

循环流化床锅炉 SNCR + SCR 联合脱硝流场优化研究

Flow field optimization study of SNCR + SCR combined denitrification on CFB boiler

叶兴联^{1,2}

(1. 东北大学冶金学院 辽宁 沈阳 210100; 2. 福建龙净环保股份有限公司 福建 龙岩 364000)

摘要: 采用 CFD 软件对某 75 t/h 燃煤型循环流化床锅炉 SNCR + SCR 联合脱硝的速度场、浓度场、温度场进行了数值模拟, 比较了 SCR 部分优化前后的速度分布、浓度分布, 并重点研究了 SNCR 部分还原剂喷入点的位置、喷射速度、喷雾粒径、喷雾锥角对 SNCR 脱硝的影响。结果表明: 对该脱硝装置中的 SCR 部分进行优化时, 可以仅对速度场进行优化而忽略对还原剂浓度场的优化; 对于 SNCR 部分, 还原剂喷入点设在进口段内侧优于外侧; 增大喷射速度、增大雾化粒径均能增强还原剂与烟气的混合, 有利于 SNCR 脱硝反应, 而增大喷雾锥角对还原剂浓度分布的影响并不明显。

关键词: 循环流化床锅炉; SNCR; SCR; 流场优化

Abstract: The velocity field, concentration field and temperature field of SNCR + SCR combined denitrification on a 75 t/h coal-fired CFB boiler were numerically simulated by CFD software. The velocity and concentration distribution were compared before and after optimization, and the effect of the location, injection speed, spray size and spray cone angle of reductant on SNCR denitrification efficiency at SCR part were studied. The results show that when we optimize the SCR part of this denitrification device, only the velocity field needs to be optimized, and the optimization on the concentration field could be ignored. For the SNCR part, the reductant injection point located at the inside of inlet section, increasing the spray velocity and increasing the atomized particle size can enhance the mixing of reductant and flue gas, which is beneficial to the SNCR denitrification reaction. The effect of increasing the spray cone angle on the concentration distribution of reductant is not obvious.

Key words: CFB boiler; SNCR; SCR; flow field optimization

中图分类号: X701.7

文献标识码: B

文章编号: 1674-8069(2018)03-015-04

0 引言

近年来, 京津冀、长三角和珠三角等重点区域雾霾问题严重, “超低排放 50355”新标准被提上日程, 各行业开始进行脱硝、除尘、脱硫提效改造。原先应用于高浓度 NO_x 循环流化床锅炉上的低氮燃烧技术、SNCR 及低氮燃烧 + SNCR 技术已经不能满足 NO_x 排放值小于 50 mg/m^3 的要求, 为了控制 NO_x 的排放浓度, 必须采用 SNCR + SCR 联合脱硝技术对 NO_x 进行控制^[1]。与单一的 SNCR 和 SCR 脱硝相比, 该技术具有脱硝效率高、催化剂用量小、SCR 反应器体积小、系统阻力小、腐蚀性小、成本适度等优点^[2], 故在循环流化床锅炉得到了广泛的应用。流场分布是影响脱硝装置脱硝效率及氨逃逸率、催化剂使用寿命的关键因素之一, 因此脱硝工程必须对

流场进行优化设计。李竞岌等^[3]采用数值模拟方法对循环流化床锅炉 SNCR 脱硝的喷入点位置、数量及喷射参数进行了优化分析, 得出还原剂喷入点布在旋风分离器进口段内侧、喷入点至少四个、增大雾化粒径、增大喷雾锥角有利于增强烟气和还原剂的混合效果。赵永泉等^[4]、王岳军等^[5]也对循环流化床锅炉的 SNCR 脱硝流场进行了数值模拟分析研究。目前, 大部分研究都仅对单独的 SNCR 或 SCR^[6-12]进行流场优化, 关于 SNCR + SCR 联合脱硝的流场优化研究较少。本文拟采用 CFD 软件对某 75 t/h 循环流化床锅炉的 SNCR + SCR 流场进行分析, 为其现场设计提供参考依据。

