

浅析注水泵机封泄漏原因及改造方法

余俊杰¹ 高光² 胡学志¹

(1 中海油能源发展装备技术有限公司机电中心 天津 300452; 2 中海油能源发展采油服务分公司 天津 300452)

摘要: 注水泵驱动端机械密封频繁故障, 多次更换机封后仍未彻底解决故障。本文从机械密封的原理及注水泵结构入手, 逐步分析注水泵驱动端机械密封故障的原因, 采用试验的方法和排除的方法找到了机械密封故障的根本原因。根据故障原因提出了改造方案, 成功解决了注水泵驱动端机械密封频繁泄漏的故障。

关键词: 机械密封; 机封泄漏; 冲洗管线; 节流孔板; 注水泵

1 背景

某平台注水泵的结构形式为中分式多级离心泵, 中分式多级离心泵壳体沿轴向剖分, 上部为泵盖, 下部为泵体, 吸入口和吐出口均在泵轴线下方的泵体上, 其中心线与轴线垂直, 检修时不需要拆卸进水和出水管路, 即可开泵盖取出转子, 具有结构紧凑、便于维修的优点。

某平台共有四台同型号的注水泵。注水泵设备资料如下, 型号: KHP170-140 X10, 流量: 175 m³/h, 扬程: 1200m, 转速: 2980r/min, 功率: 1120kW, 日常生产时三用一备。

自2013年6月起, 注水泵故障频繁, 仅2013年6月到12月之间便更换机械密封十余套。其主要表现形式为驱动端机械密封损坏造成介质泄漏, 损坏部位主要为动环密封面磨损较为严重以及波纹管破裂。新机械密封安装后一个月左右就损坏, 无法使用, 严重时新安装的机械密封15天即损坏, 导致设备无法正常运行, 此情况已经严重影响平台生产, 需尽快解决该故障, 故对该设备故障部分进行了检查与分析。本文从机械密封原理和注水泵结构入手, 抽丝剥茧逐步分析, 找到机械密封损坏的根本原因。根据故障原因提出了彻底解决注水泵驱动端机械密封损坏的方法, 进行改造后很好地解决了注水泵驱动端机械密封频繁损坏的故障, 为其它采油平台多级离心泵类似故障提供了一次可借鉴的成功案例。

2 分析故障原因

2.1 机械密封的密封原理

机械密封是用于旋转轴的动密封, 又称端面密封, 其主要特点是密封面

垂直于旋转轴线, 并且由弹性元件、辅助密封圈等构成的轴向磨损补偿机构。机械密封的工作原理就是以两个相互贴合平的与旋转轴线垂直的密封表面, 并相对转动的密封装置。它是靠弹性元件和密封介质的压力, 随轴旋转的动环和不随轴旋转的静环的接触端面上产生适当的压紧力, 使这两个接触端面紧密贴合, 端面间维持一层极薄的液膜, 从而达到密封的目的。

常用的机械密封结构如图1所示。主要由动环、静环、静环胶圈、压盖、弹簧、弹簧套筒、套筒胶圈、轴套、轴套胶圈等元件组成。

密封点A在动环与静环的接触面上, 它主要靠泵内液体压力及弹簧力将动环压贴在静环上, 防止A点泄漏。但两环的接触面A上总会有少量液体泄漏, 它可以形成液膜, 一方面可以阻止泄漏, 另一方面又可起到润滑的作用。为保证两环的端面贴合良好, 两端面必须平直光洁。密封点B在静环与静环座之间, 属于静密封点, 用有弹性的O型圈压于静环和静环座之间, 靠弹力使弹性

