示压力表一般采用弹性式压力表,如弹簧管压力表、波纹管压力表和膜盒压力表等。火电厂中汽、水、油系统一般都采用弹簧管压力表;风烟系统、制粉系统、炉膛压力一般都采用膜盒压力表。常用的压力表如图 1-1 所示。



图 1-1 常用压力表

1. 弹簧管压力表

弹簧管压力表的工作原理是:在压力的作用下,弹簧管的自由端产生位移,该位移量通过拉杆带动传动放大机构,使指针偏转,并在刻度盘上指示出被测压力值。弹簧管压力表主要用于就地指示(有些介质要用特殊压力表)。

2. 膜盒压力表

膜盒压力表的工作原理是:被测压力通过管接头引入膜盒,在压力的作用下,薄膜盒产生变形,该位移量通过拉杆带动传动放大机构,使指针偏转,并在刻度盘上指示出被测压力值。膜盒压力表主要用于就地指示,用于腐蚀性、高黏度、易结晶、含固体颗粒的介质。

3. 电接点压力表

主要用于就地,报警远传。

4. 电阻远传压力表

该类压力表主要用于就地显示,同时将电阻信号远传。电阻远传压力表精度低,稳定性

不高，价格低，用于不重要的场合。

5. 压力变送器

压力变送器就是将被测压力转换成电量进行测量，再输出 4~20mA 的标准信号进行远传。

压力变送器有力平衡式变送器、电感式变送器、电容式变送器、振弦式变送器、扩散硅式变送器等。火电厂中最常用的是电容式压力变送器和扩散硅式压力变送器。变送器如图 1-2 所示。

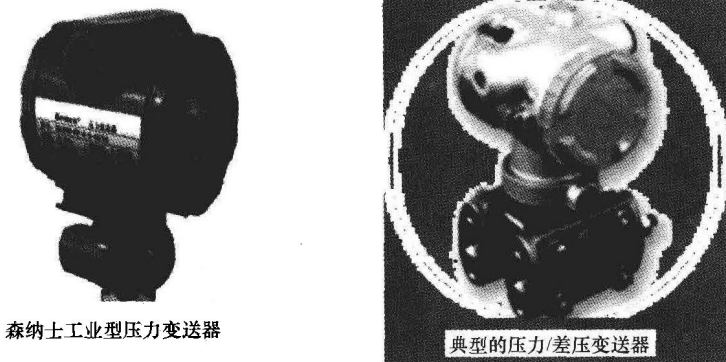


图 1-2 压力变送器

常用的压力变送器类型有以下几种：

(1) 1151 系列 (CECY, CECC)。由罗斯蒙特开发推出，精度有 0.2、0.25 和 0.5 级，输出信号为 4~20mA HART 数字信号。其原理及特点：电容传感器、力感应电容，两线制、电源 12~45V DC、小型、抗振、稳定、智能型，有隔爆型、本安型。

(2) 固态压阻硅系列。精度有 0.15、0.25、0.5 和 1.0 级，输出信号为 4~20mA 数字信号。其原理及特点：硅应变电阻传感器、力感应电阻，两线制、电源 10~55V DC、小型、稳定性较好，有隔爆型、本安型。

(3) EJA 系列。20 世纪 90 年代推出，精度有 0.075、0.1 和 0.2 级，输出信号为 4~20 mA BRAIN 或 HART 数字信号。其原理及特点：单晶硅谐振式传感器、力感应频率，两线制、电源 16.4~42V DC，稳定、连续四年不需校验，智能型。

(三) 压力测量仪表的投运

(1) 开启一次门，使取压管充满被测介质。

(2) 二次门为三通门时，缓慢开启排污门，利用被测介质冲洗取压管，干净后关闭排污门。

(3) 缓慢开启二次门，投入压力测量仪表。测高温介质的压力，应待取压管内有凝结水或高温介质的温度降至不烫手时，再开启二次门。

(4) 测量蒸汽或液体压力时，压力表有指针跳动现象，一般是取压管内有空气造成的。应打开放气阀门进行放气，若无放气门，应先将二次门关闭，稍微松开仪表接头，再稍微打开二次门，放出取压管内空气，再关闭二次门，拧紧仪表接头，重新打开二次门投入仪表。

