

分析与监测

吹扫捕集-气相色谱在线测定饮用水 VOCs 方法研究

李 祥¹, 马中雨¹, 孙韶华¹, 文立群², 贾瑞宝¹

(1. 山东省城市供排水水质监测中心, 山东 济南 250011; 2. 力合科技<湖南>股份有限公司, 湖南 长沙 410205)

摘 要: 建立了吹扫捕集-气相色谱法在线测定饮用水中 19 种挥发性有机物的方法, 方法集自动进样、吹扫捕集浓缩、气相色谱分离检测于一体, 水质监测数据可实时上传, 在优化的仪器吹扫和色谱条件下, 在 0.005 ~ 0.03 mg/L 的浓度范围内有较好的线性, 相关系数 R 为 0.995 0 ~ 0.999 8, 相对标准偏差为 4.4% ~ 15.0% ($n=7$), 加标回收率为 70.1% ~ 122%。应用案例表明, 优化建立的方法能有效地分离、检测饮用水中的 19 种挥发性有机物, 操作简单, 适于饮用水中挥发性有机物的实时、自动和连续监测。

关键词: 挥发性有机物; 吹扫捕集; 气相色谱; 在线监测

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)02-0113-06

On-line Determination of VOCs in Drinking Water by Purge and Trap Gas Chromatography

LI Xiang¹, MA Zhong-yu¹, SUN Shao-hua¹, WEN Li-qun², JIA Rui-bao¹

(1. Shandong Province City Water Supply and Drainage Water Quality Monitoring Center, Jinan 250011, China; 2. Lihe Technology <Hunan> Co. Ltd., Changsha 410205, China)

Abstract: A purge and trap gas chromatography method for on-line determination of 19 volatile organic compounds in drinking water was developed. The instrument integrated automatic sample injection, purging and trapping concentration, and gas chromatography separation detection. The water quality monitoring data could be uploaded in a real-time mode. Under the optimized instrument purging and chromatographic conditions, the linearity was acceptable in the concentration range of 0.005 mg/L to 0.03 mg/L, the correlation coefficient R ranged from 0.995 0 to 0.999 8, the relative standard deviation was from 4.4% to 15.0% ($n=7$), and the standard recovery was 70.1% - 122%. The application case showed that the optimized method could effectively separate and detect 19 volatile organic compounds in drinking water, which was easy to operate and suitable for real-time, automatic and continuous detection of volatile organic compounds in drinking water.

Key words: volatile organic compounds; purge and trap; gas chromatography; on-line determination

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07502002); 济南市科技局社会民生重大专项(201807007)
通信作者: 贾瑞宝 E-mail: jiaruibao68@126.com

挥发性有机化合物(VOCs)是一类重要的污染物,包括烃类、卤代烃、芳香烃、多环芳香烃等,近年来,VOCs污染事故时有发生,如山西苯胺泄漏事故、兰州自来水苯污染事故等,均引起部分城市停水,社会反响极大。因此,如何迅速、准确地对此类污染物进行有效监测和快速应急预警,引起了业界及社会公众的广泛关注^[1]。

环境水体中VOCs的浓度较低,一般在 $\mu\text{g/L}$ 到 ng/L 水平,所以在分析和检测之前需对样品进行前处理,目前常用的方法有液-液萃取、静态顶空、闭路气提、吹扫捕集以及固相微萃取等。吹扫捕集是美国环保局(US-EPA)推荐的标准方法,因具有富集效率高、污染小、操作简便等优点,已被广泛应用于环境水体的VOCs前处理分析。但是,吹扫捕集仪大都为进口产品,使用成本较高^[2-4]。VOCs检测主要采用实验室气相色谱法或气相色谱-质谱法,以及便携式气相色谱-质谱法^[2,5-6],且因国内外气相色谱和气质联用仪的灵敏度、稳定性和检出限还存在较大的差距,目前检测仪器还主要依赖进口。

离线实验室检测方法具有灵敏度和精密度高的优点,在精确测量VOCs方面一直发挥着重要作用,但检测具有相对滞后性,且样品在采集、运输与储存环节,易产生交叉污染及样品损失。便携式气相色谱-质谱仪虽具有便携、功耗低等优势,但是无法实现24 h连续监测^[5]。近年来,随着在线监测技术的发展,国内仪器生产厂家突破了水中VOCs在线监测的技术瓶颈,开发出集自动进样、吹扫捕集浓缩、气相色谱分离检测功能于一体的全自动吹扫捕集-气相色谱在线监测仪,其应用也越来越广泛。笔者利用全自动吹扫捕集-气相色谱在线监测仪,通过优化仪器吹扫和色谱条件,建立了适用于饮用水中19种VOCs的吹扫捕集-气相色谱在线监测法,该方法可实时、动态掌握水中VOCs的浓度状况。

