

DOI: 10.19666/j.rlfed.202305062

燃烧器偏转解决对冲燃烧锅炉高温腐蚀及颗粒冲刷技术研究

廖伟辉¹, 阮志龙¹, 吕兴城¹, 饶勇¹, 马帅², 方庆艳², 姚斌²

(1.广东红海湾发电有限公司, 广东 汕尾 516000;

2.华中科技大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

[摘要] 为有效缓解某电厂 660 MW 机组前后墙对冲燃烧锅炉两侧墙水冷壁高温腐蚀及煤粉颗粒冲刷磨损问题, 结合高温腐蚀的原因及机理, 并根据现场设备情况, 提出将靠近两侧墙的旋流燃烧器角度向炉内中心偏转 3.5°。对燃烧器偏转前后的锅炉燃烧进行数值模拟, 对比分析了燃烧器角度偏转前后的温度场、速度场、浓度场以及颗粒轨迹的变化, 并将方案进行了工程应用。数值模拟和工程应用结果表明: 燃烧器角度偏转后, 炉内气流向炉膛中心集中, 贴近侧墙的煤粉颗粒减少, 对侧墙冲刷磨损减弱; 同时, 侧墙附近区域炉温下降, 还原性气氛降低, 高温腐蚀风险下降, 锅炉燃烧效率基本持平。研究结果可为同类型锅炉高温腐蚀及水冷壁磨损防治提供借鉴。

[关键词] 燃烧器偏转; 高温腐蚀; 颗粒冲刷; 对冲燃烧锅炉

[引用本文格式] 廖伟辉, 阮志龙, 吕兴城, 等. 燃烧器偏转解决对冲燃烧锅炉高温腐蚀及颗粒冲刷技术研究[J]. 热力发电, 2023, 52(7): 191-199. LIAO Weihui, RUAN Zhinglong, LYU Xingcheng, et al. Research on burner deviation for mitigating high-temperature corrosion and particle erosion in opposed wall combustion boiler[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(7): 191-199.

Research on burner deviation for mitigating high-temperature corrosion and particle erosion in opposed wall combustion boiler

LIAO Weihui¹, RUAN Zhinglong¹, LYU Xingcheng¹, RAO Yong¹, MA Shuai²,
FANG Qingyan², YAO Bin²

(1.Guangdong Honghaiwan Power Generation Co., Ltd., Shanwei 516000, China;

2.School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To effectively alleviate the high-temperature corrosion of the water-cooled walls on both sides of the opposed wall combustion of a 660 MW unit's boiler and the erosion caused by coal particle impingement, a solution was proposed to deflect the swirl burners near the side walls by 3.5° towards the center of the furnace. This solution was based on an understanding of the causes and mechanisms of high-temperature corrosion and considering the on-site equipment conditions. Numerical simulations were conducted to analyze the combustion in the boiler before and after the burner deflection. A comparative analysis was performed on the changes in temperature distribution, velocity field, concentration field, and particle trajectories resulting from the burner angle deflection. The proposed solution was also implemented in practical engineering. The results of the numerical simulations and engineering application demonstrated that after deflecting the burner angles, the airflow inside the furnace concentrated towards the center, resulting in a reduction of coal particle impingement near the side walls and mitigating erosion. Additionally, the temperature near the side walls decreased, leading to a decrease in reducing atmosphere and a reduced risk of high-temperature corrosion. The combustion efficiency of the boiler remained unaffected. The findings of this study can serve as a reference for preventing and managing high-temperature corrosion and water-cooled wall erosion in boilers of similar types.

Key words: burner deviation; high-temperature corrosion; particle erosion; opposed wall combustion boiler

收稿日期: 2023-05-22

第一作者简介: 廖伟辉 (1973), 男, 高级工程师, 主要研究方向为能源工程、发电技术, mxplwh@126.com。

燃煤电站锅炉水冷壁高温腐蚀通常包括以下4种,即硫酸盐型、硫化物型、氯化物型高温腐蚀以及由还原性气体引起的高温腐蚀,其中以硫化物腐蚀为主^[1-4]。单从高温腐蚀的机理来分析,如能有效控制燃料的硫分和近壁区域的还原性氛围,就可以较好地解决水冷壁高温腐蚀问题。受当前复杂的燃料市场限制,电厂在燃煤选择方面没有余地。超净排放改造实施后,在低氮燃烧条件下,锅炉主燃烧区处于缺氧状态,近壁区域CO、H₂S体积分数剧增,还原性气体引起的高温腐蚀风险加剧^[5-8]。对于前后墙对冲燃烧锅炉,由于燃烧器喷口气流旋转及前后对冲的作用,两侧墙也存在煤粉颗粒冲刷水冷壁壁面风险。二者耦合作用,使得前后对冲锅炉两侧墙高温腐蚀急剧恶化。有效降低二者耦合的影响,是解决问题的关键^[9-14]。

刘军等^[15]提出将中下层燃烧器进行更换及贴壁风改造,贴壁风覆盖区域水冷壁减薄量下降,还原性气氛明显改善。王恩宇等^[16]提出增设侧墙开槽式贴壁风,扩大贴壁风的覆盖面积来削弱侧墙还原性氛围,可以有效缓解水冷壁高温腐蚀问题。彭宗贵等^[17]研究了贴壁风投运时炉膛内烟气的流场特性,并对比了贴壁风投运前后炉内贴壁烟气成分等关键指标,贴壁风投运后水冷壁的贴壁气氛较投运前明显改善。邹军等^[18]提出采用表面喷涂技术一定程度上可以防止高温腐蚀的发生,但是必须严格控制喷涂工艺。李宝栋等^[19]提出采用超音速火焰NiCr金属陶瓷涂层、超音速电弧45CT涂层和M650涂层对锅炉受热面的高温腐蚀防护具有经济适用性。

总的来说,目前针对对冲锅炉高温腐蚀防治的主要方法包括贴壁风改造、燃烧优化、表面喷涂等。以上方法在缓解还原性气体引起的高温腐蚀方面取得了一定的成效,但是均忽视了两侧墙颗粒冲刷对高温腐蚀的影响。有部分学者提出采用表面喷涂技术缓解冲刷,但是受工艺及作业环境的影响,应用效果较差。还原性气体和侧墙颗粒冲刷耦合加剧对冲锅炉高温腐蚀的问题依然严峻。针对上述问题,本文提出通过燃烧器偏转解决侧墙高温腐蚀及颗粒冲刷问题,并实现了工程应用,为同类型机组提供行业借鉴。

