

加油站油气回收管线积液问题的解决方案研究

王明娜

河南迅佳检测有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：加油站油气回收系统是减少挥发性有机物排放、保障安全运营的关键设施，其管线积液问题直接影响回收效率与系统长期稳定运行。积液会导致管道阻力增大、回收泵负荷升高甚至液阻超标，严重时可能引发安全隐患。因此，系统分析积液成因并研究行之有效的解决方案，对于提升油气回收系统效能、确保加油站环保达标与安全运营具有紧迫的现实意义。

【关键词】：加油站；油气回收管线；积液问题；解决方案

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.020

引言

随着环保法规日益严格与设备运行年限增长，油气回收管线积液已成为困扰众多加油站的常见技术难题。积液现象涉及工艺设计、安装施工、日常操作与维护管理等多方面因素，需要综合性治理策略。深入探究其形成机理，并从设计优化、智能监测与维护规程等维度系统研究解决方案，是实现油气回收系统长效、可靠运行的重要技术保障。

1 加油站油气回收系统概述

加油站油气回收系统是为防治汽油挥发造成大气污染及安全隐患而设置的环保装置，主要通过一次、二次及三次回收技术实现对挥发性有机化合物的全过程控制。一次油气回收发生在卸油环节，利用油罐车与地下储罐之间的压力差，将卸油时产生的油气压回油罐车，实现密闭收集。二次油气回收则在加油作业中进行，通过加油枪上的吸气孔与同轴胶管，将油箱口溢出的油气经加油机内部真空泵抽吸，输送至地下储油罐储存。三次油气回收通常作为后盾，针对前两次未能完全回收的残余油气进行吸附、吸收或冷凝处理，使其达标排放。整套系统通过密闭管道网络连接，其核心目的在于减少油气逸散，保障作业环境安全，同时满足国家日益严格的环保法规要求。然而，该系统在实际运行中常因油品组分复杂、温压波动及设备老化等因素，导致油气回收管线内部出现积液现象，严重影响气路通畅与真空泵效能，成为制约加油站环保合规与安全生产的关键隐患。

2 管线积液的形成机理与流体力学特征

2.1 管线积液的形成机理

管线积液的根本成因在于油气回收系统中气液两相流的不稳定流动与相态转化。在二次油气回收过程中，加油枪吸气口若密封不严或负压过大，会将少量液态汽油微粒吸入同轴胶管及气相管线。此外，环境温度昼夜温差大时，高温挥发的油气在流经温度较低的地下管线时会发生冷凝现象，气态烃类化合物重新液化为微小液滴。这些液滴在管道内随气流运动，当遇到管道坡度突变、阀门阻力或管径变化时，流速骤降，动能不足以支撑其继续悬浮输送，便会沉降并依附于管壁。随着时

间推移，微小液滴不断聚结、累积，最终在管道的低洼处形成积液段塞，阻断或干扰正常的油气流通过程。

2.2 积液管段的流体力学特征

积液存在时，管道内的流体力学状态发生显著恶化，主要表现为流型转变与阻力激增。正常情况下，管内应为稳定的环状流或雾状流，但积液出现后，流型转变为不稳定的段塞流甚至分层流。此时，高速流动的油气需要携带液塞一同前进，导致系统沿程阻力大幅增加，局部真空度急剧升高。这种非稳态流动会引发强烈的压力脉动与液击现象，对管道焊缝及连接部件造成疲劳损伤。同时，积液占据了管道有效截面积，改变了流体的雷诺数与流速分布，导致下游真空泵吸入端气量不足且含液率过高。这种气液两相流的不平衡不仅降低了系统的油气回收效率，更可能引发液锤效应，严重威胁加油站输油系统的物理安全。

3 油气回收管线积液成因的多维诊断

3.1 设计维度的先天缺陷

在系统设计源头，普遍存在对气液两相流动力学特性考虑不足的问题。大量加油站设计图纸中，油气回收管线仅简单标注了管径与走向，却忽略了最小敷设坡度的强制性规范要求，导致管道出现倒坡或平坡现象，为液体滞留创造了物理空间。同时，设计文件中往往遗漏了关键的最低点排液装置与最高点排气阀的设置，使得冷凝液与积聚气体无法排出。此外，弯头、三通等管件选型不当或数量过多，造成局部阻力损失剧增，加剧了气液分离的难度。这种重工艺轻流道的纯静态设计思维，是导致管线积液难以排出的先天性结构病因。

