

嵩屿电厂烟气 SCR 脱硝工艺及特点分析

The technology and character analysis for flue gas denitrification
SCR system in Songyu Power Plant

陈进生^{1,2}

(1. 厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005; 2. 厦门华夏国际电力发展有限公司, 福建 厦门 361026)

摘要:介绍了厦门嵩屿电厂4×300 MW 燃煤机组烟气选择性催化还原法(SCR)脱硝工程所选用的工艺,分析了SCR脱硝系统的主要技术特点,为日益增多的同类型脱硝装置的工艺设计与设备选型提供一定的借鉴。

关键词:烟气; 选择性催化还原技术(SCR); 脱硝工艺

Abstract: The technology for flue gas denitrification by selective catalyst reduction(SCR) system in Songyu Power Plant with 4×300 MW coal fired units is introduced. The characteristics of the technology are also discussed, which provided the experiences for the process design and equipment choice in gradually popular similar SCR system.

Key words: flue gas; selective catalyst reactor; denitrification technology

中图分类号: X701.7

文献标识码: B

文章编号: 1009-4032(2006)06-040-04

目前我国燃煤电厂 NO_x 污染的防治主要采用低氮燃烧技术,脱硝效率较为有限。随着国家环境保护法规的不断完善与科技力量的日益增强, NO_x 作为燃煤电厂的主要污染物之一,在烟尘与 SO_2 污染逐步得到控制后,将会逐渐引起重视。特别是在火电密集的沿海地区、重点中心城市、人口稠密的敏感区域,燃煤烟气脱硝工程正酝酿着大规模上马。目前我国环评已批、待批的电厂脱硝项目有30个以上,脱硝规模约为3000万kW。国内第一家应用SCR烟气脱硝技术的是漳州后石电厂,供货商为巴布科克-日立(BHK)^[1]。

2004年9月,厦门华夏电力公司与上海电气石川岛环保工程公司签订了嵩屿电厂二期2×300 MW 机组烟气SCR脱硝工程总承包合同,2005年7月,双方再次签订一期2×300 MW 机组烟气SCR脱硝工程总承包合同。其中的一期脱硝工程属旧机组新增的技改项目,二期的脱硝工程则属新机组扩建环评要求的项目。工程采用设计、制造、施工、调试总承包的方式进行管理,4台烟气SCR脱硝装置在2006年4月~10月陆续投运。这标志着除催化剂外,我国SCR烟气脱硝在关键技术自主设计、主要设备国产化方面取得了较大的突破。

1 工艺过程

1.1 喷雾干燥脱硝原理

在 NO_x 的选择催化还原过程中,通过加氨把烟

气中的 NO_x 转化为氮气和水的。烟道中烟气脱硝的主要化学反应如图1所示。

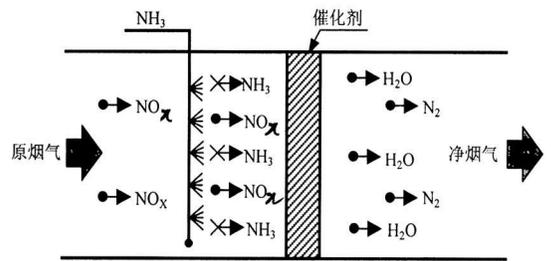


图1 SCR烟气脱硝工艺过程示意

1.2 SCR脱硝工艺过程

嵩屿电厂SCR系统布置在省煤器和空预器之间,属高尘布置法。工艺由氨区和催化反应区两大部分组成,见图2。其中氨区包括储氨罐、气化器、压缩机及稳压罐等设备;催化反应区则由反应器壳体、催化剂、稀释风机、注氨格栅(AIG)及吹灰器等设备组成。

槽车运来的液氨由压缩机输送到储氨罐,液氨在气化器内经 45°C 左右的水浴蒸发成氨气,送到氨气稳压罐。氨气经调压阀减压后送入氨气/空气混合器中,与来自稀释风机的空气混合,通过AIG的喷嘴喷入烟道中,与烟气均匀混合后进入催化反应器。 NH_3 与 NO_x 在催化剂的作用下发生催化还原反应, NO_x 被还原为无害的 N_2 和 H_2O 。

