

万纯低温烟气 SCR 脱硝系统

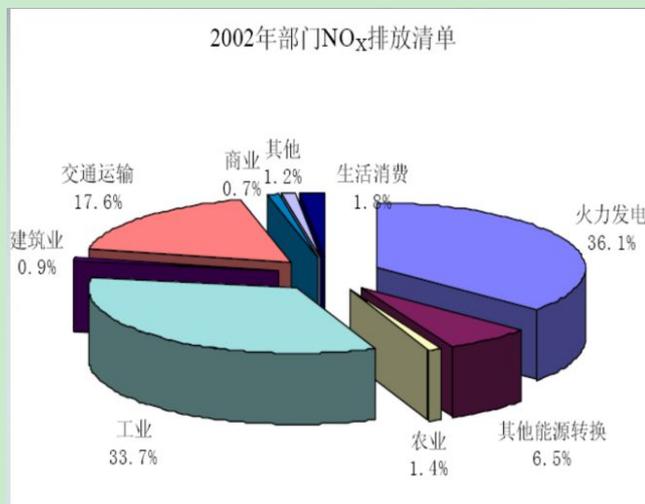
一、研发背景

近年来，遮天蔽日的雾霾不但对人们的身体健康构成了严重威胁，而且严重影响了人们日常的生产生活，空气各项检测指标正不断向我们亮起红灯。

据中国环境规划院研究预测： NO_x 排放量将从 1995 年的 $1.11 \times 10^7 \text{ t}$ 增加到 2010 年的 $2.15 \times 10^7 \text{ t}$ ，到 2020 年和 2030 年，全国能源消费导致的 NO_x 排放总量将分别达到 $2.4\text{--}2.9 \times 10^7 \text{ t}$ 和 $3.2\text{--}4.3 \times 10^7 \text{ t}$ ，到 2020 年前后将超过美国成为世界第一大 NO_x 排放国，如此巨大的排放量将给公众健康和生态环境带来灾难性的后果！

那么这大片的雾霾究竟是怎么形成的呢？

其实在雾霾形成的过程中， NO_x 与 $\text{PM}_{2.5}$ 复合扮演了重要角色，是罪魁祸首之一。那么 NO_x 与 $\text{PM}_{2.5}$ 复合又都是怎么产生的呢？



从上面这张清单我们不难看出，自然界中 63% 的 NO_x 来自工业污染和交通污染，是自然发生源的 2 倍以上，其中电力工业和汽车尾气的排放各占 40%、其他工业污染源占 20%。在通常的燃烧温度下，燃烧过程产生的 NO_x 中 90% 以上是 NO ， NO_2 占 5%~10%，另有极少量的 N_2O 。据有关方面报导：每年因氮氧化物造成的损失达 1100 亿人民币。

近十年来，随着我国汽车工业的发展和执行日益严格的机动车排放标准以及三效催化剂和柴油车 SCR 催化技术的发展，交通运输行业的 NO_x 排放得到了一定的控制；同时也加大了火电厂烟气 NO_x 排放治理，对电力企业实行了脱硝电价补偿的政策，极大地促进了电力行业脱硝的进程。

而与交通运输和电力行业的跨越式脱硝进程相比，工业锅炉、玻璃陶瓷炉窑、水泥炉窑、冶金烧结炉、炼焦和石化系统的裂解设备等非电力行业的工业锅（窑）炉设备的烟气排放治理上效果就没有那么理想了。

以我们身边大大小小的锅炉为例，尽管国家已经规定了各类大气污染物的限值，然而依据锅炉大气污染物排放标准-北京市地方标准 DB11/ 139—2007（见下表）来看，当前工业锅炉排放均不满足该标准，而且也没有现成的技术支持工业锅炉满足该标准！

表1 新建、扩建、改建锅炉大气污染物排放限值

污染物	电站锅炉	工业锅炉
烟尘 (mg/m ³)	10	10
二氧化硫 (mg/m ³)	20	20
氮氧化物 (mg/m ³)	100	150
烟气不透光率 (%)	10	10
烟气黑度 (林格曼, 级)	1 级	1 级

表2 在用锅炉大气污染物排放限值

污染物	电站锅炉		工业锅炉 ¹		
	I 时段	II 时段	I 时段		II 时段
			≤45.5MW	>45.5MW	
烟尘 (mg/m ³)	30	20	50	30	30
二氧化硫 (mg/m ³)	100	50	150	100	50
氮氧化物 (mg/m ³)	250	100	300	250	200
烟气不透光率 (%)	15	15	20	15	15
烟气黑度 (林格曼, 级)	1 级				

注 1: 自备电站锅炉执行工业锅炉大气污染物排放限值。

之所以出现这种情况,原因主要在于烟气以及涉及硝酸生产和使用的工艺过程废气的排放温度大多低于 300℃,而目前电力行业使用的 SCR 脱硝催化剂的工作温度为 300℃~400℃。因此,在非电力行业难以直接使用中高温(300℃~400℃)SCR 催化工艺对 NO_x 排放进行控制。以工业锅炉为例,其脱硝就遭遇了以下困难:

- 1、排烟温度低,省煤器之后 150-180 ℃;
- 2、运行工况不稳定;
- 3、旧锅炉的场地有限,情况复杂;
- 4、引高温烟气则破坏热量衡算,耗能提高(如使用电厂 SCR 技术);
- 5、用户资金紧张,不愿意多投资等。

针对上述状况,石家庄蓝宇净化机械设备有限公司在传统脱硝技术的基础上,结合自身的工程经验和低温环保催化剂技术,开发了适应性更广泛的低温脱硝系统,系统中采用了先进的烟气加热系统,在 160--400 ℃ 的温度范围内都能够达到 90 % 以上的脱硝效率,甚至在常温下,废气也可以应用 SCR 技术。

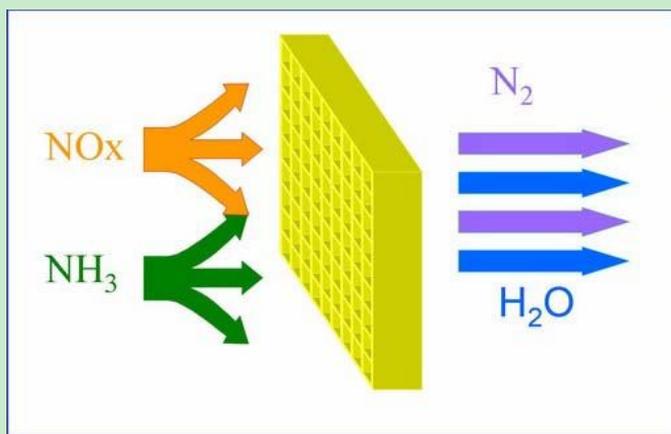
该系统可与酸洗废气、玻璃炉窑、工业锅炉、硝酸、化肥、乙烯裂化炉、己内酰胺、垃圾焚烧炉以及化工废气治理等各类烟气温度较低的设备配套使用,大大减少颗粒物和氮氧化物排放对周边环境的污染,同时也为企业解除了在环保方面的后顾之忧。

