

发电技术

煤粉浓度对于浓淡燃烧器设计的影响

Impact of Pulverized Coal Concentration on the Design of
Concentrated-thin Burners中国科学院力学研究所 魏小林 (北 京 100080)
西 安 交 通 大 学 徐通模 惠世恩 (陕西西安 710049)

【摘要】 通过分析传统的煤粉燃烧器设计时一次风管中煤粉浓度与一次风量和一次风速的关系发现,对于低挥发份煤,燃烧器出口的煤粉浓度很难达到着火燃烧所需的最佳浓度,从而提出将煤粉浓度作为一个重要参数在输粉系统及燃烧器设计时予以考虑。提出了新的煤粉浓淡燃烧器设计方法,为输粉系统设计提供了依据。

【关键词】 煤粉 浓淡燃烧器 设计方法

Abstract Through analyzing the relationship of pulverized coal concentration in the primary air pipe with primary air quantity and velocity during the design of conventional pulverized coal burners, it is found out that, for burning coal with low volatile matter, it is very difficult for pulverized coal concentration at burner outlet to reach the optimal concentration required for ignition, thus it is put forward, pulverized coal concentration should be taken into consideration as an important parameter during the design of pulverized coal feeding system and burners. The proposed design method of new concentrated-thin burners provides the basis for the design of pulverized coal feeding system.

Key words pulverized coal concentrated-thin burner design method

0 前言

国内外大量的研究表明,浓淡燃烧不但可以降低 NO_x 排放量,而且在保证较高燃烧效率的前提下,还可以提高一次风粉着火和燃烧稳定性^[1~4]。国外较早地运用了浓淡煤粉燃烧技术,如 FW 公司的旋风分离式燃烧器、ABB/CE 公司的 WR 燃烧器以及三菱公司的 PM 燃烧器,前者应用于 W 型火焰锅炉,后两者采用于四角布置切向燃烧锅炉,沿燃烧器垂直方向组织浓淡煤粉气流。在国内,西安交通大学提出组织水平方向浓淡燃烧,并最先在电站锅炉上获得了应用^[5]。另外,哈尔滨工业大学和浙江大学也开发了浓淡煤粉燃烧器,在锅炉改造中取得

了应用,其中哈工大还将浓淡燃烧原理应用于旋流煤粉燃烧器^[6]。

由于运用起来简便易行(如采用弯头、扭曲板和百叶窗分离等方法),因此近年来浓淡煤粉燃烧的研究和应用成为锅炉燃烧器中的一个热点问题,不同科研单位、各种类型的浓淡燃烧器应用于锅炉改造,取得了一定的经济效益。这促使大家思考这样一个问题:为什么在燃烧器系统最初设计时没有考虑采用最佳煤粉浓度?

传统的煤粉燃烧器设计时,一次风管中的煤粉浓度决定于一次风量和一次风速的选择。而一次风量决定于煤中挥发份燃烧所需的氧量,一次风速决定于输粉的需要(管内风速须大于 20 m/s)。同时一、二次风速的动量比也须控制在一定的数值以满足各股风及时混合的需要。显然,一次风速的选择更为重要(一般控制在 20~30 m/s),这造成供给的一次风量可能大于煤粉着火燃烧所需的氧量,即燃烧器的煤粉浓度偏离了最佳浓度。尤其是对于低挥发份的无烟煤,一次风喷口的煤粉浓度远远低于着火燃烧所需的最佳煤粉浓度。为此,煤粉浓度作为一个重要参数在燃烧器和输粉系统初始设计时应予以考虑。

1 常规煤粉燃烧器设计与一次风量、一次风速的选择

常规煤粉燃烧器设计时,一次风量和一次风速的选择与煤粉燃烧和制粉系统有关^[7]。一次风量和一次风速提高都会使煤粉气流着火点推迟。一次风量增加时着火热增大,因此着火点推迟。一次风速提高时着火所需的孕育时间仍需保证某一数值,所以着火点也要推迟。一次风量的选择还必须考虑煤粉气力输送的要求。在采用乏气送粉的直吹式系统时,一次风量还关系到磨煤机内的通风和制粉系统的干燥出力。而一次风速还关连到炉内

