

燃煤烟气低浓度粉尘排放测试的研究

Studies on low concentration of dust emission test in coal-fired flue gas

杨丁 陈威祥 郑芳

(福建龙净环保股份有限公司 工业烟尘净化国家地方联合工程研究中心 福建 龙岩 364000)

摘要: GB/T 16157-1996 中推荐的采样测试方法,仅适用于颗粒物浓度高于 50 mg/m^3 的固定污染源采样。伴随着排放标准的提高,污染物控制技术与工艺日趋完善,部分示范工程颗粒物排放在线数据显示低于 1 mg/m^3 ,沿用原方法采样经常出现样品失重现象,从而无法得到烟气中真实的低浓度粉尘排放浓度。经多次试验研究,通过采用一体式低浓度采样头和大流量采样泵,增加采样体积、预留空白样、选用优质滤膜、对采样枪进行伴热改造等措施,针对低浓度排放测试的准确性和可靠性得到很大的提高,该法已在实际工程上得到应用,为我国颗粒物低排放测试技术的规范与成熟提供借鉴。

关键词: 低浓度; 粉尘; 测试

Abstract: The traditional testing method mentioned in GB/T 16157-1996 only apply to stationary source with more than 50 mg/m^3 particulate concentration. Pollution control technologies and processes are maturing with the strict emission standards, the online data of some demonstration projects show the emissions of particulate are less than 1 mg/m^3 . There are often occurring weightlessness phenomenon if following the traditional testing methods, thus it cannot get real concentration of dust emission in flue gas. Through repeated experiments and practice, the weightlessness problem can be effectively solved by using one-piece sampling-head and high flow sampling pump, increasing the sampling volume, reserving blank samples, choosing high-quality filter membrane and heating sampling gun, and the accuracy and reliability have been greatly improved. The method has been applied in practical engineering, provided reference for practical engineering.

Key words: low concentration; dust; test

中图分类号: X701.2

文献标识码: B

文章编号: 1674-8069(2015)05-028-04

0 引言

为控制燃煤电站污染物排放总量,改善环境,我国对燃煤烟气净化的标准日益提高,新的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011)规定,燃煤锅炉烟尘排放浓度要小于 30 mg/m^3 ,重点地区小于 20 mg/m^3 ^[1],国家发改委2014年发布了关于《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020年)》的文件^[2],重点地区的排放标准已严于发达国家。

相对于美国等发达国家,目前我国颗粒物检测方法相对单一,美国对固定源颗粒物的测定方法包括 EPA method 5、EPA method 17 及 EPA method 202,其测试对象包括固定源排放烟气的 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 等^[3-5]。我国对固定源颗粒物的采样方法主要体现在《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)中规定对总颗粒物(TSP)的测定,该标准与美国 EPA method 17 基本相同,但该法仅适用于颗粒物浓度高于 50 mg/m^3 的固定污染源,当颗粒物浓度低于 50 mg/m^3 时误差较大^[6]。伴随污染物排放标准的日趋严格,对应的控制设施与手段越来越先进,从工艺路线来看,为达到污染物的低排放,部分燃煤电站在湿法脱硫后配备了湿式电除尘器^[7-8],颗粒物排放在线数据显示低于 1 mg/m^3 。颗粒物超低排放测量技术已经成为制约我国颗粒物减排的瓶颈问题。

经过多年的发展,国内外开发了多种粉尘浓度测试方法:一种是先把粉尘沉降下来后进行测量的直接取样法,如称重法;另一种是间接取样法,从待测区中取出部分具有代表性的样品送入分析测量系统测量粉尘浓度的方法,如浊度法、激光散射法、电

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2013AA065004)

荷法等。称重法是颗粒物质量浓度测定的一种基本方法,其比较简单,以规定的流量进行采样,将烟气中漂浮的颗粒物捕集到高性能滤膜或滤筒上,称量采样前后的质量差即为粉尘颗粒质量。其优点在于可获得烟尘绝对质量浓度,测量的数据比较可靠。该方法的缺点是测量的过程较长且繁杂,但采用其他方法进行测量的时候,称重法仍是固定源烟尘排放的基准方法^[9]。

本文着重研究一种针对低浓度粉尘排放测试的方法,在传统的采样测试方法上进行多方面改进,并已在多个除尘脱硫设备上得到应用,为新的工程技术提供准确的数据支持,为我国颗粒物低排放测试技术的规范与成熟提供借鉴。

