

# 锅炉超低氮排放设计方案

www.TOPKAT.cn

广州拓凯环保科技有限公司

2019年1月

为打赢蓝天保卫战，全国各地均在加快推进燃气锅炉低氮改造工作，减少氮氧化物排放，削减氮氧化物浓度。然而尽管市场方开始，业内却显得比较混乱。广州拓凯环保科技有限公司作为业内从事柴油车尾气治理比较早的企业，通过对柴油车国四以上去除 NOx 的 SCR 技术研发转化，成功应用于锅炉、燃气发电机组低氮改造(或叫脱硝)。针对不少锅炉企业主、发电机组业主对低氮改造技术并不了解，存在由于技术壁垒导致的信息不对称而被供应商漫天要价、甚至踩坑的情况，特把低氮改造（脱硝）的设计方案分享出来，以供广大业主或设计师参考。

**一、改造范围：**不少城市仅对现有的大于等于 1 蒸吨（或额定功率大于或者等于 0.7MW 的热水锅炉、有机热载体锅炉）的燃气锅炉（设施）（含特种设备目录范围之外的锅炉）业主单位要求实施低氮改造。

**二、改造限值标准：**一般新建和整体更换后的燃气锅炉（设施）氮氧化物排放浓度必须低于 30mg/m<sup>3</sup>；在用的锅炉（设施）经改造后氮氧化物排放浓度低于 30mg/m<sup>3</sup> 以下。

### 三、 设计依据、改造内容

#### 1. 设计依据

1) 气象条件(略)

2) 锅炉出口烟气参数

锅炉型号:

设计处理总烟气量:  $XX \text{ m}^3/\text{h}$

- 原始  $\text{NO}_x$  浓度:  $\leq XX \text{ mg}/\text{Nm}^3$

3) 、脱硝装置出口排放烟气达标参数:

- $\text{NO}_x$  浓度:  $\leq XX \text{ mg}/\text{Nm}^3$

#### 2. 改造内容

采用广州拓凯公司的选择性还原脱硝工艺（即 SCR），脱硝效率达到 95%以上，能够满足当地现有的相关安全、环保等强制性法规、标准的要求。SCR 技术对锅炉烟气  $\text{NO}_x$  控制效果十分显著、技术成熟。

### 四、 技术规范与标准

#### 4.1 总则

4.1.1 脱硝工艺要求: 采用选择性还原脱硝工艺。

4.1.2 在设计额定状况下，脱硝效率不小于 95%， $\text{NO}_x$  排放浓度低于  $XX \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ，并考虑满足今后不断趋于严格的排放标准。

4.1.3 脱硝工艺应尽可能节约能源，尽可能降低脱硝系统的投资与运行费用。

4.1.4 充分考虑配备脱硝装置后所增加的系统阻力对锅炉的影

响，匹配合理的增压风机或合理增高排气烟管的高度。

4.1.5 脱硝系统设备及内部的装置材质耐腐、耐高温。装置寿命10年以上。

4.1.6 脱硝系统设备所产生的噪声控制在 85dB(A)的水平内（距产生噪声设备 1 米处测量）。

4.1.7 整个脱硝系统的设计合理、布局紧凑，具有低成本、安全可靠连续有效运行能力；设备可靠运行率 $\geq 98\%$ 。

4.1.8 脱硝设备采用不锈钢材料，工艺先进、设计合理、技术可靠、节能降耗、无二次污染，保证设备的经济稳定的运行同时，系统充分考虑加大系统防腐、防冲刷磨损、防结垢等措施。

4.1.9 整套脱硝系统控制采用现场或远程控制。

4.1.10 脱硝系统所有回路的供电，即总控制机柜至各个用电设备间线缆均由客户方负责。

4.1.11 脱硝装置现场电控设备原则布置在操控间，便于客户方管理。

4.1.12 脱硝装置部件的制造加工准确并有良好工艺、光洁、合适的公差配合及互换性。易于调正、检查、或更换零部件，并能比较方便地拆卸、更换和修理。

4.1.13 所有的材料符合有关规范的要求，降低日常的维修工作。原材料（树脂、玻璃纤维）符合各自的材料规范，无裂纹和有害的缺陷。

4.1.14 在设备制造过程中实施严格质量管理，包括必要的处理、检验和试验。

4.1.15 平面布置合理安排，便于生产和维修，

#### 4.1.16 管线布置

4.1.17.1 双方协调设计范围内的各种管线和沟道布置，包括架空管线，直埋管线、与脱硝装置外部沟道相接时，应在设计分界线处标明位置、标高、管径或沟道断面尺寸、坡度、坡向管沟名称，引向何处等。

