



火电厂SCR脱硝系统氨管道污堵治理及优化控制

贺栋红

(深能合和电力(河源)有限公司,广东 河源 517025)

摘要: 火电厂选择性催化还原(SCR)烟气脱硝氨系统出现故障,将影响到整个脱硝系统的运行安全。在理论分析的基础上,根据脱硝系统设备维护过程中氨系统污堵治理经历,总结出有针对性的治理措施及控制策略,主要包括:从源头控制液氨品质,在适当位置增加滤网,避免金属腐蚀,临时吹扫蒸发槽,喷氨流量计增加旁路,蒸发槽供氨管道、阀门保温与加热,加强定期检修和维护,完善调节阀控制逻辑等。实践表明,所采取的措施行之有效,避免了问题的再次发生。

关键词: 燃煤电站; SCR脱硝; 氨系统; 污堵

中图分类号: X511; TM621

文献标志码: B

DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.2016.06.161.05

0 引言

目前,中国的环保政策越来越严格,“十二五”期间火电厂脱硝被纳入环保的硬指标,2014年7月颁布实施的新版《火电厂大气污染物排放标准》对火电厂的 NO_x 排放标准提出了更高的要求^[1]。目前,选择性催化还原(SCR)脱硝技术已广泛应用于燃煤电厂锅炉烟气脱硝系统^[2]。河源电厂 $2 \times 600 \text{ MW}$ 超超临界机组自2010年开始进行了锅炉低氮燃烧器改造和选择性催化还原(SCR)脱硝装置加装,随着SCR脱硝系统(简称SCR系统)投入使用,设备运行维护问题日益突出,尤其是氨系统常有堵塞情况发生,影响脱硝系统的连续安全运行。氨系统堵塞主要发生在蒸发槽液氨入口调节阀、蒸发槽内部、SCR脱硝反应区(简称SCR反应区)质量流量计等处,经多次摸索和经验积累,对运行维护中出现的不恰当方式进行分析并优化控制,有效解决了氨系统频繁堵塞的问题。

1 污堵治理

河源电厂SCR脱硝系统如图1所示。

1.1 液氨品质控制

氨系统污堵情况的发生主要是因为液氨内含有油、水和铁等腐蚀性杂质。液氨中微量油主要来自压缩机润滑油,根据红外光谱鉴定,这些油基本上属于高沸点矿物油^[3]。水与氨极易结合,形

成氨水,其含量可以用测定方法(蒸发法)和计算公式求得^[4]。氨水尽管不会直接导致堵塞,但是它可以与系统中的金属如铁、铜、锌等发生腐蚀反应,产生固体颗粒物,累积到一定程度就会造成堵塞。控制液氨品质是治理氨系统污堵的前提,也是最重要的控制措施。河源电厂要求的液氨品质如表1所示。

控制液氨品质,争取用李森科承受器对每一辆槽车都取样,准确化验出样品的参数,保证进入系统的液氨品质合格。若槽车内液氨品质不合格,拒绝接收。若较多辆槽车液氨品质不合格时需及时更换品质更好的液氨供应厂家。

1.2 增加滤网

不同的供氨厂家供应的液氨品质参差不齐,即使能满足要求,也不可能百分之百洁净,尽管杂质占比很小,但由于使用量较大,长期积累,在液氨储罐底部也会积攒大量杂物。在卸氨过程中过滤掉液氨中的固体颗粒杂质、油等,保证进入系统的液氨品质,可以较好地控制SCR系统污堵情况的发生。

河源电厂原采用管道斜滤滤芯,其孔径为 3 mm ,几乎无过滤作用。若将其直接更换成过滤精度稍高的滤芯,则会导致流通面积不足,使卸氨时间延长,并要频繁清洗、更换滤芯。综合考虑安装位置及现场施工条件,采用圆筒过滤器替代原有管道斜滤。圆筒过滤器为液氨除油过滤器,滤筒内安装6组滤芯,包括4组除重质油滤芯和

