

常压储罐安全技术分析及风险削减措施

王振勇（大连石化公司，辽宁 大连 116032）

摘 要：针对石化行业常压储罐的安全管理，本文分析了影响储罐安全运行的主要危害因素，并对其成因进行了简单探讨；从安全技术的角度，简要列出了储罐布置设计标准、安全附件维护内容和消防设施配置要求，阐述了静电放电机理，提出了防静电措施；在日常生产运行方面，总结了一些需要重点关注的控制参数和操作要求，并就储罐完整性，简略介绍了风险评价和完整性评估的方法，对提高常压储罐的安全管理，降低储罐运行风险，具有一定的参考意义。

关键词：储罐；危害因素；操作参数；安全管理；预防措施

0 前言

近年来，油品储罐着火、爆炸事故时有发生，给企业的安全生产带来很大压力。随着炼化一体化项目逐步大型化，配套储罐区的总库容、单体罐容量也随之增大，直径约 80m、罐容 100000m³ 的立体储罐已经成为大型原油储罐区的标配。该类储罐一般采用外浮顶式，在目前的技术水平及装备条件下，一旦罐内形成池火，消防扑救将相当困难。据了解 2010 年大连中石油“7·16”事故中，因管线爆炸导致 1 座 10 万立方米储罐起火，消防救援向火灾现场不间断供水 96 小时，阶段性供水至 7 月 25 日，累计供水量 1 万 8 千余立方米，可见大型储罐火灾的扑救难度。因此将安全管理关口前移，做好日常的危害因素识别和安全技术分析，采取有效的监管及削减措施，确保将罐区运行风险降低到可接受的范围，成为当下储罐区安全管理的重点。

1 储罐危害因素识别

1.1 储罐泄漏

储罐泄漏是指储罐完整性受到破坏，油品从罐内漏至外部空间的一种较常见危害，原因大多可归结于金属腐蚀或者人员误操作。泄漏往往伴随次生危害，如轻质油品溢出后，挥发蒸气和空气形成爆炸性混合气，遇点火源极易形成火灾，安全风险极大；外溢油品对地表土壤、周边水系及空气质量也会造成污染，有毒液体或气体还会造成人畜中毒等。

1.2 储罐冒顶与抽瘪

冒顶是储罐作业中的主要危害因素之一，当罐内油品液面高于安全液位后，仍未及时停止收油，油品将从罐顶各开口处冒出。

抽瘪属于储罐呼吸系统的危害。油品向外付出时，罐内液面下降，气相空间增大、压力降低，一般会通

过呼吸阀或透气孔吸进空气来平衡罐内压力，如果进气量不足，导致罐内压力急剧下降，罐顶板或壁板在大气压的作用，向内凹陷形成坍塌称为抽瘪。极端高温环境下突降暴雨，因剧烈的温度变化引起罐内压力下降时，也可能导致储罐向内凹陷。

1.3 储罐突沸

相较于轻质油储罐的着火、爆炸风险，储罐突沸是重质油和原油储罐区的防范重点。

重质油和原油可能含水较多，且储罐底部积水不易避免，水被加热汽化迅速上浮；因为油品粘度大，水蒸汽不能顺利溢出而与油品形成油包气的气泡，体积急剧膨胀，形成强烈的搅拌，从而将油品携带到罐外形成突沸。突沸是短时间内发生的猛烈喷溅现象，危害很大，可能导致罐顶炸裂、着火烫人等次生灾害。

试验证明，突沸需要同时具备以下三个条件^[1]：

①储存的是宽馏分油品，具有形成热波的效应。如原油、重油等重质油品；②油品中含有乳化或悬浮状态的水，或者在油层下有水垫层；③油品具有足够大的粘度，能在水蒸汽泡周围形成油膜。

1.4 罐内闪爆、着火

实际生产中，轻质油品（闪点 < 60℃）一般都储存在外（内）浮顶罐内。正常工况下，浮盘处于浮起状态，浮盘上部气相空间内油气浓度小于爆炸下限；因浮筒处于半浸没状态，浮盘下部与油面之间也存在着较小气相空间（全接液浮盘则没有该气相空间），但该空间内油气浓度远大于爆炸上限，所以罐内不存在爆炸性混合气。但是储罐闪爆、着火事故却屡见报端，原因主要有以下方面：①在储罐投用及停用时，罐内油气空间成分复杂，存在较大风险，遇明火或静电放电火花导致事故；②外部火源的侵入。与罐体相通的管线起火延烧至储罐，特别是近来因 VOCs 治理，将储罐气相空间相连通，

