

长距离皮带机滚筒失效原因分析与周期性保养策略

王海洋 于超

山东港口集团烟台港股份有限公司矿石码头分公司 山东 烟台 264000

【摘要】：长距离皮带机滚筒在运输系统中承载关键作用，其可靠性直接影响设备运转效率和安全性。滚筒在长期运行中易出现轴承损坏、筒体变形、密封失效及润滑不足等问题，导致运行效率下降和意外停机。通过分析滚筒失效的常见模式与成因，可发现机械磨损、负载波动及维护不及时是主要诱因。周期性维护能够对轴承、密封及润滑系统进行预防性管理，降低故障发生频率，延长滚筒使用寿命。同时，合理安排维护间隔和方法可有效控制运行成本，保障输送系统的连续高效运作，为大型物流及矿山运输提供稳定支撑。

【关键词】：长距离皮带机；滚筒失效；轴承磨损；密封失效；周期性保养

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.031

引言

长距离皮带机作为矿山、港口及物流系统中的重要输送设备，其滚筒承担着物料传输的核心任务。运行过程中，滚筒常面临轴承磨损、筒体变形、密封系统老化及润滑不足等多种挑战，稍有疏忽便可能引发设备停机或事故。滚筒失效不仅影响运输效率，还增加维修成本与安全隐患。对滚筒失效原因进行深入分析，有助于识别易损环节，精准掌握磨损规律与故障模式，从而为维护安排提供数据支撑。通过科学的周期性检查与保养，可以显著降低故障发生率，提高设备运行的稳定性和使用寿命，使输送系统在高强度运行环境中保持高效可靠，为物流连续性提供保障。

1 长距离皮带机滚筒失效问题识别

1.1 滚筒运行中的典型故障表现

长距离皮带机滚筒在长期运转过程中，常出现多种典型故障形式，这些故障直接影响物料输送的稳定性。筒体表面磨损是最常见的现象之一，表现为外壳凹痕、刮痕及局部裂纹，往往伴随滚筒振动幅度的增加。轴承温度异常和滚动阻力增大是另一个突出问题，表现为运行噪声上升、启动负荷加大以及滚筒转速不稳定^[1]。密封装置失效导致润滑油泄漏或灰尘进入轴承系统，也会引发滚筒提前损坏。这些故障通常呈现累积性发展特征，从初期轻微的振动和摩擦声，到后期可能导致滚筒卡滞、胶带跑偏甚至停机，给整个输送系统带来严重隐患。对故障表现的观察和记录为后续分析滚筒损伤机理提供了重要依据。

1.2 滚筒失效对输送系统的影响

滚筒失效不仅影响个体部件性能，还会波及整个输送系统的运行效率和安全性。滚筒磨损或轴承损坏会导致胶带运行不平稳，物料输送速度波动明显增加，运输效率随之下降。密封破损或润滑不足引发的局部摩擦和发热，会使输送系统出现局部负荷集中，增加皮带和驱动装置的磨损。滚筒异常振动和噪声扩散至整个输送机架，可能影响其他关键部件寿命，增加维

护频率和检修成本。严重情况下，滚筒卡滞会导致胶带跑偏、物料堆积，形成生产停滞和安全隐患。通过对滚筒失效对系统的影响进行分析，可以更准确地判断设备潜在风险，为运行控制和维护安排提供参考。

1.3 滚筒故障诊断的关键切入点

滚筒故障诊断需要从多个维度进行综合分析，重点关注轴承、筒体和密封三大关键部位。轴承温度、振动频率和噪声特征是判定轴承状况的核心指标，通过在线监测或周期检测可以及早发现异常。筒体磨损形态、表面裂纹及局部凹陷可以通过视觉检查和测量比对进行识别，从而判断滚筒的使用寿命和受力状态。密封系统的完整性、润滑油泄漏情况及灰尘侵入程度也是诊断中不可忽视的因素，它直接关联到滚筒运转的顺畅性和轴承寿命。结合运行数据、振动分析及现场巡检，能够形成全面的滚筒健康状态评估，为制定维护周期和修复措施提供可靠依据，减少意外停机和设备损伤的发生。

