

# 关于防止火床炉炉膛冒正压的若干措施

徐通模 惠世恩 刘仲军 蒋慧姝

(西安交通大学)

**[摘要]** 根据流体力学和炉内空气动力学的基本原理,分析了炉内冒正压的机理,提出对大空间、小炉拱的炉膛,只要保证炉膛出口在 $0\sim 20\text{ Pa}$ 的负压时不会出现冒正压;对极低、长炉拱小空间炉膛是否出现冒正压现象的关键在于炉膛、炉拱结构和炉内的空气动力参数是否合理。同时提出防止措施。

**关键词** 防止 冒正压 措施 分类号 TK223 TK16

## 1 概述

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,但目的都是为实现火床炉内稳定着火燃烧。近年来,我国工业锅炉燃煤煤质下降,煤中灰份增加,发热值大幅度减少,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。为了解决上述问题,目前国内工业锅炉普遍采用了极低、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条件、提高燃烧稳定性有显著的效果。但在实际中往往由于片面追求过低而长的不适当的炉拱结构以及炉内空气动力参数的选取不合理,普遍地出现炉内冒正压现象,导致送风不能开足,煤的燃尽率下降,气体和固体不完全燃烧损失增加,降低了锅炉运行的经济性和安全性,同时,炉内正压运行

还直接造成锅炉前炉门及煤闸门被烧坏,甚至造成拱区结焦等不正常状态。

## 2 炉内冒正压问题的流体力学分析

为了从理论上弄清楚冒正压的原因,根据流体力学的基本原理我们作以下分析。

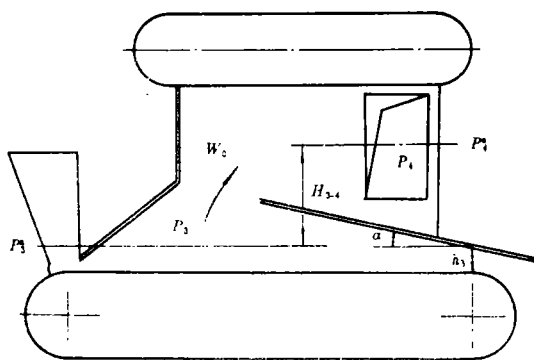


图1

收稿日期 1993-04-06 收修改稿 1993-08-17

本文联系人 惠世恩 男 44 高级工程师 710049 陕西省西安市咸宁路28号

### 2.1 物理模型假设和简化

图 1 给出了一种典型的工业锅炉炉膛结构示意图,为了问题简化,把烟气在炉内的流动近似做为不可压缩的一元稳定流动处理。

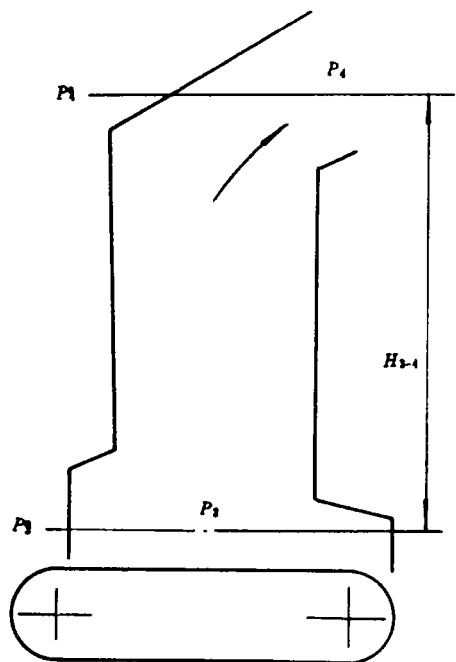


图 2

### 2.2 基本公式

根据流体力学基本原理<sup>[1]</sup>,可用实际流体总流伯努力方程对炉内流动现象进行描述和分析。按图 1 的结构,伯努力方程式如下:

$$P_3/\rho + \omega_3^2/2 = H_{3.4} \cdot g + P_4/\rho + \omega_4^2 + \Delta h_{3.4} \quad (6)$$

- 式中  $H_{3.4}$ —— 炉前与炉膛出口的位置高差, [m]
- $\Delta h_{3.4}$ —— 烟气从炉前流到出口的阻力损失, [J/kg]
- $P_3$ —— 炉前部的烟气压力, [Pa]
- $P_4$ —— 炉膛出口处烟气的压力, [Pa]

- $\rho$ —— 烟气
- $\omega_3$ —— 炉前部烟气的平均速度, [m/s]
- $\omega_4$ —— 炉膛出口截面处的烟气平均速度, [m/s]

