

山区森林防火道路施工技术总结与应用研究

刘志强 王益民 牛永伟 张性磊 刘旭东

北京城乡建设集团有限责任公司 北京 房山 100071

【摘要】：山区森林防火道路是森林防灾减灾的核心生命线工程，针对山区地形复杂、生态敏感、施工条件恶劣等特点，传统施工技术零散、质量管控薄弱、生态扰动大等问题突出。本文以北京市房山区森林防火基础设施二期工程为依托，系统剖析山区防火道路施工核心难点，整合优化 RTK 动态测设、畜力运输、智能安全管控、分级边坡防护、雨期路基管控及生态修复等关键施工技术，构建适配山区环境的全流程施工技术体系。工程实践表明，该技术体系可有效提升施工质量与效率，降低安全风险与生态破坏程度，可为国内同类山区森林防火道路工程提供标准化、可复制的技术参考。

【关键词】：森林防火道路；山区施工；动态测设；分级防护；生态修复

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.073

引言

我国山区林地面积广大，地形复杂、植被覆盖度高，森林火灾防控难度极大，规范化森林防火道路是落实森林火情“打早、打小、打了”防控方针的重要基础设施。森林防火道路不同于普通公路工程，必须具备应急通行、施工安全、生态保护和长期耐久这四个方面的特性。目前国内山区防火道路施工没有形成系统的工程技术体系，技术应用零散化，大部分工程出现边坡滑移、路面破损、路基沉降等后期病害，严重阻碍了防火应急功能的发挥。根据房山区森林防火二期工程的实际情况，针对山区施工的各种痛点，把全部施工工艺和质量控制技术整合在一起，总结出一套标准化施工体系，对提高山区森林防火工程建设水平、筑牢森林生态安全屏障有重要的现实意义。

1 山区森林防火道路施工建设现状与施工难点

随着生态文明建设的不断推进，各地不断加大了对山区森林防火基础设施建设的投入力度，防火路网的覆盖面越来越大，有效地完善了森林火灾应急防控体系。但是由于山区特殊的地理环境、气候条件和生态属性，使森林防火道路施工不同于一般的山区公路工程，整体施工推进难度大，建设管控要求高。就整体建设现状来说，现阶段森林防火道路建设以道路新建、旧路改建和防火步道修缮为主，主要分布在偏远深山地区，施工点位分散，整体施工管理跨度大。同时大部分施工队伍沿用常规道路施工的经验进行作业，没有根据森林防火道路应急通行、简易耐用、生态兼容的建设特点来优化施工方案，施工针对性差，工程建成以后无法充分发挥应急防火功能。结合房山区二期森林防火工程施工实际情况，从山区森林防火道路施工五大主要问题入手。其一野外精准勘测及开挖施工难度大，在深山密林区由于植被覆盖度高，传统的手工测量存在较大误差，测量作业安全隐患大，陡坡区域机械开挖容易造成原生植

被破坏，施工渣土溜渣严重，极易引发水土流失。其二为深山施工材料运输困难，大部分防火步道深入深山腹地，没有成型的施工便道通行，大型运输车辆不能到达施工现场，水泥、毛石、砂石等基础建材转运效率低，严重影响整体施工进度。第三为高边坡临边作业安全隐患大，在山区施工场地土层松散、无稳定可靠的锚点，高空临边作业的防护设施设置困难，施工人员的安全操作受到严重影响。其四为边坡稳定性控制难度大，山区防火道路大多依山而建，深挖高填施工形成了许多高陡边坡，如果缺少科学的防护措施，雨季很容易发生边坡坍塌、滑坡等地质灾害。其五为雨期施工路基质量控制难度大，在山区雨水集中、降水量大的情况下，雨水很容易渗透到路基内，使路基土的含水率超标，造成路基沉降、开裂、翻浆等质量病害，对道路整体施工质量和后期使用稳定性造成严重影响^[1]。

2 依托工程基本概况

本次研究依托北京市房山区森林防火基础设施建设二期工程，工程施工范围包括房山区 13 个山区乡镇，施工总体工期安排得当，建设内容主要包含新建防火公路、旧路防火公路改建、山区防火步道改造这三大项。新建防火公路共 11 条，总里程 29.48 公里，改建原有防火公路 11 条，改建里程 14.86 公里，防火公路路面宽度控制在 4.5 米至 6.0 米之间，按照道路实际坡度不同采用不同的路面结构形式。道路坡度不大于 15% 的路段采用 C30 水泥混凝土标准路面，坡度大于 15% 的陡坡路段采用毛石铺砌防滑路面；工程同时完成了 30 条山区防火步道改造施工，步道总长 47.55 公里，根据步道所在位置的坡度，分别采用了生态土石路、毛石硬化路和条石台阶三种建设方式，以满足不同区域人员巡检通行的要求。该工程施工区域自然条件较差，施工区域最高海拔达 2000 米，山体自然坡度在 25° 至 45° 之间，林木植被覆盖率达 80% 以上，生态环境十分敏感，在施工过程中必须严格遵守生态保护规定。工

