

露天煤矿运输卡车轮胎磨损与路面交互的动力学分析

王兰柱

国能集团准能公司黑岱沟露天煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 本文聚焦露天煤矿运输卡车轮胎磨损与路面交互的动力学分析。先剖析露天煤矿路面特性,涵盖路面类型、材料性能及状况评估。接着对轮胎与路面交互进行动力学分析,包括建立接触模型、分析动力学及构建磨损预测模型。随后探讨影响轮胎磨损与路面交互的因素,如车辆、路面和环境因素。最后提出轮胎磨损控制策略与优化建议,并对策略进行综合效益评估,旨在为露天煤矿运输卡车轮胎磨损控制提供理论依据和实践指导。

关键词: 露天煤矿; 运输卡车; 轮胎磨损; 路面交互; 动力学建模

1 露天煤矿路面特性分析

1.1 路面类型与结构

露天煤矿路面类型丰富,常见有土路、碎石路和硬化路面。土路以天然土壤压实而成,结构简单无分层,建设成本低,但稳定性欠佳,易受车辆行驶和自然环境干扰。碎石路在土路基础上铺碎石,粒径和厚度依实际需求确定,能提供一定承载与稳定性,然而碎石在车辆行驶时易位移,致使路面不平整。硬化路面经特殊处理,如水泥混凝土或沥青混凝土路面,强度和稳定性高,能承受较大车辆荷载,不过建设成本高、施工周期长。从结构角度,露天煤矿路面一般分为基层、面层和表层。基层是主要承载层,多由压实土壤或碎石构成,其厚度与压实度对路面承载能力影响显著。面层位于基层之上,主要提供平整行驶表面和一定抗滑性能。表层为路面最上层,直接与轮胎接触,其材料和性能对轮胎磨损影响重大。

1.2 路面材料性能

不同路面材料性能各异。土路材料主要是土壤,其性能受土壤类型、含水量和压实度等因素制约。土壤承载能力低,车辆荷载下易变形,造成路面不平整,且抗滑性能差,雨天或潮湿环境车辆易打滑^[1]。碎石路材料为碎石,碎石粒径、形状和级配对路面性能影响明显。粒径大的碎石承载能力好,但易滚动位移;粒径小的碎石能填充空隙,提高稳定性,但承载能力相对较弱。碎石形状应尽量规则,以减少车辆行驶中的磨损和位移。硬化路面材料主要是水泥混凝土和沥青混凝土。水泥混凝土强度和耐久性高,但抗裂性能差,温度变化和车辆荷载下易产生裂缝。沥青混凝土柔韧性和抗滑性能好,能适应较大变形,但高温易软化,低温易变脆。

1.3 路面状况评估

对露天煤矿路面状况进行评估是制定合理维护策略

的基础。路面状况评估主要包括平整度、强度、抗滑性能和损坏程度等方面。平整度是衡量路面行驶舒适性和安全性的重要指标。常用的平整度检测方法有3m直尺法、连续式平整度仪法和车载式颠簸累积仪法等。通过检测路面的平整度,可以及时发现路面的凹凸不平和波浪起伏等问题,并采取相应的维护措施。强度是路面承受车辆荷载的能力。常用的强度检测方法有贝克曼梁法、落锤式弯沉仪法和自动弯沉仪法等。通过检测路面的强度,可以评估路面的承载能力是否满足运输需求,对于强度不足的路面应及时进行加固处理。抗滑性能是路面在潮湿环境下防止车辆打滑的能力。常用的抗滑性能检测方法有摆式摩擦系数测定仪法和横向力系数测试车法等。通过检测路面的抗滑性能,可以确保车辆在行驶过程中的安全性,对于抗滑性能不足的路面应及时进行抗滑处理。损坏程度是路面出现的各种病害的严重程度。常见的路面病害有裂缝、坑槽、沉陷和波浪等。通过对路面病害的调查和分析,可以确定路面的损坏程度,并制定相应的维修方案。

2 运输卡车轮胎与路面交互动力学分析

2.1 轮胎-路面接触模型建立

建立准确的轮胎-路面接触模型是分析轮胎与路面交互动力学的基础。轮胎-路面接触模型通常采用有限元方法或弹性半空间理论进行建立。有限元方法是将轮胎和路面划分为有限个单元,通过求解单元的力学方程来得到轮胎-路面接触区域的应力和应变分布。有限元方法能够考虑轮胎和路面的复杂几何形状和材料非线性,但计算量较大,需要较高的计算机性能。弹性半空间理论是将路面视为弹性半空间体,轮胎视为具有一定刚度和形状的物体,通过求解弹性半空间体的应力场来得到轮胎-路面接触区域的力学特性。弹性半空间理论计算相对简单,但只能考虑路面的弹性特性,对于路面的非线性

特性考虑不足。在实际应用中,可以根据具体情况选择合适的接触模型。对于简单的分析,可以采用弹性半空间理论;对于复杂的情况,如轮胎花纹和路面纹理的影响,则需要采用有限元方法。

