

王珂. 吹扫捕集/气相色谱-质谱法快速、高效测定地表水中氯丁二烯、异丙苯、四氯苯[J]. 净水技术, 2024, 43(8): 89-95.

WANG K. High performance determination of chloroprene, isopropylbenzene, tetrachlorobenzene in surface water by purge and trap-GC/MS[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(8): 89-95.

吹扫捕集/气相色谱-质谱法快速、高效测定地表水中氯丁二烯、异丙苯、四氯苯

王 珂*

(上海城市水资源开发利用国家工程中心有限公司, 上海 200082)

摘 要 采用吹扫捕集进样, 建立了一种可以快速、高效测定地表水中氯丁二烯、异丙苯及四氯苯浓度的气相色谱质谱方法。通过对吹扫捕集进样的吹扫时间与温度等条件进行优化, 确定最佳吹扫时间与温度, 提高了方法的准确度和回收率。采用程序升温, 并优化升温速率, 大大降低氯丁二烯等化合物的检测时间。结果表明: 在优化的试验条件下, 氯丁二烯、异丙苯、四氯苯的分离效果良好, 质量浓度在 0.25~4.00 $\mu\text{g/L}$, 标准曲线线性关系良好, 相关系数为 0.999 0~0.999 9, 方法检出限为 0.003~0.006 $\mu\text{g/L}$ 。该方法操作简便、高效, 准确度、精密度高, 适用于地表水中氯丁二烯、异丙苯、四氯苯的快速分析。通过对上海市 4 个水源水水样检测, 氯丁二烯、异丙苯、四氯苯均低于该方法检出限。结果表明, 上海市水源水中氯丁二烯以及文中研究的化合物存在的风险较低。

关键词 氯丁二烯 异丙苯 四氯苯 吹扫捕集-气相色谱质谱法 地表水

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)08-0089-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.08.013

High Performance Determination of Chloroprene, Isopropylbenzene, Tetrachlorobenzene in Surface Water by Purge and Trap-GC/MS

WANG Ke*

(Shanghai National Engineering Research Center of Urban Water Resources Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract A fast high performance determination of chloroprene, isopropylbenzene, tetrachlorobenzene in surface water were determined by purge and trap-GC/MS. The extraction parameters, such as purge and trap time and programmed temperature were optimized, and determined the best purge time and temperature to improve the relative standard deviations and recoveries of this method. Under the optimized conditions, the results showed that chloroprene and three other compounds were separated from each other, and the liner range was from 0.25 to 4.00 $\mu\text{g/L}$, and the correlation coefficients of linear equations were from 0.999 0 to 0.999 9. The detection limits of the method for three compounds were in the ranges of 0.003~0.006 $\mu\text{g/L}$. The method was simple, efficient, accurate and precise which was suitable for rapid analysis of three compounds in surface water. Through the testing of water samples from four sources in Shanghai, none of the three compounds were detected. The results showed that the three compounds studied in the paper, such as chloroprene, in the surface water of Shanghai were at low risk.

Keywords chloroprene isopropylbenzene tetrachlorobenzene purge and trap-GC/MS surface water

近年来,随着我国工业的快速发展,水环境治理受到的挑战越来越大。人们对美好生活的向往,更体现在对饮用水水质有更高的要求。有机污染物进

入到水环境的途经大致有 3 种:一是挥发性有机物在工业制造和生产过程中挥发到空气中进而溶解于地表水;二是工业废水直接排放进入地表水中;三是

[收稿日期] 2023-12-31

[基金项目] 国家重点研发计划项目:长江黄河饮用水源高风险物质控制技术(2021YFC3200805-3);上海市 2022 年度“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目(22dz1202305);上海水源嗅味物质与新污染物赋存特征及控制技术研究

[通信作者] 王珂(1987—),女,工程师,主要从事水质新污染物检测工作,E-mail:xiaoke0614@163.com。

有机农药的大量使用使得水环境受到污染。如何能快速、准确地对有机污染物进行定性和定量检测,为相关部门提供有力的数据支持,是目前水环境治理工作较为重要的一环。

水环境中氯丁二烯主要源自于橡胶企业排放的废水,它是一种无色有特殊刺鼻气味的易挥发液体,对人体的呼吸和神经系统有毒害作用,属于“三致”物质。异丙苯主要用于工业中,作为有机合成原料及提高发动机燃料辛烷值的添加剂来使用,对人体有较强的麻醉作用,且会对水环境、土环境和大气环境造成污染。四氯苯作为氯苯系化合物中一员,主要来源是染料、化学药的制造及农药等工业生产单位废水,可在人体内蓄积,对人体的皮肤、黏膜和呼吸道都有刺激作用。加强水源水中对此类污染物的监测,明确其浓度水平,将会对保障供水水质安全起到十分关键的作用。

