

超大运量带式输送机动态张力分布与托辊布局优化

王婷婷

(淮南舜立机械有限责任公司, 安徽 淮南 232000)

摘要 本文聚焦超大运量带式输送机, 深入研究其动态张力分布规律, 并对托辊布局进行优化。通过分析动态张力分布对输送机运行稳定性、部件寿命等方面的影响, 运用相关理论和方法对托辊布局进行调整和优化, 以期对超大运量带式输送机的设计和运行提供实践参考。研究表明, 合理的托辊布局能够有效改善动态张力分布, 提高输送机的运行效率和可靠性, 降低运行成本。

关键词 超大运量带式输送机; 动态张力分布; 托辊布局优化

中图分类号: TH22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.09.035

0 引言

超大运量带式输送机广泛地应用于矿山、港口和电厂中, 是物料输送的高效设备。但因其输送距离远、运量大、作业速度快, 作业时存在着复杂的动态张力分布问题。动态张力分布不尽合理, 不仅造成输送带磨损加重、接头破损, 而且还会影响托辊及其他零件寿命, 甚至造成输送机故障停运、生产效率下降。所以, 对超大运量带式输送机动态张力分布规律进行深入研究, 优化托辊布局, 对改善输送机性能及可靠性具有实际意义。

1 超大运量带式输送机动态张力分布与托辊布局优化的关系

超大运量带式输送机动态张力分布和托辊布局优化有着密切而复杂的联系, 这一联系渗透在输送机设计、运行和维修的全周期。动态张力分布作为输送机工作时的核心参数之一, 其受到启动加速度、负载变化和运行速度起伏等诸多因素的影响而表现出动态变化特点。启动阶段如果加速度控制不合适, 将使输送带张力剧烈增大, 并形成张力波现象, 不但加剧了输送带和托辊之间的摩擦, 而且有可能诱发输送带振动而影响输送稳定性。但托辊布局优化是通过托辊间距、布置形式和结构参数等参数的调整来直接影响输送带支撑状态和受力分布情况, 从而起到调节动态张力分布的目的。合理的托辊间距可以有效地分散输送带所受动态张力, 从而避免因局部张力集中而造成输送带的过度伸展或者疲劳损伤; 过于密集的托辊布置虽可

增强支撑效果并增加设备成本和安装维修难度, 但过于疏密又可能导致输送带下垂量过大而引发局部张力突然增大。托辊排列方式也是重点, 槽形托辊和平形托辊配合匹配, 可以适配各种输送段张力特性, 如张力峰值范围内加密槽形托辊, 本实用新型能够加强输送带约束并抑制张力波传播和放大。托辊的各种结构参数, 如辊的直径和轴承的性能, 都会对其与输送带之间的摩擦阻力产生影响, 对动态张力的分布产生间接效应, 通过系统地优化托辊布局, 能够实现动态张力精准调控, 使得张力分布更均匀, 不仅减少了输送带损耗风险, 而且延长了设备使用寿命, 还可以增强超大运量带式输送机运行的稳定性和安全性, 对实现高效连续输送具有可靠保证。

合理布置托辊需要综合考虑承载能力、使用寿命和输送带下垂度等方面的要求。在张力较高地段, 可以通过缩小托辊间距来加强对输送带的托持作用, 减小输送带局部下垂度和减小输送带松弛造成的张力波动; 同时对托辊的排列方式进行了优化, 如采用不等距排列方式或者根据张力的变化来调节托辊组间距等, 可以使输送带的受力得到进一步的均衡, 避免出现局部的应力集中^[1]。另外, 托辊直径、槽角以及旋转部分的质量等结构参数也会影响动态张力分布。例如: 加大托辊直径可以减少输送带和托辊之间的接触应力和运行阻力; 通过调节槽角, 可以改变物料在输送带上的分布状况, 从而影响输送带的张力分布。

托辊布局优化也需要结合输送机动态特性分析,

作者简介: 王婷婷 (1983-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 带式输送机设计与开发。

通过动态分析可以精确地计算出输送机工作时输送带张力峰值的大小和发生条件,从而为托辊的布置提供科学依据^[2]。以张力峰值区段为例,增加托辊个数或者使用高强度托辊都可以提高输送带承载能力,避免输送带由于张力过高而发生断裂或者托辊破损。同时动态分析也可以揭示输送带的振动特性规律并指导托辊的布置优化,从而达到抑制振动、减小张力波动、增强输送机的整体工作稳定性的目的。

2 超大运量带式输送机动态张力分布

2.1 起动阶段的张力波动特点

超大运量带式输送机起动阶段动态张力波动是输送机由静止状态向平稳运行状态转变时不可避免的一种力学现象。波动程度与起动方式和物料载荷等因素有密切关系,超大运量输送机一般所载物料重量远远超过常规机型,在起动瞬间输送带会由于惯性作用而出现明显张力冲击现象,如果起动控制不到位,很容易造成输送带打滑和滚筒轴系损坏^[3]。当前主流软起动方式如变频调速起动和液力耦合器起动,其核心作用是通过控制加速度减弱起动阶段张力波动峰值。

