

煤粉炉中痕量元素迁移影响因素的研究

黄亚继, 金保升, 仲兆平, 孔火良

(东南大学 洁净煤发电和燃烧技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘要: 采用 Z-8200 型原子吸收分光光度计和 VF-320 型 X 射线荧光光谱仪, 定量测定了 1 台 220 t/h 煤粉炉中原煤、底渣、飞灰中 8 种痕量元素的含量。基于改进的 Meij 相对富集系数, 从底渣和飞灰两个方面, 系统分析了温度、含氧量、飞灰粒径、痕量元素自身性质以及煤种特性对迁移规律的影响。研究表明: 炉膛温度升高能加快部分痕量元素的挥发; Cr 和 Mn 在飞灰、底渣中含量相当, 但两者相对富集系数明显不同; 含氧量低并非促进所有痕量元素挥发; Pb、Cd、Zn、Cr 在底渣和飞灰中含量并不一定都与各自的沸点成单一的关系; 飞灰粒径越小, 痕量元素富集系数越大, 各痕量元素随飞灰粒径减小的变化趋势并不相同等。

关键词: 痕量元素; 相对富集系数; 迁移规律; 煤粉炉

中图分类号: TK229.6⁺³ 文献标识码: A

1 引言

煤中痕量元素指的是那些含量小于 100 mg/kg 的元素, 其中包括人类已经发现的 45 种重金属元素, 有些痕量虽然是人类所必需的微量元素, 如硒、铜、锌等, 但当它们的浓度或体内积累到一定值时, 就会对人体产生毒性, 严重危害人类生存。由于煤燃烧过程中产生的痕量元素有富集于小颗粒的趋势, 而目前普遍使用的电除尘器对 0.1~1 μm 左右颗粒的捕获效率很低^[1,4], 所以煤在燃烧时产生的烟气中不但含有酸性气体污染物, 同时也含有易挥发的气态痕量元素(如 Hg、Se 等)和有某些痕量元素富集的微米级、亚微米级颗粒。有资料表明在电厂周围几公里甚至几百公里范围内, 土壤中重金属含量远远超过美国 Environmental Protection Agency (EPA) 所规定的极限值^[1]。

煤燃烧过程中痕量元素的迁移规律与其本身挥发性、煤种的特性、飞灰粒径、燃烧工况等众多因素有关。目前, 对煤燃烧过程中痕量元素的排放行为已越来越引起人们的关注, 相关的研究屡见报道。

但从底渣和飞灰两个方面, 系统分析痕量元素迁移影响因素的研究并不多见。本文对南京扬子石化热电厂 6 号炉进口煤样、飞灰样、底渣样中的 8 种痕量元素进行定量测定, 分析了电厂燃煤过程中痕量元素在底渣和飞灰中的迁移规律。

2 实验

2.1 实验工况

实验前, 先用标准皮托管标定一、二次风速, 用 RAYNGER MX4TM 型光学计标定炉膛温度, 用奥氏仪和德国 TESTO 公司的 TESTO360 烟道气精密分析仪标定过热器和省煤器之间的在线“氧化锆”氧量分析仪。首先调节加料器转速和二次风量, 并保持炉膛温度不变(上下误差不超过 20 °C), 得到不同过剩空气系数; 其次, 调节加料器转速和二次风量, 并保持过热器和省煤器之间的过剩空气系数不变(上下误差不超过 0.01), 得到不同的炉膛温度。试验是在常用负荷 200~220 t/h 下进行, 排烟温度是 139~148 °C。

2.2 样品采集

扬子石化热电厂 6 号锅炉, 额定蒸发量为 220 t/h, 燃用江苏徐州烟煤, 入炉煤粉平均粒度为 35 μm, 元素分析和工业分析结果见表 1。

表 1 徐州烟煤元素分析和工业分析

工业分析/ %			元素分析/ %		
全水分	Mt	4.9	碳	Cad	51.82
空干基水分	Mad	2.24	氢	Had	3.57
空干基挥发份	Vad	25.74	硫	Sad	0.43
固定碳	Cad	38.53	氮	Nad	0.9
灰分	Aad	33.49	氧	Oad	7.55
焦渣特性	不熔融粘结				
高位发热量/ kJ·kg ⁻¹	20 491				
低位发热量/ kJ·kg ⁻¹	19 718				

