

大负载链式移行机在汽车涂装回转型烘干室体的应用与优化研究

高武增

陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 710201

摘要: 汽车涂装回转型烘干室大负载链式移行机长期处于高温、重载、低速连续运行工况,普遍存在运行同步精度偏低、运行阻力不均、工装姿态偏移、故障高发等技术问题,严重影响涂装生产线连续性运行。为解决设备运行短板,本文依托行业现场故障统计、精度检测与工况适配性分析,从机械结构、电气同步检测监控、承载工装强度、运维管控体系四个维度开展系统性优化研究。通过输送辊道结构优化、高温适配轴承替换、驱动系统同步性校准、工装型材结构补强、控制保护逻辑冗余升级及标准化维保体系构建等技术措施,消除了工装蛇形爬行、卡滞偏移、链条断裂等典型故障。工程应用结果表明:优化后设备故障率降低86.7%,工装使用寿命提升4~5倍,有效改善了高温密闭工况下重载输送设备的运行稳定性与可靠性。研究成果可为汽车涂装回转型烘干室输送设备的结构改进、精度提升及智能化运维提供工程依据与行业参考。

关键词: 大负载链式移行机;回转型烘干室;涂装输送设备;结构优化;同步精度;运行可靠性

引言: 汽车涂装烘干是汽车制造四大工艺中的关键工序,烘干室设备的运行稳定性直接决定漆膜固化质量与整车涂装合格率^[1]。回转型烘干室凭借空间利用率高、热损失小、布局紧凑等优势,广泛应用于整车涂装生产线。链式移行机作为烘干室核心输送装备,可承担60~70T重载工装及工件的步进式输送任务,设备需在180℃~200℃高温密闭环境下长期低速连续作业,对结构刚度、耐高温性能、传动同步精度及控制系统稳定性、连锁保护功能具有严苛要求^[2]。现阶段国内多数回转型烘干室配套链式移行机沿用常温输送设备设计体系,未针对高温重载特殊工况开展专项结构适配,存在结构冗余不足、高温适配性差、安装校准精度低、维保体系不匹配等共性缺陷^[3]。某汽车主机厂涂装车间回转型烘干室链式移行机投产后故障频发,主要表现为工装偏移爬行、上坡加速及下坡减速、滚轮阻力不均、连杆变形、链条断裂、链轮轴断裂及工装倾倒等问题,造成产线频繁非计划停机,严重制约生产线节拍稳定与产能释放。

针对上述工程问题,本文通过长期现场跟踪、参数数据实测、故障溯源与机理分析,定位设备运行失效的根本诱因,建立多维度技术优化方案并落地实施,实现设备性能系统性提升。研究对提升高温重载涂装输送设备可靠性、降低运维损耗、构建行业标准化运维体系具有重要意义。

1 设备系统结构及故障机理分析

1.1 设备系统结构

回转型烘干室输送系统通常采用链式移行机加双立柱升降滚床组合的输送形式,大负载链式移行机标准节距150mm,依托升降滚床完成工位交接与姿态切换。设备运行环境密闭高温、负载集中、输送距离长、速度低、工装高度较高,要求工装全程姿态稳定、无偏移、无干涉,以保障漆膜均匀固化与连续化稳定生产。

1.2 主要故障体现

经现场跟踪统计,设备典型失效形式集中表现为:重载运行工况下工装蛇形爬行、加减速姿态不一致,偏载现象显著;工位交接过程升降滚床冲击抖动,导致连杆塑性变形;支撑滚轮摩擦阻力离散度大,引发工装倾斜卡滞;链条连接件锁片脱落、链轮轴疲劳断裂;极端工况下出现工装倾倒等重大安全故障,严重影响产线稳定运行。

2 故障根源机理分析

结合测量轨道标高、直线度、滚轮间隙、驱动同步偏差、工装的变形量等实测数据,从设计、安装、运维三个维度完成故障溯源,明确多因素耦合失效机理:

2.1 结构设计适配性不足: 设备辊道支撑跨距偏大,重载工况下工装支撑点数不足,受力集中导致姿态失稳;工装底座型材截面偏小、整体刚性不足,长期交变载荷下易产生形变;升降滚床导向间隙与连杆结构未考虑高温热胀冷缩影响,抗冲击能力弱;电气控制缺少高温工况下的防误检、过载保护逻辑。

2.2 安装精度控制超标: 安装阶段轨道直线度、标高

校准不到位, 双侧驱动链条基准面同步误差达15mm, 超出重载设备允许公差范围, 导致双侧输送速度不匹配、工装受力偏移, 是爬行、偏移故障的核心诱因。

2.3 维保体系与工况不匹配: 润滑机制沿用常温设备标准, 普通润滑脂高温易失效, 造成轴承卡滞、阻力不均; 缺少周期性精度复测与动态校准机制, 设备误差长期累积, 运行状态持续劣化。

