

水稳拌和站关键零部件可靠性分析与改进

庄高弟

邳州远通公路工程有限公司 江苏 邳州 221300

摘要：水稳拌和站是道路基层施工的核心装备，长期处于高负荷、多粉尘的恶劣工况下，其关键零部件极易发生磨损、变形、断裂等失效问题，进而引发设备停机、施工延误、配比失准等连锁后果。本文聚焦搅拌、计量、输送、传动四大系统，精准识别各系统核心零部件，系统分析其失效模式与成因，针对性提出材质优化、结构改进等技术措施，并制定涵盖日常巡检、定期保养及磨损防控的全周期维护方案，为提升设备运行稳定性、延长服役周期、降低运维成本提供技术支撑。

关键词：水稳拌和站；关键零部件；可靠性分析；失效分析；改进措施

引言：道路基层施工质量直接决定公路整体服役性能，水稳拌和站作为混合料生产的核心设备，其关键零部件的运行状态直接关系到施工效率与成品料质量。然而在实际工程中，零部件因材质选型不当、工况恶劣、维护缺失等原因频繁失效，已成为制约拌和站连续作业的主要瓶颈。因此，开展关键零部件可靠性分析与改进研究，精准识别失效规律并提出系统化改进与维护方案，对保障设备稳定运行、提升施工质量具有重要工程意义。

1 水稳拌和站关键零部件识别

1.1 搅拌系统关键零部件

搅拌系统作为水稳拌和站实现物料混合的核心单元，其关键零部件直接决定混合料搅拌均匀性与设备运行稳定性。搅拌叶片是核心作业部件，采用高铬铸铁等耐磨材质制成，交错排布于搅拌轴上，通过旋转产生复合运动实现物料剪切与混合，叶片磨损会直接影响搅拌效果。搅拌轴承担叶片支撑与动力传递功能，采用高强度圆钢加工而成，需具备良好抗变形能力，防止卡料时发生扭曲断裂^[1]。轴端密封部件采用先进密封技术，与轴承完全分离，可有效阻挡砂石粉尘侵入轴承，延长主机使用寿命且便于维修更换。搅拌臂作为叶片与搅拌轴的连接部件，采用插入式结构设计，维护便捷，需匹配搅拌轴转速与叶片受力需求，保障动力传递顺畅。

1.2 计量系统关键零部件

计量系统是控制水稳混合料配比精度的关键环节，关键零部件聚焦于物料计量与输送的精准性。皮带秤是骨料计量核心部件，采用变频调速控制，配备高精度称重传感器，可实时监测骨料流量并动态调整输送速度，部分机型采用裙边环形皮带减少骨料洒溢。螺旋输送机主要用于粉料输送与计量，常配合气动破拱装置使用，

防止粉料板结，其叶片磨损与密封性能直接影响粉料输送连续性与计量精度。称重传感器广泛应用于骨料、粉料计量环节，需具备抗振动、防尘性能，通过数字信号传输保障计量数据稳定，避免零点漂移影响配比精度。流量计用于水量计量，部分机型采用涡轮流量计，通过电动调控降低计量误差，适配混合料含水量控制需求。

1.3 输送系统关键零部件

输送系统承担骨料、粉料及成品料的转运任务，关键零部件需适应高负荷、多粉尘作业环境。输送皮带采用无缝硫化接头环形胶带，部分配备裙边设计，具备承载量大、抗跑偏、抗撕裂特性，其张紧度可通过专用装置调节，确保运行平稳。托辊作为皮带支撑部件，需具备高强度与良好密封性能，中部调心托辊可实现自动调心，减少皮带跑偏现象，尾部螺旋张紧装置可随时调节皮带张紧度，保障输送稳定性。电动滚筒作为输送系统的驱动部件，承载能力强、运行平稳且噪声低，直接决定输送效率，其使用寿命与运行稳定性影响整个输送系统的作业连续性。清扫器安装于皮带两端，可有效清除皮带表面残留物料，减少皮带磨损与物料浪费。

1.4 传动系统关键零部件

传动系统负责将动力从原动机传递至各工作单元，关键零部件的性能直接决定动力传递效率与设备运行可靠性。减速机是核心动力转换部件，常见行星齿轮减速器、摆线针轮减速器等类型，承担降速增扭功能，将电机高转速低扭矩动力转换为搅拌轴、输送机所需的低转速高扭矩动力。联轴器用于连接减速机与工作部件，多采用弹性柱销或膜片式结构，可补偿安装误差、吸收振动冲击，保障动力传递平稳高效。传动轴系包含支撑轴承、键连接等部件，需经过严格的临界转速校核与动态平衡处理，防止运行过程中出现异常振动或断轴事故。

