



烟气脱硝 (SCR) 技术及相关计算

内 容 目 录

1. 火电厂烟气脱硝基本概念
2. 氮氧化物生成机理
3. 减少氮氧化物排放的方法
4. 烟气脱硝SCR工艺
5. 运行注意事项
6. 氨消耗量的粗略计算

1. 火电厂烟气脱硝基本概念

- ◆ 烟气脱硝是 NO_x 生成后的控制措施，即对燃烧后产生的含 NO_x 的烟气进行脱氮处理的技术方法。
- ◆ 氮氧化物（ NO_x ）一般包括 NO 、 NO_2 、 N_2O 、 N_2O_3 、 N_2O_4 、 N_2O_5 等，但是大气主要污染物还是 NO 和 NO_2 。
- ◆ 火力发电厂燃煤锅炉燃烧烟气中(脱硝前)的氮氧化物 NO_x 主要包括 NO 、 NO_2 ，其中 NO 约占 NO_x 排放总量的95%(体积浓度)， NO_2 约占 NO_x 排放总量的5%(体积浓度)。

2. 氮氧化物生成机理

1、燃料型NO_x

燃料型NO_x是指燃料中氮的化合物在燃烧过程中被氧化所生成的NO_x。燃料型NO_x是燃煤电厂锅炉产生NO_x的主要途径，大约占NO_x总量的75%-90%。

2、热力型NO_x

热力型NO_x是指空气中的氧气和氮气在燃料燃烧时的高温环境下生成NO和NO₂的总和。反应式如下：



3. 减少氮氧化物排放的方法

根据 NO_x 生成机理，世界上控制 NO_x 的技术主要包括燃烧时尽量避免 NO_x 的生成技术和 NO_x 生成后的烟气脱除技术。

1、低 NO_x 燃烧技术

通过控制燃烧区域的温度和空气量，达到阻止 NO_x 生成及降低其排放浓度的目的，也可以称为低氮燃烧技术。

2、烟气脱硝

随着环保要求不断提高，各种低氮燃烧技术降低 NO_x 的排放不能满足环保的要求，需采取燃烧后的烟气脱硝处理。

4. 烟气脱硝SCR工艺

目前世界上使用最广泛的方法是选择性催化还原法(SCR) 和选择性非催化还原(SNCR)。

- **SCR技术**：选择性催化还原法（SCR为Selected Catalytic Reduction英文缩写）
- **SNCR技术**：选择性非催化还原法（SNCR英文缩写为Selected Non-Catalytic Reduction英文缩写）
- **SNCR/SCR混合法技术**：选择性非催化还原法和选择性催化还原法的混合技术

4.1 温度窗

任何一个化学反应都存在适宜反应发生的温度，通常把这个温度区间称为“温度窗”。 NH_3 对 NO_x 选择还原在有催化剂和没催化剂存在的情况下，具有不同的反应“温度窗”。在不添加催化剂的时候， NH_3 对 NO_x 理想还原温度窗为 $850\text{-}1200^\circ\text{C}$ ，如果温度低于这个区间，还原反应速度就变得缓慢。催化剂的作用能提高化学反应速率，而自身结构和性质不发生变化。正是由于催化剂的加入，使 NH_3 对 NO_x 还原温度窗降低到 $250\text{-}420^\circ\text{C}$ 。不同的催化剂种类，温度窗也有所不同。

