

国内典型燃煤电厂污染物控制装置的脱汞特性分析

汪爱军¹, 苏军划²

(1. 北京国电德安电力工程有限公司, 北京 100120; 2. 中国华电科工集团有限公司, 北京 100160)

摘 要:选择国内典型燃煤电厂,测试了电厂现有的污染物脱除装置对各种形态汞的脱除效率,分析了烟气脱硝(SCR) + 布袋除尘(FF) + 湿法烟气脱硫(WFGD)的组合技术对汞的协同减排效应,并对整个系统的汞流向进行了质量衡算,提出了脱汞策略。

关键词:燃煤电厂;污染物控制;脱硝;脱硫;脱汞

中图分类号:X 701 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951(2017)06 - 0066 - 04

0 引言

煤炭燃烧放出热量的同时,有 SO₂, NO_x, 粉尘, Hg 等污染物排放,其中,SO₂, NO_x 和粉尘已有成熟的商业化脱除技术;GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》虽然将 Hg 纳入检测^[1],但目前国内尚无成熟的汞脱除技术。为了选择合适的汞排放控制技术,需要对电厂的汞排放浓度进行摸底,并对常规污染物控制装置的脱汞效率进行测试和分析。本研究选择国内典型电厂,分别对每个电厂的污染物控制装置进行监测,并对整个系统进行质量衡算。

1 测试结果

对电厂每天采集的入炉煤粉、炉渣、飞灰和脱硫石膏进行汞含量分析,每天入炉煤粉中汞的质量分数并不相同,变化范围为(84 ~ 210) × 10⁻⁹,产生的固体废物汞浓度差异很大,其中,飞灰中汞的质量分数变化范围为(308 ~ 776) × 10⁻⁹,脱硫石膏中汞的质量分数变化范围为(74 ~ 164) × 10⁻⁹,而炉渣中的汞浓度非常小,具体结果见表 1。按照我国 MT/T 963—2005《煤中汞含量分级》标准^[2],测定的煤粉属于特低和低汞煤。从表 1 可以看出,因入炉煤粉的汞浓度变化较大,导致测试过程中释放出汞的总量变化幅度也较大。

汞的输入及输出质量平衡见表 2。由表 2 可以看出,汞的主要输出包括炉渣、除尘底灰、脱硫石膏和烟气携带等,其中,除尘底灰占据了大部分(超过 70%),其次是脱硫石膏(超过 10%),炉渣和烟气携带只占据了极小的比例。烟气中汞的质量浓度为

表 1 固体样品中汞的质量分数					× 10 ⁻⁹
采样日期	时间	入炉煤粉	炉渣	除尘底灰	脱硫石膏
2012 - 12 - 01	上午	125	0.6	439	113
	下午	166	0.5	776	96
2012 - 12 - 02	上午	193	0.3	674	84
	下午	202	0.9	674	100
2012 - 12 - 03	上午	210	0.2	531	85
	下午	183	0.2	441	95
2012 - 12 - 04	上午	165	0.3	368	102
	下午	178	0.4	359	120
2012 - 12 - 05	上午	150	0.4	436	164
	下午	143	0.2	372	140
2012 - 12 - 06	上午	129	0.4	439	152
	下午	121	0.4	379	143
2012 - 12 - 07	上午	121	0.3	371	139
	下午	128	0.2	373	135
2012 - 12 - 08	上午	106	0.3	314	109
	下午	106	0.2	357	118
2012 - 12 - 09	上午	98	0.1	316	93
	下午	103	0.4	308	93
2012 - 12 - 10	上午	104	0.4	446	74
	下午	84	0.4	430	79
2012 - 12 - 11	上午	160			
	下午				
平均值		143 ±	0.3 ±	436 ±	106 ±
		37	0.2	129	26

注: ± 后为标准偏差。

0.13 μg/m³,超过了我国 GB 3095—2012《环境空气质量标准》^[3]对汞质量浓度的限值 0.05 μg/m³,但满足最新版 GB 13223—2011《火电厂大气污染物排