二、低温 SCR 脱硝系统反应原理

SCR 的全称为选择性催化还原法(Selective Catalytic Reducation),是目前工业上应用最广的

一种脱硝技术，可应用于电站锅炉、工业锅炉和垃圾焚烧等燃烧设备的 NO_x 排放控制，理想状态下，可使 NO_x 的脱除率达 90%以上，是目前能找到的最好的固定源 NO_x 治理的技术。

低温 SCR 的反应原理同样是用氨或尿素之类的还原剂，在一定的温度下通过催化剂的作用，还原废气中的 NO_x (NO、NO₂)，将 NO_x 转化非污染元素分子氮(N₂)，NO_x 与氨气的反应如下：



SCR 系统反应原理示意图

三、低温 SCR 脱硝解决方案

1、概述

我司低温 SCR 脱硝系统选用的是适用于较低温度条件下的 V-Ti 基 SCR 烟气脱硝催化剂。该催化剂通过掺杂 X 离子对传统催化剂进行了改性，因此即使在烟气温度仅有 160 °C 时，脱硝效率也能保持在 90 % 以上，且该催化剂温度窗口宽泛，在 160--400 °C 的温度范围内均能达到 90 % 以上的脱硝效率。我司可根据用户所处理烟气的性质不同，选用不同型号不同配方的蜂窝催化剂，同时设计与之相适应的解决方案，以求达到更高的脱硝效率。

比如辊道窑出口的废气温度只有 110°C，而将该废气经过电加热器加热至 200°C 后，再进入 SCR 反应器中，废气中的 NO_x 就可以顺利通过低温 SCR 催化剂去除，且该系统的工程造价和运行成本要远远低于中高温 SCR 催化脱硝技术。

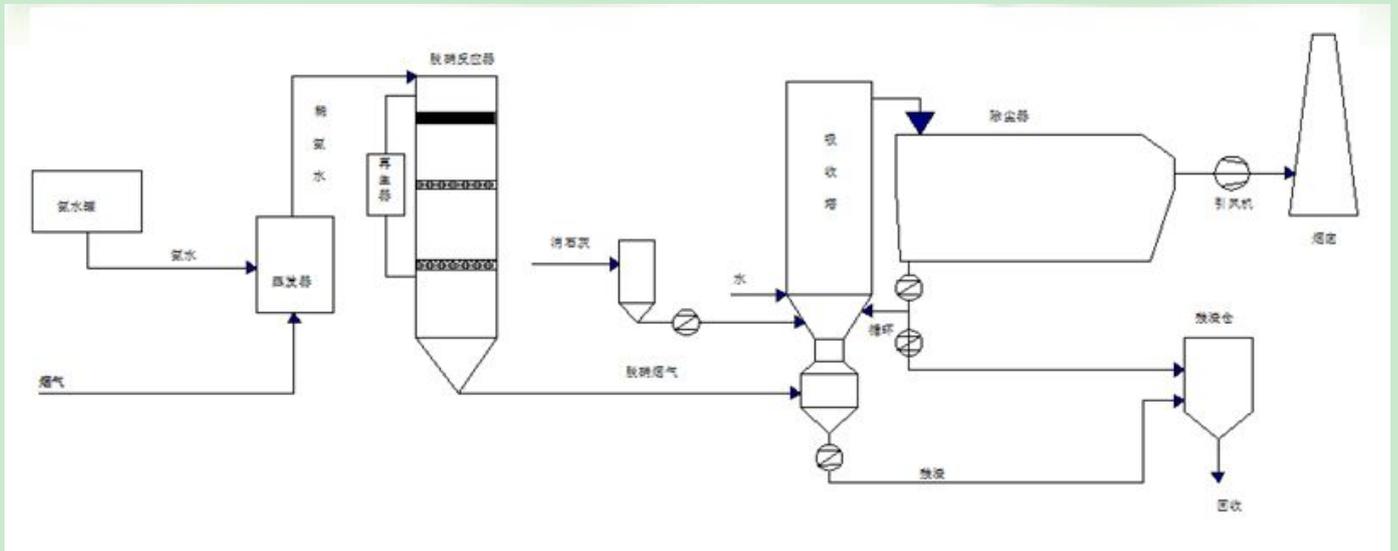
当前，由于锐钛型 TiO₂ 具有很强的抗硫中毒能力，所以 TiO₂ 被广泛地用作载体负载其它氧化物作为低温 SCR 的催化剂。Donovan A 等分别用锐钛矿 TiO₂ 负载 V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni 和 Cu 金属氧化物催化剂，并对其进行了对比研究。结果表明，在 120°C 下，各种负载金属氧化物的活性可简单表示为：Mn>Cu>Cr>Co>Fe>V>>Ni。Mn/TiO₂ 催化剂活性最高，生成 N₂ 的选择性和 NO_x 的转化率均为 100%，是一种理想的催化剂。

Wu 等用共沉淀法制备了 MnO_x/TiO₂ 催化剂并考察了其低温选择还原性能。在 150~250°C，NO_x 的脱除率在 90% 以上。分析认为，高负载量能提高 MnO_x/TiO₂ 的脱 NO_x 效率，且 n(Mn)/n(Ti)=0.4 时为

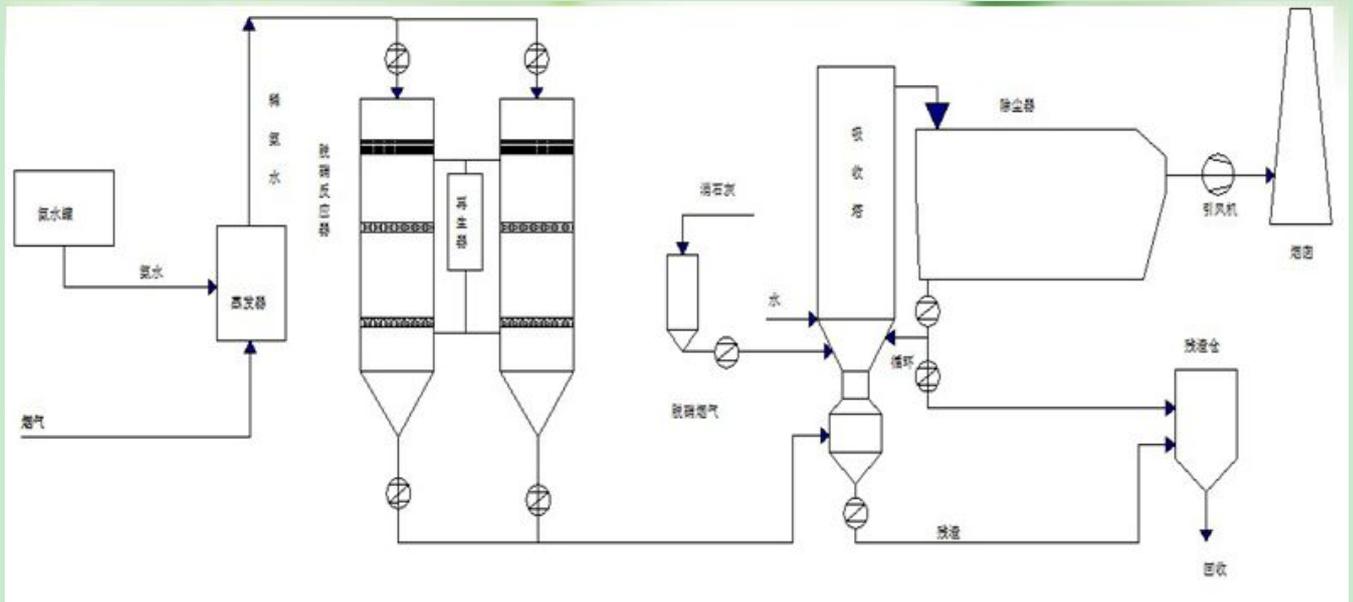
最佳值。另外，NO_x 的转化率随 O₂ 浓度的增加而增加，当 O₂ 的体积分数为 3% 时，NO_x 的脱除率开始变为定值。当 NH₃ 浓度较低时，NO_x 的转化率随 NH₃ 浓度的增加而增加，当 NH₃ 过量后则脱除效率维持定值。

