



文章栏目：环境监测技术

DOI 10.12030/j.cjee.202003023

中图分类号 X85

文献标识码 A

张涛,王新明,周炎,等. VOCs 在线监测设备数据识别能力的评估方法及应用[J]. 环境工程学报, 2021, 15(1): 298-306.
ZHANG Tao, WANG Xinming, ZHOU Yan, et al. Evaluation method and application of data recognition capability of VOCs
online monitoring equipment[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(1): 298-306.

VOCs 在线监测设备数据识别能力的评估方法及应用

张涛^{1,2,3}, 王新明^{1,*}, 周炎³, 裴成磊^{1,2,4}, 陈多宏³, 区宇波³, 陈春贻³

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640

2. 中国科学院大学, 北京 100049

3. 广东省环境监测中心, 国家环境保护区域空气质量监测重点实验室, 广州 510308

4. 广州市环境监测中心站, 广州 510006

第一作者: 张涛(1984—), 男, 博士研究生。研究方向: 大气化学与地气交换。E-mail: 15920314996@139.com

*通信作者: 王新明(1969—), 男, 博士, 研究员。研究方向: 区域大气环境有机质。E-mail: wangxm@gig.ac.cn

摘要 为评估 VOCs 在线监测设备原始监测数据的准确性, 建立了一种 VOCs 在线监测设备数据识别能力的评估方法。结果表明: 8 种 VOCs 在线监测设备在数据识别方面的表现存在一定的差异, 原始数据与人工审核数据的平均相对偏差为-100%~56.652%; 相较于高碳物种, 低碳物种的原始数据与人工审核数据平均相对偏差更大; 根据应用案例分析提出“数据识别指数”, 对不同 VOCs 在线监测设备的数据识别能力进行定量区分。该方法可为今后 VOCs 在线监测设备评估工作提供一种全新的考核指标, 还可以科学评判其他在线监测设备的快速分析应用能力。

关键词 挥发性有机物; 在线监测; 评估方法; 数据识别能力; 指数

挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 是大气对流层中非常重要的痕量组分, 以多种重要角色参与大气化学反应过程, 是一些区域环境问题、尤其是光化学污染的关键前体物与驱动者。因此, VOCs 亦是大气复合污染的重要成因之一, 对臭氧污染起到至关重要的影响^[1]。近几年, 我国臭氧污染问题日渐突出^[2-4], 对 VOCs 的监测工作也越来越重视。有学者指出, 中国应尽快建立国家层面的光化学监测网络, 完善光化学监测的技术体系与质量管理体系, 为重点地区光化学污染防治工作提供监测数据支持^[5]。2018 年, 生态环境部在包括京津冀及周边、长三角、珠三角、成渝、关中地区、辽宁中南部、武汉及周边城市的部分地区开展环境空气 VOCs 监测工作。监测方式包括手工监测与自动监测, 直辖市、省会城市及计划单列市必须开展 VOCs 在线监测。2019 年, 生态环境部进一步扩大监测范围, 并鼓励有能力的城市开展在线监测。至此, VOCs 在线监测已经成为环境空气中 VOCs 监测的重要手段。

随着国家和地方对 VOCs 在线监测的重视程度不断提高, 市面上涌现出众多 VOCs 在线监测设

收稿日期: 2020-03-04; 录用日期: 2020-06-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0213903); 国家自然科学基金资助项目(91743109); 广州珠江科技新星专项(201506010079)

