

立式上锅筒实际液位计算方法的探讨

邹 向 王良焱 郑少健 (中国科学院广州能源研究所)

〔摘要〕 作者分析和讨论了汽水混合物由水下引进时的穿泡过程,比较了两种平均截面容积含汽率的计算方法,整理出容易计算的 实际液位计算公式。实际液位与重量液位的差值取决于上锅筒蒸发量和工作压力。在中低压范围,蒸发量一定时,适当提高工作压力可以增加实际重力分离高度,从而提高自然分离效果。在某些情况下,最高液位与平均液位之差别是不容忽视的。

关键词 立式汽包 液位 容积含汽率 计算

分类号 TK223.13

0 前言

在立式上锅筒中,当汽水混合物由水下引进时,由于水室内存在大量的蒸汽泡,实际液位与重量液位是有很大差别的。为计算实际的液位,通常是 将水室内各处的容积含汽率看作均匀一致,且把液面当平面处理,从而推导出平均液位的计算公式^[1,2]

$$\bar{H} = \frac{H_0}{1 - \bar{\gamma}} \quad (1)$$

式中 \bar{H} 、 H_0 、 $\bar{\gamma}$ 分别为平均液位、重量液位和截面平均容积含汽率。实际上,上锅筒内的运行工况是很复杂的,水和汽并非截然分开,甚至没有明显的分界面,所谓的蒸发面亦是波动的。因此,实际液位能达到的最大高度要大于平均液位。

1 机理过程

当汽水混合物从水下均匀地引入时,形成大量的蒸汽泡,在浮力的作用下,蒸汽泡先是作无压差的上升运动;在接近蒸发表面时,由于表面张力的作用,蒸汽泡的速度逐渐减慢,最后冲出水面而破裂,形成水柱和波浪(图 1)。由于大量的蒸汽泡冲出水面并破裂,造成汽水分界面的剧烈波动,从而使蒸发面呈不稳定的波浪形。与上述过程相对应,沿高度方

向的 $\bar{\gamma}$ 值先是保证某一定值(称为稳定段);在蒸发面附近, $\bar{\gamma}$ 由稳定值逐渐改变到 1(此称为过渡段),如图 2 所示。在过渡段,汽水几乎完全分开形成单相



图 1 蒸汽泡的破裂过程

1-破裂前 2-破裂后

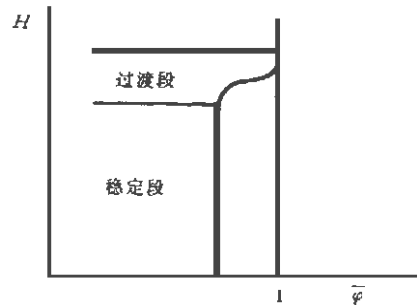


图 2 沿高度方向截面平均容积含汽率典型分布曲线

的蒸汽流。当然,最后总有少量的液滴为蒸汽所携带,但这并不影响流体的工况。

收稿日期 1996-03-18 定稿 1996-09-18

* 本文为 1994 年广东省自然科学基金资助项目

2 计算方法

根据以上的分析,实际的蒸发表面是一个不断变化的波浪形状,最高液位为稳定段与过渡段之和(图 3)。把蒸发面视作峰谷对称,且与过渡段相对应的波浪面,则可写出

$$H_{\max} = H_{0t} + \Delta H_1 + \Delta H_2 \cong \bar{H} + \frac{1}{2} H_g \quad (2)$$

式中: $\Delta H_1 = \bar{H} - H_0$, 为平均液位与重量液位之差

$\Delta H_2 = H_{\max} - \bar{H}$, 为最高液位与平均液位之差

H_g 为过渡段高度

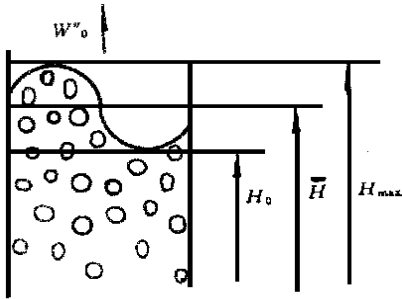


图 3 过程示意图

2.1 稳定段容积含汽率的计算

推导液位的计算公式,首先必须确定容积含汽率的计算方法,一些资料介绍了两种形式的计算方法^[1,3,4]