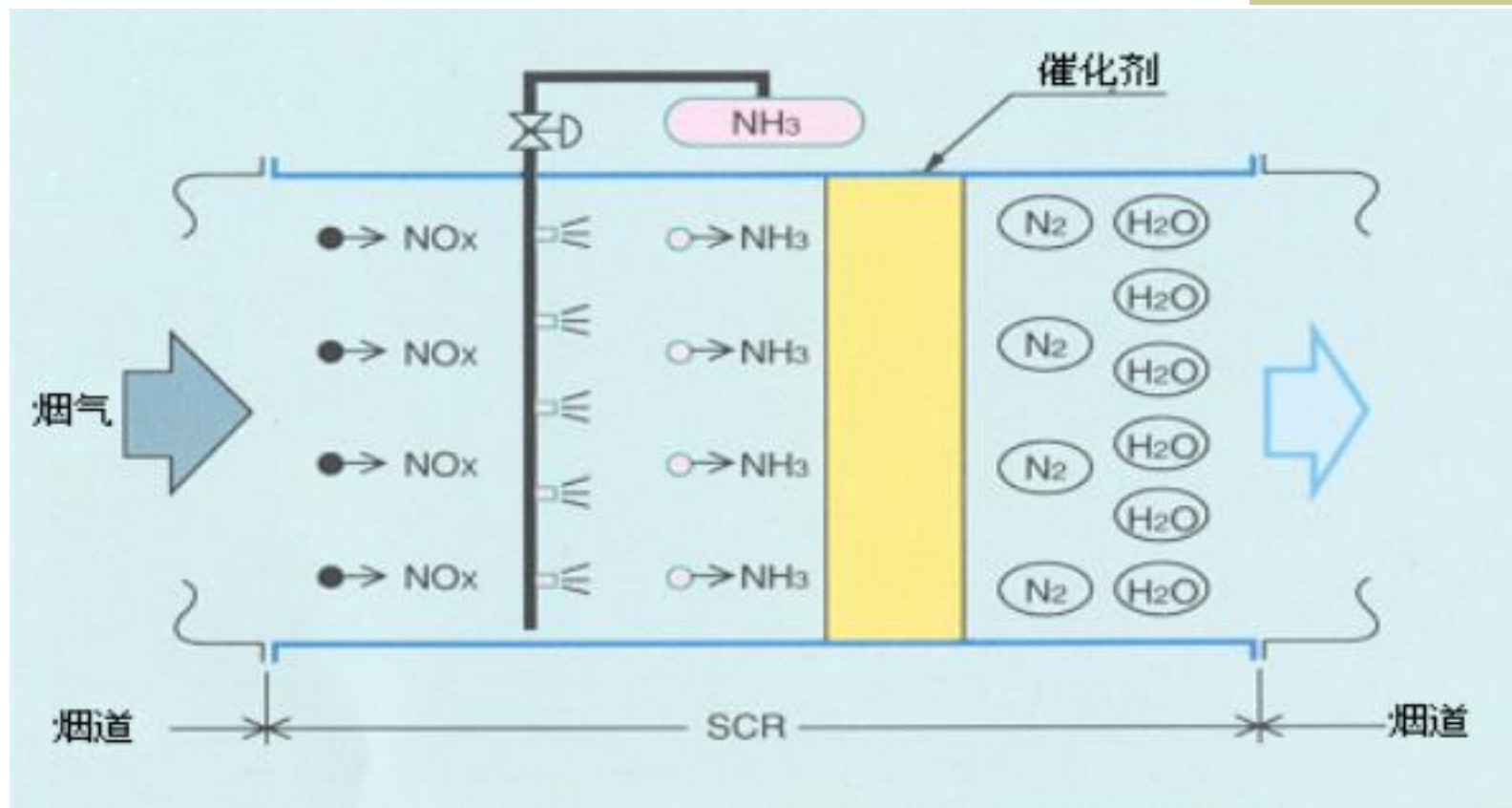
4.2 SCR技术原理

选择性催化还原法（SCR技术）是以氨（ NH_3 ）作为还原剂，在金属催化剂作用下，将 NO_x 的还原成无害的 N_2 和 H_2O 。 NH_3 有选择的与烟气中 NO_x 反应，而自身不被烟气中的残余的 O_2 氧化，因此称这种方法为“选择性”。

