

SCR 氨区的运行维护

陈建明

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要:液氨是选择性催化还原脱硝法 (SCR) 工艺首选的脱硝反应剂, 它属于危险化学品。氨区的安全运行是 SCR 系统安全稳定运行的基础保障。本文从氨区的运行、维护、人员防护和事故处理等方面阐述了 SCR 系统运行维护中需要注意的一些关键点。

关键词: SCR; 氨区; 运行; 维护

0 引言

氮氧化物 (NO_x) 是主要的大气污染物之一, NO_x 的排放会造成环境污染, 导致酸雨, 形成光化学烟雾, 其中的 N₂O 会破坏臭氧层, 产生很强的温室效应。火力发电厂是 NO_x 排放的主要来源, 主要包括 NO、NO₂ 以及少量的 N₂O。国家环保部的统计数据显示, 2010 年全国的 NO_x 排放量超过 2000 万吨, 其中很大部分的排放来源于火电厂的锅炉燃烧。

火电厂 NO_x 排放的主要控制措施有锅炉的燃烧过程控制和尾部烟气的净化处理即烟气脱硝处理。一般来说, 仅依靠锅炉的低氮燃烧和燃烧优化调整等燃烧过程控制措施还不能够满足《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011) 中燃煤锅炉 NO_x 的排放浓度 100mg/m³ 的限值^[1], 因此, 火电厂需要在锅炉尾部烟道安装烟气脱硝装置来对烟气进行净化处理, 将锅炉燃烧形成的 NO_x 还原成无害的氮气 (N₂)。

烟气脱硝处理的主流技术是选择性催化还原法 (SCR) 与选择性非催化还原法 (SNCR)。目前在火力发电厂中应用最广泛, 技术成熟且最有成效的是选择性催化还原法 (SCR)。

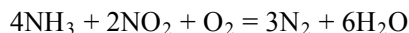
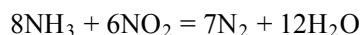
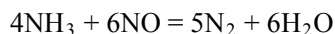
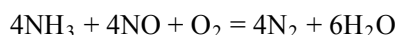
1 SCR 烟气脱硝技术原理简介

选择性催化还原法 (Selective Catalytic Reduction) 简称 SCR。SCR 烟气脱硝技术具有高效率的特点, 其脱硝效率可以达到 80-90%, 甚至能达到 95% 以上, 是目前唯一能使火电厂 NO_x 的排放浓度降低到 50mg/m³ 以下的技术。

SCR 烟气脱硝系统由氨区供氨系统、催化反应系统以及控制系统等组成。氨区供氨系统一般设置

在火电厂厂区厂界附近的相对独立区域, 为催化反应系统的烟气脱硝提供适量的氨还原剂。SCR 反应系统通常布置在锅炉的省煤器出口与空气预热器入口之间, 锅炉热烟气在进入 SCR 反应塔前, 在反应塔的上游烟道中喷入氨气 (NH₃), 使氨与烟气充分均匀混合后进入反应塔。氨在反应塔中催化剂的作用下, 在有氧气的条件下选择性地与烟气中的 NO_x (主要是 NO 和少量的 NO₂) 发生化学还原反应, 将 NO 和 NO₂ 转换成无害的氮气 (N₂) 和水 (H₂O), 从而脱除烟气中部分 NO_x。

氨在催化剂的作用下与烟气中的 NO 和 NO₂ 发生还原反应, 其反应方程式主要有以下 4 个, 其中第一个反应方程式是 SCR 烟气脱硝的主要反应。



2 氨 (液氨) 的特性

SCR 脱硝法必须要有脱硝还原介质, 氨是 SCR 烟气脱硝系统最常用的脱硝还原介质, 通常以液氨的形式储存。

氨是无色、有刺激性恶臭的气体, 易溶于水、乙醇、乙醚。液氨是无色、有刺激味的液体, 与水完全相溶。通常氨水的浓度在 19~35% 之间, 其水溶液呈强碱性, 是具有腐蚀性的液体, 依据危害物质分类, 氨水属于第八类腐蚀性物质。氨气在 651℃ 以上时会有自燃现象发生, 当空气中的氨气浓度达到 15~28% 的爆炸界限范围内时会有爆炸的危险性。氨遇明火、高热等能引起燃烧爆炸, 与氟、氯等接触会发生剧烈反应。遇高热时氨的存储容器内压增

