

天然气管道运行中常见设备故障及处理对策

余飞

吐哈油田公司准东采油管理区 新疆 839000

摘要：天然气管道运行中，设备故障影响输送安全与效率。常见故障涉及阀门、压缩机及仪表等。需明确故障成因，如磨损、老化与操作失误。采取针对性处理对策，像定期维护、故障诊断及技术升级，保障管道安全稳定运行，提升天然气输送可靠性。

关键词：天然气管道；设备故障；处理对策；阀门故障；压缩机故障

引言：

天然气作为重要能源，其管道输送稳定至关重要。运行中设备故障时有发生，不仅影响供气，还可能造成安全隐患。研究常见设备故障及处理对策，可提高管道运行安全性与效率，对保障能源供应、降低经济损失意义重大。

1. 天然气管道常见设备概述

1.1 阀门设备的类型与作用

阀门设备是天然气管道系统中至关重要的控制元件，其核心功能在于实现流体介质的截断、调节和分流。根据结构和应用场景的不同，阀门可分为多种类型，其中球阀凭借旋转90度即可完成启闭动作的特性，适用于快速切断工况；闸阀通过闸板的升降实现全开或全关，具有流体阻力小的优势，常用于主干线通断控制；蝶阀则以结构紧凑、操作灵活的特点，多应用于支路或低压区域的调节需求。此外，安全阀作为保护装置，能够在系统超压时自动泄放多余气体，防止管道因压力过高发生爆裂事故。各类阀门协同工作时，可精准控制天然气的流量分配、压力平衡以及流向切换，确保整个输气网络的安全高效运行。阀门材料的耐腐蚀性和密封性能直接影响其使用寿命，而合理的选型与安装位置规划则是保障系统稳定性的基础。

1.2 压缩机的工作原理与功能

压缩机是天然气长距离输送的动力核心设备，其主要功能是将天然气的压力提升至满足管道输送需求的等级。离心式压缩机通过高速旋转的叶轮对气体做功，利用离心力将动能转化为静压能，从而实现连续增压；往复式压缩机则依靠活塞在气缸内的往复运动改变容积，周期性地吸入、压缩和排出气体。两种类型的压缩机均需配合驱动电机、润滑系统和冷却装置共同工作，以维持长期稳定运行。压缩机不仅决定了管道的输气能力和覆盖范围，还直接影响着整个管网

的压力梯度分布。在实际运行中，压缩机组通常采用串联或并联配置，通过多级加压的方式克服地形高差和摩擦损失带来的能量消耗。其运行状态直接关系到管道系统的能效水平和可靠性，因此必须配备完善的监控系统实时监测振动、温度、排量等关键参数。

1.3 仪表设备的种类与用途

仪表设备构成天然气管道系统的“神经中枢”，负责实时采集、显示和传输运行数据。压力变送器安装在管道关键节点，持续监测管内气压变化；温度传感器分布于压缩机进出口和阀门附近，及时反映设备热态特征；流量计通过涡轮转动或超声波测速原理，精确计量天然气瞬时流量和累计总量。此外，液位计用于储气罐的液位监控，硫化氢检测仪则专门检测有害气体浓度。这些仪表设备通过模拟信号或数字通信协议将数据传输至中央控制室，为操作人员提供决策依据。现代智能仪表还具备自诊断功能，能够识别传感器漂移或线路故障，并通过声光报警提示维护需求。仪表系统的精度和响应速度直接决定了管道调控的及时性和准确性，是保障安全运行的重要技术支撑。

2. 阀门常见故障及成因

2.1 阀门内漏故障的表现与原因

阀门内漏是指关闭状态下仍有介质从阀座密封面渗漏的现象，典型表现为下游管道在阀门关闭后仍存在缓慢升压过程。这种故障可能导致介质浪费、环境污染甚至安全事故。造成内漏的主要原因包括密封面损伤，长期冲刷使阀瓣或阀座表面产生划痕；杂质侵入导致密封比压不足，特别是含有颗粒物的气流会加速密封副磨损；阀杆变形引起阀芯偏移，使得密封面无法完全贴合；还有可能是填料函失效导致外漏转化为内漏。当介质中含有腐蚀性成分时，密封材料的化学降解也会加剧泄漏程度。内漏的发生往往具有隐蔽性，初期仅表现为微小渗漏，随着时间推移逐渐发展

