

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2019.06.010

# 某燃煤电厂 SCR 脱硝装置堵塞问题分析及改进

Analysis and improvement of SCR denitrification devices  
blockage in a coal-fired power plant

徐克涛,何永兵,裴煜坤,张杨

XU Ketao, HE Yongbing, PEI Yukun, ZHANG Yang

(华电电力科学研究院有限公司,杭州 310030)

(Huadian Electric Power Research Institute Company Limited, Hangzhou 310030, China)

**摘要:**结合某电厂 300 MW 机组脱硝装置运行实例,分析脱硝装置运行过程中整流装置、喷氨格栅、催化剂以及空气预热器等设备堵塞问题及其成因,并提出优化大灰滤网结构和布置、实行定期运行蒸汽吹灰器,调整声波吹灰器工作频次、及时清理选择性催化还原(SCR)脱硝装置各层及钢梁、导流板积灰、确保催化剂通道畅通以及更换积灰严重的催化剂等相应的优化改进措施,以提高 SCR 脱硝装置运行安全稳定性。可为防控和应对燃煤电厂 SCR 脱硝装置积灰提供参考。

**关键词:**燃煤机组;选择性催化还原法;堵塞问题;改进措施

中图分类号:X 701

文献标志码:B

文章编号:1674-1951(2019)06-0046-04

**Abstract:** Combining with the practical operation of a denitrification device in a 300 MW unit, blockage in rectifying device, ammonia injection grid, catalyst and air preheater during the running of denitrification device and the corresponding causes are analyzed. It is proposed to optimize the structure and arrangement of the large ash filter, run steam soot blower regularly, adjust the frequency of the sonic soot blower, timely clean up the ash accumulated on steel beams and the deflectors on different layers of the selective catalytic reduction(SCR) denitration device, ensure the flow channels of catalyst and replace catalysts with severe ash deposit. These optimization measures can improve the security and stability of the SCR denitrification devices, which provides reference for prevention and control of the accumulation of ash in SCR denitrification devices of coal-fired power plants.

**Keywords:** coal-fired power plant; selective catalytic reduction; blocking problem; improvement

## 0 引言

我国的能源结构决定电力供应将长期以煤炭为主。国内已探明的无烟煤占煤炭总量的 15% 左右,因其低挥发分、不易着火的特点多适用于 W 形火焰锅炉<sup>[1]</sup>。选择性催化还原(SCR)脱硝技术以其技术成熟、脱硝效率高等优点广泛应用于大型燃煤电厂。多数 SCR 脱硝装置采用高灰布置,在长期运行过程中,脱硝系统各个设备及下游空气预热器积灰堵塞问题往往难以避免。特别是基于 W 形火焰锅炉炉内温度高,火焰行程长,燃烧剧烈,省煤器出口烟气流场分布不均等燃烧特性<sup>[2]</sup>,相关设备堵塞问题尤为严重。本文结合某电厂 300 MW 机组脱硝装置运行实例,分析总结 SCR 脱硝装置各设备及下游空气

预热器积灰堵塞问题以及应对措施。

## 1 某电厂 SCR 脱硝装置概述

西南地区某电厂 300 MW 机组采用东方锅炉股份有限公司生产的自然循环锅炉,燃烧器布置于下炉膛前后拱上,W 形火焰燃烧方式。采用 SCR 脱硝工艺、板式催化剂、液氨作为吸收剂,反应区主要由进出口烟道、导流板、均流装置、喷氨格栅、催化剂和吹灰装置组成。脱硝装置设计煤质及灰成分分析见表 1,脱硝装置设计参数见表 2。

由表 1 可知,脱硝装置设计煤质灰分为 38%,飞灰质量浓度为 45 g/m<sup>3</sup>,烟气中灰分较大,存在积灰堵塞的风险。由表 2 可知,设计入口 NO<sub>x</sub> 质量浓度为 1 100 mg/m<sup>3</sup>,出口 NO<sub>x</sub> 质量浓度小于 200 mg/m<sup>3</sup>,NO<sub>x</sub> 脱除量较大,液氨消耗量较高,同时考虑 W 形火焰锅炉的燃烧特性,进口烟道流场均匀性较差,存

