

# 尿素水解制氨系统在火电厂烟气脱硝中的应用与优化

李大龙

国能太仓发电有限公司

**摘要** 尿素水解制氨工艺在火电厂SCR脱硝系统中得到了越来越多的应用, 针对尿素水解装置在运行中存在的问题, 优化尿素水解制氨系统, 将原有的蒸汽伴管伴热改为夹套管伴热, 新增新一代的水解反应器, 提高反应液浓度, 大大提高了脱硝系统的安全性、稳定性及经济性, 为类似水解工艺存在的问题提供了解决思路。

**关键词** SCR; 烟气脱硝; 尿素水解制氨

**DOI** 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.12.515

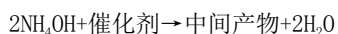
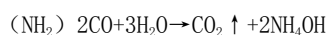
随着国家对环保标准的要求越来越高, 特别是对燃煤电厂提出烟气“超低”排放改造以后, 如何更好地控制烟气氮氧化物, 已成为各火电厂最关心的问题之一。现阶段, SCR技术是最主流的烟气脱硝技术, 它是利用氨气与烟气中NO<sub>x</sub>在催化剂作用下反应生成无毒无污染的氮气和水。

氨气作为SCR技术中的主要还原剂, 主要来源有液氨、氨水及尿素。液氨与氨水在生产运输及存放中存在有较大的安全风险, 属于重大危险源。而尿素是农业常用的肥料, 在常温常压下为固体, 无毒无害, 具有良好的稳定性。目前, 尿素制氨技术主要包括尿素热解制氨技术、尿素水解技术。而尿素水解技术凭着能耗低, 运行安全、稳定、可靠, 在火电厂烟气脱硝中得到了越来越多的应用。

## 1 尿素催化水解技术研究

### 1.1 尿素催化水解技术原理

尿素催化水解技术是在135℃~160℃、压力为0.5M~0.95MPa的条件下, 50%浓度尿素溶液在催化剂作用下, 发生催化水解反应, 生成氨气混合气, 氨气体积浓度为37.5%。尿素催化水解反应速度较快, 较传统水解法提高约10倍, 响应时间可在1min以内。尿素水解化学反应过程为:



### 1.2 工艺流程

尿素水解系统主要包括尿素溶液供给系统、蒸汽加热和吹扫系统、氨气供给系统以及废液和废气排放系统。质量分数为50%的尿素溶液和催化剂溶液分别通过输送泵输送到反应器内, 在温度135~160℃、压力0.5~0.95MPa条件下进行水解反应, 生成NH<sub>3</sub>和CO<sub>2</sub>。加热蒸汽取自电厂蒸汽系统, 蒸汽经过减压后进入水解反应器加热盘管, 从加热盘管排出的疏水进入疏水箱。尿素水解系统产生的废液和废气由废水箱进行收集处理, 然后再经离心泵输送到电厂指定的排放位置。尿素水解混合气包括氨气、水蒸气和二氧化碳, 其中氨气占38%, 经过减压、流量控制调节后与电厂的热一次风进行混合, NH<sub>3</sub>体积分数降至5%以下, 最后进入SCR脱硝反应器入口烟道进行脱硝。

### 1.3 尿素催化水解技术优势

尿素催化水解制氨技术是一种新研发的尿素制氨技术, 其具有以下技术优势: (1) 运行成本低。由于反应温度低, 可以利用电厂低品质蒸汽作为加热热源, 使电厂制氨运行成

本大幅度降低。(2) 反应速度快。与传统尿素水解相比, 由于采用了催化技术, 尿素催化水解反应速度提高10倍左右, 当锅炉负荷变化时, 可以及时满足脱硝工程对氨气的需求量。(3) 设备布置方便。与尿素热解相比, 尿素催化水解设备比较小, 布置更加灵活。(4) 设备运行灵活性高。尿素催化水解系统具有2种运行方式: 母管制运行方式和单元制运行方式。母管制运行可以采用1拖2, 或者1拖3的方式, 即1台水解器供2台或者3台炉脱硝, 这种方式可以同时降低运行成本和投资成本。单元制运行方式是指1台水解器供1台脱硝反应器, 这种方式系统简单, 但是投资成本较高。

