

# 660 MW 机组 SCR 喷氨策略的模拟研究

赵大周, 李允超, 郑文广, 何 胜  
(华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030)

**摘 要:** 本研究利用 Fluent 软件耦合详细反应机理的方法建立了某 660 MW 燃煤机组三维 SCR 反应器模型。通过模型研究了不同喷氨方式以及催化剂比表面积对脱硝反应的影响。结果表明: 对于刚投运的催化剂, 脱硝反应主要在第一层催化剂内完成, 第二层催化剂主要起到吸收氨逃逸的作用, 30 区喷氨与 10 区喷氨获得的脱硝效果相同。当投运一段时间后, 首层催化剂发生堵塞磨损等问题, 导致脱硝效率降低, 出口氨逃逸增大, 此时 30 区喷氨效果略优于 10 区喷氨。

**关 键 词:** 选择性催化还原; 详细反应机理; 比表面积; 喷氨方式

中图分类号: X701 文献标识码: A  
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.08.014

## 引 言

$\text{NO}_x$  是主要大气污染物之一, 对环境造成严重的危害。SCR(选择性催化还原)烟气脱硝技术因脱硝效率高、技术成熟, 在燃煤电站中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。对于 SCR 法而言, 优良的催化剂性能及反应器内合理的流场、组分分布是获得高脱硝效率的关键<sup>[2]</sup>。

在实际工程运行中由于煤质、负荷多变, 因此 SCR 法也出现较多问题。数值模拟具有高效、快捷、方便等优点被广泛应用于 SCR 系统的设计及优化改造中。传统的数值模拟技术大多针对流场及组分分布<sup>[3-4]</sup>, 对反应器内化学反应的模拟研究较少, 并且针对反应器内化学反应的模拟也大多基于氨氮比大于 1 时的脱硝反应总式<sup>[5-7]</sup>, 因此模型有了一定的局限性。

随着数值模拟技术的进一步发展, 利用 CFD(计算流体力学)耦合 SCR 详细反应机理的方法来模拟含有复杂化学反应的流动过程越来越多的应用于实际工程中, 该方法没有氨氮比等条件的制约, 因而模型更具有实际工程意义。

本文通过 Fluent 软件耦合 SCR 详细反应机理

的方法建立了三维模型, 模拟研究了不同喷氨策略及催化剂比表面积等因素对脱硝反应的影响, 为实际工程运行提供一定的参考。

## 1 反应器模型

### 1.1 几何模型

本文研究对象为国内某 660 MW 电站锅炉 SCR 脱硝系统, 该锅炉采用双 SCR 反应器并联设置, 其中催化剂采用 2+1 布置方式, 先装 2 层催化剂, 最上层为备用层, 催化剂为板式催化剂, 相关参数如表 1 所示。CFD 几何模型根据电厂提供的 SCR 系统施工图等比例建立, 模型如图 1 所示。采用网格划分软件 Gambit 对模型进行网格划分, 规则直烟道采用规则六面体网格, 几何形状复杂或带有内置结构的烟道采用非规则四面体网格, 整个模型的网格数量约 700 万。

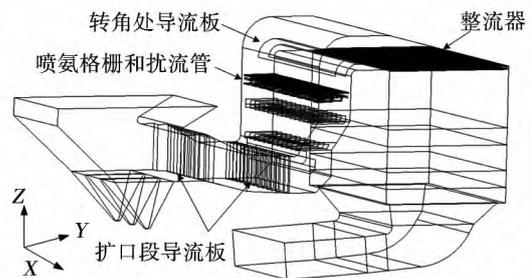


图 1 反应器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of reactor

表 1 催化剂参数

Tab. 1 Parameters of catalyst

参 数	数 值
比表面积 $a_m / \text{m}^{-1}$	299
空隙率 $\epsilon$	0.87
每个模块尺寸(长×宽×高) / m × m × m	1.882 × 0.954 × 1.360
反应器截面尺寸 / m × m	16.22 × 10.5

收稿日期: 2015-09-15; 修订日期: 2015-11-17

作者简介: 赵大周(1990-), 男, 山东枣庄人, 华电电力科学研究院研究员。

1.2 SCR 详细反应机理

根据相关文献 [8 ~ 9] 的研究,钒钛基催化剂表面发生 NO<sub>x</sub> 的催化还原反应共包括 6 步反应,12 种物质组分,反应过程示意图如图 2 所示。