气体流动图谱。例如,对于四角布置燃烧器锅炉,如果一次风速很低而二次风速很高,那么炉内旋转火焰速度很高,一次风射流就容易偏转贴壁。此外,二次风和一次风的数值与动压比还决定了湍流扩散的强弱,影响煤粉与空气的混合以及飞灰燃烬率。

一般认为,一次风中的氧是煤中挥发份着火和燃烧所需要的,为了使挥发份尽可能迅速地烧掉,就认为采用的一次风量应该差不多等于挥发份燃烧的理论空气量(即一次风量与挥发份大致符合燃烧化学反应的当量比)^[7]。

由于各种燃料的发热量与理论空气量大体上成正比(发热量与理论空气量之比处于 3.63 ~ 3.95 MJ/m³ 范围),因此挥发份燃烧所需理论空气量和煤燃烧所需理论空气量之比就等于它们燃烧时所生成热量之比 $V_{ar} Q_v / Q_{net, ar}$, 这样理论上应该选用的一次风率为:

$$r_{1k} = \frac{V_{ar} Q_v}{Q_{net, ar}} \% \quad (1)$$

式中 Q_v ——挥发份的发热量, kJ/kg;

$Q_{net, ar}$ ——应用基低位发热量, kJ/kg;

V_{ar} ——应于基挥发份值, %;

——炉内过量空气系数。

表 1 为几种典型煤种^[8]按式(1)计算得到的一次风率(取为 1.2),挥发份的发热量按下式计算^[7]:

$$V_{ar} Q_v = Q_{net, ar} - FC \cdot 32 \cdot 800 \text{ kJ/kg} \quad (2)$$

式中 FC 为应用基固定碳的质量分数。

表 1 由式(1)计算得到的一次风率 r_{1k} %

煤 种	阳泉四矿 无烟煤	西山营 庄贫煤	淮南谢一 矿烟煤	扎赉诺尔灵 泉矿褐煤
$V_{ar} Q_v$	2 866	4 142	7 749	11 234
$Q_{net, ar}$	25 288	25 660	22 148	21 792
r_{1k}	9	13	29	43

表 2 为煤粉炉制粉系统设计时给出的推荐一次风率数据^[8]。对比表 1 和 2 可以看出,对于烟煤和褐煤,能够基本保证由式(1)算出的一次风率,而对于无烟煤和贫煤,根据式(1)算出的一次风率太小,不能满足煤粉气力输送的要求,所以只能迁就气力输送而按表 2 选取较大的一次风率,这样就增加了这些低反应能力煤着火的困难。

表 2 煤粉炉燃烧所必须的理论一次风率 r_{1k} %

煤 种	中仓式系统		直吹式系统
	热风送粉	乏气送粉	
无烟煤、贫煤	15 ~ 20	20 ~ 25	20 ~ 25
烟煤	20 ~ 25	25 ~ 35	25 ~ 35
褐煤	20 ~ 25	45 ~ 55	45 ~ 55

一次风率选定后就可以得到一次风量,从而也就能选取一次风管道的直径以保证管内流速 W_1 20 m/s(满足气力输送的需要)。由于锅炉所需的给煤量由热平衡计算得到,因此由给煤量和一次风量就可以计算出煤粉浓度:

$$\mu_{js} = \frac{1}{1.293 V^0 r_{1k} \mu_{mf}} \quad (3)$$

式中 V^0 ——不同煤种的理论燃烧空气量(标准状态下), m³/kg;

r_{1k} ——不同煤种的理论一次风率, %;

μ_{mf} ——煤粉燃烧效率, %;

——炉内过量空气系数。

计算时, V^0 用经验公式^[8]求出, r_{1k} 按表 2 直吹式系统选择(无烟煤和贫煤取 20%;烟煤取 30%;褐煤取 45%), μ_{mf} 取为 90%, 取为 1.2。表 3 给出了针对不同煤种的估算煤粉浓度。显然在传统锅炉设计中,煤粉浓度 μ 的确定是由已设计好的制粉系统所决定,它不是设计所控制的一个重要参数。