## 2 尿素水解系统主要组成

### 2.1 尿素溶解与输送系统

袋装尿素通过电动葫芦输送到尿素堆料区。配制尿素溶液时, 通过电动葫芦将袋装尿素输送到尿素溶解罐卸料口, 拆包后的尿素从卸料口进入溶解罐。设置1台尿素溶解罐, 满足8h配制2台机组100%BMCR工况运行脱硝2天所需的尿素溶液。溶解罐容积22.6 1113, 材料为304L, 罐体保温。在溶解罐中用除盐水将干尿素溶解成质量分数为40%~60%尿素溶液, 通过尿素溶液循环泵输送到尿素溶液储罐。设置2台尿素溶液储罐, 总容量按满足2台机组100%BMCR工况运行7天(每天24h)用量设计。储罐基础为混凝土结构, 将储罐放置在室内, 尿素水解车间装有暖气。尿素溶液储罐容积72m<sup>3</sup>/台, 材料为304L, 罐体保温。

### 2.2 尿素水解系统

所设置的2台尿素水解器布置于尿素车间。每台尿素水解器的容量为2x330 MW机组BMCR工况下的供氨量, 即每台尿素水解器产氨量为232 kg/h。将质量分数40%~60%的尿素溶液输送到尿素水解器内, 蒸汽通过盘管的方式进入尿素水解器, 蒸汽通过盘管回流, 不与尿素溶液混合, 冷凝水由疏水箱回收。尿素水解器内气液两相平衡体系的压力为0.48~0.6 MPa。温度为130~160摄氏度。由尿素水解器中出来的含氨成品气经厂区气氨管道输送到SCR反应器区。

## 3 某电厂原有尿素水解制氨系统

某电厂有两台330MW的热电联产机组, 脱硝均采用SCR技术, 氨气制备系统采用尿素水解制氨装置。设计制氨能力为374kg/h(单台), 主要包括以下几个系统:

(1) 尿素溶液配置及储存系统: 主要包括尿素储存室、尿素溶解罐、尿素溶液输送泵、尿素溶液储存罐、尿素溶液给料泵等。主要用于制备反应液浓度为15%的尿素溶液。

(2) 尿素水解系统: 包括两台水解反应器(一运一

备), 采用的加热汽源为厂区的中压蒸汽, 运行中反应器压力控制在1.0~1.2MPa, 温度在160~175℃。尿素在一定条件下被水解转变为氨和二氧化碳, 这些带有水汽的混合气体被输送至气氨缓冲罐中。水解后剩下的水解液经过尿素溶液换热装置和板式水冷器换热降低温度后, 收集到回用水缓冲罐作为溶解液回收利用。

(3) 产品气输送系统: 水解器产生的气氨输送至气氨缓冲罐, 再经产品气管道输送至氨-空气混合器, 用于SCR区脱硝反应。整个产品油气输送管道的拌热保温采用的是蒸汽伴管方式, 伴热保温蒸汽来自水解反应器加热后的蒸汽汽源。

(4) 喷淋系统和氨气吸收系统: 尿素水解器和氨气缓冲罐顶部设有喷淋系统, 当有氨气泄漏报警时可以启动喷淋, 同时容器压力达到保护定值后, 泄放的氨气会排至氨气吸收罐。

#### 4 原有水解制氨系统中存在的问题

该套水解装置运行基本满足了电厂脱硝的用氨及节能提效过程中用氨量增加的要求, 但也存在以下几个突出的问题:

(1) 该装置设计的尿素溶液浓度为15%, 在尿素水解后需有大量的水解残液回流, 但实际运行由于脱硝负荷的不断变化, 水解器内无法形成设计的平衡态, 致使水解后残液基本没有回流, 尿素溶液中的水全部蒸发并随着产品气送往SCR区, 造成产品气中水蒸气含量非常高, 经计算, 400kg氨气所带水蒸气含量约为3788kg。

(2) 由于水解区和SCR区相距较远, 产品气管线较长, 加上所采用的蒸汽伴管拌热效果较差, 导致产品气在输送至气氨混合器后, 温度下降得比较快, 产品气低于饱和温度后, 出现冷凝带水的现象, 而产品气中所携带的水和稀释风所带的粉尘结合后, 容易造成管路堵塞, 风温降低, 进而导致喷氨不均, 脱硝效率下降, 氨逃逸增高。

(3) 能耗高: 该装置采用除盐水来配制尿素溶液, 除盐水消耗量较大, 每小时除盐水消耗量约为4000kg, 并且所用加热蒸汽为品质较高的中压蒸汽, 运行成本高。

#### 5 尿素水解系统的优化升级及改造

该厂对原有水解系统存在的问题并结合“超低”排放后的要求, 在2017年对尿素水解系统进行了优化改造, 主要包括以下几个方面:

