

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.020

超洁净排放下低浓度烟尘采样方法的优化

陈俩¹, 蔡萱¹, 张莹¹, 许超¹, 陈双²

(1. 国网湖北省电力公司电力科学研究院, 武汉 430077; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 随着超洁净排放概念的提出, 火电机组烟尘排放浓度越来越低, 相应的检测难度也随之越来越大。为了提高采样与测试精度, 通过对不同采样嘴大小与不同采样时间之间的比对测试, 计算不同采样体积下的测试偏差, 以寻求可行的优化方法。结果表明, 可以通过加大采样嘴直径及延长采样时间两种手段对原有烟尘采样方法进行优化来提高采样体积, 当采样体积达到 2 m³ 以上时, 可以有效提高采样与测试结果的精度。研究可以为我国建立低浓度烟尘采样测试标准提供一定的借鉴。

关键词: 超洁净排放; 低浓度烟尘; 烟尘采样方法; 采样嘴

中图分类号: X831

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0105-04

Dust Sampling Method Optimization at Low Concentration of Super Low Emission

CHEN Lia¹, CAI Xuan¹, ZHANG Ying¹, XU Chao¹, CHEN Shuang²

(1. State Grid Hubei Electric Power Research Institute, Wuhan 430077, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: With the concept of super low emission, the dust testing has got more difficult as the lower and lower concentration of power plant dust emission. In order to improve the accuracy of sampling and testing, we carried on comparison tests between different sampling mouth size and different sampling time, calculated the test deviation under different sampling volume, to find out a feasible optimization method. The results show that conventional dust sampling method can be optimized by increasing the sampling mouth diameter or prolonging the sampling time to increase sampling volume, when the sampling volume reached to more than 2m³, the accuracy of sampling and test results can be effectively improved. This work provides some reference for the establishment of low concentration dust sampling and testing standard in our country.

Key words: super low emission; dust at low concentration; dust sampling method; sampling mouth

近年来, 随着大气环境污染问题的日益突出, 作为大气主要污染源之一的燃煤电厂再次被推向了工业污染治理的风口浪尖。“超洁净排放”、“超低排放”也由此逐渐成为了当今热门话题。2014年9月12日, 国家发展改革委、环保部、能源局联合印发了《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》, 对燃煤机组大气污染物排放给出了明确限值, 即在基准氧含量 6% 条件下, 烟尘、SO₂、

NO_x 排放浓度分别不高于 10、35、50 mg/m³。《行动计划》还提出, 到 2020 年东部地区现役的机组通过改造基本达到燃气轮机排放限值的要求(烟尘、SO₂、NO_x 排放限值分别为 5、35、50 mg/m³)。在现有的环境形势和国家政策的推动下, 除尘技术得到了迅猛的发展, 但同时也给我国现有的烟尘测试技术带来了严峻的挑战。

1 我国现有的烟尘采样方法与采样设备

目前, 我国现有的烟尘检测技术主要是采用“等速采样 + 过滤称重”法, 即通过等速采样的方法, 抽取一定体积的烟气, 将过滤装置收集到的粉

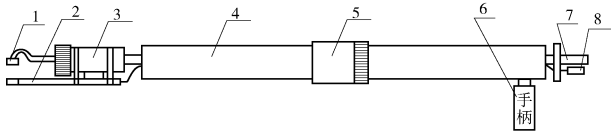
收稿日期: 2016-08-03

作者简介: 陈俩(1981), 男, 福建漳州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力环保技术服务与研究(e-mail) lia-chen@163.com。

尘进行称重,从而换算得到烟气中的烟尘浓度值,该方法是固定源烟尘测试的标准方法^[1]。近年来,被普遍采用的烟尘采样设备主要是微电脑烟尘平行采样仪。其原理是通过采样枪前端的皮托管实时检测各测点的烟气动压,仪器自动计算烟气流速,再通过自动调节抽气泵实时调整抽气流速以实现等速跟踪采样。仪器通过微电脑自动记录采样气体体积、烟气流速、跟踪速率等参数。采样枪前端还有装有正对烟气来向的采样嘴,烟尘进入采样嘴后通过玻璃纤维滤筒进行过滤捕集。最后通过滤筒的增重和采样体积来计算烟尘浓度。该设备在多年来的实际应用中由于自动化程度高,操作简便而被普遍认可。

然而,现如今烟尘排放浓度越来越低,再加上脱硫装置出来的烟气温度低,湿度大等特点,通过微电脑烟尘平行采样仪与玻璃纤维滤筒进行采样时,经常因为滤筒装卸时的破损或污染而影响采样结果的准备性。

