

皮带输送机节能降耗研究

唐 耀

中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 皮带输送机作为工业运输关键设备, 能耗问题备受关注。本文聚焦其节能降耗研究, 分析能耗构成, 包括驱动系统、运行阻力及辅助设备能耗等。探讨负载特性、运行速度、设备状态与控制方式等关键影响因素, 研究驱动系统优化、智能控制及结构参数优化等关键技术, 如变频调速、永磁调速、模糊控制、数字孪生技术及托辊与皮带选型优化等。旨在为皮带输送机节能降耗提供理论与技术参考, 提升设备运行效率, 降低能源消耗。

关键词: 皮带输送机; 节能降耗; 研究

引言: 在工业生产领域, 皮带输送机应用广泛, 但其能源消耗较大, 节能降耗意义重大。随着能源成本上升与环保要求提高, 对皮带输送机节能技术研究愈发迫切。本文从能耗构成入手, 分析驱动系统、运行阻力及辅助设备能耗组成, 探究负载特性、运行速度等因素对能耗的影响, 进而研究驱动优化、智能控制与结构参数优化等节能技术, 为皮带输送机节能降耗实践提供方向, 推动工业生产绿色高效发展。

1 皮带输送机节能降耗的构成

1.1 能耗构成分析

皮带输送机在工业生产的物料运输环节扮演着关键角色, 其能耗构成较为复杂, 主要由驱动系统能耗、运行阻力能耗和辅助设备能耗三大部分组成。驱动系统作为皮带输送机运行的动力核心, 在运转过程中会产生能量损耗; 运行时, 皮带与托辊、物料与皮带间的摩擦, 以及空气阻力等形成运行阻力能耗; 此外, 辅助设备如清扫器、张紧装置等, 虽不直接参与物料运输, 但运行过程中也会消耗一定能量。全面分析这些能耗构成, 是探寻皮带输送机节能降耗路径的基础。

1.2 驱动系统能耗

驱动系统能耗是皮带输送机能量消耗的主要部分。电机作为驱动系统的核心, 其本身存在机械损耗、铜损和铁损, 电机运行效率直接影响能耗大小。同时, 传动装置如减速器、联轴器等, 在将电机动力传递给皮带的过程中, 因机械摩擦、传动间隙等因素, 也会造成能量损失。当驱动系统选型不合理, 或长期处于低效运行状态时, 能耗会进一步增加。此外, 频繁的启动、停止和调速操作, 会使驱动系统产生额外的能量损耗。因此, 对驱动系统能耗的深入研究与优化, 是降低皮带输送机整体能耗的关键。

1.3 运行阻力能耗

运行阻力能耗贯穿皮带输送机的整个运行过程。皮带与托辊之间的滚动摩擦、物料在皮带上的滑动摩擦, 以及皮带运行时与周围空气的摩擦, 都会产生运行阻力。托辊的转动灵活性、皮带的表面粗糙度和物料的特性等因素, 对运行阻力大小有着显著影响。若托辊转动不灵活, 会增大皮带与托辊间的摩擦力; 物料颗粒较大、表面粗糙, 也会加剧与皮带间的摩擦。此外, 皮带输送机的倾角、输送距离等结构参数, 同样会改变运行阻力。运行阻力越大, 输送机为克服阻力消耗的能量就越多, 所以降低运行阻力能耗对节能降耗至关重要。

1.4 辅助设备能耗

辅助设备能耗虽在皮带输送机总能耗中占比相对较小, 但同样不容忽视。清扫器通过与皮带表面接触, 清除残留物料, 其与皮带间的摩擦力会消耗能量, 若清扫器压力过大或磨损严重, 能耗会进一步增加。张紧装置为保证皮带具有合适的张力, 在运行过程中也需消耗一定能量, 尤其是自动张紧装置频繁调节时, 能耗更为明显。此外, 皮带输送机配备的照明、监控等设备, 在持续运行过程中也会产生电能消耗。合理优化辅助设备的设计与运行方式, 可有效降低这部分能耗, 为整体节能降耗贡献力量^[1]。

2 皮带输送机节能降耗关键影响因素

2.1 负载特性

负载特性对皮带输送机能耗的影响呈现多维性。从重量维度看, 负载越重, 驱动系统需输出更大扭矩维持皮带运转, 电机、减速器等部件能量损耗随之攀升, 直接导致驱动系统能耗显著增加。负载分布的均匀程度也至关重要, 物料在皮带上堆积不均, 会打破皮带受力平衡, 致使皮带在运行过程中与托辊产生局部过度摩擦, 不仅加剧皮带磨损, 还大幅提升运行阻力能耗。此外, 物料自身物理化学性质, 如密度、湿度、粒度等, 也会

