

锅炉煤炭燃烧过程 NO_x 释放规律及累积转化率影响因素

单云霞¹ 杨柳^{1*} 王圣² 谭月¹ 王宗爽³

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023; 2. 国电环境保护研究院, 江苏 南京 210098; 3. 中国环境科学研究院标准研究所, 北京 100012)

摘要: 选用某电厂的实际用煤及焦炭模拟燃煤电厂的煤炭燃烧过程, 在不同温度、助燃气体流量、煤粉粒径和氧含量等多种条件下分别进行实验, 得出不同燃烧条件下 NO_x 的释放规律。实验表明, 相同条件下, 挥发分越大, 氮的转化率也相对越大; 煤的粒径越小, 氮的转化效率越低; 随着助燃气体流量的增加, 燃料 N 转化为 NO_x 的总转化效率增加; 氧含量增加缩短了反应时间, 但燃料 N 总效率变化不大。

关键词: 锅炉; 氮氧化物; 释放规律; 累积转化率

中图分类号: X511 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2013)05-0048-04

Study of NO_x Release Rule and the Influencing Factors of Cumulative Conversion Rate in the Process of Coal Burning about Industrial Boiler

SHAN Yun-xia¹, YANG Liu^{1*}, WANG Sheng², TAN Yue¹, WANG Zong-shuang³

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu 210023, China; 2. State Power Environmental Protection Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 3. Environmental Standards Institute, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China)

Abstract: The release rule of the NO_x under different combustion conditions was researched with choosing the actual coal and coke of a power plant to simulate the coal combustion process in fired power plants at various factors with different temperatures, combustion gas flow, and oxygen content of coal. It showed that the more volatile, the greater of the rate of nitrogen conversion under the same conditions. The smaller the particle size of coal, the lower the conversion efficiency of nitrogen. As the combustion gas flow increases, the total conversion efficiency of fuel N into the NO_x is increased and the oxygen content increased while the reaction time is shorten, but little change in the overall efficiency of fuel N.

Key words: Boiler; Nitrogen oxides; Release rule; Accumulation conversion rate

近年来研究数据显示^[1-3], 氮氧化物已经成为重要的大气污染物之一, 其主要来源于煤炭的燃烧。研究煤炭燃烧过程中 NO_x 的释放规律以及影响其形成的因素对从源头减少氮氧化物生成具有重要意义。

煤炭燃烧过程中产生的氮氧化物分为瞬时型、热力型和燃料型^[4-5]。研究表明, 温度 $< 1\ 427\ \text{K}$ 时主要为燃料型^[6]。国内外的学者研究发现, 影响煤炭燃烧时氮氧化物的产生因素有很多, 如煤粉粒径、空燃比、温度、燃烧条件及锅炉结构^[7-8]等。

研究是在实验的基础上, 研究煤炭燃烧过程中燃料型氮氧化物的动态释放规律, 并深入分析影响燃料氮向氮氧化物累积转化的因素, 对预测实际工

收稿日期: 2013-07-25; 修订日期: 2013-08-20

基金项目: 国家科技支撑计划基金资助项目 (2012BAC20B1003); 环保公益性行业科研专项基金资助项目 (201209001)

作者简介: 单云霞(1988—), 女, 江苏盐城人, 硕士, 主要从事电力环境保护等方面的研究。

* 通讯作者: 杨柳 E-mail: liuhuijia@263.net

业生产时煤炭燃烧过程中氮氧化物的形成方式及有效地控制氮氧化物的排放具有重要意义。

1 实验方法

1.1 实验用煤备置

选用某电厂的实际用煤和焦炭为实验用煤,焦炭的制备条件是原煤在氮气气氛下,1 173 K 加热 10 min 得到,见表 1。

表 1 煤的工业分析和元素分析(干基)

Table 1 Proximate analysis and ultimate analysis of coal (dry basis)

煤种	工业分析				元素分析		
	挥发分	焦炭	灰分	热值 ^①	C	H	N
原煤	37.06	49.49	13.45	25.503	62.75	3.31	0.78
焦炭	—	—	—	—	—	—	—

