

# 采用气相色谱-质谱联用仪分析

## 土壤中挥发性有机物

刘鑫顺, 陈旭汉, 谭国斌

(广州禾信仪器股份有限公司, 广州 510530)

**摘要:** 本文使用禾信GCMS 1000气质联用仪和踏实吹扫捕集装置 PTC-III, 按照HJ605-2011方法对实际土壤进行加标回收实验。实验结果表明, 在2  $\mu\text{g/L}$ -200  $\mu\text{g/L}$ 的浓度范围内, 目标物的标准曲线相关系数 $r$ 均大于0.995, 精密度为2.51%-14.84%, 土壤加标回收率为68.5%-109.6%, 方法检出限在0.05  $\mu\text{g/kg}$ -0.70  $\mu\text{g/kg}$ 范围内, 均满足HJ605-2011标准要求。

**关键词:** 土壤; 挥发性有机物

挥发性有机物(VOCs)是指在常温下, 沸点 50°C至 260°C的各种有机化合物, 包括多非甲烷碳氢化合物、含氧有机化合物、卤代烃、含氮有机化合物和含硫有机化合物等几大类。大多数 VOCs 具有令人不适的特殊气味, 并具有毒性、刺激性、致畸性和致癌作用, 特别是苯、甲苯及甲醛等对人体健康会造成很大的伤害, 因此环境中的挥发性有机物的检测对保障人体健康和保护环境起到非常重要的作用。

本文参考《土壤和沉积物挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法》标准 (HJ 605-2011), 使用吹扫捕集装置和气相色谱-质谱联用仪进行土壤中挥发性有机物分析, 通过检出限、精密度和准确度等指标评估仪器性能, 证明 GCMS 1000 满足土壤中挥发性有机物检测的需要。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品制备

称取 5g 新鲜土样, 转移至 40mL 样品瓶底部, 加入磁力搅拌子并加入标准品和适量内标和替代物, 放置在吹扫捕集装置托盘中, 待测。

### 1.2 仪器条件

表1 仪器方法参数

模块	参数	值
吹扫捕集 进样器	吹扫流量	40mL/min
	吹扫温度	40°C
	吹扫时间	11min

	干吹时间	2min
	脱附温度	190°C
	脱附时间	2min
	传输线温度	200°C
	进样口温度	200°C
	进样方式	分流（分流比30:1）
	色谱柱系统	DB-624（30m×0.25mm×1.4μm）
色谱	升温程序	起始温度38°C，保持2min，以10°C/min升至120°C，以15°C/min升至240°C，保持2min
	载气	氦气
	柱流量	1.5mL/min 恒流模式
	离子源	EI, 70eV
	离子源温度	230°C
	接口温度	280°C
质谱	检测器电压	-1160V
	质量采集范围	35-270amu
	采集速率	1000amu/s
	采集模式	全扫描

## 2 结果与讨论

### 2.1 仪器性能评价

通过微量注射器移取1μL 25mg/L四溴氟苯（BFB）的溶液，直接注入气相色谱仪进行分析，得到BFB质谱图，对质谱图进行离子丰度评价。评价结果见图1，BFB各离子丰度比均符合HJ 605-2011标准要求。

