

工业场景下流体控制设备可靠性提升策略探究

林垚

深圳蓝动精密有限公司, 广东 深圳 518108

DOI:10.61369/ME.2026020025

摘 要： 本文以工业场景下该类设备可靠性提升为研究对象，分析了设备可靠性现状及常见故障模式，从设计制造、安装运维、外部环境及工况、管理与人员四维度剖析关键影响因素，针对性提出设计源头优化、全生命周期运维管控等多维度提升策略，并构建技术、制度、资源三位一体的实施保障体系，研究成果为企业提升设备可靠性提供了实操性参考。

关 键 词： 工业场景；流体控制设备；设备可靠性

Research on Strategies for Enhancing the Reliability of Fluid Control Equipment in Industrial Environments

Lin Yao

Shenzhen Blue Dynamics Precision Co.,Ltd. Shenzhen, Guangdong 518108

Abstract： This paper focuses on the improvement of the reliability of such equipment in industrial scenarios. It analyzes the current status of equipment reliability and common failure modes. It examines the key influencing factors from four dimensions: design and manufacturing, installation and operation maintenance, external environment and working conditions, and management and personnel. It proposes multi-dimensional improvement strategies such as optimizing the design source and implementing full life cycle operation control. Additionally, it constructs a three-in-one implementation guarantee system of technology, system, and resources. The research results provide practical references for enterprises to enhance the reliability of equipment.

Keywords： industrial scenarios; fluid control equipment; equipment reliability

引言

工业自动化发展对流体控制设备可靠性提出更高要求，而该类设备受设计、运维、环境等多重因素影响，故障频发问题突出，影响生产效率与安全。本文通过分析设备可靠性影响因素，探究针对性提升策略及保障体系，为企业优化设备管理提供思路。

一、流体控制设备可靠性现状分析

（一）流体控制设备可靠性的重要性

在工业生产场景中，流体控制设备是把控介质输送、工艺参数调节的核心装置，其可靠性水平直接关联设备运维效率与企业经营效益，是决定设备维护周期、管控维修成本的核心要素。设备可靠性达标，能够有效延长稳定运行时长，拉长常规维护周期、减少非计划性检修频次，进而压缩维修人力、备件损耗等各项成本支出；反之，可靠性不足会大幅缩短设备有效服役周期，倒逼运维人员缩短维护间隔、增加检修投入，持续推高全生命周期维修成本。同时，流体控制设备一旦发生失效故障，极易引发介质泄漏、生产流程中断、工艺失控等问题，不仅会造成直接的生产停滞经济损失，还可能诱发安全隐患，扰乱整条工业生产链路的有序运转，甚至给企业带来额外的安全合规与产能损耗风险^[1]。

（二）当前流体控制设备的常见故障模式

当前工业场景下的流体控制设备，受运行工况、使用周期与人为管控等多重因素影响，故障发生频次较高且故障模式呈现多元化特征，机械故障、电子故障、操作失误是最为高发的三类故障类型。机械故障多源于长期运行带来的部件磨损、密封失效、结构卡涩等物理损耗，是设备运行中的基础性故障；电子故障则多因电路老化、传感元件失灵、现场电磁干扰等问题引发，制约设备的精准控制性能；操作失误多源于运维人员操作不规范、参数设置偏差、巡检维护不到位等人为因素，进一步放大了故障发生概率。除此之外，设备长期服役带来的自然老化，叠加工业现场高温、高压、粉尘侵蚀、介质腐蚀等恶劣环境因素，会持续加剧设备性能衰减，成为诱发各类故障、拉低设备可靠性的关键外部诱因^[2]。

