

不同煤种混煤燃烧时 NO_x 生成和燃尽特性的试验

翁安心¹, 周 昊¹, 张 力², 岑可法¹

(1. 浙江大学 热能工程研究所, 浙江 杭州 310027; 2. 湖南省电力勘测设计院, 湖南 长沙 410007)

摘要:在一维沉降炉上对无烟煤、贫煤、烟煤及其混煤的燃烧特性进行了研究,分析了不同因素对 NO_x 排放量的影响,并讨论了不同过量空气系数、掺混比及一、二次风比例对燃尽率的影响,试验结果表明:当烟煤的掺混比例为 25%,NO_x 的排放量较低,混煤燃烧时沿程分析结果表明,煤种特性的不同导致 NO_x 排放时有不同的峰值。

关键词:混煤; NO_x; 掺混比; 燃尽率

中图分类号: X784 文献标识码: A

1 引言

在我国,许多大型电站锅炉燃用混煤,燃用混煤是合理利用现有煤炭资源的一个发展趋势,混煤的合理配备可提高煤炭尤其是劣质煤的利用率,节约煤炭资源,为劣质煤的合理利用带来了广阔的前景。然而混煤的特性较单一煤复杂,混煤的燃烧过程是比较复杂的过程,涉及到多种因素。特别是混煤的配比,国内外学者已提出多种混煤的配比方法。但总的来说,在确定混煤的配比时,应综合考虑混煤的着火、燃烧、燃尽和污染物的排放特性等。

本文在一维沉降炉上进行了无烟煤、贫煤、烟煤及其混煤燃烧时的 NO_x 生成特性和燃尽特性的试验,从炉膛温度、过量空气系数、一、二次风比值及给粉量等几个方面,对这三种煤及其混煤的氮氧化物的排放量进行了分析,并考察了过量空气系数、掺混比及一、二次风比例对燃尽率的影响,为燃烧混煤的大型电站锅炉的设计及运行提供了重要的科学依据。

2 试验方法

试验是在一维沉降炉上进行的,试验选取了三种单一煤及其按不同比例组成的混煤,这三种煤分别代表了无烟煤、贫煤、烟煤,它们的煤质参数分析见表 1,三种煤的平均细度为 80 μm。试验时尾部烟气中的 NO_x、SO₂、CO₂ 和 O₂ 等气体的瞬时浓度由

Abgas-Analysegerat 烟气分析仪测得,结果中气体的浓度都折算成 6% 剩余氧量所对应的浓度。

表 1 试验所用单一煤质参数分析数据

样品原号	工业分析(%)				元素分析(%)				
	Mad	Aad	Vad	Fcad	Cad	Had	Nad	Sad	Oad
耒阳煤	3.12	17.72	6.31	72.85	72.18	2.16	1.01	0.16	3.65
郑州煤	0.56	23.65	14.11	61.68	67.00	3.86	1.30	0.72	2.91
兖州煤	1.45	22.94	29.51	46.10	63.86	4.36	1.13	0.58	5.68

3 试验结果与分析

3.1 混煤 NO_x 生成特性的研究

3.1.1 过量空气系数的影响

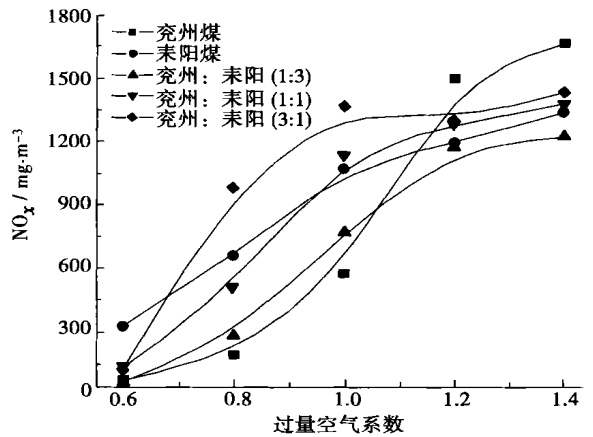


图 1 过量空气系数的影响

图 1 和图 2 分别是无烟煤和烟煤,贫煤和烟煤及这 3 个煤种不同比例混合时的 NO_x 生成曲线(试验工况是炉膛温度为 1300 °C,转速为 100 r/min,一、二次风比值为 2),从图中可以看出过量空气系数对 NO_x 的生成有重要的影响。过量空气系数直接影响到近燃烧器区煤粉气流中煤粉的浓度和煤粉与气流的掺混状态。过量空气系数越大,近燃烧器区内煤粉浓度越小,这对煤粉的燃烧是不利的;但过量空气系数的增大会使近燃烧器区内气流流速增大,使

