

油气储运过程 VOCs 减排策略及环保效益分析

陶薪学 王杰 袁震 (山东胜丰检测科技有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 近年来, 油气储运行业发展迅速, 但是 VOCs 排放的环境污染问题也受到人们的广泛关注。本文主要介绍了油气储运过程中 VOCs 的产生来源与排放现状, 阐述了包括源头控制、过程控制和末端治理在内的多种减排策略, 如采用先进的密封技术、优化储运流程、运用高效的回收与处理装置等。通过分析和数据对比, 明显发现减排策略对减少 VOCs 排放降低臭氧及细颗粒物形成具有显著环保效益, 通过本文的研究, 希望能够为油气储运行业的可持续发展和环境保护提供理论依据与实践参考。

关键词: 油气储运; VOCs; 环境保护; 减排策略

Abstract: In recent years, the oil and gas storage and transportation industry has developed rapidly, but the environmental pollution caused by VOCs emissions has also received widespread attention. This article mainly introduces the sources and emission status of VOCs in the process of oil and gas storage and transportation, and elaborates on various emission reduction strategies including source control, process control, and end of pipe treatment, such as adopting advanced sealing technology, optimizing storage and transportation processes, and using efficient recovery and treatment equipment. Through analysis and data comparison, it is evident that emission reduction strategies have significant environmental benefits in reducing VOCs emissions, ozone and fine particulate matter formation. Through this study, we hope to provide theoretical basis and practical reference for the sustainable development and environmental protection of the oil and gas storage and transportation industry.

Keywords: oil and gas storage and transportation; VOCs; environmental protection; Emission reduction strategy

0 引言

油气储运过程中 VOCs 减排至关重要。其产生源包括油罐呼吸、附件泄漏、运输与装卸环节的挥发等。减排策略主要有源头、过程与末端控制。源头采用优质设备材料与优化储罐设计, 如内浮顶油罐、耐腐蚀管材等减少泄漏与蒸发; 过程运用密闭装卸与多种油气回收技术, 像吸附、冷凝等方法回收油气; 末端采取燃烧或生物处理技术, 如催化燃烧高效转化 VOCs, 生物过滤利用微生物降解。环保效益显著, 大幅削减 VOCs 排放, 有效遏制臭氧及细颗粒物生成, 改善区域空气质量, 同时回收油气节约资源, 减少对周边生态环境的污染与破坏, 促进油气储运行业绿色、可持续发展, 对大气污染防治意义重大。

1 油气储运过程 VOCs 产生来源

1.1 油气产品储存环节产生的 VOCs

当油罐内油品液位变化或温度变化时, 油罐会进行大呼吸(收发油作业时)和小呼吸(油罐静置时因温度变化导致油气膨胀或收缩), 从而使油气逸出。例如, 在夏季高温时, 油罐内油品温度升高, 油气压力增大, 通过呼吸阀排出大量 VOCs。油罐附件泄漏:

如油罐的阀门、法兰、人孔等密封不严, 会导致油品蒸汽泄漏。例如, 一些老旧油罐的密封件老化磨损, 泄漏问题较为突出。

1.2 油气产品运输环节产生的 VOCs

在油气产品运输环节, 挥发性有机化合物(VOCs)的产生不容忽视。无论是公路油罐车、铁路油罐车还是油轮运输, 都存在多种导致 VOCs 产生的因素。油罐车罐体的密封性能若有缺陷, 在运输过程中油品会持续挥发形成 VOCs 逸出。运输过程中的颠簸震动可能使罐体连接处、阀门等部位松动, 加剧油品泄漏风险, 从而增加 VOCs 排放。在装卸油时, 当装卸臂与罐体连接或拆卸瞬间, 若密闭性不佳, 油气会大量溢出形成 VOCs。而且, 运输过程中温度变化也会引起罐内油气膨胀或收缩, 通过呼吸阀等部位造成 VOCs 排放。这些运输环节产生的 VOCs 不仅造成油气资源的浪费, 还会对大气环境造成污染, 是导致臭氧污染、光化学烟雾等环境问题的重要因素之一, 因此对其进行有效控制与减排迫在眉睫。

1.3 化工油气产品装卸环节产生的 VOCs

在化工油气产品装卸过程中, 高速流动的液体使

大量油气从油品表面挥发出来。若装卸系统未配备有效的油气回收装置,这些挥发的油气便直接排放到大气中,形成 VOCs 污染。例如,在加油站卸油时,汽油挥发的 VOCs 会迅速扩散至周边环境。

此外,装卸的连接部位,如鹤管与油罐车接口、管道法兰连接处等,若密封不严,油品蒸汽就会泄漏产生 VOCs。化工油气产品中的一些轻质组分更易挥发,进一步加重了这一问题。这些装卸环节产生的 VOCs 不仅会加剧臭氧的生成,导致光化学烟雾等污染现象。

