

新能源矿卡再生制动系统损耗分析与延长电池寿命运维策略

王仕均

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 611130

摘要：矿山复杂重载工况会持续影响新能源矿卡再生制动系统运行状态，诱发多维度设备损耗，间接制约动力电池的服役周期。本文梳理再生制动系统与动力电池的协同运行特性，剖析机械传动、电控传输、能量转换各环节损耗的生成条件，阐释矿山工况对系统损耗的诱发机制，明晰各类损耗累积对电池充放电、储能状态及内部老化进程的影响规律，依托损耗形成与老化作用机理，构建多维度、适配性强的制动系统与电池协同运维体系，可有效抑制系统损耗滋生，延缓动力电池老化速率，保障矿卡设备长期稳定作业。

关键词：新能源矿卡；再生制动；系统损耗；动力电池；运维策略

引言：新能源矿卡凭借清洁高效的作业优势，广泛应用于各类矿山开采与工程施工场景，再生制动与动力电池协同工作模式，是设备节能运行与稳定作业的重要支撑。矿山作业环境复杂，重载启停、路面颠簸、温度波动等工况特征，会让再生制动系统长期处于高负荷运行状态，极易催生各类运行损耗。各类损耗的持续滋生与累积，会持续干扰动力电池的储能与放电状态，加速电芯老化衰退，降低设备运行稳定性与使用年限。结合制动系统损耗特征与电池老化规律，搭建适配矿山场景的专项运维体系，能够有效改善设备运行状态，保障新能源矿卡长效稳定服役。

1 新能源矿卡再生制动与动力电池运行体系

1.1 再生制动系统硬件组成与结构布局

新能源矿卡再生制动系统依托多组独立硬件单元搭建完整运行框架，各单元分工明确，保障制动能量回收功能有效落地。整套设备主要涵盖制动驱动电机、整车电控单元、电能变换装置以及工况感知采集模块。各类硬件依据矿卡底盘安装空间与重载作业工况完成集成化布置，结构布局紧凑且针对性极强。制动驱动电机为能量转换的执行主体，负责完成车辆制动过程中机械能的接收与电能转化。整车电控单元承担全域调度工作，管控制动指令的传递与各功能模块的运行秩序。电能变换装置调整电能输出形态，优化电压与电流参数，匹配动力电池储能标准。工况感知采集模块持续监测车辆行驶速度、制动行程等运行信息，为系统工作模式切换提供可靠依据^[1]。

1.2 再生制动系统完整工作流程

新能源矿卡再生制动依靠完整的能量转化链路，完成制动能量的回收存储。车辆进入减速制动阶段，车身行进产生的动能脱离传统制动摩擦耗散路径，直接输送至制动电机结构内部。制动电机改变常规动力输出状态，进入反向工作模式，将机械动能转化为可用电能。生成的原始电能参数稳定性不足，需送入电能变换装置开展调节处理，修正电气参数至合理范围。达标后的电能通过车载电路输送至动力电池，完成能量存储积累。车辆结束制动、恢复匀速行驶或加速状态后，系统终止能量转化作业，回归常规动力驱动模式，等待下一次制动动作触发，形成闭环式能量回收运行流程。

1.3 动力电池工作状态与运行特点

新能源矿卡动力电池承担整车动力供给与富余能量存储的双重职能，运行状态会跟随作业场景持续变动。车辆正常行驶过程中，电池持续释放电能，为整车动力系统及车载设备提供能源支撑。车辆长时间停滞静置时，电池维持稳定电压状态，保障车载基础电路正常运转。矿山作业场景复杂多变，设备需要应对频繁启停、载重负荷波动以及环境温度变化等各类工况。动力电池具备大容量储能、高倍率放电的运行特质，能够适配矿卡高强度、长时间的作业能耗需求。电芯组整体运行品质决定电池服役能力，外界工况的持续变动会逐步改变内部运行状态，影响电池长期使用时长。

1.4 再生制动工况下电池能量接纳特性

再生制动作业场景会重塑动力电池的常规储能模式，形成区别于静态充电的能量接纳特征。制动过程转化生成的电能存在明显的参数波动，输入节奏毫无固

定规律,和人工稳压充电的平稳状态形成鲜明对比。动力电池承接制动电能时,内部电芯会触发阶段性储能反应。储能速率会跟随制动力度大小、制动持续时长产生对应变化。短促的制动动作会形成小幅电流输入,平缓长效的制动过程则会形成稳定的电能补给。各类制动工况交替出现,让电池储能状态始终处于动态变化之中,打乱固定的储能运行节奏,对电池内部活性物质工作状态形成差异化影响。

