

## 不同燃烧气氛条件下SCR烟气脱硝性能实验研究

以淮南烟煤为例，经计算得到富氧 $O_2/CO_2$ 以及空气燃烧条件下的烟气成分，通过模拟不同烟气成分，在实验室活性测试平台上研究了氨氮比、温度(表征反应速率常数 $k$ )、表观速度(表征停留时间 $T$ )、入口NO初始的质量浓度 $CNO$ 及烟气成分中 $H_2O$ 和 $O_2$ 对SCR催化剂脱硝性能的影响。结果表明:相同实验工况下，与空气气氛相比，富氧和 $O_2/CO_2$ 气氛下SCR烟气脱硝效率降低了8%；不同气氛下，随氨氮比、温度的增加，脱硝效率增长，且增长速率逐渐降低；表观速度增加时，脱硝效率减小，且减小速率也逐渐减低； $CNO$ 减小时，脱硝效率仅变化了1%左右；烟气中 $H_2O$ 和 $O_2$ 也会影响脱硝性能，但均与烟气中的 $CO_2$ 无关。

与空气气氛燃烧条件下相比，富氧( $O_2/CO_2$ )燃烧能减少 $NO_x$ 等污染物的排放。目前，控制 $NO_x$ 排放主要采用选择性催化还原(SCR)烟气脱硝技术。关于空气燃烧的SCR脱硝技术，国内外大量学者进行了深入研究。刘武标研究表明SCR脱硝存在最佳反应温度范围和最佳 $NH_3/NO_x$

$H_2$ 和 $O_2$ 含量会对SCR脱硝性能产生影响；Brandin认为 $CO_2$ 会抑制钒钛基催化剂的脱硝活性。关于富氧燃烧条件下SCR脱硝技术，陈松涛的实验结果表明， $CO_2$ 的存在会抑制催化剂的脱硝反应，且随着 $CO_2$ 的体积分数的增加，抑制作用越强烈，但是不会导致催化剂的失活；赵栋等人通过实验研究表明氧气、二氧化硫以及温度会对脱硝产生影响。

本文以淮南烟煤为例，经计算得到富氧(体积比: $V_{CO_2}/V_{O_2}=70:30$ )， $V_{O_2}/V_{CO_2}$ (体积比: $V_{CO_2}/V_{O_2}=79:21$ )以及空气(体积比: $V_{CO_2}/V_{O_2}=78:21$ )燃烧条件下的烟气成分，通过模拟 $O_2/CO_2$ 烟气成分，在实验室活性测试平台上研究了氨氮比 $a$ 、反应速率常数 $k$ 、反应时间 $T$ 、入口NO初始的质量浓度 $CNO$ 以及烟气成分中 $H_2O$ 和 $O_2$ 含量对SCR催化剂脱硝性能的影响。

### 1 脱硝效率计算

根据有氧条件下脱硝反应原理可得:

$$\eta = 1 - \frac{C_{NO}}{C_{NO,i}} = \begin{cases} 1 - \frac{1}{k\tau C_{NO,i} + 1}, \alpha = 1 \\ 1 - \frac{\alpha - 1}{e^{k(\alpha-1)C_{NO,i}\tau} - 1}, \alpha \neq 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中： $\alpha$ —氨氮比，即 SCR 反应器入口 NO 与 NH<sub>3</sub> 的摩尔浓度之比  $C_{NH_3,i}/C_{NO,i}$ ； $C_{NO}$ —烟气中 NO 的摩尔浓度，mol/m<sup>3</sup>； $\tau$ —停留时间，s； $k$ —以反应式表征的反应速度的表观速度常数，m<sup>3</sup>/(mol·s)； $\eta$ —脱硝效率，%。

脱硝效率计算式为：

$$\eta_{NO} = \frac{C_{NO,i} - C_{NO}}{C_{NO,i}} \times 100\% \quad (2)$$

式中： $C_{NO,i}$ —NO 初始的质量浓度，mg/m<sup>3</sup>； $C_{NO}$ —反应后 NO 的质量浓度，mg/m<sup>3</sup>。

