

高速离心泵机密封泄漏原因分析及改进措施

李世明

陕西省榆林市延长中煤榆林能源化工股份有限公司 陕西榆林 719000

摘 要: 高速离心泵是工业生产中广泛使用的关键设备,其机械密封的性能直接影响泵的运行可靠性和使用寿命。本文深入分析了高速离心泵机械密封泄漏的主要原因,从设计选型、制造工艺、装配质量、运行工况、维护保养等方面入手,提出了一系列改进措施,以期为提高高速离心泵机械密封的密封性能、减少泄漏故障提供参考。

关键词: 高速离心泵;机械密封;泄漏;原因分析;改进措施

引言:

高速离心泵是石油化工、电力、冶金等行业的关键设备,随着工业技术的不断进步,对其性能的要求也越来越高。机械密封作为高速离心泵的核心部件之一,直接影响着设备的安全平稳运行。然而,在实际使用过程中,机械密封泄漏问题频发,给生产运行带来诸多困扰。因此,深入分析高速离心泵机械密封泄漏发生的原因,提出切实可行的改进措施,对于保障高速离心泵的长周期稳定运转具有重要意义。

1. 机械密封泄漏原因分析

1.1 设计选型不合理

机械密封的泄漏问题很大程度上源于不合理的设计选型。设计人员在选择机械密封的结构型式、材料配对和关键参数时,必须全面考虑高速离心泵的实际工况条件。如果盲目照搬常规设计,忽视了介质特性、温度压力范围等因素,就可能出现密封结构不适宜、材料与介质不相容、弹簧力设置不当等问题,最终导致密封副的磨损加剧、烧损甚至腐蚀,密封性能大幅下降。

1.2 制造装配质量缺陷

即便机械密封的设计选型十分合理,如果在制造装配环节控制不严,也会埋下泄漏的隐患。密封端面的加工精度、配合间隙的公差、动静环的同轴度等,都是影响密封性能的关键因素。一旦出现密封端面粗糙度超标、间隙尺寸偏大、装配偏心过大等质量缺陷,密封副就难以正常啮合,局部应力集中、端面贴合不均、泄漏通道扩大等问题就会接踵而至。

1.3 运行工况超设计限制

机械密封在实际运行过程中,经常会遇到比设计工况更为苛刻的情况。输送介质的温度压力忽高忽低,变化幅度超

出密封材料的许用范围;高速旋转带来的离心力、惯性力反复冲击密封端面;轴系的振动使密封副时而贴合时而分离;介质中的固体颗粒对摩擦副两面形成持续的磨蚀。在这些复杂工况的长期作用下,机械密封的性能势必会逐渐退化,最终因无法承受反复应力而失效。

1.4 辅助系统故障频发

机械密封的正常工作还依赖于润滑冷却等辅助系统的稳定运转。动静环之间液膜的形成,需要润滑冷却液持续稳定地供给;密封副之间摩擦产生的热量,也需要冷却系统及带走。然而实际运行中,这些辅助系统却经常出现流量不足、压力波动剧烈、杂质污染冷却器、散热不及时等故障。结果导致液膜厚度不足、局部高温使端面烧结粘着,密封副最终因磨损加剧而泄漏。

1.5 维护保养不重视

在机械密封投入使用后,定期开展预防性维护保养至关重要,但很多企业对此重视不够。缺乏对机械密封性能劣化趋势的监测,错过了早期故障征兆;日常维护制度流于形式,致使密封件使用超期服役;密封拆装缺乏规范指导,造成端面划伤等二次损伤;备品备件管理混乱,影响检修进度和质量。在这种情况下,机械密封的老化失效就成为必然,严重泄漏事故也就在所难免。

2. 机械密封泄漏的改进措施

2.1 优化密封设计选型

机械密封的可靠运行,首先取决于合理的设计选型。设计人员在选择机械密封方案时,必须充分考虑高速离心泵的实际使用工况。首先要了解输送介质的物化特性,如密度、粘度、颗粒度、腐蚀性等,选用与之相容的密封副材料。其

次要掌握泵在运行过程中的温度和压力变化范围,尤其是极限工况下的峰值情况,据此确定密封结构的型式、尺寸以及材料的耐高温耐压等级。此外,还需考虑泵的转速和功率、叶轮的直径和形式、轴封腔的尺寸、轴向力的大小等因素,它们都会影响密封副所承受的载荷和应力。

