



水位计

湖北省电力中心试验所

31

水利电力出版社

水位计

湖北省电力中心试验所

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍火力发电厂锅炉汽鼓水位的测量方法和常用水位计的工作原理、结构及运行经验。书中针对汽鼓水位测量的某些特点，首先分析了汽鼓内部运行工况与水位的关系；然后，介绍了各种水位计的工作原理和结构。对于差压型水位计，着重分析了“水位-差压”转换装置。本书还比较全面地介绍了我国近年来推广使用的各种电极式水位计的工作原理、结构和运用经验。

本书可供从事热工仪表和自动化的同志学习参考。

水 位 计

湖北省电力中心试验所

*

水利电力出版社出版

(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

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1978年11月北京第一版

1978年11月北京第一次印刷

印数 00001—12800 册 每册 0.38 元

书号 15143·3399

前 言

火力发电厂的锅炉汽鼓、直流锅炉启动分离器、高低压加热器、蒸发器和凝汽器等热力设备以及双水内冷发电机的冷水箱，均需进行水位的测量。其中，汽鼓水位的测量，由于其重要性和测量技术上的复杂性更显得突出，因而也更受人们的重视，成为水位测量中的重要研究对象。

为了配合我国电力工业迅速发展的大好形势和要求，我们编写了本书，供电业部门广大职工学习参考。本书考虑了各种热力设备水位测量上的共性，以汽鼓水位测量为重点，介绍了各种水位计的一般工作原理和结构；针对汽鼓水位测量的某些特点，也介绍了汽鼓内部运行工况与水位的关系。对于差压型水位计，由于其差压测量部分和二次仪表与流量测量仪表基本上相同，因此只作了简要的介绍，而把重点放在“水位-差压”转换装置的介绍上。书中最后还介绍了我国近年来研制成功的电极式水位计，收集了这类试制产品的制造、运行和试验经验，以供读者学习参考。

本书由我所热工室徐德兴同志主编。编写过程中，曾得到水利电力部西安热工研究所、北京电力试验研究所、东北电力局技术改进局、吉林电力学院、河北电力学院和黄石发电厂、青山热电厂、杨树浦发电厂等单位有关同志的大力帮助，在此表示衷心的感谢。由于我们水平有限，书中难免会有许多不妥之处，诚恳希望读者批评指正。

编 者

1978年5月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第二章 锅炉汽鼓内部工况与汽鼓水位的关系	4
第一节 锅炉汽鼓的内部结构	4
第二节 锅炉汽鼓内部工况和水位的实际情况	6
第三节 实际水位、重量水位和虚假水位	9
第三章 差压型低置水位计	17
第一节 差压型低置水位计的基本工作原理	17
第二节 差压型水位计汽鼓压力自动校正	36
第三节 CPC型膜片式差压计	41
第四节 CWD型双波纹管差压计	57
第五节 轻液水位计	67
第六节 DDZ-Ⅱ型差压变送器	73
第七节 QXZ型气动色带水位计	88
第四章 电极式水位计	96
第一节 基本工作原理	97
第二节 电极和水位容器	98
第三节 氖灯水位计	104
第四节 DJS-15型电极式水位计	108
第五节 DYS-19数字型电极式水位计	109
第六节 双色水位计	122
第七节 电极式水位计的测量误差	124
第八节 电极式水位计组成的锅炉水位测量系统	133

第一章 概 述

发电厂锅炉汽鼓水位计是保证锅炉安全运行的重要仪表。准确测量和控制锅炉汽鼓水位，对保证热力设备安全运行、提高设备健康状况和延长设备检修周期等具有重要意义。

保持汽鼓水位在规定的范围内运行，是锅炉正常运行的主要指标之一。水位过高，会影响汽水分离装置的汽水分离效果，使饱和蒸汽的湿分增大、含盐量增多，造成过热器和汽轮机通汽部分积垢，日久容易引起过热器管壁超温甚至爆管以及汽轮机效率降低、轴向推力增大。当水位高到一定值时，还会造成蒸汽带水，使汽轮机产生水冲击，引起破坏性事故（如推力瓦熔化、轴封破损和叶片断裂。严重时，还会出现叶轮和大轴变形等），直接威胁汽轮机的安全运行。水位过低，会影响自然循环锅炉的水循环安全，造成水冷壁管某些部分循环停滞，因而局部过热甚至爆管。但是，只要有水位计及时反映汽鼓水位的数值和变化趋向，将水位控制在规定的范围内，就能避免上述事故的发生。