目前,《生活饮用水标准检验方法 第8部分:有机物指标》(GB/T 5750.8—2023)^[1]中明确了氯丁二烯、异丙苯、四氯苯的检测方法中前处理过程、分析条件和使用的检测仪器均不一致。其中,氯丁二烯采用顶空气相色谱法配 FID 检测器检测,异丙苯采用吹扫捕集气相色谱质谱法检测,四氯苯采用顶空毛细管柱气相色谱法配 ECD 检测器检测,按照 GB/T 5750.8—2023 的标准方法,以上物质需要分别经过顶空进样和吹扫捕集两种不同的方法进行前处理,且需要分别使用配有 FID、ECD 的气相色谱仪和气相色谱质谱仪进行定量分析,在同时测定这 3 种化合物的浓度时需要耗费更多的人力、物力、财力,且检测时间长、效率较低,无法实现高通量检测。

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[2]中,氯丁二烯、异丙苯、四氯苯的标准限值分别为 0.002、0.25、0.02 mg/L,前处理方式较多是采用液液萃取法以提高富集浓度,达到较低的检出限,以满足地表水中的限值要求,如气相色谱质谱法测定地表水中四氯苯^[3],以及《水质 氯苯类化合物的测定 气相色谱法》(HJ 621—2011)^[4]中对四氯苯的检测,前处理方式均使用液液萃取方式,萃取剂为二硫化碳和乙酸乙酯。二硫化碳易损害人体神经和血液系统,对人员的健康会造成一定程度的影响。目前尚缺少统一、可同时检测地表水中氯丁二烯、异丙苯、四氯苯 3 种化合物的方法。开发简便、快速、准确、灵敏度高、可同时准确定量这 3 种化合物的高通

量分析方法,对提升检测工作效率、保障人员人身安全与工作环境卫生具有重要意义。

吹扫捕集法采用动态顶空技术,待测样品中的挥发性成分被流动载气(一般使用高纯氮气)“吹”出来,再将吹扫出来的目标物用一个捕集阱吸附。随后,经热解吸将吹扫出来的有机物通过载气流入气相色谱仪进行检测分析。其运用过程中,有所需样品量少、基质干扰小、无需使用有机溶剂、不会对人员健康造成风险等优点,已被广泛应用在多种有机物分析中^[5-9]。本文采用吹扫捕集进样方式替代液液萃取法进行前处理,样品可直接进入气相色谱质谱仪进行检测,通过调整气相色谱的升温速率、缩短检测时间、优化吹扫时间及温度等条件,缩小其对回收率的影响,建立了一种简便、快捷、准确、有效的吹扫捕集-气相色谱质谱高通量检测方法。本方法具有能高通量分析样品、所需样品量少、基体干扰小和普及率高等优势,对国标中氯丁二烯、异丙苯、四氯苯 3 种检测方法进行了统一。

1 试验部分

1.1 仪器设备及试剂

气相色谱-质谱联用仪:Agilent 7890A-5975C。吹扫捕集进样器:TERKMAR Atomx,配 25 mL U 型管。

色谱柱:DB-VRX(60 m×0.25 mm×0.14 μm)毛细管柱。载气:氦气(99.999%),氮气(99.999%)。

甲醇:色谱级。试剂:超纯水。

标准品:氯丁二烯(100 μg/mL)、异丙苯(100 μg/mL)、四氯苯(1 000 μg/mL),均购自美国 NSI 公司(NSI Solution)。

1.2 样品采集与保存

用 40 mL 螺纹口进样瓶采集样品至瓶口水流溢出后,迅速盖紧盖子,采集后的样品于 4 °C 的冰箱保存,并尽快完成分析。

1.3 标准溶液的配制

标准工作溶液的配制:将氯丁二烯、异丙苯、四氯苯标准物质用色谱级甲醇配制成为 10 μg/mL 混标,分别移取 10 μg/mL 混标储备液 1、2、4、8、12、16 μL,加入装有 40 mL 色谱级纯水中,使此混合标准系列溶液的质量浓度分别为 0.25、0.50、1.00、2.00、3.00、4.0 μg/L。

