

东方锅炉高效脱硝技术介绍

东方电气集团东方锅炉股份有限公司
2016.1

目录

东方锅炉烟气协同控制超净排放技术装备

东方锅炉烟气脱硝技术

1 脱硝技术组成

2 CHEMK-CFD耦合模拟

3 SCR脱硝

4 SNCR脱硝

5 业绩

脱硝技术的组成：低氮燃烧/SNCR/SCR

最大可实现脱硝效率：

SCR：90%以上

SNCR：PC炉：20~40%；

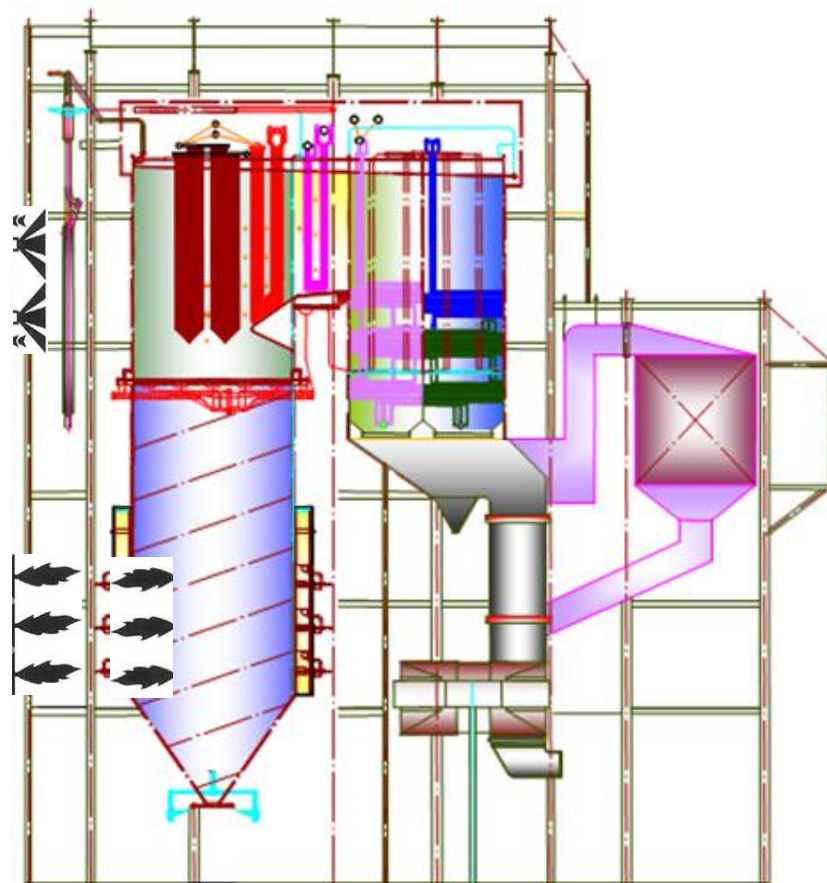
CFB炉：50~80%

SNCR+SCR：CFB炉：90%以上

脱硝技术选择：

对于PC炉，“SCR脱硝技术”是最经济和高效的选择；

对于CFB锅炉，直接采用“SNCR脱硝技术”更具有优势。



高效脱硝概念

烟尘不高于
10mg/m³

SO₂不高于
35mg/m³

NO_x不高于
50mg/m³

高效脱硝：脱硝效率高于90%或者出口NO_x低于50mg/m³

目录

东方锅炉烟气协同控制超净排放技术装备

东方锅炉烟气脱硝技术

1 脱硝技术组成

2 **CHEMK-CFD耦合模拟**

3 SCR脱硝

4 SNCR脱硝

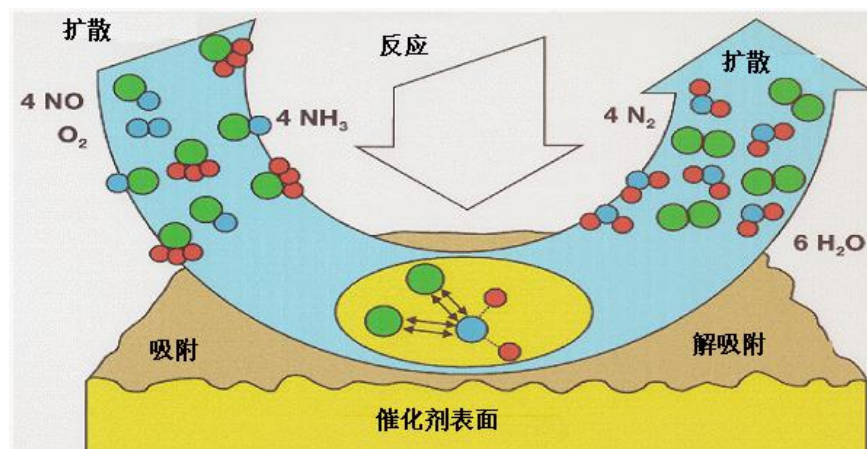
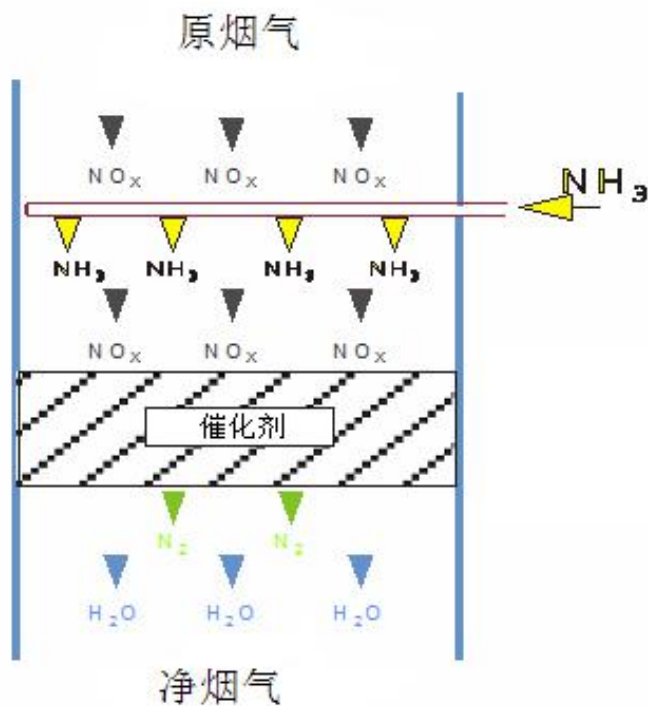
5 业绩

CHEMKIN-CFD

耦合模拟

基于CHEMKIN的化学反应过程模拟

FLUENT软件耦合化学反应进行流场与过程反应模拟，预测氨逃逸



SCR机理图

化学动力学反应

ELEMENTS

O H C N V (5种元素)

END

SPECIES

O₂ H₂O NH₃ NO CO₂ N₂ (6种反应物)

END

!REACTIONS !CAL/MOLE

!CO(NH₂)₂ + H₂O => CO₂ + 2NH₃ 3.0E1 0.0 200.0

!FORD/H₂O 0.0/

!4NH₃ + 4NO + O₂ => 4N₂ + 6H₂O 323.6 0.0 11.64E3 !60.0

!FORD/NO 1.0/

!FORD/O₂ 0.0/

!FORD/NH₃ 0.0/

!4NH₃ + 2NO + 2NO₂ => 4N₂ + 6H₂O 5.0E14 0.0 27.02E3 !80.12

!FORD/NO 1.0/

!FORD/NO₂ 1.0/

!FORD/NH₃ 0.0/

!8NH₃ + 6NO₂ => 7N₂ + 12H₂O 3000.0 0.0 17.6E3 !72.69

!FORD/NO₂ 1.0/

!FORD/NH₃ 0.0/

!4NH₃ + 3O₂ => 2N₂ + 6H₂O 3.315E7 0.0 42.47E3 !85.24

!FORD/O₂ 0.0/

!FORD/NH₃ 0.0/

!HCNO + H₂O => NH₃ + CO₂ 1.0E6 0.0 13.2E3 !1.0E6

!FORD/H₂O 0.0/

!FORD/HNCO 0.0/

!NO + 0.5O₂ => NO₂ 6.478E-3 0.0 7.42

!END

MATERIAL CATALYST ! V₂O₅/TiO₂ Catalyst

SITE/VANADIA/ SDEN/7.3E-07/

! for vanadia/titania, surface area ~ 60-75 m²/g

! source: Srnak et al., Journal of Catalysis, 135:246-262 (1992)

