

天然气站场阀门故障分析

李小飞

国家管网西部管道新疆输油气分公司 新疆 吐鲁番 838001

摘要: 随着天然气输送管网规模扩大、工况复杂度提升, 阀门面临介质腐蚀、机械磨损、操作不当等多重挑战。本文聚焦天然气场站阀门故障分析, 阐述阀门在截断接通气流、调节流量压力及保障安全运行等方面的重要作用。深入剖析球阀内漏、阀杆泄漏、开关异常及ESD系统因电磁干扰等导致误动作的常见故障类型与成因。从优化设计制造、规范安装调试、强化维护保养及建立智能监测预警系统等维度, 提出针对性维护策略, 为天然气场站阀门的安全稳定运行提供理论参考与实践指导。

关键词: 天然气; 站场阀门; 故障分析

引言: 在天然气场站的输配系统中, 阀门作为关键控制部件, 其性能直接影响场站的安全与效率。它既能实现气流的截断与接通, 又能精准调节流量和压力, 更是场站安全防护体系的重要一环。然而, 受设计、安装、运行等多因素影响, 阀门易出现内漏、外漏、动作异常等故障, 甚至引发 ESD 系统误动作, 威胁场站运行安全。因此, 系统分析阀门故障类型及成因, 探索科学维护策略, 对提升天然气场站运行可靠性具有重要现实意义。

1 阀门在天然气场站中的重要作用

1.1 截断与接通气流

在天然气场站复杂的输配网络中, 阀门承担着截断与接通气流的核心功能, 是保障系统有序运行的“咽喉要道”。当场站设备需检修维护时, 关闭相关阀门可迅速切断气源, 防止天然气持续流动, 为工作人员营造安全的作业环境, 避免因天然气泄漏引发的爆炸、中毒等事故。而在系统启动或切换运行流程时, 阀门的开启能精准控制天然气的流通路径, 使气体按照预定路线高效输送至指定区域。

1.2 调节流量与压力

天然气在生产、运输及使用过程中, 对流量和压力有着严格要求, 阀门成为实现精准调控的关键工具。通过改变阀门的开度, 可灵活调整天然气的流量大小, 满足不同用户、不同工况下的用气需求。例如, 在居民用气高峰期, 适当增大阀门开度以提升供气流量; 在工业用户设备低负荷运行时, 减小开度降低流量, 实现能源合理分配。同时, 阀门还能对管道内压力进行有效调节, 防止因压力过高导致管道破裂泄漏, 或压力过低影响输送效率^[1]。

1.3 保障安全运行

阀门是天然气场站安全防护体系的重要屏障, 在保

障系统安全运行方面发挥着不可替代的作用。紧急切断阀 (ESD 阀) 作为安全保障的“最后一道防线”, 在检测到火灾、泄漏等突发危险情况时, 可在极短时间内自动关闭, 瞬间截断天然气供应, 防止事故扩大。此外, 安全阀能够在管道内压力超过设定阈值时自动开启泄压, 避免管道因超压爆裂引发严重后果。同时, 止回阀可防止天然气逆流, 避免因气流反向流动造成设备损坏或安全隐患。

2 阀门常见故障类型与成因分析

2.1 阀门内漏故障

2.1.1 施工阶段内漏成因

在施工阶段, 阀门内漏问题频发。一方面, 密封面加工环节若精度不达标, 施工杂质清理不干净, 会导致表面存在凹坑、划痕等缺陷, 会导致密封不严, 天然气易发生泄漏。另一方面, 阀门安装过程中, 若未严格按照规范操作, 出现对中偏差、螺栓紧固不均等情况, 会使密封结构受力不均, 破坏密封性能。

2.1.2 运行阶段内漏成因

进入运行阶段, 球阀内漏受多种因素影响。密封件长期处于天然气介质环境中, 易发生老化、硬化, 弹性密封老化降低, 无法紧密贴合密封面, 致使气体泄漏。天然气中含有的杂质、腐蚀性成分, 在高速流动时会持续冲刷、腐蚀密封面, 造成密封面磨损、腐蚀穿孔。

2.2 阀门外漏故障

2.2.1 密封脂老化

密封脂作为阀杆密封的关键介质, 在长期运行中易受环境因素影响而老化。天然气场站环境复杂, 高温、高压及腐蚀性介质会加速密封脂的氧化、干结, 使其失去良好的润滑与密封性能。密封脂老化后, 稠度增加、流动性变差, 无法有效填充阀杆与填料函之间的间隙, 导致天然气沿缝隙渗出, 引发阀杆泄漏故障。

2.2.2 压紧螺丝松动

在天然气场站运行过程中,管道振动、温度变化及阀门频繁操作等因素,会使阀杆压紧螺丝逐渐松动。螺丝松动后,填料函对密封填料的压紧力不足,无法紧密包裹阀杆,致使密封结构失效。随着运行时间增长,螺丝松动程度加剧,密封填料的压缩量减小,密封间隙不断扩大,天然气便会从间隙处泄漏,影响场站安全稳定运行。

