天然气场站阀门密封失效成因分析及全周期维保技术

陈　鹏　刘宇轩　王鑫薇　曹　晶　张　鹏
四川中泽油田技术服务有限责任公司　四川　成都　610000

摘　要：天然气场站阀门对保障天然气安全稳定供应至关重要。阀门密封失效成因多样，设计制造上存在密封面结构、材料选用等缺陷；安装操作有工艺不规范、受力不均等问题；复杂工况下压力波动、温度变化等带来挑战；维护保养缺失也会引发隐患。为解决这些问题，需实施全周期维保技术，包括预防性巡检、专项保养、故障快速修复以及封存期妥善管理等措施，以确保阀门性能良好，降低密封失效风险，保障天然气场站安全稳定运行。

关键词：天然气场站；阀门密封失效；成因分析；全周期维保技术

引言：在能源体系中，天然气占据着重要地位，而天然气场站阀门作为天然气输送与分配的关键控制部件，其密封性能直接关乎场站的安全与稳定运行。一旦阀门密封失效，不仅会造成天然气泄漏，导致资源浪费和环境污染，更可能引发爆炸、火灾等严重安全事故。然而，受设计制造、安装操作、工况条件及维护保养等多方面因素影响，阀门密封失效问题时有发生。因此，深入分析天然气场站阀门密封失效的成因，并制定科学有效的全周期维保技术，对于提高阀门运行可靠性、保障天然气供应安全具有重要的现实意义。

1 天然气场站阀门概述

在天然气的输送与分配系统中，天然气场站阀门扮演着至关重要的角色，是保障天然气安全、稳定供应的关键设备。从类型来看，天然气场站阀门种类繁多，常见的有球阀、闸阀、截止阀、蝶阀等。球阀具有快速启闭的特点，能在短时间内截断或导通天然气的流动，适用于需要紧急切断气源的场合；闸阀则在全开时整个流通通道呈直线，介质流动阻力小，常用于不需要频繁启闭且保持闸板全开或全闭状态的工况；截止阀通过阀杆带动阀芯的上下升降来控制介质的通断，密封性能好，可精确调节流量；蝶阀结构简单、体积小、重量轻，操作灵活，能实现快速启闭和良好的流体控制，广泛应用于大口径管道。阀门的密封结构与原理多样，密封结构主要分为软密封和硬密封。软密封通常采用橡胶、聚四氟乙烯等材料，具有良好的弹性和贴合性，能有效防止介质泄漏，但耐高温和耐腐蚀性相对较弱。硬密封则采用不锈钢、钴基合金等材料，具有优异的耐高温、耐磨损性能，适用于高压、高温或腐蚀性介质的管道阀门，但对加工精度和装配要求较高[1]。密封原理主要包括填料密封、O 型圈密封和金属对金属密封等。填料密封通过在阀杆部位压紧填料，实现动态密封；O 型圈密封结构简单、安装方便，常用于静态密封部位；金属对金属密封凭借高强度和耐久性，成为高压阀门的主流密封技术。在天然气场站中，阀门的运行具有独特特点。天然气场站通常处于高压、易燃、易爆的环境中，阀门需要承受较高的压力和温度变化，同时要防止天然气泄漏引发安全事故。阀门的频繁启闭和长期承压运行，会对密封性能和机械性能造成一定的损耗。天然气中可能含有杂质、水分和腐蚀性物质，这些物质会对阀门的密封面和内部结构产生腐蚀和磨损，影响阀门的使用寿命和性能。因此，对天然气场站阀门的性能和质量提出了极高的要求。

2 天然气场站阀门密封失效成因分析

2.1 设计制造缺陷影响

设计制造缺陷影响是天然气场站阀门密封失效的重要源头因素。（1）密封面结构设计不合理。部分阀门密封面结构选型不当，密封比压设计偏低或过高，导致阀门在关闭状态下无法形成有效密封，长期运行中易发生微泄漏。（2）材料选用不当。阀座、阀瓣等密封元件选材与天然气介质工况不匹配，耐腐蚀、耐冲刷性能不足，材料在高压差和含杂质介质作用下加速磨损失效。（3）加工精度控制不足。密封面平面度、粗糙度超标，研磨质量不达标，造成密封副配合不严密，投运初期即出现泄漏隐患，并随运行时间不断加剧。（4）热处理工艺缺陷。阀体及密封元件热处理不当，材料内部存在残余应力，在交变温度和压力作用下产生变形或微裂纹，破坏密封面的贴合性能。（5）质量检验把关不严。制造过程中出厂试验流于形式，密封性试验压力和保压