2、工艺流程

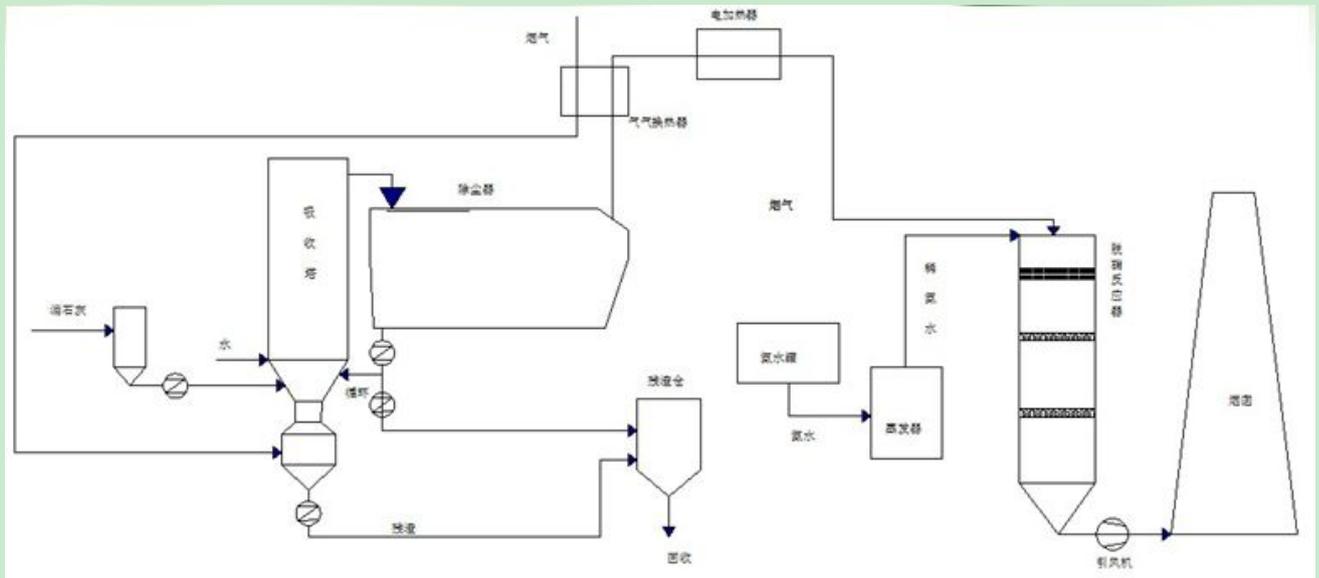
(1) 低温脱硝+半干法脱硫+布袋式除尘



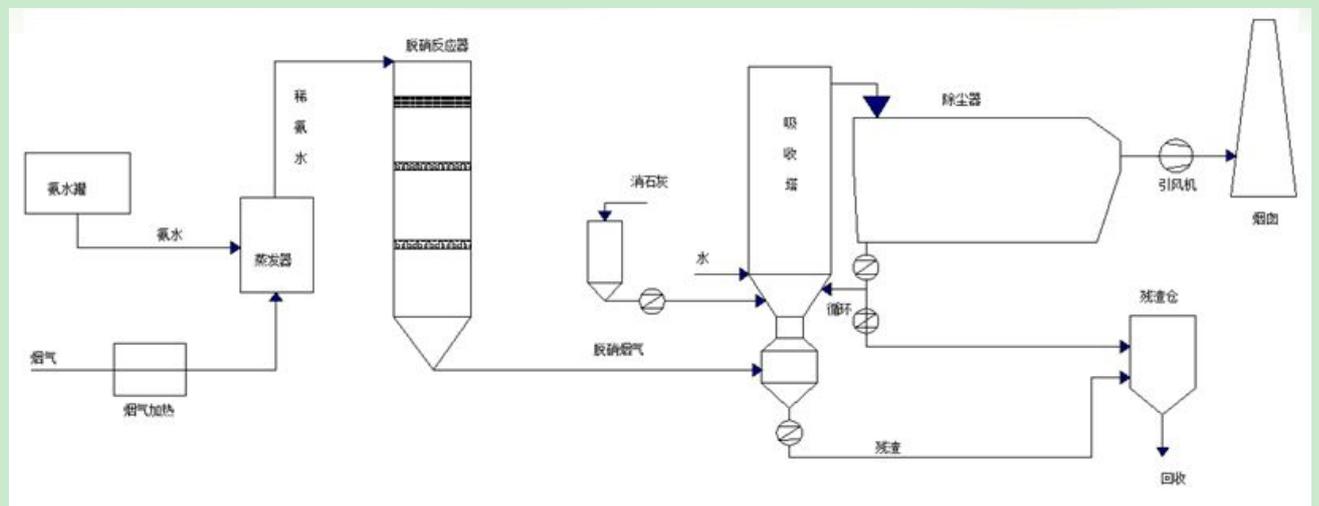
(2) 低温脱硝+半干法脱硫+布袋式除尘



(3) 半干法脱硫+布袋式除尘+ 低温脱硝



(4) 中温脱硝+半干法脱硫+布袋式除尘



3、方案对比

方案	优点	缺点
低温脱硝+半干法脱硫+布袋式除尘	1、系统相对简单，全部在余热锅炉出口以后布置，对老厂改造相对较简单； 2、不用对进入脱硝系统前的烟气进行再热，节省能源；	1、SO ₂ 氧化后形成硫酸氢铵等沉积物会对催化剂造成影响，催化剂活性再生在实验室已实现，但是能否在实际项目中应用仍需要进行中试测线； 2、为保证合适的运行，可采用双脱硝塔设计或增加一套催化剂加热再生系统。
半干法脱硫+布袋式除尘+低温脱硝	1、避免SO ₂ 氧化后形成硫酸氢铵等沉积物对催化剂活性造成影响； 2、脱硫后接布袋式除尘，只用一次除尘系统；	1、需要对脱硫后的烟气进行再热，增设加热或换热系统，耗费部分能源； 2、如采用高温烟气换热，系统较复杂，对于老厂改造时布置有难度。
中温脱硝+半干法脱硫+布袋式除尘	1、脱硝系统应用成熟、运行可靠，一定程度上解决硫酸氢铵问题。	1、脱硝烟气温度需控制在300℃以上，则必须改造原有余热锅炉，改造难度大，投资高； 2、经脱硝后烟气中的逃逸氨在低温段设备上可能形成硫酸氢铵沉积发生。