2.3 开关异常故障

2.3.1 抱死现象

阀门在长期运行中,阀杆与填料函、球体与阀座等运动部件之间因润滑不足、密封件老化变硬,摩擦阻力大幅增加。加之天然气场站高温、高压及腐蚀性介质作用,部件表面易产生锈蚀、磨损,导致配合间隙变小甚至消失。当阀门进行开关操作时,这些部件间的摩擦力超出驱动装置输出力矩,形成抱死现象,使阀门无法正常开启或关闭,严重影响天然气场站的运行调度^[2]。

2.3.2 异物卡滞

天然气输送过程中,管道内残留的焊渣、铁锈、泥沙等固体杂质,或阀门自身磨损产生的碎屑,容易进入阀门内部运动部件间隙。当阀门开关时,这些异物会卡住阀杆、球体等关键部位,阻碍部件正常运动。尤其是在球阀结构中,异物卡滞在球体与阀座之间,不仅会导致开关费力、无法完全到位,还可能损伤密封面,造成内漏,进一步威胁场站设备安全和供气稳定性。

2.3.3 结冰阻碍

在低温环境或含有水分的天然气输送工况下,阀门内部易出现结冰现象。当天然气中的水蒸气遇冷凝结成水,与管道内的杂质、凝析油等混合,在阀门密封面、阀杆填料函等部位结冰。冰层的形成不仅会增加阀门运动部件的摩擦阻力,还可能改变部件的形状和尺寸,使阀门无法正常开关。此外,反复冻融过程会导致密封结构损坏,加剧泄漏风险,严重干扰天然气场站的正常运行。

2.4 ESD系统误动作故障

2.4.1 电磁干扰

天然气场站中存在大量电气设备,运行时会产生复杂电磁环境。ESD 系统的信号传输线路若未做好屏蔽措施,极易受到周围设备如变频器、电机启动等产生的电磁干扰。干扰信号窜入系统控制回路,可能导致传感器误发信号、控制器逻辑判断错误,使 ESD 系统在无实际危险情况下误触发,造成阀门异常关闭,中断天然气输送,影响场站正常生产秩序,甚至可能引发二次事故。

2.4.2 气源压力不足

ESD 系统的执行机构多依靠压缩空气驱动阀门快

速关闭,若气源压力不足,将直接影响执行效率。场站供气管道泄漏、空压机故障、储气罐容量不足或减压阀调节不当等问题,都会导致气源压力下降。当压力低于 ESD 系统设定的工作阈值时,执行机构驱动力不足,阀门无法按要求迅速关闭,甚至出现误动作,无法在紧急情况下及时截断气流,严重削弱场站安全防护能力,增大事故风险。

3 天然气场站阀门故障维护策略

3.1 优化阀门设计与制造

3.1.1 材料升级

当前阀门故障多因材料性能不足引发,如密封件老化、部件腐蚀磨损等。为此,需对阀门材料进行升级。选用耐老化、抗腐蚀的新型密封材料,增强密封性能与使用寿命;阀体、阀杆等关键部件采用高强度、耐高温、耐高压且抗冲刷的合金材料,提升部件对复杂工况的适应性,减少因材料问题导致的泄漏、抱死等故障,从材质层面保障阀门稳定运行。

3.1.2 结构改进

传统阀门结构在复杂工况下易出现开关异常、密封失效等问题。通过结构改进,优化阀杆与填料函的配合设计,减少摩擦并增强密封效果;改良球阀球体与阀座的接触结构,提高密封可靠性;增加防异物卡滞结构,如在阀门入口处设置滤网或优化流道设计,降低异物进入阀门内部导致卡滞的风险,从而提升阀门整体运行稳定性与可靠性。

3.1.3 智能监测

为及时发现阀门潜在故障,需在设计制造阶段融入智能监测功能。在阀门关键部位安装压力、温度、振动等传感器,实时采集运行数据;集成微处理器与无线通信模块,实现数据的处理与远程传输。通过智能算法对数据进行分析,提前预判密封老化、部件磨损等故障隐患,便于运维人员及时采取措施,避免故障扩大,提高阀门运维效率与场站运行安全性。

3.2 规范阀门安装与调试

3.2.1 全开位焊接

在阀门安装过程中,焊接操作若未将阀门置于全开位,易产生诸多问题。焊接时产生的高温可能使阀门内部部件变形,若阀门处于非全开状态,阀芯与阀座间的缝隙不均匀,焊接应力会导致阀芯卡死、密封面损伤,影响阀门开关性能与密封性。同时,未全开焊接可能致使焊渣、杂质残留在阀门内部关键部位,运行时引发卡滞、内漏等故障,因此必须严格遵循全开位焊接规范^[3]。