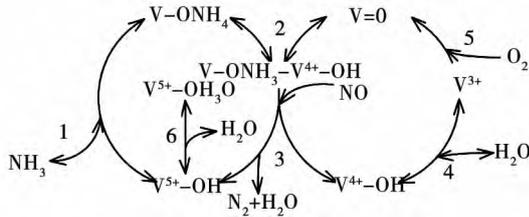
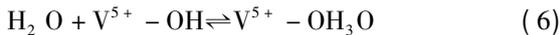
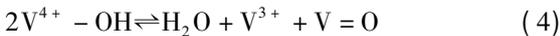
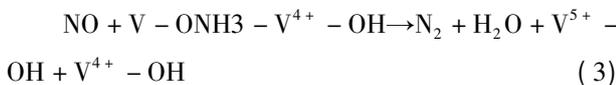
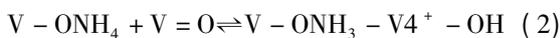
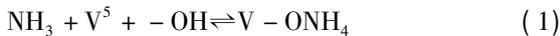


图 2 反应过程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of reaction process

上述反应均在催化剂表面发生,6 步反应表达式可表示为:



其中反应式 (1)、式 (2)、式 (4)、式 (6) 为可逆反应,反应式 (3)、式 (5) 为不可逆反应,每个反应的反应速率用阿伦尼乌斯定律描述。在本文的模拟计算中,用 Chemkin 软件得到详细反应机理文件,然后导入 Fluent 中进行计算求解。相关动力学参数如表 2 所示,正向反应的指前因子  $A_i, \text{s}^{-1}$ ; 活化能  $E_i, \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。逆向反应的指前因子和活化能分别为  $A_i^{-1}$  和  $E_i^{-1}$ 。

表 2 反应动力学参数

Tab. 2 Parameters of reaction kinetics

反应编号	$A_i / \text{s}^{-1}$	$E_i / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$A_i^{-1}$	$E_i^{-1}$
1	$6.56 \times 10^8$	0	$1 \times 10^{13}$	85.7
2	$3 \times 10^{18}$	90.3	$1 \times 10^{11}$	134.2
3	$5.08 \times 10^6$	23	-	-
4	$3 \times 10^{18}$	110	$4.9 \times 10^{10}$	0
5	$2 \times 10^{14}$	0	-	-
6	$6.56 \times 10^6$	0	$3 \times 10^{21}$	69

2 边界条件与模型的简化

2.1 计算方法及边界条件

入口烟气流动状态为充分发展的湍流,反应器出口为压力出口条件。速度与压力的耦合采用 Simple 算法,组份输运方程、动量方程、能量方程均采用二阶迎风格式以提高计算精度,两层催化剂以多孔介质模型代替。由于文章内容所限,本文仅研究 BMCR 工况下的脱硝规律,反应器入口烟气参数如表 3 所示,烟气各组份体积分数如表 4 所示。

表 3 反应器入口边界条件

Tab. 3 Boundary conditions of reactor entrance

参 数	数 值
烟气总流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	647.18
烟气入口速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	5
烟气入口温度/K	643
入口烟道当量直径/m	11.15
烟气入口湍流强度/%	2.83

表 4 烟气成分表

Tab. 4 Table of flue gas composition

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO
体积分数	0.142 8	0.033 2	0.733 8	0.089 2	0.000 6	0.000 4

2.2 模型的简化与假设

本文在模拟计算时做了以下简化与假设:

- (1) 忽略反应器内对流动及脱硝反应影响不大的支撑杆、支撑梁等内部构件;
- (2) 认为 SCR 反应器入口速度、组分浓度以及温度分布均匀;
- (3) 不考虑氨气氧化等副反应;
- (4) 忽略飞灰对流造成的影响。

3 模型的验证

通过对比文献 [10] 中的实验数据来验证模型的准确性。文献 [10] 中实验所用的催化剂孔数为  $4 \times 4$ , 长度为 5 cm, 孔间距 11 mm, 催化剂壁厚 1 mm, 孔内边长 10 mm, 比表面积  $76.18 \text{ m}^2/\text{g}$ , 开孔率 0.79。本文将催化剂用多孔介质模型替代, 所建模型及网格划分如图 3 所示。