从具体表现来看,起动初期输送带驱动端首先发生张力陡增现象,之后张力波将沿输送带运行方向逐渐转移,空载段和重载段张力波动明显不同,重载段张力峰值一般为空载段张力峰的几倍。以具有长距离和大运量特性的矿山输送机为研究对象,当使用直接启动模式时,驱动端的张力峰值能够达到稳定运行阶段的 1.5 ~ 2 倍,然而,通过采用变频软启动技术并合理配置加速度参数,张力峰值有可能下降 30% ~ 40%。同时起动阶段张力波动在时域上也表现出明显特征,其波动频率和输送带刚度、滚筒惯量等因素有关,而波动持续时间主要由输送机启停控制过程决定。通过准确监测和分析起动阶段张力波动特性,可为输送机起动参数优化和输送带强度选择提供重点依据,确保设备起动过程平稳安全。

2.2 平稳运行的张力分布规律

超大运量带式输送机在平稳运行阶段,动态张力分布规律表现出明显的规律性,分布状态受输送带自重、物料载荷和托辊组阻力影响较大。在平稳运行状态下,输送机张力传递已不存在显著波动,而形成了一个较为恒定的张力梯度,该梯度对保持输送带连续运行和克服各分段阻力具有重要意义^[4]。

就其分布规律而言,输送带张力值自驱动滚筒绕出端起,沿运转方向逐渐减小,改向滚筒上略有反弹,构成封闭张力循环。与空载段相比,重载段的张力衰

减速度显著更快,这是因为重载段不仅需要克服输送带本身的运行阻力,还需要承受物料的重量阻力,但空载段只需要克服输送带自重和托辊之间的摩擦阻力。以横向排列超大运量输送机为例,在平稳运行状态下驱动端绕出点张力达到最大值,然后沿重载段至尾部改滚筒逐渐减小,尾部改向滚筒处的张力下降到最低,然后通过空载段回程时张力略有反弹到驱动端的绕入点^[5]。另外,在稳定运行的阶段,张力分布还会出现微小的动态波动,这种波动主要是由于物料分布的不均匀性和托辊旋转阻力的不同造成的,波动的幅度通常会控制在稳定张力值的 5% ~ 10% 之间。在稳定运行阶段把握张力分布规律是托辊间距设计和滚筒优化布置的核心基础,可有效减少输送带磨损和延长设备寿命。

2.3 制动阶段张力突变的表现形式

超大运量带式输送机刹车阶段动态张力突变是指设备由平稳运行转变为静止状态时发生的急剧力学变化,突变幅度与刹车方式和刹车减速度等因素有直接关系。制动阶段张力突变在输送机工作时属于高危工况,如果张力峰值大于输送带许用张力将直接造成输送带撕裂、滚筒损坏及其他严重失效,所以对制动阶段张力突变表现进行分析有很大工程意义^[6]。具体表现为制动指令发出时输送带驱动端首先发生张力陡降现象,输送机尾部由于物料与输送带惯性作用张力陡增,形成明显张力差,该张力突变传递速度符合输送带弹性波速。当使用不同的制动方法时,张力的突变特性会有显著差异。例如:在机械制动中,制动的减速度很难精确控制,尾部的张力峰值可能达到稳定运行阶段的 2 ~ 2.5 倍,这极易导致设备受到冲击;但当使用液压制动和变频回馈制动这两种可控制制动方式后,尾部张力峰值可以通过制动曲线的合理设定限制在 1.3 倍稳定值范围之内。另外,制动阶段张力突变与输送机输送长度、物料载荷有关,输送距离越大,物料载荷越大,张力突变范围越大。对于制动阶段张力突变的表现形式,在工程中一般采用增加制动缓冲装置和优化制动程序来减弱张力峰值以确保输送机制动时安全,复杂运行条件下张力异常变化突发性和局部性强,很难用常规启停控制程序来调整,需借助于在线张力监测系统,实时采集张力异常信号并及时启动预警和调控机制,确保输送机处于复杂运行状态。

3 超大运量带式输送机托辊布局优化的方法

3.1 根据张力数据对间距进行优化

根据张力数据对托辊间距进行优化是超大运量带式输送机托辊布局优化研究的核心手段,其核心是依

靠输送机在不同工作阶段张力分布数据进行分析,实现了托辊间距的精准匹配,兼顾了设备运行稳定性和成本控制。托辊间距对输送带垂度及受力状态有直接影响,间距太大容易造成输送带垂度超标,并与材料发生摩擦而增大运行阻力,间距过小将抬高设备购置和安装的费用,并增加托辊磨损输送带的可能性。超大运量运行条件下输送带张力分布具有明显的阶段性,起动、稳定和制动阶段张力波动特性各异,需要托辊间距不使用单一标准而需要基于张力数据差异化设计。