收稿日期: 2002-03-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目子课题基金资助项目(G19990221053); 教育部跨世纪优秀人才基金资助项目(K980026); 教育部骨干教师基金江苏“青蓝工程”基金资助项目(JS9808)

作者简介: 黄亚继(1975—), 男, 江苏如皋人, 东南大学博士研究生。

每个工况稳定时间为 2~3 h。从煤粉分离器下面的取样口取得各工况下的煤样, 经充分混合, 按四分法得到入炉煤样。底渣样由淋激灰水待沉淀后捞取并去除渣块后得到。用飞灰取样器采集电除尘器 3 个电场下的飞灰, 按 80:15:5 得到电场混合灰。

2.3 样品测试

本文主要对样品中 Cr、Pb、Mn、As、Se、Hg、Cd、Zn 8 种痕量元素进行测试, Se、Cd、Hg 采用 Z-8200 型原子吸收分光光度计测定, Cr、Pb、Mn、As、Zn 采用

VF-320 型 X 射线荧光光谱仪测定, 同时测定了入炉煤和各工况下飞灰和底渣中灰分含量, 分析了入炉煤粒度分布。

3 结果分析

3.1 元素分析测试结果

原煤及各工况下飞灰、底渣中的痕量元素含量见表 2。

表 2 原煤及各工况下底渣、飞灰中痕量元素含量

样品编号	炉膛温度/℃	过剩空气系数 (空预器后)	痕量元素含量/mg·kg ⁻¹								灰分含量/%
			Mn	Cr	Pb	As	Se	Zn	Cd	Hg	
原煤	01		109	26	16	<1	3.5	15	0.020	0.096	33.49
	11	1 417	288	44	7	<1	0.8	15	0.068	n. d.	86.40
	12	1 437	274	36	15	<1	1.0	21	0.039	n. d.	89.40
底渣	13	1 412	260	41	15	<1	0.9	36	0.086	n. d.	90.50
	14	1 363	253	41	21	<1	1.8	22	0.052	n. d.	93.57
	15	1 306	256	43	18	<1	1.2	21	0.060	n. d.	95.90
	21	1 417	229	24	45	<1	9.2	38	0.045	0.096	92.14
电场混合灰	22	1 437	254	25	55	<1	10	48	0.052	0.085	96.75
	23	1 412	271	30	43	<1	5.2	52	0.063	0.074	98.04
	24	1 363	276	27	52	<1	5.4	52	0.064	0.056	98.34
	25	1 306	274	23	54	<1	6.7	45	0.060	0.036	99.08
	31	1 390	262	26	48	<1	4.8	50	0.060	0.019	98.08
2 电场	32	1 390	192	41	80	4.2	7.0	64	0.112	0.054	98.98
3 电场	33	1 390	178	50	86	13	12	88	0.166	0.066	99.04

n. d. = Not determined

为了表示痕量元素在飞灰和底渣中的变化趋势, Meij 提出了相对富集系数 (RE) 一种表示式^[3,9]:

$$RE = \frac{[(C_{te})_{output}]_j \times (\%ash)_{fuel}}{[(C_{te})_{fuel}] \times 100} \quad (1)$$

$[(C_{te})_{output}]_j$: 各样品中痕量元素含量, mg/kg;

$[(C_{te})_{fuel}]$: 原煤中痕量元素含量, mg/kg;

$(\%ash)_{fuel}$: 原煤中灰分。

该相对富集系数只考虑了原煤中灰分含量对富集系数的影响, 并没有考虑飞灰和底渣中灰分的变化。本文采用改进的 Meij 相对富集系数, 表达式为:

$$RE = \frac{[(C_{te})_{output}]_j \times (\%ash)_{fuel}}{[(C_{te})_{fuel}] \times [(\%ash)_{output}]_j} \quad (2)$$

