



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第12期

Vol.9 No.12

中国科学院 主办
生态环境研究中心
科学出版社 出版

12
2015

目次

综 合 评 述

- 含磷材料在铅污染土壤修复中的应用 宋 波 曾炜铨 陆素芬 余元元(5649)
- 新型过硫酸盐活化技术降解有机污染物的研究进展 高焕方 龙 飞 曹园城 黄国文 谭怀琴 张永红(5659)

水 污 染 防 治

- 一株贫营养异养硝化-好氧反硝化细菌的分离鉴定及脱氮特性 黄廷林 白士远 张海涵 周石磊 何秀秀(5665)
- 城市污水处理过程中 DOM 的三维荧光光谱及紫外谱图特性 杨 毅 杨霞霞(5672)
- 磁性壳聚糖/膨润土复合吸附剂吸附 Cu^{2+} 施 周 刘立山 杨秀贞 邓 林(5677)
- 氧化铁改性砂联合生物预处理对氨氮的吸附特性 李冬梅 林洁漫 李子亚 林显增 刘 贝 黄明珠 梅 胜(5683)
- 小型景观水体中病原微生物的分布特性 周进宏 王晓昌 徐丽梅(5689)
- PDMDAAC 改性膨润土对石油类污染物脱附行为的研究 邵 红 李云姣 丁 佳 高 鹤 李可心 陈 利(5697)
- 滇池流域某分流制小区雨水径流水质及初期冲刷规律研究 付国楷 陈水平 陆 颂 潘成勇 徐官安(5703)
- 聚乙烯醇(PVA)改性膨胀石墨对亚甲基蓝废水的吸附 赵 越 马乐宽 赵康平 吴 波 杨文杰(5709)
- 背角无齿蚌净化养殖水体中的重金属 陈修报 刘洪波 苏彦平 戈贤平 杨 健(5714)
- 纳米四氧化三铁作为助凝剂去除水中藻类 付 雯 蒋 丹 张 波 何义亮 王 拯(5721)
- 磷酸铵镁 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 碱促热解动力学 余荣台 任洪强 谢志鹏 汪长安 马 湘(5727)
- 上海市初期雨水调蓄设施评估体系的构建 吴小康 叶春明 吴 佳(5732)
- 地下水中锰对滤料表面氧化膜去除氨氮的影响 汪 洋 黄廷林 文 刚 张瑞峰(5737)
- 水中盐酸环丙沙星的超声降解 葛 鑫 郭照冰 祝胜男 魏 英 彭璐璐 陈 姝(5745)
- 厌氧-好氧工艺处理垃圾焚烧厂渗滤液工程运行效果 陈 燕 任洪艳 阮文权(5750)
- 南方某市饮用水源三氯乙醛生成特性 蔡广强 刘丽君 卢小艳 张金松 曲 莹 张德明(5757)
- 直接接触式膜蒸馏浓缩处理高浓度发酵废液效能 康 昀 曲 丹 封 莉 程 翔 张立秋(5763)
- 美人蕉有机酸组分对铜绿微囊藻的化感作用 刘晓宇 傅海燕 黄国和 柴 天 高攀峰 吴义诚(5769)
- 进水氨氮浓度对好氧/缺氧/延长闲置 SBR 脱氮除磷性能的影响 刘芳芳 陈洪波 李小明 杨 麒 赵建伟 向 沙 李娟娟 贾利涛(5775)
- 景观生态-SBR 复合工艺生活污水处理效能与污泥性状 李 谱 孙飞云 董文艺 袁佳佳 李朋飞(5783)
- 亚硫酸钠和腐植酸对李氏禾生长和铬积累的影响 程志刚 张学洪 张杏锋 刘 杰(5788)
- 臭氧高级氧化法降解生化尾水中喹啉 陈傲蕾 章丽萍 常凤民 葛艳菊 王凯军(5795)
- 醋酸纤维素多孔纳米纤维的制备及其吸附性能 赵璿云 江慧华 陈良壁(5801)
- 聚多巴胺包覆的 Fe_3O_4 去除水体中的染料 李晓燕 宋 娟 张升晓 张媛媛 刘军深 徐 强(5807)
- 某城市污水处理厂废水化学除磷沉淀特性及影响因素 郁 娜 袁林江 吕景花(5813)
- 助溶剂甲醇对化学物质紫外光解的影响 涂宁宇 刘 洋 刘国光 吕文英 谢文玉(5818)
- 邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯对硝化型曝气生物滤池的影响及其去除效能 李小冬 王亚军 曹相生 孟雪征(5825)
- 不同基质与布水方案下人工湿地水分运移的模拟 戴梦玲 陈孝兵 王 妍(5831)
- 人工快速渗滤系统非饱水层去除 COD 和氨氮 平玉焕 张焕祯 王智丽 王茜微 宋志晓(5837)
- 以泡沫镍为阴极的电芬顿法对苯酚的降解 古振澳 柴一荻 杨 乐 邱 珊 陈德坤 周 楨(5843)
- 硫酸盐型厌氧氨氧化反应器的启动特性 秦永丽 蒋永荣 刘成良 刘可慧 黎海清 刘远志 王 昭 郭丹妮 陆冬云 孙振举 卢青青 李良剑(5849)
- 絮凝-UV/ O_3 法处理粘胶纤维生产中的废碱液 王 兵 郑燕坪 林 义(5855)
- 缺氧-曝气生物流化床工艺处理合成氨工业氨氮废水中试研究 戴 昕 安立超 李辉军 吴亚杰(5860)
- 油菜秸秆髓芯对水中铜离子吸附作用及其机理 张 宏 蒋 菊 刘燕梅 向金凤 刘 新(5865)
- 双子表面活性剂杂化海藻酸钠微球的制备及其在环保领域中的应用 何 帅 刘兴利 高宇航 李 阳(5874)
- 北方景观水体中生态浮床的植物筛选与水质净化效果 温奋翔 王 兵 肖 波 王庆海 赵东阳 陈 乐(5881)
- 电 Fenton 法预处理餐饮废水 周 俊 熊 仁 文 敏 成 曦(5887)
- 兰炭末对废水中三聚甲醛的吸附特性 董 梅 刘 伟(5891)
- 粉煤灰复合氧化钙去除铬渣渗滤液中的总铬 赵晟铎 陈忠林 沈吉敏 赵 霞 徐 浩 张 晋 沈彦晴(5897)
- FeCl_3 及 AlCl_3 对中温厌氧消化系统产生 H_2S 的抑制作用 张 玲 郑西来 余宗莲 杨居园 谢经良(5907)
- 低温条件下不同面积浮岛对 N、P 的净化效果 林 立 祝浩翔 徐 伟 唐源英 曹 冉 王海洋(5915)