收稿日期: 2015-11-17

作者简介: 贺栋红(1981—),男,陕西延安人,工程师,从事汽轮机本体检修、水工、化学专业等设备维护与检修技术管理工作。E-mail: likewolf@163.com

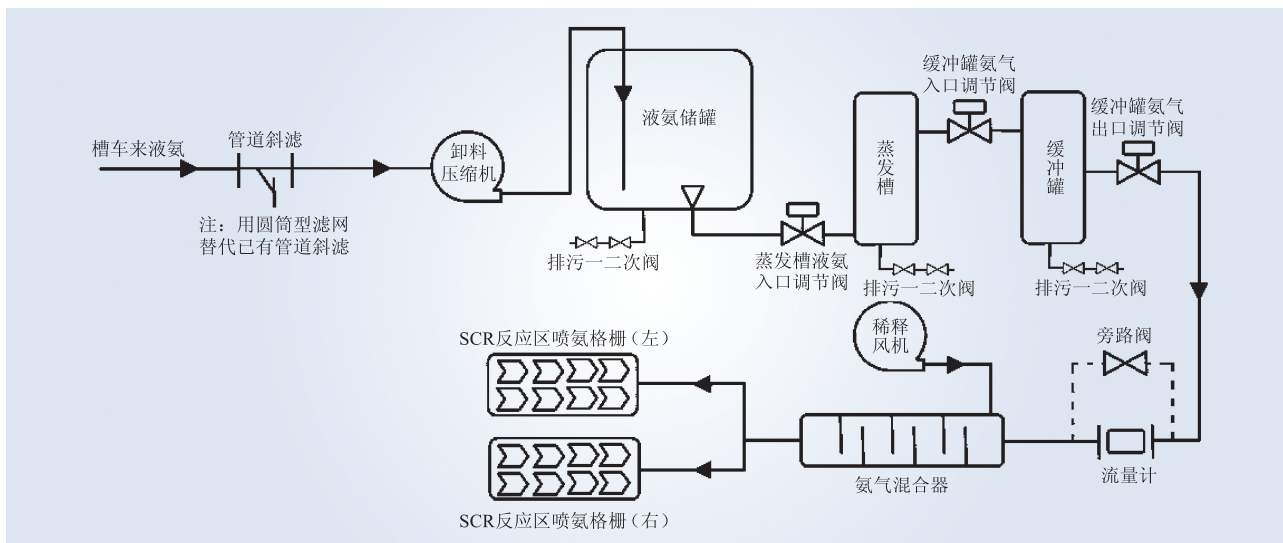


图 1 河源电厂脱硝系统示意

Fig.1 The SCR denitrification system of Heyuan Power Plant

表 1 河源电厂要求的液氨品质

Table 1 The purity of liquid ammonia required by Heyuan Power Plant

项目	样品测定值	合格品标准			备注
		优等	一等	合格	
氨/%	99.94	≥99.9	99.8	99.6	称重法
残留物的质量分数/%	0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.4	称重法
水分/%	-	≤0.1	-	-	称重法
油的质量浓度/(mg·kg ⁻¹)	-	≤5	-	-	红外光谱法
铁的质量浓度/(mg·kg ⁻¹)	-	≤1	-	-	称重法
密度/(kg·L ⁻¹)	0.50	0.5			25℃时
压力/MPa	1.1	≤1.6			运输过程中槽车内压力
沸点/℃	25	-			标准大气压下

2 组除轻质油滤芯，滤芯材质不同，可以过滤不同的油质。工作压力为 1.6 MPa，设计压力为 2.5 MPa。滤芯为直径 $d=65$ mm、长 $L=500$ mm，采用折叠方式制造，单支展开面积 2 m²，有效过滤面积 0.5 m²，过滤精度为 2.0 μm，几乎可以完全过滤掉液氨中的油及固体杂质。整个过滤器的过滤面积是 DN80 mm 管道截面面积的 1 200 倍以上，滤芯设计使用寿命为 30~60 个月。采取这一措施后，可以减少氨系统维护频率，按照目前供应氨的洁净程度，平均每 4 个月清理 1 次即可。

