

水生态环境中硫化物不同检测方法 比对研究

刘永华

(临沂市水文中心, 山东 临沂 276000)

【摘要】 本文采用连续流动分析-分光光度法、气相分子吸收光谱法和亚甲基蓝分光光度法测定水生态环境中硫化物的含量,对硫化物不同检测方法的适用范围、样品固定及保存方法、样品的前处理以及方法的检出限、准确度、精密度和加标回收率进行了分析研究。结果表明,连续流动分析-分光光度法和气相分子吸收光谱法的分析结果基本无差异,该两种方法与亚甲基蓝分光光度法相比,具有操作简便、仪器自动化程度高、快速高效、生态环保等优势,可以解决在日常硫化物检测工作中遇到的样品多、时间紧、任务急的难题。

【关键词】 连续流动分析-分光光度法;气相分子吸收光谱法;亚甲基蓝分光光度法;生态环保;快速高效

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2024)10-064-07

Comparative Study of Different Detection Methods for Sulfides in Aquatic Ecosystems

LIU Yonghua

(Linyi Hydrology Center, Linyi 276000, China)

Abstract: This paper compares the determination of sulfide content in aquatic ecosystems using three methods: Continuous Flow Analysis-Spectrophotometry, Gas-Phase Molecular Absorption Spectroscopy, and Methylene Blue Spectrophotometry. The research analyzes and compares the applicability of these different detection methods, including sample fixation and preservation methods, sample pretreatment, as well as the detection limits, accuracy, precision, and spike recovery rates of each method. The results indicate that the analysis results of Continuous Flow Analysis-Spectrophotometry and Gas-Phase Molecular Absorption Spectroscopy are essentially identical. Compared to the Methylene Blue Spectrophotometry method, the first two methods offer advantages such as ease of operation, high automation, speed, efficiency, and eco-friendliness. These advantages make them well-suited to address challenges in routine sulfide detection, such as large sample volumes, tight schedules, and urgent tasks.

Key words: Continuous Flow Analysis-Spectrophotometry; Gas-Phase Molecular Absorption Spectroscopy; Gas-Phase Molecular Absorption Spectroscopy; eco-friendliness and speed; efficiency

硫化物是判断水生态环境中水体是否污染的重要指标,本身具有很强的毒性。通常所测定水体中的硫

收稿日期: 2024-02-27

作者简介: 刘永华(1982—),女,高级工程师,学士,主要从事水环境、水生态的监测分析评价工作。

化物是指溶解性的和酸溶性的硫化物。硫化氢有强烈的臭鸡蛋味,水中只要含有零点零几毫克每升的硫化氢,就会产生刺鼻气味;硫化氢的毒性也很大,可危害细胞色素、氧化酶,造成细胞组织缺氧^[1],对人类身体健康造成危害,严重时甚至危及生命;硫化氢还会消耗水中的氧气,致使水生态环境中的水生生物因缺氧而死。另外,硫化氢在细菌作用下会氧化生成硫酸,从而腐蚀金属设备和管道。但温泉中含有微量的硫化物,不仅不会对人体造成损害,还有助于人们的身体健康。因此,在日常的水生态环境质量监测工作中如何快速、准确、高效地检测出水中硫化物含量的多少,对经济社会的发展、人民的身心健康有着重要的意义。

目前,水体中硫化物的检测方法有很多,包括滴定法、分光光度法、离子色谱法、气相色谱法、原子吸收法以及极谱法等。每种检测方法的适用范围、检测操作难易程度、检测时间、检测需要药品试剂等均不同。常用的硫化物检测方法主要有连续流动分析-分光光度法、气相分子吸收光谱法^[2-4]和亚甲基蓝分光光度法。本文通过利用以上3种不同方法检测水中的硫化物含量,并开展3种方法的比对研究,为实验室检测人员在开展水生态环境监测过程中硫化物分析方法的选择提供科学依据。

