

分析与监测

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 08. 022

吹扫捕集/气相色谱质谱法测定水中多种VOCs

雷琼, 何娟, 赵海玲, 陈如意, 刘慧
(赣州市疾病预防控制中心, 江西 赣州 341000)

摘要: 针对生活饮用水中多种挥发性有机物(VOCs)的日常监测需求,依据《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2023)对《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)4.2节进行吹扫条件优化及色谱柱选择,建立了一种适用于同时快速测定生活饮用水中56种VOCs的吹扫捕集/气相色谱质谱法。优化后方法测定56种VOCs的可检测线性范围为0.1~100 $\mu\text{g/L}$,相关系数为0.999 0~0.999 7,各目标物的检出限范围为0.003 7~0.52 $\mu\text{g/L}$,低、中、高3组加标样($n \geq 6$)的平均回收率为73.0%~118%,相对标准偏差(RSD)均小于10%。该方法线性范围较宽、检出限较低、准确度较高、操作简便,可以推广至大部分实验室,尤其是基层实验室。

关键词: 吹扫捕集; 气相色谱质谱法; 挥发性有机物; 生活饮用水

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)08-0130-07

Determination of VOCs in Water Using Purge and Trap/Gas Chromatography-Mass Spectrometry Method

LEI Qiong, HE Juan, ZHAO Hai-ling, CHEN Ru-yi, LIU Hui
(Ganzhou Disease Control and Prevention Center, Ganzhou 341000, China)

Abstract: This study optimized the purge conditions and selected appropriate chromatographic columns in section 4.2 of *Standard Examination Methods for Drinking Water-Part 8: Organic Indices* (GB/T 5750.8-2023), to develop a purge and trap/gas chromatography-mass spectrometry method for the simultaneous and rapid determination of 56 volatile organic compounds (VOCs) in drinking water. The method is developed in accordance with *Standard Examination Methods for Drinking Water* (GB/T 5750-2023), and is designed to fulfill the daily monitoring requirements for various VOCs in drinking water. After optimization, the detectable linear range for 56 VOCs was determined to be 0.1-100 $\mu\text{g/L}$, with correlation coefficients ranging from 0.999 0 to 0.999 7. The detection limits for each target analyte were found to be between 0.003 7 $\mu\text{g/L}$ and 0.52 $\mu\text{g/L}$. The average recoveries for low-concentration, medium-concentration, and high-concentration standard samples ($n \geq 6$) ranged from 73.0% to 118%, while the relative standard deviation (RSD) was less than 10%. The method features a wide linear range, a low detection limit, high accuracy, and simple operation, making it highly adaptable for implementation in most laboratories, particularly in fundamental research settings.

Key words: purge and trap; gas chromatography-mass spectrometry method; volatile organic

基金项目: 江西省卫生健康委科技计划项目(202140711)

通信作者: 何娟 E-mail: 670535220@qq.com

compounds(VOCs); drinking water

现今世界卫生组织将沸点在50~250℃、室温下饱和蒸气压超过133.32 Pa的有机化合物定义为挥发性有机物(VOCs)^[1-2],水中VOCs主要来源于水体污染及消毒净化过程产生的副产物,其中对人体危害较大的有苯系物、卤代烃、氯苯等,具有致畸、致癌、致突变作用^[3-5]。由于水中VOCs大多为痕量,故需对水样进行前处理,常用的有溶剂萃取、固相微萃取、顶空和吹扫捕集技术^[6-11]。随着技术的进步以及《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750—2023)的进一步改版,目前主要采用吹扫捕集/气相色谱质谱法及顶空毛细管柱/气相色谱法^[12],二者均能满足日常水质监测需求,适用于不同层次的实验室。

为更高效地完成《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)要求的监测指标,参考GB/T 5750—2023中对应的检测方法,并结合实验室的实际情况和仪器条件,对《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)4.2节“吹扫捕集/气相色谱质谱法”进行方法验证和条件优化,建立了可同时快速测定生活饮用水中56种VOCs的吹扫捕集/气相色谱质谱法,适用于生活饮用水的日常及突发监测。