4.1.17.2 管线及管沟引出位置和标高经客户方认可，有冲突处经协商确定。

4.1.17.3 所有输送尿素液的管道在设计上保证合理的自流排空，停运后重新启动避免堵塞。

### 五、 选择性还原脱硝工艺介绍

本项目脱硝系统主要技术为 SCR (Selective Catalytic Reduction, 选择性催化还原) 技术。根据原排信息和污染物排放目标要求，可以发电机组的脱硝净化效率要求约为 80%，燃气蒸汽锅炉脱硝净化效率要求约为 91.4%。

拓凯技术方案中，考虑催化剂老化等方面因素影响，可采用 SCR 系统冗余设计方案，确保 NO<sub>x</sub> 净化效率在鲜载体时不低于 95%。同时配备 NH<sub>3</sub> 吸附装置，有效放置 SCR 系统工作时的氨逃逸。系统采用 32.5% 尿素水溶液为还原剂。

#### 1、SCR 系统工作条件

SCR 系统正常工作需要一定的条件，具体有：

足够反应表面积。催化剂必须有足够的表面积以提供足够的反应活性。SCR 催化剂，一般采用挤出式的蜂窝陶瓷形式，催化体系为“钒

-钛-钨”，二氧化钛是基础材料，五氧化二钒是活性物质。通过将催化剂涂覆在蜂窝陶瓷载体表面，用以加大催化剂和尾气的接触面积，进而增大反应表面积。

特定工作温度。催化反应器进口温度（或催化剂温度）和出口的温度必须在一定的范围内，SCR 过程的温度一般在 180~500℃之间，过高的催化剂温度（>550℃）会加速催化剂的劣化。且 SCR 系统最佳工作状态会受很多因素影响，进而实际工作温度限定在很窄的区间。

需使用低硫燃料。在燃料含硫量高的应用场合，过低的出口温度会在排气系统中造成反应副产品集聚，如硫酸盐等，进而阻塞或腐蚀后续的排气管或催化剂。

32.5%的尿素水溶液。采用尿素作为还原剂时一般采用 32.5%的尿素水溶液。

## 2、SCR 系统工作过程

SCR 系统工作时，使用尿素水作为还原剂，通过向尾气中喷入适量的尿素水溶液，借助尿素水的蒸发和氨解生成最终的还原剂氨气。氨气在催化器内的催化剂作用下，与尾气中的氮氧化物进行反应，最终生成对大气无害的氮气和水排放到外界环境中。

首先尿素溶液在高温排气管（>180℃）的排气管中雾化蒸发，发生热裂解生成氨气和异氰酸。接着，异氰酸进一步与水发生反应生成氨气和二氧化碳。主要反应如下：



尿素氨解的过程如下图 1 所示。

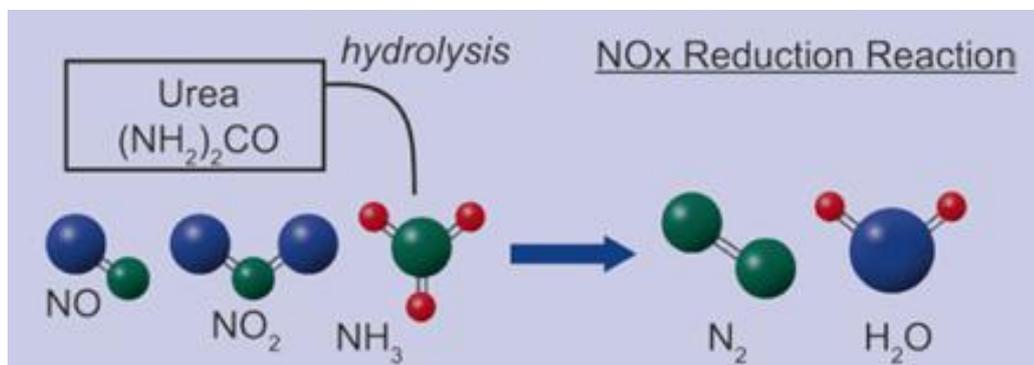
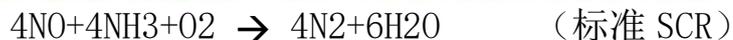