为进一步研究SCR烟气脱硝性能，在实验室活性测试平台上进行了实验研究，由阿累尼乌斯定律可知，反应速率常数 $k$ 与温度呈正相关关系，实验中可用温度大小来表征 $k$ 的变化，而当催化剂面积一定时，烟气在催化剂反应时间 $T$ 与表观速度呈倒数关系，表观速度为烟气流量与催化剂表面积之比，实验中可用表观速度的大小来表征 $T$ 的变化，由此实验过程中分别对氨氮比、温度、入口NO的质量浓度、表观速度条件下催化剂的脱硝效率进行了测试，以研究氨氮比、反应速率常数 $k$ ，NO初始的质量浓度 $C_{NO}$ 以及反应时间 $T$ 对SCR烟气脱硝性能的影响。

## 2脱硝性能实验

实验样品取自广

东旺隆电厂的新蜂窝煤状催化剂，该

催化剂为钒钨基催化剂，其基本成分为TiO<sub>2</sub>，V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>，WO<sub>3</sub>

等，实验将整块催化剂切为总长为0.2m，单孔孔径宽0.0074m，单孔孔径高0.0074m的5孔×5孔的试验块，其催化剂表面积为0.150m<sup>2</sup>。

### 2.1实验室活性测试平台

实验在SCR催化剂活性测试平台上进行，测试平台示意图参见文献图30该实验装置由配气系统、给水系统、混合器、加热系统、催化剂反应器和烟气分析仪组成。实验气

体CO<sub>2</sub>，N<sub>2</sub>，NO，O<sub>2</sub>，H<sub>2</sub>O、和NH<sub>3</sub>，其中CO<sub>2</sub>为富氧气氛下的载体(空气下N<sub>2</sub>为载体)，H<sub>2</sub>

O由给水系统的微量水泵抽入汽化器进行汽化，其余气体均由配气系统完成，通过气瓶压力与流量的控制，调节模拟

烟气的成分含量。混合器的作用是除NH<sub>3</sub>外的气体进行充分混合，混合后的气体通入预热器加热至一定温度，NH<sub>3</sub>

在加热电炉前加入，与混合气体一起进入反应器，反应器为长1500mm，截面52mm×52mm方形的钢制套筒，竖直置于电炉中，实验前将已制好的试样块放置于反应器中心。电炉由4段加热组成，使实验气体加热至要求温度，并保持反应器温度均匀。反应气体在催化剂中发生反应，催化剂的温度由伸入催化剂中心E型热电偶进行测量，并将测出催化剂的温度显示在台架仪表上。通过调节电炉温度使反应器内催化剂层温度达到设定值。反应后的烟气进行降温干燥处理，再通过NGA2000烟气分析仪进行烟气分析。

## 2.2 烟气成分模拟

模拟燃烧气氛下的烟气成分作为实验气体，淮南烟煤煤质分析参见文献表1。在过量空气系数为1.1时，经计算得到

富氧

和空气燃

烧条件下的烟气成

分参见文献表2。可以看出，富氧燃烧

生成的烟气量明显比空气气氛下少0.561m<sup>3</sup>/kg。脱硝入口NO<sub>x</sub>

参考典型富氧燃烧锅炉脱硝入口烟气参数，由于NO<sub>x</sub>

中主要是NO，因此脱硝入口NO的质量浓度取300mg/m<sup>3</sup>

，同时为研究方便，空气气氛下NO也均取300mg/m<sup>3</sup>

。由于受活性测试平台

配气系统的限制，模拟富氧燃烧气氛下烟气成

分时，实验气体包括CO<sub>2</sub>，NO，NH<sub>3</sub>，O<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O，而空气气氛下则为N<sub>2</sub>，NO，NH<sub>3</sub>，O<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>

O，实验设计表观速度为20m/s，则气体总流量为49.99L/min。

## 2.3 实验工况及方法

通过模拟富氧和O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>

条件下烟气成分，

研究了氨氮比、温度、入口NO的质

量浓度CNO，i，表观速度、烟气中H<sub>2</sub>O和O<sub>2</sub>

对脱硝效率的影响。并与空气气氛进行对比，具体的实验工况如表1所示。

实验时先通CO<sub>2</sub>(空气下为N<sub>2</sub>)