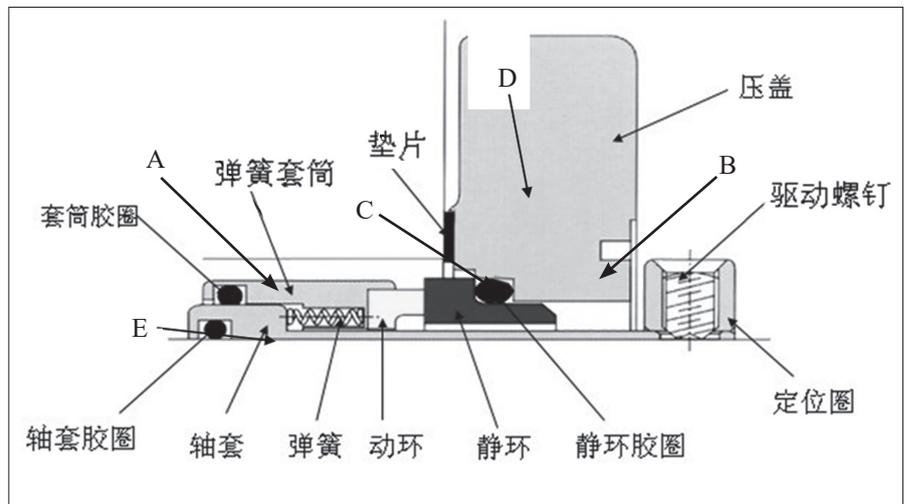


图1 机械密封结构图

密封圈变性而密封。密封点 C 在动环与轴套之间，此处也属于静密封，考虑到动环可以沿轴向窜动，可采用具有弹性和自紧性的 V 形密封圈来密封。密封点 D 在静环座与壳体之间，也是静密封，可用密封圈或垫片作为密封元件。密封点 E 在轴套与轴之间，也是静密封，可用密封圈作为密封元件。

2.2 关键原因确认

2.2.1 机械密封安装不当

通过对机械密封拆卸检查，检查泵轴上各密封位置完好，没有明显的损伤，表面粗糙度满足使用要求；检查各密封 O 型圈尺寸满足使用要求，没有明显的损坏及变形现象；检查机械密封预紧量为 3.5mm，满足使用要求；检查各螺栓紧固扭矩满足要求。机械密封组装后进行静压试验，打开泵的入口阀门，使介质充满泵体，并将空气完全排净，此时泵体内压力约为 0.1MPa，通过观察无明显泄漏现象。手动盘车并观察机械密封泄漏情况，未发现有明显泄漏的情况。

2.2.2 机械密封关键零件选材不合理

摩擦副所用的材料耐磨性差、摩擦系数大、端面比压（包括弹簧比压）过大等，都会缩短机械密封的使用寿命。拆解损坏的机械密封，并对损坏部位进行分析，个别波纹管有破裂的现象，对波纹管材质及结构强度进行分析，均满足使用要求；通过试验检查波纹管：在故障机封的波纹管上下面分别盖上表面洁净的玻璃，在波纹管外加纯净水，利用此种方法对波纹管进行简单的密封试验，通过试验未发现波纹管有泄漏或吡漏现象，试验过程如图 2 所示。