1.3 避免金属腐蚀

氨系统很多阀门密封材料是铜质的，甚至有些阀门整体材质为铜，还有些热控元件材质是锌。氨会与设备中的这些材料发生反应，生成沉淀物，

堵塞系统，更重要的是会损坏设备，日积月累造成设备的严重腐蚀，最终可致氨气泄露，给生产运行带来安全隐患。

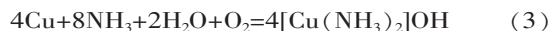
液氨中不可避免地会带进一些水，氨与水反应生成氨水，有 OH⁻产生。氨系统腐蚀机理如下。

(1) 氨与铁反应，反应式如式(1)、(2)所示。



从系统清理出的黑色物质中可知，其主要成分为 Fe(OH)₂，部分是 Fe(OH)₃，加热后杂质变成红黑色，主要成分为 Fe₂O₃ 和 FeO。

(2) 氨与铜反应，在氧气不足的情况下，发生式(3)所示反应；在氧气充足的情况下，发生式(4)所示反应。



铜的络合物可溶于液氨，但是其化学性质不稳定，容易生成 CuOH 和 Cu(OH)₂ 沉淀物，给系统造成堵塞。在蒸发槽液氨调节阀管段清理出的墨绿色物质具有一定粘性，不溶于水，经取样化验，其主要元素成分为铜，即为生成的铜络合物。

(3) 氨与锌反应，反应如式(5)所示。



锌的络合物可溶于液氨，若液氨中有水，会继续反应，造成设备损坏。河源电厂蒸发槽液氨调节阀后大小头处已完全被白色物质堵塞，经化验其主要元素为锌，即为所生成的锌络合物。

根据文献[5]，氨系统堵塞物主要由氧化铁(碳钢腐蚀产物)+氨基甲酸铵类(氨与二氧化碳等复合物)+系统残留杂质+液氨微量杂质组成。其中，铵类复合物造成碳钢的腐蚀是主要因素。结

合上文分析，需要更换系统中铜、锌材质的设备、部件及管道，减少系统中络合物的生成，尽量减少碳钢材质的使用。

1.4 加强定期维护工作

(1) 定期排污。液氨卸料压缩机入口管道上尽管加装了精细滤网，但仍会有一些杂质被携带进入液氨储罐，系统中也不可避免地生成一些杂质，经长期积累会逐渐沉积在液氨储罐体底部。在液氨储罐、蒸发槽和缓冲罐的底部都设置有排污一、二次阀，通过定期操作排污阀，可把容器底部积存的杂质及时清理出去，减少堵塞物质。

(2) 定期对液氨储罐、氨气缓冲罐、液氨蒸发槽内部进行人工清理。河源电厂 SCR 烟气脱硝系统改造于 2012 年年底完工并投入使用，系统中积累较多非氨杂质，蒸发槽液氨入口调节阀和 SCR 喷氨区质量流量计频繁发生堵塞，临时清理时发现堵塞物为白色、墨绿色，长时间放置后变成红褐色。频繁堵塞影响设备正常运行，必须彻底清除系统中杂质。2015 年 7 月底，对氨站 2 个储液罐进行了人工清理，主要工作步骤如图 2 所示。

这次人工清理，从液氨罐底部清理出大量固体杂质，疏通了磁翻板液位计底部连通管，从而避免了生产过程中蒸发槽液氨入口调节阀后下游各设备堵塞情况的发生。清理工作完成后截至 2016 年 3 月初，距清理工作完成已有 7 个多月，系统再未发生过任何堵塞现象。