图 1 尿素氨解的过程

尿素氨解完成后，在催化剂的作用下将与通过催化器载体的尾气中的 NO<sub>x</sub> 进行反应，其反应过程主要有以下两种形式：

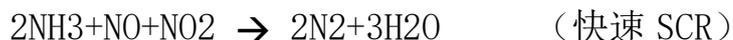
(1)、一氧化氮与氨气在氧的参与下，发生反应生成氮气和水；



(2)、二氧化氮与氨气在没有氧的参与下，发生反应生成氮气和水。



大量研究表明，当增加 NO<sub>x</sub> 中 NO<sub>2</sub> 比例时，可以提高低温条件下 SCR 对 NO<sub>x</sub> 的转换效率，当 NO 于 NO<sub>2</sub> 的浓度之比在 1 时将会有最佳 NO<sub>x</sub> 催化转换效率。在低温条件下的反应速率是标准 SCR 反应的 17 倍，故称快速 SCR 反应。反应方程式如下：



SCR 系统的催化还原反应过程如下图 2 所示。

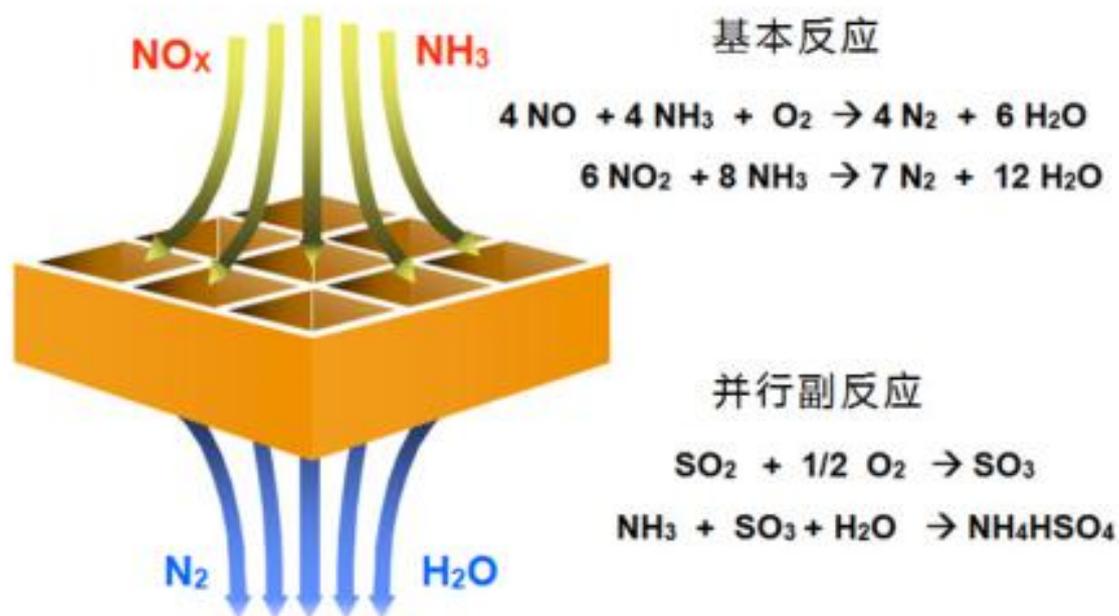


图2 SCR系统的催化还原反应过程