2.2 动力学分析

轮胎与路面交互动力学分析主要包括轮胎的垂直载荷、纵向力和侧向力的分析。轮胎的垂直载荷是车辆重量在轮胎上的分布。在露天煤矿运输过程中,车辆的垂直载荷会随着路面的不平整和车辆的行驶状态而发生变化。垂直载荷的变化会影响轮胎与路面的接触面积和接触压力,从而影响轮胎的磨损^[2]。纵向力是轮胎在行驶方向上受到的力,主要包括驱动力和制动力。驱动力是发动机通过传动系统传递到轮胎上的力,使车辆前进;制动力是制动系统产生的力,使车辆减速或停车。纵向力的大小和方向会影响轮胎与路面的摩擦力,从而影响轮胎的磨损和车辆的制动性能。侧向力是轮胎在垂直于行驶方向上受到的力,主要由车辆的转向和侧向风等因素引起。侧向力会使轮胎产生侧偏,导致轮胎的磨损不均匀。

2.3 磨损预测模型构建

磨损预测模型是预测轮胎磨损程度和寿命的重要工具。常用的磨损预测模型有Archard磨损模型和基于能量耗散的磨损模型等。Archard磨损模型是基于滑动磨损理论建立的,其基本思想是磨损量与接触压力、滑动距离和材料的磨损系数成正比。Archard磨损模型简单易用,但只能考虑滑动磨损,对于滚动磨损和疲劳磨损考虑不足。基于能量耗散的磨损模型是考虑轮胎与路面接触过程中的能量耗散来预测磨损的。轮胎与路面接触过程中会产生摩擦热和变形能,这些能量的耗散会导致轮胎材料的磨损。基于能量耗散的磨损模型能够综合考虑滑动磨损、滚动磨损和疲劳磨损,但模型的建立和参数的确定较为复杂。在实际应用中,可以根据具体情况选择合适的磨损预测模型,并结合实验数据进行修正和验证,以提高磨损预测的准确性。

3 影响轮胎磨损与路面交互的因素分析

3.1 车辆因素

车辆因素对轮胎磨损有重要影响,主要包括车辆重量、行驶速度、轮胎气压和轮胎花纹等。车辆重量越大,轮胎承受的垂直载荷就越大,轮胎与路面的接触压力也就越大,从而加速轮胎的磨损。行驶速度对轮胎磨损也有显著影响。高速行驶时,轮胎与路面的摩擦力增大,轮胎的磨损加剧。高速行驶还会使轮胎的温度升高,加速轮胎的老化和磨损。轮胎气压是影响轮胎磨损的重要因素之一。轮胎气压过高或过低都会导致轮胎的磨损不均匀。轮胎气

压过高时,轮胎的接地面积减小,单位面积上的压力增大,轮胎的中间部分磨损加剧;轮胎气压过低时,轮胎的变形增大,轮胎的两侧磨损加剧。

3.2 路面因素

路面因素是影响轮胎磨损的另一个重要因素,主要包括路面平整度、强度、抗滑性能和纹理等^[3]。路面平整度较差时,车辆行驶过程中会产生较大的振动和冲击,导致轮胎的磨损加剧。路面强度不足时,在车辆荷载作用下容易发生变形和破坏,导致轮胎的磨损不均匀。路面抗滑性能较差时,车辆在行驶过程中容易打滑,导致轮胎的磨损加剧。

3.3 环境因素

环境因素也会对轮胎磨损产生影响,主要包括温度、湿度和路面积水等。

温度对轮胎的性能有重要影响。在高温环境下,轮胎的橡胶材料容易软化,导致轮胎的磨损加剧;在低温环境下,轮胎的橡胶材料容易变脆,也容易导致轮胎的磨损。湿度和路面积水会影响轮胎与路面的摩擦力,导致轮胎的磨损加剧。在潮湿环境下,轮胎与路面的摩擦力减小,车辆容易打滑;路面积水时,轮胎容易发生水滑现象,进一步降低轮胎与路面的摩擦力。

4 露天煤矿运输卡车轮胎磨损控制策略与优化建议

4.1 轮胎材料与设计优化

为提升轮胎耐磨性,在材料优化方面,可选用高耐磨的橡胶材料作为基础。传统的橡胶材料在耐磨性能上存在一定局限,而新型高耐磨橡胶材料通过特殊的配方和工艺,具备更出色的抗磨损能力。同时添加增强材料也是重要手段,如纤维材料、钢丝等,它们能够显著提高轮胎的强度和耐久性。以纳米材料对橡胶进行改性为例,纳米材料具有独特的物理和化学性质,将其均匀分散在橡胶中,能有效改善橡胶的微观结构,提高橡胶的硬度和耐磨性。在设计优化方面,轮胎的花纹设计和结构参数至关重要。合理优化轮胎花纹设计,如采用宽深花纹设计,宽深的花纹能够增加轮胎与路面的接触面积和摩擦力,提高轮胎的抓地力,在车辆行驶过程中更好地分散应力,从而减少轮胎的局部磨损,延长轮胎使用寿命,还可对轮胎的胎体结构进行优化,增强轮胎的整体稳定性和抗变形能力,进一步降低磨损。

