

港口豪沃自卸车制动机构故障治理与优化研究

陈明兵¹ 周 朋¹ 丁国强² 余州黔¹ 王晓猛³

1. 宁波镇海港埠有限公司 浙江 宁波 315000

2. 宁波大榭集装箱码头有限公司 浙江 宁波 315000

3. 宁波北仑第三集装箱码头有限公司 浙江 宁波 315000

摘 要：针对港口豪沃自卸车在重载、高粉尘、高频启停工况下制动凸轮轴抱死、衬套磨损等高发故障问题，本文剖析故障根源为原车制动结构无润滑通道、维保受限及港区工况侵蚀。通过开展凸轮轴油道开孔、加装外置黄油嘴、更换带油槽改良衬套的优化改造，实现摩擦副长效润滑。实践表明，改造后车辆制动故障发生率大幅下降，维保成本显著降低，有效提升港区作业安全性与运输效率。

关键词：制动凸轮；制动底板；衬套；润滑

引言：港口豪沃自卸车是港区散货转运的核心设备，长期处于重载连续启停、高粉尘盐蚀的恶劣工况，其制动系统稳定性直接关乎码头作业安全与生产效率。原车凸轮张开式制动器存在结构设计缺陷，无专用润滑通道，导致凸轮轴与衬套摩擦副长期干磨，频发制动拖滞、跑偏、部件抱死等故障。为解决设备运维痛点、消除安全隐患、降低运维成本，本文开展制动机构故障治理与结构优化研究，为港区车辆维保优化提供参考。

1 港口豪沃自卸车制动系统结构及工况特性

1.1 后制动系统核心结构组成

(1) 制动系统关键零部件构成及装配关系：本车型配备凸轮张开式气压驱动双向自增力制动器，后制动总成主要由制动底板、制动凸轮轴、制动蹄总成、制动鼓、制动调整臂、制动气室、回位弹簧及支承销等核心部件构成^[1]。凸轮轴通过支座固定于制动底板，其尾部外花键与调整臂内花键啮合传动；两片制动蹄经支承销铰接在制动底板下端，蹄体上端滚轮贴合凸轮外缘，（如图 1 所示）。回位弹簧于非制动状态下拉紧制动蹄，确保滚轮始终贴合凸轮轮廓。(2) 凸轮张开式气压制动器结构特点与适配场景：该结构具备制动间隙自动补偿能力强、制动力矩裕度大、抗热衰退性能优良等特点，尤其适合港区散货短驳重载、连续启停的作业场景。凸轮与传动轴一体化锻造，轴体工作面经高频淬火强化，可满足高强度疲劳使用要求。(3) 凸轮轴与衬套摩擦副核心工作特性：制动时凸轮轴相对衬套频繁转动，该摩擦副承受极大交变载荷，且完全封闭于制动鼓内腔。原厂未预留润滑通道，常规维保无法加注润滑脂，其润滑状态直接决定制动器整体使用寿命。

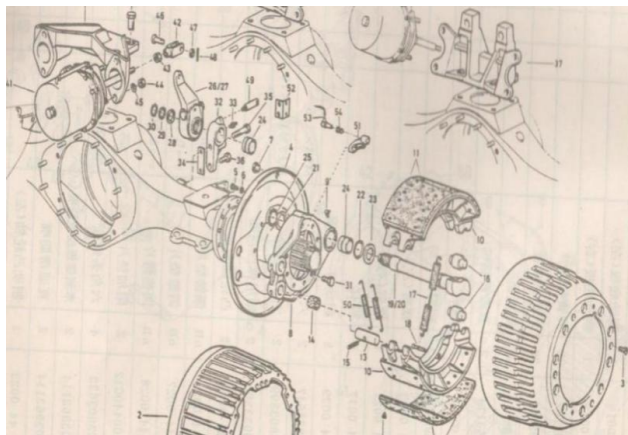


图 1 后制动结构图

1.2 制动系统工作原理

(1) 制动作业气压驱动工作流程：制动时，制动气室推杆伸出，推动调整臂偏转并带动凸轮轴旋转，凸轮撑开两片制动蹄，使摩擦片压紧制动鼓，依靠摩擦阻力实现车辆减速或停止。(2) 制动、复位全过程部件联动机制：解除制动后气室泄压，回位弹簧拉动制动蹄复位，滚轮重新贴合凸轮轮廓，制动间隙恢复。整套动作在频繁启停工况下不断重复，对摩擦副的耐磨性及复位可靠性要求极高^[2]。(3) 摩擦副润滑状态对制动系统寿命的核心影响：凸轮轴与底板衬套之间若缺乏有效润滑，将直接引发干摩擦磨损、锈蚀卡滞，导致制动拖滞、回位迟滞甚至抱死，加速制动蹄片与制动鼓的非正常损耗，是决定制动器整体使用寿命的关键因素。

