

汽提釜搅拌器的振动诊断与改造

葛柯柯¹，李军¹，赵伟岸²，祁昆业¹，曾凯¹，张龙¹，赵卿波¹

(1. 新疆天利石化股份有限公司，新疆 独山子 833699；

2. 中国石油天然气股份有限公司独山子石化分公司，新疆 独山子 833699)

摘要：某合成橡胶装置 117 m³ 汽提釜搅拌器因底部轴承设计缺陷，试车阶段出现剧烈振动、电流波动、釜体与平台共振等问题，无法连续运行。经排查，故障源于轴套与轴瓦配合间隙过小、配合长度过长、材质适配性差，导致轴系摩擦咬合、磨损加剧。技术团队通过增大配合间隙、缩短轴瓦有效长度、更换石墨填充四氟轴瓦，并优化安装工艺实施改造。改造后设备运行平稳，振动值达标，备件寿命提升 5 倍以上，年减少生产损失约 100 万元，为长轴搅拌设备的振动治理与结构优化提供参考。

关键词：搅拌器；底部轴承；振动；汽提釜；石墨填充四氟

引用论文：葛柯柯，李军，赵伟岸，汽提釜搅拌器的振动诊断与改造 [J]. 橡塑技术与装备，2026，52(9):36-39.

中图分类号：TQ330.4

文章编号：1009-797X(2026)09-0036-04

文献标识码：B

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.09.007

0 前言

汽提釜在合成橡胶生产装置中起到胶粒成型、溶剂脱除的重要作用，胶液在汽提釜内同热水和蒸汽混合接触，在搅拌器的搅动作用下，胶液中的溶剂、残余单体汽化脱除，胶液分散形成固体橡胶颗粒。但某装置 6 台汽提釜搅拌器在试用阶段便出现剧烈振动导致螺栓和桨叶松脱、电机电流大幅度波动，甚至搅拌器带着搅拌釜和平台共振，设备无法连续运行，无法满足生产所需。

合成橡胶生产装置的连续稳定运行是企业保障产能效率与产品品质的核心前提，汽提釜作为胶粒成型环节的关键设备，其搅拌系统一旦出现故障，不仅会造成装置非计划停机，还可能引发物料泄漏、设备损毁等安全隐患，直接影响生产全流程的稳定性。针对这一紧急且关键的问题，技术团队通过对《机械搅拌设备》^[1]等行业标准及文献的深度研读，结合现场实际工况，多次对设备进行拆解、检查，联合原设备厂家、国内专业搅拌器生产厂家以及同类橡胶生产装置的资深技术人员开展多轮技术研讨，最终制定出针对性的优化改造方案。经现场实施改造后，搅拌器运行平稳，完全解决了振动无法运行的问题，为装置长周期稳定运行奠定了坚实基础。

1 设备结构

搅拌器由电机、机架、减速机、联轴器、搅拌轴、

搅拌桨、轴承、折流板、轴封等部件组成，安装于搅拌釜上，通过电机旋转时把机械能传递给流体，在搅拌桨附近形成高速流动的充分混合区，并产生一股高速射流推动液体在搅拌容器内循环流动，起到分散、混合、传质传热等作用。

本套装置配套的橡胶汽提釜受工艺处理量需求影响，罐体容积达 117 m³，本体高度 11 m，叠加机架安装高度后，搅拌器主轴总长达到 12 m。该设备的搅拌介质为水、蒸汽与橡胶颗粒的混合体系，属于固液气三相共存的复杂介质环境，设计搅拌转速为 100 r/min。搅拌桨采用涡轮桨和轴流桨的组合型式，以满足胶液与热水、蒸汽充分接触的工艺要求，搅拌作用剧烈。对于 12 m 长的搅拌轴而言，仅依靠机架处的轴承支撑无法完全抵消运行过程中的径向力和轴向力，极易导致转动时搅拌轴出现大幅度摆动、弯曲甚至断轴等严重问题。为解决这一问题，设计阶段在釜内底部设置了底部轴承，该底部轴承安装在汽提釜内部，采用轴套、轴瓦配合的滑动轴承型式，其核心作用是辅助支撑搅拌轴，限制轴的径向位移，保证搅拌轴运行的同轴度，如图 1 所示。

