

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2019.07.005

1 000 MW 电站锅炉布袋除尘器入口 烟气流场优化数值模拟

Numerical simulation of flue gas flow field at the bag
filter inlet of 1 000 MW boiler

王礼鹏, 绳冉冉, 安敬学, 程金武, 王磊

WANG Lipeng, SHENG Ranran, AN Jingxue, CHENG Jinwu, WANG Lei

(中国大唐集团科学技术研究院有限公司华中分公司, 郑州 450000)
(Central China Branch, China Datang Corporation Science and Technological
Research Institute Company Limited, Zhengzhou 450000, China)

摘要:国内某1 000 MW超超临界参数变压直流电站锅炉布袋除尘器入口烟气流场均匀性差,导致喷水减温系统启动,进而影响布袋除尘器安全、高效运行。基于现场测试及烟道结构进行数值模拟,确定了导流板加装方案。改造后,布袋除尘器入口烟气温度和烟气速度分布均匀性得到明显改善。

关键词:电站锅炉;布袋除尘器;烟气流场;现场测试;数值模拟;均匀性

中图分类号:X 773 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2019)07-0018-06

Abstract:The large deviation of the flue gas flow field uniformity at bag filter entrance in a domestic 1 000 MW ultra-supercritical once-through boiler led to the start-up of its water spraying desuperheating system and affected its safe and efficient operation. The deflector was installed based on the numerical simulation and on-site test. After installation, the uniformity of the flue gas velocity and temperature at the bag filters entrances is improved obviously.

Keywords:boiler; bag filter; flue gas flow field; on-site test; numerical simulation; uniformity

0 引言

电力工业是国民经济的基础行业,是衡量一个国家发展水平的重要标志。随着科学水平的不断提高,火电机组也向着大容量、高参数以及自动化程度更高的方向发展。大容量、高参数火力发电机组的投运提高了机组运行经济性,但大通道烟道内烟气流场分布均匀性问题却日益突出。烟道结构以及烟道内导流板布置形式是烟气流场分布均匀性的重要因素,因此,结合数值模拟研究烟道导流板的优化布置并进行改造实践,对进一步提高烟气流场分布的均匀性具有重要意义。

目前,国内对燃煤电站锅炉烟气流场优化的研究多集中在选择性催化还原(SCR)脱硝导流板结构设计^[1],SCR脱硝系统烟气流场优化数值模拟^[2-8]和炉内温度场^[9]、气固流场优化的数值模拟研

究^[10-11]。文献[12]按照10:1的比例搭建了SCR脱硝试验台,在冷态条件下研究了导流板布置方式对烟气流场特性、压力分布及反应物混合效果的影响,并确定了最佳布置方案。Xu Y Y^[13]等采用现场试验的方法,对首层催化剂入口进行测试,分析造成磨损的原因。结果显示SCR烟气入口流场分布不均匀是造成磨损的主要原因。之后在烟气入口处设置了一系列导流板来改善流场分布,防止催化剂磨损。哈尔滨工业大学陈太平^[14]采用FLUENT软件对SCR脱硝装置进行模拟研究,发现反应器内流场分布很不均匀,通过在拐弯及变截面处设置4组导流装置,使得首层催化剂入口速度标准偏差降至10%以下。文献[15]研究了“弧”型和“直-弧-直”型导流板对SCR反应器内流场分布的影响,结果发现“直-弧-直”型导流板的优化效果更佳。但上述文献均没有涉及布袋除尘器入口烟气流场优化的研究,本文通过数值模拟的方法对布袋除尘器入口烟气流场分布均匀性差问题进行研究。

1 数值模拟

某 1000 MW 燃煤电站锅炉为哈尔滨锅炉有限公司制造的 HG-2913/29.3-YM2 型超超临界参数变压直流炉,是一次再热、平衡通风、半露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 II 形锅炉。锅炉烟气经脱硝出口进入空气预热器(以下简称空预器),从空预器出口经 U 形弯进入除尘器。进入除尘器之前,烟道被分为 7 个分支。

