



文章栏目：大气污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.202210014 中图分类号 X511 文献标识码 A

王振中, 朱玲, 李栖楠, 等. 加油站埋地油罐呼吸排放因子法的本地化应用[J]. 环境工程学报, 2023, 17(5): 1562-1569. [WANG Zhenzhong, ZHU Ling, LI Qinan, et al. Localization application of breathing emission factor method for underground oil tank in gas station[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(5): 1562-1569.]

加油站埋地油罐呼吸排放因子法的本地化应用

王振中^{1,✉}, 朱玲², 李栖楠¹, 刘方铭¹, 郭燕丽³

1. 中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院, 青岛 266100; 2. 北京石油化工学院环境工程系, 北京 102617; 3. 中国石化销售股份有限公司北京石油分公司, 北京 100010

摘要 加油站汽油挥发是挥发性有机物(VOCs)的重要来源之一。加油站 VOCs 排放包括卸油排放、加油排放、呼吸排放、加油枪滴油和胶管渗透排放等 5 个环节。针对加油站各环节排放因子已开展了诸多统计研究, 但并未考虑加油站工艺及设备配置、日均加油规模等因素对排放因子的影响。参考美国 CARB 认证规程, 采用自主研发的加油站呼吸排放测试系统, 以北京某年销汽油量约 9 000 t 且未安装油气处理装置的加油站为测试站点, 开展埋地油罐呼吸排放因子的本地化研究。通过对呼吸排放量的连续监测, 采用实验检测与数据统计相结合的方法, 研究呼吸排放因子与加油量的相关性。结果表明: 加油站的埋地油罐呼吸排放因子与日均加油量显著相关; 对于标准化加油站, 日均加油量小于 15 920 L 时, 呼吸排放因子为 0; 随着日均加油量的升高, 呼吸排放因子逐步升高, 且符合多项式方程; 超过 28 800 L 后, 呼吸排放因子变化趋于稳定在约 30 mg·L⁻¹。综合考虑后处理装置安装成本和产生的环境效益, 年汽油销售规模超过 4 500 t 的加油站应安装后处理装置, 以降低呼吸排放的油气量。本研究结果可为不同规模加油站的 VOCs 排放分级管理提供参考。

关键词 加油站; 埋地油罐; 呼吸排放因子; 加油量; 分级管理

挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)是城市大气光化学氧化剂和有机气溶胶的重要前体物, 对臭氧和细颗粒物的生成起到重要作用^[1-3]。工业源 VOCs 排放占全国人为源排放总量的 56.8%, 主要来自石化、化工、工业涂装、包装印刷等行业^[4]。根据北京、上海和天津 3 个城市的 VOCs 源解析结果, 汽车尾气和汽油挥发对 VOCs 的贡献率分别为(40.2%±16.9%)和(19.7%±7.5%)^[5-6]。为了加强油气污染的控制, 生态环境部先后颁布了《排污许可证申请与核发技术规范 储油库、加油站》(HJ 1118-2020)^[7]和《加油站大气污染物排放标准》(GB 20952-2020)^[8], 对加油和卸油过程的油气回收、油气处理装置和在线监测系统提出明确要求。

加油站 VOCs 排放如图 1 所示包括 5 个环节: 卸油排放、加油排放、呼吸排放、加油枪滴油和胶管渗透排放^[9]。其中呼吸排放是加油站埋地油罐内油气压力在达到排放管压力/真空阀(pressure/vacuum valve, P/V 阀)的开启压力后排放的 VOCs。卸油排放和加油排放分别通过一次和二次油气回收技术控制, 埋地油罐呼吸排放通过安装油气处理装置控制, 油枪滴油和胶管渗透分别采取防滴油加油枪和低渗透胶管等措施进行控制。目前, 国内加油站已实施一次、二次油气回收技术。然而, 针对呼吸排放是否需要安装油气处理装置仍存在较大争议, 因此开展加油站呼吸排放因子检测可为油气排放控制提供依据。

收稿日期: 2022-10-06; 录用日期: 2023-02-19

基金项目: 中国石油化工股份有限公司项目(320109); 北京市长城学者培养计划资助项目(CIT&TCD20190314)

第一作者: 王振中(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, E-mail: wangzcn.qday@sinopec.com; ✉通信作者