一、对水位计的基本要求

1. 准确：

目前我国电厂锅炉汽鼓的水位测量仪表基本上是按测量汽鼓重量水位的原理设计的；锅炉水循环的计算也是以重量水位作为依据的。因此，要求这些水位计能准确地测量汽鼓的重量水位，以确保汽鼓水位在规定的范围内运行，使水循环安全和提供合格的蒸汽。

在锅炉实际运行中，有时为了研究蒸汽品质不合格的原因，正确安排汽鼓内的分离装置以及使用实验装置进行试验研究工作，还需要了解或精确测量汽鼓内的真实水位。

2. 可靠：

在各种可能出现的事故情况下，要求水位计的指示不中断。

采取装置多台水位计和装置水位越限报警系统，可以提高水位测量的可靠性。每台锅炉除有两台就地直观式水位计外，一般至少还应有两台以上的低置水位计。同时，在设计选型时，还要考虑到，当电源中断后仍有监督水位的可能。

3.灵敏：

反应灵敏的汽鼓水位计，对大容量高参数锅炉来说尤其重要。随着锅炉技术的发展，大型锅炉的循环倍率愈来愈小，水位的变化愈来愈快，稍一不注意就可能产生满水或缺水等严重事故。因此，要求水位计能迅速反映汽鼓水位的变化趋向和数值。这样，对于迟延过大的水位计是不能适用的。

4.变参数测量：

当锅炉参数变化时，仍要求水位计能准确地反映水位，以适应锅炉启动、特别是滑参数启动和全程调节的需要。

5.远距离测量：

要求在锅炉所有运行工况下，都能向操作盘提供水位指示值，以改善运行人员的工作条件和实现集中控制。

二、水位计的种类

1.就地安装直观式水位计：

这种水位计安装在汽鼓附近，值班人员就地监督水位，用电话或手动信号将水位指示值传送到操作台，如玻璃（或云母）水位计和利用汽、水光折射率不同而工作的双色水位计等。目前也有利用反射镜或工业电视将这种水位计的指示值传送到操作台的。

2.远传式低置水位计：

水位计的显示部分安装在操作盘上，实现汽鼓水位的远距离测量。我国火电厂用得比较普遍的有以下两种水位计。

（1）差压型低置水位计：

利用液体静力学原理将水位转换成差压，再通过测量差压来显示水位。

这种水位计种类很多，不同之处主要是差压计的结构不同，

如有双波纹管差压计、膜片式差压计、电动或气动单元组合仪表中的差压变送器等。这类仪表存在的主要问题是：当汽鼓压力变化时，汽、水的重度发生变化，“水位-差压”的关系发生变化，因而给仪表带来很大误差。正确地设计“水位-差压”转换装置，可部分地补偿测量误差。同时，我国已出现采用信号运算方式进行汽鼓压力自动校正的差压型低置水位计，对由于压力变化造成的水位误差进行全补偿，使水位计指示能准确地反映汽鼓内的重量水位。它可以用来作为校核其他水位计的标准。

（2）电极式水位计：

这种水位计是利用蒸汽和水的电阻率差异极大的原理测量水位的。由于它具有简单可靠、测量误差受锅炉参数的影响较小、水柱冷却误差远比云母水位计小以及在远距离测量时延迟小等优点，因而是取代就地水位计和一部分差压型水位计的较合适的仪表。但这种仪表的水位信号是阶跃的，不能输出连续的模拟量，并且存在一定的水柱冷却误差。

