

CNIC-00780

HASH-0001

CN9401048

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

高压汽包水位检测的核物理方法及其误差

THE NUCLEAR PHYSICAL METHOD
FOR HIGH PRESSURE STEAM MANIFOLD
WATER LEVEL GAUGING AND ITS ERROR

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre



李念祖：黑龙江省科学院汇通新技术公司高级
工程师。1959年毕业于清华大学无线电工程
系。

Li Nianzu; Senior engineer of Huitong New
Technology Corporation, Heilongjiang Academy
of Sciences. Graduated from Department of Ra-
dio Engineering, Tsinghua University in 1959.

CNIC-00780

HASH-0001

高压汽包水位检测的核物理方法及其误差

李念祖 李北城 贾胜铭

(黑龙江省科学院汇通新技术公司)

摘 要

介绍了用核探测技术测量高压汽包水位的一种新方法。该法实现了高压汽包水位的非接触式测量,从而克服了以往的基于其它原理而制成的水位计所固有的缺陷。对高压汽包内的连续水位自锅炉启停至满负荷状态下可全程进行实时监测,并可测出其真实水位值。对其测量误差也进行了现场的分析,并给出实验室中及天津军粮城发电厂实际运行中所测得的误差。

**THE NUCLEAR PHYSICAL METHOD
FOR HIGH PRESSURE STEAM MANIFOLD
WATER LEVEL GAUGING AND ITS ERROR**

(In Chinese)

Li Nianzu Li Beicheng Jia Shengming

(HUTTONG NEW TECHNOLOGY CORPORATION,
HEILONGJIANG ACADEMY OF SCIENCES)

ABSTRACT

A new method, which is non-contact on measured water level, to measure high pressure steam manifold water level with nuclear detection technique is introduced. This method overcomes the inherent drawback of previous water level gauges based on other principles. This method can realize full range real time monitoring on the continuous water level of high pressure steam manifold from the start to full load of boiler, and the actual value of water level can be obtained. The measuring errors were analysed on site. Errors from practical operation in Tianjin Junliangcheng Power Plant and in laboratory are also presented.

引言

众所周知,火力发电厂中的汽包水位是锅炉安全经济运行的一个重要参数。若水位过高,直接影响汽水分离效果,使饱和蒸汽湿度增大,含盐量增多。当水位高到一定程度时,蒸汽就要带水,而水中含盐浓度远比蒸汽高,致使蒸汽品质恶化,盐将在过热器管壁上和汽轮机叶片上结垢,导致过热器管被烧坏、爆破、汽轮机通流截面减少而降低出力,严重时甚至造成汽轮机叶片脱落的“飞车”恶性事故。若汽包水位过低,则破坏了锅炉的汽水自然循环,致使水冷壁被烧坏,严重缺水时,还很可能发生爆管、干锅等恶性事故,因此为了保证锅炉的安全经济运行,必须使汽包水位保持在允许范围内变化,一般是把汽包几何中心线下几十毫米处定为汽包水位的规定值,即零水位,水位上下波动一般不能超出±50 mm,并严格规定了极限水位。因此,汽包水位的精确可靠监测,对保证锅炉的安全经济运行有着十分重要的意义。

为此,国内外都很重视汽包水位的研究。国际上汽包水位计应用情况以英国应用的最好,它已将云母水位计取消改用电接点式水位计,美国和日本原不主张应用电接点水位计而是用压力补偿式的低置水位计,近年来也改用了电接点式水位计,(如美国已有400台锅炉采用了电接点式水位计)。目前国内外火力电厂中大多数采用的水位计,有云母水位计、差压式低置水位计、电极式水位计及双色水位计等。

以上各种水位计普遍都存在着一个突出问题,即实际上存在着较大的测量误差,不能反应汽包水位内的真实水位,此外,每一种水位计都不能单独满足水位运行时同时应具有的观点、连续及可供自动调节使用等多功能的需要,而且都普遍存在着维护量大的问题。

之所以存在上述问题,其原因就在于传感器件与被测介质直接接触,它必然会受到被测介质及其环境条件的影响。

由于核物理方法可以实现非接触性测量,因而传感器本身可不受被测介质及环境条件的影响,从而避免上述问题的出现,而能较好地适用于工业现场的要求。

在核物理探测的原理基础上,我们研制成功了GQS型高压汽包水位监测系统,并分别在天津军粮城发电厂5号、6号两台200 MW机组锅炉上连续运行了一年以上,较好地满足了该两台锅炉的运行要求。

