

晶化釜搅拌器轴承故障分析及处理措施

万元东, 李建恒, 黄良国

四川金象赛瑞化工股份有限公司, 四川 眉山 620031

DOI:10.61369/ERA.2026100024

摘 要 : 介绍了一种晶化釜, 在运行过程中出现的搅拌器轴承损坏问题并进行原因分析。针对晶化釜的设备结构、搅拌器的工作环境 and 安装、轴承的润滑脂等问题, 提出了处理措施, 并根据介质特点选用耐磨蚀性能好的釜底轴承, 耐高温、抗有机溶剂性能好的润滑脂, 并对轴承座的结构进行优化, 以及加强了轴承的运行维护和监测, 确保了搅拌器的安全稳定运行。改造后的搅拌器轴承故障明显减少, 轴承的运行周期从300h左右延长到4000h以上, 没有再出现搅拌器振动过大的问题, 从而保证了设备的长周期、安全、稳定运行。

关 键 词 : 搅拌器; 轴承; 润滑; 故障分析; 处理措施

Analysis of Bearing Faults in the Crystallization Vessel Mixer and Handling Measures

Wan Yuandong, Li Jianheng, Huang Lianguo

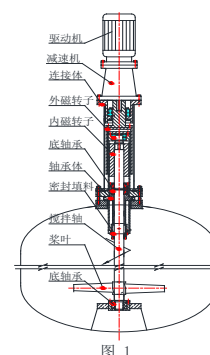
Sichuan Jinxiang Sare Chemical Co., Ltd., Meishan, Sichuan 620031

Abstract : This paper introduces a crystallization reactor and analyzes the problem of the damage of the impeller bearing during its operation. Regarding the equipment structure of the crystallization reactor, the working environment and installation of the impeller, as well as the lubricating grease of the bearing, the treatment measures are proposed. According to the characteristics of the medium, the bottom bearing with good wear resistance is selected, and the lubricating grease with good high-temperature resistance and anti-organic solvent performance is chosen. The structure of the bearing seat is optimized, and the operation and maintenance of the bearing are strengthened to ensure the safe and stable operation of the impeller. The failure of the bearing of the impeller after the renovation has significantly decreased, and the operating cycle of the bearing has been extended from about 300 hours to more than 4000 hours. There has been no problem of excessive vibration of the impeller again, thus ensuring the long-term, safe and stable operation of the equipment.

Keywords : impeller; bearing; lubrication; fault analysis; treatment measures

背景资料

我公司于2023年新建了一条分子筛生产线, 配置6台20m³的反应晶化釜, 晶化釜工作压力2.6MPa, 工作温度220℃, 搅拌器的轴力传动采用磁力驱动。搅拌器简图如图1所示, 主要由减速机、连接体、磁力传动器、轴承体、密封填料、搅拌轴、桨叶、底轴承等部件组成, 其中, 磁力传动器由内磁转子、外磁转子及隔离套三部分组成。外磁转子与减速机连为一体, 由连接体支撑, 为主动件; 桨叶、搅拌轴与内磁转子连为一体, 通过一对球形轴承和一对圆锥轴承支撑为从动件, 同时釜底用一个滑动轴承固定搅拌轴以减少搅拌器在运转过程中的摆动。主动件和从动件被隔离套完全隔离, 工作时, 电机经减速机带动外磁转子转动, 由于内、外磁转子间存在磁场, 外磁转子会通过磁力耦合作用于内磁转子, 从而驱动与内磁转子连接的搅拌轴同步旋转, 有效的避免了搅拌器的动密封。



作者简介: 万元东 (1971.11—), 男, 汉族, 四川眉山人, 大专学历, 化工工艺工程师, 主要从事过合成氨装置的生产管理、工程设计, 以及分子筛、催化剂的研发和生产管理。

