



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7卷 第4期

Vol.7 No.4

中国科学院 主办
生态环境研究中心
科学出版社 出版

4
2013

目 次

水 污 染 防 治

SBR 单级自养脱氮系统氮素转化途径	吕永涛	王 磊	孙 婷	王旭东	王志盈(1201)
基于 SIMULINK 的硝化反应动力学模型的仿真	罗飞杭	杨朝晖	卢 慧	罗远玲	战 琪(1206)
不同来源高浓度有机废水的集中处理	张伟军	高 雅	马士龙	张 明	王东升 徐岳阳(1213)
纯种氢氧化菌短程反硝化特性	周 莉	李正魁	王易超	范念文	(1219)
常温 CSTR 部分亚硝化影响因素及工况优化研究	仲 航	李 冬	吴 迪	曾涛涛	刘丽倩 苏东霞 张 杰(1225)
温度和污泥浓度对碱性条件下剩余污泥水解酸化的影响	苏高强	王淑莹	郑冰玉	彭永臻	(1231)
双向旋流污水净化器处理溢流污水	臧宝凤	黄勇强	徐明力	史 凯	朱 艳(1237)
铁碳布空气阴极微生物燃料电池的产电性能	唐玉兰	何亚婷	于鹏飞	孙 红	于 燕 彭 漫(1241)
十溴联苯醚共存条件下水中 Zn(II) 的生物吸附	白洁琼	尹 华	叶锦韶	彭 辉	叶 芊 何宝燕 李跃鹏 张 娜 彭素芬(1245)
微波辅助疏水膜的清洗	尹子飞	王 军	纪仲光	侯得印	(1251)
厌氧反应器废水资源化过程在线监测系统	王顺利	尚丽平	李占锋	邓 琥	刘先勇(1256)
不同因素对人工湿地基质脱氮除磷效果的影响	陈丽丽	赵同科	张成军	李 鹏	李新荣 董若征(1261)
新型化粪池处理生活污水启动阶段的实验	陈志强	关华滨			(1267)
pH 值对“Fe ⁰ -厌氧微生物”体系去除 2,4,6-三氯酚过程的影响	吴金钢	戴友芝	郭丽丽	汪桂芝	李小娜(1273)
二氧化钛颗粒制备及其对水中三价砷的去除	谢冬梅	曹林洪	崔金立		(1279)
氨基化凹凸土对水中焦化没食子酸的吸附	王春香	张 艳	薛爱莲	周守勇	赵宜江 陈智栋(1285)
吸附氧化/纳滤/吸附组合工艺处理丙烯腈工业废水	李 薇	展 侠	李继定	郑冬菊	(1290)
不同水生植物去除水体氮磷的效果	何 娜	孙占祥	张玉龙	刘鸣达	(1295)
增溶剂停留时间及对水质和浮游植物影响分析	李 岩	张饮江	刘晓培	吴 昊	张乐婷 段 婷 黎 臻 张曼曼(1301)
温度对亚硝化及氧化亚氮释放的影响	郭 宁	张 建	孔 强	苗明升	田 琳(1308)
超滤膜深度处理染整废水的膜污染机理	付乐乐	李 方	吴 亮	王 歌	(1313)
混凝沉淀去除丙烯酸丁酯废水浊度物质	谷小凤	宋玉栋	周岳溪	马力强	李 军 王 俊(1319)
连片生态浮床对微污染河水的净化效果	段金程	张毅敏	张红卫	高月香	晁建颖(1324)
循环式活性污泥工艺协同处理榨菜废水与城镇污水脱氮效果	何 强	丁文静	司马卫平		(1331)
微孔曝气变速氧化沟循环特性的中试研究	杨亚红	彭党聪	李 磊	郑阳光	韩 芸(1336)
不同类型潜流湿地处理养猪废水的对比	李鹏宇	王 振	袁林江	董 健	刘 琳 朱葛夫 刘超翔(1341)
粉煤灰制备混凝剂及其对黄河水的处理效果	李玉梅	陈莉荣	杜明展		(1346)
利用沉水植物生长期收割进行富营养化水体生态管理的实地研究	姜义帅	陈 灏	马作敏	李 静	(1351)
浊度仪法快速测定水体中硫酸盐含量	薛秀玲	李孟迪			(1359)
MBR 净化受污染地表水的自然启动及稳定运行除污染特性	杨 威	赵秋静	韩正双	李 凯	梁 恒 李圭白(1363)
RBF 与 Elman 神经网络在人工湿地复合基质去污效果预测中的应用	梁启斌	刘云根	田 昆	王万宾	(1368)
稳定表流湿地中污泥的形成及除污效果	张龙飞	王成端	王志帅		(1373)
新型多功能螯合树脂的合成及对水中 Cd(II) 离子的吸附特征	王佳佳	马慧敏	张田林		(1378)
多孔镁铝复合氧化物对水溶液中 Cr(VI) 的吸附性能	王秀娟	王海增			(1383)
啤酒废水常温厌氧消化启动及运行实验	林长松	徐龙飞	谈林友		(1389)
硫化物沉淀法处理含铅废水	何绪文	胡建龙	李静文	张晶晶	王建兵 葛 鹏(1394)
无机陶瓷膜处理油田采出水	丁 慧	彭兆洋	李 毅	温沁雪	陈志强(1399)
减压蒸馏耦合微电解处理六硝基萘二段洗水	车 冉	郝 志	叶正芳		(1405)
水解-复合生物滤池工艺处理盐化工工业废水	管 硕	张鸿涛	吴春旭	程林波	宁 涛(1411)