作者简介：葛柯柯（1987—），男，学士，工程师，现主要从事化工设备运行维护管理工作。

项目支持：新疆维吾尔自治区“天山英才”培养计划优秀工程项目（EB0046）；自治区工业和信息化领域科研创新平台支持计划；克拉玛依市高层次人才工作室。

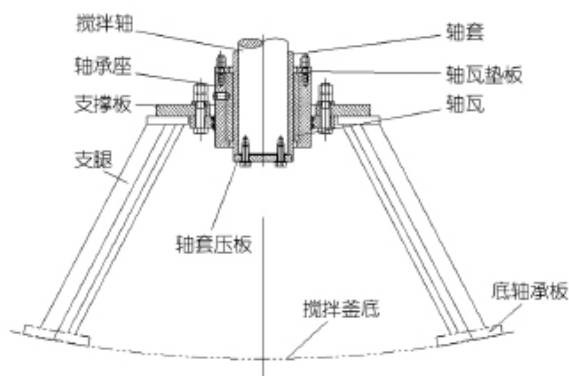


图1 搅拌器底轴承结构图

底轴承的具体装配结构为：由支腿、轴承座、支撑板、轴套、轴瓦及其垫板组成，支撑板焊接在支腿上，轴承座通过高强度螺栓固定安装在支撑板上，轴瓦通过轴瓦压板安装在轴承座内部，外部使用顶丝固定以防止轴瓦随搅拌轴旋转；轴套通过轴套压板套在搅拌轴末端，压板同时起到轴向定位和防旋转的作用。整套内部轴承组装完成后，先套入自然下垂的搅拌轴端，精准找正中心位置后，将支腿焊接固定在罐底的轴承固定板上，形成对搅拌轴的下端支撑。

2 设备故障现象、缺陷分析与改造

2.1 故障现象与排查

搅拌器在水联运试车阶段，尚未通入胶液等工艺介质时，便开始出现剧烈振动现象，振动幅值远超设备设计允许值，伴随而来的是电机电流大幅度波动，波动范围达到额定电流的 $\pm 15\%$ ，严重时搅拌器的振动还传递至搅拌釜本体及操作平台，引发釜体和平台的共振，导致平台螺栓松动、釜体焊缝出现微裂纹等次生问题，设备完全无法正常运行。

为精准定位故障根源，技术团队开展了系统性排查：首先对搅拌器的电机、减速机进行单独试运行检测，通过振动传感器、电流监测仪等设备确认电机转速稳定、减速机齿轮啮合正常，无异常振动和电流波动，排除了驱动端故障的可能性；进一步判断振动源来自釜体内部，随即对汽提釜进行倒空、隔离处理，进入釜内检查发现搅拌桨完好，无脱落、松动或变形现象，搅拌轴表面也无明显损伤；最终将排查重点锁定在底部轴承部位，拆解底轴承后发现，轴套内壁存在明显的环状磨损痕迹，磨损深度最大处达0.3 mm，底轴承与支撑板连接的安装螺栓已出现松脱和螺纹滑

丝现象，轴瓦表面也有局部咬合粘连的痕迹，由此确定底部轴承是引发振动的核心故障点。

2.2 存在的问题分析

经初步分析认为，搅拌器的振动根源在于搅拌轴转动过程中，底轴承的轴套和轴瓦之间发生异常咬合、磨损，进而引发轴系振动，并通过搅拌轴传递至整个设备系统。为深入剖析故障机理，技术团队开展了静态和动态工况下的对比分析：在静态无负荷工况下，将搅拌主轴自然悬垂后，采用激光对中仪检测显示主轴中心与底轴承中心完全重合，未出现明显偏心问题；人工盘车操作过程中，轴套与轴瓦接触面无明显卡滞、摩擦异响，转动过程阻力分布均匀，从静态检测维度判断符合运行条件。但动态带负荷工况下，当搅拌釜进水后，搅拌桨在水体的反作用力下旋转，12 m 长的搅拌轴受径向力作用发生微量弹性弯曲，这种弯曲变形导致轴套中心与轴瓦中心出现偏心，无法保持同心运转，搅拌轴的摆动使得轴套和轴瓦紧密接触并发生强制摩擦，进而产生磨损。

进一步分析发现，原设计存在两大核心缺陷：一是轴套和轴瓦的配合间隙过小，仅为0.5 mm，这一间隙无法抵消搅拌轴带负荷运行时的同心度偏差，轴套在轴瓦内的活动空间被完全限制，相当于轴被轴瓦“抱紧”，转动时的摩擦阻力大幅增加；二是轴套、轴瓦的材质选择不合理，原轴套采用316 L不锈钢材质，轴瓦采用斯泰利合金材质，316 L硬度相对较低（布氏硬度约180 HB），与硬度较高的斯泰利合金（布氏硬度约350 HB）摩擦时，极易发生咬合粘连现象，粘连处的金属颗粒脱落会进一步增加接触面的粗糙度，加剧磨损和振动，形成“磨损—振动—更严重磨损”的恶性循环。