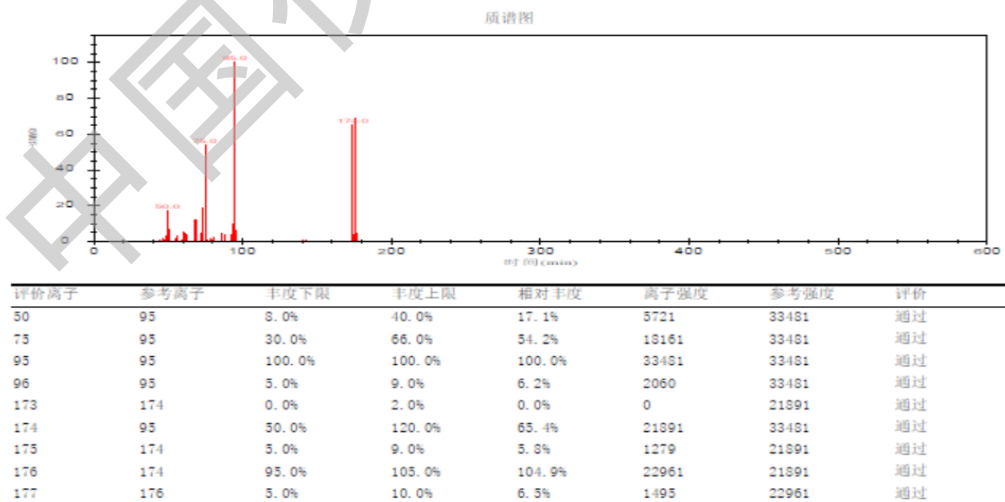


图1 BFB性能评价结果

### 2.2 标准谱图和物质信息

实验总离子流图见图2，纯水作为溶剂，土壤作为基质，目标化合物加标浓度200 $\mu\text{g/L}$ ，内标、替代物加标浓度为50 $\mu\text{g/L}$ 。各目标物、替代物和内标出峰顺序、保留时间以及特征离子信息见表2。

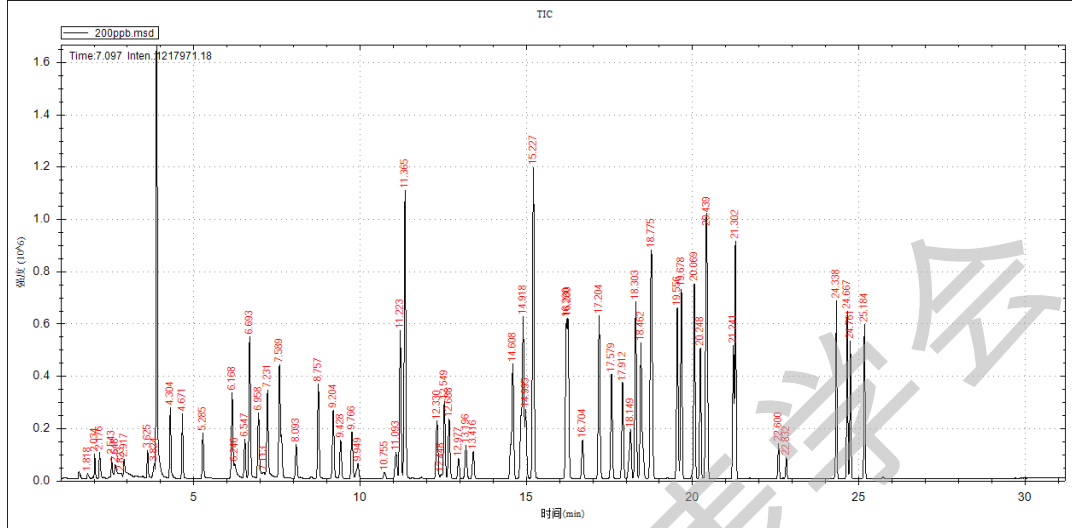


图2 HJ605-2011土壤加标实验总离子流图 (200  $\mu\text{g/L}$ )

表2 挥发性有机物、替代物和内标的保留时间和特征离子信息表

序号	名称	CAS	RT, min	定量离子	定性离子
				m/z	m/z
1	二氯二氟甲烷	75-71-8	1.818	85.0	87.0
2	氯甲烷	74-87-3	2.034	50.1	52.1
3	氯乙烯	75-01-4	2.176	62.1	64.0
4	溴甲烷	74-83-9	2.543	94.0	96.0
5	氯乙烷	75-00-3	2.648	64.1	66.1
6	三氯氟甲烷	75-69-4	2.917	101.0	103.0
7	1,1-二氯乙烯	75-35-4	3.625	96.0	61.0、63.0
8	丙酮	67-64-1	3.804	58.1	43.1
9	碘甲烷	74-88-4	3.828	142.0	127.0、141.0
10	二硫化碳	75-15-0	3.894	76.0	78.0
11	二氯甲烷	75-09-2	4.304	84.0	49.0、86.0
12	反式-1,2-二氯乙烯	156-60-5	4.671	96.0	61.0、98.0
13	1,1-二氯乙烷	75-34-3	5.285	63.1	65.1、83.0
14	2,2-二氯丙烷	594-20-7	6.156	77.1	97.0
15	顺式-1,2-二氯乙烯	156-59-2	6.168	96.0	61.0、98.0
16	2-丁酮	78-93-3	6.250	72.1	43.1
17	溴氯甲烷	74-97-5	6.547	128.0	49.0、129.9
18	氯仿	67-66-3	6.693	83.0	85.0
19	二溴氟甲烷 (替代物)	1868-53-7	6.954	113.0	111.0
20	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	6.958	97.0	99.0、61.0