Mg/Al/Fe 水滑石的焙烧产物对 F^- 的吸附	郭 宇	岳秀萍	刘吉明 (5921)
软模板法碳电极制备及在废水脱盐中的应用	蔡文波	李桂莉	刘笑研 (5927)

大气污染防治

光散射颗粒物监测仪在环境空气监测中的适用性	曲 松	李 媚	黄玉虎	任碧琪	秦建平	孙雪松	王军玲 (5934)
氨-Fe(II)EDTA 法同步脱硫脱硝中试研究	张 顾	王世杰	李富智	朱 平	王志勇	宋孝红 (5939)	
哈尔滨市大气污染与气象因素的相关性分析		杨 莹	王 琨	崔 晨	刘元海	黄丽坤 (5945)	
脉冲喷吹 2 000 mm 长滤筒的清灰性能	王 岩	张明星	李倩倩	林龙沅	颜翠平	陈俊东	陈海焱 (5951)
Fe-Mn 基分子筛催化剂 NH ₃ 低温选择性催化还原 NO 性能				刘立忠	白燕玲	么 远	王宇翔 (5957)
锰氧化物改性活性炭去除空气中甲醛	周昕彦	张 芄	蒋 文	杨易韬	林莉莉	张 巍 (5965)	
紫外可见分光光度法测定苏丹红 I 标记的大豆油浓度		刘海弟	李伟曼	李文辉	吴镇江	陈运法 (5973)	
临沂市一次持续性雾霾过程的阶段性成因分析				朱义青	胡顺起	曹张驰 (5979)	
压差法大气污染物采样误差分析			杨文举	苗德华	邓三鹏	祁宇明 (5987)	
椰壳碳基吸附剂的脱汞特性			谭增强	牛国平	陈晓文	安 振 (5992)	
大型燃煤机组 SCR 脱硝系统优化					张翠珍	赵学葵 (5997)	
多种神经网络在华北西部区域城市空气质量预测中的应用				谢 超	马民涛	于肖肖 (6005)	

