

# 多级泵检修中常见故障排查与处理策略

丁 星

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 多级泵检修中, 常见故障包括流量不足、振动噪声大、泄漏、过热卡死及平衡装置失效等。流量不足多因吸水管漏气、叶轮磨损或堵塞; 振动噪声大常由转子不平衡、轴承故障或轴弯曲引起; 泄漏多源于轴封或法兰密封失效; 过热卡死常因润滑不足、部件磨损或杂质卡滞; 平衡装置失效则与磨损或堵塞相关。针对这些故障, 需通过检查、测量、修复或更换部件等措施, 恢复多级泵性能, 确保其稳定运行。

**关键词:** 多级泵检修; 常见故障排查; 处理策略

引言: 在工业生产与流体输送领域, 多级泵凭借其高压、大流量的特性, 成为关键设备之一。然而, 长期运行中, 多级泵常因介质腐蚀、部件磨损、安装不当等因素, 出现流量不足、振动超标、泄漏严重等故障, 不仅影响生产效率, 还可能引发安全隐患。本文系统梳理多级泵常见故障类型, 结合振动分析、油液检测等先进诊断技术, 提出针对性排查流程与修复策略, 旨在为设备维护人员提供科学指导, 延长泵体寿命, 保障系统稳定运行。

## 1 多级泵结构与工作原理概述

### 1.1 多级泵的基本结构

多级泵核心部件协同保障流体输送效率, 叶轮是能量传递核心, 多组叶轮串联实现压力逐级提升; 导叶负责将叶轮甩出流体的动能转化为压力能, 并引导流体平稳进入下一级叶轮; 轴贯穿泵体, 带动叶轮同步旋转, 需具备高强度与良好同轴度; 轴承支撑泵轴, 减少旋转摩擦, 确保运行稳定性; 密封装置(如机械密封、填料密封)防止流体泄漏与空气进入; 平衡装置则用于抵消轴向力, 避免部件磨损, 延长泵体寿命。

### 1.2 工作原理

(1) 多级离心泵启动后, 电机驱动泵轴带动叶轮高速旋转, 叶轮内流体受离心力作用被甩出, 此时流体获得动能。被甩出的流体进入导叶, 导叶流道逐渐扩大, 流体流速降低, 依据伯努利原理, 动能转化为压力能。流体经导叶引导进入下一级叶轮, 重复“获动能-转压力能”过程, 经过多组叶轮与导叶的协同作用, 最终实现高压流体输出, 完成能量转换。(2) 由于叶轮两侧压力差, 泵运行时会产生轴向力, 若不抵消易导致轴窜动、轴承损坏。常用平衡装置中, 平衡盘通过盘两侧压力差产生反向推力, 自动平衡轴向力, 适应工况变化; 平衡鼓则利用鼓外圆与泵体间环形间隙的压力差, 形成反向

平衡力, 结构简单、可靠性高, 部分多级泵还会组合使用两种装置, 进一步提升轴向力平衡效果, 保障泵体稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 2 多级泵常见故障类型及成因分析

### 2.1 性能下降类故障

(1) 流量不足或扬程降低: 叶轮长期运行易受介质中杂质冲刷导致磨损, 或因介质含颗粒、粘稠物造成流道堵塞, 使流体推动能力减弱; 若泵内吸入空气引发汽蚀, 会破坏叶轮表面并产生气泡, 阻碍流体输送。此外, 密封环是叶轮与泵体间的关键密封部件, 长期磨损会导致间隙过大, 造成流体短路回流, 直接降低泵的实际输出流量与扬程。(2) 效率下降: 泵体内部级间密封件老化、磨损, 会导致级间泄漏量增加, 高压流体回流至低压区, 造成能量损耗; 同时, 轴承磨损、叶轮与导叶摩擦加剧等情况会使机械摩擦损失增大, 两种因素共同作用, 导致泵的有效功率占比下降, 整体效率降低。