1 基本工作原理

图1是高压汽包水位测量原理图,其测量原理是基于物质对 γ 射线的吸收原理,即核物理学中的比尔定律。它可用下述函数描述: ●

$$I = I_0 e^{-\mu_{m1} \rho_1 d - \mu_{m2} \rho_2 (L-d)} \quad (1)$$

- 式中: I ——当测量筒内存有水和蒸汽时,在测量时刻探测器所测得的计数率;
 I_0 ——当测量筒内无水、无蒸汽时(即全空),探测器所测得的计数率;
 $\mu_{m1} \cdot \mu_{m2}$ ——分别为水的质量吸收系数和汽的质量吸收系数,单位为 cm^2/g ;
 L ——测量筒的内总长度,单位为 mm ;
 d ——水位的高度,单位为 mm 。

由于质量吸收系数对某一特定射线与吸收物质的密度和物理状态无关,所以 $\mu_{m1} = \mu_{m2} = \mu_m$ 则由(1)式可得:

$$d = \frac{\ln \frac{I}{I_0} + \mu_m \rho_2 L}{\mu_m (\rho_2 - \rho_1)} \quad (2)$$

由式(2)可知:如果 I_0 、 μ_m 、 ρ_1 、 ρ_2 已知,则只要测出某一时刻的 I 值,即可计算出该时刻的水位值 d 。

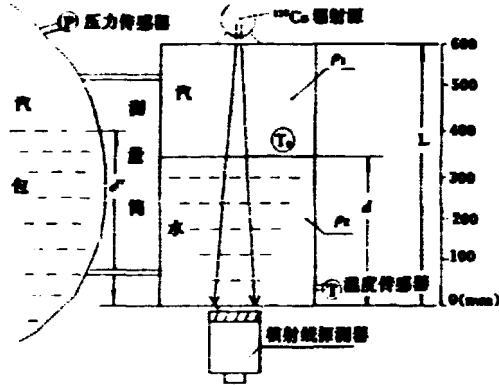


图1 高压汽包水位测量原理图

2 数学模型

式(2)仅仅是在理想情况下才得以成立的基本原理公式,在实践中很难以应用。在实际应用中,必须考虑到本底、散射、衰变等效应给测量误差所带来的影响,我们经过理论推导和一系列核物理实验,建立起如下数学模型:

$$d = \frac{\ln \frac{Ie^{\lambda t} - N}{B(I_0 - N_0)} + \mu_m \rho_2 L}{\mu_m (\rho_2 - \rho_1)} \quad (3)$$

- 式中: N ——当辐射源室关闭时(即无射线束时),在某一水位值时所测得的计数率;
 N_0 ——当辐射源室关闭时,测量筒内无水、无汽时所测得的计数率;
 B ——有效散射积累因子(无量纲); ●
 λ ——辐射源的衰变常数。对于 ^{137}Cs 为 $6.33 \times 10^{-8} \text{d}^{-1}$;
 t ——为辐射源衰变补偿时间,即某一测量时刻距 I_0 测量时刻的时间之差,单位为天。

下面将分别阐明上述各项的物理意义及处理方法。

(1) 本底 N

本底系指当辐射源室关闭时,测量筒水位在不同值时所测得的计数率。在实验室条件下测得本底 N 与水位值 d 的曲线如图2所示,并可写成函数如式(4)所示。

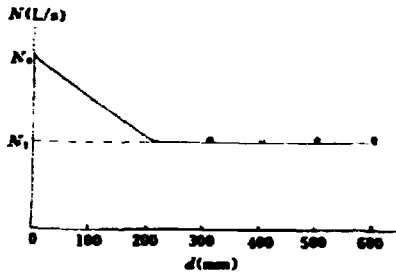


图2 本底曲线

$$\text{即: } \begin{cases} N = -((N_0 - N_1)/200) \cdot d + N_0 & (0 \leq d \leq 200) \\ N = N_1 & (200 < d \leq 600) \end{cases} \quad (4)$$

(2) 辐射源的衰变

辐射源将按其自身固有规律进行衰变,为了对其所造成的误差进行补偿,同时考虑到本底效应,应对式(2)进行修改为:

$$d = \frac{\ln \frac{I - Ne^{-\lambda d}}{(I_0 - N_0)e^{-\lambda d} + \mu_0 \rho_2 L} + \mu_0 \rho_2 L}{\mu_0 (\rho_2 - \rho_1)} \quad (5)$$