1 设备概述

某电厂3号锅炉为超超临界参数变压直流炉,中间一次再热、强制循环锅炉,单炉膛Π型结构,

露天布置,对冲燃烧方式,尾部双烟道,固态排渣,平衡通风,全钢架悬吊结构,锅炉尾部布置2台三分仓回转式空气预热器。

该锅炉在小修期间进行锅炉“四管”检查,发现水冷壁两侧墙标高20~36m水冷壁管子均存在较明显的腐蚀,管壁有不同程度减薄,最严重处腐蚀速率达0.8~1.1mm/a,具体如图1所示。检查发现侧墙水冷壁存在黑色的未燃烧煤粉,说明燃烧过程中存在明显的煤粉刷墙问题。经过贴壁风改造后高温腐蚀依然严重,两侧墙水冷壁存在大量的腐蚀减薄,影响锅炉的安全经济运行。



图1 侧墙水冷壁高温腐蚀

Fig.1 High temperature corrosion of side wall water wall

2 方案提出及分析

前后对冲锅炉煤粉气流从两面墙燃烧器喷出,绝大多数气流在炉内碰撞后向上流动,部分气流在压力的作用下,冲向锅炉的左右侧墙水冷壁。气流携带的煤粉颗粒在流场的作用下,不断冲刷两侧墙表面,导致前期的腐蚀产物剥落;同时在侧墙近壁面燃烧,导致严重缺氧,形成强还原性氛围,加剧高温腐蚀。二者交替作用,水冷壁腐蚀、减薄不断进行,严重时发生泄漏。

如前所述,降低二者耦合作用是解决问题的关键。减缓煤粉颗粒冲刷侧墙,就需减弱前后墙气流的对冲撞击强度或者使煤粉颗粒尽可能地远离两侧墙。前者需要降低一次风速和加强内外二次风的旋流强度,但受煤质水分偏高影响,为防堵管而较难实现;而内外二次风的旋流强度增加后,锅炉燃烧器喷嘴烧损、结渣严重,还会引起氮氧化物升高。

使煤粉颗粒远离侧墙,可以通过将靠两侧墙的4只燃烧器向中心平移一定距离来实现,但这会导致靠近外侧的燃烧器布置过于集中,相邻燃烧器前后对冲的撞击力叠加,对缓解侧墙冲刷不利。将每层(微油层除外)边上燃烧器向锅炉中心偏转一定

角度布置,不仅可以使煤粉颗粒尽可能地远离侧墙,同时由于最外侧燃烧器的偏转角度和前后对冲气流撞击后产生的冲击力相反,削弱了流向两侧墙气流的动能,降低了对侧墙的冲刷力;另外,还使得最外侧燃烧器的煤粉燃烧尽可能地炉膛中心靠拢,减少对侧墙近壁面区域氧量的消耗。综上所述,最外侧燃烧器偏转一定角度是有效且可行的。

根据现场的设备布置情况,在不影响机组运行参数及设备安装、检修、日常维护的前提下,拟定每层(微油层除外)边上燃烧器向锅炉中心偏转 3.5° 布置(图2)。其余燃烧器和燃尽风布置方式不变。偏转角度的设置主要基于以下考虑:

1)靠近最外侧燃烧器左侧有承重钢梁,在保证燃烧器拆装预留空间的前提下,可偏转角度有限,最大为 3.5° ;

2)如果偏转角度过大,会导致原有的煤粉管道与偏转后的燃烧器中心错开较大,需要增加过渡弯头。增加弯头容易导致弯头磨损及煤粉管道阻力变大,煤粉管道风粉分配不均匀问题凸显;

3)偏转角度过大还会导致相邻燃烧器煤粉叠加,出现局部热负荷集中,上移到二级过热器、高温再热器的吸热量就会增大,可能会出现管排间温差偏大。偏转角度过小,对缓解侧墙高温腐蚀和颗粒冲刷效果不佳;

4)在现有条件的基础上,以较低的成本、较小的改动量实现缓解侧墙高温腐蚀和颗粒冲刷,兼顾设备安全,维护方便,可操作、可行是本研究的出发点。

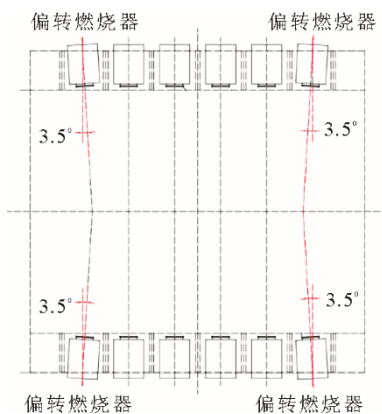


图2 锅炉燃烧设备示意

Fig.2 Schematic diagram of boiler combustion equipment

3 数值模拟分析

3.1 网格建立与模型设置

根据该锅炉实际的结构特点,在高度方向上可

将锅炉模型按冷灰斗区域、主燃区域(包括与炉膛水冷壁连接的燃烧器)、燃尽区域和水平烟道区域进行区域划分^[20-22],总网格数量为453万。燃烧器设计参数(BMCR工况,设计煤种印尼煤60%+神混煤40%(性能考核煤种))见表1。

表1 燃烧器设计参数
Tab.1 Burner Design Parameters

项目	数值
锅炉容量/MW	660
炉膛出口过量空气系数	1.14
燃烧器区域的过量空气系数	0.750 3
进入炉膛总风量(体积流量)/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	495.31
进入炉膛总风量(质量流量)/($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	2 291.75
一次风风量(包括一次风、密封风、水蒸气)/($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	540.80
二次风风量(质量流量,含燃尽风)($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	1 780.90
一次风率/%	22.30
二次风风率(含燃尽风)/%	77.70
燃烧器一次风温度/ $^\circ\text{C}$	66
燃烧器二次风温度/ $^\circ\text{C}$	335
实际耗煤量/($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	280.08
运行燃烧器数量/只	30
燃烧器层间距/mm	4 052
燃烧区列间距/mm	3 048
燃尽风距最上层燃烧器距离/mm	5 980.8
两侧燃烧器距侧墙距离/mm	3 461.2