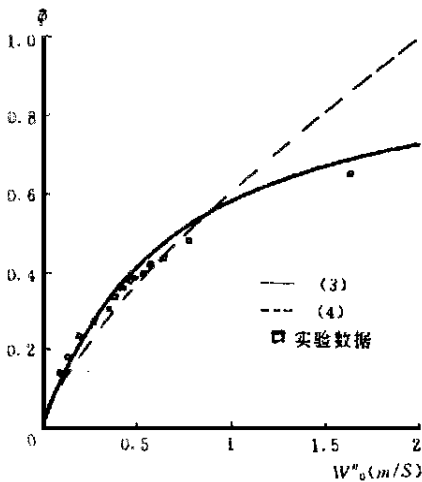


图 4 理论计算 ($n = 0.72$) 与实验数据的比较

$$\bar{h} = \frac{1}{h + w^2 / w_0''} \quad (3)$$

$$\bar{h} = c(w_0'')^n \quad (4)$$

上述两式中: $w^2 \cong 1.5 \sqrt[4]{g \frac{d^4 - d''^4}{d^2}} \times 1.4 \sqrt[5]{\frac{d}{d''}}$
 $\times \left(1 - \frac{d}{d''} \right)^3$;

n 大致为 0.68~0.8 系数 $c = f(d, d'', g, \sigma)$, 取决于工作压力; d^4, d''^4 分别为蒸汽和水的密度 (kg/m^3); w_0'' 为蒸汽的折算速度 (m/s); σ 为表面张力 (N/m); g 是重力加速度 (m/s^2)

为确定公式的选用,将上两式与工作压力 $P = 1.66 \text{ MPa}$ 的实验数据^[3]进行比较(见图 4),式(3)在很大的蒸汽折算速度范围内都吻合得很好,而式(4)在蒸汽折算速度 w_0'' 较小时与实验数据较为吻合,当蒸汽折算速度较大时差别较大,在 w_0'' 很大时计算所得的 \bar{h} 将大于 1(实际上是不可能的),因此我们在后面的讨论中采用式(3)。

2.2 实际液位的计算

过渡段的计算采用文献[4]的方法:

$$H_g = 0.15 \sqrt{P w_0''} \quad (\text{m}) \quad (5)$$

式中 P 为工作压力, MPa 上式表明,过渡段高度仅取决于蒸汽负荷和压力,而与重量液位无关。表面张力可以用下式计算:

$$\sigma \cong 7 \times 10^{-14} (d^4 - d''^4) \quad (\text{N}/\text{m}) \quad (6)$$

对于立式汽包,有:

$$D = \frac{3600}{1000} \times \frac{1}{4} \times c d^2 d'' w_0'' \quad (\text{t}/\text{h}) \quad (7)$$

式中: D 为上锅筒蒸发量 (t/h), d 为筒体直径 (m)

综合上述式(2)、(3)、(5)~(7),经整理,最后得到:

$$H_{\max} = H_{0t} + A \frac{D}{d^2} + B \frac{D}{d^2} \quad (\text{m}) \quad (8)$$

$$\bar{H} = H_{0t} + A \frac{D}{d^2} + H_0 \quad (\text{m}) \quad (9)$$

$$H_g = 2B \frac{D}{d^2} \quad (\text{m}) \quad (10)$$

式中: $A = \frac{d^{5.3}}{5.4 \times 10^{-3} d^{10.8} (d - d'')^{6.25}} \quad (\text{h}^2 \text{ m}^2/\text{t}),$

$$B = \frac{2.65 \times 10^{-2} P}{d''} \quad (\text{h}^2 \text{ m}^3/\text{t}),$$