21	四氯化碳	56-23-5	7.223	117.0	119.0
22	1,1-二氯丙烯	563-58-6	7.231	75.0	77.1、110.1
23	苯	71-43-2	7.589	78.1	77.1
24	1,2-二氯乙烷	107-06-2	7.654	62.1	98.0
25	氟苯（内标1）	462-06-6	8.093	96.1	70.1
26	三氯乙烯	79-01-6	8.757	95.0	130.0、97.0
27	1,2-二氯丙烷	78-87-5	9.204	63.0	112.0
28	二溴甲烷	74-95-3	9.428	93.0	173.9、95.0
29	一溴二氯甲烷	75-27-4	9.766	83.0	85.0、127.0
30	4-甲基-2-戊酮	108-10-1	11.089	100.2	43.1
31	甲苯-D8（替代物）	2037-26-5	11.223	98.2	100.2
32	甲苯	108-88-3	11.365	92.2	91.1
33	1,1,2-三氯乙烷	79-00-5	12.326	83.0	97.0、85.0
34	四氯乙烯	127-18-4	12.549	163.9	131.0、129.0
35	1,3-二氯丙烷	142-28-9	12.692	76.1	78.0
36	2-己酮	591-78-6	12.977	43.1	58.1、57.1
37	二溴氯甲烷	124-48-1	13.196	129.0	127.0
38	1,2-二溴乙烷	106-93-4	13.416	107.0	109.0、187.9
39	氯苯-D5（内标2）	3114-55-4	14.539	117.1	82.1
40	氯苯	108-90-7	14.608	112.0	77.1、114.0
41	1,1,1,2-四氯乙烷	630-20-6	14.853	131.0	133.0、119.0
42	乙苯	100-41-4	14.918	106.1	91.1
43	1,1,2-三氯丙烷	598-77-6	14.999	63.1	62.1、75.1
44/45	间，对-二甲苯	108-38-3/ 106-42-3	15.277	106.2	91.1
46	邻-二甲苯	95-47-6	16.216	106.1	91.1
47	苯乙烯	100-42-5	16.273	104.2	78.1
48	溴仿	75-25-2	16.704	172.9	174.9、253.8
49	异丙苯	98-82-8	17.204	105.2	120.1
50	4-溴氟苯（替代物）	460-00-4	17.579	95.1	173.9、176.0
51	溴苯	108-86-1	17.908	156.0	77.1、158.0
52	1,1,2,2-四氯乙烷	79-34-5	18.096	83.0	85.0、131.0
53	1,2,3-三氯丙烷	96-18-4	18.153	75.1	77.1
54	正丙苯	103-65-1	18.303	91.1	120.2
55	2-氯甲苯	95-49-8	18.462	91.1	126.1
56	4-氯甲苯	106-43-4	18.755	91.1	126.1
57	1,3,5-三甲基苯	108-67-8	18.791	105.1	120.2
58	叔丁基苯	98-06-6	19.556	119.2	91.1、134.2
59	1,2,4-三甲基苯	95-63-6	19.678	105.2	120.2
60	仲丁基苯	193-39-5	20.069	105.2	134.1
61	1,3-二氯苯	541-73-1	20.248	146.0	148.0、111.0
62	1,4-二氯苯-D4（内标3）	3855-82-1	20.407	152.0	150.1、115.1
63	4-异丙基甲苯	99-87-6	20.423	119.0	91.1、134.1
64	1,4-二氯苯	106-46-7	20.456	146.0	148.0、119.2