二、工业场景流体控制设备可靠性关键影响因素分析

（一）设计制造层面的影响因素

设计制造层面是决定流体控制设备可靠性的先天根基，各类细节疏漏会从源头埋下运行隐患，全方位制约设备长期稳定运行的能力，成为可靠性短板的核心诱因。结构设计合理性不足，往往体现在设备受力结构规划疏漏、流道设计不科学、防护结构缺失等方面，会导致设备在工业连续重载作业中出现应力集中、介质涡流损耗、部件干涉卡顿等问题，难以适配复杂工况的长效运行需求；核心材料选型与实际工况适配性存在偏差，未结合现场腐蚀、磨损、高低温交变等特性甄选材质，轻则引发材质老化、表面锈蚀，重则出现部件形变、脆裂破损，直接破坏设备结构完整性；加工装配精度管控缺失，缺乏全流程的精度校验与质量把控，会造成零部件配合间隙超标、密封面贴合不严、传动部件错位等隐性瑕疵，即便设备出厂验收合格，投用后也会因先天缺陷快速诱发故障；再加上核心泵体、阀芯、传感元件等零部件存在性能短板，整体设备的耐用性、精准性与抗干扰性便会被大幅拉低，从根源上筑牢不了可靠性基础^[3]。

（二）安装运维层面的影响因素

安装运维层面的不规范操作与体系化管控漏洞，是加剧设备可靠性衰减的关键中间环节，即便设备先天质量达标，也会因后天运维不当快速出现性能衰退。现场安装调试流程不规范，未严格遵照工业安装标准开展设备定位、管路接驳、密封试压、参数校准等作业，易出现安装倾角偏差、管路应力过载、初始运行参数错位等问题，直接引发设备早期频发故障，缩短无故障运行周期；运维管控体系不完善，缺乏标准化的运维流程、设备台账与故障记录机制，导致日常巡检、养护、检修工作无章可循，运维行为杂乱无序难以形成闭环；检修维护频次与方式不合理，要么过度拆解检修造成精密部件二次损耗、无谓增加运维成本，要么检修频次滞后、检修方式粗放，难以及时排查隐性故障与细微隐患，进而加剧故障恶化态势；设备工况适配调试不到位，未结合现场生产负荷、介质参数优化运行模式，致使设备长期处于偏离最优工况的状态运行，持续损耗内部构件性能，进一步拉低整体可靠性^[4]。

（三）外部环境与工况影响因素

外部环境与工况的复杂多变，会对流体控制设备形成持续性的外部侵蚀与动态冲击，是诱发设备突发故障、破坏运行稳定性的重要客观因素，且这类影响往往具有隐蔽性与累积性。工业现场普遍存在高温、高压、粉尘弥漫、潮湿积水、腐蚀性气体弥散等恶劣环境，会持续侵蚀设备外壳防护层、密封件、电子线路板，加速构件老化、绝缘失效与电路短路，逐步蚕食设备可靠性；流体介质自身的强腐蚀性、高含杂率、大黏度波动等特性，会对阀芯、阀体、管路内壁等核心部件形成持续冲刷、化学腐蚀与堵塞淤积，破坏设备内部精密结构与流通性能；生产过程中的工况骤变、瞬时过载、压力波动等冲击，会打破设备平稳运行状态，造成部件应力骤增、传动失灵、控制失准等问题；同时配套的动力系统、传感系统、控制系统若存在协同适配偏差、运行故障隐患，还会引发连锁反应，进一步放大流体控制设备的运行风

险，加剧可靠性衰减^[5]。

（四）管理与人员层面的影响因素

管理与人员层面的软性短板，是制约设备可靠性长效提升的核心主观因素，往往会放大技术层面的不足，导致各类可靠性管控举措难以落地见效。运维人员专业素养不足，既未系统掌握设备结构原理、运维规范与故障排查技巧，也无法应对复杂工况下的设备调试与隐患处置，甚至会因违规操作、误判故障加剧设备损坏程度；可靠性管理制度体系缺失，未针对设备全生命周期制定专项的可靠性管控、风险预判、故障溯源与整改制度，使得可靠性提升工作缺乏顶层设计与制度支撑，沦为零散化的被动运维；运维监管与考核机制不健全，无法有效约束运维人员的作业行为，也未将设备可靠性指标纳入运维考核体系，导致日常巡检、养护、检修等工作流于形式，责任落实不到位，难以从管理端筑牢设备可靠性的保障防线，最终制约整体可靠性水平的稳步提升^[6]。