## 六、脱硝装置介绍

### 1、系统装置

根据项目需求，广州拓凯所提供的脱硝设备采用模块化结构设计，每个模块独立负责相关方面的工作。主要系统组成模块有：

(1)、SCR 催化箱：由 SCR 催化剂、保温隔热箱体、安装抱箍或支架结构等构成；

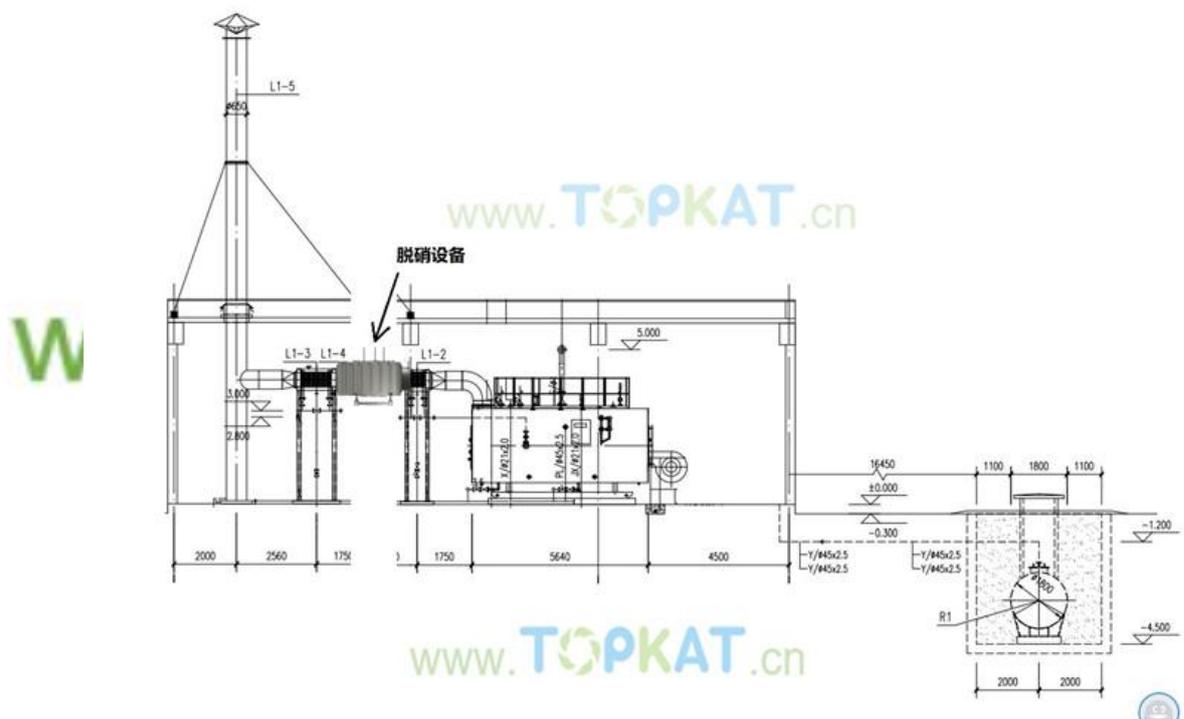
(2)、计量控制系统：由计量控泵、控制柜（含 HMI 人机交互操作触摸显示屏）等设备构成；

(3)、传感器系统：由氮氧化物传感器、排气温度传感器、催

化剂压差传感器等构成；

根据项目方案具体图纸及要求，相关的脱硝装置安装位置示意图如下所示：【具体的脱硝装置安装位置根据现场实际施工情况而定，具体实施前出具正式图纸】

燃气蒸汽锅炉脱硝装置位置示意如下图所示。（或需要调整烟气冷却器的位置）



燃气蒸汽锅炉脱硝系统安装示意图

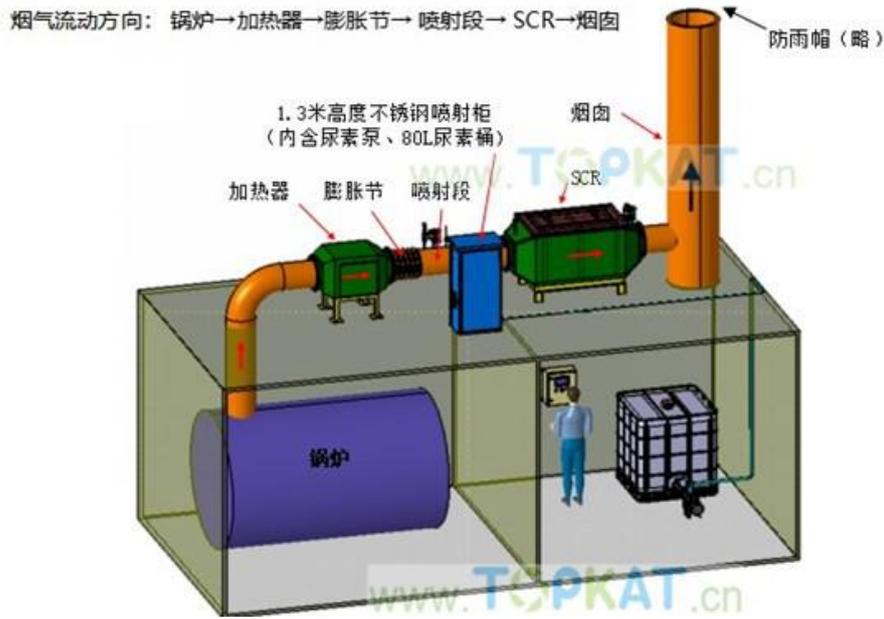


图3 SCR系统结构

在本系统中，SCR 催化剂依据排气流量和催化剂的处理能力，核算出具体需求的催化剂体积。通常采用前后两层（或多层）的催化剂布置形式，能够满足不同排量锅炉尾气净化需求，且可以预留数层，

