环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社

2020

Vol.41 No.1

第41卷 第1期

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第41卷 第1期
2020年1月15日

目 次

Eco-Environmental Knowledge Web
环 境 科 学
Environmental Science
第41卷第1期 2020年1月
Vol.41, No.1 Jan., 2020

国内外储油库 VOCs 排放现状与标准分析

胡玮[1], 任碧琪[1], 黄玉虎[1,2*], 秦建平[1], 卞吉玮[3], 吴清柱[4]
(1. 北京市环境保护科学研究院,城市大气挥发性有机物污染防治技术与应用北京市重点实验室,北京 100037; 2. 天津大学环境科学与工程学院,天津 300072; 3. 上海市环境监测中心,上海 200030; 4. 广州市环境监测中心站,广州 510030)

摘要: 储油库大气污染物排放标准(GB 20950-2007)规定了储油库在储存和收发汽油过程中油气排放控制,不适用于原油、航空煤油和石脑油等油品. 对美国和欧洲储油库油气排放标准或指令进行梳理,结合我国 3 个典型城市储油库油气处理装置油气排放现状分析,提出 GB 20950-2007 的修订建议. 结果表明:①美国和欧洲储油库标准控制范围不仅包含汽油,还包含原油和其他有机液体;②GB 20950-2007 的油气非甲烷总烃(NMHC)排放浓度限值分别是美国联邦标准 Subpart XX、Subpart R 和 Subpart Y 的 0.5、1.8 和 8.9 倍,是美国南加州 Rule 462 和 Rule 1142 的 1.8 和 3.1 倍,是欧盟和德国指令的 0.7 和 500 倍;我国一般地区油气泄漏限值是 Subpart XX 的 0.5 倍,重点地区油气泄漏限值是 Rule 462 和 Rule 1142 的 0.7 和 2.0 倍. ③我国 3 个典型城市储油库油气处理装置进口和出口 NMHC 排放浓度 P5th ~ P95th 数值范围分别为 115 ~ 811 $g \cdot m^{-3}$ 和 0.1 ~ 20.0 $g \cdot m^{-3}$, 85% 以上的处理装置出口 NMHC 排放浓度≤10 $g \cdot m^{-3}$. 建议将 GB 20950-2007 的适用范围扩大为原油、汽油(含乙醇汽油)、航空煤油和石脑油,油气处理装置 NMHC 排放浓度限值从 25 $g \cdot m^{-3}$ 加严为 20 $g \cdot m^{-3}$,增加特别排放限值 10 $g \cdot m^{-3}$.

关键词: 储油库; 油气; 挥发性有机物(VOCs); 排放标准; 非甲烷总烃(NMHC)
中图分类号: X511 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2020)01-0139-07 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.201906170

Emission Status and Standards of Volatile Organic Compounds from Chinese and Foreign Bulk Petroleum Terminals

HU Wei[1], REN Bi-qi[1], HUANG Yu-hu[1,2*], QIN Jian-ping[1], BIAN Ji-wei[3], WU Qing-zhu[4]
(1. Beijing Key Laboratory of Urban Atmospheric Volatile Organic Compounds Control Technology and Applications, Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Shanghai Environmental Monitoring Centre, Shanghai 200030, China; 4. Guangzhou Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510030, China)

Abstract: Chinese emission standard of air pollutants for bulk gasoline terminals (GB 20950-2007) stipulate standards for vapor emissions during gasoline storage and receiving in bulk gasoline terminals. However, the standards are not applicable to crude oil, aviation kerosene, naphtha, and other kinds of oil. We assess emission standards or directives for vapor processing equipment in terminals in the United States (US) and European Union (EU), and analyze the emission status of vapor processing equipment in three typical cities in China. We further propose revisions to GB 20950-2007. We made the following observations. ① US and EU standards include scope not only for gasoline, but also crude oil and other organic liquids. ② The emission limits of non-methane hydrocarbons defined in GB 20950-2007 are i) 0.5, 1.8, and 8.9 times those defined in Subpart XX, Subpart R, and Subpart Y in the US federal regulations, ii) 1.8 and 3.1 times those defined in Rule 462 and Rule 1142 in southern California law, and iii) 0.7 and 500 times those defined in EU and German directives, respectively. The vapor leakage limit for general areas of China is 0.5 times that defined in Subpart XX of the US standards, whereas the limits for some other specific areas of China, are 0.7 and 2.0 times those defined by Rule 462 and Rule 1142 in southern California law. ③ The numerical range of P5th-P95th of NMHC emissions from the inlet and outlet of vapor processing equipment in three typical cities of China were 115-811 $g \cdot m^{-3}$ and 0.1-20.0 $g \cdot m^{-3}$, respectively. The proportion of NMHC emission concentrations less than or equal to 10 $g \cdot m^{-3}$ at the outlet of vapor processing equipment was > 85%. We suggest that the scope of application of GB 20950-2007 should be extended to crude oil, gasoline (including ethanol gasoline), aviation kerosene, and naphtha. The emission concentration limit of NMHC from vapor processing equipment should be tighten from 25 $g \cdot m^{-3}$ to 20 $g \cdot m^{-3}$, with a emission limit of 10 $g \cdot m^{-3}$ added for particular cases.