1.4 气相色谱分析条件

程序升温至 45 °C(保持 2 min),以 18 °C/min

升至 180 °C (保持 2 min), 以 4 °C/min 升至 210 °C (保持 0 min), 以 2 °C/min 升至 240 °C。载气为氦气, 流速为 1 mL/min。进样口温度为 240 °C, 分流进样, 分流比为 10 : 1, 进样量为 1 μL。

1.5 质谱分析条件

EI 源, 70 eV, 离子源温度为 230 °C, 四极杆温度为 140 °C; 溶剂延迟 3 min; SCAN 模式扫描, 扫描质荷比 (m/z) 为 40~450。外标法定量, 定量离子如表 1 所示。

表 1 目标化合物的离子监测
Tab. 1 Ion Monitoring of Target Compounds

化合物	特征离子 (m/z)	定量离子 (m/z)	
氯丁二烯	59.4	88.0	90.0
异丙苯	120	105	77.0
1,2,3,5-四氯苯	216	214	218
1,2,3,4-四氯苯	216	214	218

1.6 吹扫捕集条件

吹扫捕集采用高纯氮气为吹扫载气; 样品体积为 25 mL; 吹扫温度为 90 °C, 流速为 40 mL/min, 吹扫时间为 11 min; 脱附温度为 140 °C, 脱附时间为 2 min; 烘烤温度为 250 °C; 烘烤时间为 4 min。

1.7 定量及定性结果

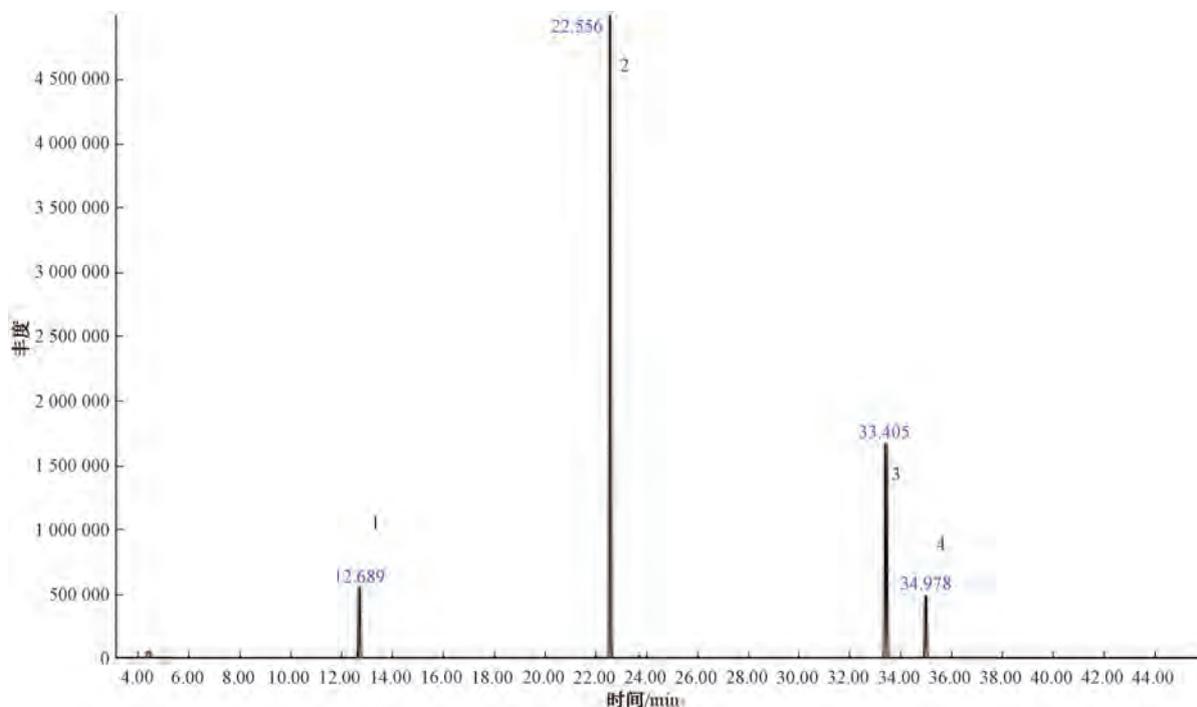
本方法采用选择离子监测模式测定, 根据标准样品的选择离子流图中各组分保留时间、特征离子及定量离子之间的丰度比, 确定待测物质的保留时间对应的物质名称。以外标法定量测定, 直接从标准曲线上查得水中待测物质的质量浓度, 以 μg/L 表示。