3.2.2 干燥处理

天然气场站的阀门在安装前若未进行干燥处理,极易埋下故障隐患。阀门内部残留的水分,在低温环境下会结冰,导致阀门运动部件受阻、密封结构损坏;含有水分的天然气在输送过程中,会加速阀门部件的腐蚀,缩短阀门使用寿命。此外,水分与介质中的杂质混合,还可能堵塞管道与阀门内部流道,影响天然气输送效率与系统稳定运行,干燥处理是安装环节不可或缺的步骤。

3.2.3 密封耐压测试

密封耐压测试是确保阀门安装质量的关键工序。若未严格开展密封测试,安装后存在密封缺陷的阀门投入运行,将导致天然气泄漏,造成能源浪费与安全风险。传统密封测试若标准不统一、流程不规范,易遗漏微小泄漏点。只有采用科学的测试方法,对阀门进行静态与动态密封测试,严格检测密封面、填料函等部位,才能及时发现密封问题,避免因密封失效引发后续故障,保障场站安全稳定供气。

3.3 强化阀门维护与保养

3.3.1 定期润滑

阀门运行过程中,部件间持续摩擦易导致磨损、卡死等故障。若未进行定期润滑,阀杆与填料函、球体与阀座等活动部位的摩擦力会不断增大,加速密封件与金属部件的损耗,降低阀门使用寿命。同时,润滑不足还会使阀门开关操作阻力变大,影响运行效率,甚至因过度摩擦产生高温,破坏密封结构,引发泄漏问题。因此,依据阀门运行工况制定科学的润滑周期与润滑标准,是维持阀门正常运转的必要手段。

3.3.2 清洗除垢

天然气输送过程中,杂质、污垢易在阀门内部堆积。长期未清洗除垢,管道内残留的焊渣、铁锈、泥沙,以及天然气中析出的蜡质、胶质等物质,会附着在阀门密封面、流道内壁,不仅影响天然气的流通效率,还可能划伤密封面,导致内漏故障。此外,污垢堆积会使阀门活动部件卡滞,增加开关难度,严重时造成部件损坏。定期对阀门进行清洗除垢,能有效保障阀门性能与系统稳定运行。

3.3.3 防冻措施

在低温环境下,未采取防冻措施的阀门面临诸多风险。阀门内部残留的水分结冰后,体积膨胀会撑裂阀体、阀杆等部件,破坏阀门结构完整性;密封部位结冰则会使密封失效,引发天然气泄漏。同时,结冰还会阻碍阀门的正常开关操作,影响应急响应速度。尤其是在北方严寒地区或昼夜温差大的环境中,针对阀门采取保温、伴热等防冻措施,防止内部介质冻结,是保障阀门冬季安全运行的重要举措。

3.4 建立智能监测与预警系统

3.4.1 数据采集

天然气场站阀门运行环境复杂,传统人工巡检难以实时掌握其状态。数据采集是智能监测与预警系统的基础,在阀门关键部位,如阀杆、密封面、驱动装置等,部署压力、温度、振动、位移等多种传感器,可实时、精准采集阀门运行参数。但现有传感器存在数据传输延迟、信号易受干扰等问题,且部分场站因设备老旧,难以兼容新型采集设备,影响数据采集的全面性与准确性,制约着智能监测系统效能的发挥。

3.4.2 故障诊断

仅采集数据无法解决阀门潜在故障,故障诊断是智能监测系统的关键环节。利用机器学习、深度学习算法,对采集到的海量数据进行分析建模,结合阀门运行历史数据与故障案例库,可识别阀门异常状态。然而,实际应用中存在算法适应性不足问题,不同类型阀门故障特征差异大,单一算法难以精准诊断;且场站数据样本有限,导致模型训练不充分,易出现误判、漏判,影响故障诊断的可靠性。

3.4.3 预警机制

预警机制是智能监测与预警系统保障阀门安全运行的最后防线。通过设定科学的阈值与逻辑规则,系统可在检测到阀门运行参数异常时,第一时间以声光、短信等多种方式向运维人员发出警报。但当前预警机制存在阈值设置不合理现象,阈值过高易延误故障处理,阈值过低则会产生大量误报;同时,多渠道预警信息缺乏有效整合,导致运维人员处理效率低下,无法充分发挥预警机制的作用^[4]。

结束语:综上所述,天然气场站阀门故障成因复杂多样,从施工阶段的设计安装缺陷,到运行过程中的老化、磨损、环境干扰等问题,均可能引发各类故障,威胁场站安全与稳定供气。而优化设计制造、规范安装调试、强化维护保养及建立智能监测预警系统等策略,为阀门全生命周期管理提供了有效路径。

参考文献

- [1]杨玲玲,张建斌.压力管道阀门故障及对策探讨[J].中国设备工程,2021(03):167-169.
- [2]王文彬.分析现场管道阀门安装管理[J].居舍,2022(31):128-129
- [3]陈炜.浅谈现场管道阀门安装管理[J].化工管理,2022(20):210-214
- [4]刘建宇,乔林峰,马健.天然气管道阀门安装前管理[J].油气储运,2022,34(05):528-532.