1 实验部分

1.1 仪器设备和试剂耗材

1.1.1 仪器设备

GCMS-QP2010 SE 气相色谱质谱仪(岛津);7350 CDS 全自动吹扫捕集仪(德祥);GC-2010 Plus 气相色谱仪(岛津);DANI-HSS 86.50 Plus 全自动顶空进样装置(DANI)。

1.1.2 试剂耗材

56种VOCs混标:2 000 mg/L;EPA 502/524内标强化溶液(4-溴氟苯、1,2-二氯苯-D₄、氟苯):2 000 mg/L;氯化钠(优级纯);甲醇(色谱纯);高纯氮(99.999%);高纯氦(99.999%);SH-624毛细管色谱柱(60 m×0.32 mm×1.8 μm);Rxi®-5ms毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);40 mL棕色样品瓶,配有聚四氟乙烯衬垫螺旋盖。

1.2 仪器条件

1.2.1 吹扫捕集条件

以高氮(99.999%)为吹扫气,吹扫管吹扫温度

为室温,吹扫时间为11 min,吹扫流速为40 mL/min;吸附阱预解吸温度为220℃,解吸温度为225℃,解吸时间为2 min,烘烤温度为250℃,烘烤时间为5 min;除温阱烘烤温度为260℃;GC传输线温度为150℃;定量环5 mL。

1.2.2 色谱条件

采用SH-624毛细管色谱柱(60 m×0.32 mm×1.8 μm),进样口温度180℃,载气流量1.00 mL/min,分流比为10:1。

色谱柱温度:35℃,保持5 min;以6℃/min升至160℃,保持6 min;以20℃/min升至210℃,保持2 min;以20℃/min升至225℃,保持2 min。

1.2.3 质谱条件

采用电子轰击离子(EI)源,电子能量70 eV,离子源温度220℃,接口温度240℃,以全扫描(Scan)模式定性,扫描质量范围(*m/z*)为35~300;以选择性离子扫描(Sim)模式定量。

1.3 标准工作曲线的绘制

将56种VOCs混标(2 000 mg/L)用甲醇配制成100 mg/L的标准储备液,4℃保存;使用时先用甲醇将储备液逐级稀释成标准使用液,再用纯水配制标准系列,相应浓度为0.1、0.5、1.0、2.0、5.0、10、20、40、60、100 μg/L。将EPA 502/524内标强化溶液(2 000 mg/L)用甲醇配制成200 mg/L的标准储备液,4℃保存;使用时用甲醇稀释至12.5 mg/L内标使用液,并加至吹扫捕集仪器的内标瓶中,测定时仪器自动在标准溶液和样本中加入2 μL的内标使用液,使其浓度为5 mg/L。

1.4 样本的采集和测定

按GB 5749—2022要求进行生活饮用水样本的采集,样本上机测定时同标准工作曲线的绘制操作步骤一致,置于40 mL棕色样品瓶中,参考GB/T 5750.8—2023中4.2节“吹扫捕集/气相色谱质谱法”进行实验室仪器条件的优化测试。

2 结果与讨论

2.1 方法的优化

2.1.1 吹扫条件的优化

在国标的基础上借鉴文献^[13]和^[14]对吹扫温度、解吸时间及解吸温度进行了优化测试。结果

表明,控制解吸时间和解吸温度相同,当吹扫温度分别为20、30、40和50℃时,目标物的峰面积及回收率相差不大,以苯为例,回收率均在100%左右[见图1(a)];控制吹扫温度和解吸温度相同,当解吸时间分别为2、4和6 min时,其对峰面积几乎无影响,以苯为例,峰面积均在 1.5×10^6 左右,而解吸时间过长会降低捕集阱的使用寿命;控制吹扫温度和解吸时间相同,在解吸温度分别为180、200、225、240及260℃时进行对比,可知240和260℃下的色谱图在后半段有较多杂峰干扰目标物,且温度过高也会缩短色谱柱的使用寿命,180、200和225℃下的色谱图响应值几乎无差异,以苯为例,225℃条件下的回收率为102%,相对更优[见图1(b)]。

