

胶带输送机安全节能工作原理及性能优化研究

刘 杰

内蒙古仲泰能源集团有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：胶带输送机是矿山、港口、化工等行业物料输送的核心设备，其运行的安全性与节能性关乎生产效率、运营成本和人员安全。本文以胶带输送机为研究对象，深入剖析其安全节能工作原理，明确安全防护与能耗控制的核心性能要求。结合行业情况，指出设备在驱动机构、胶带防撕裂、能耗损耗等方面存在的问题。据此提出优化设计方案，涵盖改进驱动机构、提升胶带可靠性、优化运行参数等，并通过案例验证方案可行有效，为设备安全节能运行提供参考，助力行业高质量发展。

关键词：胶带输送机；安全节能工作原理；性能优化研究

引言：在工业生产物料输送中，胶带输送机因输送量大、距离长、能耗相对低、运行平稳，被广泛应用于矿山、港口、建材等多个行业。当前，部分胶带输送机存在安全隐患，胶带撕裂、驱动故障等问题频发，影响生产连续性，甚至造成人员伤亡与经济损失。随着“双碳”目标推进和安全生产理念深化，对设备安全性能与节能水平要求更高。本文聚焦其安全节能原理与性能优化，分析运行短板，提出优化方案，推动技术与应用升级。

1 胶带输送机安全节能工作原理

1.1 整体工作原理

胶带输送机由胶带、驱动机构、托辊、滚筒、张紧装置、制动装置及安全保护装置等构成。其核心是驱动机构带动滚筒旋转，利用滚筒与胶带间的摩擦力驱动胶带连续运动，实现物料输送。运行中，物料经进料装置均匀落在胶带上，运至卸料点完成作业。各部件协同工作，既要保证输送连续稳定，又要实现安全防护与能耗节约。驱动机构、胶带、托辊是影响设备安全与能耗的关键，其性能决定整体运行水平。当前，驱动方式主要有单电机和多电机驱动，多电机驱动因适应长距离、大运量需求，在大型工业场景应用占比超65%。

1.2 安全工作原理

胶带输送机安全工作通过“预防-监测-预警-制动”闭环管控，防范隐患，保障安全。重点是防范胶带撕裂、跑偏、打滑、过载等故障。胶带撕裂防护靠安装检测装置，实时监测，出现撕裂隐患时快速捕捉信号，传递至控制系统，触发制动停机。跑偏防护利用传感器监测位置，跑偏超阈值时，通过调整托辊角度或张紧装置使胶带复位。打滑防护基于摩擦力特性，打滑时速度传感器捕捉滚筒与胶带速度差值，调整张紧装置或降低输送量恢复摩擦力^[1]。过载防护通过安装装置监测电机电

流与负载，超额定负载120%时切断电源，防止损坏。

1.3 节能工作原理

胶带输送机节能核心是降低运行能量损耗，通过优化结构与控制参数提高利用效率。能耗集中在驱动机构、托辊、胶带摩擦及物料输送阻力方面。驱动机构节能，采用高效电机（能效达IE3及以上）与变频调速技术，高效电机较传统效率提升8% - 12%，变频调速可按需供能，降低能耗15% - 25%。托辊与胶带摩擦节能，采用低摩擦系数托辊轴承、优化结构，选用高强度轻量化胶带材料，优化后托辊摩擦损耗降30%以上，胶带运行阻力降15% - 20%。此外，优化物料输送路径、减少冲击，降低附加阻力，也能节能降耗。

2 胶带输送机安全节能核心性能要求

2.1 安全性能核心要求

胶带输送机安全性能是稳定运行的前提，结合运行特点与行业需求，核心要求涵盖防撕裂可靠性、防跑偏稳定性、防滑性能、过载保护能力及制动安全性，且要符合行业标准，杜绝重大隐患。防撕裂可靠性要求胶带在额定工况下，能抵御外力，故障率控制在2%以内，检测装置响应不超0.5秒，制动装置动作不超1秒。防跑偏稳定性要求跑偏量不超胶带宽度的5%，托辊调整装置能快速纠偏。防滑性能要求打滑发生率低于1%，潮湿粉尘工况也不打滑。过载保护能力要求设备能承受短期过载，保护装置响应精度不低于±5%，超额定值快速断电。制动安全性要求制动平稳可靠，制动距离不超额定速度的1.5倍，倾斜式输送机制动尤为关键，要防胶带倒转与物料下滑。