取决于工作压力。不同压力下的 A, B 值可通过后面图 5 查得。

3 讨论

综合上述,可得: $\Delta H_1 = A \frac{D}{d^2} H_0$ (m) (11)

$\Delta H_2 = B \frac{D}{d^2}$ (m) (12)

工作压力对液位的影响反映在参数 A, B , 图 5

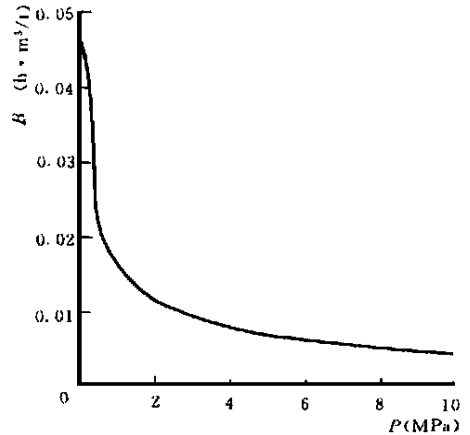
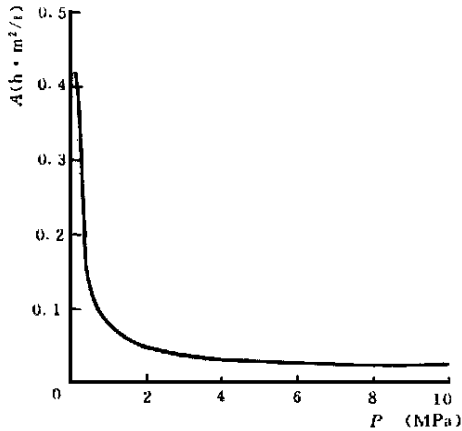


图 5 不同压力下的 A, B 值

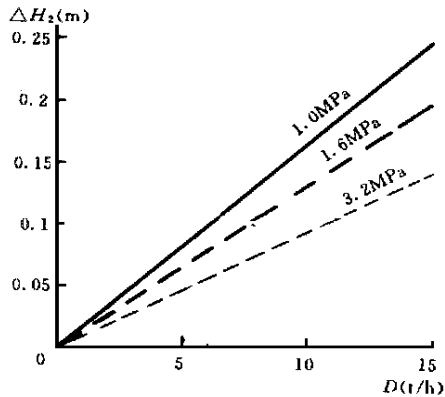


图 6 不同压力下 ΔH_2 与蒸发量的关系

当筒体直径确定以后,最高液位、平均液位和重量液位三者之间的差别 $\Delta H_1, \Delta H_2$ 与上锅筒蒸发量成直线关系,工作压力一定时,蒸发量越大, ΔH_1 越大。图 6 所示是不同压力下上锅筒蒸发量对 ΔH_2 的影响,该图表明在蒸发量较大或工作压力较低时,最高液位与平均液位之差别还是比较大的,足以影响重力分离效果,从而影响蒸汽的品质。例如,对于某实际运行压力 $P = 1 \text{ MPa}, D = 5 \text{ t/h}, d = 1 \text{ m}, H_0 = 1$

是它们的关系曲线。在中低压范围,压力对实际液位的影响很大,参数 A, B 在数值上先是迅速减小,然后逐渐趋于某一定值;当压力超过 4 MPa 左右时, A, B 随压力变化很小。也就是说,对于中低压上锅筒,在蒸发量不变时,适当提高运行压力有利于提高实际重力分离段高度,改善汽水分离效果。

m 的废气余热锅炉立式上锅筒, $\Delta H_1, \Delta H_2$ 分别为 492 mm 和 82 mm。因此,在这种情况下,在设计和实际运行中汽空间的重力分离高度应相应选择大一些,或者采用其它进水方式以避免筒体高度太大。

