

山区公路工程大型机械设备 安全管控与现场调度优化

王 有

(四川路航建设工程有限公司, 四川 成都 610041)

摘 要 山区公路工程因地形起伏剧烈、地质条件复杂等特殊因素, 导致大型机械设备安全管控难度大且现场调度效率低, 成为影响工程质量及施工安全的关键瓶颈。本文结合山区公路施工的独特工况, 分析大型机械设备管理面临的特殊挑战; 从人员、设备及环境三个核心维度提出可操作的安全管控优化措施; 从设备选型配置、智能调度算法以及多机协同作业三个层面制定针对性的现场调度优化策略, 以期为山区公路工程大型机械设备的安全管理及高效调度提供参考。

关键词 山区公路工程; 大型机械设备; 安全管控

中图分类号: U415.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.021

0 引言

随着我国交通基础设施建设延伸至山区公路工程建设规模不断扩大, 大型机械设备作为施工核心装备, 其安全运行及高效调度直接关系到工程施工的顺利推进、人员财产安全及项目综合效益。与平原地区公路工程相比, 山区公路施工环境具有地形切割强烈、地质条件破碎、作业面分散且高差悬殊的特征, 加之局部小气候灾害频发, 偏远工点通信不畅, 导致大型机械设备在行驶、作业及调度过程中面临诸多安全隐患, 传统的安全管控模式及调度方法已无法适配山区施工的复杂需求。

1 山区公路工程大型机械设备管理面临的特殊挑战

山区同平原地区公路施工环境存在显著差异, 特殊的地形气候及施工组织条件, 使大型机械设备管理面临管控难题, 具体体现在四个方面: 一是地形条件严苛, 设备损耗加剧, 山区公路施工无规整作业场地, 多依托山脊或者半山腰开辟施工便道, 道路纵坡普遍大于 10%, 设备转弯半径、通行空间受限严重。大型机械设备长期在高坡度、小曲率的线形条件下行驶作业, 发动机持续高负荷运转, 大幅提升制动系统、变速箱等核心部件损耗速率。二是作业点位分散, 调度效率低下, 山区公路线路跨度大且作业面碎片化特征突出, 桥梁墩台、隧道洞口、路基填筑等施工点位相互分离, 相邻作业点直线距离较短但实际通行路径高差较大,

设备转场绕行距离远、耗时长, 设备无效转场时长远超过有效作业时长。三是气候工况多变, 山区峡谷地形易形成局部小气候, 同一标段不同工点气象条件存在显著差异, 整体气象预报无法精准适配单个工点工况, 管理人员不能精准预判现场通行及作业条件。四是交叉作业复杂, 山区公路施工多采用多工序并行、多设备交叉作业模式, 传统依赖人工经验的调度方式易出现设备等待闲置、作业路径交叉干扰等问题, 严重影响整体施工效率^[1]。

2 山区公路工程大型机械设备安全管控优化措施

2.1 强化人员管控, 提升施工安全意识

人员管控的真正价值在于将安全意识的模糊状态转变为可预判的稳定特征, 操作者对风险的理解深度决定机械运行时的人为差错概率, 山区复杂的地形及多变的工况不断考验着每个参与者的即时判断能力, 此时高度警觉的内心状态就是最可靠的第一道防线。定期对操作人员进行培训, 增强其操作技能和安全意识, 确保其能够熟练掌握设备的操作方法和应急处理措施^[2]。

为系统提升山区公路施工安全水平, 建立常态化岗前风险防控机制, 推行每日开工 5 分钟岗位风险自述制度, 要求设备操作人员结合当日作业内容、施工地形及气候条件精准辨识作业过程中的典型安全风险。同时, 落实班组安全监督机制, 各班组设置安全行为

作者简介: 王有 (1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 物资设备管理。

观测记录台账,由班组人员轮流履职全程记录作业过程中的不规范操作、违规行为及潜在风险。每周组织设备实操模拟推演,依托现场实体设备开展空载实训,重点强化紧急制动、避险避障等核心应急科目训练,提升操作人员突发工况下的应急处置能力。在此基础上完善正向激励档案管理制度,推行安全可视化激励机制,表彰连续 30 天无违规操作、无安全隐患的操作人员,统一归档留存所有人员安全作业记录、培训记录及考核记录,为后续同类工程设备人员安全管理提供数据支撑。

2.2 强化设备管控,消除设备安全隐患

若设备管控缺失,那些隐藏在结构内部的疲劳裂纹及磨损积累便会悄然逼近临界点,在山区公路工程中,大型机械长期处于高负载以及剧烈振动的工况之下,零部件的性能衰退速度快于常规环境,因此任何微小隐患都可能迅速演变为严重故障。一台经过严格状态评估的设备,其各子系统之间的协同配合更加顺畅,大幅降低突发性停机的风险。消除设备安全隐患不仅是避免机械本身损坏,更是防止因设备突然失灵而引发周边人员的连锁伤害。