具体优化时,先利用张力监测系统对输送机各个运行阶段、各个区段实时张力数据进行采集,并着重对重载段和空载段张力峰值和均值进行标记。对于张力值较大的重载段适当减小托辊间距并控制输送带垂度处于行业标准之内,以免张力过大导致输送带拉伸变形;对于张力值比较小的空载段可以适当加大托辊间距以减少设备投入成本。

3.2 结合工况特性的选型优化

结合工况特性对托辊进行选型优化是确保超大运量皮带输送机托辊布置适配的关键手段,其核心是依据输送机实际工况对材料、结构等进行选型、规格配套托辊型号增强了托辊使用寿命和运行稳定性。针对运输矿石、煤炭等硬质和高磨损性材料的使用条件,优先选用高分子复合材料托辊或者耐磨陶瓷涂层托辊进行托辊加工,该类托辊耐磨性能比常规钢制托辊提高3~5倍,可有效减少材料对托辊冲击磨损;对大倾角排列输送机选用带有防跑偏功能锥形托辊或者调心托辊进行设计,利用托辊结构设计对输送带跑偏趋势进行自动矫正,从而避免输送带跑偏而导致张力异常;针对潮湿、多粉尘等恶劣工作条件,选用密封性能优越的迷宫式密封托辊以防止水和灰尘进入托辊内,减少轴承故障率。

3.3 采用仿真模拟对方案进行优化

利用仿真模拟进行托辊布置方案优化是一种现代超大运量带式输送机托辊布置优化手段,其核心是借助于专业输送机仿真软件,构建了设备的数字化模型,并模拟了在不同的托辊布局方案下设备的运行状况,从而实现了布局方案的科学决策。传统托辊布局优化往往依赖于经验设计且缺乏准确数据支持,超大运量运行条件下经验设计很难处理复杂力学传递,容易造成布局方案不足。但仿真模拟技术可以通过数字化建模准确地还原输送机运行状态,并直观地展现不同布置方案的张力分布、输送带垂度等、托辊的受力及其他关键参数为方案优化提供数据支撑^[7]。

具体优化时,先使用三维建模软件建立输送机整机数字化模型并输入输送带参数、物料载荷和托辊规格基本数据,再借助于输送机专用仿真软件对不同托辊间距和排列方式的装置运行工况进行仿真。通过对不同方案仿真结果进行比较,分析了托辊布置方式对输送带张力起伏、垂度改变的影响规律,并选出了最佳布置方案。例如:在某长距离大运量输送机的布局优化中,通过仿真模拟对比了等间距布局、分段间距布局、变倾角布局三种方案,结果显示采用分段间距布置时输送带张力波动最小、垂度控制最为平稳、托辊整体受力较为均匀。根据仿真的数据,确定了分段间距的布局策略,这在实际操作中使得输送机的运行阻力减少了10%,同时输送带的磨损速度也下降了18%。采用仿真模拟进行方案优化可以突破经验设计限制,促进托辊布置方案科学准确。

4 结束语

研究超大运量带式输送机动态张力的分布规律,优化托辊布局,是增强输送机工作性能与可靠性的关键措施。本文通过理清动态张力分布规律及托辊布置对托辊的影响程度,提出托辊布置优化的有效方法并对优化效果进行验证。但在具体运用时仍需要考虑多种因素,才能保证优化方案可行有效。未来,需进一步深入地研究、完善动态张力分布理论、托辊布置优化策略等,从而为超大运量带式输送机高效运转提供更加强大的支撑。

参考文献:

- [1] 李玮华,杨秦建.在线带式输送机托辊工况动态监测系统的研发[J].西安科技大学学报,2008,28(01):100-104.
- [2] 揭施军,黄富连,谢冬儿,等.首尾张紧方式对带式输送机动态特性的影响分析[J].机械管理开发,2026,41(01):1-4.
- [3] 王得胜,陈亚丰.带式输送机的输送带参数和托辊间距的优化[J].河南理工大学学报:自然科学版,2015,34(04):525-531.
- [4] 关晓路.煤矿大型带式输送机驱动头架力学特性分析[J].机械管理开发,2025,40(10):62-63,88.
- [5] 罗超,程彬彬,方厚儒,等.双向带式输送机纠偏和托辊清理优化与设计[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2021(07):140.
- [6] 王太平.带式输送机动态特性分析与多驱动功率平衡控制策略研究[J].机械管理开发,2025,40(12):206-208.
- [7] 同[5].