

电站锅炉天然气点火装置的设计与研究

刘圣勇¹, 张百良¹, 刘志刚², 王金涛³

(1. 河南农业大学 农业部能源重点开放实验室, 河南 郑州 450002; 2. 西安交通大学, 陕西 西安 710049;
3. 河南省登封电厂, 河南 郑州 450002)

摘要: 我国电站锅炉都是用油进行点火和助燃的, 用油量已超过 400 000 t/a, 以煤代油是一个亟待解决的问题。根据天然气的特性, 采用强制预混燃烧方式, 设计了点火装置的喷嘴、引射器及烧嘴, 并对稳定火焰的方法也进行了研究。在空燃比一定的条件下, 对天然气的流量与点火参数的关系进行了试验。得到了天然气的最佳流量为 $0.001\ 721\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 火焰温度高达 $1\ 820\ ^\circ\text{C}$, 火焰长达 $1.11\ \text{m}$ 。应用表明, 该点火装置具有火焰温度高、适应强、操作方便等优点。与以前用油点燃装置相比, 预燃时间为燃油的 $1/4$ 而成本仅为燃油的 $1/800$ 。

关键词: 电站锅炉; 天然气; 点火装置

中图分类号: TM621 文献标识码: A

1 引言

目前, 我国电站的煤粉锅炉都用油进行点火或助燃。在用油点燃时, 一般是用油将炉膛烧热, 以保证煤粉在喷入炉膛时稳定燃烧, 在运行中, 由于负荷的变化, 在低负荷下燃烧可能不稳定, 因此需要用油助燃, 这种点火方式耗油很大(全国电站锅炉点火用油在 40 万 t/a 以上), 助燃用油消耗量更大, 随着能源供应的日趋紧张, 以煤代油已成为解决能源问题的重要措施之一。为了达到节约能源, 经济适用的目的, 作者设计了天然气点火装置, 采用强制预混式燃烧方式, 先在预燃室中点燃煤粉——空气流并使之稳定燃烧, 再由喷出煤粉火炬去加热炉膛并最终点燃锅炉的主煤粉流, 这样用煤粉预燃室代替了油枪, 从而达到了节油目的。

2 设计所依据的主要技术参数

本装置应用于容量为 130 t/h 的煤粉锅炉, 引燃煤种为无烟煤, 所选用的天然气流量为 $6.2\ \text{m}^3/\text{h}$, 额定出口压力的 10 kPa, 一次空气消耗系数为 0.95, 空燃比为 11, 天然气是由甲烷、其它烷烃为主要组分

的混合气体。本设计选取天然气的组分为 CH_4 占 90%, 其它烷烃占 10% (体积比), 燃烧传播速度 U_T 为 $39\ \text{cm/s}^{[1]}$ 。本设计采用强制预混式燃烧方式, 因为预混式燃烧方式可以使燃料燃烧完全, 热效率较高, 其原理是用天然气引射一定量的空气, 保证在过剩空气系数近于 1 的条件下实现完全燃烧, 由于天然气的压力低, 引射的空气量不足, 因此需要加装风机, 增大空气量, 以实现强制预混燃烧。天然气的性质及着火性能见表 1^[2]。

表 1 天然气的性质及着火性能

密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	收到基低位发 热量/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	在空气中的 着火温度/ $^\circ\text{C}$	在空气中的着火极限/%	
			下限	上限
0.007 7	35 530	640	4.15	14.5

2 燃烧器的设计

2.1 喷嘴

喷嘴的设计是燃烧器的关键部分, 尤其是喷嘴直径的选择更为重要。喷嘴的计算是基于气体动量方程和气体流动的基本方程。由于天然气的额定出口压力为 10 kPa, 所以按压缩性低压气体计算。

天然气喷嘴出口流速可由式(1)算出^[3]。

$$V = \sqrt{\frac{2T_0 P_r}{\rho_{\text{or}} T_r P_0}} \cdot \Delta P_r \quad (1)$$

式中: T_0 —空气温度, K; T_r —天然气温度, K; ρ_{or} —天然气密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; P_0 —空气绝对压力, kPa; P_r —天然气绝对压力, kPa; ΔP_r —燃气喷嘴前相对压力, kPa; V —天然气出口流速, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

喷嘴直径可由式(2)算出。

$$d_r = \sqrt{\frac{q \times 10^6}{0.785 V}} \cdot \sqrt{\frac{1}{K}} \quad (2)$$

式中: d_r —喷嘴直径, mm; q —天然气的流量, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; K —喷嘴的修正系数, 取 0.75。

