

# 化工离心泵机械密封失效原因探讨

李海波

河南中原黄金冶炼厂有限责任公司 河南 三门峡 472000

**摘要:** 本文探讨了化工离心泵机械密封失效的主要原因,包括腐蚀、机械摩擦与磨损、安装与对中问题、汽蚀与振动等,并提出相应的防止对策。通过加强防腐措施、提高安装精度与规范性、优化密封结构与设计以及加强操作人员培训与管理,旨在降低机械密封失效风险,确保化工离心泵在复杂工况下的稳定运行,提升生产效率和安全性。

**关键词:** 化工离心泵;机械密封;失效原因;对策

## 1 化工离心泵及机械密封概述

### 1.1 化工离心泵的工作原理与特点

化工离心泵作为化工行业不可或缺的设备之一,其工作原理基于离心力的作用。当电机带动叶轮高速旋转时,叶轮内的流体受到离心力的作用被甩向外缘,从而在叶轮中心形成低压区。由于这一低压区的存在,吸入管路的流体被源源不断地吸入泵内,并随着叶轮的旋转逐渐加速,最终获得较高的动能和静压能后被排出泵体。这一连续的吸入、加速、排出的过程,便构成了化工离心泵的基本工作原理。化工离心泵在处理腐蚀性、粘性等特殊介质时,展现出独特的性能要求。首先,泵体和叶轮等关键部件需采用耐腐蚀材料制成,如不锈钢、合金钢或特殊合金等,以应对介质的化学侵蚀。其次,泵的设计需考虑介质的粘度变化,通过调整叶轮形状、叶片数量及泵腔结构等,优化流体动力学性能,确保泵在较宽的粘度范围内都能高效、稳定运行。另外,化工离心泵还需具备良好的密封性能,以防止介质泄漏对环境和设备造成损害。

### 1.2 机械密封的构成与工作原理

机械密封作为一种高效、可靠的密封装置,广泛应用于化工离心泵等旋转设备中。其主要由动环、静环、密封圈、弹簧等部件组成。动环通常与泵轴相连并随轴旋转,而静环则固定在泵体或压盖上,两者相对运动形成密封面。密封圈位于动环和静环的两侧,起到密封介质和辅助润滑的作用。弹簧则用于提供必要的预紧力,使密封面保持一定的接触压力,确保密封效果。

机械密封的工作原理基于密封面的紧密贴合和液体的阻隔作用。当泵轴旋转时,动环随之旋转,而静环保持静止。密封面间的微小间隙被介质压力和弹簧预紧力共同作用下的密封液所填充,形成一层极薄的液膜。这层液膜不仅起到润滑作用,还能有效阻隔介质通过间隙泄漏至外部环境;密封面的设计使得任何泄漏的介质都

必须经过复杂的泄漏路径才能流出,而这些路径往往被设计得极为曲折且阻力大,从而大大降低了泄漏的可能性<sup>[1]</sup>。因此,机械密封以其优异的密封性能和较长的使用寿命,在化工离心泵等旋转设备的密封领域占据了重要地位。

## 2 化工离心泵在化工生产中的重要作用

化工离心泵在化工生产中扮演着无可替代的重要角色,它是化工工艺流程中不可或缺的心脏设备。化工生产过程中,往往需要将各种液态物料在不同设备之间安全、高效地转移或循环,这一过程正是离心泵大展身手的舞台。离心泵通过其独特的旋转叶轮设计,能够将机械能转化为流体的动能和压力能,从而实现液体的连续输送。其高效的流体处理能力,不仅保证化工生产的顺利进行,还大大提升了生产效率和产品质量。同时,离心泵能够处理多种不同类型的化学介质,包括腐蚀性液体、高粘度液体、含有固体颗粒的悬浮液等,满足了化工生产中复杂多样的流体处理需求。更为关键的是,化工离心泵的稳定运行直接关系到生产环境的安全。由于化工生产中常涉及易燃、易爆、有毒或有害的物质,一旦发生泄漏,将严重威胁生产人员的生命安全和周边环境。而离心泵采用的机械密封技术,通过精密的密封设计,确保了泵体内介质的封闭性,有效防止有害物质的泄露,为化工生产的安全保驾护航。所以,化工离心泵在化工生产中的重要性不言而喻,它是推动化工行业发展、提升生产效率、保障生产安全的关键力量。

## 3 化工离心泵机械密封失效原因分析

### 3.1 腐蚀因素

在化工离心泵的持续运转中,腐蚀现象是机械密封失效的核心诱因之一。鉴于化工介质的复杂构成与多样特性,诸如强酸、强碱及高浓度盐类等腐蚀性介质频繁出现,它们对机械密封的材质构成严峻挑战。这些介质直接侵蚀密封面的材料,导致表面逐渐剥落、性能衰