当对波纹管内的水施加一定的压力（用手按压玻璃板）时波纹管出现吡水现象，如图 3 所示。由此可以看出机械密封波纹管破裂。

机械密封动环材质为碳化硅，检查故障的机械密封动环密封面磨损较为严重，损坏的机械密封动环与新机械密封动环对比发现，动环密封面几乎被磨平，机械密

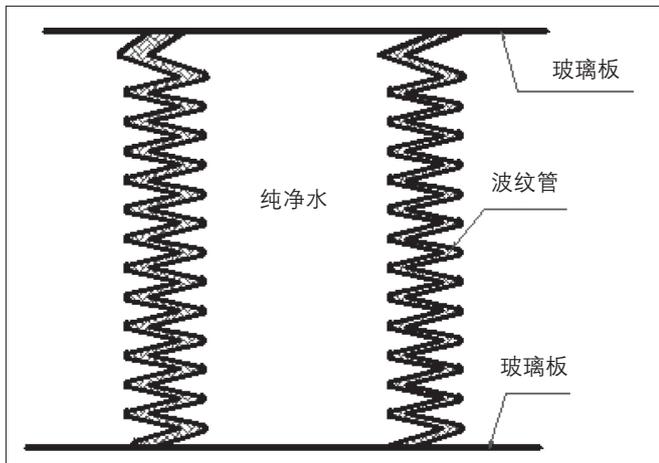


图 2 波纹管测试（未施加压力）

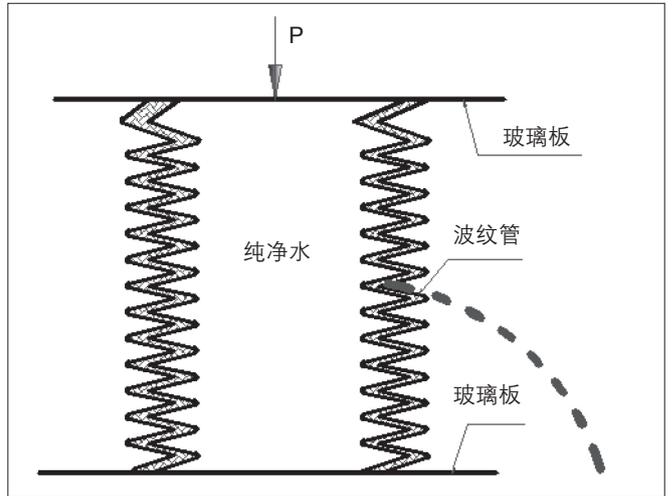


图 3 波纹管测试（施加压力）

封静环材质为硬质合金，机械密封静环完好，未见明显磨损，初步判断机械密封动环材质存在选材不合理的情况。

2.2.3 流程原因

由于原有机密封腔室没有安装压力表，因此无法确切的知道机械密封腔室内的压力，现场更换机械密封的过程中在机械密封压盖的取压孔处安装一块压力表。启泵试验，从机械密封压盖上新添加的压力表上读出机械密封腔室内的压力为 6MPa，从机械密封出厂资料中找到机封波纹管的设计压力为 4MPa。通过以上数据对比分析可以得知，机封波纹管长时间在高于设计压力的环境下运行导致波纹管压裂。由于机械密封腔室内存在较高的压力，致使机械密封动环后端面承受较大的压力，该压力大于动环紧固螺钉的预紧力，导致动环水平移动（从泵轴的痕迹上可以明显看出），从而使动环密封面严重磨损。

根据泵体结构进行分析，如图 4 所示，驱动机械密封与泵体高压端之间由节流轴套、节流衬套隔开，并且机械密封腔室的冷却液通过节流环后由平衡管导入吸入口。根据该泵的参数进行计算，单级叶轮的出口压力约为 1.2MPa，节流衬套的右侧是五级叶轮的出口压力，通过计算，此处压力约为 6MPa，由此分析机械密封腔室的压力是由泵体高压端的液体通过节流轴套和节流衬套之间的间隙流入并且平衡管回流不及时导致。

通过对泵解体检查测量，发现节流轴套与节流衬套之间间隙约均在 2mm 以上，正常配合间隙为 0.35 ~ 0.4mm，已经严重超标。节流衬套材质为 ZG10Cr12NiMo 不锈钢，节流轴套材质为 RWA350 高硫不锈钢，这两种材质具有一定的耐腐蚀性，但耐磨性较低。又因介质内含砂量较大，所以在很短的时间造成节流轴套与节流衬套磨损，致使大量高压介质从此处泄漏。

综上所述，机械密封频繁损坏的主要原因是由于机

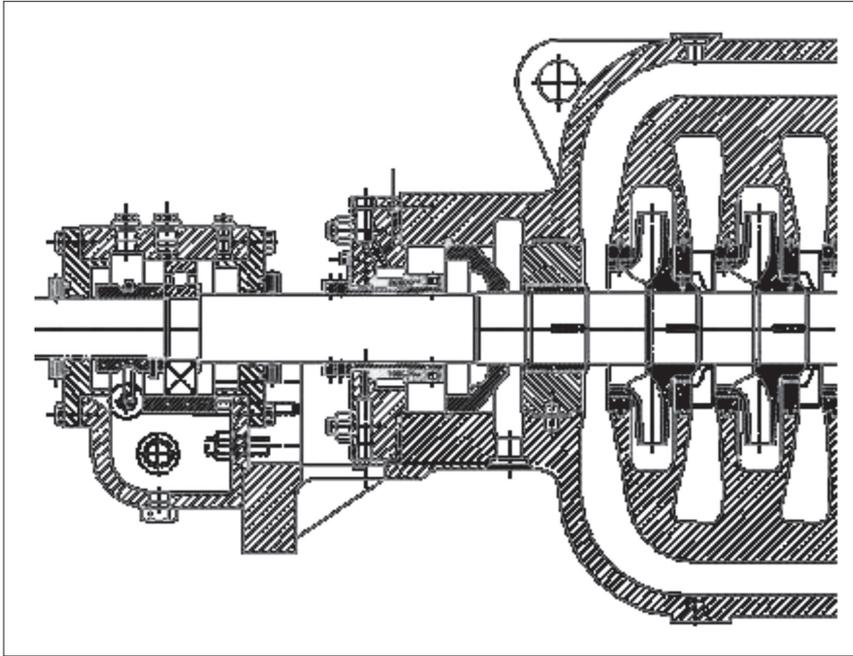


图4 注水泵结构图

械密封腔室压力过高造成，而造成机械密封腔室压力过高的主要是由于节流衬套、节流轴套磨损过快造成，导致节流衬套和节流轴套磨损过快的是由于流程介质含沙量较高造成的。由于流程介质含砂的问题短时间内无法解决，为了确保设备能够正常运转，最终确定对节流轴套、节流衬套进行改造。