响应面法优化聚丙烯酸/腐殖酸/累托石吸附剂的制备条件	陈芳艳	叶伟	孙怡涵	贾丽萍	唐玉斌(1417)		
生物制剂法治理藻类水华	周晓云	黄瑞敏	刘欣	文淦斌(1425)			
不同流量分配比对多级 A/O 工艺去除有机物及脱氮的影响	王敏	张智	陈杰云	范功端	金可	梁鹏	胡玲(1430)
光催化氧化-Fenton 组合方法降解高浓度正丙醇废水	曾惠明	程慎玉	沈晓莉	马欢林(1435)			
纳滤膜在垃圾渗滤液深度处理中应用	宁桂兴	张忻	王凯	姜安平	汪桂林(1440)		

大气污染防治

Fenton 试剂法降解餐厨垃圾异味	狄彦强	刘杰民	刘思园	颜鲁春	冯振华(1445)		
特殊植物类群空气凤梨对大气污染物甲醛的净化	李俊霖	李鹏	王恒蓉	郑桂灵(1451)			
天津市纪庄子污水处理厂恶臭气体排放研究	王钊	王秀艳	高爽	白志鹏(1459)			
碳纳米管/二氧化钛/壳聚糖催化薄膜光催化活性及苯降解机理	曾丽萍	张泉	张国强(1465)				
不锈钢烧结纤维毡外加粉体助剂过滤烟尘微粒	包力	杨国华	李邯鹏	王炳辉	杜珂	黄三(1472)	
西安市冬、夏两季 PM _{2.5} 中碳气溶胶的污染特征分析	张承中	丁超	周变红	陶李	刘立忠(1477)		

固体废物处置

一株氧化亚铁硫杆菌的分离及其浸出废旧线路板中铜的效果	张婷	朱能武	许治国	石超宏(1482)						
玉米秸与鸡粪混合厌氧消化产气性能与协同作用	冯亚君	袁海荣	张良	李超	高健	李秀金(1489)				
不同存放时间太湖蓝藻产沼气潜力	赵明星	阮文权(1495)								
磁化焙烧-磁选法回收循环流化床固硫灰中铁	巫侯琴	李军	卢忠远	徐龙华	管波	韦燕飞(1500)				
掺固硫灰 AC-13 型沥青混合料配合比设计	侯莉	赵智	卢忠远	宋丽贤	彭洪	陈培军	李军(1505)			
鸡毛不溶解蛋白海绵膜的制备与表征	庄媛	吴小倩	曹张军	赵晓祥	周美华(1510)					
利用废弃物衍生燃料的热化学处理法制富含氢气合成气	吴畏(1515)									
两相厌氧消化工艺处理鸡粪	倪哲	潘朝智	牛冬杰	陈玲(1522)						
添加氮损失抑制剂对蓝藻泥堆肥质量的影响	任云	崔春红	刘奋武	占新华	周立祥(1527)					
臭氧氧化法深度处理生活垃圾焚烧厂沥滤液	穆永杰	叶杰旭	孙德智(1535)							
液晶显示器玻璃基板回收工艺	孙媛媛	李龙珠	唐惠东(1541)							
废旧线路板真空热解油合成热固性酚醛树脂	朱灶	蔡思涵	孙水裕	刘敬勇	张荣学	徐东军	钟胜	杨帆	李神勇	许婷婷(1545)

土壤污染防治

均匀电场下多环芳烃在土壤中的迁移	王翠苹	许伟	孙红文(1550)				
堆肥污泥重金属在黄土中的淋滤特征	马可婧	张明泉	蔡圃(1557)				
Fenton 氧化技术处理稠油污染土壤	刘其友	李琳	张云波	赵东风	赵朝成(1563)		
汞、铅、铬污染土壤的微生物修复	李梦杰	王翠玲	李荣春	洪俊彦	严亮	刘丽	庄立(1568)
生物强化修复石油污染土壤	张秀霞	滕芝	吴佳东(1573)				
石油烃对翅碱蓬生理特性的影响及植物-微生物联合降解	高乃媛	刘宪斌	赵兴茹(1578)				

噪声污染防治

高速列车纵向对称面气动噪声计算及外形优化	肖友刚	张平(1583)					
----------------------------	-----	----------	--	--	--	--	--

环境生物技术

润滑油高效降解菌的筛选及降解性能	郭晓燕	张志红	沈齐英	李翠清(1589)			
------------------------	-----	-----	-----	-----------	--	--	--

相关研究

侧入式搅拌槽中多相流场特性的数值模拟	张林进	陈功国	柏杨	叶旭初(1594)			
--------------------------	-----	-----	----	-----------	--	--	--