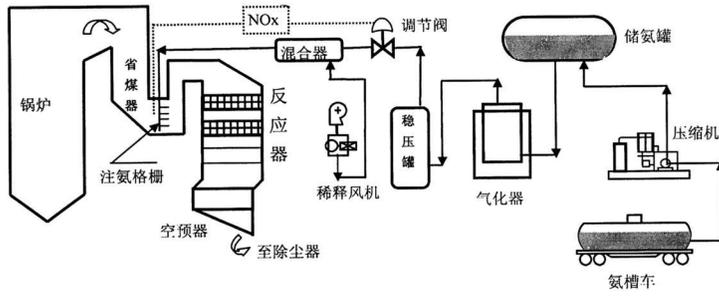


图 2 嵩屿电厂 SCR 烟气脱硝工艺流程

2 工艺参数

嵩屿电厂烟气 SCR 系统主要工艺参数见表 1。

表 1 嵩屿电厂烟气 SCR 系统主要工艺参数

项目	设计值	项目	设计值
烟气量(干标)/ $m^3 \cdot h^{-1}$	918 639	脱硝效率/%	≥ 60
入口 NO_x (干标)/ $mg \cdot m^{-3}$	450~707	氨逃逸量/ $\times 10^{-6}$	≤ 3
SCR 运行温度/ $^{\circ}C$	280~380	SO_2 转化为 SO_3 /%	≤ 1
SV 值/ h^{-1}	5 346	SCR 压降/Pa	$\leq 1 000$

注:设计煤种硫分为 0.63%,烟气量为标准状态值。

3 工艺系统

3.1 氨区

氨区中的所有设备为 4 台 300 MW 机组烟气 SCR 脱硝装置共用。

3.1.1 储氨罐

氨区设 3 个 $100m^3$ 水平卧式布置的储氨罐,保证 4 台 300 MW 机组烟气脱硝 2 周的储氨量。每个储罐都配备了 2 个互为备用的安全阀以及液位计、温度计、压力表等监控保护装置。主要液氨管道配备了止回阀及安全阀,以避免出现氨气超压泄漏或爆炸等事故。

储氨罐有两个热工保护,一是当罐体温度高于 $30^{\circ}C$ 时,联锁启动氨罐周围的水喷淋装置进行降温;二是当罐体压力大于 1.9 MPa 时发出报警信号。

3.1.2 压缩机

压缩机用于槽车的正常卸氨和储罐之间的检修倒罐。氨区设有 2 台互为备用的美国 CORKEN 公司的氨气压缩机,出力为 $30m^3/h$ 。槽车中液氨的排出是通过向其上部空间输入高压氨气把液氨压出来。高压氨气则通过联接储氨罐上部饱和氨气并由压缩机增压获得,高压氨气输入槽车后,利用气氨与液氨

的压差卸料(见图 3)。另外,槽车中残余的氨气也可通过压缩机反向旋转压回储氨罐。

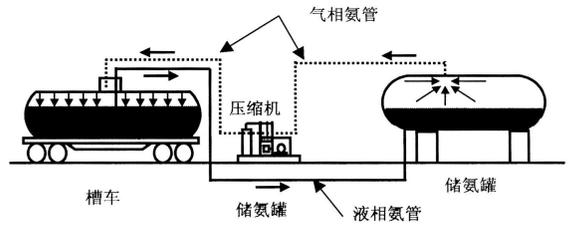


图 3 压缩机卸氨工作原理

3.1.3 气化器

气化器的作用是把液氨转化为气氨。气化器采用蒸汽加热,气化能力为 $400 kg/h$,出口氨气压力为 0.28 MPa,设置为两用一备。气化器的主要部件为螺旋式盘管,管内介质为液氨,管外介质为温水,水浴温度为 $45^{\circ}C$ 。图 4 为气化器的结构示意图。

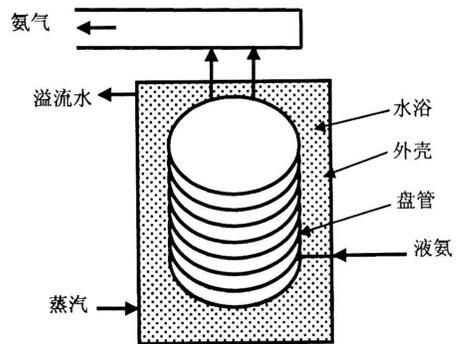


图 4 气化器的结构示意图

3.1.4 其他设备

气化器出来的氨气在送至 SCR 反应器前,先储存在缓冲罐中,以稳定供气源。储氨罐周围设有

2只自动漏氨检测仪,以检测氨气的泄漏。氨区中的主要设备和液氨管道均设有氮气吹扫管线。另外,氨站还设有洗眼器等安全防护设施。

3.2 催化反应区

3.2.1 稀释风机

SCR脱硝系统采用 NH_3 作还原剂,其在空气中的爆炸极限为15%~28%,为保证 NH_3 注入烟道的安全性和混合的均匀性,采用稀释风机将氨浓度降低到爆炸下限以下,控制在5%以内。每台炉设3台风机,两用一备,出力为 $3\,220\sim 5\,153\text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.2.2 注氨格栅(AIG)