每台大型机械设备都应建立独立运行档案,档案内包含每日开机前的油位、水位以及胎压三项实测数据记录表。设备操作手在启动机器后必须完成 1 分钟空转听音检查,重点辨别发动机、液压泵及传动轴三个部位的异响特征。每周对全部设备进行一次制动系统专项测试,测试时在山路坡道位置设置标准制动距离参照桩,测量实际滑行长度并与出厂参数比对。每月开展一次结构件焊缝巡检,使用强光手电配合放大镜逐一检查动臂根部、转台连接处等六个关键受力点。雨季来临前开展设备专项维保,彻底清理底盘泥浆结块、散热器碎石堵塞物,保障设备散热稳定。同时,推行油品定期化验机制,为挖掘机、装载机等核心设备配备专用取样工具,设备每运行 200 小时抽取液压油、发动机油样本送检,检测油品黏度、金属颗粒含量等关键指标,精准判断设备内部磨损状态。落实每日安防设施巡检制度,每日黄昏前全面检查设备灯光、鸣笛及警示装置,保障夜间、雾天低能见度工况下的警示功能完好。

2.3 强化环境管控,降低环境因素风险

山区特有的地形起伏与多变气候会形成规律性的危险组合:降雨会提升边坡失稳的发生概率,浓雾会大幅压缩驾驶员的有效观察距离,低温会导致液压介质流动迟缓,每一类环境要素都在暗中重新划定作业

的安全边界。管控环境风险的核心意义,就在于将这些看似不可抗拒的外部条件,转化为可提前识别、主动规避的已知变量^[3]。在整合地质信息与气象数据后,风险触发的前兆特征将变得清晰可辨,施工活动也将因此获得更大的安全宽容度。

实施施工区域风险分级管控,依据作业区域地形坡度划分风险等级:坡度 $>25^{\circ}$ 区域划分为红色高风险区, $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 区域划分为黄色中风险区,其余区域为蓝色低风险区。严格落实高风险作业管控要求,设备进入红色高风险区作业前,必须精准测定地面倾斜角度详细记录于施工日志。建立现场动态气象监测机制,各作业点位布设简易气象观测设备,配置风速仪、雨量筒等设施,每 2 小时采集气象数据实时掌握现场工况变化,当现场风速达到 6 级及以上时,立即暂停所有起重作业及高空拆模作业,杜绝恶劣气象条件下违规施工。另外,强化雨季及特殊路段管控,雨季安排专人重点排查路面塌陷、暗穴、落石堆积等隐患,确认通行安全后方可放行设备。在落石高发路段设置移动式双层防护棚架,设备通行时安排专人坡面瞭望,防范落石冲击风险。各作业区域配套安装声光报警装置,联动边坡地质监测设备,当监测到边坡位移异常、存在坍塌风险时,自动触发撤离预警,要求操作人员 30 秒内完成设备熄火、人员撤离,全面保障施工安全。

3 山区公路大型机械设备现场调度优化策略

3.1 精准选型及动态配置:因地制宜匹配设备

一台设备在山区公路工程中的适用性随着地形曲率、路基宽度等空间参数的变化而动态波动,精准选型的价值在于将设备自身的性能边界最优贴合工点的实际需求,避免出现大材小用或“小马拉大车”的资源错配现象。当挖掘机的斗容、臂长匹配开挖断面的土石方量时,每一铲斗的满载率会稳定在高位区间,空驶行程被压缩到最低限度。动态配置则进一步解决设备数量同作业面进度之间的张力问题,因为不同工序对机械能力的需求曲线存在明显波峰。

首先依据施工图纸标注的平曲线半径及最大纵坡数据提前编制设备选型对照表,对照表按坡度分档:坡度小于 12% 的路段选用标准型轮式装载机;坡度介于 12%~25% 的路段限定使用履带式挖掘机;坡度超过 25% 的路段仅允许配备带有辅助制动器的低重心机型。每日收工后,现场调度员须复核次日作业面的实际地形变化,若某区域昨夜发生塌方或改道则重新核对设备选型对照表并更新次日的机型安排。为保证操作手随时掌握当前工况,每台设备驾驶室内应张贴一

张当前工点的地形参数卡，卡上标明该位置的路面倾斜角、转弯半径限值及最小通过宽度三项数据。当设备转场至下一个工点时，调度员必须再次确认新工点的地形参数与原设备是否兼容，发现不兼容立即调换为匹配的机型。每周还需汇总一次设备与工点的匹配记录，标记出曾出现匹配错误的组合，并将这些组合列入下一周的选型复查清单。此外，各工点之间设置一台备用轮式牵引车，专门用于拖拽因选型不当而陷入泥泞或爬坡失败的小型设备，同时该牵引车也作为动态配置的资源缓冲。

