

石油化工企业储罐 VOCS 安全设计与管理策略

张振强（东营亚鑫化工有限公司，山东 东营 257000）

张振壮（山东宏坤环境服务有限公司，山东 东营 257000）

摘 要：石油化工企业在生产过程中，储罐是一个重要的设施，但储罐中的挥发性有机化合物（VOCS）如果管理不当，可能会对环境 and 人体健康造成严重危害。本文从储罐 VOCS 排放的危害与影响、安全设计策略和管理策略三个方面进行了理论论述。文章指出，VOCS 排放会导致大气、水体和土壤污染，对人体健康产生急性和慢性中毒以及致癌风险，同时也会给企业带来环保处罚、社会形象损害和经济损失。为了有效控制 VOCS 排放，文章提出了储罐材质选择、结构设计和附属设施设计等安全设计策略，以及 VOCS 监测与预警、回收与治理和储罐运行管理等管理策略。文章强调，石油化工企业要高度重视储罐 VOCS 的安全设计与管理，从源头控制排放，采取有效措施，最大限度地减少 VOCS 对环境和人体健康的危害，实现绿色、安全、可持续发展。

关键词：石油化工企业；储罐；挥发性有机化合物（VOCS）；安全设计；管理策略

0 引言

石油化工企业在生产过程中，储罐是一个重要的设施，用于存储各种原料、中间产品和成品。然而，储罐中的挥发性有机化合物（VOCS）如果管理不当，可能会对环境 and 人体健康造成严重危害。因此，如何在储罐设计和管理中有效控制 VOCS 排放，确保安全生产，是石油化工企业面临的重要课题。

1 储罐 VOCS 排放的危害与影响

1.1 VOCS 对环境的影响

1.1.1 大气污染

VOCS(挥发性有机化合物)一旦排放到大气环境中，便会与大气中的其他污染物质——尤其是氮氧化物等，引发复杂的光化学作用。此过程不仅会导致臭氧浓度大幅度提高，同时还可能创造出大量的光化学烟雾。这些连锁反应最后会导致加剧局部和全球范围内的环境污染问题。严重的是，部分挥发性有机化合物（VOCs）具备损耗破坏臭氧层的能力。探索表明，氯氟烃等挥发性有机化合物对大气平流层臭氧层造成特别严重的破坏。这不可避免地加重全球气候变暖趋势，给地球气候环境带来无法预测甚至可能是恶劣的后果。确实，VOCS 排放与光化学烟雾、臭氧层浓度上升以及全球变暖之间的复杂关系尚未被全面解析，然而可以肯定的是，它们之间存在不容忽视的紧密关联。正如美国环保局在《大气污染物排放名录》中所具体阐述的一样：挥发性有机化合物的释放是罪魁祸首 VOCS 排放，这个观点在社会大众已经深入人心。因此，在当前全球环境问题日趋严峻的大背景下，对

VOCS 排放实施有效管控变得尤为关键。这样能够有效地阻止烟雾污染的产生，减少臭氧层含量，还能缓解全球气候恶化现象。如今，这是一个亟待解决并且紧迫的实际问题。

1.1.2 水体污染

一旦 VOCS（挥发性有机化合物）进入水体，它会带来一系列连锁反应，因此导致水质长期受损。水体营养过剩现象日趋恶化，氮、磷等营养元素含量急剧升高，从而引发藻类及水生植物过量滋生。这最终导致水域中的水体中的氧气极度短缺，进一步诱发鱼类及其他水生生物因缺氧而广泛死亡，彻底颠覆了水生态系统的平衡。严重的是，部分难以被微生物分解的 VOCS（如多环芳香烃和氯代烃农药等等），在水域中长期积累。经过生态链（包括藻类、浮游生物、鱼类等环节）的逐步堆积，最终进入人体，对人体健康带来安全隐患。根据美国环保署（EPA）的研究，长时间身处高强度 VOCS 的水域，可能引发人体免疫力降低、神经受损、肝肾失调各种健康风险。因此，VOCS 对水资源和人类生活质量构成的威胁已经凸显，迫切需要引起我国全体公民的广泛关注。

1.1.3 土壤污染

挥发性有机化合物（VOCs）一旦进入土壤环境，其所带来的潜在生态毒性效应可谓巨大。这些遍布的化学污染物对人体健康和环境产生了严重危害。它们能够显著削弱土壤微生物群落的活力，从而引发土壤肥力的降低，进一步破坏土壤环境的健康状况和可持续发展能力。相当严重的是，部分挥发性有机化合物

如多环芳烃（PAHs）和多氯联苯（PCBs）等，因其难以被微生物分解，表现出顽固性。这些化学物质能在地里长期残留，经植物根部吸收后进入农作物，进而污染食物链，对人体健康造成潜在风险。众多研究表明，长期暴露于挥发性有机化合物（VOCs）污染环境的人群，神经系统受损、免疫力下降、内分泌失衡以及癌症等病患几率大幅提高。因此，研究挥发性有机化合物在土地生态系统中的传播转化、累积趋势各种现象，并深入剖析其对土壤-植物体系及整体生态环境的作用机理，对于确保食品安全、保持身体健康、恢复生态环境以及推动农业长久发展至关重要且急需研究的重要性。

