

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第8期

Vol.38 No.8

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

用于滤膜称重的饱和氯化镁溶液恒湿系统搭建与评估	李晓晓, 张强, 邓建国, 蒋靖坤, 郝吉明 (3095)
钢铁工业排放颗粒物中碳组分的特征	张进生, 吴建会, 马威, 冯银厂 (3102)
常州市大气 PM _{2.5} 中 PAHs 污染特征及来源解析	顾爱军, 刘佳澍, 罗世鹏, 毕承路, 苏亚兰, 叶招莲, 盖鑫磊 (3110)
兰州河谷盆地大气多环芳烃干沉降通量及来源	尉媛丽, 刘攀亮, 于周锁, 高宏, 毛潇萱, 马建民, 黄韬 (3120)
株洲市大气降尘中元素特征及来源分析	王世豪, 张凯, 柴发合, 钟学才, 周广柱, 杨晴, 柯馨妹 (3130)
传统北京烤鸭烤制过程中大气污染物的排放特征	徐敏, 何万清, 聂磊, 韩力慧, 潘涛, 石爱军 (3139)
基于车载测试的重型柴油车尾气典型烷烃排放特征	史纯珍, 郝雪薇, 申现宝, 曹鑫悦, 张伟, 吴辉, 姚志良 (3146)
基于 wavelet-SVM 的 PM ₁₀ 浓度时序数据预测	王平, 张红, 秦作栋, 姚清晨, 耿红 (3153)
广州港船舶停泊工况排放因子实测及排放量初步估算	黄学良, 张洲, 杨威强, 李晟, 朱明, 方华, 何俊杰, 陈俊文, 万承浩, 张艳利, 刘国光, 黄祖照, 王宇骏, 王新明 (3162)
沙尘天气对生物气溶胶中总微生物浓度及粒径分布的影响	李鸿涛, 祁建华, 董立杰, 高冬梅 (3169)
典型生活垃圾处理设施恶臭排放特征及污染评价	芦会杰 (3178)
杭州地区城区降雪中全氟化合物的污染特征	张明, 唐访良, 俞雅雲, 徐建芬, 陈金汉, 余波, 周姗, 张伟 (3185)
黄浦江流域典型污水中不同粒径胶体的三维荧光光谱特征	聂明华, 晏彩霞, 杨毅, 周俊良, 刘敏 (3192)
漓江地表水体有机碳来源	赵海娟, 肖琼, 吴夏, 刘凡, 苗迎, 蒋勇军 (3200)
夏季热分层效应对典型岩溶水库水化学及溶解无机碳的影响	吴飞红, 蒲俊兵, 李建鸿, 张陶, 李丽, 黄思宇 (3209)
城市不同功能区地表水重金属污染特性比较: 以宁波为例	徐美娟, 童桂华, 孙丹, 李建新, 虞效益 (3218)
地下水主要组分水化学异常识别方法对比: 以柳江盆地为例	张小文, 何江涛, 彭聪, 张昌延, 倪泽华 (3225)
人为扰动背景下城郊溪流底质磷的生物-非生物吸收潜力分析	李如忠, 叶舟, 高苏蒂, 郑悦 (3235)
长江口低氧区沉积物中磷的形态及其环境意义	刘军, 臧家业, 冉祥滨, 赵晨英, 刘季花, 王小静 (3243)
三峡库区小流域不同土地利用类型“土壤-水体”氮磷含量特征及其相互关系	陈成龙, 高明, 木志坚, 倪九派, 祁乐 (3254)
黄土高原降雨驱动下流域碳输移特征及其碳流失评估: 以羊圈沟坝系流域为例	鄂馨卉, 汪亚峰, 高扬, 陈利顶, 陈世博, 陈维梁 (3264)
新型溴代苯酚类消毒副产物的氯化降解机制	李欢, 李正魁, 李爱民, 周庆, 王莹, 潘咏 (3273)
藻形态及混凝剂组成对混凝-超滤过程的影响	张大为, 徐慧, 王希, 门彬, 王东升, 段晋明 (3281)
汝溪河浮游硅藻功能群特征及其与环境因子相关性分析	向蓉, 李巧玉, 喻焱, 张洪波, 董聪聪, 施军琼, 吴忠兴 (3290)
石岩水库叶绿素 a 时空分布及其影响因子分析	宋云龙, 张金松, 郭小雅, 朱佳, 王丽, 陶益, 张丽 (3302)
不同湿地模型中根系微生物的多样性	王林, 李冰, 余家辉, 朱加宾, 朱健 (3312)
北海湖微生物群落结构随季节变化特征	张雅洁, 李珂, 朱浩然, 张洪勋 (3319)
基于高通量测序的流化床生物滤器细菌群落结构分析	张海耿, 宋红桥, 顾川川, 单建军, 张宇雷, 倪琦 (3330)
高效反硝化菌和包埋填料性能及微生物群落分析	孟婷, 杨宏 (3339)
基于城市污水资源化的微藻筛选与污水预处理	韩松芳, 金文标, 涂仁杰, 陈洪一 (3347)
生物膜贴壁培养小球藻净化猪粪沼液废水的效果	王愿珠, 程鹏飞, 刘德富, 刘天中 (3354)
微气泡臭氧催化氧化-生化耦合工艺深度处理煤化工废水	刘春, 周洪政, 张静, 陈晓轩, 张磊, 郭延凯 (3362)
pH 冲击对海洋厌氧氨氧化菌处理含海水污水脱氮效能的影响	于德爽, 周同, 李津, 王晓霞, 吴国栋, 王骁静 (3369)
酒精废水部分亚硝化-厌氧氨氧化脱氮的可行性	周正, 林兴, 王凡, 顾澄伟, 沈婧, 袁砚, 金润 (3377)
模拟废水中钼的微生物回收及其对亚甲基蓝的催化特性	康乃馨, 朱能武, 郭雯颖, 何志心 (3385)
采用颜色空间表征 ANAMMOX 启动与冲击过程	王利君, 李志华, 韩冬, 张天宇, 杨成建 (3393)
CSTR 和 MBR 反应器的短程硝化快速启动	张婷, 吴鹏, 沈耀良, 闫刚, 徐乐中, Samwine Thomas (3399)
硫酸盐还原氨氧化体系中基质转化途径	完颜德卿, 黄勇, 毕贞, 刘忻, 姚鹏程, 张文静 (3406)
不同 TOC/NH ₄ ⁺ -N 对厌氧氨氧化脱氮效能的影响	王凡, 刘凯, 林兴, 周正, 李祥, 黄勇 (3415)
盐度对 EGSB 反应器的运行及厌氧颗粒污泥的影响	谭潇, 黄靛, 杨平, 涂奔州 (3422)
CANON 颗粒污泥工艺的启动与负荷提高策略	孙延芳, 韩晓宇, 张树军, 李星, 曹相生 (3429)
胞外聚合物对活性污泥吸附去除全氟辛酸磺酸 (PFOS) 的影响	刘鑫彤, 尹华, 彭辉, 李浩榕, 杨萍萍, 曹雅娟 (3435)
不同施肥方式下紫色土 N ₂ O 与 NO _x 的排放特征	胡磊, 刘韵, 朱波 (3442)
地膜覆盖对蔬菜地甲烷排放的影响	张凯莉, 郝庆菊, 冯迪, 石将来, 石孝均, 江长胜 (3451)
模拟的增温增雨对内蒙古温带草原土壤氨氧化微生物的影响	张翠景, 沈菊培, 孙翼飞, 王军涛, 杨中领, 韩红艳, 张丽梅, 万师强, 贺正 (3463)
长期施肥酸性旱地土壤硝化活性及自养硝化微生物特征	徐白璐, 钟文辉, 黄欠如, 秦红益, 邓欢, 韩成 (3473)
施加碳酸钙对酸性土壤微生物氮循环的影响	郭安宁, 段桂兰, 赵中秋, 唐仲, 王杨扬, 王伯勋 (3483)
水稻不同生育期根际与非根际土壤胞外酶对施氮的响应	魏亮, 汤珍珠, 祝贞科, 蔡观, 葛体达, 王久荣, 吴金水 (3489)
凋落物呼吸温度敏感性的变化特征及其影响因素	张彦军 (3497)
西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义	王新, 夏敦胜, 王博, 陈红, 刘浩 (3507)
小麦秸秆驱动菱铁矿热解制备磁性生物炭及其吸附 Cd ²⁺ 活性	张如玉, 刘海波, 邹雪华, 庆承松, 李梦雪, 陈冬, 陈天虎 (3519)
交通污染暴露对 DNA 甲基化的影响	汪婷, 丁锐, 黄丹妮, 祝子逸, 章军, 叶怀庄, 徐迎春, 金永堂 (3529)
外接菌种对污泥堆肥效能及堆体细菌群落的影响	杨萍萍, 尹华, 彭辉, 唐少宇, 卢妙, 刘皓 (3536)
中国电动自行车动力铅酸蓄电池生命周期评价	刘巍, 田金平, 陈吕军 (3544)
《环境科学》征稿简则 (3280) 《环境科学》征订启事 (3301) 信息 (3353, 3472, 3535)	