1 试验部分

1.1 仪器

采用力合科技(湖南)股份有限公司 LFGC-2012型水质VOCs全自动在线气相色谱仪,该仪器由取样模块、恒温模块、色谱模块、数据处理模块和电路模块组成,从最初的自动进样到目标物质解吸、气相色谱检测、结果计算,再到信号的采集与传输,整个流程全部采用自动化控制。仪器配备FID检测器,吹扫管体积为5 mL,毛细管色谱柱为 RTX-624

($30\text{ m} \times 0.53\text{ mm} \times 3.0\text{ }\mu\text{m}$,表面缠绕一层加保护套的加热丝)。

1.2 试剂

超纯水机 Milli-Q Advantage with A10,氢气发生器(纯度99.999%以上),高纯氮气钢瓶(纯度99.999%以上)、高纯空气钢瓶(无油,无水,无杂质)。天玻品牌50 mL白色透明容量瓶,50 μL 、200 μL 以及1 mL微量进样针。国家环境保护局标准样品研究所1 000 mg/L的苯、甲苯、乙苯、对二甲苯、间二甲苯、异丙苯、苯乙烯、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、反-1,2-二氯乙烯、氯丁二烯、顺-1,2-二氯乙烯、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、三溴甲烷标准溶液,色谱纯甲醇。

1.3 方法原理

使用惰性气体将吹扫管中水样中的挥发性有机物连续吹扫出来,通过气流带入并吸附于捕集阱中,待水样中目标化合物完成吹脱后,停止对水样的吹脱并迅速加热捕集阱,并以惰性气体(氮气)反吹将捕集阱中的目标化合物热脱附解吸出来,进入毛细柱进行分离,分离后的组分进入FID检测器进行检测,以相对保留时间定性,外标法定量。

1.4 试验条件

1.4.1 色谱条件

箱体温度为50 $^{\circ}\text{C}$,进样口分流比为50:1,气化室温度为180 $^{\circ}\text{C}$,FID检测器温度为250 $^{\circ}\text{C}$,载气流量为1.0 mL/min,氢气流量为40 mL/min,空气流量为400 mL/min。柱温起始温度为45 $^{\circ}\text{C}$,保持7 min,然后以3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至75 $^{\circ}\text{C}$,再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至150 $^{\circ}\text{C}$,保持3 min,最后以15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至210 $^{\circ}\text{C}$,保持20 min。

1.4.2 吹扫捕集条件

吹扫管温度:35 $^{\circ}\text{C}$,吹扫时间:12 min,吹扫压力:0.021 6 MPa(柱前压),气体流量:40 mL/min,捕集阱温度:50 $^{\circ}\text{C}$,解吸温度:260 $^{\circ}\text{C}$,解吸时间1.5 min,烘烤温度:280 $^{\circ}\text{C}$,烘烤流量:300 mL/min,烘烤时间:5 min。

1.5 标准曲线的绘制

将1 000 mg/L的标准溶液用甲醇稀释成10 mg/L的标准使用液,然后配制浓度为0.005、0.02、0.08、0.20、0.30 mg/L的19种挥发性有机物的混合标准系列溶液于50 mL容量瓶,连接样品进样管,

按上述气相色谱和吹扫条件进行分析。

1.6 样品的采集与处理

采样系统将水样通过水管引入采样杯中,多余的水通过溢流口排出,无需对水样进行其他预处理或过滤,采样频次为 1 次/4 h。待测标准样品加入吹扫管后,关闭溢流阀和进样阀,使吹扫管呈密闭状态,之后通入氮气,当氮气气泡上升时,一部分 VOCs 被氮气从水相吹脱转入气相,仪器内置的采样泵会把吹扫出来的 VOCs 富集到捕集阱里,然后经过高温解吸进入气相色谱(GC)进行分离分析^[2]。

