

天然气再燃降低燃煤电站锅炉 NO_x 的排放水平

王恩禄 彭玲 罗永浩

(上海交通大学机械与动力工程学院热能工程研究所)

王恩禄等. 天然气再燃降低燃煤电站锅炉 NO_x 的排放水平. 天然气工业, 2005; 25(3): 171~173

摘要 为了降低燃煤电站锅炉 NO_x 的排放水平, 利用主燃区煤已生成的 NO_x 遇到再燃燃料在还原性气氛中产生的未完全燃烧中间产物 HCN 基团、 NH_i 基团时会被还原为 N_2 的燃料分级再燃技术, 作为最为有效的炉内技术措施可以降低我国燃煤电站锅炉 NO_x 的排放浓度。根据甲烷和两种合成煤气为再燃燃料对降低燃煤产生的 NO_x 还原效果基本相同的试验结果, 指出可利用部分天然气作为再燃燃料降低“西气东输”沿线城市及天然气产区现有燃煤电站锅炉 NO_x 较高的排放浓度, 把 NO_x 的排放浓度控制在 400 mg/m^3 或更低水平。同时, 由于采用再燃技术后入炉燃煤所占热量可减少 $10\% \sim 15\%$, 燃燃烧过程中所产生的 SO_2 排放水平也得到降低, 从而实现同时降低 NO_x 和 SO_2 排放量的双效目标, 使我国日益严重的酸雨态势得以改善, 实现环境效益与国民经济持续快速发展相互协调的目标。

关键词 天然气 燃料 分级燃烧 顶替 煤 发电站 锅炉 降低 氮氧化物 排放标准

随着我国经济的持续快速发展, 燃煤电站锅炉的装机容量不断增加, 其所带来的环境污染问题也越来越严重。燃料分级燃烧(再燃)作为降低燃煤锅炉 NO_x 排放的最为有效的炉内措施, 在国外已被成功的应用于电站锅炉上, 当以少燃料氮的燃油和不含燃料氮的天然气作为再燃燃料(占输入热量的比例为 $10\% \sim 15\%$) 时, NO_x 排放量可降低 60% 以上^[1,2]。如日本 Nakoso 电厂采用燃料分级燃烧后, NO_x 排放量降为 120 mg/m^3 ; 美国的示范工程也取得了令人满意的结果, NO_x 还原率达 $58\% \sim 77\%$ 。国内目前还没有将再燃技术用于降低燃煤电站锅炉 NO_x 排放的示范工程。

国家“西气东输”工程的投产, 已将产自新疆的天然气输送到了上海, 沿途经过的省份都可或多或少的利用天然气来改变当地的能源结构、改善大气环境质量^[3]。在此笔者主要介绍燃料再燃降低 NO_x 排放的基本原理, 根据甲烷和 2 种合成煤气为再燃燃料对降低燃煤产生的 NO_x 还原效果基本相同的试验结果, 指出可利用部分天然气作为再燃燃料降低“西气东输”沿线城市现有燃煤锅炉较高的 NO_x 排放水平, 以改善我国的大气环境条件。

作者简介: 王恩禄, 副教授, 1966 年生, 在职博士研究生; 1989 年 3 月毕业于哈尔滨工业大学动力工程系热能工程专业并获工学硕士学位, 现在上海交通大学机械与动力工程学院热能工程研究所从事热能高效清洁利用的教学和研究工作。地址: (200240) 上海市东川路 800 号。电话: (021) 34201223, 13564604520。E-mail: elwang@sjtu.edu.cn