AIG是SCR系统中的关键设备。向烟道中注氨的均匀性,直接关系到脱硝效率和氨的逃逸率两项重要指标。以二期工程为例,在稀释了的氨气母管之后,每个SCR反应器设有 9×3 根伸入烟道的注氨支管,每根支管上有10个不锈钢喷头,即27根注氨支管与270个喷头组成了AIG,均均地分布在SCR进口侧烟道的截面上。另外,在注氨支管上设置了流量调节阀、节流孔以及差压计,用于调整注氨的均匀性。

3.2.3 反应器壳体

反应器壳体采用标准的板箱式结构,辅以各种加强筋和支撑构件来满足防震、承载催化剂、承受荷载和抵抗应力的要求,并且实现与外界的隔热。反应器还设有门孔、观察口、单轨吊梁,用于催化剂的安装、运行观察和维护保养。反应器由钢结构支撑,尺寸是 $7.66\text{ m}\times 8.99\text{ m}\times 10.5\text{ m}$ ($L\times W\times H$)。

3.2.4 催化剂

催化剂是脱硝反应中最关键的因素。催化剂装填量的多少,取决于设计的处理烟气流、脱硝率以及催化剂的性能。催化剂模块是商业催化剂的最小单元结构,若干个模块组成催化剂箱体结构,若干箱体再组成催化剂层,若干层催化剂组成脱硝反应器。该工程在初期设计时选用2层催化剂,脱硝率达60%以上,远期增加1层催化剂,脱硝率达90%以上。

(1)催化剂模块。嵩屿电厂选用方型蜂窝催化剂模块,每个模块长度为717 mm,断面积为 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$,其上开有 22×22 个气流,孔气流孔径为7 mm,孔壁厚小于1 mm。

(2)催化剂钢箱。催化剂钢箱框用于固定催化剂模块,同时便于模块的运行与安装。钢箱由一个

薄金属筒体构成,它的下面设有一个用于搬运的支撑格栅,上面分布很多不锈钢网格,用于保护催化剂,避免外界杂质或灰尘的堆积。箱内装有 $8\times 8=64$ 个催化剂模块,各模块之间用弹性的陶瓷纤维进行密封,用以防止催化剂受外部振动破损及未处理烟气的泄漏。

(3)催化剂反应层。每层催化剂由 6×7 只钢箱组成。为了防止烟气短路,钢箱之间的间隙采用薄钢片密封。图5为蜂窝式催化剂反应层示意图,图中的每一小方块代表了催化剂钢箱。初期设计的脱硝率为60%,先布置2层催化剂,远期布置3层催化剂,脱硝率可达90%以上。每层催化剂布置3个伸缩型蒸汽吹灰器。图6为催化剂反应层在反应器中的位置。

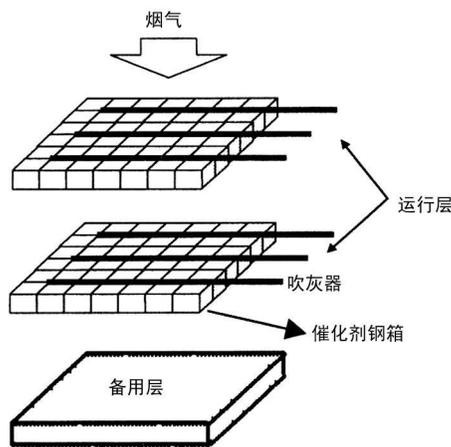


图5 催化剂反应层示意

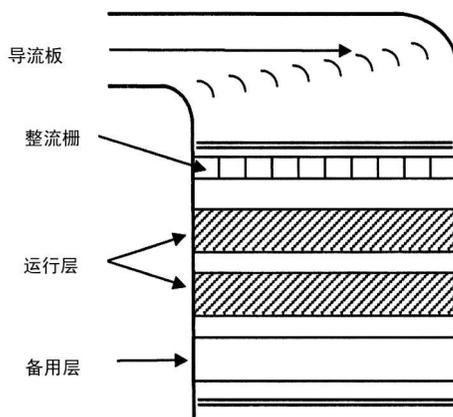


图6 反应层在反应器中的位置

4 技术特点分析

4.1 氨区的安全技术

由于氨是化学危险品,具有爆炸性和可燃性,泄漏时,氨的扩散能力很强,对周围环境及人体的毒害性大。因此,该工程把氨区作为重要的区域来设计,借鉴化工行业的设计技术规范,把氨区的防火、防爆、防毒害等可能出现的不安全因素的防范措施纳入设计范围,采取双水路供水喷淋、储氨罐双安全阀设置、自动漏氨检测仪设置、氮气吹扫等技术措施来保证氨站的安全与稳定运行。

4.2 氨气/烟气的混合技术

工程设计的难点是 SCR 反应器注氨系统。注入的氨气与烟气均匀混合是保证脱硝率和减少氨逃逸率的重要措施。该工程除了在每个 SCR 反应器的注氨烟道断面上布置了数量较多的喷嘴外,在喷嘴与催化剂层之间的烟道上又布置了氨气/烟气静态均混器、导流叶片、气流整流器,以达到烟气与氨气的均匀、有效混合。

