

提高自然循环热水锅炉循环水速的方法—加装射流装置

朱群益 张培亭 赵广播 阮根健 陈崇枢
(哈尔滨工业大学)

[摘要] 本文对自然循环热水锅炉循环回路中采用的射流装置的性能进行了理论分析和试验研究,得到了加装直管形喷嘴及锥形喷嘴后的回路附加压头 ΔP_s 计算公式。

关键词 热水锅炉 射流装置 直管喷嘴 锥形喷嘴

分类号 TK212

1 引言

近年来,一种提高自然循环热水锅炉循环水速的方法—复合循环,在一些小容量热水锅炉中得到了应用^[1]。

所谓复合循环,如图1,即在下降管入口加一喷嘴,给水经喷嘴后以一定的流速喷入下降管,此股流体称工作流体;在工作流体的卷吸作用下,锅筒内的一部分流体卷吸入下降管,称卷吸流体;两者在下降管入口段混合后在回路中循环,称混合流体。喷嘴与下降管入口管段组成射流装置,如图2。此时回路中作用着两种力,一是工作流体产生的强制循环动力,一是本身存在的自然循环动力,两力方向一致,相互叠加,循环动力增大,循环水速提高。

对复合循环,已有一些试验研究^[2]。但其试验方法及产生的附加压头计算极为复杂。因此,本文作了一些改进,分别对直管形

及锥形喷嘴进行了试验研究,同时使附加压头的计算公式大为简化。

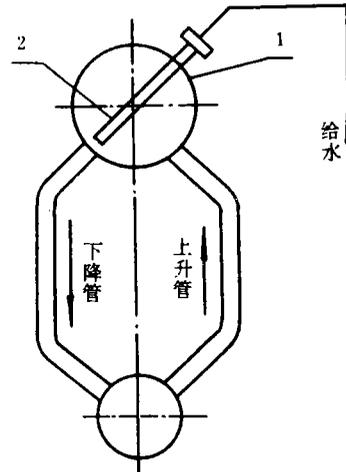


图1 复合循环工作原理

1 锅筒; 2 喷嘴;

收稿日期 1992 12 19 修改定稿 1993 05 10

本文联系人 朱群益 男 31 副教授 150006 哈尔滨工业大学热能工程教研室

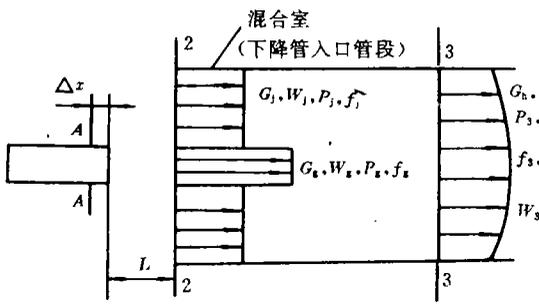


图 2 射流装置结构

2 射流装置基本方程推导

本文采用两种喷嘴，直管形和锥形喷嘴。其基本方程推导过程相同。

如图 3，锥形喷嘴收缩半角为 β° ；圆柱过渡段长度为 L_{ed} (mm)；过程渡段直径即为喷嘴出口直径为 d_0 (mm)。

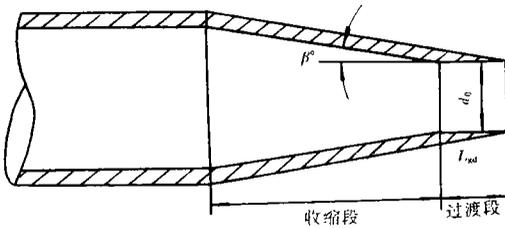


图 3 锥形喷嘴结构

推导中引入两点假设：

2.1 喷嘴距混合室(即下降管入口管段)入口的距离 L mm 较小，假设工作流体进入混合室前的流束断面保持不变。

2.2 循环回路下降管入口水温与回水温度相差不大，假设工作流体和被卷吸流体的密度相同。

工作流体和卷吸流体在混合室中产生质量和动量交换，使混合流体的速度场趋于均匀，压力不断回升。设在截面 3—3 处压力达到最大值。根据文献[3]，对截面 2—2 和 3