### 2.2 振动与噪声异常

(1) 转子不平衡: 介质中的杂质易在叶轮表面积垢, 或腐蚀性介质会对叶轮造成腐蚀, 若叶轮因冲击、疲劳出现裂纹或叶片损坏, 都会导致转子质量分布不均, 高速旋转时产生离心力, 引发泵体振动与异常噪声。(2) 轴承故障: 轴承润滑不足会导致金属直接摩擦, 安装时若间隙不当或同轴度偏差, 会加剧轴承磨损, 磨损后的轴承运转时会产生不规则振动与噪声。(3) 轴弯曲或对中不良: 泵轴长期受径向力作用易发生弯曲, 或电机与泵轴对中偏差过大, 运转时会产生周期性振动, 并伴随摩擦噪声。(4) 基础松动或共振: 泵体基础螺栓松动会导致泵体运行时位移, 若基础刚度不足, 易与泵的固有频率产生共振, 放大振动与噪声<sup>[2]</sup>。

### 2.3 泄漏问题

(1) 轴封泄漏: 机械密封的动、静环因磨损、老化

或密封面损坏会失效,导致流体沿轴泄漏;若采用填料密封,填料长期使用后会变松或失去弹性,无法紧密贴合泵轴,同样引发泄漏。(2)壳体连接处泄漏:法兰密封面若存在划痕、杂质,或密封垫片老化、损坏,会导致法兰连接处密封失效;泵体壳体焊缝若存在焊接缺陷,或长期受温度、压力变化影响,易出现焊缝开裂,造成流体泄漏。

#### 2.4 过热与卡死

(1)轴承温度过高:润滑油量不足或油品变质,会失去润滑作用,导致轴承摩擦生热加剧;若冷却系统管路堵塞、冷却风扇故障,无法及时带走轴承热量,会使轴承温度持续升高。(2)轴卡死:介质中的固体杂质进入泵体内部,会卡在叶轮、轴与壳体之间,阻碍轴的旋转;泵体部件因温度过高发生热变形,或长期运行导致部件磨损变形,会使轴与其他部件卡滞,最终造成轴卡死。

#### 2.5 平衡装置失效

(1)平衡盘磨损或平衡管堵塞:平衡盘长期承受轴向力,与平衡座摩擦易产生磨损,导致密封间隙增大,平衡效果减弱;平衡管若被介质中的杂质堵塞,会使平衡盘两侧压力差无法正常建立,失去平衡作用。(2)轴向力过大导致轴向窜动:当叶轮磨损、密封环间隙过大等情况引发流体受力不均时,会导致轴向力超出平衡装置的承载范围,平衡装置无法抵消过大的轴向力,进而造成泵轴轴向窜动,加剧部件磨损,形成恶性循环。

### 3 多级泵故障排查方法与流程

#### 3.1 故障诊断步骤

(1)初步检查:先观察泵体外观,查看壳体有无裂纹、连接螺栓是否松动、轴封处是否泄漏;同时记录运行参数,包括进出口压力、电机电流、转速、介质温度等,对比额定值判断是否存在异常,初步锁定故障方向(如压力异常指向性能问题,泄漏指向密封故障)。

(2)振动与噪声分析:使用振动测试仪检测泵体、轴承座、电机的振动幅值,结合频谱分析仪分析振动频率,若出现特定频率峰值(如2倍转频可能为转子不平衡,轴承特征频率对应轴承故障),可初步定位故障部件。

(3)温度监测:用红外测温仪检测轴承座、电机绕组、泵体壳体温度,或通过内置轴承温度传感器实时读取数据,若轴承温度超70℃(滚动轴承)、电机温度超额定值,需排查润滑或冷却系统问题。(4)性能测试:通过流量计、压力表测量实际流量与扬程,记录电机输入功率,绘制实际性能曲线并与额定曲线对比,若流量扬程偏低、功率异常,可判断为叶轮磨损、内部泄漏等性能

类故障。(5)内部检查:若上述步骤无法确诊,需停机解体泵体,检查叶轮有无磨损、汽蚀或堵塞,密封环间隙是否超标,轴封组件是否损坏,轴承内外圈及滚动体有无剥落,平衡盘与平衡鼓磨损情况,最终确定故障根源<sup>[1]</sup>。