Key words: bulk petroleum terminals; vapor; volatile organic compounds (VOCs); emission standards; non-methane total hydrocarbons (NMHC)

原油、汽油(含乙醇汽油)、航空煤油和石脑油等油品具有较强的挥发性[1,2],储油库在储存、收发油品的过程中会排放大量油气,储油库是城市挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)的重要来源之一[3]. 油品挥发产生的 VOCs 在一定条件下可与氮氧化物发生光化学反应生成臭氧(O_3)[4],也可与大气中一些自由基反应形成二次有机气溶胶[5]. 国外很早就开始开展 VOCs 污染控制研究,针对储油库 VOCs 排放的研究也较全面,包括储油库

收稿日期: 2019-06-22; **修订日期**: 2019-08-28
基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFF0211803); 北京市科学技术协会 2017 ~ 2019 年度青年人才托举工程项目; 国家环境保护标准计划项目(2016-3)
作者简介: 胡玮(1992 ~), 女, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: huwei_my@163.com
* 通信作者, E-mail: huangyuhu@sina.com

VOCs 排放测试与估算[6~8],储油库 VOCs 排放的环境影响与健康风险评估[9],储油库油气回收技术[10~12]等. 美国和欧盟针对储油库有机液体储存和装载都制定了相应的排放标准或指令.

1996 年我国首次发布大气污染物综合排放标准(GB 16297-1996), 2007 年原国家环境保护总局首次发布储油库大气污染物排放标准(GB 20950-2007)[13], 2010 年原北京市环境保护局首次修订发布储油库油气排放控制和限值(DB 11/206-2010)[14]. 文献[15~17]均要求储油库和原油成品油码头开展油气回收. 储油库不仅储存汽油,还可能储存原油、航空煤油和石脑油等油品,而 GB 20950-2007 仅适用于储油库中汽油油气回收,原油、航空煤油和石脑油等油品油气回收缺乏排放标准. 黄玉虎等[18]对我国挥发性有机液体储库 VOCs 排放标准现状进行分析,指出对于原油及成品油(汽油除外)储库,各省市优先执行本省市工业企业挥发性有机物排放控制标准,其次是本省市大气污染物综合排放标准,最后是 GB 16297-1996;工业企业 VOCs 排放标准或大气污染物综合排放标准的非甲烷总烃(NMHC)最高允许排放质量浓度限值约为 GB 20950-2007 限值的 3‰,排放限值较为严格;建议将 GB 20950-2007 的适用范围扩大为具有较强挥发性的油品储库,并适度加严限值,推动行业有序发展. 该研究对比分析国内外储油库 VOCs 排放标准,检测和调研我国 3 个典型城市储油库油气处理装置进口、出口 NMHC 排放浓度,分析和掌握我国储油库 VOCs 排放现状,以期为修订 GB 20950-2007 提供技术支撑.

1 国外储油库 VOCs 排放标准或指令

1.1 国外储油库排放标准控制体系

美国环境保护署(US EPA)根据污染物的不同制定了两类固定源排放标准,一类是针对常规污染物的新源特性标准(NSPS),即联邦法规(CFR)第 40 卷第 60 部分;另一类是针对 189 种有毒空气污染物的有毒空气污染物国家排放标准(NESHAP),即 CFR 第 40 卷第 63 部分. US EPA 制定联邦法规即国家污染物排放标准,各州可以制定州法规即地方污染物排放标准.

CFR 中的储油库特指接收汽油且汽油日装载量大于 75.7 m^3 的储油设施,对于其他油品及汽油日装载量小于等于 75.7 m^3 的储油设施未作排放控制要求. 1975 年美国南加州空气 O_3 浓度约有 200 d 超过美国联邦标准,南加州空气质量管理局(SCAQMD)开始采用一系列法规来严格控制油气排放,有机液体装载(Rule 462)[19]根据日(年)装载量和建设时间规定有机液体与汽油装载设施排放控制要求,有机液体储存(Rule 463)[20]根据有机液体和汽油储存规模规定储存设施排放控制要求,海上油船操作(Rule 1142)[21]规定船舶装载、运输有机液体的排放控制要求. 南加州储油库分类及控制范围见表 1.

