

HUODIANCHANG REGONG BAOHU
YUANLI JI YINGYONG

火电厂热工保护 原理及应用

王永建 史西银 许红彬 张同卫 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火电厂热工保护 原理及应用

王永建 史西银 许红彬 张同卫 编著

HUODIANCHANG REGONG BAOHU
YUANLI JI YINGYONG



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分三篇,第一篇介绍了热工保护系统的常用仪表及设备,包括热工元件、汽轮机危急跳闸系统(ETS)、汽轮机监测保护系统(TSI)、炉膛安全监控系统(FSSS)。第二篇是本书的核心内容,主要介绍了热工联锁保护系统主要逻辑内容,包括联锁保护的基本知识、典型设备联锁保护解析及试验维护方法、辅机联锁保护项目、机电炉大联锁保护及试验、快速减负荷(RB)系统、停炉不停机系统(FCB)。第三篇主要从热工保护设计、管理及预防角度出发深刻剖析了实现发电机组稳定的管理及技术手段,包括重大事故预防措施有关要求及实现方法、火力发电厂热控保护设计规程及具体实现方法、重要保护计算机管理方法、热工保护系统典型故障及分析。本书是作者历年来实际工作经验的总结,本书的重要特点是实用性和科学性,每一套设备或系统的介绍都重在试验和故障处理,每一个知识点都有详细的图例说明,每一项设计要求都有具体的实现方法。

本书主要为火力发电行业设计、运行、维护人员学习和工作参考使用,也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂热工保护原理及应用 / 王永建等编著. —北京:
中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8366-8

I. 火… II. 王… III. 热电厂-热工操作-保护装置
IV. TM621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第005233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

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.5印张 375千字

印数0001—3000册 定价28.00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



随着我国电力工业的快速发展,机组装机容量和区域电网容量不断扩大,电力系统及电力生产稳定性越来越成为电力工作者考虑的首要问题,本书从作者多年来的实际工作经历出发,系统总结了燃煤火力发电厂热控保护系统的实践经验,其设计思想及理念同样适用于其他行业生产过程控制系统。

本书共分三篇,第一篇介绍了热工保护系统的常用仪表及设备,包括热工元件、汽轮机危急跳闸系统(ETS)、汽轮机监测保护系统(TSI)、炉膛安全监控系统(FSSS)。第二篇是本书的核心内容,主要介绍了热工联锁保护系统主要逻辑内容,包括联锁保护的基本知识、典型设备联锁保护解析及试验维护方法、辅机联锁保护项目、机电炉大联锁保护及试验、快速减负荷(RB)系统、停炉不停机系统(FCB)。第三篇主要从热工保护设计、管理及预防角度出发深刻剖析了实现发电机组稳定的管理及技术手段,包括重大事故预防措施有关要求及实现方法、火力发电厂热控保护设计规程及具体实现方法、重要保护计算机管理方法、热工保护系统典型故障及分析。

本书是作者历年来实际工作经验的总结,本书的重要特点是实用性和科学性,每一套设备或系统的介绍都重在试验和故障处理,每一个知识点都有详细的图例说明,每一项设计要求都有具体的实现方法。

本书主要为火力发电行业设计、运行、维护人员学习和工作参考使用,也可供高等院校师生参考。

限于作者水平,错误与不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

二〇〇九年一月



前 言

第一篇 保护常用仪表、系统、试验及故障处理

第一章 保护常用检测元件及仪表	2
第一节 温度测量	2
第二节 压力测量仪表	5
第三节 液位测量仪表	8
第四节 机械量测量仪表	15
第二章 危急跳闸系统	21
第一节 冗余 PLC 组成的 ETS	21
第二节 采用 DCS 的 ETS	26
第三章 汽轮机监测保护系统	32
第一节 TSI 监视的具体参数及系统组成	32
第二节 TSI 系统传感器安装及校验方法	35
第三节 TSI 系统的监测器	38
第四节 TSI 系统组态	51
第五节 TSI 系统故障判断及处理	55
第四章 炉膛安全监控系统 FSSS	62
第一节 概述	62
第二节 系统主要设备	65
第三节 系统主要功能	85
第四节 系统主要功能维护与故障排除	93
第五章 机组调节保安系统	97
第一节 EH 供油系统	97
第二节 执行机构	99
第三节 危急保安系统	103

第二篇 300MW 机组联锁保护项目及试验

第六章 汽轮机、锅炉保护项目及试验	114
第一节 联锁保护的基本知识	114
第二节 典型设备联锁保护解析及试验维护方法	117

第三节 300MW 机组联锁保护项目	121
第七章 机电炉大联锁保护及试验	140
第一节 大联锁的组成	140
第二节 大联锁试验及措施	145
第三节 大联锁回路的维护及常见故障处理	147
第八章 RB 系统及试验	149
第一节 RB 技术方案	149
第二节 RB 试验措施	152
第三节 RB 先进方式研究	154
第九章 FCB 系统及试验	156
第一节 FCB 技术方案	156
第二节 FCB 系统验收测试规范	158