喷嘴长度可由式(3)算出

$$l_r = 2d_r \quad (3)$$

式中: l_r —喷嘴的长度, mm。

喷嘴的结构及尺寸见图 1, 表 2。

表 2 燃烧器各部分设计尺寸

设计参数	d_r	l_r	θ	F_1	d_c	l_c	l_A	l_K
设计尺寸	4.2	8.4	60°	169.4	55	248	248	66
设计参数	β_K	β_A	d_K	d_A	F_2	d_{h^*r}	β_{h^*r}	l_{h^*r}
设计尺寸	40°	8°	98	86	1.3	63	14°	104

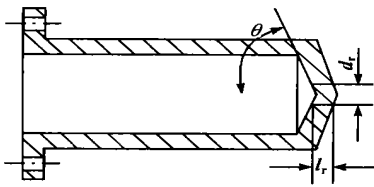


图 1 喷嘴的结构

2.2 引射器

引射器的计算是以动量定理, 连续性方程及能量守恒定律为基础, 同时又考虑了燃气和空气在混合管内所产生撞击及摩擦损失, 而撞击损失又属于完全非弹性体的阻力性质, 计算程序如下。

混合管 f_c 与天然气喷嘴 f_r 的最佳面积比 F_1 可用式(4) 求出^[3]。

混合管 f_c 与天然气喷嘴 f_r 的最佳面积比 F_1 可用式(4) 求出^[3]。

$$F_1 = f_c/f_r = A[Bmn - C(m-1)(n-1)] \quad (4)$$

式中: A —修正系数, 取 $A = 1$; B —引射器内空气, 天然气混合气的沿程阻力, 其值可由式(5) 求得; C —引射器内空气沿程流动阻力, 其值可由式(6) 求得; m —体积喷射比, 即混合气的体积与天然气体积之比, 其值可由式(7) 求得; n —重量喷射比, 即混合气的重量与天然气的重量之比, 其值可由式(8) 求得。

$$B = 1 + \sum \zeta_C \quad (5)$$

$$C = 1 - \sum \zeta_B \quad (6)$$

$$m = 1 + a_1 L \frac{T_o}{T_r} \left(\frac{P_o}{P_r} \right)^{-0.23} \quad (7)$$

$$n = 1 + a_1 L \frac{\rho_o}{\rho_{or}} \quad (8)$$

式中: $\sum \zeta_C$ —引射器内空气、天然气混合物的沿程流动总阻力; $\sum \zeta_B$ —引射器内空气沿程总阻力; a_1 —引射器内过剩空气系数; L —空燃比, m^3/m^3 ; ρ_o —空气密度, kg/m^3 。

因此混合管直径 d_c 、长度 l_c 、扩张管长度 l_A 、入口管长度 l_K 、扩张管的最粗直径 d_A 、入口管收缩前的直径 d_K , 可分别由式(9) ~ (13) 求得, 收缩入口管角度 β_K 取 40° , 扩张管张角 β_A 取 8° 。引射器的结构见图 2。

$$d_c = d_r \sqrt{F_1} \quad (9)$$

$$l_c = l_A = 4.5d_c \quad (10)$$

$$l_K = 1.2d_c \quad (11)$$

$$d_A = d_c + 2l_A \text{tg} \frac{\beta_A}{2} \quad (12)$$

$$d_K = d_c + 2l_K \text{tg} \frac{\beta_K}{2} \quad (13)$$

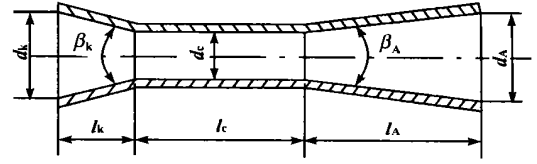


图 2 引射器的结构

2.3 燃烧器烧嘴

燃烧器烧嘴截面积 f_{h^*r} 与混合管截面积 f_c 的最佳面积 F_2 可由式(14)^[4] 求出。

$$F_2 = \frac{f_{h^*r}}{f_c} = \sqrt{\frac{mn(1 + \zeta_{h^*r}) \Delta P_c}{F_1(\Delta P_c - \Delta P_{ph})}} \quad (14)$$