以便后期设备升级维护等。

## 2、SCR 系统氨泄漏 ASC 控制

考虑到改造项目中所参考的各类的标准，需要考虑在 SCR 系统工作过程中多余的 NH<sub>3</sub> 泄漏的问题。拓凯设计方案中通过在 SCR 催化剂后端增加 ASC(氨氧化催化转化器)装置，用于消除多余的 NH<sub>3</sub>，从而将 NH<sub>3</sub> 排放控制在 10mg/m<sup>3</sup>(13ppm)范围以内。

ASC 装置主要是在蜂窝陶瓷载体上涂覆 ASC 催化剂的形式来实现，在 SCR 系统中用于防止氨泄漏。ASC 具有以下特点：

- 高氧化率；
- 选择性好；
- 不生成其他有害物质。

ASC 装置具体催化反应原理：



## 3、SCR 系统控制策略

本项目方案中采用闭环控制的形式实现对 SCR 系统的精确控制目标，能够根据锅炉工况变化、尾气流量变化等实现对 NO<sub>x</sub> 排放的自动控制。

闭环控制技术，通过快速且实时的 NO<sub>x</sub> 于 NH<sub>3</sub> 检测，并将检测到的信息反馈到控制单元中，控制程序对尿素水的喷射量进行修正，

然后喷入适量的尿素水。这样通过闭环控制，也可以有效控制  $\text{NH}_3$  泄漏。