煤粉燃烧是一个复杂的物理、化学过程,炉内的煤粉燃烧过程由多个子过程互相耦合而成^[23-24]。主要包含:1)气相湍流流动,采用标准的 $k-\epsilon$ 双方程模型;2)气相湍流燃烧,采用混合分数/概率密度函数(PDF)模型^[25-26];3)煤粉颗粒运动,采用随机轨道模型;4)挥发分析出,采用单步速率模型;5)焦炭燃烧,采用动力/扩散控制反应速率模型;6)辐射传热采用P1模型;7)热力型 NO_x ,采用Zeldovich机理;8)燃料型 NO_x ,采用De-Soete模型^[27-28]。

3.2 数值模拟分析

3.2.1 偏转前与偏转后炉内流场分布对比

图3为燃烧器偏转前后锅炉炉膛中心截面速度云图。由图3可以看出:偏转前,在前后墙燃烧器对冲下形成主要向上的气流,仅有最下层燃烧器的少部分气流向冷灰斗区域;偏转后,气流对冲后流至冷灰斗总量减少(图中红色标记)。其中偏转后燃烧器射入的气流刚性更强,气流能更好地在炉膛中心相碰后形成对冲向上的流场。

图4为锅炉下、中、上层燃烧器中心截面速度云图。从图4可以看出:最外侧燃烧器在偏转前后气流在炉膛中充满度均很好、分布合理;随着炉膛

高度的增加，速度逐步增大；受对冲向上气流的影响，下层燃烧器的射流刚性较强，中层燃烧器次之，上层燃烧器的射流刚性较弱；燃烧器偏转 3.5°后，气流向炉膛中心集中，对侧墙的冲刷影响减弱。

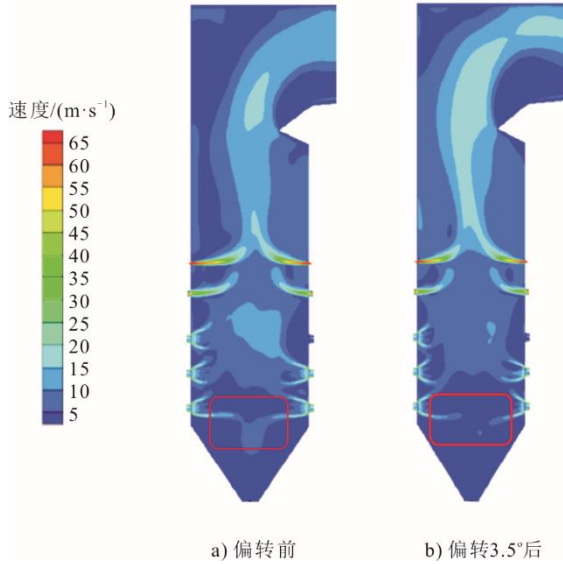


图3 燃烧器偏转前后锅炉炉膛中心截面速度云图
Fig.3 Velocity cloud diagram of boiler furnace centre section before and after burner deflection

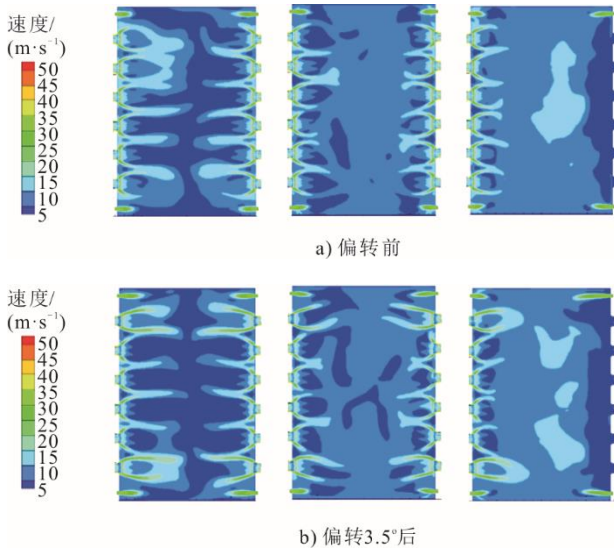


图4 锅炉下、中、上层燃烧器中心截面速度云图
Fig.4 The velocity cloud diagram of the lower, middle and upper burner centres of the boiler

3.2.2 偏转前与偏转后炉内温度场分布对比

图5为锅炉下、中、上层燃烧器中心截面温度云图。由图5可以看出：偏转前受对冲气流及主燃高温区的影响，导致侧墙附近温度较高；偏转后，高温区更向炉膛中心靠拢。图6为左右两侧墙附近温度场分布。从图6明显看出，偏转后侧墙附近的温度下降，远低于偏转前该区域的温度。说明最外

侧燃烧器偏转有利于降低侧墙近壁面的区域温度，对缓解高温腐蚀有利。

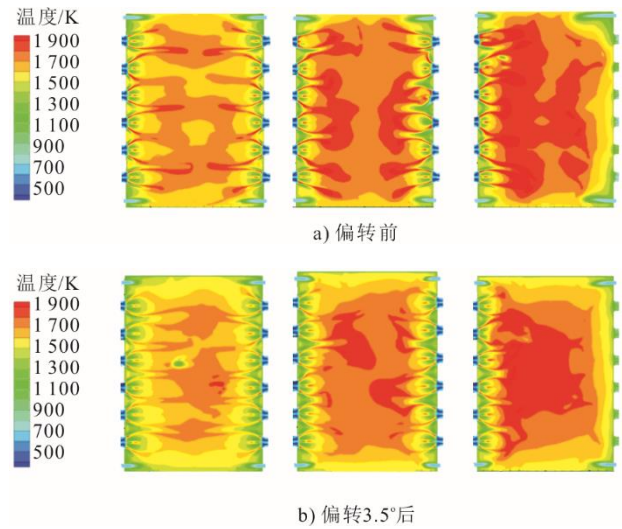


图5 锅炉下、中、上层燃烧器中心截面温度云图
Fig.5 The cross-sectional temperature cloud diagram of the lower, middle and upper burner centres of the boiler

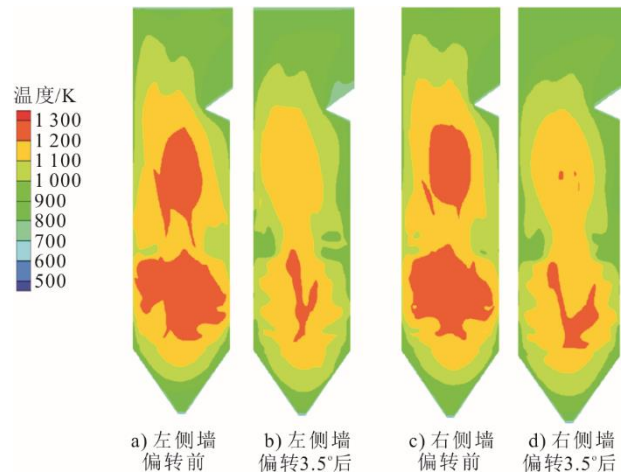


图6 左右两侧墙附近温度场分布
Fig.6 Temperature field distribution near the left and right walls