1.5 临时吹扫蒸发槽

2013 年 11 月底，2 个蒸发槽氨气侧进出口压差越来越大，将设备隔离后用压力为 2.2 MPa 氮气持续从蒸发槽液氨入口进行吹扫，无任何效果，

说明杂物已完全塞满蒸发槽氨管道。氮气温度较低，杂质在常温下流动性较差，无法用氮气吹扫，因此把蒸发槽入口液氨调节阀拆除，临时接压力为 0.8 MPa、温度为 175 ℃ 的辅助蒸汽，再将蒸发槽氨气出口手动阀拆除，在此放置临时废油桶，用蒸汽吹扫蒸发槽内的杂质。蒸发槽氨管道中类似沥青的油状物累积较多，通过从蒸发槽进出口正反方向反复多次吹扫，最终把油状杂质全部清理干净，蒸发槽随即可以投入正常使用。用蒸汽临时吹扫液氨蒸发槽后，由于注重定期排污、控制液氨供应品质等方面的工作，至 2016 年 3 月未发生蒸发槽液氨侧前后压差增大的现象。

需要特别提醒的是：蒸汽吹扫时注意控制蒸汽的压力，以免蒸发槽换热器盘管损坏；不可连续吹扫，不得外力撞击、野蛮敲打，以免换热器盘管出现热应力损伤、肋板脱焊等；注意废油桶处工作人员站位，以免蒸汽、热油伤人。

1.6 SCR 反应区流量计增加滤网及旁路

SCR 反应区质量流量计内部间隙较小，氨气中携带的固体颗粒物、油状物等在此处积累，经常造成堵塞，由于流量计原设计上没有设置旁路，堵塞后脱硝系统不得不退出运行。脱硝系统频繁退出后解体流量计清理堵塞物，对锅炉运行影响较大。为避免此类现象的发生，在流量计前增设过滤精度为 2.0 μm 的不锈钢过滤器，同时在该处设置旁路，方便检修和运行。