3 故障解决方案

3.1 改造机械密封冲洗管线

在机械密封冲洗管线上加装旋流除砂器。旋流除砂器的安装十分重要，因介质内含砂较多，砂子随着机械密封冲洗管线进入机械密封腔室内，导致机械密封磨损。机械密封冲洗水由二级叶轮出口处流出，进入机械密封冲洗管线，通过三通分别流入驱动端和非驱动端的旋流除砂器，再经由旋流除砂器将砂子分离出来，砂子通过旋流除砂器底部回流到吸入口，清洁的水进入机械密封腔室对机械进行冷却，大大减少了机械密封的磨损。

3.2 改造平衡管回流管线

机械密封腔室内的冷却介质及通过节流轴套和节流衬套泄漏的高压介质，均由平衡管回流到泵吸入口。随着节流轴套和节流衬套的磨损，间隙增大，则泄漏量增大。增加平衡管的回流通径，可以及时有效的将泄漏的介质导入吸入口。又因平衡管流道的限制，仅能将原来1"管线，扩大为1-1/4"的管线。

3.3 改造节流轴套及节流衬套

改造前节流衬套材质为ZG10Cr12NiMo不锈钢，节流轴套材质为RWA350高硫不锈钢，这两种材质具有一定的耐腐蚀性，但耐磨性较低。节流轴套和节流衬套的

正常配合间隙为0.4mm，工作时轴套与衬套不直接接触，但因介质内含砂较多，造成磨损，导致间隙增大。所以针对这种情况，采用物理性能及化学性能良好且容易加工的材料作为衬套和轴套。

改造后选用碳化硅材料制作衬套。碳化硅的优点：耐腐蚀、耐高温、强度大、导热性能杰出、耐磨损、易于加工，且能在极小的间隙下长期工作。碳化硅的缺点：不耐冲击，薄弱部分容易碎裂。因此制作时，将碳化硅套镶装在ZG10Cr12NiMo不锈钢套内。轴套选用的材料是2Cr13不锈钢表面焊接镍基耐磨合金。镍基耐磨合金强度高，在任何温度下具有良好的抗蠕变性，它比普通合金更耐疲劳且不容易氧化，镍基合金在成分上不同于普通合金，至少有十种合金元素，这种复杂的成分添加将使它在任何环境下都

具有良好的耐腐蚀性，它的塑性和焊接性比普通合金好很多。

3.4 实施效果

某平台注水泵D泵通过改造机械密封冲洗管线、扩大平衡管回流通径、节流轴套和节流衬套改造后，从机械密封压盖压力表处观察机械密封腔室内的压力已降至0.9MPa。与改造之前数据对比，该泵能够稳定运行，证明改造效果良好。连续跟踪泵运行状态，已经连续运行达8个月，泵效、振动、噪声、温度、压力均在标准范围内。

4 结语

某平台注水泵驱动端机械密封腔室内的压力过高，使机械密封处于高于设计压力的环境下工作是导致机械密封泄漏并且多次更换机封不成功的根本原因，通过机械密封冲洗管线上安装旋流除砂器、扩大平衡管回流管线、节流轴套和节流衬套进行改造，有效的解决了注水泵频繁更换驱动端机械密封的问题，节约了成本，降低了设备的故障率。密封辅助系统（如冷却、冲洗等）对机械密封的正常工作十分重要，而本文讨论的问题在多级高压离心泵中普遍存在，采用的改造方案可作为机械密封冲洗管线改造的典型案例，以供借鉴和参考。

参考文献：

- [1] 田伯勤. 新编机械密封实用技术手册 [M]. 北京：中国知识出版社，2005.
- [2] 孙玉霞，李双喜，李继和. 机械密封技术 [M]. 北京：化学工业出版社，2014.