4.2 路面维护与管理

路面状况对露天煤矿运输卡车轮胎磨损有着直接影响,加强路面维护与管理是控制轮胎磨损的关键措施。定期对路面进行全面巡查和细致检测是必不可少的环节。巡查人员应具备专业的知识和技能,能够及时发现

路面的不平整、裂缝、坑槽等病害。对于土路和碎石路,由于其结构相对松散,易受车辆行驶和自然因素影响,应定期进行压实作业,确保路面基层的密实度,同时及时补充碎石,填补路面的凹陷和坑洼,保持路面的平整度和稳定性,避免车辆行驶时产生剧烈颠簸,减少轮胎的冲击磨损。对于硬化路面,如水泥混凝土路面和沥青混凝土路面,一旦出现裂缝和坑槽,应及时进行修复。裂缝若不及时处理,雨水会渗入路面基层,导致基层软化,进一步加剧路面损坏;坑槽则会使车辆行驶时产生跳动,增加轮胎的磨损。还要加强对路面的清洁和排水工作。及时清理路面上的杂物,如石块、泥土等,防止其嵌入轮胎花纹中,加速轮胎磨损。同时完善排水系统,确保路面积水能够迅速排出,避免轮胎在积水中行驶时发生水滑现象,减少轮胎的磨损。

4.3 运输操作优化

合理的运输操作对于减少露天煤矿运输卡车轮胎磨损起着至关重要的作用。加强对驾驶员的培训和管理工作是首要任务。通过系统的培训,提高驾驶员的安全意识和操作技能,使其深刻认识到规范操作对轮胎磨损的影响。驾驶员应严格遵守交通规则,在行驶过程中避免急加速、急刹车和急转弯等危险操作。急加速会使轮胎与路面产生剧烈的摩擦,加速轮胎的磨损;急刹车会使轮胎瞬间承受巨大的制动力,导致轮胎局部过热和磨损加剧;急转弯则会使轮胎侧向受力过大,造成轮胎侧面的磨损。合理安排运输任务和车辆调度也是优化运输操作的重要方面。根据货物的数量和运输距离,科学规划运输路线和车辆装载量,避免车辆长时间空载或超载行驶。空载行驶不仅浪费燃油,还会使轮胎与路面的摩擦不均匀,增加轮胎的磨损;超载行驶则会使轮胎承受过大的压力,导致轮胎变形和磨损加剧,甚至可能引发爆胎等安全事故。通过合理安排运输任务和车辆调度,提高运输效率,降低轮胎的磨损,同时也能保障运输安全。

4.4 综合效益评估

对露天煤矿运输卡车轮胎磨损控制策略进行综合效益评估,是确保策略科学性和可行性的重要环节,能够为决策提供全面、准确的依据。综合效益评估主要涵盖经济效益、社会效益和环境效益三个方面。在经济效益评估方面,需综合考虑轮胎磨损控制策略的实施成本和

带来的经济效益。实施成本包括轮胎材料与设计优化所需的研发费用、路面维护与管理的人力物力投入、运输操作优化中对驾驶员培训的费用等。而带来的经济效益则主要体现在轮胎使用寿命的延长上,轮胎使用寿命的延长意味着更换轮胎的频率降低,从而减少了轮胎采购成本;同时,运输效率的提高也能降低运输成本,如减少燃油消耗、缩短运输时间等。在社会效益评估方面,轮胎磨损控制策略对交通安全和社会稳定有着积极影响^[4]。减少轮胎磨损可以降低因轮胎故障引发的交通事故发生率,保障驾驶员和行人的生命安全;提高运输效率则有助于保障露天煤矿的生产运营,促进当地经济的发展,维护社会的稳定。在环境效益评估方面,轮胎磨损控制策略能够减少轮胎磨损产生的粉尘和废弃物对环境的污染。轮胎磨损产生的粉尘会悬浮在空气中,影响空气质量;废弃的轮胎若处理不当,会对土壤和水源造成污染。通过实施有效的轮胎磨损控制策略,能够降低这些环境污染风险,实现露天煤矿运输的经济、社会和环境效益的统一。

结束语

本文通过对露天煤矿运输卡车轮胎磨损与路面交互的动力学分析,深入探讨了路面特性、交互动力学及影响因素,并提出相应的控制策略与优化建议。通过综合效益评估,验证策略的科学性和可行性。未来,可进一步研究更精准的磨损预测模型,优化轮胎材料与设计,加强路面智能化维护管理,以及提升驾驶员操作技能培训,以实现露天煤矿运输卡车轮胎磨损的有效控制,促进露天煤矿运输的可持续发展。

参考文献

- [1]金磊,杜勇志,李雪健,于洪洋,周志伟,李建刚,王永军.露天矿低碳型运输工艺的选择方法[J].露天采矿技术,2021,36(06):32-36.
- [2]王宏伟.露天矿卡车运输安全保障系统的基本要素[J].设备管理与维修,2020(20):53-54.
- [3]周游,刘宇,艾畅,赵汝辉.露天煤矿全流程能耗分析及节能对策研究[J].煤炭工程,2020,52(07):136-141.
- [4]刘玉军.煤矿运输系统顺煤流启动节能技术研究[J].机械管理开发,2022,37(06):186-188.