2.4 工装负载管控不规范、联锁传感器布置不合理引发的信号误判, 进一步加剧了设备运行不稳定性, 形成故障循环。

3 多维度系统性优化方案设计

针对设备多重耦合故障机理, 构建结构强化、电气稳控、精度校准、管理提质四位一体优化方案, 实现设备从结构设计到运行管控的全链条升级优化。

3.1 升降滚床交接结构优化

为解决工位交接冲击晃动与连杆变形问题, 重新优化滚床定位结构与导向机构, 增设可调顶丝实现导向间隙动态微量补偿, 通过框架满焊补强提升整体刚度。优化连杆受力结构, 改善传动受力形式, 降低升降启停冲击载荷, 有效消除工装交接晃动隐患, 提升工位切换稳定性与结构抗疲劳性能。

3.2 大负载链式移行机主体结构升级

3.2.1 辊道支撑结构加密改造优化

将原240mm辊子间距缩减至120mm, 使工装单侧有效支撑点位由3点提升至6点以上, 增大工装底部支撑接触面积, 实现载荷均匀分布。完成烘干及强冷段辊道改造后, 彻底解决重载工况下工装沉头偏移、爬行抖动、速度不均等问题, 工装运行轨迹趋于平稳。

3.2.2 高温耐磨轴承系统替换升级

针对高温工况轴承润滑失效、阻力不均问题, 采用ST6207-2Z满球自润滑高温轴承(耐温300℃)替换普通带座轴承, 配套克鲁勃AR555高温专用润滑脂, 建立标准化润滑工艺, 初次加注2g, 每半年补加0.5~1g。该轴承额定寿命12.167百万转, 适配生产线节拍, 理论使用寿命可达4~8年, 在控制备件成本的同时大幅提升高温工况适配性。

3.2.3 传动与防护结构强化

在大负载链式移行机框架增设斜撑结构, 提升设备整体抗振、抗变形能力; 扩大驱动端检测开关感应区域, 提升信号采集可靠性; 将链条锁片结构优化为开口销防松结构, 杜绝振动脱落故障, 提升传动系统连续性与安全性。

3.2.4 重载台架结构强度补强

对全线标准工装开展结构升级: 底座矩形管壁厚由5mm增至6mm, 主承重H型钢由H125×125升级为H200×200; 采用整体通长横梁替代分段夹装结构; 型材连接处采用坡口焊工艺并做平面度校正。优化后工装整体抗弯、抗扭刚度大幅提升, 有效抑制重载形变与姿态偏移。

3.3 电气控制联锁保护系统与同步精度优化

3.3.1 检测传感系统布局优化

将链式移行机链条脉冲计数传感器由松边迁移至紧边, 规避链条振动造成的信号误检、漏检; 设备端头增设双重冗余保护传感器与硬限位结构, 搭配延时保护逻辑, 提升工位交接过程容错性, 降低非正常停机概率。

3.3.2 双侧驱动同步精度校准

针对15mm原始同步偏差问题, 通过精加工连接法兰、微调键槽装配角度与螺栓锁紧位置, 配合轴承座顶丝微量校准, 将双侧基准面同步偏差控制在5mm以内, 补偿万向节传动间隙与装配误差, 实现双侧动力传递同步匹配^[4]。

3.3.3 联锁保护逻辑迭代升级

链式移行机驱动端增设脉冲码盘实时计数采集装置, 码盘随同驱动装置, 连续运转, 程序每2s完成一次计数脉冲比对, 实时监测移行机链条卡滞、过载、传动异常状态, 实现故障预判与即时停机保护, 避免移行机链条持续受力断裂、轴系疲劳损坏等重大故障。

3.3.4 移行机行程末端增设越程保护系统

由于烘干室温度高、工况复杂, 检测传感器不可避免地会出现检测效果不良、失效等现象, 设计安装移行机行程末端越程保护系统, 将传感器设计安装至烘干室外部, 通过特殊的机械结构与传感器进行连接, 实现工装的实时越程保护。

3.4 精准化运维管理体系构建

建立适配高温重载工况的维保机制: 周度开展关键部位巡检、定点精准润滑; 季度开展轨道标高、直线度、同步精度、滚轮间隙等关键参数复测校准, 实现设备精度动态管控, 由被动维修转变为主动预防性维保, 从管理层面保障设备长期稳定运行。