2 滚筒失效的主要诱发因素

2.1 轴承磨损与疲劳损伤因素

轴承是长距离皮带机滚筒保持稳定转动的核心部件，长期处于连续载荷、冲击载荷和交变应力共同作用下，极易形成磨损与疲劳损伤。皮带机运行距离较长，滚筒承受的张力变化较为明显，当物料输送量不均、启动频繁或运行阻力增大时，轴承内部滚动体与滚道之间的接触压力会持续升高，导致金属表面出现点蚀、剥落和划伤^[2]。润滑条件不良会进一步加剧摩擦，使轴承温度升高，油膜稳定性下降，滚动部位由正常滚动逐渐转变为异常摩擦。轴承间隙过大或装配精度不足，也会造成滚筒运行时产生偏心振动，使局部受力集中，疲劳裂纹不断扩展。随着损伤程度加深，滚筒会出现噪声增大、温升异常、转动阻滞等问题，严重时可能引发轴承抱死，造成皮带跑偏、滚筒停转甚至输送系统中断运行。

2.2 密封老化与润滑不足因素

密封装置承担着阻隔粉尘、水分和杂质进入轴承腔的重要

任务，也是维持润滑系统稳定运行的关键环节。长距离皮带机多处于粉尘浓度高、湿度变化大、物料冲击强的运行环境中，滚筒密封件长期受到摩擦、温度变化和外部污染物侵蚀，容易出现硬化、开裂、变形和弹性下降等问题。密封性能减弱后，外部粉尘和细小颗粒会进入轴承内部，与润滑脂混合形成磨粒，加速滚动体和滚道磨损。润滑不足还会破坏轴承工作表面的油膜保护，使摩擦阻力明显增加，导致滚筒温度持续升高。若润滑脂补充不及时、型号选择不当或加注量控制不合理，都会影响润滑效果，甚至引发润滑脂变质、流失和结块。密封失效与润滑不足往往相互叠加，使滚筒内部运行条件不断恶化，促使轴承磨损、发热和卡滞等故障提前出现。

2.3 负载波动与安装偏差因素

长距离皮带机在运行过程中，物料输送量、皮带张力和驱动阻力会随工况变化而不断波动，滚筒因此承受较为复杂的动态载荷。当物料分布不均、瞬时输送量过大或皮带张紧力调节不合理时，滚筒表面受力会出现明显差异，局部区域长期承压后容易产生磨损、变形和疲劳损伤。启动、制动和重载运行期间，冲击载荷会集中作用于滚筒轴承和筒体连接部位，使滚筒运行稳定性下降。安装偏差同样是诱发失效的重要因素，若滚筒轴线与皮带运行方向不垂直，或两端轴承座高度不一致，就会造成滚筒受力不均，引发皮带跑偏、边缘磨损和轴承偏载。联轴器对中不良、基础松动、支架变形等问题，也会放大振动和冲击，使滚筒长期处于异常受力状态。负载波动与安装偏差叠加后，滚筒失效不再局限于单一部位，而会逐渐演变为轴承损伤、筒体磨损和系统运行异常的综合性故障。

3 滚筒关键部位失效机理分析

3.1 筒体变形与表面磨损机理

筒体是滚筒直接承受皮带张力和物料载荷的主要部位，在长距离皮带机连续运行中，筒体表面长期受到皮带摩擦、物料冲击和张力变化影响，容易形成磨损与变形。皮带与滚筒之间存在持续接触压力，当张紧力过大、物料分布不均或皮带跑偏时，筒体局部受力明显增强，表面包胶层会出现磨薄、龟裂、脱落等现象。若磨损区域长期得不到修复，金属筒壁将直接暴露在摩擦环境中，进一步产生划痕、凹陷和疲劳裂纹^[1]。筒体变形多与偏载和冲击载荷有关，局部应力超过材料承载极限后，筒壁圆度下降，滚筒转动平稳性随之减弱。变形后的筒体会加剧皮带跳动和跑偏，使表面磨损继续扩大，形成“受力不均—磨损加剧—变形扩大”的连锁过程，最终影响滚筒传动效率和输送稳定性。