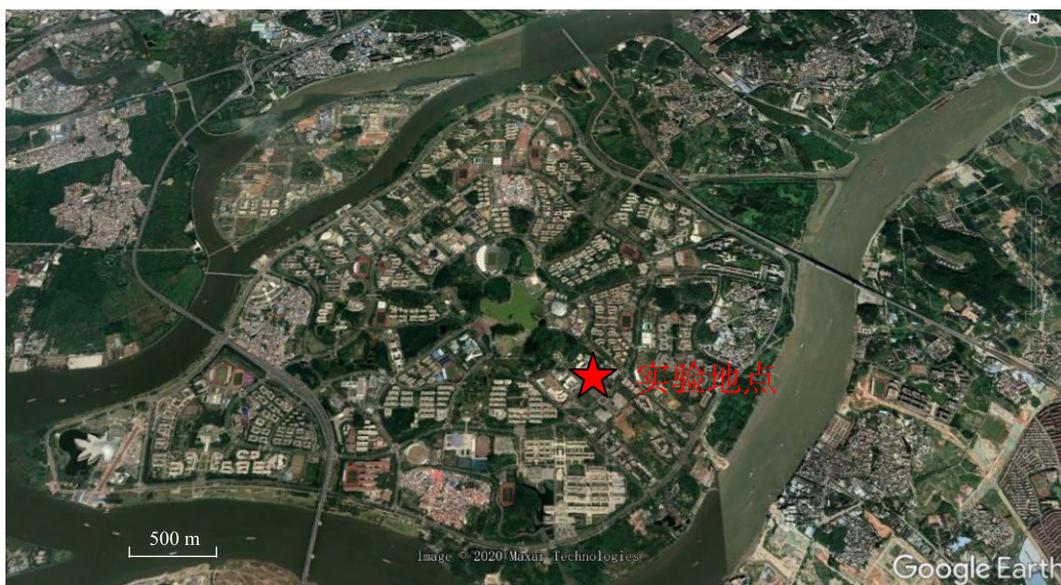
备。国外 VOCs 在线监测设备品牌有 Chromatotec、Synspec、Perkin Elmer、Baseline、Markers、Agilent、Thermo 等;国内品牌有武汉天虹、广州禾信、北京博赛德、杭州谱育、上海磐合、河北先河、北京鹏宇昌亚等;设备用到的检测方法包括 GC-FID、GC-FID/MS 及 GC-PID/FID 等^[6-7]。国内外多个监测机构对种类繁多的 VOCs 在线监测设备开展了一系列比对评估实验:美国环境保护署 (United States Environmental Protection Agency, USEPA) 针对 VOCs 在线监测设备开展了实验室测试与现场测试相结合的比对实验,较全面地分析了参比设备的各项性能指标^[8-10];上海市环境监测中心则初步确定评价指标权重方法,并提出了系统建设、设备运行技术、设备维护方法和人员培训等相关要求^[11];中国环境监测总站于 2018 年发布了《环境空气挥发性有机物气相色谱连续监测系统技术及检测方法》(HJ 1010-2018)用以规范 VOCs 在线监测设备的性能和质量^[12]。

由于 VOCs 属于痕量组分,且物种复杂^[13],其监测数据受预浓缩和检测方法等因素的影响,所以市面上绝大多数设备都需要在原始图谱上进行人工审核(重积分),才能获得准确浓度结果。然而,对人工审核工作的依赖,极大降低了在线监测数据产生的效率,导致 VOCs 在线监测的原始数据很难直接快速分析应用,难以支撑日新月异的精细化环境管理工作。USEPA^[8-10]和上海市环境监测中心^[11]等近年来针对大气 VOCs 在线监测设备的评估工作也未对输出的原始数据质量进行考量。为快速、准确获得 VOCs 在线监测设备的原始数据,本研究基于 8 台 VOCs 在线监测设备的比对实验,分析比较 VOCs 原始监测数据与经过重积分的人工审核数据,提出 VOCs 在线监测设备数据识别能力的评估方法,并明确了“数据识别指数 (data recognition index, DRI)”计算方法。该方法为今后 VOCs 在线监测设备,甚至其他大型复杂在线监测设备的评估工作提供了一种全新的考核指标,也可对其他在线监测设备的快速分析及应用能力进行科学评判。

1 研究方法

1.1 实验地点与时间

实验地点在广州市环境监测中心站二楼 (113.4055°E, 23.0518°N),海拔高 6 m,位于广州市番禺区大学城,实验地点见图 1。该区域属于大学城综合发展区,周边无明显污染源。