该锅炉配 3 台布袋除尘器,每台布袋除尘器在顺气流方向上有 4 个独立的除尘室,每个室含有 2 个除尘袋束,共 24 个袋束。每个袋束最大过滤面积为 4140 m^2 ,整台除尘器总过滤面积为 99360 m^2 。除尘器清灰压力为 $0.085\sim 0.095\text{ MPa}$ 。滤袋以同心圆状布置,采用动态清灰方式。布袋除尘器具体结构如图 1 所示,其中 B3, B4 本为同一烟道,受就地支柱影响,分为两个,此处合为一个烟道 B3 处理。

该锅炉自 2015 年投入运行以来,除尘器入口烟道烟气流速及温度分布始终存在较大偏差,2017 年 8 月除尘器入口烟道烟气速度、温度测试均值见表 1(测试时一个烟道 5 个测孔,一个测孔 3 个深度,此处取均值)。

结果表明:除尘器入口烟道烟气速度均值最大偏差已达 4.39 m/s ,烟气温度均值最大偏差已达 $26\text{ }^\circ\text{C}$,且布袋除尘器入口烟道烟气温度最高达 $163\text{ }^\circ\text{C}$,已超出“滤袋允许连续使用温度 $\leq 160\text{ }^\circ\text{C}$ ”的控制要求,过高的烟气温度使得布袋除尘器入口喷水降温系统启动,进而造成糊袋现象。布袋除尘器入口烟气流场均匀性差已严重影响布袋除尘器的安全、高效运行。

为查找布袋除尘器入口烟气流场均匀性差的根源,查得 2018 年 4 月空预器出口烟气温度场的测试结果(如图 2 所示,其中 A1—B16 为炉右到炉左),可以看出,在空预器出口,烟道内烟气温度分布已经出现了较大偏差。

1.1 模型建立

为改善布袋除尘器入口烟道烟气流场分布的均匀性,结合实际测试情况,基于现场烟道结构进行模型建立,入口边界确定在空预器出口烟道测孔处,出口边界选取在布袋除尘器入口烟道测孔处。

按实际尺寸 1:1 建立 A, B 侧烟道模型,如图 3 所示。由于空预器出口处烟气温度分布不均匀,为保证分析烟道部分入口截面边界条件的设定更贴合实际,将 A, B 两侧烟道的入口平分为 8 份。两侧烟道温度分布云图及试验采样测点平面等温线图如图 4 所示。原始结构下除尘器前烟道全流程计算流体

表 1 布袋除尘器入口各烟道烟气参数测试结果

Tab.1 Test results of flue gas parameters at entrance of each bag filter duct

烟道 编号	烟气温度均值/ $^\circ\text{C}$		烟气速度均值/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	
	测孔	烟道	测孔	烟道
A1	132.00	130.42	11.40	8.82
	127.70		9.60	
	130.70		7.03	
	131.30		7.27	
A2	136.70	136.83	13.43	11.41
	136.30		13.23	
	137.70		11.50	
	136.70		11.07	
	135.70		7.83	
	153.30		12.43	
A3	158.70	156.42 (最大值 163.00)	11.17	11.69
	158.30		12.63	
	155.30		11.80	
	162.00		10.40	
	156.00		12.32	
B1	157.00	154.93	12.67	13.21
	156.30		12.99	
	153.70		13.39	
	151.70		14.67	
B2	137.30	137.73	10.27	11.00
	138.30		10.61	
	137.00		10.77	
	138.30		10.99	
	137.70		12.37	
B3	131.70	132.13	7.47	11.74
	132.70		12.29	
	135.70		14.93	
	135.30		14.93	
	134.70		16.64	
	129.00		8.69	
	129.00		9.15	
	130.00		9.65	
131.70	11.07			
	131.70	12.51		