表 2 电厂汞的输入及输出质量平衡

项目	入炉煤粉	炉渣	除尘底灰	脱硫石膏	烟气
消耗量及产出量	2 689 t/d	79 t/d	713 t/d	364 t/d	3 082.9 万 m ³ /d
汞的质量流量/(g·d ⁻¹)	384	0.03	311	38	4
煤中汞的流向/%	100.00	0.01	80.80	10.00	1.10

放标准》中:“自 2015 年 1 月 1 日起,燃煤锅炉汞及其化合物污染物排放限值 30 mg/m³”的要求。

从表 2 还可以看出,在经过不同的处理设施时,烟气中的汞被部分捕集下来,烟气中的汞浓度降低,不同的处理设施具有不同的效率,且这种效率的变化幅度并不大,各个点位的汞浓度呈现出明显的相关性,各峰值和谷值变化规律比较一致。

2012-12-02—11,选择性催化还原脱硝(SCR)装置前汞的释放情况如图 1 所示。可以看出,氧化汞的浓度较低,而元素态汞的比例较大,后续大约 1 星期的测试过程中,燃煤烟气中的汞都主要以氧化态形式存在。颗粒态汞在测试时间段内只有 2 μg/m³ 左右,占了很小的比例。由于 SCR 前的烟气温度较高,大约在 300 ℃ 以上,烟气中的汞不易冷凝在飞灰表面,导致颗粒态汞的浓度不高。

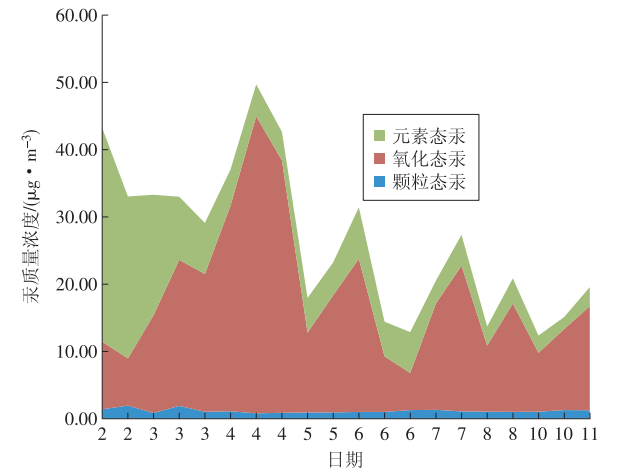


图 1 燃煤过程中汞的释放情况 (2012-12)

图 2~4 分别是布袋除尘器 (FF) 后和脱硫装置前后汞的释放情况。在经过 SCR 装置之后,脱硫塔之前,氧化态汞占据主导地位,甚至在脱硫塔前氧化态汞占据了绝对的主导地位。由于不同设施对不同形态的汞具有不同的脱除效率,颗粒态汞和氧化态汞易于脱除而元素态汞不易捕集,因此,最终排放口元素态汞占据了相当的比例。

2 不同的污染物控制措施对汞的脱除效果

图 5 和图 6 展示了 FF、石灰石-石膏湿法脱硫装置(WFGD)的脱除效率。可以看到,FF 对于颗粒态汞具有极好的脱除效率,在 99% 以上,这来源于良好的除尘效率。同时,FF 对于元素汞和氧化态汞

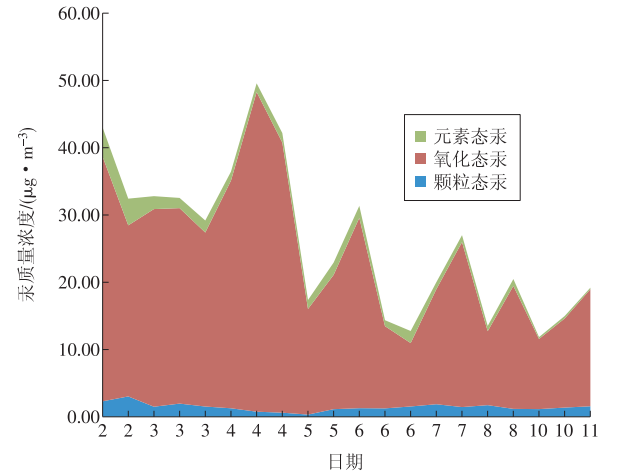


图 2 FF 后汞的释放情况 (2012-12)