注:图片来自于Google Earth,★表示实验地点。

图 1 实验地点

Fig. 1 Experimental location

学污染监控网络 (photochemical assessment monitoring station, PAMS) 原 56 种 VOCs 监测结果等^[14-15], 采集指标见表 1, 数据采集单位为 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$, 保留小数点后 3 位。

表 1 采集指标

Table 1 Gathering indicators

序号	名称	序号	名称	序号	名称
1	乙烯	20	2-甲基戊烷	39	间/对二甲苯
2	乙炔	21	3-甲基戊烷	40	乙苯
3	乙烷	22	1-己烯	41	正壬烷
4	丙烯	23	正己烷	42	苯乙烯
5	丙烷	24	2,4-二甲基戊烷	43	邻二甲苯
6	异丁烷	25	甲基环戊烷	44	异丙苯
7	正丁烯	26	苯	45	正丙苯
8	正丁烷	27	环己烷	46	1-乙基-2-甲基苯
9	顺-2-丁烯	28	2-甲基己烷	47	1-乙基-3-甲基苯
10	反-2-丁烯	29	2,3-二甲基戊烷	48	1,3,5-三甲苯
11	异戊烷	30	3-甲基己烷	49	对乙基甲苯
12	1-戊烯	31	2,2,4-三甲基戊烷	50	癸烷
13	正戊烷	32	正庚烷	51	1,2,4-三甲苯
14	反-2-戊烯	33	甲基环己烷	52	1,2,3-三甲苯
15	2-甲基-1,3-丁二烯	34	2,3,4-三甲基戊烷	53	1,3-二乙基苯
16	顺-2-戊烯	35	2-甲基庚烷	54	对二乙苯
17	2,2-二甲基丁烷	36	甲苯	55	十一烷
18	环戊烷	37	3-甲基庚烷	56	十二烷
19	2,3-二甲基丁烷	38	正辛烷		

2 结果与讨论

2.1 原始数据与人工审核数据的相对偏差

研究期间共收集 8 台设备原始监测数据与人工审核数据相匹配的有效数据组 5 902 组 (见表 2)。

表 2 实验期间有效数据组统计表

Table 2 Statistical table of valid data group during the experiment

设备	开始日期	开始时刻	结束日期	结束时刻	有效数据组数量/组	平均相对偏差/%
A	2019-06-01	02:00	2019-07-10	23:00	848	-100~1 799
B	2019-06-01	01:00	2019-07-10	22:00	810	-42~11 539
C	2019-06-05	19:00	2019-07-10	23:00	781	-98~24 078
D	2019-06-05	03:00	2019-07-10	23:00	702	-100~1 627
E	2019-06-10	16:00	2019-07-10	23:00	701	0~3 443
F	2019-06-02	15:00	2019-07-10	23:00	793	-60~16 057
G	2019-06-06	00:00	2019-07-10	23:00	661	-50~1 814
H	2019-06-10	15:00	2019-07-10	23:00	606	-100~56 652

由于设备联网时间有前有后,所以有效数据组的数量也有所不同。将获取的每个物种每个原始监测数据与人工审核数据进行比较,求二者的相对标准偏差,即可得到每个物种每次监测的相对偏差。根据每个物种每次监测的相对偏差,可求出此台设备该物种原始监测数据与人工审核数据的平均相对偏差。再将每台设备的所有物种进行归类,则可得到该设备原始监测数据与人工审核数据的平均相对偏差。

根据图3数据,8种VOCs在线监测设备表现存在一定的差异,原始数据与人工审核数据的平均相对偏差为-100%~56 652%(1-戊烯,设备H)。其中,平均相对偏差为-100%,则说明该设备并未从原始数据图谱直接析出该物种,导致该物种的原始监测数据一直为0。相较于高碳物种,低碳物种的原始数据与人工审核数据平均相对偏差更大。然而,这种方法只能大致说明不同设备之间的表现有所差异,并不能用来定量评估每台设备在数据识别能力方面的优劣性。为科学评估VOCs在线监测设备的数据识别能力,有效提高原始监测数据的分析应用效率,建立一种定量区分VOCs在线监测设备数据识别能力的评估方法显得尤为重要。

