

分瓣式浮动密封失效分析

王伟军 刘同宇 孙 浩 赵希文 贺玉存 姚 毅

(中国石油兰州石化公司)

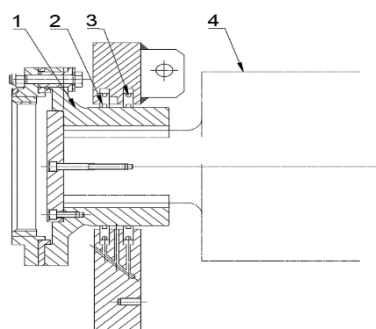
摘 要：某装置离心压缩机机组由压缩机、电机、离合器和透平膨胀机组成，离合器一侧油封为分瓣式浮动密封，检修更换新油封后出现泄漏现象。本文结合泄漏现象和油封结构，通过对多个可能造成泄漏的原因进行分析，判断是轴向偏差过大导致润滑油泄漏，并提出相应解决措施。

关键词：分瓣式；浮动密封；泄漏；找正

某装置在压缩机机组检修过程中对离合器靠近电机侧分瓣式浮动油封进行更换，按照压缩机厂家找正数据对机组整体和离合器进行找正。2023 年 8 月压缩机开车后，离合器靠近电机侧油封出现漏油现象，漏油量约为每天 2 升，开车后 5 个月内，泄漏量仍维持在之前水平，无扩大或缩小趋势，从现场观察泄漏主要在油封的两侧和下部，其中下部泄漏非常明显。离合器漏油会导致油箱液位持续下降，且可能会演化为大量泄漏，对于机组的长周期稳定运行造成较大威胁。

1 故障分析

离合器的主体为棘轮结构，输入轴为透平膨胀机轴，输出轴为电机轴，输入轴由两个径向滑动轴承支撑，电机轴为悬空状态，两个轴与离合器主体之间通过螺栓连接，当电机发生故障停止运转时，透平膨胀机开始工作，带动输入轴开始转动且转速高于输出轴时离合器开始接合，其他情况下离合器均处于脱开状态。



输出轴轮毂 2. 分瓣式浮动密封 3. 环簧 4. 输出轴（电机轴）

图 1 离合器分瓣式浮动密封结构示意图

离合器两侧各有油封防止润滑油从两侧泄漏，输入轴侧为迷宫密封，输出轴侧为分瓣式浮动密封。分瓣式浮动密封具有以下特点。

密封圈为分瓣式，分为两个半圈，侧面没有弹簧座，外圈开槽用于安装环形弹簧圈，防止两个分瓣密封圈分开，内圈上也开有沟槽，有利于形成油膜将密封圈浮起，使密封圈与旋转轴之间有更

好的同心率，能最大程度的减少泄漏。

密封圈安装在密封座的沟槽中，密封圈的轴向侧面与密封座沟槽之间存在间隙，所以该密封圈的轴向侧面也是一个密封面，当侧面间隙过大时可能会出现泄漏，因此这种浮环密封圈对于轴与密封座之间的垂直度要求非常高。

两道密封，内侧为第一道，外侧为第二道，两道密封为串联密封。轴承箱内部为微正压，工作时两道油封均被向外侧推，所以两道密封的轴向密封面均向外侧。

结合该浮动密封结构的特殊性和润滑油泄漏的现象分析，可能造成泄漏的原因有以下几点。

1.1 新油封尺寸不匹配

本次检修时，对拆除的分瓣式浮动密封圈尺寸进行测量，如果径向尺寸不合适，新油封内径过大，则径向密封间隙变大，利用黏性摩擦的损耗对润滑油节流的作用变差，将会导致泄漏量增大，经测量轴颈为 124.95mm，油封内径为 125.10mm，密封间隙为 0.15mm，满足技术要求 0.15~0.25mm。如果浮动密封圈轴向厚度过小，与密封座沟槽之间的间隙过大，润滑油会从侧面间隙处泄漏，密封圈轴向厚度过大，密封座沟槽侧面对浮动密封圈的摩擦过大，在轴旋转的过程中，浮动密封环无法正常浮动，转轴与密封圈之间的偏心率过大，润滑油会从内圈面处泄漏。将其与之前未发生泄漏的旧油封进行对比，测量数据基本吻合，所以可以将油封尺寸不合适导致润滑油泄漏的原因排除。

表 1 新旧油封测量数据

	轴向厚度 /mm	内径 /mm
新油封 1	7.93	125.08
新油封 2	7.93	125.10
旧油封	7.93	125.08

1.2 底部回油孔回油不畅

离合器分瓣式浮动密封底部有三个回油孔，可以将从密封圈处漏出的润滑油导回轴承箱，从而减少向外泄漏。如果回油孔发生堵塞，将会导致润滑油向外泄漏，在检修过程中对底部三个回油孔检查，发现无堵塞现象，因此可以将回油孔回油不畅排除。