第三篇 火力发电机组保护相关法规、安全标准、 规程要求及技术实现方法

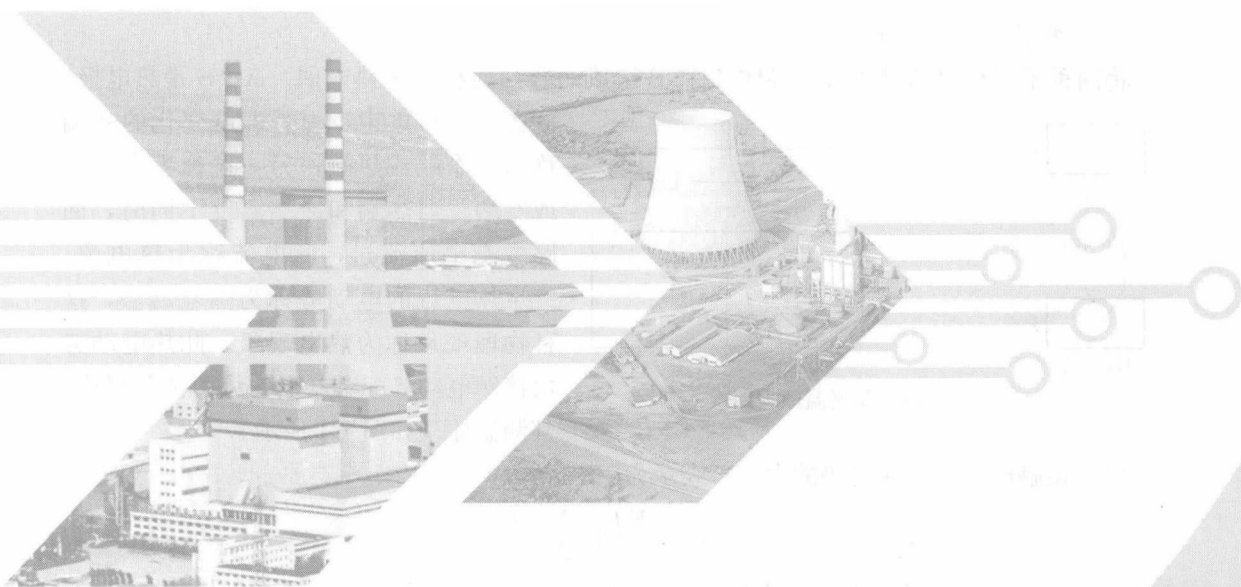
第十章 重大事故预防措施有关要求及实现	162
第十一章 火力发电厂热控保护设计规程及具体实现方法	178
第十二章 重要保护计算机管理的实现	183
第十三章 保护系统典型故障及分析	187
第一节 某厂高加满水事故分析	187
第二节 某电厂 4 号炉“12·16”重大事故	190
附录 A 重大事故预防措施（摘录）	196
附录 B DL 5000—2000《火力发电厂设计规程》（摘录）	217
附录 C JJG 544—1997《压力控制器校验规程》	225
附录 D 热控专业常用表格	229
参考文献	240

火电厂热工保护原理及应用



第一篇

保护常用仪表、系统、试验及 故障处理



第一章

保护常用检测元件及仪表

随着火力发电机组向大容量、高参数的方向发展，需要监视的热力系统参数越来越多，热工保护系统也是基于对参数的测量，并对超越参数正常范围后触发保护动作或报警。本章对热工仪表中的检测元件进行简单的介绍，主要从元件简单原理、用途及经常发生的故障等方面进行探讨。

第一节 温度测量

温度测量的主要元件是热电偶和热电阻，这两种元件一般用于风机或水泵的轴瓦温度保护的测量，当然绝大部分的温度显示也是采用这两类元件测量的。

一、热电偶

1. 热电偶的测温原理

将两种不同材料的导体或半导体 A 和 B 组成闭合回路称之为热电偶。A、B 是热电极。

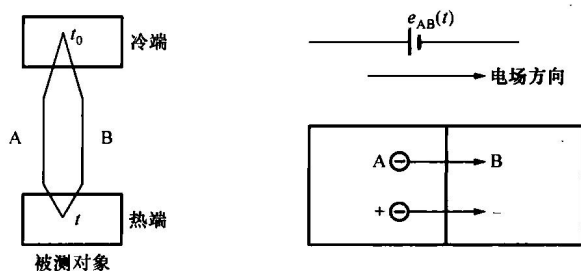


图 1-1 热电偶测温原理图

放在被测对象中，感受温度变化的一端称为工作端或热端，另一端称为自由端或冷端。当热端和冷端温度不同时，回路中有电流流过，此电流称为热电流，产生热电流的电动势称为热电动势，这种物理现象称为热电现象。此热电动势由接触电动势和温差电动势两部分组成。其测温原理如图 1-1 所示。