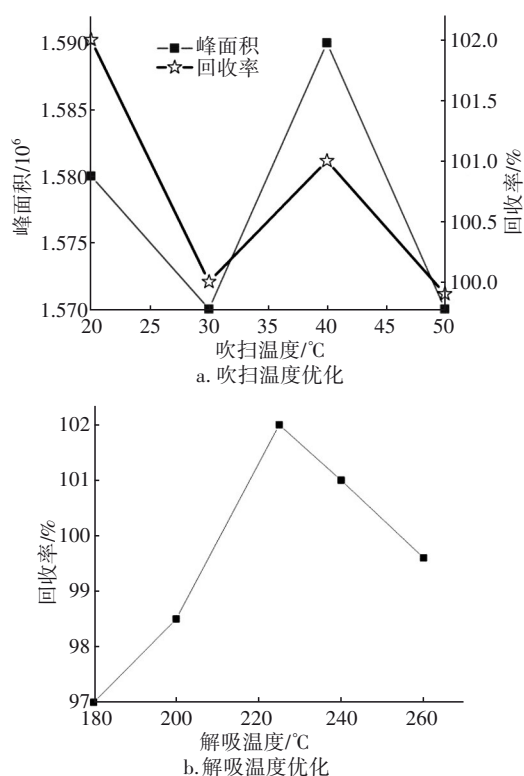


图1 吹扫温度和解吸温度优化结果

Fig.1 Optimization results of purge and desorption temperature

表1 峰序号、目标物名称、类型、ISTD组、定量离子 m/z 、参考离子 m/z 、保留时间

Tab.1 Peak serial number, target name, type, ISTD group, m/z of quantitative and reference ion, and retention time

峰序号	目标物名称	类型	ISTD组	保留时间/min	定量离子 m/z	参考离子 m/z	峰序号	目标物名称	类型	ISTD组	保留时间/min	定量离子 m/z	参考离子 m/z
1	氯乙烯	目标	1	6.174	62	64,61	30	1,1,1,2-四氯乙烷	目标	2	24.566	131	133,117
2	1,1-二氯乙烯	目标	1	10.040	96	61,98	31	乙苯	目标	2	24.512	91	106,65
3	二氯甲烷	目标	1	11.552	49	84,86	32	间/对二甲苯	目标	2	24.793	91	106,105
4	反1,2-二氯乙烯	目标	1	12.115	61	96,98	33	邻二甲苯	目标	2	25.801	91	106,105

综上所述,选择室温吹扫、225℃解吸2 min进行生活饮用水中56种VOCs的同时测定。

2.1.2 色谱柱的选择

根据实验室现有的常规用于VOCs检测的色谱柱,并结合相关研究^[15],选择Rxi®-5ms毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm)和SH-624毛细管色谱柱(60 m×0.32 mm×1.8 μm)进行56种VOCs的检测。结果表明,当色谱条件相同时,Rxi®-5ms毛细管色谱柱的目标物出峰时间较短,导致大部分目标组分峰连在一起,经进一步优化后仍有较多目标物无法完全分离;而SH-624毛细管色谱柱60 m的柱长发挥了较大优势,其目标组分出峰时间较Rxi®-5ms毛细管色谱柱长,除间二甲苯和对二甲苯外,其他组分均能得到较好的分离。GB 5749—2022及GB/T 5750—2023仅规定了二甲苯总量,因此选择SH-624毛细管色谱柱用于生活饮用水中56种VOCs的同时测定。

采用以上实验条件测得的生活饮用水中56种VOCs的全扫描总离子流色谱见图2。

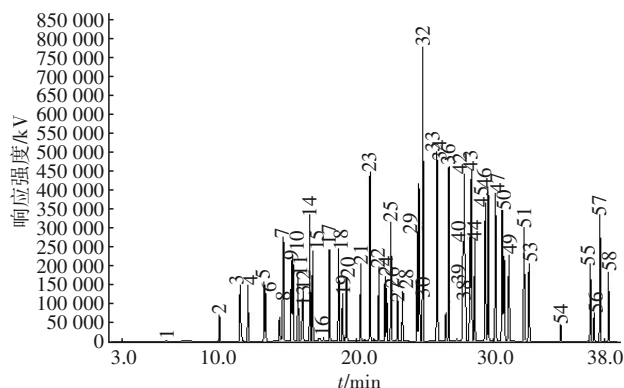


图2 生活饮用水中56种VOCs全扫描总离子流色谱

Fig.2 Full-scan total ion flow chromatogram of 56 volatile organic compounds in drinking water

