

风扇磨煤机直吹式制粉系统风粉分配特性

张 锋¹, 李 雯², 贾 波¹, 晋中华¹

(1. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054; 2. 中国建材检验认证集团西安有限公司, 陕西 西安 710061)

摘要:为解决内蒙古某发电厂风扇磨煤机直吹式制粉系统第4层煤粉管道堵塞的问题,对该制粉系统的分配状况进行试验研究。通过试验测量发现造成第4层煤粉管道堵塞的根本原因是分配器入口风粉分配不均匀,且分配器对此不均匀问题的调节改善作用较小。试验台模型研究发现,采用旋流式分配器或格栅型分配器均可有效地解决第4层煤粉管道堵塞的问题,且均比封堵第4层煤粉管道的当前运行方式阻力要小。实施任一方案都不会使系统通风量低于当前运行风量,均能够保证制粉系统出力要求。若采用旋流式分配器,则第1层煤粉管粉量偏少约40%,且比一级格栅分配器阻力偏大约250 Pa。因此建议优先考虑改造格栅分配器以解决该制粉系统第4层煤粉管道堵塞的问题。

关键词: 风扇磨煤机; 分配特性; 煤粉管道堵塞; 格栅分配器; 旋流式分配器

中图分类号: TK223.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-6772(2017)01-0069-06

Fan mill direct-fired pulverizing system distribution characteristics

ZHANG Feng¹, LI Wen², JIA Bo¹, JIN Zhonghua¹

(1. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

2. China Building Material Test & Certification Group Xi'an Co., Ltd., Xi'an 710061, China)

Abstract: In order to solve the blockage problem in the fourth layer pulverized coal pipe of a fan mill direct-fired pulverizing system in a certain power plant in Inner Mongolia, the distribution characteristics of the coal pulverizing system was studied. By experimental measurements, it was found that the distribution unevenness in distributor entrance was the root cause of the blockage problem in the fourth layer pulverized coal pipe, and the adjustment effect of the uneven problem was small. Test model for further study found that, the swirl distributor or grille type distributor could effectively solve the problem of the fourth layer pulverized coal blockage, and the resistance was smaller than the current operation mode that the fourth layer pulverized coal pipe was plugged. Implement of any solution wouldn't make the system ventilation lower than the current running air volume, so the transformation met the coal pulverizing system output requirements. If the swirl distributor was used, the powder quantity in the first layer pulverized coal pipe was less about 40%, and the resistance was more about 250 Pa than one level grille distributor. So grille distributor was preferred for the reformation to solve the blockage problem in the fourth layer pulverized coal pipe.

Key words: fan mill; distribution characteristics; pulverized coal pipe blockage; grille distributor; swirl distributor

0 引 言

现代大容量燃煤锅炉直吹式制粉系统的应用相当普遍,直吹式制粉系统各燃烧器一次风粉分配均匀与否是决定锅炉燃烧工况的重要因素之一,合理配置各燃烧器的一次风速和煤粉浓度是

保证锅炉机组安全、经济运行的重要条件^[1-3]。目前行业内的相关研究和标准主要集中在应用更为广泛的中速磨煤机直吹式制粉系统的风粉分配特性,而对风扇磨煤机直吹式制粉系统风粉分配特性的研究则相对较少^[4-6]。周云龙等^[7]提出了适用于风扇磨的新型可调式煤粉分配器,在模化设

收稿日期:2016-09-21;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.01.013

基金项目:华能集团总部科技资助项目(HNKJ14-H10)

作者简介:张 锋(1983—),男,湖北武汉人,高级工程师,硕士,从事电站锅炉运行优化技术的研究。E-mail:zhangfeng@tpri.com.cn

引用格式:张 锋,李 雯,贾 波,等. 风扇磨煤机直吹式制粉系统风粉分配特性[J]. 洁净煤技术,2017,23(1):69-74.

ZHANG Feng, LI Wen, JIA Bo, et al. Fan mill direct-fired pulverizing system distribution characteristics[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(1):69-74.