式中: λ 为辐射源的衰变常数,与其半衰期 $T_{1/2}$ 有如下关系:

$$\lambda = \ln \frac{2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}} \quad (6)$$

对于系统所使用的辐射源¹³⁷Cs,其 $T_{1/2} = 30 \text{ a}$,则(6)式为:

$$\lambda = \frac{0.693}{30 \times 365} = 6.33 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1} \quad (7)$$

将 λ 值代入式(5)得

$$d = \frac{\ln \frac{Ie^{6.33 \times 10^{-4} d} - N}{I_0 - N_0} + \mu_0 \rho_2 L}{\mu_0 (\rho_2 - \rho_1)} \quad (8)$$

(3) 有效散射积累因子 B

γ 射线与物质的相互作用基本有三种形式即电子对效应,康普顿效应和光电效应,这已由式(2)所描述。与此同时还存在着射线多次散射效应。特别是在本系统中,由于水位、水的密度和汽的密度不同而引起的散射最终效应也不同,这将造成测量误差。通过实验得知,最大可达 50 mm,因此必须对此进行补偿,为此,我们引入 B 因子称有效散射积累因子。以此 B 因子修正 I_0 ,用以补偿射线多次散射而引起的测量误差,如式(3)所示。由理论和实验得知 B 因子与水位值 d 、水的密度 ρ_1 、汽的密度 ρ_2 以及测量筒结构等因素有关。当测量筒结构定型后, B 因子将仅与 d 、 ρ_1 、 ρ_2 等参数有关,即 B 是 d 、 ρ_1 、 ρ_2 的函数。由于 $\rho_2 \ll \rho_1$,我们将 B 仅看作是与 d 和 ρ_1 的函数,即:

$$B = f(\rho_1, d) \quad (9)$$

B 因子与水位值 d 的函数曲线是以水密度 ρ_1 为第二变量的一组曲线族。这一曲线族我

们已在大量的核物理实验基础上确定了下来。B 曲线族建立后,经过实测证明,可以将水汽作为一个整体因素来考虑有效积累性散射效应,从而证实了可以将 B 因子看作 d 和 ρ 的函数。

(4) 综上所述,实测所应遵循的数学模型已为式(3)所示,今将式(3)中的各项参数在实际测量中具体处理方法阐述如下:

I —— 测量时刻探测器所测得的计数率。

I_0 —— 系统运行最初开始时刻所测得的计数率。

t —— 测量水位时刻距 t_0 测量时刻的时间,单位为天。

N_0 —— 辐射射线关闭时,测量筒内无水、无汽的条件下,在测 t_0 时刻探测器所测得的计数率(即本底最大值)。

N —— 辐射射线关闭时,测量筒内有水时,在测 t_0 时刻探测器所测得的计数率(即本底)。

B —— 有效散射积累因子,为一依赖于水位值 d 和水的密度值 ρ 的曲线族,它已通过大量核物理实验确定了下来。

μ —— 水的质量吸收系数,它是在实验室内本系统的仿真测量筒上经过大量核物理实验确定下来的,单位为 cm^2/g 。

L —— 实际测量筒的内总长度,单位为 mm。

将以上的参数,在系统运行前置入计算机,以供运行计算时使用。

ρ_1 —— 测量筒内水的密度,需在线实测。

ρ_2 —— 测量筒内汽的密度,需在线实测。

λ —— ^{137}Cs 的衰变常数, $6.33 \times 10^{-8} \text{d}^{-1}$ 。

ρ_1, ρ_2 的实测方法:

ρ_1, ρ_2 实际上取决于测量筒内的压力和温度,它们之间的关系符合热力学表,我们将热力学表存入计算机,以供运行计算时调用。压力和温度不同, ρ_1, ρ_2 即不同,即使压力相同而温度不同, ρ_2 也将不同,实际上测量筒虽然与汽包相通但终因与其分离而不处在同一物理状态下,必然造成温度不同,这就是冷却效应,从而造成较大且变化不定的冷却误差,这也是常规汽包水位计不能真实反应汽包内的水位的原因之一。我们的任务就在于准确地测量出测量筒内的水位,从而计算出汽包内的水位。