与图2中峰序号对应的目标物名称、类型、内标物(ISTD)组、定量离子 m/z 、参考离子 m/z 、保留时间如表1所示。

续表 1(Continued)

峰序号	目标物名称	类型	ISTD 组	保留时间/min	定量离子 m/z	参考离子 m/z	峰序号	目标物名称	类型	ISTD 组	保留时间/min	定量离子 m/z	参考离子 m/z
5	1,1-二氯乙烷	目标	1	13.291	63	65,83	34	苯乙烯	目标	2	25.858	104	78,103
6	2-氯-1,3-丁二烯	目标	1	13.405	53	88,51	35	三溴甲烷	目标	2	26.463	173	171,175
7	顺 1,2-二氯乙烯	目标	1	14.683	96	61,98	36	异丙苯	目标	2	26.672	105	120,79
8	2,2-二氯丙烷	目标	1	14.616	77	41,97	37	1,1,2,2-四氯乙烷	目标	2	27.671	83	85,95
9	溴氯甲烷	目标	1	15.269	49	130,128	38	1,2,3-三氯丙烷	目标	2	27.886	75	110,77
10	三氯甲烷	目标	1	15.380	83	85,47	39	4-溴氯苯(内标)	ISTD	2	27.671	95	174,176
11	1,1,1-三氯乙烷	目标	1	15.749	97	99,61	40	溴苯	目标	2	27.728	156	77,158
12	1,1-二氯丙烯	目标	1	16.107	75	77,110	41	正丙苯	目标	2	27.805	91	120,65
13	四氯化碳	目标	1	16.036	117	119,121	42	2-氯甲苯	目标	2	27.805	91	126,89
14	苯	目标	1	16.598	78	77,51	43	1,3,5-三甲基苯	目标	2	28.317	105	120,77
15	1,2-二氯乙烷	目标	1	16.807	62	49,64	44	4-氯甲苯	目标	2	28.553	91	126,63
16	氯苯(内标)	ISTD	1	17.248	96	77	45	叔丁基苯	目标	2	29.326	119	91,134
17	三氯乙烯	目标	1	18.032	130	95,132	46	1,2,4-三甲基苯	目标	2	29.532	105	120,77
18	1,2-二氯丙烷	目标	1	18.689	63	62,41	47	异丁苯	目标	2	30.066	105	134,91
19	二溴甲烷	目标	1	18.976	93	95,174	48	1,2-二氯苯	目标	2	31.038	146	148,111
20	二氯一溴甲烷	目标	1	19.255	83	85,47	49	1,3-二氯苯	目标	2	30.689	146	148,111
21	顺 1,3-二氯丙烯	目标	2	20.279	75	39,77	50	甲基异丙基苯	目标	2	30.549	119	120,134
22	反 1,3-二氯丙烯	目标	2	21.594	75	39,77	51	正丁苯	目标	2	32.128	91	92,134
23	甲苯	目标	2	20.963	91	92,65	52	1,2-二氯苯 D ₄ (内标)	ISTD	3	32.429	152	115,150
24	1,1,2-三氯乙烷	目标	2	22.046	97	83,99	53	1,4-二氯苯	目标	3	32.495	146	148,111
25	1,3-二氯丙烷	目标	2	22.477	76	41,78	54	1,2-二溴-3-氯丙烷	目标	3	34.795	157	75,157
26	四氯乙烯	目标	2	22.180	166	168,129	55	1,2,4-三氯苯	目标	3	36.949	180	182,145
27	一氯二溴甲烷	目标	2	22.951	129	127,131	56	六氯丁二烯	目标	3	37.203	225	227,223
28	1,2-二溴乙烷	目标	2	23.312	107	109,93	57	萘	目标	3	37.637	128	127,102
29	氯苯	目标	2	24.383	112	77,114	58	1,2,3-三氯苯	目标	3	38.262	180	182,145