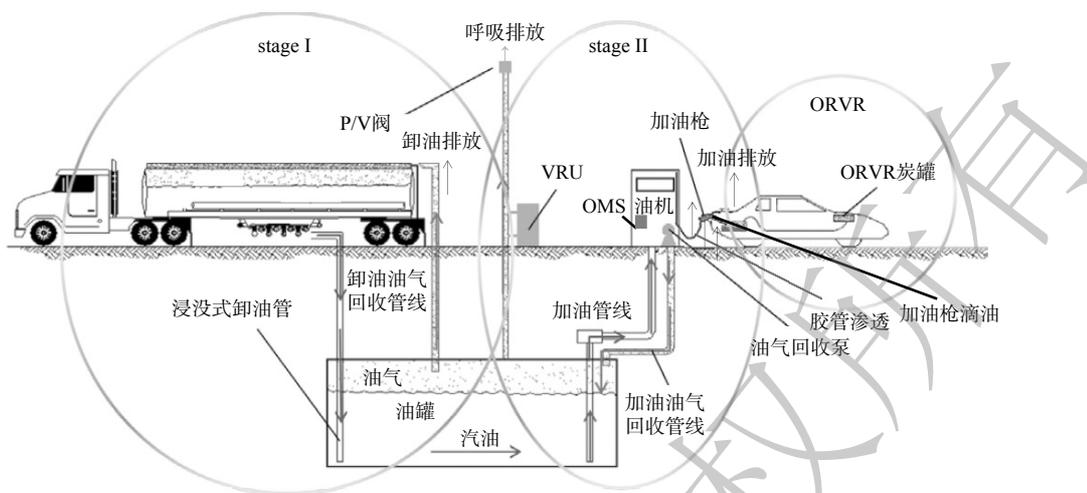


图 1 加油站 VOCs 排放环节与控制技术

Fig. 1 VOCs emissions link and control technology of gasoline filling station

针对加油站不同工艺过程的排放因子，美国环保署 (Environmental Protection Agency, EPA)、加州空气资源委员会 (California Air Resources Board, CARB) 和欧洲环境署 (European Environment Agency, EEA) 等机构开展了相关研究^[10-12]。我国研究者也在北京、上海等地开展了加油站排放因子的研究工作^[13-16]。黄玉虎^[17]对比了国内外未控制排放因子 (Uncontrolled Emission Factor, UEF)，即未采取油气回收措施时，每加注 1 L 汽油所排放的 VOCs 质量，中国、美国和欧洲加油站的总 UEF 分别为 $3\ 743\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2\ 902\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1\ 787\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

国内加油站排放因子的测算是基于典型加油过程现场测试数据，并类比国外的加油排放因子，通过统计学的方法获得。呼吸排放因子与油品特性、气液比、P/V 阀设定值、日均加油量、环境温度、埋地油罐内油品温度等因素相关。如我国颁布的国家标准 GB 17930-2016《车用汽油国家标准》^[18]中规定，每年 11 月 1 日—4 月 30 日，国 V 油品雷氏蒸气压为 45~85 kPa；每年 5 月 1 日—10 月 31 日，油品雷氏蒸气压为 40~65 kPa；美国 EPA 在 AP-42 中计算机动车加油过程排放因子时雷氏蒸气压设定为 78.6 kPa。我国普遍采用真空辅助式二次油气回收系统，气液比在 1.0~1.2，高于国外接近于 1.0 的设定值^[17,19]。GB 20952-2020 要求 P/V 阀正压开启压力为 2.2~3.0 kPa^[8]，高于国外的设定值 0.75~1.5 kPa^[9]。本研究采用实验测试和数据统计拟合相结合的方法，测定加油站呼吸排放因子随加油量变化的规律，可为不同规模加油站分级管理提供参考。

1 研究方法

为了准确检测加油站呼吸排放因子，本研究借鉴美国 CARB 相关的测试规程^[20]，开发了如图 2 所示专用的排放采集系统。通过在每台加油机内部的油气回收管路上设置涡街流量计，采集加油过程中的加油机脉冲信号和流量信号，获得每次加油作业的加油量、回气量和气液比；在油罐区的排放管上安装罗茨流量计和压力变送器，连续监测油罐压力和呼吸排放累计流量^[21-23]。流量计采

