

一种强湍动 α 形燃烧火焰的火床炉炉拱设计新方法

惠世恩 徐通模 刘仲军 蒋慧姝
(西安交通大学)

〔摘要〕本文在试验研究的基础上,根据燃烧空气动力学及流体力学原理,提出了组织强湍动 α 形燃烧火焰的火床炉炉拱设计新方法。按空气动力学及动量合成法计算前后拱的合成动量应交在前拱直段的 $2/3 \sim 4/5$ 范围内,与前拱直段的交角 $\delta \geq 110^\circ$ 时,前后拱的搭配是适宜的,实验证明这时可以形成 α 形火焰。

关键词 燃烧 火床炉 炉拱设计
分类号 TK223

1 炉拱的作用及设计

1.1 炉拱的作用

炉拱在火床炉中起着引燃和炉内空气动力工况的组织作用,对于不同的燃料,炉拱的作用不同,对劣质或中质煤来讲,主要应改善火床的着火条件,即将燃料燃烧所放出的热量尽可能多地引至火床的着火区,以提高新燃料区的温度水平,强化传热,保证新燃料的及时着火。其次提高锅炉燃烧的热效率;而对容易着火的燃料来讲,主要是组织炉内燃烧空气动力工况,加强湍动,延长可燃物在炉内的停留时间,减少固体不完全燃烧热损失和环境污染。为了上述目的,在火床炉的前部新煤区布置前拱,通过前、后拱的配合组织良好的炉内空气动力场,使得燃料及时着火和燃尽程度好。前后拱的合理配合还可以改善炉膛充满度,充分利用锅炉受热面以及减少

飞灰、灰渣含碳热损失。两者配合的优劣对提高锅炉效率,保证锅炉出力,扩大煤种适应性,以及保证锅炉运行的可靠性有特别主要的影响。

近些年来,我国工业锅炉燃煤质量下降,煤中灰分增加,应用基低位发热量有效大幅度的减少。造成着火困难,燃烧不稳,效率下降。严重时,使锅炉不能正常运行。为解决上述问题,目前国内工业锅炉普遍采用极低长的后拱和低前拱结构,以提高炉膛内有限拱区空间范围的温度水平。理论和实践都证明,这样做对改善炉内着火和稳定燃烧都有显著的效果,但终因片面追求过低而长的炉拱而引起炉内冒正压。因此对炉拱设计的研究就显得更加重要。

1.2 炉拱的设计

长期以来,火床炉炉拱的设计仍处在纯经验设计的阶段上,即根据燃煤的特性用经

收稿日期 1993 04 06 二稿 1993 09 06 三稿 1993 09 24

本文联系人 惠世恩 男 39 高级工程师 710049 西安市

验的方法选取炉拱尺寸,这样有时出现拱形结构与实际煤种不相适应,严重时影响锅炉的正常燃烧。本文根据流体力学及燃烧空气动力学的基本原理,在大量试验研究的基础上,率先提出组织 α 形火焰的火床炉炉拱设计法,其特点在于:(1)高温火焰在前拱导向下向下运动直接冲刷新煤层,同时高温火焰中的炽热焦炭颗粒在重力和离心惯性力联合作用下分离在新煤层上,火焰的冲刷及炽热炭粒的分离与新煤之间进行着强烈的动量、质量和热量交换,形成一个极有利的着火条件;(2) α 形火焰在前拱区的回流形成一个强湍动的大旋涡,火焰中未燃尽的可燃性气体及炽热炭粒在强湍动中增强了与氧气间的湍流混合,及时充分的供氧,保证 q_3 和 q_4 的减小;(3) α 形火焰回流对细小飞灰带出实际上有封锁作用,另一方面 α 形运动轨迹大大增长了气流在炉内的路径,改善了充满度,增加了停留时间,提高了燃尽率。因此,组织 α 形燃烧火焰是最有普遍适用价值的燃烧工况型式,特别对于燃用灰分高,活性低的贫煤、无烟煤及劣质煤时比常规采用的“L”型燃烧火焰更具有特殊的优越性。