3.2.3 偏转前与偏转后炉内组分分布对比

图7为下、中、上层燃烧器中心截面CO体积分数分布云图。由图7可见，燃烧器是否偏转不影响炉内的煤粉和空气的充分混合，煤粉燃烧时仅在较短距离内产生高体积分数的CO，之后CO体积分数迅速降低。

图8为左右两侧墙附近CO体积分数分布。由图8可以看出：燃烧器偏转后，在燃烧器标高区域两侧墙近壁面区域的CO体积分数明显低于偏转前；冷灰斗侧墙区域在燃烧器偏转之后，出现部分区域CO体积分数升高。这主要因为两侧燃烧器偏转后，煤粉颗粒相互碰撞导致部分颗粒流至冷灰斗

区域燃烧缺氧所致。但是该区域的温度较低，高温腐蚀影响较小。总的来说，最外侧燃烧器偏转，可以降低侧墙贴壁还原性气氛体积分数，有效缓解因还原性气体引起的高温腐蚀。

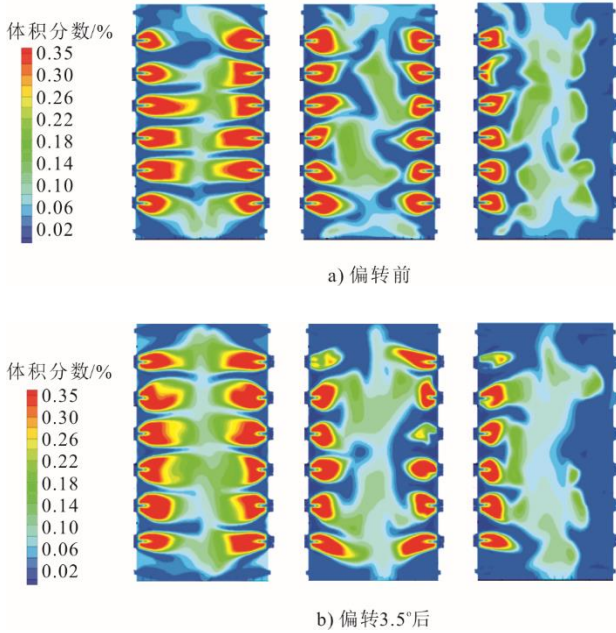


图 7 锅炉下、中、上层燃烧器中心截面 CO 体积分数分布云图
Fig.7 Cloud map of CO volume fraction in the section of the lower, middle and upper burner centres of the boiler

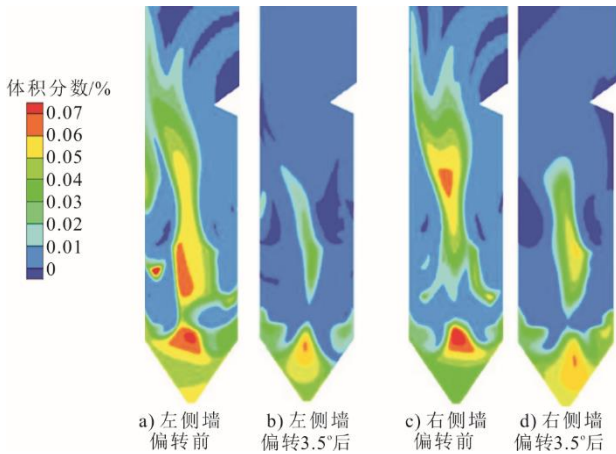


图 8 左右两侧墙附近 CO 体积分数分布
Fig.8 CO volume fraction near the left and right walls

图 9 为锅炉下、中、上层燃烧器中心截面 O₂ 体积分数分布云图，图 10 为左右两侧墙附近 O₂ 体积分数分布。由图 9 和图 10 可以看出：虽然偏转前有贴壁风存在，但是左右侧墙近壁面区域的 O₂ 体积分数依然很低；对外侧的燃烧器实施偏转后，侧墙近壁面区域的 O₂ 体积分数明显提高。其中上层燃烧器中心标高对应侧墙区域 O₂ 体积分数最高，中层燃烧器次之。

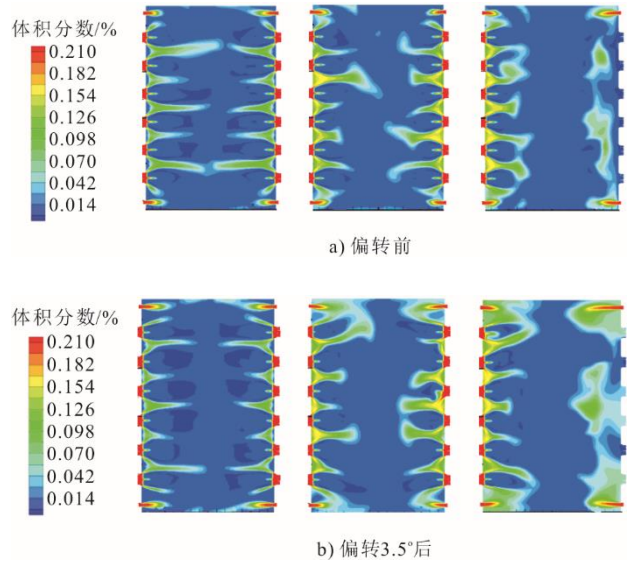


图 9 锅炉下、中、上层燃烧器中心截面 O₂ 体积分数分布云图
Fig.9 Cloud map of O₂ volume fraction in the section of the lower, middle and upper burner centres of the boiler