为了克服滤筒装卸时所受的的人为因素的影响,各设备生产商针对低浓度烟尘的采样研制了新型的滤膜式低浓度采样枪(其整体结构与普通采样枪的区别见图1和图2)。该采样枪的采样嘴由弯头采样管、玻璃纤维滤膜、不锈钢滤网以及中空锥形铝铂圈组成。其采样头、滤膜、滤网是一体的,在采样前后一起烘干,一起称重,避免了人为污染。相比普通的滤筒式采样枪,在排放浓度较低的烟尘采样中,低浓度采样枪采样过程更简便,工作效率更高,采样精度更好^[2]。然而也有研究表明,滤膜对高湿度烟尘的捕集效率有限,容易造成采集烟尘浓度偏低^[3]。

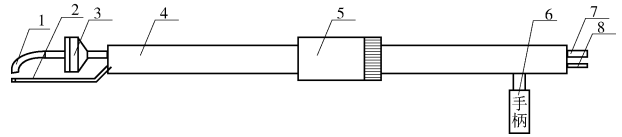


注: 1——采样嘴; 2——测压皮托管; 3——滤筒腔; 4——采样枪固定外套; 5——采样枪加长活接; 6——手柄; 7——采样软管接口; 8——皮托管软管接口。

图1 普通滤筒式烟尘采样枪整体结构

Fig. 1 Structure chart of normal dust sampling gun by filter cartridge

目前,我国尚未出台专门针对低浓度烟尘测试的标准和方法^[4],仅国际标准化组织(ISO)与美国材料测试协会(ASTM)分别发布了专门针对低浓度



注: 1——采样嘴; 2——测压皮托管; 3——采样嘴压盖与采样管的连接体; 4——采样枪固定外套; 5——采样枪加长活接; 6——手柄; 7——采样软管接口; 8——皮托管软管接口。

图2 滤膜式低浓度烟尘采样枪整体结构

Fig. 2 Structure chart of low concentration dust sampling gun by filter membrane

烟尘的测试标准和方法: ISO 12141—2002《手工重量分析法测量固定污染源排放的低浓度颗粒物(烟尘)的质量浓度》^[5], ASTM D6331—13《测定固定污染源排放的低浓度颗粒物质量浓度的试验方法(手工重量分析法)》^[6]。我们可以借鉴这两个标准,对现有的烟尘采样方法进行优化,以满足低浓度烟尘测试精度的要求,同时又能保证对高湿度烟尘的捕集效率。

2 低浓度烟尘采样方法优化

结合 ISO 12141—2002 和 ASTM D6331—13 两个标准可以发现提高低浓度烟尘采样精度主要是通过两种方法来实现,一个是在常规采样速率下延长采样时间,另一个是在常规采样时间内提高采样速率。根据《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》(GB/T 16157—1996)中标准状态下干排气采气体积的计算公式(公式(1))可以发现无论是延长采样时间还是提高采样速率,最终目的都是为了保证足够的采气体积,从而保证足够的烟尘采样量来提高采样精度。而采样速率(采样流量)是由采样流速与采样嘴大小决定的(公式(2)),其中采样流速取决于烟气流速而无法人为提高,因此只能通过加大采样嘴直径来提高采样速率。

$$V_{nd} = 0.27 Q_r \sqrt{\frac{B_a + P_r}{M_{sd}(273 + t_r)}} t \quad (1)$$

式中: V_{nd} 为标准状态下干采气体积, L; Q_r 为采样流量, L/min; B_a 为大气压力, Pa; M_{sd} 为干排气气体分子量, kg/kmol; P_r 为流量计前气体压力, Pa; t_r 为流量计前气体温度, °C; t 为采样时间, min。

$$Q_r = \frac{\pi d^2 V_r}{4} \times 60 \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中: Q_r 为采样流量, L/min; d 为采样嘴直径, mm; V_r 为采样流速, m/s。

综上所述, 在现有采样方法的基础上, 可以通过加大采样嘴直径和延长采样时间两个优化手段来提高低浓度烟尘的采样精度。

3 采样嘴直径与采样时间的选取

根据原有采样经验, 采样嘴直径一般选取 6~8 mm^[7], 但是这已远远无法满足现在低浓度烟尘采样精度的要求。为此, 本文分别选取了 8 mm、10 mm、12 mm 三种不同大小的采样嘴, 在同一烟道断面进行比对测试。同时, 考虑到采样时间对采样精度的影响, 在不同的采样嘴直径下又分别选取了 15 min、30 min、45 min 三种不同采样时长进行比对测试。每组测试分别进行 3 次平行采样。测试断面为某电厂脱硫装置出口(烟囱入口)烟道。该电厂刚刚进行了除尘器和脱硫装置的升级改造, 设计脱硫出口烟尘浓度 <5 mg/m³。考虑到滤膜对高湿烟尘捕集效率的影响, 本次测试所用设备仍选用传统的微电脑烟尘平行采样仪与滤筒式烟尘采样枪。测试结果见表 1 至表 3。