影响负载特性。高湿度物料会因水分增重，且易粘附在皮带表面，增大运行阻力；粒度大、棱角分明的物料，则可能划伤皮带，增加摩擦损耗，这些都会导致整体能耗上升。

2.2 运行速度

运行速度与皮带输送机能耗的关系复杂且紧密。在一定范围内，提高运行速度虽能提升输送效率，但同时会加剧皮带与托辊、物料与皮带间的摩擦作用，运行阻力呈非线性增长，使得为克服阻力消耗的能量大幅增加。当运行速度超出设备最佳工况范围时，驱动系统中的电机、传动装置等部件会因长时间处于超负荷状态，导致运行效率下降，额外产生大量能量损耗。运行速度的频繁变化同样影响显著，启动时的大电流冲击、制动时的动能损耗以及调速过程中的动态调节，都会造成驱动系统能量浪费。而运行速度过低时，虽能降低部分阻力能耗，但输送效率大幅下降，单位时间内完成相同输送任务所需能耗反而增多，难以实现节能目标。

2.3 设备状态

设备状态是决定皮带输送机能耗水平的基础因素。托辊作为与皮带直接接触的关键部件，若出现轴承生锈、润滑失效、辊体变形等问题，其转动阻力会成倍增加，皮带需消耗更多能量来克服阻力运行，直接拉高运行阻力能耗。皮带的磨损程度也不容忽视，长期使用后，皮带表面粗糙度增加、厚度变薄，与物料和托辊间的摩擦力增大，且皮带强度下降导致张力难以稳定维持，使得驱动系统需不断调整输出功率，造成能量损耗。此外，驱动系统中的电机老化、减速器齿轮磨损、联轴器松动等问题，会降低传动效率，导致能量在传递过程中大量散失。设备状态不佳不仅增加能耗，还会缩短设备使用寿命，增加维护成本和故障风险。

2.4 控制方式

控制方式从宏观层面影响皮带输送机的能耗表现。传统的恒速控制模式下，皮带输送机不论负载大小、工况变化，始终保持恒定运行速度，当负载较轻时，设备仍以满负荷速度运转，造成大量能源浪费。简单的启停控制方式频繁启动和停止设备，每次启动时电机需克服较大惯性，产生瞬间大电流，消耗大量电能，且频繁启停对电机、传动部件等冲击较大，加速设备老化，增加额外能耗。缺乏智能调节的控制方式，无法实时感知负载、环境等变化并做出动态调整，难以使设备运行在最佳能耗状态。同时，控制信号传输延迟、控制逻辑设计不合理等问题，会导致设备运行不稳定，进一步加剧能耗波动，无法实现节能降耗的目标^[2]。

3 皮带输送机节能降耗关键技术研究

3.1 驱动系统优化技术

3.1.1 变频调速技术

变频调速技术基于交流电动机变频调速原理，通过改变电源频率调节电机转速，进而实现对皮带输送机运行速度的精准控制。该技术可依据实际负载情况动态调整电机转速，当负载较小时，降低电机转速，减少驱动系统输出功率，避免能源浪费；在负载增大时，及时提升转速，确保输送机正常运行。例如，在物料输送间歇期或低负荷时段，变频调速系统能自动降低皮带运行速度，使电机处于高效节能运行区间。同时，变频调速技术可实现电机软启动和软停止，避免传统启动方式下的大电流冲击，不仅降低了启动过程中的能耗，还能延长电机和传动部件的使用寿命。此外，该技术还可与智能控制系统相结合，根据预设程序或实时监测数据，灵活调整运行参数，进一步提升节能效果和设备运行稳定性。

3.1.2 永磁调速技术

永磁调速技术利用永磁体与导体之间的磁场耦合原理，实现电机与负载之间的非接触式传动。在皮带输送机应用中，通过调节永磁体与导体盘之间的气隙大小，可改变传递扭矩，从而实现对皮带运行速度的无级调节。这种调速方式无需复杂的电气控制，无机械磨损，运行可靠性高。永磁调速器能有效隔离电机与负载之间的振动和冲击，减少设备机械损耗，降低维护成本。在节能方面，永磁调速技术可根据负载变化自动调节传递功率，使驱动系统始终保持在高效运行状态。例如，当皮带输送机负载发生波动时，永磁调速器可快速响应，在保证输送任务的同时，避免电机因过载或轻载导致的能源浪费。此外，永磁调速技术还具有结构简单、安装方便等特点，可在不改变原有设备结构的基础上进行改造升级，为皮带输送机节能降耗提供了便捷高效的解决方案。

