

# 尿素水解制氨系统防堵、防腐蚀问题分析

刘 容

上海鲁源控制设备有限公司成都分公司 四川成都 610000

**摘 要：**针对火电厂烟气脱硝项目出现的尿素水解制氨系统中产品气管道及阀门腐蚀内漏、堵塞等问题，分析尿素水解制氨原理、产品气特性分析、水解反应中间产物氨基甲酸铵的影响。结果表明：当产品气在低温条件下会回凝产生氨基甲酸铵，腐蚀管道及阀门，解决这个问题的重点在于让产品气管道内部温度维持在140℃以上，同时减少产品气管道中的冷凝水含量。

**关键词：**烟气脱硝；尿素水解；中间产物；产品气；尿素溶液；氨基甲酸铵

随着国家对烟气排放标准的日益严格，以及人们对安全性的意识提高，烟气脱硝工程已被列为重要任务之一，我国从2008年开始逐步开展锅炉氮氧化物的排放治理工作。由于技术成熟、脱硝效率高以及能耗低的特点，SCR选择性催化还原法已成为主流脱硝技术。大部分火电厂已经实施替代液氨改尿素制氨改造工作，采用尿素水解制氨工艺制备脱硝还原剂。

经电厂反馈，尿素水解制氨系统在运行半年至一年后，出现产品气管道、联络阀门腐蚀内漏、堵塞等问题，影响脱硝系统的正常运行，同时检修较复杂。本文旨在根据尿素水解制氨反应原理、产品气特性，对产品管道的上阀门腐蚀内漏问题进行分析，提出建设性意见及措施。

## 一、案例介绍

某火电厂有2台燃煤机组，机组容量为 $2 \times 350\text{MW}$ 。2台机组均进行了超低排放改造，配套SCR选择性催化还原法烟气脱硝装置，采用尿素水解制氨工艺。为2台机组配置2套尿素水解制氨系统，其中包括2套尿素水解反应器系统，每台水解反应器额定出力 $200\text{kg/h}$ ，两台设备互为备用。

本项目尿素水解制氨系统2023年7月开始投运，截至2024年3月25日，产品气管道蒸汽吹扫阀门出现内漏及阀芯腐蚀缺陷，其中2台水解反应器之间的气动联络阀在2023年11月更换阀芯，运行4个月后再出现内漏，造成水解制氨系统运行不稳定，影响电厂脱硝系统正常运行。

## 二、运行情况概述

根据现场提供的2023年11月10日~2023年11月

14日期间水解反应器加热蒸汽温度及产品气温度曲线历史数据记录，水解反应器设备加热用饱和蒸汽温度范围： $170.1\sim 141.4\text{℃}$ ，产品气出口母管温度范围： $130.8\sim 115.5\text{℃}$ ，产品气出口母管压力范围： $0.38\sim 0.45\text{Mpa}$ 。

本项目尿素水解制氨系统设备、管道材质均采用S31603不锈钢，阀门采用尿素（氨）系列专用阀，阀体材质为S31603不锈钢，阀芯材质为2205双相不锈钢，具有良好的耐腐蚀性能，在火力发电厂脱硝行业应用广泛。

## 三、尿素制氨制氨反应原理

尿素水解制氨工艺原理是50%质量浓度的尿素溶液在一定的温度和压力条件下水解生成氨基甲酸铵，氨基甲酸铵再进一步的分解生成氨气、二氧化碳。最终形成氨气、二氧化碳、水蒸气的混合产品气。其中二氧化碳及氨为尿素反应的产物，而水蒸汽是来自于尿素溶液中未参与反应的水汽化。尿素水解反应的化学方程式为：



尿素水解反应为吸热反应，需要热输入。反应速率为温度的函数，在确定温度、压力的平衡条件下，利用来自蒸汽盘管或电加热元件的热量给反应液供热。尿素水解反应器采用饱和蒸汽进行加热，饱和蒸汽通过盘管的方式进入水解反应器，冷凝水由疏水箱回收。加热用饱和蒸汽压力范围在 $0.7\sim 1.0\text{Mpa}$ ，温度为 $170\sim 184\text{℃}$ 。在正常运行条件下，水解反应器设备内部温度区间为 $140\sim 160\text{℃}$ ，正常运行压力区间为 $0.45\sim 0.55\text{Mpa}$ 。