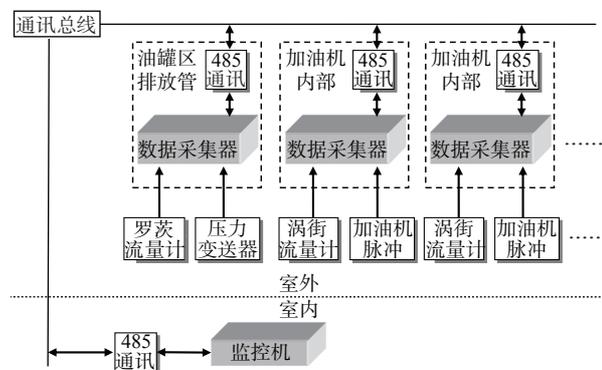


图 2 加油站排放测试采集系统结构图

Fig. 2 Structure diagram of gas station emission test and acquisition system

用 Dresser 公司专门用于测量油气挥发物的罗茨 CRM8C175 型, 误差值为 $\pm 0.75\%$; 压力变送器为北京昆仑海岸公司定制 JYB-315MG, 测量结果的最大允许误差为 0.2%。

为确保实验测试结果具有代表性, 本研究选取北京某年销汽油量约 9 000 t 的二级加油站为测试站点。测试站点配有 4 个 30 m³ 地下汽油埋地油罐, 使用电子式调节系统使加油气液比约维持在 1.10, 且卸油排放和加油排放油气回收设施性能良好; 油罐通气管联通后共用 1 根通气立管和 P/V, 测试站点埋地油罐呼吸排放未安装油气回收系统。

在实验前, 按 GB 20952-2020 附录 A-C 要求, 检测站点加油油气回收系统的气液比和密闭性、油气回收管线液阻液阻等指标; 同时, 校准所有监测仪表, 并在随后的实验过程中定期开展校准工作。排放监测流量计和压力表的安装位置如图 3(a) 和 (b) 所示, 控制界面见图 3(c)。从 2021 年 7 月起, 对测试站点的加油量、回气量、油罐压力、呼吸排气流量等开展了近 1 年的连续监测。

根据气液两相平衡原理, 埋地油罐和通气管形成的气相空间内油气浓度与温度、压力等物理量有关, 呼吸阀排放的油气为罐内饱和汽油蒸气。因此, 为降低采样难度和提高准确性, 在通气管距离地面 1 m 处设置浓度检测采样口 (图 3(b))。通过真空负压采样法, 用 TEDLAR 气袋采集立管内的油气; 气样经预处理后, 采用安捷伦 7890 气相色谱检测气体中非甲烷总烃 (non-methane hydrocarbon, NMHC) 的浓度。



图 3 加油站排放测试装置现场图

Fig. 3 Field diagram of emission test in gasoline filling station

2 结果与讨论

2.1 日加油量和呼吸排放量的相关性

《加油站大气污染物排放标准》(GB 20952-2020) 中规定, 各种加油油气回收系统的气液比均应为 1.00~1.20。每次加油过程通过油气回收型加油枪回收油气多于加油的体积, 导致埋地油罐油气压力增大, 发生呼吸排放。在气液比保持稳定的情况下, 站点超量回收的油气体积与日加油量相关。因此, 本研究根据站内监控系统的加油数据, 以及所采集的罗茨流量计数据, 对 2021 年 10 月 15 日—11 月 10 日期间的单日累计加油量与单日累计 P/V 阀排放油气量进行了统计分析, 结果见图 4。

使用 SPSS 软件进行相关性分析, 由于样本数据小于 50 个, 选择 Shapro-Wilk 检验样本数据的正态分布^[24], 计算可得单日加油量 $P_o=0.003<0.05$, 单日排放量 $P_g=0.276>0.05$, 这表明单日加油量不具备正态分布特征。对经过现场观测发现, 在加油站的日常作业中, 油气回收检测、计量检定、

设备维修维护等偶发性作业均可能影响油罐压力。虽然此类作业根据操作规程会不定期开展,但每次均会关停加油设施,对单日加油量产生较大影响,为53 000~92 000 L。