固体废物处置

四川城市生活垃圾重金属污染状况及来源分析	刘育辰	王莉淋	伍 钧	杨 刚	漆 辉	邓仕槐 (6010)
螯合剂与水泥协同稳定垃圾焚烧灰渣中的重金属	常 威	蒋旭光	邱琪丽	池 涌	严建华 (6019)	
浓磷酸预处理废弃棉织物回收葡萄糖和涤纶的优化	董祝君	蔡郡倬	邱婧雯	肖文雄	沈 飞 (6027)	
利用粉煤灰硫酸浸取液制备十二水硫酸铝铵	赵 瑜	谢宇琪	郭彦霞	程文婷	程芳琴 (6034)	
污泥热干化过程中重金属 Pb、Cu、Zn 的形态转化及稳定特性			李进平	胡云娇	陈思奇 (6041)	
盐溶法去除糖厂滤泥中蛋白质的条件优化	刘洪波	陈宝娣	李 宁	李海华	郭继强 (6045)	
高炉熔渣四辊离心法制取矿渣棉	龙 跃	杜培培	李智慧	张良进	张玉柱 (6049)	
硫酸亚铁对粉煤灰中不同价态铬元素淋滤特性的影响	吴 乐	刘 哲	史玲玲	王 鹏	龚 勋 (6054)	
污泥的高温微好氧消化-厌氧消化工艺研究			程洁红	戴 雅	张春勇	戴界红 (6059)
不同泥质类型河流底泥脱水药剂优化实验研究	马 涛	康兴生	刘旭阳	张 峰	刘长青 (6065)	
阳极添加三价铁离子对沉积型微生物燃料电池运行特性的影响			赵亚楠	李秀芬	任月萍	王新华 (6073)
低温碱溶脱除液晶显示器(LCD)玻璃基板粉末中的硅和铝						
.....	王 帅	关 杰	任浩华	袁 昊	苏瑞景	顾卫星
				徐林元	谢俊燕	谭伟兴 (6078)
河流重金属污染底泥的稳定化实验研究			康兴生	马 涛	王 睿	顾俊杰 (6083)
硼泥的水热固化机理与抗压强度	佟 钰	刘俊秀	夏 枫	王 琳	王宝金 (6090)	
ZnO/Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 固体碱催化动物脂肪废油制备生物柴油	邱 露	谭 浩	黄建东	郑 重	周 超	欧阳峰 (6097)
HTM 铜矿尾矿库浅层剖面重金属赋存形态及污染特征			张 卫	魏忠义	龙精华	王秋兵 (6103)
电弧流溶胞技术促进污泥厌氧消化					张君杰	郭 媛 (6110)
未燃尽碳表面卤化汞的解吸反应机理	高正阳	杨朋飞	吕少昆	吉 硕	孟欣欣	赵 航 (6115)

土壤污染防治

不同粒级土壤磁化率与重金属污染特征的相关关系	许端平	李晓波	苗 丹	吴 瑶	孙 璐 (6121)
大豆、龙葵单作和间作对砒污染土壤的修复	王效国	呼世斌	程治文	王娇娇	魏丽琼 (6128)
内蒙古某电厂周围土壤汞分布特征及其影响因素	王道涵	杨亚利	任 鹏	黄利民 (6135)	
生物质炭对污染土壤中的镉生物有效性及阿特拉津消解的影响					
..... 杨惟薇	潘丽萍	张超兰	严静娜	覃 霞	梁定国 (6141)
生物酶生态修复重金属污染土壤	林维晟	吴海泉	胡家朋	黄雪婷	徐颖惠 (6147)