2.2 方法的线性范围、检出限、精密度和回收率

测定 56 种 VOCs 混合标准系列,其浓度范围为 0.1~100 μg/L,采用内标法定量。结果表明,该方法的线性范围较宽,相关系数为 0.999 0~0.999 7;对 0.1 μg/L 的 56 种 VOCs 混合标准溶液进行连续 11 次的测量,计算信噪比(S/N),可知各目标物的检出

限为 0.003 7~0.52 μg/L,能够满足日常实验需求;测试 0.6、3.0 及 50 μg/L 加标溶液的回收率和精密度($n \geq 6$),3 组加标样的平均回收率为 73.0%~118%,相对标准偏差(RSD)均小于 10%,回收率和精密度较高。56 种 VOCs 测试的线性方程、相关系数及检出限见表 2。

表 2 56 种 VOCs 测试的线性方程、相关系数及检出限

Tab.2 Linear equations, correlation coefficients and detection limits of the 56 VOCs tests

目标物	线性方程	相关系数	检出限/(μg·L ⁻¹)
氯乙烯	$Y=3.10e-03X+2.47e-04$	0.999 1	0.28
1,1-二氯乙烯	$Y=3.33e-02X-1.60e-03$	0.999 3	0.074
二氯甲烷	$Y=0.14X+0.13$	0.999 1	0.003 7
反 1,2-二氯乙烯	$Y=0.10X+7.98e-03$	0.999 1	0.012
1,1-二氯乙烷	$Y=0.17X-3.63e-02$	0.999 1	0.070
2-氯-1,3-丁二烯	$Y=0.11X-8.30e-03$	0.999 7	0.056
顺 1,2-二氯乙烯	$Y=0.11X-1.00e-02$	0.999 4	0.076
2,2-二氯丙烷	$Y=7.69e-02X+3.86e-02$	0.999 2	0.053
溴氯甲烷	$Y=0.11X-1.33e-02$	0.999 4	0.10
三氯甲烷	$Y=0.17X-1.12e-02$	0.999 2	0.025

续表 2(Continued)