3.2 智能控制技术

3.2.1 模糊控制策略

模糊控制策略是基于模糊数学理论构建的智能控制方法，能够模拟人类的思维和决策方式，处理皮带输送机运行过程中的复杂、不确定因素。在皮带输送机系统中，负载变化、运行环境干扰等因素具有非线性和不确定性，传统控制方法难以实现精准控制。模糊控制策略通过设定输入输出变量的模糊集合和模糊规则，将传感器采集到的皮带速度、负载重量等精确量转化为模糊语言变量，如“轻负载”“中速度”等，再依据预设的模糊规则进行推理决策，输出合适的控制量调节电机转

速、皮带张力等参数。例如,当检测到负载突然增加时,模糊控制器能快速响应,在无需精确数学模型的情况下,合理调整驱动系统功率,避免因过度驱动造成能源浪费,同时确保物料稳定输送。这种控制策略对系统参数变化具有较强的鲁棒性,能适应不同工况,有效提升皮带输送机运行的节能性和稳定性。

3.2.2 数字孪生技术

数字孪生技术通过构建与物理皮带输送机高度相似的虚拟模型,实现对设备全生命周期的实时映射与动态模拟。该虚拟模型基于传感器采集的皮带运行速度、托辊温度、电机电流等海量数据,结合设备设计参数和运行机理,能够精准模拟皮带输送机的实际运行状态。在节能降耗方面,数字孪生技术可通过仿真分析,预测不同工况下设备的能耗情况,为优化运行参数提供依据。例如,通过模拟不同负载和速度组合下的能耗数据,找出最佳运行方案,指导实际设备调整运行策略。同时,数字孪生模型还可对设备故障进行预警和诊断,提前发现托辊异常磨损、驱动系统效率下降等可能导致能耗增加的潜在问题,以便及时维护和调整,避免因设备故障引发的能源浪费。此外,借助数字孪生技术,工程师能够在虚拟环境中测试新的节能控制算法和优化方案,降低实际试验成本和风险,加速节能技术的应用与推广。

3.3 结构参数优化技术

3.3.1 托辊选型优化

托辊作为皮带输送机支撑皮带和物料的重要部件,其选型直接关系到运行阻力和能耗大小。在托辊选型优化中,首先应关注托辊的制造材料与工艺。采用高强度、低摩擦系数的轴承和密封材料,能够显著降低托辊的转动阻力。例如,陶瓷轴承相较于普通轴承,具有更低的摩擦系数和更长的使用寿命,可减少皮带运行时的阻力损耗。托辊的结构设计也至关重要,合理的托辊直径、长度以及辊子间距设置,能够保证皮带平稳运行,避免因皮带抖动产生额外摩擦。对于长距离输送的皮带输送机,选择自调心托辊可有效防止皮带跑偏,减少因跑偏导致的摩擦加剧和能耗增加。此外,根据输送物料的特性和运行工况,选用合适的托辊类型,如槽形托辊适用于

散装物料输送,能够提高物料装载量且减少物料与皮带间的滑动摩擦,从而降低运行阻力,实现节能目的。

3.3.2 皮带选型优化

皮带是皮带输送机的核心承载部件,其选型直接影响设备的运行效率和能耗。在皮带选型优化时,需综合考虑物料特性、输送距离、运行速度等因素。从材料角度来看,不同材质的皮带性能差异显著。例如,橡胶带具有良好的耐磨性和柔韧性,适用于一般物料的输送;而钢丝绳芯胶带强度高、延伸率小,更适合长距离、大运量的物料输送,能够减少因皮带强度不足导致的频繁更换和维护,降低运行成本与能耗。皮带的厚度和宽度选择也需精准匹配输送需求,过宽或过厚的皮带会增加自身重量,导致驱动系统能耗上升;反之,若皮带规格不足,则可能因承载能力受限影响输送效率,甚至引发皮带损坏。此外,皮带表面的花纹设计也不容忽视,对于输送倾角较大或易滑动的物料,选择具有合适花纹的皮带,能够增加摩擦力,防止物料下滑,减少因物料滑动产生的能量损耗,进而提升皮带输送机的节能效果^[1]。

结束语

皮带输送机节能降耗是一项系统工程,涉及多方面关键因素与技术。从负载特性、运行速度,到设备状态、控制方式,每个环节都对能耗有着重要影响。而驱动系统优化、智能控制、结构参数优化等技术,则为节能降耗提供了有效路径。未来,随着技术的不断进步,应持续深化研究,推动多技术融合应用,实现皮带输送机节能降耗的新突破,助力工业生产在绿色、高效的道路上稳步前行,降低能源成本的同时,提升企业竞争力与可持续发展能力。

参考文献

- [1]王权明,王兴友,柏峰,王涛.带式输送机能耗管理技术及应用[J].煤炭科学技术,2020,46(S2):178-182.
- [2]乌兰,赵奇,胡建栋.变频调速带式输送机节能控制技术[J].煤矿机械,2021,39(09):141-143.
- [3]陈林.变频节能系统在煤矿带式输送机中的应用[J].能源与节能,2022(08):175-176.