

高原地区铁路线路维修机械低温作业适应性分析

宋莉莎

兰州石化公司化工储运部, 甘肃 兰州 730000

[摘要]高原地区铁路线路维修机械在低温环境下运行面临诸多挑战, 包括动力系统效率下降、液压系统响应迟缓、润滑性能变差及材料脆化等问题。通过对典型机械设备运行特性分析, 结合低温气候条件, 探讨适应性改进措施, 如优化保温设计、选用低温润滑材料、强化电控系统抗寒能力等, 以提升机械在寒冷环境下的作业效率与可靠性。结果表明, 针对性技术改造能有效缓解低温影响, 为高原铁路线路养护提供技术支持。

[关键词]高原铁路; 线路维修机械; 低温环境; 适应性改进; 抗寒技术

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16477

中图分类号: TH69

文献标识码: A

Adaptability Analysis of Low-temperature Operation of Railway Line Maintenance Machinery in High-altitude Areas

SONG Lisha

Chemical Storage and Transportation Department of Lanzhou Petrochemical Company, Lanzhou, Gansu, 730000, China

Abstract: Railway line maintenance machinery in high-altitude areas faces many challenges when operating in low-temperature environments, including decreased power system efficiency, delayed hydraulic system response, poor lubrication performance, and material brittleness. By analyzing the operating characteristics of typical mechanical equipment and combining them with low-temperature climate conditions, adaptive improvement measures are explored, such as optimizing insulation design, selecting low-temperature lubricating materials, and strengthening the cold resistance of electrical control systems, in order to improve the operational efficiency and reliability of machinery in cold environments. The results indicate that targeted technological transformation can effectively alleviate the impact of low temperatures and provide technical support for the maintenance of high-altitude railway lines.

Keywords: plateau railway; line maintenance machinery; low temperature environment; adaptive improvement; cold resistant technology

引言

随着高原铁路运输网络的不断扩展, 线路维修机械在极端气候条件下的运行需求日益突出。高寒环境对机械设备性能造成显著影响, 严重时甚至威胁线路维护作业的安全与效率。传统机械在设计上多未充分考虑高原低温特性, 导致运行故障频发。因此, 提升铁路维修机械的低温作业适应性, 不仅是保障运输畅通的重要环节, 也是推动高原铁路现代化运维管理的关键所在。

1 高原低温环境对线路维修机械的影响特征

高原地区冬季常年处于严寒状态, 低气压、低温、风雪等极端气候条件严重影响铁路线路维修机械的正常运行。深入分析环境因素对设备各系统的影响特征, 是提升机械低温作业适应能力的关键前提。

1.1 动力系统受温度制约显著

高原低温环境对动力系统的影响主要表现为启动困难、运行功率下降和燃油雾化不良。柴油发动机在低温下压缩终温不足, 导致点火延迟, 启动时间显著延长, 甚至出现无法启动现象。同时, 机油黏度随温度降低而增加, 使润滑性能减弱, 机械磨损加剧, 启动阻力加大。此外, 燃油在低温中容易结蜡, 造成喷油系统堵塞或喷油雾化不

充分, 影响燃烧效率, 进而降低输出功率。这些问题直接削弱了维修机械在高原地区作业的可靠性与稳定性。

1.2 液压系统运行迟滞问题突出

液压系统在高原低温环境下普遍表现出响应迟缓、动作不协调等问题。其主要原因是液压油在低温中黏度大幅升高, 导致流动性下降, 系统压力建立缓慢, 执行元件动作不灵敏。此外, 液压管路和密封件在严寒环境中容易发生材料硬化、脆裂等现象, 造成泄漏风险增加和运行不稳定。部分液压元件如泵、阀等的启闭延迟、控制滞后, 进一步影响维修作业的精准性与效率。低温对液压系统的负面作用已成为制约高原铁路机械运维能力的重要因素。

