

南京市加油站 VOCs 排放清单

许立峰¹, 李铁柱^{2*}, 蒋艳¹, 张小明¹, 高翔¹, 朱朝俊¹, 张璐瑶¹

(1. 南京市生态环境综合行政执法局, 江苏 南京 210019; 2. 东南大学交通学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 在分析国内外加油站 VOCs 排放因子的基础上, 结合油气回收进程和排放控制现状, 初步建立南京市加油站 VOCs 排放清单。结果表明: 全市加油站 VOCs 排放因子为 168 mg/L, 年排放 VOCs 为 300 t。S1 + S2, S1 + S2 + OMS 和 S1 + S2 + OMS + VRD 3 类加油站的 VOCs 排放因子分别为 335 mg/L、198 mg/L 和 147 mg/L, OMS 和 VRD 对 VOCs 排放控制效果显著。

关键词: 挥发性有机物; 油气回收; 排放清单; 加油站; 南京市

中图分类号: X511

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2022)04-0072-04

VOCs Emission Inventory of Gas Stations in Nanjing

XU Li-feng¹, LI Tie-zhu^{2*}, JIANG Yan¹, ZHANG Xiao-ming¹, GAO Xiang¹,
ZHU Chao-jun¹, ZHANG Lu-yao¹

(1. *Nanjing Ecological Environment Comprehensive Administrative Law Enforcement Bureau, Nanjing, Jiangsu 210019, China*; 2. *School of Transportation, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 211100, China*)

Abstract: Based on the analysis of VOCs emission factors of gas stations at home and abroad, combined with the current situation of oil and gas recovery process and emission control, VOCs emission inventory of gas stations in Nanjing was preliminarily established. The results showed that VOCs emission factor from gas stations in the city was 168 mg/L, the annual VOCs emission was 300 t. The VOCs emission factors of S1 + S2, S1 + S2 + OMS and S1 + S2 + OMS + VRD gas stations were 335 mg/L, 198 mg/L and 147 mg/L, respectively, indicating that OMS and VRD had significant effects on VOCs emission control.

Key words: VOCs; Oil and gas recovery; Emission inventory; Gas station; Nanjing

“十三五”期间,南京市环境空气质量明显改善,2016—2020年南京市环境状况公报指出,2020年建成区空气质量达标天数 304 d,优良率达到 83.1%。然而,在空气污染天数中,臭氧污染天数在总污染天数中的占比不断上升,已经从 2016 年的 40.7% 上升至 2020 年的 71.0%,成为制约空气质量优良率提升的首要污染因子。2017 年,南京市臭氧超标达 40 d,臭氧首次取代颗粒物上升为首要污染物,光化学污染问题凸显^[1-2]。与此同时,全市机动车保有量持续增加,带动了加油站汽油年销售量上升。南京统计年鉴显示,全市机动车保有量从 2015 年的 197.9 万辆增至 2020 年的 279.9 万辆,汽油年销量也从 130 万 t 攀升至近 180 万 t。加油站油气中的挥发性有机物(VOCs)

排放已经成为臭氧污染的重要来源之一。今通过建立南京市加油站 VOCs 排放清单,阐明排放现状,为开展 VOCs 污染防治提供技术支撑和对策依据。

1 材料与方法

1.1 VOCs 排放环节

加油站 VOCs 排放主要源于罐车卸油、车辆加

收稿日期:2021-11-10;修订日期:2022-06-26

基金项目:国家自然科学基金“轻型机动车尾气排放劣化率模型构建及应用研究”资助项目(41877395);国家重点研发计划基金“面向低排放的驾驶员行为修正关键技术研究”资助项目(2021YFE0112700)

作者简介:许立峰(1968—),男,辽宁阜新人,高级工程师,硕士,从事环境管理与污染防治工作。

*通信作者:李铁柱 E-mail: litiezhu@seu.edu.cn

油、储罐呼吸、油枪滴油、胶管渗透等 5 个环节。针对各环节 VOCs 排放主要采取以下技术措施。

(1) 罐车卸油环节(即第一阶段油气回收 Stage I, S1)。一是改变卸油方式,将油罐运输车的顶部喷溅式改为底部浸没式,减少油气产生;二是安装油气回收管线,将卸油中挥发和置换出的油气回收到油罐车中。