CONTENTS

Nitrogen conversion pathway of autotrophic nitrogen removal process in single SBR	Lü Yongtao Wang Lei Sun Ting Wang Xudong Wang Zhiying(1201)
Stimulation based on SIMULINK for nitrification reaction kinetics model	Luo Feihang Yang Zhaohui Lu Hui Luo Yuanling Zhan Qi(1206)
Central treatment of wastewater with high organic content from different industrial sources	Zhang Weijun Gao Ya Ma Shilong Zhang Ming Wang Dongsheng Xu Yueyang(1213)
Shortcut denitrification characterization of immobilized AOB	Zhou Li Li Zhengkui Wang Yichao Fan Nianwen(1219)
Research on influencing factors and operation optimization for CSTR partial nitrification at normal temperature	Zhong Hang Li Dong Wu Di Zeng Taotao Liu Liqian Su Dongxia Zhang Jie(1225)
Effect of temperature and sludge concentration on hydrolysis and acidification of waste activated sludge under alkaline condition	Su Gaoqiang Wang Shuying Zheng Bingyu Peng Yongzhen(1231)
Treatment of overflow using two-way cyclone flocculation hydrocyclone	Zang Baofeng Huang Yongqiang Xu Mingli Shi Kai Zhu Yan(1237)
Electricity generation performance of microbial fuel cells with carbon cloth as air-cathode and iron as cathode catalyst	Tang Yulan He Yating Yu Pengfei Sun Hong Yu Yan Peng Man(1241)
Biosorption of zinc (II) in water with decabromodiphenyl ethers	Bai Jieqiong Yin Hua Ye Jinshao Peng Hui Ye Qian He Baoyan Li Yuepeng Zhang Na Peng Sufen(1245)
Microwave assisted cleaning of hydrophobic membrane	Yin Zifei Wang Jun Ji Zhongguang Hou Deyin(1251)
Online monitoring system of anaerobic reactor in processes of transforming wastewater into resources	Wang Shunli Shang Liping Li Zhanfeng Deng Hu Liu Xianyong(1256)
Influences of different factors on effect of matrix nitrogen and phosphorus removal in substrates of constructed wetland	Chen Lili Zhao Tongke Zhang Chengjun Li Peng Li Xinrong Dong Ruozheng(1261)
Experiment on start-up phase of new modified septic tanks treating domestic sewage	Chen Zhiqiang Guan Huabin(1267)
Effect of pH values on process for removal of 2,4,6-trichlorophenol by Fe ⁰ -anaerobic microbe system	Wu Jingang Dai Youzhi Guo Lili Wang Guizhi Li Xiaona(1273)
Preparation and evaluation of TiO ₂ granule for As(III) removal from water	Xie Dongmei Cao Linhong Cui Jinli(1279)
Adsorption of pyrogallol from aqueous solution by amine modified attapulgite	Wang Chunxiang Zhang Yan Xue Ailian Zhou Shouyong Zhao Yijiang Chen Zhidong(1285)
Treatment of wastewater from acrylonitrile industries with combined processes of adsorption oxidation, nanofiltration and adsorption	Li Wei Zhan Xia Li Jiding Zheng Dongju(1290)
Efficiency of removing nitrogen and phosphorus from simulated wastewater using hydrophytes	He Na Sun Zhanxiang Zhang Yulong Liu Mingda(1295)
Retention time and effects on water quality and phytoplankton of water shade agent-True Blue	Li Yan Zhang Yinjiang Liu Xiaopei Wu Hao Zhang Leting Duan Ting Li Zhen Zhang Manman(1301)
Effect of temperature on ammonification and nitrous oxide emission in partial nitrification	Guo Ning Zhang Jian Kong Qiang Miao Mingsheng Tian Lin(1308)
Fouling mechanism in advanced treatment of dyeing wastewater by ultrafiltration membrane	Fu Lele Li Fang Wu Liang Wang Ge(1313)
Removal of turbidity from butyl-acrylate wastewater by coagulation-sedimentation	Gu Xiaofeng Song Yudong Zhou Yuexi Ma Liqiang Li Jun Wang Jun(1319)
Purification effect of ecological floating beds of flakiness connection in slightly polluted river water	Duan Jincheng Zhang Yimin Zhang Hongwei Gao Yuexiang Chao Jianying(1324)
Nitrogen removal efficiency of co-processing pickle wastewater and municipal sewage by cyclic activated sludge system(CASS) process	He Qiang Ding Wenjing Sima Weiping(1331)
Pilot study on flow characteristics of a variable-velocity oxidation ditch with fine bubble	Yang Yahong Peng Dangeong Li Lei Zheng Yangguang Han Yun(1336)
Comparison of two different constructed wetland systems to treat swine wastewater	Li Pengyu Wang Zhen Yuan Linjiang Dong Jian Liu Lin Zhu Gefu Liu Chaoxiang(1341)
Preparation of coagulant from fly ash and its application in Yellow River water treatment	Li Yumei Chen Lirong Du Mingzhan(1346)
Field study on effect of harvesting submerged plant during growing season for ecological management of eutrophicated water	Jiang Yishuai Chen Hao Ma Zuomin Li Jing(1351)
Rapid determination of sulfate in water by turbidimetry	Xue Xiuling Li Mengdi(1359)
Pollutants removal characteristics of natural start-up and steady operation of membrane bioreactor (MBR) for treating polluted surface water	Yang Wei Zhao Qiujing Han Zhengshuang Li Kai Liang Heng Li Guibai(1363)
Application of RBF and Elman neural network in prediction on pollutant removal efficiency of constructed wetland with different compound substrates	Liang Qibin Liu Yungen Tian Kun Wang Wanbin(1368)
Sludge formation and decontamination effect of stable surface flow wetland systems	Zhang Longfei Wang Chengduan Wang Zhishuai(1373)
Synthesis of multifunctional chelating resin and its adsorption properties for Cd(II) in water	Wang Jiajia Ma Huimin Zhang Tianlin(1378)