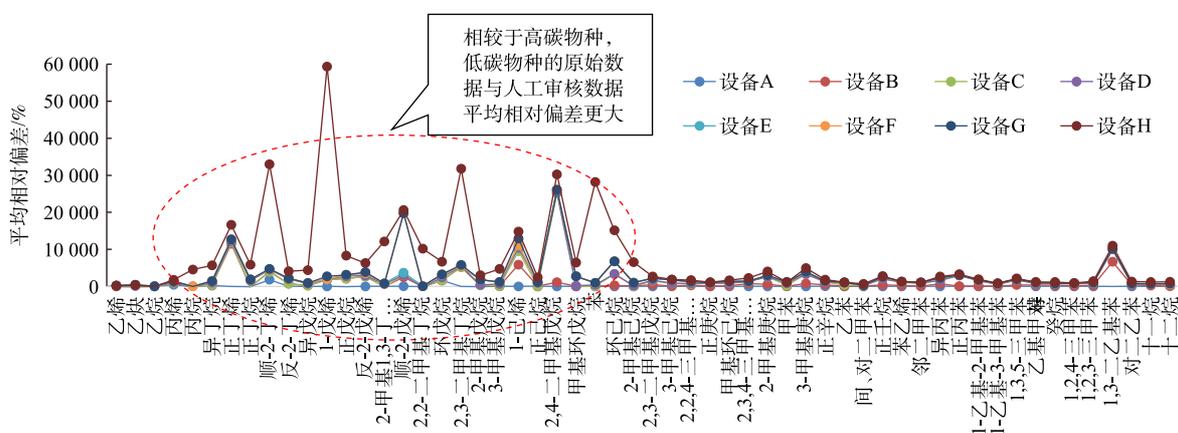


图3 8种VOCs在线监测设备原始数据与人工审核数据的平均相对偏差

Fig. 3 Average relative deviation between raw data and manual audit data of 8 VOCs online monitoring devices

2.2 VOCs在线监测设备数据识别能力评估方法的建立

针对以上问题,提出一种具有可操作性的VOCs在线监测设备数据识别能力的评估方法。

1) 为评判不同VOCs在线监测设备的数据识别能力,首先将某一时刻的原始监测数据与人工审核数据进行比较,计算相对偏差,详见式(1)。

$$\sigma_{i,j} = \frac{x_{i,j} - y_{i,j}}{y_{i,j}} \quad (1)$$

式中: i 为VOCs某一物种; j 为某一VOCs在线监测设备; $x_{i,j}$ 为 j 设备 i 物种的原始监测数据; $y_{i,j}$ 为 j 设备 i 物种的人工审核数据; $\sigma_{i,j}$ 为某一时刻 j 设备 i 物种原始监测数据与人工审核数据的相对偏差。

2) 假定 $|\sigma_{i,j}| \leq$ 某一特定值(如初始设定为10%,即原始监测数据与人工审核数据的相对偏差在 $\pm 10\%$ 以内,该指标可根据实际需要进行自定义调整),则认为该时刻这一物种的原始监测数据满足分析应用要求。由于VOCs在线监测设备是连续运行的,根据以上内容,即可获得观测期间不同物种在相对偏差范围内的有效原始数据个数。根据式(2)得出连续运行时段内 j 设备 i 物种的有效数据获取率 $r_{i,j}$ 。

$$r_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{N_{i,j}} \quad (2)$$

式中: $r_{i,j}$ 为 j 设备 i 物种的有效数据获取率, $n_{i,j}$ 是指 j 设备 i 物种的相对偏差在某一设定范围的有

效原始数据个数; $N_{i,j}$ 为应有数据个数 (扣除停电等不可抗力所造成的无效数据个数)。

3) 将连续运行时段内某物种有效数据获取率按 a 、 b 、 c ... 进行分类, 可计算得出该设备连续运行时段内在不同有效数据获取率的可识别物种数量 S_j , 详见式 (3)。

$$S_j = \begin{cases} S_{a,j} & a \leq \gamma_{i,j} < 1 \\ S_{b,j} & b \leq \gamma_{i,j} < a \\ S_{c,j} & c \leq \gamma_{i,j} < b \\ \dots\dots \end{cases} \quad (3)$$