大,有开裂和爆炸的危险,根据“道化学公司(DOW)火灾、爆炸危险指数评价法(第7版)”进行评价分析,氨储存系统的危险等级为“最轻”。

氨是敏感性气体,很低的浓度即可被察觉,通常 $5\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$ 即可闻到臭味。对人体的皮肤、眼睛、粘膜有刺激作用。即是极稀薄的氨气,持续吸入也会引起食欲减退,并对胃有损害。少量的氨一进入眼睛就会因刺激而流泪,一接触伤口就会感到剧痛。浓度高的氨气可造成一定的腐蚀性甚至组织溶解坏死,会直接侵害眼,咽喉等部位,引起呼吸困难,支气管炎,肺炎等,严重时会导致死亡。

3 氨区的运行特点

氨(液氨)的特性决定了防止氨气泄漏与空气混合造成爆炸是氨区最关键的运行特点,氨区系统的安全、稳定运行是 SCR 甚至是电厂安全运行的核心。

氨区就是液氨的存储区,一般包括液氨的卸料压缩机、储存罐、蒸发器、氨气缓冲槽、氨气稀释槽及废水泵、废水池等。卸料压缩机将液氨由液氨槽车输入液氨储存罐内,液氨储存罐输出的液氨在液氨蒸发槽内蒸发为氨气,经氨气缓冲槽通过管道送到脱硝的反应系统。氨气系统紧急排放的氨气则排入氨气稀释槽中,经过水的吸收以后排入废水池,由废水泵将氨水输送出氨区再进行废水处理。

氨区系统运行之前所有的设备、阀门应当完好,所有的安全阀、压力表、温度计、液位计等表计需要经过有资质的检定机构检定合格并在有效期之内,所有的调节阀应动作灵活,所有的电机都通过工作绝缘的检查合格。

氨区系统运行期间需要加强对氨储存、氨输送等方面的安全管理,防止氨气的泄露。运行时严格控制氨区汽化器出口的氨气压力,经常巡视各箱罐的实际液面,定期巡检卸氨压缩机、输送泵、气化器、阀门等的运行情况,发现问题及时处理,同时做好各箱罐、气化器、机泵等设备工艺参数和运行记录。

4 氨区的运行和维护

氨区的安全运行和维护是 SCR 系统安全稳定运行的基础,其工作内容主要包括以下几个方面:

4.1 氮气吹扫

氨区需要保持系统的严密性以防止氨气泄漏及氨气与空气混合造成爆炸,这是关键的安全问题。氨区的压力容器、管道首次使用或者维修以后重新启用时需要完成有关水压和气压试验,然后进行气密性试验,待试验合格以后才能投入使用。

一般来说,氨区卸料压缩机、液氨贮罐、氨气蒸发器、氨气稳压罐等都备有氮气吹扫管线。在液氨卸料之前通过氮气吹扫管线对以上设备分别进行严格的系统严密性检查和氮气吹扫,防止氨气泄漏和系统中残余的空气与氨混合造成危险。

4.2 氮气置换

氮气置换需要重复多次直至所有容器、管线中氧气的含量低于设计值(一般为 $1\sim 3\%$)。氮气置换以后应保证系统存留氮气并保留 0.05MPa 以上余压,余压最高不得超过当时环境温度下介质的饱和压力。

4.3 液氨卸载

液氨卸载时首先需要对运氨槽车进行安全检查,遇到雷雨天气、槽车泄漏以及附近有明火、易燃、有毒介质泄漏等不安全因素影响卸氨时槽车禁止进入氨区卸氨。槽车押运员只负责槽车上软管的连接,不准操作卸车站台的设备、阀门和其它部件,必须由专业卸车人员负责管道的连接和阀门的开关操作。

