

# A Study on the Comparison Evaluation Standard of Hg-CEMS for Coal-Fired Power Plant

Fei Chen, Douguo Li, Xifeng Guo, Ting Xiao

Chongqing Environmental Monitoring Center, Chongqing  
Email: [1142886016@qq.com](mailto:1142886016@qq.com)

Received: Jun. 2<sup>nd</sup>, 2015; accepted: Jun. 26<sup>th</sup>, 2015; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Based on the data of mercury monitoring in coal-fired power plant, this paper analysed the monitoring results of the comparison with Hg-CEMS for coal-fired power plant, and put forward suggestive methods for Hg-CEMS comparison monitoring of coal-fired power plant and some suggestions for the evaluation standard of Hg-CEMS comparison monitoring.

## Keywords

Coal-Fired Power Plants, Hg-CEMS, Comparison of Monitoring, Evaluation Standard

---

# 燃煤电厂Hg-CEMS气态汞浓度比对监测评价标准的探讨

陈 飞, 李斗果, 郭喜丰, 肖 婷

重庆市环境监测中心, 重庆  
Email: [1142886016@qq.com](mailto:1142886016@qq.com)

收稿日期: 2015年6月2日; 录用日期: 2015年6月26日; 发布日期: 2015年6月30日

## 摘要

本文基于燃煤电厂汞监测比对数据，对燃煤电厂Hg-CEMS比对监测结果进行了分析，提出了对燃煤电厂Hg-CEMS比对监测的建议方法，并对比对监测结果的评价标准提出了建议。

## 关键词

燃煤电厂，汞在线监测系统，比对监测，评价标准

## 1. 引言

汞是具有“致癌、致畸、致突变”作用的剧毒物质，汞污染对环境及人体会产生长期而严重的危害。汞排放的主要来源是化石能源的燃烧，特别是煤炭的燃烧，中国是煤炭消费大国，能源总需求的70%来自煤炭。在中国的大气汞排放中，约有47%来自于燃煤[1]，这使得燃煤电厂成为向大气排放汞的最大源头[2]-[4]。

为了控制燃煤电厂的汞排放，我国在2011年公布的《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)中，明确规定燃煤电厂汞及其化合物的排放限值为 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，自2015年1月1日起开始执行[5]。从2015年开始，将全面对燃煤电厂的烟气汞进行监测，对Hg-CEMS的比对监测也包括在内。

在2012年进行的汞试点监测工作中，在对Hg-CEMS比对监测结果进行评价时，参照《固定污染源烟气排放连续监测技术规范(试行)》(HJ/T75-2007)[6]中关于烟气CEMS气态污染物的准确度要求：“当参比方法测定烟气中其它污染物排放浓度；相对准确度 $\leq 15\%$ ”，发现对Hg-CEMS的比对监测结果基本无法达到此要求。

本文首先筛选出两种具有代表性的离线方法作为比对监测的参比方法，采用这两种方法与某燃煤电厂Hg-CEMS进行数据比对试验，结合测试结果比较两种方法差异性和数据的准确度，综合评估作为参比方法的适用性。再采用适用性较强的参比方法对两套Hg-CEMS进行数据比对试验，对监测结果的评价标准展开讨论。

## 2. Hg-CEMS 比对监测参比方法筛选

### 2.1. 常用烟气汞离线测试方法比较

目前，国际上采用的燃煤电厂烟气汞排放离线监测方法主要有2种，分别是：安大略法(Ontario hydro method, OHM)[7]和吸附管离线采样法(EPA 30B)[8]。我国则制定了《固定污染源废气汞的测定冷原子吸收分光光度法》(HJ543-2009)[9]，同样适用于燃煤电厂大气汞排放监测。

安大略法测定精度高，可用于不同烟道位置的手工采样监测，不仅可以测定总汞，还可以分别测定3种不同形态的汞。但是，该方法操作复杂[10][11]，若采样瓶与瓶之间稍有泄漏，或者试剂瓶清洗不干净等，都极易引入人为误差；此外，冰块的准备也给现场试验增加了麻烦。因此，安大略法在国内外研究机构普遍使用[12]，而不适合在环境监测中大规模使用。

EPA 30B方法具有操作简单、方便，测量精度高等优点，适用于颗粒物浓度相对较低的烟道位置。基于EPA 30B方法的上述特点，同时由于安大略法容易引入人为误差，因此，目前国际上在离线测量除尘后的烟气总汞排放时，已经广泛采用EPA 30B方法。在已开展汞排放监测的美国电厂当中，约70%都