计的基础上,对煤粉分配器进行了大量的试验研究,结果表明这种新型的煤粉分配器通过叶栅角度的改变来调整锅炉燃烧是可行的。王欣等^[8]针对风扇磨煤机出口一次风风粉比例经常出现失衡的状况,提出了一种新型自动可调式风粉比例分配装置,能够在运行中对风扇磨煤机出口风粉分配进行调节。赵振奇等^[9]、白卫东等^[10]将自动可调叶栅煤粉分配器应用于风扇磨煤机直吹式制粉系统中,能在运行中对空气和煤粉分配进行调节。然而对于大容量锅炉的风扇磨煤机直吹式制粉系统风粉分配仍然存在问题。本文从现场问题出发,对风扇磨煤机直吹式制粉系统在风粉分配方面存在的问题进行了试验研究,并根据模型试验的结果提出了改进制粉系统风粉分配状况的方案。

1 问题简述

内蒙古某发电厂二期工程为2×600 MW机组,每台炉配备8台MB3600/1000/490风扇磨煤机。磨煤机出口的煤粉经过分离器、分配器后进入1~4层煤粉管道(煤粉管道立面图如图1所示),然后进入燃烧器送入锅炉燃烧。机组投产后,该风扇磨煤机制粉系统的第4层(最上层)粉管经常出现水平管道堵管,烧坏煤粉管道和燃烧器喷口的问题。

2 原因分析

2.1 冷态通风试验

原磨煤机装有自动可调叶栅煤粉分配器(图2)^[11],通过调节分配器导向挡板开度能够调整各层煤粉管道的风粉分配情况。为分析第4层粉管经常出现水平管段堵管的原因,首先在冷态纯通风条件下,调整煤粉分配器开度分别为0、50%和

100%,测量各层粉管内的风速,进而了解风量分配的情况。

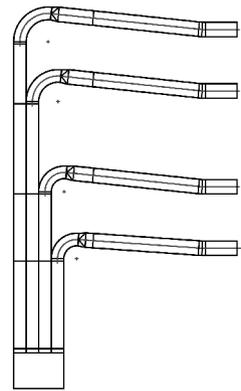


图1 煤粉管道立面图

Fig. 1 Pulverized coal pipe elevation

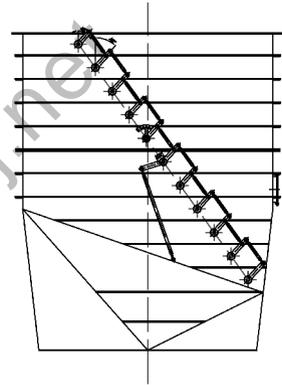


图2 自动可调叶栅煤粉分配器

Fig. 2 Automatically adjustable blade pulverized coal distributor

试验结果如图3所示。其中,煤粉管道风速相对偏差定义^[12]为

$$\Delta\bar{\omega} = \frac{\omega_i - \bar{\omega}}{\bar{\omega}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $\Delta\bar{\omega}$ 为风速相对偏差,%; ω_i 为煤粉管道风速,m/s; $\bar{\omega}$ 为煤粉管道平均风速,m/s。

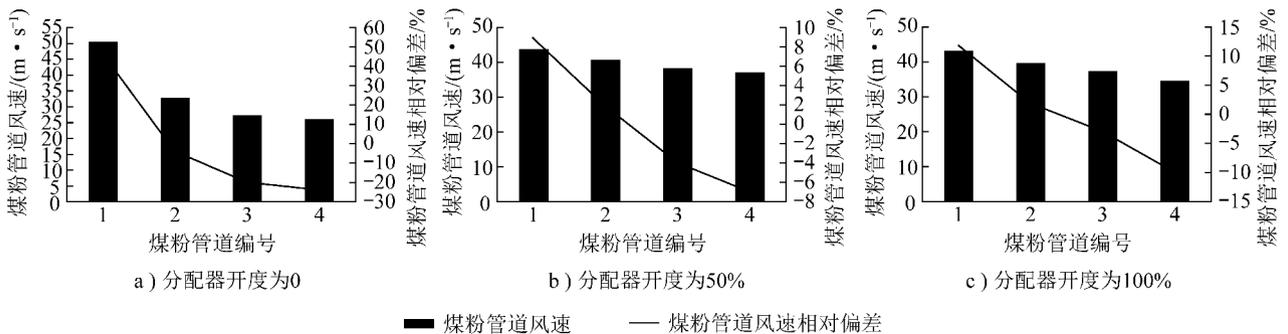


图3 煤粉管道风速及偏差

Fig. 3 Pulverized coal pipe wind speed and deviation

从试验结果可以看出冷态通风时, 分配器开度变大, 4 层一次风管的风速偏差缩小, 开度到达 50% 以后, 风速偏差基本维持在第 4 层煤粉管道风速偏小 10% 左右不变。可见冷态条件下, 通过调整分配器开度, 可以将风速偏差调整至合理范围。

