

一种烟气面流速测量方法的探讨

陈雨 班继民 王琳 燕迎春 李建鹏

河南省计量测试科学研究院

DOI:10.32629/etd.v6i7.18236

[摘要] 烟气在线监测系统(简称CEMS)被广泛应用于工业生产废气排放的监测中,可以连续在线监测颗粒物浓度、二氧化硫浓度、氮氧化物浓度、氧气含量、烟气温度、烟道流速(流量)等参数的测量。而其中烟气流速(流量)数据的监测是计算污染物排放总量的关键参数,其监测准确性不仅关乎环保工作效果的考量,也可以为未来环保税的征收提供有力的数据支撑。

[关键词] 烟气在线监测系统; 烟气流速; 压力变送器

中图分类号: TU834.6+34 **文献标识码:** A

A Discussion on a Method for Measuring the Surface Velocity of Flue Gas

Yu Chen Jimin Ban Lin Wang Yingchun Yan Jianpeng Li

Henan Institute of Metrology

[Abstract] The continuous emission monitoring system (CEMS) was widely used in the monitoring of industrial production waste gas emissions. It can continuously and online monitor the measurement of parameters such as particulate matter concentration, sulfur dioxide concentration, nitrogen oxide concentration, oxygen content, flue gas temperature, and flue gas flow rate (flow). Among them, the monitoring of flue gas velocity (flow rate) data was a key parameter for calculating the total amount of pollutant emissions. Its monitoring accuracy not only concerns the assessment of environmental protection work effectiveness but also provides strong data support for the future collection of environmental protection taxes.

[Key words] CEMS; Flue gas velocity; Pressure transmitter

引言

烟气作为一种比较特殊的介质,一般的温度范围在40-150℃,特别情况可以达到更高的温度。另外烟气中一般会存在粉尘和酸性气体如SO₂、NO_x等,因此客观上导致烟道内部即便在同一水平面上,不同位置的流速也有很大差异,造成测试结果的单一、不准确。

对于烟气流速的测量,目前常用的方法有皮托管法和超声波法,其中皮托管法是国际上认可的而且比成熟的方法,同时因其价格低廉,安装方便,也是排污企业在烟气流速测量中使用最多的一种测量方法。皮托管法测量的流速通常是某一测量点的流速,对于气流稳定均匀的测量环境而言,其测量结果准确可靠,但对于烟道排放气体而言,烟道环境通常复杂多变,企业运行工况时常调整,烟道排气中存在紊流涡流现象,难以用某一点的流速来准确表示测量截面的烟气流速。为保证测量准确性,常通过定期手工比对监测的方法对烟气流速测量结果进行修正。手工比对所用的标准器通常是便携式皮托管流速仪,测量结果也为测量点点流速,为准确测得相应截面的面流速,需要根据烟道直径,确定多个不同的测量点进行多次测量,通过测量结果平均值

来表示测量截面的面流速,比对过程中不仅工作量大,测量时间长,而且对企业生产工况稳定性要求较为严格。为更加准确、方便、快捷测量烟道截面的烟气流速,本文提出一种烟气面流速测量方式进行探讨。

1 皮托管法点流速的测量原理



图 1

皮托管是测量气流总压的一种装置,是18世纪法国工程师H.皮托发明的,故名。用实验方法直接测量气流的速度比较困难,但气流的压力则可以用测压计方便地测出。它主要是用来测量飞机速度的,同时还兼具其他多种功能。因此,可用皮托管测量压力,再应用伯努利定理算出气流的速度:

$$V_s = K_p \sqrt{\frac{2\Delta P_d}{\rho_s}} = 128.9 \sqrt{\frac{(273+t_s)\Delta P_d}{M_s(B_a + P_s)}} \quad (1)$$

其中: V_s —监测点湿烟气点流速, m/s;

t_s —监测点烟气温度, °C;

M_s —湿烟气分子量, kg/kmol

B_a —监测点的大气压力, Pa;

P_s —监测点烟气静压, Pa;

ΔP_d —监测点烟气动压, Pa

但是由于烟道内部环境情况复杂, 如高温的影响, 导致不同受热点的压强都不一样, 导致不同点位的流速差异很大, 因此一个点的流速无法真实反映烟道的实际流速。也给相关检定工作带来困难。

2 面流速测量方法

针对点流速测试方法无法真实反映烟道流速的弊端, 本文提出一种可以针对烟气流速进行一个面上的测试方法, 即面流速测试方法。根据具体实际应用, 又将该面流速测试方法分为两类: (1) 固定在烟道内部的面流速的测量; (2) 便携式烟气面流速的测量

2.1 固定在烟道内部的面流速的测量

在工业生产企业的排放口烟道内, 根据烟道直径, 在对应位置布置相应数量的监测点。通过测量监测点的差压值, 同时测得烟道的烟气静压和烟气温度, 利用公式1进行计算得到点流速。实际测量中如果要用测量得到的点流速更加准确的表达为测量面流速, 就需要通过手工比对的方法进行比对监测, 得到一个速度场系数, 通过相乘得到相应的面流速。手工比对监测根据不同的烟道形状口径对监测点的位置和数量也有不同要求:

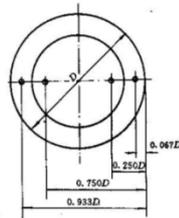


图2 圆形烟道监测点

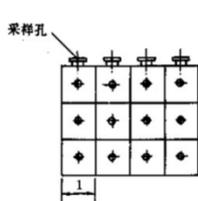


图3 长方形烟道监测点

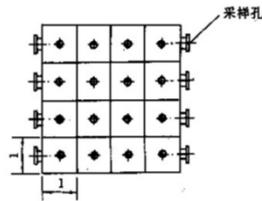


图4. 正方形烟道监测点

对于圆形烟道, 通常将烟道分成一定数量的等面积的同心环, 各测点选在各环等面积中心线与呈垂直相交的两条直径线的交点上。所以不同的烟道直径监测点的数量不同, 参考《固定