用于滤膜称重的饱和氯化镁溶液恒湿系统搭建与评估

李晓晓, 张强, 邓建国, 蒋靖坤*, 郝吉明

(清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要: 目前中国大气颗粒物污染严重, 许多颗粒物测量工作使用基于滤膜采样的重量分析法, 滤膜称重过程的质量保障至关重要。本文搭建了一套具有恒湿能力的滤膜平衡称重箱(1.2 m × 0.6 m × 0.8 m)并自制流量控制系统用于平衡和称量滤膜。通过测试空白滤膜和负载大气颗粒物的滤膜在不同相对湿度下的质量变化确定了30%~40%的平衡相对湿度并选用饱和氯化镁溶液控制称重箱内的相对湿度。用20 L·min⁻¹的干燥气通过装有饱和氯化镁溶液的恒湿箱, 再将平衡后的气体通入平衡称重箱使其相对湿度达到稳定, 随后用5 L·min⁻¹的流量维持。通过一个月的测试表明, 系统在称重箱外相对湿度变化较大时, 仍可维持称重箱内相对湿度在30.1%~34.0%之间。使用该恒湿系统称量60张滤膜, 恒湿3次后称量的偏差均值不超过±0.02 mg。相比于其他恒湿系统, 这套系统具有简单、稳定、易于维护和成本低的特点。

关键词: 滤膜; 称重箱; 恒湿; 氯化镁; 饱和溶液

中图分类号: X830.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)08-3095-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.201612265

Evaluation and Development of a Weighing Chamber by Using Saturated MgCl₂ Solution

LI Xiao-xiao, ZHANG Qiang, DENG Jian-guo, JIANG Jing-kun*, HAO Ji-ming

(School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In recent years, China has suffered a lot from atmospheric particles. Many studies of particles are based on filters. As a result, the accuracy of filter weighing is of great importance. A weighing chamber (1.2 m × 0.6 m × 0.8 m) was developed and evaluated using saturated MgCl₂ solution with a self-made flow control system to maintain constant relative humidity (RH). By evaluating the mass change of blank and aerosol-enriched filters after weighing in different RH, we selected RH of 30%-40% as the range for the proper constant RH. To reach a constant RH, 20 L·min⁻¹ dry air was put through a RH-constant chamber with MgCl₂ solution in it. Then, the RH-constant air was put continually into the weighing chamber. After the weighing chamber reached stable RH, the flow rate was adjusted to 5 L·min⁻¹ to maintain the RH. Throughout a one-month test, the weighing chamber maintained 30.1%-34.0% RH while the outside RH changed a lot. We weighed 60 filters with this weighing chamber after equilibration for 24 hours. The standard deviation after three times' weighing was no more than 0.02 mg. compared to other methods, the RH-controlling method of this weighing chamber was simple, stable, easy to maintain, and cost effective.

Key words: filter; weighing chamber; constant humidity; MgCl₂; saturated solution

颗粒物是目前中国大气环境中的主要污染物之一, 会危害人体健康^[1], 降低大气能见度^[2], 影响全球气候^[3]。PM₁₀与PM_{2.5}是空气动力学粒径分别小于10 μm和2.5 μm的颗粒物, 目前, 大气PM₁₀与PM_{2.5}均被列入空气污染常规监测项目。大量颗粒物研究工作依赖于基于滤膜采样的重量分析法, 而采集的颗粒物质量相对于滤膜质量非常小, 因此滤膜称量过程的质量保障至关重要。尤其是用分级采样器研究大气或污染源颗粒物和用个体采样器研究颗粒物人体暴露时采集到的滤膜样本, 其颗粒物质量通常在微克量级, 滤膜重量的稍许偏差就会导致采样数据的严重误差^[4]。

影响滤膜称重的因素有很多, 如温度、相对湿度、静电力、震动、滤膜污染等, 其中静电力和相对湿度对滤膜称量的影响最为显著^[5]。Takahashi

等^[6]对比7年来用滤膜称重法与β-射线衰减法(BAM)测到的颗粒物浓度发现, 夏季相对湿度高时滤膜法得到的颗粒物质量浓度明显高于BAM测得的质量浓度。Charell等^[7]在不同的相对湿度下测试了混合纤维素酯(MCE)与聚氯乙烯(PVC)膜, 结果表明随着相对湿度增加, 两种滤膜均会吸水变重。Tsai等^[8]发现滤膜一旦暴露在相对湿度为40%以上时, 就很快开始吸水, 其中MCE滤膜吸水最严重, 当相对湿度由40%升到60%时, 37 mm的MCE滤膜可增加0.35 mg, 同样大小的玻璃(GF)滤膜增加0.14 mg。各种研究的结果表明^[4,9], 由于不同材质滤膜吸水性不

收稿日期: 2016-12-30; 修订日期: 2017-03-11

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2013CB228505); 国家重点研发计划项目(2016YFC0200102)