- Adsorption behavior of Cr(VI) from aqueous solution on porous Mg/Al mixed oxides Wang Xiujuan Wang Haizeng(1383)
- Start-up and operation of anaerobic digestion of brewery wastewater at ambient temperature ... Lin Changsong Xu Longfei Tan Linyou(1389)
- Treatment of wastewater containing lead by sodium sulfide precipitation He Xuwen Hu Jianlong Li Jingwen Zhang Jingjing Wang Jianbing Ge Peng(1394)
- Treatment of oilfield produced water by inorganic ceramic membrane Ding Hui Peng Zhaoyang Li Yi Wen Qinxue Chen Zhiqiang(1399)
- Treatment of hexanitrostilbene wastewater by vacuum distillation coupling in micro-electrolysis Che Ran Hao Zhi Ye Zhengfang(1405)
- Salt chemical industrial wastewater treatment using hydrolysis-combined biological filter process Guan Shuo Zhang Hongtao Wu Chunxu Cheng Linbo Ning Tao(1411)
- Optimization of preparation conditions of polyacrylic acid/humic acid/rectorite adsorbent based on response surface methodology Chen Fangyan Ye Wei Sun Yihan Jia Liping Tang Yubin(1417)
- Control of algal bloom with immobilized biological catalyst Zhou Xiaoyun Huang Ruimin Liu Xin Wen Ganbin(1425)
- Influence of different influent flow distribution ratios on biological nitrogen and carbon removal by multi-stages A/O process Wang Min Zhang Zhi Chen Jieyun Fan Gongduan Jin Ke Liang Peng Hu Ling(1430)
- Treatment of wastewater containing high concentration of 1-propanol with UV photocatalysis/Fenton reagent Zeng Huiming Cheng Shenyu Shen Xiaoli Ma Huanlin(1435)
- Application of nanofiltration technology in treatment of urban solid composting leachate Ning Guixiang Zhang Xin Wang Kai Jiang Anping Wang Guilin(1440)
- Treating food waste odor by Fenton reagent method Di Yanqiang Liu Jiemin Liu Siyuan Yan Luchun Feng Zhenhua(1445)
- Purification of air pollutant—formaldehyde with special plant group—epiphytic *Tillandsia* Li Junlin Li Peng Wang Hengrong Zheng Guiling(1451)
- Research of odor emission in Jizhuangzi Sewage Treatment Plant in Tianjin Wang Zhao Wang Xiuyan Gao Shuang Bai Zhipeng(1459)
- Photocatalytic degradation activity and mechanism of CNTs/TiO₂/CS Film of gas phase benzene Zeng Liping Zhang Quan Zhang Guoqiang(1465)
- Filtering soot particles by stainless steel sintered fiber felt combining with powder Bao Li Yang Guohua Li Hanpeng Wang Binghui Du Ke Huang San(1472)
- Pollution characteristics of carbon aerosol in PM_{2.5} of Xi'an during winter and summer Zhang Chengzhong Ding Chao Zhou Bianhong Tao Li Liu Lizhong(1477)
- Isolation of an *Acidithiobacillus ferrooxidans* strain and its performance in bioleaching of copper from waste printed circuit boards Zhang Ting Zhu Nengwu Xu Zhiguo Shi Chaozhong(1482)
- Performance and synergistic effect of anaerobic co-digestion of corn stover and chicken manure Feng Yajun Yuan Hairong Zhang Liang Li Chao Gao Jian Li Xiujin(1489)
- Biogas production potential of Taihu cyanobacteria at different storage times Zhao Mingxing Ruan Wenquan(1495)
- Recycling of the iron resources of CFBC fly ash by magnetizing roasting-magnetic separation Wu Houqin Li Jun Lu Zhongyuan Xu Longhua Guan Bo Wei Yanfei(1500)
- Mix design of AC-13 asphalt concrete with circulating fluidized bed combustion ash Hou Li Zhao Zhi Lu Zhongyuan Song Lixian Peng Hong Chen Peijun Li Jun(1505)
- Preparation and characterization of sponge film based on feather reduction residue Zhuang Yuan Wu Xiaoqian Cao Zhangjun Zhao Xiaoxiang Zhou Meihua(1510)
- Hydrogen-rich synthesis gas production via thermochemical of refuse derived fuel Wu Wei(1515)
- Treatment of chicken manure by two-phase anaerobic digestion reactor Ni Zhe Pan Chaozhi Niu Dongjie Chen Ling(1522)
- Effect of adding nitrogen loss inhibitor on quality of dehydrated blue-green algae compost Ren Yun Cui Chunhong Liu Fenwu Zhan Xinhua Zhou Lixiang(1527)
- Advanced treatment of leachate from MSW incineration by ozonation Mu Yongjie Ye Jiexu Sun Dezhi(1535)
- Recovery process of glass substrate from liquid crystal display Sun Yuanyuan Li Longzhu Tang Huidong(1541)
- Synthesis of thermosetting PR with WPCB vacuum pyrolysis oils Zhu Zao Cai Sihan Sun Shuiyu Liu Jingyong Zhang Rongxue Xu Dongjun Zhong Sheng Yang Fan Li Shenyong Xu Pingting(1545)
- Migration of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils under uniform electric field Wang Cuiping Xu Wei Sun Hongwen(1550)
- Leaching characteristics of heavy metals in compost sludge in loess Ma Kejing Zhang Mingquan Cai Pu(1557)
- Heavy oil-contaminated soils remediation by Fenton oxidation Liu Qiyou Li Lin Zhang Yunbo Zhao Dongfeng Zhao Chaocheng(1563)
- Microorganism remediation of Hg, Pb and Cr contaminated soil Li Mengjie Wang Cuiling Li Rongchun Hong Junyan Yan Liang Liu Li Zhuang Li(1568)
- Bioaugmentation remediation of petroleum contaminated soil Zhang Xiuxia Teng Zhi Wu Jiadong(1573)
- Influence of oil in soil on growth and physiological indexes of *suaeda heteroptera* and plant-microbial remediation Gao Naiyuan Liu Xianbin Zhao Xingru(1578)
- Numerical prediction of aerodynamic noise radiated from longitudinal symmetric plane of high-speed train and shape optimization Xiao Yougang Zhang Ping(1583)
- Screening of lube oil biodegradation strain and degrading characteristics Guo Xiaoyan Zhang Zhihong Shen Qiyang Li Cuiqing(1589)
- Numerical simulation on field characteristics of multiphase flow in side-entering stirred tank Zhang Linjin Chen Gongguo Bai Yang Ye Xuchu(1594)