表 1 南加州储油库分类及控制范围

Table 1 Classification and rules for the control of terminals in southern California

法规	分类/(装载/储存量)			控制范围	备注
Rule 462	A 类		≥75.7 $m^3 \cdot d^{-1}$	有机液体	—
	B 类	B(A)类	15.1~75.7 $m^3 \cdot d^{-1}$	汽油	1976 年 1 月 9 日前建设
		B(B)类	≤15.1 $m^3 \cdot d^{-1}$,且 >1 892.5 $m^3 \cdot a^{-1}$		
		B(C)类	≤75.7 $m^3 \cdot d^{-1}$		1976 年 1 月 9 日后建设
	C 类		≤15.1 $m^3 \cdot d^{-1}$,且≤1 892.5 $m^3 \cdot a^{-1}$	汽油	1976 年 1 月 9 日前建设
Rule 463	每个储罐≥75 m^3			有机液体	—
	每个储罐≥0.95~75 m^3			汽油	—
Rule 1142	—			有机液体	—

欧共体 1991 年修改指令关于协调各成员国有关采取措施防止机动车排放物引起空气污染的法律(70/220/EEC),指出汽油储存和分配系统 VOCs 排放量占欧共体人为 VOCs 总排放量的 5%,并提议采取措施减少汽车燃料储存和分配过程蒸发损失. 1992 年德国首次发布汽油、石脑油等油品储存或转移过程 VOCs 排放控制(第 20 号指令)[22], 1998 年德国首次对第 20 号指令进行修订. 欧盟 1994 年发布指令汽油储存和从储油库向加油站配送汽油过程 VOCs 排放控制(94/63/EC)[23].

1.2 国外储油库 VOCs 排放标准限值

CFR 第 40 卷第 60 部分采用最佳示范技术(BDT)来降低 VOCs 排放,CFR 第 40 卷第 63 部分采用最大可达控制技术(MACT)来严格限制有毒空气污染物排放,储油库排放标准同时遵循 CFR 第 40 卷第 60 部分和第 63 部分,且执行其中更严格的排放标准;南加州法规分别从有机液体装载、储存和海上油船操作等环节提出 VOCs 排放控制要求. 美

国储油库排放标准 VOCs 浓度限值见表 2，美国标准采用总有机物（TOCs）作为油气排放控制项目，排放浓度单位（$g \cdot m^{-3}$，装载量）以油品装载量为基准，与我国标准排放浓度单位（$g \cdot m^{-3}$，排气量）以排气量为基准不同，根据汽油饱和蒸气压估算油气中 VOCs 体积分数约为 30%，按照 VOCs 处理效率 95% 计算，美国标准排放浓度单位换成我国标准排放浓度单位大概需乘以 1.4.

表 2 给出了美国储油库排放标准 VOCs 浓度限值，其中南加州 A 类储油库装载有机液体 VOCs 排放浓度限值与联邦法规汽油分配设施的限值相同，无油气回收效率控制要求；而 B 类储油库只有油气回收效率控制要求，无 VOCs 排放浓度限值；联邦法规对油船装载汽油的排放要求严于南加州装载有机液体，排放浓度限值是南加州的 0.35 倍，油气回收效率均要求达到 95% 以上. 南加州法规要求油船装载排放监测应在装载油品的最后 50% 时至少检测 30 min，当油船装载时间小于 1 h 时，监测应覆盖装载全部油品的后 50%.

表 3 为欧盟汽油储存及配送过程 VOCs 排放控制要求，汽油储存采用浮顶罐或固定顶罐，相比内浮顶罐，对于外浮顶罐的密封性要求和油气回收效率的要求更为严格. 油罐车在储油库采用底部装油方式，可以有效避免顶部装油造成的大规模油品湍流，减少 VOCs 排放. 欧盟排放浓度单位与 GB 20950-2007 相同，以排气量为基准.

表 2　美国储油库排放标准 VOCs 浓度限值

Table 2　VOCs concentration limit in emission standards for terminals in United States

地区	标准名称	法规号	浓度限值（装载量）/$g \cdot m^{-3}$ 现有源	浓度限值（装载量）/$g \cdot m^{-3}$ 新源	回收效率/%	备注
美国联邦	储油库性能标准[24]	40 CFR 60 Subpart XX	80	35	—1)	新源（1980 年 12 月 17 日之后）
	汽油分配设施（储油库和管道输油站）国家排放标准[25]	40 CFR 63 Subpart R	10		—	不晚于 1997 年 12 月 15 日执行
	海上油船装载操作国家排放标准[26]	40 CFR 63 Subpart Y	2		95	—
南加州	有机液体装载	Rule 462	10		—	A 类
			—		90	B 类
	有机液体储存	Rule 463	—		95	—
	海上油船操作	Rule 1142	5.7		95	—

1）“—”表示标准/法规未做规定

表 3　94/63/EC 汽油储存和配送过程 VOCs 排放控制

Table 3　VOCs emission control of storage and distribution from bulk gasoline terminals to service stations