2.2 热态分配试验

实际运行状态为气流携带煤粉的热态, 为进一步明晰实际热态运行时各层煤粉管道的风粉分配状况, 在磨煤机出力为 40 t/h 时, 调整磨煤机出口分配器开度分别为 0、50% 和 100%, 测量各层煤粉管道内粉量和风速。

试验测量结果如图 4~6 所示。其中, 煤粉取样量相对偏差定义^[12]为

$$\Delta\bar{\beta} = \frac{\beta_i - \bar{\beta}}{\bar{\beta}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $\Delta\bar{\beta}$ 为煤粉取样量相对偏差, %; β_i 为煤粉管道煤粉取样量, g; $\bar{\beta}$ 为煤粉管道平均煤粉取样量, g。

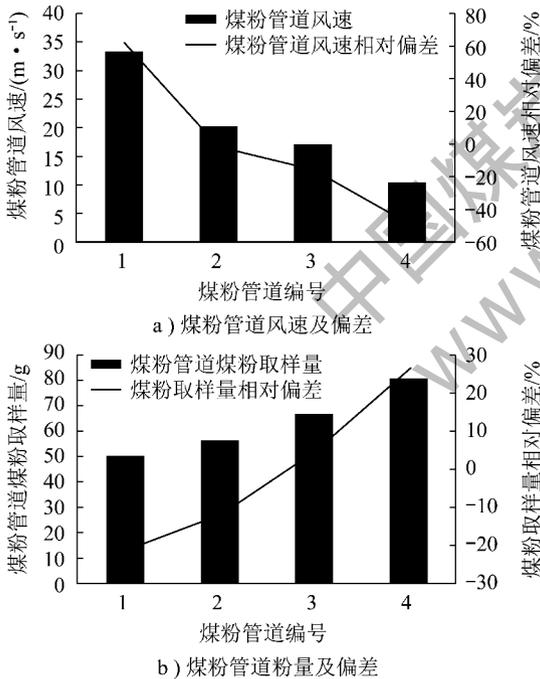


图 4 煤粉分配器开度为 0 的测量结果

Fig. 4 Measured results of the opening of the pulverized coal distributor for 0

从试验结果可以看出, 第 4 层煤粉管道风速偏小 50% 左右, 而粉量却偏大了 30%, 且调整煤粉分配器对第 4 层煤粉管道的粉量和风量分配影响不大。开大分配器仅可以提高第 3 层煤粉管道的风量, 而对第 4 层煤粉管道的风量影响较小。当把磨

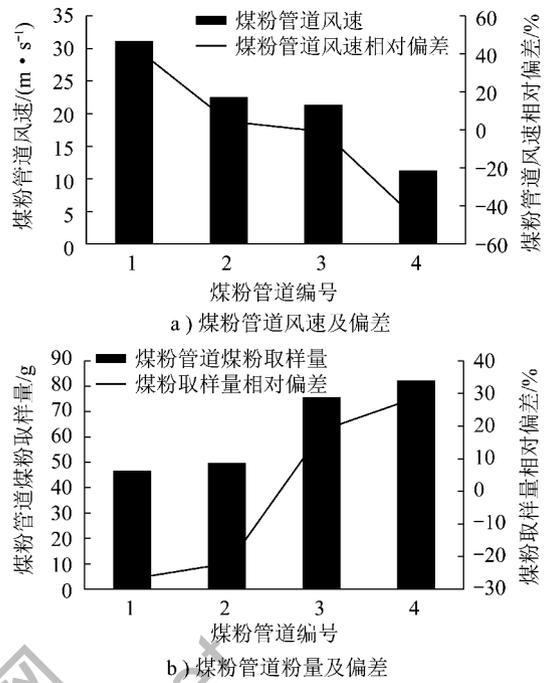


图 5 煤粉分配器开度为 50% 的测量结果

Fig. 5 Measured results of the opening of the pulverized coal distributor for 50%