— 3 列动量方程。

$$\varphi_1(K_1 \cdot G_g \cdot W_g \cdot \rho + K_2 \cdot G_j W_j \cdot \rho) - K_3(G_g + G_j)W_3 \cdot \rho = (P_3 - P_g) \cdot f_g + (P_3 - P_j) \cdot f_j \quad (1)$$

式中： G_g, W_g, P_g, f_g — 截面 2—2 上工作流体的流量、流速、压力、流通截面， $m^3/s, m/s, Pa, m^2$ ；

G_j, W_j, P_j, f_j — 截面 2—2 上卷吸流体的流量、流速、压力、流通截面， $m^3/s, m/s, Pa, m^2$ ；

W_3, P_3, f_3 — 截面 3—3 上混合流体的流速、压力、流通截面， $m/s, Pa, m^2$ ；

ρ — 流体密度， kg/m^3 。

K_1, K_2 为工作流体和卷吸流体在混合室入口截面上流速分布不均引起的动量修正系数， K_3 为截面 3—3 上混合流体流速分布不均引起的动量修正系数， φ_1 为混合室中的动量损失修正系数。

引入喷射系数 u 和截面比 m ：

$$u = G_j/G_g \quad (2)$$

$$m = f_j/f_g \quad (3)$$

设被卷吸流体在进入混合室前的压力为 P_0 (Pa)， P_0 即为锅筒中的压力。对截面 2—2 上的卷吸流体列能量方程：

$$P_0 = P_j + (1 + \xi_1) \cdot \rho \cdot W_j^2/2 \quad (4)$$

式中 ξ_1 — 卷吸流体在混合室入口处的阻力系数。

对截面 A—A 上工作流体列能量方程：

$$P_p + \rho \cdot W_g^2/2 = P_0 + (1 + \xi_2) \frac{\rho \cdot W_g^2}{2} \quad (5)$$

式中 P_p — 工作流体在截面 A—A 上的静压，Pa；

ξ_2 — 截面 A—A 至喷嘴出口处的阻力系数。

当截面 A—A 与喷嘴出口截面间的距离 Δx 很小时， $P_p \approx P_0$ 。令

$$\Delta P_p = P_p + \rho \cdot W_g^2/2 - P_0 \quad (6)$$

$$\varphi_2 = 1/\sqrt{1 + \xi_1} \quad (7)$$

$$\varphi_3 = 1/\sqrt{1 + \xi_2} \quad (8)$$

由上可知, $\Delta P_p \approx \rho W_g^2/2$, ΔP_p 称射流装置工作时的总有效压头。

在截面 2—2 上有:

$$P_g = P_j \quad (9)$$

将式(2)至式(9)代入式(1),再除以式(6),化简得射流装置的基本方程:

$$\frac{\Delta P_3}{\Delta P_p} = 2\varphi_3^2 \left[\frac{K_1 \cdot \varphi_1}{m} + \frac{K_2 \cdot \varphi_1 u^2}{m(m-1)} - K_3 \frac{(1+u)^2}{m^2} - \frac{u^2}{2\varphi_2^2(m-1)^2} \right] \quad (10)$$

式中 $\Delta P = P_3 - P_0$, 为射流作用而产生的附加压头,即为工作流体产生的强制循环动力。

3 试验装置及试验结果

图 4 为试验台简图。混合室上装有一排测压管,用于测量混合流体的压力回升最大值,即确定截面 3—3 上的压力 P_3 。流量计“3”、“5”分别测量工作流体流量 G_g 及混合流体流量 G_h ,则:

$$G_j = G_h - G_g \quad (11)$$

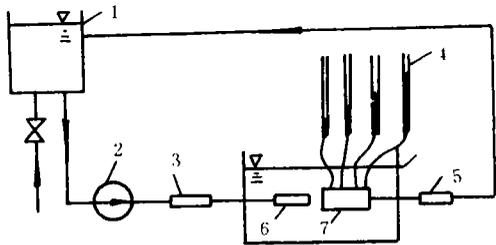


图 4 试验台简图

- 1 水箱 2 水泵 3、5 流量计
- 4 测压管 6 喷嘴 7 混合室

采用直管形喷嘴和锥形喷嘴,试验发现,当截面比 m 和 ΔP_p 不变时,改变距离 L

值,喷射系数 u 发生变化,这是因为工作流体对被卷吸流体的卷吸作用力发生变化,将试验数据整理成 $u = f(L/d_0, m)$,如图 5。回归得当 $L = 1.69(\sqrt{m} - 1) \cdot d_0$ 时, u 达最大值。此时 G_h 最大。定义此距离为最佳距离,记为 L_j