①单位: MJ/kg。

1.2 实验装置及流程

实验装置根据工业锅炉的工艺流程设计见图 1。

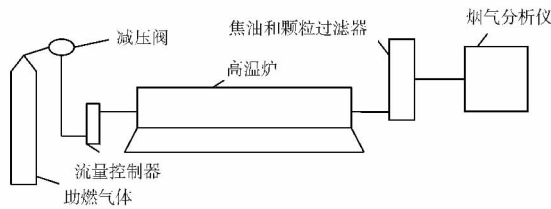


图 1 实验装置及流程示意

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

其中高压气体源经过减压器减压,再经过气体流量控制器控制,通入由石英管构成的高温反应炉中,放置样品的小型坩埚应放在石英管的中央。反应炉的温度通过电加热和 PID(Proportion、Integral 及 Differential) 温度控制器控制,设计的燃烧温度为 1 123 K ~ 1 223 K。燃烧后的尾气通过焦油和颗粒过滤器过滤进入烟气分析仪测试分析。

实验所用助燃气体来自无油静音的空压机,不同浓度的 O₂ 是通过 O₂ + Ar 混合配置而成。

分别选用 0.3 g 的原煤 10 个样品和 0.3 g 的焦炭 10 个样品在不同的氧含量(10%、15%、21%、空气)、燃烧温度(1 123 K、1 223 K、1 423 K)、助燃气体流量(0.8 L/min、1.2 L/min、1.6 L/min)、粒径(28 目 ~ 40 目、50 目 ~ 70 目、150 目 ~ 200 目)条件下燃烧。

烟气分析仪的检测限为 1 × 10⁻⁶, 测量到误差在 3 × 10⁻⁶ ~ 4 × 10⁻⁶ 以下。由烟气分析仪检测到的 NO_x 在线浓度及流量控制器得到的体积流量,

计算出燃料氮转化为 NO_x 的转化率。

实验和研究发现^[9] φ(NO₂)/φ(NO) < 5%, 因此忽略 NO₂ 对整个 NO_x 的贡献,将检测到的 NO 作为 NO_x 的值。

2 实验结果与分析

2.1 NO_x 的动态释放规律

NO_x 的释放规律为随着燃烧 NO_x 瞬时浓度的变化规律,见图 2(a)(b)。

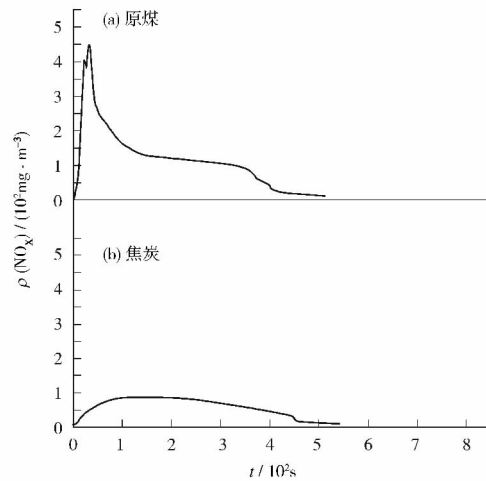


图 2 原煤、焦炭燃烧 NO_x 释放规律

Fig. 2 NO_x release from coal and coke combustion

由图 2 可见,原煤燃烧初期峰值很高,并远高于焦炭初期的峰值,说明 NO_x 并不是随着时间均等释放出来的。燃烧初期释放比较激烈,然后是一个逐渐的释放过程。比较上图可以看出,原煤和焦炭燃烧完全释放 NO_x 的时间一致,因此挥发分释放成为 NO_x 和焦炭释放成为 NO_x 基本上是一个平

行的过程,即煤燃烧过程释放的 NO_x 是挥发分 NO 和焦炭 NO 的叠加。

2.2 燃料氮转化为 NO_x 的累积转化率影响因素

随着燃烧的进行,燃料氮转化为 NO_x 的效率逐渐增加,直到煤燃烧完全,NO_x 基本不再形成。此时的转化率是燃料氮转化为 NO_x 的累积转化率,是由监测到 NO_x 随着时间变化的动态监测值对时间进行积分,并通过流量和浓度换算,再除以煤总含氮量得到。

2.2.1 煤粉粒径对累积转化率的影响

图3(a)(b)分别显示在1223 K,助燃气体流量为0.8 L/min 条件下不同颗粒粒径的原煤和焦炭对燃料氮转化为 NO_x 的转化效率的影响。由图3可见,燃烧初期颗粒粒径越小,燃料氮转化为 NO_x 的效率越低;随着燃烧的进行,氮的累积转化率发生了细微的变化,表现出粒径越小累积转化率越高。