在局部区域氨逃逸量超标的风险。此外,脱硝装置设计烟气温度的为 380 ℃,机组低负荷运行时,运行烟气温度偏离设计值较大,反应器运行效果不佳,增大氨逃逸风险,同时加剧积灰堵塞问题的发生。

表 1 脱硝装置设计煤质和灰成分分析

Tab. 1 Analysis on designed coal quality and ash composition of denitrification devices

项目	设计参数
收到基灰分/%	38.00
设计煤质 全硫/%	2.50
收到基低位发热量/(MJ · kg <sup>-1</sup> )	17.86
氧化钠/%	1.62
设计灰成分 氧化钾/%	0.93
三氧化硫/%	0.50

表 2 脱硝装置设计参数

Tab. 2 Design parameters of denitrification devices

项目	设计参数
烟气体积流量/(m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> )	1 143 075
SO <sub>2</sub> 质量浓度/(mg · m <sup>-3</sup> )	7 000
SO <sub>3</sub> 质量浓度/(mg · m <sup>-3</sup> )	70
飞灰质量浓度/(g · m <sup>-3</sup> )	45
烟气温度/℃	380
进口 NO <sub>x</sub> 质量浓度/(mg · m <sup>-3</sup> )	1 100
出口 NO <sub>x</sub> 质量浓度/(mg · m <sup>-3</sup> )	200
NH <sub>3</sub> 逃逸量/(mg · m <sup>-3</sup> )	2.28

## 2 SCR 脱硝装置及空气预热器堵塞问题

停机期间检查发现,脱硝装置堵塞问题主要发生在反应区的相关设施上,包括导流板和整流层、喷氨格栅、催化剂以及空气预热器等。

### 2.1 导流板和整流层积灰堵塞问题

导流板和整流层是脱硝系统重要的气流均布装置,平衡反应器各处流场。如图 1 所示,脱硝装置进口导流板积灰严重,水平烟道处出现不同程度的积灰,且整流层积灰从碎灰网延伸至烟道顶部。整流装置出现积灰堵塞,脱硝系统流场将发生变化,偏离设计参数,严重影响脱硝装置的正常运行。

### 2.2 喷氨格栅的积灰堵塞问题

喷氨格栅安装在反应器进口垂直烟道区域,氨气经喷嘴射入烟道后,被来自上游的烟气卷携并充分混合,经垂直烟道顶部发生两次 90° 转向,向下通过整流格栅,进入催化剂层发生催化还原反应。如图 2 所示,喷氨格栅多处喷嘴出现积灰现象,部分喷嘴被积灰完全覆盖,引起局部区域喷氨不均,氨逃逸量增加,同时导致脱硝装置出口排放浓度难以稳定控制,存在超标排放的风险。



图 1 导流板和整流层积灰堵塞问题

Fig. 1 Ash deposition and blockage of the deflector and rectification layer



图 2 喷氨格栅积灰堵塞问题

Fig. 2 Ash deposition and blockage of ammonia injection grid

### 2.3 催化剂积灰堵塞问题

催化剂是整个 SCR 脱硝装置的核心,其性能直接影响整体脱硝效果。如图 3 所示,第 1、第 2 层催化剂表面均出现积灰堵塞问题,反应器四周形成局部堆灰,且存在催化剂磨损的问题。分析发现,第 1 层催化剂靠近锅炉侧后墙表面堵塞后,烟气在 SCR 区域流场出现改变,烟气逐渐向反应器未堵塞的两侧和靠近锅炉侧前墙流动,而后墙部分由于烟气流速降低,灰尘堵塞加剧,形成恶性循环。且第 1 层催化剂出现堵塞后,第 2 层催化剂表面的烟气出现两侧和靠近锅炉的前墙流动较强,靠近后墙的流动较小,使通过第 1 层催化剂的飞灰在第 2 层流速较低的位置容易沉积,通流面积逐渐减小,在引风机的作用下,烟气流速比第 1 层较快,造成第 2 层催化剂大面积堵塞和磨损抽芯。

### 2.4 空气预热器堵塞问题

空气预热器低温段存在一定程度上的铵盐堵塞现象,积灰黏附在换热元件表面,且有刺激性气味散发。如图 4 所示,分散控制系统(DCS)运行参数显示空气预热器阻力明显上升,初始时系统阻力为 1 400 Pa,运行一段时间后阻力上升到 1 850 Pa,既增加引风机电耗,提高了运行成本,又不利于机组的安全稳定运行,存在非计划停运的风险。