卸氨操作时作业人员不得离开现场,发生异常情况及时处理。液氨卸料速度不应太快。首次卸载液氨量一般不超过液氨储罐容量的 50% ,运行期间液氨的进液量一般控制在 $\leq 85\%$ 的液氨储罐容量^[2],并随时注意其液位的变化。

氨区卸氨结束以后等待 $5\sim 10\text{min}$,待周围空气中氨浓度下降以后方可启动液氨槽车。液氨储存罐进液氨 24h 以后需要排污 1 次。氨区储存、补充和置换氨气时应缓慢开关阀门,让氨气缓慢释放。

4.4 氨气泄露检测

氨区设有就地的氨泄漏仪来检测氨区大气中的氨浓度,监视氨区的氨气泄漏情况。当检测到大气中氨浓度过高时,机组控制室会发出警报,提醒操作人员采取必要的措施防止氨气的泄漏。

氨区氨泄漏仪的定期检定并保持合格完好是保证氨区安全运行的基础。

4.5 氨区运行

氨区运行前应检查氨区储罐的液位计、进出口

管道、阀门是否通畅、清晰，密切控制液氨的进液压力和流量，严禁超压超流量运行。停运时间超过 24h 时氨区设备的电机需要经过工作绝缘的检查并合格以后才能运行使用。

运行过程中应注意监视氨区各箱罐的实际液位，记录、分析相关的运行数据，防止因“虚假液位”、自控失灵等造成事故而影响氨区的安全生产和 SCR 的脱硝效果。

氨区的运行应严格执行《火电厂烟气脱硝（SCR）系统运行技术规范》，定期进行氨区相关设备的切换运行，其中卸氨压缩机每周切换 1 次，液氨蒸发器每 2 周切换 1 次^[2]。定期检查液氨储罐的安全阀、紧急关断阀、逆止阀等装置以确保液氨储罐的安全。

氨区正常停运时需要提前 2h 开始进行停车运行操作，主要包括停止蒸汽、液氨的供应。遇紧急情况需要紧急停运时，及时关闭液氨贮罐出氨阀门以及气化器的进氨阀门，及时通知主控停止氨区的蒸汽供应。然后对液氨卸料、储存、蒸发、输送等相关的设备、容器和管道进行氮气吹扫管线。长期停运时应将氨区各箱罐、地坑内的氨水排放干净。

4.6 氨区废水处理

氨区设计中考虑了氨事故泄露时的事故喷淋措施，但考虑到发生重大氨气泄露时大量喷淋废水的收集与处理的则比较少见。大部分设计仅考虑日常工况下氨气紧急排放泄露时喷淋水的吸收处理，而吸收氨气以后的含氨废水不经处理排入电厂的工业废水处理系统，而该系统一般不具备脱氮功能。

氨区的事故喷淋需要定期投运，建议每周定期投运 15-30min，投运期间检查每一个喷淋点，对存在问题及时消缺，保证事故喷淋系统的运行处于正常状态。

考虑到发生重大氨气泄露事故时需要大量的喷淋水，氨区应当健全重大氨气泄露事故应急处理预案。建议有条件的发电厂完善防止液氨储罐泄露事故的措施，在氨区配置足够的安全容积以防止液氨储罐因漏损、破裂等事故发生外泄。

4.7 氨区维护

氨区维护应纳入火电厂全厂的维护保养计划，其检修时间间隔应与机组的要求一致。电厂应根据 SCR 系统、设备等资料制定详细的维护保养规定。

氨区维护人员应根据设备、系统的维护保养规

定进行定期检查、更换或维修必要的部件。定期检查氨区各储罐的压力计、液位计、温度计等仪表的运行状态，如有异常及时处理。定期检查氨区卸料的设备管线的可靠连接。

按要求进行转动设备的维护工作，严禁敲打氨区设备、管道，严禁带压修理、紧固管道法兰、设备，严禁急剧操作、排放，防止因冲击、摩擦等引起自燃甚至爆炸。氨区的气密性试验禁用火检查，应用肥皂水或者氨泄漏仪等检测。设备管道冬季停运时北方（包括淮河甚至长江以北）等地区需要采取防冻措施，氨区设备管道的解冻禁用火烤解冻，应用蒸汽或者热水进行解冻。

