

Discussion on the Source Treatment of Nitrogen Oxides in Coke Oven Flue Gas

Diance Jing Ting Kang Peng Zheng Mingdeng Wang Changzhi Xiao

MCC Jiaonai (Dalian) Engineering Technology Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116085, China

Abstract

This paper analyzes the reasons for the generation of nitrogen oxides in coke oven flue gas and introduces the current low nitrogen combustion technologies for coke ovens, including segmented combustion, high-temperature oxygen deficient combustion, diffusion controlled combustion, and combustion chamber wall optimization. By using computer simulation technology, the nitrogen reduction effect of different low nitrogen combustion technologies for coke ovens is analyzed, and the improvement direction of existing coke oven structures is discussed.

Keywords

coke oven; low nitrogen combustion; simulation

浅谈焦炉烟气中氮氧化物的源头治理

景殿策 康婷 郑彭 王明登 肖长志

中冶焦耐(大连)工程技术有限公司, 中国·辽宁 大连 116085

摘要

论文分析了焦炉烟气中氮氧化物生成的原因,并介绍了现行的焦炉低氮燃烧技术,其中包括分段燃烧、高温贫氧燃烧、扩散控制燃烧、燃烧室炉墙优化等方法,借用计算机仿真模拟技术对不同的焦炉低氮燃烧技术的降氮效果进行了分析,同时对现有焦炉结构的改进方向进行了探讨。

关键词

焦炉;低氮燃烧;仿真模拟

1 引言

随着民众对环保要求的呼声日益强烈,国家对工业环保排放的控制也变得愈加严格,如何通过焦炉结构或功能设计有效降低烟气中氮氧化物的生成从而达到源头治理的目的,成为现今焦化设计行业重要的研发方向。借鉴于锅炉设计中成熟的低氮燃烧技术,结合焦炉自身的加热系统特点,利用计算机仿真模拟工具,焦炉低氮燃烧技术已初见形骸。

2 低氮燃烧技术

低氮燃烧技术是基于燃烧过程中氮氧化物(NO_x)的生成机理而有意的控制燃烧过程的各个条件以达到降低氮氧化物产生的技术。燃烧过程中氮氧化物(NO_x)的形成机理可粗略的分成3种类型^[1]:一是燃料型 NO_x ,燃料中的N因高温燃烧而氧化生成 NO_x ;二是热力型 NO_x ,在高温下N与O反应生成;三是快速型 NO_x ,由于含碳自由基的存在而生成 NO_x 。因快速型 NO_x 的生成量较少且难以控制,

目前发展出的焦炉低氮燃烧技术均是针对燃料型 NO_x 和热力型 NO_x ,结合焦炉加热系统压力小、流速低、严密性差、靠烟囱吸力运行的特点,低氮燃烧技术在焦炉设计的具体应用可分为:分段燃烧、高温贫氧燃烧、扩散控制燃烧、燃烧室炉墙优化等几个方面。

2.1 分段燃烧技术

焦炉分段燃烧是通过将助燃空气或者空气与煤气同时分成若干段,分别导入燃烧室立火道内进行燃烧,以达到分散火焰、降低燃烧强度,减少 NO_x 生成量目的的燃烧技术。该技术直观、高效,是现行超大大容积焦炉常用的低氮燃烧技术,其中以伍德公司7.63m顶装焦炉和中冶焦耐的7m焦炉最具代表性。伍德7.63m焦炉采用空气分段燃烧技术^[2],立火道内仅空气分段,在使用高炉煤气加热时,立火道底部煤气在空气过剩系数 $\alpha < 1$ 的缺氧条件下燃烧,抑制 NO_x 的生成,延迟燃烧过程。该立火道结构在使用高炉煤气加热时可有效抑制 NO_x 的生成;当使用焦炉煤气加热时,却因高炉煤气供入不分段,导致煤气蓄热室和空气蓄热室同时供入预热空气,从而使焦炉煤气在立火道底部的燃烧过程空气过剩系数 α 接近于1,抑制 NO_x 生成的效果不明显。JN60型