1.2.1 α 形燃烧火焰的设计计算的简化

如图1所示,在火床炉的设计中,关键应合理的确定前后拱的结构参数及炉内空气动力参数,使后拱冲出的高温烟气在前拱的强迫作用下形成回流区。由于炉膛内气体流动是较复杂的,特别在后拱出口、喉口以及前拱区,由于上升气流、回流和后拱出口气流的混合,给计算带来了一定的困难。为简化问题,根据试验结果的综合^[1],作如下假定:

(1)从后拱区出来的气流方向与后拱倾角 α 一致,后拱区出流的气流速度用出口处断面平均速度($w_1 = Q/A_1$)计算;

(2)后拱区出流流体的动量流率 I_1 与前拱区上升气流动量流率 I_2 的作用点 P 按下述原则确定:对尖角形后拱出口,尖角顶点就是

作用点 P ;对圆弧形后拱出口,考虑到圆弧形出口的导向作用,气流上翘,则 P 点为圆弧与垂直线的切点。后拱出口的有效流通断面积 A_1 均按过 P 点的出口最大断面积计算;

(3)前拱区的燃烧烟气作为垂直上升气流处理。气流流量等于炉前区的燃烧产物量 Q_2 ,烟气上升的平均流速 $w_2 = Q_2/A_2$ 。考虑到炉膛前拱区的 α 回流的影响,流通断面积 A_2 按炉前区气流上升总断面积 A 的1/2计算,即 $A_2 = (1/2)A = 1/2(l_2 \times b)$;

(4)后拱水平长度的确定原则是根据煤种的燃烧特性使旺盛燃烧区和燃尽区被后拱所复盖。从燃烧、燃尽的角度要求后拱长度达到炉排有效总长度的(55~65)%。后拱出口高度的确定应保证有足够的出口动量,其动量流率 $I_1 = \rho Q_1 w_1 \leq 10 \sim 15N$ 为宜。

(5)假定通过炉排、煤层上升主气流沿炉排宽度方向上的分布是均匀的,简化为一个一元流场来处理。

1.2.2 α 形燃烧火焰的设计计算及关键结构参数的确定

在做了上述的假定和简化后,将复杂的三元流动用二元流动近似处理。根据前后拱出口的动量流率的矢量合成来确定其整体的结构参数及空气动力参数:

(1)合成动量方向角 γ 的计算

首先确定各风室的配风比,然后计算后拱区出口动量 I_1 及垂直上升气流动量 I_2 ,按矢量合成法则确定合成动量 I 及方向角 γ 。

$$I_1 = \int_{A_1} (\rho w) w \cdot dA = \rho w_1 Q_1 \quad (1)$$

式中:

I_1 —后拱出口气流动量流率,〔N〕,方向为后拱的倾斜角 α ;

A_1 —后拱出口流通截面积,〔m²〕;

Q_1 —后拱流出气流的流量,〔m³/s〕;

w_1 —后拱出口处的烟气平均流速,〔m/s〕;