我们采用的方法是在测量筒一 300 mm 处加装温度传感器 T,并将其和汽包压力信号输入计算机。如图 1 所示。

汽包内汽水两相均处在饱和状态下,对于测量筒,汽相部分仍然是饱和状态,而水相则处于冷态,在汽水分界面处,我们仍视作饱和态,则汽水分界面处以上的物理参数应是在压力 p 和与其相对应的饱和温度 T_0 下的参数,分界面以下的物理参数应是在压力 p 和近似 T_0 与 T 的平均温度 T' 下的参数,在实测时即根据 p, T_0, T' (平均)的实测值查热力学表求出 ρ_1 和 ρ_2 的值。至此,式(3)中各项参数经预先置入计算机和实测均已知,从而计算出筒内水位值 d 。如需求汽包内真实水位值 d' ,可用公式(10)

$$d' = (\rho_1 / \rho_1') \cdot d \quad (10)$$

式中 ρ_1' 为汽包内水相密度值。在压力 p 和与其相对应的饱和温度 T_0 下由计算机查表求得。

3 本系统误差的理论分析

由式(3)的数学模型中可以得出,在测量时本系统的偶然误差来源有如下几项:

(1)由辐射源的衰变而引起的系统测量误差;

(2)由辐射源的自然统计涨落(包括 I_0 、 I 、 N_0 、 N)所具有的统计误差而引起的系统测量误差。

(3)由 ρ_1 的测量误差引起的系统测量误差;

(4)由 ρ_2 的测量误差引起的系统测量误差;

(5)有效散射积累因子 B 的曲线拟合带来的系统测量误差。

下面将分别对每种误差进行理论分析并给出计算方法。

(I) 辐射源的衰变

辐射源是按其自身固有规律进行衰变,对此系统已按天由计算机自动补偿,因此此项最大误差所发生的时间为 1 天,而在一天的时间内辐射源²³²Cs 衰变所产生的计数率的相对误差为 0.001%,该误差远远小于系统所要求的设计误差,因此该误差所引起的整个测量系统的误差可忽略,因此在讨论以下误差时, t 可取为 0,也就是取 $e^{\lambda t} = 1$ 。

(II) 统计误差

统计误差是由放射性核衰变的统计性引起的,即进行核测量时,每次的测量值总是围绕其平均值上下涨落,它符合高斯分布的规律,本系统的统计误差包括 I_0 、 I 、本底 N_0 、 N 的统计误差,为了计算方便,设:

$$I' = I - N \quad (11)$$

$$I_0' = I_0 - N_0 \quad (12)$$

由于本系统的测量时间为 10s 并采用速推法,又经过 4 分频输入到计算机,因此:

$$N' = \sqrt{\frac{I + N}{40}} \quad (13)$$

$$\Delta I_0' = \sqrt{\frac{I_0 + N_0}{40}} \quad (14)$$

上式中: N' —— $I - N$ 的统计误差;

$\Delta I_0'$ —— $I_0 - N_0$ 的统计误差。

则统计误差对 λ 引起的绝对误差 $\Delta \lambda_1$ 为:

$$(\Delta \lambda_1)^2 = \left(\frac{\partial \lambda}{\partial I'}\right)^2 \times (N')^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial I_0'}\right)^2 \times (\Delta I_0')^2$$

把式(1)代入上式并化简得:

$$(\Delta \lambda_1)^2 = \left[\frac{1}{\rho_1(\rho_2 - \rho_1)}\right]^2 \times \left[\left(\frac{N'}{I'}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_0'}{I_0'}\right)^2\right]$$

所以:

$$\Delta \lambda_1 = \left[\frac{1}{\rho_1(\rho_2 - \rho_1)}\right] \times \sqrt{\left(\frac{N'}{I'}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_0'}{I_0'}\right)^2} \quad (15)$$

把(2)、(3)、(4)、(5)代入(6)中得:

$$\Delta_1 = \left[\frac{1}{\mu(\rho_2 - \rho_1)} \right] \times \sqrt{\frac{I + N}{40(I - N)^2} + \frac{I_0 + N_0}{40(I_0 - N_0)^2}} \quad (16)$$