$[(C_{te})_{output}]_j, [(C_{te})_{fuel}], (\%ash)_{fuel}$: 同上;

$[(\%ash)_{output}]_j$: 各样品中灰分。

$RE = 1$ 表示痕量元素在飞灰或底渣中既不富集也不耗尽; $RE > 1$ 表示痕量元素在飞灰或底渣中有富集的趋势; $RE < 1$ 表示痕量元素在飞灰或底渣中有耗尽的趋势。

从表 2 中可以看出, 大多数样品中 As 的含量低于 X 荧光光谱仪测定的极限值 (1 mg/kg), As 有富集于小颗粒的趋势。在以下的分析中忽略 As 的变化规律。各工况下底渣和飞灰中痕量元素的相对富集系数见表 3。

表3 各工况下底渣和飞灰中痕量元素的相对富集系数(RE)

样品编号	炉膛温度/℃	过剩空气系数 (空预器后)	痕量元素相对富集系数							
			Mn	Cr	Pb	Se	Zn	Cd	Hg	
底渣	11	1 471	1.34	1.024	0.656	0.170	0.089	0.388	1.317	0
	12	1 437	1.37	0.942	0.519	0.351	0.107	0.524	0.730	0
	13	1 412	1.47	0.883	0.584	0.347	0.095	0.888	1.591	0
	14	1 363	1.48	0.831	0.564	0.470	0.184	0.525	0.931	0
	15	1 306	1.47	0.820	0.578	0.393	0.120	0.489	1.048	0
电场混合灰	21	1 417	1.34	0.764	0.336	1.022	0.955	0.921	0.818	0.363
	22	1 437	1.37	0.807	0.333	1.190	0.989	1.108	0.900	0.306
1 2 3 电场	23	1 412	1.47	0.849	0.394	0.918	0.508	1.184	1.076	0.263
	24	1 363	1.48	0.862	0.354	1.107	0.525	1.181	1.090	0.199
	25	1 306	1.47	0.850	0.299	1.141	0.647	1.014	1.014	0.127
31	1 390	1.49	0.821	0.341	1.024	0.468	1.138	1.024	0.068	
32	1 390	1.49	0.596	0.534	1.692	0.677	1.444	1.895	0.190	
33	1 390	1.49	0.552	0.650	1.818	1.159	1.984	2.807	0.232	

3.2 结果讨论

3.2.1 炉膛温度的影响

煤燃烧过程中, 由于温度的升高, 煤中许多物质结构分子被破坏, 尤其是煤中以吸附态存在或以静电吸引方式结合的痕量元素要发生迁移^[6~8]。在不同的燃烧温度下痕量元素受到的破坏程度不同, 从而也决定其在燃烧过程中迁移变化的难易, 所以燃烧温度对痕量元素迁移起着重要的作用。

从表3可以看出, 在过剩空气系数基本不变的情况下, Cr、Zn、Hg 在电场灰中的含量随炉膛温度的升高而增加。由于试验条件的限制, 炉膛温度变化范围太窄, 炉温对底渣的影响趋势不太明显。

3.2.2 粉煤灰粒径的影响

从电除尘器的第一电场至第三电场粉煤灰的平均粒径越来越小, 小孔体积和小孔面积(这里的小孔指孔径在 20~26 Å 的孔)越来越大^[9]。除 Mn 之外的其它元素均有在灰粒中的富集程度随粒径减小逐渐增加的趋势, 见图1。

从煤中挥发的气态痕量元素及其化合物在随烟温降低过程中, 会发生同类核化, 形成金属颗粒, 或者发生异相吸附, 直接富集在飞灰颗粒上。由于金属原子半径多在 1~2 Å 间, 其形成的分子尺寸在 10~20 Å 之间^[9], 根据物理吸附的原理, 一定的孔径的孔对尺寸与其相近的分子吸附力最强, 从而表现出绝大多数重金属元素有在细微灰粒上富集的趋势, 其中以 Cd、Zn、Se 最为特殊。易挥发的痕量元素

