

高压离心风机轴承箱密封改进设计研究

马强

(上海沃克通用设备有限公司 上海 201414)

摘要: 高压离心风机的正常运转关联着整个生产线的可靠性,甚至关联到产品的合格率和产量。如果高压离心风机故障,可能造成巨大的经济损失和安全事故。轴承箱密封合理设计和使用是保证和提高风机可靠性的有效措施。文章针对 4 种常见的轴承箱密封形式展开研究,分析其优缺点并加以改进,取得了良好的实际使用效果。

关键词: 高压离心风机; 轴承箱; 密封; 轴承隔离器

0 引言

高压离心风机是一种用途非常广泛的工艺设备,在废气治理、石油化工、精细化工、集成电路、显示玻璃等行业都有大量的使用案例。该设备通常与自动化生产线动态连锁,生产负荷增大时,高压离心风机通过变频器升频运行,提高转速,从而提高流量和压力;生产负荷降低时,高压离心风机降频运行,降低转速,从而降低流量和压力。该设备的正常运转关联着整个生产线的可靠性,甚至关联到产品的合格率和产量。在有些工艺过程中,如果高压离心风机故障,不但会造成产品报废,废气浓度超标,更严重的会导致有毒有害废气逸散,导致人员伤亡,造成巨大的经济损失和安全事故。

因此,各风机厂家都在研究提高风机的可靠性,延长风机的第一次大修时间。使用更好的轴承、提升机械加工精度、提升动平衡品质、利用高精度激光对中仪提高对中度等,都能有效地降低风机的故障率。但在研究的过程中,发现有一个部件的研究被大多数工程技术人员忽略了,那就是对轴承箱密封的研究。轴承箱密封设计和使用不合理会导致轴承箱漏油,造成轴承缺油损坏,另外也会污染环境。本文将针对 4 种常见的轴承箱密封形式展开研究。

1 常用的轴承箱密封形式与现状

目前,风机行业轴承箱常用的密封有填料密封、迷宫密封、骨架油封、轴承箱隔离器 4 种形式。

填料密封一般采用毛毡作为填料,使用时将毛毡装入密封槽内,通过对密封压板上的螺栓紧固对填料施加预紧力,利用压力使得毛毡挤压变形,使其紧紧抱在轴上,同时利用毛毡的吸附能力起到密封的作用。毛毡具有天然弹性,呈松孔海绵状,可存贮润滑油和防尘。轴旋转时,毛毡又将润滑油从轴上刮下反复自行润滑。在

此基础上,市场上逐渐出现了 PTFE 填料、芳纶填料、陶瓷纤维填料等多种填料材料。

迷宫密封是另外一种常见的密封形式。迷宫密封是在密封腔和旋转轴之间,由一组密封齿片形成一系列有规则的节流间隙和膨胀空腔,当油气流过密封齿与轴表面构成的间隙时,油气受到一次节流作用,油气的压力和温度下降而流速增加,经过间隙之后是 2 个密封齿形成的较大空腔,油气在这一空腔内速度下降形成涡流,动能衰减。类似的,油气多次经过间隙和空腔,动能逐步衰减,随着油气流经间隙和空腔数量的增多,油气的流速和压降越来越大,待压力降至近似背压时,压力差接近 0,油气不再继续外流,从而实现了油气的密封。

骨架油封也很常见。骨架油封结构由三部分组成:油封体、加强骨架和自紧螺旋弹簧。通常,在自由状态下的骨架油封,其内径比轴径略小,也就是内径相对于轴具有一定的过盈量。当骨架油封装入密封槽内后,油封密封唇的弹性和弹簧的收缩力对轴产生径向抱紧力,遮断泄漏间隙,从而起到密封的作用。投入运行后,由于密封唇和轴的摩擦,该压力会逐渐变小,这时弹簧可在一定范围内补偿油封自紧力,持续保证密封效果。

轴承箱隔离器是近十年出现的新型密封产品,是在复合迷宫密封的基础上发展起来的一种非接触密封形式。其机构由静环、动环、浮动环组合而成,静环阻止润滑油泄漏并带有回油孔,动环防止外界污染物进入轴承箱。浮动环连接动环与静环,将其锁定为一个整体,这个整体结构同时具有蒸汽阻隔作用。动环和静环上使用的是 O 型圈密封,轴承隔离器是一种非接触、无磨损的轴承保护装置。当设备运行时,动静环之间不接触,所以没有功率损耗,同时利用自身结构特点防止漏油。

2 各类型密封形式的优缺点分析

填料密封、迷宫密封、骨架油封、轴承隔离器 4 种

轴承箱密封形式都较为常用，也各有优缺点，应用场合各不相同，下面通过数据加以比较和分析。

填料密封是一种最常用的密封形式，其填料可以是毛毡、PTFE、芳纶、石墨、陶瓷纤维等多种材料，不同的填料使用的环境和要求不尽相同。这种密封的特点是结构简单、成本低、体积小，可使用不同材料制作，使用温度范围 -120 ~ 600℃，线速度根据填料不同而不同，毛毡填料最大线速度不超过 10m/s，聚四氟乙烯填料不超过 20m/s，芳纶填料不超过 15m/s，石墨绳填料不超过 10m/s。密封压力一般为常压，最高也不超过 0.05kPa。填料密封的缺点是寿命较短，高转速下 3 ~ 6 个月就需要更换。因填料与轴长期接触且有一定压力，轴高速运转导致填料与轴同时磨损，进而密封间隙增大导致漏油。更换时需要将轴承箱与动力单元和负载拆开才能更换填料，维护工作量相对较大。填料磨损后的粉末也容易进入轴承箱，对轴承箱内的润滑油造成污染，导致润滑油提前变质失效。