1 传统的烟尘采样方法

传统的烟尘采样方法主要采用滤筒采样天平称量的方式,采样装置如图 1 所示。参考《电除尘器性能测试方法》(GB/T 13931 - 2002),在管道等处用等面积圆盘法^[10-12]选择合适的采样点进行等速采样,采样后记录采样体积、温湿度及压力,并对滤筒进行烘干称重等处理。

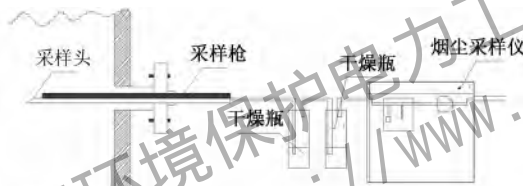


图 1 传统烟尘采样系统

传统的烟尘采样方法在开展低浓度粉尘排放的测试时存在诸多不足之处,如采样时间过长、滤筒破损损失重、采样嘴有残留等,为保证测试数据的准确性,需加以改进。

2 应对低浓度粉尘排放测试的方法

针对电厂粉尘的测试位置从干式电除尘器出口转移到湿式电除尘器出口,同时颗粒物浓度从原有的 50 mg/m³ 以上降低到 10 mg/m³,传统的烟尘采样方法已不能满足低浓度粉尘排放对测试的要求,结合现场测试经验和相关资料,对传统烟尘采样方法进行一系列的改进。

2.1 采用一体式低浓度采样头

传统的采样方法是采样头与采样嘴分开的形

式,如图 2(a) 所示,采样后将采样头内的滤筒取出烘干称重,粉尘颗粒容易残留在采样头上,造成粘附损失。当烟尘浓度较高时,粘附在采样头内壁表面的细颗粒物占全部尘量的比例较小。但是,当烟尘浓度较低时,粘附的粉尘,很大程度的增大测试误差,甚至得到错误的结果^[13-15]。

改进后的低浓度采样枪头采用采样头与采样嘴一体化的形式,如图 2(b) 所示,采样后采样嘴与滤膜一起进行烘干称量,避免粘附损失,同时也减少采样头与采样嘴之间的漏气现象,降低测试误差。



图 2 两种采样装置对比

2.2 采用优质滤膜进行测试

如图 2 所示,从体积和质量上考虑,滤筒比滤膜大很多,单个滤筒的质量约为 1 g,而一张滤膜的质量约 0.08 g。样品在携带运输过程中容易产生碰撞,使滤筒、滤膜表面细微纤维掉落,影响测试结果。经多次现场试验,采用优质进口滤膜能明显的提高样品的平行性和测试的准确性。

2.3 增加采样体积

由于粘附损失和携带运输损失等因素的存在,低浓度粉尘排放的测试不可避免的存在误差。按相对误差 3% 考虑,计算所需采样体积如表 1 所示。

表 1 不同采样方法所需采样体积

项 目	传统采样方法	低浓度采样方法
粘附损失/mg	0.5 ~ 2.0	0
携带碰撞损失/mg	3.0	0.3 ~ 0.5
损失重量(绝对误差)/mg	3.5 ~ 5.0	0.3 ~ 0.5
粉尘采集总量/mg	116.7 ~ 166.7	10 ~ 16.7
假设粉尘排放浓度/mg · m ⁻³	5.0	5.0
烟气采集体积/m ³	23.3 ~ 33.3	2.0 ~ 3.3

如表 1 所示,不考虑称量前后环境差异及天平精度影响的情况下,传统的烟尘采样方法,为控制测试的相对误差,采集的烟尘体积需达到 23.3 m³,按

照采样流量 20 ~ 35 L/min 进行计算,累计采样时间大于 12 h。若采用改进后一体式的采样方法,所需采样体积为 2.0 ~ 3.3 m³,采样时间最大 3 h。若考虑至少三组平行样,则采用滤膜法是较为可行的。在核算的基础上经过多次试验研究,针对低浓度粉尘排放测试需要,建议采样体积增大到 3.3 m³ 以上,如果现场测试负荷和条件允许,应尽可能的增大采样体积,减小相对误差。

2.4 采用大流量采样泵

为保证能采集到足够粉尘,必须增大采样体积。若根据传统采样思路,采样流量为 20 ~ 35 L/min,每个样品采样时间需 3 h,三组平行样则需 9 h,对于固定源变化多样的工艺条件,无法恒定的保证采样时间内工艺稳定,采样的准确性大打折扣^[13]。