2 结果与讨论

2.1 检测方法优化

2.1.1 吹扫时间优化

在其他条件一致的情况下(解吸时间为 1.5 min),分别采用 3、6、8、12 min 的吹扫时间,对 0.05 mg/L 浓度的 19 种 VOCs 水溶液进行优化测试,待测物质响应越大,吹扫捕集效率越高。经测试发现,峰面积随吹扫时间的延长而增大,19 种 VOCs 的峰面积随吹扫时间变化而变化的趋势一致。以三氯乙烯为例,吹扫时间从 3 min 增加到 6 min 时,吹扫捕集效率明显提高,继续增加吹扫时间至 8、12 min,吹扫捕集效率增加不明显,但甲醇溶剂峰面积拖尾变大,为削弱其对目标峰的干扰作用,将最佳吹扫时间设为 6 min。

2.1.2 解吸时间优化

在其他条件一致的情况下(吹扫时间为 12 min),将解吸时间分别设为 15、30、60、90 s,解吸时间与峰面积的关系见图 1,以三溴甲烷为例,解吸时间从 15 s 增加到 30 s 时,峰面积明显增加,而后趋于平稳。但解吸时间增加时,甲醇溶剂峰的峰宽一直增大,为消除甲醇对目标物的干扰,将最佳解吸时间设为 30 s。

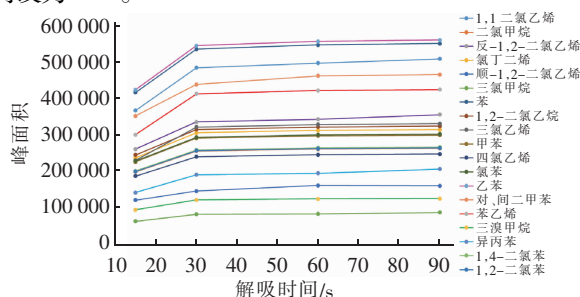


图 1 解吸时间与峰面积的关系

Fig. 1 Relation between desorption time and peak area

2.1.3 最佳条件确认

不同吹扫和解吸时间下的色谱图见图 2。其中条件 1 为吹扫时间 6 min、解吸时间 30 s,条件 2 为吹扫时间 12 min、解吸时间 30 s。可见,条件 1 时目标物的响应程度要低于条件 2 时的响应程度,所以最终确定的最佳吹扫时间为 12 min,解吸时间为 30 s。

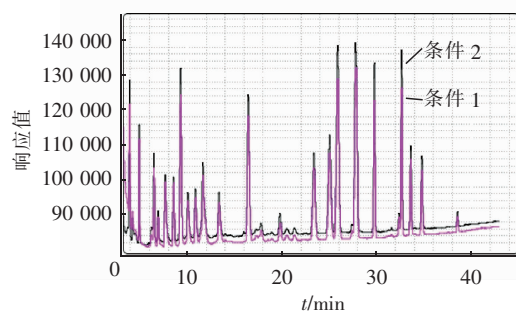


图 2 不同吹扫和解吸时间的色谱图比较

Fig. 2 Comparison of chromatograms for different purge and desorption times

2.2 相对保留时间

按照最佳色谱和吹扫条件进行测试,19 种挥发性有机物的出峰时间和顺序为:1,1 二氯乙烯 4.03 min,二氯甲烷 4.92 min,反-1,2-二氯乙烯 6.12 min,氯丁二烯 7.57 min,顺-1,2-二氯乙烯 9.22 min,三氯甲烷 10.12 min,苯 10.78 min,1,2 二氯乙烷 11.45 min,三氯乙烯 13.53 min,甲苯 16.32 min,四氯乙烯 21.75 min,氯苯 25.04 min,乙苯 25.99 min,对、间二甲苯 27.88 min,苯乙烯 29.69 min,三溴甲烷 32.52 min,异丙苯 33.76 min,1,4-二氯苯 34.68 min,1,2-二氯苯 38.70 min。

2.3 标准曲线、检出限及测定精密度、准确度

按照操作程序绘制标准曲线, X 轴为有机物的浓度, Y 轴为样品峰面积,饮用水中 19 种 VOCs 的标准曲线和检出限如表 1 所示,标准曲线的相关系数 R 为 0.995 0~0.999 8,线性相关性较好。根据《环境监测 分析方法标准制修订技术导则》(HJ 168—2010)附录 A 方法特性指标确定方法,计算 19 种 VOCs 的检出限为 1.13~7.46 $\mu\text{g/L}$,测定下限为 4.52~29.84 $\mu\text{g/L}$ 。选取 19 种挥发性卤代烃和苯系物,与离线实验室方法开展纯水加标比对试验,实验室检测方法采用自动静态顶空-气相色谱法,样品加标浓度为 50 $\mu\text{g/L}$,平行测定 7 次。结果如表 2 所示。