作者简介: 李晓晓(1993~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为大气颗粒物测量, E-mail: xx-li15@mails.tsinghua.edu.cn

* 通信作者, E-mail: jiangjk@tsinghua.edu.cn

同,相对湿度对不同滤膜的质量影响也不同。

相对湿度不仅可以影响滤膜本身的质量,还会影响采集到的颗粒物质量。颗粒物中含有许多吸水性成分,因此当颗粒物暴露于高的相对湿度下时易发生吸湿增长,而对于不同化学组成的颗粒物,其吸水能力也存在很大差别,水溶性的无机组分体积吸湿增长因子远大于有机组分,体积吸湿增长因子为颗粒物吸水后的湿体积与其吸水前干体积的比值。大气颗粒物中的主要无机组分以水溶性的硫酸铵、硫酸氢铵、硝酸铵形式存在,其体积吸湿增长因子分别为 1.73、1.81、1.83^[10]。而有机组分的体积吸湿增长因子有随其 O/C 增加而增加的趋势,其均值约为 1.17^[11]。

在早期重量法测定颗粒物的过程中,对于条件一般的监测站,没有能力建立平衡室,也没有配备恒湿箱,庄云霞等^[12]提出可采用“携带全程空白滤膜”的方法消除湿度干扰。即对于每张采样滤膜,全程携带一张空白滤膜作为对照,从而对采样滤膜做温湿度的误差校准。这种方法不仅造成大量滤膜浪费,且每张滤膜吸水变化的质量不可能完全相等而导致校正不准确。刘晓红^[13]提出一种用生化培养箱培养 BOD₅ 代替平衡室可维持相对湿度在 36%~39% 之间。此种方法稳定性和适用性较差。李中愚等^[14]用 43% 体积浓度的硫酸溶液作为调湿剂,置于密闭的调湿恒湿箱中,可控制相对湿度为 50%±2%,有效提高了 TSP 测定结果的精密度和准确度。目前一种常用的恒湿方法是在整个放置天平的室内布置除湿器或加湿器,通过传感器回馈机制自动调节除湿器与加湿器的开关^[15]。此种方法不仅不经济,耗费大量能量,还具有在室内的大空间内恒湿不均匀、滤膜容易受污染的特点。另一种是将滤膜放置在恒温恒湿箱内平衡 24h,再用锡箔纸包裹取出拿到天平处称重,但此种方法不能保证滤膜在称量过程中不受相对湿度的影响,滤膜放到天平上以后常常示数波动较大,长时间无法平衡。并且滤膜在转移的过程中也可能会受到污染。

由吉布斯相率可知,非挥发性盐类的饱和盐溶液在一定温度下有其相对应的平衡蒸气压,可以维持上方空气相对湿度一定。在过饱和盐溶液与空气平衡的体系中,若空气相对湿度高于饱和盐溶液的平衡相对湿度,则原本饱和析出的盐类吸收空气中的水分而溶解,若低于平衡相对湿度,则溶液中水分蒸发,溶解的盐类析出^[16]。由于不同盐溶液可提供不同的平衡相对湿度,且具有稳定和成本低的特点,

过饱和的盐溶液维持相对湿度的方法被广泛用于微生物的培养中^[17,18],甚至用于标定相对湿度传感器^[19]。2001 年,Allen 等^[20]将饱和氯化镁溶液用在滤膜称量的天平称重箱中控制相对湿度,在温度为 22.2℃±1.8℃ 时,用过饱和的氯化镁溶液控制天平舱的相对湿度为 34.8%±2.5%。2015 年,Kuo 等^[5]用饱和氯化镁溶液控制天平舱相对湿度在 31%~35%。本研究搭建了一套 1.2 m×0.6 m×0.8 m 的天平舱,并用饱和氯化镁溶液控制天平舱内的相对湿度取得了较好的控制效果。

1 材料与方法

1.1 滤膜平衡称重箱

参考文献[5,20]搭建的天平舱,用 1 cm 厚的亚克力材料建制了一个外尺寸 1.2 m×0.6 m×0.8 m 的天平平衡称重箱,分为上下两部分,上部 3 层铁网为放置滤膜的平衡区;下部放置天平,为滤膜的称重区(图 1)。两部分中间通过一层 1 cm 厚的亚克力板隔开,板上有一个滑动门连通上下两部分。箱体正面有 4 个手孔,上下各两个,上面两个手孔用来放置滤膜到铁架上,下面的两个手孔用来称量滤膜。两侧分别开一个活动门用于将天平等器材放入天平舱内。在天平称重箱上面放置一个独立的同等材质的 1.2 m×0.6 m×0.1 m 的相对湿度控制箱,通过一根聚氯乙烯管连接两个箱室构成了用于滤膜平衡和称量的恒湿系统。平衡称重箱内放置一个称量精度为 0.01 mg 的分析天平。

1.2 平衡相对湿度选取

《环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 测定 重量法》(HJ 618-2011)^[21]对手工采样膜称量分析过程规定,滤膜采样前后应置于恒温恒湿箱内平衡 24 h 后称重,其温度在 15~30℃ 范围内可调,控温精度±1℃,相对湿度控制在 50%±5%。美国环保署标准 EPA 要求滤膜在温度为(20~23℃)±2℃,相对湿度为(30%~40%)±5%的环境下稳定 24 h 以上^[22]。国标与美国的标准选取了不同的平衡相对湿度,本实验将空白滤膜和负载大气颗粒物的滤膜放在一系列相对湿度下平衡后称量其质量的相对变化来确定合适的平衡相对湿度。

1.2.1 空白滤膜对相对湿度变化的响应

采集大气或污染源颗粒物通常用到的有石英纤维滤膜和 Teflon 滤膜^[23,24]。为了评估相对湿度变化对这两种滤膜质量的影响,将 37 mm 石英滤膜,47 mm 石英滤膜各 20 张,37 mm 的 Teflon 滤膜和 47