! Lintz & Turek, Applied Catalysis A, 85:13-25 (1992)

V₃(S) ! V⁽³⁺⁾ Reduced vanadium cation

V..O(S)/ ! V=O Redox site

V₅.OH(S) ! V⁽⁵⁺⁾-OH Bronsted acid site

V₄.OH(S)/ ! V⁽⁴⁺⁾-OH Reduced acid site

V.ONH₄(S)/ ! V⁽⁵⁺⁾-ONH₄ Adsorbed NH₃ surface species

V.ONH₃.V.OH(S)/ ! V-ONH₃-V⁽⁴⁺⁾-OH Activated NH₃ surface species

V.OH₃O(S)/ ! V⁽⁵⁺⁾-OH₃O

END

!*

REACTIONS KCAL/MOLE

! adsorption of NH₃ on acid sites

! sticking coefficient ~ 0.1

!NH₃ + V₅.OH(S) => V.ONH₄(S) 6.56E+08 1.0 0.0 ! 1f

NH₃ + V₅.OH(S) => V.ONH₄(S) 3.00E+08 1.0 0.7 ! 1f

!V.ONH₄(S) => NH₃ + V₅.OH(S) 1.00E+13 0.0 20.0 ! 1r

V.ONH₄(S) => NH₃ + V₅.OH(S) 1.00E+13 0.0 20.5 ! 1r

! activation of surface NH₃ species with redox sites

V.ONH₄(S) + V..O(S) => V.ONH₃.V.OH(S) 3.00E+19 0.0 21.6 ! 2f

V.ONH₃.V.OH(S) => V.ONH₄(S) + V..O(S) 1.00E+11 0.0 32.1 ! 2r

! NO removal step (irreversible)

NO + V.ONH₃.V.OH(S) => N₂ + H₂O + V₅.OH(S) + V₄.OH(S)

2.95E+06 1.0 5.5 ! 3f

! removal of surface hydroxyl species to form water

2V₄.OH(S) => H₂O + V₃(S) + V..O(S) 3.00E+19 0.0 26.3 ! 4f

H₂O + V₃(S) + V..O(S) => 2V₄.OH(S) 4.90E+14 1.0 0.0 ! 4r

! reoxidation of the catalyst by O₂ (irreversible)