选用 Spearman 相关系数来度量单日加油量(x)和单日排放量(y)2个变量之间的相关性。计算得到 r 值为0.319, P 值为0.105>0.05。这说明单日加油量和单日排放量之间没有显著的相关关系。因此,对于实际加油站而言,由于单日作业过程存在较多干扰因素,不具备总结单日加油量和单日排放量规律的条件。

2.2 累计加油量和呼吸排放量的相关性

影响加油站 VOCs 排放清单的不确定性因素较多,包括活动水平的可靠性及 VOCs 排放因子的适用性和准确性。

为了减少偶发性作业对单日排放量的波动影响,本研究进一步对多日累计加油量和多日累计排放量进行分析。图5为2021年10月15日—11月10日期间多日累计加油量和多日呼吸排放量数据的变化图,累计排放量与累计加油量之间呈现明显线性关系。

通过 SPSS 计算 Pearson 相关系数 $r=0.9988$,这说明2个变量显著线性相关。使用最小二乘估计法对图5的数据序列做线性回归,即使每个样本点(x_i, y_i)与回归线上的对应点($x_i, f(x_i)$)在垂直方向上的距离偏差总和最小。使用 SPSS 内置工具对上述数据做线性回归,可得公式(1)。

$$y = 0.0366x + 1052.7 \quad (1)$$

式(1)线性相关系数 $R^2=0.9975$,回归方程对样本数据点的拟合优度很高。回归方程的截距为1052.7 L,对比样本总累计呼吸排放量65419 L,仅为1.6%;对比样本总累计加油量 1.73×10^6 L,仅为0.061%。加油站不进行加油作业时,埋地油罐没有大呼吸,且小呼吸明显小于大呼吸,不会引起超压排放,需要对公式(1)进行修正。根据《大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)》^[25],油品储运源主要包括油品储运和加油站,VOCs排放总量可按公式 $E_i = P_i \times EF_i$ 计算,仅与排放因子 EF_i 和活动水平 P_i 有关,其中活动水平 P_i 为油品的周转量,公式中没有设置截距。因此,对回归方程进一步优化,重新拟合所得回归方程见公式(2)。

$$y = 0.0379x \quad (2)$$

式(2)的线性相关系数 $R^2=0.9953$,即在特定时间段内累计排放量与累计加油量具有固定斜率的显著线性关系。

《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》^[26]、US EPA 参考 AP-42^[8] 文件中(石油液体运输和销售)公式计算加油过程 VOCs 排放量均与加油站汽油销售量或者排放源的活动水平呈线性相关,这与本研究得到的结论一致。

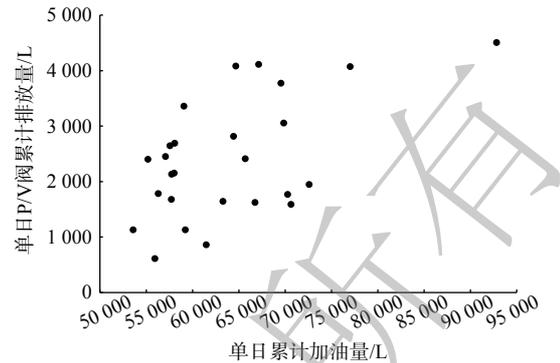


图4 2021-10-15至2021-11-10期间日加油量与日排放量的关系

Fig. 4 Relationship between daily refueling volume and daily emissions from 2021-10-15 to 2021-11-10

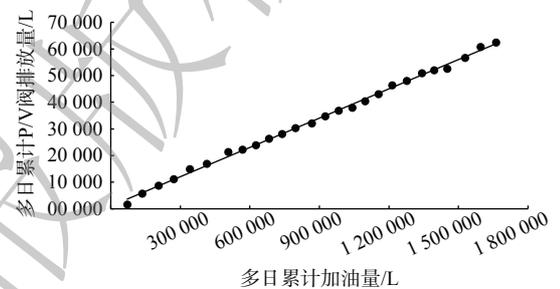


图5 2021-10-15至2021-11-10期间累计加油量与累计排放量的关系

Fig. 5 Relationship between cumulative refueling volume and cumulative emissions

2.3 排放斜率的影响因素

为了验证上述拟合方程在累计加油量变量上的通用性,本研究选取检测周期内的若干个时间段,使用最小二乘估计法对累计加油和累计排放数据进行线性回归,回归结果如表1所示。

表1 不同时间段累计加油量与累计排放量线性回归参数

Table 1 Linear regression parameters of cumulative refueling volume and cumulative emissions in different test periods