源废气监测技术规范》具体要求如下表1:

表1 圆形烟道分布及测点数的确定

烟道直径, m	等面积环数	测量直径数	测点数
<0.3			1
0.3~0.6	1~2	1~2	2~8
0.6~1.0	2~3	1~2	4~12
1.0~1.2	3~4	1~2	6~16
2.0~4.0	4~5	1~2	8~20
>4.0	5	1~2	10~20

对于矩形烟道同样是将烟道断面分成适当数量的等面积小块, 各块中心即为测点。小块的数量按表2的规定选取。

表2 矩(方)形烟道的分块和测点数

烟道断面面积, m ²	等面积小方块长边长度, m	测点数
<0.1	<0.32	1
0.1~0.5	<0.35	1~4
0.5~1.0	<0.50	4~6
1.0~4.0	<0.67	6~9
4.0~9.0	<0.75	9~16
>9.0	≤1.0	16~20

无论是圆形烟道还是矩形烟道, 如果烟道直径或者面积较小的情况下, 测量点数较少, 在短时间内就可以完成; 如果烟道直径比较大, 测量点数量较多, 需要进行监测时间长, 监测数据多, 对于工况不断变化的情况下很难保证手动比对的数据准确, 进而影响最终面流速测量结果。

2.2 便携式烟气面流速的测量

2.2.1 测量原理

在工业计量领域, 对工业生产企业的压力、流速测试设备的计量检定工作, 更要求有一种准确的测试方法, 从而进行数据的测试, 对比, 校准。

而目前一般采用便携式皮托管测流速的方法进行检定和校准工作, 但是由于上述已经描述的原因, 一个点的流速数据采集, 很难能够真实反映烟道内的实际流速。同时, 一般工业生产企业的排放口条件恶劣, 且不同企业安装楼梯和预留排放口的孔洞状况也是各种各样, 导致使用皮托管探头测流速的时候未必能在合适位置。以上各种不确定性因素, 都会严重影响流速测试的实际效果, 导致测试结果和基站数据差异过大。

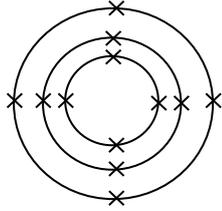


图5 测点布局示意图, X代表测试点

此方法也是利用差压式流量测量原理,采用几乎同一时间快速轮询各个点的动压,得到各个点的点流速,通过计算,进而得到烟道截面局部一定范围内面流速,以局部面流速表示整个烟道截面的流速。流速计算按公式(2):

$$V_{si} = K_p \sqrt{\frac{2\Delta P_{di}}{\rho_s}} = 128.9 \sqrt{\frac{(273 + t_{si})\Delta P_{di}}{M_s(B_{ai} + P_{si})}} \quad (2)$$

$$V_s = \frac{V_{si}}{n} \quad (3)$$

其中: V_{si} —第*i*监测点湿烟气点流速, m/s;

t_{si} —第*i*监测点烟气温度, °C;

M_s —湿烟气分子量, kg/kmol

B_{ai} —第*i*监测点的大气压力, Pa;

P_{si} —第*i*监测点烟气静压, Pa;

ΔP_{di} —第*i*监测点烟气动压, Pa

V_s —监测截面的烟气面流速, m/s

n —监测点的数量。

2.2.2 测量方法

而本文中所述针对计量和校准用的流速测试方法,可以很好地解决上述所述采用便携式皮托管测流速的短板。首先,测试点的布局 and 固定在烟道内部的测试点布局基本一致。其次,考虑到不同工业企业排放口烟道直径的差异,可将该网状结构设计为类似雨伞式结构(皮托管系数预先通过风洞试验得到),且扇面展开后可以伸缩,即可以改变网状结构面积,从而适应不同直径的烟道排放口。具体应用场景为:检定人员携带收纳后的该测试装置到达排放口测试点后,插入烟道,然后在烟道内展开测

试扇面,再根据烟道直径调整扇面面积。

本方法可以根据不同烟道直径以及烟道中烟气排放状态选择一定范围内相应的测点数量进行流速测量。利用压力变送器同时监测,几乎在同一时间,监测多个监测点的烟气动压,同时监测各监测点的烟气静压,烟气温度等参数,利用公式(2)和公式(3)计算得到相应的截面流速,此方法以局部面流速表示整个截面的面流速,准确性更高,而且在比对监测过程中可以极大地缩短监测时间,既保证了测量结果准确性,又提高了工作效率。

3 结束语

在我国随着社会经济快速发展以及对环境保护越来越重视,对工业企业烟气排放口的监测要求越来越严格,对监测数据准确性要求越来越高。此方法提出为如何更加方便、准确、高效的实现数据测量,提供了一个方向,以期相关工作起到参考作用。

[参考文献]

[1]全国环境化学计量技术委员会.固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范:JJF1585-2016.北京:中国质检出版社,2017.

[2]环境保护部环境监测局,科技标准司.固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测技术规范:HJ75-2017[S].北京:中国环境出版社,2018.

[3]全国气象专用计量器具计量技术委员会气象压力分技术委员会.皮托管检定规程:JJG518-1998.北京:中国计量出版社,1998.

[4]国家环境保护总局.固定源废气监测技术规范:HJ/T397-2007.北京:中国环境出版社,2007.

[5]环境保护部环境监测局,科技标准司.固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法:HJ76-2017[S].北京:中国环境出版社,2018.

作者简介:

陈雨(1981—),男,汉族,河南周口人,本科,河南省计量测试科学研究院,初级,研究方向:流量。