2 新能源矿卡再生制动系统损耗成因与表现形式

2.1 机械传动结构损耗的产生条件

新能源矿卡再生制动机械传动结构依托齿轮、传动轴与连接轴承等部件完成动力传递,各类结构损耗诞生于动力转换的全过程。制动动作启动后,传动部件之间会产生持续性的接触摩擦,接触面长期承受重载压力会加剧摩擦程度。矿山作业过程中,车辆载重状态频繁改变,传动结构承载负荷处于动态波动状态。负荷变化会让传动部件配合间隙出现微小偏移,破坏传动结构的运行平稳度^[2]。部件长期往复运转会积累机械磨损,改变原有配合精度。恶劣作业环境中的粉尘、杂质会侵入传动结构缝隙,增加部件运行阻力。多重外界条件与设备运行状态叠加,逐步催生机械传动类损耗,降低制动动力传递效率。

2.2 电控传输链路损耗的产生条件

电控传输链路是再生制动系统信号与指令传输的核心载体,链路损耗源于电气传输过程中的各类不稳定状态。制动系统运行期间,电控线路、接线端子与控制元器件持续承载电流输送工作。线路长期通电运行会产生发热现象,提升电气传输的阻碍程度。元器件长期处于高频工作状态,内部导通性能会出现小幅衰减。矿卡作业环境存在温度波动与震动干扰,会影响电控线路的导通稳定性。信号传输过程中出现的延迟、偏移问题,会造成电气资源的无效消耗。这类无形的能量消耗持续存在,构成电控传输链路的主要损耗来源。

2.3 电能能量转换环节损耗的产生条件

再生制动的电能转换环节负责机械能与电能的相互转化,转换过程本身无法实现能量完全利用。制动电机逆向运转生成的原始电能参数杂乱,电压与电流数值存在不稳定波动。电能变换装置对杂乱电能进行参数修正时,会产生部分能量散失。电气元件在稳压、整流的处理流程中,会以热能形式消耗部分电能。能量转换的处理流程越长,电能散失的总量就越高。转换环节的设备老化会降低能量转化精度,加剧电能无效消耗。这类能

量散失现象贯穿每一次制动能量回收流程,形成稳定的转换环节损耗。

2.4 矿山工况对制动系统损耗的诱发特征

矿山作业场景的特殊性会持续诱发并加剧再生制动系统各类损耗。矿区道路存在坡度起伏、路面颠簸的特点,矿卡制动动作频次大幅提升,设备启停作业更为频繁。车辆长期重载行驶,制动系统各结构始终处于高负荷运行状态。野外露天作业的温度变化、风沙侵扰,会改变设备运行环境状态,影响机械与电气部件的运行性能。复杂工况会放大传动、电控、转换各环节的运行缺陷,加速各类损耗的滋生与累积。工况带来的持续干扰,让制动系统损耗保持常态化增长态势。

3 再生制动系统损耗对动力电池老化的影响规律

3.1 制动损耗对电池充放电状态的影响

再生制动系统产生的损耗会直接干预动力电池的充放电运行节奏,改变常规工作状态。制动过程中的机械与电气损耗会削弱能量回收整体效率,减少回馈至电池的有效电能。整车动力系统为弥补能量缺口,会延长放电工作时长,拉高电池整体放电深度^[3]。制动损耗带来的能量输入偏差,会让电池充放电切换节奏变得无序。固定的充放电运行节律被打乱后,电池长期处于不均衡的工作状态,内部电化学反应会出现不稳定波动,逐步改变电池常规充放电运行模式。

3.2 制动损耗对电池储能状态的影响

制动系统运行损耗会干扰动力电池的储能平衡,改变储能过程的稳定状态。能量转换与传输过程产生的电能损耗,会造成输入电池的电能总量出现不确定性衰减。电池接收的有效能量无法匹配制动回收的理论数值,储能饱和度出现不均衡分布。长期处于此类储能环境中,电池单体储能容量会出现差异化变化。单体之间的储能差异会逐步拉大,破坏电池组整体储能均衡性,让储能状态始终处于不稳定的浮动状态。

3.3 异常损耗对电池内部状态的影响

制动系统运行中出现的异常损耗,会对动力电池内部结构与反应状态形成负面干预。工况波动引发的突发性损耗会造成电能输入紊乱,冲击电芯内部电化学反应体系。不稳定的电能输入会提升电池内部发热程度,改变电芯常规工作温度。温度异常波动会影响内部活性物质的工作稳定性,诱发微观结构的细微变化。内部离子迁移效率出现下降,极化现象持续加剧,逐步弱化电池内部工作性能。

3.4 损耗累积对电池老化进程的影响

制动系统损耗会随矿卡作业时长持续叠加积累,持续加快动力电池老化推进速度。单次制动损耗带来的电池状态偏差相对微弱,不构成明显性能影响。多频次、长时间的损耗积累会持续放大电池工作缺陷,固化内部运行偏差。储能失衡、极化加剧等问题长期存在,会逐步造成电池容量衰减、内阻上升。各类负面状态持续叠加,不断压缩电池正常服役周期,持续推进动力电池的老化衰退进程。