环境生物技术

一株苯胺降解菌的分离及其降解特性	张 浩	刘玉香	呼婷婷	赵 晶 (6154)		
铁碳微电解与微生物共作用降解 BDE-209	刘莉莉	刘瑞红	陈轶伦	林匡飞 (6161)		
基于 Aspen Plus 软件的生物质气与煤混合燃烧烟气排放特性计算分析	张小桃	贾耀磊	卢 毅	贾 伟 (6167)		
降解 H ₂ S 功能菌的分离及降解特性	吕 溪	任爱玲	张 瑾	韩梦非	郭 斌	古海峰 (6173)
2015 年总目次	(1)					

压差法大气污染物采样误差分析

杨文举 苗德华 邓三鹏 祁宇明

(天津职业技术师范大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要 智能综合大气采样器能对空气中总悬浮微粒及有害气体进行采样,使用孔板压差流量计和转子流量计分别进行气体流量测量。依据智能大气综合采样器采样原理,推导采样器孔板压差流量计理论流量公式,并通过实测数据对流量计计量公式进行验证。在此基础上,从3个方面分析大气采样器计量误差来源,并针对传感器压力取值误差,设计并验证增加采样次数取均值可以降低误差值;对因环境因素引起的误差,提出3种降低大气采样器采样误差的方法。

关键词 大气采样器 压差流量计 误差

中图分类号 X851 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)12-5987-05

Analysis of errors in atmospheric pollutants sampling with differential pressure method

Yang Wenju Miao Dehua Deng Sanpeng Qi Yuming

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract Total suspended particulate and harmful gas in the atmosphere can be collected by intelligent integrated air sampler, and gas flow rate can also be measured through differential pressure orifice plate flowmeter and rotameter. Based on principle of intelligent integrated air sampler, theoretical formulas of the flow rate, which measured by differential pressure orifice plate flowmeter, are proposed. Test experiments prove that the formulas are accurate, and sources of measure errors in the intelligent integrated air sampler are analyzed from three aspects. According to the pressure value error of sensors, a method of increasing sampling frequency and taking average value is proposed, which can reduce the value of error effectively. Also, three approaches are put forward, to reduce the errors caused by environmental factors.

Key words air sampler; differential pressure flowmeter; error

随着全国城镇化建设的加快,经济的迅速发展,各地工业集中地空气污染特别是总悬浮微粒(TSP)的污染越来越严重,引起了政府及企业对空气质量的高度关注^[1,2]。TSP是指分散在空气中的空气动力学当量直径(d_p)为 $0.001 \sim 100 \mu\text{m}$ 的固体或液体微粒。其中,可吸入颗粒物(PM_{10})和细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)通过呼吸进入人体,对人体造成严重的影响和危害。特别是 $d_p \leq 2.5 \mu\text{m}$ 的 $\text{PM}_{2.5}$ 可沉积于小气道与肺泡中,直接或间接地危害人体健康^[3,4]。目前,总悬浮微粒已成为环境监测的重点指标之一,各种新型大气采样器开始被广泛应用于大气污染物的检测,而大气采样器中对气体流量的监测和计算是保证采样数据准确可靠的关键^[5]。智能大气综合采样器采用压差流量计对TSP采集通道进行大气流量检测^[6],为了控制其采样误差,降低环境因素对采样误差的影响,而做出了具体的实验验证分析,并针对环境因素引起的误差提出了3种解决方法,

可以作为未来大气采样仪器的设计参考依据。

1 TSP 采样方法论述

TSP采样采用膜称重法,通过抽气泵抽取空气,让空气流过大气颗粒物切割器得到不同直径的颗粒物,再穿过已称重的质量为 m_1 的过滤膜,悬浮微粒被捕捉在过滤膜上,通过对过滤膜称重得质量 m_2 ,两者质量相减后再除以换算成标准状态下的空气体积,其中,采集空气体积换算成标准状态体积公式如下:

$$V_0 = V_t \times \frac{273.15}{273.15 + t} \times \frac{P}{101.3} \quad (1)$$

式中: V_0 为标准状态空气体积,L; V_t 为采样体积,

基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项(2012YQ060147);天津市科技支撑重点项目(13ZCZDZX01500, 14ZCZDSF00022)