一、存在的问题

搅拌器于2023年5月~7月完成安装、调试,8月份开始随整过生产系统投料试生产,6台晶化釜相互倒换、间断运行,搅拌器单次的连续运行20~30h,运行频率为45Hz。从试生产开始,每月基本保持投料20~25釜料,在8~9月份,搅拌器运行均正常,但从10月开始,1#釜、3#釜、4#釜的磁力驱动器的轴承处相继出现了不连续的杂音,初步判断为缺油,补添加润滑脂后杂音有所减小。10月24日18:00,4#晶化釜投料完成后按程序进行升温操作,当晚23:20左右,晶化釜升温到220℃,现场突然发现4#晶化釜出现较大的异常振动,并引起该设备相连的管道出现5~8mm左右的摆幅,随即通知主控降低4#晶化釜搅拌器运行频率到20Hz,异常振动消失,后又提高搅拌器到40Hz,基本稳定运行到该釜料晶化结束,暂时停用该釜。通过对晶化釜和搅拌器结构图的研究,并结合现场的振动现象,初步判断为搅拌器底轴承磨损间隙过大或搅拌器的轴承损坏而引起的运转失衡,进而出现的共振现象,这对设备运行构成较大的安全隐患,必须消除,于是在设备厂技术人员的指导下,对该釜搅拌器进行检修。检查结果发现:磁力驱动器内磁转子的球形轴承损坏,无润滑脂(图1-1),圆锥轴承的润滑脂变干、变质(图1-2),圆锥轴承损坏(图1-3);轴承体下部的密封填料环磨损变形(图1-4);釜底滑动轴承的轴套损坏、磨损严重(图1-5),轴套与滑动轴承之间磨损后的间隙达到7mm(设计为1mm)(图1-6)。基于4#晶化釜搅拌器存在的问题,接着对其余晶化釜进行检查,也发现类似问题(图1-7、图1-8、图1-9)。



根据晶化釜运行时间的统计,截止11月30日,共计投料50釜,合计运行时间1539h,单台晶化釜最长运行时间300h,最短180h。从总体而言,运行时间都不长,但搅拌器内磁转子轴承的润滑脂均出现变质或流失,有的轴承损坏,轴承体下方的密封填料环出现偏磨,釜底的滑动轴承过度磨损或偏磨,检查汇总情况

见表1-1。

表1-1 晶化釜搅拌器检查情况汇总表

名称	时间 h	球形轴承	锥形轴承	密封填料环	底轴承
1# 晶化釜	312	油脂干硬,游隙过大	油脂干硬、变质,轴承磨损	磨损 3~6mm,变形	间隙 6mm
2# 晶化釜	244	油脂偏干,游隙偏大	油脂干硬、变质,轴承损坏	磨损 3~5mm,变形	间隙 5mm
3# 晶化釜	298	油脂偏干,游隙偏大	油脂干硬、变质,轴承磨损	磨损 2~7mm,偏磨	间隙 5mm
4# 晶化釜	285	无润滑脂,轴承损坏	油脂干硬、变质,轴承损坏	磨损 4~6mm,变形	间隙 7mm
5# 晶化釜	215	油脂偏硬,游隙偏大	油脂干硬、变质,轴承磨损	磨损 2~3mm,偏磨	间隙 4mm
6# 晶化釜	185	油脂基本正常	油脂干硬、变质,轴承磨损	磨损 2~3mm,变形	间隙 3mm

二、原因分析

针对搅拌器轴承在短时间内都出现故障,公司技术人员从晶化釜的设备结构、搅拌器的工作环境和安装、轴承的润滑脂等方面逐一展开讨论,认为内磁转子的轴承润滑不良,是轴承不能正常工作的主要原因,釜底滑动轴承在短时间内过度磨损,加剧了搅拌器的摆动幅度,也使内磁转子的轴承负荷增加,同时也加剧了轴承体的密封填料环的磨损,填料与搅拌轴的间隙增大,进而釜内的有机蒸汽窜入轴承体,破坏轴承的润滑环境,最终导致轴承损坏失效^[1]。