目标物	线性方程	相关系数	检出限/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
1,1,1-三氯乙烷	$Y=9.70\text{e-}02X-5.14\text{e-}04$	0.999 2	0.015
1,1-二氯丙烯	$Y=8.65\text{e-}02X-5.15\text{e-}03$	0.999 2	0.10
四氯化碳	$Y=6.54\text{e-}02X+8.03\text{e-}04$	0.999 2	0.26
苯	$Y=0.34X-1.33\text{e-}02$	0.999 1	0.012
1,2-二氯乙烷	$Y=0.16X-1.24\text{e-}02$	0.999 1	0.15
三氯乙烯	$Y=8.42\text{e-}02X-7.92\text{e-}03$	0.999 0	0.071
1,2-二氯丙烷	$Y=0.11X-1.02\text{e-}02$	0.999 0	0.11
二溴甲烷	$Y=6.86\text{e-}02X-8.31\text{e-}03$	0.999 1	0.13
二氯一溴甲烷	$Y=0.12X-1.26\text{e-}02$	0.999 3	0.062
顺1,2-二氯乙烯	$Y=0.38X-3.25\text{e-}02$	0.999 3	0.077
反1,2-二氯乙烯	$Y=0.35X-3.25\text{e-}02$	0.999 2	0.10
甲苯	$Y=0.91X-2.17\text{e-}02$	0.999 1	0.013
1,1,2-三氯乙烷	$Y=0.25X-1.87\text{e-}02$	0.999 3	0.080
1,3-二氯丙烷	$Y=0.51X+6.05\text{e-}03$	0.999 2	0.061
四氯乙烯	$Y=0.18X-8.63\text{e-}03$	0.999 0	0.062
一氯二溴甲烷	$Y=0.19X-1.00\text{e-}02$	0.999 4	0.30
1,2-二溴乙烷	$Y=0.23X-1.42\text{e-}02$	0.999 1	0.068
氯苯	$Y=0.58X-3.26\text{e-}02$	0.999 0	0.037
1,1,1,2-四氯乙烷	$Y=0.18X-1.07\text{e-}02$	0.999 2	0.14
乙苯	$Y=1.59X-7.57\text{e-}02$	0.999 3	0.090
间/对二甲苯	$Y=1.56X-6.41\text{e-}02$	0.999 1	0.090
邻二甲苯	$Y=0.84X-6.70\text{e-}02$	0.999 0	0.052
苯乙烯	$Y=0.68X-2.85\text{e-}02$	0.999 4	0.043
三溴甲烷	$Y=0.11X-7.11\text{e-}03$	0.999 1	0.52
异丙苯	$Y=0.86X-4.22\text{e-}02$	0.999 2	0.028
1,1,2,2-四氯乙烷	$Y=0.36X-2.35\text{e-}02$	0.999 0	0.094
1,2,3-三氯丙烷	$Y=0.29X-1.87\text{e-}02$	0.999 0	0.118
溴苯	$Y=0.24X-1.44\text{e-}02$	0.999 0	0.22
正丙苯	$Y=1.03X-0.28$	0.999 6	0.13
2-氯甲苯	$Y=0.68X-2.08\text{e-}02$	0.999 4	0.14
1,3,5-三甲基苯	$Y=0.83X-6.05\text{e-}02$	0.999 3	0.026
4-氯甲苯	$Y=0.72X-4.32\text{e-}02$	0.999 4	0.19
叔丁基苯	$Y=0.62X-4.16\text{e-}02$	0.999 3	0.052
1,2,4-三甲基苯	$Y=0.84X-6.33\text{e-}02$	0.999 1	0.19
异丁苯	$Y=0.94X-4.55\text{e-}02$	0.999 3	0.053
1,2-二氯苯	$Y=0.52X-4.39\text{e-}02$	0.999 2	0.24
1,3-二氯苯	$Y=0.51X-4.13\text{e-}02$	0.999 4	0.13
甲基异丙基苯	$Y=0.81X-8.60\text{e-}02$	0.999 4	0.041
正丁苯	$Y=0.76X-4.97\text{e-}02$	0.999 3	0.045
1,4-二氯苯	$Y=0.47X-3.97\text{e-}02$	0.999 0	0.041
1,2-二溴-3-氯丙烷	$Y=8.00\text{e-}02X-1.17\text{e-}02$	0.999 1	0.10
1,2,4-三氯苯	$Y=0.30X-2.10\text{e-}02$	0.999 0	0.050
六氯丁二烯	$Y=0.10X-4.00\text{e-}03$	0.999 0	0.028
萘	$Y=1.00X-6.55\text{e-}02$	0.999 2	0.025
1,2,3-三氯苯	$Y=0.30X-2.56\text{e-}02$	0.999 0	0.066

2.3 方法应用

在赣州市市区范围内采集了部分城市以及农村生活饮用水,均包含出厂水、末梢水和二次供水,

采用优化后的吹扫捕集/气相色谱质谱法进行检测,结果显示,三氯甲烷和一溴二氯甲烷在每份水样中均能检出,二氯甲烷、甲苯、二甲苯和一氯二溴甲烷

在少数水样能检出痕量结果,其余组分均未检出;有检出值的组分均符合 GB 5749—2022 要求。

GB 5749—2022 将三氯甲烷、二氯一溴甲烷、一氯二溴甲烷、三溴甲烷及三卤甲烷规定为常规检测指标,将四氯化碳调整为非常规检测指标。与之相对应,GB/T 5750. 8—2023 规定了以上目标组分的“4. 2 吹扫捕集/气相色谱质谱法”及“4. 3 顶空毛细管柱/

气相色谱法”。该研究基于国标进行了三氯甲烷、二氯一溴甲烷、一氯二溴甲烷、三溴甲烷及四氯化碳 5 种卤代烃的方法和仪器比对实验,结果显示,两种方法对二氯一溴甲烷的测试结果影响不大,采用顶空毛细管柱/气相色谱法对三氯甲烷的检测结果稍高,但均在允许偏差范围之内。