O₂ + 2V₃(S) => 2V..O(S) 2.00E+18 1.0 0.0 ! 5f

! adsorption of water on acid sites

H₂O + V₅.OH(S) => V.OH₃O(S) 6.56E+09 1.0 0.0 ! 6f

V.OH₃O(S) => H₂O + V₅.OH(S) 3.00E+21 0.0 16.5 ! 6r

!***

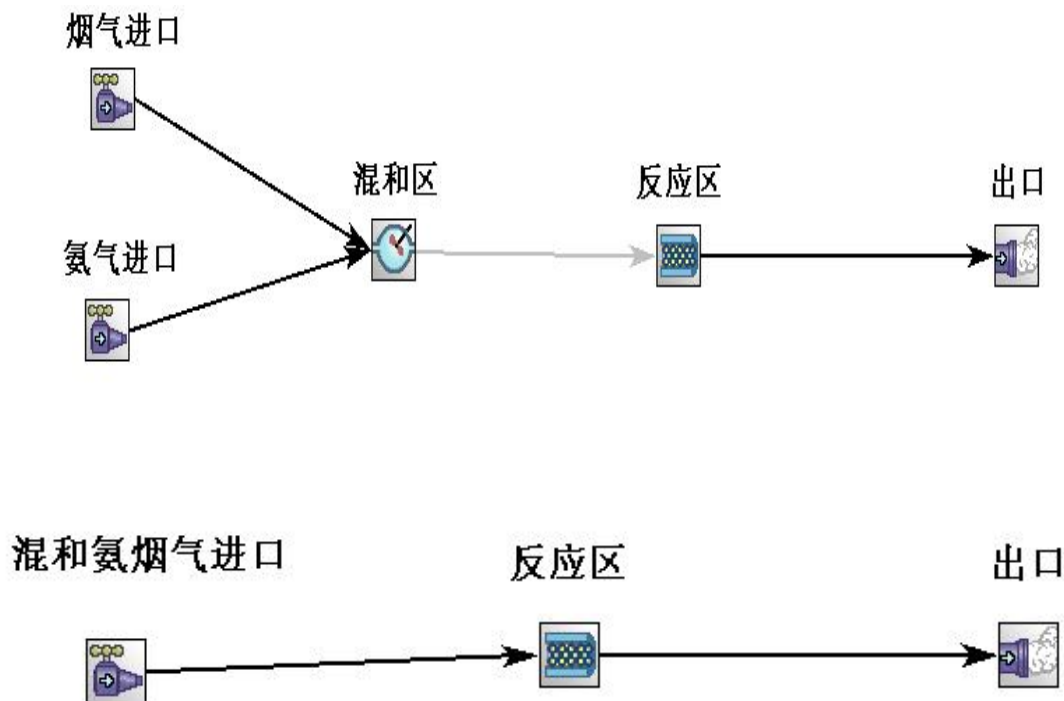
END

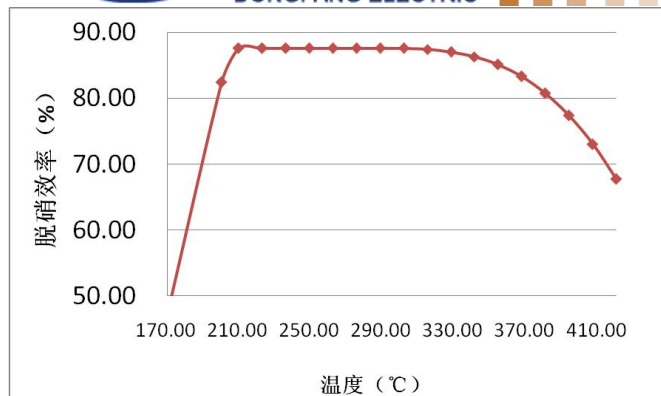
固相反应

气相反应

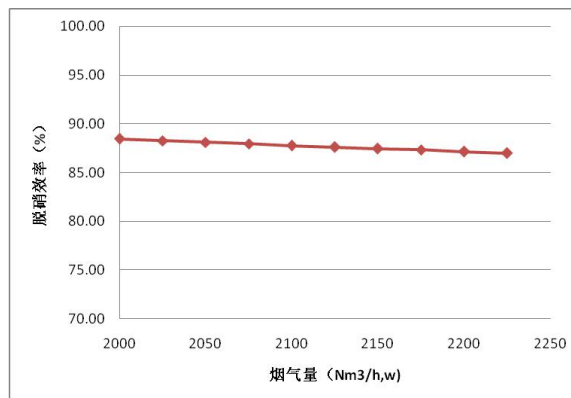
CHEMKIN计算模型

通过CHEMKIN软件模拟催化反应过程，结果与催化剂修正曲线比较，验证反应机理

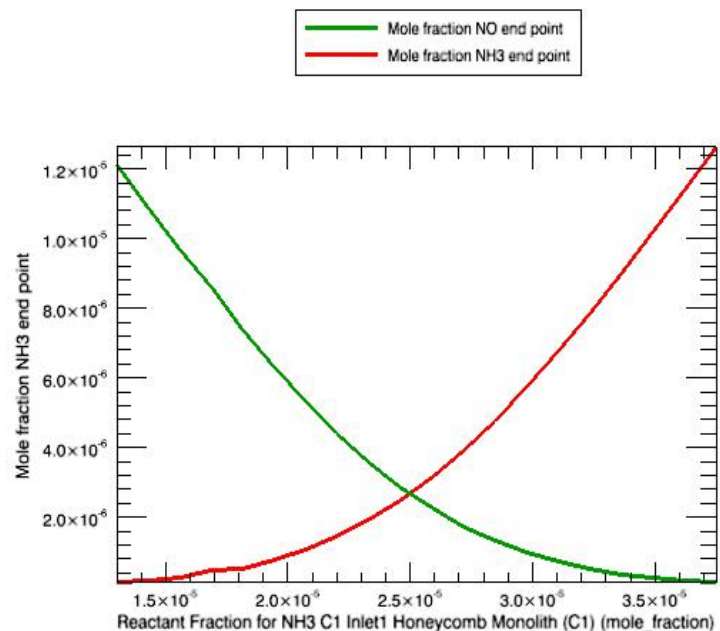




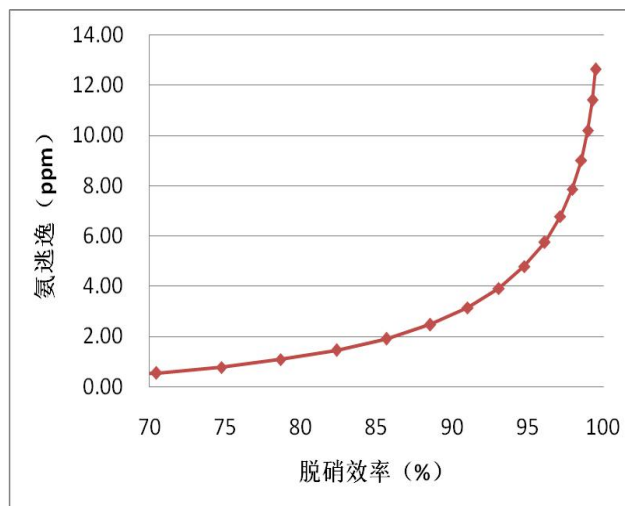
温度计算曲线



烟气量对脱硝效率的影响计算曲线



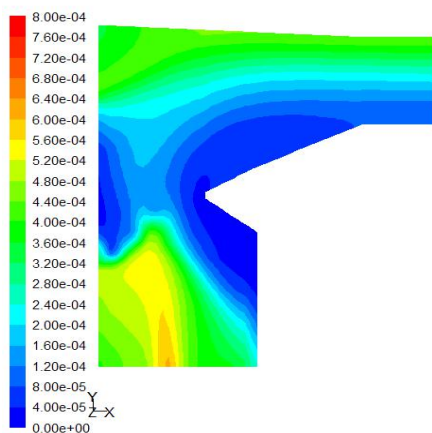
不同喷氨量出口NO、NH₃含量曲线



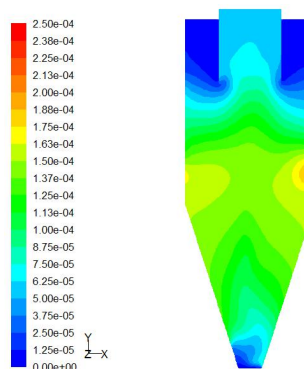
不同脱硝效率及氨逃逸关系曲线

➤ 通过CFD耦合CHEMKIN机理，预测脱硝的效率和氨逃逸；

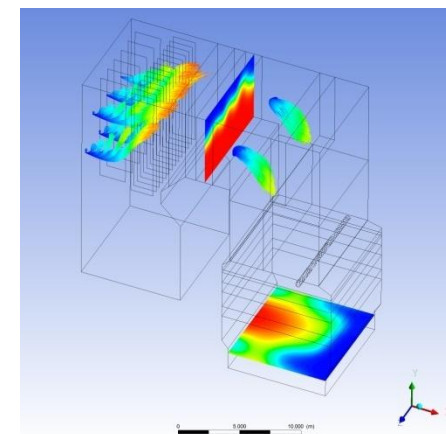
➤ 模拟出不同烟气量、温度、氨氮比对脱硝效率和氨逃逸的影响。



PC-SNCR过程模拟



CFB-SNCR过程模拟



SNCR/SCR过程模拟

基于SNCR成熟机理及SCR催化反应动力学机理，完全可实现目标式脱除。

目录

东方锅炉烟气协同控制超净排放技术装备

东方锅炉烟气脱硝技术

1 脱硝技术组成

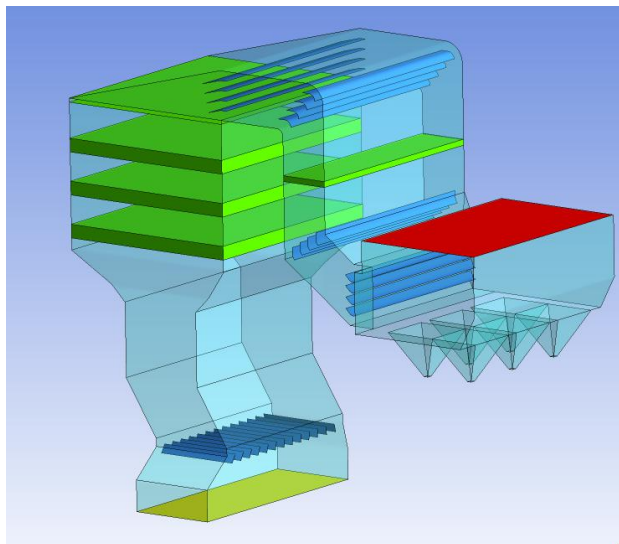
2 CHEMK-CFD耦合模拟

3 SCR脱硝

4 SNCR脱硝

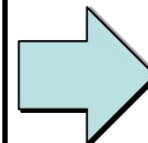
5 业绩

SCR脱硝



传统脱硝要求

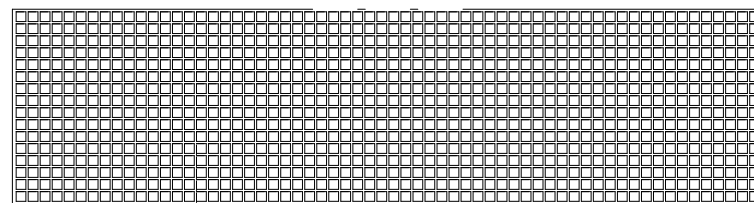
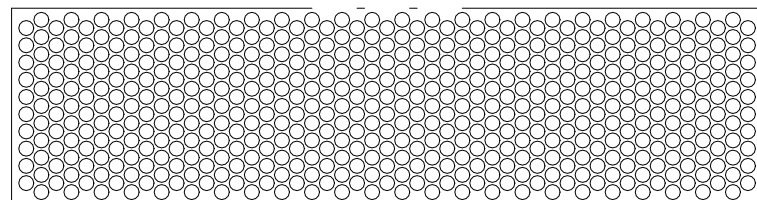
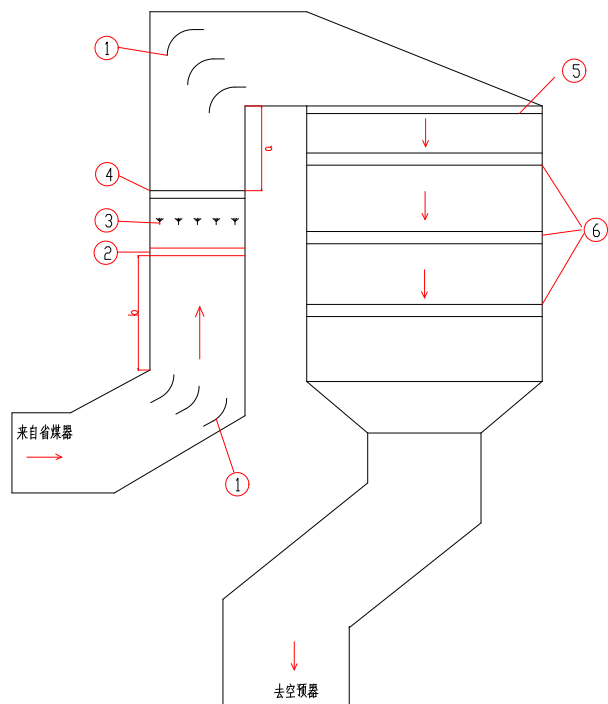
- ❑ **AIG前、催化剂前相对速度标准偏差小于15%**
- ❑ **催化剂前氨氮摩尔比小于5%。**