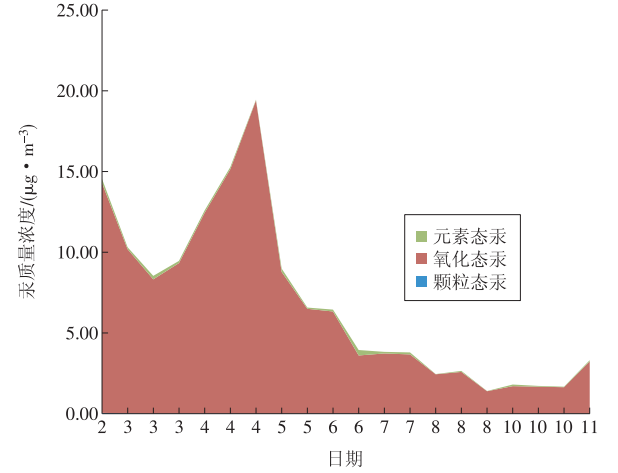


图 3 湿法脱硫装置前汞的释放情况 (2012-12)

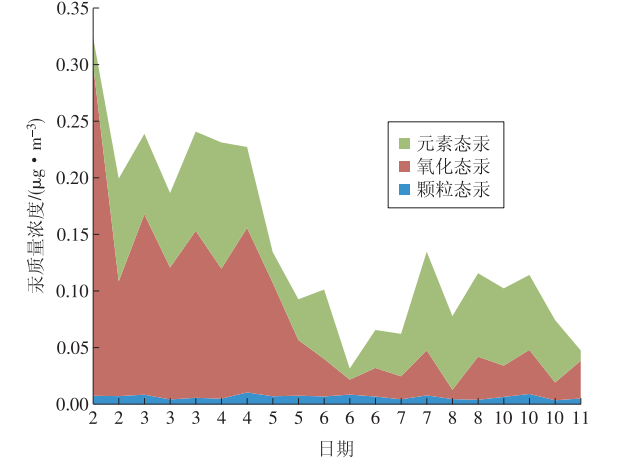


图 4 湿法脱硫装置后汞的释放情况 (2012-12)

也具有较强的脱除效率,其中,元素态汞在 80% 左右,而氧化态汞在 60% 左右。较高的脱除效率来源于 FF 形成的滤饼层的吸附效果,而氧化态汞的脱

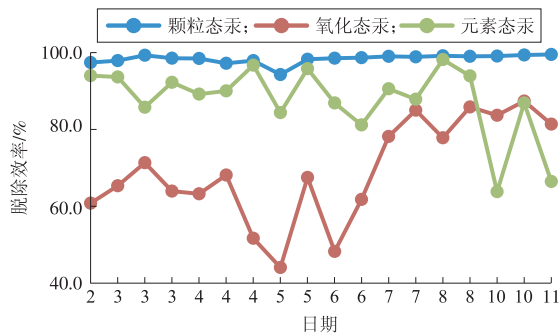


图 5 FF 对于不同形态汞的脱除效率(2012-12)

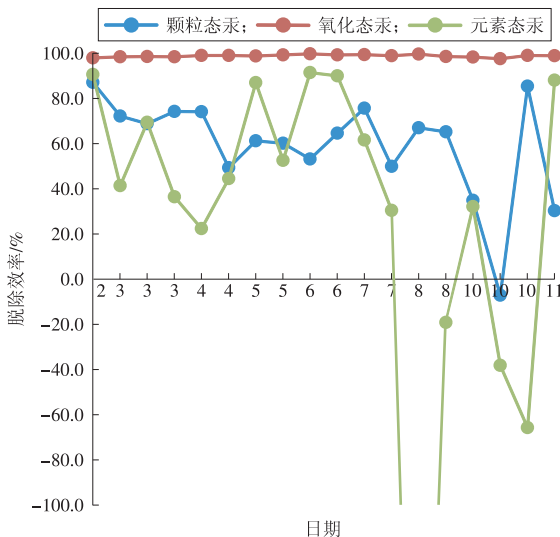


图 6 WFGD 对不同形态汞的脱除效率(2012-12)