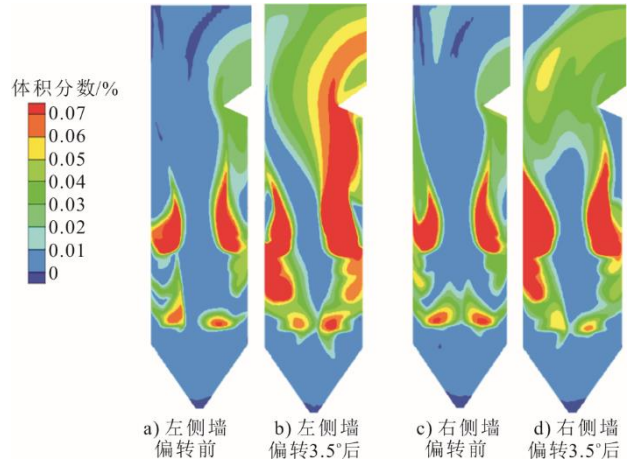


图 10 左右两侧墙附近 O₂ 体积分数分布
Fig.10 O₂ volume fraction near the left and right walls

3.2.4 近壁面区域颗粒轨迹

图 11、图 12 分别为燃烧器偏转前和偏转 3.5°锅炉左右侧墙煤粉颗粒追踪结果。

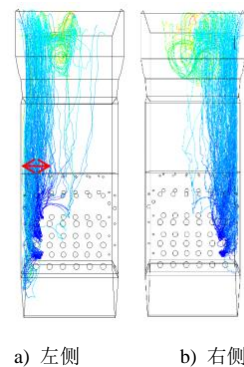


图 11 燃烧器偏转前锅炉左右侧墙煤粉颗粒追踪
Fig.11 Tracking of pulverized coal particles on the left and right walls of the boiler before burner deflection

从图 11 可以看出，两侧燃烧器偏转前来自侧墙附近燃烧器的煤粉颗粒在流场作用下会冲刷侧墙。实际运行过程中会增加侧墙水冷壁壁面的磨损，影响其使用寿命。如果磨损区域还原性气氛高，会出现磨损脱落和高温腐蚀的耦合加剧副作用，受热面管壁寿命大幅度下降。

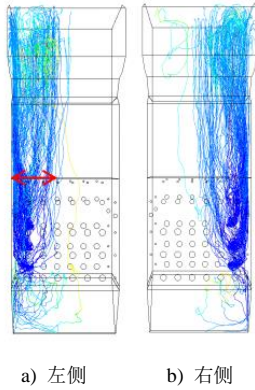


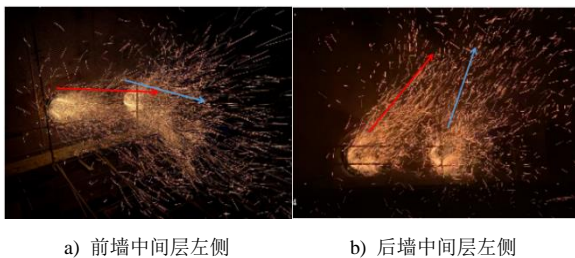
图 12 燃烧器偏转 3.5°锅炉左右墙煤粉颗粒追踪
Fig.12 Burner deflection 3.5° boiler left and right wall pulverized coal particle tracking

由图 12 可见，当设置喷射偏转角后，煤粉颗粒向炉膛中心移动（具体表现在图 12 中红色标记区域宽度明显大于图 11 同位置宽度），冲刷墙的煤粉颗粒数目减少。这主要因为偏转燃烧器射流动量沿着炉膛宽度方向的分量与前后对冲气流撞击后产生的冲击动量相反，削弱了流向两侧墙气流的动能，降低了对侧墙的冲刷力，有利于改善锅炉侧墙高温腐蚀。

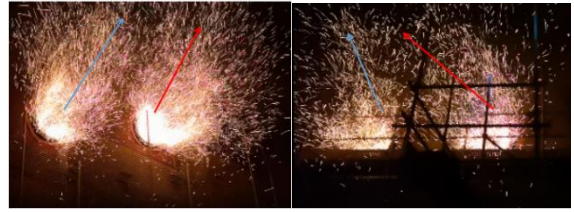
4 工程应用

4.1 烟花示踪试验

为了更为直观地观察最外侧燃烧器偏转 3.5°后的炉内射流轨迹变化，选取具有代表性的中间层燃烧器进行烟花示踪试验^[29]。将烟花分别放置在燃烧器的一次风、内/外二次风道内。烟花示踪试验在一、二次风满足冷态模拟条件的情况下进行，同时试验燃烧器的内外二次风开度为电厂常用风门开度。图 13 为中间层燃烧器烟花示踪图像。



a) 前墙中间层左侧 b) 后墙中间层左侧



c) 前墙中间层右侧 d) 后墙中间层右侧

图 13 中间层燃烧器烟花示踪图像
Fig.13 Mesolayer firework tracer image

从图 13 可以看出：最外侧燃烧器在偏转 3.5°后，射流轨迹向炉内靠拢（图中红色箭头标记），呈远离侧墙的姿态，没有出现气流刷墙的现象；同时，偏转燃烧器射流对相邻燃烧器的射流轨迹影响较小，未出现因偏转导致的相邻燃烧器干扰及射流偏转问题。

4.2 偏转前后应用效果对比

贴壁气氛中主要以 O₂、CO 和 H₂S 为主。其中 CO 和 H₂S 体积分数越高，越会加剧水冷壁的高温腐蚀；而贴壁气氛中 O₂ 体积分数高则会在近壁面形成氧化性氛围，有效地缓解高温腐蚀。为验证最外侧燃烧器偏转对高温腐蚀的作用效果，在满负荷下对燃烧器偏转前后的贴壁气氛进行现场测试并对比分析。图 14 为测孔布置示意。由于偏转前在满负荷工况下，近壁面的贴壁气氛还原性气体体积分数最高，对高温腐蚀的影响最大；中低负荷时，因炉内整体的氧量较高，高温腐蚀问题相对较轻。为保证数据的可对比性，燃烧器偏转后贴壁气氛测试期间所用煤种基本接近，燃烧器偏转前后测试期间磨煤机的运行台数和组合、各磨煤机对应煤种、煤种掺配比例均基本相同。