时间段	排放斜率	拟合优度	气液比	日均加油量 Q/L
2021-10-15至2021-10-23	0.039 7	0.956 9	1.062	70 718
2021-10-24至2021-11-10	0.039 2	0.978 2	1.059	62 746
2022-01-05至2022-01-12	0.035 4	0.982 8	1.066	68 365
2022-02-09至2022-03-22	0.041 2	0.989 8	1.133	29 896
2022-04-15至2022-04-28	0.045 0	0.922 2	1.082	33 791
2022-04-29至2022-05-11	0.015 5	0.851 5	1.080	21 075
2022-05-12至2022-05-31	0.007 6	0.644 2	1.102	15 918
2022-07-01至2022-07-31	0.038 3	0.953 2	1.061	33 474

该加油站所有时间段的加油气液比均为 (1.08 ± 0.05) ,气液比处于非常稳定的状态。气液比与拟合所得斜率的相关系数 $r=-0.060 5$,说明这2个变量的相关性不显著,故暂不考虑气液比对排放量的影响。

对于指定加油站,加油站内外部环境、油非互动等是影响油品销售量的重要因素。在2021年10月至2022年4月期间,测试站点日均加油量较大,排放斜率稳定在0.035 4~0.045;2022年4月底到6月期间,北京因新型冠状病毒肺炎疫情发布系列社会面防控要求社会面流动和活动的显著减少直接导致了加油站日均加油量的减少,排放斜率相应明显降低。测试站点5月12日至31日,日均加油量降至15 918 L,排放斜率下降至0.007 6。根据现场测试流量和压力数据,2022年5月份仅有9天发生了P/V阀超压开启情况,且油气总排放量仅为6 034 L。

根据EPA在AP-42中油罐车卸油过程排放因子 L_L 和机动车加油过程排放因子 L_D (1995年)计算公式^[9],排放因子与装卸方式、环境温度、油品的雷氏蒸气压等因素有关。2022年4月15日到28日周期内统计所得排放斜率为0.045,高于前4个测试周期的数据。这与环境温度升高,油品的蒸发速率加快,雷氏蒸气压升高有关,因此在以后的研究中,还需进一步细化分析这些参数对排放斜率的影响。同时,由于2022年4月29日以后的3个测试周期内,出现29个样本P/V阀单日排放量为0,这3个周期的排放斜率变化也需从温度、加油量等方面开展进一步的分析。

测试站点不同时间段日均加油量与排放斜率的散点图如图6所示,排放斜率 k 先随着日均加油量的升高而增大;当日均加油量升至约28 800 L时, k 的变化逐渐变小。因此, k 是与某个年均销售规模 Q 加油站排放因子相关的参数。使用最小二乘估计法对日均加油量和排放斜率进行拟合,见式(3)。

$$k = 6.66 \times 10^{-16} \times Q^3 - 1.17 \times 10^{-11} \times Q^2 + 6.44 \times 10^{-6} \times Q - 0.069 \quad (3)$$

式(3)线性相关系数 $R^2=0.935 2$ 。对式

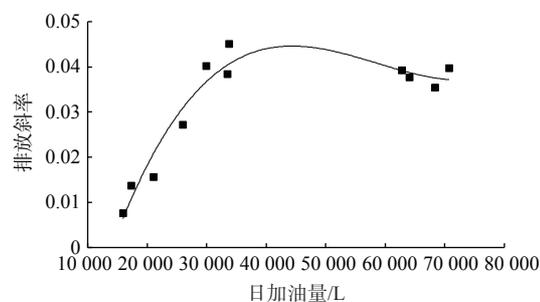


图6 日均加油量与排放斜率的关系

Fig. 6 Relationship between the daily refueling volume and emission slope

(3) 求解，日均加油量 Q 为 15 920 L 时，排放斜率 $k=0$ 。上述现象是由于埋地油罐 P/V 阀的开启压力设定为+(2.2-3.0) kPa，具有一定的保压效果，当日均加油量低于 15 920 L 时，埋地油罐 P/V 阀基本没有呼吸排放。这与实际加油站作业中检测的数据基本一致，说明可通过日平均加油量 $Q(L)$ 分段计算不同规模加油站的排放斜率 k ，并以此计算排放量，如式 (4) 所示。

$$k = \begin{cases} 6.66 \times 10^{-16} Q^3 - 1.17 \times 10^{-11} Q^2 + 6.44 \times 10^{-6} Q - 0.069 & Q \geq 15920 \\ 0 & Q < 15920 \end{cases} \quad (4)$$

