

# 聚乙烯装置PDS高频阀选型可靠性优化与维护技术研究

于可腾

内蒙古宝丰煤基新材料有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 聚乙烯装置PDS高频阀因高频开关、介质特性等面临严苛工况,易出现密封失效、卡滞等故障。本文分析工况特点与故障原因,提出选型优化策略,包括耐磨性、自清洁功能等选型原则。研究维护模式、日常内容、故障诊断及周期优化方法。制定人员培训、备件管理、信息化平台建设等保障措施,提升高频阀运行可靠性,降低故障率与维护成本。

**关键词:** PDS高频阀;选型优化;维护技术;故障诊断;信息化管理

引言:聚乙烯装置中,PDS高频阀承担关键排料功能,其工况特殊,年开关次数达十万至五十万次,面临介质磨损、高压差冲刷、极端低温等挑战,故障频发影响装置运行。当前选型与维护技术存在不足,难以满足长周期稳定运行需求。因此,开展PDS高频阀选型可靠性优化与维护技术研究,对提升装置产能、保障安全生产具有重要意义。

## 1 PDS 高频阀工况特点与故障分析

### 1.1 工况特点

PDS高频阀在聚乙烯装置中承担着关键排料功能,其工况具有显著特殊性。高频开关特性尤为突出,年开关次数可达十万次至五十万次,阀门本体及气控部件需在持续高频动作中保持稳定,这对材料耐久性与机械结构可靠性提出严苛要求。介质特性方面,输送的固体聚合颗粒粉末硬度高且具备自聚性,在流动过程中易对密封面形成持续磨损,同时颗粒沉积可能堵塞阀门流道,影响正常启闭。高压差与冲刷问题在排料阶段尤为明显,介质在高压差驱动下高速流动,颗粒对阀门内壁及密封结构产生强烈冲刷,加速部件损耗<sup>[1]</sup>。温度适应性方面,装置在紧急事故工况下可能面临极端低温环境,介质温度最低可降至零下四十五摄氏度,阀门需在低温工况下保持材料韧性,避免因收缩或脆化导致密封失效。开关速度要求严格,口径小于六英寸的阀门需在一秒五以内完成启闭,六英寸及以上阀门需在两秒五以内完成动作,这对执行机构响应速度与动力传输效率构成挑战。

### 1.2 常见故障类型

密封失效是高频阀典型故障之一,当颗粒侵入密封间隙后,会持续磨损接触面,引发内漏或外漏问题,严重影响装置压力控制精度。卡滞与抱死现象多由颗粒自聚或结构缺陷引发,阀腔内颗粒堆积形成堵塞,又或是碟簧长期高频变形后弹性衰减,致使阀杆运动受阻。此

类故障在高温工况下尤为突出,温度升高会加剧颗粒粘附与材料疲劳,进一步增大运动部件阻力。气缸损伤问题集中体现在执行机构层面,内漏致使动力输出不足,O型圈断裂引发密封失效,阀杆偏移还会加剧气缸内壁磨损,大幅缩短部件寿命。填料泄漏与材料选型及结构设计密切相关,若填料耐磨性不足或压缩量控制不当,均会引发介质沿阀杆渗漏,污染环境并造成物料损失。

### 1.3 故障原因分析

密封面材料硬度不足是引发磨损的关键因素,部分阀门虽采用硬化处理技术,但在长期高频摩擦下,仍可能出现金属粘接现象,加速密封面损耗进程。设计结构缺陷表现为阀杆与金属部件接触面积过大,在高频动作中摩擦热累积,导致局部过热,进而加剧材料疲劳。此外,流道设计不合理会造成介质流动不均,局部流速过高会加剧冲刷磨损,进一步降低阀门使用寿命。气缸选型不当直接影响执行机构可靠性,部分装置选用特定品牌扇形气缸后,虽能满足初始性能需求,但备件成本高且维修周期长,难以适应长期运行要求。维护管理缺失会加速部件劣化,润滑脂老化导致摩擦系数上升,填料压紧力不足引发泄漏,这些因素共同作用,导致阀门故障率不断上升。因此需建立完善的维护标准与培训体系,提升现场人员对故障早期征兆的识别与处置能力。

### 1.4 PDS高频阀在各公司的实际应用

(1) 国家能源集团宁煤烯烃二分公司聚乙烯装置采用美国UNIVATION公司UNIPOL PE气相法技术,生产能力为45万吨/年,聚乙烯反应器PDS高频阀全部采用美卓阀门,通过一段时间的运行阀门气控阀损坏漏气、执行机构串气、气缸密封圈磨损漏气,严重影响PDS的正常运行。通过整阀更换,周期性定期维护等来维护装置正常运行。PDS高频阀门气控阀厂家为Bifold,在实际使用中无法满足阀门高频动作要求,联系阀门厂家美卓阀