浊度仪法快速测定水体中硫酸盐含量

薛秀玲 李孟迪

(华侨大学化工学院, 厦门 361021)

摘要 为了适应野外水质快速测定的要求,根据硫酸钡比浊法的方法原理,采用浊度仪测定浊度的方法,建立了水体中硫酸盐含量的快速测定方法。实验考察了浊度、氯化钡加入形态、摇动时间、静置时间等影响因素。结果表明,浊度在5~25 NTU时,其对硫酸盐的测定几乎没有影响。在实验最佳条件下,氯化钡的加入量为0.2 g,中速手摇40 s,静置时间5 min,所建立方法的线性范围为5~90 mg/L,相关系数 $R^2 = 0.9998$,方法的检出限为0.25 mg/L。加标回收率为94.00%~105.25%,相对标准偏差(RSD)为0.19%~1.75% ($n = 5$),方法便携、简单,适用于野外与浊度同步测定。

关键词 硫酸盐 浊度仪法 快速测定

中图分类号 X132 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2013)04-1359-04

Rapid determination of sulfate in water by turbidimetry

Xue Xiuling Li Mengdi

(College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract To achieve a rapid field determination, a new method for the determination of sulfate in water with nephelometer was developed basing on the turbidity of barium sulfate. Influencing factors such as background turbidity, addition amount of barium chloride, shaking time, and settle time, were investigated. Results revealed that 5~25 NTU of background turbidity had negligible effects on the determination. The optimal conditions were optimized to be barium chloride addition amount of 0.2 g, hand shake of 40 s, and settle time of 5 min. Under the optimal conditions, the linear range of the method was 5~90 mg/L with a correlation coefficient of 0.9998. The method detection limit was 0.25 mg/L. Recoveries of spiked samples were in the range of 94.00%~105.25% with an relative standard deviation (RSD) less than 1.75% ($n = 5$). The established method is portable and simple, and has the potential application with the simultaneous determination of turbidity.

Key words sulfate; turbidimetry; rapid determination

硫酸盐在自然界中大量存在,生活污水、化肥、工业废水的排放会改变自然水体中硫酸盐的含量^[1]。在锅炉用水中,过量的硫酸盐易使锅炉结垢;在工程建筑中,硫酸盐与水泥生成铝硫酸钙,使体积膨胀,混凝土崩坏^[2]。饮用水中硫酸根离子含量超过250 mg/L时,有致泻作用。因此,水体中硫酸盐含量的测定十分必要,是水质常规分析中重要项目之一^[3]。

测定水中硫酸盐的方法很多^[4-8],标准分析方法^[9]有重量法、铬酸钡光度法、比浊法、离子色谱法^[10,11]等。重量法操作麻烦,对实验人员操作技术要求较高^[12];铬酸钡光度法是常用的方法,已被列为饮用水中硫酸盐测定的国家标准方法(GB5750-85),但其试剂铬酸钡的配制以及操作步骤都比较繁琐;硫酸钡比浊法操作简便,但其适用于硫酸盐含量较低的清洁水样,硫酸钡悬浮体不够稳定,使结果

的重现性和准确度受到影响。

为了适应野外快速测定的要求,作者在硫酸钡比浊法的基础上,将反应容器由烧杯改为便于携带的比色管,反应过程由原来的磁力搅拌改为手摇;采用浊度仪测定浊度,改进了水体中硫酸盐含量的测定方法。此法有以下优点:硫酸钡比浊法消耗试剂少,污染小,操作简便,是测定水体中硫酸盐含量快速、高效的方法;浊度仪是野外监测常用仪器,使用浊度仪可同时测定水体的浊度和硫酸盐含量,方法简单快速。

基金项目:福建省厦门市科技计划项目(3502Z20103034);中央高校基本科研业务费专项资金资助(JB-ZR1114)

收稿日期:2012-02-23; **修订日期:**2012-07-04

作者简介:薛秀玲(1975~),女,博士,副教授,主要从事环境分析化学及水处理工程的研究。E-mail:xiulingxue@163.com

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

1.1.1 仪器

浊度仪(Orion AQUAfast II);磁力搅拌器(IKA Lab disc);UV-1800PC型紫外/可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司)。