时间不符合标准要求，导致存在缺陷的产品流入场站，埋下泄漏事故隐患。

2.2 安装操作不当后果

安装操作不当后果是引发天然气场站阀门密封失效的直接诱因之一。（1）安装工艺不规范。阀门安装时未按规程清理管道内部杂物，焊渣、铁屑等异物进入密封面，关闭过程中造成密封面划伤、压痕，导致密封性能急剧下降。（2）法兰连接受力不均。安装时螺栓紧固顺序错误或预紧力矩不达标，造成法兰受力偏斜，阀体承受附加应力，密封面局部变形而产生泄漏通道。（3）管道应力传递影响。管道对中不良或支撑设置不合理，管道应力直接传递至阀体，长期作用下引起阀体变形和密封面错位，加速密封失效进程。（4）操作方式粗暴随意。开关阀门时用力过猛或开关速度过快，密封面之间产生冲击磨损和冲刷侵蚀，长期粗暴操作使密封面出现沟槽而丧失密封能力。（5）启闭状态管理混乱。将阀门长期处于半开半闭状态运行，介质对密封面形成持续冲刷，部分阀门长期不动造成卡涩，强行动作时密封面发生擦伤损坏。

2.3 复杂工况条件挑战

复杂工况条件对天然气场站阀门密封构成诸多挑战。压力波动是常见问题，天然气输送过程中压力不稳定，频繁的压力变化会使阀门密封面承受交变应力，导致密封材料疲劳、变形，降低密封性能，长期作用下还可能引发密封面裂纹，造成泄漏。温度变化也影响巨大，高温会使密封材料软化、膨胀，改变密封间隙，降低密封效果；低温则可能使材料变脆，失去弹性，出现裂缝，破坏密封结构。介质特性同样关键，天然气中含有的杂质、水分和腐蚀性物质，会磨损密封面，腐蚀密封材料，加速密封失效[2]。杂质的冲刷会使密封面粗糙度增加，降低密封的贴合度；腐蚀性物质会与密封材料发生化学反应，削弱其性能。振动和冲击也不可忽视，管道的振动、阀门的频繁启闭产生的冲击，会使密封部件松动、移位，破坏密封的稳定性，导致密封失效问题频发。

2.4 维护保养缺失隐患

维护保养缺失会给天然气场站阀门密封带来诸多隐患。缺乏定期维护，难以察觉阀门早期的密封问题，小故障逐渐积累成大隐患，最终导致密封失效。例如密封面的轻微磨损若不及时处理，会在持续使用中加剧，直至无法正常密封。润滑不足也是常见问题，阀门的活动部件如阀杆、阀芯等，在缺乏足够润滑时，摩擦力增大，操作变得困难。长期如此，会加速部件的磨损，破坏密封结构，使密封性能下降。清洁不当也会影响密封效果，天然气中的杂质、污垢等会附着在阀门表面和内部，尤其是密封面上[3]。若不及时清洁，会造成密封面的划伤和腐蚀，进而引发泄漏。未及时更换老化密封件更是严重隐患，密封件随着使用时间的增长会逐渐老化、失去弹性。若不按时更换，当密封件无法有效密封时，就会出现天然气泄漏，不仅造成资源浪费，还可能引发安全事故。

3 天然气场站阀门全周期维保技术

3.1 预防性巡检策略

预防性巡检策略是实现天然气场站阀门故障早发现、早处置的基础保障。（1）巡检计划科学制定。根据阀门类型、重要程度和运行工况实行分级分类管理，合理确定日巡、周检、月检的频次和项目，确保重点阀门巡检无遗漏。（2）泄漏检测手段应用。采用便携式检测仪、检漏液检查以及超声波检测等技术手段，对阀门外漏和内漏情况进行定期检测，实现微小泄漏的及时发现。（3）外观与状态全面检查。巡检中重点检查阀门填料函、法兰连接处有无泄漏，阀体有无锈蚀变形，执行机构动作是否正常，全面掌握阀门运行状态。（4）运行数据记录分析。建立阀门巡检台账，记录阀门开关次数、泄漏情况、异常现象等运行数据，通过趋势分析预判密封劣化倾向，指导维保计划动态调整。（5）隐患闭环整改落实。对巡检发现的缺陷和隐患建立问题清单，明确整改责任人和完成时限，跟踪验证整改效果，形成检查、报告、整改、验证的闭环管理机制。