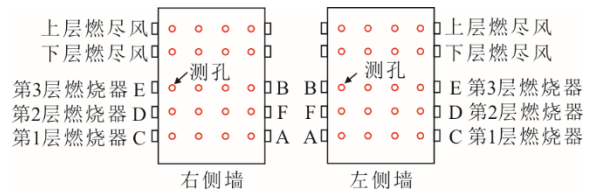


图 14 测孔布置示意
Fig.14 Schematic diagram of measuring hole layout

图 15 为燃烧器偏转前后 660 MW 负荷下贴壁气体各组分体积分数。从图 15 可以看出：660 MW 负荷下，最外侧燃烧器偏转后近壁面贴壁气氛中 O₂ 体积分数从偏转前的均值 0.41% 提高到偏转后均值 1.21%；CO 体积分数由原来的均值 23 998×10⁻⁶ 降低为 5 230×10⁻⁶，降幅约 78%；H₂S 体积分数偏转前后也显著降低，由原来的均值 388×10⁻⁶ 降低为 173×10⁻⁶，降幅约 55%。总体来看，燃烧器偏转 3.5°

后,左右侧墙近壁面区域氧化性氛围增强,还原性气体体积分数大幅降低,并且 H₂S 体积分数显著降低,有利缓解左右侧墙的高温腐蚀。

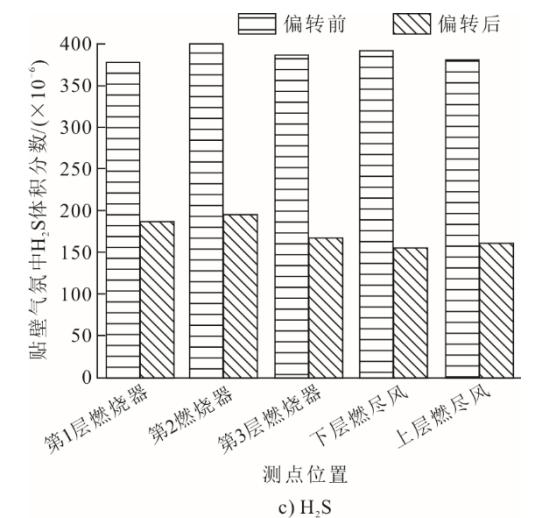
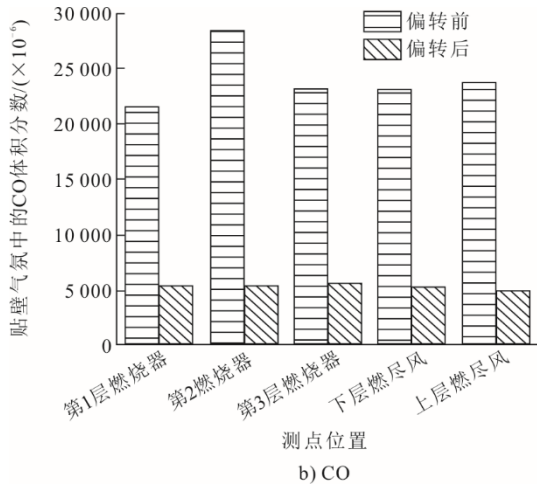
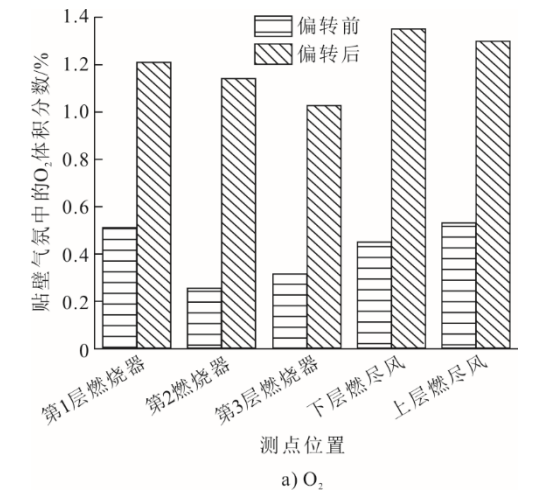


图 15 燃烧器偏转前后 660 MW 负荷下贴壁气体各组分体积分数
 Fig.15 Contents of each volume fraction of wall-attached gas under 660 MW load before and after burner deflection

图 16 为燃烧器偏转前后各负荷下的性能参数对比。从图 16 可以看出,最外侧燃烧器偏转前后锅炉效率基本持平。

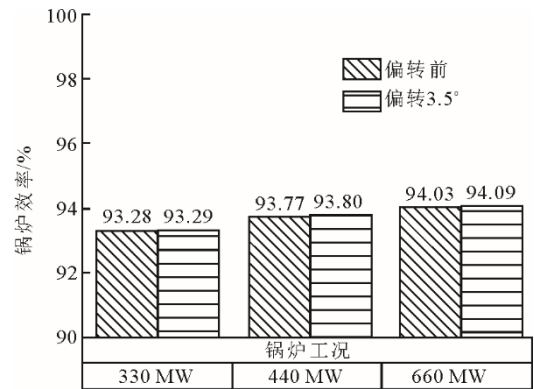


图 16 燃烧器偏转前后各负荷下的锅炉效率对比
 Fig.16 Comparison of boiler efficiency under various loads before and after burner deflection

5 结 论

1) 通过数值模拟对比分析发现:最外侧燃烧器偏转前,受对冲气流及主燃高温区的影响,存在气流冲向侧墙水冷壁及颗粒冲刷现象,导致煤粉颗粒在侧墙近壁面燃烧,消耗大量 O₂,致使 CO、H₂S 体积分数高,侧墙附近温度较高。高温腐蚀与颗粒冲刷磨损叠加作用,左右侧墙腐蚀减薄严重,与锅炉实际问题相符合;最外侧燃烧器偏转后,燃烧器射流向炉膛中心集中,对侧墙的冲刷影响减弱。偏转后侧墙附近的温度下降,显著低于偏转前。侧墙贴壁 CO 体积分数降低, O₂ 体积分数提高,可以有效缓解因还原性气体引起的高温腐蚀。数值模拟结果显示,最外侧燃烧器偏转 3.5°有利于缓解侧墙还原性高温腐蚀及颗粒冲刷磨损减薄问题。

2) 外侧燃烧器烟花示踪试验表明:最外侧燃烧器偏转 3.5°后,靠近侧墙区域燃烧器射流向炉膛中心靠拢,未出现气流刷墙现象。相邻燃烧器的射流未因最外侧燃烧器偏转出现大的改变,射流的刚性和火焰的完整性较好。