第二章 锅炉汽鼓内部工况 与汽鼓水位的关系

研究汽鼓水位的测量，首先要研究汽鼓内部实际发生的物理过程。这就需要我们z从汽鼓内部结构和汽鼓内部运行工况谈起。

第一节 锅炉汽鼓的内部结构

汽鼓内部水位状况与汽鼓内部结构有着密切的联系。锅炉参数不同，汽鼓内部结构也不同。一般锅炉汽鼓的内部装置有如下几项（图2-1）：

1. 汽水分离装置：

它包括旋风分离器和百页窗分离器两部分。蒸汽经旋风分离器进行初分离后，再到百页窗分离器进行二次分离，将水分从蒸汽中分离出来，以降低蒸汽的机械性携带。汽水分离器的结构，应考虑到能消除汽水混合物流进汽鼓时对水面的冲击，以及可能产生的水位膨胀和水面起泡沫现象。

2. 蒸汽清洗装置：

高压锅炉才有这种装置。这是因为，高压锅炉蒸汽对某些盐类（主要为硅酸盐）具有选择性携带的特性，所以不能用机械分离的方法消除蒸汽中的盐分。蒸汽清洗装置，就是将蒸汽通过洁净的给水层使蒸汽中的硅酸盐扩散掉。蒸汽清洗装置应与汽鼓正常水位保持一定的距离，以保证清洗前蒸汽能充分分离，从而消除汽鼓水位膨胀时对清洗装置的影响。