2 结果与讨论

2.1 色谱条件的优化

为减少各组分的重叠和扩散可能, 使化合物保证良好分离的前提, 本方法采用程序升温的方式进样。当使用程序升温 1 [起始温度为 45 °C, 保持 10 min, 以 12 °C/min 升至 180 °C, 保持 2 min, 以 4 °C/min 升至 210 °C (保持 0 min), 以 2 °C/min 升至 240 °C] 时, 氯丁二烯在 12.7 min 出峰, 异丙苯在 22.6 min 出峰, 四氯苯在 33.4 min 以后出峰。整个程序运行时间为 45 min, 目标物质保留时间间隔均在 10 min 以上, 影响检测效率。色谱图如图 1 所示。

使用程序升温 2, 改变起始温度保持时间, [起始温度为 45 °C, 保持 2 min, 以 12 °C/min 升至



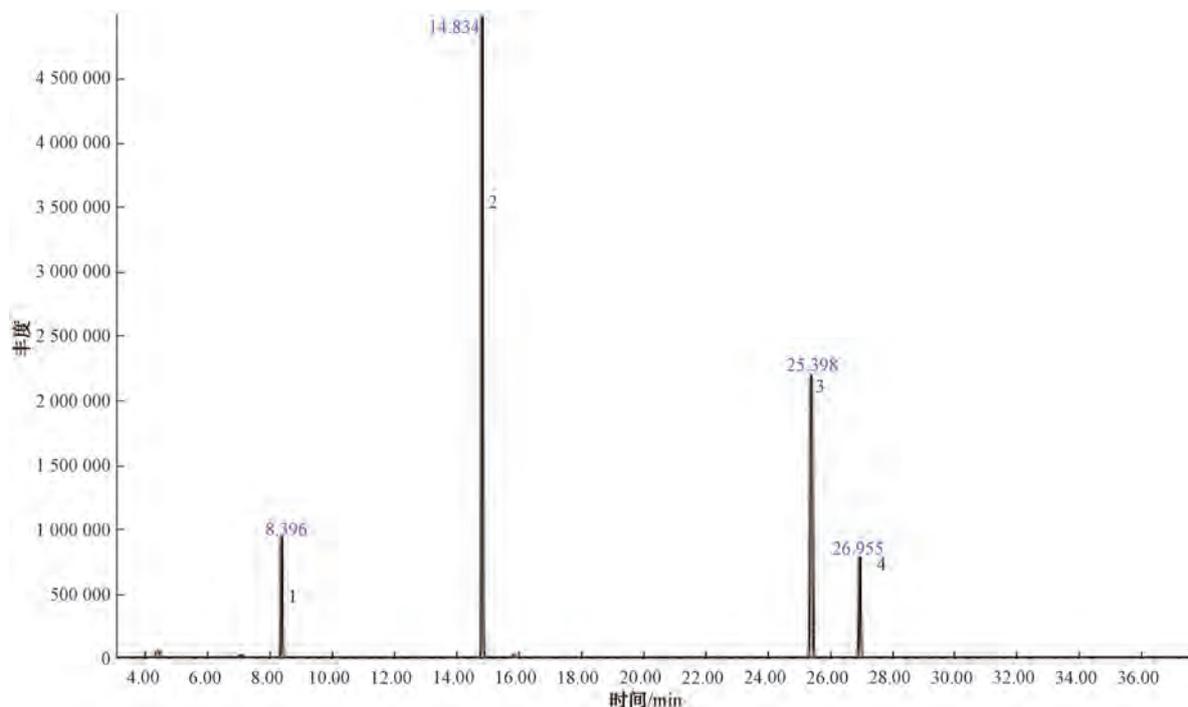
注: 1—氯丁二烯; 2—异丙苯; 3—1,2,3,5-四氯苯; 4—1,2,3,4-四氯苯。