3.2 施工安装的质量失控

施工环节的工艺偏差是造成管线积液的直接诱因，实际作业中，受限于地下管网复杂或施工班组技术水平低下，管道敷设常出现标高误差，导致实际坡度远小于设计值甚至出现反坡。焊接工艺不规范导致管道内壁焊瘤突出、毛刺残留，这些微观缺陷极大地增加了流体摩擦阻力，成为捕捉油气液滴的陷阱。隐蔽工程验收流于形式，回填土中含有尖锐石块或建筑垃圾，长期挤压导致管道变形塌陷，形成袋状积液囊。这种粗糙

的施工管理与技术交底缺失,使得设计蓝图在施工阶段就已严重失真。

3.3 运行维护的动态干扰因素

在加油站日常运营中,多种动态因素会诱发或加重积液现象。随着乙醇汽油、甲醇汽油等替代燃料的推广,其不同于纯汽油的挥发性与饱和蒸气压特性,改变了管内气液平衡,更容易在常温下发生相变冷凝。季节性温差引起的热胀冷缩效应,使得管内水蒸气与轻质烃类反复凝结与蒸发,形成酸性腐蚀液。此外,油罐清洗作业后的残液若未彻底清除,或频繁的人工计量口开启导致空气湿度侵入,都会向系统内引入额外的游离液体,打破了原有系统的流体平衡。

3.4 设备老化与末端压力波动

随着设备服役年限增长,系统老化带来的隐患逐渐显现。真空泵叶片磨损导致其抽吸能力衰减,无法维持足够的气体流速来携带微量液体,造成液体在管线内沉降。加油枪胶管老化变形导致吸气通道截面缩小,背压升高,迫使更多液态汽油被吸入气相管线。同时,多台加油机交替工作或油罐车卸油时的压力冲击,会引起管内压力的剧烈波动,这种瞬态流态极易破坏气液界面的稳定性,促使液滴聚结沉降。这种由设备性能衰退与工况不稳共同构成的动态压力环境,是诊断积液成因中不可忽视的运行变量。

4 积液问题的工程治理与改造技术方案

4.1 物理疏通与高压气体吹扫工艺的标准化作业流程

物理疏通是最直接有效的应急治理手段,传统的手工掏挖不仅效率低下且存在安全风险,必须推行标准化的高压气体吹扫工艺。该技术利用空气压缩机产生的高压气体,通过特制的快接接头接入油气回收管线入口,利用瞬间爆发的高速气流将管内的液态积液段塞破碎并推送至储罐或指定收集装置。在实施过程中,必须严格遵循作业规程:首先关闭加油机电源并挂牌上锁,确保系统处于隔离状态;其次,根据管线长度与积液程度精确设定吹扫压力,通常控制在0.6至0.8兆帕之间,防止因压力过高导致管道破裂或焊缝开裂;最后,在管线末端安装临时消音器与气液分离罐,以回收吹出的汽油并降低噪音污染。吹扫完成后,需利用管道内窥镜或电子测径仪对管线内部进行复检,确保通气顺畅。这种标准化作业流程不仅能在短时间内恢复管线畅通,还能最大限度减少对加油站正常运营的影响。

4.2 增设自动排液阀与气液分离装置的选型与应用

为了解决低点积液无法自行排出的顽疾,必须在管线的绝对低点、长距离水平管段的末端以及设备接口前端,科学增设自动排液阀。选型时应优先考虑浮球式或磁翻板式自动排液阀,这类装置利用浮力原理,当积液达到一定液位时自动开启阀门泄放液体,液位下降后自动关闭,有效防止了大量油气泄

漏,保障了系统的气密性。对于真空泵吸入端等易积液的关键节点,应配套安装高效气液分离罐。该装置通过扩大管径降低流速,利用离心力或挡板结构使气液分离,液体沉降到底部通过自动阀排出,纯净的气体则从上部进入真空泵。在改造施工中,需对原有管道进行局部开孔与焊接加固,确保新增设备的连接强度与密封性。通过这种硬件改造,可以从物理结构上切断积液形成的条件,实现系统的自清洁与连续稳定运行。

4.3 真空泵吸入端管路结构的优化改造

真空泵作为二次油气回收的动力源,其吸入端管路的结构设计直接关系到积液风险的高低。在许多老旧加油站中,真空泵进气管直接与加油枪同轴胶管相连,中间缺乏缓冲与过滤环节,导致液态汽油极易被直接吸入泵体,造成泵体损坏或气液比失衡。优化方案要求在真空泵进气口前增设一段足够长度的上升立管或U型弯管,利用重力沉降原理,使高速气流中的液滴撞击管壁并沿壁面流回地下储罐,形成初级分离。同时,将原有的硬质连接改为带有一定弧度的柔性不锈钢波纹管,既能吸收设备运行的震动,又能通过调整安装角度来优化气流方向,减少涡流产生的积液死角。对于多枪机加油机,还需改造为独立的分支回路控制,避免各枪之间气压干扰导致的积液倒流。这种针对性的管路重构,能从流体动力学层面显著降低真空泵的负荷与故障率。