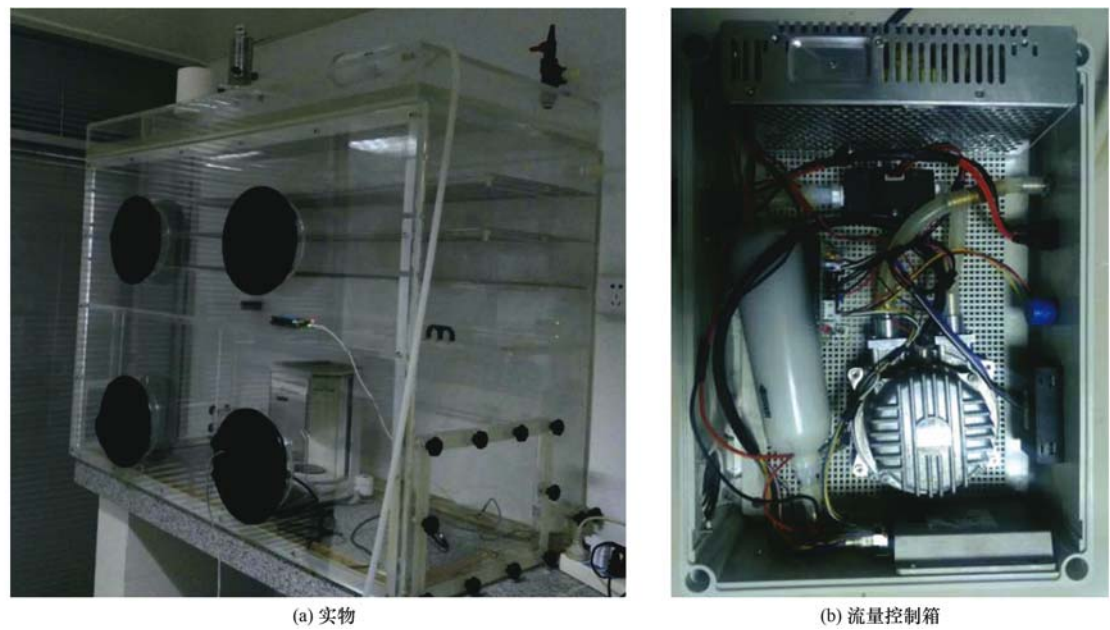


图 1 天平平衡称重室实物及流量控制箱

Fig. 1 Weighing chamber and flow control box

mm 的 Teflon 滤膜各 10 张,放入恒温恒湿箱 (Binder KBF240) 中一系列相对湿度下恒温恒湿 (20℃, 20% ~80%), 每个相对湿度下恒湿 24 h 后称量. 图 2 为滤膜质量相对于 RH 为 20% 时的质量偏差均值与标准差. 结果表明,相对湿度对 Teflon 滤膜质量的影响可以忽略不计. 而对于石英滤膜,47 mm 和 37 mm 滤膜表现出相同的相对质量变化,在相对湿度从 20% 增长到 30% 时,其质量变化较小,相对湿度从 30% ~80% 每增加 10% 的相对湿度,相对质量增加 0.004 ~0.006 mg·mg⁻¹.

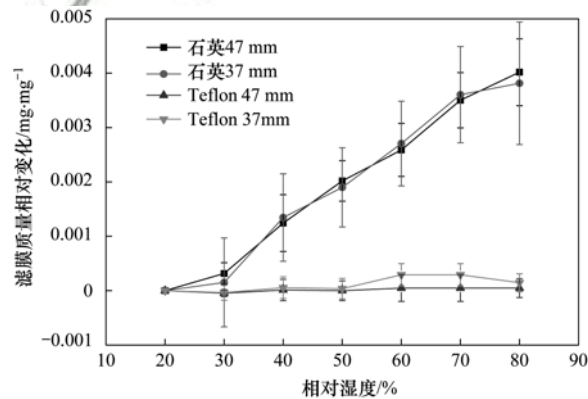


图 2 石英与 Teflon 滤膜在不同相对湿度下的质量相对变化与标准差

Fig. 2 Average and standard deviation of relative mass change for quartz and Teflon filter under different RH

1.2.2 负载大气颗粒物的滤膜对相对湿度变化的响应

在 2016 年 12 月 23 ~30 日,每天使用 PM_{2.5} 大

流量采样器 (999 L·min⁻¹) 采集石英滤膜 24h, 在每张滤膜上截取 3 张共 24 张 37mm 滤膜测量一系列平衡相对湿度下负载大气颗粒物滤膜的质量相对变化. 同时运行的仪器有一台在线亚微米级气溶胶非难溶性组分 (NR-PM₁) 测量质谱仪 (ACSM)^[25], 测量 NR-PM₁ 中的硫酸盐,硝酸盐,铵盐和总有机组分. 由于北京 NR-PM₁ 占 PM_{2.5} 比例约为 77%^[26], 因此 NR-PM₁ 组分可在一定程度上反映 PM_{2.5} 的组分. 采样期间颗粒物中的主要组分 Org、SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺ 的平均比例分别为 49%、9%、26%、12%. 从图 3 可以看出,在相对湿度为 40% 以下时,负载典型北京大气颗粒物的滤膜质量随相对湿度变

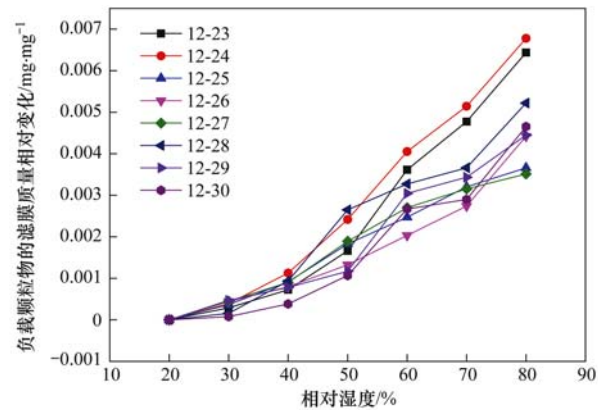


图 3 负载颗粒物的石英滤膜在不同相对湿度下的质量相对变化

Fig. 3 Average relative mass change for quartz filter with ambient particles on it under different RHs

化不大,而在 50% 左右时,其相对质量对相对湿度变化较敏感.

1.2.3 相对湿度的选取

颗粒物质量监测较常用的方法有 3 种:重量法,微量振荡天平法 (TEOM) 和 β 射线衰减法. 其中,后两种方法通常将颗粒物加热到 35 ~ 50℃ 以上把

水分蒸发掉以避免颗粒物吸水和水在滤膜上的冷凝带来的质量浓度高估^[27,28]. 结合空白滤膜与负载颗粒物的滤膜对相对湿度变化的响应,本文选取一个较低的平衡相对湿度,即美国 EPA 的恒湿标准作为该滤膜平衡称重箱的平衡条件. 由表 1 可知,在 30% ~ 40% 的范围内,较合适的盐类为氯化镁.

表 1 不同温度下饱和盐溶液对应的相对湿度^[29]/ %
Table 1 RH of saturated salt solution at different temperatures/ %

温度/℃	氯化锂	醋酸钾	氯化镁	碳酸钾	硝酸镁	氯化钠
15	11.30 ± 0.35	23.40 ± 0.32	33.30 ± 0.21	43.15 ± 0.33	55.87 ± 0.27	75.61 ± 0.18
20	11.31 ± 0.31	23.11 ± 0.25	33.07 ± 0.18	43.16 ± 0.33	54.38 ± 0.23	75.47 ± 0.14
25	11.30 ± 0.27	22.51 ± 0.32	32.78 ± 0.16	43.16 ± 0.39	52.89 ± 0.22	75.29 ± 0.12
30	11.28 ± 0.24	21.61 ± 0.53	32.44 ± 0.14	43.17 ± 0.50	51.40 ± 0.24	75.09 ± 0.11

1.3 饱和氯化镁恒湿箱

1.3.1 MgCl_2 溶液恒湿系统搭建

通过调节室内空调温度以控制滤膜平衡称重箱和 MgCl_2 饱和溶液恒湿箱内温度在 20℃ ± 2℃. 将 16 kg 的 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶解在 7 L 去离子水中得到体积约为 16L 的过饱和氯化镁盐溶液,加入 MgCl_2 饱和溶液恒湿箱后高度约为 2.5 cm. 用风机抽取室内

空气先经过扩散干燥管干燥再经过 HEPA 除去颗粒物后通入饱和氯化镁恒湿箱. 通过扩散干燥管后气流相对湿度在 10% ~ 20%,通过 HEPA 后大于 0.1 μm 的颗粒物去除率为 99.99%. 用流量调节阀调节流量,用流量计实时测量显示气体流量. 氯化镁恒湿箱内设 7 个挡板使空气与饱和氯化镁溶液液面接触的有效长度为 4.8 m,以达到更好的混合效果.