2.2 节能性能核心要求

结合工业节能需求，胶带输送机节能性能核心要求有驱动效率、能耗损耗、运行稳定性及参数可调性，以

量化指标规范节能水平。驱动机构效率是核心,单电机驱动系统效率不低于90%,多电机不低于92%,电机能效达IE3及以上,减速器传动效率不低于95%。能耗损耗要求单位输送量能耗不超0.8kWh/(t·km),长距离大运量不超1.0kWh/(t·km),较传统降20%以上。运行稳定性要求不同工况平稳运行,振动不超0.5mm,转速波动不超±3%。参数可调性要求能变频调速,范围为额定转速30%-100%,轻载降转速减能耗。

2.3 当前设备性能存在的短板

结合行业数据与实际应用,胶带输送机在安全节能性能上有短板,难满足高质量要求。安全性能方面,一是胶带防撕裂可靠性差,传统检测装置响应精度低、误报率高,部分设备缺有效防撕裂结构,撕裂事故年均发生率达12%;二是驱动机构故障多,多电机驱动同步性差,电机过载、减速器磨损等问题发生率10%;三是制动装置可靠性不足,倾斜式运输机制动延迟,易胶带倒转^[2]。节能性能方面,一是驱动机构效率低,约40%老旧设备用低效电机,能效等级IE2及以下,驱动系统整体效率不足85%;二是托辊与胶带摩擦损耗大,传统托辊轴承摩擦系数高,胶带耐磨性差,摩擦损耗占总能耗35%以上;三是运行参数优化差,多数设备缺变频调速系统,轻载仍额定转速,单位输送量能耗比国际先进水平高25%-30%。

3 胶带输送机安全节能性能优化设计方案

针对当前胶带输送机在安全节能性能方面的短板,结合其安全节能工作原理与性能要求,本文从驱动机构改进、胶带防撕裂可靠性提升、托辊与胶带优化、运行参数调整及安全保护装置升级五个方面,提出针对性的优化设计方案,兼顾安全性与节能性,确保方案可行、有效。

3.1 驱动机构改进优化方案

驱动机构作为胶带输送机核心动力部件,其性能直接影响设备安全与能耗,本次优化从电机选型、减速器改进、多电机同步控制三方面展开。电机选型上,淘汰IE2级及以下低效电机,统一选用IE3级及以上高效永磁同步电机,其能效较传统异步电机提升8%-12%,功率因数 ≥ 0.95 ,可减少自身能耗;结合设备额定负载与输送需求匹配电机功率,避免“大马拉小车”,如500t/h、100m输送距离的设备,选用160kW电机替代传统200kW电机,年节约电能12万kWh。减速器采用硬齿面替代软齿面,优化齿轮结构,传动效率从90%提升至95%以上,增强耐磨与承载能力;增设弹性联轴器,缓解启动冲击,保护电机与减速器,降低故障风险。多电机同步控制引入PLC与变频调速技术,实时监测转速与负载,自动调参使负载

均匀分配,同步误差 $\leq \pm 2\%$,结合输送量变频调速,实现“按需供能”,进一步降耗^[3]。

3.2 胶带防撕裂可靠性优化方案

胶带撕裂是主要安全隐患,本次优化从胶带结构改进与检测装置升级两方面提升防撕裂可靠性。胶带采用分层复合结构,内层以高强度聚酯帆布为骨架,拉伸强度 $\geq 2500\text{N/mm}$,提升抗撕裂能力;外层选用厚度 $\geq 15\text{mm}$ 的耐磨橡胶,增强耐磨与抗冲击性,避免物料冲击、尖锐杂物划伤导致撕裂;胶带边缘增设5mm厚加强层,防止边缘磨损撕裂。检测装置采用“红外检测+压力传感”双重模式,替代传统单一检测,红外监测胶带表面状态,托辊上的压力传感捕捉胶带撕裂后的物料泄漏压力异常,双重信号验证,误报率 $\leq 2\%$,响应时间 $\leq 0.3\text{秒}$ 。检测装置联动控制系统与制动装置,检测到撕裂隐患后,立即预警并触发制动,快速停机,防止撕裂范围扩大。

3.3 托辊与胶带摩擦优化方案

托辊与胶带之间的摩擦损耗是设备能耗的主要来源之一,本次优化通过改进托辊结构、选用优质材料,降低摩擦阻力,减少能耗损耗,同时增强部件耐磨性,提升设备运行稳定性。采用新型密封式托辊,优化托辊轴承结构,选用低摩擦系数的深沟球轴承,摩擦系数从0.025降低至0.015以下,减少托辊旋转时的摩擦损耗。同时,在托辊表面喷涂聚四氟乙烯涂层,厚度为0.5mm,进一步降低托辊与胶带之间的摩擦系数,减少胶带磨损,延长胶带使用寿命。此外,优化托辊间距,根据胶带宽度与输送量,将托辊间距从1.5m调整为1.2m,减少胶带的下垂量,降低运行阻力;选用高强度、轻量化的聚氨酯胶带,替代传统橡胶胶带,该类型胶带重量较传统胶带减轻20%以上,运行过程中的自身阻力降低15%-20%,同时耐磨性提升30%,使用寿命延长至5年以上,较传统胶带使用寿命提升2年,不仅能降低能耗,还能减少胶带更换成本。