4.4 基于CFD仿真的管道路由重构与坡度校正

对于新建站或大规模改造项目,不能仅依靠经验进行管道敷设,必须引入计算流体力学软件进行三维仿真模拟。通过构建包含管道内径、粗糙度、弯头曲率及流量参数的数字模型,模拟不同工况下油气与液体的两相流动状态,精准预测积液可能产生的位置与临界流速。依据仿真结果,对原有设计不合理的管线路由进行重构,剔除不必要的急弯与陡坡,优化管道走向以确保全线拥有不小于0.5%的顺坡坡度,并明确标注所有的高点与低点。在施工阶段,采用激光水准仪进行精准放线,确保管道支墩标高误差控制在毫米级以内。对于受地下障碍物限制无法保证顺坡的管段,必须采用大曲率半径的弯管进行过渡,并在低点强制设置排液口。这种基于数据驱动的精细化设计,是从源头上根治管线积液的最优解。

4.5 新型防积液管道接头与内衬技术的应用

传统油气回收管道多采用普通的镀锌钢管或单层PVC管,内壁粗糙且连接方式多为丝扣或焊接,容易形成积液挂壁与死角。在技术改造中,应推广使用内壁光滑度高、摩擦系数低的双层复合管道或无缝不锈钢管,其内壁粗糙度可降至微米级,大大减少了液体附着与流动阻力的可能性。同时,更换传统的90度直角弯头为45度斜接弯头或大半径弯管,消除管道内部的涡流区。在接头处理上,采用电熔套筒或无痕对接技术,确保管道内壁平滑过渡,杜绝因错边、焊瘤造成的积液陷阱。对

于已经敷设但内壁腐蚀严重的旧管道,可采用高分子聚合物内衬修复技术,在不开挖路面的情况下,在旧管内形成一层光滑的防腐衬里。这些新材料与新工艺的应用,从微观层面改善了管道的流体力学特性,有效抑制了积液的生成与附着。此举不仅显著降低了管线沿程阻力与局部能量损失,还大幅提升了油气介质的传输效率,从根本上减少了液滴滞留概率,延长了管道使用寿命,实现了油气回收系统的长效稳定运行。

4.6 智能化积液监测与联动控制系统构建

将传统的被动治理升级为主动防御,关键在于构建智能化的监测系统。在油气回收管线的关键节点,如真空泵入口、长距离水平管段中部,安装微型压差传感器与电容式液位计。这些传感器实时监测管线内的压力波动与介电常数变化,一旦检测到因积液导致的压力异常升高或液位超限,系统会立即发出声光报警,并将信号传输至站级管理系统。系统可设置为自动

联锁模式,当积液达到警戒值时,自动停止相关加油枪的二次回收功能,并启动预设的自动排液阀或定时吹扫程序。待积液排空、参数恢复正常后,系统自动复位。这种智能化的闭环控制策略,实现了从人工巡检发现故障到系统自动预警处理的跨越,极大降低了人工成本与误操作风险,确保了油气回收系统的全天候高效稳定运行。

5 结语

综上所述,解决加油站油气回收管线积液问题,需采取预防为主、监测预警与定期维护相结合的系统性工程思路。关键在于优化管线设计以消除低点积液结构,并配套安装有效的冷凝液排放与监测装置,同时建立规范的日常检查与维护流程。通过技术与管理措施的协同实施,方能从根本上控制积液风险,确保油气回收系统持续高效、安全运行。

参考文献:

- [1] 陈楠楠,王娜娜.油气回收技术的发展与应用[J].机械工程与自动化,2024,(03):213-214.
- [2] 王冕冕.加油站油气回收技术现状及意义[J].广州化工,2024,52(04):170-172.
- [3] 陈荣刚,葛嘉新.加油站三次油气回收改造及常见问题解决方法[J].石油库与加油站,2023,32(06):18-20+4.
- [4] 邹建,闫进,郭燕丽,石秀丽.浅析当代绿色加油站环保技术发展[J].安全、健康和环境,2023,23(12):23-25.
- [5] 王德阳.加油站油气回收系统运行中的常见问题及对策[J].石油库与加油站,2019,28(05):20-23+4.
- [6] 李博,李佳吏.加油站油气回收设施检测与监管中的几点思考[J].农家参谋,2019,(20):167.
- [7] 郭建新.加油站油气回收系统问题分析及对策[J].石油化工安全环保技术,2019,35(04):44-47.