式中: a 、 b 、 c 等分别为拟定的有效数据获取率区间范围, 如 90%、80%、70% 等, 该区间范围可根据实际需要进行自定义调整; $S_{a,j}$ 为连续运行期间 j 设备在无人干预的情况下有效获取率达到 a 的物种数量; $S_{b,j}$ 、 $S_{c,j}$ 则为 j 设备在不同有效数据获取率区间可识别的物种数量; S_j 为该总的可识别物种数量。

4) 随后通过式 (4) 计算该设备的 DRI 值。

$$A_{\text{DRI}} = \frac{S_{a,j} + a \cdot S_{b,j} + b \cdot S_{c,j} + \dots\dots}{S_j} \quad (4)$$

式中: A_{DRI} 为数据识别指数; a 为小于 1 的数字; b 为小于 a 的数字, 以此类推。

根据 DRI 的大小, 即可对不同设备原始监测数据的识别能力进行评判。DRI 越接近 1, 则表明该台设备的原始监测结果越接近人工审核结果, 其监测结果的准确性越好, 更能支撑后续的快速分析应用, 其分析结果也更真实; DRI 越小, 则表示此台设备的原始监测结果越需要人工进行干预, 原始监测数据越难以快速分析应用。

2.3 应用案例分析

以本次 VOCs 在线监测设备比对结果为例, 假定原始监测数据与人工审核数据的相对偏差阈值为 10% ($|\sigma_{i,j}| \leq 10\%$), 即认定该时刻这一物种原始监测数据满足分析应用要求。为了区分 VOCs 在线监测设备对 56 种 VOCs(C2~C12)、低碳 VOCs(C2~C5) 和高碳 VOCs(C6~C12) 物种的数据识别能力, 根据实验获得的有效原始监测数据量和式 (2) 可分别计算得出 56 种 VOCs(C2~C12)、低碳 VOCs(C2~C5) 和高碳 VOCs(C6~C12) 物种的有效数据获取率 $\gamma_{i,j}$ 。然后, 再根据有效数据获取率分别按 80% 以上、60%~80%、40%~60%、20%~40%、20% 以下等 5 个区间进行分类, 确定不同级别可识别的物种数量。最后, 根据式 (4) 计算得出每台 VOCs 在线监测设备对不同评价物种的 DRI (见表 3)。

由表 3 可知, 针对 56 种 VOCs(C2~C12), A 设备原始监测数据与人工审核数据相对偏差在 $\pm 10\%$ 以内, 有效数据获取率达到 80% 以上可识别的物种数为 14 种, 有效数据获取率为 60%~80% 的物种数为 3 种, 有效数据获取率为 40%~60% 的物种数为 4 种, 有效数据获取率为 20%~40% 的物种数为 8 种, 有效数据获取率在 20% 以下的物种数为 27 种, A 设备的 DRI 为 0.49。根据指数的大小, 可以很明显的发现设备 F 的 DRI 最高, 其原始监测结果最接近人工审核数据, 可快速分析应用。各设备的数据识别能力由高到低依次为 F、G、C、A、D、E、B 和 H, 这也证明了本方法可对各台 VOCs 在线监测设备的数据识别能力进行定量区分。

表 3 中数据还表明, 对高碳 VOCs 物种的数据识别能力最强的前 3 名设备分别是 F、G 和 C, 与 56 种 VOCs(C2~C12) 物种的表现相同; 而对低碳 VOCs(C2~C5) 物种的数据识别能力最强的前 3 名则分别是设备 F、C 和 G, 这表明 C 设备低碳 VOCs(C2~C5) 物种的原始数据比 G 设备更加可靠, 相反 G 设备高碳 VOCs(C6~C12) 物种的原始数据比 C 设备更加可靠。另外, 设备 A、E、F、G 和 H 对高碳 VOCs(C6~C12) 物种的 DRI 大于低碳 VOCs(C2~C5) 物种的 DRI, 而设备 B、C 和 D 则恰恰相反。这说明不同 VOCs 在线监测设备对低碳 VOCs(C2~C5)、高碳 VOCs(C6~C12) 物种的数据

