

# 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<sup>[1]</sup>。

### 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<sup>[2]</sup>。

#### 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 天然气站场阀门故障维护策略

#### 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<sup>[3]</sup>。

##### 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

天然气站场阀门运行环境复杂，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<sup>[4]</sup>。

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.