(1) 接触电势。接触电势的大小可表示为

$$e_{AB}(t) = \frac{KT}{e} \ln \frac{N_A(t)}{N_B(t)} \quad (1-1)$$

式中 e ——单位电荷，等于 4.802×10^{-10} 绝对静电单位；

K ——波尔兹曼常数，等于 $1.38 \times 10^{-28} \text{ J/K}$ ；

$N_A(t)$, $N_B(t)$ ——金属 A、B 在温度 t 时的自由电子密度；

T ——A、B 金属接触处的绝对温度，K。

(2) 温差电动势。温差电势是同一金属体两端温度不同而产生的。

$$e_A(t, t_0) = \frac{K}{e} \int_{t_0}^t \frac{1}{N_A} dN_A(t) \quad (1-2)$$

式中 $N_A(t)$ ——金属 A 的电子密度，它是温度函数。



(3) 总电势。

在热电偶回路中, 如果 $t > t_0$, $N_A(t) > N_B(t)$, 则在回路内便产生两个接触电势 $e_{AB}(t)$ 和 $e_{AB}(t_0)$, 两个温差电势 $e_A(t, t_0)$ 和 $e_B(t, t_0)$, 各电势的方向如图 1-2 所示。回路的总电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 等于回路中各电势的代数和, 即

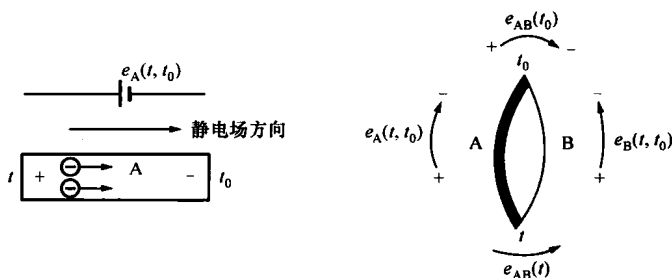


图 1-2 热电偶电势示意图

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_B(t, t_0) - e_{AB}(t_0) - e_A(t, t_0) \quad (1-3)$$

$$E_{AB}(t, t_0) = [e_{AB}(t) + e_B(t) - e_A(t)] - [e_{AB}(t_0) + e_B(t_0) - e_A(t_0)]$$

式 (1-3) 表明热电偶的热电势是热电偶两端温度的函数之差, 其大小取决于热电偶两个热电极材料的性质和两端接点温度, 而与热电极几何尺寸无关。

如果保持热电偶冷端温度 t_0 恒定不变, 对一定材料的热电偶其 $e_{AB}(t_0)$ 亦为常数, 设为 C , 则热电偶的热电势只与热电偶热端温度 t 有关, 若测得 $E_{AB}(t, t_0)$ 值, 便可知温度 t 值, 这就是热电偶测温原理, 即

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - C \quad (1-4)$$

2. 热电偶的基本型号

热电偶的基本型号为:

铂铑 10—铂热电偶 (分度号 S)、铂铑 13—铂热电偶 (分度号 R)、铂铑 30—铂铑 6 热电偶 (分度号 B)、镍铬—镍硅 (镍铬—镍铝) 热电偶 (分度号 K)、镍铬—康铜热电偶 (分度号 E)、铁—康铜热电偶 (分度号 J)、铜—康铜热电偶 (分度号 T)、镍铬—金铁热电偶 (分度号 NiCr—AuFe0.07)、铜—金铁热电偶 (分度号 Cu—AuFe0.07)。

电厂常用的热电偶是镍铬—镍硅热电偶 (分度号 K), 也是当前分散控制系统 (DCS) 普遍支持的一种型号。

3. 热电偶的校验

热电偶经过长期使用后, 由于氧化、腐蚀等原因, 其材料的性质将会逐渐变化, 热特性也会随之改变, 造成测量误差。因此, 必须对热电偶定期进行校验, 如超出允许误差则应报废。

热电偶的校验方法有两种。一种是定点法, 就是在国际温标规定的定点温度 (如锌、银、金、铟等金属的相平衡点温度) 下进行校验。这种方法的特点是精确度高, 但设备复杂, 操作复杂。另一种是比较法, 它是广泛采用的方法, 是用标准热电偶与被校热电偶测同一稳定对象的温度来进行的。一般用管式电炉作为被测对象, 通过微机控制器控制调整电炉的温度。标准热电偶一般采用比被校热电偶精确度更高的铂铑 10—铂热电偶。

4. 热电偶常见故障及处理

(1) 热电偶偶丝断。一般是由于现场环境振动大导致偶丝振断, 断点一般出现在接线端, 断后温度显示下降。

(2) 热电偶显示温度低。其原因为: 接线中有虚接的地方; 元件未插到套筒底部; 对于

高温测点套管保温不好，测量温度也会降低。

(3) 元件校验不合格。一般是元件热端焊接不好或氧化、腐蚀，作报废处理。

(4) 冷端补偿回路故障。这也是热电偶显示故障的一个常见因素，DCS 系统内补偿方法通常是用热电阻补偿。

二、热电阻

热电偶一般用于高温的测量，低温的测量一般用热电阻，热电阻不需要补偿通道，测量回路电较简单。

1. 测温原理及结构

根据材料的不同，测温热电阻可分为金属和半导体热电阻两种。实验证明，大多数金属

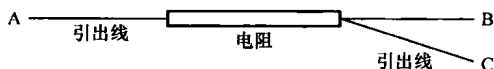


图 1-3 热电阻结构简单

导体当温度升高 1°C 时，其阻值要增加 $0.4\% \sim 0.6\%$ ，半导体的阻值要减小 $3\% \sim 6\%$ 。正是由于导体和半导体的电阻值会随温度而变化，因此测量它们的电阻值变化便可达到测温的目的。最常用的热电阻有铜电阻和铂电阻。热电阻结