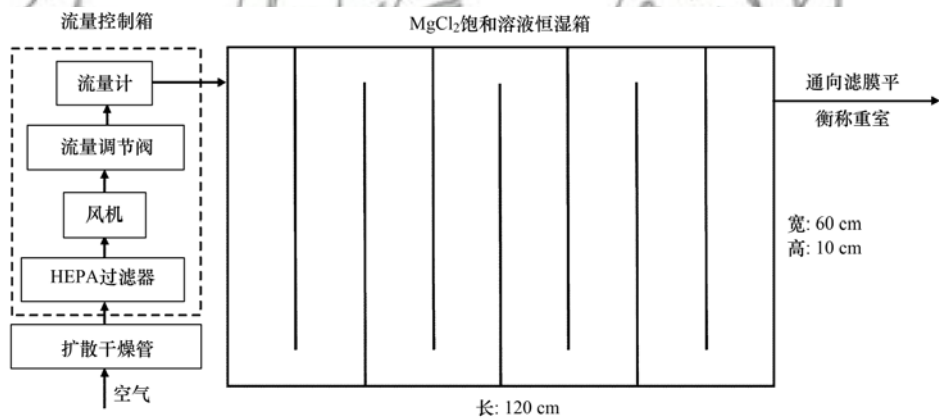


图 4 相对湿度控制流程示意

Fig. 4 Flowchart of RH control

若气体流量过小,则无法维持天平箱内相对湿度;若流量过大,空气在恒湿箱中停留时间不足可能还没与饱和溶液达到平衡. 为了找到一个合适的流量,分别测量不同流量下相对湿度从箱外水平到平衡值所需的平衡时间. 每次达到平衡相对湿度后断开湿度控制箱与称重室的空气管道连接,打开所有手孔和侧门,自然通风直至称重室内相对湿度下降到与箱外相对湿度基本相等再进行下一次测量. 箱内与箱外所用的温湿度传感器 (Vaisala, HMP110; Sensiron, SHT75) 在实验前经比对有较好的一致性.

图 5 为测量结果,发现平衡称重室内相对湿度的变化非常平稳. 流量越大,达到平衡所需的时间越小. 当气体流量为 20 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,100 min 就可以达到 32% 的相对湿度. 但在流量为 2.5 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,系统很难达到 32% 的相对湿度. 考虑到扩散干燥管硅胶的换取频率和恒湿箱内加水频率,选取一个较小的流量有利于日常维护,最终本研究选择用 20 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 流量先使称重箱达到平衡再用 5 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 的流量维持.

1.3.2 恒湿系统日常维护

根据室内相对湿度不同,干燥管需不定期更换,

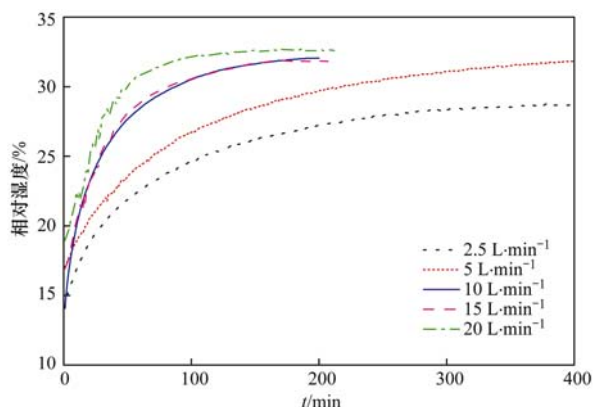


图5 不同流量下天平达到平衡相对湿度大小及所需时间

Fig. 5 Stabilization of RH and the time needed to reach equilibrium under different flow rates

北京冬季室内相对湿度约为 10% ~ 25%, 可不加干燥管; 夏季室内相对湿度约为 60%, 约 3 ~ 4 d 需要更换一次。

气体通过扩散干燥管后相对湿度为 10% ~ 20%, 经过 MgCl_2 饱和溶液恒湿箱时会带走溶液中部分水分从而导致溶解的氯化镁从溶液中析出, 长期如此将导致箱内饱和溶液不断减少, 相对湿度的控制效果减弱。因此, 需要定期向饱和溶液中加入去离子水, 经过计算可得出每周应加入去离子水 150 ~ 200 mL。在具体操作中, 应注意观察相对湿度控制箱内氯化镁的析出情况调整加水量以保证氯化镁为少量析出的状态。

当通过手孔在滤膜平衡称重箱内进行操作时, 皮肤水分的蒸发会影响到相对湿度, 因此必须戴上橡胶手套。同时, 由于手孔打开, 箱内与外界气体有交换, 需要适当增大流量来保持箱内的正压从而保持相对湿度。在室内相对湿度约为 15% 时, 若手孔打开时仍保持 $5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 的空气流量不变, 则相对湿度很快下降。只有流量在 $15 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 以上时才能保持相对湿度基本维持不变。因此选择每次打开手孔进行操作之前将流量调至 $20 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

1.4 其他平衡条件控制

除了相对湿度以外, 温度、静电力、震动等也会影响滤膜的称量。通过室内的空调将温度控制在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。整个天平舱放置在大理石台上防震, 流量控制箱放置在远离天平舱的泡沫材料上以减少震动对天平称量的影响。称量时若不能完全消除滤纸上的静电荷, 多次称量时可重复性较差^[30]。因此每张滤膜在称量前, 都先使用 Po-210 静电消除器释放 α 微粒中和滤膜的静电以消除静电干扰 (或使用电晕放电产生正、负离子中和滤膜的静电)。

2 结果与讨论

2.1 恒湿效果评估

使用相对湿度与温度传感器做长时间同时监测滤膜平衡称重箱内和箱外的相对湿度。实验时间为 11 月, 如图 6, 28 d 内箱外湿度在 16% ~ 31% 的范围内变化较大, 而箱内相对湿度可以稳定保持在 30.1% ~ 34.0%。实验期间, 天平舱内外的温度均在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 范围内, 相差不超过 1°C 。