1 几何模型及数学模型

某 75 t/h 燃煤型循环流化床锅炉 100% BMCR

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0203703)

工况下的烟气量为 $85000 \text{ m}^3/\text{h}$,按照 1:1 的比例建立模型 ,主要包括燃烧床层部分、挂式过热器、2 个旋风分离器、省煤器、导流板、整流格栅、催化剂层及 SCR 脱硝出口烟道下游的空预器部分 ,如图 1 所示。

为了简化计算 ,暂不考虑模型内粉尘颗粒的影响 ,先选用模型计算得出气相流场 ,后加入 DPM 模型及组分输运模型追踪氨水的蒸发过程以及与烟气的混合过程。另外 ,省煤器、空预器、催化剂层均设置为多孔介质 ,由于前二者内部涉及热交换 ,故设置有内热源。

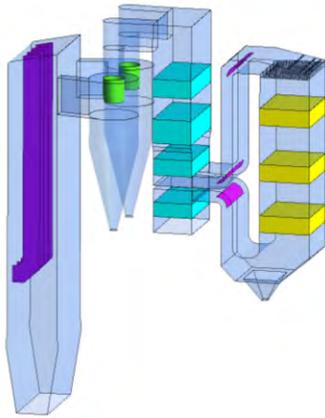


图1 几何模型示意

2 参数研究

2.1 速度分布

优化前烟道中未设置导流板 ,仅催化剂层上游设置了整流格栅 ,优化方案在 SCR 装置进出口烟道弯头处设置了相应的导流板 ,并在整流格栅上游斜烟道上设置了阻流板 模拟结果如图 2 ~ 图 4 所示。图 2 为旋风分离器入口速度分布俯视图 ,烟气近切线方向进入分离器 ,之后沿外侧螺旋向下运动 ,最后经过分离器的中心内筒流出。

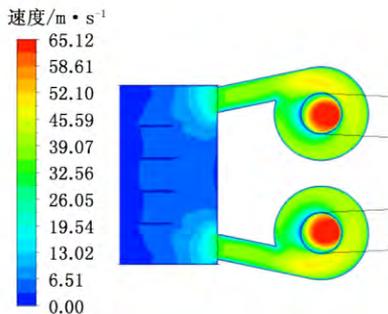


图2 旋风分离器入口速度分布俯视图

图 3 为优化前后整个系统的烟气流线图 ,可看出 ,由于 SCR 脱硝上游烟道布置了合理的导流装置 ,烟气可以更均匀的竖直向下通过催化剂区域。

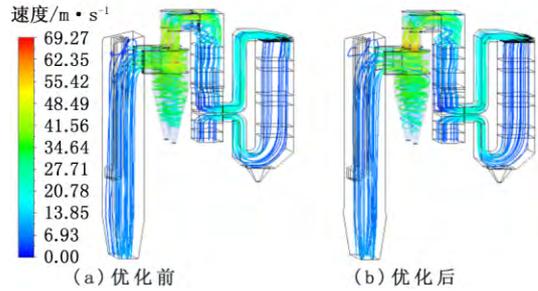


图3 烟气流线图

图 4 显示了优化前后首层催化剂上游的速度分布 ,优化前外侧速度过大 ,最大速度达到 12.24 m/s ,而低速区仅为 $0 \sim 1 \text{ m/s}$,高烟速区容易导致催化剂磨损 ,低烟速区容易导致催化剂积灰 ,整个截面速度相对标准偏差为 20.2% ,速度分布均匀性差 ;优化后断面最大速度降低为 4.90 m/s ,速度分布均匀性得到显著改善 ,截面速度相对标准偏差为 6.2% ,远小于 15% 的脱硝设计标准^[13] ,有利于减轻催化剂的磨损和积灰。