动力学(CFD)仿真采用湍流模型。

1.2 原始结构下的模拟结果

1.2.1 两侧烟道温度场模拟结果

由图 4 可以看出,从空预器出来的烟气温度场分布不均匀,高温烟气直接进入 A3, B1 截面,造成

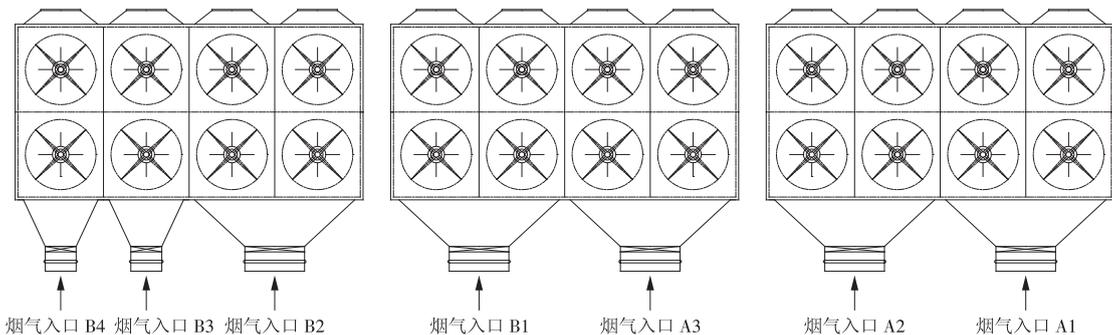


图 1 布袋除尘器入口各烟道与布袋除尘器对应关系示意

Fig. 1 Corresponding relationship between the bag filters and flue gas ducts at the entrance of filters

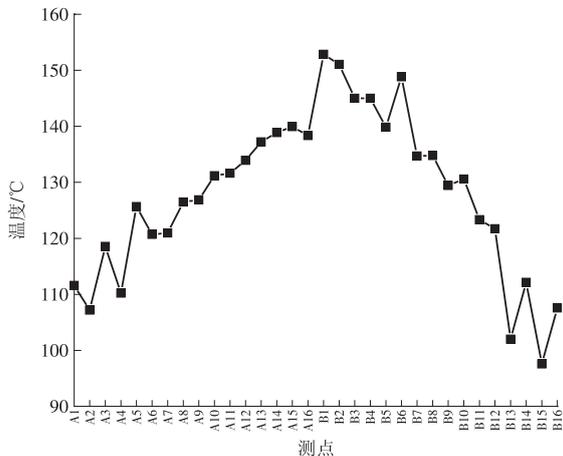


图 2 空预器出口烟道烟气温度分布

Fig. 2 Flue gas temperature distribution at the exit of the air preheater

A3, B1 截面烟气温度较高, 而低温烟气沿烟道进入 A1, A2, B2, B3, B4 截面, 造成各截面烟气温度分布不均匀。A3—A1 各试验采样测点处截面的平均温度分别为 134. 07, 122. 20, 119. 93 °C; B1—B3 各试验采样测点平面截面的平均温度分别为 145. 25, 123. 78, 117. 81 °C。

1.2.2 两侧烟道速度场模拟结果

图 5 为原始结构下两侧烟道速度分布云图及试验采样测点平面截面速度分布云图。由数值计算结

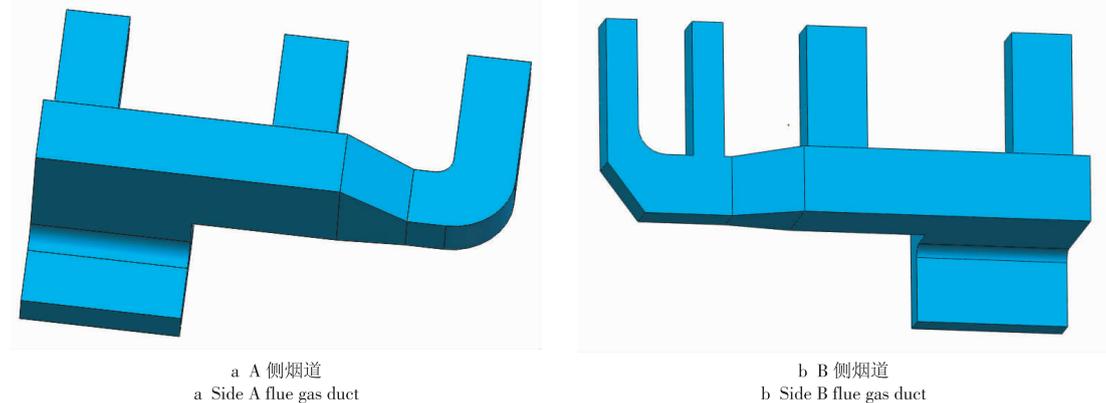
果可观察到: A3, B1 试验采样测点平面流速较大; 在宽度方向上, A1, A2 烟道烟气速度从 A 侧到 B 侧呈现逐渐减小的趋势; 在宽度方向上, B2, B3 烟道烟气速度从 A 侧到 B 侧呈现逐渐增大的趋势, 与试验测试结果一致。统计 A3—A1 各试验采样测点平面截面的平均流速分别为 11. 84, 7. 39, 13. 17 m/s; B1—B3 各试验采样测点平面截面的平均流速分别为 12. 98, 9. 71, 13. 80 m/s。速度分布均匀性很差, 易造成除尘器入口均布板磨损、除尘效率下降等问题。