图 3 催化剂积灰堵塞问题

Fig. 3 Ash deposition and blockage of catalyst

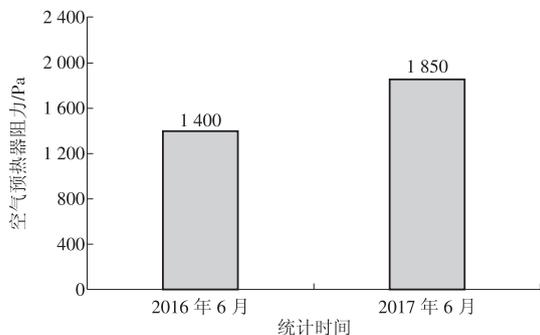


图 4 空气预热器系统阻力运行前后对比

Fig. 4 Comparison of air preheater system resistance before and after operation

### 3 SCR 脱硝装置堵塞问题原因分析

#### 3.1 大颗粒灰的影响

国内 SCR 脱硝装置多采用高尘布置,大颗粒飞灰堵塞是威胁脱硝装置安全稳定运行的重要因素。催化剂的节距有限,来自 SCR 反应器上游的大颗粒飞灰或者板结成片状的飞灰往往比催化剂的孔道要大,无法正常通过催化剂,日积月累会在催化剂表面形成积灰<sup>[3-5]</sup>。

#### 3.2 烟气灰分的影响

烟气中的灰分是催化剂类型和节距选型重要的参考依据。如图 5 所示,机组设计煤质灰分为 38%,电厂常规实际运行煤质灰分在 40% 以上,部分月份煤质平均灰分高于 46%,高于设计值,超过催化剂孔道过灰能力,增大催化剂堵塞的风险。此外,烟尘中碱性金属氧化物(如  $K_2O$  和  $Na_2O$ ) 含量较高时,烟气的黏附性强,较易黏附在烟道及反应器设备上。飞灰取样分析如图 6 所示,从图 6 中的分析结果来看,实际飞灰中  $Na_2O$  和  $K_2O$  质量分数普遍高于设计值,飞灰的黏性较强,加剧积灰堵塞的形成,且碱金属离子容易导致催化剂中毒,影响催化剂活性<sup>[6-7]</sup>。

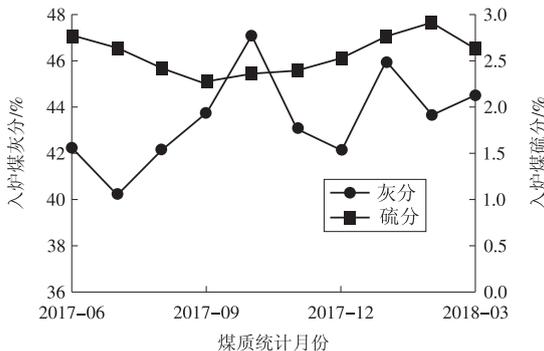


图 5 入炉煤煤质统计

Fig. 5 Statistics on coal quality of coal as fire

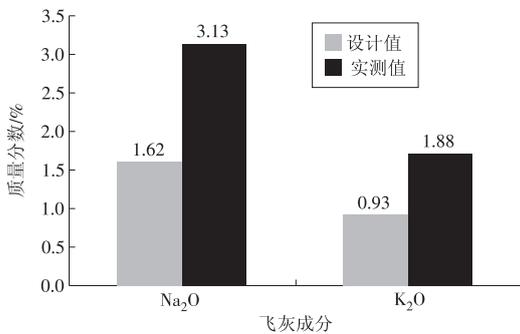


图 6 飞灰取样分析

Fig. 6 Fly ash sampling analysis

#### 3.3 烟道流场不均匀的影响

对于 W 形锅炉,烟气在脱硝入口断面的流场不均匀性较为严重,与原设计条件不符,造成局部区域流速和烟温过低,灰分过大时形成积灰,同时为了保证达标排放,会增大喷氨量,使得喷氨的不均匀性增加,局部氨逃逸增大,加剧积灰堵塞问题。如图 7、图 8 所示,脱硝装置进口烟气温度偏差为 20 ~ 30  $^{\circ}C$ ,烟气流速最大偏差为 5 m/s;进口烟道不同监测点位烟气  $O_2$  质量分数在 1% ~ 5% 之间分布, $NO_x$  质量浓度在 880 ~ 1 100  $mg/m^3$  之间分布,经脱硝后出口烟道各监测点位  $NO_x$  排放浓度 70 ~ 190  $mg/m^3$  之间分布,流场分布不均匀性较大,容易引发脱硝装置内各区域发生积灰堵塞问题。