$$L_j = 1.69(\sqrt{m} - 1) \cdot d_0 \quad (12)$$

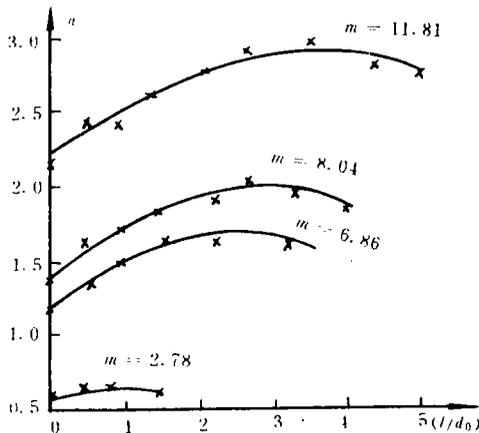


图 5 $u = f(L/d_0, m)$ 曲线

试验时混合室中的流动及实际热水锅炉下降管中流动均为紊流,截面 3—3 上流速分布较均匀,因此, K_3 近似取为 1.0。

由水动力计算知, ξ_1 可取为 0.5,则

$$\varphi_2 = 0.816$$

文献[3]推荐 $\varphi_1 = 0.95 \sim 0.975$, $\varphi_3 = 0.95 \sim 0.975$,根据推荐值,本文取 $\varphi_1 = 0.975$ 。直管形喷嘴出口阻力系数要比锥形喷嘴大,故本文中 φ_3 取值为:

直管形喷嘴: $\varphi_3 = 0.95$

锥形喷嘴: $\varphi_3 = 0.975$

3.1 直管形喷嘴的射流装置基本方程

当喷嘴距混合室入口距离为 L_j 时,将试验数据整理成 $\Delta P_3/\Delta P_p = f(u, m)$,如图 6 中实线所示

将 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, K_3$ 值代入式(10), 并根据图 6 中实线对应的数据, 求得式(10)中的 $K_1 = 1.25, K_2 = 1.3$, 最后得直管形喷嘴的射流装置的基本方程。

$$\frac{\Delta P_3}{\Delta P_F} = \frac{2.2}{m} + 2.29 \frac{u^2}{m(m-1)} - 1.81 \frac{(u+1)^2}{m^2} - 1.36 \frac{u^2}{(m-1)^2} \quad (13)$$

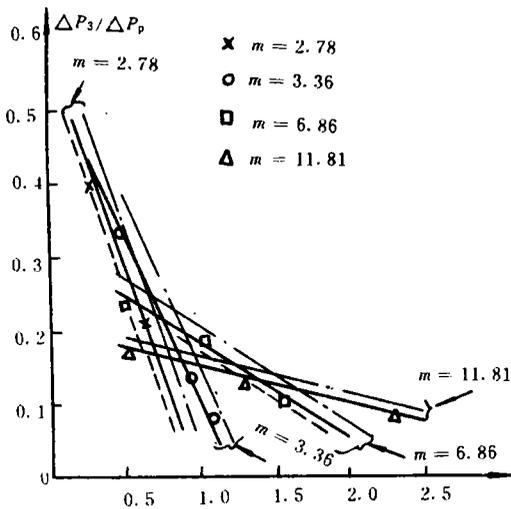


图 6 $\Delta P_3/\Delta P_F = f(u, m)$ 曲线

图 6 中的虚线为喷嘴插入混合室(插入深度为 1.0 mm)时的试验结果, 可见 $\Delta P_3/\Delta P_F$ 值减小, 射流装置的性能变差。这是因为喷嘴插入混合室时, 被卷吸流体在混合室入口处阻力增加, 使得混合流体的压力