### 2.3 分析和讨论

#### 2.3.1 大空间炉膛的流动分析

图 2 给出了典型的大空间炉膛形式。这种结构的炉膛常用于燃用比较容易着火和燃烧的优质烟煤,其结构特点是炉膛比较开阔。烟气在炉膛内的流速很低,一般仅有 1~2 m/s,烟气在炉膛内的流动阻力损失  $\Delta h_{3.4}$  很小,且  $\Delta h_{3.4} \ll H_{3.4}g$ ,又烟气流速  $\omega_3 \approx \omega_4$ ,则公式(6)可以简化为:

$$P_3/\rho = H_{3.4}g + P_4/\rho \quad (7)$$

或  $P_3 = \rho g H_{3.4} + P_4$

按流体静力学的基本公式,在炉膛外的大气中存在如下静力关系:

$$P_3^0 = \rho^0 \cdot g H_{3.4} + P_4^0 \quad (8)$$

- 式中:  $\rho^0$ —— 大气中空气的密度, [kg/m<sup>3</sup>]
- $P_3^0$ —— 与炉内压力  $P_3$  同一标高处的大气压力, [Pa]
- $P_4^0$ —— 与炉内压力  $P_4$  同一标高处的大气压力, [Pa]

公式(7)减公式(8)得:

$$(P_3 - P_3^0) = (\rho - \rho^0)g H_{3.4} + (P_4 - P_4^0) \quad (9)$$

一般情况下,炉膛出口的烟气相对压力  $P_4 - P_4^0$  为负压,即炉膛出口的绝对压力低于大气压力。在工业锅炉中,  $P_4 - P_4^0$  通常控制在 0~20 Pa 范围内。

公式(9)中的烟气密度总是小于空气密度的,故密度差  $(\rho - \rho^0) < 0$ ,由此可见

( $P_3 - P_3^*$ ) 也一定小于 0。

对公式(9)的分析可以得出这样的结论:对于大空间炉膛,只要炉膛出口压力在正常的 0~20 Pa 范围内运行,炉膛下部的压力一定是小于大气压力而处于负压状态,设备和运行正常的情况下冒正压是不可能出现的。

### 2.3.2 极低、长炉拱的小空间炉膛

图 1 就是典型的极低、长拱的小空间炉膛,这是为适应煤质多变和燃用低劣质煤时所采取的保证稳定着火和燃烧的有效措施。从炉内烟气流动来看,在这种炉膛中,一般烟气流速比大空间炉膛要高得多,可达 3~5 m/s,喉口的流速还要高。甚至达到 7~9 m/s,这样的情况使流动特性发生了变化,特别是烟气从炉膛下部流动到炉膛出口的阻力损失不再是小到可以忽略的量了,相反,流动阻力的大小对炉内参数的变化有着重要的影响,公式(6)可以表示为

$$P_3/\rho = H_{3,4g} + P_4/\rho + \Delta h_{3,4}$$

或  $P_3 = \rho H_{3,4g} + P_4 + \xi(\rho\omega_0^2/2)$  (10)

式中的  $\omega_0$  为烟气在前后拱喉口处的流速, [m/s],  $\xi$  为阻力系数,公式(10)减公式(8)

$$P_3 - P_3^* = (\rho - \rho^*)H_{3,4g} + (P_4 - P_4^*) + \xi(\rho\omega_0^2/2)$$
 (11)

公式(11)中右边的第一、二项的数值均为负值(即<0),而第三项总是正值(即>0),炉膛下部的压力( $P_3 - P_3^*$ )是正压还是负压完全决定于第一、二项与第三项数值的代数和,显然,我们可以从公式(11)中得到下面很重要的启示:

(1)炉膛结构愈复杂,炉内烟气流速愈高,出现炉膛下部冒正压的可能性愈大。这正是当前工业锅炉采用极低、长炉拱燃用低、劣质煤种时普遍出现炉膛冒正压现象的内在原因。如果炉膛和炉拱结构设计不当,炉内空气

动力参数选用不合理,就可能因炉内烟气流动的阻力系数和流速过大而使流动阻力剧增,在数量关系上存在

$$\Delta h_{3,4} > |(\rho - \rho^*)H_{3,4g} + (P_4 - P_4^*)|$$

则  $P_3 - P_3^* > 0$ ,即出现冒正压现象。

(2)锅炉在低负荷下运行时,烟气流速下降,则流动阻力减小,冒正压情况改善;反之,锅炉运行负荷愈高,冒正压问题愈严重。

## 3 炉膛冒正压问题的防止措施

影响炉膛冒正压的主要因素是炉膛结构和炉内空气动力参数,由于炉膛内局部阻力系数沿没有成熟的数据供设计和生产中应用,因此,通常采取如下措施来防止炉膛冒正压现象。

3.1 在炉拱设计时,除应考虑满足锅炉的燃烧因素外,还应注重考虑减小炉内阻力的问题,特别应防止片面追求过低过长的不适当的炉拱结构,因此,对后拱不宜压的过低,倾角不宜过小。一般后拱倾角的设计应 $\geq 10^\circ$ ,保证后拱出口的流通截面积和气流速度;后拱末端最小高度  $h_3$  与炉排有效长度比应控制在 0.08~0.10 的范围内,防止局部冒正压。喉口结构和尺寸的设计应从简单适用出发,避免结构的复杂化,以减小局部阻力损失。