借助  $\text{NO}_x$  传感器，可以有效地实现传感器的自诊断和催化剂的劣化程度分析诊断。传感器安装位置示意图及外观如下图 5 所示。

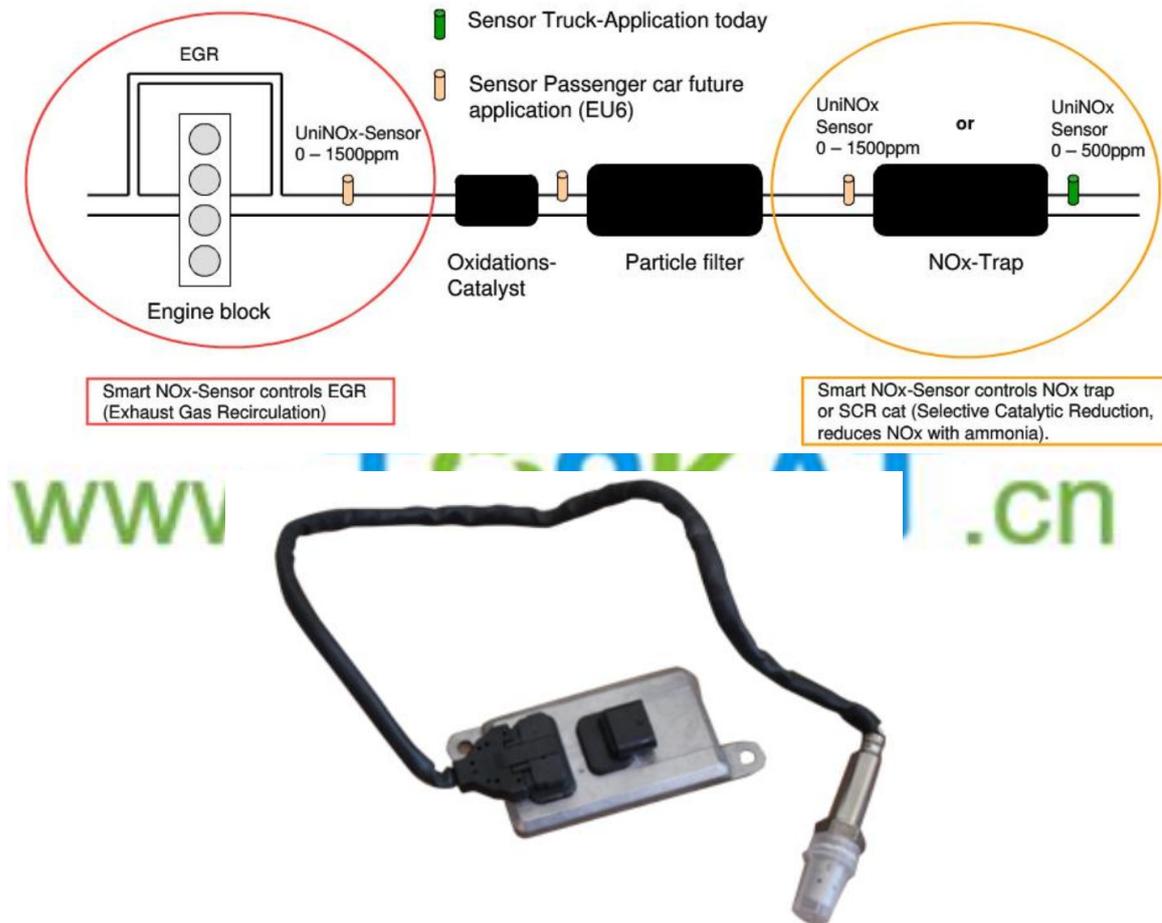


图 5  $\text{NO}_x$  传感器安装位置示意图及外观

本项目采用气助雾化系统，由 DCU 控制尿素泵将尿素水和压缩空气混合物通过喷嘴喷入排气管道混合器。在混合器内设有涡流发生器，以促进尿素溶液的雾化、分散与混合。锅炉排气流过混合段，尿

素及氨气进入 SCR 催化反应器。

尿素水的目标喷射量是根据闭环控制策略计算决定的。根据排放限制的规定，利用上游 NO<sub>x</sub> 传感器检测上游 NO<sub>x</sub> 的浓度信息，在闭环控制算法的计算下，控制尿素计量泵模块工作，向 SCR 催化剂喷入适量的尿素水溶液。并在下游 NO<sub>x</sub> 传感器的辅助下，实时检测 SCR 催化反应的效果，当发生偏差时实时反馈至控制算法来修正尿素喷射量。

在改造脱硝系统中，SCR 系统控制组成及工作原理如下图所示：

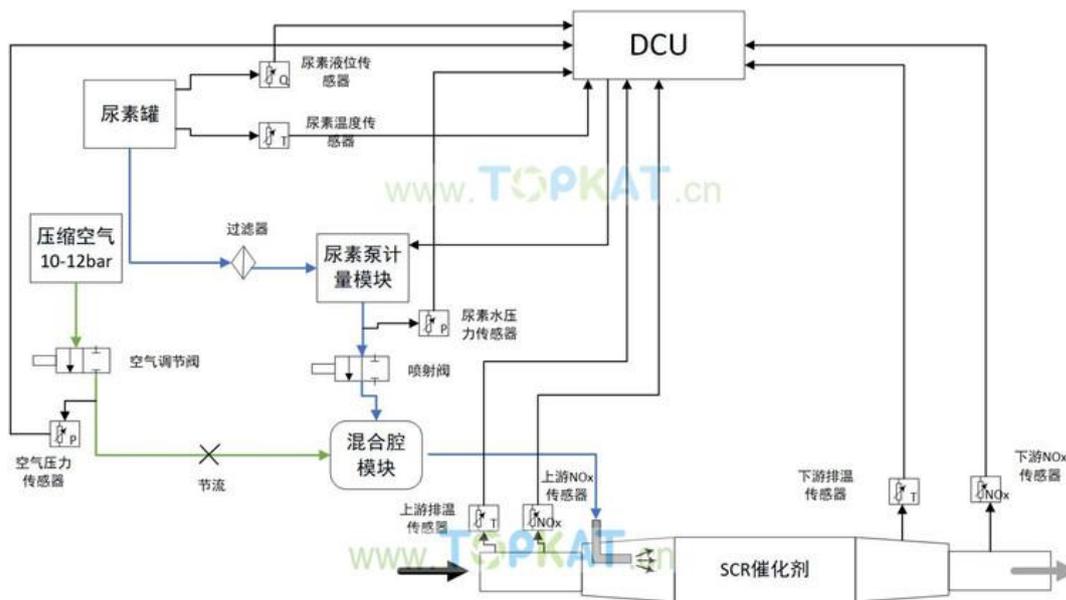


图 6 SCR 系统控制组成及工作原理

DCU 中控制逻辑工作顺序如下：

- 锅炉启动后，DCU 上电自检，系统部件无故障后进入待命状态(Standby)