煤粉与气体间的传热传质状态改善,这对煤粉的燃烧又是有利的。因此过量空气系数的改变对煤粉燃烧具有双重的影响。从图中可以看出不管是单煤还是混煤, NO_x 的排放浓度基本是随着过量空气系数的增大而增大,但是由于过量空气系数对燃烧影响的两面性,因此选择一个合理的过量空气系数是有重要意义的,从图中可以看到在过量空气系数为1.1~1.2之间的 NO_x 的生成速度比较平缓,而且这个区域之间的氧浓度有利于煤粉的充分燃烧,因此我们可以推断出最佳的过量空气系数应在1.1~1.2之间。对于不同掺混比混合成的混煤,从图中我们可以看到不管是无烟煤和烟煤的混煤,还是贫煤和烟煤的混煤,都是烟煤占25%的混煤燃烧时的 NO_x 排放量较低。

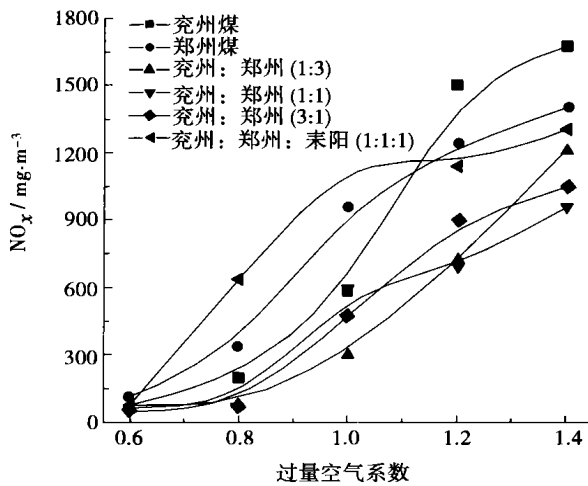


图2 过量空气系数的影响

3.1.2 温度的影响

图3和图4是炉膛温度对单煤和不同比例混合的混煤的 NO_x 排放量的影响曲线(试验工况为过量空气系数 a 为1.2,转速为100 r/min,一、二次风比值为2),从图中可以看到,无烟煤和烟煤的混煤的 NO_x 排放浓度基本是随着炉温的升高而增加,而烟煤和贫煤的混煤的 NO_x 生成曲线随着温度的增加, NO_x 排放量总体也在增加,但同时出现一定的波动。对于不同比例掺混的混煤,无烟煤和烟煤混合燃烧时烟煤占25%时的 NO_x 生成量较小,而对于烟煤和贫煤按不同比例混合成的混煤,也是烟煤占25%时的 NO_x 排放量比较低。

3.1.3 一、二次风比值的影响

图5和图6分别是不同比例的混煤和单煤燃烧时一、二次风比值对 NO_x 排放量的影响曲线(试验

工况是炉膛温度为1300℃,过量空气系数为1.2,转速为100 r/min),从图中可以看出,三种单煤的 NO_x 的排放浓度变化规律基本相似,但随着一次风比值的减小,高挥发份煤的 NO_x 的降低幅度明显大于低挥发份煤,这说明分级燃烧对挥发份越高的煤种的 NO_x 排放浓度的影响更显著,这主要是因为挥发份越高的煤种,其挥发份氮也释放的越多,而分级燃烧主要是阻碍挥发份氮向 NO_x 的转化。所以烟煤由于挥发份较高,受分级燃烧影响较大,导致其 NO_x 排放浓度降低得更多。分级燃烧对于混煤的 NO_x 排放浓度的影响也基本和单煤的相似,但对于按不同比例和煤种混合成的混煤,随着一次风量的减小,掺入挥发份低的无烟煤时的 NO_x 减少量相对来说较少,从图中我们可以看出无烟煤、烟煤和贫煤按1:1:1的比例混合时的 NO_x 的生成量在这几种混煤中是最低的。