2.4 排放斜率与排放因子换算

在实验测试过程中，在加油站通气管采样检测油气的体积浓度，并根据《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》^[26] 附表二-19，15.6 °C 时油气分子量为 68 g·mol⁻¹，得到呼吸排放的非甲烷总烃 NHMC 平均质量浓度为 777 mg·L⁻¹，即呼吸排放因子 $UEF = k \cdot 777 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

根据《HJ 1118-2020》中汽油密度为 760 g·L⁻¹^[18]，计算典型规模加油站的排放因子如表 2。日加油量 44 717 L，即年销售量 12 400 t 时，呼吸排放因子最高为 34.65 mg·L⁻¹；当日加油量增加到 72 098 L 时，呼吸排放因子与 28 839 L 的计算结果基本接近。

表 1 说明，当日加油量 Q 超过 29 000 L 时，采集足够多样本且在气象因素基本一致情况下，排放斜率 k 取值为 0.037 9~0.041 2；取其平均值 0.038 3，也可估算排放因子， $UEF=0.038 3 \times 0.777 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}=29.76 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

对比表 2，当日加油量 Q 为 28 839 L 时，即年销售量为 8 000 t 时，排放因子为 29.45 mg·L⁻¹。这与上述所得排放因子 29.76 mg·L⁻¹ 基本一致，说明实验测试与拟合公式计算值可以相互验证。

参考黄玉虎等^[13,17,19]的研究结果，本研究得出的排放因子为给非 ORVR (Onboard Refueling Vapor Recovery, 车载加油油气回收系统) 车辆加油，且加油站内具备一次和二次油气回收、在线监测系统时，加油站正常运行条件下，埋地油罐呼吸的排放因子约为 30 mg·L⁻¹。文献报道的国内外研究机构得出的呼吸排放因子如表 3 所示。

各研究机构得出的数据为 8~122 mg·L⁻¹，与本研究通过实验测试所得的呼吸排放因子相比均不超过同一个数量级，检测结果较为接近。美国 EPA、欧洲 EEA 和上海市环科院是未采安装油气处理装置时的呼吸排放因子，国外的 P/V 阀正压开启压力设定值普遍低于国内。这说明加装油气处理装置可显著降低呼吸排放因子。美国 CARB 和北京市环科院呼吸排放因子较本研究得出的结果要低。

2.5 油气处理装置安装的可选择性

《加油站大气污染物排放标准》(GB 20952-2020) 实施后，加油站是否需要安装油气处理装置

表 2 不同年汽油销售规模加油站的排放因子

Table 2 Emission factors of the gasoline filling station with different annual sales scale

年汽油销售规模 Q_0 /t	日均汽油销售量 Q /L	呼吸排放因子 UEF / (mg·L ⁻¹)
4 416	15 918	0
5 000	18 024	9.50
8 000	28 839	29.45
10 000	36 049	32.83
12 400	44 717	34.65
20 000	72 098	29.07

表 3 国内外不同研究机构得出的排放因子

Table 3 Emission factors obtained by different research institutions at home and abroad

研究机构	呼吸排放因子/ (mg·L ⁻¹)	是否安装油气处理装置
美国 EPA ^[9]	120	否
欧洲 EEA ^[5,14]	82	否
上海市环境保护科学研究院 ^[14]	122	否
美国 CARB ^[9]	11	是
北京市环境保护科学研究院 ^[5,16]	8	是

由各省级环保主管部门自行决定,在《排污许可证申请与核发技术规范 储油库、加油站》(HJ 1118-2020)执行过程中,多个省市环保部门均强制要求所有加油站必须安装油气油气处理装置。