3. 分段蒸发装置：

为了提高蒸汽的品质，有些锅炉采用了分段蒸发，即将汽鼓分为盐段和净段两部分。在设计汽鼓内部装置时，应使盐、净段

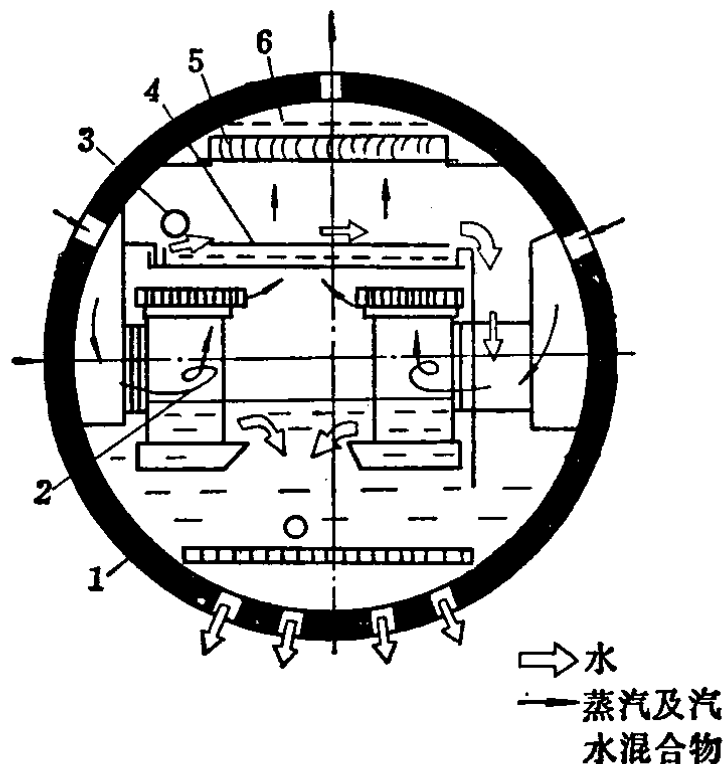


图 2-1 高压锅炉汽鼓内部装置

1—汽鼓；2—旋风分离器；3—给水管；4—蒸汽清洗装置；5—百页窗分离器；6—顶部孔板

间的水位差不大于20~50毫米。不仅在净段，而且在盐段也应安装水位计。

4. 水位计保护装置：

它用来消除或减小汽鼓内部工况对水位计的干扰，以保证水位计的正常工作。

(1) 对于装有蒸汽清洗装置的锅炉，水侧脉冲管应伸入汽鼓水室，汽侧脉冲管应伸到蒸汽清洗装置前的汽空间，以便测得正确的水位（见图2-2, *a* ）。

(2) 图 2-2(*b*)所示为汽侧脉冲管单独保护的装置。这种装置还装有疏水管。

(3) 图2-2(*c*)为汽侧和水侧脉冲管共用的稳定装置。这种装置，在地位允许的条件下可以使用。

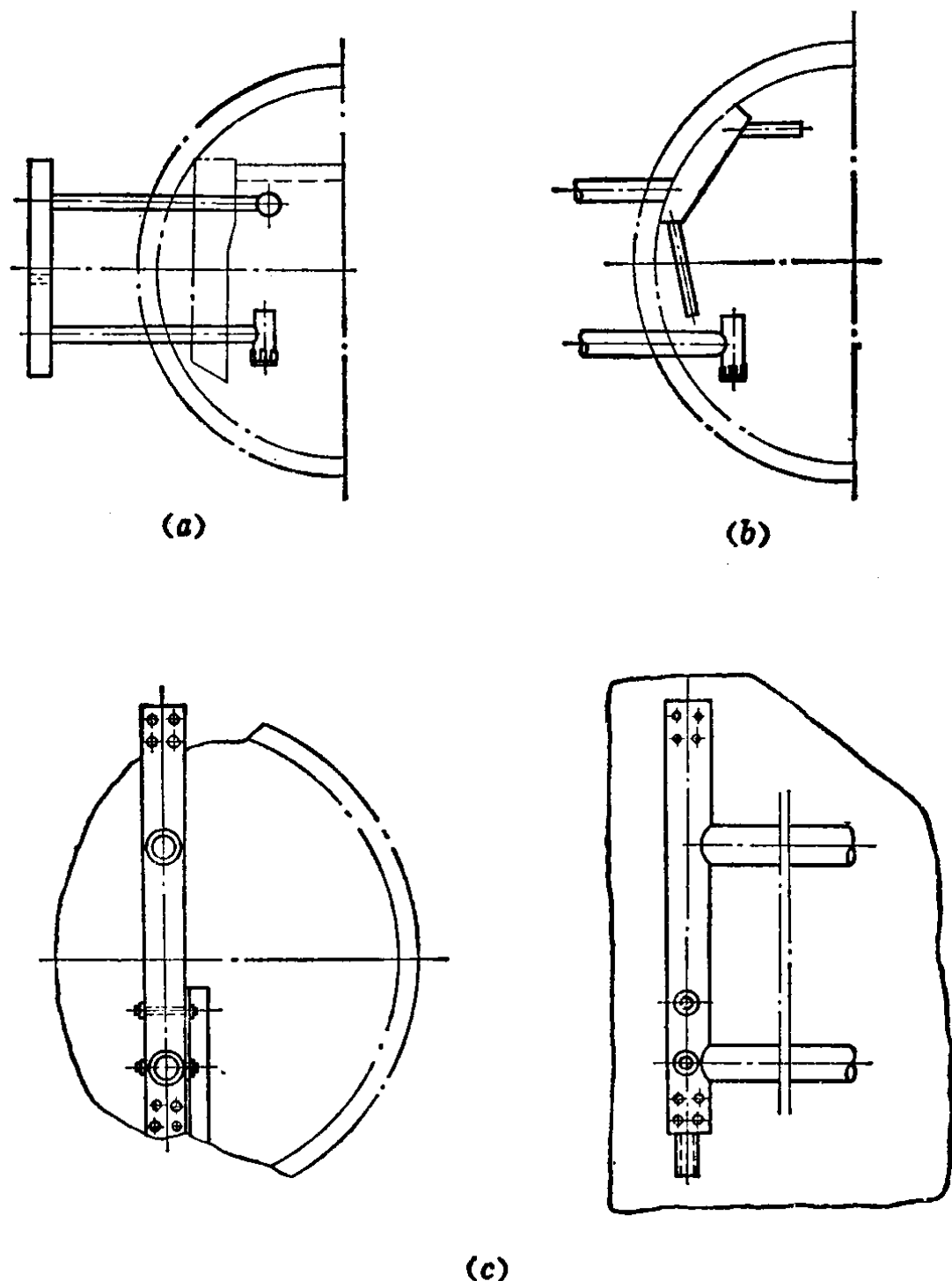


图 2-2 水位计保护装置

(a)有蒸汽清洗装置时的保护装置；(b)汽侧脉冲管单独保护装置(带疏水管)；
(c)水、汽两侧脉冲管共用的稳定装置

第二节 锅炉汽鼓内部工况和水位的实际情况

测量锅炉汽鼓水位是了解和控制汽鼓内部工况的重要手段之一。人们为了认识汽鼓内部工况，进行了大量的科学实践，并从

实践与理论上总结了汽鼓内部工况与各种因素的关系。汽鼓水位是直接影响汽鼓内部工况的；同样，汽鼓内部工况也直接影响水位的准确测量。我们只有首先了解汽鼓内部工况的一般规律，才能认识影响水位正确测量的各种复杂因素，从而采取有效措施提高水位测量的准确性。