式(16)为由于辐射源的统计涨落而引起的水位测量值 d 的绝对误差 Δ_1 的计算公式。

(Ⅱ) ρ_1 的测量误差引起的系统测量误差

在本系统中 ρ_1 的测量方法为:通过压力信号、温度信号采用计算机查热力学表的方法进行。因此引起 ρ_1 的相对测量误差就是压力变送器、温度变送器所固有的精度。本系统使用的压力变送器为美国罗斯蒙特公司生产的 1151 型压力变送器,温度的测量采用北京产的 K 型一体化热电偶,所以 ρ_1 的相对测量误差不大于 0.5%。设 $\Delta\rho_1$ 为 ρ_1 的绝对误差, Δ_2 为 $\Delta\rho_1$ 引起水位值 d 的测量绝对误差。则有

$$\Delta\rho_1 = \rho_1 \times 0.5\% \quad (17)$$

$$\Delta_2^2 = \left(\frac{\partial d}{\partial \rho_1} \right)^2 \times (\Delta\rho_1)^2 \quad (18)$$

把式(1)代入上式并化简得:

$$(\Delta_2)^2 = \left[\frac{\ln \frac{I'}{II_0'} + \mu\rho_1 l}{\mu(\rho_2 - \rho_1)^2} \right]^2 \times (\Delta\rho_1)^2$$

所以

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \frac{\ln \frac{I'}{II_0'} + \mu\rho_1 l}{\mu(\rho_2 - \rho_1)^2} \times (\Delta\rho_1) \\ &= \frac{\ln \frac{I'}{II_0'} + \mu\rho_1 l}{\mu(\rho_2 - \rho_1)^2} \times \rho_1 \times 0.5\% \end{aligned} \quad (19)$$

式(19)为 ρ_1 的测量误差在水位值 d 上引起的绝对误差 Δ_2 计算公式。

(Ⅳ) ρ_2 的测量误差引起的系统测量误差

ρ_2 的测量方法和 ρ_1 的测量方法相同。因此 ρ_2 的相对误差也为 0.5%。

设 $\Delta\rho_2$ 为 ρ_2 的绝对误差, Δ_3 为 $\Delta\rho_2$ 引起水位值 d 的绝对误差。则有

$$\Delta\rho_2 = \rho_2 \times 0.5\% \quad (20)$$

$$\Delta_3^2 = \left(\frac{\partial d}{\partial \rho_2} \right)^2 \times (\Delta\rho_2)^2 \quad (21)$$

把(1)式代入上式并化简得:

$$\Delta_3^2 = \left[\frac{\ln \frac{I'}{II_0'}}{\mu(\rho_2 - \rho_1)^2} + \frac{l}{\rho_2 - \rho_1} - \frac{\rho_2 l}{(\rho_2 - \rho_1)^2} \right]^2 \times (\Delta\rho_2)^2$$

所以

$$\begin{aligned} \Delta_3 &= \frac{\ln \frac{I'}{II_0'} + l\mu(\rho_2 - \rho_1) - \mu\rho_2 l}{\mu(\rho_2 - \rho_1)^2} \times (\Delta\rho_2) \\ &= \frac{\ln \frac{I'}{II_0'} + \mu\rho_1 l}{\mu(\rho_2 - \rho_1)^2} \times (\Delta\rho_2) \end{aligned}$$

$$= -\frac{\ln \frac{\rho}{Bd} + \rho_2 \rho_1 L}{\rho_2 (\rho_2 - \rho_1)^2} \times \rho_2 \times 0.5\% \quad (22)$$

式(22)为 ρ_2 的测量误差在水位值 d 上引起的绝对误差 ΔM_3 的计算公式。

(V) 有效散射因子 B 的曲线拟合带来的系统测量误差

求 B 曲线时,是采用曲线拟合方法进行的,因此必定带来一定的误差。

从实验数据中可知,当水位在 $-50 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ 变化时 B 的相对误差为 0.3% ,当水位在 $-300 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ 或 $+50 \text{ mm} \sim 300 \text{ mm}$ 变化时, B 的相对误差为 0.8% 。

设 ΔB 为在水位 d 上引起的绝对误差,则有:

$$\begin{aligned} \Delta B &= B \times 0.3\% & -50 \text{ mm} < d < +50 \text{ mm} \\ \Delta B &= B \times 0.8\% & -300 \text{ mm} < d < -50 \text{ mm}, \\ & & +50 \text{ mm} < d < +300 \text{ mm} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\Delta M_4^2 = (\partial/\partial B)^2 \times \Delta B^2 \quad (24)$$

把(1)式代入(15)并化简得:

$$(\Delta M_4)^2 = \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 \times \left[\frac{1}{\rho_2(\rho_2 - \rho_1)}\right]^2$$

所以

$$\Delta M_4 = \frac{\Delta B}{B} \times \frac{1}{\rho_2(\rho_2 - \rho_1)} \quad (25)$$

