

不同烟气含湿量测量方法比较与分析

周灵辉¹ 杨凯² 谢馨¹ 李春红³ 闻欣¹ 叶兵¹ 刘军¹

(1. 南京市环境监测中心站, 江苏 南京 210013; 2. 中国环境监测总站, 北京 100012;
3. 江苏省烟气测量与应用工程技术中心, 江苏 南京 210042)

摘要:探讨准确测量烟气含湿量的方法,采用干湿球法、重量法、阻容法、激光法同步比对测量典型温湿度污染源烟气的含湿量,通过监测结果分析,提出了不同测量方法在实际烟气测量中的准确性和适用性,为准确、规范测定烟气含湿量提供技术依据。

关键词:烟气含湿量;干湿球法;重量法;阻容法;激光法

中图分类号:X830.2 文献标识码:B 文章编号:1006-2009(2012)01-0066-04

Comparison and Analysis of Different Methods for Determination of Fume Humidity

ZHOU Ling-hui¹, YANG Kai², XIE Xin¹, LI Chun-hong³, WEN Xin¹, YE Bing¹, LIU Jun¹

(1. Nanjing Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210013, China; 2. China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China; 3. Flue Gas Measurement and Application Engineering Technology Center of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210042, China)

Abstract: The methods for humidity of flue gas were discussed such as wet-and-dry-bulb thermometer, gravimetric method, resistive and capacitive moisture measurement and laser method synchronously used in a typical emission pipe of flue gas to measure humidity. Based on the results of practical accuracy and applicability of each method, some suggestion was made for providing technical support to determinate humidity in flue gas.

Key words: Flue gas moisture content; Measurement with wet-and-dry-bulb thermometer; Gravimetric method; Resistive and capacitive moisture measurement; Laser method

烟气中污染物的浓度是指在标准状态下干烟气中该物质的含量,烟气含湿量作为重要的烟气参数,在大气污染源监测过程中为必测因子,其准确性与否直接影响排放总量或污染物浓度的计算。

文献[1-2]中规定“排气中水分含量应根据不同的测量对象选用冷凝法、干湿球法或重量法中的一种方法测定。”干湿球法在现场操作相对方便,因此多年来监测时多采用干湿球法监测烟气含湿量,但该方法存在高温高湿烟气测量中测量准确度降低等问题,不能满足监测要求;此外,美国和欧盟均采用重量法作为烟气含湿量的标准方法,测量的结果可参与污染物排放的计算,干湿球法的湿度测量结果不参与污染物排放的计算^[3-7]。

近年来,随着现代微电子、微机械加工、计算机

等技术发展,出现了阻容法、电容法、激光法等多种湿度测量方法,阻容法和激光法目前还不是国家标准方法,主要应用于各类工业现场实时在线监测烟气含湿量。

为了探讨准确测量烟气含湿量的方法,通过选择典型温湿度污染源,采用干湿球法、重量法、阻容法、激光法同步测量各种工况条件下烟气含湿量(湿度),并对各种工况条件下所测数据进行差异分析,分析不同测量方法在实际烟气测量中的准确

收稿日期:2011-02-17;修订日期:2011-12-18

基金项目:中国环境监测总站转型科研基金资助项目(CNEMC-ZXKY2009-011)

作者简介:周灵辉(1971—),女,浙江温岭人,高级工程师,硕士,从事环境监测管理工作。

性和适用性,为准确、规范测定烟气含湿量提供技术依据。

1 试验

1.1 方法原理

1.1.1 干湿球法

污染源领域所用干湿球法通常采用 2 支完全相同的热电偶作为感温元件,分别测量干球温度和湿球温度。干球温度的感温元件处于烟气气流主体中,湿球温度的感温元件用棉纱布包裹,棉纱布与盛水容器相连。将湿球与周围的烟气作为一个系统,不考虑辐射导热。

基于干湿球法原理的含湿量自动测量装置,其微处理器控制传感器测量、采集湿球、干球表面温度及通过湿球表面压力及排气静压等参数,同时由湿球表面温度导出该温度下饱和水蒸气压力,结合输入大气压,根据公式自动计算出烟气含湿量。计算公式见文献[1]。

1.1.2 重量法

由烟道中抽取一定体积的烟气,通过冷凝管组件(冷凝管和 U 形干燥管)吸收的方法,烟气中水分被冷凝管组件吸收,冷凝管组件增加的质量即为已知体积烟气中含有的水分量^[8]。计算公式见文献[1]。