与现有文献中基于统计采样分析得出的排放因子相比,本研究进一步明确了加油规模对呼吸排放因子的影响,年汽油销售规模超过 4 500 t 的加油站才有必要安装油气处理装置对埋地油罐的呼吸排放进行控制。以我国东部某省为例,全省共计有 10 000 多座加油站,年销汽油量超过 4 500 t 的油站数量占比仅约 10%,有近 9 000 余座站点并不需要安装油气处理装置,油气处理设施安装后减排效益不明显,而且存在着自身能耗较高、容易产生危废等问题,造成了较大的环保投入浪费,并没有体现“协同增效、减污降碳”的发展思路^[27]。按油气处理装置单价 10 万元计算,全省可减少油气处理装置投资约 8 亿元;将这些费用投入到其它油气回收环节的技术升级,能起到更好的油气排放控制效果。

3 结论

1) 加油站的埋地油罐呼吸排放因子与日均加油量密切相关。对于常规配置 4 台汽油埋地油罐的标准化加油站,加油气液比设定为 1.10、P/V 阀正压开启压力为 2.2~3.0 kPa 条件下,日均加油量小于 15 920 L 时,呼吸排放因子为 0;随着日均加油量的升高,呼吸排放因子将逐步升高,超过 28 800 L 左右后,呼吸排放因子变化趋于稳定,呼吸排放因子约为 30 mg·L⁻¹。

2) 综合考虑油气处理装置安装成本和产生的环境效率,年汽油销售规模超过 4 500 t 的加油站才有必要安装油气处理装置,以降低呼吸排放的油气质。

3) 目前实验加油站的气液比、P/V 阀开启压力均按照国家标准要求设定,需要将进一步研究不同气液比设定范围、不同 P/V 阀开启压力对呼吸排放因子的影响,降低加油站呼吸排放因子,减少呼吸排放的油气质。

4) 我国在 2020 年开始实施 GB 18352.6-2016 标准,具备车载油气回收 ORVR 功能的车辆将越来越多。有必要对 ORVR 与二次油气回收系统的不兼容排放因子开展研究,可为 ORVR 兼容型油气回收控制技术的研发提供数据支撑。

参考文献

- [1] ZHOU X, LI Z Q, ZHANG T J, et al. Multisize particulate matter and volatile organic compounds in arid and semiarid areas of Northwest China[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 300: 118875.
- [2] 王涵, 马军, 陈民, 等. 减污降碳协同多元共治体系需求及构建探析[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(4): 936-944.
- [3] 王继钦, 陈军辉, 韩丽, 等. 四川省加油站挥发性有机物排放及控制现状[J]. *环境污染与防治*, 2020, 42(6): 672-677.
- [4] 钟美芳, 田俊泰, 叶代启. “十四五”我国 VOCs 排放总量控制方案研究与建议[J]. *环境影响评价*, 2021, 43(2): 1-4.
- [5] 黄玉虎, 常耀卿, 任碧琪, 等. 加油 VOCs 排放因子测试方法研究与應用[J]. *环境科学*, 2016, 37(11): 4103-4109.
- [6] 梁小明, 张嘉妮, 陈小方, 等. 我国人为源挥发性有机物反应性排放清单[J]. *环境科学*, 2017, 38(3): 845-854.
- [7] 中华人民共和国生态环境部, 中华人民共和国国家市场监督管理总局. 加油站大气污染物排放标准: GB 20952-2020, [S]. 2020.12. 28, https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqgdwrywrfpbz/202012/t20201231_815640.shtml.
- [8] 中华人民共和国生态环境部. 排污许可证申请与核发技术规范 储油库、加油站: HJ 1118-2020, [S]. 2020.03. 04, https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/pwxk/202003/t20200310_768188.shtml.
- [9] 陈家庆, 朱玲. 油气回收与排放控制技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2010.
- [10] USEPA. Emission factor documentation for AP-42, Section 5.2: transportation and marketing of petroleum liquids[R]. Washington D. C.: US EPA, 2008.
- [11] EEA. EMEP/EEA emission inventory guidebook: distribution of oil products[R]. Copenhagen: EEA, 2013.
- [12] California Air Resources Board. Revised emission factor for gasoline marketing operations at California gasoline dispensing facilities[R]. Sacramento CA: California Air Resources Board, 2013.
- [13] 黄玉虎, 胡玮, 李贝贝, 等. 北京城市副中心(通州区)加油站 VOCs 排放清单[J]. *环境科学*, 2018, 39(2): 618-625.
- [14] YANG X F, LIU H, CUI H Y, et al. Vehicular volatile organic compounds losses due to refueling and diurnal process in China: 2010-2050[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2015, 33: 88-96.
- [15] 史小春, 戴海夏, 李英杰, 等. 国内外加油站各环节油气排放因子研究