除效率低于元素态汞,可能与烟气中汞的形态主要以二价汞为主有关。

WFGD 对于氧化态汞具有极高的脱除效率,在本研究中达到了 99% 以上,这与氧化态汞易溶于水有关。脱硫塔在大部分测试期间对元素态汞有一定脱除效率,但也有部分测试过程中发生了元素态汞上升的情况,这主要与 WFGD 对氧化态汞和颗粒态汞具有高于 99% 的脱除效率,而对于元素态汞的脱除效率略低有关。但整体上,各种形态的汞在本文所研究电厂中都实现了极高的脱除率。

3 汞的质量衡算

对本研究中所有位点的汞进行了质量衡算,相应的结果如图 7 所示。由图 7 可以看出出炉煤粉中汞输出的各部分比例,其中,飞灰占据了 76%,脱硫石膏占据了 24%,底灰和烟气占据的比例小于 1%,这和上文的论述相符合。本研究中的汞输出飞灰占据较高比例的原因在于,所测试电厂采用了 FF 作为除尘设备,FF 产生的飞灰滤饼层能够进一步捕集烟气中的汞,提升飞灰中的汞浓度和降低烟气中的汞浓度,从而导致后续烟气中汞浓度下降,使得脱硫石膏的汞输入下降,氧化态汞占据了烟气汞的主要

形态也使得脱硫塔的效率大大提高,增强了脱硫塔的脱除效果,使得脱硫石膏中的汞浓度上升,提高了脱硫石膏的汞输出。在以上加强了脱除效果的情况下,最终烟气中的汞浓度较低,从而汞排放比例也相应较小。

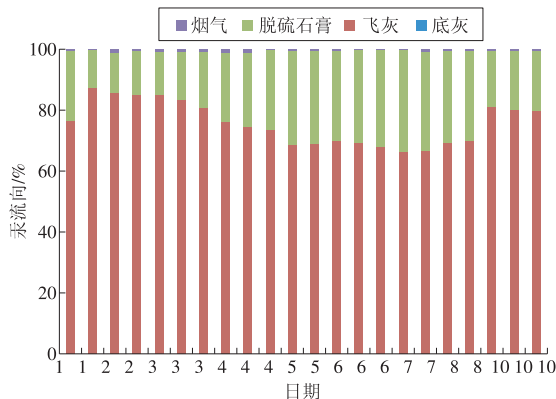


图 7 测试过程中汞的输出比例示意

4 燃煤电厂脱汞策略

中国仍是一个发展中国家,根据我国国情及燃煤电厂污染现状,制定燃煤电厂脱汞策略如下。

(1)对现有燃煤电厂按照燃煤煤质、烟气特征、污染物控制装置类别等进行分类,针对不同电厂特征和技术参数,分别制定脱汞措施。例如,目前的污染物脱除设备对烟气中的总汞都有一定的脱除能力,但是和烟气中汞的形态有很大的关系。因此,汞污染控制技术方案的制定需要考虑不同电厂烟气中汞含量和汞分布情况以及目前的脱除设备。例如:如果电厂的 Hg^{2+} 含量很高,并且该电厂安装有湿法脱硫设备,此时只需往湿法脱硫装置中加入脱汞剂,就能达到汞脱除目的;如果电厂的 HgO 含量很高,安装了湿法脱硫装置,但是没有安装 SCR 脱硝设备,可以考虑安装同时脱硝、脱汞的催化剂,将 HgO 氧化为 Hg^{2+} ,然后利用 WFGD 进行脱除。总之,汞污染控制技术方案的制定要和燃煤电厂的汞排放情况关联,根据不同的情况制定不同的脱汞方案。

(2)推广与应用烟气脱硫、脱硝技术,充分发挥联合污染物控制装置的脱汞效率。对于装有选择性催化还原烟气脱硝、静电/布袋除尘和湿法烟气脱硫设施的电厂,一般利用现有的脱硫、除尘、脱硝设施协同脱汞。如果不能满足环保要求,可以考虑在湿法脱硫中添加氧化剂以提高脱汞效率。