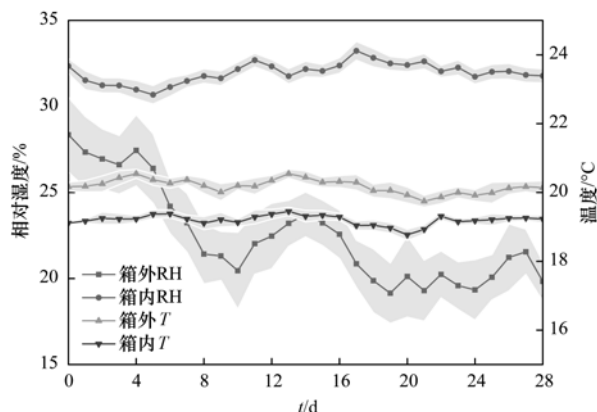


图6 一个月内天平舱内外相对湿度及温度变化及标准差

Fig. 6 Average and standard deviation of RH and temperature inside and outside the weighing chamber for one month

2.2 滤膜称量稳定性评估

用该恒湿系统称量 37 mm 石英滤膜, 47 mm 石英滤膜, 37 mm 的 Teflon 滤膜和 47 mm 的 Teflon 滤膜各 15 张, 每张滤膜在箱中平衡 24 h 后称量第一次, 再平衡 24 h 称量第二次, 再平衡 24 h 称量第三次。第二次和第三次称量的结果与第一次数值偏差如图 7, 用盒形图给出了偏差的四分位数和偏差均值。3 次测量的质量偏差范围在 $\pm 0.06 \text{ mg}$ 之内, 偏差均值在 $\pm 0.02 \text{ mg}$ 之内。

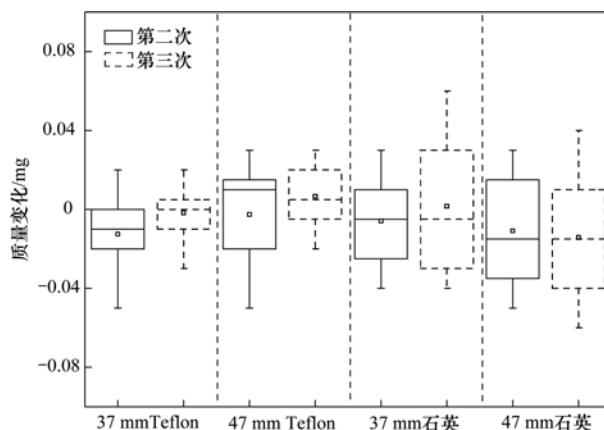


图7 后两次平衡滤膜相对于第一次平衡的称量误差

Fig. 7 Differences between three times' weighing

2.3 该系统优势

与前言中提到的两种恒湿方法相比,该滤膜平衡称量系统主要有3个好处.第一,稳定性好.滤膜的平衡和称重都是在箱体内,箱体较小,因此稳定性较好且滤膜受到污染的可能性很小;第二,易于维护.该恒湿系统可随用随开,打开后用 $20\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 的流量1~2 h即可达到平衡所需相对湿度.也可长期运行,在箱外相对湿度较大(~60%)时,3~4 d更换一次硅胶,在箱外相对湿度较低(~15%)时,每周添加150~200 mL去离子水即可.第三,制作和维护成本低.箱体及自制流量控制箱成本仅在几千元,而市面上较好的恒温恒湿箱都在几万元以上.该系统的维护成本仅为流量控制箱的运行成本.

3 结论

(1) 对于空白滤膜,RH在30%以下时滤膜质量对RH变化不敏感,RH在30%以上时滤膜质量对RH变化较敏感.对于负载颗粒物的滤膜,RH在40%以下时滤膜质量对RH不敏感,RH在40%以上时滤膜质量对RH较敏感.因此选用饱和氯化镁溶液作为平衡溶液.

(2) 搭建了一套具有恒湿能力的滤膜平衡称重箱用于平衡和称量滤膜,制作了流量控制系统.评估了不同流量下系统达到平衡所需时间,最终确定以 $20\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 启动恒湿系统,待平衡后用 $5\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 小流量维护.

(3) 通过一个月的稳定性测试表明,系统在恒湿箱外相对湿度变化较大时,仍可维持箱内相对湿度在30.1%~34.0%之间.使用该恒湿系统称量60张滤膜,3次测量偏差均值在 $\pm 0.02\text{ mg}$ 之内.相比于其他系统,这套系统具有简单、稳定、易于维护和成本低的特点.

致谢:感谢台湾大学陈志傑教授对搭建该系统的指导和帮助.

参考文献:

- [1] Pope C A III, Burnett R T, Thun M J, *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. JAMA, 2002, **287**(9): 1132-1141.
- [2] Watson J G. Visibility: science and regulation[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, **52**(6): 628-713.
- [3] Ramanathan V, Crutzen P J, Kiehl J T, *et al.* Aerosols, climate, and the hydrological cycle[J]. Science, 2001, **294**(5549): 2119-2124.
- [4] Hänninen O O, Koistinen K J, Kousa A, *et al.* Quantitative analysis of environmental factors in differential weighing of blank Teflon filters[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, **52**(2): 134-139.
- [5] Kuo Y M, Hsu C W, Chen J Y, *et al.* Development of a reliable and cost-effective weighing chamber for aerosol sample analyses[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2015, **15**(3): 749-758.
- [6] Takahashi K, Minoura H, Sakamoto K. Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(21): 5232-5240.
- [7] Charell P R, Hawley R E. Characteristics of water adsorption on air sampling filters[J]. American Industrial Hygiene Association Journal, 1981, **42**(5): 353-360.
- [8] Tsai C J, Chang C T, Shih B H, *et al.* The effect of environmental conditions and electrical charge on the weighing accuracy of different filter materials[J]. Science of the Total Environment, 2002, **293**(1-3): 201-206.
- [9] Brown A S, Yardley R E, Quincey P G, *et al.* Studies of the effect of humidity and other factors on some different filter materials used for gravimetric measurements of ambient particulate matter[J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(25): 4670-4678.
- [10] Gysel M, Crosier J, Topping D O, *et al.* Closure study between chemical composition and hygroscopic growth of aerosol particles during TORCH2[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007, **7**(24): 6131-6144.
- [11] Varutbangkul V, Brechtel F J, Bahreini R, *et al.* Hygroscopicity of secondary organic aerosols formed by oxidation of cycloalkenes, monoterpenes, sesquiterpenes, and related compounds[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2006, **6**(9): 2367-2388.
- [12] 庄云霞. 无平衡室条件下测定 TSP 质量控制[J]. 中国环境监测, 1997, (2): 59.
- [13] 刘晓红. 无平衡室条件下测定 TSP 的滤膜恒重方法[J]. 环境监测管理与技术, 2002, **14**(6): 34.
- [14] 李中愚, 罗军, 闵守祥. 恒湿法测定空气中总悬浮微粒(TSP)[J]. 中国环境监测, 1990, **6**(2): 7-10.
- [15] Li Z Y, Luo J, Min S X. Measurement of the total suspended particles in the air with constant relative humidity[J]. Environmental Monitoring in China, 1990, **6**(2): 7-10.
- [16] Carlton A G, Teitz A. Design of a cost-effective weighing facility for PM_{2.5} quality assurance[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, **52**(5): 506-510.
- [17] Winston P W, Bates D H. Saturated solutions for the control of humidity in biological research[J]. Ecology, 1960, **41**(1): 232-237.
- [18] Hong T D, Edgington S, Ellis R H, *et al.* Saturated salt solutions for humidity control and the survival of dry powder and oil formulations of *Beauveria bassiana* conidia[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2005, **89**(2): 136-143.
- [19] Hong T D, Ellis R H, Gunn J, *et al.* Relative humidity, temperature, and the equilibrium moisture content of conidia of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin: a quantitative approach[J]. Journal of Stored Products Research, 2002, **38**(1): 33-41.
- [19] Lu T, Chen C. Uncertainty evaluation of humidity sensors calibrated by saturated salt solutions[J]. Measurement, 2007,