有氧条件下反应式如下：



SCR反应原理示意图



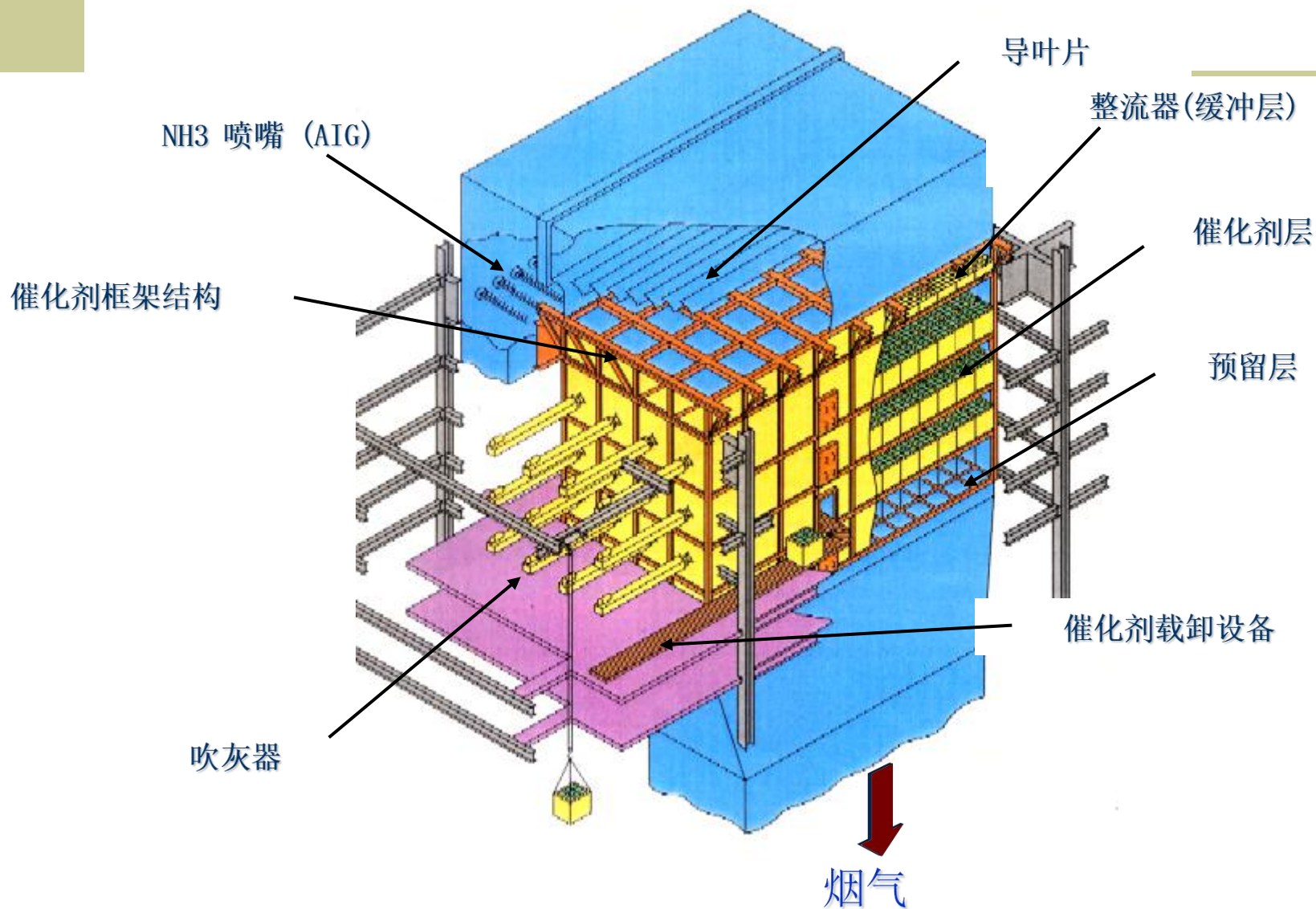
4.3 SCR工艺流程

整个SCR烟气脱硝系统分为两大部分，即SCR反应器和液氨存储及供应系统。

1、SCR反应器

SCR反应器布置在锅炉省煤器与空预器之间，温度为350℃左右的位置。烟气从省煤器底部导出，与带有气氨的稀释空气混合，经一段烟道稳流，通过导流板进SCR反应器反应。烟气经脱硝后进空预器。

脱硝反应器的总括图 (垂直流型)



2、液氨存储及供应系统

液氨存储及供应系统包括氨压缩机、液氨储罐、液氨蒸发器、气氨罐废水箱、废水泵、废水坑等。此套系统提供氨气供脱硝反应使用。液氨的供应由液氨槽车运送，利用液氨卸料压缩机将液氨由槽车输入液氨储罐内，储槽输出的液氨在液氨蒸发器内蒸发为气氨，气氨经稀释后供入脱硝系统。