3.2 专项保养方案规划

专项保养方案规划是确保天然气场站阀门全周期稳定运行的关键所在。通过科学合理的季度功能维护与年度全面维护，能够有效保障阀门性能，降低密封失效风险，为天然气场站的安全稳定运行筑牢根基。季度功能维护是保障阀门短期稳定运行的重要环节，对阀门进行全行程开关动作测试是必不可少的步骤。通过这一测试，可以及时发现阀门是否存在卡顿或关闭不严的问题。一旦发现此类情况，能够迅速进行调整，确保阀门的灵活性与可靠性。同时，对执行器和限位装置进行细致检查也至关重要。执行器和限位装置的精准度直接影响阀门的开启和关闭位置，只有保证它们的正常运行，才能实现对阀门的精确控制，避免因控制不当而引发安全事故[4]。年度全面维护则侧重于对阀门进行深度保养，密封件的更换是年度维护的重点工作之一。不同的阀门使用频率和运行环境各不相同，因此需要依据实际

情况选用适配的密封材料。合适的密封材料能够有效提高密封性能，防止天然气泄漏。对密封面进行研磨和修复同样不可或缺。长期使用过程中，密封面难免会出现划痕和磨损，这会影响密封效果。通过研磨和修复，可以去除表面的损伤，恢复密封面的平整度，从而显著提高密封效果。建立详细的保养档案是专项保养方案的重要组成部分，每次保养的时间、内容、更换的零部件等信息都应详细记录在案。

3.3 故障快速修复方法

故障快速修复方法是缩短阀门停运时间、保障场站安全供气的关键手段。（1）故障诊断快速定位。综合运用压力测试、超声波检测和解体检查等手段，快速判定泄漏部位和失效原因，制定针对性修复方案，避免盲目拆解延误抢修时机。（2）带压密封技术应用。对不宜立即停气的泄漏阀门，采用注剂式带压堵漏技术，在维持正常运行的前提下注入密封剂封堵泄漏点，实现不停输条件下的应急修复。（3）密封面在线修复。对轻微损伤的密封面，采用研磨修复工艺现场恢复密封面的平面度和光洁度，对磨损严重的阀座采取更换备件方式快速恢复密封性能。（4）备品备件保障到位。按阀门类型和规格建立备件储备清单，对易损的密封件、填料、阀座等常用备件保持合理库存，确保抢修时备件随取随用。（5）修复质量验证确认。修复完成后按标准进行强度和严密性试验，确认无泄漏后恢复投运，并加强修复后阀门的跟踪监测，防止故障复发。

3.4 封存期妥善管理措施

天然气场站阀门在封存期需采取妥善管理措施，以确保其性能不受损，在重新启用时能正常工作。清洁是首要步骤，对阀门内外进行全面清理，去除表面的污垢、杂质和残留介质，防止其腐蚀阀门部件。使用合适的清洁剂，对密封面、阀杆等关键部位进行仔细擦拭。干燥处理也至关重要，清洁后的阀门要进行彻底干燥，避免水分残留导致生锈[5]。可采用自然风干或干燥设备烘干的方式，确保阀门内部和表面完全干燥。涂防锈油能为阀门提供额外的保护，在阀门表面、密封面和活动部件上均匀涂抹防锈油，形成一层保护膜，隔绝空气和水分，防止生锈和腐蚀。对阀门进行密封包装，使用密封袋或防护套将其包裹起来，防止灰尘、湿气等进入。同时，要将阀门存放在干燥、通风良好的仓库中，避免阳光直射和雨淋。定期检查同样不可忽视，在封存期间，定期对阀门进行检查，查看防锈油是否干燥、密封包装是否完好等，如有问题及时处理。

结语

未来，天然气场站阀门密封失效问题的解决将迎来更多机遇与挑战。随着科技的飞速发展，智能化监测技术有望广泛应用于阀门状态监测，实现对密封性能的实时精准评估，提前预警失效风险。新型密封材料的研发也将取得突破，大幅提升阀门密封的耐久性和适应性。同时，法规和标准会更加完善严格，促使企业进一步优化全周期维保技术。企业需加强与科研机构合作，积极引入先进理念和技术，持续改进维保方案，培养专业人才队伍，以应对日益复杂的工况和更高的安全要求，保障天然气场站阀门长期稳定运行。

参考文献

[1] 刘超. 天然气净化装置高压泵机械密封失效原因分析及改进措施 [J]. 石油和化工设备,2023,26(6):123-128.

[2] 胡佑东, 张殿昌. 天然气集输场站过程控制整定技术应用研究 [J]. 今日自动化,2026,(3):18-20.

[3] 南贝. 天然气无人值守场站数据采集终端优化与远程运维体系构建 [J]. 石化技术,2026,33(8):158-160.

[4] 赵惠中. 天然气调压器不停输状态下的故障诊断与维保技术研究 [J]. 家电维修,2025,(8):9-11.

[5] 王洋. 天然气场站工艺管道的安装技术分析 [J]. 奥秘,2025,(29):4-6.