参 考 文 献

- 1 龚三省. 可见水位与真实水位之区别. 热能动力工程, 1991, (5): 275-277
- 2 李守恒等. 电站锅炉汽水分离装置的原理和设计. 水利电力出版社, 1986
- 3 [苏] A. M. 库捷波夫等. 蒸汽形成时的流体动力学和热交换. 水利电力出版社, 1983年
- 4 [苏] H Γ. 拉索欣. 核电站蒸汽发生器装置. 原子能出版社, 1982年

作者简介: 邹向男 1966年生 助理研究员, 华南理工大学毕业, 硕士学位。从事热能工程工作, 发表论文十多篇。获多项专利成果, 曾获中国科学院和广州市科技进步奖。(通讯处 510070 广州市先烈中路 81号)

thermobalance and under a temperature rise of $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$, resulting in the identification of a variation law of coal combustion characteristics points. **Key words** thermobalance, combustion characteristic points

内循环流化床颗粒功力特性的研究 = **A Study of the Dynamic Characteristics of Inner-circulating Fluidized Bed Particles** [刊, 中] / Lu Chumei, Xu Yansheng (Shandong University of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, - 1997, 12(5). - 335- 338

This paper presents the results of an experimental study on the dynamic characteristics of particles in a V type inner-circulating fluidized bed, including the kinematic trajectory of the particle inner circulation, the distribution feature of the bed layer inner pressure and fluidization speed, etc. **Key words** inner circulation fluidized bed, dynamic characteristics, fluidization speed

高浓度煤粉燃烧过程中氮氧化物生成的研究 = **An Investigation of NO_x formation Resulting from the Burning of High-concentration Pulverized Coal** [刊, 中] / Qi Hong, Fan Yaoguo, Yuan Jianwei (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 339- 344

NO_x emissions were measured during the process of pulverized coal burning with the formation and disassociation of NO_x undergoing a chemico-dynamics simulation. The simulation results show that the major cause of the significant decrease in NO_x emissions during the combustion of high-concentration pulverized coal consists in a combustion deviating from the stoichiometric ratio. The disassociation action on NO_x of a huge amount of CO produced under a uniform phase ignition mode can be explained as the second cause. **Key words** high-concentration pulverized coal, coal combustion, NO_x, CO

立式上锅筒实际液位计算方法的探讨 = **An Exploratory Investigation of the Method for Evaluating Actual Water Levels in Vertical Steam Drums** [刊, 中] / Zou Xiang, Wang Liangyan (Guangzhou Energy Resources Research Institute under the Chinese Academy of Sciences) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 345- 347

An analysis and discussion is given of the bubbling process in the case of underwater admission of steam-water mixture. Two kinds of methods for evaluating average section volumetric quality are compared with a calculation formula given, which facilitates the computation of actual water levels. The difference between an actual water level and a weight water level is dependent on the steam drum steam output and operating pressure. In the case of a medium and low-pressure range and a constant steam output a moderate increase in operating pressure can lead to an increase in actual gravity separation height, thereby enhancing the effectiveness of natural separation. Under certain circumstances the difference between the maximum water level and an average water level should not be taken lightly or disregarded. **Key words** vertical steam drum, water level, volumetric quality, evaluation

贾汪 PFBL-CC中试电站异形煤仓设计和试验 = **Design and Test of an Irregular-shaped Coal Bin for Jiawang PFBC-CC intermediary Test Power Station** [刊, 中] / Yang Yaping (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(5). - 348- 350

With the help of Jike's design method of mass flow hopper bins some special issues in the design of hopper bins are analysed with a simplified treatment being proposed. A Study is conducted of the shape selection which can produce a mass flow in an irregular-shaped coal particle hopper bin. In addition, a model test has been conducted to verify the accuracy of the results. **Key words** coal bin, hopper bin, mass flow, slope, inner-flow valley