同时还统计了 A, B 侧烟道进出口总压降分别为 152. 10, 237. 24 Pa。

2 方案选取

在燃煤电站锅炉烟气流动场优化治理实践中发现, 加装不同类型的导流板可有效改善不同结构烟道中烟气流动场均匀性差问题。本方案基于原始结构下烟道烟气流动场的实测和数值模拟结果, 通过添加不同功能的导流装置, 解决布袋除尘器入口烟气流动场偏差大的问题。

以 B 侧烟道为例, 首先考虑到布袋除尘器入口各烟道烟温偏差过大, 在烟道进口(空预器出口)处高温侧布置一斜导流板(50°), 扰动高温烟气向低



a A 侧烟道
a Side A flue gas duct

b B 侧烟道
b Side B flue gas duct

图 3 两侧烟道几何模型

Fig. 3 Geometry models on both sides of flue gas duct

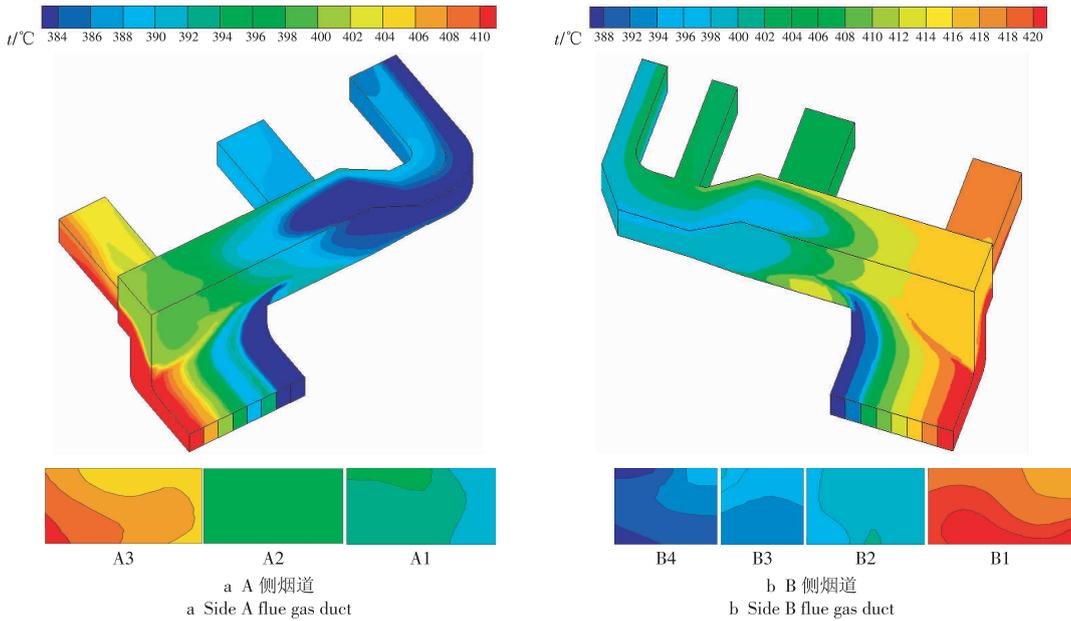


图4 原始结构下两侧烟道温度分布云图及试验采样测点平面等温线图

Fig.4 Temperature distribution cloud map on both sides of flue gas duct under original structure and plane isotherm diagram of the sampling point