3) 应用效果对比来看,在满负荷下,最外侧燃烧器偏转 3.5°后近壁面区域的 O₂ 体积分数明显提高,均值为 1.21%。CO 及 H₂S 体积分数大幅下降,分别降低为 5 230×10⁻⁶和 173×10⁻⁶,这有利于降低还原性气体引起的高温腐蚀。由于燃烧器偏转后侧墙煤粉颗粒冲刷磨损问题得到较好的改善,因此因高温腐蚀和颗粒冲刷引起的水冷壁腐蚀减薄、寿命降低问题将得到有效的解决。此外,燃烧器偏转前后,锅炉效率基本持平。

4) 受现场的环境、设备性能、施工规范等多方面因素制约, 综合考量后提出将最外侧燃烧器的偏转角度设置为 3.5° 。需要指出的是, 本研究的目的是在原基础上改善该电厂的水冷壁侧墙高温腐蚀及侧墙冲刷问题, 因此并未寻求最佳的偏转角度来最大程度地解决高温腐蚀及冲刷问题。本文的研究成果为同类型机组解决高温腐蚀及颗粒重冲刷问题提供了一种思路。实际应用中应该根据机组的设备布置及现场环境因地制宜, 选择合适的燃烧器偏转角度。

[参考文献]

- [1] 欧宗现. 低氮燃烧锅炉水冷壁高温腐蚀原因分析及对策[J]. 锅炉技术, 2018, 49(1): 65-68.
OU Zongxian. Cause analysis and countermeasures of high temperature corrosion of water wall of low nitrogen combustion boiler[J]. Boiler Technology, 2018, 49(1): 65-68.
- [2] 弓学敏, 张文忠. 锅炉受热面高温腐蚀的机理及防范措施[J]. 电力科学与工程, 2007, 23(2): 72-76.
GONG Xuemin, ZHANG Wenzhong. Mechanism governing the high temperature corrosion of heating surfaces in boilers and preventive measures[J]. Electric Power Science and Engineering, 2007, 23(2): 72-76.
- [3] 赵虹. 燃煤锅炉水冷壁烟侧高温腐蚀的机理及影响因素[J]. 动力工程, 2002, 22(2): 1700-1704.
ZHAO Hong, et al. Discussion on the mechanisms and factors of the gas side high temperature corrosion in water wall tubes for coal fired boilers[J]. Power Engineering, 2002, 22(2): 1700-1704.
- [4] 韩奎华. 大型锅炉水冷壁防腐现状与防腐措施探讨[J]. 电站系统工程, 2004, 20(2): 37-39.
HANG Kuihua. Current situation and discussion about preventive measure to the high temperature corrosion of water-wall tubes in large boilers[J]. Power System Engineering, 2004, 20(2): 37-39.
- [5] 刘智勇, 朱介南, 龙涛, 等. 一、二次风切圆布置方式对水冷壁高温腐蚀影响的研究[J]. 锅炉技术, 2022, 53(3): 19-23.
LIU Zhiyong, ZHU Jienan, LONG Tao, et al. Effects of imaginary circle arrangement on high temperature corrosion of water wall in tangentially fired boilers[J]. Boiler Technology, 2022, 53(3): 19-23.
- [6] 袁伟中. 300 MW 对冲旋流煤粉锅炉高温腐蚀改造的数值模拟研究[J]. 能源工程, 2016, 185(6): 65-69.
YUAN Weizhong. Numerical simulation study on high temperature corrosion reform scheme for 300 MW opposed firing boiler[J]. Energy Engineering, 2016, 185(6): 65-69.
- [7] 赵虹. 多切圆燃烧技术在解决锅炉水冷壁高温腐蚀中的应用[J]. 电站系统工程, 2003, 19(1): 44-46.
ZHAO Hong. Application of multi-tangential firing technology to settling the high temperature corrosion of water wall tube of boiler[J]. Power System Engineering, 2003, 19(1): 44-46.
- [8] 张大伟. 四角切圆锅炉水冷壁高温腐蚀原因分析及对策[J]. 应用能源技术, 2019, 260(8): 31-34.
ZHANG Dawei. Cause analysis and counter measure of high temperature corrosion of water wall of tangential boiler[J]. Applied Energy Technology, 2019, 260(8): 31-34.
- [9] 张伟, 沈迎, 王涛. 某1913 t/h超临界直流锅炉贴壁风改造研究[J]. 电站系统工程, 2021, 37(3): 13-16.
ZHANG Wei, SHEN Ying, WANG Tao. Research on retrofit of a 1 913 t/h supercritical once-through boiler with wall air[J]. Power System Engineering, 2021, 37(3): 13-16.
- [10] 倪澍晨, 孙金武, 陶东亮, 等. 贴壁风量与配风方式对水冷壁高温腐蚀的影响[J]. 广东电力, 2019, 32(11): 45-53.
NI Shuchen, SUN Jinwu, TAO Donglaing, et al. Effects of closing-to-wall air volumes and air distribution modes on high temperature corrosion of water wall[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(11): 45-53.
- [11] 于英利, 付旭晨, 戴莹莹, 等. 燃煤电站锅炉水冷壁壁面高温腐蚀问题分析与对策[J]. 化工进展, 2020, 39(增刊1): 90-96.
YU Yingli, FU Xuchen, DAI Yingying, et al. Analysis and countermeasure of high temperature corrosion on water wall of coal-fired power plant boiler[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2020, 39(Suppl.1): 90-96.
- [12] 杨辉, 张宇博, 党黎军. 水冷壁贴壁气氛测试与防止高温腐蚀对策研究[J]. 锅炉技术, 2023, 54(2): 70-74.
YANG Hui, ZHANG Yubo, DANG Lijun, et al. Study on the test of near water-wall atmosphere and the countermeasures of high temperature corrosion[J]. Boiler Technology, 2023, 54(2): 70-74.
- [13] 谢吉祥, 凌鹏, 湛芳, 等. 分离燃尽风对贫煤锅炉 CO 和 H₂S 生成特性的影响[J]. 动力工程学报, 2021, 41(9): 729-735.
XIE Zhaoxiang, LING Peng, ZHAN Fang, et al. Influence of separated over fire air on CO and H₂S formation characteristic of a lean coal-fired boiler[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2021, 41(9): 729-735.
- [14] 张鑫, 陈志刚. 水冷壁高温腐蚀研究进展[J]. 中国特种设备安全, 2021, 37(8): 50-53.
ZHANG Xin, CHEN Zhigang. Research progress on high temperature corrosion of water wall[J]. China Special Equipment Safety, 2021, 37(8): 50-53.
- [15] 刘军, 郑志行, 吴爱军, 等. 600 MW 超临界锅炉水冷壁高温腐蚀综合治理应用研究[J]. 锅炉技术, 2022, 53(6): 65-70.
LIU Jun, ZHENG Zhixing, WU Aijun, et al. Application research on the comprehensive treatment for high temperature corrosion of water-cooled wall of 600 MW supercritical boiler[J]. Boiler Technology, 2022, 53(6): 65-70.
- [16] 王恩宇, 刘耀鑫, 刘宝童, 等. 侧墙开槽式贴壁风对锅炉水冷壁高温腐蚀模拟研究[J]. 锅炉技术, 2023, 54(1): 34-43.
WANG Enyu, LIU Yaixin, LIU Baotong, et al. Simulation study of high-temperature corrosion of boiler water-cooled wall by sidewall slotted near-wall air[J]. Boiler Technology, 2023, 54(1): 34-43.
- [17] 彭宗贵, 杜智华, 练领先, 等. 600 MW 对冲燃烧煤粉锅炉贴壁风空气动力场及燃烧运行试验研究[J]. 热力发电, 2022, 51(9): 132-140.
PENG Zonggui, DU Zhihua, LIAN Lingxian, et al. Experimental study on aerodynamic field and combustion operation of a 600 MW opposed-firing coal boiler with closing-to-wall air[J]. Thermal Power Generation, 2022, 51(9): 132-140.
- [18] 邹军, 彭学文, 曾佳微, 等. 600 MW 等级燃煤锅炉