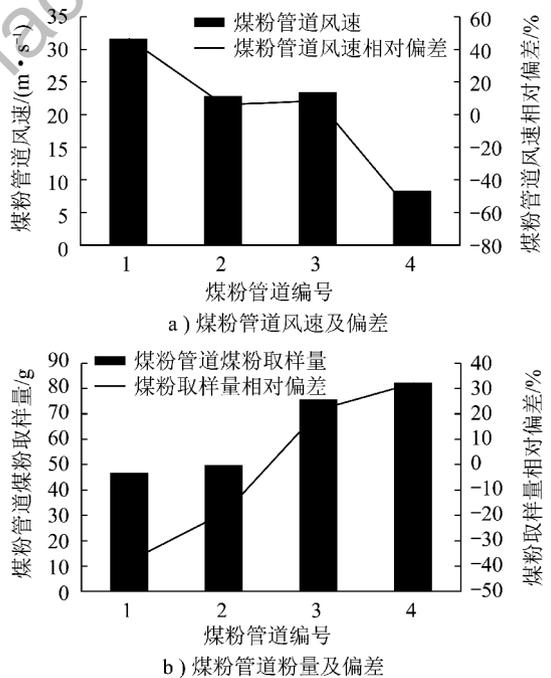


图 6 煤粉分配器开度为 100% 的测量结果

Fig. 6 Measured results of the opening of the pulverized coal distributor for 100%

煤机出力增加到 60 t/h 后, 第 4 层煤粉管道已经基本堵死, 无法继续进行试验。试验结果表明, 热态时磨煤机出口 4 层煤粉管道的风粉分配偏差较大, 容易造成第 4 层煤粉管道堵管, 而煤粉分配器对此问

题的调节作用非常有限。

尽管冷态时通过调整分配器磨煤机四层煤粉管道的风量分配偏差可控制在合理范围,但热态时风量的分配偏差明显加大。这主要是由于煤粉量的分配偏差加剧了风量的分配偏差^[13]。由此也可以看出冷态下风量分配的情况不能代表热态下风量分配的情况,更无法由此推断煤粉量分配的情况,风粉相互作用的气固两相流动有其特殊性和复杂性。

通过上述风粉分配试验发现,第4层煤粉管道的粉量明显大于底下3层煤粉管道的粉量,而风量却比底下3层的风量小许多,且热态下调整分配器对各层煤粉管道的风量和粉量分配影响很小,第4层煤粉管道仍然是风量小而粉量大,由此说明制粉系统现在的分配器对煤粉量的调节作用非常有限,因此推断四层煤粉管道的粉量分配偏差主要是由分配器入口条件决定的,即产生四层煤粉管道分配不均的根本原因是分配器入口风粉分配的不均匀,而同时分配器调节改善分配的作用又较小。

2.3 分配器入口浓度测试

为验证第4层煤粉管道的粉量分配偏差是否与分配器入口的浓度有关,特对分配器入口截面的粉量分布进行了测量。煤粉分配器入口煤粉分布规律测量的测点位置如图7所示。

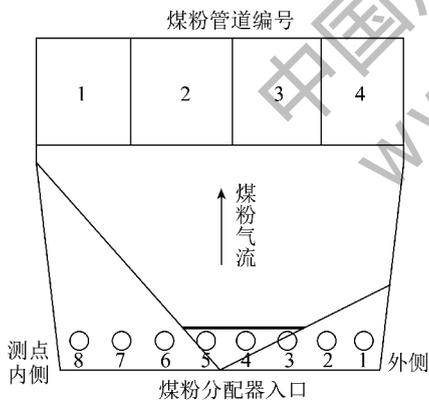


图7 分配器入口煤粉分布测点位置

Fig. 7 Pulverized coal distribution observation points in distributor entrance

在同一磨煤机出力下共进行了2次测量,2次粉量的测量结果见表1。从2个工况的试验测量结果可以看出,从分配器外侧向内(即从第4层煤粉管道的底部向第1层煤粉管道的底部)煤粉的质量依次减小,与第4层煤粉管道粉量偏大的结果一致,这也进一步印证了分配器入口煤粉浓度分布存在较大偏差,而分配器对粉量分布基本没有调节作用,导

