火力发电厂重金属污染物转移过程研究

程华敏 (广东中加检测技术股份有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 根据火力发电厂的生产工艺及污染物的处理流程, 对燃煤及燃煤产物 (炉渣、飞灰、石膏、烟气等) 中的重金属进行测定, 了解煤燃烧后重金属的分布情况, 实验结果表明, 大部分重金属会被飞灰吸附, 其中飞灰对 As、Zn 的吸附效率相对较低, As 和 Zn 经过湿法脱硫降温后被石膏吸附, 总体上, 随烟气排放到大气中的重金属总量较少, 但因为气态重金属更容易传播, 加之发电燃煤量巨大而应引起重视。

关键词: 火力发电厂; 重金属

1 前言

改革开放以来, 我国经济蓬勃发展, 电能的需求日益增加, 火电、水电、风电、核电和太阳能是目前我国电能的主要组成部分, 近年来我国已经在大力发展水电、核电、风电以及太阳能发电, 使得清洁能源占比获得了较大提升, 但由于我国能源格局中“煤炭占比太大”, 使得我国的火力发电依然占据主导地位, 环保问题也相伴而生, 直接燃煤是我国大气污染严重的根本原因, 燃煤发电行业在我国大气污染治理中的地位举足轻重, 2014年, 国务院办公厅印发《能量发展战略行动计划(2014-2020)》(国办发〔2014〕31号), 首次提出“新建燃煤发电机组污染物排放接近燃气机组排放水平”, 针对煤电行业的主要污染物二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)的研究及排放标准已经日渐成熟, 但对煤电行业重金属污染的研究相对缺乏, 本研究是通过燃煤发电厂的生产工艺及污染物的处理流程全面分析重金属(汞、铅、砷、镉、铬、铜、镍、锌)生产过程的转移情况, 为科学处理火电厂重金属污染物提供参考依据。

2 火力发电工艺

燃煤经厂内输煤设施进入制粉系统, 制成煤粉后与来自空气预热器的热风混合后喷入锅炉炉膛内炉燃烧, 并将锅炉内经处理过的除盐水加热成为超超临界参数蒸汽, 蒸汽在汽轮机中膨胀做功, 推动汽轮机高速旋转, 汽轮机排汽通过海水直流冷却冷凝成水后送往锅炉循环使用, 汽水循环中水有损失, 必须经常补给经处理合格的除盐水, 高速旋转的汽轮机带动发电机运转发电, 产生电能, 电能经升压变压器后送入输电线路提供给用户。

3 污染物迁移分析

燃煤中重金属污染物在燃烧过程中, 部分易挥发的重金属容易气化进入烟气, 然后随粉煤灰颗粒进入烟气处理系统, 在移动过程逐渐降温, 气化的重金属由粉煤灰颗粒吸附, 通过除尘器收集的粉煤灰由干灰系统经密闭管道送至干灰库暂存, 烟气通过脱硫系统, 烟气温度进一步降低, 可溶性的重金属元素部分转入水中, 部分进入湿式除尘器被净化后通过烟囱排放进入大气中, 燃煤中部分难挥发重金属会随炉渣由干式排渣机送入渣

仓。通过对炉渣、飞灰、石膏、脱硫废水及烟气的重金属检测, 可计算生产过程中重金属的迁移情况。

4 实验设计

表1 燃煤的工业分析结果表

分析项目	收到基灰分 (%)	收到基硫分 (%)	干燥无灰基挥发分 (%)	低位发热量 (MJ/kg)
结果	22.5	0.88	27.8	21.24
	22.6	0.98	27.7	21.38
	21.0	0.68	35.4	21.54
	21.6	0.77	34.7	21.55
均值	21.9	0.83	31.4	21.43

表2 元素分析结果表 (μg/g)

元素	汞	铅	砷	镉	铬	铜	镍	锌
燃煤	0.128	1.4	2.78	0.04	1.8	1.8	1.3	2.3
	0.139	1.6	2.89	0.05	2.4	1.5	1.5	4.5
	0.156	1.7	2.31	0.07	2.6	2.1	0.9	3.1
	0.138	1.4	2.41	0.05	2.4	2.3	1.5	4.9
均值	0.140	1.5	2.60	0.05	2.3	1.9	1.3	3.7
石灰石	0.018	< 1.4	1.08	< 0.02	< 0.5	2.8	< 0.4	1.5
	0.026	< 1.4	1.33	< 0.02	< 0.5	1.8	< 0.4	1.8
	0.016	< 1.4	1.26	< 0.02	< 0.5	1.6	< 0.4	1.8
	0.021	< 1.4	1.16	< 0.02	< 0.5	1.9	< 0.4	1.7
均值	0.020	< 1.4	1.21	< 0.02	< 0.5	2.0	< 0.4	1.7
炉渣	0.101	1.4	1.76	0.05	0.8	2.7	< 0.4	1.9
	0.155	1.6	1.89	0.12	1.0	2.3	< 0.4	1.6
	0.141	2.8	1.43	0.11	1.1	3.1	< 0.4	1.8
	0.165	2.3	1.51	0.04	0.7	3.1	< 0.4	2.3
均值	0.141	2.03	1.65	0.08	0.9	2.8	< 0.4	1.9
飞灰	3.11	56.5	53.5	0.86	70.3	48.6	60.2	118
	4.01	61.6	66.2	0.96	85.6	60.6	79.1	92
	3.78	43.2	47.3	0.95	68.9	43.8	62.2	99
	3.22	44.8	63.9	0.79	80.6	54.3	73.3	107