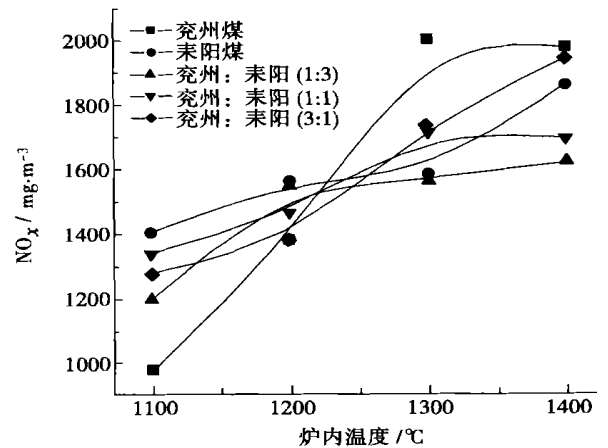


图3 炉膛温度的影响

3.1.4 NO_x 的沿程分布

在炉温为1300℃,过量空气系数为1.2,一、二次风比值为2,转速为100 r/min的条件下,单煤和混煤燃烧时沿程的 NO_x 浓度变化的曲线图见图7和图8,从图7可以看到,单煤燃烧在煤粉处于着火阶段时,氧浓度急剧降低,氮随着挥发份大量析出, NO_x 在这一阶段大量生成。而燃尽阶段由于焦炭还原作用, NO_x 的浓度开始降低,但不同煤种的 NO_x 浓度出现峰值的先后顺序不同。而对于混煤,大部分的研究表明,由两种单煤混合的混煤燃烧时其 NO_x 的排放应该出现两个峰值,这是因为混煤燃烧过程中 NO_x 的释放是交错平行进行的。从图8中也可以看到这一点。但在三种单煤混合而成的混