65	1,2-二氯苯	95-50-1	21.241	146.0	148.0、111.0
66	正丁基苯	104-51-8	21.302	91.1	92.1、134.2
67	1,2-二溴-3-氯丙烷	96-12-8	22.832	75.0	157.0、155.0
68	1,2,4-三氯苯	120-82-1	24.338	180.0	182.0、145.0
69	六氯丁二烯	87-68-3	24.667	224.9	222.9、226.9
70	萘	91-20-3	24.761	128.1	129.1
71	1,2,3-三氯苯	87-61-6	25.184	180.0	182.0、145.0

### 2.3 标准曲线

纯水作为溶剂，分别配制目标物和替代物浓度为 5 $\mu$ g/L、20 $\mu$ g/L、50 $\mu$ g/L、100 $\mu$ g/L、200 $\mu$ g/L，内标浓度为 50 $\mu$ g/L 的混合标准曲线溶液进行分析。65 种挥发性有机物的线性相关系数  $r$  均大于 0.995，满足标准的要求。

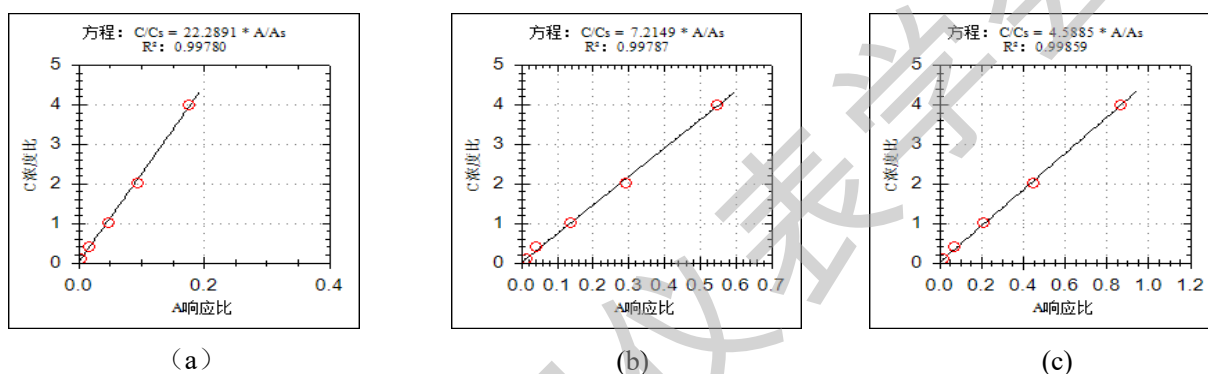


图3 三种代表性物质标准曲线图：(a) 二氯二氟甲烷，(b) 氯甲烷，(c) 氯乙烯

表3 68种目标物标准曲线线性相关系数

序号	化合物	线性相关系数 $r$	序号	化合物	线性相关系数 $r$	序号	化合物	线性相关系数 $r$
1	二氯二氟甲烷	0.99780	25	三氯乙烯	0.99908	50	1,1,2,2-四氯乙烷	0.99616
2	氯甲烷	0.99787	26	1,2-二氯丙烷	0.99878	51	1,2,3-三氯丙烷	0.99618
3	氯乙烯	0.99859	27	二溴甲烷	0.99821	52	正丙苯	0.99678
4	溴甲烷	0.99714	28	一溴二氯甲烷	0.99891	53	2-氯甲苯	0.99873
5	氯乙烷	0.99772	29	4-甲基-2-戊酮	0.99888	54	4-氯甲苯	0.99731
6	三氯氟甲烷	0.99795	30	甲苯-D8 (替代物)	0.99782	55	1,3,5-三甲基苯	0.99612
7	1,1-二氯乙烯	0.99870	31	甲苯	0.99737	56	叔丁基苯	0.99729
8	丙酮	0.99682	32	1,1,2-三氯乙烷	0.99561	57	1,2,4-三甲基苯	0.99693
9	碘甲烷	0.99888	33	四氯乙烯	0.99813	58	仲丁基苯	0.99861
10	二硫化碳	0.99650	34	1,3-二氯丙	0.99723	59	1,3-二氯苯	0.99708