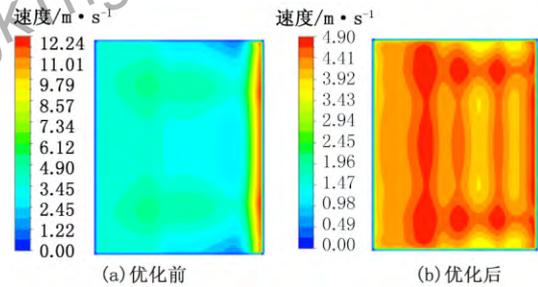


图4 首层催化剂上游速度分布云图

2.2 浓度分布

还原剂喷射点通常布置在旋风分离器的进口水平烟道中 ,从上到下均匀布置 ,点数越多越有利于烟气与还原剂的混合 ,但也会加大工程的复杂程度 ,一般工程中推荐在单分离器上布设 $4 \sim 5$ 个喷入点。假设喷枪设置在旋风分离器进口水平烟道的外侧 ,布置 4 个喷射点 ,喷射速度为 40 m/s ,平均雾化粒径为 $90 \mu\text{m}$,喷雾锥角为 60° ,模拟结果如图 5 ~ 图 6 所示。从图 5 中可看出 ,还原剂液滴在旋风分离器进口处全部蒸发 ,满足工艺设计要求 ,最大蒸发时间为 0.036 s ,平均蒸发时间为 0.032 s 。

图 6 显示了分离器入口还原剂的浓度分布 ,由

于喷枪设置在进口烟道外侧,还原剂紧贴分离器外壁流动,而分离器的作用是使烟气向外甩,故抑制了还原剂向中心的扩散,导致外侧浓度远高于其他区域。

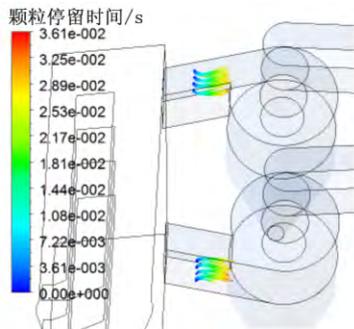


图5 还原剂液滴流动轨迹

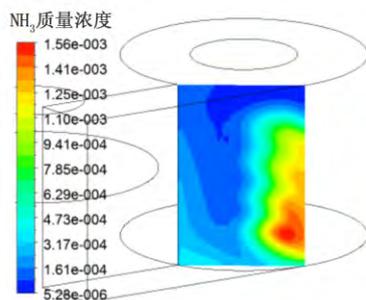


图6 分离器入口氨气浓度分布云图

模拟结果显示,优化前后首层催化剂上游断面的氨浓度分布均匀性很好,为脱硝反应提供了很好的条件,该处的还原剂 NH_3 来源于上游 SNCR 脱硝未参与反应的逃逸氨。

统计结果得出优化前后的相对标准偏差分别为 0.8%、0.6% (远小于 5% 的脱硝设计标准^[11]),可见,优化前后催化剂层的浓度分布均匀性变化很小,可以忽略,故对该循环流化床锅炉 SNCR + SCR 联合脱硝装置中的 SCR 部分进行优化时,可以仅对速度场进行优化,而忽略对浓度场的优化。

2.3 温度分布

对分离器内温度场和首层催化剂上游温度分布进行模拟,模拟所得温度分布结果显示,分离器内温度在 892 ~ 998 °C 之间,正好处于 SNCR 反应的温度窗口内。SCR 装置内首层催化剂上游断面的温度分布范围为 312 ~ 339 °C,也处于 SCR 脱硝反应的温度窗口内。

2.4 喷入点位置影响

为了研究分离器喷入点位置的影响,现将喷入

点布置在分离器进口段内侧,模拟结果如图 7 所示。与图 6 相比,还原剂在分离器入口断面的扩散更明显,因为喷入点设在内侧,还原剂气化后,随着烟气向外甩,还原剂由分离器内侧迅速向外侧扩散,使还原剂在分离器中均匀分布。因此,喷入点设置在进口烟道内侧,更有利于加强还原剂与烟气的混合,提高 SNCR 脱硝效率。