1.1.2 试剂

硫酸盐标准溶液(1 g/L):取 1.4786 g 无水硫酸钠溶于纯水中,定容至 1 000 mL;试剂 1:将 75 g 氯化钠溶于 300 mL 纯水中,加入 30 mL 盐酸,50 mL 甘油和 100 mL 95% 的乙醇,混合均匀,密封分装在试剂瓶中,体积为 2.5 mL;试剂 2:0.2 g 氯化钡晶体,密封分装于试剂袋中。

1.2 测定步骤

1.2.1 标准曲线的绘制

取 50 mL 比色管 6 支,分别加入硫酸盐标准液 0、0.25、0.50、1.00、1.50 和 2.00 mL,加入试剂 1,摇匀,加入试剂 2,盖上盖子中速摇动 40 s。各烧杯均从加入氯化钡晶体起计时,5 min 时,用浊度仪测定浊度。绘制硫酸根含量-浊度的标准曲线。

1.2.2 水样中硫酸盐的测定

(1)用浊度仪测定原水浊度(浊度大于 30 NTU 需过滤处理,过滤后测定滤液的浑浊度)。

(2)取 50 mL 水样于比色管中(硫酸盐含量高于 90 mg/L 的水样需稀释),加入试剂 1,摇匀,加入试剂 2,盖上盖子,摇动 40 s。各水样均从加入氯化钡晶体 5 min 后,用浊度仪测定浑浊度,根据标准曲线带入浊度差计算硫酸根浓度。

2 结果与讨论

2.1 影响因素

2.1.1 水样浊度的影响

本研究所用浊度仪法是硫酸钡比浊法的改进法,后者适用于生活饮用水及其水源水中硫酸盐含量的测定^[13],其测定水样为清洁水,水样浊度可能会对硫酸根含量的测定有较大影响。因此本实验以华侨大学内环河水为基底水样,分别添加不同质量的土样,配成有浊度梯度的内环河水,并按照 1.2 步骤对其硫酸盐含量进行了测定,结果见图 1。

图 1 表明,浊度在 5~25 NTU 时,其对硫酸盐的测定几乎没有影响,浊度在 30~65 NTU 时,其使硫酸盐的含量偏低 6 mg/L 左右。这是因为浊度高使得悬

浮液不稳定,溶于沉降,使结果偏低。因此在对水体测定前,对于浊度较大的水样要预先进行过滤处理。

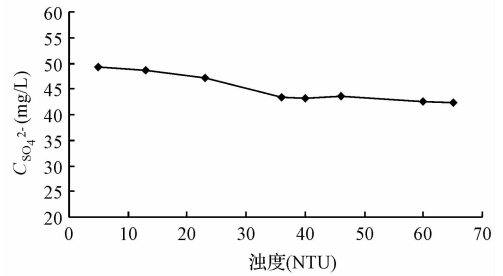


图 1 浊度对硫酸根测定的影响

Fig. 1 Effect of background turbidity on sulfate determination

2.1.2 氯化钡加入形态与加入量的影响

实验比较了氯化钡溶液与稳定剂混合后加入、氯化钡溶液与稳定剂分别加入以及氯化钡固体与稳定剂分别加入对测定结果的影响。结果表明,氯化钡以固体形式加入较好。这是因为加入氯化钡溶液,反应速度较快,使得晶核形成的速度远远大于晶核成长的速度^[14,15],影响了实验的灵敏度,造成线性较差。

因此实验取硫酸盐的最高检出浓度 90 mg/L,调整氯化钡晶体的加入量,按照 1.2 所述实验步骤进行测定。结果表明,氯化钡晶体加入量在 0.15~0.25 g,对实验结果基本没有影响。过高,则可看到溶液中有晶体析出。这可能是溶液中离子强度增大,产生了盐析作用。因此氯化钡的加入量不宜过多。为了实现快速测定,约取 0.2 g 即可,无需十分准确。

2.1.3 摇动时间的影响

硫酸钡比浊法对操作条件要求严格,溶液需经磁力搅拌 55~65 s,以使溶液均匀稳定。为了考察浊度仪法中摇动时间对测定结果的影响,实验选择在 1.00 mL 硫酸盐标准溶液基础上,中速摇匀(35~55 次/min)使氯化钡晶体完全溶解。结果表明,摇动时间对硫酸根测定的影响不明显,在 20~80 s 的范围内均可完全反应,结果趋于稳定。为了使反应充分,实验选取 40 s 为最佳摇动时间。

2.1.4 静置时间的影响

反应完全后,静置是为了得到稳定的待测液。鉴于野外对快速测定的要求,实验按 1.2 操作考察了静置时间对测定结果的影响。结果见图 2。

由图 2 可知,在 4~10 min 之间,数值基本稳定,在 10 min 以后,数值下降。实验选取最佳静置时间为 5 min。

2.2 方法评价

2.2.1 方法的线性范围与检出限

按照 1.2 所述实验方法进行测试分析,其线性方程为 $y = 4.8934x - 1.9314$,线性范围为 5 ~ 90 mg/L, $R^2 = 0.9998$ 。按 IUPAC 规定的方法,对空白溶液连续测定 20 次,求得空白值的标准偏差 s ,根据检出限 $L = 3s/b$ (b 为方法的灵敏度,即回归方程的斜率),得到方法检出限为 0.25 mg/L。