#### 3.4 机组运行参数波动的影响

机组负荷、运行控制、煤质、上游吹灰系统等进行运行调整时,机组运行参数发生变化,引起烟气流场的波动,导致瞬时灰分过大而引起局部区域积灰,尤其是运行参数频繁发生波动时,堵塞问题更为显著。

#### 3.5 机组低参数运行的影响

机组深度调峰或低负荷运行时,特别是冬季工况,烟气温度整体降低,考虑进口烟道温度偏差为 20 ~ 30  $^{\circ}C$ ,反应器部分区域烟气温度处于最低连续运行烟温 320  $^{\circ}C$  以下(如图 9 所示),催化剂微孔内会发生副反应生成硫酸氢铵,使得烟气中的灰黏结成块,形成孔道内积灰,降低催化剂的活性<sup>[8]</sup>。

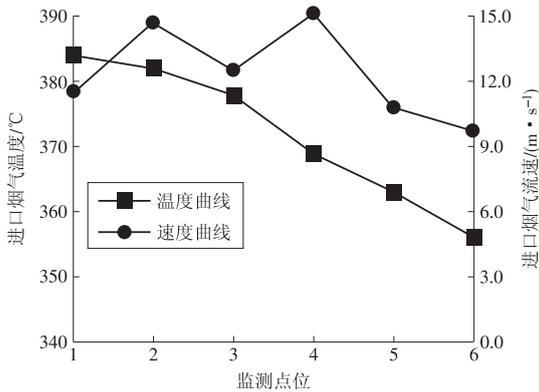


图 7 脱硝装置进口烟气温度和流速分布

Fig. 7 Flue gas temperature and flow rate distribution at the inlet of denitration unit

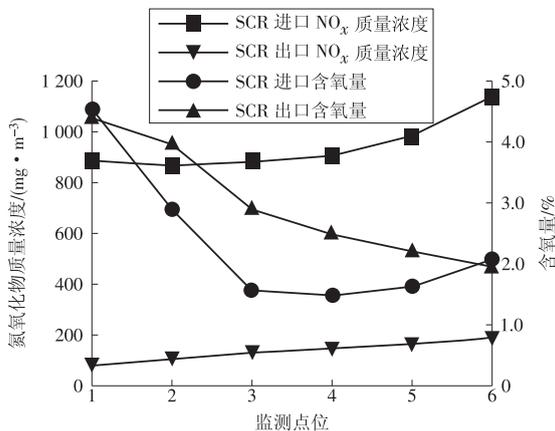


图 8 脱硝装置进、出口烟道质量浓度场分布情况

Fig. 8 Flue gas concentration distribution at the inlet outlet of denitration unit

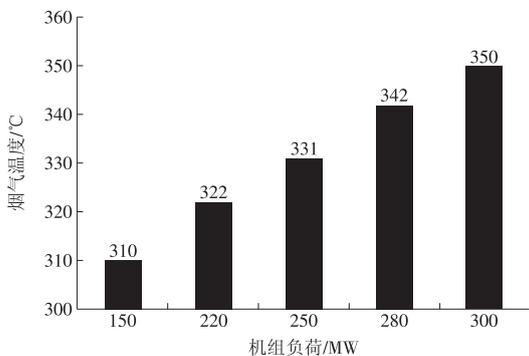


图 9 不同负荷工况下脱硝出口烟气温度(12月份)

Fig. 9 Flue gas temperature at the outlet of denitration unit under different load conditions (December)

### 3.6 空气预热器堵塞问题分析

空气预热器低温段温度较低,容易产生结露形成弱酸,造成换热元件材料的腐蚀并黏结飞灰。烟气流速及所携带的大量飞灰对换热元件的附着物产生冲刷作用,当冲刷强度低于飞灰的黏结速率时,黏附附着物便会不断增长,从而造成堵塞。此外,空气预热器堵塞与烟气中  $\text{SO}_3$  质量浓度密切相关,当烟气中  $\text{SO}_3$  质量浓度较高时,即使氨逃逸量不超标,仍

