

# 长距离带式输送机双向运行方向的动力匹配与节能策略

钱宇峰

中煤科工集团上海有限公司, 上海市, 200030;

**摘要:** 工业领域对于物料输送效率的要求越来越高, 长距离带式输送机因为运输效率高、连续性好, 在煤炭、矿山、港口等行业的应用也越来越广泛。但是长距离带式输送机在实际运行中经常需要双向运行, 这就对它的动力匹配和节能策略提出了更高的要求。本文主要研究长距离带式输送机双向运行的动力匹配问题, 分析长距离带式输送机双向运行过程中遇到的主要问题, 并提出相应的节能策略, 从而给输送机运行效率的提高、能耗的降低提供理论依据和实践指导。

**关键词:** 长距离带式输送机; 双向运行; 动力匹配; 节能策略

**DOI:** 10.64216/3080-1508.26.03.058

## 引言

物料输送效率、成本同工业生产领域的经济效益、市场竞争力有着直接的关系。长距离带式输送机是煤炭开采、矿山作业、港口物流等重要行业里不可缺少的高效、连续的运输设备。但是随着生产需求的日益多样化, 长距离带式输送机不仅要满足单向的高效运输, 还要具备双向运行的能力来适应不同的物料输送需求。双向运行模式给输送机动力匹配和节能策略提出了新的难题, 怎样在保证运输效率的同时, 实现能耗的有效降低, 成了当前亟待解决的问题。

## 1 概述

### 1.1 长距离带式输送机双向运行原理

长距离带式输送机双向运行主要依靠它独特的设计和先进的控制系统。该输送机通过合理的布置及结构设计, 使物料可向两个相反的方向传输。正向运行时驱动装置提供动力使输送带朝某一方运动, 把物料从一端运送到另一端。反向运行时, 改变驱动装置的旋转方向或者使用其他反向驱动机构, 输送带就会向相反的方向移动, 从而实现物料的反向输送。双向运转设计不但提高了输送机的灵活性、使用效率, 还可在一定程度上满足复杂的物料运输需要。

### 1.2 动力匹配与节能策略的必要性

在长距离带式输送机双向运行的时候, 动力匹配以及节能策略的制订就变得格外重要。由于输送机需要在两个相反的方向上运行, 所以其动力需求会随着运行方向的改变而改变。动力匹配不当不仅会造成输送机运行不稳定, 还会引起设备故障, 影响生产效率。同时, 不合理的动力配置还会造成能源的浪费, 增大企业的运营

成本。因此, 根据长距离带式输送机双向运行的特点, 制定科学合理的动力匹配与节能策略, 对提高输送机运行的稳定性、降低能耗、提高企业经济效益有重大意义。

## 2 长距离带式输送机双向运行的主要问题

### 2.1 输送带张力分布不均与动态失稳

双向运行时, 输送带的张力分布随驱动点位置及运行方向的变化而变化。传统单向输送时张力沿输送带长度呈相对稳定的梯度分布; 但是方向反转之后最大张力点可能会迁移, 从而造成局部应力集中或者松弛。动态失衡会加速带材疲劳, 还会引起纵向振动或横向跑偏, 严重的时候会造成输送带撕裂或者脱落。另外长距离输送机的弹性体特性使张力波动的传播加剧, 在启动、制动、转向时容易造成系统失稳, 威胁整个系统的结构完整性。理论分析表明, 张力重分布受带速、负载、环境因素耦合影响, 必须用动态模型准确预测。

### 2.2 物料装载与卸载点的设计冲突

双向运行要求物料在输送机两端均可以装载和卸载, 而固定接口本来就是为单向设计。装载点的导料槽、缓冲托辊、密封装置要适应双向物料流, 防止方向切换时出现撒料、堵塞、磨损加剧。卸载点的卸料器结构应该在两个方向上都能高效导流, 不能有物料残留或者冲击损伤。设计冲突不单出现在机械布置上, 在物料特性与流量匹配方面也会出现, 处理不当的话, 就会直接影响输送效率和增加维护成本。从流体力学的角度来说, 物料流向突然改变可能会产生涡流或者沉积, 从而加重界面磨损。

### 2.3 驱动与制动系统的协调控制难题

双向运行依靠驱动系统、制动系统的准确配合,来保证平稳启停、方向切换。多驱动单元的位置布置要合理,不能在反转时出现扭矩冲突或者功率震荡。制动系统要应对不同的方向上的惯性负载差别,保证减速过程可控并且同步。控制逻辑变得复杂,要加入速度、张力、位置等许多参数的反馈,从而达到动态调整的目的。任何一个协调不力都会造成滑带、过载或者电气故障,从而中断生产。现代控制理论认为,多变量系统容易受到非线性干扰,传统的PID控制策略已经不能满足要求,必须采用高级算法。