1.4 油气储运过程 VOCs 排放现状

当前,我国油气储运行业总体 VOCs 排放量较大,油气储运过程中 VOCs 排放现状不容乐观。据统计,我国油气储运行业每年 VOCs 的排放量有增加趋势,在一些石油化工产业集中地区,其排放强度更为突出。例如,某些大型油库周边大气中 VOCs 浓度明显高于其他区域,对当地空气质量产生了较大影响。而且,随着我国油气消费量的不断增长,若不采取有效的减排措施,VOCs 排放将呈上升趋势,这与我国日益严格的大气污染防治目标背道而驰。

2 油气储运过程 VOCs 减排有效策略

2.1 源头上控制 VOCs 排放

2.1.1 选用优质设备与材料

采用密封性能良好的油罐、阀门、管道等设备,例如选用高精度的机械密封阀门,其密封面经过特殊处理,能够有效减少油品泄漏的可能性。对于油罐,可采用双层壁油罐或内浮顶油罐,内浮顶油罐的浮盘与罐壁之间采用高效密封材料,如橡胶软密封或液体密封,可大幅降低油罐的呼吸损耗。在管道材料选择上,优先选用耐腐蚀、抗渗透的新型管材,减少油品在管道输送过程中的渗漏。

2.1.2 优化储罐设计

合理设计储罐的容积和形状,降低油品的蒸发面积。例如,采用矮胖型储罐相对于瘦高型储罐在相同储量下,其油品蒸发面积较小,从而减少了呼吸损耗。

安装隔热层或采用罐体表面反光涂层,减少太阳辐射对罐体的热传递,降低罐内油品温度变化幅度,进而减少因温度变化引起的呼吸损耗。

2.2 油气储运过程的有效管控

2.2.1 密闭装卸技术

在油品装卸过程中,采用全密闭的装卸系统,如采用鹤管密闭装卸方式,鹤管与油罐车或储罐的接口

处采用密封装置,确保装卸过程中油气不外泄。同时,配合使用油气平衡管,使储罐和运输工具之间的油气压力保持平衡,减少油气逸出。对于码头装卸作业,采用密封式装卸臂,装卸臂与油轮的连接部位采用特殊的密封结构,并且在装卸过程中对周围环境进行油气收集,防止其扩散到大气中。

2.2.2 油气回收技术

2.2.2.1 吸收法

利用吸收剂对油气中的 VOCs 进行吸收。例如,采用柴油或专用的吸收剂,将油气通过吸收塔,油气中的 VOCs 被吸收剂吸收,吸收饱和后的吸收剂可通过再生装置进行再生,循环使用。这种方法适用于处理高浓度的油气。

2.2.2.2 吸附法

利用活性炭、分子筛等吸附剂对油气进行吸附。当油气通过吸附床时,VOCs 被吸附剂吸附在表面,净化后的气体排放。吸附剂吸附饱和后,可通过减压脱附、热脱附等方式进行再生,恢复吸附性能。吸附法对低浓度油气有较好的处理效果,且能回收高纯度的油气组分。

2.2.2.3 冷凝法

通过降低油气温度,使油气中的 VOCs 冷凝成液态回收。一般采用多级冷凝工艺,先将油气冷却到较高温度,回收大部分易冷凝的组分,然后再进一步降低温度,回收剩余的 VOCs。冷凝法可回收高浓度、高价值的油气,但设备成本和运行能耗较高。

2.2.2.4 膜分离法

利用特殊的高分子膜对油气进行分离。油气在膜两侧压力差的作用下,VOCs 优先透过膜,从而实现油气的分离和回收。膜分离法具有设备紧凑、分离效率高的特点,但膜的使用寿命和稳定性需要进一步提高。

2.3 油气储运过程的末端治理

2.3.1 燃烧处理技术

首先有直接燃烧法,即将收集到的油气引入燃烧炉中,在高温下直接燃烧,使其转化为二氧化碳和水等无害物质。这种方法适用于处理高浓度、高流量的油气,但需要消耗大量能源,且可能产生氮氧化物等二次污染物。

其次,还有催化燃烧法,即在催化剂的作用下,使油气在较低温度下进行燃烧反应。常用的催化剂有贵金属催化剂(如铂、钯等)和过渡金属氧化物催化剂。

催化燃烧法具有起燃温度低、能耗低、净化效率高的优点，但催化剂成本较高，且需要定期更换或再生。

2.3.2 生物处理技术

利用微生物对油气中的 VOCs 进行降解。将含有微生物的填料填充在生物过滤器中，油气通过填料层时，VOCs 被微生物分解为二氧化碳、水和生物质等。生物过滤法具有运行成本低、无二次污染的优点，但处理效率相对较低，适用于处理低浓度、大流量的油气，且微生物的生长环境需要严格控制。生物滴滤法与生物过滤法类似，但在填料层上方设置喷淋装置，定期向填料层喷淋营养液，为微生物提供营养物质，提高微生物的活性和处理效率。