三、工业流体控制设备可靠性多维度提升策略

（一）设计源头可靠性优化策略

设计源头是保障流体控制设备可靠性的核心根基，推行全流程的设计优化策略，能从根源规避先天缺陷，筑牢设备长效稳定运行的基础。针对工业场景的复杂作业需求，开展精细化结构设计并借助专业仿真工具开展多工况模拟验证，可提前排查结构受力、介质流通、部件配合等潜在问题，优化设备整体构造，适配重载、连续运行的工业工况；结合现场腐蚀、磨损、高低温等实际工况特性，优选适配性强的优质材料与高性能核心零部件，能有效提升设备抗损耗、抗老化能力，规避材质与部件短板引发的故障；搭建标准化加工装配管控体系，落实全流程精度校验与质量把控，可消除加工装配瑕疵，保障设备整机装配质量；同时优化冗余设计与容错性能，针对关键控制模块、核心执行部件增设冗余配置，提升设备故障容错能力，即便局部部件出现异常也能维持基础运行，最大限度降低失效风险^[7]。

（二）全生命周期运维管控策略

全生命周期运维管控是维持流体控制设备可靠性的关键抓手，通过构建系统化运维机制，能实现从被动抢修向主动防控的转变，延缓设备性能衰减。构建分级分类预防性维护体系，结合设备运行时长、工况强度、部件损耗规律划分维护等级，制定差异化预防性维护计划，可提前消除隐性隐患，减少非计划停机；搭建实时状态监测与故障预警机制，依托传感技术、智能监测设备全程追踪设备运行参数，及时捕捉异常信号并发出预警，实现故障早发现、早处置；规范精准化检修维护流程，明确检修标准、操作规范与质量验收要求，杜绝粗放式检修，保障检修作业的有效性；落实设备老化管控与迭代更新管理，建立设备老化评估机制，对超期服役、性能衰退严重的设备及时开展维修改造或迭代更新，避免老化设备带病运行，持续维系设备可靠运行状态^[8]。

（三）工况适配与环境防护策略

工况适配与环境防护是抵消外部不利因素、稳固设备可靠性的重要举措，针对性优化防护与调控措施，能弱化恶劣工况与环

境对设备的侵蚀冲击。针对工业现场高温、粉尘、腐蚀、潮湿等恶劣环境，开展专项防护改造，加装防护套件、做好密封防腐处理、优化设备布设环境，阻断外界侵蚀路径，保护设备核心构件；结合流体介质的腐蚀性、含杂率、黏度等特性，开展适配性优化调整，通过介质预处理、部件抗腐蚀性等方式，降低介质对设备的冲刷、腐蚀与堵塞风险；升级工况波动调控与过载防护装置，优化压力、流量调控逻辑，缓解工况骤变、过载运行带来的设备冲击，减少应力损耗与部件损伤；同时推进配套系统协同可靠性优化，梳理设备与动力、传感、控制系统的协同适配逻辑，排查协同故障隐患，保障整套系统联动运行的稳定性，避免连锁故障影响流体控制设备运行。

（四）管理与人员赋能提升策略

管理与人员赋能是保障各类可靠性提升策略落地见效的软性支撑，通过补齐管理短板、强化人员素养，能筑牢设备可靠性管控的人文防线。着力培育专业化运维团队，吸纳兼具设备原理、运维实操、故障处置能力的专业人才，打造懂技术、善操作的专项运维队伍，夯实运维工作的人力基础；完善全流程可靠性管理制度，结合设备全生命周期管控需求，制定覆盖设计、运维、检修、更新各环节的管理制度，明确管控标准与责任边界，为可靠性提升工作提供制度遵循；推动标准化运维作业流程落地，细化巡检、维护、检修、调试等各环节操作细则，让运维人员有章可循，规范作业行为；构建系统化技能培训与考核激励机制，定期开展运维技能、可靠性管控知识培训，将设备可靠性指标与运维考核、激励挂钩，倒逼运维人员履职尽责，提升整体运维管控水平，助力设备可靠性持续提升。