(3)对于装有静电除尘装置但没有安装湿法烟气脱硫装置的电厂,可考虑通过混煤、静电除尘装置改造来脱汞,根据烟气中零价汞和二价汞的比例,考虑是否需要喷射活性炭。

(4)时刻关注燃煤电厂脱汞行业前沿,对于已

经商业化/工业示范、成本低、脱汞效率高的技术或者国内自主开发的已经开展中试或者小试的技术,可以优先选择用于电厂脱汞。

(5)研究脱硫、脱硝、脱汞一体化技术。目前的许多控制系统都是针对 1 种或者 2 种污染物,而在污染物综合控制中解决汞的排放问题是最具有成本效益的一种方法。

5 结论

通过对电厂各个位点各种形态汞进行监测,得到污染物控制装置对汞的脱除效率及汞的输入、输出参数。其中,布袋除尘器的汞脱除效率最高,达 99% 以上;湿法脱硫的氧化态汞脱除效率也高达 99% 以上。在煤中汞的输出比例中,飞灰占 75% 以上,脱硫石膏其次,底灰和烟气中的比例小于 1%。

燃煤电厂锅炉炉膛内汞全部是以单质汞的形式存在,随着温度降低,一部分汞氧化为氧化态汞,还

有部分汞附着在灰尘中形成颗粒态汞。现有的污染物控制装置对单质汞、氧化态汞及颗粒态汞都有一定的去除效果。根据燃煤电厂的煤质参数、烟气特征及污染物控制装置等状况,制定不同的脱汞策略和措施。

参考文献:

[1] 火电厂大气污染物排放标准:GB 13223—2011[S].

[2] 煤中汞含量分级:MT/T 963—2005[S].

[3] 环境空气质量标准:GB 3095—2012[S].

(本文责编:白银雷)

作者简介:

汪爱军(1971—),女,北京人,高级工程师,副总经理,从事电力环境保护及节能技术研究和及管理 & 大气污染控制方面的研究、设计工作(E-mail:wangaj@ncep.com.cn)。

《华电技术》来稿要求

- (1) 文章主题明确,材料真实,结构严谨,文字简明准确,符合创新性、科学性、实用性原则,学术类、专题类、综述类论文一般不超过 6000 字,其他文稿 4000 字以内为宜。
- (2) 文章题目不超过 20 字,提供 5~8 个中文关键词,200~300 字的中文摘要,并翻译成英文;同时还需提供作者单位及英文名称,作者姓名及汉语拼音,城市名及邮政编码。
- (3) 摘要内容包括目的、方法、结果、结论四要素,要求用词准确,简明扼要;关键词应紧扣主题,并符合电力主题词表要求等。
- (4) 文稿应正确使用国家法定计量单位及符号,对文中首次出现的非公知公用的缩略语要在括号中注明全称,对外文字母、数学符号要区分其大小写、正斜体、上下角标。
- (5) 插图要有图序和简洁的图题,并将图序、图题、图注等标在相应图框下方。
- (6) 参考文献仅著录作者亲自阅读过并在文稿中直接引用的公开发表的文献,在引文处标注序号。参考文献表中所列专著和论文应标明:作者、文献题名、出版社、出版地、出版年和页码,或者期刊名称、年号、期次、页码,并在题名后标注文献类型标志:[M] 图书;[C] 会议录;[G] 汇编;[N] 报纸;[J] 期刊;[D] 学位论文;[R] 报告;[S] 标准;[P] 专利;[DB] 数据库;[CP] 计算机程序;[EB] 电子公告;[A] 档案;[CM] 舆图;[DS] 数据集;[Z] 其他。
- (7) 国家、省部级重大科研攻关项目及基金资助项目,请注明项目名称及项目编号。
- (8) 文稿请提供 word 电子文档,文中图片可以以单独电子文档提供(文档格式:. dxf,. dwg,. eps 等矢量图格式)。请勿一稿多投,不论采用与否,恕不退稿。30 天内未接到本刊录用通知,作者可自行处理。
- (9) 作者需提供:姓名、出生年、性别、民族、籍贯、职务、职称、学位、研究方向、有效联系电话、电子邮箱、通信地址、邮编等。

欢迎登录《华电技术》网站(www. hdpower. net) 进行网上投稿。

《华电技术》编辑部联系方式:

地址:河南省郑州市郑东新区龙子湖湖心岛 E2-3-01 邮编:450046 咨询电话:0371-58501042/1058
广告部电话:0371-58501038 传真:0371-58501055
E-mail:hdjs-chd@vip.163.com hdjs@chec.com.cn