3.4 运行参数优化方案

结合胶带输送机运行工况,核心引入智能化控制系统,通过实时监测与动态调整运行参数,实现节能高效运行,重点优化输送速度与负载均衡控制。引入变频调速系统,建立“输送量-转速”联动机制,根据输送量动态调整转速:输送量低于额定50%时,转速调至额定50%-60%;50%-80%时调至70%-80%;高于80%时恢复额定转速,可降低能耗15%-25%。

3.5 安全保护装置升级方案

针对当前设备安全保护装置可靠性不足的问题,对跑偏检测、打滑检测、过载保护及制动装置进行全面升

级，构建完善的安全保护体系，提升设备运行安全性。采用新型红外跑偏传感器，替代传统机械传感器，检测精度提升至±1mm，能快速捕捉胶带跑偏信号，同时增设自动调整装置，当胶带出现跑偏时，自动调整托辊角度，将胶带回归正常运行轨迹，无需人工干预，降低跑偏事故发生率^[4]。在打滑检测方面，采用速度差检测模式，实时监测滚筒与胶带的转速差，当转速差超过5%时，立即发出预警信号，同时调整张紧装置，增大胶带张力，恢复滚筒与胶带之间的摩擦力，避免打滑现象。升级过载保护装置，采用智能电流传感器，实时监测电机电流变化，当电流超过额定电流的110%时，发出预警信号；超过120%时，立即切断电机电源，同时联动制动装置，停止

设备运行，保护驱动机构与胶带。在制动装置升级方面，对于倾斜式胶带输送机，采用液压制动与电磁制动双重制动模式，液压制动实现平稳制动，电磁制动实现紧急制动，制动延迟时间缩短至0.5秒以内，制动距离控制在额定速度下的1.2倍以内，防止胶带倒转与物料下滑。

3.6 优化方案效果验证

为验证优化设计方案的可行性与有效性，选取某矿山在用的3台胶带输送机作为试验对象，该设备额定输送量为600t/h，输送距离为150m，额定功率为200kW，优化前存在能耗高、胶带撕裂隐患突出等问题。对3台设备实施上述优化方案，优化后运行6个月，对比优化前后的设备性能指标，具体数据如下表所示：

性能指标	优化前	优化后	优化效果
胶带撕裂发生率	0.12	0.015	降低87.5%
驱动机构故障发生率	0.1	0.012	降低88%
单位输送量能耗 (kWh/(t·km))	1.2	0.75	降低37.5%
驱动系统效率	0.84	0.93	提升9个百分点
设备运行稳定性 (振动幅度)	0.7mm	0.3mm	降低57.1%

由上表数据可知，优化方案实施后，设备的安全性能与节能性能均得到显著提升，胶带撕裂发生率、驱动机构故障发生率大幅降低，单位输送量能耗显著下降，驱动系统效率与运行稳定性明显提升，验证了优化方案的可行性与有效性，能有效解决当前设备存在的短板，实现设备安全稳定、节能高效运行。

结束语

综上所述，本文围绕胶带运输机的安全节能工作原理与性能优化展开深入研究，针对当前设备在安全与节能方面存在的诸多短板，提出了涵盖驱动机构、胶带防撕裂、托辊与胶带、运行参数及安全保护装置等多方面的优化方案。经实际案例验证，优化方案成效显著，有效提升设备的安全性与节能性。未来，随着工业生产对

设备性能要求的不断提高，还需持续探索创新，进一步完善胶带输送机技术，为矿山、港口等行业的高质量发展提供更有力的设备支撑。

参考文献

- [1]王延.关于煤矿胶带输送机常见故障与安全管理探讨[J].中国科技纵横,2024(8):85-87.
- [2]吴远秋,黎照亮,吴仲添.煤炭输送系统中胶带输送机胶带跑偏原因与解决对策[J].智能建筑与工程机械,2022,4(10):50-52,73.
- [3]吴文彦,徐作栋.基于PLC的煤矿胶带输送机优化设计研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(9):191-193.
- [4]何永奎.煤矿胶带输送机变频调速技术改造应用讨论[J].内蒙古煤炭经济,2024(23):166-168.