一、再燃技术降低燃煤电站锅炉 NO_x 排放的基本原理

图 1 为燃料分级燃烧降低 NO_x 排放示意图。

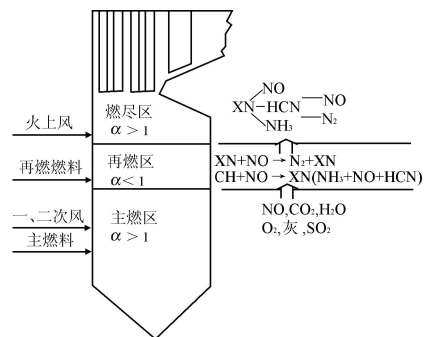


图 1 燃料分级燃烧降低 NO_x 排放示意图

利用已生成的 NO_x 在遇到烃根 CH_i 、未完全燃烧产物 CO 、 C 和未完全燃烧中间产物 HCN 基团、 NH_i 基团时, 会被还原为 N_2 的原理, 将整个炉膛分为 3 个区: 主燃区、再燃区与燃尽区。将占入炉总热量 $80\% \sim 85\%$ 的燃料送入 $\alpha > 1$ 的主燃区, 使燃料中的氮尽可能的转化为 NO_x 。其余占入炉总热量 $15\% \sim 20\%$ 的燃料送入主燃区上部的再燃区, 在 $\alpha <$

1的条件下形成还原性气氛,使得在主燃区中生成的 NO_x 在再燃区中被还原成氮分子,同时抑制新的 NO_x 的生成,使 NO_x 的排放浓度进一步降低。借助在再燃区上方布置的“火上风”喷口形成的燃尽区,使在再燃区的未完全燃烧产物得以燃尽。再燃燃料在还原性气氛下对主燃区煤粉燃烧生成的氮氧化物的还原反应中,再燃燃料中产生的中间产物氰基、氨基及烃根等以起到分解氮氧化物的作用。

二、甲烷和合成煤气作为再燃燃料降低 NO_x 排放的试验结果

为了对气体与固体燃料作为再燃燃料降低 NO_x 排放的效果进行比较,德国斯图加特大学的研究者分别用甲烷和煤作为再燃燃料进行了实验研究。结果如图2所示^[4,5],气体燃料(甲烷)作为再燃燃料的效果要比固体燃料(煤)好的多。

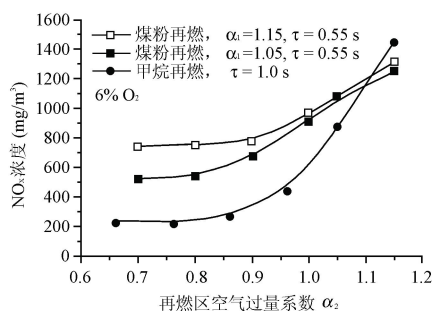


图2 气体和煤粉作为再燃燃料时的 NO_x 比较图

一般认为气体燃料与 NO_x 发生还原反应时,烃根是最有利于 NO_x 还原的成分。Spliethoff等研究者的实验结果进一步表明^[3],再燃燃料中不同碳氢化合物浓度的变化(20%~100%)对 NO_x 的还原率没有太大的影响。表1为甲烷和合成煤气3种不同

表1 3种气体再燃燃料成分分析表 %

再燃燃料	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆	烃类气体
甲烷	—	—	—	100	—	—	100
合成煤气1	25.6	5.35	7.65	53.1	8.3	—	61.4
合成煤气2	41.5	—	37.5	10.8	5.2	5.0	21.0

再燃燃料的成分分析。图3为以上3种不同气体再燃燃料降低 NO_x 排放效果随再燃区不同过量空气系数的变化趋势。由图3可见,烃类气体浓度的不同对降低 NO_x 排放效果的影响不大。

在气源条件许可的情况下,针对我国大部分燃

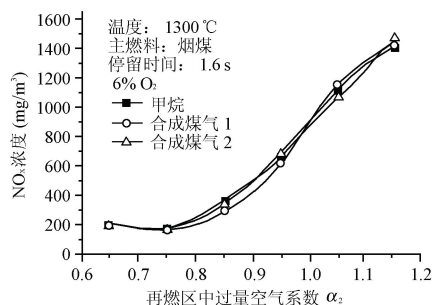


图3 气体再燃燃料降低 NO_x 排放效果比较图

煤电站锅炉在采用了低 NO_x 燃烧器并组织空气分级燃烧后,其 NO_x 排放量仍不能满足国家300MW及以上火电机组中固态排渣煤粉炉 NO_x 排放量不得超过 650 mg/m^3 的要求这一实际情况,和更加严格的燃煤锅炉 NO_x 排放地方法规的出台,采用气体燃料再燃降低燃煤锅炉 NO_x 的排放水平将能满足这一要求。