式中: ζ_{h^*r} —烧嘴喷头阻力系数, 取 0.2; ΔP_c —烧嘴内混合气体压力的增值其值可由式(15) 确定; ΔP_{ph} —预燃室内煤粉—空气混合物压力的升高值, 其值可由式(16) 确定。

$$\Delta P_c = \varphi^2 \frac{P_r}{F_1} \quad (15)$$

$$\Delta P_{ph} = \rho_o \frac{V_1^2}{2} \quad (16)$$

式中: φ —修正系数, 取 0.85; V_1 —预燃室内混合物的流速, m/s。

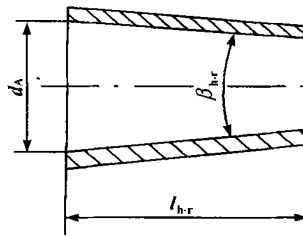


图 3 烧嘴的结构

因此烧嘴喷口直径 d_{h^*r} , 烧嘴长度 l_{h^*r} , 可燃混合物喷口喷出的速度 V_{h^*r} ,

可分别由式(17) ~ (19) 求得。烧嘴的结构见图 3。

$$d_{h^*r} = d_c \sqrt{F_2} \quad (17)$$

$$l_{h^*r} = (d_A - d_{h^*r}) / 2 \text{tg} \frac{\beta_{h^*r}}{2} \quad (18)$$

$$V_{h^*r} = \frac{q(1 + \alpha_1 L) T_{cm} \times 10^6}{0.785 d_{h^*r}^2 T_o} \quad (19)$$

在式(17) ~ (19) 中: β_{h^*r} —烧嘴的收缩角, 取 14° ; T_{cm} —可燃混合物温度, K。

因此燃烧器的各部分设计的尺寸见表 2, 结构见图 4。

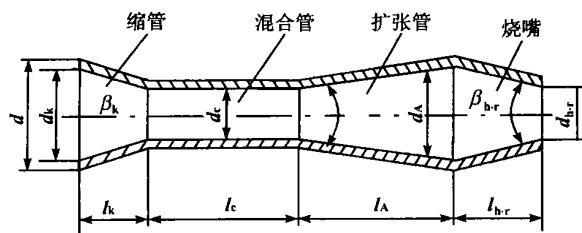


图4 燃烧器的结构

2.4 稳定火焰的方法

由于本设计采用强制鼓风预混式燃烧，气流速度和 Re 数都较大，易产生脱火现象，为此需在燃烧器喷头上加装用锌白铜制作的多孔挡火板，预混的可燃气体流过多孔板时，在相邻两孔之间形成回流区，防止脱火的发生^[3]。在一定燃料及混合比相同条件下，临界状态的吹熄速度 W 与气流压力 P 及回流尺寸成正比，即气流压力增大，吹熄速度也增大，一定气流压力下回流尺寸越大，火焰越不易被吹熄，同时又考虑到点火热负荷，因此挡火板上孔和板的面积比应为 1:1。

3 天然气点火装置在电站锅炉点火中的应用

作者设计的天然气点火装置首次应用在 DG130/39/450—M 电站锅炉上两出力为 0.18 kg/s 煤粉预燃室点火中，并获得了点火上的成功。天然气点火系统见图 5。所得结果列于表 3。

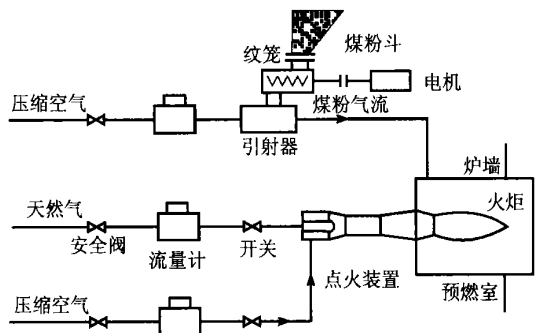


图5 天然气点火系统示意图

表3 天然气点火装置的应用结果

指 标	实 验 次 数						
	1	2	3	4	5	6	7
天然气流量/ $10^{-4}m^3 \cdot s^{-1}$	5.73	8.59	12.90	15.76	17.21	20.07	22.94
空气流量/ $10^{-3}m^3 \cdot s^{-1}$	6.30	9.45	14.19	17.34	18.93	22.08	25.23
空燃比	11	11	11	11	11	11	11
火焰温度/ $^{\circ}C$	1430	1533	1615	1726	1820	1820	1820
火焰长度/m	0.54	0.67	0.76	0.90	1.11	1.11	1.11
煤粉流量/ $kg \cdot s^{-1}$	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
点火时间/s	1265	843	560	458	419	419	419

4 结语

(1) 本装置在给定设计参数下，火炬长达 1.11 m，火焰温度高达 1820 $^{\circ}C$ ，有较强的辐射力，达到了设计的要求，同时也证明了该设计方法的正确性与科学性。