在明确了各项设计条件后,就可以开始优化选型了。对于一般清水介质,可选用端面接触式的单端面机械密封;输送高温高压介质时,宜采用非接触式的气膜密封或气液混合密封;对于易燃易爆介质,必须选用双端面串联密封并配备冲洗系统;若介质具有强腐蚀性,则要选用耐蚀性能优异的材料,如陶瓷、碳化硅、氧化铝等。密封副材料的搭配要兼顾耐磨性和抗粘性,常见的组合有碳石墨/不锈钢、碳化钨/碳化钨、碳化硅/碳化硅等。弹簧则多采用螺旋弹簧或波形弹簧,要恰当设置其刚度系数和预紧力,既要确保密封面稳定接触,又要控制磨损在允许范围内。对于叠合结构的金属波纹管密封,其膜片的内外径、波高和波数的设计尤为关键,直接决定密封性能的优劣。

2.2 加强制造装配质量控制

机械密封的制造装配质量,是影响其能否稳定运行、可靠密封的关键因素。因此,在产品实现的过程中,必须强化制造和装配两个环节的全面质量控制,狠抓每道工序、每个细节,确保产品质量满足设计要求。在机械密封零部件的加工制造环节,要采用先进的加工工艺,配备精度较高的数控加工设备。对于密封端面这样的核心部件,可采用金刚石车削、研磨等精加工方法,确保其表面粗糙度 R_a 达到 $0.2\mu m$ 以下,平面度优于 $0.3\mu m$ 。在动静环结合面和弹簧座等配合部位,要严格控制配合间隙尺寸,保证装配后同轴度误差小于 $0.05mm$ 。对于橡胶 O 形圈等非金属密封件,要优选优质材料,并严把模压、硫化等工艺参数,确保产品硬度、弹性等性能稳定。

产品装配是机械密封质量形成的最后一道防线。装配前,要对所有零部件进行清洗、检验,剔除加工缺陷和外观不良品,确认其材料和热处理状态满足要求。装配时,要严格遵守装配图纸和工艺文件的规定,准确控制配合间隙和紧固力矩,必要时借助专用工装夹具,确保同轴度和垂直度满足要求。对于弹簧力的施加,可采用专用工具进行调节,使其满足设计范围,并通过压力传感器实时监测。装配完成后,要进行严格的泄漏测试和性能试验,模拟实际工况下的

温度、压力、转速等条件,考核机械密封的综合性能,及时发现潜在的质量缺陷。

2.3 开展密封性能监测与维护

机械密封作为高速离心泵的关键部件,其性能的优劣直接决定着设备能否长周期、高效率地稳定运转。因此,在机械密封投入使用后,相关工作重点就要从制造质量控制转移到性能监测和维护保养上来。只有密切关注密封的实际工作状态,并及时采取预防和修复措施,才能将各类故障消灭在萌芽状态,最大限度发挥密封的效能。

首先,要建立机械密封性能的定期监测制度。根据泵的重要等级、使用频率、所处工况等因素,制定周、月、年不同周期的巡检计划。重点要关注机械密封的泄漏量、泄漏速率等直接反映密封性能的指标,掌握其动态变化规律。同时,还要借助振动、温度等间接参数,分析判断轴系和摩擦副的运行状况。这就需要在密封附近布置泄漏、振动、温度等传感器,并将其接入在线监测系统,实现数据的自动采集、分析和报警。当监测参数超出预设阈值时,系统便可及时预警,提醒相关人员采取措施。大型透平机组还可配置密封在线监测诊断系统,通过对泄漏信号的频谱分析等技术手段,实现机械密封故障的早期诊断,为状态检修提供可靠依据。

其次,机械密封的维护保养也要常抓不懈。要本着“预防为主,防消结合”的原则,制定周密的定期保养计划并严格执行。日常巡检时要重点检查密封的泄漏情况,并留意泵轴的振动和轴封腔的温度等异常变化。发现问题要及时处理,必要时停机检修,避免小的泄漏发展成大的事故。对于需要更换的易损件,如弹簧、O 形圈等,要提前准备好备品备件,确保检修质量和进度。大修时还要对密封端面进行拆检,测量磨损量是否超标,分析磨损原因并采取针对性改进措施。在维护保养过程中,还要注重对相关人员的培训教育,规范拆装维修操作,防止人为失误造成二次损伤。