1 实验部分

1.1 实验选用标准

本次实验研究中连续流动分析-分光光度法基于的标准是《水质 总氮、挥发酚、硫化物、阴离子表面活性剂和六价铬的测定 连续流动分析——分光光度法》(SL/T 788—2019)^[5];气相分子吸收光谱法选用的是《水质 硫化物的测定 气相分子吸收光谱法》(HJ/T 200—2023)^[6];亚甲基蓝分光光度法选用的是《水质 硫化物的测定 亚甲基蓝分光光度法》(HJ/T 1226—2021)^[7]。

1.2 主要仪器设备和试剂

a. 连续流动分析-分光光度法使用的主要仪器设备为连续流动分析仪(荷兰 SKALAR, SAN++);试剂为无水碳酸钠、乙酸锌、氯化铁、盐酸、氢氧化钠,以及 N,

N-二甲基-1,4-苯二胺二盐酸盐等,所用试剂均为分析纯及以上纯度。

b. 气相分子吸收光谱法使用的主要仪器设备为全自动气相分子吸收光谱仪(上海安杰, AJ-3700);试剂为乙酸钠、乙酸锌、氢氧化钠、盐酸等,所用试剂均为分析纯及以上纯度。

c. 亚甲基蓝分光光度法使用的主要仪器设备为紫外可见分光光度计(北京普析, TU-1810DAPC);试剂为氢氧化钠、盐酸、硫酸、硫酸铁铵、N,N-二甲基对苯二胺盐酸盐、抗坏血酸、乙二胺四乙酸二钠、氮气、乙酸锌等,所用试剂均为分析纯及以上纯度。

d. 比对研究中使用的硫化物浓度为 (0.507 ± 0.044) mg/L(批号:205551)的标准物质、浓度为 (3.05 ± 0.25) mg/L(批号:205552)的标准物质以及浓度为 (100 ± 5.00) mg/L(批号:104435)的标准溶液,均购买于生态环境部标准样品研究所。实验室用水,除特殊说明外,均为现用现制的电阻率为 $18.25 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 的超纯水;亚甲基蓝分光光度法中用到的除氧去离子水^[7]是用实验室去离子水或超纯水以 $200 \sim 300 \text{ mL/min}$ 的速度通约 20min 氮气,使水中氮气达到饱和以去除水中溶解氧的方法制备的。

1.3 操作过程

1.3.1 连续流动分析-分光光度法

按照连续流动分析仪规定的顺序进行开机,并将显色剂和氯化铁溶液的管路放入相对应的溶液瓶中,将其余暂时不用的试剂管路放入超纯水中运行,观察基线直至基线平稳,根据待测样品表将标样空白、标准溶液、样品空白、待测样品等放置在相应位置,开始进样并测定样品。待所有样品检测完成后保存检测数据,将放入药品试剂的管路先用去离子水冲洗干净,然后再用超纯水进行清洗,最后将管路排空,并按照顺序关机。

1.3.2 气相分子吸收光谱法

首先将进液管路放入对应试剂瓶中,将主机、消解器和进样器的纯水管插入纯净水桶中,并向纯净水桶内加入足量的超纯水。然后打开气源开关及阀门并检查输

出压力是否不低于 0.3 MPa, 确定压力无问题后打开主机电源, 启动软件工作站, 锁死蠕动泵卡扣, 待工作站将仪器各参数检查无误后按照检测需求设置检测内容, 仪器开始自动进行参数设置和系统预热。最后根据待测样品表将标样空白、标准溶液、样品空白、待测样品等放置在相应位置, 准备就绪后开始检测, 待测定完成后保存检测数据, 关机清洗管路并打开蠕动泵卡口。