此外，原轴瓦的有效配合长度为150 mm，较长的配合长度进一步限制了搅拌轴的摆动空间，使得轴系的微小变形无法通过自身调整释放，最终全部转化为轴套与轴瓦之间的摩擦应力，也是引发振动的重要辅助因素。经与搅拌器厂家交流沟通，对搅拌器底轴承进行了一系列改造，①将轴套和轴瓦之间的配合间隙由原来0.5 mm增加至2.5 mm，给主轴留出适当活动空间；②轴瓦有效配合长度由原150 mm缩短至100 mm，配合间隙增大、长度缩短给轴留出适当摆动和弯曲变形空间，解决了原轴套轴瓦配合间隙过小、配合长度过长轴在轴瓦内无自由摆动和弯曲空间，轴

被轴瓦“抱紧”造成的摩擦振动问题；③使用石墨填充四氟轴瓦代替斯泰利合金轴瓦，石墨填充四氟具有良好的弹性、自润滑性、耐磨性，加上介质水的润滑和降温作用，完美解决了轴承的润滑和磨损问题；轴承内部安装的方式消除密封点和泄漏风险，同时轴承浸泡于工艺介质中解决了轴承的润滑和降温问题。

2.3 改造方案制定与实施

针对上述问题，技术团队与搅拌器厂家充分交流沟通，结合同类设备的应用经验，制定了三项核心改造措施。

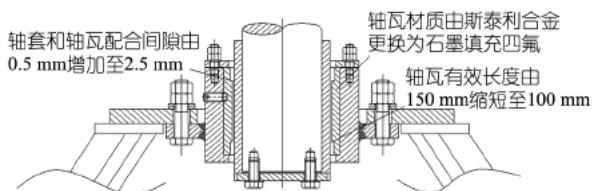


图2 底轴承改造说明图

第一，优化配合间隙。将轴套和轴瓦之间的配合间隙由原来的 0.5 mm 增加至 2.5 mm，该间隙值是通过模拟搅拌轴带负荷弯曲变形量计算得出，既能够给主轴留出足够的活动空间，抵消同心度偏差，又不会因间隙过大导致搅拌轴摆动幅度过大，保证轴系运行的稳定性。

第二，缩短轴瓦有效配合长度。将轴瓦的有效配合长度由原 150 mm 缩短至 100 mm，配合间隙增大、长度缩短的双重调整，彻底解决了原结构中轴在轴瓦内无自由摆动和弯曲空间的问题，有效释放了轴系运行时的应力，避免轴被轴瓦“抱紧”造成的摩擦振动。

第三，轴瓦材质。摒弃原有的斯泰利合金轴瓦，改用石墨填充四氟轴瓦。石墨填充四氟材料具有优异的弹性（弹性模量约 400 MPa）、自润滑性（摩擦系数仅 0.04~0.06）和耐磨性，且耐水、蒸汽介质的腐蚀，配合工艺介质中水的润滑和降温作用，能够从根本上解决轴承的润滑和磨损问题。同时，该材质的轴瓦与 316 L 轴套摩擦时不会发生咬合粘连，大幅降低了接触面的摩擦阻力。

在现场改造施工阶段，同步优化了底轴承的安装工艺要点：借助激光对中仪实现轴承中心的精准定位，将安装同轴度误差控制在 0.1 mm 以内；选用高强度

防松螺栓替换原有紧固件固定轴承座，并加装防松垫圈，从装配层面规避运行过程中螺栓松脱的风险。对轴套表面进行抛光处理，降低表面粗糙度至 $Ra0.8 \mu\text{m}$ 以下，进一步减少摩擦损耗。

2.4 效果验证

改造后的底轴承先选取一台搅拌釜开展试点运行验证，试运行期间搅拌器运行状态平稳，振动幅值被控制在 0.2 mm/s 以下，电机运行电流波动幅度缩减至额定电流的 $\pm 3\%$ ，搅拌釜本体及操作平台未检测到明显振动响应。连续测试 24 h 无任何异常。随后将该改造方案推广至其余 5 台搅拌釜，经过多年的实际运行验证，未再出现轴弯曲、断轴、螺栓松脱等问题，轴套、轴瓦的使用寿命达到 1.5~2 年，相较于原结构中 3~6 个月就需更换轴瓦的情况，使用寿命提升 5 倍以上。

同时，石墨填充四氟材料的采购成本仅为斯泰利合金的 1/3，大幅降低了设备的备件采购成本和维护频次，每年可减少因设备停机更换轴承造成的生产损失约 100 万元，兼具显著的经济效益和运行稳定性。