与国标和文献方法相比(见表 1),浊度仪法的线性范围较大,方法的检出限低,具有可行性。

表 1 各方法的线性范围与方法检出限

Table 1 Linear range and detection limit of each method

方法	线性方程	R^2 值	线性范围(mg/L)	检出限(mg/L)
铬酸钡分光光度法 GB/T 5750.5-2006	—	—	8 ~ 85	2.5
硫酸钡比浊法 GB/T 5750.5-2006	—	—	5 ~ 40	5
浊度仪法(本法)	$Y = 4.8934x - 1.9314$	0.9998	5 ~ 90	0.25
白皂素乳化-氯化钡比浊法 ^[16]	$Y = 5.832x - 1.353$	0.9998	0.5 ~ 30	0.49

2.2.2 精密度与回收率实验

为了考察不同基底对本方法的影响,实验选择华侨大学内环河、华侨大学白鹭湖水(过滤处理)、华侨大学楼中湖水(过滤处理)、厦门汀溪水库、厦门污水处理厂混合出水(稀释 10 倍)、厦门某电镀厂混合出水(稀释 20 倍)、厦门筴筴湖水(稀释 25 倍)进行分析测定,其原水浊度分别为 20、56、38、2.0、2.2、4.9、1.9 NTU,测定结果见表 2。

表 2 精密度与回收率实验 ($n = 5$)

Table 2 Precision and recovery rate test ($n = 5$)

水样	稀释倍数	稀释后水样平均浊度 (NTU)	硫酸根含量 ($\bar{X} \pm SD$) (mg/L)	RSD (%)	回收率 (%)
内环河水	0	237	44.74 ± 0.50	1.12	98.85
白鹭湖水	0	263	54.10 ± 0.30	0.55	99.30
楼中湖水	0	152	31.50 ± 0.55	1.75	97.45
汀溪水库	0	200	40.90 ± 0.37	0.90	99.95
污水厂	10	366	75.19 ± 0.32	0.43	105.25
电镀厂	20	357	73.35 ± 0.14	0.19	94.00
筴筴湖	25	380	78.13 ± 0.18	0.23	101.80

表 2 表明,7 种水样中硫酸盐的加标回收率为 94.00% ~ 105.25%,RSD 为 0.19% ~ 1.75%。方法准确可靠,具有较好的准确度和精密度。

2.2.3 与标准方法的比对实验

为了检验方法的准确性,实验测定了华侨大学内环河水、华侨大学白鹭湖水、厦门汀溪水库、厦门

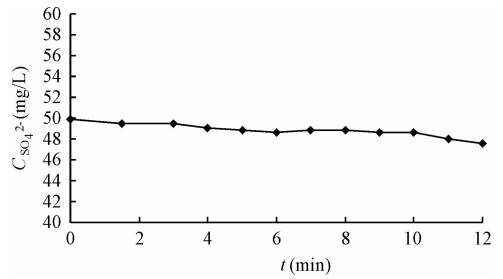


图 2 静置时间对硫酸根测定的影响

Fig. 2 Effect of settle time on sulfate determination

污水处理厂回用水、厦门某电镀厂混合出水、厦门筴筴湖水中硫酸根含量,与 GB/T 5750.5-2006 硫酸钡比浊法和铬酸钡分光光度法的测定结果进行比较,结果见表 3,统计学检验结果见表 4。

表 4 的统计学检验结果表明,浊度仪法与硫酸钡比浊法及铬酸钡分光光度法均无显著性差异。该方法回收率高,重现性好,具有可行性。

表 3 实际水样中硫酸根的测定 ($n = 5$)

Table 3 Determination of sulfate in actual water samples ($n = 5$) (mg/L)

水样	浊度仪法 $\bar{X} \pm SD$	硫酸钡比浊法 $\bar{X} \pm SD$	铬酸钡分光光度法 $\bar{X} \pm SD$
内环河水	44.74 ± 0.50	43.06 ± 0.10	43.21 ± 0.10
白鹭湖水	54.10 ± 0.30	46.30 ± 0.24	48.57 ± 0.51
汀溪水库	40.90 ± 0.37	40.77 ± 0.25	40.83 ± 0.10
污水厂	751.89 ± 3.23	757.04 ± 1.78	764.23 ± 2.73
电镀厂	1 467.00 ± 2.89	1 455.95 ± 1.97	1 467.15 ± 2.18
筴筴湖	1 953.30 ± 4.57	1 959.54 ± 2.47	1 953.72 ± 2.58

3 结论

(1) 实现了水体浊度及硫酸盐含量的同时测定,相对分光光度法,测定结果更稳定。

(2) 混合试剂包方便使用与携带,尤其适合水样现场的快速检测。

(3) 对于硫酸盐含量较高的水样需稀释后测定,可能给结果带来一定的误差。

表4 浊度仪法与硫酸钡比浊法及铬酸钡分光光度法统计学检验结果

Table 4 Statistical test results of turbidimetry, barium sulfate spectrophotometry and barium chromate spectrophotometric method