工艺过程		控制要求	浓度限值/$g \cdot m^{-3}$	回收效率/%
储油库储存	外浮顶罐	一级密封 + 二级密封	—	95
	内浮顶罐	一级密封	—	90
	固定顶罐	油气回收装置	—	—
储油库装载	油罐车底装	新源（1993 年 1 月 1 日之后）	35	—
		现有源	50	—

德国 1998 年修订的第 20 号指令，规定储油库浮顶罐油气回收效率≥97%，现有源 VOCs 排放浓度限值为 12 $g \cdot m^{-3}$；新源根据 VOCs 质量流量提出不同排放限值，当质量流量 >0.50 $kg \cdot h^{-1}$ 时，VOCs 排放限值为 0.05 $g \cdot m^{-3}$，当质量流量 ≤0.50 $kg \cdot h^{-1}$ 时，VOCs 排放限值为 1.7 $g \cdot m^{-3}$. 很显然德国储油库排放标准要严于欧盟标准.

1.3　国外储油库 VOCs 泄漏控制要求

欧盟指令 94/63/EC 要求储油库储存、装载和运输汽油以及加油站卸油过程保持密闭，并定期对管线设备进行泄漏检测，但没有 VOCs 泄漏控制要求. 美国标准除了包括油品储存和装载过程 VOCs 排放控制，还包括 VOCs 泄漏控制要求，储油库泄漏包括气体泄漏和液体滴漏，气体泄漏主要发生在设备与管线部件的各类接口、阀门和管线等位置，液体泄漏主要发生在管线断开操作时油品滴漏. 表 4 为美国储油库 VOCs 泄漏控制要求.

美国油气泄漏限值以甲烷体积分数（$\times 10^{-6}$）计. 由表 4 可以看出，加州储油库 VOCs 泄漏考虑全面，涵盖气体和液体泄漏. Rule 1142 提出油船装载时可能发生泄漏的位置，其气体泄漏限值小于储油库发油设施气体泄漏，同时泄漏修复时间是其他泄漏修复时间的 5%，从而有效控制油船装载大量油品过程中的泄漏. 联邦标准中油气泄漏只规定气体泄漏要求，泄漏修复时间也较加州宽松.

表 4 美国储油库 VOCs 泄漏控制要求

Table 4 Control requirements of VOCs leakage from terminals in the United States

法规		泄漏限值	泄漏检测与修复
Subpart XX		$10\,000\times10^{-6}$(以甲烷计)	每月对油气收集系统、油气处理系统和装油台进行一次看/听/闻检测;发现泄漏应记录并在 15 d 内完成泄漏修复
Rule 462	气体泄漏	$3\,000\times10^{-6}$(以甲烷计)	对油气收集系统、油气处理系统和装油台进行气体和液体泄漏检测,每月进行一次看/听/闻检测;每季度用泄漏检测仪进行一次检测
	液体泄漏	3 滴·min^{-1}(任何液体泄漏源) 管线断开操作 2 mL(顶部) 10 mL(底部)	检测到泄漏, 72 h 内进行维修/更换,维修/更换后组件第一次操作使用时再次进行泄漏检测
Rule 463		—	每次清空和排气时,检测浮顶罐的一级和二级密封;检测不合格, 72 h 内完成修复
Rule 1142	气体泄漏 液体泄漏	$1\,000\times10^{-6}$(以甲烷计) 3 滴·min^{-1}	所有舱口、减压阀、接头、测量端口和通风口,以及其他与装载、运输、压舱或舱室维护作业相关的装置应保持无液体或气体泄漏 对泄漏点做标记,发现泄漏 4 h 内进行修复

2 我国储油库 VOCs 排放标准及国内外比较

2.1 我国储油库 VOCs 排放标准

对于储油库内的汽油,全国(北京市除外)都执行 GB 20950-2007. 对于储油库内的原油等其他油品,各省市制定了地方挥发性有机物专项标准的执行专项标准,如天津市的工业企业挥发性有机物排放控制标准(DB 12/524-2014),有地方大气污染物综合排放标准的执行地方大气污染物综合排放标准;都没有的,执行 GB 16297-1996. 北京市和我国储油库行业排放标准中汽油 NMHC 排放浓度限值分别为 20 $g\cdot m^{-3}$ 和 25 $g\cdot m^{-3}$,其他油品执行标准中 NMHC 排放浓度限值为 50 ~ 120 $mg\cdot m^{-3}$,是 GB 20950-2007 汽油 NMHC 排放浓度限值的 0.2% ~ 0.48%.