图 1 3 种化合物混合标准溶液色谱图 (20 μg/L) - 程序升温 1

Fig. 1 Chromatogram Graphs of Three Compound Mixed Standard Solutions (20 μg/L) - Temperature-Programming 1

180 ℃,保持 2 min,以 4 ℃/min 升至 210 ℃(保持 0 min),以 2 ℃/min 升至 240 ℃],整个程序运行时

间缩短为 37.5 min,但目标物质保留时间间隔依旧很大。色谱图如图 2 所示。



注:1—氯丁二烯;2—异丙苯;3—1,2,3,5-四氯苯;4—1,2,3,4-四氯苯。

图 2 3 种化合物混合标准溶液色谱图(20 μg/L)-程序升温 2

Fig. 2 Chromatogram Graphs of Three Compound Mixed Standard Solutions (20 μg/L)-Temperature-Programming 2

使用程序升温 3[起始温度为 45 ℃,保持 2 min,以 18 ℃/min 升至 180 ℃,保持 2 min,以 4 ℃/min 升至 210 ℃(保持 0 min),以 2 ℃/min 升至 240 ℃],整个程序运行时间缩短到 33.5 min,且目标物质分离效果未受影响,峰型良好。因此,试验中采取改变程序升温的起始温度保持时间及升温速率,以缩短检测时间。综合考虑保留时间的长短与分离效果,采用程序升温 3 时,目标化合物能在 24 min 内完全分离,色谱图如图 3 所示。

2.2 吹扫时间的优化

为优化吹扫时间,取某水源水样加标,使化合物质量浓度为 1.0 μg/L,吹扫时间设置为 5、8、11、14 min,每个吹扫时间下平行测定 2 次取平均值,得到吹扫时间对响应的影响如图 4 所示。由此发现,随吹扫时间的增加,大部分物质响应呈上升趋势,且在 11 min 达到最高,后又趋于下降,回收率为 89.0%~92.0%。因此,取 11 min 为最优吹扫时间。

2.3 吹扫温度的优化

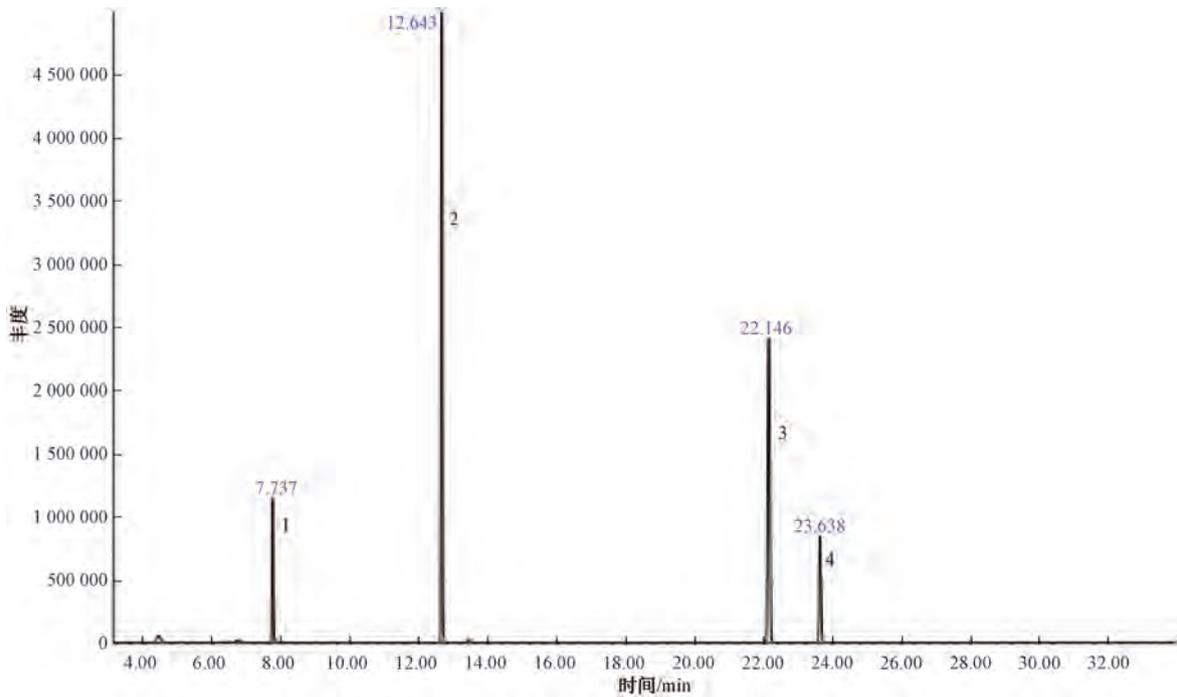
为优化吹扫温度,取某水源水加标,使化合物质量浓度为 1.0 μg/L,吹扫温度为 40、60、90、110 ℃,每个吹扫温度下测定 2 次取平均值,得到吹扫温度对响应的影响如图 5 所示。由此发现,随吹扫温度的升高,响应先上升,在 90 ℃以后呈平稳趋势,其回收率均在 91.0%~106.0%。因此,将吹扫温度定为 90 ℃。