(1) 对产品气管道采用蒸汽夹套管伴热。在尿素水解制氨装置产品气输送上, 主要有蒸汽伴管伴热、蒸汽夹套管伴热以及电伴热等三种方式。

采用蒸汽伴管伴热的方式的主要问题是出现故障的概率较高, 并且因伴热管布置的问题, 在一些弯头、法兰的地方, 伴热管线不能完全地贴着管道, 存在伴热不均匀的情况, 加上蒸汽伴管的伴热效率较低, 无法达到所需的伴热效果; 而电伴热方式能耗较高, 且所伴的管道长度受限, 与前面两种拌热方式相比, 蒸汽夹套管伴热具有故障率低、伴热均匀的优点, 并且适用长、短距离管道伴热。夹套管伴热也已在化工行业中运用成熟。

对原有气氨管道伴热由蒸汽伴管改为蒸汽夹套管伴热, 并采用蒸汽逆向加热。氨空气混合器之前的产品气温度由原来

的120℃左右上升至150℃以上, 产品气输送过程中的温度得到有效提高, 杜绝了产品气冷凝现象出现。

(2) 将原有15%的尿素溶液浓度提高至50%。尿素溶液浓度也是影响尿素水解的一个重要因素, 在不同的尿素溶液浓度的条件下, 尿素溶液水解的气相产物成分是不同的。

当尿素溶液浓度呈下降趋势时, 尿素溶液水解产物中的氨气浓度也呈下降趋势, 同时含水量也大大增加。另外, 随着进料溶液中的尿素浓度的降低, 尿素水解反应所需的热量也随之增加。蒸发大量气相产物中存在的过量水蒸气, 致使尿素水解反应需要大量的热量, 所以尿素溶液过浓度低, 同样会造成尿素溶液水解过程中热量的浪费。经过计算表明, 尿素溶液浓度控制在40%~60%时, 尿素水解装置具有较好的运行经济性。原有水解装置中尿素溶液浓度为15%, 产生的产品气中含有大量的水, 通过提高尿素溶液浓度至50%后, 使得产品气中水蒸气含量大幅降低, 400kg氨气的产品气所含的水蒸气量由原来的约3788kg降低至约495kg。同时, 提高浓度后, 所需的水解热量减少, 运行过程中的蒸汽耗量也在原有的基础上降低约66%。

(3) 新增一台产氨能力为400kg/h的尿素水解反应器撬装模块。该撬装成套水解装置成熟可靠, 安装简单、施工周期短。采用的材质为316L, 具有很好的抗腐蚀性。同时该水解器采用最新技术可实现多种自动化控制, 同时优化了安全联锁装置具有水位, 压力联锁保护。当运行参数超过安全参数后, 自动关闭相关的蒸汽进汽阀或尿素溶液进口阀, 自动打开相关的泄压阀。对原有的两台水解器也进行了相应的改造, 实现了与新增水解器互为备用; 并且简化工艺流程, 取消了原有的板式冷却器、换热器、过滤器等设备, 大大减轻了运行人员的工作量。

(4) 将尿素水解系统用蒸汽汽源由原来的中压蒸汽改为辅助蒸汽。由于原来的水解器运行时采用的加热汽源为中压蒸汽。中压蒸汽作为对外供热汽源, 品质较高。而中压蒸汽在进水解器前还要降温降压, 也需要消耗大量的除盐水。在提高尿素浓度后, 水解器加热汽源转用了机组辅汽联箱汽源, 取消了中压蒸汽。蒸汽压力由原来3MPa降至1MPa以下。

#### 总结

与液氨相比, 尿素具有安全性。尿素分解制氨在国内将逐渐成为脱硝装置的氨源选择, 尿素水解工艺可以使用品位较低的蒸汽作为热源, 较尿素热解工艺具有良好的运行成本优势。随着技术的逐步成熟, 通过对尿素水解装置的技术优化, 国产154化水解装置必将打破对进口技术的依赖, 以其安全性、运行经济性等特点迅速得以推广。

#### 参考文献

[1] 杨炜明, 李二欣. 脱硝系统尿素水解制氨工艺运行成本分析及优化设计[J]. 能源与节能, 2020(01): 74-76.  
 [2] 谢增孝, 王民军, 朱继峰. 尿素水解法在超超临界机组脱硝系统中的应用与优化[J]. 浙江电力, 2020, 39(03): 88-93.  
 [3] 胡从星, 王福冲, 张家玉, 闫庚. 尿素水解脱硝应用中存在问题分析及系统优化[J]. 锅炉制造, 2020(06): 44-45+56.