润滑系统作为传动系统的辅助部件,采用集中润滑方式,可实时监测油路压力,为减速机、轴承等部件提供持续润滑,延长零部件服役周期。

2 水稳拌和站关键零部件失效分析

2.1 搅拌系统零部件失效模式

搅拌系统零部件失效集中体现为磨损、变形与断裂,不同部件失效表现存在差异。搅拌叶片失效以磨粒磨损为主,长期与砂石、水泥等物料摩擦,表面逐渐出现磨损沟槽、厚度减薄,严重时出现局部崩裂,导致搅拌效率下降。搅拌轴失效多表现为弯曲变形与疲劳断裂,长期承受交变载荷与物料冲击,轴体出现塑性变形,焊缝处易产生裂纹并逐步扩展,最终发生断裂。轴端密封部件失效表现为密封性能下降,出现漏料、漏尘现象,粉尘侵入轴承内部引发二次损坏^[2]。搅拌臂失效主要是连接部位磨损与根部断裂,受叶片传递的冲击力影响,连接面出现间隙,根部因应力集中产生裂纹。

2.2 搅拌系统零部件失效成因

搅拌系统零部件失效由材质、工况与维护多方面因素共同导致。材质选用不合理会直接引发失效,叶片、搅拌臂若未采用高耐磨合金材质,耐磨性能不足,磨损速率大幅加快。作业工况恶劣是重要诱因,物料中夹杂的硬质颗粒加剧部件磨粒磨损,高负荷连续作业使部件长期处于疲劳状态,加速性能衰减。润滑维护不到位会加剧失效,轴承、轴端等部位润滑脂加注不及时或油液变质,摩擦阻力增大,引发磨损与卡滞。安装精度不足也会诱发失效,搅拌轴、搅拌臂安装偏差过大,运行时产生附加应力,导致局部应力集中,进而出现变形与断裂。

2.3 计量系统零部件失效模式

计量系统零部件失效主要影响计量精度,失效模式呈现多样化特征。皮带秤失效表现为称重不准与信号异常,传感器灵敏度衰减或零点漂移,导致骨料计量误差超标,皮带磨损、跑偏会进一步加剧计量偏差。螺旋输送机失效集中在叶片磨损与输送卡滞,叶片长期与粉料摩擦出现厚度减薄、变形,粉料板结会导致输送机卡滞,无法正常输送物料。称重传感器失效表现为信号传输不稳定、数据失真,部分传感器因密封不严,粉尘侵入内部导致元件损坏,丧失计量功能。流量计失效表现为计量偏差过大,内部叶轮磨损、结垢会影响水流监测精度,无法精准控制混合料含水量。

2.4 输送系统零部件失效模式

输送系统零部件失效多与摩擦、冲击及疲劳相关,直接影响物料转运连续性。输送皮带失效主要表现为磨损、撕裂与跑偏,表面因物料摩擦出现磨损、龟裂,尖

锐物料易造成皮带纵向撕裂,皮带张紧不均或托辊损坏会引发跑偏。托辊失效表现为转动卡滞与表面磨损,轴承密封不严导致粉尘侵入,出现卡滞、异响,表面磨损不均会加剧皮带磨损。电动滚筒失效表现为驱动无力与噪声异常,内部电机故障、齿轮磨损会导致动力传递不足,滚筒表面磨损会影响与皮带的摩擦力,出现打滑现象。清扫器失效表现为清扫不彻底,刮板磨损、弹性下降,无法清除皮带表面残留物料,进一步加剧皮带磨损与物料浪费。

3 水稳拌和站关键零部件改进方向

3.1 搅拌系统零部件改进措施

针对搅拌系统零部件磨损、变形、断裂等失效问题,从材质、结构与维护三方面制定改进措施^[3]。搅拌叶片选用高铬合金与耐磨堆焊复合材质,优化叶片曲面结构与排布角度,增强物料剪切混合效果的同时降低磨损速率。搅拌轴采用高强度合金钢材加工,增加轴体直径并优化焊缝工艺,通过调质处理提升抗疲劳与抗变形能力,减少断裂风险。轴端密封部件采用双层密封结构,搭配防尘圈与密封脂,有效阻挡粉尘与物料侵入,延长轴承使用寿命。搅拌臂连接部位采用高强度螺栓固定,增加根部加强筋设计,分散应力集中,减少连接面磨损与根部断裂现象,同时优化安装工艺,提升安装精度。

3.2 计量系统零部件改进措施

围绕计量精度提升,针对计量系统零部件失效特点优化改进方案。皮带秤选用高精度抗干扰型称重传感器,优化皮带张紧调节结构,减少皮带跑偏与磨损对计量精度的影响,增设皮带清洁装置,避免物料残留干扰计量。螺旋输送机叶片采用耐磨合金材质并加厚设计,优化叶片螺旋角度,配备高频振动破拱装置,防止粉料板结,同时改进密封结构,减少粉料泄漏与叶片磨损。称重传感器采用密封式封装设计,提升抗粉尘、抗振动性能,定期开展校准工艺优化,降低零点漂移概率。流量计选用耐腐蚀、抗结垢型产品,优化水流通道设计,减少叶轮磨损,提升水量计量精度。