1.3.3 亚甲基蓝分光光度法

首先是样品的前处理, 取混合均匀的样品 200 mL 或适量样品加除氧去离子水稀释至 200 mL, 迅速转移到 500 mL 蒸馏瓶中, 再加入 5 mL 抗氧化剂溶液并轻轻摇动。量取 10 g/L 的氢氧化钠溶液 20 mL 于 100 mL 吸收管中做吸收液, 将导气管插入吸收液的液面以下。连接好“酸化-吹气-吸收”装置后开启水浴装置, 使温度升至 60 ~ 70℃。通氮气, 并将氮气流量调至 300 mL/min, 5 min 后关闭气源。将加酸分液漏斗的活塞关闭, 打开分液漏斗顶盖加入 10 mL 盐酸溶液后盖紧, 缓慢旋开活塞接通氮气, 将蒸馏瓶放入水浴装置中。以流量为 300 mL/min 氮气持续吹气 30 min 后撤下蒸馏瓶, 断开导气管, 关闭气源。用少量除氧去离子水冲洗导气管, 并将冲洗液并入吸收液中, 向吸收管中加除氧去离子水至约 60 mL, 将 10 mL N,N-二甲基对苯二胺溶液沿吸收管壁缓慢加入吸收液中, 立即将吸收管管塞盖紧并缓慢倒转一次, 再沿管壁向吸收液中缓慢加入硫酸铁铵溶液 1 mL, 立即盖塞并充分摇匀。静置 10 min 后, 用除氧去离子水定容至吸收管标线摇匀, 用 1 cm 比色皿, 用除氧去离子水做参比, 在波长 665 nm 处测量吸光度。

2 实验结果

2.1 标准曲线

2.1.1 连续流动分析-分光光度法标准曲线

用浓度为 100 mg/L 的硫化物标准溶液制备浓度为 10.00 mg/L 的标准使用液, 并用制备好的硫化物标准使用液制备浓度分别为 0 mg/L、0.02 mg/L、0.05 mg/L、0.10 mg/L、0.20 mg/L、0.50 mg/L、1.00 mg/L 的标准曲

线系列, 并按标准方法分析步骤进行分析。该方法标准曲线结果见图 1。

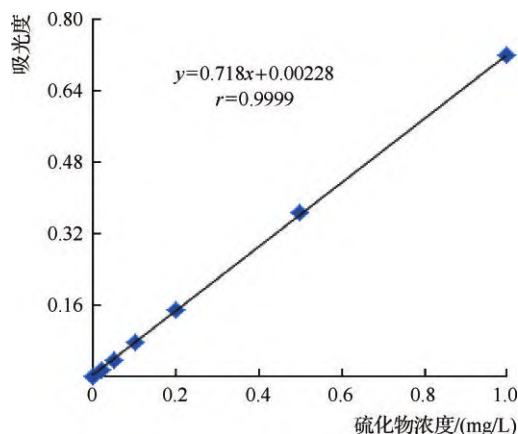


图1 连续流动分析-分光光度法标准曲线

2.1.2 气相分子吸收光谱法标准曲线

用浓度为 100 mg/L 的硫化物标准溶液制备浓度为 2.00 mg/L 的标准使用液, 并用制备好的硫化物标准使用液制备浓度分别为 0 mg/L、0.10 mg/L、0.20 mg/L、0.50 mg/L、1.00 mg/L、2.00 mg/L 的标准曲线系列, 并按标准方法分析步骤进行分析。该方法标准曲线结果见图 2。

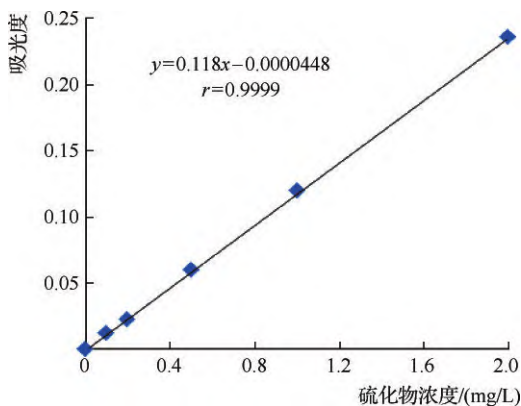


图2 气相分子吸收光谱法标准曲线

2.1.3 亚甲基蓝分光光度法标准曲线

用浓度为 100 mg/L 的硫化物标准溶液制备浓度为 10.00 mg/L 的标准使用液, 并用制备好的硫化物标准使用液制备浓度分别为 0 mg/L、0.05 mg/L、0.10 mg/L、0.30 mg/L、0.50 mg/L、0.70 mg/L、1.00 mg/L 的标准曲线系列, 并按标准方法分析步骤进行分析。该标准曲线结果见图 3。