- 动态[C]. 中国环境科学学会. 2017中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第一卷). 中国环境科学学会, 2017: 244-251.
- [16] 鲁君. 典型石化企业挥发性有机物排放测算及本地化排放系数研究[J]. 环境污染与防治, 2017, 39(6): 604-609.
- [17] 黄玉虎, 常耀卿, 任碧琪, 等. 北京市1990-2030年加油站汽油VOCs排放清单[J]. 环境科学研究, 2016, 29(7): 945-951.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 车用汽油国家标准: GB 17930-2016, [S]. 2016.12. 23
- [19] 黄玉虎, 秦建平, 任碧琪, 等. 加油站气液比检测方法及其影响[J]. 环境工程学报, 2014, 8(6): 2633-2638.
- [20] 美国加利福尼亚空气资源委员会. 油气回收系统认证和测试技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [21] 修德欣, 王振中, 丁莉丽, 等. 油气回收在线监测系统在加油站的应用[J]. 石油化工自动化, 2015, 51(4): 66-69.
- [22] 王振中. 自助加油站中央控制台研制[J]. 石油化工自动化, 2016, 52(6): 15-16.
- [23] 丁莉丽, 杨华, 王振中, 等. 安装条件对在线监测流量计测量性能的影响[J]. 化工自动化及仪表, 2016, 43(4): 381-384.
- [24] 薛薇. SPSS统计分析方法及应用(第4版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [25] 中华人民共和国环境保护部. 大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)[R]. 2014.08. 20. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288364.htm
- [26] 中华人民共和国环境保护部. 石化行业VOCs污染源排查工作指南[R]. 2015.11. 17. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201511/t20151124_317577.htm
- [27] 姜华, 阳平坚, 高健. 贯彻落实习近平总书记“四个一”部署要求 构建减污降碳协同的制度体系[J]. 环境保护, 2021, 49(Z2): 57-60.

(责任编辑: 靳炜)

Localization application of breathing emission factor method for underground oil tank in gas station

WANG Zhenzhong^{1*}, ZHU Ling², LI Qinan¹, LIU Fangming¹, GUO Yanli³

1. Sinopec Research Institute of Safety Engineering, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Department of Environmental Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China; 3. Sinopec Marketing Beijing Company, Beijing 100010, China

*Corresponding author, E-mail: wangzzen.qday@sinopec.com

Abstract Gasoline volatilization from gasoline filling station is one of the important sources of volatile organic compounds (VOCs). VOCs emissions from gas filling stations include five links: oil unloading emissions, refueling emissions, breathing emissions, fuel gun oil dripping and hose permeation emissions. Many statistical studies on the emission factors of gasoline filling station have been carried out. However, the influence of gas station technology, equipment configuration, daily refueling scale and other factors on emission factors has not been considered. In this paper, an independent designed breathing emission monitoring system based on the CARB certified procedure was installed in a gasoline filling station ($9\ 000\ \text{t}\cdot\text{a}^{-1}$) in Beijing without vapor recovery device, then the study of local breathing emission factor of underground storage tank was carried out. After continuously collecting data, the relationship between breathing emission factors and refueling volume was investigated by the combined methods of experimental testing and data statistics. The results showed that the correlation between breathing emissions factor of underground storage tank and daily refueling volume was significant. For the standardized gasoline filling stations, when average daily refueling volume was less than 15 920 L, the breathing emission factor was 0. With the increase of daily refueling amount, the breathing emission factor increased gradually, and it was in accordance with polynomial equation. When the average daily refueling volume was more than 28 800 L, the breathing emission factor tended to stable at about $30\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Taking into account the installation cost and environmental benefits of reprocessing devices, gas stations with annual gasoline sales of more than 4 500 t should install reprocessing devices to reduce the amount of oil and gas emitted by breathing. The results can provide reference for the hierarchical management of gasoline filling station with different sale volume.

Keywords gasoline filling station; underground storage tank; breathing emission factor; refueling volume; hierarchical management