两种方法对 5 种卤代烃的检测结果见表 3。

表 3 两种方法对 5 种卤代烃的检测结果
Tab.3 Results of two methods for detecting five halogenated hydrocarbons $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	检测结果					
	出厂水		末梢水		二次供水	
	吹扫捕集/气相色谱质谱法	顶空毛细管柱/气相色谱法	吹扫捕集/气相色谱质谱法	顶空毛细管柱/气相色谱法	吹扫捕集/气相色谱质谱法	顶空毛细管柱/气相色谱法
三氯甲烷	未检出~8.5	4.2~10	未检出~16	未检出~17	未检出~9.4	5.7~11
四氯化碳	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
二氯一溴甲烷	未检出~1.9	未检出~2.8	未检出~2.0	未检出~2.0	未检出~1.6	未检出~2.3
一氯二溴甲烷	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
三溴甲烷	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出

3 结论

建立了适用于当前实验室的可同时快速测定生活饮用水中 56 种 VOCs 的吹扫捕集/气相色谱质谱法,水样采集送至实验室后无需前处理,操作简单,采用内标法定量时由仪器自动加入内标液,避免了手动导致的结果偏差。同时,该方法线性范围较宽、检出限较低、准确度较高、操作简便,可以推广至大部分实验室,尤其是基层实验室。

参考文献:

[1] 冯慧. 水中挥发性有机物监测技术研究进展[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(19): 46-47.
FENG Hui. Research progress of monitoring technology of volatile organic compounds in water [J]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2021, 2 (19): 46-47(in Chinese).
[2] 王春娟,黄健,徐铭赛. 吹扫捕集/气相色谱-质谱联用法测定饮用水中 54 种挥发性有机物[J]. 质量安全与检验检测, 2020, 30(6): 7-10.
WANG Chunjuan, HUANG Jian, XU Mingsai. Determination of 54 kinds of volatile organic compounds in drinking water by purge and trap/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2020, 30(6): 7-10(in Chinese).
[3] 陈光强,詹以森,黄展,等. 2016—2018 年江门市市区生活饮用水中挥发性有机物的调查[J]. 现代预防医

学, 2020, 47(11): 5.
CHEN Guangqiang, ZHAN Yisen, HUANG Zhan, et al. Volatile organic compounds in drinking water in urban districts of Jiangmen City, 2016-2018 [J]. Modern Preventive Medicine, 2020, 47 (11): 5 (in Chinese).
[4] 杜作灵,邓昭祥,邓云江. 吹扫捕集/气相色谱-质谱法测定地下水中 56 种挥发性有机物[J]. 广州化工, 2021,49(12):3.
DU Zuoling, DENG Zhaoxiang, DENG Yunjiang. Determination of 56 volatile organic compounds in groundwater by purge and trap/gas chromatography-mass spectrometry[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2021, 49(12): 3(in Chinese).
[5] 薛京洲,丁聪,杨任,等. 吹扫捕集-气相色谱-氢火焰离子化/电子捕获检测器法在线监测水中 19 种可挥发性有机物[J]. 中国环保产业, 2023(10): 63-68.
XUE Jingzhou, DING Cong, YANG Ren, et al. Online monitoring of 19 volatile organic compounds in water by purge and trap-gas chromatography hydrogen-flame ionization detector/electron capture detector method [J]. China Environmental Protection Industry, 2023 (10): 63-68(in Chinese).
[6] 梁素丹,陈剑刚,张艳. 吹扫捕集/气相色谱-质谱法同时测定饮用水中 58 种挥发性有机物[J]. 现代预防医学, 2020, 47(12): 2249-2253.
LIANG Sudan, CHEN Jiangang, ZHANG Yan.