经过细致的筛选,在考虑系统的轻便性、流量、压力与功率等多种条件后,我们定制了适合低浓度采样的采样装置,采样流量可达 100 L/min,与原装置相比,节省至少一倍的采样时间,满足现场测试条件需要。为了保证测试的准确性,选用大流量采样泵的同时,必须保证等速采样,改进后的采样系统选直径大于 8 mm 的采样嘴,通过流速跟踪系统,保证采样流速与烟气流速一致,减少误差。

2.5 增加空白样进行对比

受环境温湿度以及分析天平精度的影响,同一个样品在不同环境下,或不同的分析天平进行称量,其结果往往会有 ±0.5 mg 的偏差。就高浓度粉尘排放测试而言,±0.5 mg 偏差对测试结果的影响不大,但对于低浓度粉尘排放测试,影响非常明显。这就需要空白样进行对比校核,即在称取样品初重和终重时,放入若干个同批次的空白滤筒一起称重,对比前后两次多个空白样的重量差,取其平均值,以此来修正测试结果。由于滤膜在携带运输过程中因碰撞会损失一定的重量,所以应用同批次的样品进行空白样对比分析^[16]。通过多次的对比试验表明,采取空白样品对比校核是很有必要的。

2.6 其他

由于低浓度粉尘采样过程中烟气往往具有较高的含湿量。高湿烟气随着采样管路温度的逐步降低,容易在采样管内冷凝,在滤膜拆卸时,易造成冷凝水倒流冲刷滤膜,造成滤膜表面的粉尘损失。为避免这一情况的发生,经研究与试验,对采样枪进行伴热改造,防止烟气在管内冷凝,可以有效的提高测

试样品的平行性和准确性。除此之外,还应确保采样系统的气密性,以及严格规范的操作。

2.7 总结

对比传统烟尘采样方法和改进后的低浓度采样方法,考虑改进前后粘附损失、运输过程损失、温湿度影响及采样时间、体积等因素对测试可行性和准确性的影响,分析结果见表 2。假设采样体积为 3000 L,烟尘排放的浓度为 8 mg/m³,则理论上采集到的粉尘质量为 24 mg。

表 2 针对低浓度排放测试改进前后影响因素对比

项 目	传统 采样方法	低浓度 采样方法	改进措施
粘附损失/mg	0.5~2	0	采用一体式
漏气量/L·min ⁻¹	0~5	0	低浓度采样头
天平及温湿度影响/mg	±1.0	0	增加空白样对比
运输过程损失/mg	0~3	0~0.3	采用优质滤膜
采样体积/L	3000	3000	
采样流量/L·min ⁻¹	20~35	60	采用大流量泵
采样时间/min	86~150	50	缩短采样时间

从表 2 可以看出,改进后的低浓度测试方法,在缩短采样时间的同时有效地控制了相对误差,保障了现场测试的可行性和结果的准确性。

3 工程应用

某火电厂湿法脱硫后配套 WBE210/1-2 湿式电除尘器,2014 年 11 月投运。其主要设计参数如下:处理烟气流量为 1487000 m³/h(标准状态值,下同),烟气温度 50℃,入口烟尘浓度 15 mg/m³,出口烟尘浓度(含石膏) < 3 mg/m³。

当机组满负荷运行时,通过采用大流量采样泵、加长采样时间来增加采样量,以及采用低浓度采样枪、优质滤膜、空白样对比等多种措施,对湿式电除尘器出口的含尘浓度进行测试,结果如表 3 所示。

从表 3 可知,第一个样品采集 50 min,采样体积只有 1032.5 L,加上空白样后还出现失重现象;当延长采样时间,增加采样量,使采样体积大于 2700 L,三个样品的粉尘净重分别为 5.9、6.0、4.7,含尘浓度分别为 1.9、2.2、1.7 mg/m³,平均为 1.9 mg/m³,相对标准偏差只有 0.13。试验证明通过改进后的低浓度粉尘排放测试方法,保证了样品的平行性,减