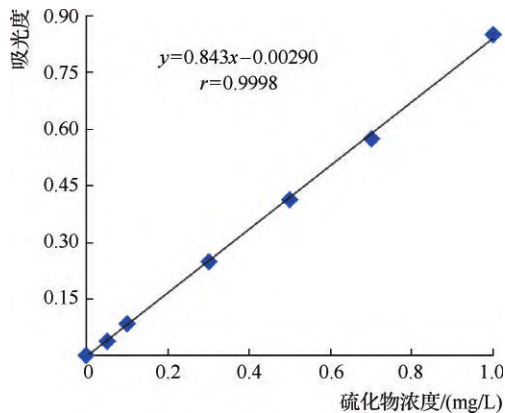


图3 亚甲基蓝分光光度法标准曲线

2.2 检出限

根据《环境监测分析方法标准制订技术导则》(HJ 168—2020)^[8]附录 A 方法检出限的一般确定方法,制备浓度值或含量为估计方法检出限值 2~5 倍的样品,按照样品分析的全部步骤,各自平行测定 7 次,将各测定结果换算为样品中的浓度或含量,计算 7 次平行测定的标准偏差,按式(1)计算方法检出限。

MDL = t_(n-1,0.99) S (1)

式中:MDL 为方法检出限;n 为样品的平行测定次数;t 为自由度为 n-1、置信度为 99% 时的 t 分布(单侧);S 为 n 次平行测定的标准偏差。

现分别配置浓度为 0.04mg/L、0.01mg/L、0.02mg/L 的硫化物标样,按照方法的全部分析步骤各自平行测定 7 次,结果连续流动分析-分光光度法、气相分子吸收光谱法和亚甲基蓝分光光度法的测试检出限均小于方法检出限,实验室测试结果满足标准方法的要求。方法检出限测定及统计结果见表 1。

表1 方法检出限测定及统计结果

平行样品编号		连续流动分析- 分光光度法	气相分子吸收 光谱法	亚甲基蓝分光 光度法
测定结果/ (mg/L)	1	0.034	0.007	0.011
	2	0.036	0.008	0.014
	3	0.035	0.007	0.015
	4	0.033	0.007	0.013
	5	0.037	0.006	0.012
	6	0.038	0.009	0.013
	7	0.033	0.008	0.014
平均值 x/(mg/L)		0.035	0.007	0.013

续表

平行样品编号	连续流动分析- 分光光度法	气相分子吸收 光谱法	亚甲基蓝分光 光度法
标准偏差 S/(mg/L)	0.00195	0.00098	0.00135
t 值	3.143		
测试检出限/(mg/L)	0.006	0.003	0.004
方法检出限(mg/L)	0.016	0.005	0.010

2.3 准确度

选取标样 1:浓度为 (0.507±0.044) mg/L(批号:205551)、标样 2:浓度为 (3.05±0.25) mg/L(批号:205552) 的硫化物标准物质,分别用连续流动分析-分光光度法、气相分子吸收光谱法和亚甲基蓝分光光度法平行测定 6 次,结果见表 2。由表 2 可知,3 种不同检测方法平行测定 6 次测得的含量均在标准值允许范围内,低浓度的相对误差分别为 1.78%、1.78%、-3.75%,高浓度的相对误差分别为 1.64%、1.31%、-3.28%,相比之下连续流动分析-分光光度法和气相分子吸收光谱法的相对误差均小于 2%,准确度均优于亚甲基蓝分光光度法。