致了第4层煤粉管道分配的粉量较多的结论。由于第4层煤粉管道最长,风量最小,因此很容易造成煤粉在水平管段内沉积。

表1 分配器入口粉量分布测量结果

Table 1 Pulverized coal amount distribution measurements in distributor entrance

项目	煤粉量/g							
	1	2	3	4	5	6	7	8
工况1	122.60	76.46	77.96	77.43	44.81	42.11	17.49	15.09
工况2	115.40	85.22	67.14	61.55	48.21	47.59	24.47	16.83

注:1~8为测点号。

3 试验台模型试验研究

3.1 试验系统及模型设计

为解决分配器后第4层煤粉管道堵管的问题,电厂拟对分配器进行改造。为保证改造的效果,西安热工研究院有限公司在半工业性气固两相流试验台上进行了模型试验研究,试验段部分实际安装如图8所示。为了模拟分配器进口不均匀的煤粉分布状态,在分配器入口下方布置一个90°弯头,煤粉气流经过弯头后,形成内侧风粉较少外侧风粉较多的分布状态。经过预备性试验的调整,试验台模型入口的煤粉分布状态比实际运行状态更加恶劣,风粉基本集中在分配器入口的外侧(第4层煤粉管道所在的一侧)。

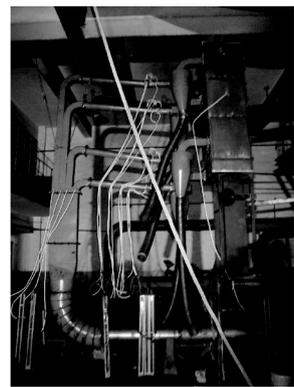


图8 分配器模型试验段实物

Fig. 8 Distributor model test section physical figure

试验台模型试验共制作了3种分配器模型,分别是:

1)模型I(当前分配器的模型)。将电厂当前使用的分配器的外壳按比例1:8.4缩小,模型进口直径 $\phi 360$ mm。前述试验测量的运行情况表明挡板对煤粉分配的调节效果有限,为了简化试验取消了分

配器内部的挡板,即模拟挡板处于竖直状态(现场为50%开度)时的阻力情况和煤粉分配情况。该模型的第4层煤粉管道可以完全封堵,以模拟当前的实际运行状态。模型I的试验结果作为设计状态的比较基准,而第4层管全堵状态作为当前运行状况的比较基准。

2)模型II(格栅型煤粉分配器模型)。由于格栅型分配器阻力较大,常用于中速磨煤机直吹式制粉系统^[14],在风扇磨煤机直吹式制粉系统中实际应用案例较少。依据电厂现场条件来看,利用格栅型分配器改造,现场改造的施工量最小,也最容易实施。为了解格栅型分配器的阻力情况,在半工业性试验台上对风扇磨煤机系统(从煤粉分配器入口至燃烧器入口)的阻力特性进行了模型试验。针对电厂的实际情况,对格栅型分配器模型进行了优化设

计,其进出口接口与模型I一致,可以直接替换到系统中。模型II采用两级格栅,其中第2级格栅可以去除,分别进行两级格栅和一级格栅的模拟试验,与模型I的试验结果进行比较,探讨格栅分配器的阻力和分配情况,确定用格栅分配器是否可行。

3)模型III(旋流式分配器模型)。采用直径 $\phi 360$ mm的旋流式分配器,按风扇磨煤机常用旋流式分配器的结构进行设计,布置有6片导流叶片^[15]。该模型安装于原模型I位置,将模型I上移至模型III出口,与下游的4根一次风管相连,即模型I与模型III串联,模型I仅起到方圆节的作用。旋流式分配器挡板角度分别设定在 45° 、 60° 、 70° (挡板与分配器轴线夹角)进行了3个试验工况。