1.3 港口特殊作业工况影响分析

(1) 高粉尘、高盐蚀环境对制动部件的侵蚀作用：港区煤炭、砂石、海盐粉尘与含盐积水持续侵入凸轮轴与衬套配合间隙，造成磨粒磨损与电化学锈蚀双重损伤，锈蚀颗粒卡滞于间隙内增大转动阻力，严重时直接抱死。(2) 高频启停制动、重载作业加剧部件磨损损耗：车辆常年重载连续行驶，启停制动动作极为频繁，摩擦副往复运动次数远超公路车辆，干摩擦状态下衬套壁厚急剧减薄，轴孔间隙快速超限，制动响应性能随之劣化。(3) 港区路面工况加速制动机构故障滋生：作业路面凹凸不平、高腐蚀泥水持续侵蚀底盘部件，加剧制动系统零部件锈蚀与干磨损耗速率。拆解检测显示，故障衬套工作面均无润滑脂残留，布满锈蚀麻点和拉伤沟槽，故障发生率远高于公路营运车辆。

2 制动机构典型故障及成因深度分析

2.1 制动机构核心故障类型

(1) 制动凸轮轴抱死卡死故障：该故障主要表现为凸轮轴无法相对衬套正常转动，制动解除后制动蹄不能回位，制动气室推杆无法缩回。统计显示，未改造车辆凸轮轴抱死年均故障率超 35%，是影响车辆完好率的核心故障类型。(2) 制动底板衬套间隙超标故障：凸轮轴长期往复转动持续研磨衬套内壁，使衬套壁厚磨损变薄，轴孔配合间隙严重超标，造成凸轮轴工作时径向晃动，制动响应迟滞且制动力矩下降。(3) 制动片偏磨、制动跑偏与拖滞衍生故障：凸轮轴偏心摆动使制动蹄受力位置改变，导致制动蹄下垂，刹车片下半部分长期贴合制动鼓，出现磨损不均、单边过度损耗问题。进而引发制动失衡、刹车偏刹、制动鼓内壁偏磨起槽等连锁故障^[3]。

2.2 核心故障成因剖析

(1) 原厂结构缺陷：原车后制动凸轮轴与制动底板衬套装配于制动鼓内腔，原厂未预留润滑加注通道，凸轮轴与衬套摩擦副长期处于干摩擦作业状态，常规维保无法加注润滑脂，这是故障发生的根本结构性原因。(2) 工况侵蚀影响：港区粉尘、含盐泥水通过装配间隙侵入凸轮轴与衬套接触面，造成磨粒磨损与电化学锈蚀双重损伤。拆解检测证实，故障衬套工作面无润滑脂残留，布满锈蚀麻点和拉伤沟槽。锈蚀颗粒卡滞在配合间隙内，进一步增大凸轮轴转动阻力。(3) 维保局限：制动底板内嵌于制动鼓腔体内部，原厂无外置注油点位，传统黄油加注工艺无法实现衬套与凸轮轴摩擦副润滑。日常预防性保养无法落地，只能采用事后故障维

修模式，新更换的衬套短期内重复损坏，形成频繁换件的恶性循环。

2.3 故障危害与运维痛点

(1) 安全危害：制动底板衬套磨损松旷后，凸轮轴径向跳动量大，制动蹄受力不均衡，制动过程出现制动力不均、刹车跑偏、制动拖滞问题。制动拖滞严重时制动鼓过热抱死，直接威胁港区场内转运行车安全。(2) 经济危害：单台车辆单次故障需更换制动凸轮轴、制动底板、刹车调整臂、油封、轴承、制动蹄片等 10 余种配件，配件采购费用合计 1253.9 元，叠加拆装工时成本，单车维修综合成本超 1200 元。28 台自卸车年均故障报修数量多，维修开支常年居高不下。(3) 生产危害：故障停机打乱码头货物转运排班，降低散货装卸周转效率。车辆日均出车率下降，港区运力保障受到影响，间接造成生产作业延误与转运成本上升。

3 制动机构优化改造方案及效果验证

3.1 优化改造总体思路与原则

(1) 改造原则：立足原车制动器整体安装结构不变的前提下，秉持不改动主体结构、低成本投入、高实操性的原则实施优化，避免大幅拆装改动带来的二次故障风险，确保改造方案可在港区现有维保条件下批量推广落地。(2) 改造核心目标：打通凸轮轴与衬套摩擦副的润滑脂输送通道，实现全周期油脂润滑，从根源上消除干磨锈蚀条件，终结频繁换件的恶性循环，恢复制动系统可靠性与使用寿命。(3) 改造整体技术方案框架：从凸轮轴油道开孔加工、衬套结构升级两项内容入手——在凸轮轴本体加工贯通式注油油路并加装外置直角黄油嘴；同时将原光滑内壁衬套更换为内壁开设环形导油槽的改良型衬套，确保润滑脂均匀覆盖全部工作面^[4]。