1.1.3 阻容法

阻容法利用湿敏元件的电阻值和电阻率随环境湿度变化的特性,进行湿度测量。阻容式湿度传感器的工作原理为空气湿度改变引起敏感元件阻抗变化的特性。

1.1.4 激光法

半导体激光吸收光谱法测量烟气湿度的原理为利用激光能量被气体分子“选频”吸收形成吸收

光谱测量气体浓度。由半导体激光器发射出特定波长的激光束(仅能被被测气体吸收),穿过被测气体时,激光强度的衰减与被测气体浓度成一定函数关系,因此,通过测量激光强度衰减信息可分析获得被测气体的浓度。

1.2 试验仪器

3012H 型全自动烟尘测试仪和烟气含湿量检测器(青岛崂山应用技术研究);便携式湿度发生器和 MDW-01 重量法烟气水分测量装置(南京埃森环境技术有限公司);HMS545P 便携式阻容法烟气水分仪(南京埃森环境技术有限公司);LGA-4500PA 便携式半导体激光法分析仪(杭州聚光科技有限公司);烟道温度计(美国 FLUKE 公司);空盒气压表(长春气象仪器厂);TES-1366 型温湿度计(台湾泰仕公司)。

1.3 试验过程

烟气含湿量指湿烟气中实际水气压与同温下饱和水气压的百分比,根据干湿球法、阻容法、激光法、重量法等 4 种测量含湿量的原理,含湿量的主要影响因素有烟温、烟气流速、烟气负压、烟气饱和度、环境条件等。根据以上因素,通过分析历年南京工业企业废气排放及不同处理设施温湿度数据变化情况,选取 7 个不同温湿度的典型污染源为研究对象,进行 4 种含湿量测试方法的现场比对测试^[9-12]。每个污染源测点测量 6 组数据,同步测量湿度测量点的烟气参数烟温、烟气流速、烟气动压、静压,对自动监测仪器则统计 5 min~10 min 监测数据的平均值。为了使对比试验具有可比性,当烟道同一断面有 2 个测孔时,将 4 种方法两两同时进行操作;仅有 1 个测孔时,采取 4 种方法交替轮换操作。2010 年测试污染源烟气特征及现场测试环境的条件见表 1。

表 1 典型温湿度污染源烟气特征及现场测试环境
Table 1 Fume features of typical sources and field test condition

污染源	测试日期	现场监测环境			现场监测烟气特征			
		$\theta(\text{环境})/^\circ\text{C}$	RH/%	$p(\text{环境})/\text{kpa}$	$p(\text{动})/\text{pa}$	$p(\text{静})/\text{kpa}$	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$\theta(\text{烟})/^\circ\text{C}$
A	5月19日	25.7	58	100.9	9	2.04	3.6	135
B	5月13日	24.0	47.3	101.7	246	-1.31	19.8	148
C	5月18日	23.4	72.0	100.7	213	-1.69	18.7	150
D	5月11日	25.8	38.1	101.3	165	-1.33	15.3	89.6
E	5月10日	19.9	50.7	101.4	166.7	-7.86	16.1	93.7
F	5月18日	23.2	77.31	101.7	72	-2.06	10.4	77.5
G	5月19日	25.7	58.0	100.9	203	0.41	15.7	53.9

2 结果与讨论

2.1 干湿球法

干湿球法测定污染源 A 时的 6 次测定结果的相对标准偏差达 18.1%, 精密度较差。干湿球法测得的数据与其他 3 种方法没有可比性, 且精密度差, 原因为烟气温度高, 平均达 135 °C, 同时烟气测试点位是正压, 不能保证烟气稳定地通过湿球表面。

干湿球法测定污染源 B—G 时的测定结果的相对标准偏差为 2.1% ~ 8.8%, 精密度均较好。测定污染源 B、D、E、G 时, 干湿球法与激光法、重量法、阻容法等方法测定结果之间的相对偏差较小, 均值相对偏差为 0.3% ~ 6.4%, 表明这 4 种方法所测结果相关性较好。

