

油气输送站场关键阀门泄漏检测方法 与阀门维护保养分析

赵晓丽

国家管网集团北方管道有限责任公司北京输油气分公司沧州作业区, 河北 沧州 061000

DOI:10.61369/ERA.2026050019

摘 要 : 油气输送站场的关键阀门作为站场内控制介质流动、隔离设备、保障检修安全的核心部件, 其可靠性至关重要。阀门泄漏是站场最常见的故障形式之一, 不仅造成资源浪费和环境污染, 更是重大安全风险的潜在源头。本文分析了油气输送站场关键阀门的常见泄漏类型及成因, 探讨了阀门维护保养体系, 最后对未来阀门管理的展望, 以期提升站场本质安全水平与运行效率提供理论依据和实践参考。

关 键 词 : 油气输送站场; 关键阀门; 泄漏检测; 维护保养; 智能管理

Analysis of Leakage Detection Methods and Valve Maintenance for Critical Valves in Oil and Gas Transmission Stations

Zhao Xiaoli

Beijing Oil and Gas Transmission Branch, Cangzhou Operation Area, Northern Pipeline Co., Ltd., National Pipeline Network Group, Cangzhou, Hebei 061000

Abstract : As critical components that control fluid flow, isolate equipment, and ensure maintenance safety within stations, the reliability of key valves in oil and gas transmission stations is paramount. Valve leakage represents one of the most common station failures, not only causing resource waste and environmental pollution but also posing significant safety risks. This paper analyzes common leakage types and their causes in critical valves, examines valve maintenance protocols, and concludes with insights for future valve management strategies, aiming to provide theoretical foundations and practical references for enhancing station intrinsic safety and operational efficiency.

Keywords : oil and gas transmission terminals; critical valves; leak detection; maintenance; intelligent management

绪论

(一) 研究背景与意义

随着我国油气输送管道规模的持续扩大, 油气输送站场(包括首站、中间泵站、末站、分输站等)工艺系统复杂。阀门作为流体控制系统的“咽喉”, 承担着启闭、节流、调节、隔离、防止倒流等关键功能。其中应用于主管线截断、储罐进出口、泵机组隔离、清管器收发等位置的关键阀门(如大口径全通径球阀、管线平板闸阀、止回阀等), 其性能状态更是决定了整个站场乃至管线段的安全等级。

据统计, 在站场设备故障中阀门故障占比超过30%, 而泄漏是阀门最主要、最常见的失效形式。轻微的“跑、冒、滴、漏”看似无关紧要, 但会持续侵蚀设备完整性, 导致材料失效加速; 内漏则直接影响工艺流程的精确控制与隔离有效性, 造成能源浪费和操作风险; 严重的外漏, 尤其是可燃、有毒介质的泄漏, 极易引发火灾、爆炸和环境污染等灾难性事故。因此发展高效、精准的阀门泄漏检测技术, 建立科学、系统的阀门维护保养体系, 对于实现站场设备由“事后维修”向“事前预防”和“预测性维护”转变, 保障国家能源安全、保护生态环境、提升企业经济效益具有重大的现实意义。^{[1][2]}

(二) 研究内容与方法

分析油气输送站场关键阀门的泄漏检测与维护保养技术的主要内容包括: 关键阀门常见的内漏、外漏等泄漏形式及其产生的物理化学机理、各种泄漏检测方法的优缺点、阀门日常和定期检修的工作内容以及阀门优化管理提升站场安全水平的建议等。

一、关键阀门泄漏类型、位置与成因分析

（一）泄漏类型

根据泄漏发生的位置和介质流向，可分为（一）介质外泄漏：介质泄漏到外部环境中。比如最常见的轻微泄漏有：阀杆填料泄漏；原因：填料老化、填料压偏、磨损或压盖松。阀体 / 法兰连接处泄漏；原因：密封垫片失效、连接螺栓预紧力不均或腐蚀引起。阀体砂眼或腐蚀穿孔的泄漏；原因：由铸造缺陷、电化学腐蚀、冲刷腐蚀导致。（二）阀门的内漏：介质在阀门关闭时，通过关闭件（如球体、闸板、阀瓣）与阀座之间的密封副从高压侧向低压侧的泄漏。最主要的原因的是：密封副失效导致泄漏；涉及密封面划伤、冲蚀、变形、附着杂质或老化。关闭不到位泄漏：由驱动机构故障、阀杆变形、异物卡阻等导致关闭件未达到全关位置。^[3]