11	二氯甲烷	0.99655	35	2-己酮	0.99661	60	4-异丙基 甲苯	0.99765
12	反式-1,2- 二氯乙烯	0.99881	36	二溴氯甲烷	0.99683	61	1,4-二氯苯	0.99704
13	1,1-二氯 乙烷	0.99910	37	1,2-二溴乙 烷	0.99604	62	1,2-二氯苯	0.99916
14	2,2-二氯 丙烷	0.99845	38	氯苯	0.99886	63	正丁基苯	0.99824
15	顺式-1,2- 二氯乙烯	0.99900	39	1,1,1,2-四氯 乙烷	0.99750	64	1,2-二溴 -3-氯丙烷	0.99594
16	2-丁酮	0.99768	40	乙苯	0.99912	65	1,2,4-三氯 苯	0.99827
17	溴氯甲烷	0.99877	41	1,1,2-三氯 丙烷	0.99793	66	六氯丁二 烯	0.99968
18	氯仿	0.99884	42/4 3	间, 对-二甲 苯	0.99860	67	萘	0.99581
19	二溴氟甲 烷(替代 物)	0.99828	44	邻-二甲苯	0.99903	68	1,2,3-三氯 苯	0.99663
20	1,1,1-三 氯乙烷	0.99817	45	苯乙烯	0.99899			
21	四氯化碳	0.99891	46	溴仿	0.99738			
22	1,1-二氯 丙烯	0.99761	47	异丙苯	0.99805			
23	苯	0.99889	48	4-溴氯苯 (替代物)	0.99867			
24	1,2-二氯 乙烷	0.99701	49	溴苯	0.99869			

## 2.4 实际土壤加标回收实验

### 1) 精密度

分别对实际土壤进行加标浓度为 20 $\mu\text{g/L}$ 、50 $\mu\text{g/L}$  和 100 $\mu\text{g/L}$  各六次平行实验, 对精密度进行评估, 具体信息详见下表 4。浓度为 20 $\mu\text{g/L}$  的目标物(包括替代物)的相对标准偏差(RSD)在 3.51%-14.49%范围内, 浓度为 50 $\mu\text{g/L}$  和 100 $\mu\text{g/L}$  时, RSD 分别在 2.51%-14.80% 和 6.28%-14.84%范围内, 实验结果符合标准实验室内精密度 RSD 水平 1.00%-15.60%。

表4 68种目标物实际土壤加标精密度

序号	化合物	加标浓度 ( $\mu\text{g/L}$ )			序号	化合物	加标浓度 ( $\mu\text{g/L}$ )		
		20	50	100			20	50	100
1	二氯二 氟甲烷	6.77%	10.65%	14.58%	35	2-己酮	5.03%	8.16%	14.12%
2	氯甲烷	5.65%	8.03%	14.80%	36	二溴氯甲	7.81%	14.95%	10.96%

						烷			
3	氯乙烯	7.10%	8.61%	14.00%	37	1,2-二溴乙烷	6.58%	11.62%	12.90%
4	溴甲烷	4.58%	9.55%	10.66%	38	氯苯	12.09%	1.40%	10.64%
5	氯乙烷	7.96%	11.89%	7.96%	39	1,1,1,2-四氯乙烷	10.60%	12.49%	10.68%
6	三氯氟甲烷	11.86%	6.56%	9.56%	40	乙苯	10.61%	12.19%	10.06%
7	1,1-二氯乙烯	11.34%	9.29%	10.92%	41	1,1,2-三氯丙烷	5.79%	13.49%	14.24%
8	丙酮	13.69%	5.91%	8.05%	42/43	间,对-二甲苯	12.00%	14.82%	10.11%
9	碘甲烷	13.32%	9.56%	8.22%	44	邻-二甲苯	12.38%	8.48%	9.81%
10	二硫化碳	13.59%	5.45%	7.94%	45	苯乙烯	12.54%	5.57%	11.12%
11	二氯甲烷 反式	3.51%	12.58%	13.06%	46	溴仿	8.89%	14.36%	11.56%
12	-1,2-二氯乙烯	13.56%	3.65%	14.41%	47	异丙苯	5.24%	8.49%	8.08%
13	1,1-二氯乙烷	13.35%	6.43%	11.31%	48	4-溴氟苯 (替代物)	5.77%	8.89%	11.96%
14	2,2-二氯丙烷 顺式	10.90%	6.65%	12.39%	49	溴苯	6.64%	14.40%	14.44%
15	-1,2-二氯乙烯	14.19%	6.50%	3.45%	50	1,1,2,2-四氯乙烷	5.80%	13.36%	13.91%
16	2-丁酮	4.24%	14.18%	13.51%	51	1,2,3-三氯丙烷	5.72%	12.08%	7.18%
17	溴氯甲烷	13.79%	7.04%	11.86%	52	正丙苯	6.16%	14.54%	10.98%
18	氯仿 二溴氟	14.49%	5.15%	13.41%	53	2-氯甲苯	6.61%	4.88%	7.54%
19	甲烷(替代物)	14.25%	7.87%	14.9%	54	4-氯甲苯	6.39%	3.72%	10.28%
20	1,1,1-三氯乙烷	11.72%	4.27%	12.71%	55	1,3,5-三甲基苯	6.45%	8.92%	12.48%
21	四氯化碳	8.60%	2.51%	13.06%	56	叔丁基苯	5.87%	13.96%	14.85%
22	1,1-二氯丙烯	7.27%	4.27%	14.29%	57	1,2,4-三甲基苯	7.47%	6.88%	11.62%
23	苯	12.42%	4.73%	10.71%	58	仲丁基苯	8.51%	14.30%	14.00%