表1 水中19种VOCs标准曲线及检出限

Tab.1 19 VOCs standard curve and detection limit in water

物质名称	线性关系	相关系数 R	检出限/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	测定下限/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)限值/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
1,1-二氯乙烯	$Y = 3.82 \times 10^6 X + 610.1$	0.998 8	1.27	5.08	30
二氯甲烷	$Y = 2.57 \times 10^6 X + 1.04 \times 10^4$	0.996 0	2.40	9.60	20
反-1,2-二氯乙烯	$Y = 3.95 \times 10^6 X - 8.76 \times 10^3$	0.995 0	1.83	7.32	50
氯丁二烯	$Y = 4.23 \times 10^6 X - 3.66 \times 10^3$	0.997 4	2.01	8.04	—
顺-1,2-二氯乙烯	$Y = 5.96 \times 10^6 X - 348.2$	0.999 3	3.92	15.68	50
三氯甲烷	$Y = 4.79 \times 10^5 X + 86.8$	0.996 7	7.46	29.84	60
苯	$Y = 9.54 \times 10^6 X - 8.05 \times 10^3$	0.995 3	1.15	4.60	10
1,2-二氯乙烷	$Y = 2.85 \times 10^5 X - 937.1$	0.995 5	1.95	7.80	30
三氯乙烯	$Y = 2.97 \times 10^6 X + 3.67 \times 10^3$	0.999 6	1.91	7.64	70
甲苯	$Y = 1.23 \times 10^7 X + 2.37 \times 10^4$	0.995 5	2.11	8.44	700
四氯乙烯	$Y = 1.25 \times 10^6 X - 2.34 \times 10^4$	0.998 0	2.55	10.20	40
氯苯	$Y = 1.40 \times 10^6 X - 2.02 \times 10^3$	0.998 8	2.09	8.36	300
乙苯	$Y = 1.62 \times 10^6 X - 52.0$	0.997 0	1.13	4.52	300
对、间二甲苯	$Y = 5.09 \times 10^6 X - 2.69 \times 10^3$	0.999 8	1.36	5.44	—
苯乙烯	$Y = 5.25 \times 10^6 X + 893.8$	0.998 9	1.49	5.96	20
三溴甲烷	$Y = 1.93 \times 10^5 X - 1.20 \times 10^3$	0.996 5	5.00	20.00	100
异丙苯	$Y = 7.89 \times 10^5 X - 1.92 \times 10^3$	0.995 6	3.21	12.84	—
1,4-二氯苯	$Y = 1.80 \times 10^6 X + 2.16 \times 10^3$	0.998 7	2.37	9.48	300
1,2-二氯苯	$Y = 2.12 \times 10^6 X + 2.89 \times 10^3$	0.999 5	2.39	9.56	1 000

注：《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中二甲苯(总量)限值为500 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