ρ —气体密度,〔kg/m³〕。

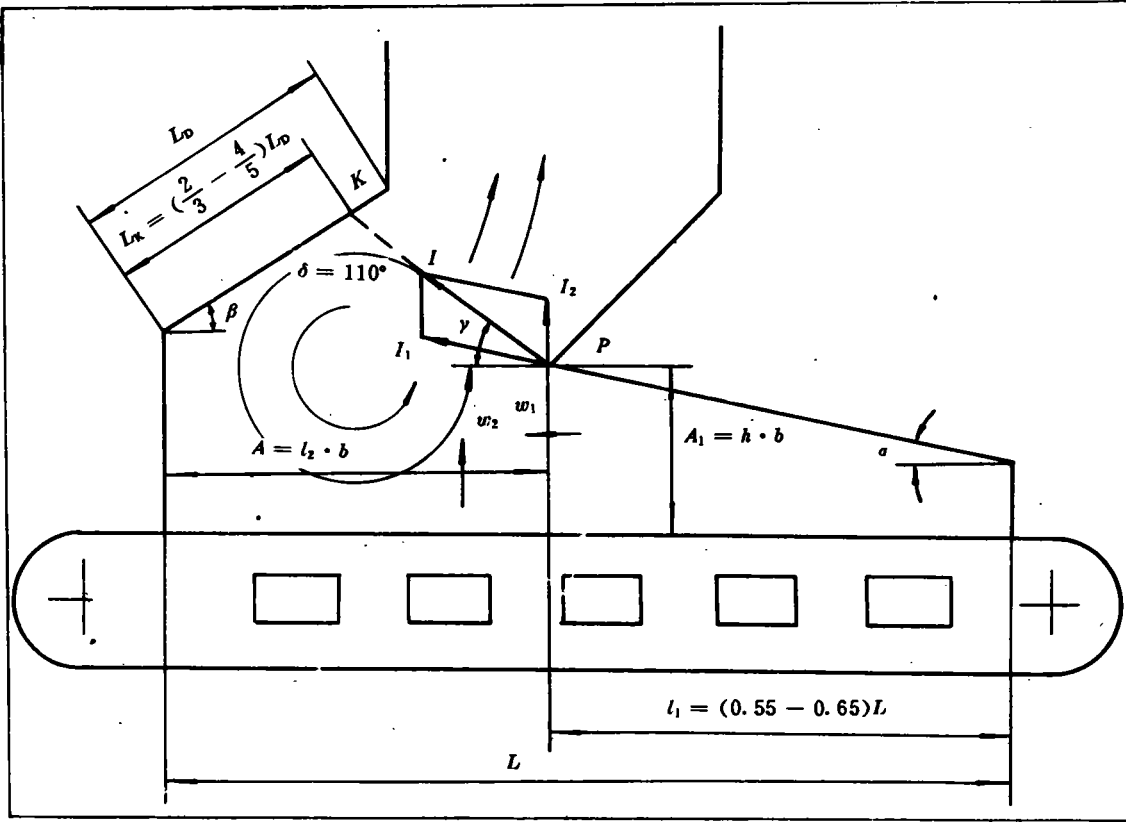


图 1 炉拱计算结构示意图

其中 ρ 可按下式计算

$$\rho = \rho_0 \times \frac{273}{273 + t} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

式中:

ρ_0 — 标准状态(0.103MPa, 0℃)下烟气的密度, [kg/m³];

t — 炉膛内气流的平均温度, [℃].

后拱出口气流的动量 I_1 在水平和垂直方向上的分量分别为:

$$I_{1x} = I_1 \cos \alpha$$

$$I_{1y} = I_1 \sin \alpha$$

前提设计的依据及动量流率计算应根据燃料的特性应保证燃料入炉后的预热、干燥及开始着火阶段处于前拱的复盖之下。前拱高度 H 与倾角 β 的确定应使总上升烟气流有 2/3

以上的烟气量在前拱的导流作用下产生向下的 α 大回流。其动量流率 I_2 的计算为:

$$I_2 = \int_{A_2} (\rho w) w \cdot dA = \rho w_2 Q_2 \quad [\text{N}] \quad (3)$$

$$I_y = I_2 + I_{1y}$$

$$\text{合成动量} \quad I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (4)$$

$$\text{合成动量角} \quad \gamma' = \tan^{-1} \frac{I_y}{I_x} \quad (5)$$

(2) 总动量流率在前拱上的作用点 K 及交角 δ 的确定

总动量流率的方向线应交于前拱上, 其交点 K 的长度 l_K 应 = (2/3 ~ 4/5) L_0 。为使合成气流经前拱导流至少有 2/3 的烟气量产生 α 大回流, 根据冷态试验及理论计算可知, 必须保证 $\delta \geq 110^\circ$ 。

2 计算结果与试验结果比较

图2是按SHL6.5—25AC锅炉组织的冷态模拟试验炉内空气动力工况图。试验中五个风室的配风比例分别为10%、20%、35%、25%和10%。从图示的流场图谱中看到喉口上、下部都出现了回流区,下部是一个逆时针旋转的 α 形回流区,在炉膛上部同样也出现了大回流,不过转向为顺时针方向,这有利于

煤层提前着火和提高炉内充满度。根据示踪观察,主气流充满程度约为(70~75)%。按动量法计算,合成动量方向角 γ 为 16.3° ,合成动量与前拱的交角 δ 为 133.7° ,K点作用在前拱的 $2/3$ 以内。结果表明,按照 α 形炉拱设计新方法在合理的配风工况下能够实现炉内旋转空气动力工况,达到稳定着火和燃尽,提高炉内充满度和减少飞灰带出的目的。