离合器密封座沟槽与输出轴垂直度偏差过大

根据以上对分瓣式浮动密封圈的结构特点和密封特性分析，浮动密封圈有防转销，防转销为短圆柱，密封座上安装防转销的空间为方形，防转销可以在方形槽中轻微浮动，浮动包括上下浮动和左右浮动，同时防转销可以保证油封安装正确。由于浮动密封圈可以轻微运动，所以当转轴位置偏高或偏低时，密封圈通过浮动能与转轴之间保持较好的同心度。此种形式的密封圈对径向偏差 insensitive，这也是在离合器上选择这种密封形式的原因。虽然浮动环密封圈对于径向偏差 insensitive，但从以上分析来看，这种密封圈对于轴向偏差敏感度比较高。

对于轴向偏差过大，由于输出轴为电机轴，电机轴与压缩机在离合器与电机找正之前已找正，所以电机轴本身的轴向偏差非常小，漏油主要原因是离合器箱体轴向偏差过大，导致密封座沟槽与密封圈间隙过大。因此，首先对浮动密封圈由于离合器箱体轴向偏差过大导致的密封失效进行讨论：

径向密封完全失效。如图 2 所示，当离合器箱体轴向偏差过大时，会导致浮动密封圈与转轴的接触面密封变成线密封，转轴直径 $L1=124.95\text{mm}$ ，油封内径 $L2=125.10\text{mm}$ ，通过作图分析，此时离合器箱体的最大轴向偏差 $e1=2.767\text{mm}$ 。

轴向密封完全失效。如图 3 所示，当离合器箱体轴向偏差过大时，油封一侧紧贴油封座，另一侧完全开口，导致油封轴向密封面与油封座之间成最大间隙，此时离合器箱体最大轴向偏差 $e2=0.17\text{mm}$ ，是油封座沟槽宽度 8.10mm 与油封轴向厚度 7.93mm 之间的差值。

从以上径向密封完全失效和轴向密封完全失效的油封座轴向偏差极限值分析，要保证油封不完全失效，轴向偏差最大不能超过 0.17mm。

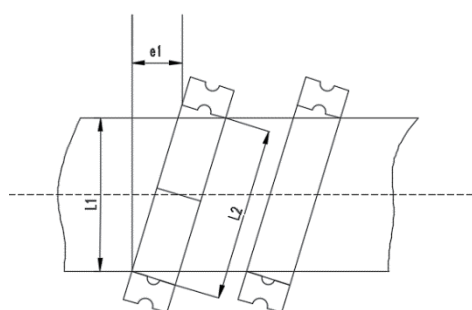


图2 径向密封失效

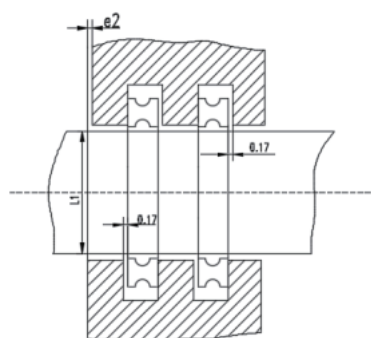


图3 轴向密封失效

检修过程中，拆除离合器上盖、输入轴与输出轴之间的离合器主体，测量离合器箱体的轴向偏差，发现箱体水平方向偏差为 $e_3=0.12\text{mm}$ ，垂直方向偏差为 $e_4=0.10\text{mm}$ 。由于轴向偏差小于 0.17mm ，所以在运行过程中油封完全垂直与转轴，按照以上数据作图分析。