退,进而破坏了密封面的平整度,细微的裂痕与孔洞悄然形成,为泄漏埋下了隐患。更为严重的是,腐蚀过程还促进介质中杂质颗粒的沉积,这些颗粒如同砂纸般不断磨损密封面,加剧磨损的恶性循环。长此以往,机械密封的密封性能逐渐丧失,最终引发失效,对化工生产的安全与效率构成重大威胁。

### 3.2 机械摩擦与磨损

机械摩擦与磨损是机械密封失效的又一重要原因。在离心泵运转时,动环与静环之间的相对运动会产生摩擦力,这种摩擦力虽然被润滑膜所减小,但在长时间运行下仍会对密封面造成磨损。同时,如果介质中含有固体颗粒或纤维等杂质,这些杂质会作为磨料加剧密封面的磨损。随着磨损的加深,密封面的密封性能逐渐降低,最终导致泄漏发生;密封面间的温度升高也会加速磨损过程,因为高温会软化密封材料,降低其硬度和耐磨性<sup>[2]</sup>。

### 3.3 安装与对中问题

安装过程中的精准度对于机械密封的效能至关重要。一旦密封面出现安装不平整、紧固力度把握失当或是密封组件的装配顺序有误,都将直接削弱密封效果,埋下泄漏的隐患。此外,泵轴与轴套间的同轴度偏差、密封腔体因各种因素导致的变形,以及泵体运行中的振动等问题,都会促使密封面偏离理想对中状态,使密封面受力不均,加剧磨损过程。这些安装与对中问题,不仅在机械密封的初始阶段就影响其性能,更会在泵的长期运行中逐渐恶化,最终触发密封失效,影响设备的安全稳定运行及生产流程的连续性。

### 3.4 汽蚀与振动

汽蚀是化工离心泵在运行过程中由于局部压力低于介质的汽化压力而产生的空泡现象。当这些空泡随着液体流动到高压区时,会迅速溃灭并产生强烈的冲击和振动。这种汽蚀振动不仅会对泵壳和叶轮等部件造成损伤,还会直接作用于机械密封上。长期的汽蚀振动会导致密封面的微裂纹、剥落和疲劳破坏,从而降低密封性能。另外,泵的振动还可能是由于其他机械故障或运行不稳定引起的,这些振动同样会对机械密封造成不利影响,加速其失效过程。

## 4 防止化工离心泵机械密封失效的对策

### 4.1 防腐措施

为了防止化工离心泵机械密封的失效,特别是在腐蚀性介质环境下,采取一系列有效的防腐措施显得尤为重要。第一,根据具体的介质特性选用合适的密封材料。不同的介质对材料的腐蚀程度不同,因此,必须根

据介质的化学性质、温度、压力等参数,精确选择具有高耐腐蚀性、良好机械强度和热稳定性的密封材料。常见的耐腐蚀材料包括不锈钢、哈氏合金、蒙乃尔合金以及陶瓷、石墨等非金属材料。这些材料能够有效抵御介质的侵蚀,保持密封面的平整度和密封性能。第二,加强密封面的表面处理也是关键。通过采用电镀、喷涂或渗碳等表面处理技术,可以在密封面上形成一层耐腐蚀的保护层,进一步提高材料的耐腐蚀性能。同时,定期检查和更换磨损严重的密封面,确保密封面的完整性和密封效果。第三,优化密封结构和流体动力学设计也是防止腐蚀的有效手段。通过合理设计密封腔体的形状和尺寸,减小介质在密封区域的流速和涡流,降低局部腐蚀的风险。此外,采用双端面或串联式机械密封等结构,可以在介质与密封面之间设置隔离液,有效隔离腐蚀介质,保护密封面不受侵蚀<sup>[3]</sup>。第四,定期维护和检查机械密封系统同样重要。这包括检查密封面的磨损情况、紧固件的松动程度、密封液的供应和泄漏情况等。及时发现并处理潜在问题,可以防止腐蚀的进一步扩展和密封的失效。第五,加强操作管理和培训也是防止腐蚀的重要方面。确保操作人员熟悉机械密封的使用和维护要求,按照规程进行操作和检查,避免误操作和不当维护对机械密封造成损害。同时,建立健全的腐蚀监测和评估体系,定期对介质进行化学分析和监测,及时调整和优化防腐措施,确保机械密封在恶劣的腐蚀环境下仍能稳定可靠地运行。