1.3 材料性能与电控系统易受影响

高原严寒环境下, 维修机械的金属结构与非金属材料在低温状态下常表现出脆化倾向, 易发生疲劳损伤、断裂等问题, 尤其是在频繁受力或交变载荷作用下更为明显。同时, 塑料部件如管道护套、电缆外皮等在低温中容易老化、硬化, 导致裂损或性能下降。电控系统方面, 低温环境可能引起传感器信号传输失真、电池容量骤减、控制模块响应迟缓, 造成设备指令执行不及时、误动作增多等现象。此外, 高原地区电磁干扰强烈, 也会影响电控系统的

稳定运行。因此，材料与电控系统的低温适应性是保障设备正常作业的基础。

2 铁路维修机械低温作业中常见故障类型与表现

在高原地区寒冷严酷的自然条件下，铁路线路维修机械常发生多种运行故障。低温不仅影响机械性能，还加剧设备老化与失效频率，识别典型故障类型及表现特征，有助于精准制定维护对策，提升运行可靠性。

2.1 启动困难频率高

铁路维修机械在高原低温环境下最常见的问题之一是启动困难。柴油发动机的启动性能在严寒条件下显著下降，主要因燃油系统、润滑系统与电瓶系统综合影响所致。首先，低温导致柴油流动性差，容易形成蜡状沉积，喷油不畅，喷油雾化不充分，从而降低燃烧效率，造成点火失败或启动时间大幅延长。其次，机油黏度增大，冷车状态下润滑效果变差，使发动机内部机械部件运转阻力加剧，启动所需扭矩上升，电瓶放电能力也随温度降低而减弱，无法提供足够的电力，形成“打不着火”的现象。部分车辆在长时间停放后，蓄电池电压难以维持，需依靠外接启动电源。频繁的启动失败不仅降低作业效率，还会对发动机系统产生额外损伤，加速部件老化。

2.2 液压动作响应迟缓

液压系统的响应速度与液压油性能密切相关，而低温会极大降低液压油的流动性，形成“粘滞启动”现象。表现为执行机构启动缓慢、动作不协调、响应延迟等。比如，在高原早晨初启时，机械臂、千斤顶、液压钳等设备无法迅速展开，甚至出现卡滞。更严重的情況是液压油在管道中流动阻力大增，压力建立不稳定，容易造成液压泵或控制阀因超负荷运行而损坏。加之高原地区温差大、昼夜变幅显著，液压密封圈因材料性能变化易产生漏油、失压现象，进一步削弱系统效能。长期运行中，液压元件在低温环境频繁受冷热交替应力作用，密封性能和疲劳寿命急剧下降。液压系统失效不仅造成操作精度下降，还严重威胁作业安全。

2.3 电控与传感故障多发

高原铁路线路维修机械普遍配备电控系统以实现自动化与精确控制，但在低温条件下，该系统容易出现失灵、滞后或误动作等故障。常见问题包括传感器响应延迟、测量数值漂移、电缆线路硬化甚至断裂。尤其是温度传感器、压力传感器及位置传感器等关键部件，工作状态对温度极为敏感，在低温下可能反馈错误数据，引起控制系统判断失误，进而造成设备动作异常。此外，电池性能退化在寒冷气候中尤为明显，电容、电压供应不稳定，会导致控制模块死机、重启频繁。还有部分电控系统受高原强电磁干扰影响，出现信号传输故障或模块通讯中断。上述问题一旦发生，将严重干扰设备正常运行，增加故障诊断和修复的难度，延误作业时间。

3 关键系统低温适应性不足的成因分析

高原地区铁路线路维修机械在低温环境下频繁出现运行障碍，归根结底与其关键系统缺乏针对性设计密切相关。深入剖析各系统低温适应性不足的成因，有助于为后续技术优化提供科学依据和方向指引。