在测量汽鼓水位时，人们往往把汽鼓内部工况看作是理想的过程，即把汽鼓分为汽空间和水室两部分，汽空间被重度一致的饱和蒸汽所充满，水室则被重度相同的饱和水所充满，汽空间与水室之间有着明显的分界面，分界面是平静的水面。但是，这些假想的概念都是不确切的，它与汽鼓内部实际所发生的复杂过程有着很大的差异，因此水位测量也就变得复杂多了。

与汽鼓水位测量有关的汽鼓内部特性有如下几点：

1. 汽鼓水面很不平稳：

汽水混合物有从水面引入汽鼓的，也有从水下引入的，动能很大的汽水混合物冲击着炉水，使水面形成波浪和水柱。同时，汽鼓的工作压力不断地在平均值附近波动（即使负荷稳定时，也是如此），致使水冷壁管中水沸腾的起始位置不断下降及升高。所有这些都会使锅炉循环回路的水量不断增多或减少，因而使汽鼓中的水位不断地上下波动。这样的水面波浪和水位波动在水位计上是不容易反映出来的。实践证明，汽鼓水面起波浪的剧烈程度是和汽水混合物引入汽鼓的方法、引入混合物的数量多少（即循环倍率）以及汽鼓水位高低有关。

2. 没有明显的汽水分界面：

在炉水中沿整个厚度饱含着汽泡，这些汽泡在接近汽鼓底部处很少，而在接近水面处则很多。由底部起到水面止，水中的蒸汽含量逐渐增加，水分的含量则逐渐减少，即炉水重度自下而上逐渐减小。炉水表面并没有明显的界线。蒸汽空间存在着大量的水滴，在接近汽鼓上部时，蒸汽湿度减少到最小。蒸汽中水滴的形成原因主要有以下三个方面：

（1）由于机械碰撞而形成水滴。当汽水混合物由汽空间进

入汽鼓与分离挡板碰撞时，会形成水滴。另外，若汽水混合物由水下引入时，会冲击炉水表面，使水层飞溅而带入汽空间。由于表面张力作用，溅起的水层发生断裂而形成水滴。较大的水滴落入水面，而小水滴则被蒸汽带走。

(2) 炉水中的汽泡上浮到汽水分界面，积聚成较大的汽泡，由于汽泡的破裂，使水面形成一个小波浪，波浪的顶峰分离出一些水滴，被带入汽空间。

(3) 由于炉水表面泡沫破裂而形成水滴。

以上这些被蒸汽携带的水滴，其中较大的水滴到达一定的高度后，会因本身重力作用仍然落回水面。这个假想的高度称为喷溅前沿。较细小的水滴则被蒸汽带走，形成蒸汽携带湿分。

从图2-3可以看出，汽鼓内的湿分（或重度）分布沿汽鼓整个高度自下而上逐渐减小。其中，有两处变化较快，即实际水位线和喷溅前沿处。但是，沿汽鼓整个高度，湿分分布并没有跳跃的转折点。