迷宫密封也是轴承箱常用的密封方式，通常在轴承箱端盖和轴上错开加工环槽，利用多道密封齿和环槽产生的摩阻效应和流束收缩效应降低润滑油压头和动能，阻挡润滑油泄漏。这种密封在高转速条件下具有良好的密封效果，无需润滑、无摩擦、基本上无需维护、功率损耗小、使用寿命长、耐高温、耐腐蚀。线速度可达 80m/s，使用温度范围 -120 ~ 600℃，使用寿命可达 6 年以上。密封压力一般为常压，最高不超高 1kPa。缺点是加工精度高导致成本较高，装配精度高，对轴跳动有严格要求，20mm 以下的轴径无法使用迷宫密封。更换时需要将轴承箱与动力单元和负载拆开才能更换，对维修人员的素质要求较高，维护工作量相对较大。

骨架油封在轴承箱密封中也比较常用。骨架油封安装位小，轴向尺寸小，使机器紧凑，价格便宜，通用性好，材质橡胶耐油性好，弹簧能自动补偿磨损间隙，有很好的防尘能力，无需维护，有一定的耐腐蚀能力，密封压力可达 200kPa，对轴跳动不敏感，装配精度要求不高。缺点是功率损耗大，密封寿命短，一般使用寿命为 3 ~ 12 个月。由于其材质和结构所限，所以使用时不能承受

表 轴承箱各密封形式对比

轴封形式	主体材质	温度范围 /℃	密封压力 /kPa	最大线速度 /(m/s)	使用寿命 / 月	成本系数
填料密封 (毛毡)	304 不锈钢	-40 ~ 90	≤ 0.05	10	3 ~ 6	1.0
填料密封 (PTFE)	304 不锈钢	-40 ~ 200	≤ 0.05	20	12 ~ 18	1.2
迷宫密封 (45 钢)	45 钢	-120 ~ 400	≤ 1	80	≥ 72	10.0
迷宫密封 (304 不锈钢)	304 不锈钢	-120 ~ 600	≤ 1	80	≥ 96	22.5
骨架油封 (丁腈橡胶)	丁腈橡胶	-15 ~ 150	≤ 200	20	3 ~ 6	0.4
骨架油封 (氟橡胶)	氟橡胶	-40 ~ 300	≤ 200	20	6 ~ 18	1.3
轴承隔离器 (磷青铜合金)	磷青铜合金	-40 ~ 200	≤ 0.05	60	≥ 72	3.0

高温。丁腈橡胶骨架油封使用温度 -15 ~ 150℃，氟橡胶骨架油封使用温度 -40 ~ 300℃。骨架油封不能用于高转速的轴承箱密封，线速度不超过 20m/s。更换时需要将轴承箱与动力单元和负载拆开才能更换，维护工作量相对较大。

轴承箱隔离器是一种新型密封产品，可根据客户要求定制，目前在风机行业使用非常少，但这种密封形式优点明显，应引起工程技术人员重视。轴承箱隔离器结构紧凑，厚度通常为 8 ~ 30mm，不增加轴承箱长度，也不需要轴对轴承箱结构进行改型设计。这种隔离器通常采用动静环设计，动环与轴面通过 O 型圈过盈配合；静环与轴承箱端盖密封槽也通过 O 型圈过盈配合，不需要在轴上开槽或安装轴套，直接按压推入即可安装完成，安装非常方便。动环和静环运转时不接触，无磨损，寿命长达 6 年以上。无功率损耗，无温升。动环密封严密，有良好的防尘效果，其内部的浮动环静态时能防止水蒸气进入轴承箱内部，大幅提高轴承寿命，提升轴承箱传动系统的可靠性。轴承隔离器通常采用磷青铜合金或不锈钢制成，有一定的耐腐蚀抗锈效果。使用温度范围宽，-40 ~ 200℃均可使用。密封压力一般为常压，最高不超高 0.05kPa。其采用对称截面设计，转速转动时颤动小，最大使用线速度可达 60 ~ 90m/s（型号不同最大线速度会有差异）。对轴的加工精度要求不高，轴径向跳动公差可达 30 丝，轴向窜动公差可达 50 丝。安装方式灵活多样，可代替骨架油封采用内装方式，也可以采用外装形式以方便拆装，但密封效果均不受影响。外漏部件均为金属，耐 UV 照射，不易老化。其使用的 O 型圈均为标准件产品，用户可自行更换。其缺点是加工工艺复杂，加工精度高，成本高昂，与骨架油封相比，其成本高出 7 ~ 10 倍。拆卸时需要专用工具和特殊手法，否则拆卸时容易损坏。