四、低温 SCR 催化剂选型

按结构不同，SCR 脱硝催化剂分为蜂窝式、板式和波纹式。我司选用的是蜂窝式是目前市场占

有份额最高的蜂窝式催化剂，它是以 Ti-W-V 为主要活性材料，采用 TiO₂ 等物料充分混合，经模具挤压成型后煅烧而成，催化剂本体全部是催化剂材料，所以其表面遭到灰分等的破坏磨损后，仍然能维持原有的催化性能，催化剂可以再生。其特点是单位体积的催化剂活性高，达到相同脱硝效率所用的催化剂体积较小，适合灰分低于 30 g/m³、灰粘性较小的烟气环境。

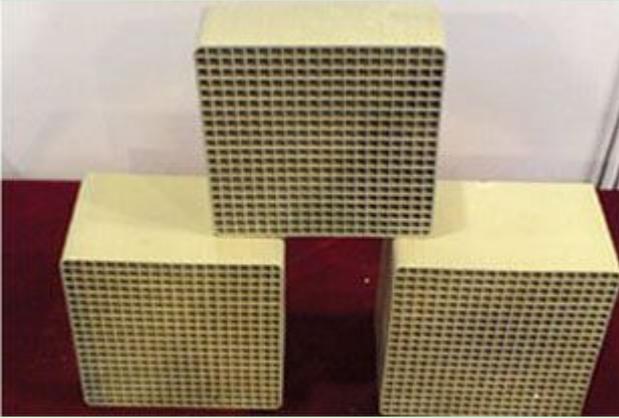
1、各种 SCR 脱硝催化剂对比

催化剂比较			
项目	比较		
催化剂类型	蜂窝状	波纹板式	板式
1.持久性	最好	较差(易受碱金属腐蚀而且容易粘灰尘)	较差(易受碱金属腐蚀而且容易粘灰尘)
2.磨损	更好	较差	更好
3.可靠性	更好	一般	较差(有燃烧可能性)
4.催化剂成本	更好(能再生利用)	一般	一般
结论	最好	一般	一般

2、针对不同烟气的低温催化剂选型

应用领域	产品型号	化学组成	型式	催化剂尺寸 (mmxmmxmm)	孔间距(mm)	运行温度(°C)
酸洗行业脱硝	LY1AFM4-s00	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(500-600)	3.3-4.2	160-220
	LYLAFW4-800	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	3.3-4.2	160-220
水泥炉	LY1CFM2-s00	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(500-800)	12-13	160-350
	LY1CFM2-800	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	12-13	160-350
窑脱硝	LYHCFW2-s00	V-W-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(500-800)	12-13	300-400
	LYHCFW2-800	V-W-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	12-13	300-400
工业炉	LY1BFM3-800	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	3.3-4.2	160-350
	FX1BFM4-800	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	4.0-5.5	160-350
	FX1BFM6-800	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	6.0-9.2	160-350
	LY1BFW3-800	V-W-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	3.3-4.2	300-400
	LY1BFW4-800	V-W-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	4.0-5.5	300-400
	LY1BFW6-800	V-W-TiO ₂	蜂窝型	150x150x(800-1000)	6.0-9.2	300-400
两冲程船陆发 动机脱硝	LYHSFM4-s00	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x500	4.0-5.5	300-400
	LYHSFM4-800	V-Mo-TiO ₂	蜂窝型	150x150x850	4.0-5.5	300-400

3、低温 SCR 脱硝催化剂产品实图

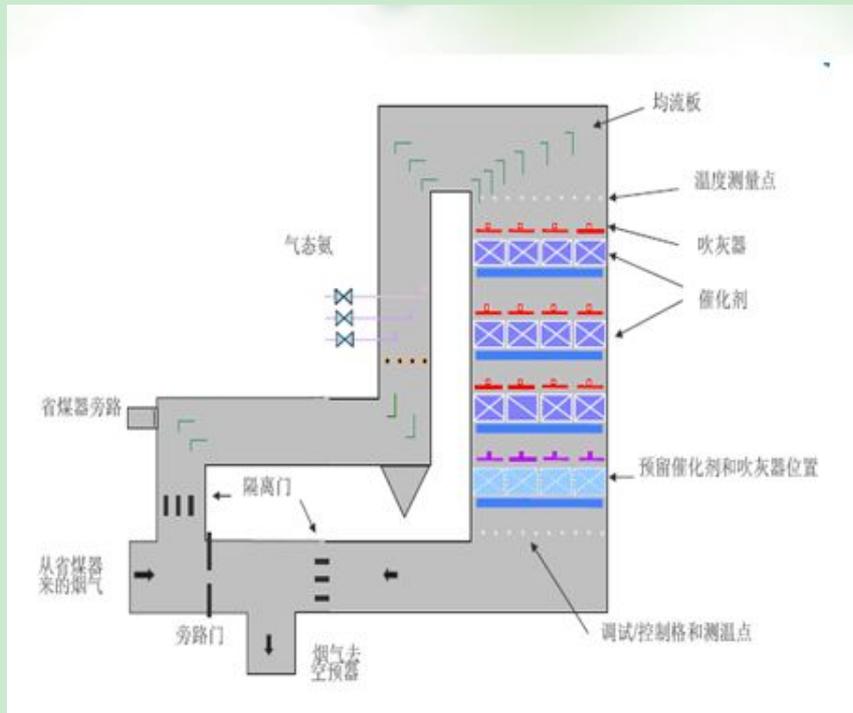


五、低温 SCR 脱硝系统构成

我司低温 SCR 脱硝系统由氨的储存系统、氨与空气混合系统、氨气喷入系统、反应器系统、省煤器旁路、SCR 旁路以及检测控制系统等组成。其中反应器本体依烟气流向又可分为喷氨段、混合段、均流段、反应段。

为节省场地，我司 SCR 采用立式结构，在 SCR 本体内自上至下可布置三层催化剂，三层催化剂采用 2+1 配置方式，初期布置两层催化剂，预留增加一层催化剂位置，当一层催化剂经过长时间的运行，脱硝效率下降，无法达到排放要求，可在预留位置再安装一层催化剂。（如下图所示）

此外，在反应器入口、出口安装有压力变送器及热电阻，反应器的入口和出口的热电阻均设置两台，以保证测量结果的准确性。通过监视和控制 SCR 反应器内的温度、压力变化，保证 SCR 高效稳定运行。



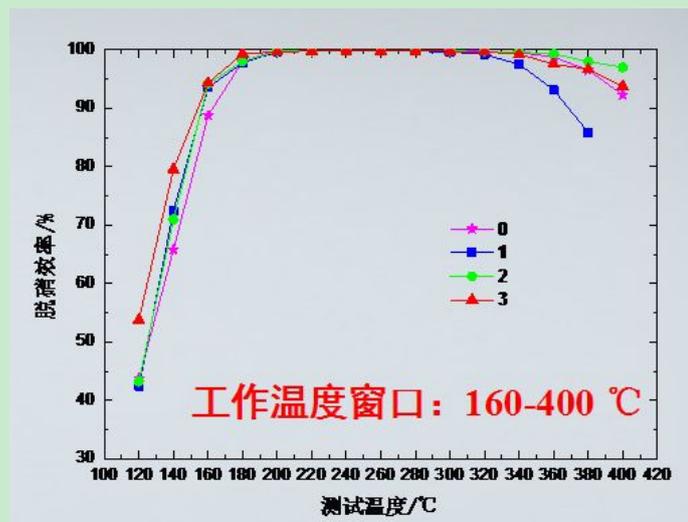
反应器设计和布置示意图

六、影响脱硝率的主要因素及系统技术参数

(一) 影响脱硝率的主要因素

SCR 系统影响脱硝效率的主要因素包括烟气的温度、飞灰特性和颗粒尺寸、烟气流量、中毒反应、 NO_x 的脱除率、物质的量比 $n(\text{NH}_3) / n(\text{NO}_x)$ 、烟气中 SO_x 的浓度、压降、催化剂的结构类型和用量等。