	统计值1	统计值2	临界值 ^[17]	检验结果
内环河水	$F_1 = 3.085$	$F_2 = 2.756$	$F_{0.05}(4,2) = 19.2$	$F < F_{0.05}(4,2)$ 浊度仪法与国标法无显著性差异
白鹭湖水	$F_1 = 1.879$	$F_2 = 0.418$	$F_{0.05}(4,2) = 19.2$	$F < F_{0.05}(4,2)$ 浊度仪法与国标法无显著性差异
汀溪水库	$F_1 = 2.618$	$F_2 = 14.819$	$F_{0.05}(4,2) = 19.2$	$F < F_{0.05}(4,2)$ 浊度仪法与国标法无显著性差异
污水厂	$F_1 = 3.949$	$F_2 = 1.682$	$F_{0.05}(4,2) = 19.2$	$F < F_{0.05}(4,2)$ 浊度仪法与国标法无显著性差异
电镀厂	$F_1 = 2.574$	$F_2 = 2.104$	$F_{0.05}(4,2) = 19.2$	$F < F_{0.05}(4,2)$ 浊度仪法与国标法无显著性差异
箕筲湖	$F_1 = 4.125$	$F_2 = 3.764$	$F_{0.05}(4,2) = 19.2$	$F < F_{0.05}(4,2)$ 浊度仪法与国标法无显著性差异

注:统计值1与统计值2分别为浊度仪法与硫酸钡比浊法及浊度仪法与铬酸钡分光光度法的比较结果。

参考文献

- [1] 宋柳霆,刘丛强,王中良,等. 贵州红枫湖硫酸盐来源及循环过程的硫同位素地球化学研究. 地球化学, **2008**, 36(6):556-564
Song Liuting, Liu Congqiang, Wang Zhongliang, et al. Stable sulfur isotopic geochemistry to investigate potential sources and cycling behavior of sulfate in Lake Hongfeng, Guizhou Province. *Geochimica*, **2008**, 36(6):556-564 (in Chinese)
- [2] 刘波. 硫酸盐的检测方法. 职业与健康, **2007**, 23(19):1745-1747
- [3] 宋金如,刘淑娟,朱霞萍. 测定水中硫酸根方法的概述. 华东地质学院学报, **2002**, 25(2):154-158
Song Jinru, Liu Shujuan, Zhu Xiaping. Review of determination of sulfate radical in water. *Journal of East China Geological Institute*, **2002**, 25(2):154-158 (in Chinese)
- [4] 林杰. 快速、精确测定硫酸根含量新方法. 纯碱工业, **2004**, (4):28-29
Lin Jie. A fast and accurate approach to determinate SO_4^{2-} content. *Soda Industry*, **2004**, (4):28-29 (in Chinese)
- [5] Simkin S. M., Lewis D. N., Weathers K. C., et al. Determination of sulfate, nitrate, and chloride in through fall using ion-exchange resins. *Water, Air, and Soil Pollution*, **2004**, 153(1-4):343-354
- [6] 林木松,傅强,张宏亮. 应用红外光谱法快速测定粉煤灰中硫酸盐. 理化检验-化学分册, **2004**, 40(6):345-346
Lin musong, Fu Qiang, Zhang Hongliang. Direct combustion Ir-spectrometric determination of sulfur in powdered coal ASH. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, **2004**, 40(6):345-346 (in Chinese)
- [7] 胡宝珍. 紫外分光光度法测定水中硫酸盐. 理化检验-化学分册, **2006**, 42(9):768-775
Hu Baozhen. UV spectrophotometric determination of sulfate in water samples. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, **2006**, 42(9):768-775 (in Chinese)
- [8] 姚永进,洪水皆. 荧光法测定微量硫酸盐的研究. 干旱环境监测, **1992**, 16(1):10-28
Yao Yongjin, Hong Shuijie. Study on the determination of micro amounts of sulfate by fluorometry. *Arid Environmental Monitoring*, **1992**, 16(1):10-28 (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国卫生部. 生活饮用水卫生规范. 北京:中国标准出版社, **2001**
- [10] Kumar S. D., Maiti B., Mathur P. K. Determination of iodate and sulphate in iodized common salt by ion chromatography with conductivity detection. *Talanta*, **2001**, 53(4-5):701-705
- [11] Del Nozal M. J., Bemal J. L., Diego J. C., et al. Determination of oxalate, sulfate and nitrate in honey and honeydew by ion-chromatography. *J. Chromatog A*, **2000**, 881(1-2):629-638
- [12] 王会存,施良,叶晓东. 硫酸钡比浊法测定水中硫酸盐方法的改进. 中国卫生检验杂志, **2010**, 20(5):1250
- [13] 中国标准出版社第二编辑室. 水质标准汇编(下册). 北京:中国标准出版社, **2005**
- [14] 武汉大学. 分析化学(第5版)(上册). 北京:高等教育出版社, **2006**
- [15] 丁根娣,吴杰,许志遂. 硫酸钡吸光比浊法测定机理的探讨. 理化检验-化学分册, **2001**, 37(3):111-112
Ding Gendi, Wu Jie, Xu Zhisui. On the mechanism of the turbidimetric determination of SO_4^{2-} by the BaSO_4 method. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, **2001**, 37(3):111-112 (in Chinese)
- [16] 范建中,杨元斌. 白皂素乳化-氯化钡比浊法测定饮水中硫酸盐的应用. 中国卫生检验杂志, **2002**, 12(1):74,22
- [17] 邵崇斌. 概率论与数理统计. 北京:中国林业出版社, **2003**