正常运行工况，尿素水解产品气出口管线压力为 $0.35\sim 0.45\text{Mpa}$ ，原料进料为50%质量浓度的尿素溶液，尿素水解产品气成分和各组分的体积比为：水蒸汽

43.8%，二氧化碳18.7%，氨37.5%。在此工况下，产品气的露点为119.8~131.8℃。尿素水解制氨系统产品气管道均采取电伴热或蒸汽伴热、保温措施，保证管道内的温度在140℃以上，用以维持产品气管道在输送过程中的热量损失。

#### 四、产品气管道阀门腐蚀问题分析

根据现场运行数据，可以发现水解反应器加热蒸汽温度低于设计要求，产品气出口管道内温度存在低于产品气露点温度的情况。经现场运行人员反馈：在水解反应器正常运行工况，产品气温度基本可以保证高于130℃，此时产品气结露可能性不大；当水解反应器在热备用工况，设备内部压力、温度均低于正常运行值，水解反应器压力在0.45Mpa，产品气温度在110~120℃之间，温度低于产品气露点温度，管道容易结露。

尿素水解制氨反应过程中产生的中间产物氨基甲酸铵，是尿素水解制氨的主要腐蚀性物质。由于尿素水解反应为可逆反应，当产品其在低温条件下会回凝产生氨基甲酸铵。氨基甲酸根( $\text{COO NH}_2^-$ )呈还原性，能阻止钝化型金属表面氧化膜的生成，使金属产生活化腐蚀，具有很强的腐蚀性，当产品气中产生凝结水， $\text{NH}_3$ 和 $\text{CO}_2$ 溶解在水中，在液相环境下 $\text{NH}_3$ 和 $\text{CO}_2$ 会反应产生氨基甲酸铵，随着温度的降低，产生氨基甲酸铵的几率升高，水解液中氨基甲酸铵浓度越高，其腐蚀性越强；温度越高，其腐蚀性越大。

#### 五、产品气管道防堵、防腐蚀措施建议

尿素水解系统产品气管道发生腐蚀、堵塞问题，主要原因与产品气温度过低，管道内部存在冷凝水等因素有关，产品气在管道内结露，造成不锈钢管道、阀门等附件腐蚀、堵塞。解决这个问题的措施主要有：

1) 保证水解反应器加热用饱和蒸汽的压力不低于0.7Mpa。

2) 尿素水解系统产品气管道需做好管道及阀门的保温伴热，严格控制保温、伴热施工质量，产品气管道从

水解反应器出口至氨空气混合器入口均需考虑良好的伴热和保温，维持产品气介质温度在140℃以上。

3) 减少产品气管道冷凝水的产生。由于尿素水解加热产生的混合氨气（氨气、二氧化碳和水蒸汽）在水解反应器中的状态为饱和态，且水解反应器内部为沸腾状态，混合气从反应液中逸出可能会夹带少量液滴，不利于后续氨气管路系统的稳定运行，容易产生冷凝、结晶、腐蚀等问题，因此水解反应器在设计阶段，建议设置气液分离器，降低产品气输送管道中的冷凝水产生的风险。

#### 总结

本文通过对尿素水解制氨系统中产品气管道阀门的腐蚀内漏、堵塞问题进行案例分析，从尿素水解制氨反应原理、产品气特性、腐蚀产生的原因等因素着手，提出产品气管道防堵、防腐蚀的建议措施，可以对设计、施工人员起到一定的建议性作用。产品气输送管道在运行过程中，不仅要关注管道内部温度、压力等参数，同时还应注意尿素进料浓度、水解反应器设备的运行温度以及饱和蒸汽的参数是否满足设计条件要求，才能保证整个尿素水解制氨系统的顺利运行。

#### 参考文献

- [1] 聂华，牛国平，杨卫科，等.DL/T 2281-2021，燃煤电厂烟气脱硝尿素水解技术规程[S].国家能源局，2021.
- [2] 袁果，马爱萍，叶勇健，蔡冠萍，等.DL/T 5480-2013，火力发电厂烟气脱硝设计技术规程[S].北京，国家能源局，2013.
- [3] 李海荣，王锋涛，杨硕，等.脱硝用尿素水解产品气管内漏堵塞原因及机理分析[J].洁净煤技术，2021，27(S2)：387-391.
- [4] 张波，张向宇，李明浩，等.火电厂尿素水解产品气疏水问题分析[J].热力发电，2015.