储油库油气污染防治技术以回收法为主,包括吸附、吸收、冷凝、膜分离及其组合工艺,回收法适用于处理高浓度且具有回收价值的油气,油气处理装置的 NMHC 可以满足≤25 $g\cdot m^{-3}$ 标准. 许光等[27]测试我国南方某地区储油库 NMHC 排放浓度为 1 ~ 25 $g\cdot m^{-3}$,张家铭等[28]测试上海 4 座储油库,得到 NMHC 排放浓度分别为 1.6、8.2、8.4 和 17.7 $g\cdot m^{-3}$. 表明仅依靠回收法难以满足国家和地方大气污染物综合排放标准中 50 ~ 120 $mg\cdot m^{-3}$ 的限值要求.

2.2 国内外储油库 VOCs 排放限值比较

GB 20950-2007 和 DB 11/206-2010 适用范围缺乏原油、航空煤油和石脑油等油品,NMHC 排放浓度限值与国外发达国家储油库 VOCs 排放标准相比较为宽松. 国内外储油库 VOCs 排放浓度限值(折算为$g\cdot m^{-3}$,排气量)比较见图 1.

由图 1 可以看出,储油库 VOCs 排放浓度限值

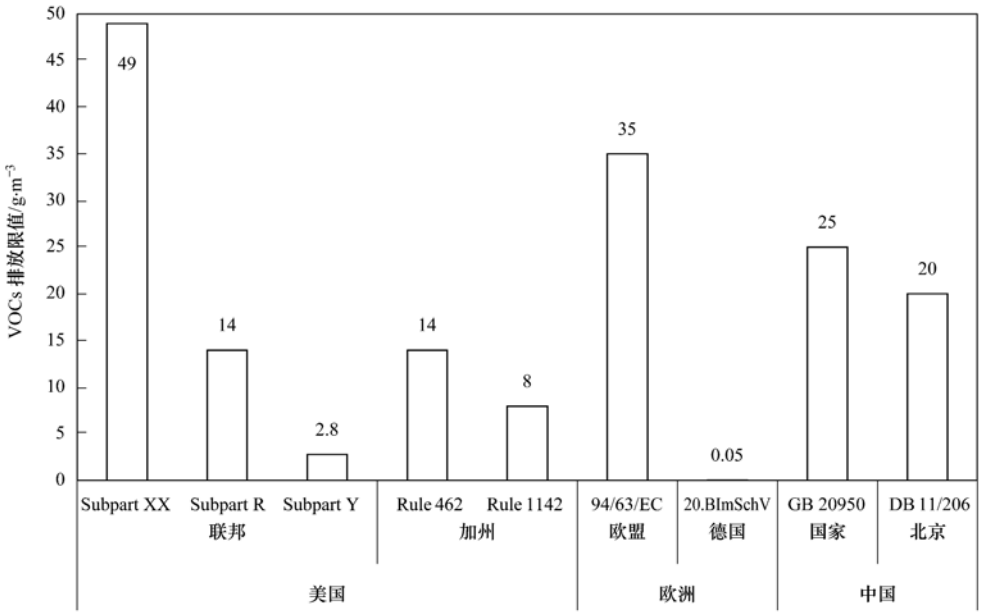

图 1 国内外储油库 VOCs 排放浓度限值

Fig. 1 Emission concentration limits of VOCs from Chinese and foreign terminals

范围为 0.05 ~ 49 g·m^{-3}，中国 GB 20950-2007 的油气 NMHC 排放浓度限值（25 g·m^{-3}）分别是美国联邦法规 Subpart XX、Subpart R 和 Subpart Y 的 0.5、1.8 和 8.9 倍，是美国南加州 Rule 462 和 Rule 1142 的 1.8 和 3.1 倍，是欧盟和德国指令的 0.7 和 500 倍.

2019 年我国首次发布挥发性有机物无组织排放控制标准（GB 37822-2019）[29]，规定设备与管线组件 VOCs 泄漏控制要求，油气泄漏排放单位以碳的摩尔分数（μmol·mol^{-1}）计，美国标准中油气泄漏排放单位以甲烷的体积分数（×10^{-6}）计，以甲烷计换算成与 GB 37822 相同单位仅需乘以 1. 将国内外储油库 VOCs 泄漏排放限值单位折算为以碳的 μmol·mol^{-1}计，排放限值比较见图 2.

由图 2 可以看出，美国储油库油气泄漏限值为 1 000 ~ 10 000 μmol·mol^{-1}，我国储油库VOCs泄漏限值与国外相比，分一般地区和重点地区特别排放限值，其中一般地区泄漏限值是联邦法规 Subpart XX 的 0.5 倍；重点地区泄漏限值是南加州 Rule 462 和 Rule 1142 的 0.7 和 2.0 倍. 此外与美国标准液体泄漏滴漏量判定不同的是，我国只要存在渗液、滴液等可见泄漏现象即判定发生了泄漏.