很难跟灰中的矿物质发生反应生成稳定的化合物, 所以飞灰 Cd、Zn、Se 的吸附主要是物理吸附。所有 Hg 的形态物质在排烟温度下仍处于气态, 气-固物理吸附不同于固-固物理吸附, Hg 在飞灰中含量随粒径变化不及其它易挥发性元素那么明显。对于难挥发性元素 Cr、Pb, 化学吸附占主导作用。烟温低于 500 K 时 Cr 和 Pb 的主要形态是 Cr₂O₃ 和 PbCl₂^[5], 他们可能与灰中 CaO、Al₂O₃、SiO₂ 发生下列反应: Cr₂O₃(s) + CaO(s) → CaO·Cr₂O₃(s)^[10], PbCl₂ + Al₂O₃ + 2SiO₂ + H₂O → PbO·Al₂O₃·2SiO₂ + 2HCl^[11]。

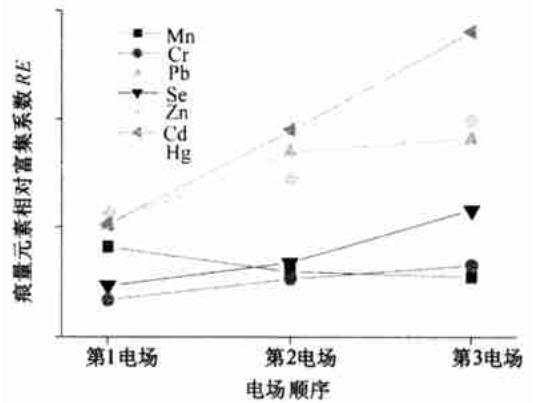


图1 电场飞灰中重金属的相对富集系数与电场顺序的关系

3.2.3 过剩空气系数的影响

表3中样品 11、12、21、22 跟 13、23 对比可以看

出, 氧量的减少会促进部分痕量元素(如: Pb、Se、Hg)挥发。过剩空气系数越低, Pb、Se、Hg 在飞灰中含量越高, 在底渣中含量越低。而其它元素并不遵循这种规律, 所以低氧条件并不能增加所有痕量元素的挥发, 其中机理有待进一步研究。Rong Yan 等人认为: 还原性气氛能增加煤中矿物质挥发, 但痕量元素的挥发除依赖于痕量元素本身外, 还依赖于煤种特性, 并非所有元素在还原性气氛下都能提高挥发量^[12]。

3.2.4 元素自身性质及煤种特性的影响

整体上比较底渣和飞灰中痕量元素含量, 可以发现除 Mn 和 Cr 在底渣中的含量略微大于飞灰中含量外, 其它元素在飞灰中含量均大于底渣。

Mn 属于难挥发性元素, 其在各样品中含量相当, 这种现象可以解释为 Mn 及 Mn 的化合物在燃烧过程中根本不挥发, 始终存在于飞灰中, 或者挥发出来的 Mn 及 Mn 的化合物完全被飞灰捕集, 两种情况谁占优势不得而知。R. Cenni 把这种各灰样中含量不变的金属称为不挥发性金属^[13]。从表 3 中还可以看出底渣中的 Mn 相对于飞灰而言有轻微的富集, 这可能是底渣中一些挥发性矿物质(如 K、Na 的盐)重新在飞灰中凝结所致。

由表 3 样品 21~25 可知, Cr、Zn、Cd 等在飞灰中的相对富集程度大小顺序为: Zn > Cd > Cr, 而这些元素的沸点高低顺序为 Zn(420 °C) < Cd(769 °C) < Cr(2 672 °C)(括号内的数值为各自的沸点), 表明部分痕量元素在细微粒子中的富集程度随这些元素的沸点升高而减小, 具有明显的负相关关系。欧阳中华等人也得出 Cd、Pb、Cu、Co 在 1 μm 左右细微粒子中相对富集程度与各自的熔点成负相关关系的结论^[14]。S. V. Vassilev 等人发现垃圾焚烧过程中产生的 Sb、Pb、Cu、Fe、Zn、Ni、Mn、Cr 百分数与各自的氧化物和氯化物的熔点和沸点有关^[15]。底渣中 Zn 和 Cd 的相对富集程度大小为 Zn < Cd(表 3 中样品 11~15), 说明两者在底渣中的相对富集程度跟各自的熔点成正相关关系。但 Cr 在底渣中并不遵循这种规律, 可以解释为: 在本次研究用煤中, 有部分 Cr 是以有机物形式存在^[4, 8], 而大多数有机物存在于挥发分中, 在煤燃烧过程中, 挥发分过早的析出, 造成底渣中 Cr 含量减少。Constance L 认为有一半的 Cr 与煤中有机物有关^[4]。Cr 跟 Mn 一样属于难挥发性元素, 其在各样品中含量相当, 底渣中含量略高于飞灰。由于煤中部分 Cr 与有机物有关, Cr 的单质、氧化物、氯化物的熔点均高于排烟温度, 造成样品中相