(2) 车辆加油环节(第二阶段油气回收 Stage II, S2)。采用回收型加油设备,使用回收型加油枪、匹配油气真空泵等回收油气。

(3) 储罐呼吸环节。主要是通过改善储罐的密闭性、安装真空/压力阀等措施减少油气排放。

(4) 油枪滴油环节。推广使用不滴油加油枪。

(5) 胶管渗透环节。推广使用低渗漏胶管。

1.2 VOCs 排放控制现状

针对加油站 VOCs 排放控制,南京市于 2011 年对油罐车底部浸没式卸油进行更新改造,完成油气一次回收;2016 年全市加油站油枪和真空安装完成更新,完成二次回收;2018 年,开展地下储罐防油液渗漏的双层罐改造,减少油气泄漏;2020 年推进在线监测系统(OMS)和油气处理装置(VRD)建设,年销售汽油 5 000 t 及以上的加油站安装 OMS + VRD,2021 年将 OMS 扩展到年售汽油 2 000 t 及以上的加油站。

目前,虽然对罐压、气液比、液阻、排口 VOCs 浓度等指标进行排放监控,但对油枪滴油和胶管渗透两个环节未进行控制。

1.3 VOCs 排放量估算方法

根据南京市加油站油气回收技术现状,将加油站分为 3 类:①S1 + S2,代表具备一次 + 二次油气回收技术;②S1 + S2 + OMS,代表具备一次 + 二

次 + 在线监测油气回收技术;③S1 + S2 + OMS + VRD,代表具备一次 + 二次 + 在线监测 + 处理装置的油气回收技术。统计加油站年汽油销售量,根据加油站各环节的排放控制效率及排放因子,估算 VOCs 排放量:

$$E = A \times \left[\sum_{i=1}^n \text{UEF}_i \times (1 - \eta_i) \right]$$

式中: E 为加油站 VOCs 排放量,t/a; A 为加油站汽油销售量,t/a; n 为加油站各排放环节, i 为 1 ~ 5; UEF_i 为加油站未采取控制措施下各环节 VOCs 排放因子,kg/t; η_i 为各环节 VOCs 排放控制效率,%。

2 结果与讨论

2.1 VOCs 排放因子确定

近 20 年我国汽油标准快速提升,蒸气压、油品组分等指标发生了较大变化,而加油站 VOCs 排放因子的研究较少,缺乏相应的测定技术规范,目前仅北京市开展了加油站 VOCs 未控制排放因子(UEF)研究^[3]。我国、美国环保署(USEPA)、欧洲环境署(EEA)和加州空气资源委员会(CARB)的 UEF 和排放控制效率(η)的推荐值^[4-7]见表 1 和表 2。

表 1 国标推荐值

排放环节	汽油蒸发损耗率/%		
	A 类地区	B 类地区	C 类地区
卸油	0.23	0.20	0.13
加油	0.29	0.29	0.29
储罐呼吸	0.01	0.01	0.01
合计	0.53	0.50	0.43

表 2 加油站 VOCs 排放环节控制效率及排放因子

Table 2 Control efficiency and emission factors of VOCs emission in gas stations

排放环节	USEPA(1985—1995 年)		EEA(2009 年)		CARB(2013 年) ^①						
	UEF/ (mg · L ⁻¹)	η /%	排放因子/ (mg · L ⁻¹)	UEF/ (mg · L ⁻¹)	η /%	排放因子/ (mg · L ⁻¹)	UEF/ (mg · L ⁻¹)	未实施 EVR	实施 EVR		
								η /%	排放因子/ (mg · L ⁻¹)	η /%	排放因子/ (mg · L ⁻¹)
卸油(浸没式)	880	95	40	653	95	33	924	95	46	98	18
加油 ^② 非 ORVR	1 320	90	132	1 006	85	151	1 008	85	151	95	50
ORVR				1 006	95	50	50	85	8	95	3
储罐呼吸	120	0	120	82	0	82	91	88	11	97	3
油品滴溅	80	0	80	54	0	54	73	31	50	61	29
胶管渗透							7	0	7	0	7
合计 ^③	2 400	84	372	1 795	82	320	2 103	87	265	97	54