- Simultaneous determination of 58 volatile organic compounds in drinking water by gas chromatography-mass spectrometry with purge and trap [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2020, 47 (12): 2249-2253 (in Chinese).
- [7] 李祥, 马中雨, 孙韶华, 等. 吹扫捕集-气相色谱在线测定饮用水 VOCs 方法研究 [J]. *中国给水排水*, 2020, 36(2): 113-118.
- LI Xiang, MA Zhongyu, SUN Shaohua, *et al.* On-line determination of VOCs in drinking water by purge and trap-gas chromatography [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(2): 113-118 (in Chinese).
- [8] 付瑶, 张利钧, 杨丰春, 等. 吹扫捕集-气相色谱-质谱法快速测定同序列地下水和土壤中的 37 种挥发性有机物 [J]. *理化检验 (化学分册)*, 2021, 57(8): 673-681.
- FU Yao, ZHANG Lijun, YANG Fengchun, *et al.* Rapid determination of 37 volatile organic compounds in the same sequence of groundwater and soil by GC-MS with purge and trap sampling [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis)*, 2021, 57(8): 673-681 (in Chinese).
- [9] 罗嵩, 张海婧, 朱英. 顶空-气相色谱法与吹扫捕集-气质联用法测定生活饮用水中三卤甲烷的方法比对 [J]. *环境卫生学杂志*, 2019, 9(5): 509-513.
- LUO Song, ZHANG Haijing, ZHU Ying. Comparison of headspace-GC with purge and trap/GC/MS methods in the determination of trihalomethane in drinking water [J]. *Journal of Environmental Hygiene*, 2019, 9(5): 509-513 (in Chinese).
- [10] 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 Wei, ZHAO Ying, LIU Cunwei. 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 (in Chinese).
- [11] 王娟, 于志勇, 韩思琪, 等. 静态顶空-气相色谱法测定污水中 7 种挥发性卤代烃 [J]. *中国给水排水*, 2023, 39(16): 140-146.
- WANG Juan, YU Zhiyong, HAN Siqi, *et al.* Static headspace gas chromatography for determination of seven volatile halohydrocarbon in sewage [J]. *China Water & Wastewater*, 2023, 39(16): 140-146 (in Chinese).
- [12] 刘盛田, 韩文星, 徐皓靖. 固相微萃取-气相色谱-质谱法测定饮用水中 7 种苯系物 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2020, 30(9): 1043-1045, 1065.
- LIU Shengtian, HAN Wenxing, XU Haojing. Determination of 7 BTEX in drinking water by solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2020, 30(9): 1043-1045, 1065 (in Chinese).
- [13] 胡琳珊. 吹扫捕集气相色谱-质谱法测定水中 59 种挥发性有机物 [J]. *化学分析计量*, 2022, 31(7): 33-38.
- HU Linshan. Determination of 59 volatile organic compounds in water by gas chromatography-mass spectrometry with purge and trap sampling [J]. *Chemical Analysis and Meterage*, 2022, 31(7): 33-38 (in Chinese).
- [14] 王玉霞, 高向娜, 李拥军, 等. 基于响应面法的吹扫捕集-气相色谱-质谱法测定生活饮用水中 54 种挥发性有机物的含量 [J]. *理化检验 (化学分册)*, 2023, 59(5): 569-577.
- WANG Yuxia, GAO Xiangna, LI Yongjun, *et al.* Determination of 54 volatile organic compounds in drinking water by gas chromatography-mass spectrometry with purge and trap based on response surface method [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis)*, 2023, 59(5): 569-577 (in Chinese).
- [15] 周亮, 朱韩武, 钟艳琴, 等. 气相色谱质谱法快速测定生活饮用水中多种挥发性有机物研究 [J]. *现代医药卫生*, 2023, 39(3): 368-372, 377.
- ZHOU Liang, ZHU Hanwu, ZHONG Yanqin, *et al.* Rapid determination of volatile organic compounds in drinking water by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of Modern Medicine & Health*, 2023, 39(3): 368-372, 377 (in Chinese).

作者简介: 雷琼(1980-), 女, 江西赣州人, 本科, 副主任技师, 检验科科长, 主要从事理化检验工作。

E-mail: 3090629@qq.com

收稿日期: 2024-04-28

修回日期: 2024-05-10

(编辑: 沈靖怡)