可能形成铵盐。由表 2 可知,入炉煤设计硫分在 2.5%,对应的入口  $\text{SO}_3$  质量浓度为  $70 \text{ mg/m}^3$ ,考虑脱硝反应器  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  的转化率为 1%,出口  $\text{SO}_3$  质量浓度可达  $140 \text{ mg/m}^3$ ,存在形成铵盐的风险;且实际运行入炉煤硫分高于设计值(见图 5),造成烟气中  $\text{SO}_3$  的质量浓度升高,更加有利于铵盐的形成且发生沉积。

## 4 脱硝装置积灰堵塞处置及预防措施

(1)设计改造措施。合理进行脱硝系统设计,优化大灰滤网结构和布置,防止大颗粒飞灰进入 SCR 反应器。优化入炉煤煤质条件,尽量燃用低灰、低硫分煤种,做好煤质掺配,从源头解决烟气运行条件<sup>[9]</sup>。利用数值模拟和冷态物理模型试验,重新计算 SCR 入口烟气流速及流场分布,调整导流板的安装位置和数量<sup>[10]</sup>。结合锅炉实际运行工况,调整 and 选择合适的催化剂节距和开孔尺寸,防止催化剂堵灰。重新核算催化剂使用温度等级,采取合适的提温措施,如省煤器烟气旁路、省煤器分级设置和省煤器流量置换等改造措施,避免 SCR 反应器温度维持在铵盐沉积温度之上,降低催化剂堵塞风险。

(2)运行与维护措施。设置足够数量的吹灰装置,实行定期运行蒸汽吹灰器,调整声波吹灰器工作频次,与锅炉吹灰协调进行。进行燃烧调整,降低飞灰可燃物含量,避免积灰烧结现象。严格监视氨逃逸量和  $\text{NO}_x$  的排放浓度,合理控制喷氨量在规定范围。对于空气预热器堵塞,适当提高烟气温度,加强空气预热器的吹扫,延长空气预热器吹扫时间<sup>[11]</sup>。

(3)检修措施。利用停机机会开门检查催化剂积灰情况,及时清理 SCR 各层及钢梁、导流板积灰,确保催化剂通道畅通。更换积灰严重的催化剂。

## 5 结束语

随着火力发电厂烟气脱硝装置运行时间增加,脱硝系统面临的各种问题逐渐凸显出来。脱硝装置内部积灰堵塞问题已成为当前 SCR 脱硝装置乃至燃煤发电机组安全、稳定、高效运行的重要制约因素,总结分析造成积灰堵塞问题并提出相应的解决措施,对防控和应对燃煤电厂 SCR 脱硝装置积灰具有重要意义。

### 参考文献:

- [1]阮成武. 三次风对缝隙式 W 火焰锅炉炉内空气动力场的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [2]孔亮,易宁,张健,等. 燃用无烟煤的 660 MW 超临界机组锅炉选型技术经济分析[J]. 电力与能(下转第 75 页)

进行缠绕设备、模具的准备,原材料出库、计量、记录备用。各岗位施工人员及相关工器具到位。

制作前要特别注意进行凝胶试验,以确定最佳的固化剂及促进剂的配比。一方面保证有足够的操作时间,另一方面保证产品的固化。

### 3.2 制作过程

玻璃钢烟囱内筒的内衬层由富树脂层、表面毡层及喷射纱层组成,其主要功能是防腐蚀;结构层由缠绕纱、单向布交替缠绕成型,主要承担力学性能;外表面层由喷射纱及树脂胶衣层组成,主要作用是防紫外线、防老化。

管段制作完成之后制作玻璃钢加强筋,喷胶衣,脱模,存放在指定场地进行后固化。

竖直段采用缠绕成型管段,每段长 8.0 m,设置 2 个加强筋,段与段之间采用对接包缠。水平段方形烟道采用手糊制作,后两者采用对接包缠连接。

### 3.3 VA 与 VB 的工艺性能

现场制作时,VB 铺层采用 1 层单向布与 1 层缠绕纱作为主循环单元,相比 2 层单向布与 1 层缠绕纱的主循环单元,具有更好的浸润性能。VA 铺层的 2 层单向布之间则需要注意使用压辊以保证良好的浸润。

## 4 结论

玻璃钢作为一个整体结构,其具有优异的耐腐蚀性能及结构设计性能,且可根据电厂的设计温度选择适合的产品,适用于火电厂湿法脱硫后烟囱;同时,VB 铺层具有更好的工艺性能、原材料成本更低,是燃煤电厂玻璃钢烟囱内筒现场制作的较好选择。

### 参考文献:

[1] 贺军会,贺少鹏,王军委,等. 玻璃钢在燃煤发电厂烟囱

(上接第 49 页)源,2016,36(6):858-862.