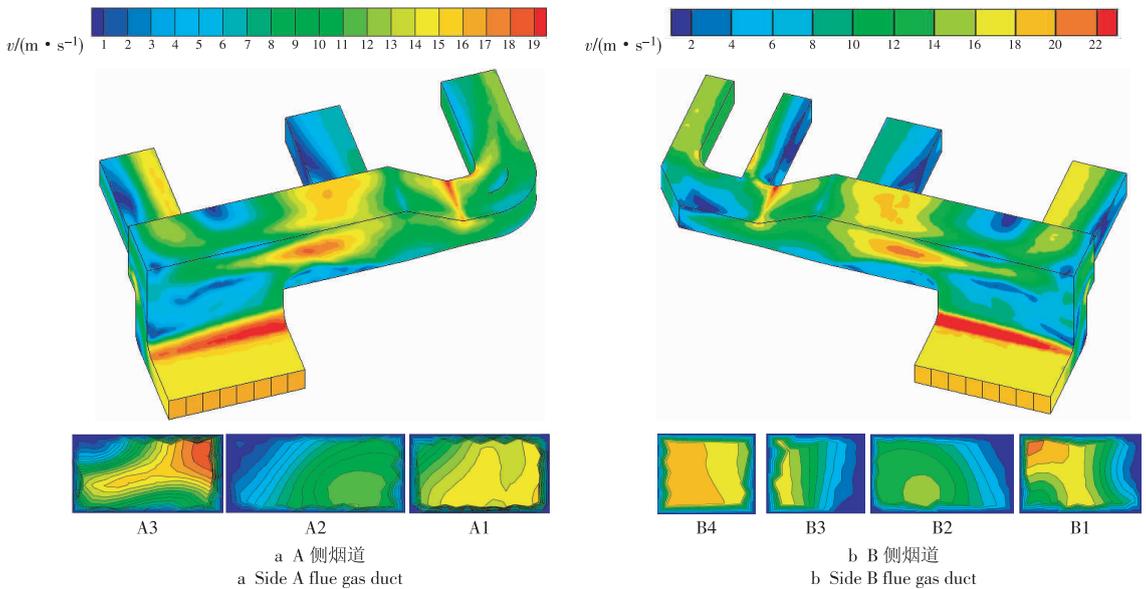


图5 原始结构下两侧烟道速度分布云图及试验采样测点平面速度等值线图

Fig.5 Velocity distribution cloud map on both sides of flue gas duct under original structure and the plane velocity contour map of the sampling point

温烟气流,在U形烟道的最低侧设置6块向高温烟侧倾斜的直导流板(47°),使得低温烟向高温烟侧倾斜,而高温烟遇到烟道壁之后改变流向,向低温烟侧流动,从而达到冷热烟气的掺混作用;其次,考虑到布袋除尘器入口各烟道烟气速度偏差(从表1可以看出,B2烟道因处于缓冲烟道下方,整体烟气速度低;B2,B3,B4烟道烟气速度呈现典型的A侧低、B侧高的特点),在B2除尘器所在烟道入口处设置弧形横导流板,在B2和B3除尘器入口烟道的A侧分别设置弧形与直板相结合的导流

板,在B4除尘器入口烟道设置弧形导流板,以改善B2烟道烟气速度低、B2—B4烟道A侧烟气速度小、B侧烟气速度大等问题。A侧烟道导流板加装原理类似,具体设计如图6所示。

3 优化后的数值模拟结果

通过数值模拟,提取优化前、后A,B侧烟道平均速度及平均温度,见表2。由表2可以看出:A侧各除尘器入口截面(即试验测点截面)的速度偏差由5.78 m/s降至1.12 m/s,温度偏差由14.14 °C降