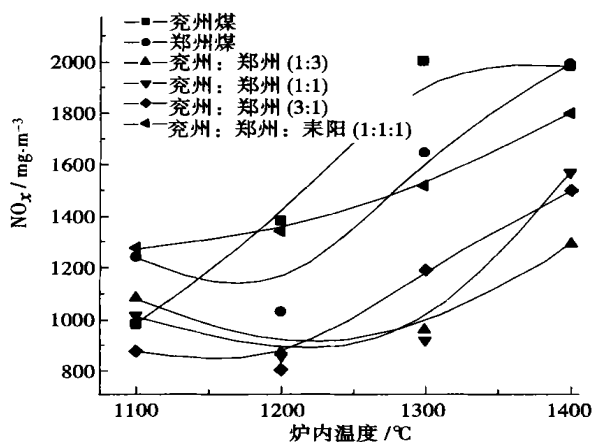


图4 炉膛温度的影响

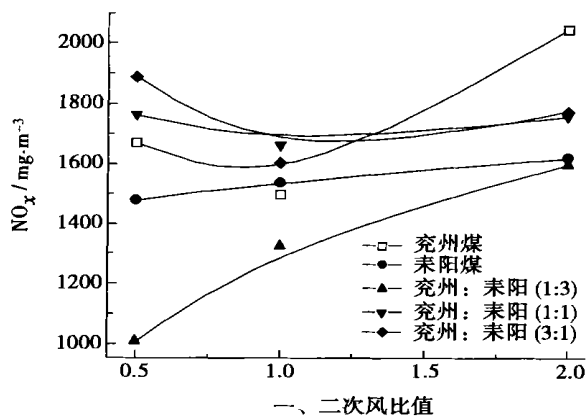


图5 一、二次风比值的影响

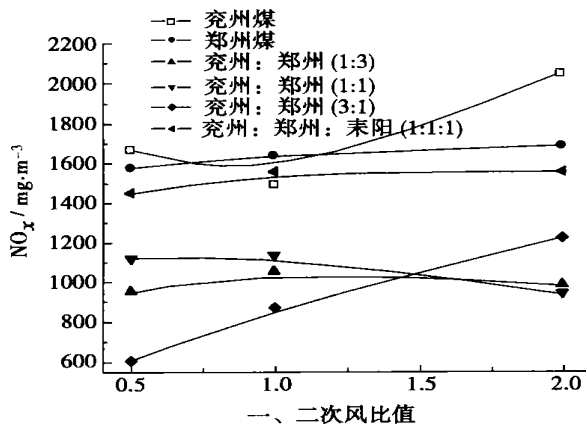


图6 一、二次风比值的影响

推测这是由于两个波峰重叠的缘故。

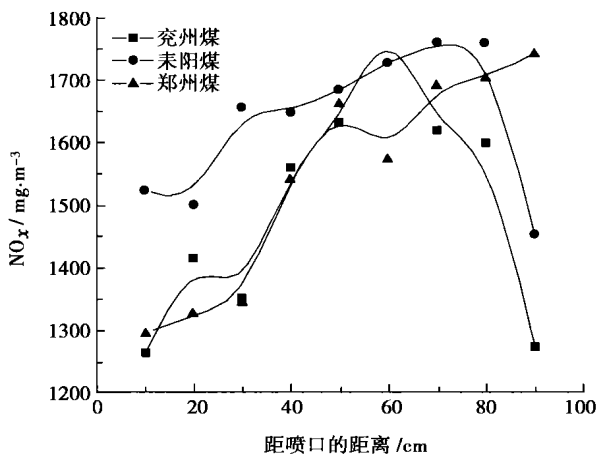


图7 单煤燃烧 NOx 沿程分布

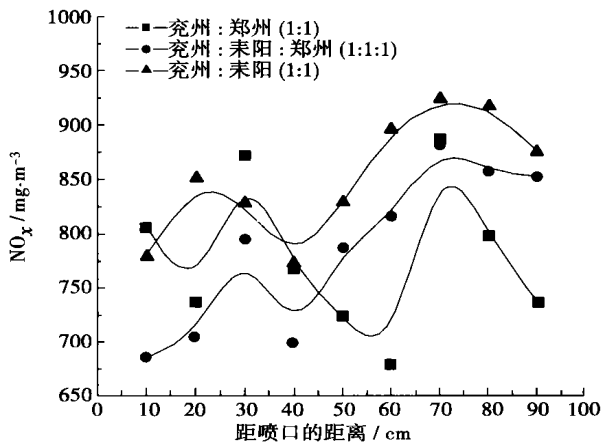


图8 混煤燃烧 NOx 沿程分布

3.2 混煤燃尽特性的研究

3.2.1 掺混比对燃尽率的影响

图9和图10分别是无烟煤和烟煤、贫煤和烟煤不同比例混合时的燃尽率的曲线。试验条件是炉膛温度为1300℃,过量空气系数为1.2,一、二次风的比值为2,给粉量为2g/min。从试验结果曲线中可以看到,无烟煤和烟煤、贫煤和烟煤的混煤的燃尽率都随着烟煤比例的增加而提高。一些研究表明,在通常燃烧方式下,性能差异越大的两种煤混合后,其燃尽性能越差。这是因为混煤中的易燃煤抢先与氧气反应,同时抑制了难燃煤与氧气的反应,使混煤与单一煤种相比燃烧性能降低很多。而在本实验中几种煤的性能差异还是比较大的,但通过采用空气分级燃烧方式,却使混煤的燃尽性能均有所提高,尤其是掺高挥发份煤时的燃尽率提高更明显,所以电厂