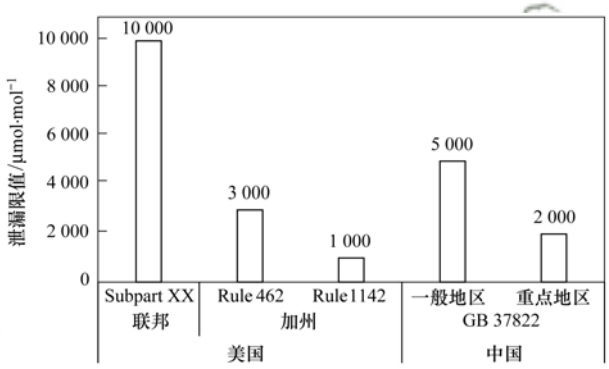

图 2　国内外储油库 VOCs 泄漏排放限值

Fig. 2　Leakage emission limits of VOCs from Chinese and foreign terminals

3　我国典型城市储油库油气排放现状

按照固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法（GB/T 16157-1996）和 GB 20950-2007 "附录 B 处理装置油气排放检测方法"对储油库油气处理装置进行排放测试，采用玻璃注射器对发油过程处理装置进口、出口同步采集 3 ~ 4 个样品，按照《固定污染源废气　总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定气相色谱法》（HJ 38）测试样品 NMHC 浓度. 2016 ~ 2017 年对 3 个典型城市共计 51 座储油库进行测试，测试结果见表 5.

由表 5 可知，3 个典型城市储油库处理装置进口 NMHC 浓度变化范围较大，进口和出口 NMHC 浓度平均值均高于中位数值，为避免平均值因个别偏大或偏小值而偏离实际情况，本研究用第 5 百分位数（P5th）、第 95 百分位数（P95th）和中位数（P50th）数值来评估处理装置进口和出口 NMHC 的浓度情况. 储油库处理装置进口和出口 NMHC 浓度 P5th ~ P95th 数值范围分别为 115 ~ 811 g·m^{-3} 和 0.1 ~ 20.0 g·m^{-3}.

图 3 是我国典型城市储油库处理装置 NMHC 浓度情况. 其中，图3（a）是储油库处理装置进口

表 5　典型城市储油库处理装置 NMHC 排放浓度

Table 5　NMHC concentration of bulk gasoline terminals' processing equipment in typical cities

城市	储油库个数	进口 NMHC 浓度/g·m^{-3}				出口 NMHC 排放浓度/g·m^{-3}				处理效率
		P5th	P95th	P50th	平均值	P5th	P95th	P50th	平均值	/%
A	27	149	763	350	390 ± 216	0.1	23.5	1.3	5.6 ± 9.5	98
B	13	216	830	469	508 ± 233	0.2	15.6	3.0	4.3 ± 5.8	99
C	11	90	640	137	255 ± 232	0.1	10.2	2.7	3.5 ± 3.6	98

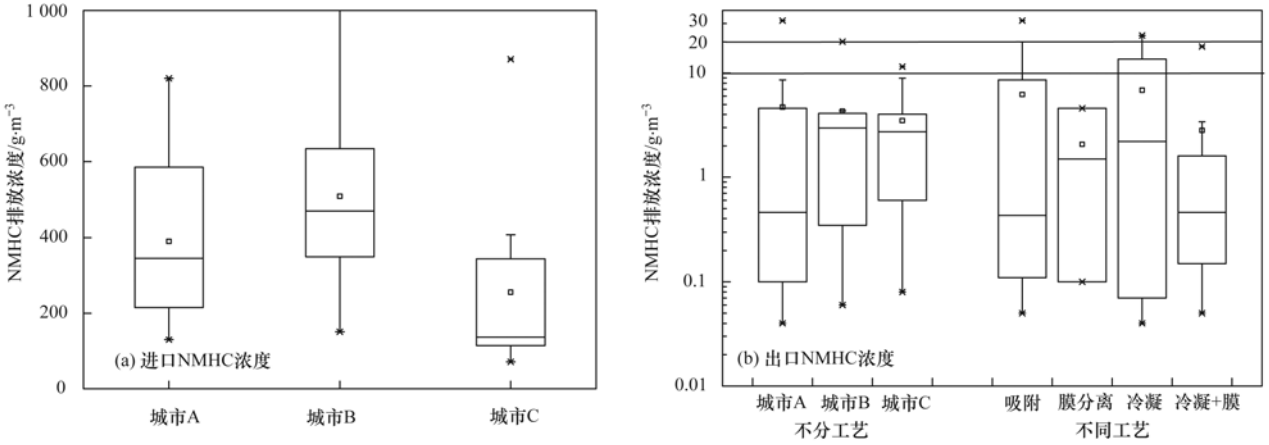

图 3　储油库处理装置 NMHC 浓度

Fig. 3　NMHC concentration of bulk gasoline terminals' processing equipment

NMHC 浓度,可以看出:城市 A 和城市 B 储油库油气处理装置进口 NMHC 浓度基本相当,且明显高于城市 C. 首先,环境温度对处理装置进口浓度有较大影响;其次,油罐汽车是否清洗、罐车泄漏、油气输送管道阻力、管线泄漏等都会导致处理装置进口浓度偏低.