表2 标准物质测定结果

平行样品编号		连续流动分析- 分光光度法		气相分子吸收 光谱法		亚甲基蓝分光 光度法	
		标样 1	标样 2	标样 1	标样 2	标样 1	标样 2
测定结果/ (mg/L)	1	0.514	3.12	0.514	3.04	0.481	2.97
	2	0.515	3.12	0.514	3.14	0.485	2.96
	3	0.516	3.11	0.517	3.07	0.493	2.99
	4	0.517	3.08	0.519	3.06	0.479	2.93
	5	0.518	3.09	0.517	3.12	0.496	2.91
	6	0.516	3.11	0.518	3.11	0.493	2.92
平均值/(mg/L)		0.516	3.10	0.516	3.09	0.488	2.95
标准样品浓度/ (mg/L)		0.507± 0.044	3.05± 0.25	0.507± 0.044	3.05± 0.25	0.507± 0.044	3.05± 0.25
相对误差/%		1.78	1.64	1.78	1.31	-3.75	-3.28

2.4 精密度

分别从临沂市河东区郑旺镇郑旺中学院内、临沂市蒙阴县垛庄镇岸堤水库和临沂市兰山区临沂大学入沭河混合入河排污口采集地下水、地表水、生活污水 3

种天然样品进行精密度检验,因天然样品中均为检出硫化物,故配制硫化物浓度分别为 0.20mg/L(低浓度)、0.40mg/L(中浓度)、0.60mg/L(高浓度)的 3 种样品用连续流动分析-分光光度法、气相分子吸收光谱法和亚甲基蓝分光光度法分别进行平行测定 6 次,结果见表 3~表 5。由表 3~表 5 可知,3 种方法的相对

标准偏差分别为 0.77%~1.16%、0.63%~1.52%、1.43%~4.68%,连续流动分析-分光光度法和气相分子吸收光谱法的实验结果的相对标准偏差明显小于亚甲基蓝分光光度法,故连续流动分析-分光光度法和气相分子吸收光谱法的精密度更高一些。

表 3 低浓度精密度测定结果

平行样品编号		连续流动分析-分光光度法			气相分子吸收光谱法			亚甲基蓝分光光度法		
		地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水
测定结果/ (mg/L)	1	0.207	0.208	0.212	0.205	0.214	0.208	0.185	0.189	0.179
	2	0.208	0.209	0.214	0.209	0.208	0.211	0.187	0.185	0.183
	3	0.206	0.205	0.211	0.207	0.211	0.209	0.186	0.181	0.188
	4	0.209	0.206	0.213	0.206	0.210	0.212	0.180	0.179	0.172
	5	0.211	0.207	0.209	0.206	0.207	0.213	0.175	0.193	0.166
	6	0.209	0.211	0.216	0.208	0.208	0.217	0.183	0.175	0.185
平均值/(mg/L)		0.208	0.208	0.210	0.207	0.210	0.210	0.183	0.184	0.179
相对标准偏差/%		0.84	1.04	1.16	0.71	1.23	1.52	2.46	3.61	4.68

表 4 中浓度精密度测定结果

平行样品编号		连续流动分析-分光光度法			气相分子吸收光谱法			亚甲基蓝分光光度法		
		地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水
测定结果/ (mg/L)	1	0.415	0.423	0.426	0.414	0.417	0.422	0.385	0.386	0.374
	2	0.420	0.419	0.421	0.418	0.422	0.425	0.381	0.383	0.366
	3	0.411	0.421	0.423	0.413	0.416	0.421	0.376	0.378	0.371
	4	0.417	0.428	0.418	0.415	0.418	0.418	0.365	0.369	0.379
	5	0.419	0.416	0.416	0.420	0.415	0.423	0.377	0.388	0.382
	6	0.423	0.417	0.413	0.417	0.413	0.427	0.389	0.391	0.389
平均值/(mg/L)		0.418	0.421	0.420	0.416	0.417	0.420	0.379	0.383	0.377
相对标准偏差/%		1.00	1.05	1.13	0.63	0.73	0.75	2.20	2.08	2.18