#### 3.2 关键检测技术

(1)振动频谱分析:通过分析振动信号的频率成分,定位故障频率(如叶轮不平衡对应1倍转频,轴不对中对应2倍转频),区分转子、轴承、联轴器等不同部件的故障,避免盲目拆解。(2)油液分析:提取润滑油样本,通过颗粒计数器检测油中金属颗粒的大小、数量与成分,若铁、铬颗粒增多,可能为轴承磨损;若出现铜颗粒,需排查轴套或密封件磨损,提前预警隐性故障。

(3)超声波检测:利用超声波检测仪向泵体密封面、法兰连接处发射超声波,通过反射信号判断是否存在泄漏,可精确定位微小泄漏点(如轴封密封面损伤、法兰垫片老化),尤其适用于不易观察的泄漏部位。(4)动平衡试验:对拆卸的转子组件进行动平衡测试,若不平衡量超标,通过在转子特定位置添加或去除配重,校正转子平衡精度,解决因转子不平衡引发的振动问题,恢复泵体稳定运行。

### 4 多级泵检修中故障处理策略与维修技术

#### 4.1 性能下降的处理

(1)叶轮修复或更换:若叶轮磨损较轻,可采用堆焊技术(如不锈钢堆焊)填补磨损部位,再通过车削加工恢复原有尺寸与精度;对于局部腐蚀或小裂纹,激光熔覆技术可精准修复,减少材料损耗;若叶轮磨损、汽蚀严重(如叶片断裂、表面蜂窝状损伤),需直接更换同型号叶轮,更换后需检查叶轮与轴的配合间隙,确保同轴度。(2)密封环间隙调整或更换:先用塞尺测量密封环与叶轮的径向间隙,若间隙超差较小,可对密封环内圈进行车削加工,缩小间隙至标准范围(通常为0.15-0.3mm);若间隙过大或密封环出现严重磨损、变形,需更换新密封环,安装时保证密封环与泵体的同轴度,避免因安装偏差导致间隙不均。(3)汽蚀防护措施:优化吸入条件,如降低吸入管路阻力(增大管径、减少弯头)、提高吸入液面高度,避免泵内出现负压;对于输送易汽蚀介质的场景,选用抗汽蚀材料(如双相不锈钢、哈氏合金)制作叶轮,或在叶轮进口处加装诱导轮,增强抗汽蚀能力。

#### 4.2 振动与噪声控制

(1)转子动平衡校正:将转子组件(含叶轮、轴)送至动平衡试验机,检测不平衡量与相位,通过在转子

平衡面上添加配重块（如焊接平衡块、粘贴平衡胶泥）或铣削去除部分材料，使不平衡量控制在允许范围内（通常  $\leq 5\text{g}\cdot\text{mm}$ ），校正后需重新安装并检查转子运转平稳性。（2）轴承更换与润滑优化：若轴承出现磨损、剥落或异响，需更换同型号高精度轴承，安装时采用热装法（加热温度  $\leq 120^\circ\text{C}$ ），避免硬敲硬砸；同时优化润滑系统，清理润滑油路，更换适配的润滑油（如高速泵选用32号极压抗磨液压油），控制润滑油量（油位至轴承半径处），延长轴承寿命<sup>[4]</sup>。（3）轴对中调整与基础加固：使用激光对中仪检测电机与泵轴的对中偏差，若径向或角向偏差超差，通过调整电机地脚螺栓、增减垫片，使对中偏差控制在0.1mm以内；若基础松动，先紧固基础螺栓，对开裂或沉降的基础，采用灌浆料（如环氧树脂灌浆料）加固，增强基础刚度，避免共振。