1、反应温度与脱硝效率的关系



2、物质的量比 $n(\text{NH}_3) / n(\text{NO}_x)$ 对脱硝率的影响

一般来说，在 300 °C 下，脱硝率随物质的量比 $n(\text{NH}_3) / n(\text{NO}_x)$ 的增加而增加，物质的量比 $n(\text{NH}_3) / n(\text{NO}_x)$ 小于 0.8 时，其影响更明显，几乎呈线性正比关系。该结果说明：若 NH_3 投入量偏低，脱硝率受到限制；若 NH_3 投入量超过需要量， NH_3 氧化等副反应的反应速率将增大，

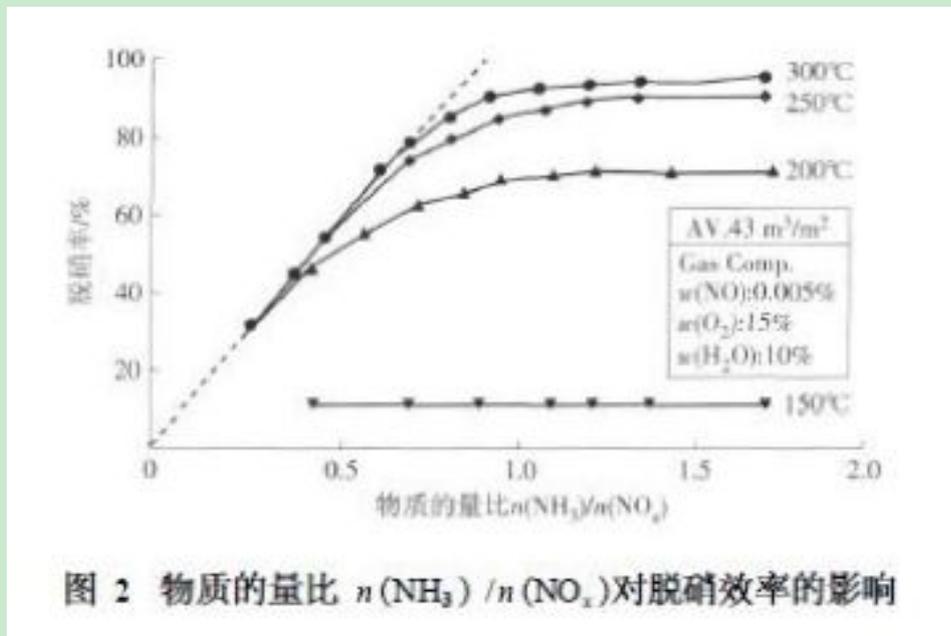


图 2 物质的量比 $n(\text{NH}_3) / n(\text{NO}_x)$ 对脱硝效率的影响

3、催化剂中 V205 的质量分数对脱硝率的影响

催化剂中 V205 的质量分数对脱硝率的影响 催化剂中 V205 的质量分数低于 6.6% 时, 随 V205 质量分数的增加, 催化效率增加, 脱硝率提高; 当 V205 的质量分数超过 6.6% 时, 催化效率反而下降。

4、催化剂的结构类型和用量对脱硝效率的影响

烟气组成成分(如粉尘浓度、粉尘颗粒尺寸、碱性金属和重金属等)的含量是影响催化剂选型的主要参数。我司低温 SCR 脱硝系统选用的是蜂窝式催化剂, 其特点为表面积大、体积小、机械强度大、阻力较大。

(二) 低温 SCR 脱硝系统技术参数

SCR 系统设计技术参数主要包括反应器入口 NO_x 浓度、反应温度、反应器内空间速度或还原剂的停留时间、 $\text{NH}_3 / \text{NO}_x$ 摩尔比、 NH_3 的逃逸量、SCR 系统的脱硝效率等。我司低温 SCR 脱硝系统技术参数如下:

活性温度	催化剂类型	化学组成	SO_2/SO_3 转化率	NH_3 逃逸率	化学寿命	机械寿命	脱硝效率
160-420°C	蜂窝型	V-Mo-TiO ₂ /V-W-TiO ₂	<1%	<3ppm	3 年	5 年	90%以上

七、系统特点及优势

1、适用范围广, 在 160--400°C 的治理温区均能保持较好的活性, 解决了催化剂在 300°C 以下失去活性的技术难题;

2、设计灵活, 可根据不同烟气的成分可以调整催化剂的配方、节距和壁厚, 同时设置合理的填充单元;

3、低温运行过程中, 因总风量降低, 在空速不变的情况下, 可减少催化剂的用量而且节约能源;

- 4、尿素分解装置设计合理、经济，不用安装尿素分解炉，大大降低了设备费用和运行成本；
- 5、流场模拟、导流、均氨以及清灰方案设计优良；
- 6、系统采用自动控制，且设计简单，不必使用昂贵的在线仪表；
- 7、设备少、占地小、便于现场设计，既适用于新锅炉治理，也便于旧有锅炉治理，基本不受场地和技术的限制；
- 8、SO₂ 转化率低，NH₄HSO₄ (ABS)的生成量低；
- 9、催化剂可高效再生利用，寿命 3-5 年，更换频率低，使得后期维护运行费用也比较低；
- 10、可全部实现原材料及生产设备国产化；
- 11、设备运行稳定，治理效果显著。

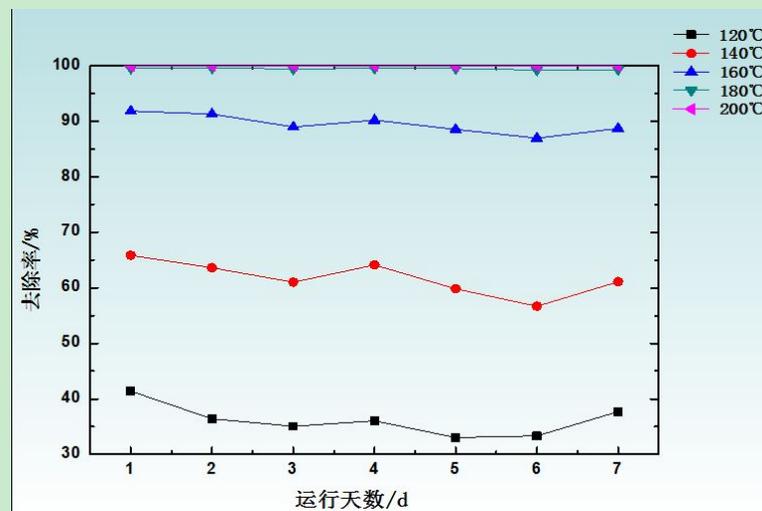
酸洗废气、玻璃炉窑、工业锅炉及化工废气治理工程，中温、低温脱硝对比

项目	方案	优点	存在缺陷	备注
烟气脱硝治理工程	低温 SCR：烟气温度 160-300℃	烟气不用再升温，直接脱硝		催化剂对烟气的抗中毒性能需做测试。
	中温 SCR：烟气温度 300-420℃	目前广泛应用于火电行业脱硝	余热锅炉需改造，寻找合适温度段；或者对烟气进行加热，成本过高	

