

油气储运过程中挥发性有机物 (VOCs) 减排技术与政策研究

邵文杰 (东营港有限责任公司, 山东 东营 257000)

摘要: 随着环保意识的增强以及对空气质量要求的提高, 油气储运过程中挥发性有机物 (VOCs) 的减排成为行业关注的重点。基于此, 本文对油气储运各环节 VOCs 排放源及危害进行了深入探讨, 对吸附、冷凝等减排技术进行了详细分析, 并就国内外相关法律法规对 VOCs 减排的促进作用进行了研究, 以此为油气行业实现高效 VOCs 减排提供技术支持, 并在政策法规上提供参考, 促进油气行业的经济发展。

关键词: 油气储运; 挥发性有机物 (VOCs); 减排技术; 政策法规

中图分类号: X51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 026-0139-03

Research on Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Reduction Technologies and Policies in Oil and Gas Storage and Transportation

Shao Wenjie (Dongying Port Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With the increasing awareness of environmental protection and higher requirements for air quality, the reduction of volatile organic compounds (VOCs) emissions during oil and gas storage and transportation has become a key focus in the industry. Based on this, this paper conducts an in-depth discussion on the emission sources and hazards of VOCs in various stages of oil and gas storage and transportation, provides a detailed analysis of emission reduction technologies such as adsorption and condensation, and studies the promoting effects of domestic and international policies and regulations on VOCs reduction. The aim is to provide technical support for the oil and gas industry to achieve efficient VOCs emission reduction, offer references in terms of policies and regulations, and promote the economic development of the oil and gas industry.

Keywords: oil and gas storage and transportation; volatile organic compounds (VOCs); emission reduction technologies; policies and regulations

作为现代社会重要的能源资源, 石化行业必然存在挥发性有机物 (VOCs) 在开采、加工、储存、运输等环节的排放, VOCs 不仅是形成对大气环境质量有严重影响的臭氧和微粒物质的重要前体物, 还可能对刺激呼吸道、神经系统等人体健康造成危害。近年来, 与 VOCs 排放密切相关的雾霾天气在我国多地频发, 臭氧污染事件也屡有发生, 因此, 改善大气环境质量, 保障公众健康, 促进油气行业可持续发展, 对研究油气储运过程中 VOCs 减排技术, 完善相关政策具有十分重要的意义。

1 油气储运过程中 VOCs 的排放源及危害

1.1 油气储运过程中 VOCs 的排放源

①储存环节。在油品储存过程中, VOCs 的主要来源是“小呼吸”和“大呼吸”排放, 当压力开启时, 油气排出罐外, 形成“小呼吸”排出, 由于昼夜温差的变化, 罐内油气空间的压力随之改变, 如夏季高温时段, 白天罐体内温度升高, 油气膨胀, 压力增大, 通过呼吸阀大量排出 VOCs, 夜间温度降低, 罐体内压力减小, 会再次将外界空气吸入罐内, 造成 VOCs

更多地在下一次温度升高时排出。但油罐内液面的变化, 导致油罐内气体空间容积发生变化, 在油料收发作业时排出油气, 产生“大呼吸”排出, 据统计, 由于“大呼吸”, 一个中型油库每年排放的 VOCs 可达数百吨, 虽然浮顶储罐可以有效降低油气排放, 但仍有可能在浮顶与罐壁的密封处发生漏气现象, 因为密封件老化、损坏或安装不当, 液面变化导致储罐进出油时浮顶晃动, 特别是 VOCs 的泄漏量会增加^[1]。②装卸环节。当铁路槽车装卸油料时, 槽车内的油气会随着油料的装运或卸出而被置换出来, 排放到大气中去, 再者, 装卸鹤管与槽车接口处如果没有严格密封, 同样会造成漏油漏气的情况发生, 部分老旧铁路装卸过程中 VOCs 泄漏量明显增加, 原因是鹤管接口处磨损严重。公路油罐车在油品装卸过程中, 罐内原有油气进行置换排放, 装卸场地油气回收设施运行不正常等原因也会导致 VOCs 排放量较大, 一些小型加油站在油罐车卸油时, 因为油气回收设备没有及时维护, 大量油气直排大气中。③运输环节。管道运输相对封闭, 但由于密封不严或设备老化等原因, 管道的阀门、法兰、