由表 1 至表 3 可以看出, 在低浓度烟尘条件下, 采用 8 mm 的采样嘴采样时由于采样速率低, 无法采集足够的烟气体量, 从而使得捕集的烟尘量极低, 采样结果存在很大的偏差。只有采用大直径采样嘴, 并延长采样时间, 使烟气采样体积达到 2 m³ 以上才能捕集到足够的烟尘量, 有效保证采样的平行性。

表 1 不同采样时间烟尘浓度测试结果(采样嘴直径 8 mm)

Tab. 1 Dust concentration testing result at different sampling time (diameter of sampling mouth was 8 mm)

| 采样时间 | 滤筒增重/g | 标干采气量/L | 烟尘浓度/(mg·m ⁻³) | 相对标准偏差/% |
|--------|---------|---------|----------------------------|----------|
| 15 min | 0.001 3 | 530.0 | 2.45 | 93.23 |
| | 0.000 4 | 539.0 | 0.74 | |
| | 0.000 2 | 536.0 | 0.37 | |
| 30 min | 0.004 6 | 1 067 | 4.31 | 41.06 |
| | 0.005 9 | 1 071 | 5.51 | |
| | 0.002 4 | 1 069 | 2.24 | |
| 45 min | 0.006 6 | 1 597 | 4.13 | 12.75 |
| | 0.008 4 | 1 600 | 5.25 | |
| | 0.007 0 | 1 595 | 4.39 | |

表 2 不同采样时间烟尘浓度测试结果(采样嘴直径 10 mm)

Tab. 2 Dust concentration testing result at different sampling time (diameter of sampling mouth was 10 mm)

| 采样时间 | 滤筒增重/g | 标干采气量/L | 烟尘浓度/(mg·m ⁻³) | 相对标准偏差/% |
|--------|---------|---------|----------------------------|----------|
| 15 min | 0.001 5 | 829.0 | 1.81 | 62.83 |
| | 0.004 3 | 823.0 | 5.23 | |
| | 0.001 7 | 825.0 | 2.06 | |
| 30 min | 0.007 0 | 1 658 | 4.22 | 16.35 |
| | 0.006 5 | 1 656 | 3.93 | |
| | 0.008 8 | 1 655 | 5.32 | |
| 45 min | 0.010 2 | 2 484 | 4.11 | 3.36 |
| | 0.010 9 | 2 488 | 4.38 | |
| | 0.010 4 | 2 486 | 4.18 | |

表 3 不同采样时间烟尘浓度测试结果(采样嘴直径 12 mm)

Tab. 3 Dust concentration testing result at different sampling time (diameter of sampling mouth was 12 mm)

| 采样时间 | 滤筒增重/g | 标干采气量/L | 烟尘浓度/(mg·m ⁻³) | 相对标准偏差/% |
|--------|---------|---------|----------------------------|----------|
| 15 min | 0.005 4 | 1 192 | 4.53 | 39.18 |
| | 0.002 3 | 1 191 | 1.93 | |
| | 0.004 5 | 1 192 | 3.77 | |
| 30 min | 0.010 6 | 2 385 | 4.44 | 3.54 |
| | 0.009 9 | 2 384 | 4.15 | |
| | 0.010 1 | 2 386 | 4.23 | |
| 45 min | 0.015 9 | 3 577 | 4.44 | 2.56 |
| | 0.015 4 | 3 575 | 4.31 | |
| | 0.0151 | 3 573 | 4.23 | |

对不同采样嘴直径在不同采样时间下的测试结果偏差做曲线图如图 2 所示, 可以明显看出当采用 10 mm 直径的采样嘴采样时, 采样时间需延长至 45 min 才能使采样结果有较好的平行性, 得到较高的测试精度。而当采样嘴直径增至 12 mm 时, 采样时