表 3 不同煤种的估算煤粉浓度

煤 种	阳泉四矿 无烟煤	西山营 庄贫煤	淮南谢一 矿烟煤	扎赉诺尔灵 泉矿褐煤
估算煤粉浓度 / kg · kg ⁻¹	0.482	0.476	0.369	0.250

常规煤粉燃烧器设计时,一次风的选择考虑到了挥发份的着火与燃烧,然而对于煤粉着火的深入研究表明,着火不一定总是由挥发份火焰产生。当颗粒表面加热速率高于颗粒整体热解速率时,着火就有可能发生在颗粒表面,即产生所谓非均相着火。可见式(1)对于着火的分析只是一个简单的估算,还不完善。近年来,国内外通过高煤粉浓度的试验研究,已经确定出了着火所需的最佳煤粉浓度,这些数据可以用来设计新型煤粉燃烧器。

2 高煤粉浓度燃烧的试验结果

所谓的高煤粉浓度是相对于传统燃烧器中的煤

粉浓度而言。目前,国内外已有许多高煤粉浓度燃烧的研究结果。ABB/CE 公司曾提供了煤粉浓度对煤粉气流火焰传播速度(即一次风速)的影响资料^[7],表明对应于不同煤种都存在一个最佳煤粉浓度,在该浓度下火焰传播速度最大。此外,有关人员测定了不同煤种煤粉气流的着火距离与浓度的关系^[9],表明存在一个最佳煤粉浓度,使着火距离最短。在实际工业火焰中,往往一次风出口速度保持不变,为此,还研究了一次风速不变时煤粉浓度对于煤粉着火和燃烧温度的影响,得到了不同煤种和一次风温时的最佳煤粉浓度^[3]。综合国内外的研究结果,对于无烟煤,其最佳煤粉浓度为 1.0 ~ 1.5 kg/kg(C/A)。

本文作者在四角布置燃烧器煤粉试验炉上分别改变一次风喷嘴浓淡侧的煤粉浓度(改变浓淡侧给粉量的分配,一次风速不变),研究了煤粉浓淡比对于炉内温度的影响^[4],试验结果如图 1 和图 2 所示。由图可见,煤粉浓度对于炉内火焰温度水平有较大

影响,浓淡煤粉燃烧存在最佳浓淡比,在该浓淡比下,炉内火焰温度水平较高,燃烧稳定;偏离最佳浓淡比,则火焰温度水平有不同程度的下降。

3 浓淡煤粉燃烧器的设计思想

从第 1 节的分析可知,对于无烟煤和贫煤,常规设计的煤粉浓度值远低于最佳浓度值,因此在燃烧器设计时应该把煤粉浓度作为一个重要参数来予以考虑。

鉴于一次风管中的煤粉浓度受到气力输送的影响,不可能有很大改变,因此采用浓淡煤粉燃烧器的设计思想无论在锅炉改造还是输粉系统初始设计上都是切实可行的。浓淡燃烧器采用浓缩装置将一次风分成浓淡 2 股气流(2 股的风速基本不变),使得浓侧的煤粉浓度达到最佳浓度,同时保持最佳的浓淡比例分配,使得浓侧煤粉首先着火,然后带动淡侧的煤粉着火,两者相互作用保证煤粉燃烧器的稳定着火和燃烧。

由于设计时煤粉浓度有限而且当锅炉低负荷运行时煤粉浓度下降,因此不一定能保证浓侧的煤粉流始终达到最佳浓度。表 4 是浓淡燃烧无烟煤锅炉在不同负荷下浓淡侧的煤粉浓度(一次风管平均浓度 $\mu = 0.6 \text{ kg/kg(C/A)}$,浓淡比 $N_d = 4.0$)。从表 4 可以看出燃烧器的负荷对于煤粉浓度影响很大。在 100% 负荷时浓侧煤粉浓度基本可以达到最佳浓度 1.0 kg/kg(C/A),但在 50% 负荷时即使管道内所有的煤粉都进入浓侧煤粉气流,也不能达到最佳浓度,这是由输粉系统设计所限制的。显然,设计浓淡燃烧器时,需要安装调节煤粉浓度的装置,以保证在不同负荷时浓侧煤粉浓度尽可能接近最佳浓度。当然,在锅炉低负荷运行时可以停掉几层一次风,但是单个燃烧器的低负荷稳燃能力仍然是锅炉低负荷运行的保证。