(5) 真空压力表投入后，应进行严密性试验。将一次门关闭，15min 内指示值的降低不大于 3%。

(6) 带隔离容器的仪表投运前应先将隔离容器灌隔离液，并在运行中检查是否泄漏，防止隔离液漏光后，侵蚀介质进入仪表。

(四) 差压测量仪表的投运

(1) 检查差压测量仪表正、负压门关闭，平衡门打开。

(2) 开启排污门，缓慢打开一次门冲洗取压管，冲洗不少于两次后关闭排污门。

(3) 若管路中有空气门，开空气门排气后关闭空气门。

(4) 待取压管冷却后，缓慢开启变送器正压门，当测量介质为蒸汽或液体时，待充满凝结水或液体后，松开变送器正、负测量室排污螺钉，待介质逸出并排净空气后拧紧螺钉，检查渗漏和仪表零点。

(5) 关闭平衡门，缓慢打开负压门。

二、温度测量仪表

(一) 概述

温度是表征物体冷热程度的物理参数。如果温度不同的两物体互相接触，由于它们之间有温度差存在，热量就会从高温物体向低温物体传递，假设这两个物体与外界没有能量交换，则经过一段时间后两者就会达到热平衡状态，即两者温度相等。若两物体之一是温度传感器，另一个是被测物体，当两者达到热平衡时，温度传感器就充分反映了被测物体的温度，接触式测温法就是基于这一原理。

温度不能直接测量，而是借助于物质的某些物理特性是温度的函数，通过对某些物理特性变化量的测量间接地获得温度值。

火电厂热工测量控制系统中的温度测量传感器，一般采用热电偶或热电阻，如图 1-3 所示。少数地方采用其他热敏元件，如双金属膜水银温包作为温度测量的一次元件。



图 1-3 工业用热电阻（热电偶）

300MW 以上的机组一般是热电偶或热电阻信号直接进入电子室，由 DCS 系统中专门的信号调整模件转换成适用于控制系统的信号。

热电偶的冷端补偿，依据控制系统的不同而采用各种不同的方法。现通常采用的方法有：恒温箱法，即用热电阻测量接线盒中的温度，然后在软件中进行修正；冷端补偿器法，即补偿导线直接进入电子室由 DCS 系统的信号调整模件进行补偿处理。

火力发电单元机组程控保护中常涉及温度测量，锅炉主保护有：主蒸汽温高、再热器出口汽温高；汽轮机主保护有：支持轴承或推力轴承温度高。汽轮机排汽缸温度高。主要辅机有：辅机轴承温度、电动机轴承温度、电动机定子温度等。调节控制中涉及压力测量的重要参数有：主汽温度、再热汽温度、各级过热器出/入口汽温、各级再热器出/入口汽温、排汽温度、各级抽汽温度等。温度测量仪表的种类很多，火电厂多采用热电阻和热电偶测温。



根据测量方法不同，温度测量仪表可划分为接触式测温仪表和非接触式测温仪表两大类。

接触式测温法是使感温元件直接与被测介质接触，感受被测介质的温度变化。因此这种测量方法比较直观可靠，但在有些情况下，它将影响被测温度场的分布，带来测量误差；另外在某些介质中，如高温或具有腐蚀性时，对测温元件的寿命要有很大影响。

接触式包括膨胀式温度计、热电阻温度计和热电偶温度计。

非接触式测温仪表是利用物体的热辐射特性与温度之间的对应关系，对物体的温度进行非接触测量的仪表，如光学高温计、比色高温计和辐射高温计等。

(二) 膨胀式温度计

(1) 固体膨胀式—双金属温度计。

(2) 液体膨胀式—水银（有机液）玻璃温度计。

膨胀式温度计测温原理为受热膨胀特性，常用测量范围为 $-200\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。主要特点是结构简单，价格低廉，用于就地测量。

(三) 热电偶温度计

热电偶的工作原理是：将热电偶的热端放在温度有变化的场所时，就能产生正比于温度变化的电动势，该电动势可以直接用温度单位进行分度。火电厂中，热电偶主要用于主汽温、再热汽温、烟气温度等较高温度的测量。

其特点是测温范围广，精确度高，远距离传送，适合于中高温测量；但需要冷端温度补偿，需要补偿导线。

热电偶元件主要有铂铑₁₀—铂（S型），铂铑₃₀—铂铑₆（B型），镍铬—镍硅（K型），铜—铜镍（T型），镍铬—铜镍（E型），铁—铜镍（J型）合铂铑₁₃—铂（R型），其测量范围分别为 $0\sim 1600$ 、 $600\sim 1800$ 、 $-200\sim 1300$ 、 $-200\sim 400$ 、 $-200\sim 900$ 、 $-40\sim 750$ 和 $0\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 。