- 40(6): 591-599.
- [20] Allen R, Box M, Liu L J S, *et al.* A cost-effective weighing chamber for particulate matter filters[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2001, **51**(12): 1650-1653.
- [21] HJ 618-2011, 环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的测定 重量法[S].
- [22] US EPA. PM_{2.5} mass weighing laboratory standard operating procedures for the performance evaluation program[S]. 1998.
- [23] 蒋靖坤, 邓建国, 李振, 等. 双级虚拟撞击采样器应用于固定污染源 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 排放测量[J]. 环境科学, 2016, **37**(6): 2003-2007.
- Jiang J K, Deng J G, Li Z, *et al.* Application of a two-stage virtual impactor in measuring of PM₁₀ and PM_{2.5} emissions from stationary sources[J]. Environmental Science, 2016, **37**(6): 2003-2007.
- [24] 马子轶, 李振, 蒋靖坤, 等. 燃煤电厂产生和排放的 PM_{2.5} 中水溶性离子特征[J]. 环境科学, 2015, **36**(7): 2361-2366.
- Ma Z Z, Li Z, Jiang J K, *et al.* Characteristics of water-soluble inorganic ions in PM_{2.5} emitted from coal-fired power plants[J]. Environmental Science, 2015, **36**(7): 2361-2366.
- [25] Sun Y L, Wang Z F, Dong H B, *et al.* Characterization of summer organic and inorganic aerosols in Beijing, China with an Aerosol Chemical Speciation Monitor [J]. Atmospheric Environment, 2012, **51**: 250-259.
- [26] Sun Y L, Wang Z F, Du W, *et al.* Long-term real-time measurements of aerosol particle composition in Beijing, China: seasonal variations, meteorological effects, and source analysis [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, **15**(17): 10149-10165.
- [27] Allen G, Sioutas C, Koutrakis P, *et al.* Evaluation of the TEOM[®] method for measurement of ambient particulate mass in urban areas[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 1997, **47**(6): 682-689.
- [28] Park S S, Kim Y J, Lee K W, *et al.* Development of an automatic beta gauge particulate sampler with filter cassette mechanism[J]. Aerosol Science and Technology, 2001, **35**(4): 844-851.
- [29] Wexler A, Hasegawa S. Relative humidity-temperature relationships of some saturated salt solutions in the temperature range 0° to 50°C[J]. Journal of Research of the National Bureau of Standards, 1954, **53**(1): 19-26.
- [30] Lawless P A, Rodes C E. Maximizing data quality in the gravimetric analysis of personal exposure sample filters [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 1999, **49**(9): 1039-1049.