高效脱硝要求

- ❑ **AIG前、催化剂前相对速度标准偏差小于10%**
- ❑ **催化剂前氨氮摩尔比小于3%。**

加装均流装置



1.导流板 2.高效脱硝均流装置 3.喷嘴 4.AIG混合叶片 5.催化剂入口均流装置 6.催化剂

不同形式的均流装置

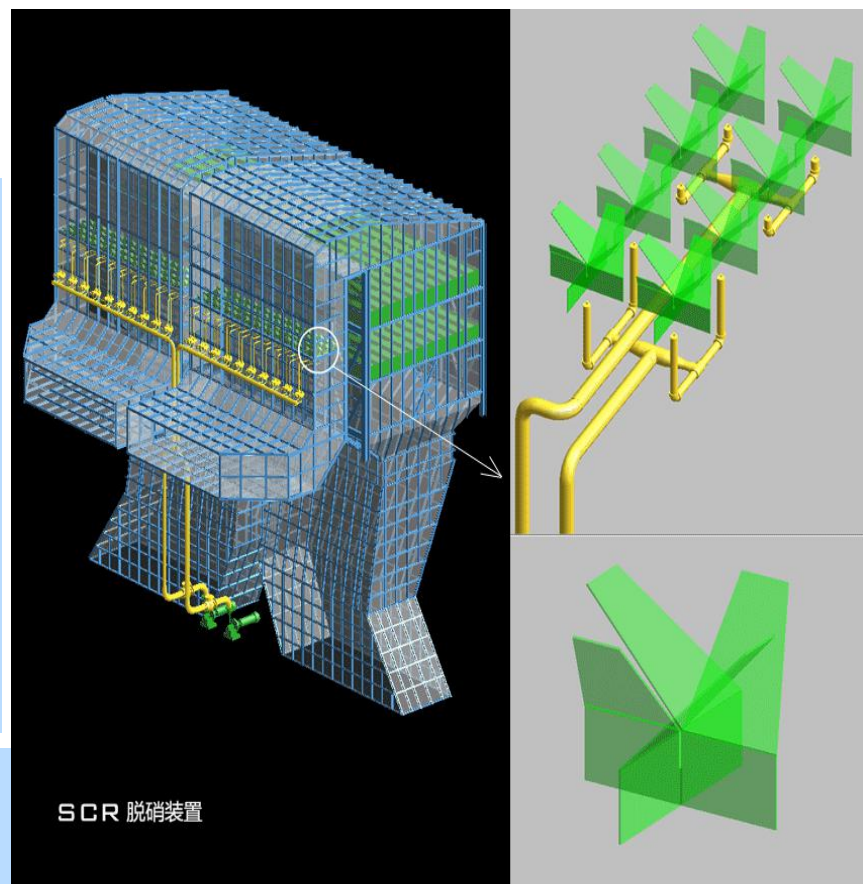
通过数值模拟，选择最合适的均流装置，保证喷氨前流场的均匀性，同时阻力要小。

氨注射和混合技术

氨注射 和 混合 技术

增加喷嘴数量，减小单个喷嘴的覆盖区域；
增加AIG混合叶片数量；
注射管道结构简单，调节方便灵活；
分区调节，喷氨实现了沿SCR烟道宽度和深度方向均可调节。

混合效果好、阻力低。



已有多个项目的应用业绩

试验目的

流态 模型 试验

确定导流板的最佳几何尺寸、类型、数量和位置；

确定氨注射栅格和反应器入口罩结构；

确定和最小化阻力损失；

研究积灰情况的变化；

保证烟气分布的均匀性和 NH_3/NO_x ；

混合效果达到设计要求的偏差范围。

包括计算机数值模拟计算、实物流态模型试

验



东方锅炉3MW清洁、高效燃烧试验中心



实物流态模化试验台

试验内容

流态 模型 试验

还原剂催化剂前分布测量

速度分布测量

SCR系统阻力测试

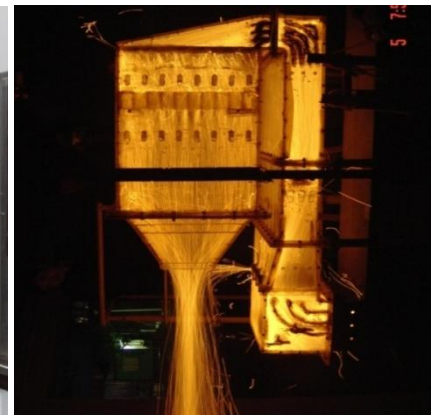
飞灰沉降试验

飘带观察试验

烟花示踪试验



飞灰沉积试验



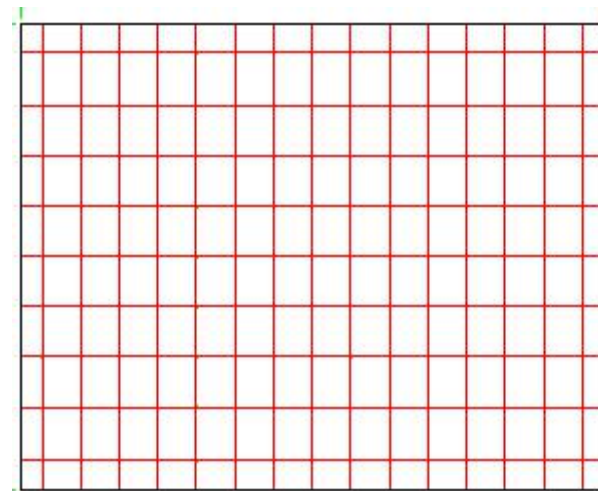
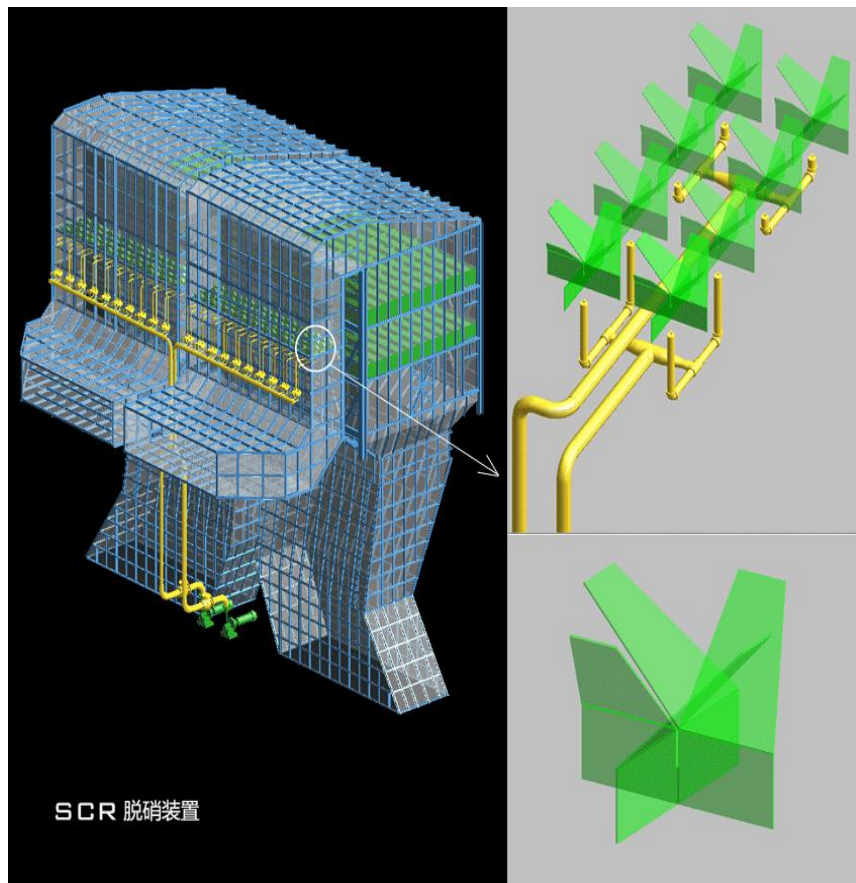
烟花示踪试验