式(25)为 B 的曲线拟合误差在水位 d 上引起的绝对误差 ΔM_4 的计算公式。

综合上述本系统总体误差 ΔM 取最大值则为

$$\Delta M = |\Delta M_1| + |\Delta M_2| + |\Delta M_3| + |\Delta M_4|$$

4 误差的计算及其结果

基于核物理方法进行汽包水位检测而研制成功的“GQS-1型高压汽包水位监测系统”成功地投入了天津军粮城发电厂5号、6号炉上运行达一年以上,今将其测试结果综合如下。

首先对一些符号作如下定义:

(1) $\Delta M_1, \Delta M_2, \Delta M_3, \Delta M_4$ 是根据(16), (19), (22), (25)公式计算所得值

(2) $\Delta M_{\text{理}} = |\Delta M_1| + |\Delta M_2| + |\Delta M_3| + |\Delta M_4|$

(3) $d_{\text{理}} = \Delta M_{\text{理}}/600$ 是理论计算的水位相对误差

(4) $d_{\text{显}}$ 是本系统显示的水位值

(5) $\Delta d_{\text{显}} = d_{\text{显}} - d_{\text{真}}$

(6) $d_{\text{真}} = \Delta M_{\text{理}}/600$ 是水位的实际相对误差

(7) $d_{\text{真}}$ 是根据标定料位计所测得的测量筒的真实水位值

表1是根据在实验室作的冷水(水的密度为1,汽的密度为0)数据所算得的误差值。

表1 实验室数据

实际水位 d_g (mm)	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	d_{max} (mm)		M_{max}	d_g
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
+300	2.2	0	0	0.7	2.9	0.5	+292	+296	11	2.3
+200	1.7	0	0	0.7	2.4	0.4	+195	+190	10	1.2
+100	1.2	0	0	0.7	1.9	0.3	+100	+097	3	0.5
+050	1.0	0	0	0.4	1.4	0.2	+048	+046	4	0.7
000	0.8	0	0	0.4	1.2	0.2	-001	-003	3	0.5
-050	0.7	0	0	0.4	1.1	0.2	-053	-053	3	0.5
-100	0.6	0	0	0.7	1.3	0.2	-103	-102	3	0.5
-200	0.5	0	0	0.7	1.2	0.2	-199	-199	1	0.2
-300	0.4	0	0	0.7	1.1	0.2	-299	-299	1	0.2

表2 是根据锅炉从启动到正常运行时所实际测得的数据计算得出的误差值。

表2 天津军粮城发电厂现场数据

压力 MPa	ρ_1 g/cm	ρ_2 g/cm	$d_{120 \pm 12}$ mm	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	d_g	d_g	d_g
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	mm	%
0.100	1.00	0.00	0	0.8	1.6	0.1	0.4	2.9	0.5	-4	4	0.7
	1.00	0.00	+70	0.9	2.1	0.1	0.1	3.8	0.6	+66	4	0.7
	1.00	0.00	-70	0.7	1.2	0.1	0.7	2.7	0.5	-75	5	0.8
3.48	0.8119	0.0174	0	0.9	1.7	0.1	0.9	3.6	0.6	+5	5	0.8
	0.8119	0.0174	+70	1.2	2.2	0.1	0.5	4	0.7	+77	7	1.2
	0.8119	0.0174	-70	0.8	1.2	0.1	0.9	2.1	0.4	-62	8	1.3
6.65	0.7496	0.0396	0	0.9	1.8	0.1	1.0	3.8	0.6	+3	3	0.5
	0.7496	0.0396	+70	1.2	2.2	0.1	0.6	4.1	0.7	+75	5	0.8
	0.7496	0.0396	-70	0.9	1.3	0.1	1.0	3.3	0.6	-64	6	1.0
9.016	0.7054	0.0190	0	1.0	1.8	0.1	1.1	4	0.7	+2	2	0.3
	0.7054	0.0190	+70	1.3	2.3	0.1	0.7	4.4	0.7	+73	3	0.5
	0.7054	0.0190	-70	0.8	1.3	0.1	1.1	3.3	0.6	-72	2	0.3
11.13	0.669	0.0635	0	1.0	1.9	0.1	1.2	4.2	0.7	-2	2	0.3
	0.669	0.0635	+70	1.3	2.4	0.1	0.7	4.5	0.8	+68	2	0.3
	0.669	0.0635	-70	0.8	1.4	0.1	1.2	3.5	0.6	-76	6	1.0
13.61	0.6265	0.0841	0	1.2	2.0	0.1	1.3	4.6	0.8	-6	6	1.0
	0.6265	0.0841	+70	1.4	2.4	0.1	0.8	4.7	0.8	+63	7	1.2
	0.6265	0.0841	-70	1.0	1.4	0.1	1.3	3.8	0.6	-80	10	1.7
14.40	0.614	0.091	0	1.2	2.1	0.1	1.3	4.7	0.8	-6	6	1.0
	0.614	0.091	+70	1.4	2.5	0.1	0.8	4.8	0.8	+65	5	0.8
	0.614	0.091	-70	1.1	1.4	0.1	1.3	3.9	0.79	-75	5	0.8