【作者简介】景殿策(1982-),男,中国辽宁大连人,硕士,高级工程师,从事冶金研究。

焦炉空气过剩系数对 NO 生成量的模拟计算结果如图 1 所示。

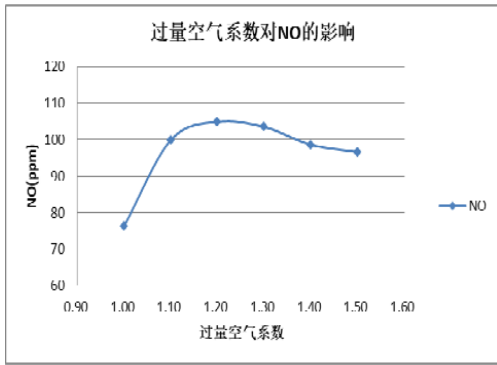


图 1 JN60 型焦炉空气过剩系数对 NO 生成量的模拟计算结果

中冶焦耐 JNX3-70 型焦炉采用空气和煤气都分段的分段燃烧技术，立火道内煤气和空气皆为三段供入方式并可通过设置在各自出口的调节砖人工调节煤气与空气在不同位置的分配比例，实现立火道底部贫氧燃烧，立火道高向加热均匀等目的。为确保立火道内的实际燃烧过程与设计意图完全符合且为最优方案，中冶焦耐在焦炉炉体开发过程中还采用计算机仿真模拟技术对焦炉燃烧室的高向和长向的燃烧过程进行数值模拟，通过仿真模拟的结果优化各出口的结构参数。

图 2 为方案调整前后立火道内的 NO 生成浓度对比，通过仿真模拟手段对原方案设计参数进行优化，使下、中、上部的空气流量分配由 67%、8.5%、24.5% 调整至 60.5%、11%、28.5%，调整结束后立火道内最高燃烧温度降低 22K，废气中 NO 浓度降低约 20%，基本符合设计原意，且在后续已投产的焦炉上也验证了结构调整后的优越性。

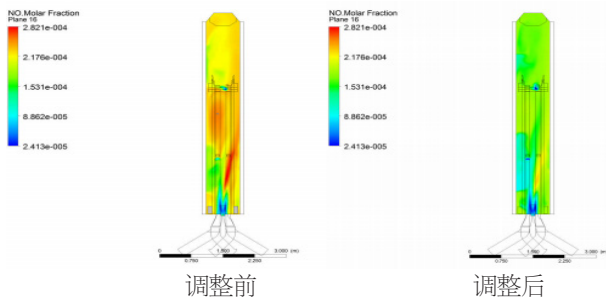


图 2 JNX3-70 型焦炉立火道中部截面 NO 浓度分布

在此基础上，中冶焦耐研发团队还进一步提出空气与煤气分段出口不设置在同一高度的设计方案，该方案可使底部未完全燃烧的烟气始终在稀释状态下与助燃空气反应，从而使一段之后的燃烧都不形成明显火焰或者高温区域，抑制 NOx 生成，该方案已形成发明专利 4 件并将很快投入设计实践中。

2.2 高温贫氧燃烧技术

高温低氧燃烧技术（简称 HTAC）^[1] 是日本于 20 世纪 80 年代末提出的一种燃烧技术，该技术将空气预热到 1000K 以上，并在其喷入炉膛时通过卷吸烟气形成贫氧的高温气流，实现燃烧在贫氧（2%~20%）气氛中燃烧，抑制

NOx 的形成。该技术在焦炉设计的具体实施方式上可体现为炉内废气循环、炉外烟气回配技术。

炉内废气循环是通过焦炉立火道底部隔墙上开设的废气循环孔实现的，该循环孔设计是现阶段大型焦炉的成熟结构，设置于立火道底部的循环孔将下降气流的部分烟气抽吸至上升气流，从而冲淡燃料气和空气，降低燃烧火焰的温度，实现高温低氧燃烧。该技术的关键点在于废气循环量的选取和如何在空间局促的燃烧室立火道底部使循环废气先与空气混合然后再参与燃烧。关于前者，可通过计算机仿真模拟手段对其优化；对于后者，可更改循环孔与空气底部出口的位置使空气与循环气掺混降低氧气分压，或者煤气底部出口的位置与循环孔临近，使循环气与煤气首先掺混形成贫氧燃烧，再与底部空气进行二次燃烧。