是采用 EPA 30B 法[13]。

高锰酸钾 - 冷原子吸收分光光度法见于我国环保部制定的《固定污染源废气汞的测定冷原子吸收分光光度法》(HJ 543-2009), 是我国现行固定污染源废气汞采样和测定的唯一标准方法。HJ543-2009 方法与安大略法具有一定的相似性, 都是采用溶液吸收对汞进行采样, 但 HJ543-2009 方法未要求采样管伴热、吸收瓶没有冰浴、采样时间较短, 这些特点使得该法在环境监测中的易用性得到较大提升。

综合上述分析, 兼顾考虑各种方法在环境监测中的适用性, 理论上选取 EPA 30B 方法和 HJ543-2009 方法作为燃煤电厂 Hg-CEMS 比对监测的参比方法更为合理。

## 2.2. 两种参比方法与 Hg-CEMS 监测结果比较

为考察实际监测中 EPA 30B 方法和 HJ543-2009 方法哪个更适合作为 Hg-CEMS 比对监测的参比方法, 在重庆某电厂除尘脱硫后烟道同一断面, 同时使用 EPA 30B 方法和 HJ543-2009 方法采集烟气汞样品, 实验室分析后与同时段的 Hg-CEMS 监测数据相比较, 结果如表 1。

从测试数据来看, EPA 30B 方法测试数据和 HJ543-2009 方法测试数据与 Hg-CEMS 测试数据比对的相对准确度分别为 14.8% 和 51.3%, 采用 EPA 30B 方法测试得到的数据与 Hg-CEMS 监测数据具有更高一致性; EPA 30B 方法测试数据和 HJ543-2009 方法测试数据与 Hg-CEMS 测试数据的平均值依次为 8.77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、7.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  和 8.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 可见采用 EPA 30B 方法测试得到的数据与 Hg-CEMS 监测数据更接近。这可能是由于: 1) HJ543-2009 方法采样过程中采样管未进行伴热, 烟气温度在采样管线中降低导致汞在采样管上凝结、吸附, 使得测量结果偏低; 2) HJ543-2009 方法单次只采集一个样品, 无平行双样质控措施, 无法检验数据精密性; 3) HJ543-2009 方法的典型测定下限为 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 而测试中三种方法测定平均值均小于 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 故 HJ543-2009 方法的准确度难以保证。而 EPA 30B 方法采用固体吸附管前置的方式避免后端采样带来的各种问题, 并且采用平行双样的方式作为每次采样的质控措施, 较好地保证了采样工作的质量。基于对这两种方法测试结果的比较, 认为在对 Hg-CEMS 进行比对监测时, 选择 EPA 30B 方法作为参比方法更为合适。

## 3. EPA 30B 方法与 Hg-CEMS 比对监测实例

### 3.1. 比对监测内容

在 2012 年的燃煤电厂汞试点监测工作中, 对某电厂两台 30 万千瓦燃煤发电机组烟气排口处安装的 Hg-CEMS 的进行了连续 8 个月、每月一次的比对监测, 该电厂有两套美国 Thermo-Fisher 公司生产的烟气 Hg-CEMS 仪器, 一套安装在#1 机组脱硫后烟道断面上, 一套安装在 1#、2#机组共用排气烟囱 60 m 高度断面上。在每次比对监测之前, 美国 Thermo-Fisher 公司派出专门工程师对 Hg-CEMS 仪器进行维护校准。

比对监测的方法是: 在在线监测探头安装的断面位置, 以 EPA 30B 方法分次连续采集 9 次样。经分析计算后, 以有效测试结果与相应时段的 Hg-CEMS 测试值比对, 计算各自的平均值、两个平均值的相

Table 1. Comparison of method of EPA 30B and HJ543-2009 monitoring results with Hg-CEMS's

表 1. EPA 30B 方法和 HJ543-2009 方法与 Hg-CEMS 监测结果比较

方法	频次									X	RA (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
EPA 30B	12.3	7.33	7.90	9.63	8.14	7.99	8.67	9.23	7.73	8.77	14.8
HJ543-2009	8.40	4.63	6.85	6.72	5.92	3.48	15.4	6.78	4.79	7.00	51.3
Hg-CEMS	9.36	7.13	7.89	9.31	7.36	7.73	8.60	8.83	7.26	8.16	/

备注: 1.单位为  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2. X: 测试结果平均值; 3. RA(%): 与 Hg-CEMS 比对的相对准确度。