[3] 汪洋,胡永锋. 燃煤电站 SCR 脱硝系统预防大颗粒灰堵塞方法[J]. 环电力科技与环保,2012,28(2):17-19.

[4] 柏源,薛建明,唐仲恺. 燃煤电厂脱硝设施性能诊断及策略研究[J]. 环电力科技与环保,2018,34(3):30-32.

[5] 陈鸿伟,罗敏,王远鑫,等. 燃煤锅炉飞灰对 SCR 脱硝催化剂的影响及预防措施[J]. 燃烧科学与技术,2017,23(3):200-211.

[6] 邵媛,张海燕,李乐丰,等. 火电厂 SCR 脱硝系统运行中存在的问题及解决措施[J]. 山东电力技术,2015,42(1):72-74,80.

[7] 胡永锋,梁新磊. 燃煤电厂 SCR 法烟气脱硝装置常见问题及原因分析[J]. 华电技术,2015,37(11):62-63,75.

[8] 张杨,冯前伟,裴煜坤,等. 燃煤电厂 SCR 烟气脱硝装置

中的应用浅析[J]. 全面腐蚀控制,2012(12):45-50.

[2] 赵健. 玻璃钢排烟筒在燃煤热电厂湿烟囱中的应用实例研究[J]. 山西电力,2018(2):29-53.

[3] 王凯. 脱硫烟囱用 GFRP 与钛板耐硫酸腐蚀性能研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2015.

[4] 塑料在弯曲载荷作用下热变形温度的标准试验方法: ASTM D648—2017[S].

[5] 负荷变形温度的测定: A/ISO 75-2—2013[S].

[6] 热固性化合物在线挤压模注试样的标准实施规程: ASTM D3419—1993[S].

[7] 线性热膨胀系数和玻璃化转变温度的测定: ISO 11359—1999[S].

[8] 大唐临清热电有限公司. 2×350 MW 热电联产机组工程设计文件[Z]. 2015.

[9] 火电厂玻璃钢烟囱内衬的设计、制造及安装标准规程: ASTM D5364—1993[S].

[10] 燃煤电厂用玻璃纤维增强塑料烟囱内筒: GB/T 30811—2014[S].

[11] 燃煤电厂用玻璃纤维增强塑料烟道: GB/T 30812—2014[S].

[12] 纤维增强塑料性能试验方法总则: GB/T 1446—2005[S].

[13] 纤维增强塑料拉伸性能试验方法: GB/T 1447—2005[S].

[14] 纤维增强塑料压缩性能试验方法: GB/T 1448—2005[S].

[15] 纤维增强塑料弯曲性能试验方法: GB/T 1449—2005[S].

(本文责编:齐琳)

### 作者简介:

刘会平(1982—),女,湖北恩施人,工程师,工学硕士,从事玻璃钢管道的结构设计、工艺设计方面的工作(E-mail: liuhp@dtg.com.cn).

运维技术分析[J]. 环电力科技与环保,2016,32(5):32-34.

[9] 邓全胜,孙法治. 脱硝 SCR 反应器堵灰原因分析[J]. 东北电力技术,2017,38(4):57-60.

[10] 徐劲,陈鸿伟,赵超,等. 脱硝系统催化剂模块磨损及堆灰模拟改造[J]. 区域供热,2016(6):22-29.

[11] 王海刚. SCR 脱硝机组空气预热器堵塞治理建议[J]. 环境工程,2016(2):96-101.

(本文责编:齐琳)

### 作者简介:

徐克涛(1985—),男,河南许昌人,工程师,工学硕士,从事火电厂烟气环保工程技术及研究方面的工作(E-mail: xukt\_2010@163.com).