飞灰沉积试验



飘带观察试验情况示意图



网格法测量

通过网格法 测量催化剂后NO_x浓度，调节喷氨支管还原剂流量，优化喷氨，减小氨逃逸。

SO₃脱除

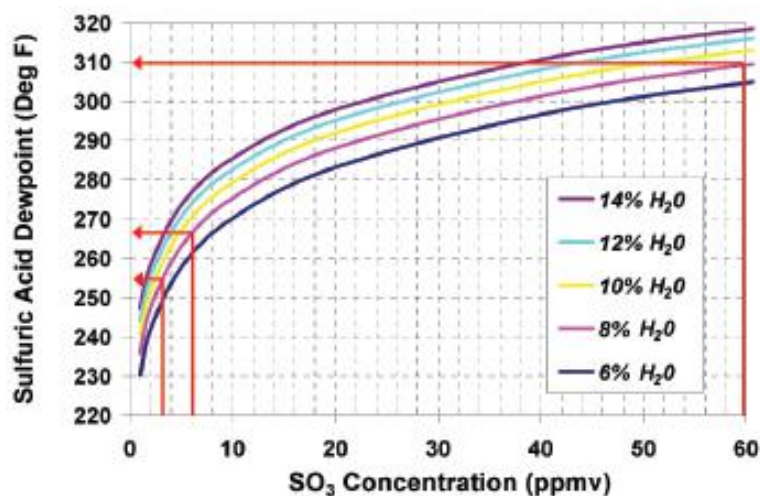
空预器前有效脱除SO₃可以减少空预器、除尘器以及烟道等的腐蚀

空预器前有效脱除SO₃可以减小空预器结垢堵塞

脱硝反应催化剂中 V₂O₅ 比例0.4~2%

经过一层催化剂 SO₂ 氧化率 0.2~0.8%

经过二层催化剂 SO₂ 氧化率 0.4~1.6%

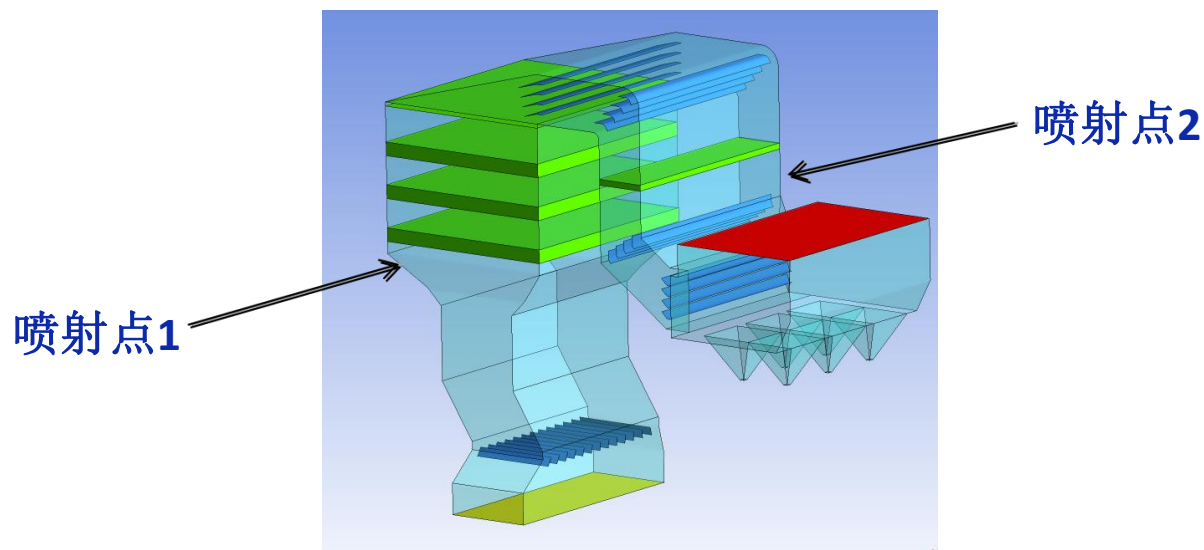


燃用高硫煤+SCR尾部SO₃ 155°C
可以高达60PPM

当浓度降低到6PPM 131°C

如果继续降低到3PPM 124°C

喷射 $\text{CaCO}_3/\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{NaHCO}_3$ 等碱性物质颗粒；
气力输送；
脱除效率可以达到80%以上。



专利成果（摘录部分）

No.	专利名称	专利号
1	电站燃煤锅炉烟气脱硝处理用混合装置	ZL2008 2 0223549.7
2	脱硝还原剂梳型结构注射装置	ZL2011 2 0401187.8
3	脱硝还原剂耙式结构注射装置	ZL2011 2 0401221.1
4	花瓣型混合装置	ZL2011 2 0539715.6
5	尿素热解反应装置	ZL 201220516739.4
6	一种烟气汞协同脱除的装置	ZL201220647597.5
		

**知识产权，50项以上的环保技术专利，
逐步构建东方锅炉的烟气脱硝自主知识产权体系**

目录

东方锅炉烟气协同控制超净排放技术装备

东方锅炉烟气脱硝技术

1 脱硝技术组成

2 CHEMK-CFD耦合模拟

3 SCR脱硝

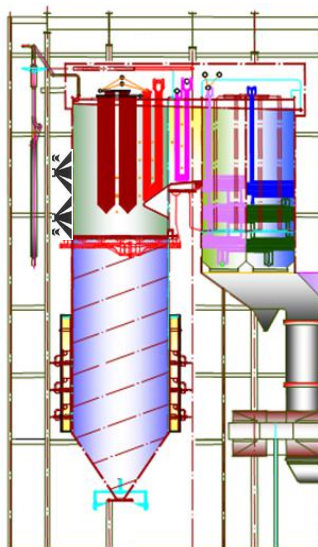
4 SNCR脱硝

5 业绩

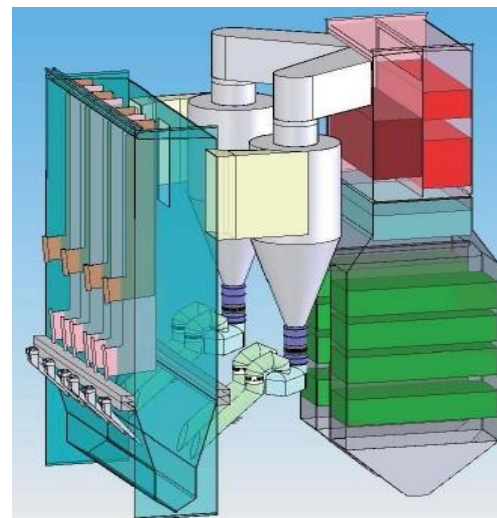
反应原理

SNCR的基本原理是在没有催化剂的情况下，向870~1150℃炉膛中喷入还原剂氨或尿素，还原剂“有选择性”地与烟气中的NO_x反应并生成无毒、无污染的N₂和H₂O。