3.3 输送系统零部件改进措施

结合输送系统零部件摩擦、冲击、疲劳失效特征,聚焦稳定性与耐磨性改进。输送皮带选用高强度耐磨橡胶与聚酯帆布复合材质,增设纵向抗撕裂层,优化裙边设计,减少物料洒溢与撕裂风险,搭配自动张紧调节装置,维持皮带恒定张紧度,降低跑偏概率。托辊采用高强度耐磨钢材,优化轴承密封结构,注入长效润滑脂,减少粉尘侵入导致的卡滞与磨损,中部调心托辊采用自动调心结构,提升跑偏纠正能力。电动滚筒优化内部齿

轮与电机设计,提升动力传递效率,表面采用耐磨防滑处理,减少打滑现象,同时优化散热结构,延长运行寿命。清扫器选用耐磨弹性刮板,优化安装角度,提升清扫效果,减少皮带表面物料残留。

3.4 传动系统零部件改进措施

针对传动系统动力传递效率与可靠性不足问题,从制造、结构与润滑三方面改进。减速机选用高精度硬齿面齿轮设计,优化齿轮热处理工艺,提升齿面硬度与耐磨性,减少齿轮磨损与噪声,优化内部油路设计,提升润滑效果。联轴器采用弹性膜片式结构,优化连接精度,增强振动缓冲能力,补偿安装偏差,减少动力传递冲击,延长使用寿命。传动轴系采用精密加工工艺,开展临界转速校核与动态平衡处理,减少运行过程中的异常振动,优化键连接结构,提升连接稳定性,避免断轴事故。润滑系统采用自动集中润滑设计,实时监测油路压力与油液状态,按作业时长自动加注润滑脂,及时更换变质油液,保障各传动部件润滑充足。

4 水稳拌和站关键零部件维护建议

4.1 零部件日常检查要点

日常检查聚焦零部件运行状态,重点排查易失效部位,及时发现异常并处理。检查搅拌系统叶片、衬板表面磨损情况,观察是否存在崩裂、变形,清理表面附着的物料残渣,避免磨损加剧。检查计量系统传感器信号传输状态,查看皮带秤皮带是否跑偏、松动,清理传感器周边粉尘,防止信号失真^[4]。检查输送系统皮带表面是否有撕裂、龟裂,查看托辊转动是否灵活,有无异响,及时清理托辊与皮带间的异物。检查传动系统减速机油位与油质,查看联轴器连接是否牢固,有无松动,排查传动轴运行时的振动情况,避免部件松动引发故障。日常检查还应关注各系统运转时的异常声响与振动反馈,操作人员可通过听音棒等简易工具辅助判断轴承、齿轮等隐蔽部件的运行状态,做到早发现、早处理,将故障消除在萌芽阶段。

4.2 零部件定期保养方法

定期保养需结合零部件运行周期,针对性开展养护操作,延长服役周期。搅拌系统叶片、衬板按运行时长定期打磨维护,对磨损严重部件及时更换,定期加注

轴端密封脂,保障密封性能。计量系统传感器定期开展校准操作,调整计量参数,清理螺旋输送机内部粉料残留,检查输送机叶片磨损情况,及时补充润滑脂。输送系统皮带定期调整张紧度,清理皮带表面残留物料,对托辊轴承定期加注长效润滑脂,更换磨损严重的托辊与清扫器刮板。传动系统减速机按规定周期更换润滑油,清理油路杂质,检查齿轮磨损情况,对联轴器弹性部件定期检查,及时更换老化部件。

4.3 零部件磨损防控要点

磨损防控需贯穿维护全过程,结合零部件失效成因制定针对性措施。优化物料预处理环节,清除物料中夹杂的硬质颗粒,降低物料对搅拌、输送部件的磨粒磨损。对易磨损部件采用耐磨涂层处理,提升表面硬度,减少磨损速率。严格执行润滑维护规范,根据不同零部件运行需求,选用适配的润滑脂与润滑油,按规定频次加注,避免干摩擦引发严重磨损。规范设备操作流程,避免高负荷长时间连续作业,合理控制作业节奏,减少零部件疲劳磨损。定期清理零部件表面粉尘与物料残渣,避免杂质堆积加剧磨损,保障零部件运行环境清洁。

结束语

水稳拌和站关键零部件的可靠性提升是一项涵盖材质优选、结构改良与维护优化的系统工程。搅拌系统通过高铬合金替代与轴端密封强化可显著延缓磨损进程,计量系统借助减振安装与密封封装能有效稳定称重信号,输送与传动系统则依靠自动张紧、集中润滑等手段保障运行连续性。将零部件失效规律融入日常巡检与定期保养流程,可在控制运维投入的前提下大幅降低非计划停机概率,使拌和站整体作业效能获得持续改善。

参考文献

- [1]李凌云,王守闯,王士崇.泡沫沥青水稳拌和站改装技术及工程应用[J].工程机械,2024,55(7):22-28.
- [2]施瑛琪,王振宇,朱浩.振动搅拌技术对水稳基层性能的影响分析[J].工程技术研究,2025,10(5):31-33.
- [3]朱成云.振动搅拌水稳碎石均匀性及性能试验分析[J].运输经理世界,2024(8):154-156.
- [4]王钧.800型水稳拌和设备计量控制系统研究[D].陕西:长安大学,2023.