（二）造成泄漏的物理化学机理

机械损伤：介质中的固体颗粒（如焊渣、沙粒）在高速流动下对密封面造成冲刷、划伤；阀座在反复启闭中承受挤压和摩擦，产生疲劳磨损。腐蚀失效：原油中可能含有的硫化氢、二氧化碳、氯离子、水分等，与阀体、阀杆、密封材料发生化学或电化学反应，导致材料减薄、点蚀或应力腐蚀开裂。热应力与变形：温度剧烈变化（如热油切换、环境温差）导致阀体与密封组件热胀冷缩不均，产生内应力破坏密封配合。材料老化与失效：非金属密封材料长期在温度、压力及介质作用下发生硬化、脆

化、塑性变形，失去弹性补偿能力。安装与操作不当：安装时对中不良、启闭扭矩过大或过快、在节流状态下使用非节流型阀门等。

二、关键阀门泄漏检测方法

（一）传统人工巡检方法

1）听音法：经验丰富的巡检人员使用听音棒接触阀体，通过泄漏产生的高频气流声判断内漏。简单快捷，但主观性强，无法量化，受环境噪声干扰大。

2）触摸法 / 目视法：检查阀杆、法兰等部位是否有油渍、结霜（低温介质）或介质积聚。适用于明显外漏，对微量泄漏和内漏无效。

3）肥皂水 / 发泡剂检漏：在可疑部位涂抹肥皂水，观察是否产生气泡。多用于输气管线其操作简单，成本低，但效率低，难以检测微小泄漏，且受环境和位置限制。

（二）仪器检测技术

1. 压力 / 流量分析技术：

输气管道一般采用压力法进行检测。选用高精度压力表（一般采用准确度等级 0.5 数字压力表），安装在阀腔引出管线上（泄放阀、排污管线、放空管线等），通过阀腔压力变化判断阀门密封副完好状态。依据在规定时间内压力上升情况来判断阀门泄漏量，泄漏判断标准见表 1。

表 1 压力法密封试验泄漏判断标准

阀门规格	所有弹性密封阀门压力上升 kPa/min	金属密封阀门压力上升 kPa/min	泄漏情况
DN100 ~ DN150	0	0 ~ 105	合格
	0 ~ 70	105 ~ 210	微漏
	70 以上	210 以上	大漏
DN200 ~ DN350	0	0 ~ 105	合格
	0 ~ 105	105 ~ 210	微漏
	115 以上	210 以上	大漏
≥ DN400	0	0 ~ 210	合格
	0 ~ 140	210 ~ 420	微漏
	140 以上	420 以上	大漏

输油管道阀门一般采用排污放空法进行检测。检测时将阀门置于全关位。打开排污口或泄压阀，观察油品泄漏情况，有稳定流量油品流出时，泄漏判断标准见表 2。

表 2 排污放空法密封试验泄漏判断标准

阀门规格	所有弹性密封阀门 泄漏量 L/min	金属密封阀门泄漏量 L/ min	泄漏情况
DN100~ DN350	0	0 ~ 0.5	合格
	0 ~ 0.5	0.5 ~ 1	微漏
	0.5 以上	1 以上	大漏
≥ DN400	0	0 ~ 1	合格
	0 ~ 1	1 ~ 2	微漏
	1 以上或无法泄压	2 以上或无法泄压	大漏

站场内利用压力和流量的变化情况主要判断关键截断阀的内漏验证和密封等级测试，是判断阀门是否达到关断要求的标准方法。其优点：结果可靠，可直接评估内漏严重程度。但是它需要

工艺配合，影响正常生产，不能实时连续监测。^[4]