SNCR 脱硝技术

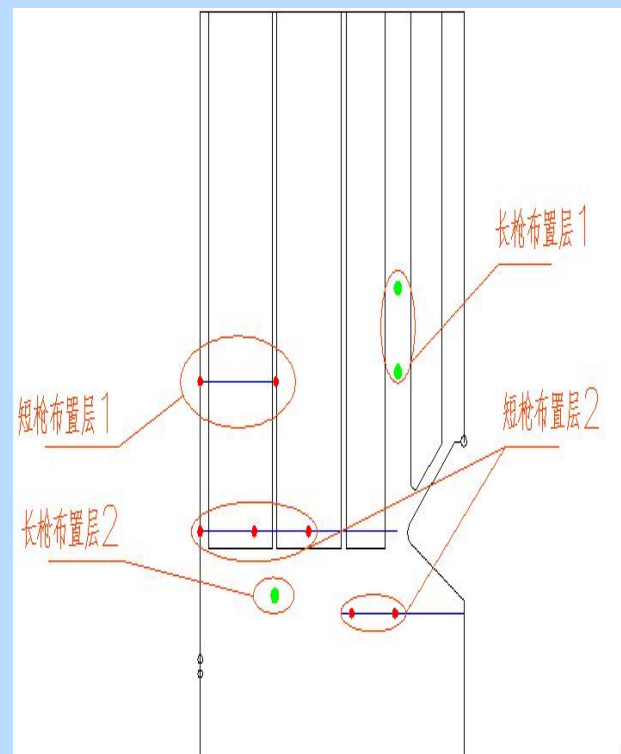
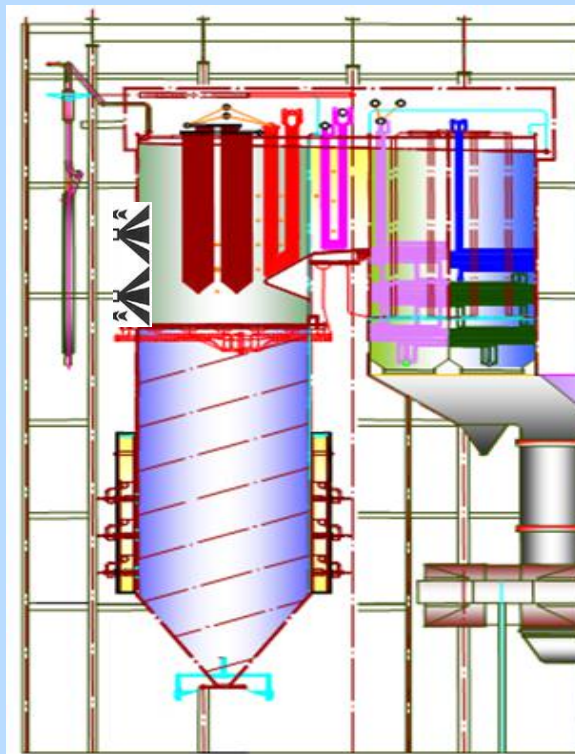


PC炉SNCR



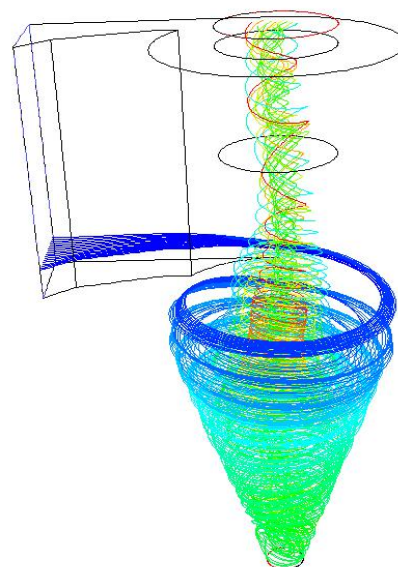
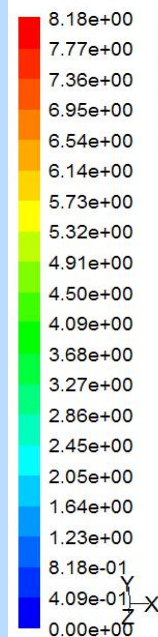
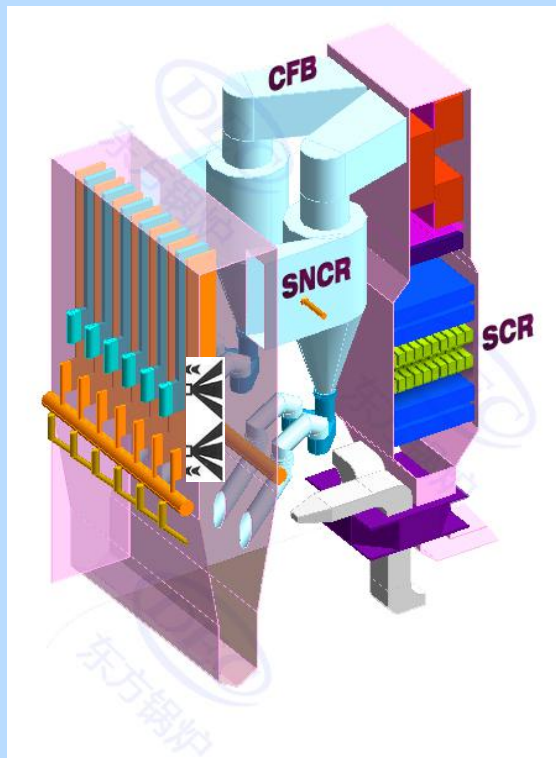
CFB炉SNCR

PC炉
SNCR
脱硝技术



最高只能实现40%的脱硝效率

CFB炉 SNCR 脱硝技术



Pathlines Colored by time (s)

Oct 20, 2009
FLUENT 6.3 (3d, pbns, spe, RSM)

CFB旋风分离器是非常好的SNCR反应器，可实现80%以上的脱硝效率

SNCR热态试验

东方锅炉为提升科研水平和新技术、新产品开发能力建设了清洁高效燃烧技术试验中心，试验中心于2011年9月建成投入使用，试验中心也是中国机械工业协会、机械工业联合会批准依托东方锅炉建设的“机械工业清洁高效燃烧技术工程实验室”。



目前拥有3MW 煤粉燃烧试验台及3MW循环流化床燃烧试验台，CFB-SNCR试验台依托3MW燃烧试验台建设，通过该试验台的建设并进行相关试验，能够快速的掌握SNCR关键技术，为SNCR技术的开发提供关键的理论和实践指导。