2.4 保留时间及校准曲线

试验用 0.25、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00 μg/L 的混合标准溶液。在本方法检测条件下进样,得到各物质的保留时间、相关系数及线性方程,各化合物标准曲线线性方程良好,相关系数为 0.999 0~0.999 9,满足《生活饮用水标准检验方法 第 3 部分:水质分析质量控制》(GB 5750.3—2023)^[10] 6.6.2.5 中对相关系数的要求($r > 0.99$)。结果如表 2 所示。

2.5 加标回收率及精密度

取水源水样加入混合标准溶液,配制成质量浓



注:1—氯丁二烯;2—异丙苯;3—1,2,3,5-四氯苯;4—1,2,3,4-四氯苯。

图3 3种化合物混合标准溶液色谱图(20 μg/L)-程序升温3

Fig. 3 Chromatogram Graphs of Three Compound Mixed Standard Solutions (20 μg/L) Temperature-Programming 3

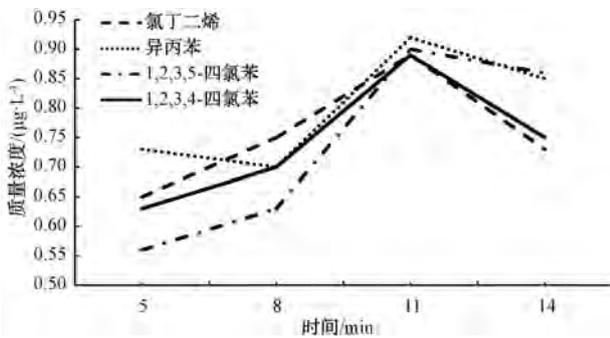


图4 不同吹扫时间对响应的影响(1.0 μg/L)

Fig. 4 Effects of Different Sweep Time on Response

(1.0 μg/L)

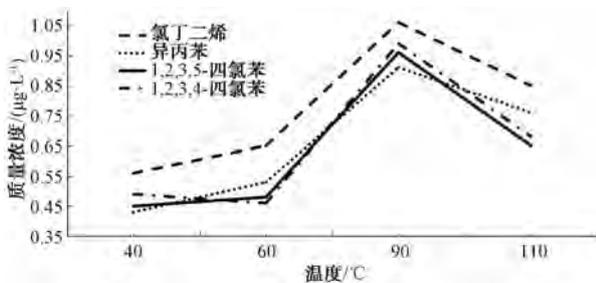


图5 吹扫温度对响应的影响(1.0 μg/L)

Fig. 5 Effects of Sweep Temperature on Response

(1.0 μg/L)

表2 目标化合物的线性方程保留时间

Tab. 2 Linear Equations and Retention Time of Target Compounds

化合物	保留时间/min	相关系数	线性方程
氯丁二烯	7.864	0.999 6	$y = 530\ 60x - 578\ 30$
异丙苯	12.560	0.999 9	$y = 122\ 400x - 127\ 600$
1,2,3,5-四氯苯	22.720	0.999 0	$y = 236\ 000x - 439\ 700$
1,2,3,4-四氯苯	24.690	0.999 2	$y = 391\ 00x - 63\ 410$