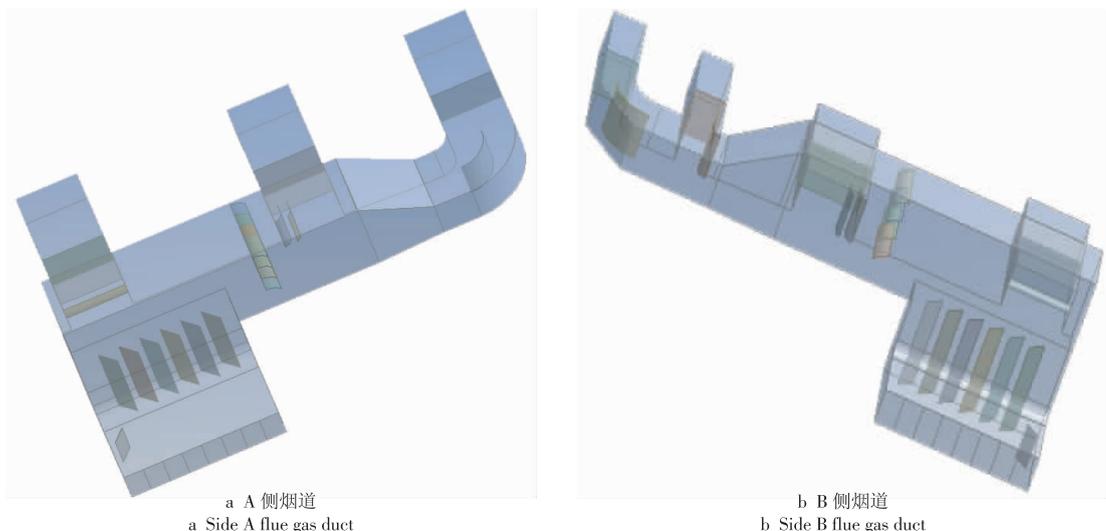


图 6 空预器出口至除尘器入口段导流板加装方案示意

Fig. 6 Schematic of the installation of the air deflector between the outlet of the preheater to the inlet of the precipitator

表 2 A, B 侧烟道优化前、后速度与温度对比

Tab. 2 Comparison of velocity and temperature before and after optimization on A and B side flue gas duct

项目	速度/(m·s ⁻¹)		温度/℃	
	优化前	优化后	优化前	优化后
A3	11.84	11.75	134.07	125.53
A2	7.39	10.63	122.2	126.26
A1	13.17	11.28	119.93	124.97
最大差值	5.78	1.12	14.14	1.29
B1	12.98	13.46	145.25	129.80
B2	9.71	12.23	123.78	129.33
B3	13.80	11.58	117.81	127.90
最大差值	4.09	1.88	27.44	1.90

至 1.29℃, 进口与试验采样测点平面的总压降为 223.30 Pa, 比原结构增加 71.20 Pa; B 侧除尘器入口截面的速度偏差由 4.09 m/s 降至 1.88 m/s, 温度偏

差由 27.44℃ 降至 1.90℃, 进口与试验采样测点平面的总压降为 329.68 Pa, 比原结构增加 92.44 Pa。从计算结果可以看出, 该方案能有效解决烟温偏差过大和速度分布不均匀问题。

4 改造前、后测试情况对比

改造前的除尘器入口烟气流场测试在 910 MW 负荷下进行, 改造后在的流场测试在 1000 MW 负荷下进行。

从表 3 可以看出: 布袋除尘器入口 6 个烟道之间烟气速度均值最大偏差由 4.39 m/s 减小为 1.37 m/s, 烟气温度均值最大偏差由 27.11℃ 减小为 4.78℃; 3 台布袋除尘器入口烟气量占比最大偏差由 7.16% 减小为 4.10%, 烟气温度均值最大偏差由 22.72℃ 减小为 0.83℃。烟气速度、烟气温度在 6 个烟道和 3 台布袋除尘器之间的分布均匀性得到明

表 3 改造前、后布袋除尘器入口烟气参数对比

Tab. 3 Comparison of smoke parameters at the inlet of the bag filter before and after the transformation

项目	A1	A2	A3	B1	B2	B3	最大偏差	
测点处截面积/m ²	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	19.6		
烟气速度均值/(m·s ⁻¹)	改造前	8.82	11.41	11.69	13.21	11.00	11.74	4.39
	改造后	12.19	12.01	11.34	11.42	12.71	12.63	1.37
烟气温度均值/℃	改造前	130.42	136.60	157.53	154.93	137.73	132.13	27.11
	改造后	138.43	135.11	136.86	137.52	135.31	139.89	4.78
烟气质量流量/(kg·s ⁻¹)	改造前	146.02	190.61	177.00	171.67	214.80	200.64	
	改造后	202.02	200.69	188.67	189.55	212.13	215.58	
各台布袋除尘器入口烟气量占比/%	改造前	30.58		31.68		37.74		7.16
	改造后	33.32		31.29		35.39		4.10
各台布袋除尘器入口烟气温度均值/℃	改造前	133.51		156.23		134.93		22.72
	改造后	136.77		137.19		137.60		0.83

明显改善。

5 结束语

本文针对 1000 MW 燃煤机组布袋除尘器入口烟气流场均匀性差问题,基于现场测试及烟道结构测绘,进行数值模拟、方案设计,研究并治理了该问题。

综合考虑布袋除尘器入口烟道烟气温度和烟气速度偏差,通过数值模拟确定了 A, B 侧共计 10 组导流板的最佳加装方案,并在机组检修期间进行了导流板加装。改造后的数值模拟及测试结果显示,该方案能同时有效解决烟温偏差过大和速度分布不均匀问题。

参考文献:

[1]徐妍,李文彦. SCR 脱硝反应器导流板的结构设计[J]. 热力发电,2008,37(10):49-52,54.