24	1,2-二氯乙烷	13.84%	6.56%	12.20%	59	1,3-二氯苯	7.39%	2.93%	9.82%
25	三氯乙烯	9.05%	1.94%	12.09%	60	4-异丙基甲苯	9.56%	14.72%	14.27%
26	1,2-二氯丙烷	11.77%	13.86%	11.43%	61	1,4-二氯苯	7.40%	3.06%	9.84%
27	二溴甲烷	5.36%	5.97%	11.92%	62	1,2-二氯苯	7.26%	12.02%	10.55%
28	一溴二氯甲烷	12.75%	6.24%	11.25%	63	正丁基苯	12.99%	14.29%	14.40%
29	4-甲基-2-戊酮	8.19%	13.98%	13.57%	64	1,2-二溴-3-氯丙烷	3.55%	12.04%	13.58%
30	甲苯-D8 (替代物)	12.86%	6.05%	14.58%	65	1,2,4-三氯苯	8.33%	2.76%	14.21%
31	甲苯	13.25%	7.10%	12.86%	66	六氯丁二烯	8.25%	14.01%	14.59%
32	1,1,2-三氯乙烷	6.93%	11.78%	13.84%	67	萘	3.69%	10.52%	14.84%
33	四氯乙烯	7.08%	16.76%	10.20%	68	1,2,3-三氯苯	8.93%	8.04%	13.26%
34	1,3-二氯丙烷	7.71%	10.88%	6.28%					

## 2) 准确度

分析 5g 土壤样品加标（浓度分别为 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ），对方法回收率进行评估，具体信息详见下表 5。加标浓度为 20 $\mu\text{g}/\text{L}$ 、50 $\mu\text{g}/\text{L}$  和 100 $\mu\text{g}/\text{L}$  土壤基质的回收率分别为 68.5%-105.0%、78.2%-109.6%、76.6%-109.1%，均符合标准实验室间平均加标水平 65.8%-110.0%。

表5 68种目标物实际土壤加标回收率

序号	化合物	加标浓度 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )			序号	化合物	加标浓度 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )		
		20	50	100			20	50	100
1	二氯二氟甲烷	92.5%	108.6%	102.1%	35	2-己酮	103.0%	104.4%	108.0%
2	氯甲烷	88.0%	104.8%	105.1%	36	二溴氯甲烷	96.0%	105.8%	103.0%
3	氯乙烯	90.0%	107.2%	105.1%	37	1,2-二溴乙烷	100.5%	107.4%	101.0%
4	溴甲烷	93.5%	101.4%	106.2%	38	氯苯	89.0%	102.2%	107.0%
5	氯乙烷	90.0%	103%	104.2%	39	1,1,1,2-四氯乙烷	97.0%	104.6%	101.1%
6	三氯氟	81.0%	107.6%	90.8%	40	乙苯	80.0%	84.8%	108.2%