●搅拌轴上下不同心,是造成釜底滑动轴承非正常磨损的直接原因。结构上,内磁转子的轴承体与晶化釜连接采用的是对夹式,双面榫槽,A型金属缠绕垫密封,安装时容易造成搅拌轴的釜内和釜外部分不同心,在搅拌器运转过程中就会造成搅拌器末端的调动过大而使釜底的滑动轴承过度磨损或偏磨现象。

●釜底滑动轴承的材质选用不恰当:晶化釜的工作介质含酸、有机胺类,腐蚀性较强,晶化后的物料粒径2~5μm左右,因此物料的磨蚀性较强。而原设计的轴套材料为GCr15,耐磨性较好,但耐腐蚀性不足;选取的调心滑动轴承是可行的,可以降低摩擦,但物料颗粒结晶后容易造成调心轴承卡死失去调心功能。

●轴承体结构本身的不足,造成造成轴承工作环境的恶化:内磁转子的轴承体下端密封填料与搅拌轴之间始终有间隙,在晶化釜工作时,釜内的蒸汽会通过该间隙进入轴承腔而侵蚀轴承,恶化轴承的工作环境;圆锥轴承设计有润滑脂补注入口,能及时添加可能流失的润滑脂,但球形轴承则只能在原始安装时加注润滑脂,未设计润滑脂补添加口;轴承体与搅拌轴之间的间隙为11mm,明显偏大,使得加注入圆锥轴承腔的润滑脂容易沿着该间隙流失^[2]。

●轴承的安装和工作旋转方向,使得润滑脂受热后容易流失:内磁转子的圆锥轴承和球形轴承均是水平安装和旋转,轴承

内的润滑脂会随温度的升高粘度降低而逐渐流出或被挤出轴承工作区，工作面得不到足够、有效的润滑而失效。

● 润滑脂与工作环境不相适应：设备厂提供的“铁霸黑油脂”的耐高温性能和耐有机溶剂性能不足，晶化釜内高温和有机胺蒸汽沿搅拌轴进入轴承，使润滑脂变质而失去润滑性能。为此做了一个实验，将润滑脂放到恒温箱中恒温150℃，2h后检查，润滑脂变得干硬；再将润滑脂放入5%的有机胺溶液中，并加热到80℃，润滑脂逐渐被溶解。

三、改造措施及效果检验

针对存在的问题，主要从滑动轴承的材质、轴承的润滑脂、轴承体结构这三方面进行考虑。基于要保证生产的持续性，改造工作量可能比较大，因此确定渐进式的改造方案，先以4#晶化釜的作为实验性改造，待验证改造的有效性后逐步实施其他晶化釜的改造^[3]。

第一次改造方案：以不改变设备结构为前提，主要是对轴承、润滑脂的改造试验，确定内磁转子的球形轴承选用SKF-6219，圆锥轴承选用SKF-33124；轴承润滑脂选用高温抗磨脘基脂，按200h补加注约50ml；釜底轴承的轴套选用316L镶嵌石墨（图3-1a），调心滑动轴瓦（316L镶嵌石墨）（图3-1b）；在对高温抗磨脘基脂的耐有机胺试验表明，该润滑脂具有比较好的抗溶解性。



图3-1a 图3-1b

改造运行效果检验：设备于2023年12月5日改造完成后投用，在试验第9釜的投料晶化过程中，内磁转子的圆锥轴承开始出现不连续的异响，搅拌器的振动偏大，在该釜料晶化反应末期突然出现共振，被迫降低搅拌器运行频率到30Hz运行。在停用后拆开检查，检查情况见表3-1。

表3-1 第1次试验检查情况				
类别	时间 h	球形轴承	圆锥滚子轴承	釜底轴承
状况	360	润滑正常，油脂颜色变深	缺油，圆锥滚子有过热变色现象	间隙7mm