八、低温 SCR 脱硝催化剂性能检测

关于 SCR 催化剂运行稳定性的实验

以实验室制备的改性的催化剂为例，该样品连续运行七天，分别在 120℃、140℃、160℃、180℃、200℃对其脱硝效率进行测试，对于每个温度段保持长期运行，测试结果如下图所示：



九、常见问题及解决办法

- 1、飞灰侵蚀催化剂

要想降低飞灰对催化剂的磨蚀，不妨尝试一下这几种方法：

- (1) 在垂直催化剂床层安装气流调节装置；
- (2) 利用计算流体动力学流动模型优化气流分布；
- (3) 采用耐腐蚀催化剂材料，对催化剂顶端进行处理，从而提高催化剂边缘的硬度等。

2、催化剂出现堵塞

遇到这类情况时，可通过调节气流分布，选择合理的催化剂间距和单元空间，并使进入 SCR 反应器烟气的温度维持在铵盐沉积温度之上，以防止催化剂堵塞；对于高灰段 SCR 工艺，为了确保催化剂通道通畅，须安装吹灰器。

3、发生砷中毒

催化剂 As 中毒是比较严重的问题，其主要是因烟气中的气态 As_2O_3 引起的。特别是在液态排渣锅炉中，由于静电除尘器后的飞灰再循环，所以容易造成催化剂砷中毒这类问题。因此，在催化剂制备过程中，可采用控制催化剂孔分布的方法，使催化剂内孔分布均匀，以控制毛细孔分布数量来减少“毛细冷凝”；此外在催化剂中加入 MoO_3 ，使 MoO_3 与气相 As_2O_3 发生反应，也可减少 As 中毒。

4、催化剂烧结

添加 WO_3 可最大限度地减少这类情况的发生。

5、碱金属中毒

在催化剂设计中，要考虑到碱金属对催化剂的影响，可增加设计余量，从而尽量避免这种情况的发生。

6、产生 $CaSO_4$

可通过控制催化剂内部孔径分布和采用适当节距等方法来减少飞灰中游离 CaO 与 SO_3 反应形成的 $CaSO_4$ 吸附在催化剂表面而阻止反应物向催化剂表面扩散以进入催化剂内部这类情况的发生。

十、延长催化剂寿命的必要举措

由于催化剂置换费用约占系统总价的 60%~70%，脱硝系统催化剂的折旧寿命直接决定着 SCR 系统的运行成本。我司催化剂的设计使用寿命为 3~5 年，如果由于 SCR 系统运行使用、维护不够合理将会使催化剂提前失效而不得不进行催化剂的置换、部分或整体更换，这样会进一步加大催化剂的折旧成本。因此我司在低温 SCR 脱硝系统运行使用、维护操作上均采取了一系列的严格防护措施以求延长（或保证）催化剂的使用寿命。

1、低温 SCR 脱硝系统的优化设计

- (1) 催化反应器的入口处合理分布烟气和氨，以防止由于各部位的温度常偏离设计温度而导致脱硝率的改变；
- (2) 采用导流板、混合器、氨喷射器对两侧烟道独立布置，使烟气在各断面上流量基本相等；
- (3) 在催化剂体积的设计中适当放大催化剂的量的同时考虑反应器中有效区域的变化等。

2、用户在设备运行中须严格根据烟气参数确定脱硝装置投退

在设备的运行过程中,做到密切注意烟气量及其波动范围、烟气温度及其波动范围、SCR 装置进口烟道上的烟气压力及其波动范围、烟气中的粉尘含量、烟气中的二氧化硫含量等对脱硝效率和催化剂影响较大的参数,只有烟气参数完全符合设计值,才允许投入 SCR 装置。如果出现个别参数偏离设计值过大的情况,应及时进行分析,评估其危害性质和严重性,预先估计其后果并考虑补救措施,最终确认 SCR 装置投入或退出运行。

3、用户在设备启动和 SCR 系统投运过程中须采取必要的措施

用户设备启动和 SCR 系统投运过程中,在运行调整上采取必要的措施,控制烟气温度的上升速度,避免对设备造成损害,特别是在冷态启动时必须进行预热处理等。

此外,在 SCR 系统启动次序上可做调整,如:

- (1) 开 SCR 入口烟气挡板启动引风机和送风机用冷空气清洗 SCR 烟气系统和催化剂模块;
- (2) 启动稀释空气风机,开稀释空气出口挡板,使空气流量大于 3 200m³ /h (远期效率为 85%时的空气流量为 5 400 m³ /h),氨从蒸发器供给已准备好。
- (3) 满足氨阀开启条件后,开启氨供应阀向 AIG 供应氨切换到由 NO_x 自动控制喷氨量等。

4、系统启动前须进行全面复查

启动前对系统须进行全面的复查,以确保设备系统良好、可靠,严禁带病运行,特别是利用每次停机后应加强检查,以保证系统的各方面运行良好:

- (1) 保证各层催化剂上面应无任何异物,催化剂无短缺、碎裂;
- (2) 保证所有保温表面的有效性,以防灼伤操作人员及烤坏仪表电器;
- (3) 认真确认所有仪表的安装质量、功能的有效性、精度等级核定、零点漂移调整等与设计要求是否相符。机组启动前做好重要仪器仪表的调整试验工作,如 NO_x, O₂ 分析仪的调整,检查控制阀、连锁阀动作情况,检查所有电路、电气安装的正确性等。
- (4) 平时运行中检查所有检查孔、人孔门、设备进出孔是否已可靠关闭,所有公用设施(蒸汽、压缩空气、水、氨气等)是否已正确到位;同时加强检查所有膨胀支座和膨胀节位置的正确性,保证沿膨胀方向上无异物阻挡;
- (5) 检查钢结构主要受力,梁挠度是否在允许值范围内;
- (6) 通烟后在预设的检查点检查壳体热变形值;
- (7) 热态检查仪表电气工作的正确性等。

5、吹灰器在运行过程中需要注意的事项

每一吹灰器通过就地控制柜的手动按钮进行试车,吹灰器的所有控制和顺序功能均由分散控制系统实现。与用户设备本体的吹灰器要同等对待,每台反应器的吹灰器按从上至下的催化剂层依次运行,即上一层催化剂的吹灰器在设定的时间内依次启动运行后,再开始运行下一层催化剂的吹灰器,保证每台反应器每次只有 1 台吹灰器运行。避免催化剂在运行中产生堵塞和大量积灰,一方面降低脱硝效率,另一方面损害催化剂的使用寿命。