3.1 设计环节缺乏低温考虑

许多铁路维修机械原本适用于平原或常温地区，初期设计并未充分考虑高原低温环境带来的特殊挑战。在动力系统方面，发动机、机油泵、喷油嘴等关键部件普遍未设置预热装置，机体材料也未选用低温抗脆型材质，导致设备在寒冷环境中启动难、磨损重。液压系统多采用常规液压油与密封结构，未选用低温流动性更佳专用液压油，也缺乏有效的油箱、电加热等辅助加热设施，直接导致系统在低温下流动性差、反应迟滞。此外，电控系统布线方式与信号传输也未做高寒环境适配调整，导致电缆绝缘材料易开裂、通讯信号不稳定，严重制约设备可靠运行。缺乏对极端气候影响的预判与结构性应对，是系统适应性薄弱的根本原因之一。

3.2 材料性能适应性差异大

高原低温环境下，材料性能的变化对维修机械稳定性影响尤为突出。金属材料在低温中趋于脆化，尤其是焊接接头、连接件等部位在外力作用下极易产生裂纹或断裂。塑料、橡胶类非金属材料在寒冷条件下也表现出硬化、失去弹性的现象，导致密封圈、软管、护套等零部件失去柔性甚至断裂，诱发漏油、短路等安全隐患。此外，润滑材料的适温性不强也是一大问题，常规润滑脂在低温下易凝固或流动缓慢，使机械传动部位缺乏有效润滑，增加摩擦磨损，导致运转效率大幅下降。材料选型未能针对高原工况环境优化配置，是制约设备低温作业性能的关键短板。

3.3 维护机制未及时调整

在实际运维管理过程中，部分铁路线路维修机械在高原投用后仍沿用常规地区的维修标准与保养制度，缺乏针对低温环境的专项维护机制。一方面，设备预热、液压油更换、电瓶检修等关键环节频繁被忽视，导致设备在未适应低温条件时被直接启用，加剧故障发生。另一方面，缺少低温专项点检计划，如传感器校准、电控系统抗干扰检测、保温系统巡检等，使潜在隐患无法早期发现与排除。同时，相关人员对低温气候下机械运行规律掌握不全面，缺乏应对突发故障的技术经验与响应措施，也进一步放大了系统适应性不足所带来的影响。维护机制与运行环境严重脱节，是导致设备在高原地区频繁“水土不服”的重要原因。

4 提升机械低温作业性能的技术优化路径

为解决高原地区铁路线路维修机械在低温环境下运行不稳定、故障频发等问题，必须从技术层面提出有针对性的优化路径。通过系统升级、材料替代与智能控制手段

的融合,可有效提升机械在严寒条件下的适应能力与作业效率。

4.1 动力系统优化与预热改造

针对动力系统低温启动困难的问题,应优先进行结构与辅助装置的优化。首先,在发动机部分加装电加热或冷却液循环预热系统,可在启动前快速提升缸体温度,提高压缩终温,确保点火成功率。其次,采用适合低温燃烧特性的轻质柴油,配合喷油系统的精细调校,有效改善雾化效果,提升燃油燃烧效率。在润滑系统方面,应更换为低凝点、高流动性的全合成机油,减小内部摩擦阻力。同时,加强蓄电池保温管理,选用耐低温性能优异的高容量电瓶,提升电力输出能力。动力系统的预热改造与耗能优化结合,将显著提升设备的启动成功率和运行稳定性,满足高原复杂气候下的作业需求。

4.2 液压与材料系统协同改良

液压系统在低温下性能下降明显,可通过液压油优化与结构改进协同提升适应性。应选用低凝固点、黏温性能优异的专用液压油,保障系统在严寒环境中的流动性。关键部位如油箱、管路、控制阀等应设置电加热或保温层,维持油温稳定。液压泵与控制阀密封件可采用氟橡胶或丁腈橡胶等耐低温材料,提升密封性能,减少漏油隐患。在结构材料方面,推荐使用高强度合金钢与改性聚合物,提高耐低温冲击及抗老化能力,避免部件脆裂或失效。通过液压系统与材料协同优化,显著增强维修机械在低温环境下的稳定性与可靠性。