2.4 重视辅助系统运行维护

机械密封的可靠运行,不仅取决于密封本体的性能,还与其辅助系统的配合密不可分。其中,润滑冷却系统作为最重要的辅助,直接影响着密封端面的摩擦状态、热应力分布等。润滑冷却不良,会导致密封副界面温度急剧升高,加剧磨损烧蚀,引发泄漏故障。因此,必须高度重视润滑冷却系统的运行维护,将其纳入机械密封整体可靠性管理的范畴。

首先,润滑冷却设备本身要经过合理选型和精心维护。

冷却器的换热面积要满足全工况条件下的散热需求,且要预留一定余量;冷却介质的流量、温度、压力等参数要严格控制在设计范围内。开车时要对冷却器进行吹扫,排除杂质;运行中要定期对其进行清洗、除垢,必要时采用在线清洗技术,确保传热效率稳定在较高水平。热交换设备如列管式冷却器,在停机时还需彻底排空,防止冬季冻裂。其次,润滑冷却系统管路的维护同样不可忽视。管路是连通密封端面与冷却设备的纽带,也是泄漏的高发部位。要采用耐腐蚀、高强度的金属管材,减少法兰、接头数量,降低泄漏风险。对于振动较大的管段,要合理设置固定支座,避免疲劳失效。运行中要经常检查管道外表面有无锈蚀、鼓包、裂纹等缺陷,重点关注阀门、法兰等连接部位,发现问题及时处理。

2.5 加强泵振动控制

高速离心泵的振动问题,与机械密封的健康状态有着密切关系。泵轴系的不平衡振动会引起密封端面的交变应力,加速密封副的疲劳失效。动静环密封面之间的液膜,也会因振动而发生周期性波动,影响其润滑和散热效果。此外,过大的振动位移还可能造成轴套与轴颈的碰摩,局部热点的出现加剧了密封材料的黏着磨损。因此,为保障机械密封安全可靠,必须将泵振动控制作为重要的辅助手段,并贯穿于设备全生命周期管理中。

首先,泵轴系的动平衡校正要作为重中之重。制造单位在出厂前,要利用高精度平衡机,对泵轴、叶轮、联轴器旋转部件进行动平衡试验,校正其不平衡量,使其满足相关标准要求。现场安装时,要利用激光准直仪,精确测量泵与电机轴线的同轴度,控制连接误差在允许范围内。投运后要定期进行现场动平衡,对转子不平衡引起的振动进行在线诊断和校正,消除新增的不平衡量。

其次,泵基础和管路系统的刚度也很关键。良好的基础要确保足够的整体刚度和均匀的刚度分布,最大限度地抑制外界振动向泵的传递。混凝土基础要掺加减振材料,钢结构基础要设置阻尼装置,可在基础与设备结构之间设置隔振垫或减振器,降低高频振动的传递。对于进出口管路,要合理布置其支撑位置和数量,减小管路悬臂的长度,提高管系的固有频率,避免与泵的运行频率发生耦合共振。必要时可在

管路上设置挠性接头,减小由于热胀冷缩引起的附加应力。

最后,合理控制泵的启停和转速也能有效降低振动。频繁启停会加大转子不平衡激励,瞬态过程的液体激励也可能引起密封端面的“抖动”。因此,要优化生产工艺流程,最大限度减少泵的启停次数。同时,变工况运行时要平稳地调节泵的转速,避免陡升陡降,减小转速通过临界区时的振动冲击。必要时可实施转子动力学分析,掌握转子振动特性,规避危险转速区。

结论

高速离心泵机械密封泄漏是一个多因素耦合、多工序关联的复杂问题。设计选型不合理、制造装配质量缺陷、苛刻工况考验、润滑冷却不良、维护保养不善等,都是导致泄漏的常见原因。但归根结底,还是要从设计源头入手,优化机械密封结构,改善润滑冷却条件,并在制造、装配、运维等各环节,强化质量管控和预防保养,从而最大限度地规避、减缓和控制机械密封的泄漏风险,实现高速离心泵的长周期安全运行。

参考文献:

- [1] 胡思源,董亮,朱建成,等.立式离心泵典型故障复现试验研究[J].排灌机械工程学报,2024,42(06):563-569.
- [2] 王永夏.海上石油平台多级离心泵机械故障检测方法[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(04):51-53.
- [3] 于宏宇.化工离心泵机械密封失效原因[J].化工管理,2021,(24):159-160.

作者简介:

姓名:李世明

出生年 -:1982.07

性别:男

民族(汉族略):汉

籍贯(省、市/县):陕西省榆林市靖边县

学历:本科

目前职称:设备技术员

所在单位:陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司

研究方向:设备