表2 相对标准偏差和加标回收率比对

Tab.2 Relative standard deviation and recovery rate

挥发性 有机物名称	优化在线吹扫捕集-气相色谱法			国标实验室静态顶空-气相色谱法		
	检测均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	回收率/%	RSD/%	检测均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	回收率/%	RSD/%
二氯甲烷	52.3	93.6 ~ 104	4.4	53.9	89.3 ~ 124	14.2
三氯甲烷	43.9	71.8 ~ 89.0	13.7	55.1	108 ~ 115	2.0
三氯乙烯	49.1	89.6 ~ 107	7.3	51.1	93.9 ~ 113	6.5
四氯乙烯	44.2	82.9 ~ 102	7.0	47.2	83.1 ~ 108	8.6
苯	41.9	79.2 ~ 99.2	12.6	43.9	74.5 ~ 109	14.9
甲苯	42.9	87.6 ~ 105	5.7	45.3	85.6 ~ 97.4	3.9
乙苯	51.8	91.6 ~ 114	6.7	42.5	74.6 ~ 95.6	7.9
氯苯	42.6	76.8 ~ 89.0	7.3	47.6	77.4 ~ 95.4	8.0
苯乙烯	49.2	87.3 ~ 108	5.9	45.2	78.9 ~ 92.6	6.7
异丙苯	48.2	82.9 ~ 112	11.2	48.2	79.0 ~ 97.4	6.8
1,1-二氯乙烯	55.1	99.7 ~ 116	7.1	49.1	91.7 ~ 114	7.3
顺-1,2-二氯乙烯	47.3	91.7 ~ 102.3	6.0	44.7	81.7 ~ 93.4	4.1
反-1,2-二氯乙烯	52.6	95.9 ~ 113	8.7	53.7	103 ~ 117	4.7
氯丁二烯	43.9	82.0 ~ 93.0	6.3	43.9	82.0 ~ 93.0	4.3
1,2-二氯乙烷	55.7	98.3 ~ 122	9.7	55.7	98.3 ~ 122	7.3
对、间二甲苯	40.2	70.1 ~ 97.2	15.0	50.1	90.7 ~ 106	5.5
三溴甲烷	53.9	97.1 ~ 118	8.9	54.1	107 ~ 116	3.4
1,4-二氯苯	45.3	83.1 ~ 107	10.1	49.8	93.1 ~ 109	3.7
1,2-二氯苯	46.9	85.8 ~ 103	9.6	49.3	92.3 ~ 110	3.4

可见,两种方法的检测结果相差不大,相对标准偏差与加标回收率也较为接近,在线吹扫捕集-气相色谱法的相对标准偏差为 4.4%~15.0%,加标回收率为 70.1%~122%;实验室静态顶空-气相色谱法的相对标准偏差为 2.0%~14.9%,加标回收率为 74.5%~124%。

2.4 应用案例

采用笔者建立的 VOCs 在线监测方法,对济南市某自来水管网的出厂水水质进行了连续自动在线监测,监测频率为 1 次/4 h,监测数据实时上传至济南市城市水系统监管业务化平台,以实现数据的查看、统计分析和异常超标报警等。当水质发生超标报警时,仪器会自动启动留样功能,以便将水样带回实验室并采用国家城市供水(排水)监测网济南监测站认证方法对水样进行检测。分析该水厂 3 个月的出厂水在线监测数据发现,三氯甲烷、三溴甲烷均有检出,但均未发生超标现象,苯系物及其他挥发性卤代烃均未检出。

该方法还在国家水专项地下水曝气吹脱中试系统进行了应用验证,简便快速的在线监测方法有力地支撑了曝气工艺参数优化,监测结果如表 3 所示。可见,配水试验监测结果与实验室国标方法无显著性差异。

表 3 配水条件下曝气吹脱中试水质监测结果

Tab. 3 Water quality monitoring results of pilot-scale aeration stripping test under water distribution conditions

项目	工艺进水浓度/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	工艺出水浓度/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	工艺条件、类型
三氯甲烷	138.4	75.2	45.7	A
	138.4	51.3	62.9	B
	138.4	33.5	75.8	C
	138.4	32.1	76.8	D
	304.0	163.7	46.0	A
	304.0	153.7	49.4	B
	304.0	23.4	92.3	C
	304.0	19.4	93.6	D
	224.2	160.0	28.7	A
	224.2	142.6	36.4	B
	224.2	142.5	36.4	C
	224.2	118.1	47.3	D
	306.3	154.3	49.6	E
	306.3	163.9	46.5	F
	306.3	142.5	53.5	G
	306.3	115.9	62.2	H

续表 3 (Continued)

项目	工艺进水浓度/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	工艺出水浓度/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	工艺条件、类型
三氯乙烯	200.4	95.9	52.2	A
	200.4	78.1	61.1	B
	200.4	未检出	100.0	C
	200.4	未检出	100.0	D
	153.9	87.6	43.1	A
	153.9	54.2	64.8	B
	153.9	45.1	70.7	C
	153.9	31.1	79.8	D
	146.2	139.1	4.8	E
	146.2	86.1	41.1	F
四氯乙烯	146.2	52.8	63.9	G
	146.2	38.6	73.6	H
	150.6	63.4	57.9	A
	150.6	45.8	69.6	B
	150.6	未检出	100.0	C
	150.6	未检出	100.0	D
	121.9	51.1	58.1	A
	121.9	28.5	76.7	B
	121.9	22.0	82.0	C
	121.9	14.8	87.8	D
	108.6	89.0	18.1	E
	108.6	46.9	56.8	F
	108.6	29.4	73.0	G
	108.6	20.9	80.8	H