四、可靠性提升策略实施保障体系

（一）技术保障

技术保障是工业流体控制设备可靠性提升策略落地的核心支撑，唯有筑牢技术根基，才能让各类优化管控举措具备实操性与长效性，切实破解设备可靠性管控的技术痛点。针对设备运维与故障管控需求，引入先进的无损检测、在线监测等专业技术，能够突破传统检测模式的局限，精准捕捉设备隐性故障与性能衰减信号，实现隐患早识别、早处置；依托数字化、智能化技术赋能，搭建设备可靠性管控平台，整合运行数据、运维信息、故障记录等资源，推动运维管控从人工粗放式向智能精准化转型，提升管控效率与预判

能力；同时聚焦工业复杂工况需求，持续推进流体控制设备核心技术研发与迭代升级，针对设备设计、运维、防护中的技术短板开展攻关，不断优化技术方案，让可靠性提升策略始终适配行业技术发展

与现场工况变化，强化技术端的保障力度^[9]。

（二）制度保障

制度保障是规范各项工作流程、压实管控责任的关键抓手，能够为可靠性提升策略的有序推进提供刚性约束，避免管控工作流于形式、权责模糊。健全层级化责任管控机制，明确企业管理层、技术部门、运维班组等各层级的责任边界与履职要求，构建层层压实、闭环管控的责任体系，杜绝责任真空与推诿扯皮问题；完善运维考核与激励制度，将设备可靠性指标、运维工作成效、隐患整改落实情况纳入核心考核范畴，配套对应的奖惩举措，充分调动运维人员的工作积极性与责任心，倒逼管控举措落地见效；搭建合规化管理体系，贴合行业安全生产规范、设备运维标准与质量管控要求，梳理全流程管理细则，确保策略实施的每一项工作都有章可循、合规开展，筑牢制度层面的保障防线^[10]。

（三）资源保障

资源保障是推动可靠性提升策略稳步落地、长效运行的物质基础，充足且适配的资源供给，能够破解策略实施中的资金、物资、技术资源瓶颈，保障各项工作有序开展。落实专项资金投入保障，合理规划资金使用方向，重点倾斜于技术引入、设备改造、运维升级、人员培训等核心环节，杜绝资金短缺导致的管控举措停滞问题；优化核心备件储备与管理，结合设备运行工况、故障规律与备件损耗周期，科学规划备件储备品类与数量，建立规范的备件入库、领用、盘点机制，保障故障抢修时备件供应及时，缩短停机检修时长；积极整合行业技术资源，加强与行业内科研机构、设备厂商、同行企业的交流合作，共享先进技术、管控经验与解决方案，借助外部优质资源补齐自身短板，全方位夯实资源保障体系，助力可靠性提升策略高效落地。

五、结语

综上所述，工业流体控制设备可靠性受多维度因素交织影响，本文经现状分析、因素剖析，提出系统化的可靠性提升策略并搭建配套保障体系，可切实指导企业解决设备故障问题、降低运维成本。未来结合数字化技术实现设备智能管控，将成为设备可靠性提升的重要发展方向。

参考文献

[1]王发好,张彩虹,姜鲁艳,等.基于PLC的日光温室混施肥系统设计[J].农机化研究,2025,47(12):126-135.

[2]杨森.移动供热系统就地阀门故障诊断与快速维修技术研究[J].家电维修,2025,(09):6-8.

[3]张镇,王芷衍,华卫星,等.油罐快速清洗智能机器人工作头分析与设计[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(15):103-105.

[4]吕宏强,唐天成,包晨宇.基于SPH法的流固耦合物理自然对流传热数值模拟[J/OL].航空学报,2024.

[5]张飞,张磊,王鹏.关于施工现场如何正确关井的分析与探讨[J].石油工程建设,2024,50(S1):108-116.

[6]池志翔,陈海耀,陈耀,等.智能阀门在流体控制领域的应用研究[J].阀门,2025,(05):534-540.

[7]鲜中东.基于节能理念的铜制阀门性能提升研究[J].城市建筑空间,2024,31(S1):177-178.

[8]李岩,薛东升,孙超,等.阀门质量验收的重要性及流程分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(11):7-9.

[9]罗敏.速特自动化:助力创新制造,引领流体控制技术新篇章[J].造纸信息,2024,(11):43-45.

[10]黄卫星,伍勇,潘大伟.工程流体力学[M].化学工业出版社:202408:336.