2 优化控制

在某些火电厂 SCR 脱硝设备投入运行维护初

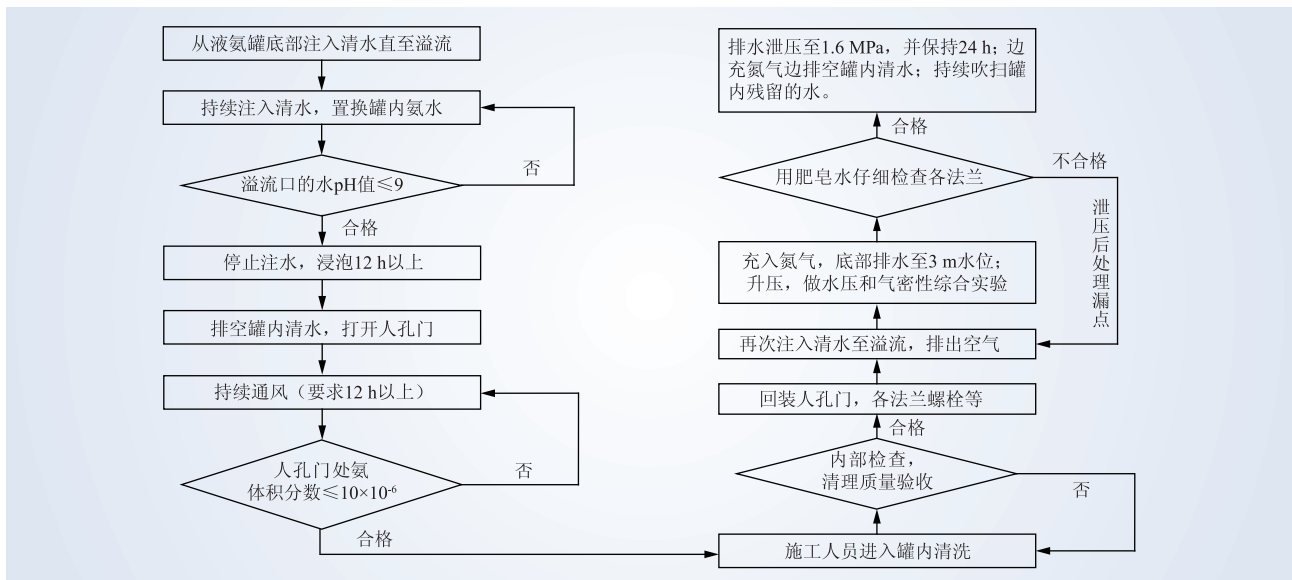


图 2 储氨罐内部人工清洗流程简图

Fig.2 The flow diagram about manual cleaning in liquid ammonia tank

期，曾出现过一些不恰当的设备运行方式和缺陷处理方式，导致系统堵塞情况加剧。经理论分析和实践探索，可以得到相对较正确、更完善的运行方式和堵塞处理方法，做到对类似问题进行全面分析，最终优化控制。

根据氨饱和液和饱和蒸气的热力性质^[6]，可初步得液氨压力、液氨焓、气氨焓与温度的关系曲线(见图 3)。由图 3 曲线趋势预设函数式，用最小二乘法求解非线性曲线拟合函数，并用 Matlab 软件进行求解，拟合出压力、液氨焓、气氨焓与温度的关系式(见式(6)~(8))，式中变量同图 3。

$$p=429.255 2+17.031 5T+0.237 4T^2 \quad (6)$$

$$h_l=180.358 1+4.633 3T+0.003 3T^2 \quad (7)$$

$$h_g=1 437.80+3T^2 \quad (8)$$

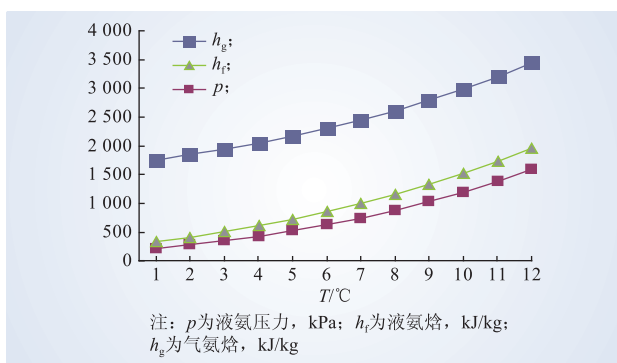


图 3 液氨压力、液氨焓、气氨焓与温度的关系曲线

Fig.3 The relationship between pressure of liquid ammonia, enthalpy of liquid/gas ammonia and temperature

2.1 阀体加热与设备保温

液氨蒸发系统流程如图 4 所示(虚线为技改部分)。机组负荷较低时，由于氨气使用量较少，氨站蒸发槽液氨入口调节阀开度较小，流通面积骤然变小，导致液氨在该温度和压力下节流，相态变化导致气化，温度显著降低，从而在该处经常出现结冰、“结露”现象。若液氨中夹带一些杂质，温度较低时液氨及杂质粘度变大，流动边界层越来越厚，延展面积也越来越大，杂质在调节