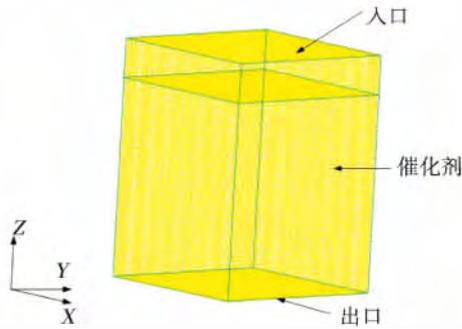


图 3 催化剂模型及网格划分

Fig. 3 catalyst model and simulation mesh

模拟条件与实验条件一致: 氨氮比 1:1, 烟气组成  $\varphi(\text{NO}) = 1\ 000\ \mu\text{L/L}$ ,  $\varphi(\text{O}_2) = 5\%$ , 氮气为平衡气, 烟气量 200 L/h, 反应温度 250 ~ 450 °C, 模拟得到温度与脱硝效率之间的关系结果如图 4 所示。

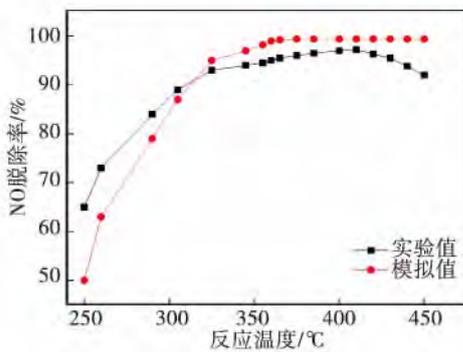


图 4 模拟结果

Fig. 4 Simulation Results

由图 4 可以看出当反应温度低于 310 °C 时, 模拟值明显低于实验值, 模型是不准确的。然而 SCR 脱硝反应运行温度一般位于 310 ~ 400 °C 之间, 当反应温度在此温度区间时, 模拟值略高于实验值, 这是由于模型中未考虑氨气的氧化等副反应, 因此模拟得到的脱硝效率略高于实验值。当温度高于 420 °C 时, 由于氨气氧化剧烈, 因此脱硝效率降低。综上所述, 在 SCR 正常运行烟温范围内, 模型是合理的。

#### 4 模拟结果及讨论

##### 4.1 流场分布

由于该反应器存在两个变截面, 因此即便在变截面处布置多组导流装置, AIG(喷氨格栅) 截面处的流场分布仍很不均匀, 速度相对偏差系数达 27.5%, 且靠近变截面处的位置出现一个低速区, 如图 5 所示。同时

AIG 截面的速度影响喷氨格栅的调控<sup>[11]</sup>。

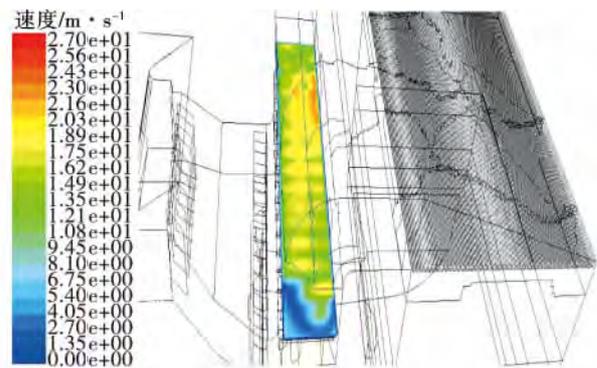


图 5 AIG 截面速度分布图

Fig. 5 velocity distribution of AIG section

##### 4.2 分区喷氨策略

该反应器喷氨格栅为单层布置, 共 240 个喷氨口, 喷口为圆柱状, 直径为 0.03 m。每 8 个喷口由一根支管控制, 每根支管上都有单独的阀门。该电厂实际运行中有 10 区和 30 区两种喷氨方式, 10 区喷氨方式为每 24 个喷口为一个分区, 对应的支管阀门开度相同, 如图 6 所示。