中冶焦耐提出立火道底部空气与煤气出口设置在不同标高的理念以配合废气循环的作用抑制立火道内 NOx 的生成，并已申请了相应专利。

焦炉废气回配技术，是指从在焦炉外将烟道中的废气抽回重新注入焦炉蓄热室或者燃烧室的燃烧技术，该技术通过降低助燃气中氧气的分压达到抑制 NOx 生成的目的，同时增大了废气的量，降低了燃烧的温度，诸多因素共同作用抑制 NOx 的生成。

中冶焦耐研发中心对该技术进行仿真模拟，模拟中取废气量的 10% 与助燃空气掺混，然后参与燃烧，可有效降低气流的最高温度和出口温度，相比废气回配前降低 NO 生成约 30%。河钢集团唐钢公司通过焦炉改造利用烟道气回配技术，可将 Nox 生成量降低 32.4% 的生产实践也成功验证了废气回配技术的合理性。立火道内 NO 沿高向分布如图 3 所示。

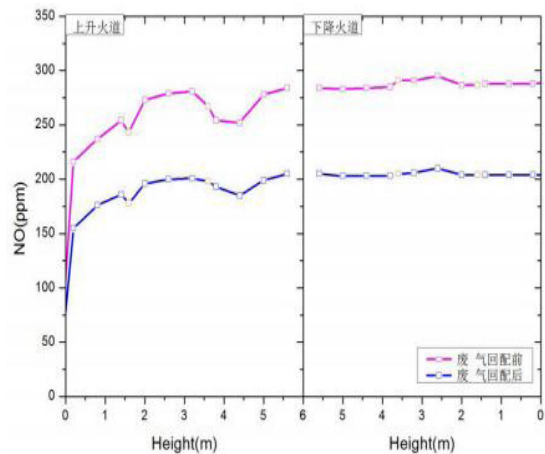


图 3 立火道内 NO 沿高向分布

2.3 扩散控制燃烧技术

研究发现，焦炉立火道内的燃烧过程遵循扩散控制机理，煤气燃烧的剧烈程度受空气与煤气掺混的状态限制，如何合理地设置煤气与空气出口的交角延迟燃烧过程，通过合理设计各气流出口与循环孔的相对关系实现燃料气或者助燃气的贫化都能有效降低 NOx 的产生，中冶焦耐采用计算