图 3(b)是储油库处理装置出口 NMHC 浓度,城市 A、B 和 C 的储油库油气排放达标率分别为 95%、100% 和 100%,油气回收效率分别为 98%、99% 和 98%. 通过处理装置回收处理废气, 3 个典型城市储油库 NMHC 排放浓度≤10 $g \cdot m^{-3}$ 的比例分别为 85%、85% 和 91%. 以 A 城市为例,吸附法和冷凝 + 膜分离法占比分别为 41% 和 33%,膜分离和冷凝使用较少,合计占比 26%,吸附、膜分离、冷凝和冷凝 + 膜分离组合工艺 NMHC 排放浓度的中位数分别为 0.4、1.5、2.2 和 0.5 $g \cdot m^{-3}$,即吸附和冷凝 + 膜分离组合工艺的 NMHC 排放浓度较低.

4 结论

(1)美国、欧洲储油库标准控制范围不仅包含汽油,还包含原油和其他有机液体,而我国储油库排放标准 GB 20950-2007 仅适用于储油库中汽油油气回收,原油、航空煤油和石脑油等其他油品油气回收缺乏排放标准.

(2)GB 20950-2007 的油气 NMHC 浓度排放限值分别是美国联邦法规 Subpart XX、Subpart R 和 Subpart Y 的 0.5、1.8 和 8.9 倍,是南加州法规 Rule 462、Rule 1142 的 1.8 和 3.1 倍,是欧盟和德国指令的 0.7 和 500 倍;我国一般地区油气泄漏限值分别是 Subpart XX 的 0.5 倍,重点地区油气泄漏限值是 Rule 462 和 Rule 1142 的 0.7 和 2.0 倍.

(3)我国 3 个典型城市储油库油气处理装置进口和出口 NMHC 排放浓度 P5th ~ P95th 数值范围分别为 115 ~ 811 $g \cdot m^{-3}$ 和 0.1 ~ 20.0 $g \cdot m^{-3}$,进口浓度比出口浓度高出 2 个数量级, 85% 以上的储油库出口 NMHC 排放浓度≤10 $g \cdot m^{-3}$.

(4)建议将 GB 20950-2007 适用范围扩大为原油、汽油(含乙醇汽油)、航空煤油和石脑油,油气处理装置 NMHC 排放浓度限值从 25 $g \cdot m^{-3}$ 加严为 20 $g \cdot m^{-3}$,增加特别排放限值 10 $g \cdot m^{-3}$.

参考文献:

[1] 宋伟强, 高宇. 油气挥发污染控制技术探讨[J]. 环境保护科学, 2009, **35**(6): 4-6.
Song W Q, Gao Y. Discussion on pollution control technology for oil gas evaporation[J]. Environmental Protection Science, 2009, **35**(6): 4-6.

[2] 朱正祺, 卢金树, 邬甜甜, 等. 舟山经济特区保税燃料油加注过程油气挥发探索[J]. 特区经济, 2019, (3): 151-153.
Zhu Z Q, Lu J S, Wu T T, *et al*. Prospect of bonded fuel oil refueling in Zhoushan Special Economic Zone[J]. Special Zone Economy, 2019, (3): 151-153.

[3] 潘三军. 广州市油气回收治理现状浅析及存在问题对策研究[J]. 环境科学与管理, 2012, **37**(7): 21-23.
Pan S J. Research on present situation and problems of oil gas recovery in Guangzhou [J]. Environmental Science and Management, 2012, **37**(7): 21-23.

[4] 江梅, 邹兰, 李晓倩, 等. 我国挥发性有机物定义和控制指标的探讨[J]. 环境科学, 2015, **36**(9): 3522-3532.
Jiang M, Zou L, Li X Q, *et al*. Definition and control indicators of volatile organic compounds in China [J]. Environmental Science, 2015, **36**(9): 3522-3532.

[5] 崔虎雄. 上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算[J]. 环境科学, 2013, **34**(12): 4529-4534.
Cui H X. Estimation of the formation potential of ozone and secondary organic aerosol in Shanghai in spring [J]. Environmental Science, 2013, **34**(12): 4529-4534.

[6] Huang W Q, Bai J, Zhao S H, *et al*. Investigation of oil vapor emission and its evaluation methods [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2011, **24**(2): 178-186.

[7] Tamaddoni M, Sotudeh-Gharebagh R, Nario S, *et al*. Experimental study of the VOC emitted from crude oil tankers [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2014, **92**(6): 929-937.