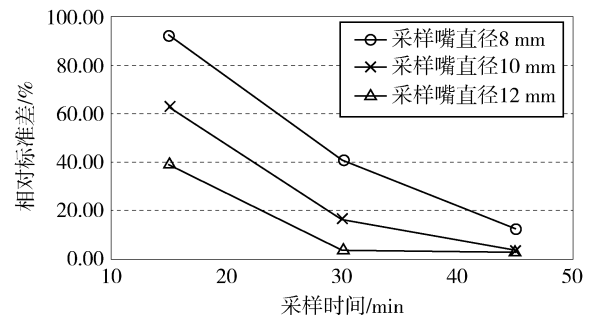


图 3 不同采样嘴直径在不同采样时间下的测试结果偏差

Fig. 3 Testing result deviations at different sizes of sampling mouth and different sampling time

间只需延长至 30 min 就能达到同样的测试精度。考虑到现场测试时,受负荷调度的影响,测试时间越短越好,建议在采样仪能够保证足够的抽气速率的前提下,在低浓度烟尘采样时尽可能的选用大直径采样嘴,以提高测试精度。当抽气泵无法达到足够的抽气速率时,则需延长采样时间来保证测试精度。

4 结论

在我国尚无专门针对低浓度烟尘采样测试的标准的条件下,本文通过对原有烟尘采样方法进行优化来提高低浓度烟尘测试精度,取得了一定的成效,得到结论如下:

1)采用增大采样嘴直径和延长采样时间两种方法来优化低浓度烟尘采样,使烟气采样体积达到 2 m³ 以上时,可以保证采样结果的有效性,提高低浓度烟尘的测试精度。

2)对于高湿度的烟尘,当采用传统的滤筒式采样枪时,由于烟气中水分含量大,烟气采样体积也不宜无限增大,否则容易因滤筒过湿而破损,导致采样失败。

3)采样前,应对采样枪的滤筒腔进行充分擦拭,以免污染滤筒影响测试结果,同时也可以避免湿滤筒在腔壁上粘连。

参考文献:

[1] 国家环境保护总局. 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法: GB/T 16157—1996 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
State Environmental Protection Administration. The determination of particulates and sampling methods of gaseous pollutants from exhaust gas of stationary source: GB/T 16157—1996

[S]. Beijing: China Environment Science Press, 1996.

- [2] 邓学峰, 王卓, 王振. 低浓度采样枪与普通采样枪在低浓度烟尘采样中的比较 [J]. 环境研究与监测, 2013, 26(4): 64-65.
DENG X F, WANG Z, WANG Z. Comparison between low concentration sampling gun and normal sampling gun during low concentration dust sampling [J]. Environment Research and Test, 2013, 26(4): 64-65.
- [3] 宗叶平. 火电厂超低浓度烟尘监测方法探讨 [J]. 山东工业技术, 2014, 19(2): 198.
ZONG Y P. Study on dust testing method at super low concentration for power plant [J]. Shandong Industrial Technology, 2014, 19(2): 198.
- [4] 姚宇平, 刘含笑, 朱少平. 燃煤电厂低浓度烟尘测试方法探讨 [J]. 环境工程, 2015, 33(10): 139-142.
YAO Y P, LIU H X, ZHU S P. Study on particulate matter gravimetric method at low concentration for coal-fired power plant [J]. Environmental Engineering, 2015, 33(10): 139-142.
- [5] International Organization for Standardization. Stationary source emissions-determination of mass concentration of particulate matter(dust) at low concentrations-manual gravimetric method: ISO 12141—2002 [S]. Switzerland: International Organization for Andardization, 2002.
- [6] ASTM. Standard test method for determination of mass concentration of particulate matter from stationary sources at low concentrations(manual gravimetric method): D6331—2016 [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2016.
- [7] 胡蕴明, 孙艳娟. 预测流速法烟尘采样中采样嘴的选择及采样流量的计算 [J]. 四川环境, 1999, 18(2): 35-37.
HU Y M, SUN Y J. Sampling nozzle selection and sampling flow calculation of predicted flow velocity in fume Sampling [J]. Sichuan Environment, 1999, 18(2): 35-37.

(责任编辑 高春萌)

(上接第 104 页 Continued from Page 104)

[3] IAEA. IAEA 技术报告 No. 116: 放射性废物的沥青固化 [R]. 王宝贞, 邵刚, 译. 北京: 原子能出版社, 1976: 17.
[4] 郭志敏. 沥青固化处理放射性废液的过程应用 [M]. 北京: 原子能出版社, 2009: 24.
[5] 郭志敏. 放射性固体废物处理技术 [M]. 北京: 原子能出版

社, 2007: 202.

- [6] 顾忠茂. 核废物处理技术 [M]. 北京: 原子能出版社, 2009: 286.

(责任编辑 高春萌)