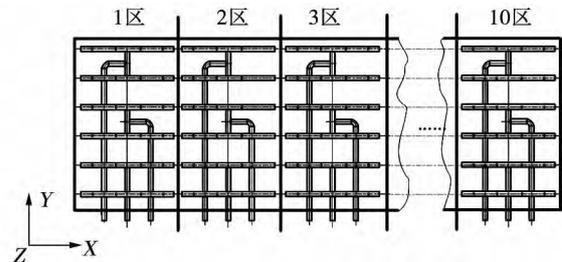


图 6 10 区喷氨

Fig. 6 Ammonia injection of #10 area

30 区喷氨方式为每 8 根喷管为一组, 30 个支管阀门开度各不相同, 如图 7 所示。相对于 10 区喷氨, 30 区喷氨加强了烟道深度方向的调控。

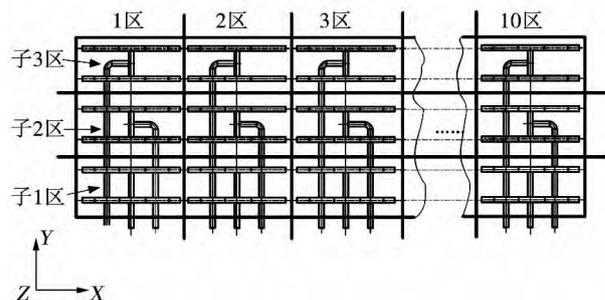


图 7 30 区喷氨

Fig. 7 Ammonia injection of #30 area

表 5 10 区喷氨喷口速度(m/s)

Tab.5 Nozzle velocity of #10 area ammonia injection(m/s)

分区号	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区	7 区	8 区	9 区	10 区
氨气空气混合气流速	13.5	14.5	17.11	17.08	16.17	15.78	15.0	14.06	13.53	2.85

表 6 30 区喷氨喷口速度(m/s)

Tab.6 Nozzle velocity of #30 area ammonia injection(m/s)

分区号	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区	7 区	8 区	9 区	10 区
子 1 区混合气流速	13.1	12.48	13.93	14.22	13.93	14.05	13.77	13.13	11.03	0
子 2 区混合气流速	13.46	14.57	17.6	17.49	16.79	16.31	15.54	14.63	14.42	2
子 3 区混合气流速	13.93	16.45	19.79	19.53	17.8	16.99	15.7	14.43	15.15	6.54

在本文模拟中,假设氨氮比为 0.8:1,计算得到 10 区喷氨与 30 区喷氨喷氨侧的边界条件分别如表 5 和表 6 所示。

### 4.3 刚投运催化剂脱硝规律的模拟

假设模型中的两层催化剂刚投运,采用 10 区喷氨的方式模拟得到首层催化剂入口氨氮比的相对偏差系数为 8.9%,脱硝效率为 79.65%,反应器出口氨逃逸的体积分数为  $1.4 \times 10^{-6}$ ,其中首层催化剂的脱硝效率为 75%,氨逃逸为  $2.0 \times 10^{-5}$ 。反应器内氨气体积分数分布如图 8 所示。

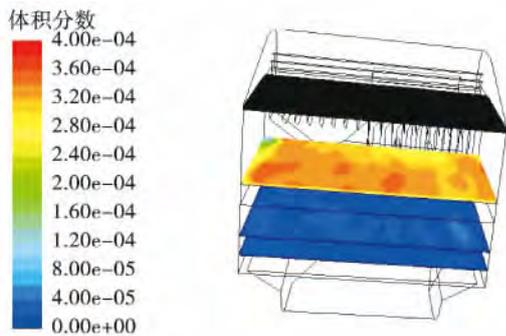


图 8 反应器各截面 NH<sub>3</sub>分布图

Fig.8 Ammonia distribution of each section in reactor

由模拟计算结果分析可知:对于刚投运的 SCR 催化剂,脱硝反应基本在第一层内完成,第二层催化剂主要起到吸收氨逃逸的作用。

采用 30 区喷氨策略模拟得到首层催化剂入口氨氮摩尔比的相对偏差系数为 5.6%,虽然相对于 10 区喷氨策略氨氮比的均匀性得到提升,但是模拟计算得到的脱硝效率、氨逃逸及首层催化剂的脱硝效率、氨逃逸与 10 区喷氨完全相同。主要原因是由

于刚投运的 SCR 催化剂具有较高的脱硝性能,在氨氮比相对偏差系数不是很高的情况下,均能保持良好的脱硝效果。图 9 为 30 区喷氨策略下反应器内 NH<sub>3</sub> 体积分数分布。