1.2 VOCs 对人体健康的危害

①急性中毒。高浓度的 VOCs 可能会导致人体出现头晕、恶心、呕吐、眼睛和呼吸道刺激等急性中毒症状，严重时甚至会导致昏迷、抽搐等。②慢性中毒。长期接触低浓度的 VOCs 可能会导致人体出现慢性中毒症状，如记忆力减退、免疫力下降、肝肾功能损害等。③致癌风险。一些 VOCs，如苯、甲苯、二甲苯等，被国际癌症研究机构列为致癌物质。长期接触这些物质会增加人体患白血病、淋巴瘤等癌症的风险。

1.3 VOCs 排放对企业的影响

①环保处罚。随着环保法规的日益严格，企业超标排放 VOCs 将面临巨额罚款、限产停产等处罚，严重影响企业的正常生产经营。②社会形象损害。VOCs 排放引起的环境污染和健康危害会损害企业的社会形象，引起公众和媒体的负面关注，影响企业的声誉和竞争力。③经济损失。为了治理 VOCs 排放，企业需要投入大量资金进行设备升级改造、污染治理等，增加了生产成本。同时，因环保处罚和社会形象损害导致的经济损失也不容小觑。

2 储罐 VOCs 安全设计策略

2.1 储罐材质选择

2.1.1 不锈钢材质

钢铁制品具备非常好的抗腐蚀性能，有效防止了存放物品对储存容器壁的损害，从而降低了 VOCs 的泄漏和排放。不锈钢这种材料拥有卓越的机械硬度和热稳定性，因此在高压、高温等极端工作环境下，它可以满足储罐等设施的需求。304、316L 等类型为常见不锈钢材质，选择哪种不锈钢取决于存放介质的性质和环境条件。

2.1.2 内衬材料

对于特定类型的存储设备，如强酸、强碱等，我们可以在罐体内添加防护层，如玻璃钢、氟塑料等材

质，这样一来，就能提高罐体的抗腐蚀能力，进而增加其使用期限。在挑选内衬材料时，我们需全面兼顾存储介质的性质、温度、压力等因素，保证材质匹配无误，同时拥有优良的粘附性和耐用性。

2.1.3 复合材料

复合物料是由不同材质组合而成，具备轻巧、坚固、抗腐蚀及抗老化等优势，适用于制造大型储罐。常见的复合材料类别涵盖了玻璃钢与碳纤维复合材料等品种。在研发复合材料储罐的过程中，我们需综合考虑材料的物理性能、热稳定性以及抗腐蚀性等各种要素，以确保储罐的稳定性和安全性。

2.2 储罐结构设计

2.2.1 浮顶式储罐

常见储罐类型是一种常见的储罐类型，其特点是浮顶设计。这种储罐会随着液面的升降而漂浮，始终维持和液面紧密贴合。通过减小液面与罐顶的接触面积，进而减少有毒气体散发和排放。在设计浮顶式储罐时，我们需充分考虑浮顶的密封性、稳定性以及防火特性，从而确保其能有效地减少 VOCs 排放。

2.2.2 内浮顶式储罐

内置浮顶储罐融合了密闭顶储罐和浮动顶储罐的优势，在固定顶储罐内部加入了浮顶设备。内浮顶随着液面波动，有助于减少 VOCs 的挥发和排放；固定顶部的存在，为建筑物提供了额外的防护，大大降低了火源引发火灾爆炸事故的风险。在设计内浮顶式储罐时，我们需全面考虑内浮顶的密封性能、浮力作用以及导向设备的合理性，确保其在液面之上稳定且可靠地漂浮。

2.2.3 固定顶储罐

传统的固定顶储罐，其特色在于罐顶与罐体紧密结合，导致液面与罐顶之间无间隔，从而让 VOCs 挥发得更加剧烈。为了减少 VOCs 的排放，顶部储罐的稳定布局需要实施比如设置呼吸装置、搭载浮动装置等相应对策。储罐的安全性能与其抗压、阻燃、防雷等各项性能密切相关，因此在评估时需全方位斟酌。

2.3 储罐附属设施设计

2.3.1 呼吸阀

储罐的常规配件之一便是呼吸阀，它的任务就是平衡罐内外的压力差异，以避免压力过高或过低。呼吸阀的构造就绪需全面权衡储藏空间的尺寸、介质性质以及外部环境因素各种要素。为了确保呼吸阀能稳定地进行调压，同时降低挥发性有机化合物的释放，我们需要在选材、口径和开启压力等方面选择合适的参数。