小了测试误差,对湿态烟气超低颗粒物浓度测试是非常有效的。

表 3 某火电厂湿式电除尘器出口烟尘浓度测试结果

项 目	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4
采样时间/min	50	100	90	100
采样嘴直径/mm	8	8	8	8
样品初重/g	19.576	17.842	18.316	20.169
样品终重/g	19.575	17.847	18.321	20.173
空白样/g	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
粉尘净重/mg	-0.4	5.9	6.0	4.7
采样体积/L	1032.5	3107	2732.1	2772.7
含尘浓度/mg·m ⁻³	-0.4	1.9	2.2	1.7

4 结 语

在传统粉尘采样的基础上,通过采用一体式低浓度采样头和大流量采样泵,增加采样体积、预留空白样、选用优质滤膜及在紧靠采样头后端加入易吸收水分的材料等措施后,使采样前后样品失重的问题得到了有效的解决,在源头上控制了测试的绝对误差,明显的提高了测试的平行性和准确性,为除尘脱硫等设备的工程应用以及燃煤烟尘排放总量的控制提供有效的数据支持,积累的经验与成果可为我国颗粒物低排放测试技术的规范与成熟提供借鉴。

参考文献:

[1] GB 13223-2011, 火电厂大气污染物排放标准[S].

- [2] 国家发展改革委,环境保护部,国家能源局. 煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020) [S]. 北京: 国务院办公厅.
- [3] EPA method 5, Determination of particulate matter emissions from stationary sources [S].
- [4] EPA method 17, Determination of particulate matter emissions from stationary sources [S].
- [5] EPA method 202, Dry impinge method for determining condensable particulate emissions from stationary sources [S].
- [6] 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].
- [7] 洪成梅. 锅炉烟尘测试方法探讨[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(2): 21-22.
- [8] 刘 媛. 湿式静电除尘技术研究及应用[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(6): 83-88.
- [9] 李 昆. 烟尘浓度测量方法综述[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(2): 84-88.
- [10] GB/T 15187-2005 湿式电除尘器性能测定方法[S].
- [11] GB/T 13931-2002 电除尘器性能测试方法[S].
- [12] GB 5468-91 锅炉烟尘测试方法[S].
- [13] 姚宇平. 浅谈锅炉烟气测试中应注意的问题[J]. 环境科学导刊, 2009, (4): 52-53.
- [14] 陈 凯. 论燃煤锅炉烟气烟尘监测中一些技术问题[J]. 北方环境, 2011, (11): 85-87.
- [15] 李阳春. 烟尘监测时采样滤筒的质量控制[J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(1): 50-51.
- [16] 王建新. 锅炉烟尘监测准确性问题的探讨[J]. 北方环境, 2004, 29(3): 63-65.

收稿日期: 2015-06-04; 修回日期: 2015-07-16

作者简介: 杨 丁(1981-), 男, 四川广元人, 在读博士, 高级工程师, 主要从事烟气污染防治技术研究。E-mail: yblued@139.com

欢迎订阅 2016 年《环境监控与预警》杂志

《环境监控与预警》是经中华人民共和国新闻出版总署批准,由江苏省环境保护厅主管、江苏省环境监测中心主办、南京大学环境学院和江苏省环境监测协会共同协办的期刊。期刊面向全国公开发行,国内统一刊号 CN32-1805/X,国际标准刊号 ISSN1674-6732。本刊致力于传播和推广先进的环保科技成果,聚焦环境前沿科技,介绍国内外环境监测、环境预警、环境信息等领域的新技术、新成果、新发展,跟踪国家及地方的环境政策、环境标准的变化。读者对象主要是从事环境管理、环境监测、环境监察、环境信息、环境治理、环境科学研究及其他领域的环境工作者。常设栏目有: 前沿评述、环境预警、监测技术、解析评价、监管新论等。

本刊为双月刊,大 16 开国际标准版,60 页,每逢双月 15 日出版。国内订价(含邮费)15 元/期,全年 90 元。

订阅方法: 1. 邮局订阅: 邮发代号: 28-414。

2. 自选订阅: 汇款后将回执单传真或 e-mail 至以下联系人(回执单下载地址: <http://www/hjkyjy.com>)。

联系人: 朱滢 电话(传真): 025-86575218 邮箱: hjkyjy@163.com

汇款方式: 1. 银行汇款: 江苏省环境监测协会(收款单位名称) 开户行: 中行凤凰花园城支行 账号: 523558192511

2. 邮局汇款: 南京市凤凰西街 241 号 《环境监控与预警》编辑部 朱滢(收款人) 邮编: 210036