对富集系数远小于 1 的原因可能是这部分有机 Cr 发生同类核化, 变成亚微米颗粒从烟囱中排放, 或者直接以气态的有机 Cr 排放。

由于汞的高电离势决定了汞易变成原子, 同时由于单质汞、氯化汞和其它形式的一价、二价汞的分压低于烟气中冷凝所需要的压力, 从而使汞很容易以气态方式从烟囱中排放。而飞灰中含有 Hg 说明飞灰对气态 Hg 及 Hg 的化合物有吸附作用, 或者讲飞灰中未燃尽的炭以及具有高比表面活性的飞灰对 Hg 有吸附作用^[13]。

Se 与 Hg 一样属于易挥发性元素, 飞灰中含量明显高于底渣, 煤中大部分 Se 与有机物和非黄铁矿的硫化物有关^[4, 16]。烟温低于 340 °C 时, 原有的气态 SeO₂ 可能会被 SO₂ 还原成 Se 沉积在飞灰粒子上^[4]。

从表 3 中还可以发现, 虽然 Pb 的沸点(1 750 °C)比 Cd 的沸点(769 °C)高, 但是飞灰中 Pb 的相对富集系数却比 Cd 高, 底渣中 Pb 的相对富集系数比 Cd 低。这可解释为: Pb 对烟气中活性原子 Cl 的亲合力大于 Cd^[8, 12], PbCl₂ 的熔点(950 °C)远小于 CdO 的熔点(1 500 °C), 所以在相同炉膛温度下, Pb 比 Cd 更容易挥发。

4 结论

影响痕量元素在煤粉炉中迁移的变化因素很多, 从本文的研究中可以发现:

(1) 除 Mn 之外绝大多数重金属有在细微灰粒上富集的趋势, 并且粒径越小, 相对富集系数越大, 而目前普遍使用的电除尘器对 0.1~1 μm 左右粒径的灰粒子的捕获效率很低, 所以必须采取措施控制排放到大气中的细微颗粒的数量。

(2) Mn 和 Cr 属于难挥发性元素, 在飞灰和底渣中含量相当, 底渣中含量略微高于飞灰含量, 但 Mn 的相对富集系数接近 1, 而 Cr 的相对富集系数远小于 1, 其原因是部分 Cr 以有机物在煤中存在。Hg 和 Se 属于易挥发性元素, 飞灰中含量明显高于底渣。

(3) Cr、Zn、Cd 在飞灰中含量与各自的沸点成正比, 而 Cr 不遵循底渣中含量与沸点成反比这一规律, 其原因是煤中以有机物存在的 Cr 在煤燃烧过程中过早的从煤中逸出。

(4) 虽然 Pb 的沸点比 Cd 高, 但是由于 Pb 比 Cd 更易形成氯化物, 造成底渣中 Pb 的含量比 Cd 低, 飞

灰中 Pb 含量比 Cd 高。

(5) 随着炉膛温度的升高, 部分痕量元素(如 Cr、Zn、Hg)在电场灰中的含量增加, 低氧条件并不能促进所有痕量元素的挥发。

参考文献:

[1] SENOIR CONSTANCE L, HELBLE JOSEPH J, SAROFIM ADEL F. Emissions of mercury, trace elements, and fine particles from stationary combustion sources[J]. *Fuel Processing Technology*, 2000, **65**: 263-288.