构如图 1-3 所示。

2. 热电阻的分类

最常用的热电阻有铜电阻和铂电阻两种。不同热电阻测量范围和准确度如表 1-1 所示。

(1) 铂电阻。

1) 铂电阻的特点是稳定性好、准确度高、性能可靠，在还原性气氛中，特别是在高温下很容易被还原性气体污染，铂丝将变脆，并改变了电阻与温度间的关系。

2) 铂的纯度常以 R_{100}/R_0 来表示。对于工业用铂电阻，规定其 R_{100}/R_0 为 1.385。

3) 其分度号为 Pt10 和 Pt100。

(2) 铜电阻。

1) 其特点是铜电阻的电阻值与温度的关系几乎是线性的，它的电阻温度系数也比较大，而且材料容易提纯，价格比较便宜，所以适用于一些测量准确度要求不是很高而且温度较低场合，它的测量范围是 $-50 \sim +150^{\circ}\text{C}$ 。铜电阻的缺点是在 250°C 以上容易氧化，因此只能用在低温及没有腐蚀性的介质中；铜的电阻率 ρ 比较小，做成一定阻值的热电阻时体积就不可能很小。

2) 我国规定工业用铜电阻的纯度，即 $R_{100}/R_0 = 1.428$ 。

3) 铜电阻的分度号是 Cu50 和 Cu100，表示其 R_0 分别为 50Ω 和 100Ω 。

表 1-1 不同热电阻测量范围和准确度

热电阻类别	测温范围 ($^{\circ}\text{C}$)	分度号	允许偏差 Δt ($^{\circ}\text{C}$)
WZP 型铂电阻	$-200 \sim 420$	Pt100	B 级 ($-200 \sim 650^{\circ}\text{C}$) 允差偏差为 $\pm (0.30 + 0.005 t)$
			A 级 ($-200 \sim 650^{\circ}\text{C}$) 允差偏差为 $\pm (0.15 + 0.002 t)$
WZC 型铜电阻	$-50 \sim 100$	Cu50	$-50 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 允差偏差为 $\pm (0.30 + 6.0 \times 10^{-3} t)$

3. 热电阻的校验

热电阻的校验一般用比对法，即在油槽校验设备或水槽校验设备内同时放入校验热电阻



和标准热电阻，比较其温度测量的大小。

4. 热电阻的常见故障

(1) 显示偏高：热电阻是测量电阻大小的，回路中有接虚的地方必然引起显示温度偏高；三线制中的 C 线短路，线路补偿失效，温度显示也偏高。

(2) 温度显示偏度：C 端断路，线路电阻补偿过多。

(3) 热电阻断路：温度显示陡升。



第二节 压力测量仪表

在生产过程中，压力是工质状态的一个参数。在火电厂中，压力是热力过程的重要参数。如要使锅炉、汽轮机以及辅机设备等安全、经济地运行，就必须对生产过程中的水、汽、油、空气等工质的压力进行检测，以便于对火电生产过程的控制。

一、压力的概念与表示方法

1. 压力的概念

工程技术中的压力是物理学中的压强，即垂直作用在物体单位面积上的力的大小。

2. 压力的表示方法

压力的表示方法以其参考零点压力的不同而不同，可以分为绝对压力和表压力。

(1) 绝对压力：以参考零点所表示的压力称为绝对压力。

(2) 表压力：以大气压力为参考零点所表示的压力称为表压力。

二、压力的单位

压力的单位是一个导出单位。由压力的定义可知压力的单位会有多种。表 1-1 列出了常用压力单位及其换算。电厂常用单位还有 MPa，大家可以自己通过 kPa 换算， $1\text{MPa}=1000\text{kPa}$ 。

三、压力测量仪表

在生产过程中和实验室里使用的压力仪表种类很多。对压力仪表可以从不同的角度进行分类。按被测压力可分为压力表、真空表、绝对压力表、真空压力表等。按压力表使用的条件可分为普通型、耐震型、耐热型、耐酸型、防爆型等压力表。按压力表的功能可分为指示式压力表、压力变送器。按压力表的工作原理可分为液柱式压力表、弹性式压力表、物性式压力表、活塞式压力表等。在本书论述的保护系统中用得最多的还是压力控制器，压力控制器具有性能稳定、抗干扰能力强等特点，所以接下来简单介绍压力控制器。

1. 压力控制器的概念及分类

压力控制器是借助弹性元件的作用以驱使微动开关工作的压力控制仪表。压力控制器从功能来分，可以分为压力控制器和差压控制器；从使用环境来分可以分为普通型控制器和防爆型控制器；从设定值种类来分可以分为单设定值控制器和双设定值控制器；按照结构原理可以分为波纹管式、活塞式、膜片式压力控制器，可以根据不同的需要采用不同的类型。下面按照结构原理说明如下。