收稿日期:2014-12-01; **修订日期:**2014-12-15

作者简介:杨文举(1990—),男,硕士,主要从事大气污染物采样器研发工作。E-mail:624702147@qq.com

L ; t 为采样温度, $^{\circ}\text{C}$; P 为采样大气压, kPa 。

TSP 浓度计算公式:

$$\lambda = \frac{m_1 - m_2}{V_0} \times 10^6 \quad (2)$$

式中: λ 为 TSP 浓度, ug/m^3 ; m_1 为采样前质量, mg ; m_2 为采样后质量, mg ; V_0 为换算成标准状态下的气体体积, L ; t 为气体采集时间, min 。

联合式子(1)、(2)从而计算出悬浮微粒浓度, 得到大气 TSP 值。

2 有害气体采样

智能综合大气采样器采样时, 有害气体采样是: 通过隔膜气泵抽气产生低压, 外界大气压力使空气从过滤桶一侧入口进入, 流过滤桶, 预处理除去杂质气体, 再流入 U 型多孔玻板反应皿进行化学反应, 吸收特定的污染物, 其进气量流量可以通过转子流量计调节, 最后气体通过干燥管去除水分, 通过气泵再排出。其工作原理如图 1 所示。

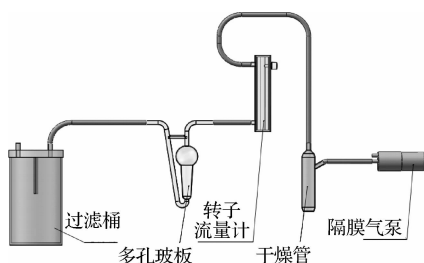


图1 大气有害气体采样原理图

Fig.1 Schematic diagram of harmful gas sampling in atmosphere

对于有害气体流量的计算: 利用人工设定转子流量计流量为 q , 通过单片机记录采集开始到采集结束时间 t , 两者相乘得到工况采集体积 V_t , 再利用公式(1)计算出标况采集体积 V_0 , 通过化学反应测定反应皿中有害气体质量, 进而精确计算出有害气体的浓度。

3 压差式气体流量计量方法研究

压差流量计是利用流体流经节流装置时所产生的压力差与流量之间存在一定关系的原理设计制造的, 通过检测节流口两端的压差实现流量的测定, 是目前工业生产与环境监测中流量测量最普遍、最常用的方式之一。本文重点介绍智能综合大气采样器中的孔板压差流量计计量原理。流量计简图如图2所示。

其中, 气压取值孔在截面 I 和截面 II 处。气体

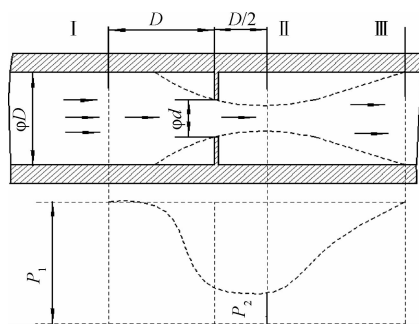


图2 压差流量计简图

Fig.2 Diagram of differential pressure flowmeter

在充分湍流的情况下, 满足流体连续性方程和伯努利方程:

$$\rho \frac{\pi}{4} D^2 \vec{v}_1 = \rho \frac{\pi}{4} d^2 \vec{v}_2 \quad (3)$$

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \vec{v}_1^2 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} \vec{v}_2^2 \quad (4)$$

式中: ρ 为密度, kg/m^3 ; D 为截面 I 直径, m ; $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ 为截面 I 和截面 II 的气体流速, m/s ; d 为缩径孔直径, m ; P_1, P_2 为截面 I 和截面 II 处的压力, Pa 。

由式(3)(4)方程可得:

$$\vec{v}_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)} \quad (5)$$

令截面比:

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (6)$$

将(6)带入式(5)中可得:

$$\vec{v}_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)} \quad (7)$$

得到体积流量基本计算方程式:

$$q_0 = \frac{\pi}{4} d^2 \vec{v}_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)} \quad (8)$$