此外，在系统日常运行过程中，须严格控制吹灰汽源压力在标准设定的范围内。既要保证吹灰汽源压力达到预期的吹灰效果，又要控制压力在合适范围内，防止压力过高吹损催化剂。同时，要选择适当吹灰汽源温度，防止吹灰汽源温度过高，造成局部催化剂区域超过允许的温度，致使局部催化剂失效；在吹灰汽源投入时做到疏水充分，避免由吹灰器带水造成催化剂粘灰而影响脱硝效率等。

十一、工程案例

1、酸洗线氮氧化物净化系统



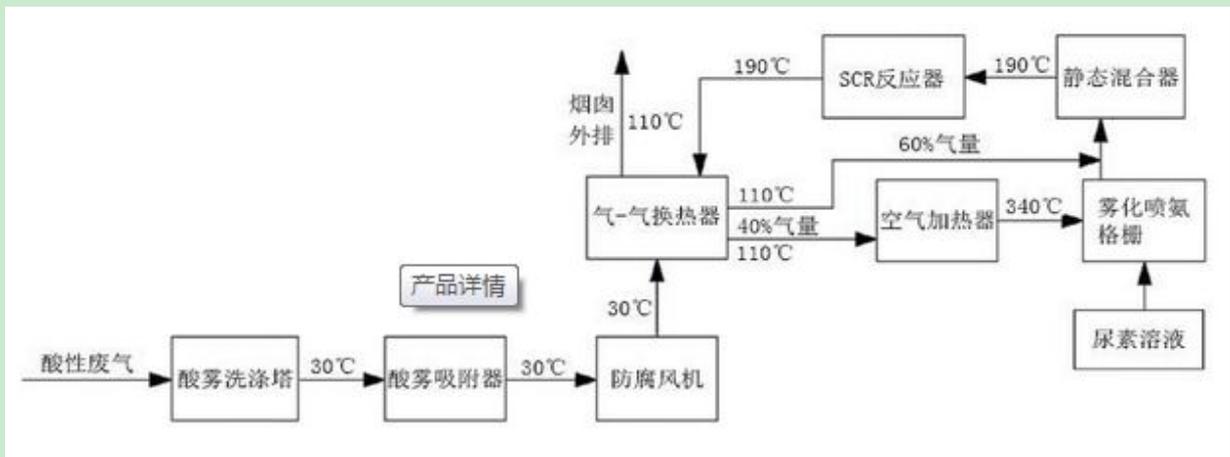
该项目是为某集团公司钛带冷轧工程新建的连续酸洗机组设计的氮氧化物净化系统。由于机组酸洗段的混酸酸洗槽、清洗槽、酸液循环罐等在运行时会产生含混合酸的废气，因此须将产生的酸性废气用集气罩导入到酸雾洗涤塔，用质量分数为 10%的 Na_2CO_3 和 NaOH 的混合液吸收。

洗涤塔后端设置一台酸雾吸附器。去除 HF 后的废气通过风道式空气加热器（卧式）加热，废气温度达到 190°C ，然后进入到 SCR 反应器中，废气中的 NO_x 通过选择性催化还原法去除，催化剂使用的高效 SCR 催化剂，活性成分为 V205，还原剂是尿素溶液，净化后的气体经过烟囱排放。

此系统的主要技术指标如下：

1. 设计处理风量：10000Nm³/h
2. 混酸种类：HF+HN03
3. 酸液温度：40~65 °C
4. 酸洗液浓度：HN03 100~220g/L、HF 10~60g/L
5. 酸雾初始含量：NO_x（净化前）——3000mg/Nm³ HF（净化前）——30mg/Nm³（含废酸液重量）
6. 酸雾初始温度：30°C
7. 排放气体含酸浓度：<10 mg/Nm³
8. 排放氮氧化物浓度：<240mg/Nm³
9. 气体加热温度控制范围：200~320°C（SCR 运行温度 170°C）
10. 脱硝效率：>90%
11. NH₃ 逃逸率：<3ppm

系统的工艺流程如下图所示：



在此酸洗线试生产的前期，对酸洗段氮氧化物去除系统的效率进行了再线监测。通过对系统入口和出口的氮氧化物浓度的监测，得到以下结论：整套氮氧化物净化系统的处理分两个阶段：前期，配酸中硝酸浓度较低，酸系过程中酸温也不太高，酸槽内氮氧化物的浓度也不高，与技术参数中的 $3000\text{mg}/\text{Nm}_3$ 持平。此时，系统运行稳定，出口处氮氧化物的浓度满足国家的排放标准。氮氧化物的去除率保持在90%以上。

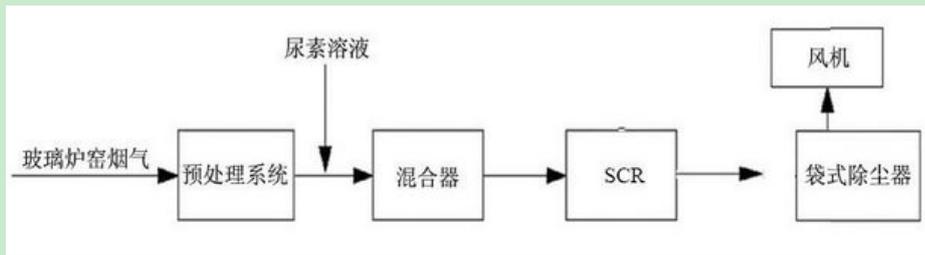
2、玻璃炉窑尾气处理系统



该系统是针对玻璃炉窑里硝酸硼分解产生的氮氧化物等气体污染物的净化处理而设计的。窑中产生的烟气经过预处理系统温度降至 300°C 左右，尿素溶液利用此高温分解产生氨气，与烟气混合后进入到SCR反应器中，烟气温度在 240°C 左右，废气中的 NO_x 通过选择性催化还原法去除，然后通过袋式除尘器将P205粉尘去除。净化后的气体经过烟囱排放。此系统的主要技术指标如下：

1. 设计处理风量： $600\text{Nm}_3/\text{h}$
2. 氮氧化物初始含量： $3000\text{mg}/\text{m}_3$
3. 烟气初始温度： 260°C
4. 排放氮氧化物浓度： $240\text{mg}/\text{Nm}_3$
5. 脱硝效率： $>90\%$
6. NH_3 逃逸率： $<3\text{ppm}$

具体的系统流程如下图所示：



后期的系统调试发现，SCR 入口的氮氧化物浓度保持在 1100-1300ppm 左右，经脱硝处理后，浓度降低至 60-80ppm 左右，此时脱硝效率保持在 95%，SCR 反应温度在 240-260℃，系统的压损为 500-800Pa。系统取得了预期的处理效果。

3、医药企业 NO_x 尾气处理系统



图中 NO_x 尾气处理系统是为某医药公司设计制造的。该公司有两条氧化制草酸生产线，生产过程中会产生氮氧化物气体污染物。来自工艺尾气 (8000Nm₃/h, 30℃) 经与 SCR 反应器排净烟气换热后，升温约 90℃ 进入电加热器再一次升温到 180℃，进入 SCR 催化反应器。在 SCR 催化反应器中被选择性还原为 N₂ 和 H₂O，反应后气体与原废气进行换热后，通过烟囱排放到大气。