4.3 电控系统智能抗寒设计

电控系统是铁路维修机械运行的核心,需增强其在极端低温环境下的可靠性与智能化水平。应选用宽温型工业级传感器,确保在 -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 范围内稳定工作,避免信号漂移。数据线缆应具备低温耐折性,并设防护层抵御风雪。优化软件逻辑,设置“低温运行模式”,实现自动预热、故障报警与容错控制。关键模块如PLC、电源等应加装温控保护装置,维持恒温运行。整体设计向智能化、自适应方向发展,提升高原环境作业保障能力。

5 高原铁路维修机械适应性提升的应用前景与实践价值

在铁路运维高原化、智能化发展趋势下,维修机械低温作业适应性提升具有重要现实意义。通过技术改造与系统优化,不仅能增强机械运行稳定性,还将在保障运输安全、推动高质量铁路发展方面发挥长远价值。

5.1 保障高原线路运维安全

高原地区铁路线路常年经受严寒、冰冻等极端天气影响,传统维修机械难以满足全天候作业需求。通过对动力、液压、电控系统进行低温适应性改造,可显著降低机械在

恶劣环境下的故障率,确保巡检、抢修、保养等任务高效完成,最大限度减少因设备故障带来的列车延误与线路安全风险。设备稳定性的提升,直接增强了高原铁路线路在寒冷季节的运行保障能力,为全天候运输提供坚强支撑。

5.2 推动高原铁路智能升级

适应性提升不仅是机械层面的改造升级,更是铁路运维智能化重要环节。通过引入抗寒智能传感器、自适应控制系统与远程诊断平台,使维修设备在极端气候下仍具备精确控制与自主判断能力。这将促使高原铁路向“智能检测—精准维护—快速响应”闭环管理模式转变,提高维修工作的效率与科学性,缓解人工依赖压力,推动铁路维保向自动化、无人化方向迈进,提升整体运维体系的技术水平与响应速度。

5.3 促进技术成果广泛应用

高原地区所采用的低温适应性改造技术,在实践中积累了丰富的经验,具备良好的推广与复制价值。相关技术不仅适用于青藏铁路、川藏铁路等高海拔线路,也可作为东北、西北等寒冷地区铁路维修提供借鉴。在更多特殊环境下,如隧道、高寒边防铁路、风雪频繁的山区铁路,该类改造成果将成为保障设备高效运行的关键力量。随着政策推动与企业实践深入,高原铁路机械低温适应性提升工程将逐步形成标准化、体系化的发展格局,释放广阔产业潜力与经济效益。

6 结束语

高原地区铁路线路维修机械在低温环境下面临诸多运行挑战。通过分析影响特征、故障表现及成因,并提出有针对性的技术优化路径,能够显著提升机械在严寒条件下的作业能力。适应性提升不仅保障线路运维安全,更推动智能铁路建设和技术成果推广。未来应持续深化技术研发与实践应用,构建高原铁路设备低温适应性的长效机制,助力高质量铁路发展。

【参考文献】

- [1]雷存茂,陶世杰,林飞,等.某高原铁路基础设施维修特征及对策分析[J].交通建设与管理,2023(2):126-130.
- [2]王智玮.西部高原高速列车与线路匹配性研究[D].兰州:兰州交通大学,2023.
- [3]方家.高原地区铁路无缝道岔监测成果分析[J].技术与市场,2024,31(3):109-113.
- [4]杜希振.格库铁路新疆段高原地区60 kg/m钢轨12号无缝道岔的力学特性[J].铁道建筑,2024,64(11):35-40.
- [5]王中明.基于GAN的西部高原铁路线路参数设计优化研究[D].兰州:兰州交通大学,2024.

作者简介:宋莉莎(1990.1—),女,甘肃兰州人,就职于兰州石化公司化工储运部,长期从事铁路罐车调运及车辆检查工作。