公式(8)为理想流体流过孔板流量计的理想流量计算式。由于管段尺寸微小的变动, 会引起气流流动状态的变化, 以及流体不同的雷诺系数, 测量值的准确性影响程度也不同, 实际气体流经流量计时, 真实值与测量值会有较大偏差。这一问题需引入流体流出系数 C , 流量计算基本方程转变为:

$$q_1 = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_2 - p_1)} \quad (9)$$

式中: q_1 为气体体积流量, m^3/s 。

对于标准孔板压差流量计,距节流口 D 和 $D/2$ 为取压点,流出系数 C 由截面比 β 及管段雷诺数 Re 决定。流出系数经验公式:

$$C = 0.5959 + 0.0321\beta^{2.1} - 0.1840\beta^8 + 0.0029\beta^{2.5}\left(\frac{10^6}{Re_d}\right)^{0.75} \quad (10)$$
$$Re_d = \frac{Dvp}{\mu}$$

式中: v 为管段流体流速, m/s ; μ 为流体动力粘度。

通过取样实验对智能综合大气采样器孔板压差流量计取样压力进行测量,对公式(9)进行验证。环境温度 $27^{\circ}C$,大气压力 101.2 kPa ,取样实验数据如表 1 所示。

表 1 中,计算流量 q 为式子(9)计算所得。数据显示由公式计算出的流量值与流量计示值误差小于 2%,满足《总悬浮颗粒物采样器 技术要求及检测方法》(HJ/T 374-2007)国家标准,表明公式(9)在稳定的环境中能较为精确的计算出采样流量值。

表 1 取样实验数据

Table 1 Data of sampling experiments

序号	入口压力 P_1 (kPa)	出口压力 P_2 (kPa)	压力差值 Δp (Pa)	计算流量 q (L/min)	流量计示值 q_1 (L/min)	误差百分比 (%)
1	101 127	100 467	660	99.27	100.4	1.1
2	101 078	100 415	663	99.49	101.1	1.6
3	100 987	100 325	662	100.69	100.8	1.4
4	100 920	100 262	658	99.12	100.2	1.1
5	101 098	100 422	676	100.46	101.4	0.9
6	101 102	100 434	668	99.87	101.1	1.2

4 压差式流量计计量误差分析

通过对智能综合大气采样器流量计进行测试实验研究发现,大气采样器压差流量计测量误差主要是由节流口加工精度、传感器压力取值和外界环境等因素引起的。

4.1 节流口加工精度引起的误差

实际计量测试发现,采用孔板压差流量计测量流量时,计量精度很大程度上取决于孔板的加工和安装精度。孔板表面精度越高,气流流速越均匀;孔板相对粗糙时,流速变化较大,导致压力检测出现偏差,最终计算流量误差偏大甚至出错^[7]。对于可拆卸孔板压差流量计,还存在孔板的安装精度问题,孔板安装偏心,直接导致压力检测孔气压出现偏差。偏心方向远离检测孔,孔板下游检测孔气流流速低,气压值偏高;偏心方向靠近检测孔,孔板下游检测孔气流流速高,气压值偏低。

智能综合大气采样器采用整体式节流口,由机械加工得到,如图 3 所示。

该节流口为整体零件,不存在因孔板的安装精度问题而导致的计量误差,存在部分因制造精度产生的系统计量误差。

4.2 传感器压力取值误差

传感器检测节流口压力值来对流量值进行计算时,误差主要来源于压力传感器的取值误差,为保证

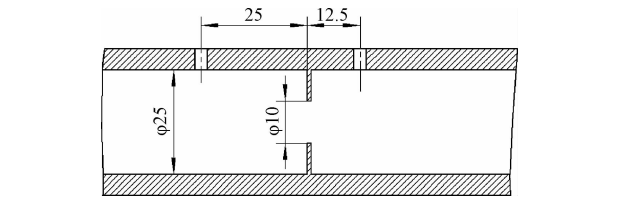


图 3 压差流量计节流口
Fig. 3 Orifice port of differential pressure flowmeter

取值准确性,测量实验设置内部程序计算测量所取数据的算数平均值,再代入计算式计算出显示数据。其数学模型如下:

$$\overline{U} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \quad (11)$$

式中: U 可以为入口气压 P_1 和出口气压 P_2 值,每隔一定时间检测一次,测量 3 次取平均值得 $\overline{U}$ 。

智能综合大气采样器,通过调整内部参数对孔板加工精度引起的系统误差进行正补偿。在相同状态下同一时间采集并记录加入补偿程序和未加入补偿程序数据如表 2 和表 3 所示。