(2) 天然气火焰温度高于柴油燃烧温度，这对各类煤种点火的适应性较强。

(3) 该点火装置在 DG130/39/450—M 电站锅炉的煤粉预燃室中燃烧 7 min 后，煤粉预燃室完全进入稳定运行状态，点火装置可熄灭。这也就是说该点火装置在短短的几分钟内，只需 1.44~2 m³ 天然气就可将煤粉预燃室点燃，折合成本仅 5 元，从经济上来看也是合理的。与传统用油点燃 1 次锅炉需 2 t 柴油(折合人民币 4 000 元)，时间长达 4 h 对比，本装置具有点火可靠，操作方便，应急能力强，经济效益高，污染小等优点，在我国电站锅炉上具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 白尚显, 唐文俊. 燃料手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [2] 张全国, 刘圣勇. 燃烧理论及其应用[M]. 郑州: 河南科技出版社 1993.
- [3] 孙文超. 空气—乙炔枪的研制[J]. 燃烧科学与技术, 1986 6 (5): 35—42
- [4] 徐旭常. 燃烧理论与设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [5] 古索夫斯基 B II. 加热炉及热处理炉燃烧装置手册[M]. 张永安译. 北京: 冶金工业出版社 1988.

(渠 源 编 辑)

(上接第 168 页)

- [3] 王飞, 薛飞, 马增益, 等. 运用彩色 CCD 测量火焰温度场的试验研究机误差分析[J]. 热能动力工程, 1998, 13(2): 81—84.
- [4] 张师帅, 周怀春, 黄素逸, 等. 采用辐射能反馈信号的火电单元机组负荷控制系统仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21

(2): 85—88

- [5] 彭敏, 刘武林. 300 MW 锅炉性能试验报告[R]. 长沙: 湖南中试所 1999.

(渠 源 编 辑)

ric Domain under an Adherent Body Coordinate System [刊, 汉] / CHEN Yong-jin, WU Wei-zhong (No. 711 Research Institute, Shanghai, China, Post Code: 200090), LU Wei-lin (Energy Source College under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 176 ~ 179

In conjunction with an adherent body coordinate system generated by a partial differential equation method and a SIMPLEC algorithm (a half-hidden algorithm for a coordinated solution of pressure coupling) a flow problem with a complicated geometric shape is converted to a calculation plane. For the latter a numerical simulation can be conducted by the use of a finite difference method. Furthermore, the flow in a flow duct with a curved boundary is forecast along with a discussion of the effect of flow duct shape on flow conditions. **Key words:** adherent body coordinate system, SIMPLEC algorithm, dual equation turbulent flow model

电站锅炉天然气点火装置的设计与研究 = Design and Study of the Natural Gas Ignition Device of a Utility Boiler [刊, 汉] / LIU Sheng-yong, ZHANG Bai-liang (Key Lab of Renewable Energy Under the Ministry of Agriculture, Zhengzhou, China, Post Code: 450002), LIU Zhi-gang (Xi'an Jiaotong University Xi'an, China, Post Code: 710049), WANG Jin-tao (Dengfeng Power Plant, Zhengzhou, China, Post Code: 450000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 180 ~ 182

All utility boilers in China use oil for ignition and combustion-support with oil consumption in this regard hitting more than 400,000 tons each year. The substitution of oil by coal has become an issue demanding an urgent solution. Based on the characteristics of natural gas the authors have by adopting a forced pre-mix combustion mode designed for an ignition device spray nozzles and an ejector, and conducted a study on the method of achieving flame stabilization. Under the condition of a given air-fuel ratio a test was conducted to identify the relationship between natural gas flow rate and ignition parameters. As a result, the optimum flow rate of the natural gas has been found to be $0.00172 \text{ m}^3/\text{s}$ with the flame temperature being as high as 1820°C and flame length 1.11 m. The use of the ignition device shows that it has the following merits: a high flame temperature, strong adaptation ability and ease of operation, etc. As compared with the former oil-ignition device, the pre-burning time of the natural gas ignition device is 1/4 of that of the oil ignition one while the cost is only 1/800 of the latter. **Key words:** utility boiler, natural gas, ignition device

某船主锅炉的设计特点 = Design Features of a Marine Main Boiler [刊, 汉] / CHEN Ming, MA Yun-xiang, XUE Guang-ya, CHEN Qi-duo (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 183 ~ 185, 210

A new type of marine main boiler designed by Chinese engineers was put into operation. It features a new construction, new materials and technologies. The structural design of this type of boiler is presented along with a description of its performance characteristics. **Key words:** marine main boiler, structural design, performance features

湿法脱硫除尘一体化装置应用中的问题及解决措施 = Some Problems Concerning the Use of an Integrated Wet Desulfurization and Dust Separation Device as well as Measures Taken for their Resolution [刊, 汉] / ZHAO Xu-dong, WU Shao-hua (Energy Science and Engineering College under the Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), MA Chun-yuan, et al (Power Engineering Department, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 186 ~ 188

From the aspects of the operating parameters of a wet desulfurization system and its system configuration expounded are the existing problems involved in the industrial operation of an integrated wet desulfurization and dust-separation device.