(1) 波纹管式压力控制器的工作原理。波纹管是一种轴对称的管状波纹薄壳，当它受轴向作用力时，或者在其内腔与周围介质压力差的作用下，并在线性特性不变的情况下，能产生较大的位移（伸长或缩短），当它受横向压力时，将在轴向平面内弯曲。有一类压力控制

器就是根据这一原理实现把压力转换成位移，再由位移按照行程控制器的原理转换成电信号的输出。焊接波纹管简图如图 1-4 所示。

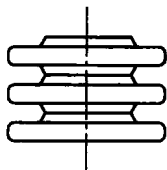


图 1-4 波纹管压力控制器结构简图

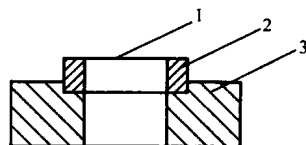


图 1-5 膜片压力控制器结构简图

1—平膜片；2—加紧环；3—壳体

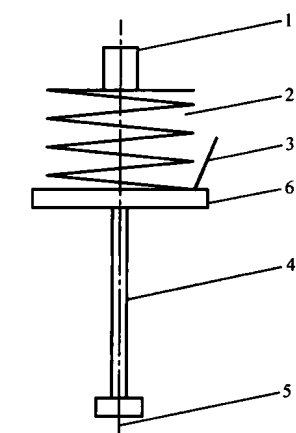


图 1-6 活塞式压力控制器工作原理

1—定值调整螺钉；2—弹簧；3—位移输出点；4—活塞杆；5—取压点；6—活塞

(3) 活塞式压力控制器的工作原理。如图 1-6 所示，这类控制器是靠弹簧的弹性变形来测量压力的一类控制器。

2. 使用及注意事项

(1) 压力控制器一般都要求垂直安装。

(2) 选用控制器，应使预定的设定值位于控制器定值调节范围的中间部分，一般为调节范围的 20%~80%。

(3) 对于有压力峰值及脉冲压力的受控液体介质，可在控制器接口上安装一个压力冲击阻尼器，以消除不利影响。

(4) 通电电流不能大于额定值。

(5) 安装控制器时应特别注意螺纹接口的控制器，其管道接头旋入内螺纹深度不能超过 12 mm。

(6) 安装拆卸必须用扳手夹持传感器的平面部分，绝对防止传感器与开关壳体发生相对转动。

(7) 控制器打开前面板前必须先切断电源。

(8) 差压控制器高低压入口不能接反，否则不动作。

3. 压力控制器的校验

不可调切换差的压力控制器的设定值调整步骤，举例说明如下。

选用普通压力控制器，要求压力上升到 0.5MPa（上切换值）发出触点信号，其操作步骤为：

(1) 将控制器装到压力校验台上，注意垂直安装。

(2) 打开前盖板，将电缆穿过电缆接口接入端子板中，电缆另一头接上万用表。

(3) 进行修校前的定值检验，并记录。

(4) 将压力加至 0.5MPa，此值从标准压力表中读出。

(5) 松开锁紧器，顺时针旋动设定值调节螺杆使设定值由大变小，直至开关触点在

0.5MPa 处切换。

(6) 锁紧锁紧器，调节压力校验台的压力，使压力在 0.5MPa 处上下来回变化，检验压力上升时，触点的切换值是否是 0.5MPa，此值即为要设定的上切换值。其对应的下切换值应是 0.5MPa 减去切换差（动作值与复位值之差）。

4. 压力控制器的主要检修内容

- (1) 检查引压管路及阀门的泄漏情况。
- (2) 检查压力控制器连接电缆的绝缘情况。
- (3) 拆下并擦洗压力控制器，注意作好安装地点记录。
- (4) 冲洗测量室，直到没有污水流出。
- (5) 控制器节点绝缘及接触电阻测试。
- (6) 紧固各处螺钉。
- (7) 控制器做修校前校验。
- (8) 控制器定值检验。
- (9) 贴上合格证并注明校验结果。
- (10) 填写校验报告。

5. 压力控制器的主要故障及处理

- (1) 管路泄漏，处理泄漏。
- (2) 接线松动，定期维护接线端子。
- (3) 定值漂移，重新校验，经常漂移的开关要考虑换型。
- (4) 接点误动，选用压力开关要注意环境需要，环境是否处在强震动环境中。
- (5) 注意检查三取二的压力控制器是否都在正常状态。
- (6) 风压的压力控制器注意维护吹扫装置。
- (7) 注意检查接点是否有明显的烧损痕迹。