注: 工艺 A、B、C、D 分别为气水比为 5、10、15、20 的固定填料吹脱柱处理工艺;E、F、G、H 分别为气水比为 5、10、15、20 的浸没式吹脱柱处理工艺。

2.5 讨论

为保证 VOCs 水质在线监测结果的准确性,除加强在线仪器及系统的维护外,还需经常配制标准曲线来校准仪器,如不定期开展 VOCs 在线监测和实验室检测的比对试验,若发现检测结果相对误差超过 15%,则需对仪器进行重新校准;不定期对特征污染物进行加标回收试验,若加标回收率超出 70%~130% 的范围,也需对仪器进行重新校准;另外,当在线监测数据异常时,则需取样回实验室进行验证评估与综合分析^[7]。

3 结语

研究建立了全自动吹扫捕集-气相色谱法在线测定饮用水中 19 种 VOCs 的方法,采用 RTX-624 毛细管柱分离,FID 检测器检测,通过样品预处理和气相色谱试验比选,提出了最优化的吹扫捕集和气相色谱分析条件。方法验证评估和实际应用结果表

明,该方法简便高效,样品浓度在 0.005 ~ 0.03 mg/L 范围内有较好的线性,相关系数 R 为 0.995 0 ~ 0.999 8,方法检测限、准确度、精密度与国标实验室检测方法无显著性差异,适用于饮用水中 VOCs 的实时、连续和动态监测。

参考文献:

- [1] 钟声,崔嘉宇. 在线气相色谱-质谱联用技术在定性定量监测水中挥发性有机物的应用[J]. 环境监控与预警,2018,10(1):22-25,33.
Zhong Sheng, Cui Jiayu. Study on application of on-line GC-MS in determining volatile organic compounds in surface water [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2018, 10(1): 22-25, 33 (in Chinese).
- [2] 杜勇,杜雨润,朱绍萍,等. 地表水挥发性有机物在线监测仪器与方法研究[J]. 广州化工,2014,42(24):133-135.
Du Yong, Du Yurun, Zhu Shaoping, et al. Development of the volatile organic compounds monitoring instrument for surface water [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2014, 42(24): 133-135 (in Chinese).
- [3] Wang M, Zeng L M, Lu S H, et al. Development and validation of a cryogen-free automatic gas chromatograph system (GC-MS-/FID) for online measurements of volatile organic compounds [J]. Anal Methods, 2014, 6: 9424-9434.
- [4] 詹徽,罗勤,范浩,等. 在线气相色谱仪校验方法探讨[J]. 石油与天然气化工,2011,40(增刊):69-71.
Zhan Hui, Luo Qin, Fan Hao, et al. Discussion on calibration method of online gas chromatograph [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2011, 40(S): 69-71 (in Chinese).
- [5] 李春玉,腾加泉,李艳萍,等. 挥发性有机物在线监测系统在饮用水源地水体监测中的应用[J]. 环境监控与预警,2018,10(2):15-18,39.
Li Chunyu, Teng Jiaquan, Li Yanping, et al. Application of volatile organic compound online monitoring system in water body monitoring of drinking water sources [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2018, 10(2): 15-18, 39 (in Chinese).
- [6] Alexander S, Bert L. Fast online emission monitoring of volatile organic compounds (VOC) in wastewater and product streams (using stripping with direct steam injection) [J]. Anal Bioanal Chem, 2012, 402(8): 2669-2674.
- [7] 袁海勤,唐松林,杨旭,等. 长江饮用水源地 18 种挥发性有机物的自动监测应用研究[J]. 环境监控与预警,2014,6(6):24-26.
Yuan Haiqin, Tang Songlin, Yang Xu, et al. Study on on-line determination of 18 volatile organic compounds in drinking water source in the Yangtze River [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2014, 6(6): 24-26 (in Chinese).



作者简介:李祥(1985-),男,山东泰安人,硕士,工程师,主要从事水质监测预警研究工作,中国质量检验协会《城镇供水管网末端水质在线监测智能化模块技术规范》等标准的主要编写成员,济南市“讲理想、比贡献”活动优秀科技创新项目奖获得者。

E-mail: sdsflxiang@163.com

收稿日期:2019-04-20