4 优化效果与性能分析

通过机械结构、电气控制、承载结构与运维体系的系统性优化, 设备综合性能得到显著提升, 各项技术与经济指标改善明显。

4.1 运行稳定性大幅提升, 彻底消除工装蛇形爬行、高低速偏移、交接晃动等典型问题, 输送系统运行平顺性显著提升, 规避温度波动与设备启停造成的漆膜质量

隐患,生产工艺稳定性进一步提高。

4.2 故障控制效果显著,优化后设备故障率同比下降86.7%,彻底杜绝台架侧翻、链条断裂、轴系失效等重大故障,大幅减少非计划停机时长,保障生产线连续节拍化生产。

4.3 运维成本显著降低,高温适配轴承体系应用后,维保频次与人工检修强度大幅降低,设备运维经济性显著改善。

4.4 设备服役寿命大幅延长,工装结构刚度提升后,抗疲劳、抗高温变形能力显著增强,工装使用寿命延长4~5倍,有效降低设备更新与改造成本。

4.5 设备管控体系更加完善,常态化精度检测与动态校准模式,实现设备状态可控、可测、可调,为长期高可靠运行提供体系保障。

5 技术成果行业推广与工程应用价值

5.1 技术通用性推广价值

本课题优化方案立足于回转型烘干室狭小密闭空间、高温持续辐射、60~70T超额定载荷、低速连续步进的特有工况,各项改造措施经过现场长期量产验证,技术适配性不受车型品类限制。其中辊子排加密布置、满球高温轴承替代常规轴承、法兰配车校正同步误差、工装主梁截面升级、联锁保护装置增设五项核心改造技术,既可用于现有在役老旧移行机节能降本改造,也可作为新机前期结构设计参考准则,广泛适配乘用车、商用车、专用改装车、工程机械整机涂装生产线回转型烘干室重载输送装备。针对国内大量沿用常温机型设计、高温运行故障频发的存量烘房输送线,本方案改造落地难度低、改造成本可控、投产见效快,具备批量落地改造的产业化条件。

5.2 行业设计与标准参考价值

当前国内涂装设备设计规范中,针对回转型密闭烘房重载链式移行机缺少高温工况专项设计细则,多数设备制造商仍套用通用地面输送机设计参数,是行业同类设备先天故障多发的重要诱因。本次通过实测总结的结构补强参数、耐高温零部件选型目录、同步控制优化逻辑,能够为设备制造厂家修订产品设计手册提供实测数据支撑,助力优化新机前期结构设计方案,从源头降低设备先天设计缺陷率,推动行业回转型烘干室输送设备由“通用化选型”向“工况定制化设计”转型,可为乘

用车、工程机械涂装生产线烘房输送设备的设计优化与运维升级提供参考范式^[5]。

5.3 经济与产业赋能价值

从产业经济效益角度,优化方案落地后可实现故障率、备件消耗双大幅下降,在整车涂装线规模化生产场景下,单条烘干输送线每年可节约停机损耗、备品采购、人工维保等综合成本数万元。对于汽车主机厂、工程机械制造企业,该优化模式可快速复制至多条涂装烘房产线,持续降本增效。同时“硬件结构优化+精细化运维管控”的一体化解决范式,突破以往单一换件维修、局部修补的粗放式设备治理思路,为高温重载密闭工况下输送装备可靠性提升提供全新技术思路,丰富涂装非标输送设备优化的工程方法论。

6 结论与展望

本文针对汽车涂装回转型烘干室大负载链式移行机高温重载工况下的多发故障,完成故障机理溯源与系统性优化改造。通过结构补强、电气同步校准、传感逻辑升级与维保体系创新,有效解决设备同步性差、阻力不均、姿态失稳、故障高发等核心问题,实现设备故障率与运维成本双下降、稳定性与服役寿命双提升,综合应用成效显著。

未来可结合智能制造技术,增设振动、温度、张力在线监测模块,利用大数据分析实现故障智能预警与精准维保,进一步提升设备智能化管控水平。同时,可将本次标准化优化体系推广至全行业涂装烘干输送设备,完善重载高温输送设备设计与运维标准体系,为汽车涂装智能生产线的稳定高效运行提供技术支撑。

参考文献

- [1] 黄鹏,徐健,葛北京,等.汽车涂装烘房输送方式的应用与分析[J].现代涂料与涂装,2025,28(02):66-68.
- [2] 陶禹.汽车涂装车间主要输送设备设计[J].汽车工艺师,2025(08):32-35.
- [3] 闫海鑫.涂装烘干室超长输送机选型设计及应用[J].现代涂料与涂装,2021,24(08):37-41.
- [4] 汪金东,李文鹏,倪海华,等.汽车涂装自行车式输送线同步精度优化改造[J].现代涂料与涂装,2025,28(10):47-50.
- [5] 张磊.汽车涂装烘干设备常见故障及优化措施研究[J].设备管理与维修,2024(12):45-47.