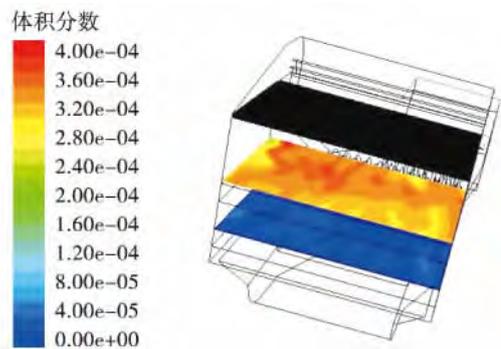


图 9 反应器各截面 NH<sub>3</sub>分布图

Fig.9 Ammonia distribution of each section in reactor

### 4.4 投运一段时间催化剂脱硝规律的模拟

由于 SCR 反应器布置在高灰尘段,投运一段时间的催化剂难免受到烟气中飞灰的影响,主要表现为:催化剂的堵塞、磨损以及中毒。本文不考虑中毒对催化剂性能的影响,仅考虑催化剂堵塞磨损对脱硝反应的影响。催化剂堵塞磨损均会降低烟气与其接触的面积,假设第一层催化剂的比表面积由  $299 \text{ m}^2/\text{m}^3$  降低至  $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,第二层催化剂的比表面积保持不变,并且两层催化剂的动力学参数保持不变。模拟得到 10 区喷氨策略下的脱硝效率为 78.6%,反应器出口氨逃逸的体积分数为  $5.6 \times 10^{-6}$ ,其中首层催化剂的脱硝效率为 57.5%,出口氨气的体积分数为  $9 \times 10^{-5}$ 。图 10 为反应器横轴方向  $X = 4 \text{ m}$

截面处氨气体积分数分布。

采用 30 区喷氨策略模拟得到脱硝效率为 78.7%, 出口氨气体积分数为  $5.2 \times 10^{-6}$ 。其中首层催化剂的脱硝效率为 58%, 出口氨气的体积分数为  $8.8 \times 10^{-5}$ 。图 9 为反应器横轴方向  $X = 7 \text{ m}$  截面处氨气体积分数分布。

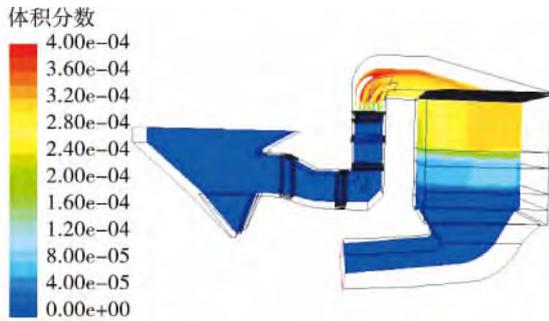


图 10  $X = 4 \text{ m}$  截面  $\text{NH}_3$  分布图

Fig. 10 Ammonia distribution at  $X = 4 \text{ m}$

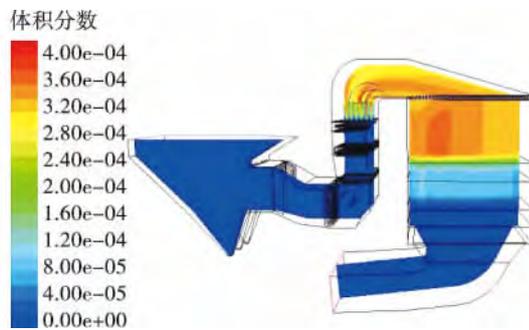


图 11  $X = 7 \text{ m}$  截面  $\text{NH}_3$  分布图

Fig. 11 Ammonia distribution at  $X = 7 \text{ m}$

由模拟结果可看出, 当首层催化剂脱硝效率下降时, 30 区喷氨仍与 10 区喷氨取得几乎相同的脱硝效果, 这其中有两方面的原因, 一方面氨氮比分布变得更均匀, 使局部低氨浓度区的脱硝效率提高, 但是局部高氨浓度区脱硝效率降低; 另一方面烟气及还原剂氨气在催化剂内的平均停留时间不变, 仍不能有足够的时间彻底反应。因此在氨氮比不是很高的情况下, 其相对偏差系数在 10% 以内均可取得理想的脱硝效果。