图3-1c、图3-1d、图3-1e分别为内磁转子的球形轴承、圆锥轴承和釜底轴承运行后的外观图片。



图3-1c 图3-1d 图3-1e

从这次运行后的检查结果看，总的运行时间延长到了360h，有一定的效果，但选择的高温抗磨脘基脂仍然没起到良好的润滑作用，球形轴承区域的润滑脂虽还有润滑作用，但已出现变质，油脂的抗有机胺性能不良；锥形轴承的润滑脂已经完全流失，使得轴承没有润滑，干磨过热；釜底轴承的轴套与轴瓦材质选取不适合，硬碰硬，反而加剧了磨损，间隙由安装时的1mm磨损到7mm，轴瓦也没有起到调心作用，釜底轴承的磨损后间隙过大造成搅拌器转动失去平衡而加剧振动。

第二次改造方案：根据第一次改造运行出现的情况调整改造方案，内磁转子的轴承型号不变；润滑脂改为全氟聚醚润滑脂（图3-2a），按运行200h补加注50ml；釜底轴承的轴套选用316L，轴瓦选用填充四氟材料（图3-2b）。



图3-2a 图3-2b

改造运行效果检验：改造完成后于2024年1月15日投用，一直稳定运行到3月5日，发现内磁转子的圆锥轴承开始出现不连续的杂音，但搅拌器振动不明显，没有出现共振现象，为保证设备总体安全，决定对轴承进行检查，检查情况见表3-2。

表3-2 第2次试验检查情况				
类别	时间 h	球形轴承	圆锥滚子轴承	釜底轴承
状况	520	油脂减少，轻微变色	缺油，残存的少量油脂颜色变深	有磨损，间隙1.8mm

图3-2c、图3-2d、图3-2e分别为内磁转子的球形轴承、圆锥轴承和釜底轴承运行后的外观图片。

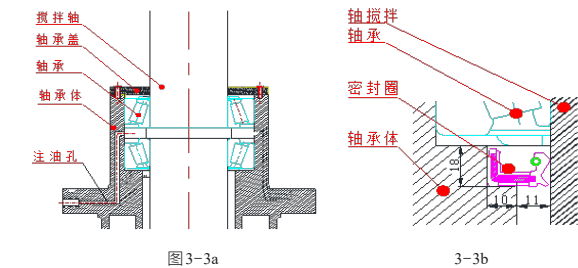


图3-2c 图3-2d 图3-2e

从这次检查情况分析，累计运行时间520h，全氟聚醚润滑脂有很好的润滑、耐有机胺性能较好；锥形轴承没有损坏，可以继续使用，只是润滑脂流失了，并在轴承体下端与搅拌轴的间隙发现大量润滑脂；釜底轴承的磨损量小，由安装时的0.8mm磨损到1.8mm，表明填充四氟材料的耐磨、耐腐蚀性能好，且该材料相对较软，可以起到缓冲吸振作用。

第三次改造方案：经过两次改造试验运行后，釜底轴承的材料选取应比较适宜了，全氟聚醚润滑脂的耐有机胺性能也较好，能满足使用工况要求，按300h补加注约50ml。现在主要问题集中在锥形轴承，润滑脂流失后轴承缺少润滑而不能保证正常工作，这主要是受制于圆锥轴承的结构特点和安装运行方向，且轴承体和搅拌轴之间的间隙达11mm，不利于润滑脂的保持，因此必

须在该轴承安装位置设置阻挡油脂流失的密封。根据轴承体的结构特点, 改造方案如图 3-3a 和 3-3b 所示, 在锥形轴承安装位置下方设置宽 10mm, 深 18mm 的环槽, 便于安装油封, 对轴承的润滑脂起到密封作用, 防止或减少润滑脂流失。考虑到此处的温度可能高达 100℃ 以上, 因此采用高温氟胶双层骨架油封^[4]。