三、天然气作为再燃燃料降低 NO_x 的排放水平

1. 天然气作为再燃燃料降低 NO_x 排放的效果

天然气的主要成分是甲烷,含少量烷属重碳氢化合物,气田天然气的甲烷含量更高些,为90%~98%,油田天然气的甲烷为75%~87%。由图3已知,由于再燃燃料中不同碳氢化合物浓度的变化(20%~100%)对 NO_x 的还原率没有太大的影响,可以得出利用天然气作为再燃燃料可将燃煤锅炉 NO_x 排放水平降低到满足我国排放标准要求,甚至更低水平,改善大气环境质量。英国Longannet电厂单独使用天然气再燃就减少了50%以上的 NO_x 排放量,再加上通过低 NO_x 燃烧器获得的减排量,其 NO_x 减排总量达到了75%左右。

2. 天然气作为再燃燃料的资源利条件

我国是以煤炭为主的国家,以煤为主的能源结构造成的环境污染已经成为了制约我国中长期可持续发展的首要因素。

按我国“西气东输”的规划方案,每年 $120 \times 10^8\text{ m}^3$ 的供气量将被用于民用、发电等领域,可代替几千万吨的煤,天然气在能源消费中的比例将由2.1%上升到4%。能源结构的变化,将使“西气东输”沿线城市及天然气产区依赖煤炭和石油资源造成的环境污染状况大为改善。

值得注意的是,被用于民用、发电等领域的天然

气主要通过生活炉灶、热水器、工业锅炉和燃气轮机发电装置分别或者全部取代煤、煤气及石油提供热能和电力而改善环境质量,并没有涉及如何降低现有燃煤电站锅炉大气污染物的排放水平。已有天然气管网的建设使天然气可以以较低成本被输送到燃煤电厂,使利用天然气作为再燃燃料降低 NO_x 排放水平成为可能。国外已有试验和示范表明,输入占入炉热量比例为 10%~15% 的天然气,便可将燃煤电站锅炉 NO_x 的排放水平降低 60% 以上,使将 NO_x 排放浓度控制在 400 mg/m³ 或更低水平成为了可能。同时,由于入炉燃煤所占热量可减少 10%~15%,随着燃煤量的减少,SO₂ 的排放水平也得到了降低,这样就可以缓解我国日益严重的酸雨态势。

四、结 论

根据甲烷和两种合成煤气为再燃燃料对降低燃煤产生的 NO_x 还原效果基本相同的试验结果及我国天然气的成分,结合“西气东输”工程的实施,可利用部分天然气作为再燃燃料降低沿线城市及天然气产区现有燃煤电站锅炉 NO_x 较高的排放浓度,使 NO_x 排放浓度控制在 400 mg/m³ 或更低水平成为

可能。

由于采用再燃技术后入炉燃煤所占热量可减少 10%~15%,燃烧过程中煤量 SO₂ 的排放水平也得到降低,从而可实现降低 NO_x 和 SO₂ 的双效目标,有益于保护和改善我们的大气环境。

参 考 文 献

- 1 还博文. 锅炉燃烧理论与应用. 上海: 上海交通大学出版社, 1999
- 2 朱全利, 裴明距, 曾汉才. 大型燃用贫煤和烟煤锅炉 NO_x 排放特性的研究. 电力环境保护, 1998; 14(4): 1~4
- 3 王长庆, 龙惟定等. 燃气空调发展情况介绍. 天然气工业, 2002; 22(4): 83~87
- 4 Spliethoff H, Greul U, Ruediger H *et al.* Basic effect on NO_x emissions in air staging and reburning at a bench scale test facility. Fuel, 1996; 75(5): 560—568
- 5 Greul U, Rudiger H, Spliethoff H *et al.* NO_x controlled combustion in a bench scale test facility. Proceedings of the 21st technical conference on coal utilization & fuel systems. Clearwater, Florida, USA, 1996

(修改回稿日期 2004-12-30 编辑 居维清)