- 监测进入系统排气温度，监测喷射出发信息
- 监测 NO<sub>x</sub> 传感器信息，实时计算需求喷射的尿素水体积
- 监控尿素喷射系统工作状态，维持稳定的压力与流量以保证雾化质量
- 当锅炉停机时，进行尿素喷射系统排空作业，清除喷射系统中参与尿素溶液，预防管路结晶和堵塞。
- DCU 运行过程中启动 OBD 监测功能，实时监测系统传感器、执行器和催化剂工作状态，当系统相关部件出现故障（包括传感器故障、催化剂失效等）时，给出报警信息并通知主控系统。

具体的 SCR 系统控制流程如下图 7 所示。

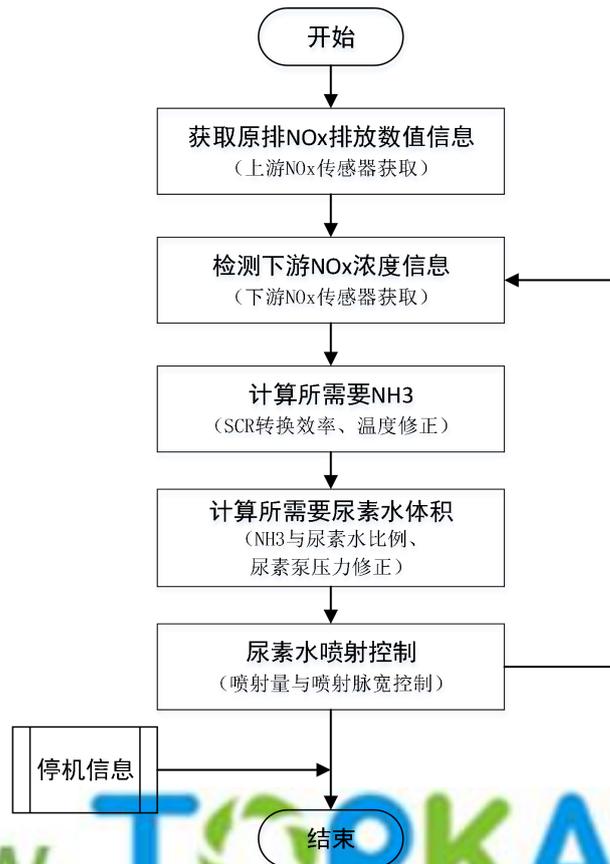


图 7 SCR 系统控制流程

#### 4、方案控制系统

改造项目方案中，系统控制系统具备现场及远程操控能力。

现场操控主要通过控制柜上安装的 HMI 人机交互触屏来实现。

HMI 触屏安装在脱硝系统附件的控制柜上，便于应用人员对系统进行起停、维护等操作。

远程操控方面，通过借助工业网络通信媒介，将脱硝系统与远程控制终端联合起来，可以实现对系统的远程操作和监控。远程操作的

示意如下图 9 所示。

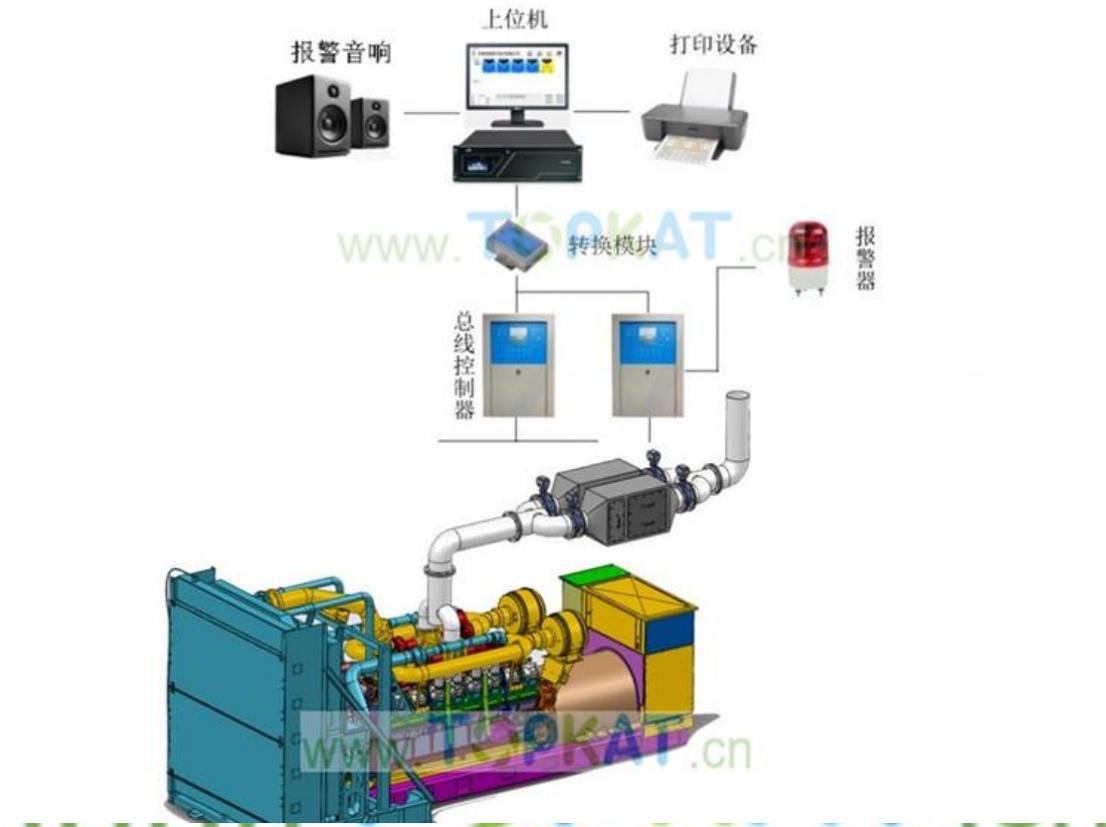


图 9 远程操控示意图

## 七、 零部件清单

综合以上各项设计，为完改造项目中脱硝系统的建设，需要使用到的系统零部件清单统计如下表 1 所示。（具体工程设计施工时可能会略有调整）

表 1 后处理系统零部件清单（单套系统）

序号	名称	型号	数量	厂家
1	压力传感器			
2	NOx 传感器			
3	尿素计量喷嘴			
4	控制柜			
5	SCR 催化箱			
6	尿素箱总成及计量系统			
7	空压机			
8	尿素管路			
9	SCR-DCU			
10	排气温度传感器			
11	ASC 催化剂			
12	触摸屏和 HMI			
13	管道、柔性节和隔热材料			