)设置加热器的升温速率为10 /min升至设定温度，待温度保持稳定，通入NO气体，待NO的质量浓度稳定后，记录NO的质量浓度为初始NO的质量浓度CNO，i再通入

实验气体NH<sub>3</sub>，O<sub>2</sub>以及H<sub>2</sub>

O进行反应，待反应后的NO的质量浓度趋于稳定后，记录NO的质量浓度CNO，由式(2)计算出脱硝效率。

表1 脱硝性能实验工况

气氛	温度/℃	$C_{NO_x}/mg \cdot m^{-3}$	O <sub>2</sub> 体积分数/%	H <sub>2</sub> O体积分数/%	表观速度/m · s <sup>-1</sup>	氨氮比 $\alpha$
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	350	300	1.79	8.58	20	0.5 - 1.1
空气	350	300	1.79	8.58	20	0.5 - 1.1
富氧	350	300	2.76	9.30	20	0.5 - 1.1
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	280 - 380	300	1.79	8.58	20	0.9
空气	280 - 380	300	1.79	8.58	20	0.9
富氧	280 - 380	300	2.76	9.30	20	0.9
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	350	240 - 340	1.79	8.58	20	0.9
空气	350	240 - 340	1.79	8.58	20	0.9
富氧	350	240 - 340	2.76	9.30	20	0.9
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	350	300	1.79	8.58	14 - 22	0.9
空气	350	300	1.79	8.58	14 - 22	0.9
富氧	350	300	2.76	9.30	14 - 22	0.9
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	350	300	1.79	5 - 10	20	0.9
空气	350	300	1.79	5 - 10	20	0.9
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	350	300	2 - 10	8.58	20	0.9
空气	350	300	2 - 10	8.58	20	0.9

为了保证实验数据的可靠性和准确性，在实验数据稳定30min后记录数据。

### 3脱硝效率分析

#### 3.1氨氮比、温度、CNO, i、表观速度

图1为3种气氛下氨氮比、反应温度、入口NO质量浓度CNO和表观速度对SCR烟气脱硝效率的影响。

由图1(a)可知，氨氮比和SCR烟气脱硝效率均呈正相关。这是因为氨氮比增加时相当于氨的质量浓度增加，根据反应速率方程： $r=kAaBb$ 了，氨的质量浓度增加将导致反应速率增加，在表观速度不变情况下，反应更彻底，脱硝效率就越高。