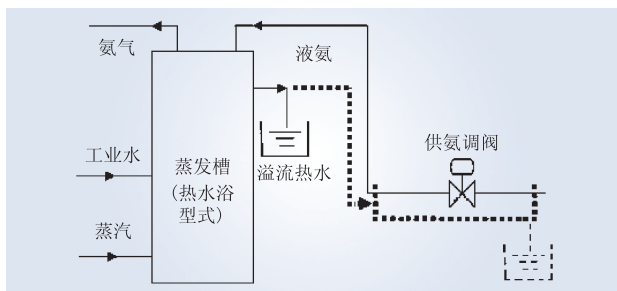


图 4 液氨蒸发系统示意

Fig.4 The liquid ammonia vaporization system

阀处堆积，流通面积越来越小，调节阀开度虽然逐渐增大，但是杂质会继续堆积，湍流越来越弱，最终导致调节阀被完全堵塞。

根据设备巡视记录，正常运行时液氨罐压力 0.88 MPa，温度 23.7 °C；蒸发槽供氨调节阀后压力 0.31 MPa，蒸发槽出口氨气压力 0.30 MPa，蒸发槽内热水温度 51.4 °C，蒸发槽出口氨气温度 39.5 °C，氨气缓冲槽出口温度 29.9 °C。由式 6 可以计算出 0.88 MPa 时对应液氨的饱和温度为 20.57 °C，小于实际温度 23.7 °C，说明罐内液氨为欠饱和状态。从蒸发槽液氨调节阀至蒸发槽，管外径 $D=58$ mm，长度 $L=2 230$ mm，则可以计算出该管段表面积为 0.41 m²，管壁内外温度端差 27 °C，而换热量根据式(6)~(8)计算可知，为 $1 617.68$ kJ/kg，可知换热面积远远不足，且流速很快，液氨几乎不能被环境加热，因此导致该管段温度很低，常年保持在 -3 °C 左右，环境中的水蒸汽被凝结，出现“结露”现象，甚至在冬天经常发生冰冻堵塞情况。如此长期运行，阀门壳体、管道外表面、地面上就会生长青苔，影响文明生产，甚至腐蚀设备。对此，河源电厂采用了技改方案(见图 4 虚线部分)，即在蒸发槽供氨管道、阀门表面覆盖聚氨酯保温棉，避免环境中的水蒸汽在设备表面凝结；供氨调节阀后管段温度在 0 °C 以下，利用蒸发槽溢流出来的热水，加热该管段，液氨流量较大时，热水的溢流量也较大，适当加热，自然调节，解决了该管段冰冻堵塞现象。

根据以上分析认为，应将供氨调节阀尽量靠近蒸发槽，即在保证阀门间距、方便运行操作的前提下，尽量缩短供氨调节阀至蒸发槽的管道长度，以减少冷冻管道距离，此为设计上需要重点考虑的方面之一。

2.2 完善调节阀控制逻辑

由上述分析可知，由于蒸发槽液氨入口调节阀前后压力为 0.88 MPa 和 0.31 MPa，该阀前后温度为 23.7 °C 和 -3.5 °C，压力和温度变化均较大，且运行中该调节阀开度较小；而缓冲罐氨气入口调节阀的调整范围为 0.25~0.35 MPa，缓冲罐无法起到系统设置中“缓冲”的目的，因此需要完善这 2 个调节阀的控制逻辑，蒸发槽液氨入口调节阀目标值调整为 0.70 MPa，缓冲罐氨气入口调节阀目标值调整为 0.35 MPa，缓冲罐氨气出口调节阀目标值调整为 0.30 MPa，以使压力渐次降低，逐步调整。

由式(6)计算出 0.70 MPa 液氨的温度为 13.4 °C，比调整前 -3.5 °C 提高了约 17 °C。控制逻辑调整后，运行过程中管道、阀门表面“结露”现象几乎没有，低温堵塞现象基本杜绝，而且两调节阀

的开度均在 40%左右，避免了阀门长期节流磨损阀芯情况的发生。

综合阀体加热与设备保温技改内容及调节阀控制逻辑调整，截至 2016 年 3 月，氨站蒸发槽液氨入口调节阀管段污堵、冻结现象未再发生。

3 讨论

(1) 供氨管道不可伴热。由前文计算得知，储氨罐及蒸发槽入口管内液氨处于欠饱和状态，若在液氨罐出口管上设置伴热，液氨会在管道内部分气化，吸收环境热量后温度降低，又会有部分氨气凝结，如此反复，气蚀现象频繁发生，最终会导致设备损坏。因此，储液罐出口管道上不可伴热。