4.3 催化剂的选用

催化剂是 SCR 脱硝系统中最核心的部位。目前,国内尚无商业化生产 SCR 脱硝催化剂的能力与条件,只能全部依靠进口。但即使这样,选择催化剂时,仍有很多因素需要考虑。本工程在分析了催化剂的型式、尺寸、体积、前后压降、气流孔径、使用温度等常规因素后,还重点考虑以下几方面的问题。

(1)催化剂组分的选择。选用的催化剂为美国 Cometech 公司生产,其主要组分可表示为 $V_2O_5 - WO_3(MoO_3)/TiO_2$ ^[3]。 V_2O_5 是活性组分,但同时也能将 SO_2 氧化成 SO_3 ,其质量分数控制在 1% 以下。选用 TiO_2 (约 90%) 作载体的原因:一是钒氧化物在 TiO_2 的表面有很好的分散度与活性;其次是 SO_2 氧化生成的 SO_3 与 TiO_2 的反应很弱,且是可逆的。组分中 WO_3 的含量约占 10%,其作用是增加催化剂的活性和热稳定性。组分中 MoO_3 约占 6%,主要用于抑制 SO_2 的氧化和防止催化剂受烟气中 As 的毒害。

(2)CaO 的影响。该工程燃用的两种校核煤种(以神华煤为主)中 Ca 高达 25%~30%。飞灰中的 CaO 与催化剂表面吸收的 SO_3 反应生成 $CaSO_4$,会覆盖催化剂表面,使得催化剂活性下降。减少飞灰中 CaO 不利影响的措施主要是通过改善催化剂的配方,如在催化剂组分中适当增加 W、Mo 的含量,抑制

SO_3 的生成,从而减少 $CaSO_4$ 的形成。

(3)灰分的影响。本工程烟尘高达 $28 g/m^3$,对催化剂的耐腐蚀性能提出了较高的要求。催化剂由于高尘磨损,使用寿命大为降低。减少飞灰对催化剂磨损的主要措施是优化 SCR 系统烟气流场,使催化剂入口飞灰分布均匀合理,同时对烟气进口侧的催化剂边缘进行硬化处理。

4.4 催化剂层数的设置

层数设置是以满足排放标准为前提,尽量减小初期投资为原则。一般 1 层催化剂的脱硝效率可达 40%,2 层可达 70%,3 层可达 90%。考虑到该工程初期脱硝效率不低于 60%,远期脱硝效率不低于 90%的要求,采用 2(运行)+1(预留)的 3 层催化剂结构方案,减少了 SCR 所占空间和初投资及运行、检修维护的费用。同时,预留备用层从远期角度满足我国不断提高的环保要求,灵活性强。2005 年 4 月,电力规划设计总院与国家五大电力设计院在北京组织召开了火电厂烟气脱硝技术及 SCR 脱硝装置预留方案专题研讨会,会议也建议目前暂按 2(运行)+1(预留)来设计催化剂层数。

4.5 未设旁路和灰斗

设置旁路的 SCR 脱硝系统存在旁路挡板的密封和积灰问题,而且投资、运行和维护费用较高。考虑到该工程每年正常启停次数在 10 次以下,借鉴国外的经验,取消旁路设置,简化系统。另外,为减少投资,SCR 反应器未设灰斗,仅对进入空预器的 SCR 反应器出口烟道的走向与角度作适当优化,SCR 吹灰器吹出的积灰,直接由空预器的灰斗来承担。

参考文献:

- [1] 陈化宾. 燃煤电厂选择性催化脱硝工艺的实践与探讨[J]. 电力环境保护, 2003 19(3): 21-23.
- [2] 贾双燕, 路涛, 李晓云, 等. 选择性催化还原烟气脱硝技术及其在我国的应用研究[J]. 电力环境保护, 2004 20(1): 19-21.
- [3] 杨卫娟, 周俊虎, 刘建忠, 等. 选择性催化还原 SCR 脱硝技术在电站锅炉的应用[J]. 热力发电, 2005, (9): 10-14.
- [4] 张强, 许世森, 王志强. 选择性催化还原烟气脱硝技术进展及工程应用[J]. 热力发电, 2004, (4): 1-6.
- [5] 管一明, 胡宇峰. 火电厂高飞灰布置 SCR 系统的主要组成和设备[J]. 电力环境保护, 2004 20(4): 25-27.

收稿日期: 2006-04-21; 修回日期: 2006-10-10

作者简介: 陈进生(1970-), 福建南安人, 高级工程师, 厦门大学博士研究生, 主要从事火电厂环境污染治理与环境化学分析。E-mail: xmucjs@126.com