## 5 结 论

本文通过 Fluent 耦合详细反应机理的方法建立

了某 660 MW 燃煤机组 SCR 脱硝反应器模型, 模拟研究了喷氨方式及催化剂比表面积等因素对脱硝反应的影响, 得到如下结论:

(1) 由于反应器有水平及竖直两个变截面, 因此喷氨截面处的速度场分布不均, 相对偏差系数达 27.5%, 靠近变截面烟道处出现明显的低速区;

(2) 对于刚投运的 SCR 催化剂, 脱硝反应基本在第一层催化剂内完成, 第二层催化剂承担的主要任务为吸收氨逃逸, 30 区喷氨与 10 区喷氨可取得相同的脱硝效果;

(3) 当催化剂投运一段时间以后, 由于首层催化剂发生堵塞磨损等问题而导致脱硝效率降低, 反应器出口的氨逃逸增大, 此时 30 区喷氨策略优于 10 区喷氨。

## 参考文献:

- [1] 孙克勤, 钟 秦. 火电厂烟气脱硝技术及工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.  
SUN Ke-qin, ZHONG Qin. Flue gas denitrification technology and engineering application of thermal power plant [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [2] 张 强. 燃煤电站 SCR 烟气脱硝技术及工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.  
ZHANG Qiang. Flue gas denitrification technology and engineering application of coal fired power plant SCR [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [3] 朱天宇, 李德波, 方庆艳, 等. 燃煤锅炉 SCR 烟气脱硝系统流场优化的数值模拟 [J]. 动力工程学报, 2015, 35 ( 246 ): 481 - 488.  
ZHU Tian-yu, LI De-bo, FANG Qing-yan, et al. Flow field optimization for SCR system of coal-fired power plant [J]. Journal of Chinese society of power engineering, 2015, 35 ( 246 ): 481 - 488.
- [4] 杨 松, 丁皓妹, 黄 越. SCR 脱硝系统流场数值模拟及优化 [J]. 热力发电, 2014, 43 ( 9 ): 71 - 75.  
YANG Song, DING Hao-mei, HUANG Yue. Numerical simulation and optimization of flow field in an SCR system [J]. Thermal Power Generation, 2014, 43 ( 9 ): 71 - 75.
- [5] LEI Z G, LIU X Y, JIA M R. Modeling of selective catalytic reduction ( SCR ) for NO removal using monolithic honeycomb catalyst [J]. Energy & Fuels, 2009, 23 ( 12 ): 6146 - 6151.
- [6] 凌忠钱, 曾宪阳, 胡善涛, 等. 电站锅炉 SCR 烟气脱硝系统优化数值模拟 [J]. 动力工程学报, 2014, 34 ( 1 ): 50 - 56.  
LING Zhong-qian, ZENG Xian-yang, HU Shan-tao, et al. Numerical simulation on optimization of SCR denitrification system for

coal-fired boilers [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering 2014 ,34( 1) : 50 - 56.

[7] 雷 达 ,金保升. 基于复相催化反应动力学的电站 SCR 系统三维数值模型[J]. 燃烧科学与技术 2010 ,16( 3) : 236 - 240.  
LEI Da ,JIN Bao-sheng. 3-D Numerical model of a power station scr system based on heterogeneous reaction [J]. Journal of Combustion Science and Technology 2010 ,16( 3) : 236 - 240.

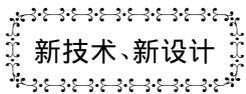
[8] DUMESIC J A ,TOPSOE N Y ,TOPSOE H et al. Kinetics of selective catalytic reduction of nitric oxide by ammonia over Vanadia/Titania[J]. Journal of Catalysis ,1996 ,160( 2) : 409 - 417.

[9] TRONCONIE ,NOVA I ,CIARDELLI C ,et al. Redox features in the catalytic mechanism of the “stand” and “fast” NH<sub>3</sub>-SCR of NO<sub>x</sub> over a V-based catalyst investigated by dynamic method [J]. Journal of Catalysis 2007 245( 1) : 1 - 10.