7	甲烷 1,1-二氯 乙烯	99.0%	103.6%	104.1%	41	1,1,2-三 氯丙烷	97.5%	104.6%	107.0%
8	丙酮	95.5%	104%	101.2%	42/43	间, 对-二 甲苯	78.0%	81.0%	107.0%
9	碘甲烷	99.5%	105%	101.2%	44	邻-二甲 苯	82.5%	92.4%	107.0%
10	二硫化 碳	68.5%	84.4%	102.3%	45	苯乙烯	84.0%	95.4%	106.0%
11	二氯甲 烷 反式	101.0%	105.2%	108.1%	46	溴仿	97.0%	107.0%	109.1%
12	-1,2-二 氯乙烯	91.0%	105%	109.0%	47	异丙苯	90.0%	98.6%	107.0%
13	1,1-二氯 乙烷	93.5%	109%	104.1%	48	4-溴氟苯 (替代 物)	96.0%	109%	107.5%
14	2,2-二氯 丙烷 顺式	86.0%	102.2%	102.2%	49	溴苯	89.5%	100.2%	101.5%
15	-1,2-二 氯乙烯	94.5%	105.6%	102.0%	50	1,1,2,2-四 氯乙烷	104.5%	107.2%	107.4%
16	2-丁酮	95.0%	104.8%	101.2%	51	1,2,3-三 氯丙烷	100.0%	103.0%	106.2%
17	溴氯甲 烷	92.0%	100.8%	104.1%	52	正丙苯	86.0%	86.4%	108.2%
18	氯仿 二溴氟	98.5%	99.6%	108.0%	53	2-氯甲苯	98.5%	100.4%	102.2%
19	甲烷(替 代物)	97.0%	106.4%	106.1%	54	4-氯甲苯	88.5%	97.0%	108.0%
20	1,1,1-三 氯乙烷	91.5%	108.8%	103.1%	55	1,3,5-三 甲基苯	85.5%	92.8%	104.1%
21	四氯化 碳	87.5%	100.2%	107.1%	56	叔丁基苯	82.0%	87.2%	102.0%
22	1,1-二氯 丙烯	80.0%	84.0%	105.0%	57	1,2,4-三 甲基苯	87.0%	96.2%	108.1%
23	苯	88.5%	103.8%	101.1%	58	仲丁基苯	86.0%	83.0%	97.4%
24	1,2-二氯 乙烷	101.5%	103.8%	102.2%	59	1,3-二氯 苯	88.5%	96.8%	109.1%
25	三氯乙 烯	83.5%	102.2%	103.1%	60	4-异丙基 甲苯	81.5%	78.2%	97.4%
26	1,2-二氯 丙烷	91.0%	104.4%	103.1%	61	1,4-二氯 苯	88.5%	96.8%	109.1%
27	二溴甲	91.0%	106.2%	107.1%	62	1,2-二氯	95.0%	105.0%	102.0%

28	烷 一溴二 氯甲烷	90.0%	102.8%	108.0%	63	苯 正丁基苯	89.0%	79.2%	95.6%
29	4-甲基 -2-戊酮	75.5%	103.6%	102.1%	64	1,2-二溴 -3-氯丙烷	105.0%	102.6%	105.2%
30	甲苯-D8 (替代 物)	98.5%	109.6%	105.0%	65	1,2,4-三 氯苯	89.5%	100.8%	96.1%
31	甲苯	97.5%	108.2%	102.0%	66	六氯丁二 烯	69.5%	80.6%	76.6%
32	1,1,2-三 氯乙烷	103.5%	102.6%	100.2%	67	萘	100.0%	101.2%	107.2%
33	四氯乙 烯	81.5%	91.8%	96.7%	68	1,2,3-三 氯苯	87.5%	107.6%	95.6%
34	1,3-二氯 丙烷	99.0%	109.0%	104.0%					

### 3) 检出限

方法 HJ 605 建议对 5g 土壤进行实验。计算的仪器检出限 (2 $\mu\text{g/L}$ ) 可转换为方法检出限 (2 $\mu\text{g/kg}$ , 5g 样品)。从下表 6 可知, 方法检出限范围 0.05 $\mu\text{g/kg}$ -0.70 $\mu\text{g/kg}$ , 全部物质检出限均显著优于 HJ 605-2011 标准要求的 0.20 $\mu\text{g/kg}$ -3.20 $\mu\text{g/kg}$ 。