测定污染源 F 时, 干湿球法、激光法、阻容法测定结果均值间的相对偏差小, 为 1.9% ~ 5.6%, 所测结果相关性较好; 但在测定污染源 C 时, 干湿球法与其他 3 种方法测定结果之间的相对偏差较大, 为 22.1% ~ 24.1%, 干湿球法测得的数据与其他 3 种方法没有可比性, 原因为烟气温度高, 平均达 150 °C。

2.2 重量法

重量法测定污染源 A—G 时的 6 次测定结果的相对标准偏差为 1.2% ~ 5.7%, 精密度均较好。测定污染源 F 时, 重量法与其他 3 种方法测定结果比较相对偏差相对较大, 为 11.1% ~ 16.6%, 这是由于重量法由烟道中抽取一定体积的烟气, 使排气中的水分被吸湿剂吸收, 采样时间视排气的水分含量大小而定, 对于排气中水分含量较小的烟气, 测试时间可适当延长至 25 min。

测定其他污染源时, 重量法与激光法、阻容法测定结果比较相对偏差较小, 为 1.5% ~ 7.0%, 表明所测结果的相关性较好。

2.3 阻容法

阻容法测定污染源 A—G 时的 6 次测定结果的相对标准偏差为 1.5% ~ 5.9%, 精密度均较好。与激光法、重量法等方法测定结果之间的均值相对偏差较小, 为 0.5% ~ 9.0%, 表明所测结果的相关性较好。

2.4 激光法

激光法测定污染源 A—G 时的 6 次测定结果的相对标准偏差为 0.4% ~ 4.0%, 精密度均较好。与阻容法、重量法等方法测定结果之间的均值相对

偏差比较小, 为 0.4% ~ 9.0%, 表明所测结果的相关性较好。

不同方法对 7 种典型污染源的湿度测定得出如下结果:

(1) 激光法、重量法、阻容法测定不同典型污染源湿度结果的精密度较好, 分别为 0.4% ~ 4.0%、1.2% ~ 5.7%、1.5% ~ 5.9%。激光法、重量法、阻容法测定不同典型污染源烟气湿度结果的相关性较好, 能较准确获得监测数据。

(2) 干湿球法测定烟温在 100 °C 以下烟气的湿度结果与其他 3 种方法相关性均较好, 能较准确获得监测数据。

(3) 干湿球法测量 100 °C 以上烟气的湿度准确度差; 测量正压烟气, 测定结果精密度和准确度均较差。

(4) 当烟气湿度较低时, 重量法测定可适当延长测试时间至 25 min, 以增加冷凝管中排气的水分质量。4 种测定方法对不同污染源湿度测量结果见表 2, 对比分析见图 1。

表 2 不同污染源 4 种测定方法湿度测量结果对比分析
Table 2 Comparison and analysis of fume humidity results for different sources with four methods

污染源	统计结果	干湿球法	重量法	阻容法	激光法
A	均值 / %	14.3	8.88	8.62	9.21
	标准偏差	2.59	0.32	0.27	0.03
	相对标准偏差 / %	18.1	3.6	3.1	0.4
B	均值 / %	7.0	7.04	6.81	7.28
	标准偏差	0.33	0.16	0.10	0.19
	相对标准偏差 / %	4.6	2.3	1.5	2.6
C	均值 / %	7.8	4.77	4.93	4.98
	标准偏差	0.69	0.06	0.18	0.11
	相对标准偏差 / %	8.8	1.2	3.6	2.2
D	均值 / %	8.85	9.81	9.51	8.63
	标准偏差	0.37	0.13	0.15	0.35
	相对标准偏差 / %	4.2	1.4	1.6	4.0
E	均值 / %	6.1	5.77	5.54	6.63
	标准偏差	0.16	0.33	0.33	0.11
	相对标准偏差 / %	2.6	5.7	5.9	1.7
F	均值 / %	3.3	2.36	3.18	2.95
	标准偏差	0.08	0.08	0.07	0.11
	相对标准偏差 / %	2.5	3.5	2.1	3.6
G	均值 / %	13.4	15.1	14.6	13.5
	标准偏差	0.29	0.29	0.55	0.41
	相对标准偏差 / %	2.1	1.9	3.8	3.0

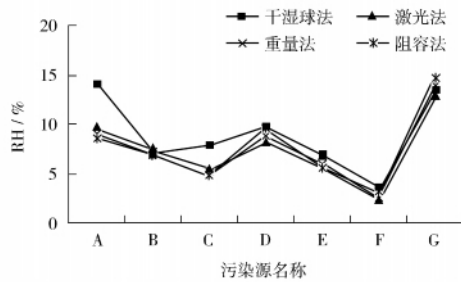


图 1 四种测定方法对不同污染源湿度测量平均结果对比分析

Fig. 1 Comparison and analysis of average fume humidity test values for different sources with four methods