技术参数：

- 1) 设计处理风量：8400 Nm₃/h；
- 2) 氮氧化物初始含量：一条 800-2000mg/Nm₃；

- 3) 烟气初始温度：25-30℃；
- 4) 排放氮氧化物浓度：≤240 mg/Nm₃；
- 5) 气体加热温度控制范围：180-190℃；
- 6) 脱硝效率：≥88%；
- 7) NH₃ 逃逸率：<5ppm。

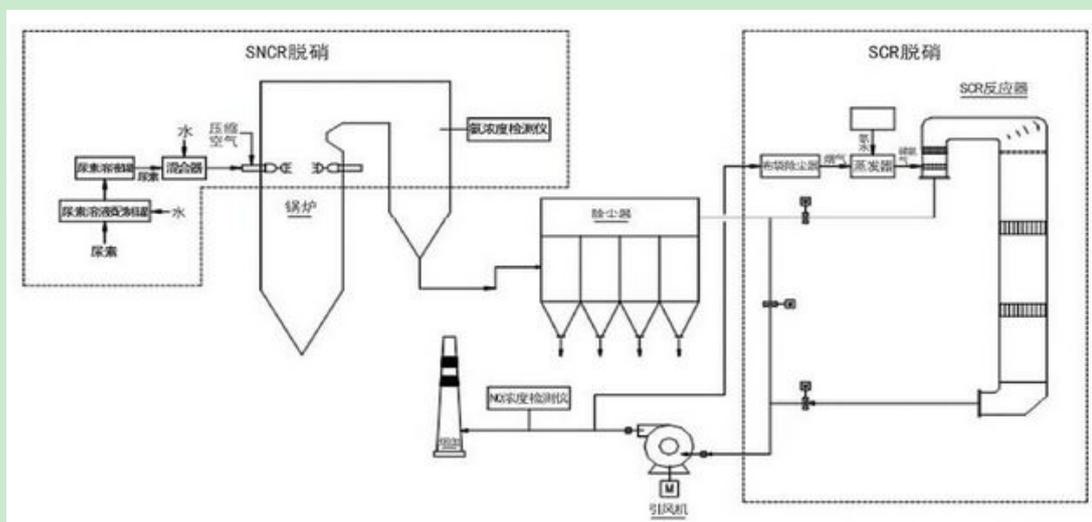
4、广州钢铁厂自备电站 85t/h、142t/h 锅炉氮氧化物净化系统

广州钢铁股份有限公司自备电站拥有燃煤锅炉 2 台，合为 1 根烟囱排放烟气，其中 1 台锅炉蒸发量为 142t/h，该锅炉为煤和高炉煤气混烧（燃 50%以上高炉煤气），配有 32MW 汽轮发电机组。另外 1 台锅炉蒸发量为 85t/h，为粉煤锅炉同时掺烧 30%以下高炉煤气，配有 11MW 汽轮发电机组。烟气处理配套建有半干法循环流化床脱硫和布袋除尘设施，氮氧化物排放浓度约 700 mg/Nm³。该项目采用 SNCR+SCR 脱硝工艺，尾气排放符合设计要求，项目通过广州市环境监测中心站的监测验收。

项目主要技术指标：

1. 采用 SNCR+低温 SCR 工艺，使用氨水作为脱硝还原剂
2. 烟气脱硝装置的控制系統使用 PLC 系統工程单独控制
3. 烟气脱硝效率≥60%
4. NH₃ 逃逸量<5ppm
5. 脱硝装置可用率不小于 95%，服务寿命为 30 年

项目采用 SNCR+低温 SCR 工艺流程图如下：



5、辊道窑尾气 NO_x 处理工程

为贯彻落实国家关于“十二五”期间对氮氧化物减排指标约束性的要求，某催化剂公司积极实施辊道窑尾气脱硝治理工作，选用了国内唯一拥有自主知识产权的现代低温脱硝技术对其所属辊道窑在生产过程中产生的 NO_x 等尾气进行净化处理。辊道窑出口 110℃ 废气经过电加热器加热至 200℃，进入 SCR 反应器中，废气中的 NO_x 通过低温 SCR 催化剂去除。

该系统脱硝效率超过 90%，其系统的工程造价和运行成本远低于中高温 SCR 催化脱硝技术。此项

目的主要技术指标如下：

1. 设计处理风量：6318 Nm³/h（单线，实际废气量）
2. 氮氧化物初始含量：1500mg/Nm³
3. 烟气初始温度：110℃；
4. 排放氮氧化物浓度：≤100mg/Nm³
5. NO_x 排放速率：<0.77kg/h（15m 烟囱计）
6. 脱硝效率：≥90%
7. NH₃ 排放速率：<4.9kg/h（15m 烟囱计）
8. 脱硝装置可用率不小于 98%，服务寿命为 20 年
9. 采用 25%氨水作为脱硝还原剂

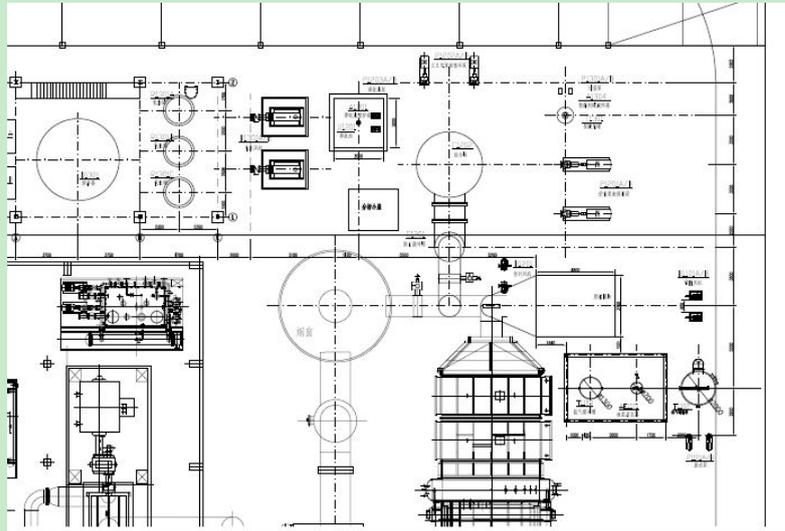
此项目是公司 EPC 总包工程，脱硝系统的工程现场如图所示：



烟气处理前后排放状况对比：



6、山东某化工重油提取装置烟气脱硝脱硫除尘处理工程



技术参数：

烟气处理量：100000Nm³/h

SCR 处理温度：220℃

NO_x 处理前浓度：350mg/Nm³ 处理后浓度：100mg/Nm³

十二、技术支持与服务

“精益求精，追求完美”为我司一贯的宗旨，“技术创新、品质优良、服务周到”是我司自成立以来一直秉持的经营理念，正是凭借着高效、优质、快捷的服务，我司赢得了广大用户与业界同仁的一致好评。

我司设有专门的技术咨询和售后服务中心，负责向所有用户提供有关设备使用和维护等方面的技术咨询和售后服务，及时解决用户在产品使用过程中遇到的各种难题和困扰，在解除用户的后顾之忧的同时保障用户的切身利益。

蓝宇净化，真诚地为您服务！

蓝宇净化，愿与社会各界人士携手共进，为还原蓝天本色贡献力量！