但随着氨氮比的继续增加，脱硝效率增加的幅度逐渐减小，这是由于氨的质量浓度过高使NH<sub>3</sub>分子不能吸附在催化剂上与NO发生反应而直接逸出。

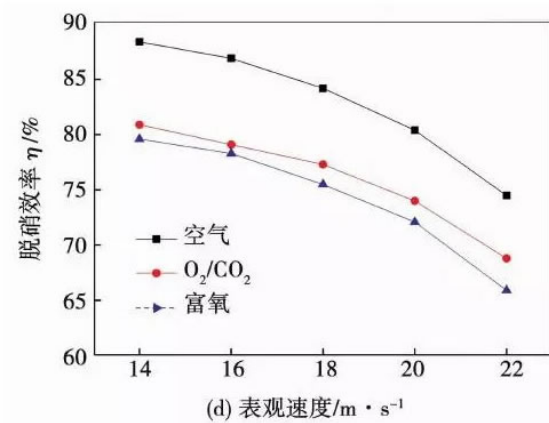
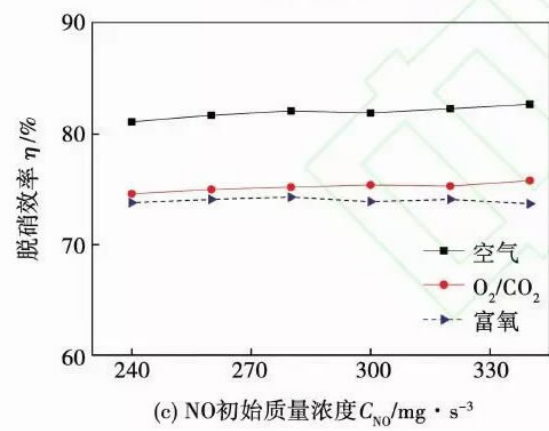
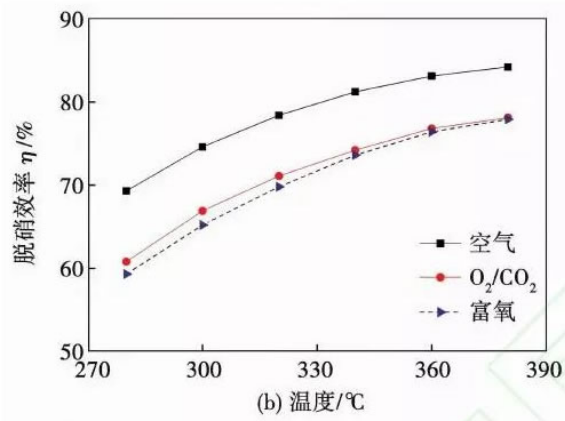
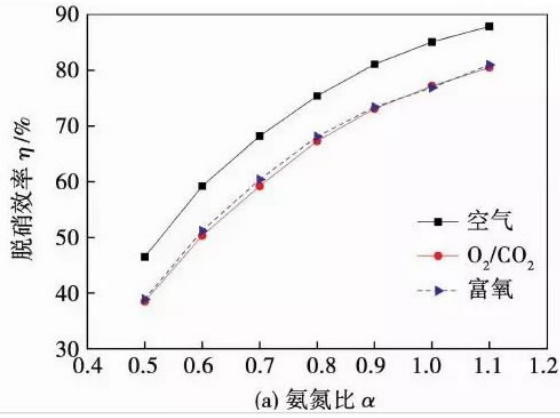


图1主要影响因素对脱硝效率的影响

由图1(b)可以知,在290 ~380 内,SCR烟气脱硝效率均随着温度的升高而增大,这是由于温度升高,结合公式(1)定性分析,可知反应速率常数增加,脱硝效率是增加的;另一方面,根据打一散系数计算公式(具体公式参见文献公式(3),当反应

温度增加时,烟气中NO和NH

3的打一散系数也增加,使催化剂上吸附更多的NO和NH<sub>3</sub>

,促进氨氮反应的进行。但脱硝效率的增长速率减小,这是由于在高温区域,氨发生氧化反应,使参与脱硝反应的氨量减少;同时高温下SO<sub>2</sub>具有较高的转化率,会在催化剂活性位上产生竞争吸附,且温度越高,吸附作用越强。

由图1(c)可知,3种气氛下,CNO由240mg/m<sup>3</sup>增加到340mg/m<sup>3</sup>,SCR脱硝效率都仅变化了1%左右,可以看出CNO变化对脱硝效率影响较小。根据公式分析可知,入口NO初始质量浓度NO的增大,其脱硝效率会相应增加;另一方面由于实验室模拟

的烟气成分相对纯净,烟气流经

催化剂表面时扰动不强,造成不能在催化剂上与NH<sub>3</sub>

发生反应而直接逸出,表现为催化剂对NO的质量浓度适应性不足,使得脱硝效率降低。

由图1(a)可知,模拟O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>

烟气下,当表观速度由16m/s增加到22m/s时,SCR脱硝效率下降了约8%,可以看出,脱硝效率随着表观速度的增加而降低,影响比较明显,这是因为表观速度越大,烟气在催化剂内停留时间越短,氨氮催化反应作用时间越短,则脱硝效率越低。但随着表观速度进一步增大,其脱硝效率下降趋势却是减小的,这主要是由于表观速度越高,烟气与催化剂接触时间就越短,且由于气体扩散系数存在差别,导致扰流增强,增大了NO分子与催化剂表面的接触机会,从而促进了脱硝反应的进行,这在一定程度上减缓了随着表观速度增加其脱硝效率降低的速度。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/144410.html>