氨区停运后的检查维护严格遵守防火规定，使用不发生火花的工具，氨区设备操作、检修时应用铜（镀铜）的工具操作，以防止产生火花。需要动火检修时必须使用动火工作票，检修前做好可靠的隔绝措施，并对设备管道等用惰性气体进行充分的置换，经检测合格以后方可动火检修。严禁在存储氨的管道和容器外壁进行焊接、气割作业。

5 氨区的人员防护

针对氨区液氨这个危险源，火电厂需要做好风险预控，组织相应的防护安全措施，做好包括氨区运行、检修、维护等人员的防护工作，主要包括对呼吸系统、眼部以及表面皮肤等的防护。

5.1 对呼吸系统的保护

在氨供应区开展巡视、检修、维护等工作时必须佩戴专用面罩，紧急情况下必须使用正压式空气呼吸器方可进入。当明确氨气浓度 $<2\%$ 时可以使用呼吸罐式氨用防毒面具。当氨气浓度 $\geq 2\%$ 或者浓度不清楚大小的情况下戴送风式面罩，送入空气或者氧气以供呼吸。

需要进入密闭、换气不良的场所时，在戴上呼吸保护器的同时，还需要另外安排一人（或多人）并穿戴好防护用具在外面作为警戒，以防不测。

使用的气体面具和呼吸防护用具应定期检查，使用后要保持清洁以备后用。

5.2 对眼的保护

氨区现场设置的安全淋浴装置和洗眼器等设施应处于合格可用状态。相关人员在氨区工作时要佩戴安全眼镜，连接、断开气路以及打开氨储存罐时必须使用防护眼镜和面罩。

5.3 对皮肤的保护

连接、断开氨储存罐时相关人员必须要戴橡胶手套、穿安全鞋、穿化学防护服。进入大规模氨泄漏区域时需要穿全身封闭防护服，紧急情况下需穿防火服及防火手套。

6 氨区的事故处理

火电厂需要完成氨区的事故预想和事故处理预案并定期进行氨区的事故应急演练。氨区发生事故时的事故处理主要包括以下部分：

6.1 人员的疏散救援处理

氨区发生事故以后及时通知相关部门并立即启动紧急应急预案进行事故处理。

相关人员应迅速撤离到疏散集合地，同时清点人员，无关人员不得围观，时刻保持撤离通道的畅通，听从指挥，服从命令。事故现场应立即划出隔离区域，并安排专人看守，并做好安全警示，严防无关人员误入。

6.2 氨泄漏的事故处理

发生氨泄漏时应立即切断泄漏源，停止供氨，停运脱硝系统。及时向有关部门汇报，通知相关人员，立即撤离受影响区域的所有无关人员至上风处，并立即隔离 150m，氨区严格限制出入，切断火源^[2]。

在保证人员安全的情况下，及时清理所有可能燃烧的物品及阻碍通风的障碍物，保持泄漏区域内通风畅通。所有参加抢险的人员都应戴好防毒面具等个人保护用品，判定事故部位以后方可进入泄漏区域开展事故处理工作，及时切断液氨和气氨来源，立即启动现场的水喷淋系统来控制泄漏的氨气。为防止吸收氨气后的水造成二次污染，应立即启动废水排放系统。

无论何种场合，最重要的第一步是把氨泄露的受害者运到没有氨气的安全场所，在 20℃ 左右的温暖房间内保持安静，并尽快联系医生接受治疗。对神志不清的患者，千万不要从口中喂食。如果患者能够饮用饮料，应给以大量的 0.5% 柠檬酸溶液或柠檬水。