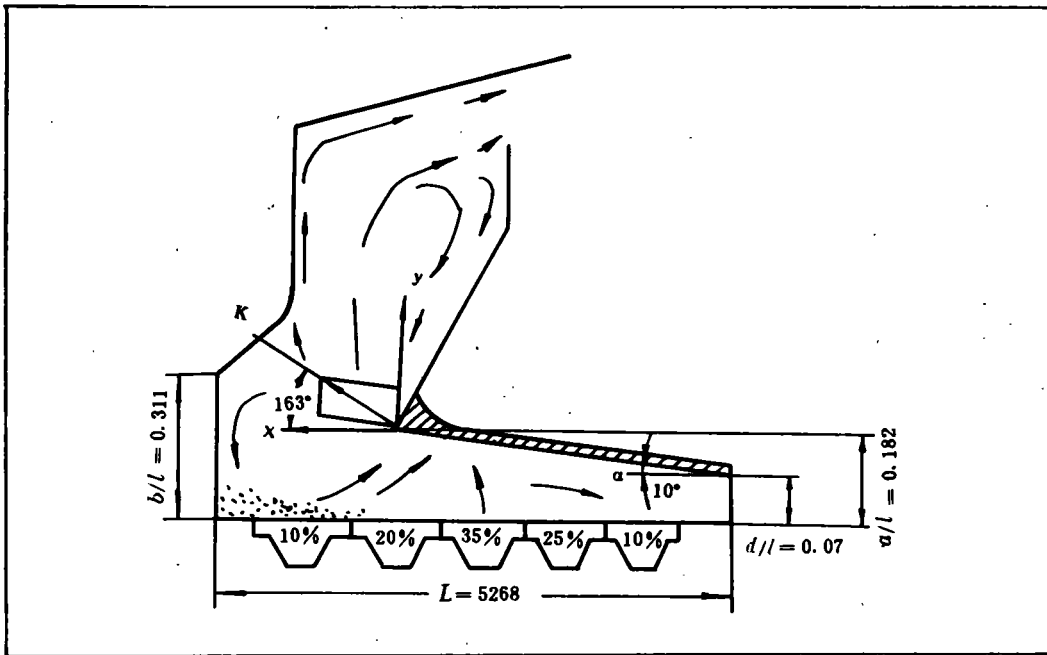


图2 α 形燃烧模型试验结果图

3 α 形燃烧火焰炉拱的适用范围和工业应用

本设计方法对于一般的链条炉、水平往复炉只要按照前述方法进行设计就可形成炉内的 α 形燃烧火焰。

对于设计有二次风的火床炉来讲,由于

二次风设计的目的是增强炉内气流的扰动和混合,在炉内组织旋转气流,延长飞灰在炉内的停留时间,降低 q_1^0 和 q_3 热损失。二次风和炉拱在很大程度上是可以相互替代的,必要时也可同时使用。通常二次风的布置分单面布置和双面布置,如图3所示,这时在炉拱设计中要形成 α 形燃烧火焰除应考虑前后拱动量的作用外,还应考虑二次风的动量作用,在

总体动量合成中应将前后拱出口动量和二次风动量一起进行计算。并使 $\delta \geq 110^\circ$ ，但 δ 不宜过大，一般应在 135° 以内， δ 角过大将会影