门将原气控阀Bifold气控阀更换为Midland气控阀, 更换后气控阀满足使用要求。优化阀门动作频次稳定且继续使用。

(2) 内蒙古宝丰煤基新材料有限公司 4×100万吨/年煤制烯烃示范项目一期260万吨/年项目和一期煤制烯烃项目与绿氢耦合制100万吨/年烯烃项目采用UNIVATION公司的UNIPOL气相流化床聚乙烯冷凝技术, 生产能力为55万吨/年。聚乙烯反应器三条线168台PDS阀采用国产北京航天长征的高频阀门。阀座、球体密封副采用高性能耐磨涂层, 硬度高、耐磨损、防粘接, 适应高低温变化, 阀体内腔、流道抛光处理, 减小空腔体积, 阀座防尘密封结构, 避免介质在内腔、流道、阀座腔内粘附自聚。适应阀门高频次动作的长寿命要求。多重填料密封设计、动态载荷补偿, 配合主轴、轴套防尘结构, 保证填料长期密封的可靠性。组合式止推垫片组结构, 力矩小, 耐磨损, 寿命长, 实现了阀门在高频次动作下的长周期稳定运行。气控阀采用ROSS气控阀。通过一段时间的运行阀门内漏严重, 严重影响PDS的运行, 联系厂家检测计算发现球体开关过程中, 球体喷涂合金受接触应力影响, 出现硬质相(碳化钨)脱落, 导致该位置出现片状脱落。球体磨损区域是开关中受力和应变最大的位置, 因此在此区域出现磨损。最终导致阀门内漏。通过改进阀座结构, 减小球体与阀座之间的接触应力, 降低磨损程度。满足使用要求且稳定运行。

## 2 PDS 高频阀选型可靠性优化方法

### 2.1 选型原则

耐磨性作为高频阀选型的核心指标之一, 关乎阀门长期稳定运行, 选型时务必着重考量。需选用具备高硬度与低摩擦特性的密封面材料, 例如复合涂层FSLLOY30在模拟工况测试中, 经历两百万次开关循环后仍保持密封面完整, 无明显磨损痕迹<sup>[2]</sup>。自清洁功能通过结构创新实现, 双刮刀阀座设计利用花瓣形流道与动态刮擦机构, 有效阻止颗粒在密封面沉积, 延长部件清洁周期。耐冲刷性优化聚焦于流道几何形状改进, 通过减少直角过渡与局部涡流, 降低高压差工况下颗粒对阀门的直接冲击。快速响应能力需与工艺参数严格匹配, 针对六英寸及以上阀门, 需确保启闭时间控制在2.5秒以内, 以维持系统压力稳定性。

### 2.2 选型优化策略

密封面材料优化需通过多维度性能对比确定方案。复合涂层技术如WC-Co涂层硬度可达HRC七十, 显著提升抗颗粒磨损能力。硬质合金材料则通过粉末冶金工艺实现组织均匀化, 增强抗粘接性能。结构优化方面, 内

固定球阀设计通过将球体固定于阀座内部, 减少阀杆与金属部件的直接接触, 降低高频动作下的摩擦损耗。阀杆支撑结构采用双轴承配置, 进一步分散运动应力。气缸选型侧重于长寿命与高扭矩输出, 扇形气缸通过优化气路设计与材料强度, 实现动作寿命达四百万次以上。低温适应性通过材料升级与结构补偿实现, 阀体选用LF2低温钢, 确保在零下四十五摄氏度工况下保持韧性。密封元件采用弹性石墨与不锈钢弹簧组合设计, 补偿低温收缩量, 维持密封压力。执行机构与阀体连接部位增加预紧力调节装置, 通过机械补偿消除低温导致的装配间隙变化。

## 3 PDS 高频阀维护技术研究

### 3.1 维护模式选择

针对PDS高频阀的维护需求, 可采取三种主要模式。预防性维护强调定期执行检查与保养任务, 通过设定固定周期对阀门进行全面检查, 包括润滑关键部件和更换易损元件。例如, 每完成五千次开关操作后, 对密封面进行详细检查, 确保其表面平整无划痕, 防止因密封失效引发泄漏问题。这种模式通过主动干预延长设备寿命, 降低突发故障风险。预测性维护依托传感器技术实时监测设备状态, 通过振动分析、温度变化等参数捕捉早期故障征兆。当监测数据偏离正常范围时, 系统自动触发预警机制, 提示维护人员提前更换即将失效的部件。这种模式将维护行为从“被动响应”转变为“主动预测”, 显著减少非计划停机时间。纠正性维护作为最后一道防线, 在故障发生后立即启动维修流程<sup>[3]</sup>。针对气缸磨损、密封件老化等典型问题, 快速定位故障源并更换受损元件, 确保阀门功能尽快恢复。

### 3.2 日常维护内容

日常维护工作聚焦于清洁、润滑与性能验证三大核心。清洁环节需定期清理阀腔内积聚的聚乙烯颗粒, 防止硬质颗粒划伤密封面或堵塞流道。检查过程中重点关注密封面磨损程度, 通过目视与触觉结合的方式判断是否需要修复或更换。润滑保养针对阀杆、轴承等运动部件展开, 选用抗磨损性能优异的润滑剂, 在降低摩擦系数的同时形成保护膜, 延缓金属表面疲劳。润滑周期根据实际工况动态调整, 高频使用阀门适当缩短间隔, 确保润滑效果持续有效。同时需建立润滑剂使用台账, 系统记录每次润滑的剂量、时间及润滑后阀门的运行状态, 为优化润滑方案提供数据支撑。密封性能测试采用专业检测设备, 通过加压测试验证阀门泄漏等级是否符合ANSI Class VI标准。测试过程中需详细记录压力衰减曲线, 并与基准数据对比分析密封可靠性, 为后续维护决