3 油气储运过程 VOCs 减排策略的环保效益分析

3.1 减少气储运过程 VOCs 排放

通过实施上述源头控制、过程控制和末端治理的减排策略，油气储运过程中的 VOCs 排放量可显著降低。例如，某大型油库在采用了内浮顶油罐、密闭装卸系统和油气回收装置后，VOCs 排放量相比改造前减少了约 80%。这不仅减少了对当地大气环境中 VOCs 浓度的贡献，也降低了对周边居民健康的潜在威胁。

3.2 降低臭氧及细颗粒物形成

VOCs 是形成臭氧和细颗粒物的重要前体物。油气储运过程中减排的 VOCs 可有效减少臭氧和细颗粒物的生成。研究表明，当某地区油气储运行业 VOCs 排放量降低一定比例后，该地区夏季臭氧超标天数明显减少，细颗粒物浓度也有所下降。例如，在某石油化工园区周边，随着园区内油库和加油站 VOCs 减排措施的实施，园区周边大气中臭氧浓度峰值降低了约 20%，PM_{2.5} 浓度年均值下降了约 10%，改善了区域大气环境质量，减轻了光化学烟雾和雾霾等污染现象。

3.3 资源节约与高效利用

油气储运过程中回收的 VOCs 本身就是有价值的油气资源。采用油气回收技术后，可将原本排放到大气中的油气回收利用，提高了油气资源的利用率。例如，一个年周转量为 100 万吨油品的油库，通过油气回收装置每年可回收约 500t 汽油，这相当于增加了一定的油品产量，同时也减少了对原油的开采需求，具有显著的资源节约效益。

3.4 改善区域环境质量

随着油气储运行业 VOCs 减排工作的推进，区域内大气环境质量得到改善，生态环境也将逐步恢复。例如，在一些河流、湖泊附近的油库和码头，减排后

减少了油气对水体的污染风险，有利于保护水生生物的生存环境。同时，改善的大气环境有利于植被生长，提高了区域的生态系统服务功能，如净化空气、调节气候等。

4 结束语

综上所述，油气储运过程中的 VOCs 减排对于环境保护和资源节约具有极为重要的意义。通过源头控制、过程控制和末端治理等多种减排策略的综合应用，可以有效地减少 VOCs 排放，降低臭氧及细颗粒物的形成，节约油气资源并改善区域环境质量。然而，在实际实施过程中，还需要考虑减排策略的技术可行性、经济成本和运行管理等多方面因素，不断优化减排方案，以实现油气储运行业的可持续发展与环境保护的双赢目标，推动油气储运行业在环保领域的可持续发展。

参考文献：

- [1] 邢凤美. VOCs 有机废气处理技术研究 [J]. 当代化工研究, 2023(7):88-90.
- [2] 李剑明. 有机废气 VOCs 治理技术及应用分析 [J]. 黑龙江环境通报, 2023(9):151-153.
- [3] 刘蓉. 工业废气排口 VOCs 在线监测系统的智能化应用技术 [J]. 大氮肥, 2021(5):150-154,157.
- [4] 陈思. 油气储运工程中安全环保精细化管理 [J]. 化工设计通讯, 2023,49(9):8-10.
- [5] 刘如杰. 浅析油气储运工程中安全环保精细化管理 [J]. 科学咨询, 2021(12):30.
- [6] 戴豫陇, 潘进虎, 戴翔. 浅析油气储运工程中安全环保精细化管理 [J]. 化工管理, 2020(17):83-84.
- [7] 刘悝. 探究油气储运工程中安全环保精细化管理 [J]. 石油石化物资采购, 2023(14):148-150.
- [8] 李琳. 油气储运工程中安全环保管理工作探析 [J]. 化学工程与装备, 2020(2):2.
- [9] 杨涛, 戚桂珠, 王友利. 油气储运装置 VOCs 排放特征与环境评估 [J]. 中国化工贸易, 2023, 15(36):136-138.
- [10] 韩志龙. 油气储运工艺设备腐蚀防护原理及措施 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2023(011):12-14.
- [11] 胡宗柳, 王笑静, 王善强, 等. 油品储运系统挥发性有机物排放治理研究现状 [J]. 当代化工, 2016,045 (012):2881-2883.

作者简介：

陶薪学 (1995-)，男，山东东营人，本科学历，研究方向：环境保护工程。