响炉排火焰的正常燃烧。在合理的二次风和炉拱的配合下可以达到人们预期的减少飞灰带出，降低烟尘排放等目的。

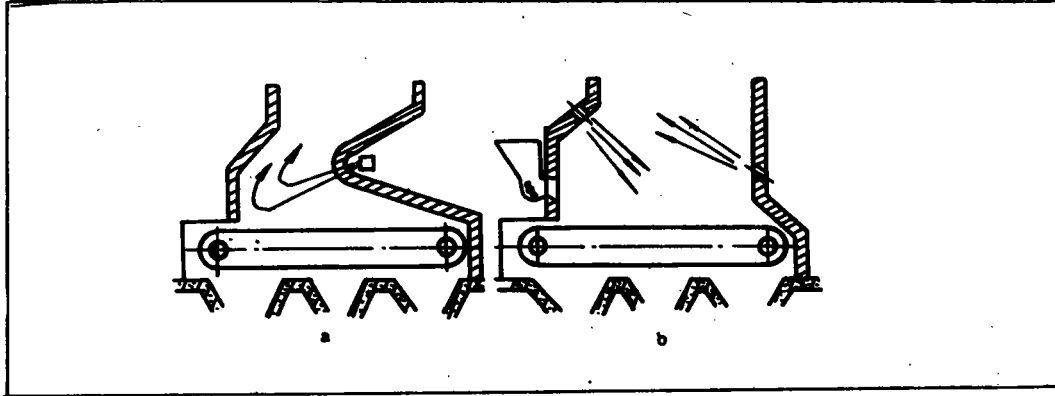


图3 二次风布置简图

(a) 单面布置 (b) 双面布置

风力式和机械式抛煤机炉一般为开式炉膛，目前人们已逐步认识到在不影响抛煤工况的前提下适当布置炉拱对组织炉内燃烧是有好处的，不过前后拱的布置高度较常规的炉拱要高，但只要保证合成动量在前拱的作用点 K 的位置符合前述要求，尽管总体炉拱高度提高但仍能形成 α 形燃烧火焰。笔者在解决 20t/h 抛煤机反转链条炉燃烧长烟煤冒黑烟时采用了 α 形炉拱设计方法，取得了明显得消除除尘效果。

本方法从 1985 年开始先后在湘潭锅炉厂、长沙锅炉厂、陕西渭南锅炉厂 2 t/h ~ 10t/h 锅炉的设计中得到了应用，燃用了 $V = 3.65\%$ 的无烟煤、贫煤和 I、II 类烟煤，锅炉效率普遍比国家标准规定值提高 5% 以上，锅炉原始烟尘浓度最低的为 1000 mg/m^3 。在运行中也发现当合成动量与前拱的夹角 δ 太大时 ($\delta > 135^\circ$) 因回流量太大使炉排两侧密封板有明显的磨损痕迹，但未发现煤层上出现“火口”。这时只要适当开大前拱区的风量情

况就会明显好转。这也告诫我们在设计 α 形燃烧火焰时 δ 角的控制是非常重要的。

4 结论

1 理论分析、实验室研究^[1]及工业应用^[2]表明，按照动量法设计炉拱和组织 α 形燃烧火焰是炉拱设计的一种新的有效方法，它可以改善着火和燃尽条件，提高燃烧效率，减少飞灰带出量，减轻环境粉尘污染。

2 是否能在炉内形成 α 形燃烧火焰的关键是合成动量与前拱的交点 K 的位置以及 δ 角的大小，后拱出口动量的大小与后拱的形状对组织炉内空气动力工况有显著影响。

参 考 文 献

- 1 徐通模, 惠世恩, 周玉铭. 用动量法进行火床炉炉拱设计. 动力工程, 1984(6)
- 2 长沙锅炉厂、湘潭锅炉厂、渭南锅炉厂的 10 t/h、6 t/h、4 t/h、2 t/h、1 t/h 锅炉设计说明书 (编辑 渠源沂)