技术特点

SNCR 脱硝

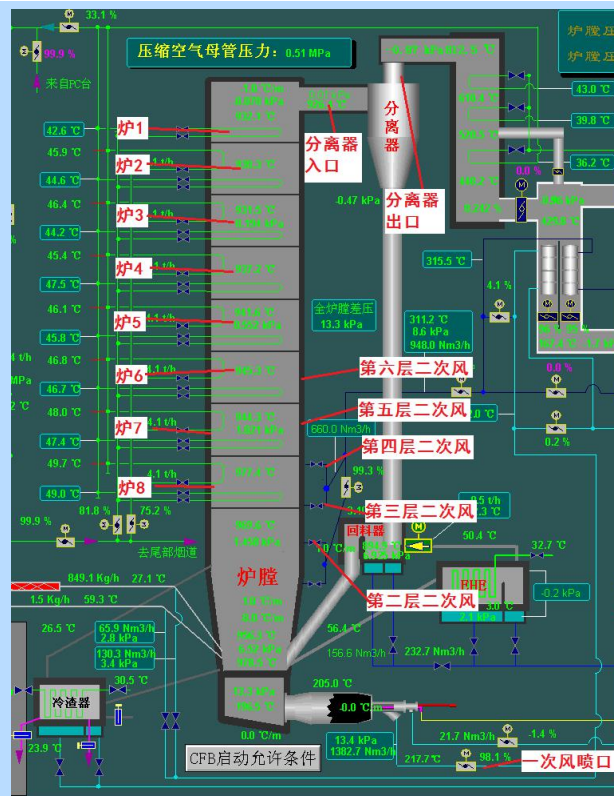


配备尿素溶解系统、供给系统、尿素喷射系统、氨水喷射系统



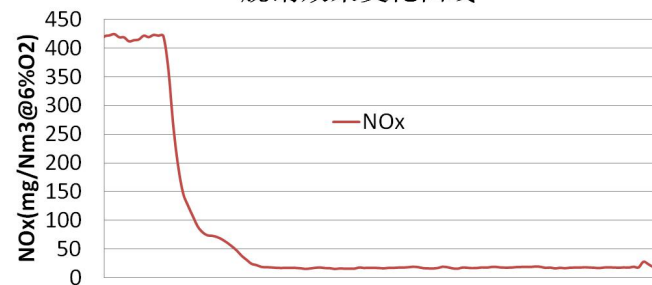
技术特点

SNCR 脱硝



还原剂及温度的影响、一次风喷入影响、二次风喷入影响、炉膛高度影响、烟气组分的影响等

脱硝效果变化曲线



时间变化曲线

- 1、最高脱硝效率达到95%以上
- 2、掌握了低负荷二次风喷射技术
- 3、掌握了不同煤种SNCR技术

目录

东方锅炉烟气协同控制超净排放技术装备

东方锅炉烟气脱硝技术

1 脱硝技术组成

2 CHEMK-CFD耦合模拟

3 SCR脱硝

4 SNCR脱硝

5 业绩

脱硝业绩

1000MW等级机组SCR脱硝业绩：

已累计签订1000MW等级机组SCR脱硝合同25个，脱硝机组49台套，机组容量49382MW。

1000MW等级机组SCR脱硝业绩（摘录部分）

序号	项目名称	技术类型	机组等级	入口NOX mg/Nm ³	含尘浓度 g/Nm ³	脱硝效率 %	承包方式	合同签订/ 投产时间
1	华能海门1、2号（2×1036MW）脱硝	SCR	1000MW	300	12	60	EP	2007/2009
2	平顶山一期2×1000MW机组脱硝工程	SCR	1000MW	450	38.05	70	EPC	2008/2010
3	华能沁北三期（2×1000MW）脱硝	SCR	1000MW	550	29.78	80	EP	2008/2012
4	神华国华永州一期（2×1000MW）	SCR	1000MW	250	23.68	85	EP	2013.12
5	深圳能源集团2×1000 MW机组工程	SCR	1000MW	250	25	90	EP	2015.7
								

脱硝业绩

600MW等级机组SCR脱硝业绩：

已累计签订600MW等级机组SCR脱硝合同68个，脱硝机组134台套，机组容量85218MW。

600MW等级机组SCR脱硝业绩（摘录部分）

序号	项目名称	技术类型	机组等级	入口NO _x , mg/Nm ³	含尘浓度, g/Nm ³	脱硝效率, %	承包方式	合同签订/投产时间
1	华电长沙2×600MW机组烟气脱硝装置	SCR	600MW	650	34.4	50(85)	EP	2005/2007
2	土耳其EREN 2X600MW超临界燃机组	SCR	600MW	450	12.7	60	EP	2007/2010
3	大唐阳城2×600MW机组7号脱硝改造	SCR	600MW	1200	50	83.4	EPC	2012/2013
4	河南神火 1×600MW超临界烟气脱硝	SCR	600MW	500	53.7	70	EP	2010/2012
5	重庆安稳2×660MW超临界机组脱硝装置	SCR	660MW	850	48.86	88	EP	2012/
6	委内瑞拉中央电厂6号600MW油炉脱硝	SCR	600MW	500	0.3	70	EP	2012/
7	山东宏桥邹平一电3×660MW超超临界	SCR	660MW	550	37.4	90.9	EP	2014/
								

脱硝业绩

300MW等级机组SCR脱硝业绩：

已累计签订300MW等级及以下机组SCR脱硝合同83个，脱硝机组186台套，机组容量54810MW。

300MW等级机组SCR脱硝业绩（摘录部分）

序号	项目名称	技术类型	机组等级	入口NO _x , mg/Nm ³	含尘浓度, g/Nm ³	脱硝效率, %	承包方式	合同签订/投产时间
1	恒运电厂2×300MW机组脱硝装置	SCR	300MW	650	20.6	80	EP	2005/2007
2	华润涟源项目2×300MW机组脱硝装置	SCR	300MW	1100	48.52	80	EP	2005/2008
3	中电投良村电厂2×300MW机组脱硝	SCR	300MW	550	50.77	77.5	EP	2008/2010
4	华能杨柳青2×300MW)SCR脱硝(塔式炉)	SCR	300MW	800	18	87.5	EP	2012/2013
5	华能北京电厂F级余热锅炉脱硝设备	SCR	100MW	25ppm	-	85	EP	
6	河北建投邢台热电联产 (2*350MW)	SCR	350MW	500	35.61	90	EP	2015/
								

脱硝业绩

SNCR脱硝业绩：

已累计签订SNCR脱硝合同40个，脱硝机组86台套，机组容量22360MW

SNCR脱硝业绩（摘录部分）

序号	项目名称	技术类型	机组等级	入口NO _x , mg/Nm ³	脱硝效率, %	承包方式	合同签订/投产时间
1	广东粤华2×300MW机组脱硝工程	SNCR	300MW	450	35	EPC	2010/2010
2	上海大屯能源#6、#7锅炉SNCR脱硝	SNCR	135MW	200	50	EPC	2012/2014
3	SIRNAK 2×135MW CFBboiler ,Turkey	SNCR	135MW	400	50	EP	2012/
4	蒙古南戈壁电站3×540t/hCFB锅炉脱硝	SNCR+SCR	150MW	400	62.5	EP	2012
5	罗定电厂1、2号机组（2×135MW）脱硝	SNCR+SCR	135MW	450	80	EP	2013
6	攀钢1×300MW自备电厂SNCR脱硝	SNCR	300M	300	70	EP	2014/
8	广东华（南雄）工程（2×35万）脱硝	SNCR+SCR	300M	200	87.5	EP	2015/

SCR超净排放案例



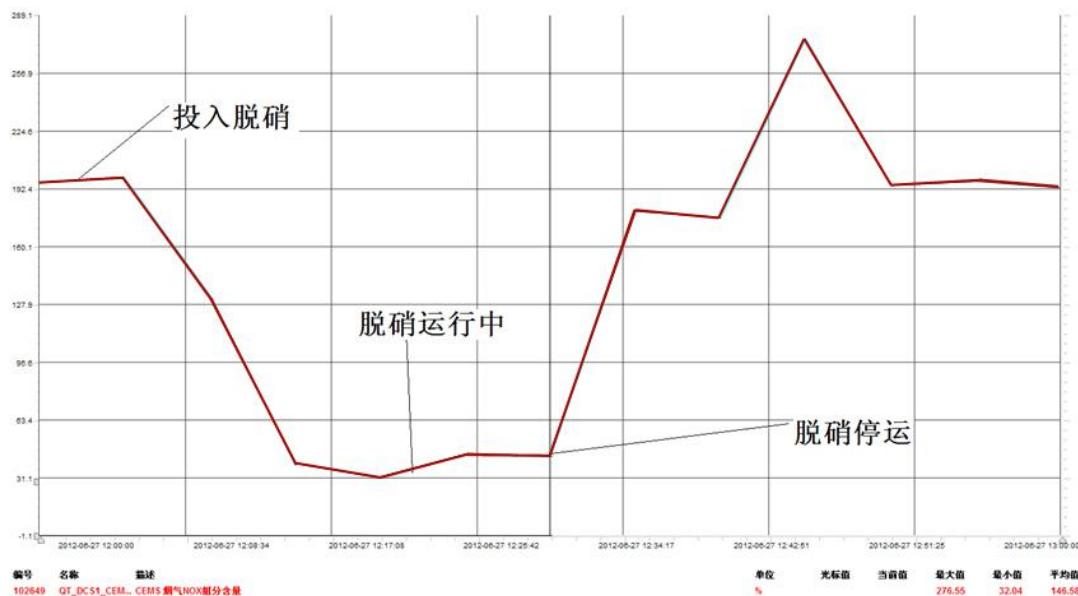
西安热工院测试报告摘录（海门二期）

TPRI 西安热工研究院有限公司技术报告

表 7-4 脱硝效率和氨逃逸浓度结果

项目	单位	T-01		T-02		T-03		T-05		T-06	
工况负荷	MW	960		925		950		750		420	
SCR 反应器	-	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
实测入口 NOx	mg/m ³	203	225	228	229	196	230	213	261	226	267
入口 NOx 平均浓度	mg/m ³	214		229		213		237		247	
实测出口 NOx	mg/m ³	39	39	32	36	37	38	38	35	45	39
出口 NOx 平均浓度	mg/m ³	39		34		38		37		42	
实测脱硝效率	%	81.1	82.5	85.9	84.5	81.1	83.4	82.2	86.5	80.3	85.5
实测平均脱硝效率	%	81.8		85.2		82.3		84.4		82.9	
氨逃逸率	μL/L	1.8	1.7	2.7	2.5	1.9	2.2	1.4	3.0	1.9	3.2
平均氨逃逸率	μL/L	1.8		2.6		2.1		2.2		2.5	