来自气相管线的火焰延烧危害也增大了。

2 储罐安全技术分析

2.1 罐区储罐布置

罐区内储罐布置及防火间距要求,必须满足相关技术规范。简言之,在同一罐组内,宜布置火灾危险性类别相同或相近的储罐,非沸溢性液体的储罐不应与沸溢性液体储罐同组布置^[2]。罐组的总容积应符合相关规定。罐组应设防火堤,多品种的液体罐组内还应增设隔堤,以便发生安全事故时,将泄漏区域或过火面积控制在较小范围内,避免延烧至周围储罐,所以防护墙或防火堤的材质要具有不燃烧的特点,且不得有裂缝、孔洞等破损。

2.2 储罐安全附件

储罐安全附件包括:呼吸阀、透气孔、泄压人孔、阻火器、液位计、温度表、静电消除器、可燃气体报警器等,安装在油罐顶部的呼吸阀,是保护油罐安全的重要附件之一,当罐内油气压力大于油罐允许工作压力时,油蒸气经压力阀外逸;当罐内油气压力小于油罐允许真空度时,新鲜空气通过真空阀进入罐内。最近随着氮气密封储罐的不断投用,采用氮气补充罐内压力的工况在增多。同时呼吸系统在一定压力范围内保持了储罐的密闭性,减少了油品的蒸发损耗。

应明确呼吸系统的检查频次,每次收发油作业时,听阀盘是否有开关的声响,目测是否有油气排出,鼻嗅是否有较浓油味,用手感觉是否有空气进出,冬季更要细致检查,以防止呼吸阀冻结。

阻火器是用来阻止易燃气体、液体的火焰蔓延和防止回火而引起爆炸的安全装置,通常安装在输送或排放易燃易爆气体的储罐和管线上。用于储罐时,经常与呼吸阀配套使用。阻火器适用于储存闪点低于28℃的甲类油品和闪点低于60℃的乙类油品,如汽油、煤油、原油、苯、甲苯等油品及化工原料的储罐^[3]。

储罐温度计、液位计等附件应保证设备完好、计量准确,同时根据罐内油品性质控制好温度、液位和水含量。

2.3 罐区消防设施

在储罐区设置消防系统,并应作为安全管理的重要项目,应设立足够的消火栓、灭火器,储罐本体应设置消防喷淋系统,大型罐组应设置事故存液池等。同时要有完善的避雷设施、接地系统和火灾自动报警系统,在罐组周围还应设置相应的危险提示标志等^[4]。

2.4 储罐防静电措施

当材料不同的两个物体接触时,通常会有自由电

子运动,如果其中之一或者两个物体都是不良导体,不均匀的电荷无法快速重组,突然分离这两个物体,就会导致一个物体电荷过剩而另一物体缺少电荷,把这两个物体与周围环境隔离,它们就趋于带等量异性电荷,电子过剩的物体带负电荷,而缺少电子的物体带正电荷,带电体电位差可以很容易达到几千伏^[5]。油品流动过程中,物料与容器壁、物料与水分(杂质)不断地接触、拉开,当静电荷产生速度大于消散速度时,电荷即积聚。随着静电荷的积聚,电场变强、电位差增加。石油工业中最关心的两种基本静电放电形式是:火花放电和刷形放电。

2.4.1 静电放电和静电引燃

火花放电产生于两个不同电位的导体间,通常其中一个导体没有良好地接地。例如,悬挂在静电积聚体和油槽车厢之间的金属即可产生火花放电。通过合理的设计、维护,以及正确的操作来避免这种未接地导电体的存在,即可阻止产生这种火花。在接地导体和电导率低的带电材料之间会发生刷形放电。如油品喷溅灌装时,注入管底部与油品之间会产生火花。可以通过避免电荷长时间积聚、限制流速等来阻止刷形放电的产生,也可以通过合理的设计和操作设备来避免导电物体深入容器当中去。放电产生足够的能量引起燃烧的现象被称为静电引燃。刷形放电和火花放电均能引燃普通烃类和空气的混合物。

2.4.2 静电事故预防措施

为避免静电事故的发生,在生产实际中,从不同角度出发,设计了很多预防措施,但并不是所有措施在每种情况下都适用。

为防止电荷产生,可采取如下措施:①从储罐底部收油,避免喷溅灌装;②设置初始收油速度,在液面浸没收油管口600mm后,再逐步提高流速,但也应限制最大流速。为防止电荷积聚,可采取如下措施:①在泵、流量计、混合器、过滤器等能够引起流体扰动的设备下游,保持足够的停留时间;②储罐、管线等设备可靠接地;为避免静电放电,可采取如下措施:①清除储罐和容器内的孤立导体或让其可靠接地;②在检尺、采样前保持足够的静止时间,使静电荷充分消散。在采取上述预防措施的前提下,还应尽量避免产生爆炸性混合气的环境空间。