3.2 试验台模型试验结果

试验台模型试验结果如图9所示。

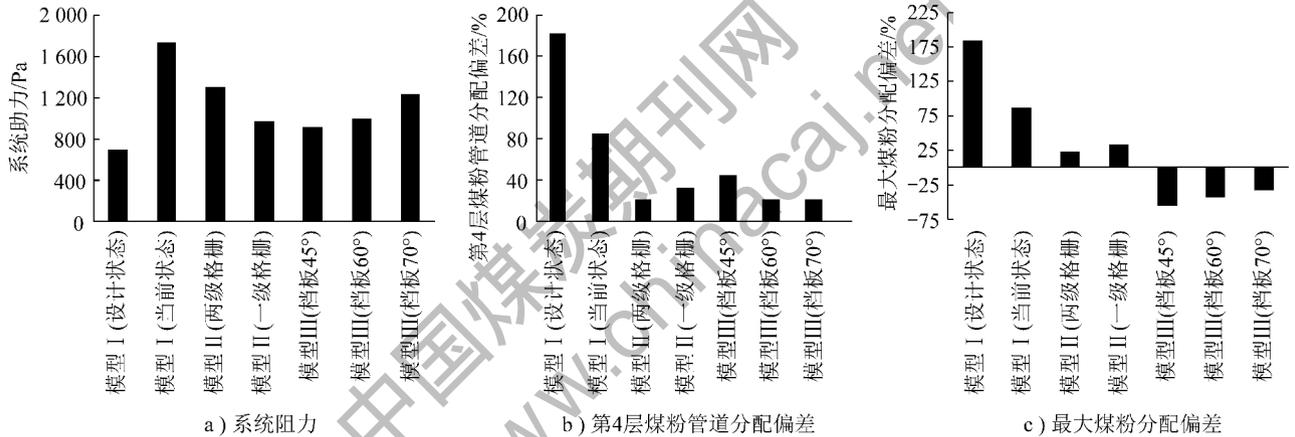


图9 试验台模型试验结果

Fig. 9 Model test results

由图9可知,模型I处于设计状态时,系统总阻力为701 Pa,但4层煤粉管道之间粉量的分配偏差达到了185%,第4层煤粉管道的粉量比下3层粉管粉量之和还要多,这种状态较实际运行更严重。

采用特殊设计的格栅型分配器,系统的总阻力为1318 Pa,第4层煤粉管道的粉量分配偏差仅偏大了21.26%,4层煤粉管道之间粉量的分配有很大改善。如果用现在的分配器,将第4层粉管堵死,模拟当前运行状态,系统总阻力为1760 Pa。

旋流式分配器模型试验中,挡板角度为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 时,可以将第4层煤粉管道的煤粉分配偏差控制在22%左右,与两级格栅分配器的结果接近,但其第1层煤粉管道粉量偏少较多,偏差约在40%,最大分配偏差小于一级格栅分配器。在挡板开度为

70° 时,系统阻力与两级格栅分配器基本相当,减小50 Pa,但比一级格栅分配器偏大约250 Pa。

综合试验台模型试验结果可看出:设计状态下,一次风管的阻力最小,而采用格栅型分配器阻力比设计状态要大,但小于第4层煤粉管道堵死状态下的阻力。因此在现场实际改造时,若利用格栅型分配器改造,所能够达到的最大通风量仍低于设计通风量,但不会低于现在运行状态,且能较大地改善4层煤粉管道之间粉量分配。采用旋流式分配器较一级格栅分配器阻力增加较多,分配效果也不甚理想。

4 结 论

1)造成该风扇磨直吹式制粉系统第4层煤粉管道堵塞的主要原因是:与平均值相比,第4层煤粉

管道风量偏低 48% ~ 60%、煤粉量偏高 30%，偏差幅度很大；运行中第 4 层煤粉管道风速低、浓度高，煤粉极易脱离气流沉积在水平一次风管下部，沉积的煤粉进一步降低了管道内的风速，积粉迅速增加，造成管道堵塞。

2) 第 4 层煤粉管道风粉分配偏差大是由于分配器入口的煤粉浓度分布不均造成的。磨煤机煤粉分配器入口呈现粉量由外(第 4 层管所在的一侧)向内逐渐降低的分布规律。同时现有分配器对一次风量及煤粉量的分配调节作用极为有限，无法满足风粉分配调整的要求。分配器对第 4 层煤粉管道的风量调整作用较小，更无法调整粉量的分配，因此在目前状态下，第 4 层煤粉管道堵塞难以避免，必须采取改造措施。

3) 经试验台模型试验对 3 种不同的模型方案的分析，认为采用旋流式分配器或格栅型分配器均可有效地解决第 4 层煤粉管道堵塞的问题，且均比封堵第 4 层煤粉管道的当前运行方式阻力要小，实施任一方案都不会使风量低于当前运行风量，均能保证制粉系统出力要求。但如果采用旋流式分配器方案，第 1 层煤粉管粉量偏少约 40%，且比一级格栅分配器阻力偏大约 250 Pa。因此建议改造优先考虑格栅分配器方案，应首先在一台磨煤机上实施验证，进行现场改造试验，成功后推广到整台锅炉。