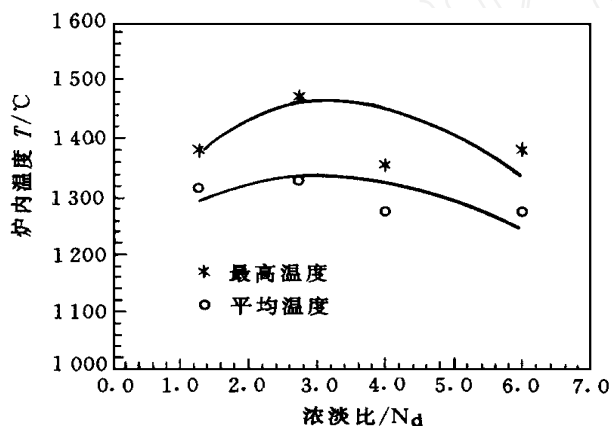


图 1 燃烧无烟煤时炉内最高温度(平均温度)与煤粉浓淡比的关系曲线

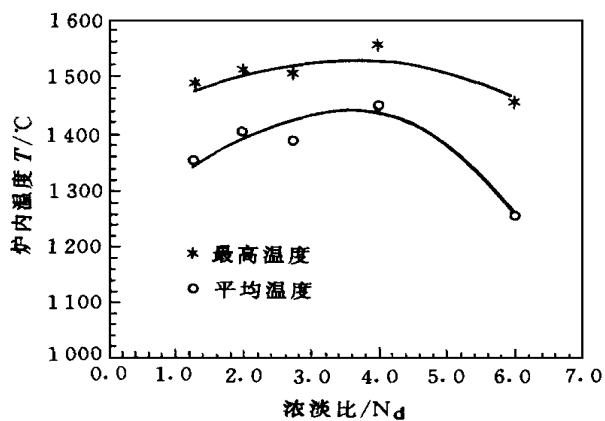


图 2 燃烧贫煤时炉内最高温度(平均温度)与煤粉浓淡比的关系曲线

表 4 采用浓淡燃烧器的无烟煤锅炉在不同负荷下浓、淡侧的煤粉浓度

负荷/ %	50	60	70	80	90	100
浓侧煤粉浓度/ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.48	0.58	0.67	0.77	0.86	0.96
淡侧煤粉浓度/ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.12	0.14	0.17	0.19	0.22	0.24

根据以上的分析,就可以提出新的浓淡煤粉燃烧器设计方法:(1)通过设计煤种的热态试验研究该煤种的最佳煤粉浓度 μ_{opt} ;(2)通过对于设计燃烧器

(下转第 14 页)

表3 煤粉细度数据(200目剩余量)

项目	1号炉				2号炉			
	A磨	B磨	C磨	D磨	A磨	B磨	C磨	D磨
1994年10月	21.2	13.8	12.5		26.3	19.9		16.1
1994年11月			20.7	16.2				
1994年12月	26.1	16.6			30.2	15.8	24.1	16.5
1995年1月	26.2	21.1	12.7	20.1	31.4	25.7	13.8	15.7
1995年2月	19.5	16.7	27.3	23.0	37.6	19.9	25.5	21.1
平均细度	23.3	17.1	18.3	19.8	31.4	20.3	21.1	17.4

4 结论

4.1 虽然MPS磨煤机有它的优点,但与我国目前的煤炭市场情况不太适应,要保证其运行状况符合设计要求,必须保证煤质符合要求且相对稳定,这要求煤矿按合同提供符合设计要求的商品煤。因此,在选用MPS磨煤机时应慎重,尤其是燃用劣质煤的