回升值变小。因此装设喷嘴时, 应使其离开混合室入口一段距离, 其 L_1 由式(12) 确定。

3.2 锥形喷嘴的射流装置基本方程

文献[4] 给出了当射流装置性能达到最佳值时的收缩半角 β 和圆柱过渡段长度 L_{gd} 值, 本文取 $\beta = 10^\circ, L_{gd}/d_0 = 1.0$ 。在此条件下, 当喷嘴距混合室入口距离为 L_1 时, 试验结果如图 6 中点划线所示。最后得锥形喷嘴的射流装置的基本方程为:

$$\frac{\Delta P_3}{\Delta P_F} = \frac{2.38}{m} + 2.38 \frac{u^2}{m(m-1)} - 1.88 \frac{(u+1)^2}{m^2} - 1.41 \frac{u^2}{(m-1)^2} \quad (14)$$

4 结论

1 装设喷嘴后, 产生一附加压头, 增加了回路的循环动力。其增加值可由式(13)、(14) 计算;

2 装设喷嘴时, 应离开混合室入口一段距离, 其最佳值可由式(12) 确定。

参 考 文 献

- 1 阙润清. 新型混合热水锅炉. 节能技术, 1986, (1)
- 2 李世国. 自然循环热水锅炉内射流装置的理论及实验研究. 热能动力工程, 1990, (5)
- 3 索科洛夫. 喷射器. 科学技术出版社, 1977
- 4 金 锥. 水-水射流泵的工作性能设计方法. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1973, (1)

欢迎刊登广告 欢迎来稿!

() *heat recovery boiler, regeneration restriction, simulation calculation, STIG cycle*

(151) **A Study on the Combustion Stability of Utility Boilers** Chen Gang, Li Fekin, et al. (*Central China Polytechnical University*)

This paper gives a brief description of the theory of boiler combustion stability and presents several types of combustion stabilizing devices, among others, boundary jet-flow bluff-body combustion stabilizer, central return-flow combustion stabilizing device, inward/outward duplex return flow combustion stabilizer, intersection type high concentration pulverized coal burner. Their practical applications have shown that significant economic benefits have been attained as a result of their combustion stabilizing effect due to degreasing and also their enhanced combustion efficiency. **Key words:** *stable combustion, combustion theory, boiler*

(155) **An Exploratory study on the Development of Circulating Fluidized Bed Boilers** Zhang Zidong, Wu Wenyuan, Bao Yilin, Bei Rushan, Zhao Mingquan (*Power Engineering Department of the Harbin Institute of Technology*)

Circulating ratio, as an important design parameter of CFG boilers, exercises a significant influence on boiler design and operation. In this paper the authors deal with the dependence of the circulation ratio on the following factors: the selection of circulating materials, combustion efficiency, separation efficiency of separators, the arrangement of heating surfaces in a dense phase region, superheated steam temperature, etc. In addition, some helpful suggestions concerning the above are also presented. **Key words:** *circulating fluidized boiler, circulating ratio, low circulating ratio, circulating materials*

(159) **Jet-flow Device—a Useful Tool for Enhancing Circulation Water Velocity in Natural Circulation Hot Water Boilers** Zhu Qunyi, Zhang Peting, et al. (*Harbin Institute of Technology*)

Theoretical analysis and experimental study results are given of the performance of a jet-flow device employed in the circulating circuit of natural circulation hot water boiler. Presented in the paper is also a formula for calculating additional head ΔP of the said circuit after the installation of a straight-tube nozzle and a conical one. **Key words:** *hot water boiler, jet-flow device, straight-tube nozzle, conical nozzle*

(163) **A Mathematical Model for the Optimized Design of Heat Pipe Air Preheater of a Utility Boiler** Huang Xinyuan (*Power Engineering Department of Shandong Polytechnical University*)

This paper presents a mathematical model for the optimized design of the heat pipe air preheater of a utility boiler. The control condition of the preheater minimum tube wall temperature has been introduced into the constraint function vector. Some explanatory notes are given regarding the specific features of the method involving the use of optimization techniques during the design of the heat pipe air preheater. A specific calculation example is also presented. **Key words:** *utility boiler, heat pipe, air preheater, mathematical model*

(168) **A Study on the pressure Distribution in Headers of Gas-Liquid Two-Phase Flows in a Horizontal Parallel Tube System** Wu Dongyin (*Xi'an thermotechnical Institute*); Liu Zonghu (*Xi'an Communications University*)