2. 声波 / 超声波检测技术：

当泄漏发生时超声波检测仪通过传感器捕捉泄漏超声波信号，将其转换为人耳可听声或显示为分贝值、频谱图。适用于阀杆填料泄漏、阀体微小外漏及内漏检测。对于内漏可在阀门下游管道表面检测流体通过狭窄泄漏通道产生的湍流超声波。其中超声波段能量集中，方向性强，受环境可听噪声干扰小。但受气体泄漏（超声波强）和液体泄漏（超声波较弱）特性差异影响，在强电磁干扰或高风速环境下可能有影响。同时这项技术也应用于外管线的泄漏检测技术，当外线的压力有异常时，通过计算可以实现精准的定位。

3. 红外热成像技术：

它是基于物体红外辐射测温。对于气体泄漏（特别是高压天然气或轻烃），节流膨胀效应（焦耳 - 汤姆逊效应）会导致泄

漏点局部温度显著降低，对于高温油品内漏，则可能导致下游管道温度异常升高。红外热像仪可非接触、可视化地扫描大面积区域，生成温度分布图像。适用于检测阀门外漏（气体）、保温层破损及因内漏导致的异常温度分布。检测速度快、覆盖面广、直观形象。但是它受环境温度、风速、阳光辐射影响大，对微小泄漏或温差小的场景不敏感，设备成本高，所以站场内现在应用的很少。^[5]

4. 激光气体检测技术：

原理：可调谐二极管激光吸收光谱或开路式激光光谱技术，利用特定气体分子对特定波长激光的特征吸收来定量检测气体浓度。同时可部署固定式或使用便携式扫描仪，对站场区域进行大范围扫描，生成气体浓度云图。特别适用于检测原油中挥发出的轻烃（如甲烷、乙烷）的微量泄漏，灵敏度极高，可实现远距离、大面积快速扫描，定量化程度高。主要针对挥发性气体泄漏，对纯液体泄漏无效，设备昂贵，受大气湍流和复杂背景气体干扰，我相信未来的输气站场会得以应用。

三、关键阀门维护保养体系构建

“检”是发现问题，“维”是解决问题。一个完整的阀门维护保养体系应包括以下层级：

（一）日常“十字”保养法与巡检

清洁：保持阀门及驱动装置清洁，无油污、无灰尘、无锈蚀。

润滑：定期对阀杆螺母、轴承、齿轮箱等运动部位加注规定牌号的润滑脂，确保启闭灵活。

紧固：检查并紧固法兰螺栓、支架螺栓、填料压盖螺栓，防止因振动松动导致泄漏。

调整：合理调整阀门的限位器、开关指示等，防止因调整不当造成阀门内漏和损坏。

防腐：对裸露的阀杆涂抹防锈油脂或安装保护套，防止因锈蚀导致功能失效。

日常巡检：记录运行状态、阀门启闭次数、操作扭矩、有无异常声响等等。

（二）定期维护保养

每年应对阀门进行维护保养、排污、密封完好性确认。阀门介质为原油、成品油时可不注润滑脂润滑密封副，宜注入清洗液或润滑脂检查注脂通道是否畅通。阀门介质为天然气及其它介质时应注润滑脂润滑。阀门使用环境温度低于 0℃ 时，入冬前应进行排污。采用抽检的方式对埋地阀门的防腐进行检查，宜结合埋地管道全面检验开展。定期对阀门齿轮箱中的润滑油（脂）进行检查，并根据抽检情况开展润滑油（脂）更换工作。天然气管道旋塞阀每次开关动作后对阀门密封性进行确认。^[6]

1) 日常巡检维护：通常在运行状态下进行。

日常巡检中发现阀杆出现轻微泄漏时，通过对称均匀拧紧填料压盖螺母来补偿填料磨损。若无效，则需在线添加或更换填料（注意阀门不能带压）。注脂维护：对具有注脂嘴的阀门（球阀），