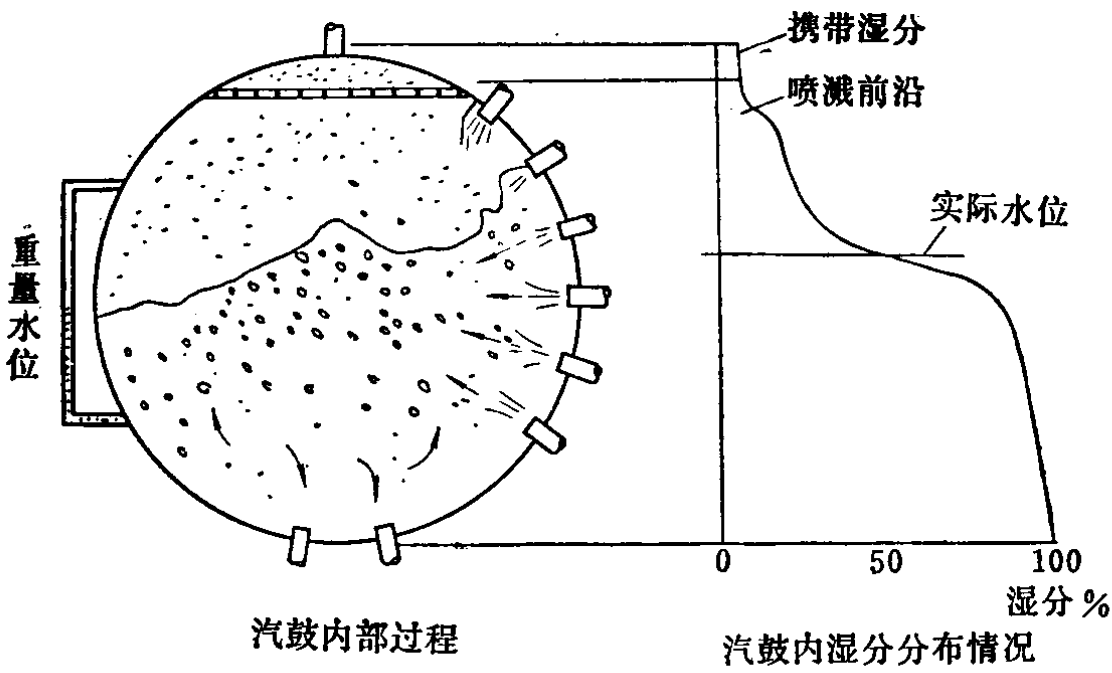


图 2-3 汽鼓内部过程和湿分分布规律

3. 炉水表面有泡沫层：

在纯净的水中不会形成泡沫，只有当炉水中有有机化合物、悬浮物、油脂和碱性物质时，才容易形成泡沫。

4.沿汽鼓轴向和辐向的水位分布情况:

由于汽鼓沿轴向汽水混合物引入不相等,造成汽鼓两端水位较低,中部具有明显的冠形凸起。对于高压锅炉,中部凸起高度可达100毫米以上。

汽鼓内水位的辐向分布与上升管的联接部位有关。一般在上升管联接的一边水位较高,同时在中部也有冠形凸起现象。这是由于汽水分离器排水干扰引起的。

通过以上分析,使我们明白,汽鼓内水位是一个非常复杂的参数,要正确测量汽鼓内的水位是一件不容易的事情。同时,也使我们懂得,片面地追求几台水位计指示一致是错误的。水位测量的任务,就是要向试验、运行人员提供汽鼓各部位的水位正确数据,以使试验运行人员不仅了解汽鼓水位的总状况,同时也知道汽鼓内水位的分布状况。

第三节 实际水位、重量水位和虚假水位

1.实际水位:

在研究汽鼓内部过程和设计安排汽鼓内部装置时,往往要应用到汽鼓实际水位这个概念。从汽鼓内部工况分析,我们已经认识到汽鼓内没有明显的汽水分界线。从图 2-3 所示的汽鼓内湿分分布曲线来看,在所谓水室和汽空间相连的部位,虽然找不到湿分(或重度)的跳跃点,但是可以找到重度变化最快的点,这个点可以定义为汽鼓的实际水位。实际水位是决定蒸汽品质的重要参数。由于测量实际水位比较复杂,所以目前尚没有用于精确测量实际水位的工业仪表。

2.重量水位:

由于实际水位线以下的炉水中含有一定数量的汽泡和蒸汽,因而它们的平均重度就小于汽鼓压力下的饱和水重度。当水位计采用图2-4(a)的方式与汽鼓相联且不考虑水位计散热所造成的水柱冷却时,假设汽鼓在某一瞬间与它以外的汽水系统完全隔