SNCR超净排放案例



2012年6月27日，江苏徐矿综合利用发电有限公司两台300MW CFB锅炉SNCR烟气脱硝改造工程实现整套系统试投运，并成功完成环保验收，脱硝效率远高于设计值。环保局测试数据中，NO_x从190mg/Nm³，下降至30mg/Nm³。

感谢信

东方电气集团东方锅炉股份有限公司：

2012年6月27日由贵公司为江苏徐矿综合利用发电有限公司自主开发的国内首套300MW CFB锅炉SNCR烟气脱硝改造工程实现整套系统试投运，使本项目成功完成环保验收。在此对贵公司一直以来对我们的关心和支持表示衷心的感谢。

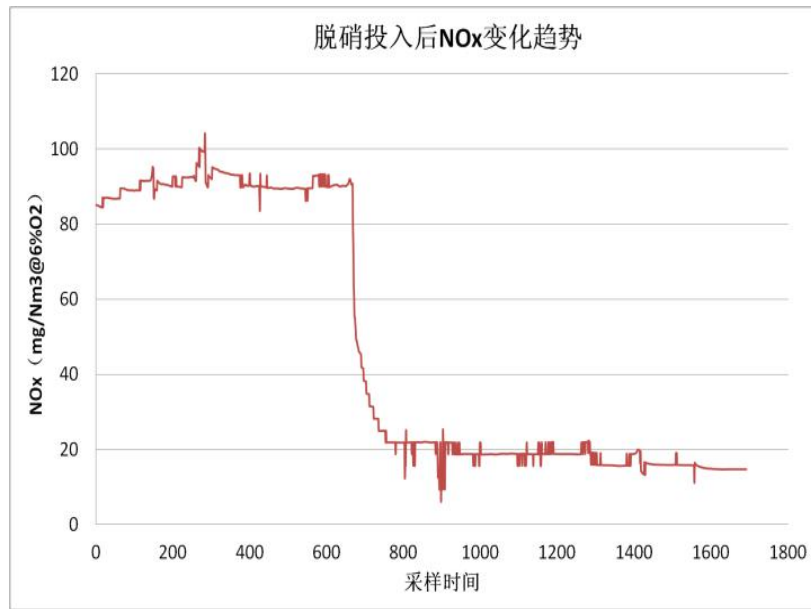
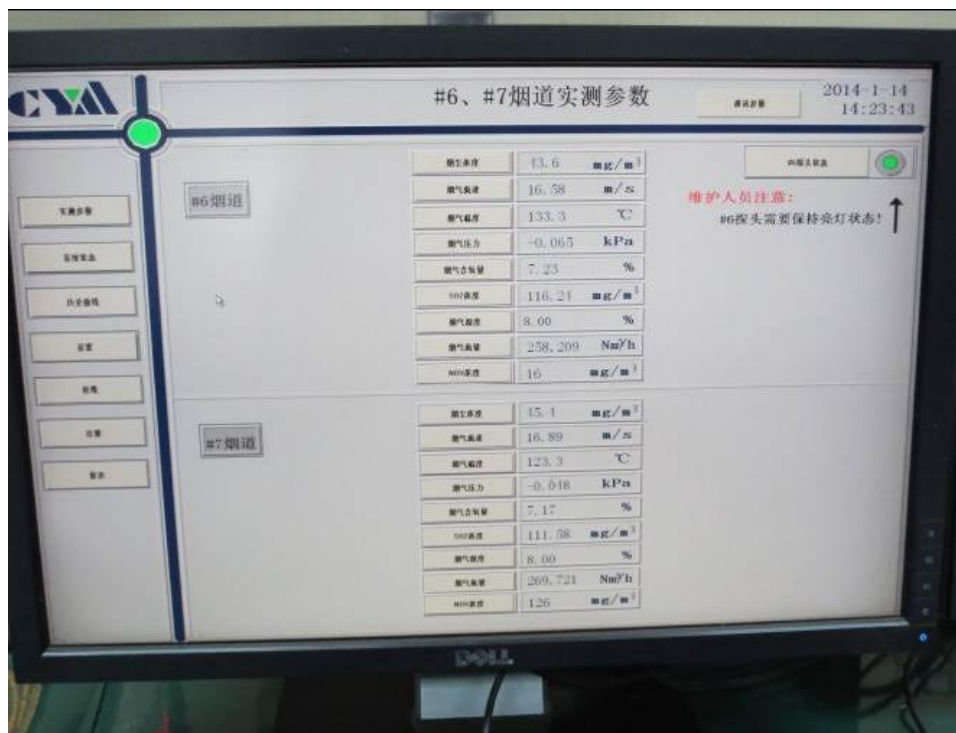
江苏徐矿综合利用发电有限公司300MW CFB锅炉SNCR烟气脱硝改造工程自开工以来，在贵公司领导高度重视和精心管理下，设计、工程实施、调试等部门密切配合，科学管理，有效控制，积极组织，保证了本工程于2012年6月27日实现整套系统试投运，试运行工程中系统稳定、安全、可靠，经过徐州市环保局的检测，该项目氮氧化物在入口220mg/Nm³的情况下，投入脱硝装置后能够达到60mg/Nm³以下，脱硝效率远高于设计值。特别是现场服务人员克服工期紧，调试难度大等重重困难，周密计划，精心组织，大胆开拓，为本工程按时、优质、高效通过环保验收，发挥了重要作用。

希望在今后的工作中，贵我双方能继续加强合作，打造示范工程，相信通过与贵公司的互相支持，必将进一步开创合作、诚信、双赢的新局面。

顺颂商祺！

江苏徐矿综合利用发电有限公司
2012-6-27

SNCR超净排放案例



大屯电厂6号炉（135MW机组）CFB-SNCR 工程于2014年1月10日进入72小时试运行，并在2014年1月13日一次性顺利通过72小时试运，各项系统正常，设计自动化程度高、安全可靠，可在线实现喷枪切换、冲洗，同时脱硝效率完全超过设计要求，最高能够达到80%以上。

脱硝业绩小结

东方锅炉脱硝设备覆盖国内外各种大容量等级机组；

- 炉型： []炉、塔式炉，CFB锅炉，余热锅炉；
- 锅炉厂家： 东锅、上锅、哈锅、武锅、德巴、美国CE、英国MBEL；
- 燃料： 烟煤、贫煤、无烟煤、重油、天然气等；

截至2015年12月，东方锅炉累计签订脱硝合同216个，脱硝机组455台套，机组容量211770MW，市场占有率位于前茅；

东方锅炉以其先进的技术、优秀的服务态度、优良的施工质量被评为2012年全中国两家最优脱硝EPC公司之一；

东方锅炉SNCR脱硝入编国家科技部和环保部联合汇编的《大气污染防治先进技术汇编（2014年3月，P91-P94）》；

东方锅炉承担的大型电站锅炉烟气脱硝技术开发及工业应用课题，获得自贡市科技进步奖一等奖。

东方锅炉为天更蓝、水更清而努力
谢 谢！