泵等连接部位都可能发生微量油气泄漏,据调查,部分运行 10 年以上的输油气管道中,有 30% 左右的连接部位存在不同程度的渗漏问题。槽罐车在行驶过程中,也会因罐体受颠簸、温度变化等因素影响产生压力波动,从而引起呼吸阀内油气排出而产生 VOCs 泄漏,特别是长途运输时,温度的频繁变化,使罐体内气压不稳,从而使 VOCs 排放风险增大。

1.2 危害

①对大气环境的危害。VOCs 在太阳光下会与氮氧化物发生光化学反应,生成二次污染物,如臭氧,高浓度的臭氧不仅会导致大气能见度降低,还会对植物生长造成损害,影响生态平衡,因此,臭氧的浓度过高,会导致空气中的能见度降低。例如,臭氧会破坏植物叶子的细胞结构,造成叶子变黄、枯萎,农作物的产量也会因此而减少。同时,VOCs 中的苯、甲苯等部分成分也可能进一步参与形成二次有机气溶胶,对 PM_{2.5} 的生成、加重雾霾天气有重要贡献,研究表明,在部分城市的雾霾天气中,二次有机气溶胶对 PM_{2.5} 的贡献可达 30%–50%。②对人体健康的危害。很多 VOCs 气味刺激,会对人体的呼吸道、眼睛等部位造成刺激,从而出现咳嗽、流泪、呼吸困难等症状,长期暴露在含有 VOCs 的环境中,还可能造成神经系统、免疫系统等的损害,使癌症及其他疾病的患病几率增加。比如苯,长期接触可能引起血液系统的疾病,如白血病,这是一种明确的致癌物质,在一些油气储运设施周边的居民区,居民长期暴露在含有 VOCs 的空气中,呼吸道疾病和癌症的发病率明显高于其他地区。

2 油气储运过程中 VOCs 减排技术分析

2.1 源头控制技术

①浮顶罐改造。在固定顶罐内部加装浮动盖板,将浮动式盖板安装在固定式顶罐内部,最大限度地压缩储罐内的油气空间,利用盖板紧贴液面与空气接触的面积大大减少蒸发损失,行业数据显示,VOCs 蒸发损失可因内浮顶罐减少 80% 以上,此次技术改造难度较低,对原有罐体结构改变较小,但仍有少量气相空间,减排效果有待于其他密封措施的配合,以进一步提高。该技术主要应用于油库或炼化企业,对储藏安全性要求较高,储藏介质挥发度中等,另外,罐体顶部直接浮于液面变化上下浮动,使罐体内气相空间几乎完全消除,VOCs 减排量可达 90%–95%,该技术的关键在于密封系统,通过高效封边、导向管及其他附件实现密封,减少罐顶与罐壁缝隙的挥发。虽然罐顶直接暴露在外界环境中,易受风沙和雨水侵蚀,需要经常维修,但它的减排效率高,经济性好,尤其适用于原油和成品油储罐,储存量,油品挥发度高,

比如,某大型原油储备基地采用的是外浮顶罐,每年 VOCs 的排放量可减少数千吨。②密闭装车系统。传统顶部喷溅装车方式因油品剧烈扰动导致大量 VOCs 挥发,而底部装油法通过将鹤管插入油罐车底部,使油品平稳流入,减少液体表面波动,从而降低油气挥发,减排效率超过 90%。此法减排效果显著、操作便捷,用于各类油品装车作业频繁的油库、码头。在装车过程中,通过密闭管线将油罐车内挥发的油气输送至油气回收装置,实现 VOCs 的集中处理。该技术需与底部装油系统协同使用,确保装车全程无组织排放得到有效控制,既减少了环境污染,又实现了资源再利用^[2]。③管道与设备选材。采用组合式或双密封式阀门,使动密封点如管路、泵阀等处的渗漏危险明显降低,不仅可以减少管道腐蚀造成的渗漏,而且可以延长设备的使用寿命,减少了泄漏的危险,从材料源头降低泄漏风险,维护成本低,对密封要求严格的设施的新建或改造,适用于高压、高腐蚀工况。