离，汽鼓水室中的蒸汽和汽泡完全跑到了汽空间，汽空间的水滴也完全掉到水室中，汽鼓立即停止沸腾，水室中充满重度相等的饱和水，汽空间充满重度相等的饱和蒸汽，这时汽鼓水位低于原来的实际水位，则水位计水面与汽鼓水面是一致的，这种水位即为汽鼓的重量水位。重量水位也可以说成是，水位计汽水取样点所跨越的汽鼓高度范围内的汽水，折算成当时汽鼓压力下以饱和水和饱和汽由水面上下分开存在时，所具有的水柱高度。

3. 实际水位与重量水位的差值：

汽鼓内实际水位比重量水位高，这种现象常称为水位膨胀现象（如图2-4，a）。

实际水位与重量水位之间的关系为：

$$H_{sw} = H_w + \Delta h_p \quad (2-1)$$

式中 H_{sw} ——汽鼓内的实际水位；

H_w ——重量水位；

Δh_p ——水位膨胀高度。

同时可以写出下列方程：

$$H_{sw}\gamma_{gs} = \Delta h_p\gamma'' + H_w\gamma'$$

$$\text{则} \quad \Delta h_p = \frac{H_w(\gamma' - \gamma_{gs})}{\gamma_{gs} - \gamma''} \quad (2-2, a)$$

$$\text{或} \quad \Delta h_p = \frac{H_{sw}(\gamma' - \gamma_{gs})}{\gamma' - \gamma''} \quad (2-2, b)$$

式中 γ_{gs} ——汽鼓水室中汽水混合物的平均重度（公斤力/米³）；

γ'' ——饱和蒸汽重度（公斤力/米³）；

γ' ——饱和水重度（公斤力/米³）。

在锅炉负荷增加、炉水含盐量增高或汽鼓运行压力突然降低时，都会使水位膨胀高度 Δh_p 增加，也就是重量水位与实际水位的差值增大。

按图2-4（a）的取样方式所测出来的重量水位，若单纯地从水位高低与汽鼓蓄水量的关系来看是有参考价值的。因为这种情

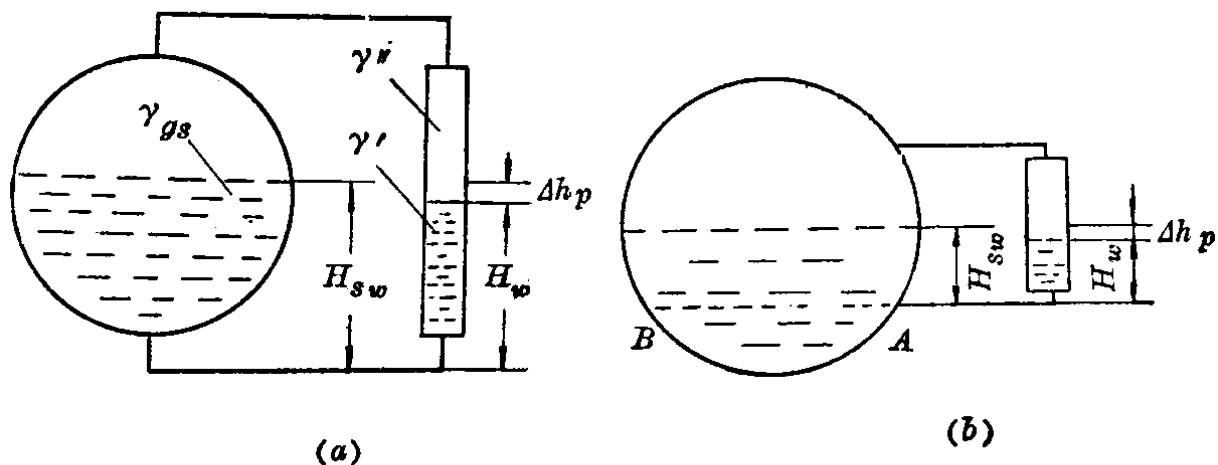


图 2-4

况下的重量水位能反映不同压力下汽鼓的容积蓄水量，但它不能完全反映蓄水量实际重量。这是因为，对于同一个汽鼓，当压力变化时，即使保持汽鼓重量水位不变，也会引起实际重量蓄水量的变化。这是由于，压力不同引起饱和水重度变化而造成的。按照图2-4 (a) 的取样方式所测得的重量水位，作为水循环计算的依据比较合适。