3.2 轴承发热与卡滞形成机理

轴承发热通常是滚筒内部摩擦状态恶化的直接表现，其形成与润滑不足、负载偏心、装配间隙异常及污染侵入密切相关。正常运行状态下，轴承依靠润滑油膜降低滚动体与滚道之间的

摩擦，当润滑脂变质、流失或加注不均时，油膜连续性遭到破坏，金属接触面积增大，摩擦热不断积累。长距离皮带机运行负荷较大，若滚筒轴线偏斜或皮带张力不均，轴承会承受额外径向力和轴向力，滚动体局部受压加剧，滚道表面逐渐产生点蚀、剥落和划伤。随着温度升高，润滑脂性能进一步下降，轴承间隙发生变化，滚动阻力持续增加。若损伤未被及时控制，滚动体可能出现卡阻，保持架变形甚至断裂，最终造成轴承抱死。轴承卡滞后，滚筒无法正常转动，容易引发皮带打滑、跑偏和输送系统停机。

3.3 密封破坏与污染侵入机理

密封结构是滚筒轴承系统抵御外部污染的重要屏障，其失效往往会直接改变轴承内部的运行环境。长距离皮带机多处于粉尘、水汽、泥浆和细小颗粒较多的作业条件下，密封件长期受到摩擦、温度波动及化学介质影响，材料弹性逐渐下降，唇口磨损、硬化开裂和配合间隙增大等问题随之出现。密封性能降低后，外部污染物会沿轴端间隙进入轴承腔，与润滑脂混合后形成磨粒介质，使滚动体和滚道表面受到持续刮削。水分进入后还会破坏润滑脂稳定性，引起金属部件锈蚀，进一步削弱轴承承载能力。污染侵入与润滑失效相互叠加，使轴承摩擦阻力增加、温度升高和磨损加快。密封破坏若长期存在，滚筒内部损伤会从局部磨损逐渐发展为整体性失效，最终影响滚筒运行可靠性。

4 滚筒周期性保养策略构建

4.1 日常巡检与运行参数记录

日常巡检是保持滚筒稳定运行的重要环节，通过定期检查能够及早发现潜在问题。巡检内容包括滚筒表面状态、轴承温度、振动幅度以及皮带接触情况，每一次观察都为判断滚筒健康状况提供直接依据。运行参数记录则涉及转速、负载、温升、振动频率等关键数据，通过长期积累，可以识别出异常趋势和隐性损伤。对巡检和参数记录形成闭环管理，能够快速反应滚筒运行异常，使维护人员在问题尚未扩大前采取措施，降低故障发生概率^[4]。数据分析与现场观察相结合，还能揭示局部磨损、轴承热斑或密封泄漏的规律，为后续保养和维修提供精准依据，同时也有助于优化滚筒运行条件，使输送系统在高强度作业中保持连续性和安全性。

4.2 润滑维护与密封状态检查

润滑系统和密封结构是滚筒长期可靠运转的关键保障，保持其良好状态能够显著降低轴承磨损和筒体摩擦。润滑维护不仅包括定期补充润滑脂，还要注意润滑剂类型、加注量和注入方式，确保滚动部位形成完整油膜。密封状态检查则通过观察唇口磨损、弹性变化、泄漏痕迹以及灰尘侵入情况来判断其完整性。运行环境中存在粉尘、湿气和物料颗粒，密封失效将直接破坏润滑条件，加速滚筒磨损。对润滑和密封状态进行周期

性检查,可发现早期异常,及时清理污染物或更换密封件,保持滚筒内部环境清洁稳定。润滑与密封管理紧密结合,可有效延缓轴承疲劳与筒体表面磨损,使滚筒在连续运行条件下保持较低故障率。

4.3 轴承检测与滚筒修复管理

轴承作为滚筒的核心承载部件,其状态直接决定滚筒运转平稳性。通过定期检测轴承温度、振动特征和噪声变化,可以精准判断轴承磨损程度和早期损伤部位。结合红外测温、振动分析和润滑监测等手段,能够识别轴承局部点蚀、滚动体剥落或保持架变形等问题。滚筒修复管理则包括对磨损筒体的打磨、补焊或更换零件,以及轴承的更换或重新润滑。将检测结果与维护操作形成记录体系,可对滚筒寿命进行跟踪评估,指导保养频率和修复方法。通过系统化的检测和管理,滚筒运行阻力和振动可得到有效控制,减少停机次数,提高输送效率,同时保障轴承和滚筒整体结构在长期运行中维持良好状态。