#### 4.3 泄漏治理

（1）机械密封维修：若机械密封端面出现划痕、磨损，可使用研磨机（配金刚石研磨膏）对动、静环端面进行研磨，直至端面粗糙度达Ra0.025 $\mu\text{m}$ 以下；检查弹簧弹力，若弹力不足或变形，更换同规格弹簧，调整弹簧压缩量（通常为2-5mm），确保密封端面紧密贴合，减少泄漏。（2）填料密封优化：根据介质特性选择填料材料（如输送高温介质用石墨填料，腐蚀性介质用四氟填料），填料安装时采用分层填充、逐圈压实的方式，避免出现间隙；调整填料压盖压紧力，以填料处有少量滴漏（每分钟10-15滴）为宜，既保证密封效果，又避免因压得过紧增加摩擦损耗。（3）法兰密封修复：拆卸法兰，清理密封面杂质与老化垫片，若密封面有浅划痕，用细砂纸打磨平整；更换适配的密封垫片（如高压场景用金属缠绕垫片，低压场景用橡胶垫片），安装时按对角线顺序分次紧固螺栓，确保法兰面均匀受力，避免局部泄漏。

#### 4.4 过热与卡死解决

（1）轴承清洗与润滑系统改进：拆卸轴承，用煤油或清洗剂清洗轴承内外圈及滚动体，去除油污与杂质，检查轴承磨损情况；若润滑系统堵塞，清理润滑油泵、过滤器与管路，加装油位监测装置，实时监控润滑油量，对高温环境下的泵，可增加冷却套，通过循环水降低轴承温度。（2）轴校直或更换：用百分表检测泵轴弯

曲度，若弯曲量较小（ $\leq 0.1\text{mm/m}$ ），采用压力校直法（如液压校直）或火焰校直法校正；若弯曲严重或轴出现裂纹、磨损超标，更换新轴，新轴安装前需检测同轴度与圆跳动，确保符合精度要求。（3）清除杂质：拆卸泵体，用高压水枪或压缩空气冲洗内部流道，清除叶轮、导叶处的杂质与结垢；清洗吸入管路过滤器，更换滤网（若滤网破损），在泵进口处加装精细过滤器（过滤精度  $\leq 50\mu\text{m}$ ），防止杂质再次进入泵体，避免轴卡死<sup>[5]</sup>。

#### 4.5 平衡装置维护

（1）平衡盘修复或更换：检查平衡盘表面，若出现磨损、划痕，用研磨机研磨平衡盘与平衡座接触面，恢复密封性能；若平衡盘磨损严重（厚度减少超10%）或出现裂纹，更换新平衡盘，安装时调整平衡盘与平衡座的轴向间隙（通常为0.1-0.3mm），确保平衡效果。（2）平衡管疏通与压力调整：拆卸平衡管，用铁丝或高压空气清理管内杂质、结垢，确保管路通畅；检测平衡管进出口压力，若压力差异大，调整平衡管阀门开度，或更换管径适配的平衡管，使平衡盘两侧压力差稳定在设计范围内，有效抵消轴向力，避免轴向窜动。

#### 结束语

多级泵作为工业流体输送的核心设备，其稳定运行直接关乎生产效率与安全。本文通过剖析流量不足、振动异常、泄漏等典型故障的成因，系统阐述了从初步检查、精密检测到针对性维修的全流程策略。未来，随着智能监测技术与新材料的应用，故障预判与自主修复能力将显著提升。企业需强化日常维护与数据化管理，以预防性检修替代事后抢修，从而降低运维成本，推动多级泵向高可靠性、长寿命周期方向持续发展。

#### 参考文献

- [1]尹佳丽,孙红玉.多级离心泵的检修与维护分析[J].科学与信息化,2020(6):52-53.
- [2]孙红玉,尹佳丽.多级离心泵振动故障诊断及处理研究[J].科学与信息化,2020(6):29-30.
- [3]李生军.多级离心泵的常见故障及检修研究[J].化工管理.2018,(18).196-197.
- [4]初彦廷.两端支撑轴向剖分式多级离心水泵常见故障及维修[J].装备维修技术,2020(2):41-43.
- [5]张晓余.多级离心泵常见故障及处理措施分析[J].商业2.0(经济管理),2020(3):42-43.