注意：处理带保护的设备时要做好安全措施，比如退出保护。

表 1-2 所示为压力单位转换表。

表 1-2 压力单位转换表

	kPa	kg/cm ²	bar	Psi	mmHg	mH ₂ O	inH ₂ O ^{20℃}
kPa	1.000 00	0.010 197 2	0.010 000 0	0.145 037	7.500 62	0.101 972	4.021 86
kg/cm ²	98.066 5	1.000 00	0.980 665	14.223 3	735.559	10.000 0	394.410
bar	100.000	1.019 72	1.000 00	14.503 8	750.062	10.197 2	402.186
Psi	6.894 76	0.070 307 0	0.068 947 6	1.000 00	51.714 9	0.703 070	27.729 9
mmHg	0.133 322	0.001 359 51	0.001 333 22	0.019 336 7	1.000 00	0.013 595 1	0.536 243
mH ₂ O	9.806 65	0.100 000	0.098 066 5	1.422 33	73.555 9	1.000 00	39.441 0
inH ₂ O ^{20℃}	0.248 641	0.002 535 44	0.002 486 41	0.036 062 4	1.864 97	0.025 354 4	1.000 00



第三节 液位测量仪表

一、液位测量

(一) 概述

在火电厂生产过程中, 液位往往是很重要的控制参数。一般储液装置内所储存液体的多少对生产过程的影响是不可忽视的。比如锅炉汽包内的水位就直接影响汽水系统循环的效果以及送出蒸汽的质量。

(二) 液位测量的方法

1. 浮力式液位计

浮力式液位计包括恒浮力式和变浮力式两类。

(1) 恒浮力式液位计。恒浮力式液位计是依靠浮标或浮子浮在液体中随液面变化而升降, 它的特点是结构简单、价格较低, 适于各种贮罐的测量。

(2) 变浮力式液位计。变浮力式液位计亦称沉筒式液位计, 当液面不同时, 沉筒浸泡于液体内的体积不同, 因而所受浮力不同而产生位移, 通过机械传动转换为角位移来测量液位。

2. 静压式液位计

静压式液位传感器是基于流体静力学中一定液柱高度的液体产生一定压力的原理。液位——压力转换的方式主要有压力式和差压式。

3. 电气式液位计

电气式液位测量是直接将液位转换为电阻、电容、电感等量值的变化。

4. 声波式液位计

最常见的如超声波液位计的工作原理是由换能器(探头)发出高频超声波脉冲遇到被测介质表面被反射回来, 部分反射回波被同一换能器接收, 转换成电信号。超声波脉冲以声波速度传播, 从发射到接收到超声波脉冲所需时间间隔与换能器到被测介质表面的距离成正比。超声波液位计此距离值 S 与声速 C 和传输时间 T 之间的关系可以用公式表示: $S = C \times T/2$ 。

下面我们只介绍在电厂中普遍应用的差压水位计和电接点水位计。

二、差压水位计

差压水位计是静压式液位测量仪表, 在汽包水位、高加水位、除氧器水位测量中都能得到应用。

(一) 水位——差压转换原理

水位——差压转换装置又称平衡容器, 其结构形式如图 1-7 所示。

1. 简单平衡容器

对图 1-7 (a) 中所示简单平衡容器输出的差压为 $\Delta p = p_+ - p_-$, 按照流体静力学原理, 有

$$\begin{aligned}\Delta p &= L\rho_a g - (H_0 + \Delta H)\rho_w g - (L - H_0 - \Delta H)\rho_s g \\ &= L(\rho_a - \rho_s)g - H_0(\rho_w - \rho_s)g - (\rho_w - \rho_s)g\Delta H\end{aligned}\quad (1-5)$$

由式 (1-5) 容易看出: 输出的差压信号受汽包压力和水侧水柱温度的影响。固定水柱温度和汽包压力的影响都是不可忽视的。

$$\delta_{\Delta p} = L(\Delta\rho_a - \Delta\rho_s)g - H_0(\Delta\rho_w - \Delta\rho_s)g - (\Delta\rho_w - \Delta\rho_s)g\Delta H\quad (1-6)$$



2. 双室平衡容器

在图 1-7 (b) 所示的双室平衡容器中, 给固定水柱增装了蒸汽保温室, 使得固定水柱的温度达到了汽包内的汽水温度, 因而消除了固定水柱非饱和状态时温度的影响。其输出差压为

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_+ - p_- = L\rho_w g - (H_0 + \Delta H)\rho_w g - (L - H_0 - \Delta H)\rho_s g \\ &= (L - H_0 - \Delta H)(\rho_w - \rho_s)g\end{aligned}\quad (1-7)$$

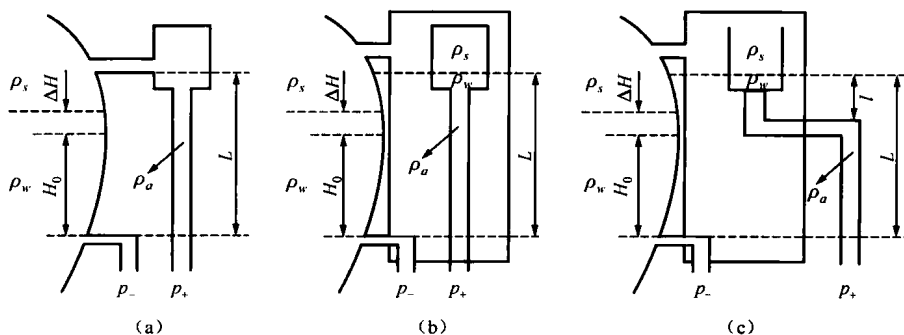


图 1-7 平衡容器结构简图

(a) 简单平衡容器; (b) 双室平衡容器; (c) 结构补偿式双室平衡容器

由式 (1-7) 容易看出: ①输出的信号差压与液位成负线性关系 (在压力不变时)。②当汽包压力变化时, 输出仍受压力的影响 (在水位不变时)。③不同水位时压力影响所产生的误差是不同的, 在不变的情况下, 汽包压力的变化所产生的输出误差为