策提供量化依据。

### 3.3 故障诊断与排除

故障诊断依赖多维度数据融合分析。外观检查可发现密封件变形、阀杆弯曲等直观问题；振动监测能捕捉气缸动作异常产生的高频冲击；开关时间监测通过对比历史数据识别执行机构卡滞现象。综合各项检测结果，可精准定位故障根源。为提高诊断准确性，可引入声学检测技术，通过分析阀门动作时的声音频谱特征识别早期异常。例如当高频阀动作时出现特定频率的啸叫声，往往预示着气流通道存在局部堵塞或密封面配合不良。排除故障时根据具体类型采取针对性措施。密封件失效需更换同规格元件并重新调整预紧力；气缸内壁划伤需返厂修复或整体更换；阀杆间隙超标则通过调整垫片厚度恢复设计参数。对于复杂故障，建议采用分步排除法，先检查气路系统密封性，再测试电磁阀响应，最后验证机械传动部件配合精度，确保系统性解决问题。维修完成后需进行全面的性能测试，确保阀门动作灵活、密封可靠。

### 3.4 维护周期优化

维护周期设定引入数据驱动决策机制。通过记录阀门累计开关次数、故障发生时间等关键参数，构建运行状态数据库。利用统计分析工具识别故障频发区间，据此优化预防性维护周期。例如对高频使用阀门将检查间隔从五千次缩短至三千次，对低频使用阀门延长至七千次。在此基础上可进一步建立基于设备实时健康状态的预测性维护模型。该模型通过集成振动、温度、压力等多类传感器数据，结合机器学习算法动态评估阀门性能退化趋势，当预测指标超过阈值时自动生成维护工单<sup>[4]</sup>。

## 4 PDS 高频阀选型与维护技术实施保障措施

### 4.1 人员培训与技能提升

培训计划需形成系统化体系，依据阀门技术特性设计分层课程。基础课程涵盖高频阀结构分解、密封原理及常见故障模式，通过三维模型展示阀体内部流道与密封结构，在规定时间内完成气缸拆解、密封圈选型及装配调试，培养标准化操作习惯。专项课程针对极端工况维护，模拟高温高压环境下的阀门故障。实操设置故障场景模拟，如阀门泄漏但外观无异常，要求通过压力测试、振动分析等手段定位问题根源，并制定修复方案。

### 4.2 备件管理

备件库存管理遵循“精准储备、动态调整”原则。根据历史故障数据统计高频失效部件，将密封件、气缸、阀杆等关键元件列为一级储备物资，确保库存量满足三个月使用需求。对于低故障率但更换周期长的部件，如位置传感器、驱动模块，采取“按需储备”策略，根据设备运行台账提前三个月采购。库存管理系统实时更新备件出入库记录，通过颜色标签区分新旧备件，避免误用影响维修质量。入库前进行抽样检测，对密封件实施压力测试验证泄漏等级，对气缸进行动作循环试验检查运行平稳性，不合格品立即退换并追溯供应商责任，从源头保障备件可靠性。

### 4.3 信息化管理平台建设

设备档案管理构建数字孪生模型，录入阀门选型时的压力等级、温度范围、介质特性等参数，关联设计图纸与安装调试记录<sup>[5]</sup>。维护模块记录每次保养时间、润滑脂型号、密封件更换部位等信息，生成可视化维护履历。故障模块自动关联历史维修案例，当相同故障代码出现时，系统推送类似故障的解决方案与所需备件清单。

通过对聚乙烯装置PDS高频阀选型可靠性优化与维护技术的深入研究，从工况分析、选型优化、维护技术到实施保障措施，形成了一套系统方案。该方案有助于提升高频阀的可靠性，减少故障发生，保障装置稳定运行。未来可进一步探索新技术，持续优化选型与维护策略，推动聚乙烯装置向更高效、可靠的方向发展。

### 参考文献

- [1]刘均.LLDPE装置PDS高频阀应用及改进措施[J].石油化工自动化,2022,58(4):99-101.
- [2]张雪峰,王科.基于DCS系统实现聚乙烯产品接收罐填充率软测量的研究与应用[J].中国科技纵横,2022(18):89-91.
- [3]胡康宁.气相法聚乙烯装置聚合反应区设备和管道布置设计[J].石油化工设计,2025,42(1):49-53.
- [4]李鑫.气相流化床聚乙烯装置的耗能研究[J].文渊(高中版),2022(11):346-348.
- [5]张静宇,霍金兰,高芙蓉.降低气相流化床聚乙烯装置原料单耗的措施[J].合成树脂及塑料,2022,39(3):46-49.