2.5 储罐泄漏预防措施

储罐泄漏多发在罐底,个别可能出现在罐体抗风圈、保温支撑圈处,一般不易发现。日常生产中应定期记录分析储罐液位变化,加强现场巡检,力争在泄

漏初期发现问题,及时处置。

储罐定期进行风险评价和完整性评估,是避免泄漏事故的有效方法。

API Publ 353 提供了一种适用于储罐的定量风险评价方法,通过确定储罐泄漏场景、泄漏频率及后果,并计算泄漏频率与泄漏后果的乘积确定风险值,并将风险值排序^[6]。根据风险等级和分布情况,制定有针对性的风险管理策略,如针对高风险对象的检测工作,从而有效控制整体风险。

完整性评估是在风险评价的基础上,通过检测确定储罐可能存在的缺陷状态,并对检测出的缺陷进行适用性评估,确保风险不会由于缺陷的存在而增加,为采取措施削减风险提供直接依据。

储罐检测包括罐底、罐壁、罐顶及相关附件的检测,主要采用例行检测、在线检测和开罐检测。基于风险评价和完整性评估结果,可采取预防性措施、检测性措施和保护性措施等风险削减措施,降低特定泄漏事件的发生概率和后果。

3 储罐安全运行管理

3.1 储存介质的性质指标与控制

①富含液化气组分、凝缩油、C5、轻石脑油、重整拔头油等轻烃组分或富含轻烃组分的物流不得进入常压储罐;②在 40℃下饱和蒸汽压大于 88 kPa 的油品种不得单独进入常压储罐(上游操作条件变化可能引起外送物料携带易挥发组分时,应及时通知罐区做好转储调整,一旦大量进入储罐,挥发油气与空气形成爆炸性混合气体,容易引起闪爆);③生产过程中产生的凝缩油应尽量在装置内处理,如果出装置应进入压力罐储存(凝缩油的组分主要是汽油和液化气,C3-C8,含少量 C2)。

3.2 工艺指标控制及要求

3.2.1 温度控制要求

①石脑油、汽油、航煤及相应馏分油,储罐收油温度 $\leq 40^{\circ}\text{C}$;②对油品储存温度要求有监控记录,发现超指标应及时汇报,采取相应降温措施。

3.2.2 液位控制要求

①要求控制最低运行液位和最高运行液位,以防止储罐超储或机泵抽空;②储罐应分别设置高液位、高高液位报警和低液位、低低液位报警。

3.2.3 流速控制要求

收付油管线流速不大于 4.0m/s。进入储罐的油品流速:①在注入管口未浸没前,流速不应大于 1m/s;当注入管口浸没后,可逐步提高流速,但不应大于

4m/s;②液体油品含水量在 0.5% ~ 5% 范围时,进罐流速不得超过 1m/s;③浮顶储罐在浮盘浮起之前,流速不得大于 1m/s;浮盘浮起后可提高流速,但不应大于 4m/s。油品流速不仅与静电产生、积聚密切相关,储罐外付油品流速过大时,如果呼吸阀进气量不足,极易造成储罐抽瘪。

3.3 日常操作要求

储罐日常操作涉及到收付油、脱水、油品调合、加剂、倒罐、检尺、装卸车船等各类作业,具体要求较多,本文撷取要点一二,抛砖引玉,以示探讨。

①储罐脱水操作时,操作员不得离开现场,且脱水前应检查附近有无施工火点,特别是脱水的下水区域内;②禁止向储罐内加入强氧化性添加剂;③检尺、采样和测温前,应保证罐内油品有足够的静止时间,且作业时不得猛提猛落,上升速度不应大于 0.5m/s,下落速度不应大于 1m/s;禁止使用化纤布擦拭采样器。

4 结束语

储罐的安全管理最初是基于事故的管理模式,即发生事故后进行事故处理、应急抢修,按照使用时间进行周期性的维修管理。目前国内大部分储罐区仍处于这一阶段,不过我们更应该推行基于预测和控制风险的管理模式,通过完善科学、有效、可执行的操作规程,培育员工先进的安全文化,结合基于风险评价和完整性评估的维修维护策略,将储罐危害因素控制在可接受范围,提高储罐日常运行的可靠性和安全性。

参考文献:

- [1] 王宁,周育宇.重油储罐安全管理[J]. 科技与教育,2008,17(7):11-13.
- [2] GB50160-2008. 石油化工企业设计防火规范[S]. 住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局,2008.
- [3] 徐润.浅析石油储罐安全管理[J]. 科学管理,2018(3):241-242.
- [4] 竺柏康.油品储运[M]. 北京:中国石化出版社,2010.
- [5] SY/T6319-2008. 防止静电、闪电和杂散电流引燃的措施[S]. 北京:国家发展与改革委员会,2008.
- [6] 中国石油天然气股份有限公司炼油与化工分公司,中国石油集团安全环保技术研究院有限公司.2013-2017 年国内外炼油与化工企业典型事故案例[M]. 北京:石油工业出版社,2018.

作者简介:

王振勇(1982-),男,汉,辽宁大连,本科,高级工程师,现为石化企业基层安全管理负责人。