$$\delta\Delta p = (L - H_0 - \Delta H)(\Delta\rho_w - \Delta\rho_s)g \quad (1-8)$$

3. 结构补偿式双室平衡容器

图 1-7 (c) 中所示的结构补偿式双室平衡容器是一种从结构上进行汽包压力补偿的水位—差压转换装置。固定水柱的管段称为补偿管段, 它的长度是经过精心设计而确定的。由于补偿管段的补偿, 大大减小了压力变化对平衡容器的输出的影响。按照流体静力学原理, 补偿式双室平衡容器的输出为

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_+ - p_- = l\rho_w g + (L - l)\rho_s g - (H_0 + \Delta H)\rho_w g - (L - H_0 - \Delta H)\rho_s g \\ &= (l - H_0 - \Delta H)\rho_w g - (L - H_0 - \Delta H)\rho_s g + (L - l)\rho_s g\end{aligned}\quad (1-9)$$

在 ΔH 不变的情况下, 汽包压力的变化所产生的输出误差为

$$\delta\Delta p = (l - H_0 - \Delta H)\Delta\rho_w g - (L - H_0 - \Delta H)\Delta\rho_s g \quad (1-10)$$

从输出表达式的形式上看, 结构补偿式平衡容器并没有消除汽包压力对输出的影响。由前所述, 平衡容器的长度是经过设计确定的, 只要适当选择长度就可以在一定水位上使得压力的影响减小到最低程度。

l 的长度是经过设计确定的, 在 l 确定时是按条件进行的。

当 $\Delta H = 0$ 时

$$\delta\Delta p = (l - H_0)\Delta\rho_w g - (l - H_0)\Delta\rho_s g \quad (1-11)$$

如果当时使压力的影响所产生的输出的误差为零, 则有

$$0 = (l - H_0)\Delta\rho_w g - (l - H_0)\Delta\rho_s g \quad (1-12)$$

$$l = \frac{\Delta\rho_s}{\Delta\rho_w}(L - H_0) + H_0 = \alpha(L - H_0) + H_0 \quad (1-13)$$

按式 (1-13) 计算的长度就是在 $\Delta H=0$ 条件下 (正常水位) 完全消除工作压力影响时补偿管的尺寸。式中 $\Delta\rho_w$ 、 $\Delta\rho_s$ 是汽包工作压力与额定工作压力时的饱和水、汽的密度差。

$$\alpha = \frac{\rho_s - \rho_s}{\rho_w - \rho_w} \quad (1-14)$$

由前述知, l 的计算还取决于 L 值。 L 值的不同将影响差压信号的大小。当与平衡容器配套的差压计量程上限一定或要求平衡容器输出上限 $\Delta p_{\max}$ 一定时, 则要根据差压计的量程上限 $\Delta p_{\max}$ 来确定 L 值。在 $\Delta H = -H_0$ 和工作压力为补偿范围下限压力 p_x 时, 平衡容器输出最大, 故有

$$\begin{cases} \Delta p_{\max} = l\rho_w g - L\rho_s g + (L-l)\rho_s g \\ l = \alpha (L - H_0) + H_0 \end{cases} \quad (1-15)$$

解上述方程组, 得

$$\begin{cases} L = \frac{\Delta p_{\max} + H_0 (1-\alpha) (\rho_a - \rho_w) g}{(\rho_a - \rho_s) g - (\rho_a - \rho_w) g} \\ l = \alpha (L - H_0) + H_0 \end{cases} \quad (1-16)$$

4. 双差压平衡容器

为了进一步改善结构补偿式平衡容器的特性, 近年来已研制出了双差压结构补偿式平衡容器, 其中一种结构形式如图 1-8 所示。

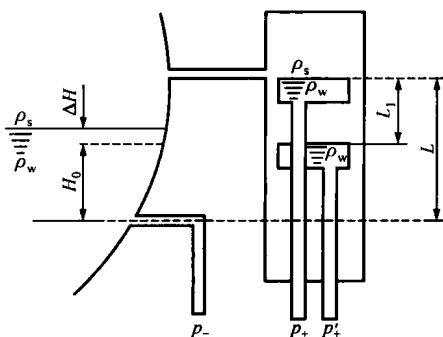


图 1-8 双差压平衡容器结构简图

图 1-8 中的平衡容器输出的差压 $\Delta p = p_+ - p_-$ 为信号差压, $\Delta p' = p_+ - p'_+$ 为补偿差压。

$$\begin{cases} \Delta p = p_+ - p_- = (L - H_0 - \Delta H) (\rho_w - \rho_s) g \\ \Delta p' = p_+ - p'_+ = \Delta p = L_1 (\rho_w - \rho_s) g \\ Y = \frac{\Delta p}{\Delta p'} = \frac{L - H_0 - \Delta H}{L_1} = \frac{L - H_0}{L_1} - \frac{\Delta H}{L_1} \end{cases} \quad (1-17)$$