5 系统标定

由于常规的汽包水位计存在其固有问題,显然本系统不好再以其为标准进行标定。同时,那些水位计的测量筒与本系统的测量筒不可能处在同一结构位置上,也就是说不可能处在同一物理状态下,也就不应该再以其为标准进行测量。在实际标定过程中,我们确实发现以常规汽包水位计为标准,在某一时刻进行了准确标定,随着汽包运行参数的变化或者在标

定以后的不同时间里两者仍然存在着较大偏差,最大偏差可达 70 mm。为此,我们用已研制成功的 DJ-2 型料位计做为标定系统,简称标定料位计,其原理示意图如图 3 所示。

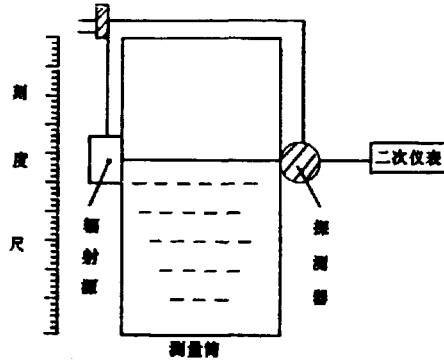


图 3 水位标定示意图

它的工作原理简述如下:

标定料位计由辐射源室、探测器、二次仪表所组成。探测器和辐射源室可以沿测量筒上下滑动,辐射源室和探测器都有很窄的射线准直孔,当二者滑动到汽水分界面处时,二次仪表即灯光显示,此处位置由几何刻度尺读出读数,此读数便是筒内的真实水位值。其测量误差小于 2 mm。

测量筒内的实际水位值 $d_{\text{实}}$ 即是以以此来测量的,由此最终测出使用这一方法所产生的误差。

6 结论

高压汽包水位的核物理方法检测是不同于以往常用的各种水位计原理的,属于非接触性测量,因此,它具有直观、连续、全程、稳定、可靠等特点,但其测量精度往往为人们所担心,通过上述理论分析及计算,以及在天津军粮城发电厂运行中实测,均证明此种方案切实可行,可以比较好地满足实际要求。

但有人认为其误差偏大,关于这一问题,我们可以适当增加辐射源的源强(活度)或适当增加采样时间来进一步减少误差,适当针对具体情况作具体处理。

参加这一工作的还有下列同志,王志强、孙普男、张晓红、赵平海、邱兴禄、洪汉德、李胜、康宁。

参考文献

- [1] 卢希庭, 原子核物理, 第一版, 北京, 原子能出版社, 1981
- [2] 复旦大学、清华大学、北京大学合编, 原子能核物理实验方法, 第一版, 北京, 原子能出版社, 1982
- [3] 王宗仁, 核仪器电子技术, 第一版, 北京, 原子能出版社, 1977
- [4] 李星洪, 辐射防护基础, 第一版, 北京, 原子能出版社, 1982
- [5] 北京锅炉厂设计科, 锅炉机组热力计算标准方法, 第一版, 北京, 机械工业出版社, 1976, 257~261

C

高压汽包水位检测的核物理方法及其误差
原子能出版社出版(北京市海淀区阜成路43号)
通讯处:北京2108信箱,100037(邮编)
中国原子能工业公司翻译部排版
中国核科技情报所印刷

开本 787×1092 1/16 · 印张 $\frac{1}{2}$ · 字数 14千字

1993年10月北京第一版·1993年10月北京第一次印刷

ISBN7-5022-0872-7

凡·€19

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN7-5022-0972-7
TL • 619

P.O.Box 2103
Beijing, China

China Nuclear Information Centre