机仿真模拟技术,以一对立火道作为研究对象,在热负荷一定的情况下考察不同形式气流出口对立火道内NO_x产生的影响进行分析,获取最合理的设计方案。图4为立火道底部

结构对比,图5为不同立火道底部结构对立火道内废气温度的影响,图6为JNX3-70型焦炉普通硅砖与超导硅砖立火道内温度对比。

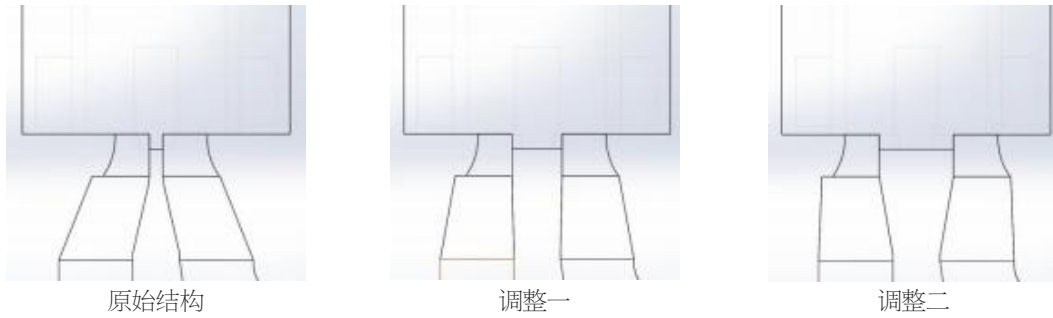


图4 立火道底部结构对比

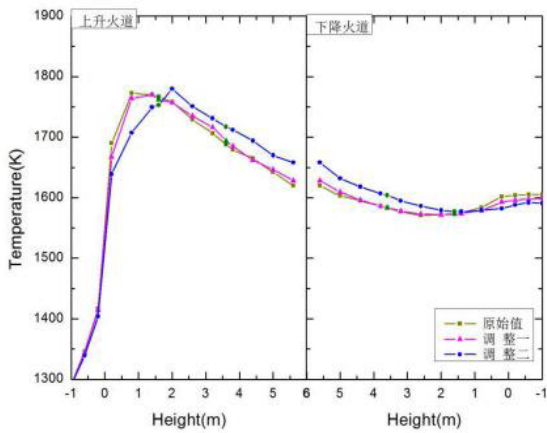


图5 不同立火道底部结构对立火道内废气温度的影响

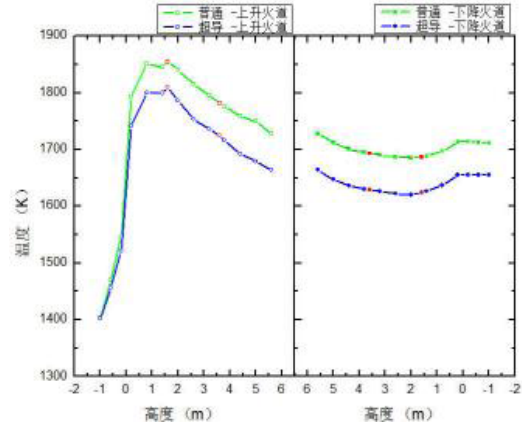


图6 JNX3-70型焦炉普通硅砖与超导硅砖立火道内温度对比

模拟结果表明:采用调整结构二可显著延迟燃烧过程降低燃烧的剧烈程度,相比于原始结构方案,可降低63%的NO生成,但上述模拟结果还需与炭化室热负荷耦合以达到炭化室内均匀结焦的实际生产需求。后续优化的方案已用于中冶焦耐设计的7.65m焦炉和6.78m捣固焦炉的设计中。

2.4 燃烧室炉墙优化

焦炉生产过程的实质是利用燃烧室立火道的气体燃烧加热炉墙再热量传递到相邻炭化室中使煤饼干馏结焦的过程。焦炉烟气中NO_x的生成不仅跟燃烧的形式有关,也与炉墙窜漏的荒煤气,炉墙的热负荷有关。通过采用高导热率的高导热硅砖或者减薄炉墙都能有效增强传热,降低立火道内废气的温度从而抑制

NO_x的生成。中冶焦耐研发中心应用计算机仿真模拟对JNX70-3型焦炉的立火道内的燃烧及传热过程进行模拟。模拟结果表明,立火道墙面采用超导热硅砖后,相同气体流量及热负荷条件下,立火道内最高燃烧温度降低约27K,相比于普通硅砖废气出口温度降低约60K,废气中NO_x含量降低约45.8%。

除此之外,还可以通过合理设计炉墙结构和控制炭化室内压力达到抑制荒煤气窜漏到立火道中,从而降低NO_x的生成。

3 结论

从简单的三段加热方式到深入的研究氮氧化物生成与温度、停留时间、空气过剩系数的关系,焦炉低氮燃烧技术正逐步走向完善和成熟,该过程与NO_x生成机理和抑制理论研究的不断深入是分不开的。计算机仿真模拟技术作为一种焦炉炉体研发的新手段正逐渐被重视起来,该技术的应用让焦炉研发设计流程更加高效、便捷和准确。

未来焦炉低氮燃烧技术的发展应不再局限于某个局部细微结构的优化,而是整个系统或跨学科之间的联动组合,如新材料与新炉墙结构的强强联合,焦炉燃烧室结构与炭化室结构的匹配耦合以及加热系统优化与焦炉外部调节技术的配合联用。随着各学科、各系统的深度联合,焦炉低氮燃烧技术将向着更加清洁、高效发展。

参考文献

- [1] 孔德文,张平存,朱百成,等.降低NO_x排放的焦炉低氮燃烧技术[J].河北冶金,2019(9):36-39.
- [2] 钟英飞.焦炉加热燃烧时氮氧化物的形成机理及控制[J].燃料与化工,2009,40(6):5-12.
- [3] 吴光亮,李士琦,郭汉杰,等.高温低氧燃烧(HTAC)技术在我国冶金工业中应用的现状分析[J].钢铁,2004,39(9):69-73.