改造运行效果检验: 设备于 2024 年 3 月 15 日开始投用, 一直运行到 5 月 20 日, 拆开设备检查运行状况。本次累计运行 1270h, 搅拌器运转正常, 未出现共振现象, 内磁转子的轴承运行声音正常, 检查情况见表 3-3。

表 3-3 第 3 次试验检查情况

类别	时间 h	球形轴承	圆锥滚子轴承	釜底轴承
状况	1270	润滑正常, 油脂颜色正常	油脂充足, 颜色稍微变深	有磨损, 间隙 4.2mm

图 3-3c、图 3-3d、图 3-3e 分别为内磁转子的球形轴承、圆锥轴承和釜底轴承运行后的外观图片。



从此次改造运行情况结果来看, 也再次验证了所加注润滑脂的抗有机胺性能良好, 滑动轴承可用。特别是圆锥轴承安装位置下方设置油封后有效的阻止了润滑脂的流失 (图 3-2d), 保证了

轴承的润滑, 从而延长了轴承使用寿命; 同时密封位置轴承体的夹套冷却水, 降低了密封的工作温度, 有效的保证了密封圈的密封功能。

在第二次改造试验后, 就对其余晶化釜搅拌器的润滑脂改为全聚醚润滑脂, 釜底轴承的轴套和轴瓦进行了更换, 之后又根据第三次改造试验运行的结果, 对轴承体增加密封, 改造工作于 2024 年 6 月底全部完成。

截至 2025 年 6 月, 晶化釜再未出现过振动过大或共振的情况, 搅拌器运行平稳, 轴承的运行声音均匀。从搅拌器的运行统计数据及检查看, 运行时间最短的 1# 晶化釜为 2150h, 釜底轴承间隙 3.2mm; 运行时间最长的 5# 晶化釜为 4150h, 釜底轴承间隙 5.3mm, 搅拌器振动略偏大, 更换滑动轴承; 内磁转子的轴承均未更换, 在检查时清洗后继续使用^[5]。

四、结束语

由于在晶化釜的结构设计时阶段, 没有足够的条件掌握物料特性, 因此才使得设备投用没多久就连续出现问题。经过改造试验运行后, 最终验证了全氟聚醚润滑脂在耐高温、抗有机溶剂方面的优异性能, 虽然锥形轴承区的润滑脂在第三次的运行检查有变色问题, 但仍然具有润滑性能, 特别是设置油封后, 阻止和减缓了润滑脂的流失, 有效的保证了轴承的润滑, 这样在补加注润滑脂的时间上延长到 500h 甚至更长时间一次; 釜底滑动轴承更换材料, 使用寿命最长达到 4000h 以上; 在管理上按照运行 200h 检测一次搅拌器的振动值, 1000h 检查轴承间隙, 并根据振动值和轴承间隙值的数据变化规律, 从而更精确的确定滑动轴承更换周期, 进而也改善了内磁转子轴承的使用环境, 达到长期使用的目的。

参考文献

[1] 杨斌超. 火电厂吸收塔搅拌器缺陷原因分析及处理 [J]. 电力设备管理. 2021(06): 72-73.
[2] 李洪滨. 炼化企业离心式压缩机组温度探头安装与检修技术研究. 中国设备工程. 2026(S2): 37-38.
[3] 胡爱新. 6000t/a SAPO 催化剂项目设备布置及管道设计概论 [J]. 化工设备与管道. 2020, 57(01): 92-96
[4] 张宇. 孙振华. 朱宁. 汤建忠. 纪勤. 江都三站电机轴承封闭式冷却系统改造与冷却效果实测分析 [J]. 江苏水利. 2026(09): 50-53+57.
[5] 金海波. 刘世琦. 姚佳. 面向轴承故障诊断的动态图卷积注意力网络 [J]. 振动与冲击. 2026, 45(16): 301-317.