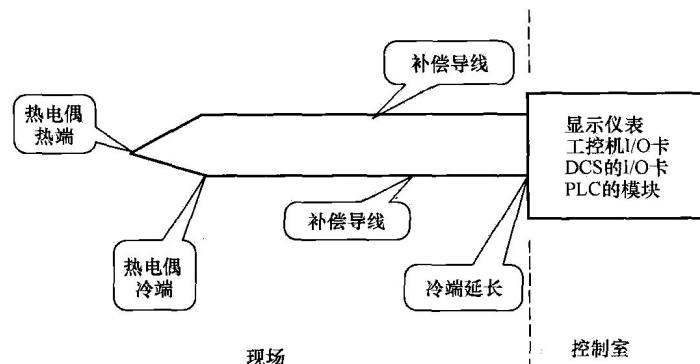


图 1-4 热电效应接线原理

热电效应原理即把不同的导体连接成闭合回路，其两个接点分别置于不同的温度中，则回路中就产生热电动势。其接线原理图如图 1-4 所示。

1. 热电偶的主要特点

(1) 可测温范围广，为 $0\sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，适于中、高温测量。

(2) 信号可远传，便于集中检测和自动控制。

(3) 测温精确度较高，动态响应速度快。

(4) 可测局部温度。

(5) 结构简单，便于维修。

(6) 需进行冷端温度补偿，在低温段测量精确度较低。

2. 热电偶的冷端温度补偿

根据热电偶测温原理，冷端温度恒定使热电偶产生的热电动势仅与热端温度有关，但在实

际测温中，热电偶冷端的环境温度不可能稳定，因此要对冷端温度进行补偿，以使测温结果准确。

(1) 热电偶冷端温度补偿的方法。

- 1) 热电势修正法。
- 2) 补偿导线法。
- 3) 冷端恒温法。
- 4) 辅助热电偶法。
- 5) 动圈仪表机械零点调整法。

(2) 补偿导线法。热电偶冷端温度补偿多采用补偿导线法。使用补偿导线，能将热电偶的冷端从高温处移到环境温度较稳定的地方，同时节省大量价格较高的贵金属和性能稳定的稀有金属；还便于安装和线路敷设；用较粗的补偿导线代替热电偶线还可减小回路电阻，利于信号采集和正常工作。

(四) 热电阻温度计

热电阻的工作原理是利用金属电阻值随温度变化的特性，该电阻值的变化量与温度的变化量成线形正比的关系。

热电阻温度计的主要特点：

- (1) 精确度高，铂电阻温度计被用做基准温度计。
- (2) 灵敏度高，输出信号较强，易于远距离传送。
- (3) 测量范围为 $-200\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，适于低、中温度测量。
- (4) 具有较好的线形度，复现性和稳定性也较好。
- (5) 体积较大，测点温度较困难。
- (6) 热惯性较大，不利于动态测温。

火电厂中，最常用的热电阻是 Cu50 和 Pt100 两种，主要用于设备轴承温度、定子温度、油系统、水系统等较低温度的测量。其接线原理图如图 1-5 所示。

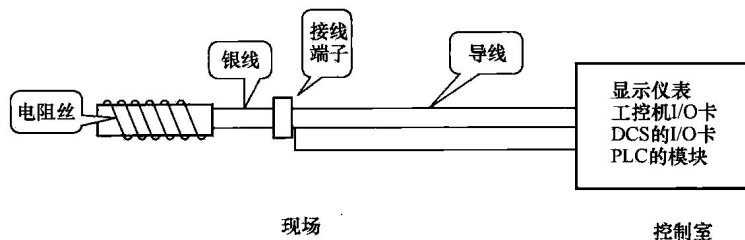


图 1-5 热电阻温度计接线原理

三、流量测量仪表

(一) 概述

在火电厂中，需要实时地掌握燃料量、空气量及燃烧情况。对工质流量要进行测量，以控制生产过程中的工作状况，衡量设备的效率和经济核算的重要指标。所以流量测量是火电厂中能源管理的重要手段。

目前工业技术发展很快，对工质流量测量精度要求更高，测量的流体从单相固定物料传输（如单相气体、液体）到混相流体，测量条件从高温到极低温，从高压到低压。