煤的NO_x排放的沿程曲线中,并没有看到预期的3个峰值。通过比较单煤燃烧时的沿程曲线,可以看到无烟煤和贫煤出现峰值的点比较接近,因此我们

在燃烧混煤时,应采用分级配风等方式。

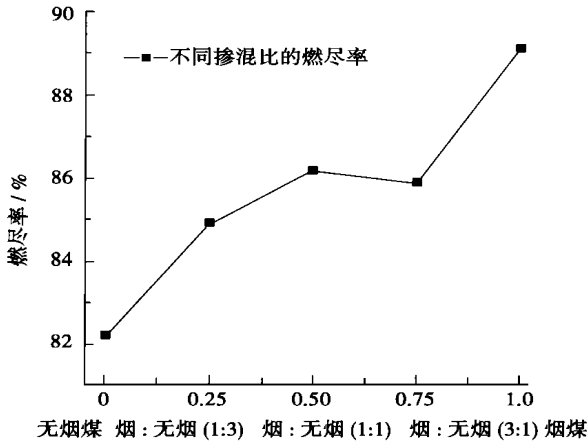


图9 掺混比对燃尽率的影响

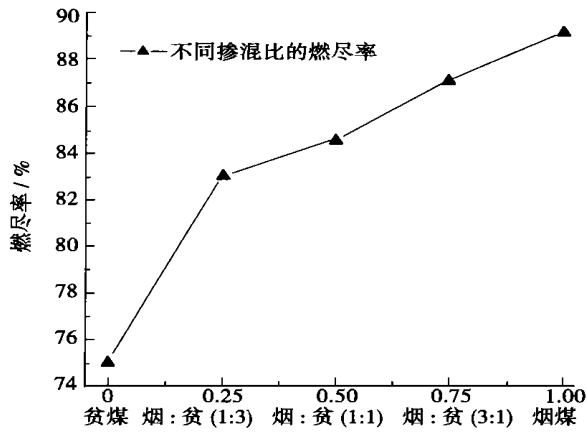


图10 掺混比对燃尽率的影响

3.2.2 一次风比例对燃尽率的影响

图11是无烟煤和烟煤、无烟煤和贫煤按1:1的比例混合成的混煤在不同一、二次风比值时燃尽率的变化曲线,试验时保持总的过量空气系数为1.2,给粉量为 2 g/min 。一般认为,空气分级燃烧虽能降低 NO_x 的生成量,但同时,随着氧量的降低,燃烧区中缺氧越来越严重,火焰将拉长,焦炭粒难以燃尽,飞灰中可燃物的含量上升,燃烧效率下降。从图中曲线看出,随着一次风率的降低,两种混煤的燃尽率都逐步降低。通过比较图中两种混煤的燃尽率还可以发现,在相同的一次风率下,无烟煤与烟煤混煤的燃尽率明显大于无烟煤和贫煤的混煤。本来在通常的燃烧方式下(不分级),掺烧高挥发份的煤时会由于抢风使低挥发份煤缺氧造成其燃尽困难,实行空气分级后,煤粉在缺氧富燃区的温度相对同级区域的不分级燃烧温度有很大提高,这非常有利于煤

粉的着火燃烧和焦炭的气化,而烟煤的着火和燃尽性能比贫煤好,因此在相同的分级程度下,无烟煤和烟煤的混煤的燃尽率高于无烟煤和贫煤的混煤。

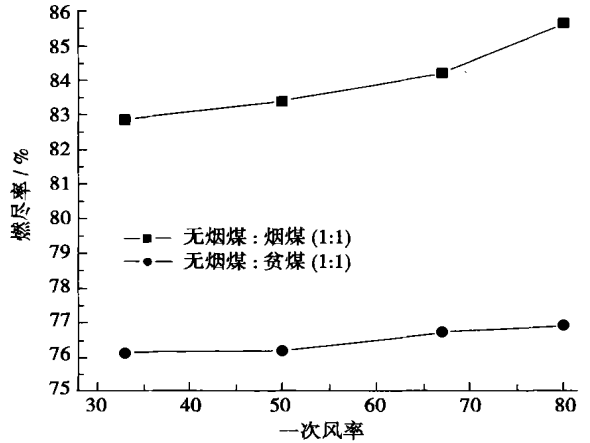


图11 一次风率对燃尽率的影响

4 结论

(1) 炉膛温度、过量空气系数、一、二次风比值、给粉量及掺混比等对混煤燃烧时氮氧化物排放量都有一定的影响,在选择掺混煤种和配煤比的时候,应综合考虑它们的相互影响、相互制约的关系。

(2) 燃尽率是反映煤粉燃烧特性的一个重要参数,在本实验中通过改变过量空气系数、掺混比和一次风率观察燃尽率的变化,从试验结果显示,这两个因素对混煤的燃尽率都有较大的影响。从试验结果可以得到,混煤的燃烧存在最佳过量空气系数,本试验中该系数为1.2。不同煤种掺烧性能差异大的煤种时,对燃烧特性有一定的影响,但通过采用分级燃烧的方式,可以使混煤的燃尽性能得到提高。

参考文献:

- [1] 邱建荣,曾汉才.混煤氮的热解析出特性及燃料 NO_x 的形成规律[J].工程热物理学报,1995,16:115-118.
- [2] BAUR P S. Control coal quality through blending[J]. Power, 1981(3): 125-130.
- [3] HARTMUT SPLIETHOFF, ULRICH GREUL. Basic effects on NO_x emissions in air staging and reburning at a bench scale test facility[J]. Fuel, 1996, 75: 560.
- [4] 侯栋歧,冯金梅.混煤煤粉着火和燃尽特性的试验研究[J].电站系统工程,1995,2(11): 30-34.
- [5] 邱建荣,马毓义.混煤特性的综合性试验研究[J].动力工程,1993,5(13): 32-26.
- [6] 丘纪华.四角燃烧锅炉无烟煤与烟煤混烧的试验研究[J].华中电力,2001,1(14): 11-13.
- [7] 高正阳,方立军.无烟煤与贫煤掺混燃烧特性的一维炉实验研究[J].华北电力技术,2002(6): 13-13.

ergy & Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 234 ~ 237

By using gas in a steel cylinder to simulate flue gas during tests investigated was the impact on the dissolution rate of limestone exerted by the following factors: gas pH value and temperature of reaction in a micro-sized bubble bed and minute quantity of fluorine and chlorine ions in slurry. On the basis of mass action law and arrhenius equation a mathematical formula is proposed for calculating the limestone dissolution rate. With the physical meaning of various parameters being clarified it is possible to make a unified description of the limestone dissolution rate under various operating conditions. Meanwhile, various parameters of the dissolution rate of the limestone used during the tests were determined with a conclusion that the micro quantities of fluorine and chlorine ions are unfavorable to the dissolution of limestone. By making use of the model proposed by the authors it is feasible to compare the reactivity of different types of limestone and to design slurry tanks of appropriate size to suit various kinds of limestone. This is of great significance for the study of a wet flue-gas desulfurization process. **Key words:** limestone, dissolution rate, bubbling bed

闪蒸处理对石灰石脱硫性能的影响 = **The Impact of Flash Evaporation Modification on the Desulfurization Performance of Limestone Particles** [刊, 汉] / CHEN Chuan-min, ZHAO Chang-sui, HAN Song, et al (Education Ministry Key Laboratory of Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 238 ~ 241

On a solid-particle pore diameter enlargement device constructed by the authors flash-evaporation modification tests on limestone particles were performed and an experimental investigation of calcination and desulfurization was carried out on samples in a gas-flow reactor. It is found that the flash-evaporation modification treatment may lead to an increase in limestone pore diameter. In addition, with the enlargement of limestone pore diameter the cross-linkage properties among the pores will be enhanced, resulting in a slight decrease in specific surface area. The pore diameter of calcination product CaO after the flash-evaporation modification of the limestone will shift in the direction of securing a larger pore size. In the meantime, due to the flash-evaporation modification the transport performance of the reaction gas has been significantly improved, thus decreasing the sintering effect in the calcination process. As a consequence, the specific surface area will be increased considerably. Under identical test conditions the desulfurization efficiency of samples after the flash-evaporation modification has been markedly enhanced. **Key words:** flash evaporation, modification, limestone, pore structure, desulfurization

不同煤种混煤燃烧时 NO_x 生成和燃尽特性的试验 = **Experimental Research of the NO_x Generation and Burnout Characteristics During the Combustion of Blended Coals** [刊, 汉] / WENG An-xin, ZHOU Hao, CEN Ke-fa (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027), ZHANG Li (Hunan Electric Power Prospecting and Design Institute, Changsha, China, Post Code: 410007) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 242 ~ 245

The combustion characteristics of various coals (anthracite, lean coal and bituminous coal) and their blends were investigated in a one-dimensional sedimentation furnace. The impact on NO_x emissions of various factors was analyzed along with a discussion of the effect on burnout rate of different excess air factors, mixing/dilution ratios and the ratio of primary and secondary air. Test results indicate that when bituminous coal accounts for 25% of the blended coals the NO_x emissions are relatively low. In case of burning blended coals there emerged several NO_x emission peaks along the axis of the furnace, which are caused by the different characteristics of the coals taking part in the combustion. **Key words:** blended coal, NO_x emission, mixing/dilution ratio, burnout rate

煤的模型化合物热解过程中 HCN、 NH_3 的逸出规律 = **The Law of HCN and NH_3 Escape during the Pyrolysis of Model Compounds of Coal** [刊, 汉] / ZHAO Ke, TAN Hou-zhang, ZHOU Qu-lan, et al (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 246 ~ 248