通过以上分析研究，轴承箱各密封形式各有优缺点，对比见表。

3 项目改造案例

上海金山化工区某联苯环氧产线项目使用了 12 台

高压离心风机, 风量 $28000\text{m}^3/\text{h}$, 静压 23000Pa , 电机功率 250kW , 转速 $2980\text{r}/\text{min}$, 采用轴承箱稀油润滑。该批风机于 2018 年 3 月投入使用, 初期使用性能稳定, 运行工况良好。18 个月后逐渐出现轴承箱固定轴承端漏油现象。该批风机轴承箱密封采用的是氟橡胶骨架油封, 线速度约为 $15.6\text{m}/\text{s}$ 。在现场查看时发现, 漏油问题是由于骨架油封磨损间隙增大导致的。由于该生产线是企业重要的生产资料, 停机维修会带来巨大影响, 所以决定对轴承箱密封进行改造, 提升密封可靠型。为了尽量减少停机时长, 决定利用原轴承箱密封端盖改造, 非标设计符合技术要求的密封形式。综合现场条件和要求, 设计指标为密封设计寿命为 48000h , 最大线速度 $30\text{m}/\text{s}$ 以上, 利用摩擦力安装, 没有条件使用螺栓压紧, 该厂环境有一定的腐蚀性, 密封件需要耐腐蚀, 能防尘防水保护轴承, 后期更换应能快速完成。综合以上要求, 研究分析后发现只有轴承隔离器能满足要求。最终设计方案为轴承隔离器动环、静环一体式设计和装配, 静环外侧设计 2 个 O 型圈以增加其密封性, 动环内侧也设计 2 个 O 型圈增加抱紧力, 防止产生轴向位移。在动环和静环之间设计 O 型圈浮动环, 既能防止动环与静环摩擦, 也能减小空腔体积, 进一步降低泄漏风险。静环上设计回油槽和回油孔, 由于回油量较大, 回油孔设计成长孔结构, 以增大回油量。为了提高装配精度, 实现快速安装, 在静环上设计定位台阶, 该台阶与轴承箱端盖配合定位。设计方案如图所示。

4 改进后的实际使用效果

改进后, 该轴承隔离器安装方便, 运行稳定, 取得了立竿见影的效果, 动环和静环同心度仅差 3 丝, 温度未见明显上升。12 台高压离心风机再未出现漏油情况。风机振动、轴承温度等各项指标均正常。连续观察 16 个月后轴承隔离器未见明显变化, 证明该改进方案可靠有效。

5 结语

截至目前, 该轴承隔离器的设计方案已在数十个项

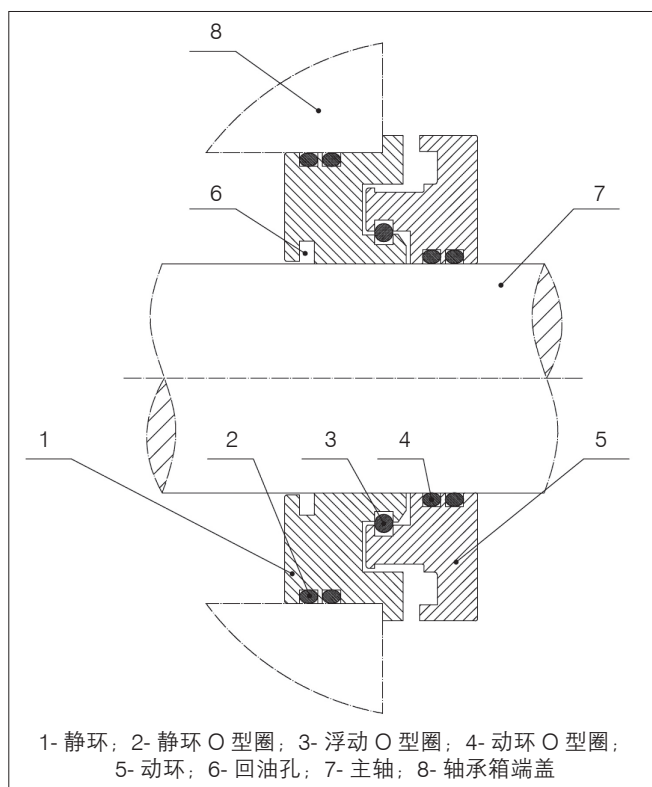


图 设计方案

目上得到验证。相较于传统的轴承箱密封, 轴承隔离器是一种较为先进的密封形式, 其动静环的非接触设计, 能大幅提高密封的可靠性和使用寿命, 同时还具有安装方便、轴径向跳动容差大、能隔离水汽和灰尘、耐腐蚀、转速高、功率损耗小的特点。轴承隔离器的正确使用, 能将轴承的寿命提升 $4 \sim 5$ 倍。随着轴承隔离器设计技术和加工技术的发展, 成本有望大幅降低, 其市场占有率也在不断提高, 逐渐替代传统的轴承箱密封已成为趋势。

参考文献:

- [1] 成大先. 机械设计手册·第三卷(第5版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [2] 顾永泉. 机械密封实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.