3.2 应选择合适的空气动力参数,如喉口速度一般应设计在 5 m/s 以下,这样一方面可以减小炉内局部阻力损失,另一方面也可以减小炉内飞灰粒子的带出。

3.3 合理组织配风工况,配风工况的优劣,直接影响炉内空气动力场的组织。风室间的窜风、漏风以及纵向配风的不均匀性对炉内空气动力场有很大的影响。通常对火床炉引燃区的风量占总风量的(30~35)%,而第一

风室仅有(5~10)%就足够了。除配风之外,对复杂炉膛结构的锅炉,在外风机压头选取上还应进一步放大系数。

3.4 对旧锅炉的改造,应对系统阻力及引风机的压头进行核算,对尾部烟道的积灰、堵塞均应予以高度的重视,否则极易出现炉膛冒正压的现象。

## 4 结论

1. 理论分析及计算表明,对于大空间、小炉拱的炉膛,只要保证炉膛出口有 0~20 Pa 的负压时不会出现冒正压<sup>[2]</sup>;对极低、长炉拱结构和小空间炉膛,是否出现冒正压现象的

关键在于炉膛及炉拱结构和空气动力参数是否合理。所以对复杂结构的炉膛及其阻力系数  $\xi$  的研究是很有价值和必要的,在炉膛阻力较大的情况下,引风机的压头按常规方法选取是不适宜的。

2. 防止炉膛冒正压的通常办法应从炉膛、炉拱结构和空气动力参数入手。

## 参 考 文 献

- 1 郑洽馥、鲁钟琪 主编. 流体力学. 机械工业出版社, 1980. 3
- 2 华绍曾、杨学宁等编译. 实用流体阻力手册. 国防工业出版社, 1985

李乡复 编辑

## 【新技术】

### 高效汽轮机级的设计方法

据“Теплоэнергетика”1993年5月号报道,俄罗斯中央航空发动机研究所(ЦИАМ)进行了应用理想和粘性气体流动计算方法设计高效汽轮机级的研究。在设计高效、高负荷级和叶片装置时,应合理地应用空间造型的各个要素。这种设计不可能不广泛综合地利用当代的级及其部件内理想和粘性气体的二维和三维计算方法。在外缘具有大的子午面扩张角的汽轮机末级内应用改进的喷嘴叶片可保证减少二次流动形成区域内绕流表面上

的径向和横向梯度并保证喷嘴叶片具有良好的无激波绕流,从而减少了二次损失和叶片损失。装有改进喷嘴装置的级后流动结构的重新调整,与装有原始喷嘴装置的级比较,促使余速损失减少并提高了排气管的效率。工作轮叶栅内粘性流动的分析表明,为了提高其气动效率,减少沿整个叶片高度的内缘和外缘激波的强度是合理的。

(学牛 供稿)

**JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL  
ENERGY AND POWER**  
1994 Vol. 9 No. 1

---

**CONTENTS**

- (3) **Slagging Characteristics of Blended Coals and Comprehensive Evaluation of Slagging Degree** ..... Qiu Jianrong, Ma Yuyi, Zeng Hancui ( *National Coal Combustion Laboratory of Huazhong University of Science & Technology* )  
An experimental investigation has been conducted of the slagging characteristics of Jincheng anthracite, Luan lean coal, Linfen bituminous coal and the blended coals of the above-cited sorts. On the basis of experimental and single factor index evaluation a fuzzy mathematical method is used to evaluate the slagging degree of the coals. Meanwhile, the slagging characteristics of blended coals and the factors affecting such characteristics have been investigated and discussed in a comprehensive way, thus providing a scientific basis for the evaluation of slagging degree and the solution of slagging problems in power stations which use blended coals as fuel. **Key words:** *blended coals, slagging, fuzzy evaluation, blended ratio*
- (9) **An Exploratory Study on the Hydrodynamic Computation of Combined Circulation Hot-Water Boiler** ..... Zhu Qunyi, Zhao Guangbo, Cheng Chongsu, Zhang Peiting ( *Harbin Institute of Technology* )  
This paper deals with a theoretical study of the hydrodynamic computation method for use on a combined circulation hot-water boiler with specific calculation, examples being given. **Key words:** *combined circulation, hot-water boiler, hydrodynamic computation*
- (14) **Countermeasures for the Avoidance of Positive--Pressure in Fire-Bed Boiler Furnace** ..... Xu Tongmo, Hui Shien, et al ( *Xi An Communications University* )  
Based on the basic principles of hydrodynamics and in-furnace aerodynamics an analysis is made of the mechanism, of the occurrence of positive-pressure in a boiler furnace. It has been proved that in the case of a large-volume furnace with a small furnace arch the maintenance of a negative pressure of 0~20 Pa at the furnace outlet will prevent the occurrence of a positive pressure. With respect to a small-volume furnace with a very low and long furnace arch the positive pressure can to a great extent be avoided through a proper furnace design and arch construction as well as in-furnace rational aerodynamic parameters. The authors have also proposed some countermeasures for the prevention of positive pressure in fire-bed boiler furnaces. **Key words:** *prevention, occurrence of positive pressure, countermeasures*