为明显泄漏，因此需要定期进行密封性检测。

2.2 阀门无法正常开关的因素

阀门启闭困难是现场操作中常见的功能性障碍，表现为手轮用力转动仍无法改变阀板位置。这类故障通常由机械卡阻引发，如阀杆螺纹积垢过多导致摩擦力剧增；轴承缺油或锈蚀造成转动僵硬；执行机构输出扭矩不足，电动头或气动头的驱动力达不到克服静摩擦力的要求。另一种情况是阀芯与阀座之间发生咬合，特别是在高温环境下材料膨胀系数差异导致的抱死现象。冬季低温环境中，冷凝水结冰形成的冰堵也会阻碍阀门动作。此外，控制系统故障可能导致指令信号中断，使电动阀门失去动力来源。此类故障若不及时处理，可能引发紧急切断失败或过度用力损坏阀杆的风险。

2.3 阀门密封失效的常见情况

密封失效是阀门故障中最复杂的类型，既包含动态密封又涉及静态密封问题。动态密封失效主要表现为开关过程中介质外溢，根源在于密封填料老化硬化失去弹性，或是压盖螺栓预紧力不足导致填料函间隙增大。静态密封失效则发生在法兰连接处，垫片压缩永久变形或材质与介质不相容都会引发界面泄漏。对于波纹管密封结构的阀门，反复弯曲疲劳可能导致金属疲劳裂纹的产生。密封失效的发展具有渐进性，初期可能只是微量渗漏，随着介质冲刷和温度变化，密封面的微观缺陷会不断扩大。特别是在高压差作用下，微小的密封间隙会被加速扩大，最终导致完全失效。

3. 压缩机常见故障及成因

3.1 压缩机振动异常的原因分析

压缩机振动超标是预示设备健康状态恶化的重要征兆，表现为机体振幅超过设计允许值并伴随异常噪声。振动源可能来自转子不平衡，长期运行导致的叶轮积碳或局部磨损破坏了动平衡；轴承间隙过大或滚道剥落会产生周期性冲击振动；联轴器对中偏差引发的附加弯矩会使振动频率呈现特定规律。基础台板固定螺栓松动会造成整机共振，而气流激振则是由于喘振工况下气流脉动频率与结构固有频率耦合所致。润滑系统故障导致的油膜振荡也会产生低频大幅振动。振动不仅加速部件疲劳损坏，还可能引发管道应力集中部位的焊缝开裂，因此必须通过频谱分析定位振源并采取相应治理措施。

3.2 压缩机排气量不足的影响因素

排气量下降直接影响管道输送效率，根本原因在于实际吸气量减少或压缩效率降低。进气过滤器堵塞会增加吸气阻力，使实际进入气缸的气量低于理论值；活塞环磨损导致气缸内高压气体向曲轴箱窜漏，降低了有效排气量；气阀弹簧失效造成阀片延迟关闭，缩短了有效吸气时间。冷却效果不佳导致吸气温度升高，根据气体状态方程可知相同体积下的气体密度减小。级间分离器故障使润滑油携带量增加，附着在气缸壁面形成积碳层，进一步缩小了有效工作容积。对于离心式压缩机而言，叶轮叶片磨损或扩压器流通面积减小都会导致能量转换效率下降，最终表现为出口压力达不到额定值。

3.3 压缩机温度过高的潜在原因

过热现象威胁着压缩机的安全运行，主要表现为排气温度持续超出警戒线。冷却系统效能不足是首要原因，管式冷却器的换热管表面积垢严重降低了热交换效率；风扇皮带松弛导致散热风机转速不足，风冷型机组的环境通风不良也会加剧温升。润滑油变质产生的氧化沉积物堵塞冷却通道，同时恶化润滑条件加大摩擦生热。气缸余隙容积过小导致压缩终点残留高温气体重新膨胀升温；进气温度本身偏高减少了允许的温升裕度。对于螺杆压缩机，阴阳转子啮合间隙过小会产生干摩擦发热。温度异常不仅加速润滑油碳化，还可能触发安全阀起跳，严重时导致活塞卡滞等恶性事故。

4. 仪表常见故障及成因

4.1 仪表显示不准确的问题根源

仪表读数偏差直接影响运行人员的判断决策，其成因涉及测量链路各个环节。传感器敏感元件特性漂移是最常见原因，长时间暴露在振动或腐蚀性环境中会导致应变片电阻值改变；参考端补偿电路故障使热电偶测温产生系统误差；差压变送器正负压室受污染导致膜盒形变滞后。信号调理模块的放大倍数失调或零点迁移未及时校准，会放大原始测量误差。显示仪表本身的液晶面板老化或指针机构机械磨损也会造成示值失真。环境温度剧烈变化引起的电子器件温漂同样不容忽视，特别是未采取温度补偿措施的简易仪表更容易出现季节性偏差。