### 3 双向运行工况下的动力匹配理论基础

#### 3.1 双向运行载荷特性与力学分析

长距离带式输送机在双向运行时,由于输送方向的变化,其受力状态具有明显的非对称性以及动态转换的特点。输送带正向和反向运行时,承载区和回程区的角色互相交换,沿途托辊的受力方向也发生了改变,造成运行阻力分布存在系统性的差别。差异主要是由于线路布置的坡度变化、物料分布的不均匀性、各个滚筒和托辊旋转阻力的方向依赖性所造成的。力学建模时需要建立两个方向上的阻力计算方程,考虑提升阻力、主要阻力、附加阻力和特种阻力的方向性。特别是线路有较大倾角的时候,物料重力分力在正向和反向工作时分别表现为阻力或者动力,从根本上改变驱动系统的出力需求。另外输送带本身的黏弹性力学行为在拉伸和压缩状态下也存在差异,启制动过程中动态张力分布双向运行时也不一样,这就使动力匹配变得更加复杂。准确的力学分析是后面进行驱动配置和功率分配的前提,必须依靠动态模拟、分段计算才能真实反映双向运行时的载荷谱系。

#### 3.2 双驱及多驱系统的功率平衡原理

长距离输送时一般用头部双驱、头尾双驱或多点分散驱动来满足大功率的要求。双向运行的设计,即驱动系统在正反两个方向上合理分配功率并且可以同步协调。功率平衡的核心就是使各个驱动单元的输出扭矩、速度严格匹配,防止由于出力不均造成负载分配不均、个别电机过载或者输送带打滑。根据双向运行阻力计算曲线,得到正、反两种工况下各个驱动点理想的出力比例。对于采用电气硬连接的驱动组,电动机的机械特性自然匹配存在局限性,当两侧传动路径的摩擦系数、滚筒直径或者包角存在细微差异的时候,容易引起功率漂

移。现代系统大多采用变频调速或者液力耦合器等软性传动装置,配合功率或者转矩闭环控制策略,主动调节各个驱动单元的滑差或者转速,从而达到动态负载均衡的目的。控制算法需要能够识别出运行方向,并且调用事先设定好的该方向下的功率分配系数,同时具有实时微调的能力来应对物料负载的变化和工况的改变。

#### 3.3 启制动过程的动态匹配要求

双向运行中启动和制动的过程是动力匹配的关键阶段,也是对系统冲击最大的瞬态工况。不同的方向启动所受的静阻力矩和惯性负载是不一样的,因此需要驱动系统给出相应的起停特性。下运方向的启动需要克服负功率工况,防止物料重力造成超速下滑。理想的启动过程要按照预设的加速度曲线,使输送带张力平稳上升,不能出现应力峰值和振荡。一般通过变频器S型速度曲线控制或者液软启动装置可控扭矩输出实现。制动过程也有方向敏感性:上运方向制动要克服物料势能,需要很大的制动力;而下运方向制动则要精确控制,防止过度制动或者制动不足。动力匹配在这里表现为驱动系统制动能力(再生制动、反接制动或者机械制动)和制动时序的合理安排。对于可能出现的发电状态(当下运负载重力做功大于系统阻力时),系统需要具有能量回馈或者耗散的能力,以保证电网稳定和设备安全。动态匹配的目标就是使正反两个方向的启制动过渡平稳、可控、高效,最小化机械应力和能量损失。

### 4 双向运行中的系统性节能策略

#### 4.1 驱动系统选型与配置的节能优化

驱动系统初始选型与配置是决定能效水平的先天性因素。双向运行长距离带式输送机的节能优化,首先要从电动机和减速装置的效率匹配开始。应优先选用宽广负载范围内都保持高效永磁同步电机或高效异步电机,并根据实际运行载荷谱(考虑双向可能的不同负载率)确定最佳功率档位,避免大马拉小车造成的低效运行。根据双向阻力分布分析结果来确定驱动点的位置和数量。例如在阻力不对称较大的线路上,可以采用非对称的驱动布置,使每一个驱动单元在其主要出力方向上工作在高效区间。采用动力式滚筒或者直线电机驱动等新型驱动方式,可以减少中间传动环节,降低机械损耗。再提升为多速或无级调速的驱动方式,才是适应双向不同负荷要求、实现“按需供电”的根本手段。变速箱的选型要兼顾双向运行的速比需求和传动效率,采用节能