[2] EDWARD FURMSKY. Characterization of trace element emissions from coal combustion by equilibrium calculations[J]. *Fuel Processing Technology*, 2000, **63**: 29-44.

[3] MEIJ R. Trace element behaviors in coal-fired power plants[J]. *Fuel Processing Technology*, 1994, **39**: 199-217.

[4] SENIOR CONSTANCE L, BOOL III, LAWRENCE E. BOOL III Pilot scale study of trace element vaporization and condensation during combustion of a pulverized sub-bituminous coal[J]. *Fuel Processing Technology*, 2000, **63**: 149-165.

[5] AUNELA-TAPOLA LEENA A, FRANDESEN FLEMMING J. Trace metal emissions from the Estonian oil shale fired power plant[J]. *Fuel Processing Technology*, 1998, **57**: 1-24.

[6] 刘桂建, 彭子成, 杨瓶羽, 等. 煤中微量元素在燃烧过程中的变化[J]. *燃料化学学报*, 2001, **29**(2): 119-123.

[7] KARAYIGIT A I, GAYER R A, QUEROL X, *et al.* Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants [J]. *International Journal of coal Geology*, 2000, **44**: 169-184.

[8] STANISLAV V. VASSILEV, ESKENAZY GRETA M, *et al.* Behaviour of elements and minerals during preparation and combustion of the Pemik coal[J]. *Fuel processing Technology*, 2001, **72**: 103-129.

[9] 晏 蓉, 欧阳中华, 曾汉才. 电厂燃煤飞灰中重金属富集规律的实验研究[J]. *环境科学*, 1996 **16**(6): 29-32.

[10] CHEN JYH-CHERNG, WEY MING-YEN, LIU ZHEN-SHU. Adsorption mechanism of heavy metals on sorbents during incineration[J]. *Journal of environment engineering* 2001(1): 63-69.

[11] COLETTE BRAEKMAN-DANHEUX, AXELLE DHAEYERE, ANDRE FONTANA, *et al.* Upgrading of waste derived solid fuel by steam gasification[J]. *Fuel*, 1998, **77**(1/2): 55-59.

[12] RONG YAN, DANIEL GAUTHIER, GILLES FLAMANT. Volatility and chemistry of trace element in a coal combustor[J]. *Fuel*, 2001, **80**: 2217-2226.

[13] CENNI R, FRANDSEM F, GERHATDT T, *et al.* Study on trace metal partitioning in pulverized combustion of bituminous coal and dry sewage sludge[J]. *Waste Management*, 1998, **18**: 433-444.

[14] 欧阳中华, 曾汉才, 吕焕尧, 等. 青山电厂 200 t/h 锅炉煤灰中重金属元素分布研究[J]. *热力发电*, 1996(1): 25-29.

[15] VASSILEV S V. BREAKMAN-DANHEUX C, LAUREN PH, *et al.* Behavior, capture and inertization of some trace elements during combustion of refuse-derived char from municipal solid waste[J]. *Fuel*, 1999, **78**: 1131-1145.

[16] ALEKSANDAR POPOVIC, DRAGANA DJORDJEVIC, PREDRAG POLIC. Trace and major element pollution originating from coal ash suspension and transport processes[J]. *Environment International*, 2001, **26**: 251-255.

(何静芳 编辑)

新 机 组

UGT 10000 燃机投入输气管线应用

据《Gas Turbine World》2001 年 11~12 月号报道, Mashproekt 推出其第一台 UGT10000 燃气轮机作为压缩机驱动装置于 2001 年夏天在乌克兰天然气管线增压站投入商业运行。

新的 UGT10000 是 1990 年推出的改进的 UGT6000 设计和 1997 年推出的功率加大的 UGT6000+ 设计的增大方案。Mashproekt 于 1998 年推出 UGT10000 系列燃气轮机。三型发动机的性能如下:

	UGT6000	UGT6000+	UGT10000
机械驱动装置			
ISO 轴功率/kW	6 700	8 300	10 780
效率/%	31.5	33.0	36.0
发电机组成套装置			
ISO 电功率/kW	6 000	8 000	10 000
效率/%	30.2	31.7	34.2
设计参数			
压比	16.6:1	15.7:1	19.5:1
空气流量/kg·s ⁻¹	31.0	33.4	37.2
涡轮转子进口温度/℃	1 015	1 100	1 185
排气温度/℃	420	440	460

(思娟 供稿)

the research of long-term dynamic characteristics of a supercritical once-through boiler. **Key words:** supercritical once-through boiler, long-term dynamic characteristics, state-space method, modeling and simulation

增压锅炉机组重要热工参数的选择 = **The Selection of Major Thermodynamic Parameters for a Supercharged Boiler Unit** [刊, 汉] / SHEN Zhi-gang, JIANG Ren-qiu (Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), ZOU Ji-guo, CHEN Qi-duo (Harbin No.703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 27 ~ 29

The major technical features of a marine supercharged boiler are described and, on this basis, the selection of important thermotechnical parameters is explored during the thermodynamic calculations of the boiler. This has laid a theoretical basis for the study of thermodynamic calculation techniques for a marine supercharged boiler unit. **Key words:** marine supercharged boiler unit, thermotechnical parameters, selection

煤粉炉中痕量元素迁移影响因素的研究 = **A Study on the Influencing Factors of Migration of Trace Elements in a Pulverized Coal-fired Boiler** [刊, 汉] / HUANG Ya-ji, JIN Bao-sheng, ZHONG Zhao-ping, et al (Key Laboratory of Education Ministry on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 30 ~ 34

By using a Z-8200 atomic absorption spectrophotometer and a VF-320 X-ray fluorescent spectrograph the content of nine trace elements in raw coal, bottom slag and fly ash was measured quantitatively in a 220 t/h pulverized coal-fired boiler. On the basis of an improved relative enrichment factor of Meij and from the perspective of two aspects, namely, bottom slag and fly ash, a systematic analysis was performed of the influence of various factors on the law of migration. Such factors include: temperature, oxygen content, fly ash diameter, the properties of trace elements per se and the characteristics of coal rank. The results of the analysis indicate that an rise in furnace temperature can quicken the volatilization of some of the trace elements. The content of Cr and Mn in fly ash and bottom slag is comparable, but the two elements differ markedly in respect of relative enrichment factor. Low oxygen content does not always promote the volatilization of all trace elements. The content of Pb, Cd, Zn and Cr in the bottom slag and fly ash does not assume a linear relationship with their respective boiling points. The smaller the diameter of the fly ash, the greater the enrichment factor of the trace elements. The tendency of variation of various trace elements with the decrease in fly ash diameter has been found to be not identical for different trace elements. **Key words:** trace elements, relative enrichment factor, migration law, pulverized coal-fired boiler

燃煤排放正构烷烃类有机化合物的特征与形成演化机理研究 = **An Investigation on the Characteristics of the Discharge of Normal Paraffin Organic Compounds During a Coal-burning Process and Their Related Formation/evolution Mechanism** [刊, 汉] / LIU Hui-yong, SUN Zhi-kuan (Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), SUN Jun-min, et al (Environment Protection Office under the Hunan Provincial Electric Power Co., Zhengzhou, China, Post Code: 450000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 35 ~ 38

An analysis was conducted of the content distribution and characteristic changes of normal paraffin compounds discharged during the process of flue-gas temperature reduction at Yunnan Yangzonghai Power Plant, Guizhou Guiyang Power Plant and the Experimental Power Plant of Beijing Tsinghua University. The above-mentioned content distribution and characteristic changes identified during the analysis were compared with those in the aerosol sample taken at the flue duct leeward side. After an investigation the authors hold that the formation and evolution of the normal paraffin compounds during a coal-burning process represents an important formative stage of complicated organic pollutants. In addition, the mechanism of the change of molecular characteristics in the process of coal burning and flue gas temperature reduction constitutes a major distinguishing feature specific to a free radical polymerization and cracking. **Key words:** normal paraffin, formation and evolution