2.2 末端治理技术

①吸附法。吸附法对 VOCs 的分离依赖于吸附剂,当含有 VOCs 的油气通过吸附床时,VOCs 分子被吸附剂表面的活性位点基于分子间作用力捕捉,从而气相转移到吸附剂表面,达到油气净化的目的,吸附剂表面存在大量的活性位点,随着吸附的进行,吸附剂会达到饱和状态,此时 VOCs 分子与吸附剂之间的作用力可以通过加热或降压的方式被打破,使 VOCs 从吸附剂表面脱附,使吸附剂重新生成并重复使用,同时又可以回收得到浓度较高的 VOCs。吸附法适用于在加油站、油库等油气储运场所广泛应用的中低浓度 VOCs 废气的处理,这样的场地通常空间有限,对排放的要求也比较高,吸附技术可以更好的满足需求,无论是日常油气回收的小加油站,还是储油过程中的尾气治理,都可以通过这项技术得到有效的净化。吸附法可大量去除石油和天然气中的 VOCs,使排放达到较低水平,并符合严格的环保要求,而且吸附剂也是可再生的,使运行费用降低,但其局限性也较为明显,吸附剂吸附容量有限,使用一段时间后需要定期更换或再生,且吸附设备通常体积较大,对于场地空间十分受限,设备安装使用存在困难^[3]。②冷凝法。冷凝法是将油气中的 VOCs 冷凝成液态,然后与气相分离,根据油气中各组分的沸点不同,达到分离的目的,使温度降低或压力增加,在实际操作中,一般是先预冷油气,除去大部分的水蒸气冷凝,再进一步冷却,从而促使 VOCs 冷凝循环再利用,此技术适用于在大型油气储存基地、LNG 接收站等对油气回收要求较高的场合,处理高沸点的 VOCs 废气。这些场所产生的废气中,沸点较高的

VOCs 含量较高,通过冷凝技术可以有效回收利用,且设备较为简单、运行稳定、维护费用较低的液态 VOCs 可以直接回收利用,但对于低沸点的 VOCs 来说,由于能耗明显增加,在处理低沸点 VOCs 时经济性较差,需要极低的温度才能达到较好的冷凝效果,如对含丁烷等沸点较高的 VOCs 废气进行冷凝处理,效果显著,而对含甲烷等沸点较低的 VOCs 废气进行处理,能耗明显上升,费用过高。③膜分离法。膜分离法是利用特殊高分子膜对不同气体分子渗透力的不同而进行分离的一种方法,当油气通过膜时,VOCs 分子因其自身特性优先穿过膜进入渗透侧,截留侧则留有空气等其他组分,从而完成了 VOCs 与其他气体的分离,可进一步回收处理从渗透侧获得的高浓度 VOCs,膜分离法适用于在油气回收领域潜力巨大的中高浓度 VOCs 废气的处理,特别是对回收效率和排放有较高要求的地方,在一些工业领域对环保要求比较严格,可以高效地将 VOCs 分离出来,满足排放需要,膜分离法的特点是分离效率高,操作简单,可在室温下运行,能耗相对较低,且设备紧凑,占地面积小,但膜材料成本高,且膜的寿命有限,需要定期更换,同时必须对进气进行严格的预处理,否则容易造成膜污染,影响膜的使用寿命^[4]。④组合法。单一减排技术存在一定的局限性,组合法增强 VOCs 减排效果的方式是发挥各种技术优势,将多种技术联合使用,可根据实际需要灵活调整组合方式,如对高沸点 VOCs 和大部分油气先采用冷凝技术回收,降低油气浓度,然后对剩余的低浓度 VOCs 采用吸附技术进行深度处理,以保证达到较高的排放标准。组合法适用于排放要求极为严格、油气成分复杂的油气储运场所,这些场所对环保要求高,油气成分多样,单一技术难以满足需求,组合技术则能有效应对,组合法可以充分发挥各种技术优势,实现 VOCs 的高效去除,满足严格的排放标准。