[10] 朱崇兵 ,金保升 ,李 峰 ,等. 蜂窝状 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 催化剂脱硝性能研究 [J]. 中国电机工程学报 ,2007 ,27( 29) : 45 - 50.  
ZHU Chong-bing ,JIN Bao-sheng ,LI Feng ,et al. Study on de-NO<sub>x</sub> performance of honeycomb V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> catalyst [J]. Proceedings of the CSEE 2007 27( 29) : 45 - 50.

[11] 雷 达 ,金保升. 喷氨格栅处烟气速度场对高效 SCR 均流与还原剂混合性能的影响 [J]. 热能动力工程 2009 24( 1) : 113 - 119.  
LEI Da ,JIN Bao-sheng. Influence of the flue gas velocity field at an ammonia-injection grid on uniform flows and reducing-agent mixing performance of a high-efficiency SCR( Selective Catalytic Reduction) device [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2009 24( 1) : 113 - 119.

( 姜雪梅 编辑)



## 涡轮复合再热式燃气轮机联合循环的工作原理

《Gas Turbine World》2015 年 11 ~ 12 月刊介绍了 TC-RHT GTCC( 涡轮复合再热式燃气轮机联合循环) 的工作原理。

新型循环可使燃气涡轮增压往复式发动机和燃气轮机/汽轮机结合成一体燃气轮机联合循环 ,以便在比较适宜的 1 371 ~ 1 427 °C 燃气轮机涡轮进口温度下达到大于 60% 的总净循环效率。

TC-RHT GTCC 主要部件包括: 带有后冷却器的涡轮 - 压气机、往复式燃气发动机、已拆除压气机部分的重型工业用燃气轮机和利用燃气轮机排气余热的汽轮机。

涡轮 - 压气机压缩的空气在后冷却器内冷却到适当的温度后 ,送到燃气发动机进口。很少量的压缩空气送到燃气轮机 ,用于部件冷却。

因为燃气发动机入口空气已经压缩 ,所以燃气发动机就不需要涡轮增压器。

燃气发动机燃烧天然气燃料 ,以便发电。燃气发动机的排气送到热交换器 ,用来预热底部循环的工作流体。

出于论证目的 ,最初选择的底部循环是高压蒸汽朗肯循环。另一种可能是超临界 CO<sub>2</sub> 循环 ,在这种情况下 ,热交换器应该是 CO<sub>2</sub> 加热器。

热交换器排气送到燃气轮机的燃烧室/再热器; 该燃烧室/再热器燃烧天然气燃料 ,以便产生涡轮部分膨胀用热燃气 ,用于发电。燃气轮机排气用于底部循环 ,以便额外发电。

( 吉桂明 摘译 徐立民 提供)

The combustion experiments of the Wucaiwan raw coals and the sol-treated coals were conducted. The contents of sodium contained in the raw coals and the coal ashes were measured respectively. The emission behaviors of the sodium contained in the raw coals and the treated coals during combustion and the influence of colloid additive were determined. Some of the coal ashes were examined by XRD. Results show that the emission of sodium increases with temperature, and the emission of sodium reach the maximum at 1 100 °C. The results of XRD show that adding appropriate amount of silica sol can transform the volatile sodium into sodium aluminum silicate to reduce the emission of sodium in wucaiwan coal during combustion. When the combustion temperature is 800 °C, adding appropriate amount of aluminum sol can also transform the volatile sodium into sodium silicate to reduce the emission of sodium in wucaiwan coal during combustion. However, when the combustion temperature is 1 000 °C, after adding aluminum sol to the corresponding sample, there are kaolinite and other substances generated rather than sodium aluminum silicate in the coal ashes. **Key words:** wucaiwan coal, sodium, combustion, colloid additive, emission behavior

超超临界二次再热直流锅炉水冷壁水动力特性研究 = **Research on Thermal hydrodynamic Performance of Water Wall Pipes for Ultra-supercritical Double Reheat Once-through Boiler** [刊] 汉]ZHANG Wei( State Key Laboratory of Multiphase Flow for Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), YAN Kai ( Shanghai Boiler Works Co., Ltd., Shanghai, China, Post Code: 200245), WANG Huan ( School of Environment and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, China, Post Code: 710055), CHE De-fu ( State Key Laboratory of Multiphase Flow for Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31( 8). -75 ~ 80