识别能力也有所区别。

在相同实验条件下,各台 VOCs 在线监测设备的 DRI 不同,反映出这些设备在数据识别能力方面的表现有所差异。这种差异的产生除与设备本身的预浓缩和检测方法不同有关,还与设备的日常运行维护情况、分析单元搭载的数采软件自动积分配置情况等有紧密联系。因此,在实际应用中,应注意这些因素对 VOCs 在线监测设备原始数据质量的影响,以提升设备的快速应用分析能力。

综上所述,本研究提出的 DRI 可定量反映 VOCs 在线监测设备的数据识别能力,特别是对本地排放量较大、臭氧生成潜势较高的 VOCs 物种的数据识别能力表征,会更有意义。同样,DRI 对于大气颗粒物水溶性离子监测设备、重金属监测设备、有机碳/元素碳分析仪等其他在线监测设备也具有参考价值。

3 结论

1) 8 种 VOCs 在线监测设备在数据识别能力方面的表现存在一定的差异。原始数据与人工审核数据的平均相对偏差为-100%~56 652%。相较于高碳物种,低碳物种的原始监测数据与人工审核数据平均相对偏差更大。

2) 为区分不同 VOCs 在线监测设备原始数据的准确性,评估每台设备的数据识别能力,本研究提出了 DRI 的计算方法。该指数的计算过程简单,结果显而易见,便于后期应用开发。

3) 根据应用案例分析可知,DRI 可对 VOCs 在线监测设备的数据识别能力进行定量区分。该评估方法不仅为 VOCs 在线监测设备的评估工作提供了一种全新的考核指标,而且对其他在线监测设备也具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [2] WANG T, XUE L K, BRIMBLECOMBE P, et al. Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects[J]. Science of the Total Environment, 2016, 575: 1582-1596.
- [3] Guangdong Provincial Environmental Monitoring Centre, Environmental Protection Department-Hong Kong SARG,

表 3 每台设备可识别的物种数量和 DRI

Table 3 Number of species identified by each device and DRI of each device

评价物种	设备	$S_{80\%}$ /种	$S_{60\%}$ /种	$S_{40\%}$ /种	$S_{20\%}$ /种	S_0 /种	DRI
56种 VOCs (C2~C12)	A	14	3	4	8	27	0.49
	B	0	0	2	11	43	0.25
	C	26	11	5	2	12	0.73
	D	0	6	8	12	30	0.36
	E	0	0	2	15	39	0.27
	F	52	1	0	0	3	0.95
	G	30	9	6	4	7	0.78
	H	0	0	0	1	55	0.20
低碳 VOCs (C2~C5)	A	2	0	0	0	15	0.29
	B	0	0	2	4	11	0.29
	C	11	2	2	0	2	0.84
	D	0	5	4	3	5	0.51
	E	0	0	0	1	16	0.21
	F	13	1	0	0	3	0.85
	G	5	2	2	3	5	0.59
	H	0	0	0	0	17	0.20
高碳 VOCs (C6~C12)	A	12	3	4	8	12	0.57
	B	0	0	0	7	32	0.24
	C	15	9	3	2	10	0.69
	D	0	1	4	9	25	0.30
	E	0	0	2	14	23	0.29
	F	39	0	0	0	0	1.00
	G	25	7	4	1	2	0.87
	H	0	0	0	1	38	0.21

注: $S_{80\%}$ 指有效数据获取率在80%以上可识别的物种数量; $S_{60\%}$ 指有效数据获取率为60%~80%可识别的物种数量; $S_{40\%}$ 指有效数据获取率为40%~60%可识别的物种数量; $S_{20\%}$ 指有效数据获取率为20%~40%可识别的物种数量; S_0 指有效数据获取率在20%以下可识别的物种数量。