由表 3 可知,在引入误差补偿后,采样器显示标况流量与标况计算流量误差值平均下降了 1.54%,最终测试结果误差值小于 2.5%,达到了国家对于大气采样器的测量标准。因此,通过多次压力取值取测量平均值能有效的降低采样器的取值误差。

表 2 误差补偿前误差值

Table 2 Error values before compensating for error

采样时间 (min)	采样温度 (℃)	环境气压 P (kPa)	工况体积 (L)	采样器显示体积 (L)	标况计算体积 (L)	误差百分比 (%)
12	27.72	100.93	1 200	1 114	1 085.46	2.56
12	26.84	101.21	1 200	1 123	1 091.67	2.79
12	26.15	100.95	1 200	1 134	1 091.37	3.76
12	27.56	101.15	1 200	1 120	1 088.41	2.82
12	26.31	101.06	1 200	1 127	1 091.98	3.11
12	27.76	100.95	1 200	1 125	1 085.53	3.51

表 3 误差补偿后误差值

Table 3 Error values after compensating for error

采样时间 (min)	采样温度 (℃)	环境气压 P (kPa)	工况体积 (L)	采样器显示体积 (L)	标况计算体积 (L)	误差百分比 (%)
12	26.32	100.93	1 200	1 104	1 090.54	1.22
12	26.54	101.01	1 200	1 110	1 090.60	1.75
12	26.17	100.95	1 200	1 112	1 091.30	1.86
12	26.36	100.91	1 200	1 106	1 090.17	1.43
12	26.81	100.86	1 200	1 105	1 088.00	1.54
12	26.65	100.55	1 200	1 102	1 085.23	1.52

4.3 环境因数导致的误差

根据经验,对空气流量体积进行测量时,温度和大气压力是影响流量测量准确性的主要因素^[8]。使用智能综合大气采样器进行采样测试,在同一环境下进行相同时间采样和不同时间采样 2 种方式,采用高精度流量计对流出流量进行测量,作为比对数据如表 4 与表 5 所示。

根据采样数据计算,同时间采样误差平均值为

1.24%,不同时间误差平均值为 1.09%,误差平均值为 1.16%,小于 2.5%,达到国家标准 (HJ/T 374-2007)。然而大气采样器采样时,采样器工作环境如:空气密度、湿度、电源电压等均会影响采样器测量气压准确度^[9-11]。这些因素也是导致测量流量产生误差的原因,智能综合大气采样器在设计时,并未考虑到上述环境因素,因此仍然存在一定的误差^[12,13]。对此,本文给出如下几种解决方法:

表 4 相同时长采样数据

Table 4 Data of sampling in the same time

采样时间 (min)	采样温度 (℃)	环境气压 P (kPa)	工况体积 (L)	显示标况体积 (L)	标况计算体积 (L)	误差百分比 (%)
12	27.32	100.93	1 200	1 082	1 072.1	0.91
12	26.94	101.20	1 200	1 088	1 076.5	1.11
12	26.85	100.95	1 200	1 088	1 074.1	1.27
12	26.86	100.95	1 200	1 088	1 074.2	1.26
12	26.90	100.96	1 200	1 089	1 074.1	1.37
12	26.96	100.95	1 200	1 090	1 073.8	1.49

表 5 不同时长采样数据

Table 5 Data of sampling in different times

采样时间 (min)	采样温度 (℃)	环境气压 P (kPa)	工况体积 (L)	显示标况体积 (L)	标况计算体积 (L)	误差百分比 (%)
10	26.62	101.08	1 000	918	909.2	0.96
20	26.69	101.07	2 000	1 838	1 817.8	1.10
30	26.82	100.95	3 000	2 755	2 722.3	1.19
40	27.09	100.84	4 000	3 669	3 622.6	1.26
50	26.77	101.03	5 000	4 589	4 541.6	1.03
60	27.05	100.81	6 000	5 489	5 433.0	1.02