颗粒粒径对挥发分的影响可以从图3看出。粒径在150目~200目的颗粒,挥发分在前期释放速率最快,形成的 NO_x 峰最高,时间也最前,但峰下的积分面积相对小,可见挥发分释放的快,释放的早,NO_x 的总转化率降低。

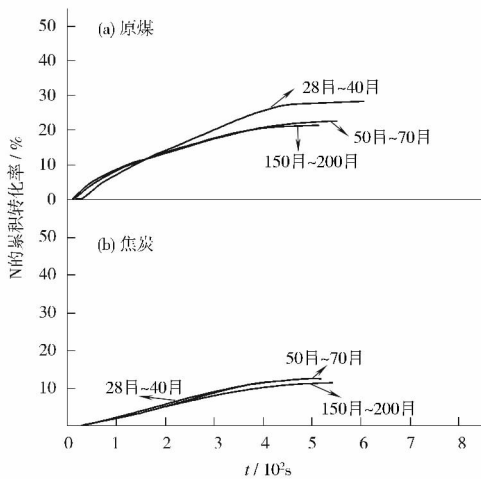


图3 原煤、焦炭粒径对累积转化率影响
Fig.3 Effect on the cumulative conversion from coal and coke particle size

2.2.2 温度对累积转化率的影响

图4为粒径28目~40目的原煤和焦炭在助燃气体流量为0.8 L/min 时,不同燃烧温度条件下氮的累积转化率。由图4可见,含挥发分少的焦炭

表现出随着温度增加,燃料氮转化为 NO_x 的累积转化率明显增加。与焦炭相对应的原煤,则体现出随着温度增加,NO_x 的累积转化率降低的现象。经机理分析,认为应将温度对燃料氮转化为 NO_x 的影响分为对挥发分氮的影响和焦炭氮的影响。

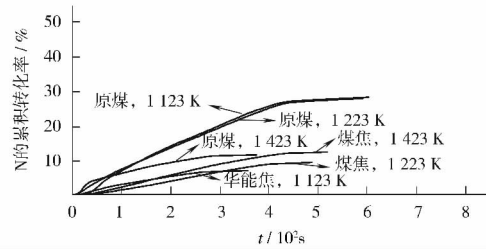


图4 温度对累积转化率影响
Fig.4 Effect on the cumulative conversion from temperature

2.2.3 助燃气体流量对累积转化率的影响

在同等燃煤量的情况下,随着助燃气体流量的增加,实际上增加了单位质量煤对应的氧气量,有利于提高燃料氮转化为 NO_x。更重要的是,流量增加提高了煤颗粒周围的雷诺数(Re),增加了传质系数,从而将加快带走还原性气体,有利于 O₂ 的扩散^[7]。由图5可见,随着助燃气体流量的增加,燃料氮转化为 NO_x 的总转化效率明显增加。实验中还发现,随着助燃气体流量增加,NO_x 释放的总时间缩短了。

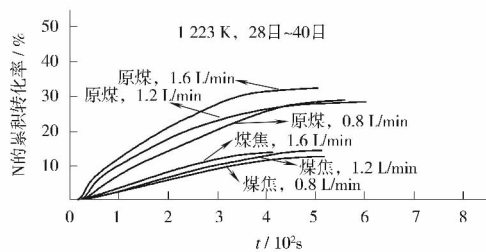


图5 助燃气体流量对累积转化率影响
Fig.5 Effect on the cumulative conversion from the combustion gas flow

2.2.4 氧含量对累积转化率的影响

为了进一步考察气流中氧含量并消除 N₂ 对 NO_x 形成的影响,采用高纯 O₂ 和高纯氩气分别配置氧含量为 10%、15% 和 21% 的混合气体。图6(a)(b)为原煤和焦炭在不同氧含量下 NO_x 转化效