表 5 高浓度精密度测定结果

平行样品编号		连续流动分析-分光光度法			气相分子吸收光谱法			亚甲基蓝分光光度法		
		地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水
测定结果/ (mg/L)	1	0.622	0.625	0.634	0.619	0.627	0.633	0.578	0.573	0.563
	2	0.625	0.619	0.626	0.623	0.621	0.628	0.571	0.568	0.569
	3	0.631	0.628	0.621	0.621	0.614	0.628	0.574	0.565	0.577
	4	0.618	0.633	0.623	0.629	0.625	0.616	0.562	0.588	0.585
	5	0.627	0.617	0.617	0.616	0.627	0.621	0.569	0.579	0.573
	6	0.620	0.624	0.629	0.625	0.631	0.625	0.588	0.584	0.565
平均值/(mg/L)		0.624	0.624	0.630	0.622	0.624	0.630	0.574	0.576	0.572
相对标准偏差/%		0.77	0.94	0.96	0.74	0.95	0.95	1.54	1.57	1.43

2.5 回收率

分别从临沂市河东区郑旺镇郑旺中学院内、临沂市蒙阴县垛庄镇岸堤水库和临沂市兰山区临沂大学入沭河混合入河排污口采集地下水、地表水、生活污水3种天然样品进行加标回收率实验,因天然样品中均未检出硫化物,故配制硫化物浓度分别为0.20mg/L(低浓度)、0.40mg/L(中浓度)、0.60mg/L(高浓度)的3种样品,然后取200mL低浓度样品并向其中加入浓度为10.00mg/L的硫化物标准溶液2.00mL,取200mL中浓度样品向其中加入浓度为10.00mg/L的硫化物标准

溶液3.00mL,取200mL高浓度样品向其中加入浓度为10.00mg/L的硫化物标准溶液4.00mL,加标量分别为0.099mg/L、0.148mg/L、0.196mg/L,并用3种方法分别进行平行测定6次,计算加标回收率,结果见表6~表8。由表6~表8可知,连续流动分析-分光光度法、气相分子吸收光谱法和亚甲基蓝分光光度法的加标回收率分别为101%~104%、97.4%~100%、92.9%~94.9%,3种方法的加标回收率均符合标准方法的质控要求。

表6 低浓度加标回收率测定结果

平行样品编号		连续流动分析-分光光度法			气相分子吸收光谱法			亚甲基蓝分光光度法		
		地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水
测定结果/ (mg/L)	1	0.296	0.294	0.303	0.299	0.294	0.295	0.290	0.291	0.293
	2	0.303	0.302	0.291	0.303	0.295	0.296	0.291	0.290	0.292
	3	0.297	0.297	0.293	0.297	0.296	0.294	0.293	0.293	0.289
	4	0.303	0.297	0.296	0.293	0.296	0.298	0.293	0.292	0.291
	5	0.301	0.303	0.304	0.295	0.294	0.293	0.292	0.291	0.293
	6	0.297	0.301	0.301	0.294	0.296	0.295	0.292	0.290	0.281
平均值/(mg/L)		0.300	0.299	0.298	0.297	0.295	0.295	0.292	0.291	0.290
加标前样品浓度/(mg/L)		0.20								
加标量/(mg/L)		0.099								
加标回收率/%		103	102	101	100	98.0	98.0	94.9	93.9	92.9

表7 中浓度加标回收率测定结果

平行样品编号		连续流动分析-分光光度法			气相分子吸收光谱法			亚甲基蓝分光光度法		
		地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水
测定结果/ (mg/L)	1	0.546	0.543	0.549	0.539	0.541	0.543	0.531	0.532	0.529
	2	0.548	0.546	0.551	0.537	0.542	0.538	0.532	0.533	0.534
	3	0.546	0.542	0.546	0.537	0.537	0.537	0.533	0.534	0.533
	4	0.549	0.544	0.548	0.538	0.539	0.541	0.536	0.534	0.532
	5	0.548	0.541	0.546	0.539	0.543	0.536	0.534	0.531	0.531
	6	0.547	0.543	0.547	0.537	0.541	0.538	0.533	0.530	0.532
平均值/(mg/L)		0.547	0.543	0.548	0.538	0.541	0.539	0.533	0.532	0.532
加标前样品浓度/(mg/L)		0.40								
加标量/(mg/L)		0.148								
加标回收率/%		103	101	104	97.4	99.4	98.1	94.0	93.3	93.3