(2) 自热气化不可取。在设备运营初期气温较高时，运行人员为节约辅助蒸汽用量，利用环境温度加热液氨罐，让液氨在罐内自然气化。虽然这种运行方式可以持续供氨几天，但是随着机组负荷增加，脱硝用氨量增加，类似 2.1 节计算的管道换热面积及内外温差，可知通过环境与液氨罐表面换热的方式不能把足量的液氨气化，氨的气化潜热通过液氨表面与环境进行热交换过程不能及时完成，就会导致供氨温度、压力持续下降，设备巡视参数环境温度尽管 30℃左右，但是罐内温度最低时仅 5℃，压力 0.5 MPa。同时，以储氨罐作为换热器，会导致罐体的疲劳应力累积，表面大量凝结水导致油漆剥落，罐体、阀门及地脚螺栓腐蚀，因此必须杜绝这种运行方式。

4 结语

本文分析总结了火电厂 SCR 脱硝系统液氨蒸发槽入口调节阀、蒸发槽、SCR 反应区质量流量计等处堵塞原因，并给出了处理方法及控制策略，使问题得以解决。实践表明，采取有针对性的措

施，加强运行管理，适时对设备进行重大维护等，对火电厂 SCR 脱硝氨系统正常运行至关重要，所得经验可供同类电厂借鉴。

参考文献：

- [1] 梁川,沈越. 1 000 MW 机组 SCR 烟气脱硝系统优化运行[J]. 中国电力, 2012, 45(1): 41-44.
LIANG Chuan, SHEN Yue. Optimal operation of selective catalytic reduction (SCR) flue gas denitrification system in 1 000 MW unit [J]. Electric Power, 2012, 45(1): 41-44.
- [2] 白伟,赵冬梅,肖雨亭,等. 失活 SCR 脱硝催化剂化学清洗再生技术研究[J]. 中国电力, 2015, 48(4): 6-10.
BAI Wei, ZHAO Dongmei, XIAO Yuting, et al. Chemical cleaning regeneration technology for deactivated SCR catalysts [J]. Electric Power, 2015, 48(4): 6-10.
- [3] 吕兰景,周艳华. 用紫外分光光度法分析液氨中微量油[J]. 燕山油化, 1980(3): 262-265.
LV Lanjing, ZHOU Yanhua. Analysis of trace oil in liquid ammonia by UV spectrophotometry [J]. Petrochemical Industry Technology, 1980, 1(3): 262-265.
- [4] 周卓基. 关于液氨中水分含量测定计算公式的若干问题[J]. 湖南化工, 1978(3): 79-86.
ZHOU Zhuoji. Some problems about the calculation formula of determination with moisture content in liquid ammonia [J]. Jingxi Huagong Zhongjianti Fine Chemical Intermediates, 1978, 8(3): 79-86.
- [5] 翁俊震,毛荣军,王钢,等. 火电厂脱硝系统氨站输氨管道堵塞原因分析及处理[J]. 清洗世界, 2014, 30(3): 42-45.
WENG Junzhen, MAO Rongjun, WANG Gang, et al. Analysis and treatment on block of ammonia transportation pipeline of ammonia station in denitration system of power plant [J]. Cleaning World, 2014, 30(3): 42-45.
- [6] 沈维道,蒋智敏,童钧耕,等. 工程热力学(3 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000, 413.

(责任编辑 刘明)

Treatment and Control on Pipeline Blockage in SCR Denitrification System

HE Donghong

(Shenzhen Energy HOPEWELL Power (He Yuan) Co., Ltd., Heyuan 517025, China)

Abstract: The malfunction occurrences in ammonia system endangers the safe operation of the whole SCR denitrification system in thermal power plants. Based on the theoretical analysis and the denitrification equipment maintenance practice, a few approaches and controlling tactics are proposed, including controlling the ammonia quality fundamentally, setting filters on correct places, preventing metals from corrosion, clearing the steam-heater momentarily, setting by-pass at the flow meter, covering and equipping the feed pipes and the valves with thermal insulation and ammonia heater, enhancing timely repairment and maintenance, and improving the control valve logics. The practical operations show that the proposed measures are effective in avoiding the problems to happen.

Keywords: coal-fired power plant; SCR denitrification; ammonia system; blockage