- Environmental Protection Bureau-Macao SARG, et al. Guangdong-Hong Kong-Macao Pearl River Delta regional air quality monitoring network: A report of monitoring Results in 2017[EB/OL]. [2019-12-20]. <http://gdee.gd.gov.cn/protect/P0201806/P020180620/P020180620631772750308.pdf>.
- [4] WANG T, WEI X L, DING A J, et al. Increasing surface ozone concentrations in the background atmosphere of Southern China, 1994-2007[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, 9(2): 6217-6227.
- [5] 师耀龙, 柴文轩, 李成, 等. 美国光化学污染监测的经验与启示[J]. *中国环境监测*, 2017, 33(5): 49-56.
- [6] 韦方洋, 丁银, 黄欢, 等. 空气中挥发性有机物在线监测技术研究进展[J]. *中国资源综合利用*, 2019, 37(2): 108-110.
- [7] 刘兴隆, 曾立民, 陆思华, 等. 大气中挥发性有机物在线监测系统[J]. *环境科学学报*, 2009, 29(12): 2471-2477.
- [8] U. S. Environmental Protection Agency. Gas chromatograph (GC) evaluation study field deployment evaluation report[EB/OL]. [2019-12-20]. <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pams/targetlist.pdf>.
- [9] U. S. Environmental Protection Agency. Gas chromatograph (GC) evaluation study laboratory evaluation phase report[EB/OL]. [2019-12-20]. <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pams/labevalreport.pdf>.
- [10] U. S. Environmental Protection Agency. Review of EPA's photochemical assessment monitoring stations (PAMS) network re-engineering project[EB/OL]. [2019-12-20]. <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pams/casacunsigndfinal.pdf>.
- [11] 上海市环境监测中心, 清洁空气创新中心, 深圳市环境科学研究院. 大气VOCs在线监测系统评估工作指南[EB/OL]. [2019-12-20]. <http://www.cleanairchina.org/file/loadFile/186.html>.
- [12] 生态环境部. 环境空气挥发性有机物气相色谱连续监测系统技术及检测方法: HJ 1010-2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [13] 杨印蹊, 范军, 黄涛宏. GC-FID/MS中心切割法全在线监测环境空气中108种污染物[J]. *环境化学*, 2018, 37(8): 1876-1879.
- [14] FORTIN T J, HOWARD B J, PARRISH D D, et al. Temporal changes in U. S. benzene emissions inferred from atmospheric measurements[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(6): 1403-1408.
- [15] WEI W, CHENG S Y, LI G H, et al. Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) emitted from a petroleum refinery in Beijing, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, 89: 358-366.
- (本文编辑: 靳炜, 郑晓梅)

Evaluation method and application of data recognition capability of VOCs online monitoring equipment

ZHANG Tao^{1,2,3}, WANG Xinming^{1,*}, ZHOU Yan³, PEI Chenglei^{1,2,4}, CHEN Duohong³, OU Yubo³, CHEN Chunyi³

1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Air Quality Monitoring, Guangdong Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510308, China

4. Guangzhou Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510006, China

*Corresponding author, E-mail: wangxm@gig.ac.cn

Abstract In order to evaluate the accuracy of the original data of VOCs online monitoring equipments, an evaluation method for data recognition capability of VOCs online monitoring equipments was established. The results showed that there were some differences in the performance of the eight VOCs online monitoring equipments in data recognition capability, and the average relative deviation between original data and manual audit data ranged from -100% to 56.652%. Compared with high-carbon species, a greater mean relative deviation between the original data and the manual audit data occurred for low-carbon species. According to the application case analysis, the data recognition index (DRI) proposed in this study could quantitatively distinguish the data recognition capability of different VOCs online monitoring equipments. This method not only provided a new assessment index for the evaluation of VOCs online monitoring equipments in the future, but also could make a scientific evaluation for the rapid analysis and application capability of other online monitoring equipments.

Keywords volatile organic compounds; online monitoring; evaluation method; data recognition capability; index