表8 高浓度加标回收率测定结果

平行样品编号		连续流动分析-分光光度法			气相分子吸收光谱法			亚甲基蓝分光光度法		
		地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水	地表水	地下水	生活污水
测定结果/ (mg/L)	1	0.793	0.792	0.793	0.781	0.783	0.783	0.768	0.769	0.766
	2	0.789	0.791	0.794	0.782	0.782	0.779	0.774	0.766	0.769
	3	0.791	0.788	0.796	0.779	0.782	0.777	0.771	0.771	0.771
	4	0.788	0.787	0.787	0.778	0.779	0.775	0.772	0.773	0.772
	5	0.786	0.787	0.786	0.779	0.784	0.785	0.772	0.774	0.773
	6	0.787	0.792	0.785	0.781	0.783	0.784	0.773	0.771	0.774
平均值/(mg/L)		0.789	0.790	0.790	0.780	0.782	0.781	0.772	0.771	0.771
加标前样品浓度/(mg/L)		0.60								
加标量/(mg/L)		0.196								
加标回收率/%		102	103	103	97.8	98.8	98.3	93.7	93.2	93.2

3 结 论

通过对生态环境中硫化物的3种检测方法的比对研究发现,3种硫化物检测方法均能满足实际工作中硫化物的日常检测要求,实验中测试出的方法检出限、准确度、精密度、回收率均符合各方法的质控要求。

a. 采用连续流动分析-分光光度法测定水生态环境中的硫化物时,优点是样品的前处理程序简单,仪器可以自动进样,可以实现单人大批量样品的检测,节省了人工成本,检测结果较为准确,精密度高。且仪器需要配置试剂较少,对环境造成的污染较低,比较生态环保。缺点是所需试剂需要当天配制,试剂配制质量要求较高,样品在进样之前,仪器需要先进行预热并等待基线稳定后才能进样分析样品,样品进样完毕后,还需要再等待一段时间,样品结果才能分析完毕,待样品分析结束无误后,需要对仪器管路进行清洗、排空、关机等操作,期间等待基线稳定、进样、样品分析、管路清洗的时间较长,不能在短时间内对有问题样品或新增的样品进行复测、加测,且连续流动分析仪开关机程序较为烦琐、时间较长,存在一定的局限性,故连续流动分析-分光光度法测定水生态环境中硫化物时比较适合对批量多、任务缓的样品进行检测。

b. 采用气相分子吸收光谱法测定水生态环境中的硫化物时,仪器仅需要配置3mol/L的盐酸载流液,试剂配制简单,废液量不大且处理简单,比较生态环

保。从检测时间上分析,气相分子吸收光谱仪开机预热后,用载流液润洗管路10~15min后即可开始检测,单个样品从进样到检测完成大约需要2min;此外,仪器带有自动稀释功能,样品检测过程中遇到超过仪器设定检测最高点时,可根据检测结果自动稀释,节省了时间,也确保了硫化物含量过高水样的时效性,在检测程序未关闭前可紧急加测样品或复测样品,该方法的精密度、准确度均较高。故气相分子吸收光谱法测定水生态环境中的硫化物时较适合批次多、任务急的样品检测。生态环保,工作效率高,且仪器操作简单。

c. 亚甲基蓝分光光度法测定水生态环境中硫化物时,优点是所需药品试剂、仪器设备较简单,所需费用较低,大部分实验室均能满足其方法要求,在硫化物的日常检测过程中应用广泛。缺点是所需试剂配制、样品前处理、检测过程较为繁琐复杂,检测结果准确度、精密度、回收率虽能满足方法要求,但较连续流动分析-分光光度法和气相分子吸收光谱法的准确度、精密度和回收率较低,重复性较差,自动化程度低,单个样品检测耗时较长,样品检测结果时效性较差,对大批量样品的检测具有局限性,检测过程中使用的药品试剂较多,检测耗时较长,延长了检测人员与药品试剂的接触时间,检测结束后产生的废液较多,对检测人员、生态环境具有一定的危害性。