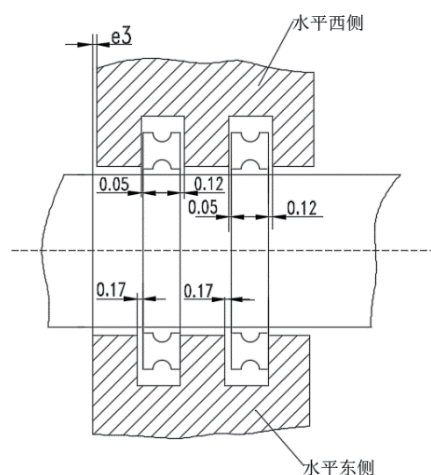


图4 水平方向轴向偏差

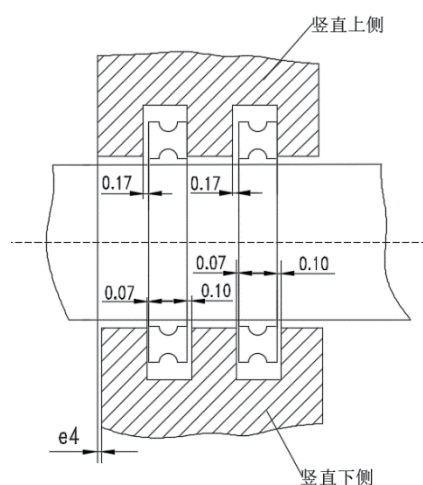


图5 竖直方向轴向偏差

如图4、图5所示，箱体水平方向偏差为 0.12mm ，垂直方向偏差为 0.10mm 时，第一道密封水平方向东侧轴向密封面紧贴密封座，西侧轴向密封面与密封座之间的间隙为 0.12mm ；第二道密封同理。

第一道密封垂直方向上侧轴向密封面紧贴密封座，下侧轴向密封面与密封座之间的间隙为 0.10mm ，第二道密封同理。

当在工作状态时，第一道和第二道密封的泄漏点为西侧和下侧，而离合器箱体内润滑油液位不会高过油封上侧，所以润滑油先从第一道密封圈西侧和下侧漏出，部分经底部回油孔流入轴承箱，由于泄漏量大，回油孔回不及，少量跨过两道密封圈之间的密封座，从第二道密封圈西侧和下侧漏出，造成润滑油从离合器电机轴侧漏出。

2 解决方法

按照故障分析为轴向偏差过大导致轴向密封失效，因此在本次检修中须减小轴向偏差，将轴向水平和垂直偏差均要求在 0.05mm ，对离合器箱体位置重新找正，最终找正数据为轴向水平偏差 0.03mm ，垂直偏差 0.05mm 。径向水平偏差 0.05mm ，垂直偏差 0.05mm 。开车后泄漏量相对于检修前大大减小。

3 改进措施

针对以上泄漏原因,要使总体泄露量继续减少,①解体后检查底部回油孔是否有堵塞现象,疏通回油孔,使大部分从第一道密封圈泄漏的润滑油回到轴承箱,从而减少第二道密封向轴承箱外泄漏。②降低轴向偏差,减少第一道密封的泄漏量,尽量减少第一道密封从东西两侧的泄漏,使第二道密封下侧贴紧密封座。对于找正而言,尽可能使水平偏差降低,尽可能使垂直偏差降低且下侧的打表数据大于上侧。③在安装离合器上盖之前,中缝面处需涂抹密封胶,应注意靠近油封处不宜涂抹过多,防止密封胶挤压到密封槽中,影响密封圈的正常浮动。④安装新油封前,将转轴表面及油封座沟槽中的油泥等杂物清理干净,使油封在工作时轴向密封面紧贴油封座沟槽。⑤检查离合器顶部呼吸阀是否完好,要保证离合器轴承箱内部处于微正压状态。

4 总 结

本次润滑油泄漏原因为离合器箱体相对于输出轴轴向偏差过大,油封轴向密封面与油封座之间的间隙过大,导致润滑油泄漏量大,底部回油孔回油不及,从第二道密封圈西侧和下侧漏出,造成润滑油从离合器电机轴侧漏出。分瓣式浮动密封有径向和轴向两个密封面,两个面都具有良好的密封性时,才会使泄漏量降到最小。分瓣式浮动密封由于可以上下浮动,所以对径向偏差不敏感,但对轴向偏差非常敏感,过大的轴向偏差会导致油封轴向密封面与油封座接合面形成间隙,导致润滑油泄漏,在以后安装新油封过程中应当尤为注意轴向位置找正。

参考文献

- [1] 蔡仁良,顾伯勤,宋鹏云. 过程装备密封技术 [M]. 化学工业出版社. 2006
- [2] 贾江宁,陈志,李建明等. 浮环密封的结构分析及研究现状 [J]. 机械, 2007, (10): 1-3+14.
- [3] 赵炬颖,徐乙人,祝天一等. 自适应迷宫密封仿真及实验研究 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(03): 463-469.
- [4] 王飞,刘向锋,刘莹. 浅槽环瓣型浮动环密封的性能分析 [J]. 润滑与密封, 2005, (06): 74-76+85.
- [5] 蒋利军,廖甘标. 大型高速电机油封泄漏的改造 [J]. 机械, 2008, (04): 73-75.
- [6] 刘明明,李伟. 加氢进料泵电机油封漏油原因及安装改进建议 [J]. 河南化工, 2022, 39(05): 38-39.