14	消音器系统			
15	远程控制终端			

## 八、 方案运行参数

燃气蒸汽锅炉的脱硝设备运行参数设计如下表 2 所示。

表 2 燃气蒸汽锅炉脱硝设备运行参数（单套系统）

序号	名称	规格型号	单位	备注
SCR 催化箱总成				
1	NOx 目标转换效率			
2	烟气流量			
3	空速			
4	SCR 单元体积			
5	SCR 催化剂主要成分			
6	SCR 催化剂的化学寿命			
7	载体尺寸			多块
8	目数 CPSI			
9	催化剂层数			
10	备用层			
11	SCR 单元外形尺寸			
12	SCR 单元重量			
13	催化剂工作温度范围 (°C)			
尿素计量系统总成				
14	尿素计量喷嘴			
16	尿素浓度			
17	尿素消耗量			
18	SCR 控制器			
19	尿素箱罐体			
20	尿素雾化颗粒度			
压缩空气				
21	空压机			
22	用气量(Nm <sup>3</sup> /h)			
23	气路压力			

## 九、 运行成本分析

燃气锅炉的脱硝设备运行成本分析如下表 3 所示。

表 3 燃气锅炉脱硝设备运行成本（单套系统）

序号	名称	参数	单价	周期	每时成本 (元)	备注
1	SCR 催化剂					
2	尿素水					
3	空压机电力					
4	其它电力					

## 十、 施工方案

需要根据客户要求来，为了保证锅炉使用率，该项目改造需要先加装脱销装置，最后考虑对接锅炉，缩短施工周期。

## 十一、 造价

略。

注：具体造价以及上表中的各项未填参数由于涉及广州拓凯公司的商业机密，此处就不标明了，敬请理解！如有具体咨询，请直接联系广州拓凯环保科技有限公司业务人员，谢谢！

## 十二、 典型案例



www.TOPKAT.cn





---

[www.TOPKAT.cn](http://www.TOPKAT.cn)