①EVR 代表增强型油气回收系统;②ORVR 代表车载油气回收系统;③非 ORVR。

2.1.1 UEF 选取

选取 CARB 的 UEF 作为南京市加油站 VOCs 排放估算基础因子,基于以下 4 个方面原因:① USEPA、EEA 和国标^[4]等对加油站 VOCs 排放因子多年未更新,缺少油品滴溅、胶管渗透等环节的排放因子,以及储罐呼吸、油品滴溅等环节的 η ;② CARB 于 2013 年修订的排放因子是最新成果,涵盖各环节的排放因子,并且给出了储罐呼吸、油品滴溅、胶管渗透等环节的 η (见表 2);③南京市油气回收工作借鉴了北京经验,而北京与加州的排放控制进程相似^[4-7];④部分汽油车已经具备车载油气回收系统(ORVR),只有 CARB 给出了这部分车辆加油的 VOCs 的 UEF^[8]。

2.1.2 排放控制效率调查

加油站排放控制效率是估算 VOCs 排放的关键要素之一,取值根据当地油气回收设施的正常运行比例确定。该研究在估算南京市加油站 VOCs

排放量时,各排放环节主要控制内容如下。

(1)卸油:卸油前后按照油气回收要求装拆作业,卸油软管内无油液,卸油口及回气管无泄漏。

(2)加油:收集油气的真空泵运行情况,油气回收管线密闭性,现场检测时气液比在 1.0~1.2 之间,安装 OMS 加油站日常在线监测气液比在 0.9~1.3 之间。

(3)储罐呼吸:呼吸阀是否有漏气、卡死、堵塞、粘结情况;压力阀和真空阀是否常开;储罐压力或液位是否出现报警;油气回收装置压强是否超出 150 Pa。

(4)油品滴溅:加油前后加油枪是否出现滴油现象。

按照对各环节排放控制指标及要求^[9-11],统计 2020—2021 年南京市各加油站油气回收正常运行即达标情况,并对 η 进行本地化修正,结果见表 3。

表 3 南京市加油站油气回收监控指标运行情况调查

Table 3 Investigation on operation of oil and gas recovery monitoring index in gas stations in Nanjing

判断指标	S1 + S2			S1 + S2 + OMS			S1 + S2 + OMS + VRD		
	调查数 n/座	达标数 n/座	达标率/%	调查数 n/座	达标数 n/座	达标率/%	调查数 n/座	达标数 n/座	达标率/%
卸油	34	32	94.1	67	65	97.0	71	69	97.2
加油	34	26	76.5	67	59	88.1	71	66	93.0
储罐呼吸	34	31	91.2	67	64	95.5	71	69	97.2
油枪滴油	34	5	14.7	67	15	22.4	71	22	31.0

2.1.3 排放因子校正

以 CARB 的 UEF 为基础,结合南京市加油站各环节 VOCs 排放控制效率,以及 15% 汽油车具备 ORVR 的情况,得到南京市的 UEF 为 864 mg/L。

2.2 VOCs 排放量估算

2021 年南京市有加油站 318 座,年销售汽油

178 万 t。代入表 4 排放因子,按全市加油站总体计算,VOCs 排放因子为 168 mg/L,控制效率为 91.4%,年排放量为 300 t。各行政区加油站 VOCs 年排放总量及 3 类加油站排放分量见表 5。

2.3 VOCs 排放估算分析

目前,国内尚无加油站 VOCs 的 UEF 监测技术

表 4 南京市加油站各环节 VOCs 排放因子

Table 4 VOCs emission factors in all parts of gas stations in Nanjing

排放环节	UEF/(mg·L ⁻¹)	S1 + S2		S1 + S2 + OMS		S1 + S2 + OMS + VRD	
		η /%	排放因子/(mg·L ⁻¹)	η /%	排放因子/(mg·L ⁻¹)	η /%	排放因子/(mg·L ⁻¹)
卸油	924	94.1	54.5	97.0	27.7	97.2	25.9
加油	864	76.5	203	88.1	103	93.0	60.5
储罐呼吸	91	91.2	8.01	95.5	4.10	97.2	2.55
油品滴溅	73	14.7	62.3	22.4	56.6	30.1	51.0
胶管渗透	7	0	7	0	7	0	7
合计	1 959	82.9	335	89.9	198	92.5	147

规范,上述研究也未对 CARB 的 UEF 进行适用性研究。为提高估算准确度,调研了南京市加油站油气回收设施运行效率,对 η 进行了本地化处理。分析表明:安装 OMS 的 S1 + S2 + OMS 和 S1 + S2 + OMS + VRD 加油站, VOCs 的 η 分别为 89.9% 和