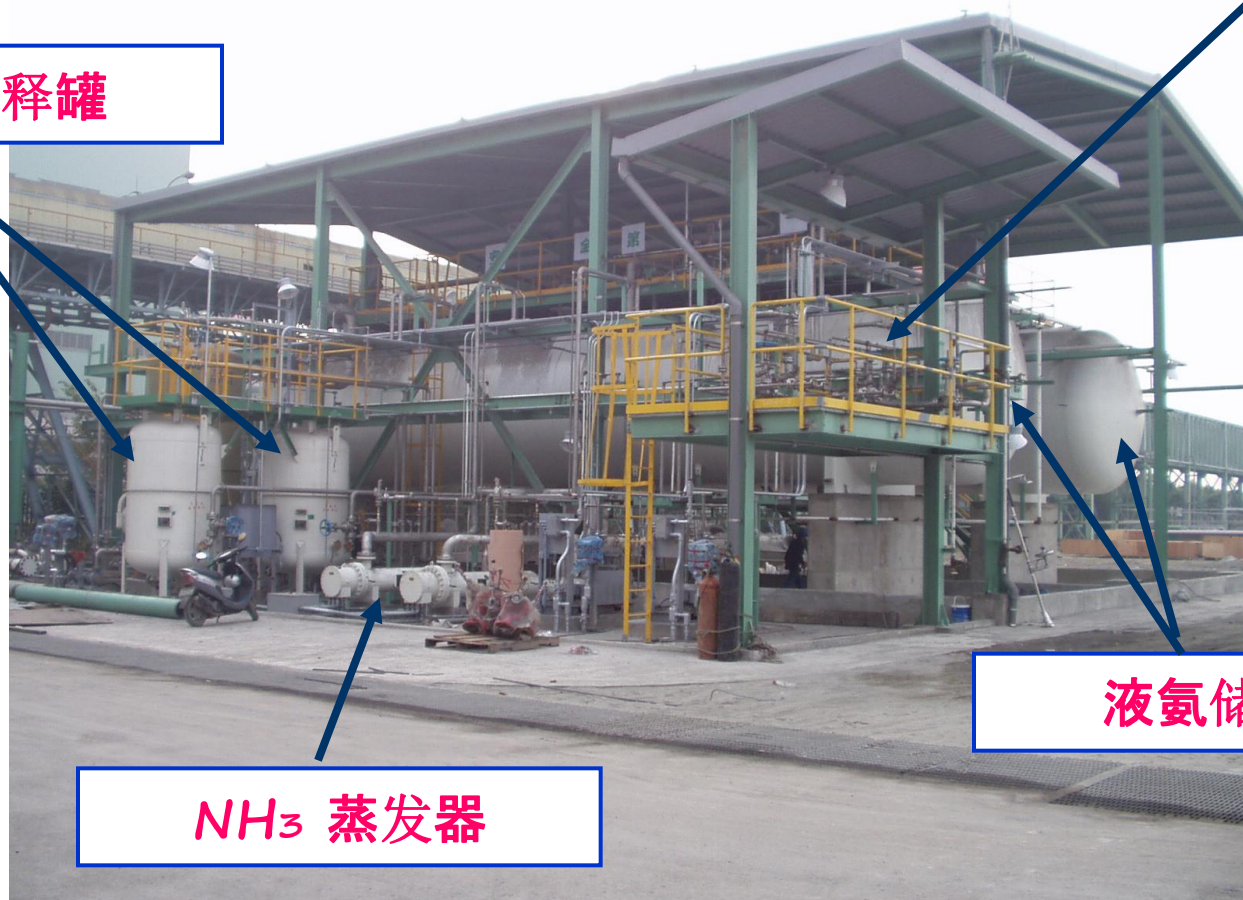
NH_3 储存和供给系统

NH_3 稀释罐

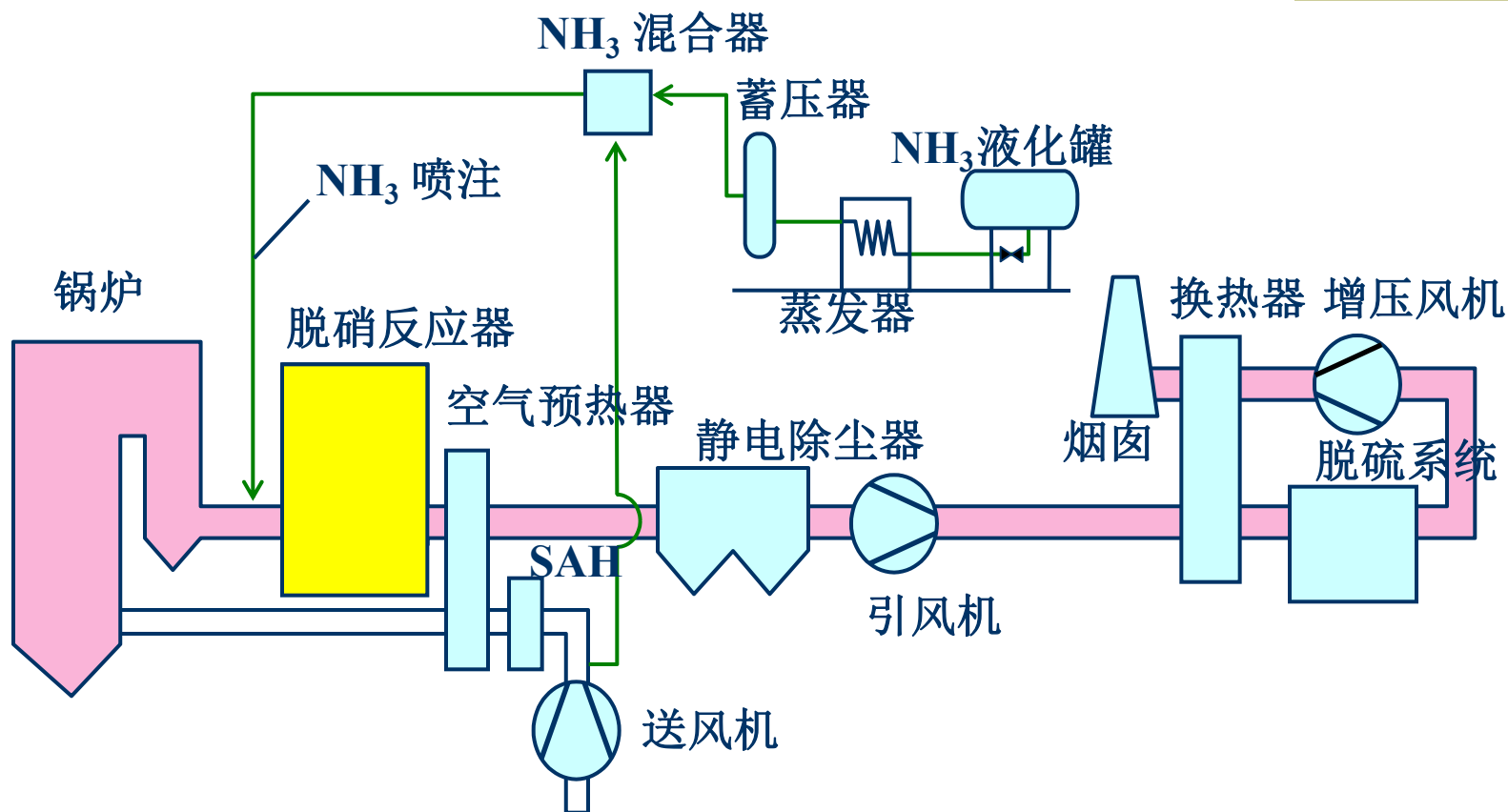
液氨卸料装置

液氨储存罐

NH_3 蒸发器



锅炉SCR脱硝系统装置的基本流程图



5.运行注意事项

- ◆ 氨气与空气混合物会发生爆炸

氨气在空气中体积浓度达到16-25%时(最易引燃浓度17%)，遇明火会发生爆炸,如有油类或其它可燃性物质存在,则危险性更高。运行中控制混合器内氨的浓度远低于爆炸下限，一般控制在5%。

氨是有毒物质，吸入或接触对人体有严重的危害，当要将氨系统管路打开时，需要用氮气冲管置换后再进行作业。

◆ 氨逃逸率

控制氨逃逸率小于3ppm，因为烟气中部分SO₂会转化为SO₃，



NH₄HSO₄沉积温度150-200℃，粘度大，加剧对空预器换热元件的堵塞和腐蚀。

◆ 催化剂堵塞和失效

反应器布置在高含尘烟气段，这里的烟气未经过除尘，飞灰颗粒对催化剂的冲蚀和沉积比较严重，会引起催化剂空隙堵塞现象，甚至可能引起催化剂中毒，使催化剂活性降低。为保证理想的脱除效率，催化剂表面必须保持清洁，在反应器内安装吹灰器对催化剂层进行定期清洁。

6.氨消耗量的粗略计算

假设锅炉排放NO_x浓度为400mg/m³,将锅炉NO_x排放浓度视为NO浓度和NO₂浓度之和计算的氨消耗量。



$$C_{NO} + C_{NO_2} = 400 \quad (1)$$

$$C_{NO}/30 / (C_{NO}/30 + C_{NO_2}/46) = 0.95 \quad (2)$$

(1)、(2)公式联合求解得到 C_{NO} 、 C_{NO_2}

$$C_{NO} = 370.13 \text{ mg/Nm}^3$$

$$C_{NO_2} = 29.87 \text{ mg/Nm}^3$$

$$W_a = (Q \times C_{NO} \times 17 / (30 \times 10^6) + Q \times C_{NO_2} \times 17 \times 2 / (46 \times 10^6)) \times m$$

C_{NO} 、 C_{NO_2} 进口烟气NO、NO₂的浓度(mg/Nm³)

Q为反应器进口烟气流(Nm³/h)

W_a为供氨量(kg/h)

0.95为NO占NO_x排放总量的95%

17、30、46分别为NH₃、NO、NO₂分子量

m为脱硝效率

谢谢！