- 水冷壁高温腐蚀现状分析[J]. 江西电力, 2023, 47(1): 52-57.
ZHOU Jun, PENG Xuwen, ZENG Jiawei, et al. Analysis on the current situation of high temperature corrosion of water wall of 600 MW coal-fired boiler[J]. Jiangxi Electric Power, 2023, 47(1): 52-57.
- [19] 李宝栋, 吴智乾, 王博, 等. 1 000 MW 超超临界锅炉水冷壁高温腐蚀防护及涂层方案选择[J]. 节能, 2021, 40(7): 56-60.
LI Baodong, WU Zhiqian, WANG Bo, et al. Experimental study on the protective techniques for high temperature corrosion of water wall in an ultrasupercritical 1 000 MW unit boiler and the coating scheme selection[J]. Energy Conservation, 2021, 40(7): 56-60.
- [20] 毛睿, 李源, 任利明, 等. 600 MW 旋流对冲锅炉燃烧器燃尽特性及其优化数值模拟[J]. 洁净煤技术, 2022, 28(12): 117-124.
MAO Rui, LI Yuan, REN Liming, et al. Numerical simulation on burner burnout characteristics and optimization in a 600 MW swirling opposed boiler[J]. Clean Coal Technology, 2022, 28(12): 117-124.
- [21] 崔昭霞, 李俊峰, 周全, 等. 劣质褐煤富氧燃烧特性的数值模拟研究[J]. 煤炭技术, 2018, 37(12): 314-317.
CUI Zhaoxia, LI Junfeng, ZHOU Quan, et al. Numerical simulation research on oxy-combustion characteristic of low quality lignite[J]. Coal Technology, 2018, 37(12): 314-317.
- [22] 赵晴川, 郝军, 李洪泉, 等. 数值模拟在电站锅炉烟风道优化设计中的应用[J]. 锅炉技术, 2014, 45(6): 12-16.
ZHAO Qingchuan, HAO Jun, LI Hongquan, et al. Numerical simulation of flow field for wind-box and selective catalytic reduction system in utility boiler[J]. Boiler Technology, 2014, 45(6): 12-16.
- [23] 万中平. 贴壁风对 300 MW 四角切圆锅炉高温腐蚀特性影响的数值模拟[J]. 动力工程学报, 2018, 38(8): 601-609.
WANG Zhongping. Numerical simulation on the effects of near-wall air distribution on the high-temperature corrosion of a 300 MW tangentially-fired boiler[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2018, 38(8): 601-609.
- [24] 车德勇. 四角切圆煤粉燃烧过程的数值研究[J]. 吉林电力, 2006, 34(6): 28-31.
CHE Deyong. Numerical study on the combustion process of square tangential coal pulverized coal[J]. Jilin Electric Power, 2006, 34(6): 28-31.
- [25] 王彦辉. 燃烧模型与切圆锅炉烟气偏差的数值研究[J]. 动力工程, 2004, 24(5): 693-697.
WANG Yanhui. Combustion model and numerical research on flue gas imbalance in tangentially fired boiler[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2004, 24(5): 693-697.
- [26] 王春刚. 四角切圆燃烧炉内颗粒湍流扩散数值模拟[J]. 热能动力工程, 2000, 15(4): 402-404.
WANG Chungang. Numerical simulation of particle turbulent flow diffusion in a tangentially fired boiler furnace[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2000, 15(4): 402-404.
- [27] 李道林, 王文欢, 潘卫国. 600 MW 墙式对冲燃煤锅炉燃烧数值模拟[J]. 动力工程学报, 2020, 40(2): 110-116.
LI Daolin, WANG Wenhuan, PAN Weigu. Numerical simulation on the combustion in a 600 MW opposed firing boiler[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2020, 40(2): 110-116.
- [28] 余廷芳, 屈广林, 徐锐. 切圆方式对锅炉燃烧特性影响数值模拟[J]. 热力发电, 2018, 47(7): 28-33.
YU Yanfang, QU Guanglin, XU Rui. Numerical simulation on effect of tangential type on boiler's combustion characteristics[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(7): 28-33.
- [29] 吕洪坤, 李汝萍, 童家麟, 等. 采用烟花示踪法控制水冷壁高温腐蚀试验[J]. 热力发电, 2018, 47(7): 87-92.
LYU Hongkun, LI Ruping, TONG Jialing, et al. Experimental study on controlling high-temperature corrosion of water-wall by fireworks tracer method[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(7): 87-92.

(责任编辑 刘永强)

广告目次

《热力发电》.....	封三
南京苏夏工程设计有限公司.....	后彩插 1
北京柏兰达环境工程有限公司.....	后彩插 2
中科润资(重庆)节能科技有限公司.....	后彩插 3
西安热工研究院有限公司.....	后彩插 4—8
《热力发电》订阅宣传页.....	后彩插 9
上海冠龙阀门机械有限公司.....	后彩插 10
浙江顺豪科技有限公司.....	后彩插 11
上海凯泉泵业(集团)有限公司.....	后彩插 12