型润滑、冷却系统来降低附属能耗。

#### 4.2 基于运行方向识别的自适应控制策略

智能控制是达到双向运行节能的重要手段。系统首先要准确、可靠地识别出当前的运行方向，然后调用相应的最优控制参数集。在此基础上自适应控制策略根据实时检测到的物料流量、带速、张力、电机电流等信号，对驱动系统的工作状态进行调整。在轻载或者空载工况下，正向、反向都可以通过降低带速（在工艺允许范围内）来大幅度减少运行阻力、驱动功率，这就是变速运行节能原理。控制系统中可以存储各个方向、各个载荷下效率曲线，使驱动系统自动寻找最优的工作点。对于多驱系统，自适应控制还具有动态功率再分配的功能，在保证总功率需求的前提下，根据各个驱动点的实时负载率来微调各个单元的出力，使得尽可能多的电机工作在高效率区间，关闭冗余的驱动单元（双驱变单驱）。另外智能控制可以优化启制动过程的能耗，即在保证安全的前提下，用方向性势能来实现平滑的启动或者减速，从而减少外加能量的消耗。

#### 4.3 再生能量的捕获与利用技术

在长距离下运或者下运段较长的双向运行工况下，当物料重力做功大于系统克服阻力所需能量时，驱动电机就会进入发电状态，产生再生电能。有效捕获并利用这部分能量是重要的节能方法。技术关键就是采用四象限运行的变频器，把再生电能高质量地回馈给电网。因此需要对双向运行时可能出现的最大再生功率、最大持续时间、总能量进行评估，根据评估结果来选择变频器的回馈单元容量或者配置专门的储能装置（飞轮储能、超级电容、电池组等）。对于不能回馈电网的场合，可采用公共直流母线多传动机组，将再生能量直接供给处于电动状态的其他电机使用，达到系统内部能量的瞬时平衡。另一种策略就是将再生能量用在辅助系统上，即给沿线照明、监控或者润滑装置供电。在设计和控制方面，再生状态和电动状态之间需要平滑切换，防止电压冲击和系统不稳定。对再生能量进行有效管理，不但可以降低净能耗，还可以减少制动闸瓦的磨损，提高系统的经济性。

#### 4.4 运行参数与维护管理的协同节能

节能效益的持续实现需要精细化的运行参数设置和科学的维护管理。从运行参数上讲，需要分别针对双

向进行带速、装载率和启停计划的优化。通过模拟和实验来找到在特定输送任务和方向下，吨公里能耗最低的最佳带速和物料截面形状。实行经济带速运行，防止恒速运行造成的效率损失。在条件允许的情况下采用连续均匀的装载，减少启停次数，因为频繁的方向变换和启停都会消耗大量的额外能量。保证设备良好的机械状态是节能的基础，在维护管理方面。即定期校准托辊的平行度和旋转灵活性，保证双向运行时阻力最小；保持输送带张力适中，既不能过紧增大摩擦，也不能过松造成打滑、撒料；及时清理粘附物料，减小额外自重和不平衡；保证滚筒与驱动装置润滑良好、对中准确。利用状态监测系统实时跟踪关键部件的能耗指纹，预测性能劣化，提前进行维护，使系统一直处于高效状态。

#### 5 结语

长距离带式输送机双向运行工况下动力匹配与节能策略，要从运行优化、设备维护、技术升级等各方面协同推进，形成系统的节能机制。通过精准的动力匹配来减少运行过程中能耗的波动，依靠智能化控制技术实现运行状态的动态调节和实时响应，再配合科学的设备维护手段保证输送系统一直保持高效运行的状态，从而明显提高双向运行模式下的能源综合利用效率。随着物联网感知、大数据分析、数字孪生技术的不断发展，该领域节能策略会进一步向智能化决策、预测性维护方向发展，给工业散料运输系统实现绿色、低碳、可持续转型提供重要的技术支持。

#### 参考文献

- [1]王振华, 段自强, 张瑞峰, 等. 不连沟煤矿主运输智能煤流监控系统的应用[J]. 智能矿山, 2024, 5(10): 60-66.
- [2]蒋习伟, 郭靖, 郭世永, 等. 煤矿机电皮带运输系统节能技术研究[J]. 电气技术与经济, 2024(8): 239-241.
- [3]李浩, 杨毅. 基于激光测量的输送机低能耗运行控制系统的研究[J]. 山东煤炭科技, 2024, 42(2): 91-94.
- [4]袁野. 带式输送机智能控制系统的设计及应用分析[J]. 西部探矿工程, 2023, 35(11): 165-167.
- [5]马涛, 李志杰. 李楼煤矿带式输送机低能耗运行控制系统的应用分析[J]. 能源技术与管理, 2024, 49(2): 133-135.