6.3 氨触溅的应急处理

氨（液氨）泄露时很容易发生人员的氨触溅，需要及时进行处理。

发生皮肤接触时，立即除去受污染的衣物，将受损的部位用充足的冷水冲洗 10min 以上，接着用

2~3% 的硼酸水冲洗，最后用清水洗净。禁止在受伤部位涂软膏之类的药，要用经过硫代硫酸钠饱和溶液湿润的布把伤口盖上。

发生眼睛接触时，立即翻开上下眼睑，用流动的清水或生理盐水冲洗至少 20min，并送医院急救。如果要用 2~3% 的硼酸水来冲洗，在准备硼酸水的过程时段里也必须用水不断地洗眼。

6.4 中毒的事故处理

氨区发生吸入中毒时应及时采取措施使中毒人员迅速转移到空气清新处，保持中毒人员呼吸道的畅通。同时立即向厂部、医院等有关部门汇报情况。

如果有人发生昏迷应立即进行就地的人工呼吸抢救，并及时联系当地医院或直接拨打 120 急救中心请求急救。当呼吸已变得很弱时，应立即用 2~3% 硼酸水洗鼻腔，让其咳嗽。如呼吸停止的话，马上进行人工呼吸，为了不伤及伤者的肺部应采用口对口呼吸法从口中向伤者口中送入空气。

6.5 火灾和爆炸的事故处理

氨区发生火灾时一般选择使用干粉、二氧化碳或水来进行灭火。

发生火灾、爆炸等严重事故时应紧急实施抢救、急救工作，就地紧急抢救伤员，做好现场临时处理，及时组织紧急送往医院救治。所有无关人员迅速疏散到安全集散地。通知消防、医院、劳动保障、公安等相关部门。

救灾抢险人员必须佩戴正压式空气呼吸器，穿专用的全封闭防护工作服，戴厚胶皮手套防冻伤。在确认无爆炸危险的情况下切断氨气的泄漏源，若不能立即切断气源，则不允许熄灭正在燃烧的气体。

如果发生火灾的氨区液氨储罐临近还有储罐，在保证安全的情况下需要及时对邻近的储罐用水进行冷却，以防事故的进一步扩大。

7 结束语

氨区的运行、维护、检修存在一定的安全隐患。火电厂 SCR 氨区在运行、维护等环节需要采取相应的措施，以保证氨区的安全稳定运行，保证 SCR 系统的脱硝效果。

氨区运行、管理人员需要通过定期岗位培训并经培训合格以后持证上岗，严禁无证人员上岗操作。相关人员需要熟悉氨区系统的原理、构造、性能、工艺流程，会操作、维护、保养、判断、排除故障。

液氨储存罐、卸料压缩机等设备的安全阀需要定期校验合格以后才能使用。定期检定氨区的监视仪表，保证就地监测数据的准确性，发现不合格时及时更换。

建立并健全氨区的防火、防爆管理制度，定期通过消防复检。定期检查氨区所有电气设备的防静电措施，检查防静电接地点的锈蚀状况，保证氨区防静电处理措施处于合格状态^[3]。定期进行氨区自动喷水灭火系统的试运^[3]，保证氨泄露以后的消防保护措施及时有效。定期进行氨区的应急事故演练。

参考文献：

- [1] GB 13223-2011, 火电厂大气污染物排放标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [2] DL/T 335-2010, 火电厂烟气脱硝（SCR）系统运行技术

规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2011.

- [3] GB/T 21509-2008, 燃煤烟气脱硝技术装备[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [4] 张磊. 江苏国华陈家港电厂一期2×660MW机组工程脱硝氨区系统调试措施[R]. 南京:江苏方天电力技术有限公司, 2010.
- [5] 张磊. 陈家港电厂一期工程脱硝氨区系统调试报告[R]. 南京:江苏方天电力技术有限公司, 2011.

作者简介：

陈建明（1967—），男，江苏常熟人，高级工程师，从事电力环保试验研究工作，Email: cjm6611155@sina.com。