4.3.1 加长进气口管段长度

加长进气口管段长度能保证节流口气流速度的稳定性,能加大传感器对气压取值的准确性。同时加强了管口散热,防止因取值温度与采样温度不同导致计算错误,保证显示数值的真实有效。

4.3.2 配置高精度的压力传感器和温度传感器

精确的压力传感器和温度传感器能保证对影响流量测量准确性的主要因素进行有效的控制,同时对环境温度和大气压力的实时监测和测量,保证了采样器示值的准确性,从而降低采样器显示数值的误差。

4.3.3 加装供电电源稳压器

采样器使用的抽气电机为交流电机,电压的变化会导致电机的转速降低,影响节流口压力差值的大小,压力差过小,流量值会有很大的变化,会被控制器选择性剔除,影响采样器的工作。利用稳压器保证抽气电机的供电电压,能在一定程度提高采样器精确度。

5 结 语

(1) 通过对智能大气综合采样器进行采样实验显示,加入流量流出系数后的流量计算公式能够准确计算出采样气体流量值,其误差值小于 2%,达到了国家对与大气采样器的要求。

(2) 加入误差补偿后,采样器显示标况流量与标况计算流量误差值平均下降了 1.54%,有效地降低了因压力传感器取值误差造成的系统误差,提高了采样器的采样精度。

(3) 针对不同环境因素引起的智能大气综合采样器采样误差,本文提出的 3 种解决方法可以作为未来设计的参考的依据,实际效果还有待进一步实验验证。

参 考 文 献

[1] 杨丽明,张光新. 化工自动化及仪表. 北京:化学工业出版社,2004: 82-90

- [2] 张阳,张元勋,刘红杰,等. 大气颗粒物采样器的设计与应用. 中国环境监测,2014,30(1): 176-180
Zhang Yang, Zhang Yuanxun, Liu Hongjie, et al. Design and application of a novel atmospheric particle sampler. Environmental Monitoring in China, 2014, 30(1): 176-180 (in Chinese)
- [3] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学(第2版). 北京:高等教育出版社,2006: 269-275
- [4] Ruckerl R., Schneider A., Breitner S., et al. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. Inhalation Toxicology, 2011, 23(10): 555-592
- [5] Chan K. C., Yao Xiaohong. Air pollution in mega cities in China. Atmospheric Environment, 2008, 42(1): 1-42
- [6] 沈浩,秦冰. 大气采样器稳流技术的设计. 上海计量测试,2011,(5): 8-9, 13
Shen Hao, Qin Bing. Design and implement of a constant air flow sampling system. Shanghai Measurement and Testing, 2011, (5): 8-9, 13 (in Chinese)
- [7] 周云龙,张全厚,刘博,等. 基于锥形孔板压差脉动特性测量湿气流量. 化工机械,2013,40(1): 22-25
Zhou Yunlong, Zhang Quanhong, Liu Bo, et al. Wet gas flow measurement based on differential pressure pulsation of tapered orifice plate. Chemical Engineering & Machinery, 2013, 40(1): 22-25 (in Chinese)
- [8] 吴九辅. 流量检测. 北京:石油工业出版社,2006
- [9] 梁国伟,蔡武昌. 流量测量技术及仪表. 北京:机械工业出版社,2002
- [10] Hinds W. C. Aerosol Technology. New York: John Wiley & Sons, 1982: 255-278
- [11] 郭丽. 大气采样器检定注意事项及常见故障排除. 中国计量,2011,(4): 104-105
- [12] 马琨. 大气采样器流量测试过程中的规范化. 仪器仪表与分析监测,1998,(4): 62-63
- [13] 常光玲. 大气采样器计量标准的测量不确定度. 化学分析计量,2008,17(4): 16-17
Chang Guangling. Measurement uncertainty of the meterage standard for the air sampler. Chemical Analysis and Meterage, 2008, 17(4): 16-17 (in Chinese)