率 随着氧浓度的提高,表现最为明显的是 NO_x 总释放时间提前,但 NO_x 转化率提高不大。

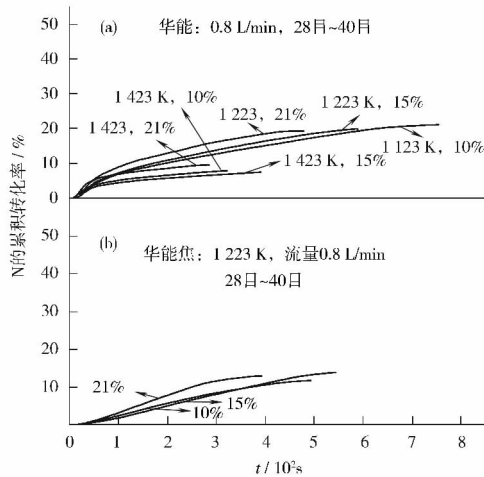


图 6 氧含量对累积转化率影响

Fig. 6 Effect on the cumulative conversion from oxygen content

3 结论

(1) 煤燃烧的动态实验结果表明, NO_x 的释放是伴随着煤的挥发分的释放和焦炭的燃烧而产生的,在燃烧初期挥发分的释放比较迅速,所以 NO_x 释放比较激烈,然后 NO_x 释放逐渐放缓。煤的挥发分含量越高,初期释放的 NO_x 强度越大。煤燃烧过程产生的 NO_x 是挥发分释放形成的 NO 和焦

炭燃烧形成的 NO 的叠加。

(2) 煤粒的粒径越小,燃料氮转化为 NO_x 的效率越低;温度的增加,有利于提高燃料氮向 NO_x 的转化率;随着空气流量的增加,燃料氮转化为 NO_x 的效率提高明显,释放时间在一定程度上缩短;随着氧浓度的提高,NO_x 总释放时间提前,但燃料氮转化为 NO_x 的总效率变化不大。

[参考文献]

[1] 王圣,朱法华,孙雪丽. 火电行业氮氧化物减排从哪里着手[J]. 环境保护, 2011(13): 11-13.
 [2] 董文彬,朱林. 火电厂烟气脱硝容量的合理性探讨[J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(6): 40-43.
 [3] 朱法华,王圣,孙雪丽,等. 氮氧化物控制技术在电力行业中的应用[J]. 中国电力, 2011, 44(12): 55-59.
 [4] 周军英,汪云岗,钱谊. 氮氧化物的污染控制对策[J]. 环境监测管理与技术, 2000, 12(2): 8-11.
 [5] 朱法华,王圣,郑有飞. 火电氮氧化物排放现状与预测及控制对策[J]. 能源环境保护, 2004, 18(1): 1-5.
 [6] 马风娜,程伟琴. 火电厂 NO_x 排放特性分析及总量估算方法探讨[J]. 广州化工, 2011, 39(16): 17-19.
 [7] 武雪芳,王宗爽,王晟,等. 小型燃煤工业锅炉 NO_x 形成与释放规律模拟研究[J]. 环境工程技术学报, 2011, 1(5): 365-375.
 [8] 任建兴,崔晓敏,傅坚刚,等. 火电厂氮氧化物的生成和控制[J]. 上海电力学院学报, 2002, 18(3): 19-23.
 [9] 汪妍,吴晓蔚,韩颖. 火力发电行业主要气态污染物排放量计算方法研究[J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(6): 20-24.

(上接第 6 页)

测“卫士”。不断拓宽人才培养途径,以环境监测业务和科研项目为依托,以培养专业拔尖人才、综合管理人才为重点,实施“监测人员再培训工程”,建立环境监测人才教育、培训和实习基地,促进和带动监测技术人员水平的整体提升。

[参考文献]

[1] 贾春梅. 环境监测及其未来发展趋势[J]. 北方环境, 2011(11): 107.
 [2] 万本太. 国内外环境监测工作现状及其发展趋势[J]. 中国环境监测, 1995, 11(6): 45-47.

[3] 万本太,蒋火华. 论中国环境监测发展战略[J]. 中国环境监测, 2005, 21(1): 1-3.
 [4] 胡冠九. 浅谈我国环境监测技术发展趋势[J]. 环境科学与管理, 2005, 30(5): 95-97.
 [5] 姜勇,张涛. 环境科学研究[M]. 南京: 河海大学出版社, 2011: 106-115.
 [6] 中华人民共和国环境保护部. 国家环境监测“十二五”规划[Z]. 2011-09-20.
 [7] 张涛. 江苏省环境监测管理立法的几点思考[J]. 环境与可持续发展, 2008, 4: 52-54.
 [8] 魏斌. 环境信息化建设战略管理体系框架研究[J]. 环境监控与预警, 2012, 4(4): 29-33.