CONTENTS

- (250)EGT Experience with Gas Turbines Burning Ash-Forming Fuels.....M. Moliere, J. P. Gazonnet, J. P. Vinicersi
- (261)A Dynamic Mathematical Model of SK15HE Gas Turbine And Its Simulation by the Use of a Real-time Simulator.....Lu Zehua, Zhao Shihang, Xu fusheng (*Tsinghua University*)
With SK15HE three-shaft gas turbine serving as an example the authors have set up a dynamic mathematical model for the real-time simulation of a three-shaft gas turbine. On the basis of the special features of the turbine control system a diagnostic detection is conducted of the gas turbine control system with the help of a real-time simulator, thereby solving the contradiction between simulation precision and simulation duration in a satisfactory manner. **Key words:** *gas turbine, mathematical model, real-time simulation*
- (269)Orthogonal Optimization Control of Boiler Thermal Efficiency..... Zhu Jianing (*Nanjing Electric Power Advanced Technical School*)
Through a functional relation for calculating boiler thermal efficiency and by the use of a computation method in mathematical statistics an optimized parameter control value has been determined, which can lead to an enhanced boiler operating efficiency. **Key words:** *boiler efficiency, optimization control*
- (275)The Determination of NO_x Content in Flue Gases of a 600 MW Boiler Installed at Pingwei Power Station and a Study on the Effectiveness of its Reduction..... Yuan Xiaobo (*Harbin Power Plant Equipment Design Institute*), Wu Banqiu (*Harbin Institute of Technology*)
This paper describes the procedures for determining the NO_x content in flue gases of boiler NO_x installed at Pingwei Power Station. A secondary air swinging nozzle has been installed at the boiler top to reduce the NO_x content in boiler flue gases. An analytical study on the effectiveness of such a method was also undertaken. **Key words:** *NO_x determination, NO_x reduction, boiler unit*
- (280)A New Method for Designing the Grate Firing Furnace Arch with a Highly Turbulent a-shaped Combustion Flame..... Huishien, Xu tongmo, Liu Zhongjun, Jiang Huishu (*Si'an Jiaotong University*)
Through an experimental study based on furnace aerodynamics and hydrodynamic theory the authors have come up with a new method for designing a grate firing furnace arch featuring highly turbulent a-shaped combustion flame. When calculated on the basis of an aerodynamic and resultant momentum method, the resultant momentum of the front and rear arch should emerge within the range of $2/3 \sim 4/5$ of the front arch straight section. When an intersection angle of $\delta \geq 110^\circ$ with the front arch straight section is formed the coordination of the front

and rear arch can be considered as proper. Tests have shown that in such a case the a-shaped combustion flame will result. **Key words:** *combustion, grate firing furnace, furnace arch design*

(285) Optimization Design of a Power Plant Thermodynamic System by Using "Process Energy Combination" Method..... Zhang Yongde (*Northwestern Electric Power Design Institute*)

A so-called "Process Energy Combination" method is employed to improve the design of a thermodynamic system for a cogeneration power plant, which plays a significant role in enhancing energy-saving effects. **Key words:** *thermodynamic system, Process energy combination, heater*

(290) A Study on the Optimization for Preliminary Design of a Nuclear Power Plant Steam Generator Shi Hongshen (*Shanghai Naval Standards and Specifications Design Institute*), Chen Lingen, Zong Qingchang (*Naval Engineering Academy*)

With the minimum total weight of a steam generator set as a target function the authors have proposed a method for optimizing the preliminary design of a nuclear propulsion plant steam generator. Given in the paper are the optimization and sensitivity analysis results. The computation results have substantiated the validity of the recommended method. **Key words:** *steam generator, design optimization, sensitivity analysis*

(297) The Specific Features of Industrial Steam Turbines and Their Technical Retrofitting..... Luo Yigen, Lan Ruji, Zhang Zhitong (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

The present paper briefly deals with the design features of mechanical — drive industrial steam turbines and the experience gained by the authors in recent years in the course of implementing the technical modification of steam turbines for some domestic petrochemical enterprises. Proceeding from the specific conditions existing in Chinese petrochemical works the authors have proposed some feasible measures and approaches for conducting energy-saving and power uprating-oriented modifications of industrial steam turbines. **Key words:** *industrial steam turbines, high efficiency, energy-saving, power uprating*

(300) The Application of STD Bus Microcomputer-based Industrial Control Unit on a Grain Drying Production Line Yang Chengyi, Zhao Aijun (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

In connection with the design, commissioning tests and operational effectiveness of a microcomputer-based monitoring and control system installed on a grain drying production line of District NO. 8 Grain Depot in Harbin city the authors make some observations on the proper selection of microcomputer type and the method of interface design when such factors as serious dust-borne surroundings and electric appliance interference are to be taken into account. **Key words:** *grain drying, microcomputer-based control, STD industrial control unit*

(304) An Exploratory Study on a Thermistor Nonlinearity Correction Method..... Zhang Guodong (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

Three practical methods are proposed for correcting the nonlinearity of thermistors, namely: optimum parameter method, transformation function method and similarity function method. Theoretically, the above-cited methods are also suitable for the correction of nonlinear hardware