度分别为 0.5、1.0、3.0 μg/L 的水样,按照本方法对样品进行检测,每个浓度测定 6 次,得到低、中、高浓度时的相对标准偏差和回收率,结果如表 3 所示。由表 3 可知,在低质量浓度(0.5 μg/L)时,各物质的相对标准偏差为 1.66%~2.69%,回收率为 88.0%~118.0%;中质量浓度(1.0 μg/L)中各物质的相对标准偏差为 1.70%~5.01%,回收率为 87.0%~113%;高质量浓度(3.0 μg/L)中各物质的相对标准偏差为 1.52%~2.13%,回收率为 90.3%~103%。

2.6 最低检测质量浓度

根据《环境监测分析方法标准修订技术导则》(HJ 168—2020)^[11]中规定的方法检出限的确定方法,对实际水样进行加标检测,加标质量浓度为 0.025 μg/L,进样 7 次,试验数据如表 4 所示。

表3 目标化合物的相对标准偏差及加标回收率

Tab. 3 Relative Standard Deviations and Standard Recovery Rates of Target Compounds

目标化合物	0.5 $\mu\text{g/L}$		1.0 $\mu\text{g/L}$		3.0 $\mu\text{g/L}$	
	相对标准偏差	回收率	相对标准偏差	回收率	相对标准偏差	回收率
氯丁二烯	2.69%	88.0%	1.70%	113%	1.52%	102%
异丙苯	2.23%	96.0%	2.29%	115%	2.13%	103%
1,2,3,5-四氯苯	1.96%	118.0%	4.03%	98.0%	1.98%	97.7%
1,2,3,4-四氯苯	1.66%	92.0%	5.01%	87.0%	2.09%	90.3%

表4 最低检测质量浓度试验数据(0.025 $\mu\text{g/L}$)Tab. 4 Mass Concentration Test Data of Minimum Detection(0.025 $\mu\text{g/L}$)

目标化合物	第1次/	第2次/	第3次/	第4次/	第5次/	第6次/	第7次/
	($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)						
氯丁二烯	0.020	0.021	0.023	0.023	0.019	0.020	0.020
异丙苯	0.021	0.021	0.023	0.022	0.022	0.023	0.022
1,2,3,5-四氯苯	0.019	0.018	0.016	0.016	0.018	0.021	0.016
1,2,3,4-四氯苯	0.022	0.022	0.021	0.023	0.020	0.021	0.021

经计算,得出各化合物的最低检测质量浓度,将本方法最低检测质量浓度与标准方法做比较,结果如表5所示。由表5可知,各化合物的最低检测质量浓度均满足GB 3838—2002中地表水源地特定项目标准限值,且低于GB/T 5750.8—2023给出的最低检出质量浓度,因此,本方法满足测定的要求。

表5 目标化合物最低检测质量浓度

Tab. 5 Detection Limits of Target Compounds

目标化合物	标准方法最低检测	本方法最低检测质量
	质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
氯丁二烯	2.000	0.005
异丙苯	0.150	0.003
1,2,3,5-四氯苯	0.017	0.006
1,2,3,4-四氯苯	0.010	0.003

2.7 实际水样分析

采集某市4个水库的水源水,按照本文中检测方法流程,采用吹扫捕集进样、气相色谱质谱检测。测定结果表明,采用该分析方法进行检测,氯丁二烯等本文中研究的目标化合物均低于本方法最低检测质量浓度。

3 结论

本文建立了可同时测定地表水中氯丁二烯、异丙苯、四氯苯的吹扫捕集-气相色谱质谱方法。

(1)主要检测方法如下:水样经吹扫捕集进样后直接进DB-VRX毛细管柱分离,采用EI源进行全

扫描检测,外标法进行定量分析。

(2)结果表明,采用该方法的线性值在0.25~4.00 $\mu\text{g/L}$,氯丁二烯等本文研究的化合物方法检出限为0.003~0.006 $\mu\text{g/L}$,加标回收率为87.0%~118.0%,相对标准偏差为1.52%~5.01%。GB/T 5750.8—2023中,氯丁二烯、异丙苯、四氯苯的最低检测质量浓度分别为2.000、0.150、0.017、0.010 $\mu\text{g/L}$,采用本方法最低检测质量浓度分别为0.005、0.003、0.006、0.003 $\mu\text{g/L}$ 。综上,本方法最低检测质量浓度远低于标准方法,具有较高的准确度和精密密度,且回收率良好。采用本方法对某市水库水源水进行检测,氯丁二烯、异丙苯、四氯苯均低于本方法最低检测质量浓度,表明上海市水源水中此类化合物风险较低。