水位测量和控制的目的是为了在水循环安全的情况下，提供更好的蒸汽品质。但是，蒸汽品质与重量水位的关系，不如它与实际水位更密切。可是，由于测量汽鼓实际水位在技术上还存在某些困难，所以目前几乎都是用重量水位来指导锅炉运行的。因此，要求装置的重重量水位计的指示值与实际水位的差值应尽量小。从式 (2-2, b) 可以清楚地看出，在锅炉工况一定时，这个水位差值 Δh_p 决定于 H_{sw} 的大小（但这时式中所用的 γ_{gs} 应是水取样点以上的水室中的汽水平均重度）。当水取样点上移时， H_{sw} 减小， Δh_p 也减小。当 H_{sw} 很小时，水位计指示就接近汽鼓实际水位。但是， H_{sw} 不能无限减小。因为 H_{sw} 太小，就不能满足测量范围的需要。一般高压锅炉汽鼓的直径在 2 米左右，水位计水、汽取样点之间的距离大约为汽鼓直径的三分之一左右。

按照图2-4 (b) 的取样方式装置的水位计，取样点 A 处的平面 AB 以下汽鼓炉水中的汽泡多少，并不影响实际水位 H_{sw} 与重

量水位 H_w 之间的差值 Δh_p 。对于图2-4(a)所示的水位计,当炉水膨胀时,汽鼓实际水位升高,但对重量水位指示仍无影响。然而,对于图2-4(b)所示的水位计来说,当炉水膨胀时,实际水位升高,水位计重量水位指示值也有所升高。这个升高的数值,主要是由于 AB 平面以下的汽鼓炉水膨胀时,使一部分炉水和汽泡进入了 AB 平面以上的水室而造成的。因此,这种水位计的指示可以部分地反映出炉水的膨胀。但重量水位 H_w 并不能完全反映汽鼓的容积蓄水量,而只能反映取样点处 AB 平面以上的炉水容积蓄水量。

4.云母水位计的指示值与重量水位之间的差值:

由于云母水位计的散热作用,使水位计中的水柱温度低于汽鼓内的饱和水温度,这就造成了水位计中水柱的重度增加,使指示值偏低,产生误差。

假设图2-5中的汽鼓重量水位为 H_w ,则由于水柱冷却造成的水位计指示误差 Δh 可以用下式计算:

$$\Delta h = \frac{H_w(\gamma_1 - \gamma')}{\gamma' - \gamma''} \tag{2-3}$$

式中 γ_1 ——水位计中水柱的平均重度(公斤力/米³);
 γ' ——饱和水重度(公斤力/米³);
 γ'' ——饱和蒸汽重度(公斤力/米³)。

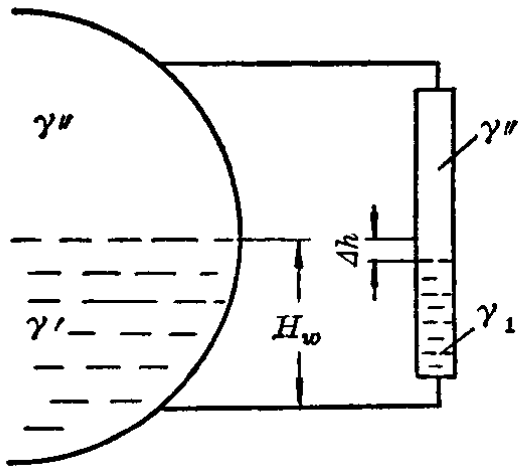


图 2-5

由式(2-3)可清楚地看出:云母水位计测量重量水位时所产生的误差 Δh ,不仅与重量水位 H_w 有关,而且还与锅炉汽鼓压力所决定的水、汽重度差 $(\gamma' - \gamma'')$ 以及由水柱温降所决定的 $(\gamma_1 - \gamma')$ 有关。

由水取样点至水面的高度 H_w 不仅与水面的位置有关,而且还与水取样点开孔位置的