锅炉。如不能保证煤质,就无法保证煤粉细度,锅炉效率就会下降,这时应考虑选用其它类型的磨煤机,如球磨机等。

4.2 对已采用MPS磨煤机的机组,则应做到以下几点:(1)磨煤机的检修和维护工作必须到位,研磨件的更换周期不宜过长,磨辊加载压力要定期调整,以保证良好的研磨效果。一般情况下每运行1000h调整一次为宜,煤质变化较大时要根据运行情况及时调整。同时,要利用检修机会仔细检查和维护分离器挡板调节机构,以便为运行中的调节创造条件。(2)加强煤质监控,保证煤质尽量稳定,符合或接近设计要求。(3)煤粉细度化验和运行定期调节要制度化,在保证安全稳定运行的前提下,维持分离器挡板在较小的开度,使煤粉细度尽量接近设计值。定期工作要建立技术档案,以便为磨组状态分析和检修维护提供必要的参考数据。

收稿日期:1999-02-20

(责任编辑 李秀平)

(上接第3页)

的热态试验确定浓淡燃烧的最佳浓淡比 $N_{d,opt}$; (3) 保证燃烧器低负荷运行时,浓侧煤粉浓度为 μ_{opt} 。由 μ_{opt} 和 $N_{d,opt}$ 计算出淡侧煤粉浓度 μ_d ,从而得到一次风管内的平均煤粉浓度 μ ; (4) 由平均煤粉浓度 μ 和燃煤量 B 确定一次风率 r_{1k} 和一次风量 V_{1k} ; (5) 按照 V_{1k} 选择一次风管直径 D , 保证管内速度 $W_1 = 20 \text{ m/s}$; (6) 设计良好的煤粉浓度调节装置,以保证不同负荷或煤种变化时煤粉浓淡比为最佳煤粉浓淡比 $N_{d,opt}$ 。

显然,传统的输粉系统设计先确定一次风率 r_{1k} 和一次风量 V_{1k} , 然后间接地确定煤粉浓度 μ 。而新的设计方法首先保证煤粉浓度的值,并采用浓淡燃烧器以保证浓侧为最佳煤粉浓度,然后确定一次风率。

4 结论

浓淡煤粉燃烧的试验表明,浓淡比对于煤粉气流着火和稳燃具有较大影响,煤粉浓度应该作为锅炉燃烧器设计的一个重要参数来加以考虑。然而传统的煤粉燃烧器初始设计时一次风管中煤粉浓度很难达到着火燃烧所需的最佳浓度,建议采用浓淡燃

烧器以保证浓侧为最佳煤粉浓度。为此,本文提出了新的浓淡煤粉燃烧设计方法。

5 参考文献

- Reason J. Get Oil and Gas out of Pulverized-Coal Power Plant Power, 1983(5)
- Masayasu S, Kimishiro T, Yuichi I, et al. Tangential Corner Fired Boiler with Low Volatile Matter Content Coals. Technical Review (Japan), 1986(2)
- 阎维平,徐通模,许晋源. 煤粉气流着火存在最佳煤粉浓度的试验研究. 动力工程, 1994(4)
- 魏小林,徐通模,惠世恩,等. 浓淡煤粉燃烧的试验与理论研究. 动力工程, 1997(3)
- Xu Tongmo, Hui Shien. Study on the Burners with Distorted PC Concentration. Proceedings of the 2nd International Symposium on Coal Combustion Science and Technology. Beijing China, 1991
- 李争起,吴少华,孙锐,等. 径向浓淡旋流煤粉燃烧器调节特性的研究. 中国电力, 1997(1)
- 许晋源,徐通模. 燃烧学(修订本). 北京:机械工业出版社, 1990
- 徐通模,金定安,温龙. 锅炉燃烧设备. 西安:西安交通大学出版社, 1990
- 徐明存,田翔,钟文英. 一维炉高浓度煤粉燃烧试验研究. 工程热物理学报, 1993(2)

收稿日期:1999-03-10

(责任编辑 孙家振)