综上所述,亚甲基蓝分光光度法对实验环境条件要求不高,实验室基本都可以进行操 (下转第45页)

他主体参与水环境治理的参与度。鼓励高校参与地方的水环境治理,提升科技成果转化与普及推广的效率。政府和社会组织应加强对公众和企业宣传普及环境保护知识的力度,培养多元主体主动参与环境治理的意识。其次,将城市间、政府部门、企业、公众、社会组织间的信息资源进行整合和筛选,实现区域内水环境治理的信息共享化与透明化管理。最后,由政府牵头建立水环境的监测网络联通体系,并在专门的信息共享平台发布,使得各个地区能够及时获得整个城市群的水环境数据,并进行及时观测、预判和处理,同时制定科学的应急处理备案,以防突发性水污染事件的恶化。

3 结 语

为使扬子江城市群水环境问题得到有效治理,研究借助共生理论,依次从共生单元、共生界面、共生环境、共生模式4个维度剖析扬子江城市群水环境治理的现实态质,并给出具体的优化路径。共同行动的目的在于促进区域内要素的整合和合理配置,共同行动是实现扬子江城市群水环境治理可持续发展的重要途径,也是实现水环境对称共生的有效途径。扬子江城市群的绿色发展不仅需要依托沿江城市带接壤的地理优势,还需要依靠单元体中多元协同主体的共同参与,合力形成紧密联系、交互融合的扬子江城市群水环境

治理体系,加速整体的转型升级,促使扬子江城市群单元之间的紧密联系,共同提升水环境治理效能,形成休戚与共的水环境“命运共同体”。

参考文献

- [1] 锁利铭,李雪.从“单一边界”到“多重边界”的区域公共事务治理——基于对长三角大气污染防治合作的观察[J].中国行政管理,2021(2):92-100.
- [2] 赫尔曼·E.达利,小约翰·B.柯布.为了共同的福祉:重塑面向共同体、环境和可持续未来的经济[M].王俊,韩东筠,译.北京:中央编译出版社,2017.
- [3] 何寿奎.长江经济带环境治理与绿色发展协同机制及政策体系研究[J].当代经济管理,2019,41(8):57-63.
- [4] 许涤新.生态经济学探索[M].上海:上海人民出版社,1985.
- [5] 张康之.为了人的共生共在式[M].北京:人民出版社,2016.
- [6] 李舒涵,王长松.基于新闻数据挖掘的京杭运河治理网络与影响因素研究[J].南京社会科学,2021(1):163-172.
- [7] 罗志高,杨继瑞.长江经济带生态环境网络化治理框架构建[J].改革,2019(1):87-96.
- [8] 李程骅.长三角城市群格局中的“扬子江城市群”构建策略[J].江海学刊,2016(6):89-95.
- [9] 王庆金,王焕良,周键.区域一体化创新生态系统演化及治理机制研究[J].东岳论丛,2021,42(9):51-62.
- [3] 贾晓波.气相分子吸收光谱法测定水中硫化物[J].山西化工,2021,41(2):57-58,66.
- [4] 崔苗.水中硫化物的测定方法及影响因素[J].山西科技,2018,33(3):30-33.
- [5] 水质 总氮、挥发酚、硫化物、阴离子表面活性剂和六价铬的测定 连续流动分析——分光光度法:SL/T 788—2019[S].北京:中国水利水电出版社,2020.
- [6] 水质 硫化物的测定 气相分子吸收光谱法:HJ/T 200—2023[S].北京:中国环境科学出版社,2024.
- [7] 水质 硫化物的测定 亚甲基蓝分光光度法:HJ/T 1226—2021[S].北京:中国环境科学出版社,2022.
- [8] 环境监测分析方法标准制订技术导则:HJ 168—2020[S].北京:中国环境科学出版社,2020.
- [1] 邓茂,张永江,黄晓容,等.水质中硫化物的3种分析方法对比试验研究[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(3):204-210.
- [2] 王晶晶.水中硫化物多种检测方法对比分析研究[J].水资源开发与管理,2022,8(3):50-54.