3 结论

(1) 干湿球法能较准确测定烟温在 100 °C 以下烟气的含湿量,但测量烟温较高烟气的含湿量准确度较差,且不适合测量正压烟气。现场测试条件往往复杂,干湿球法对监测断面要求较高,烟道外部套管较长,烟道管壁较厚的测孔,垂直烟道等均能影响测量结果。

(2) 重量法原理成熟,现场多工况的测试均表现稳定,测定结果重现性、准确性均较高,在低湿情况下适当延长采样时间保证冷凝管中一定的水分质量,适合用于精确度要求较高的执法监督测量。重量法监测无法在现场获取监测数据,数据的实效性较差;仪器结构复杂,携带不方便,对监测平台较高或较小的现场无法实施监测。

(3) 阻容法和激光法目前还不是国家标准方法,但测定不同典型污染源湿度结果的精密度和准确度均较好,测量过程中仪器工作较稳定。阻容法和激光法监测仪器结构紧凑,携带方便,可以显示

实时读数,并带有存储器,适用于在线监测,可在今后工作中推广使用。

[参考文献]

- [1] 国家环境保护局. GB/T 16157-1996 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [2] 国家环境保护总局. HJ/T397-2007 固定源废气监测技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [3] US Environment Protection Agency. EPA Method 4: Determination of moisture content in stack gases[S]. Washington DC: US EPA Press, 1994.
- [4] US Environment Protection Agency. EMC ALT-008: Alternative method moisture midget impingers[S]. Washington DC: US EPA Press, 1994.
- [5] Beuth Verlag GrmbH. DIN EN 14790:2006-04(E) Stationary source emissions-determination of the water vapour in ducts[S]. Berlin: DIN-Normen, 2006.
- [6] ASTM. E337-02(2007) Standard test method for measuring humidity with a psychrometer (the Measurement of Wet-and Dry-Bulb Temperatures)[S]. West Conshohocken, PA, United States: ASTM international, 2007.
- [7] ASTM. Oregon Method 4: (wet bulb/ dry bulb) "Determination of moisture content of stack gases" Alternate method[S]. West Conshohocken, PA, United States: ASTM international, 1994.
- [8] 田毅. 湿度测量标准——重量法湿度计[J]. 山西科技, 2007, 22(2): 143-144.
- [9] 刘从平. 燃煤锅炉烟气含湿量的探讨[J]. 中国环境监测, 1999, 15(3): 30-33.
- [10] 左斌祥, 潘建明. 皮托管平行测速法烟气监测方法的改进[J]. 中国环境监测, 2005, 21(6): 50-52.
- [11] 王春江, 喻义勇. 燃油锅炉与燃煤锅炉大气污染物种类调查[J]. 环境监测管理与技术, 2003, 15(4): 26-27.
- [12] 喻光华, 马继富. TH-880 III型微电脑烟尘平行采样仪的特点及问题[J]. 环境监测管理与技术, 2000, 12(1): 40.

· 简讯 ·

2011 年 10 大国际环境新闻

- (1) 日本强震引发海啸与核泄漏全球重新审视核能发展;
- (2) 非洲之角遭遇 60 年来最严重旱灾极端气候及粮食危机等问题成为焦点;
- (3) 德班气候大会一揽子决议艰难降生《京都议定书》几经起伏后峰回路转;
- (4) 硫丹等农药被列入国际公约化学品安全防线进一步巩固;
- (5) 欧盟将航空业纳入碳排放交易系统首开征收航空行业碳排放费之门;
- (6) 《巴塞尔公约》修正案有新进展控制危险废物越境转移迈出重要一步;
- (7) 《国际防止船舶污染公约》两修正案生效南极海域船舶或更换轻型燃料;
- (8) 日本就可再生能源回购电价计划起诉加拿大成为 WTO 有关气候问题第一案;
- (9) 德国拟于 2022 年前关闭所有核电站成全球首个弃核国家;
- (10) 澳大利亚通过碳税法案或对资源行业产生重要影响。

摘自 www.jshb.gov.cn 2012-01-31