2.3.2 压力真空阀

压力调控器是一种把控压力的工具,相较于呼吸阀,其科技更为领先。这种阀门具备压力阀和真空阀的功能特点,能够在储罐压力过高时自动启动排压,或在内部压力过低时自动进气,从而维持罐内罐外压力平衡。在压力真空阀的设计过程中,不得不权衡储罐大小、介质性质以及周围环境因素,从而选定合适的材料、管径以及启动压力等关键数据。务必保证阀门能稳定调控压力,并力求减少 VOCS 的排放。

2.3.3 氮封系统

作为一种广泛应用于 VOCS 排放控制的策略,氮气封闭系统利用向储罐顶部空间填充氮气,形成惰性气体防护层,从而有效地隔离液面与空气的互动,进一步降低 VOCS 的散发和排出。在设计氮封系统时,我们需要全面考虑储罐的容量、形状以及储存介质的特性等因素,合理设置氮气的注入口、流量和压力等参数,以确保氮封装置能持续地实现隔离作用,同时不影响储罐的正常运作。

除特定设计策略外,储罐安全构造还需留意防止静电积聚、防雷防护、防腐措施、防火防爆设施等多方面因素,以确保罐体运行平稳。储罐设计应遵循我国及相关行业的标准法规,经过严密的核实和确认,以保证其符合安全与环保的各项规定。

3 储罐 VOCS 管理策略

3.1 VOCS 监测与预警

3.1.1 在线监测系统

为了实时监测储罐 VOCS 排放状况,务必配置网络监控设备。该系统的组成部分包括 VOCS 浓度传感器、数据采集与传输设备,以及监控软件。在储罐的呼吸阀、放空口等关键区域,设置了传感器,这些传感器能够持续监测挥发性有机化合物(VOCS)的浓度,并将所收集到的信息实时传输至指挥中心。监控设备可自主设定预警界限,一旦超过浓度限制,便会自动发出警报,通知相关人员采取相应行动。

3.1.2 定期人工监测

为了确保在线监测数据的精准性,除实时网络监控外,还需进行定期的手动审查,以便迅速察觉同时处理潜在的在线监测系统故障。专家依据标准操作,借助便携式 VOCS 检测仪器实施人工检测。储罐的种类、所容纳的物料以及 VOCS 的排放水平等因素一起作用了巡查频率,一般而言,这周期为每月或每季度。

3.1.3 预警响应机制

搭建全面的应急处理制度,制定各种预警级别以及对应的应对策略。一般可设置两级预警:黄色警报与红

色警报。当 VOCS 浓度跨越第一个临界值时,发出警报机制,紧迫追查源头,并采取限制排放的行动;一旦浓度攀升至第二个阈值以上,便会触发警报拉响,即时激活应急方案,执行紧急对策,甚至在必要时暂停相关操作。经预警解除,对根源展开深度剖析,根据分析结果制定具体的改善计划,以确保类似问题不再发生。

3.2 VOCS 回收与治理

3.2.1 冷凝回收

对于高沸点的 VOCS,可采用冷凝回收的方法。将储罐呼吸阀排放的气体通入冷凝器,通过降温使 VOCS 冷凝成液体,再回收利用。该方法操作简单,回收效率高,但对于低沸点 VOCS 效果较差,且需要定期处理冷凝液。

3.2.2 吸附回收

活性炭吸附是一种常用的 VOCS 回收方法。将活性炭吸附装置连接到储罐呼吸阀,VOCS 被活性炭吸附去除。吸附饱和后,通过加热或蒸汽脱附,将 VOCS 解吸出来,经冷凝回收。活性炭再生后可重复使用。该方法适用于各种 VOCS,处理风量大,但需定期更换或再生活性炭,运行成本较高。

3.3 储罐运行管理

3.3.1 标准操作规程

制定储槽操作规范,对储罐的装卸、清洗、维护等环节进行规范化管理,以切实减少 VOCS 无组织排放。规程应包括但不限于以下内容:在储罐的操作流程、注意事项、呼吸阀与安全阀的检修保养、储罐清洗的频率和方法,以及泄漏检测与修复等方面,都应给予充分的关注和实施。操作人员必须严格遵守规程,规范操作。

3.3.2 人员培训与考核

对储罐操作员进行包括 VOCS 危害、储罐结构及工作原理、标准操作流程以及应急处理等方面的专项培训。为实现储罐安全环保操作技巧的熟练掌握,培训形式涵盖课堂讲解、现场示范以及案例剖析。定期对员工进行测评,考核不合格者不得上岗。

4 结语

石油化工企业要高度重视储罐 VOCS 的安全设计与治理,从源头控制排放,采取有效的回收与治理措施,加强运行管理,提高员工安全意识和操作技能,建立完善的应急响应机制,最大限度地减少 VOCS 对环境和人体健康的危害,实现绿色、安全、可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘琼,王伟.柴油储罐改造为汽油储罐设计要点探讨[J].中国设备工程,2023,(20):148-149.