对误差及两组数据的相对准确度。

### 3.2. 比对监测结果与评价

1#机组脱硫后的 Hg-CEMS 比对监测结果如表 2，1#、2#机组共用烟囱的 Hg-CEMS 比对监测结果如表 3。

**Table 2. Monitoring results comparison of Hg-CEMS at the gasflue behind thionizer for 1# units**

**表 2. 1#机组脱硫后的 Hg-CEMS 比对监测结果**

月份	方法	频次									X	RE (%)	RA (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	EPA 30B	8.24	7.90	/	/	12.6	8.26	6.56	6.46	6.97	8.14	-15.2	37.4
	Hg-CEMS	7.46	7.23	/	/	7.05	7.07	6.15	6.71	6.61	6.90		
2	EPA 30B	8.22	8.84	8.76	8.42	8.09	/	7.10	/	/	8.24	-14.0	17.3
	Hg-CEMS	6.90	7.64	8.05	6.93	7.07	/	5.96	/	/	7.09		
3	EPA 30B	8.60	8.05	8.00	6.77	6.11	6.28	6.53	7.84	7.24	7.27	-24.8	31.2
	Hg-CEMS	5.95	5.80	5.64	5.79	5.10	4.79	4.85	5.54	5.75	5.47		
4	EPA 30B	6.84	7.52	7.22	8.48	7.56	6.90	6.99	6.22	6.40	7.13	-19.5	19.5
	Hg-CEMS	6.09	5.94	6.44	6.45	6.36	6.01	6.45	5.81	5.67	6.14		
5	EPA 30B	6.96	7.23	7.50	6.33	7.10	8.63	7.46	7.10	6.96	7.29	-16.3	19.0
	Hg-CEMS	6.06	6.11	6.46	4.83	5.84	7.07	6.62	5.85	6.06	6.10		

备注：1.单位为  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；2. X：测试结果平均值；3. RA(%)：Hg-CEMS 与 EPA 30B 方法比对的相对准确度 4. RE(%)：以 EPA30B 方法测试平均值为真值，Hg-CEMS 测试平均值的相对误差；5.下同。

**Table 3. Monitoring results comparison of Hg-CEMS in the chimney for 1# and 2# units**

**表 3. 1#、2#机组共用烟囱的 Hg-CEMS 比对监测结果**

月份	方法	频次									X	RE (%)	RA (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	EPA 30B	10.3	10.5	10.4	9.59	10.0	9.33	9.39	9.11	9.32	9.77	5.42	13.2
	Hg-CEMS	11.3	13.1	11.7	9.60	9.61	9.61	9.09	9.54	9.47	10.3		
2	EPA 30B	/	5.60	6.59	6.38	/	6.28	6.24	6.10	6.16	6.19	15.0	18.9
	Hg-CEMS	/	7.06	7.34	7.32	/	7.28	7.12	6.92	6.81	7.12		
3	EPA 30B	6.11	5.76	5.70	5.83	7.09	5.50	/	6.83	6.38	6.15	-18.5	28.1
	Hg-CEMS	4.80	5.10	5.07	5.28	5.08	5.25	/	4.92	4.58	5.01		
4	EPA 30B	6.75	7.75	6.38	6.56	6.32	5.86	6.01	6.06	6.51	6.47	-24.0	27.3
	Hg-CEMS	5.46	5.59	4.83	4.95	4.79	4.63	4.70	4.58	4.75	4.92		
5	EPA 30B	5.74	6.85	5.76	6.67	6.26	6.86	7.26	7.87	7.96	6.8	18.7	24.9
	Hg-CEMS	8.10	8.20	7.69	7.53	7.54	7.99	8.31	8.50	8.81	8.07		
6	EPA 30B	6.47	6.64	6.78	7.04	7.15	6.81	6.99	6.32	6.42	6.74	14.4	18.3
	Hg-CEMS	7.08	8.22	7.51	8.15	8.41	7.57	8.23	7.18	7.02	7.71		
7	EPA 30B	3.26	5.18	4.88	5.00	4.96	4.98	5.30	5.42	5.81	4.98	-11.0	23.8
	Hg-CEMS	4.23	4.17	4.07	3.26	3.72	4.73	4.90	5.74	5.01	4.43		
8	EPA 30B	6.77	7.53	6.20	6.43	6.13	7.84	8.13	6.47	7.88	7.04	-6.68	14.8
	Hg-CEMS	6.47	6.73	6.52	6.44	6.67	6.46	6.61	6.31	6.88	6.57		

当前,我国对 Hg-CEMS 比对监测的评价参考标准只有《固定污染源烟气排放连续监测技术规范(试行)》(HJ/T75-2007)中关于烟气 CEMS 气态污染物的准确度要求:“当参比方法测定烟气中其它污染物排放浓度;相对准确度 $\leq 15\%$ ”;而在 Hg-CEMS 使用相对比较成熟的美国,则对 Hg-CEMS 比对监测的评价标准作了明确的规定[14]:要求在烟气汞浓度  $> 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的情况下,相对准确度  $\leq 20\%$ ,在烟气汞浓度  $\leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的情况下,绝对误差不超过  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