4.2 仪表信号传输故障的诱因

信号传输中断会导致控制中心无法获取现场数据，主要原因包括导线接头氧化造成的接触电阻增大；屏

蔽层破损使信号线受到电磁干扰；防爆接线盒密封失效导致潮湿空气侵入腐蚀端子排。电缆绝缘层老化开裂可能引发短路或接地故障；雷电浪涌通过电源线路耦合进信号回路造成元器件击穿。安全栅作为本安防爆屏障，其内部保险丝熔断会阻断信号通路。无线传输方式容易受到同频段设备干扰，信号衰减超过接收阈值时会出现丢包现象。此类故障具有突发性和隐蔽性特点，需要建立冗余通信通道保障信号可靠性。

4.3 仪表传感器损坏的常见情形

传感器失效形式多样且难以直观判断，压力传感器膜片受超压冲击产生塑性变形是典型损坏模式；温度传感器保护套管被高速流体冲刷磨损后，内部热电阻丝暴露在介质中迅速烧毁。振动加速度计因安装支架松动导致谐振频率改变，长期处于共振状态加速疲劳破坏。电化学传感器电极表面镀层被测量介质溶解剥落，失去化学反应活性。湿度传感器感湿电容吸附粉尘颗粒后阻抗特性发生改变。传感器插头频繁插拔造成的镀金层磨损会增加接触电阻，最终导致信号完全中断。防护等级不足的传感器在恶劣工况下极易发生结构性损坏，因此选型时必须考虑抗冲击、耐温变等性能指标。

5. 设备故障处理对策

5.1 阀门故障的维修与更换策略

针对阀门内漏问题，应优先采用在线研磨修复技术，使用专用研磨工具对密封面进行配对修整，恢复其光洁度和平整度。对于严重损伤的密封面，需拆卸后进行堆焊加工并重新车削加工。更换密封填料时应选用与介质相容的新型复合材料，采用分层交错安装方式增强密封效果。对于开关困难的阀门，可注入清洗剂溶解阀杆上的聚合物沉积物，必要时拆除执行机构进行手动盘车松脱卡塞部位。密封失效的阀门应根据损坏程度选择更换整体阀座组件或返厂大修。建立阀门维护档案，记录每次检修发现的磨损特征，据此制定个性化更换周期。对于关键部位的切断阀，建议配置旁路应急切断装置作为备用保障。

5.2 压缩机故障的检修与保养方法

处理振动异常需先进行动平衡校正，清除叶轮上的积碳并调整轴承游隙至标准范围。对中不良的联轴器应使用激光对中仪重新找正，紧固基础螺栓并加装减震垫吸收残余振动。改善润滑条件的具体措施包括更换高性能合成润滑油，加装油过滤器在线监测污染

度。针对排气量不足的问题，应定期清理进气过滤器滤芯，检查活塞环开口间隙并更换磨损严重的气阀弹簧。优化冷却系统可通过增加冷却水流量或改进风道设计提升散热效率。日常保养重点在于监测各级压力比和排气温度曲线，发现异常趋势立即停机检查。实施预防性维修计划，在运行小时数达到设定阈值前更换易损件，避免突发故障影响供气连续性。

5.3 仪表故障的校准与修复措施

解决显示不准问题的核心是建立完整的校准体系，使用标准发生器对传感器进行原位校准，调整信号调理模块的增益和偏移量。对于传输故障，应逐段检查线路导通性，更换受损的屏蔽电缆并做好防水密封处理。传感器损坏后的修复需根据具体类型采取相应措施：压力传感器可更换同规格膜片组件；温度传感器应连同保护套管整体更换；流量传感器电极污染可采用超声波清洗恢复灵敏度。所有修复后的仪表必须经过72小时带载测试，验证其在动态工况下的响应特性。建议配置智能诊断模块，通过历史数据分析预测潜在故障，实现从被动维修向主动维护的转变。定期开展仪表联校工作，确保测量回路各环节协调一致。

结束语：天然气管道运行中常见设备故障复杂多样，需重视各类故障的识别与处理。采取有效对策，加强设备维护与管理，可减少故障发生，确保管道安全高效运行，为天然气稳定供应提供有力保障，推动能源行业持续健康发展。

参考文献

- [1] 马洪涛, 韦涛. 天然气长输管道运行危害因素及应对措施 [J]. 清洗世界, 2022, 38(06):196-198.
- [2] 雷雨. 天然气长输管道压缩机故障原因分析及对策研究 [J]. 中国设备工程, 2021, (09):60-61.
- [3] 王清勋. 天然气长输管道压缩机故障原因分析及对策 [J]. 化工管理, 2020, (24):153-154.
- [4] 李国平. 天然气管道运行中常见设备故障及处理对策 [J]. 化工设计通讯, 2019, 45(03):26+63.
- [5] 杜鹏. 探析天然气管道运行中常见设备故障及处理对策 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(02):55-56.

作者简介：余飞(1983-)，男，汉，四川渠县，学士，工程师，研究方向：石油与天然气工程