The water wall system can be equivalent to a boiler network consisting of pressure nodes and connecting pipe groups, considering the structure feature of ultra-supercritical double reheat once-through boiler. A mathematical model for calculating pressure drop, mass flow rate, and steam temperature was established on the basis of the mass, momentum, and energy conservation laws. Moreover, the thermal hydrodynamic performance of a 1 000 MW supercritical double reheat once-through boiler with spiral tube coils at Taizhou Power Plant was studied under different loads. The results show that the mass flow rate of lower-furnace has a uniform distribution, the mass flow rate of upper-furnace presents the positive flow response characteristics, the steam temperature undergoes the endothermic flat area, and the outlet steam temperature in middle wall of different furnaces is the highest. **Key words:** Double reheat, component-pressure method, mass flow distribution, positive flow response

660 MW 机组 SCR 喷氨策略的模拟研究 = **Simulation Study on SCR Injection Strategy of 660 MW Unit** [刊] , 汉]ZHAO Da-zhou, LI Yun-chao, ZHENG Wen-guang, HE Sheng( Huadian Electric Power Research Institute, Hangzhou Zhejiang, China, Post Code: 310030) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31( 8). -81 ~ 86

A three-dimensional SCR reactor model of 660 MW coal fired unit was established by using Fluent coupled detailed reaction kinetics. The effects of different ammonia injection methods and the specific surface area of catalyst on the De-NO<sub>x</sub> reaction were studied by the model. The results show that when the catalyst is newly put into operation ,De-NO<sub>x</sub> reaction is mainly accomplished in the first layer catalyst ,while the second layer catalyst mainly plays a role in the absorption of ammonia. The De-NO<sub>x</sub> effectiveness is the same for both 30 and 10 area ammonia injection method. After the catalyst is operated for a period of time ,the De-NO<sub>x</sub> efficiency is reduced and the escape of ammonia is increased as the first catalyst suffers from clogging and wear. At this point ,the De-NO<sub>x</sub> effectiveness of the 30 area ammonia injection method is slightly better than that of 10 area ammonia injection method. **Key words:** selective catalytic reduction ,detailed reaction kinetics ,specific surface area ,ammonia injection method

基于机器视觉的锅炉蒸汽管道宏观位移在线测量方法 = **An Indirect Online Measuring Method for Boiler Steam Pipe Deformations based on Machine Vision** [刊 ,汉] LI Wen-sheng ( Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Co. ,Ltd. ,Guangzhou ,China ,Post Code: 510080) ,SONG Ji-xiang ,FAN Shao-sheng ( Changsha University of Science and Technology ,Changsha ,China ,Post Code: 410004) ,WANG Wei ( Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Co. ,Ltd. ,Guangzhou ,China ,Post Code: 510080) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31( 8) . -87 ~92

As a vital component of the steam-water piping system ,the steam pipes of the boiler usually work in an extreme environment of high temperature and pressure ,which can result in deformation and affect the safe operation of the thermal power unit. Additionally ,the spring hanger used to hang the pipe can also generate deformations. In this paper ,an indirect method of measuring the deformations of the main steam pipes was proposed based on the binocular stereo vision measurement theory. By selecting two representative points from the second part of the spring hanger and setting the midline of the steam pipe as the Y-axis ,a world coordinate system was created firstly. Then two high-definition cameras arranged in parallel were used for the real-time image acquisition. According to the theory of binocular stereo vision measurement ,the world coordinates of the two marked points can be obtained ,thus a straight line joining these two marked points can be made. Solving the system of equations consisting of pipe contour surface and the straight line yields the intersection point. Then the displacement of the pipe in all X ,Y and Z direction can be calculated by real-time monitoring the world coordinate of the intersection point. The results show that the macroscopic displacement of the boiler pipe can be accurately measured by this method and the device for realizing this method is also easy to be installed. **Key words:** binocular vision ,3D coordinates calculation ,boiler pipe ,macroscopic displacement

LNG 运输船独立液罐焊接残余应力分析 = **Welding Residual Stresses Analysis of LNG Tanks Used in LNG Carrier** [刊 ,汉] HUANG Feng-yu ( School of Energy and Power Engineering ,Wuhan University of Technology ,Wuhan ,Hubei ,China ,Post Code: 430063) ,Zhou Yong ( Wuhan Institute of Marine Electric Propulsion ,Wuhan ,Hubei ,China ,Post Code: 430064) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31( 8) . -93 ~98