CONTENTS

Evaluation and Development of a Weighing Chamber by Using Saturated MgCl_2 Solution	LI Xiao-xiao, ZHANG Qiang, DENG Jian-guo, <i>et al.</i> (3095)
Characteristics Research on Carbonaceous Component of Particulate Matter Emitted from Iron and Steel Industry	ZHANG Jin-sheng, WU Jian-hui, MA Xian, <i>et al.</i> (3102)
Pollution Characteristics and Source Identification of PAHs in Atmospheric $\text{PM}_{2.5}$ in Changzhou City	GU Ai-jun, LIU Jia-shu, LUO Shi-peng, <i>et al.</i> (3110)
Atmospheric Dry Deposition Fluxes and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lanzhou Valley, Northwest China	JU Yuan-li, LIU Pan-liang, YU Zhou-suo, <i>et al.</i> (3120)
Characteristics and Sources of Elements in Atmospheric Dust Fall in Zhuzhou City, Central China	WANG Shi-hao, ZHANG Kai, CHAI Fa-he, <i>et al.</i> (3130)
Atmospheric Pollutant Emission Characteristics from the Cooking Process of Traditional Beijing Roast Duck	XU Min, HE Wan-qing, NIE Lei, <i>et al.</i> (3139)
Exhaust Emission Characteristics of Typical Alkanes from Heavy-Duty Diesel Vehicles Based on a Portable Emission Measurement System	SHI Chun-zhen, HAO Xue-wei, SHEN Xian-bao, <i>et al.</i> (3146)
PM_{10} Concentration Forecasting Model Based on Wavelet-SVM	WANG Ping, ZHANG Hong, QIN Zuo-dong, <i>et al.</i> (3153)
Emission Factors and Preliminary Emission Estimates of Air Pollutants from Ships at Berth in the Guangzhou Port	HUANG Xue-liang, ZHANG Zhou, YANG Wei-qiang, <i>et al.</i> (3162)
Influence of Dust Events on the Concentration and Size Distribution of Microorganisms in Bioaerosols	LI Hong-tao, Qi Jian-hua, DONG Li-jie, <i>et al.</i> (3169)
Odor Emission Characteristics and Pollution Evaluation from Typical Household Rubbish Disposal Facilities	LU Hui-jie (3178)
Perfluorinated Compounds in Snow from Downtown Hangzhou, China	ZHANG Ming, TANG Fang-liang, YU Ya-yun, <i>et al.</i> (3185)
Fluorescence Characterization of Fractionated Colloids in Wastewaters Received by Huangpu River	NIE Ming-hua, YAN Cai-xia, YANG Yi, <i>et al.</i> (3192)
Sources of Organic Carbon in the Surface Water of Lijiang River	ZHAO Hai-juan, XIAO Qiong, WU Xia, <i>et al.</i> (3200)
Impacts of Thermal Stratification on the Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon in a Typical Karst Reservoir in Summer	WU Fei-hong, PU Jun-bing, LI Jian-hong, <i>et al.</i> (3209)
Comparison of Heavy Metal Contamination Characteristics in Surface Water in Different Functional Areas; A Case Study of Ningbo	XU Mei-juan, TONG Gui-hua, SUN Dan, <i>et al.</i> (3218)
Comparison of Identification Methods of Main Component Hydrochemical Anomalies in Groundwater; A Case Study of Liujiang Basin	ZHANG Xiao-wen, HE Jiang-tao, PENG Cong, <i>et al.</i> (3225)
Biotic and Abiotic Uptake of Phosphorus in Benthic Sediments of Suburban Streams Under Intense Human Disturbance Scenario	LI Ru-zhong, YE Zhou, GAO Su-di, <i>et al.</i> (3235)
Sedimentary Phosphorus Speciation in the Coastal Hypoxic Area of Changjiang Estuary and Its Environmental Significance	LIU Jun, ZANG Jia-ye, RAN Xiang-bin, <i>et al.</i> (3243)
Characteristics and the Relationship of Nitrogen and Phosphorus in Soil and Water of Different Land Use Types of a Small Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Cheng-long, GAO Ming, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (3254)
Characteristics of Carbon Transportation Under Rainfall Events and Associated Carbon Loss Evaluation in Loess Plateau, China; A Case Study of Yangjuangou Dam Watershed	E Xin-hui, WANG Ya-feng, GAO Yang, <i>et al.</i> (3264)
New Bromated Phenolic Disinfection Byproducts: Mechanism of Their Decomposition During Chlorination	LI Huan, LI Zheng-kui, LI Ai-min, <i>et al.</i> (3273)
Effects of Algal Morphology and Al Species Distribution on the Coagulation-Ultrafiltration Process	ZHANG Da-wei, XU Hui, WANG Xi, <i>et al.</i> (3281)
Functional Group Characteristics of Planktonic Diatoms and Their Relationship with Environmental Factors in the Ruxi River	XIANG Rong, LI Qiao-yu, YU Yi, <i>et al.</i> (3290)
Spatiotemporal Variations of Chlorophyll <i>a</i> and Its Relationship to Environmental Factors in Shiyan Reservoir	SONG Yun-long, ZHANG Jin-song, Guo Xiao-ya, <i>et al.</i> (3302)
Rhizosphere Microbial Diversity in Different Wetland Microcosms	WANG Lin, LI Bing, YU Jia-hui, <i>et al.</i> (3312)
Community Structure of Microorganisms and Its Seasonal Variation in Beihai Lake	ZHANG Ya-jie, LI Ke, ZHU Hao-ran, <i>et al.</i> (3319)
Analysis of Microbial Diversity in a Fluidized-Sand Biofilter Based on High-Throughput Sequencing Technology	ZHANG Hai-geng, SONG Hong-qiao, GU Chuan-chuan, <i>et al.</i> (3330)
Analysis of High-efficiency Denitrifying Bacteria and Embedding Filler Performance and Microflora	MENG Ting, YANG Hong (3339)
Selection of Microalgae for Biofuel Using Municipal Wastewater as a Resource	HAN Song-fang, JIN Wen-biao, TU Ren-jie, <i>et al.</i> (3347)
Purification Effect of Piggery Wastewater with <i>Chlorella pyrenoidosa</i> by Immobilized Biofilm-Attached Culture	WANG Yuan-zhu, CHENG Peng-fei, LIU De-fu, <i>et al.</i> (3354)
Combination of Microbubble Catalytic Ozonation and Biological Process for Advanced Treatment of Biotreated Coal Chemical Wastewater	LIU Chun, ZHOU Hong-zheng, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (3362)
Effect of pH Shock on Nitrogen Removal Performance of Marine Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria Treating Saline Wastewater	YU De-shuang, ZHOU Tong, LI Jin, <i>et al.</i> (3369)
Removal of Nitrogen from Alcohol Wastewater by PN-ANAMMOX	ZHOU Zheng, LIN Xing, WANG Fan, <i>et al.</i> (3377)
Biorecovery of Palladium from Simulated Wastewaters and Its Catalytic Property for Methylene Blue	KANG Nai-xin, ZHU Neng-wu, GUO Wen-ying, <i>et al.</i> (3385)
Investigation of Initiation and Shock Process of ANAMMOX Based on Color Space	WANG Li-jun, LI Zhi-hua, HAN Dong, <i>et al.</i> (3393)
Fast Start-up of Shortcut Nitrification in a CSTR and an MBR	ZHANG Ting, WU Peng, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (3399)
Conversion Pathways of Substrates in Sulfate-Reducing Ammonia Oxidation System	WANYAN De-qing, HUANG Yong, BI Zhen, <i>et al.</i> (3406)
Effect of Different TOC to NH_4^+ -N Ratios on Nitrogen Removal Efficiency in the ANAMMOX Process	WANG Fan, LIU Kai, LIN Xing, <i>et al.</i> (3415)
Effects of Salinity on the Operation of EGSB Reactors and the Anaerobic Granular Sludge	TAN Xiao, HUANG Liang, YANG Ping, <i>et al.</i> (3422)
Start-up of Granule CANON Process and the Strategy for Enhancing Total Nitrogen Removal Rate	SUN Yan-fang, HAN Xiao-yu, ZHANG Shun-jun, <i>et al.</i> (3429)
Effect of Extracellular Polymeric Substance (EPS) on the Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) onto Activated Sludge	LIU Xin-tong, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (3435)
Characteristics of N_2O and NO_x Emissions from Purple Soil Under Different Fertilization Regimes	HU Lei, LIU Yun, ZHU Bo (3442)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane Emission from a Vegetable Field	ZHANG Kai-li, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i> (3451)
Responses of Soil Ammonia Oxidizers to Simulated Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe of Inner Mongolia	ZHANG Cui-jing, SHEN Ju-peí, SUN Yi-fei, <i>et al.</i> (3463)
Nitrification Activity and Autotrophic Nitrifiers in Long-term Fertilized Acidic Upland Soils	XU Bai-lu, ZHONG Wen-hui, HUANG Qian-ru, <i>et al.</i> (3473)
Effects of CaCO_3 Application on Soil Microbial Nitrogen Cycle in an Acid Soil	GUO An-ning, DUAN Gui-lan, ZHAO Zhong-qiu, <i>et al.</i> (3483)
Responses of Extracellular Enzymes to Nitrogen Application in Rice of Various Ages with Rhizosphere and Bulk Soil	WEI Liang, TANG Zhen-zhu, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (3489)
Variation in the Temperature Sensitivity of Surface Litter Respiration and Its Influencing Factors	ZHANG Yan-jun (3497)
Magnetic Properties of Farmland Soils in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Implications	WANG Xin, XIA Dun-sheng, WANG Bo, <i>et al.</i> (3507)
Preparation of Magnetic Biomass Carbon by Thermal Decomposition of Siderite Driven by Wheat Straw and Its Adsorption on Cadmium	ZHANG Ru-yu, LIU Hai-bo, ZOU Xue-hua, <i>et al.</i> (3519)
Effects of Traffic-related Air Pollution Exposure on DNA Methylation	WANG Ting, DING Rui, HUANG Dan-ni, <i>et al.</i> (3529)
Effects of Exogenous Microorganism Inoculation on Efficiency and Bacterial Community Structure of Sludge Composting	YANG Ping-ping, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (3536)
Life Cycle Assessment of Traction Lead-acid Batteries for Electric Bikes in China	LIU Wei, TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun (3544)