### 4.2 提高安装精度与规范性

为了防止化工离心泵机械密封的失效,提高安装精度与规范性是至关重要的一环。(1)制定详细的安装操作规程和标准,确保所有安装步骤都符合技术要求。这包括安装前的准备工作,如清洁密封腔体、检查密封部件的完好性、测量泵轴的同轴度等。通过明确的标准和流程,减少因人为因素导致的安装误差,为机械密封的精确安装奠定坚实基础。(2)加强安装人员的培训和技术指导。安装人员需要具备扎实的专业知识和丰富的实践经验,能够熟练掌握各种安装工具和设备的使用方法。同时,通过定期的培训和考核,提高安装人员的技能水平和责任心,确保他们能够按照操作规程和标准进行精确安装。(3)在安装过程中,应特别注意以下几点以提高安装精度:一是确保密封部件的清洁度,避免杂质进入密封腔体;二是精确测量和调整泵轴与轴套、密封腔体之间的同轴度和平行度,确保密封面之间的接触均匀、紧密;三是正确安装密封环、弹簧和辅助密封元件,确保它们的位置正确、紧固力度适中;四是使用合

适的工具和方法进行紧固，避免过紧或过松导致的密封失效。(4)安装完成后还应进行严格的检查和测试，包括检查密封面的平整度、密封液的泄漏情况、泵的运行稳定性和振动情况等。通过这些检查和测试，及时发现并处理潜在的问题，确保机械密封在初始阶段就处于良好的工作状态。

#### 4.3 优化密封结构与设计

为防止化工离心泵机械密封失效，提高安装精度与规范性是不可或缺的关键环节。这一过程涉及多个方面，旨在确保机械密封在安装过程中达到最优状态，从而延长其使用寿命并减少故障率。安装前需进行周密的准备工作，包括但不限于彻底清洁密封腔体及其周边区域，确保无杂质残留；精确测量泵轴的同轴度、直线度以及密封腔体的尺寸公差，为后续调整提供依据；同时，检查所有密封部件的完整性、光洁度及匹配度，确保无损伤、无变形。在安装过程中，应严格按照既定的操作规程进行，遵循“先易后难、先内后外”的原则，有序地安装各部件。特别地，要关注密封面的对中性，利用专用工具精确调整泵轴与密封环的相对位置，确保两者在径向和轴向方向上均达到规定的精度要求。另外，还需注意紧固件的选用与紧固力矩的控制，既要防止松动，又要避免过紧导致的应力集中和部件变形。为了提高安装精度，可采用先进的测量和定位工具，如激光对中仪、精密千分尺等，对安装过程进行实时监测和调整<sup>[4]</sup>。同时，建立安装质量追溯体系，对每个安装步骤进行记录和评估，以便在后续维护和故障排查时提供准确依据。要求安装人员具备专业的技能和丰富的经验，能够熟练掌握各种安装技巧和注意事项。通过定期的培训与交流，不断提升安装团队的整体素质和技术水平。另外，制定严格的安装标准和作业指导书，明确各项操作要求和安全规范，确保每位安装人员都能按照统一的标准进行作业。

#### 4.4 加强操作人员培训与管理

为了防止化工离心泵机械密封的失效，加强操作人员的培训与管理是一项至关重要的对策。针对操作人员

应开展系统的岗前培训；培训内容应涵盖离心泵及其机械密封的基本原理、结构特点、操作流程、日常维护与保养要点，特别是机械密封失效的常见原因及预防措施。通过理论讲解与实践操作相结合的方式，使操作人员全面掌握离心泵及其机械密封的操作技能，提升他们的专业素养。建立定期复训制度；随着技术进步和设备更新换代，新的操作规范和维护要求不断涌现。定期对操作人员进行复训，及时更新他们的知识和技能，确保他们始终能够按照最新的标准和要求进行操作和维护。建立健全的操作人员管理机制；明确操作人员的岗位职责、工作标准和考核办法，实施绩效考核和奖惩机制，激励操作人员积极主动地学习新知识、掌握新技能，提高工作责任心和执行力。同时，加强对操作人员的日常监督和管理，确保他们严格遵守操作规程和安全规范，减少因操作不当导致的机械密封失效事故。鼓励操作人员参与技术交流和经验分享活动；通过搭建交流平台、组织技术讲座和研讨会等方式，促进操作人员之间的沟通与协作，分享成功的操作经验和维护技巧，共同提高应对机械密封失效问题的能力。

#### 结束语

综上所述，化工离心泵机械密封的失效对化工生产具有重要影响，通过深入分析失效原因并采取有效对策，可显著提升机械密封的可靠性和使用寿命。未来，随着技术的进步和管理的完善，理由相信化工离心泵的性能将更加稳定，为化工行业的发展提供更有力的支撑。

#### 参考文献

- [1]彭雨萌,祝海林,金林,等.离心泵密封失效的模糊综合评价[J].常州大学学报:自然科学版,2019(02):52-56.
- [2]刘兆全.单级双吸式离心泵机械密封泄漏原因分析及处理[J].中国化工贸易,2019,11(05):207-209.
- [3]冯伯俊.石油化工离心泵的故障及维护技术[J].化工管理,2021(22):102-103.
- [4]夏洪军.高原地区化工离心泵密封形式改造的探讨[J].中国盐业,2020(02):53-55.