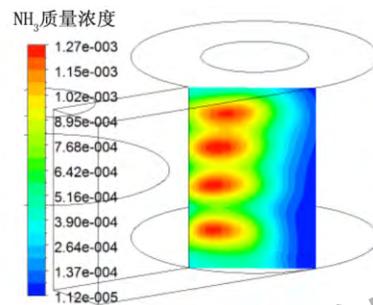


图7 分离器入口氨气浓度分布云图

2.5 喷射速度的影响

喷入点选在内侧,喷雾锥角为 60°、雾化粒径为 90 μm、喷射速度为 40 m/s、80 m/s、120 m/s 工况下分离器入口断面的还原剂浓度分布模拟结果如图 8 所示。从图 8 可看出,随着喷射速度的增加,还原剂穿透距离加大,更容易扩散到烟气中,分离器入口截面的浓度分布变得更均匀,将有利于提高脱硝效率,因此,在保证其他条件一定的情况下,适当提高喷射速度有利于脱硝反应。

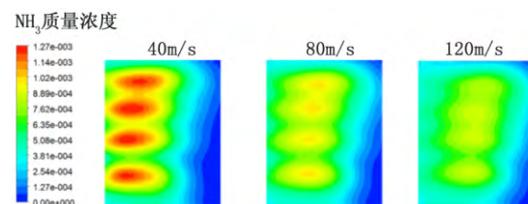


图8 不同喷射速度下分离器入口断面浓度分布

2.6 雾化粒径的影响

计算了喷射速度为 40 m/s、喷射锥角为 60°、雾化粒径为 50 μm、90 μm、130 μm 的分离器入口断面浓度分布如图 9 所示,可见,随着雾化粒径的增加,还原剂的穿透距离增大,分离器入口断面的浓度分布更均匀。这是因为雾化粒径提高后,单个颗粒的体积增大,气化后产生的气团体积也增大,更容易扩散到烟气中,增强了还原剂与烟气的混合。因此,在其他条件一定的情况下,可以通过适当增大雾化粒径来提高 SNCR 脱硝效率。

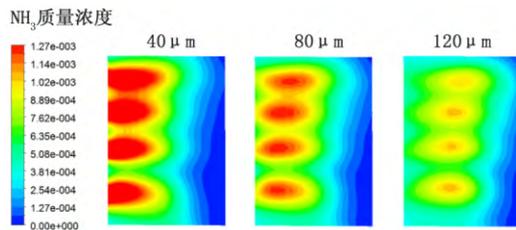


图9 不同雾化粒径分离器入口断面浓度分布

2.7 喷雾锥角的影响

图10给出了喷射速度为40 m/s、雾化粒径为90 μm条件下不同喷雾锥角对分离器入口还原剂浓度分布的影响。当喷雾锥角由30°增大到90°时,还原剂在分离器入口的浓度分布相差不大,这是因为随着喷雾锥角的增加,还原剂的初始扩散面积加大,但是穿透距离也会随之减小,且由于喷射方向与壁面垂直,增大锥角时靠近分离器入口断面内侧的浓度会随之增加,故总体均匀性会略微变差,所以,对该分离器而言,增大喷雾锥角并不能起到正面效果。

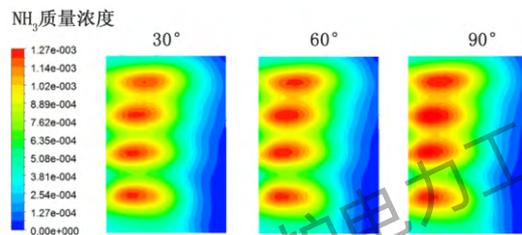


图10 不同喷雾锥角工况下分离器入口断面浓度分布

3 结语

采用CFD软件对某75 t/h燃煤型循环流化床锅炉SNCR+SCR联合脱硝流场进行了数值模拟,比较了SCR部分优化前后的速度分布、浓度分布,并重点研究了SNCR还原剂喷入点的位置、喷射速度、喷雾粒径、喷雾锥角对SNCR脱硝的影响。结果表明:

(1) 在SCR脱硝装置烟道中设置合理的导流装置后,首层催化剂入口断面的速度分布有了明显改善,有利于减轻催化剂的磨损和积灰,延长催化剂使用寿命。优化前后SCR部分氨浓度分布均匀性非常好,且相差不大,故进行SCR部分优化时可以仅考虑速度场,而忽略对浓度场的优化。另外,SNCR及SCR的烟气温度都处于各自的反应温度窗口内,有利于脱硝反应。

(2) 还原剂喷入点设在进口烟道内侧(较外侧)

时,还原剂更容易扩散到烟气中,更有利于加强还原剂与烟气的混合,提高SNCR脱硝效率。

(3) 增大喷射速度和雾化粒径,均能增大还原剂的穿透距离,使得分离器入口的浓度分布更均匀,提高脱硝效率。

(4) 增大喷雾锥角,分离器入口的浓度分布均匀性略微变差,故针对该装置,增大喷雾锥角对脱硝反应有负面影响。

参考文献:

- [1] 邓志鹏,樊响,王青. SNCR/SCR混合技术在220 t/h循环流化床锅炉上的应用[J]. 山西冶金, 2016(3): 64-66.
- [2] 陈国宁,曾祥朋. SNCR/SCR联合脱硝在燃煤锅炉上的模拟应用[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(12Q): 302-306.
- [3] 李竟炭,杨海瑞,李穹,等. 循环流化床锅炉烟气脱硝系统优化模拟[J]. 中国电力, 2013, 46(9): 1-5.
- [4] 赵永泉,赵宏岩,张光学. 300 MW循环流化床锅炉SNCR试验及数值模拟[J]. 能源与环境, 2015(4): 40-43.
- [5] 王岳军,刘学炎,李世远,等. SNCR脱硝技术在循环流化床锅炉中的应用[J]. 环境工程, 2013, 31(1): 59-62.
- [6] 周英贵. 大型电站锅炉SNCR/SCR脱硝工艺试验研究、数值模拟及工程验证[D]. 南京:东南大学, 2016.
- [7] 段传和,夏怀祥,谷小兵. 燃煤电站SNCR脱硝系统喷射还原剂介质对锅炉效率的影响[J]. 电力科技与环保, 2012, 28(1): 55-56.
- [8] 冯立波. 燃煤电厂SCR反应器设计优化探讨[J]. 电力科技与环保, 2016, 32(2): 12-14.
- [9] Yuan Yuan Xu, Yan Zhang, Fengna Liu, et al. CFD analysis on the catalyst layer breakage failure of an SCR-DeNO_x system for a 350 MW coal-fired power plant[J]. Computers and Chemical Engineering, 2014(69): 119-127.
- [10] Yanhong Gao, Qingcai Liu, Lingtao Bian. Numerical Simulation and Optimization of Flow Field in the SCR Denitrification System on a 600 MW Capacity Units[J]. Energy Procedia, 2012(14): 370-375.
- [11] Zhizhong Kang, Qixin Yuan, Lizheng Zhao, et al. Study of the performance, simplification and characteristics of SNCR? de-NO_x in large-scale cyclone separator[J]. Applied Thermal Engineering, 2017(123): 635-645.
- [12] Norbert Modliński. Numerical simulation of SNCR? (selective non-catalytic reduction) process in coal fired grate boiler[J]. Energy, 2015, 92(1): 67-76.
- [13] 周强强. SCR脱硝系统烟道气动流场数值模拟研究[D]. 大连:大连海事大学, 2015.

收稿日期:2017-11-21; 修回日期:2018-01-19

作者简介:叶兴联(1984-),男,福建三明人,博士,高级仿真师,主要从事烟气污染防治技术研究。E-mail: yexinglian1228@163.com