3.2 关键结构优化改造实施

(1) 制动凸轮轴油道开孔加工工艺与参数设计：选用直径 4mm 钻头实施钻孔作业，沿凸轮轴轴心开设长度 150mm 轴向主油道，分别在距离凸轮端面 70mm、140mm 两处位置钻设 4mm 径向出油孔，径向油道与中心轴向油道垂直贯通。轴向油道外端使用钢制密封堵头封堵，防止润滑脂泄漏。(2) 外置直角黄油嘴装配与密封优化设计：在 140mm 径向孔位置装配 90° 直角黄油嘴，其设计优势在于黄油嘴朝向制动鼓外侧裸露区域，维保人员无需拆卸车轮、制动鼓即可对接黄油枪加注润滑脂。加注时油脂经由黄油嘴进入中心油道，从 70mm 径向出油口溢出，均匀填充在凸轮轴与衬套配合间隙。(3) 制动底板带油槽改良衬套替换与装配管控要

点：将平壁衬套更换为内壁开设环形导油槽的改良型衬套，采用液压压装工装装配，严格对齐衬套内油槽与凸轮轴径向出油口位置。管控要点：左右轮凸轮轴外形尺寸不通用，严禁互换安装，错装将改变凸轮行程诱发制动失效；衬套与凸轮轴优先成套更换，同步检查制动蹄滚轮及底座磨损量。

3.3 改造效果现场验证分析

(1) 设备运行实效：28 台自卸车于 2024 年全部完成改造，连续 1.5 年跟踪故障台账，后制动凸轮抱死、衬套异常磨损故障发生率下降 90% 以上。拆解检查衬套与凸轮轴工作面均附着均匀润滑脂油膜，无拉伤、锈蚀磨损痕迹（如图 2 所示）。(2) 安全性能实效：刹车片上下端面磨损均匀，制动跑偏、制动拖滞故障基本杜绝，整车制动平顺性与稳定性显著提升，制动鼓过热抱死等严重安全风险得到有效控制。(3) 运维管理实效：依托外置直角黄油嘴，将润滑作业列入车辆月度保养项目，每月定期加注。被动维修模式成功转变为主动预防性保养，标准化维保流程全面落地。



图 2 黄油加注及润滑情况

3.4 改造经济性效益分析

(1) 改造前后年度维保成本数据对比：2023 年 28 台车辆因制动抱死、衬套磨损产生维修总费用 15 万元；2025 年同类故障维修总费用降至 3 万元，维保成本同

比降低 80%。单台改造仅产生凸轮轴钻孔加工费、改良衬套与黄油嘴采购成本，投入远低于单次故障维修费用。(2) 车辆出勤率、设备完好率提升带来的间接效益：故障停机次数大幅减少后，车辆日均出车率显著提升，码头散货转运运力得到有效保障，间接创造生产经济效益。(3) 改造投入与长期降本收益综合评估：随着配件更换频次锐减，长期降本收益持续放大。改造方案成本低廉、一次投入长期受益，在后续维保管理中，依托标准化定期注油保养制度，将持续延长制动底板、凸轮轴、刹车片等关键零部件使用寿命，进一步压缩全生命周期运维成本。

结束语

本次针对性优化改造有效解决了港口豪沃自卸车制动机构干磨锈蚀、故障高发的核心问题，成功将被动维修转变为主动预防性保养，大幅降低车辆故障停机率与维保成本，显著提升制动系统运行稳定性。该改造方案具备低成本、易实操、可批量推广的优势，适配港区特殊作业工况。后续可依托标准化维保流程，持续延长制动部件使用寿命，为港口工程车辆制动系统优化运维提供可行的技术方案。

参考文献

- [1] 林恩景. 豪沃 ZZ5317TPBV386J 重型运输车后制动摩擦片烧损及制动鼓开裂故障分析 [J]. 汽车维护与修理, 2025(19):38-39.
- [2] 王科. 重型货车气压制动系统性能衰减故障诊断与优化 [J]. 汽车维修技师, 2025(12):55-57.
- [3] 牟海龙, 田婧, 姜盼. 重型自卸车驻车制动机构失效分析及结构优化 [J]. 汽车实用技术, 2025(20):88-91.
- [4] 张政. 港口重载货车制动故障预判与预防性维护技术 [J]. 汽车维修技师, 2025(14):41-43.