4) 风扇磨煤机直吹式制粉系统在我国电站锅炉中应用相对较少，制粉系统的设备选型及设计布置还有较大的提升空间。本文所述问题及提出的解决方案对后续改善风扇磨煤机直吹式制粉系统分配特性有一定的指导意义。

参考文献(References):

[1] 王月明. 可调式煤粉分配器的理论与试验研究[J]. 中国电力, 1998, 32(2): 31-34.
Wang Yue ming. Theory and testing-research of adjustable pulverized coal distributor[J]. Electric Power, 1998, 32(2): 31-34.

[2] 张沪香. 改善煤粉分配均匀性措施的研究[J]. 华电技术, 2010, 32(2): 29-33.
Zhang Huxiang. Study on improving measures for pulverized coal distribution evenness[J]. Huadian Technology, 2010, 32(2): 29-33.

[3] 张斯媛. 锅炉煤粉均衡分配控制技术研究[D]. 北京: 华北

电力大学, 2015.

- [4] 王俊贤, 郭建军. 直吹式制粉系统风粉分配特性试验研究[J]. 山西电力技术, 2000(1): 21-25.
Wang Junxian, Guo Jianjun. Test research on the air-coal distribution characteristics of direct-fired system[J]. Shanxi Electric Power, 2000(1): 21-25.
- [5] 靳菲. 电站锅炉直吹式制粉系统输粉管均配器模拟试验研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [6] 焦世超. 煤粉锅炉一次风管风粉配平方案的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- [7] 周云龙, 高绥强, 蔡辉, 等. 可调式煤粉分配器煤粉分配特性的实验研究[J]. 东北电力学院学报, 1999, 19(1): 44-49.
Zhou Yunlong, Gao Suiqiang, Cai Hui, et al. Experimental study for pulverized coal distribution characteristics in adjustable pulverized coal distributor[J]. Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering, 1999, 19(1): 44-49.
- [8] 王欣, 康龙, 衣心亮, 等. 风扇磨煤机风粉比例电动控制器的应用研究[J]. 吉林电力, 2004(2): 20-23.
Wang Xin, Kang Long, Yi Xinliang, et al. Study of automatic proportion distributor of air and coal-powder of fan mill[J]. Jilin Electric Power, 2004(2): 20-23.
- [9] 赵振奇, 毕大鹏, 张恒威. 自动可调叶栅煤粉分配器在富拉尔基发电总厂锅炉的应用[J]. 热能动力工程, 2005, 20(2): 203-207.
Zhao Zhenqi, Bi Dapeng, Zhang Hengwei. The application of a pulverized-coal distributor with auto-adjustable cascades for boilers at Fulaerji power plant general works[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2005, 20(2): 203-207.
- [10] 白卫东, 冯兆兴, 庞开宇, 等. 自动可调叶栅煤粉分配器的应用研究[J]. 动力工程, 2001, 21(5): 1444-1449.
Bai Weidong, Feng Zhaoxing, Pang Kaiyu, et al. Application and research on the automatic adjustable pulverized coal distributor[J]. Power Engineering, 2001, 21(5): 1444-1449.
- [11] 国家电站燃烧工程技术研究中心. 自动可调叶栅煤粉分配器: CN00211364. 3[P]. 2001-01-24.
- [12] DL/T 467—2004, 电站磨煤机及制粉系统性能试验[S].
- [13] 郑丹, 胡寿根, 赵军, 等. 气固两相分支管流动及流量分配特性的研究[J]. 力学季刊, 2006, 27(4): 689-692.
Zheng Dan, Hu Shougen, Zhao Jun, et al. Research on flow shape and distribution of materials for branch pipe in gas solid two phase flow[J]. Chinese Quarterly of Mechanics, 2006, 27(4): 689-692.
- [14] 姜武. 煤粉分配器的使用现状及应用前景[J]. 热机技术, 2004(1): 35-42.
Jiang Wu. Application status and prospect of pulverized coal distributor[J]. Heat Power Technics, 2004(1): 35-42.
- [15] 王伟. 旋流式煤粉分配器的数值模拟[D]. 长春: 吉林大学, 2012.