[8] Bahadori A, Vuthaluru H B. Estimation of displacement losses from storage containers using a simple method[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2010, **23**(2): 367-372.

[9] Jackson M M. Organic liquids storage tanks volatile organic compounds (VOCs) emissions dispersion and risk assessment in developing countries: the case of Dar-Es-Salaam city, Tanzania [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2006, **116**(1-3): 363-382.

[10] Shi L, Huang W Q. Sensitivity analysis and optimization for gasoline vapor condensation recovery [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2014, **92**(6): 807-814.

[11] Webb G. Ensuring effective vapour recovery in oilfield storage [J]. World Pumps, 2017, **2017**(1): 14-16.

[12] Zhang X Y, Gao B, Creamer A E, *et al*. Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: a review [J]. Journal of Hazardous Materials, 2017, **338**: 102-123.

[13] GB 20950-2007, 储油库大气污染物排放标准[S].

[14] DB11/206-2010, 储油库油气排放控制和限值[S].

[15] 国务院. 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知[R]. 国发[2013]37 号, 北京: 国务院, 2013.

[16] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国大气污染防治法[R]. 北京: 国人民代表大会常务委员会, 2015.

[17] 环境保护部, 国家发展和改革委员会, 财政部, 等. 关于印发《"十三五"挥发性有机物污染防治工作方案》的通知[R]. 环大气[2017]121 号, 北京: 环境保护部, 国家发展和改革委员会, 财政部, 交通运输部, 国家质量监督检验检疫总局, 国家能源局, 2017.

[18] 黄玉虎, 胡玮, 任碧琪, 等. 我国挥发性有机液体储库 VOCs 排放标准现状分析[J]. 环境科学研究, 2018, **31**(12): 1987-1992.
Huang Y H, Hu W, Ren B Q, *et al*. Analysis of status of VOCs emission standards for volatile organic liquid terminals in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2018, **31**(12): 1987-1992.

[19] South Coast Air Quality Management District. RULE 462. Organic liquid loading[EB/OL]. http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/rule-iv/rule-462.pdf? sfvrsn = 4, 1999-05-14.

[20] South Coast Air Quality Management District. RULE 463. Organic liquid storage [EB/OL]. https://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/rule-iv/rule-463.pdf? sfvrsn = 4, 2011-11-04.

[21] South Coast Air Quality Management District. RULE 1142. Marine tank vessel operations[EB/OL]. https://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/reg-xi/rule-1142.pdf? sfvrsn = 4, 1991-07-19.

[22] Deutschlands Das Umweltbundesamt. Zwanzigste Verordnung zur durchführung des bundeslmmissionsschutzgesetzes (Verordnung zur begrenzung der emissionen flüchtiger organischer verbindungen beim umfüllen oder lagern von ottokraftstoffen, kraftstoffgemischen oder rohbenzin(20. BlmSchV)[S]. 1998.

[23] European Union. European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations[EB/OL]. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1994/63/oj, 1994-12-31.

[24] US Environmental Protection Agency. Subpart XX—Standards of performance for bulk gasoline terminals [EB/OL]. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx? SID = d05dcd87915da0e37a7ea192067a65dc&mc = true&node = sp40.8.60.xx&rgn = div6, 1983-08-18.

[25] US Environmental Protection Agency. Subpart R—National emission standards for gasoline distribution facilities (bulk gasoline terminals and pipeline breakout stations)[EB/OL]. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx? SID = 6e0b86b6db10ded221b9d9d237075ada&mc = true&node = sp40.11.63.r&rgn = div6#se40.11.63_1420, 1994-12-14.

[26] US Environmental Protection Agency. Subpart Y—National emission standards for marine tank vessel loading operations[EB/OL]. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx? SID = 08d2f0ff81c2982f2065f19973cfd737&mc = true&node = sp40.11.63.y&rgn = div6, 1995-07-19.

[27] 许光，张建中，邓万全，等. 储油库油气回收效果的检测及分析[J]. 石油化工安全环保技术，2016，**32**(4)：30-34.
Xu G, Zhang J Z, Deng W Q, *et al*. Detection and analysis of oil and gas recovery effect at storage depot[J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2016, **32**(4): 30-34.

[28] 张家铭，沈琳. 储油库不同油气回收处理装置使用情况分析[J]. 上海环境科学，2017，**36**(4)：167-169.
Zhang J M, Shen L. An analysis on the use of various oil and gas recycling devices in petroleum depots [J]. Shanghai Environmental Sciences, 2017, **36**(4): 167-169.

[29] GB 37822-2019，挥发性有机物无组织排放控制标准[S].

HUANJING KEXUE Vol. 41 No. 1
Environmental Science (monthly) Jan. 15, 2020

CONTENTS