4 适配电池寿命长效保持的制动系统运维体系

4.1 再生制动系统常态化养护方式

再生制动系统的稳定运行是保障动力电池长效服役的基础,常态化养护能够规避设备异常运行带来的电池损耗问题。养护工作围绕机械传动结构、电控线路与能量转换装置展开周期性排查。针对传动部件,定期清理结构表面附着的粉尘与杂质,补充适配润滑介质,修正部件配合间隙偏差,维持动力传递的平稳度。针对电控单元与传输线路,定时检查线路连接状态,排查线路老化、端子松动等隐患,保障电气传输的稳定状态。针对能量转换装置,定期校验设备运行参数,清理设备运行产生的积热,维持电能转换的精准度^[4]。常态化养护可以提前消除设备运行隐患,维持制动系统稳定工作状态,减少不稳定工况对动力电池的持续干扰。

4.2 制动运行工况适配性调节手段

矿山复杂多变的作业工况是诱发制动系统不稳定运行的关键因素,针对性开展工况适配调节可以弱化工况波动带来的负面作用。结合矿区路面坡度、作业载重以及制动频次等实际作业条件,灵活调整制动系统运行参数。重载作业场景下,适度调节制动回馈强度,避免瞬时大幅电能输入冲击电池电芯。平缓路面作业时,优化制动能量回收参数,保证储能过程平稳有序。频繁启停的短距离作业场景中,限制高频次小幅制动的能量输入频次,减少电池反复充放电行为。通过动态匹配作业场景调节制动运行模式,弱化工况变动对电池储能与反应状态的扰动,营造更为稳定的电池工作环境。

4.3 制动损耗专项管控维护方式

针对再生制动系统机械、电控、能量转换各环节的损耗源头,制定专项管控维护措施,实现损耗的有效抑制。机械损耗管控聚焦部件磨损与运行阻力,定期校准传动部件运行精度,更换磨损严重的配件,降低动力传递过程中的无效消耗。电控链路损耗管控以稳定电气传

输为核心,定期检测元器件导通性能,更换性能衰减的电气配件,减少电能传输过程的热能散失。能量转换环节损耗管控侧重设备性能维护,定期检修整流、稳压设备工作状态,校准能量转换精度,提升制动能量的有效利用率。专项维护可以从源头削减各类损耗生成量,减少损耗持续累积对动力电池的老化推进作用。

4.4 制动系统与电池协同养护方式

再生制动系统与动力电池属于联动运行整体,单一设备的独立养护难以彻底解决工况适配失衡问题。搭建双向协同养护模式,能够实现电池寿命的长效保护。结合制动系统运行参数与动力电池工作数据,搭建统一的养护评判标准,匹配设备不同运行阶段的工作需求。电池全新服役阶段可适配常规制动回收模式,保证能量利用效率。电池进入中后期服役阶段后,电芯活性逐步下降,适当弱化高强度制动回馈,适配电池衰减后的储能接纳能力。持续采集制动工况下的电池温度、内阻、充放电波动等关键数据,结合制动损耗变化规律调整养护重心。通过设备联动养护,改善电池内部极化、容量衰减等老化问题,持续优化制动与储能的适配性,有效延缓动力电池老化衰退的整体进程。

结束语

再生制动系统各类损耗的滋生与累积,是引发新能源矿卡动力电池老化、缩短设备服役周期的关键诱因,矿山特殊作业工况进一步放大了损耗带来的负面作用。通过厘清制动系统多维度损耗的形成逻辑,明确各类损耗对动力电池充放电、储能状态及内部结构的负面影响机制,从常态化养护、工况适配调节、损耗专项管控、机电协同养护多个维度搭建运维体系,能够系统性削弱损耗对电池的损害作用。多维度运维措施的落地实施,可有效稳定制动系统运行状态,改善电池工作环境,延缓电池老化进程,为新能源矿卡设备长效、安全、稳定作业提供可靠保障。

参考文献

- [1] 庄久春,刘东波,时晓军. 新能源商用车前桥双卡钳制动系统设计研究 [J]. 时代汽车,2026(3):77-79.
- [2] 杨刚,翟上,陈家新,等. 新能源商用车制动系统装调工艺性研究 [J]. 专用汽车,2026(1):68-72.
- [3] 李震宇,庄明兴,魏涛. 新能源重卡气泵健康状态预测与预警系统研究 [J]. 汽车电器,2026(4):5-7.
- [4] 卢自让,卢鸿义,卢丽敏. 新能源商用车制动系统故障诊断与分析 [J]. 重型汽车,2025(6):30-31.