表 6 68 种目标物方法检出限信息表

序号	化合物	方法检出限 ( $\mu\text{g/kg}$ )	序号	化合物	方法检出限 ( $\mu\text{g/kg}$ )	序号	化合物	方法检出限 ( $\mu\text{g/kg}$ )
1	二氯二氟 甲烷	0.27	25	三氯乙烯	0.21	50	1,1,2,2-四 氯乙烷	0.25
2	氯甲烷	0.39	26	1,2-二氯 丙烷	0.23	51	1,2,3-三氯 丙烷	0.40
3	氯乙烯	0.44	27	二溴甲烷	0.44	52	正丙苯	0.13
4	溴甲烷	0.22	28	一溴二氯 甲烷	0.18	53	2-氯甲苯	0.10
5	氯乙烷	0.29	29	4-甲基-2- 戊酮	0.33	54	4-氯甲苯	0.13
6	三氯氟甲 烷	0.26	30	甲苯-D8 替代物	0.08	55	1,3,5-三甲 基苯	0.13
7	1,1-二氯 乙烯	0.33	31	甲苯	0.14	56	叔丁基苯	0.11
8	丙酮	0.67	32	1,1,2-三氯 乙烷	0.31	57	1,2,4-三甲 基苯	0.17
9	碘甲烷	0.51	33	四氯乙烯	0.66	58	仲丁基苯	0.20
10	二硫化碳	0.55	34	1,3-二氯 丙烷	0.21	59	1,3-二氯苯	0.14

11	二氯甲烷	0.18	35	2-己酮	0.47	60	4-异丙基 甲苯	0.25
12	反式-1,2- 二氯乙烯	0.13	36	二溴氯甲 烷	0.19	61	1,4-二氯苯	0.15
13	1,1-二氯 乙烷	0.11	37	1,2-二溴 乙烷	0.29	62	1,2-二氯苯	0.20
14	2,2-二氯 丙烷	0.33	38	氯苯	0.22	63	正丁基苯	0.54
15	顺式-1,2- 二氯乙烯	0.20	39	1,1,1,2-四 氯乙烷	0.39	64	1,2-二溴 -3-氯丙烷	0.55
16	2-丁酮	0.07	40	乙苯	0.16	65	1,2,4-三氯 苯	0.30
17	溴氯甲烷	0.55	41	1,1,2-三氯 丙烷	0.15	66	六氯丁二 烯	0.70
18	氯仿	0.11	42/ 43	间, 对-二 甲苯	0.21	67	萘	0.10
19	二溴氟甲 烷(替代 物)	0.18	44	邻-二甲苯	0.25	68	1,2,3-三氯 苯	0.20
20	1,1,1-三 氯乙烷	0.17	45	苯乙烯	0.18			
21	四氯化碳	0.28	46	溴仿	0.27			
22	1,1-二氯 丙烯	0.25	47	异丙苯	0.05			
23	苯	0.11	48	4-溴氟苯 (替代 物)	0.17			
24	1,2-二氯 乙烷	0.11	49	溴苯	0.29			

## 2.5 结论

本文依据标准 HJ 605-2011, 采用禾信 GCMS 1000 分析了实际土壤中半挥发性有机物。实验结果: 65 种挥发性有机物的线性相关系数  $r$  均大于 0.995, 符合标准要求; 加标精密度 RSD 在 2.51%-14.84% 范围, 符合标准实验室内精密度 RSD (1.00%-15.60%); 土壤基质加标回收率在 68.5%-109.6% 范围, 符合标准实验室间平均土壤加标回收率水平 (65.8%-110.0%)。目标物方法检出限在 0.05  $\mu\text{g}/\text{kg}$ -0.70  $\mu\text{g}/\text{kg}$  范围内, 显著优于 HJ605-2011 标准要求的 0.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ -3.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。上述结果表明禾信 GCMS 1000 具有优异的重现性和检测灵敏度, 完全满足 HJ605-2011 标准要求。

## 参考文献

[1] HJ605-2011 土壤和沉积物挥发性有机物的测定 吹扫捕集-气相色谱-质谱法

中国仪器仪表学会