如果参照《固定污染源烟气排放连续监测技术规范(试行)》(HJ/T75-2007)中关于烟气 CEMS 气态污染物的准确度要求对比对监测结果进行评价,则 1#机组脱硫后的 Hg-CEMS 比对合格率为 0%;1#、2#机组共用烟囱的 Hg-CEMS 比对合格率为 25%。

如果参照美国 EPA 相关标准中烟气 Hg-CEMS 的准确度要求对比对监测结果进行评价,则 1#机组脱硫后的 Hg-CEMS 比对合格率为 60%;1#、2#机组共用烟囱的 Hg-CEMS 比对合格率为 62.5%,可见评价标准的不同,对评价结果产生极大影响。

一般认为通过正常的仪器校准与维护以及恰当的质量控制, Hg-CEMS 比对监测合格是可以实现的,这符合企业的利益,也符合环境管理的要求。但是依据我国现有比对监测评价标准, Hg-CEMS 比对监测很难合格。这可能是由于现行标准出台时并未考虑到 Hg 这种污染物的特殊情况,烟气中汞的浓度在  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  标态烟气的水平,相当于烟气中的二氧化硫、氮氧化物等气态污染物约  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  标态烟气的浓度水平的万分之一,以对相对高浓度气态污染物比对监测相当的准确度来要求烟气汞并不合适。而美国 EPA 相关标准中关于 Hg-CEMS 比对监测的评价标准规定得更有针对性,技术指标要求也更切合当前烟气汞自动监测技术的实际水平。

#### 4. 结论及建议

通过对 EPA 30B 方法和 HJ543-2009 方法的数据比对试验,认为 EPA 30B 方法更适合作为 Hg-CEMS 比对监测参比方法。不同评价标准的对 Hg-CEMS 比对监测结果产生极大影响,我国现行 Hg-CEMS 比对监测评价标准针对性较差,不适用燃煤电厂 Hg-CEMS 气态汞浓度比对监测评价。

我国应尽快探索出适合我国国情的燃煤电厂 Hg-CEMS 比对监测参比方法及评价标准。在新的比对监测方法和评价标准出台以前,建议以 EPA 30B 方法作为 Hg-CEMS 比对监测的参比方法,评价时参考 EAP 的相关评价标准。

#### 基金项目

本文受重庆市科学技术委员会资助,项目编号为 2013cstc-jbky-01608。

#### 参考文献 (References)

- [1] AMAP/UNEP (2008) Technical background report to the global atmospheric mercury assessment. Arctic Monitoring and Assessment Programme/UNEP Chemicals Branch, Nairobi.
- [2] Nriage, J.O. and Pacyna, J.M. (1998) Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace elements. *Nature*, **333**, 134-139.
- [3] Zheng, L., Liu, G. and Chou, C. (2007) The distribution, occurrence and environmental effect of mercury in Chinese coals. *Science of Total Environment*, **384**, 374-383.
- [4] Srivastava, R., Hutson, N. and Mriartin, B. (2006) Control of mercury emission from coal-fired electric utility boilers. *Environmental Science & Technology*, **40**, 1385-1393.
- [5] 环境保护部 (2011) GB13223-2011, 火电厂大气污染物排放标准. 中国环境科学出版社, 北京.
- [6] 国家环境保护总局 (2007) HJ/T75-2007, 固定污染源烟气排放连续监测技术规范(试行). 中国环境科学出版社, 北京.
- [7] ASTM D6784-02 (2008) Standard test method for elemental, oxidized, particle-bound, and total mercury in flue gas

generated from coal-fired stationary sources (Ontario-Hydro Method). American Society for Testing and Materials International, Philadelphia.

- [8] EPA (2008) EPA Method 30B, Determination of total vapor phase mercury emissions from coal-fired combustion sources using carbon sorbent traps. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
- [9] 环境保护部 (2009) HJ 543-2009, 固定污染源废气汞的测定冷原子吸收分光光度法. 中国环境科学出版社, 北京.
- [10] 张赢丹, 潘卫国, 周伟国 (2007) 燃煤锅炉汞排放量的测量与分析方法. *上海电力学院学报*, **23**, 328-332.
- [11] 何伯述, 冯戈, 王蕾 (2009) 燃煤电厂汞排放对比试验研究. *应用基础与工程科学学报*, **17**, 765-773.
- [12] 钟犁, 肖平, 江建忠 (2012) 燃煤电厂大气汞排放监测方法分析及试验研究. *中国电机工程学报*, **32**, 158-163.
- [13] 李辉, 王强, 朱法华 (2011) 燃煤电厂汞的排放控制要求与监测方法. *环境工程技术学报*, **1**, 226-231.
- [14] USA GPO (2005) Code of federal regulations 40 protection of environment, Pt. 75, App. A, Note. US Government Printing Office, Washington DC.