3.2 算法驱动智能调度：多目标协同优化决策

山区公路工程中同时存在工期、成本等多个相互牵制的调度目标，人为经验只能优先满足其中一两个而牺牲其余指标。算法驱动调度的核心价值在于将冲突目标转化为可计算的权重分配问题，一个精心设计的调度算法能同时处理设备数量约束、运输路径限制等十几类变量^[4]，而人的大脑无法在同一时刻容纳如此复杂的信息网络。多目标协同优化的意义还体现在应对突发状况时的快速重调度能力上，当某台设备发生故障或某段道路临时中断时，算法可以在数秒内重新生成一套可行的替代方案。

搭建离线智能调度系统，系统录入设备位置、剩余能耗、计划作业时长等基础数据形成多维度调度数据库，每日开工前，调度人员将当日施工任务、工期要求等参数录入系统，设置多目标优化权重：工期权重 40%、能耗权重 35%、设备磨损权重 25%，通过算法自动测算生成设备任务分配方案，明确单台设备作业顺序、通行路径以及作业起止时间，达到量化精准调度。针对设备故障、道路封闭、天气突变等突发情况建立突发工况快速重调度模式，现场人员实时反馈工况变化，调度人员更新系统参数，算法可在 60 秒内重新生成最优调度方案并落地执行，降低突发工况对施工进度影响。在此基础上落实调度效果动态校核，每日收工后对比算法调度计划及实际施工进度，若连续三日偏差率超过 5%，应及时优化调整算法权重参数及约束条件，持续提升智能调度方案的适配性。

3.3 多机协同及流水作业：模块化衔接提效率

单台设备的作业效率再高，若与其他机械之间存在频繁的等待或干涉，依然难以提升整体工效，多机协同的核心价值是将挖、装不同功能的设备整合成一个同步运转的作业群，使每台机械的起止时间精确咬合其他机械的节拍^[5]。进一步推广流水作业，便可将长距离的施工路段分解为多个标准化的模块，每个模块内部完成固定顺序的作业内容，设备按照统一方向

依次推进，减少设备之间的交叉干扰及倒车避让，整个作业群呈现出类似生产线的连续流动特征。

将整条施工路段按照每 50 m 划分为一个标准作业模块，模块边界用地面喷漆标示清楚，每个模块内固定安排三台设备形成作业单元，挖掘机位于模块起始端负责装料，装载机位于模块中段负责平整，压路机位于模块末端负责压实。三台设备之间的作业间距保持在 15 m~20 m 范围内，间距过近时挖掘机短暂停机等待，间距过远时装载机提速跟进。作业单元整体从低桩号向高桩号方向逐模块推进，前一个模块的压路机完成压实作业后，后一个模块的挖掘机才开始进入该模块的装料工序。每个模块入口处设置一块作业状态牌，牌上标注当前模块内正在运行的设备编号以及预计离开该模块的时间。当一台设备完成本模块任务后移至下一模块时，操作手鸣笛一声提示后方设备可以补位。每日作业过程中严禁任何设备超越前方模块的分界标线，避免不同模块之间的设备发生路径交叉。收工后检查各模块衔接处的过渡段是否平整，不平整处列入次日第一个模块的复压任务。

4 结束语

山区公路工程中大型机械设备的调度问题，本质上是将通用机械置于极端环境中重新适配的过程。安全管控侧重于抵御外部风险对设备及人员的冲击，现场调度则着眼于内部资源的优化配置，安全管控为调度提供稳定可靠的设备状态基础，调度优化反过来减少设备因拥堵或空转而产生的非必要磨损。未来，随着 5G 专网、边缘计算融合机载传感器，大型机械设备将具备实时感知地形变化及自身状态的能力，将安全及调度统一嵌入同一套自适应控制逻辑中，真正实现“人控与机控互补、避险与增效并行”的山区施工新模式。

参考文献：

- [1] 杨志龙. 工程建设中大型机械设备协同与进度优化[J]. 南方金属, 2026(01):62-64,67.
- [2] 刘德华, 张登科. 建筑工程施工项目中大型机械设备优化策略研究[J]. 建设机械技术与管理, 2025, 38(06):49-51.
- [3] 徐淑娟. 建筑工程大型机械设备的管控措施[J]. 建筑机械, 2024(08):65-68.
- [4] 满莉莉. 大型机械设备安全管理问题与对策研究[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(07):27-29.
- [5] 张寅, 李斌, 杨冬. 基于物联网技术的大型机械设备智能管理系统开发[J]. 中国仪器仪表, 2023(02):53-58.