均值	3.53	51.5	57.7	0.89	76.4	51.8	68.7	104
石膏	0.016	< 1.4	2.68	< 0.02	< 0.5	0.6	< 0.4	1.6
	0.017	< 1.4	3.76	< 0.02	< 0.5	0.7	< 0.4	2.2
	0.021	< 1.4	3.81	< 0.02	< 0.5	0.6	< 0.4	1.9
	0.021	< 1.4	2.71	< 0.02	< 0.5	0.5	< 0.4	1.9
均值	0.019	< 1.4	3.24	< 0.02	< 0.5	0.6	< 0.4	1.9

表3 脱硫废水的元素分析结果表 (mg/L)

元素	汞	铅	砷	镉	铬	铜	镍	锌
结果	0.101	0.196	0.050	0.004	0.002	0.076	0.051	0.223
	0.108	0.205	0.052	0.004	0.002	0.081	0.052	0.282
	0.112	0.184	0.049	0.004	0.002	0.083	0.049	0.291
	0.098	0.182	0.049	0.004	0.002	0.081	0.048	0.283
均值	0.105	0.192	0.050	0.004	0.002	0.080	0.050	0.270

表4 烟气的元素分析结果表 (g/h)

元素	汞	铅	砷	镉	铬	铜	镍	锌
结果	3.11	0.881	2.350	0.212	9.81	23.8	8.21	22.1
	4.35	0.954	2.18	0.348	9.66	24.1	8.33	20.6
	2.48	0.867	2.33	0.301	9.42	22.9	9.02	22.8
	2.02	0.902	2.56	0.155	10.5	29.4	10.8	18.6
	3.55	1.05	2.81	0.167	10.9	25.6	9.92	17.9
	3.96	1.12	2.74	0.262	11.3	30.5	8.52	19.3
	3.82	0.883	2.12	0.184	8.93	35.1	11.3	21.5
	4.34	0.932	1.96	0.233	10.1	30.3	10.2	23.7
	4.05	1.16	1.82	0.289	11.6	29.5	9.76	19.0
	4.87	1.24	1.99	0.149	12.8	24.5	8.13	17.1
	4.02	1.03	2.39	0.186	9.13	22.8	9.41	16.5
4.18	0.971	2.38	0.180	9.02	20.7	9.13	21.3	
均值	3.73	1.00	2.30	0.22	10.26	26.6	9.39	20.0

现场采样选取某电厂 1000MW 机组进行, 实验时分别采集 4 份入炉煤、炉渣、飞灰、石灰石、石膏及脱硫废水样品, 每个样品均由 3 个小时内每间隔半小时采集的样品经混合均匀而成。采用《空气和废气颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》HJ-657-2013 和《固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法(暂行)》HJ 543-2009 进行烟气重金属采样和分析, 每小时采集一个样品, 共采集 12 个样品, 分析结果见表 1-5, 根据企业提供的生产数据, 实验期间耗煤量均值为 374t/h, 石灰石用量均值为 7.9t/h, 灰渣量按照 90%:10% 分配, 飞灰或炉渣可燃物质含量分别为 2%、

7%, 计算公式为 $G=B \cdot A_{ar} \cdot d/(1-C)$, 式中 G 为飞灰或炉渣量, t/h; B 为燃煤量, t/h; A_{ar} 为收到基灰分, %; d 为进入飞灰或炉渣的量占原煤灰百分比; C 为飞灰或炉渣可燃物含量。

表5 重金属质量平衡汇总表 (g/h)

分析项目	汞	铅	砷	镉	铬	铜	镍	锌	
输入	石灰石	0.16	< 1.4	9.56	< 0.02	< 0.5	15.80	< 0.4	13.43
	燃煤	52.36	561.00	972.40	18.70	860.20	710.60	486.20	1383.80
输出	炉渣	11.18	160.90	130.78	6.34	71.33	221.93	0.00	150.59
	飞灰	29.51	430.54	482.37	7.44	638.70	433.05	574.33	869.44
	石膏	1.41	< 1.4	239.92	< 0.02	< 0.5	44.43	< 0.4	140.70
	脱硫废水	1.89	3.46	0.90	0.07	0.04	1.44	0.90	4.86
	烟气	3.73	1.00	2.30	0.22	10.26	26.60	9.39	20.00
质量平衡 %	90.9	106	87.2	75.3	83.7	100	120	84.9	

由于采样现场采样和分析技术非常复杂, 实验过程会存在误差, 而且企业生产过程会产生一定的不确定性, 如煤种的均匀性, 生产负荷的波动等都会对实验过程产生影响, 一般认为质量平衡达到 70%~130% 是可以接受的, 本次实验结果, 电厂重金属质量平衡为 75.3%~120%, 说明本次研究采用的采样和分析方法准确度和可信度良好。

5 结论

实验结果表明, 飞灰中的重金属浓度非常高, 具有明显的富集效应, 70% 以上重金属污染残留在炉渣或被飞灰吸附, 不同重金属分布规律有所不同, As、Zn 被飞灰吸附的效率较低, 在湿法脱硫的过程随烟气温度降低, 而被石膏吸附, 总体来看, 经过处理系统随烟气通过烟囱排放的重金属占比较少, Hg 烟气中的排放量占比为 5.7%, 其他重金属占比大约为 1%~3%, 虽然烟气中重金属排放总量依然非常少, 但并不意味着烟气中重金属的排放可以忽略, 气态重金属的传播距离长, 传播广泛, 控制技术难, 加之发电燃煤量巨大而应引起重视。

参考文献:

- [1] 陈建鹏, 李佐军. 中国大气污染治理形势与存在问题及若干政策建议 [J]. 发展研究, 2013(10):6-16.
- [2] 朱法华. 火电厂污染防治技术手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.