3 油气储运过程中 VOCs 减排政策

3.1 国内政策

我国陆续出台了《储油库大气污染物排放标准》《加油站大气污染物排放标准》《汽油运输大气污染物排放标准》等一系列针对油气储运过程中 VOCs 排放的标准,对不同油气储运设施的 VOCs 排放限值进行了明确规定,严格规范了油气行业的排放行为规范。这些标准根据不同地区的环境承载力和经济发展水平,在有效控制 VOCs 排放的同时,确保在促进油气行业发展的同时,制定了差异化的排放限值,对于积极采用先进减排技术并实现达标排放的企业,各地政府已出台政策要求油气储运企业开展 VOCs 治理,并给予一定的资金补助或税收优惠。比如,对于安装

了高效油气回收装置的油库、加油站等,有的地方政府在设备购置费用上给予一定比例的补助,鼓励企业主动减排转型,同时,通过定期不定期抽查和在线监测等方式,加强对油气储运企业的环境监管,确保企业 VOCs 达标排放,对排放超标的企业,将依法从严从重处罚,促使其把减排责任真正落实到位。

3.2 国外政策

欧盟对石油天然气储运等行业的 VOCs 排放实施管制,通过制定《工业排放指令》等政策法规,强调采用最佳可控技术,并要求企业对 VOCs 排放情况进行定期报告,制定详细的环境管理计划,欧盟还积极推动成员国间共同应对 VOCs 污染问题的信息共享与合作,建立能够及时掌握各成员国油气行业 VOCs 排放情况并采取针对性措施加以治理的统一监控与报告制度^[5]。美国环保署为严格限制 VOCs 排放制定了严格的国家环境空气质量标准,同时,要求相关行业通过实施《清洁空气法》等法律法规,在 VOCs 减排方面采取最佳可行的控制技术。此外,还建立了企业可通过交易排放额度来满足减排要求的排污交易制度,这使得企业采用更先进的减排技术在一定程度上受到鼓舞,例如,在排污交易市场中,部分采用先进减排技术的企业,通过出售超额排放配额来获取额外的经济利益,从而对行业减排技术的开发起到了进一步的促进作用。

4 结论

综上所述,油气储运过程中排放 VOCs,既造成了资源浪费,又严重影响了大气环境,影响人体健康,因此,VOCs 减排已成为油气行业绿色发展的关键任务之一。本文对源头控制、末端治理等层面以及国内外的相关政策法规进行详细的分析,以此实现更高效的 VOCs 减排目标,推动油气行业可持续发展,共同改善大气环境质量,提供更加高效、经济、环保的 VOCs 减排技术,为油气储运行业的绿色发展提供了强有力的支持。

参考文献:

- [1] 周颢,拓思阳.石化行业 VOCs 排放特征与源头控制技术[J].化工管理,2025(13):56-58+68.
- [2] 郭军.化工企业挥发性有机物排放监管现状与改进[J].山西化工,2025,45(05):289-292.
- [3] 李辉,马源,乔国庆.化工企业 VOCs 废气综合治理措施研究[J].石化技术,2025,32(05):376-377.
- [4] 李硕,李鑫,赵金刚.储罐 VOCs 排放综合治理措施探讨[J].安全、健康和环境,2025,25(05):67-71.
- [5] 姚方彬,杜志胜,单玉琴.浅析油气储运中的安全隐患及防范措施[J].中国石油和化工标准与质量,2023(17):71-73.