3 结语

对汽提釜搅拌器振动大的问题分析和改造是成功的，本次改造的核心在于精准识别了“小间隙、长配合、材质适配性差”这三大设计缺陷，并针对性地通过调整配合参数、更换耐磨自润滑材质的方式，从根源上解决了底轴承的摩擦磨损问题。改造后的底轴承运行平稳可靠，实现了汽提釜搅拌器的长周期运行，为装置的整体稳定生产提供了保证。

该改造方案的成功实施，也为同类长轴搅拌设备的设计和运维提供了宝贵经验：一是长轴搅拌设备的底轴承设计需充分考虑带负荷运行时的轴系变形，预留合理的配合间隙和活动空间；二是滑动轴承的材质选择需结合介质特性和工况条件，优先选用自润滑、低摩擦的非金属材质；三是设备试运行阶段的振动监测和故障排查需注重静态与动态工况的对比分析，精准定位故障根源。目前，该型式的底轴承已在公司其他类型的搅拌釜上推广使用，均取得了良好的运行效果，具有较高的行业推广价值。

Vibration diagnosis and modification of the stripper agitator

Ge Keke¹, Li Jun¹, Zhao Weian², Qi Kunye¹, Zeng Kai¹, Zhang Long¹, Zhao Qingbo¹

(1. Xinjiang Tianli Petrochemical Co. LTD., Dushanzi 833699, Xinjiang, China;

2. PetroChina Dushanzi Petrochemical Company, Dushanzi 833699, Xinjiang, China)

Abstract: Due to design flaws in the bottom bearing of the 117 m³ stripping kettle agitator in a synthetic rubber plant, severe vibrations, current fluctuations, and resonance issues between the kettle body and the platform occurred during the commissioning phase, rendering it inoperable. Upon investigation, the malfunctions were traced back to the excessively small fit clearance between the shaft sleeve and the bearing bush, the excessively long fit length, and poor material compatibility, leading to shaft friction, seizure, and increased wear. The technical team implemented modifications by increasing the fit clearance, shortening the effective length of the bearing bush, replacing the graphite-filled PTFE bearing bush, and optimizing the installation process. After the modification, the equipment operated smoothly, the vibration values met standards, the lifespan of spare parts increased by over five times, and the annual production loss decreased by approximately 1 million yuan. This provides a reference for vibration control and structural optimization of long-shaft agitation equipment.

Key words: agitator; bottom bearing; vibration; stripping kettle; graphite-filled PTFE

(R-03)

山东新增 3 000 万套产能大型轮胎项目

Shandong has launched a large-scale tire project with an additional production capacity of 30 million sets

近日，山东日照五莲县新增重点轮胎制造项目备案。山东万橡通达橡胶科技有限公司年产 3 000 万套摩托车轮胎新建项目完成备案公示，项目落地五莲县，建成后将形成规模化摩托车轮胎产能，进一步壮大日照橡胶产业集群实力。

工商资料显示，项目实施主体山东万橡通达橡胶科技有限公司于 2026 年 6 月 26 日在五莲县注册设立，注册资本 1 000 万元，由关凤娟、丁丽华两名自然人各持股 50%。企业注册落地仅一个月，便快速推进大型轮胎项目备案，布局节奏备受行业关注。公开信息显示，该企业与本地橡胶企业金富橡胶存在深度关联，项目核心运营团队来自金富橡胶成熟管理团队，依托现有产业资源切入摩托车轮胎赛道。

本次备案项目规划年产 3 000 万套摩托车轮胎。现阶段备案资料暂未披露项目总投资额、选址详细规划、建设周期等信息。项目建成后，产品将覆盖普通摩托车轮胎、电动两轮车轮胎等品类，兼顾国内替换市场与海外出口渠道。

从区域产业格局来看，五莲县正持续打造轮胎产业集聚高地。此前，山东金富橡胶年产1200万套半钢子午线轮胎项目、日照万可工业品高性能轮胎智能制造项目相继落地建设。随着万橡通达摩托车轮胎项目推进，当地轮胎产品矩阵持续拓宽，覆盖载重轮胎、乘用车轮胎、两轮车轮胎多个赛道。

放眼全国市场，摩托车与电动两轮车需求保持稳定。国内存量车辆催生持续的轮胎替换需求，东南亚、南亚等海外市场两轮车保有量持续上涨，带动摩托车轮胎出口订单稳步增长。行业数据显示，近两年国内多家橡胶企业集中加码两轮车轮胎产能，摩托车轮胎赛道迎来新一轮扩张周期。不同于竞争激烈的乘用车轮胎，两轮车轮胎投资门槛适中、海外市场空间广阔，成为不少轮胎企业拓展业务的重要方向。

摘编自“聚胶”

(R-03)