(3)本文建立了一种简便、快捷、准确、有效的同时检测地表水中氯丁二烯等化合物的吹扫捕集-气相色谱质谱方法,且除配制标准储备液时需要用到少量甲醇外,不需用到其他有机试剂,大大减少了对试验人员健康和环境的影响,同时实现了对国标中氯丁二烯、异丙苯、四氯苯3种检测方法的统一。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法 第8部分:

- 有机物指标; GB/T 5750. 8—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard examination methods for drinking water—Part 8: Organic indices; GB/T 5750. 8—2023 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [2] 中华人民共和国国家环境保护总局, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准; GB 3838—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- State Environmental Protection Administration of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Environmental quality standards for surface water; GB 3838—2002[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.
- [3] 段绍恒, 叶凡, 陶胜康, 等. 气相色谱质谱法测定地表水中四氯苯[J]. 化学工程师, 2021, 35(9): 32-34.
- DUAN S H, YE F, TAO S K, et al. Determination of tetrachlorobenzene in surface water by GPLC mass spectrometry [J]. Chemical Engineer, 2021, 35(9): 32-34.
- [4] 中华人民共和国生态环境部. 水质 氯苯类化合物的测定 气相色谱法; HJ 621—2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Water quality—Determination of chlorobenzenes—Gas chromatography; HJ 621—2011 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011.
- [5] 陈东洋, 范翔, 冯家力, 等. 吹扫捕集/气相色谱-质谱法同时测定环境水样中 5 种三卤甲烷[J]. 分析科学学报, 2023, 39(4): 456-460.
- CHEN D Y, FAN X, FENG J L, et al. Simultaneous determination of five trihalomethanes in water by gas chromatography-mass spectrometry coupling with purge and trap pretreatment[J]. Journal of Analytical Science, 2023, 39(4): 456-460.
- [6] 王玮, 赵莹, 刘存卫. 吹扫捕集-气相色谱-质谱联用法快速检测生活饮用水中 55 种挥发性有机物[J]. 中国卫生检验杂志, 2022, 32(24): 2945-2950.
- WANG W, ZHAO Y, LIU C W. Rapid detection of 55 volatile organic compounds in drinking water by purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2022, 32(24): 2945-2950.
- [7] 陈秋玲, 高回香, 姜妍君, 等. 吹扫捕集-气相色谱-质谱法同时测定水体中 14 种挥发性消毒副产物[J]. 环境化学, 2023, 42(7): 2496-2500.
- CHEN Q L, GAO H X, JIANB J Y, et al. Study on determination of 14 kinds of volatile disinfection by-products in water by purge and trap/gas chromatography/mass spectrometry [J]. Environmental Chemistry, 2023, 42(7): 2496-2500.
- [8] 詹未, 韩志宇, 李勇, 等. 吹扫捕集-气相色谱-三重四极杆质谱法同时测定饮用出厂水中 6 种卤乙腈[J]. 色谱, 2021, 39(7): 758-763.
- ZHAN W, HAN Z Y, LI Y, et al. Simultaneous determination of six haloacetonitriles in finished water for drinking by purge and trap-gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2021, 39(7): 758-763.
- [9] 中华人民共和国生态环境部. 水质 松节油的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法; HJ 866—2017[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2017.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Water quality—Determination of turpentine—Purge and trap/gas chromatography-mass spectrometry; HJ 866—2017[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2017.
- [10] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化委员会. 生活饮用水标准检验方法 第 3 部分: 水质分析质量控制; GB5750. 3—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard examination methods for drinking water—Part 3: Water analysis quality control; GB 5750. 3—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [11] 中华人民共和国生态环境部. 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.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Environmental monitoring-Technical guideline on drawing and revising analytical method standards; HJ168—2020 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2020.

(上接第 75 页)

- [11] 郑延清. 离子色谱法测定水中碘化物的不确定度评定[J]. 环境保护与循环经济, 2021, 41(9): 69-71.
- ZHEN Y Q. Evaluation of uncertainty for determination of iodide in water by ion chromatography [J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2021, 41(9): 69-71.