可以看出, 两差压信号经过处理计算后得到的信号 Y 只与平衡容器的结构尺寸和水位有关, 而与汽包工作压力无关, 完全消除了工作压力的影响。

(二) 差压水位的压力校正

1. 校正原理

差压水位的压力校正是指对简单平衡容器或双室平衡容器输出的差压信号, 通过引入汽包压力信号进行一定的校正计算, 从而消除压力对测量影响的一种补偿方法。

对于双室平衡容器, 输出见式 (1-17), 即

$$\Delta p = (L - H_0 - \Delta H) (\rho_w - \rho_s) g$$

对于式中 $(\rho_w - \rho_s)$ 因子可采用如下近似公式

$$\begin{cases} \rho_w - \rho_s = (908.8 - 2.715p) / g \\ H_0 + \Delta H = L - \frac{\Delta p}{908.8 - 2.715p} \\ \Delta H = (L - H_0) - \frac{\Delta p}{908.8 - 2.715p} \end{cases} \quad (1-18)$$

上述压力补偿的准确性首要的是 $(\rho_w - \rho_s) \sim p$ 的近似公式。如果近似公式的误差大, 那么这种补偿的误差自然要大。如果把 $(\rho_w - \rho_s) \sim p$ 的关系用多段直线 (折线) 逼近, 在



每段直线对应的压力范围内用直线代替，则 $(\rho_w - \rho_s) \sim p$ 的关系的准确性可达到较高的程度。

2. 校正计算的实施方法

校正计算式可以采用模拟仪表计算实现，也可以采用智能化压力校正计算系统。实现具有压力校正计算的差压水位测量系统框图如图 1-9 所示。

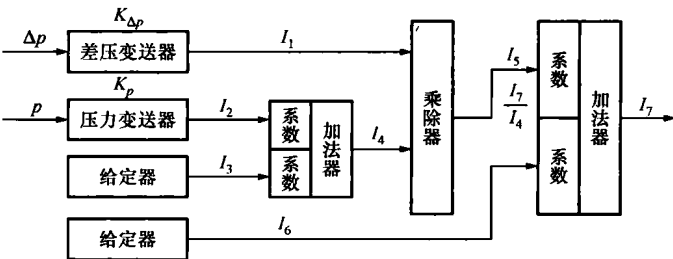


图 1-9 差压水位测量系统框图

(三) 差压水位系统与零点迁移

在火力发电厂中，差压水位系统一般有三种组成形式：就地显示、信号远传显示记录、信号远传输出。差压水位测量系统如图 1-10 所示。

对于平衡容器式水位—差压转换，其输出的差压与水位呈负线性关系。为了使显示或输出的电气信号适合人们的正常习惯（水位升高显示的数值增大），则需要进行零点迁移，如图 1-11 所示。

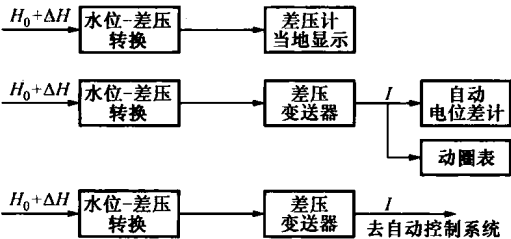


图 1-10 差压水位测量系统框图

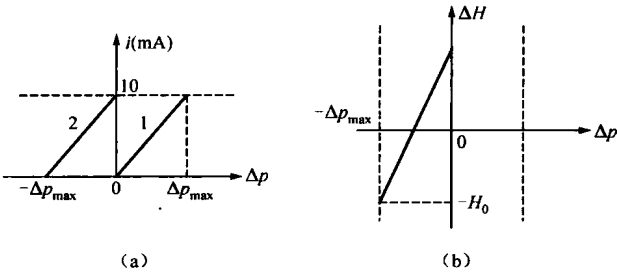
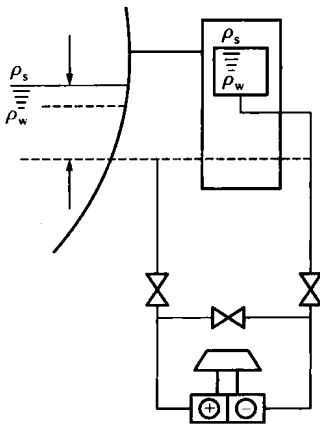


图 1-11 差压水位零点迁移示意图

三、电接点水位计

(一) 水位转换原理与水位测量筒的结构

水位测量筒通过连通方式形成相应水柱高度，该水柱的压力平衡压力容器内的被测量水