[2]朱天宇,李德波,方庆艳,等. 燃煤锅炉 SCR 烟气脱硝系统流场优化的数值模拟[J]. 动力工程学报,2015,35(6):481-488,508.

[3]陈冬林,刘欢,邹婵,等. 300 MW 燃煤锅炉烟气 SCR 脱硝系统流场的数值模拟与优化设计[J]. 电力科学与技术学报,2013,28(1):103-108.

[4]张波,张伟,牛国平. 300 MW 机组锅炉 SCR 装置流场研究[J]. 热力发电,2012,41(7):22-24,48.

[5]周健. SCR 反应器入口段流场均匀性的数值模拟研究[D]. 保定:华北电力大学,2008.

[6]张波,张伟,朱国平. 300 MW 机组锅炉 SCR 装置流场研究[J]. 热力发电,2012,41(7):22-24,48.

[7]蒋新伟,施平平,钟毅,等. 电站锅炉 SCR 系统流场的冷态

试验与数值模拟的研究[J]. 能源工程,2010(3):51-55.

[8]杨超,张杰群,郭婷婷. SCR 烟气脱硝装置烟气流场数值模拟[J]. 东北电力大学学报,2012,32(1):66-70.

[9]刘建全,孙保民,白涛,等. 600 MW 超临界旋流燃烧锅炉炉内温度场数值模拟及优化[J]. 中国电机工程学报,2011,31(2):15-21.

[10]王超,程乐鸣,周星龙,等. 600 MW 超临界循环流化床锅炉炉膛气固流场的数值模拟[J]. 中国电机工程学报,2011,31(14):1-7.

[11]夏钧,钱力庚,樊建人,等. 330 MW 对冲锅炉炉内流场模拟及实验研究[J]. 动力工程,2002,22(3):1772-1775,1811.

[12]CHAE H J, CHOO S T, CHOI H, et al. Direct use of kinetic parameters for modeling and simulation of a selective catalytic reduction process[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research,2000,39(5):1159-1170.

[13]XU Y Y, ZHANG Y, WANG J C, et al. Application of CFD in the optimal design of a SCR-DeNO_x system for a 300 MW coal-fired power plant [J]. Computers & Chemical Engineering,2013,49:50-60.

[14]陈太平. 300 MW 煤粉锅炉 SCR 烟气脱硝装置数值模拟及结构优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.

[15]PILLIER L, IDIR M, MOLET J, et al. Experimental study and modelling of NO_x formation in high pressure counter-flow premixed CH₄/air flames [J]. Fuel, 2015, 150(1):394-407.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

王礼鹏(1988—),男,河南郑州人,工程师,工学硕士,从事燃煤电厂锅炉优化运行调整、性能检测与节能诊断分析工作(E-mail:michealwlp@163.com)。

广告索引

山东华建仓储装备科技有限公司 (封面)

扶贫扶智 (封二)

郑州科润机电工程有限公司 (封三)

南通高欣耐磨科技股份有限公司 (封底)

天津市洪浩保温管有限公司 (前插 1)

南京三埃工控有限公司 (前插 2)

长沙开元仪器有限公司 (前插 3)

浙江浙能催化剂技术有限公司 (前插 4)

杭州云众电力科技有限公司 (前插 5)

华电郑州机械设计研究院有限公司(跨版) (前插 6,7)

郑州科源耐磨防腐工程有限公司(跨版) (前插 8,9)

华电重工股份有限公司(跨版) (前插 10,11)

华电重工股份有限公司 (目次页右)

北京德合伟业科技有限公司 (中插 1)

华电水务控股有限公司(跨版) (中插 2,3)

华电环保系统工程有限公司(跨版) (中插 4,5)

华电青岛环保技术有限公司 (中插 6)