5 滚筒维护效果与运行控制要点

5.1 保养周期与故障频率控制

保养周期的合理设定直接关系到滚筒故障频率的高低。长距离皮带机运行时间长、负荷变化大,若保养间隔过长,轴承磨损、密封老化和筒体损伤容易在隐蔽状态下持续发展,待异常明显时往往已经影响输送稳定性。保养周期应结合设备运行时长、物料特性、环境粉尘浓度、负载强度和历史故障记录进行动态调整,使检查频率与实际损耗速度相匹配^[5]。对于高负荷、潮湿、多尘或频繁启停的运行区段,应适当缩短轴承测温、润滑补充和密封检查间隔,减少故障积累空间。运行数据可作为周期优化的重要依据,通过对温升、振动、噪声和磨损记录进行比对,能够判断滚筒状态变化趋势。周期性保养并非单纯固定时间检查,而是以故障规律为基础进行控制,使滚筒隐患在早期被发现,降低突发停机概率。

5.2 维护成本与停机风险控制

滚筒维护成本与停机风险之间存在紧密联系,过度维护会

增加人工、材料和备件投入,维护不足有可能造成滚筒严重损坏和长时间停机。因此,运行控制应在成本消耗和风险防范之间形成平衡。对滚筒故障类型、损伤程度和维修频次进行分类记录,可以明确高发故障部位和重点消耗环节,避免盲目更换部件。对于轴承温度异常、密封轻微泄漏、筒体局部磨损等早期问题,应及时安排针对性处理,减少小故障扩大为整机停机的可能。备件管理也影响停机时间,常用轴承、密封件、润滑脂和修复材料应保持合理储备,以便故障出现后快速处理。维护成本控制并非减少必要检修,而是提高检修准确性和计划性,通过精准判断滚筒状态,减少重复维修、临时抢修和非计划停机,使输送系统保持稳定运行。

5.3 滚筒长效运行管理要点

滚筒长效运行管理需要将巡检、润滑、检测、修复和记录形成连续闭环,使每一项维护活动都能服务于设备稳定运行。日常管理中,应重点关注滚筒轴承温度、振动变化、皮带跑偏、筒体磨损和密封泄漏等关键状态,发现异常后及时定位原因并完成处理记录。运行参数的持续积累能够反映滚筒性能变化,为保养周期调整和故障预判提供依据。对于已出现磨损或修复历史的滚筒,应建立单独台账,跟踪其运行状态和使用寿命,避免问题重复出现。人员操作规范同样影响滚筒寿命,启动、停机、张紧调整和清料操作应保持稳定,减少冲击载荷和偏载运行。通过设备状态监测、现场检查和维护记录联动管理,滚筒运行风险能够得到持续控制,输送系统的连续性、安全性和经济性也能保持在较优水平。

6 结语

长距离皮带机滚筒失效多由轴承磨损、密封破坏、润滑不足、负载波动和安装偏差共同引发。围绕筒体、轴承、密封等关键部位开展故障识别与机理分析,能够准确把握滚筒损伤规律。周期性巡检、参数记录、润滑维护和修复管理相结合,可有效降低故障频率,减少停机风险,控制维护成本,提升滚筒运行稳定性,为输送系统连续、安全、高效运行提供可靠保障。

参考文献:

- [1] 孙长城.带式输送机自移机尾改向滚筒新型结构优化设计[J].装备制造技术,2025,(12):120-123.
- [2] 朱武珍.长距离平面转弯下运连续皮带机设计与研究[J].工程机械,2024,55(12):138-142+13-14.
- [3] 刘灿平.连续皮带机在长距离大埋深盾构施工中的应用[J].工程机械文摘,2024,(6):83-86.
- [4] 张建浩.矿用长距离皮带线摩擦驱动增压装置的设计[J].陕西煤炭,2024,43(9):142-145.
- [5] 蒋松桦.带式输送机滚筒焊缝的失效机理研究分析[J].机械管理开发,2022,37(9):128-130.