定期通过高压注脂枪向阀座密封和阀杆密封注入专用密封脂，以补充润滑，冲刷杂质，修复微小划痕，是保持阀门密封性能的重要手段。

2) 离线检查维护：通常在阀门隔离、放空、清洗后进行。

对泄漏严重的阀门进行修复或更换：对磨损或损坏的零件进行修复（如堆焊、研磨密封面）或直接更换 O 型圈、垫片、填料等所有易损件。解体检修（返厂维修）：完全拆卸阀门，全面检查阀体、阀盖、阀杆、关闭件、密封副、轴承等所有部件的情况重新组装后进行压力试验。^[7]

（三）春、秋检等预测性维护策略

预测性维护是基于设备状态监测数据，预测其剩余使用寿命和故障发生时间，在最经济的时间点安排维护。每年对阀门的春、秋检工作，可通过启闭扭矩的缓慢升高可能预示内部卡涩或磨损；通过对比实时数据与基线，识别异常趋势，做好阀门状态监测。

（四）维护保养的精细管理

建立标准作业程序，对阀门台账、维护历史、检测数据、备件库存、维修工单等进行数字化管理，实现阀门全生命周期可追溯，为精细管理提供数据支撑。^[8]

四、实例分析与未来展望

（一）实例分析：某油气站场球阀内漏处理

实例：日常巡检中发现站场球阀在关闭时，下游压力表显示缓慢上升。

处置：首先听声音阀门没有明显的过流声；使用超声波检测仪在阀门下游管道听诊，确认存在持续的超声波信号，初步判断为内漏。随后进行压力衰减测试，关闭阀门并稳定 24 小时内上游压力下降超过允许标准，证实严重内漏。

维护：工艺切换隔离该阀门。离线解体检修发现，上游阀座密封面被管线内残留的坚硬杂质严重冲蚀出沟槽，球体表面也有轻微划伤。更换上游阀座密封圈，对球体划伤处进行精密抛光。组装后，进行高压密封试验，达到标准要求。重新投用后压力测试合格。

（二）工作中实际遇到的案例

如某输原油站场进站方向收球筒前球阀内漏导致收球筒压力持续升高；发球筒前闸阀内漏；旁通阀关不严等。这些情况的内漏多数都是密封面问题造成的。

（三）未来展望与建议

阀门技术优化：可采用硬密封技术（如多重硬密封结构），使阀门承载极高的压力和强腐蚀介质的严峻考验，大幅降低泄漏的风险。新能源的驱动：传统的气动或液动阀门将被电动、电液或智能型电动执行器替代。发展多传感器信息融合技术，如将声波、红外、激光等多种检测技术集成于一台设备实现多维诊断。站场将关键阀门作为高风险设备进行重点管理，实现阀门内漏的“精确定量”管理工作。^[8]

五、结论

阀门作为油气输送站场的“关节”，其运行状态直接关系到管道的安全、效率与环保水平。关键阀门的泄漏检测与维护保养是一项系统性、专业性的工程，是保障站场安全平稳运行的重要

基石。在维护方面，需构建涵盖日常巡检、定期维护保养、故障修复以及基于状态的预测性维护的全方位体系，实现从“被动响应”到“主动管理”的转变，才能真正实现阀门的“零泄漏、零故障”，才能为构建智慧站场、保障国家能源大动脉的安全、高效、绿色运行提供坚实支撑。

参考文献

-
- [1] API 598. 阀门检查和试验 [S].
 - [2] API 6D. 管道阀门规范 [S].
 - [3] 刘东明, 孙巍. 输油管道站场阀门内漏声学检测技术研究 [J]. 油气储运, 2019, 38(5): 123-128.
 - [4] 国家石油天然气管网集团有限公司企业标准 Q/GGW 03001.3-2022
 - [5] 王海涛, 李大全. 红外热成像技术在油气管道泄漏检测中的应用进展 [J]. 红外技术, 2020, 42(11): 1017-1024.
 - [6] 杨启明, 等. 阀门失效分析与诊断 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2015.: 45-49.
 - [7] 输油工. 石油工业出版社, 2018.11
 - [8] 张鹏, 等. 基于物联网的工业阀门状态监测与预测性维护系统设计 [J]. 自动化仪表, 2021, BS EN 1594. 燃气供应系统. 长输管线. 功能要求 [S].