92.5%,比未安装的 S1 + S2 加油站高出 7.0% 和 9.6%;安装 VRD 的加油站, VOCs 控制效率又高于仅安装 OMS 的加油站 2.6%。另外,15% 的 ORVR 车辆,使得加油站 UEF 比 CARB 推荐值降低了 14.3%。

表5 南京市加油站汽油年销售量及 VOCs 年排放量

Table 5 Annual gasoline sales and VOCs emissions of gas station in Nanjing

行政区	汽油年销量 $m/\text{万 t}$				VOCs 排放量 $Q/(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$			
	S1 + S2	S1 + S2 + OMS	S1 + S2 + OMS + VRD	合计	S1 + S2	S1 + S2 + OMS	S1 + S2 + OMS + VRD	合计
玄武区		0.59	8.64	9.23		1.17	12.7	13.9
秦淮区			8.58	8.58			12.6	12.6
建邺区			10.4	10.4			15.3	15.3
鼓楼区	0.49	0.29	7.34	8.12	1.63	0.57	10.8	13.0
雨花台区	0.36	0.58	17.2	18.1	1.19	1.15	25.2	27.6
栖霞区	0.33	4.27	18.6	23.2	1.11	8.46	27.3	36.9
江北新区	0.64	8.26	11.4	20.3	2.13	16.4	16.8	35.2
江宁区	1.40	9.89	32.6	43.9	4.69	19.6	48.0	72.2
浦口区	1.71	2.51	4.92	9.13	5.72	4.96	7.23	17.9
六合区	1.86	3.76	5.07	10.7	6.24	7.45	7.45	21.1
溧水区	2.04	4.32	3.73	10.1	6.85	8.54	5.48	20.9
高淳区	1.30	1.80	3.41	6.50	4.35	3.56	5.01	12.9
全市	10.1	36.3	132	178	33.9	71.8	194	300

UEF 和 η 的本地化参数修正,直接影响 VOCs 排放量估算值。直接采用 CARB 排放因子 265 mg/L 估算,南京市加油站 VOCs 年排放量为 472 t,而参数本地化修正后,排放因子为 168 mg/L, VOCs 年排放量为 300 t,排放因子和年排放量比修正前分别减少了 97 mg/L 和 172 t。

3 结论

南京市加油站 VOCs 排放因子为 168 mg/L,年排放量为 300 t。清单显示:S1 + S2、S1 + S2 + OMS 和 S1 + S2 + OMS + VRD 加油站 VOCs 排放因子分别为 335 mg/L、198 mg/L 和 147 mg/L,排放控制效率分别为 82.9%、89.9% 和 92.5%。OMS 和 VRD 的应用,有效地提升了卸油、加油和储罐呼吸等环节的 VOCs 排放控制效率。

[参考文献]

- [1] 丁峰,朱志锋,张良瑜,等.南京市环境大气质量变化特征及防治对策建议[J].环境监测管理与技术,2020,32(5):63-67.
- [2] 陆晓波,丁峰,朱志锋,等.南京市臭氧污染现状及变化特征的研究[J].环境监测管理与技术,2019,31(2):11-15.

- [3] 黄玉虎,常耀卿,任碧琪,等.加油 VOCs 排放因子测试方法研究与应用[J].环境科学,2016,37(11):4103-4109.
- [4] 国家技术监督局,中国石油化工总公司.散装液态石油产品损耗:GB 11085—89[S].北京:中国标准出版社,1989.
- [5] California Air Resources Board. Revised emission factor for gasoline marketing operations at California gasoline dispensing facilities[R]. California Sacramento:CARB,2013.
- [6] US EPA. Emission factor documentation for AP-42, section 5.2 transportation and marketing of petroleum liquids[R]. Washington D. C.;US EPA,2008.
- [7] European Environmental Agency. EMEP/EEA emission inventory guidebook, 1. B. 2. a. v Distribution of oil products[R]. Copenhagen of Denmark:European Environmental Agency, 2013.
- [8] 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.
- [9] 史小春,钱华,戴海夏,等.上海加油站各环节油气排放情况[J].三峡环境与生态,2011,33(6):51-56.
- [10] 生态环境部,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].北京:中国环境科学出版社,2020.
- [11] 李英杰,畅孟东,刘喆,等.加油站 VOCs 排放污染控制中的气液比取值[J].上海工程技术大学学报,2012,26(3):247-250.

本栏目编辑 吴珊