程对路面结构细分施工制定了明确的施工标准,坡度不大于20%的毛石路面用20厘米厚毛石面层和18厘米厚水泥稳定碎石基层;坡度大于20%高陡区域毛石路面简化基层结构,用15厘米厚毛石面层和10厘米厚水泥砂浆找平层,在保证通行防滑性的基础上有效控制工程建设成本,符合山区防火道路简易实用的建设原则。整体工程施工点位分散,现场施工协调、人员调配、质量管控难度大,是典型的深山区域森林防火道路综合建设工程,施工经验及施工技术有很强的行业推广价值[2]。

3 核心施工技术与工程应用分析

3.1 RTK 动态测设与差异化开挖施工技术

为了克服深山密林区测量精度低、效率低、开挖破坏生态等难题,工程使用RTK动态测设技术和差异化的开挖方式,从而达到精准化、绿色化施工的目的。RTK实时动态差分定位技术可以达到厘米级三维定位,现场技术人员手持流动站和设计模型比对,平面偏差在±2cm以内,高程偏差不大于±3cm,测量效率比传统的手工测量提高2倍以上。根据现场地质和设计的不符之处,及时得到坐标数据,并在24小时内对线形做动态微调以达到信息化动态施工的目的,从源头上杜绝设计与施工误差。在开挖施工过程中严格区分防火公路和步道施工工艺,实行差异化的作业模式。宽度为4.5-6.0m的防火公路采用机械组合开挖方式,土质路基分层开挖,石方路段使用破碎锤破碎清运,单层开挖厚度不大于2m,防止山体土体失衡。狭小陡坡区防火步道全部采用人工小型机具进行作业,土方人工开挖、石方电镐破碎,采用10~15m的分段单元施工,尽可能地保留原生植被。同时落实溜渣专项管理,边开挖、边清运,及时转运施工渣土,在生态敏感区、坡脚设置临时拦挡设施,每班清理坡面浮石。本工艺使植被破坏面积缩小70%左右,溜渣生态扰动减少85%以上,较好地协调了施工进行和生态保护的关系[3]。

3.2 山区步道畜力驮队运输施工技术

深山防火步道处在密林陡坡地带,没有成型的施工便道,机械运输不能进场,人工转运成本高、效率低,是阻碍工程推进的主要障碍。本工程使用骡子驮队畜力运输技术,适合山区复杂的运输情况。骡子具有良好的山地适应性,在25°到45°的陡坡上可以稳定通行,单匹负重可达80-120kg,完全可以满足毛石、水泥、砂石等施工材料的转运需求。施工期间根据现场用料要求,成立若干套标准化驮队,每套有5~10匹骡子和一名专职饲养员和装卸工,山脚设立集中材料堆场,将材料按重量分类堆放整齐。驮队按照事先拟定好的安全路线来回运输物资,途经滑坡区、悬崖时增加临时防护设施。实行日常专人专管制,饲养员看管骡子、维修驮具,安全员全程巡线并排

除沿途障碍。单匹骡子每天的运量可达400到600kg,比纯人工节省了50%,并且全程依靠原有的山间小路行走,没有造成植被的碾压破坏,生态优势明显。此技术很好地解决了深山无通路地区建材运输的问题,大大提高了步道施工效率,给偏远山区小型林业工程施工提供了一种高效、低碳、环保的运输方案。

3.3 智能化监控与临边作业安全防护技术

针对山区施工点位分散、安全监管盲区多、临边作业风险大的问题,工程搭建智能化安全监控预警系统,配套研发钢筋笼毛石配重固定装置,全方位筑牢施工安全防线。智能化管控系统是由视频监控和语音预警两个部分组成的,在高边坡、材料场、步道施工点等重要地方设置高清摄像头,利用4G或者5G网络将实时画面传送到云端平台,支持远程实时监控、30天的影像回看、多画面的同步管控,从根本上解决了传统巡查覆盖面不全面的问题。建立联动式语音播报系统,定时播报安全规定、感应报有无无关人员进入、遇到紧急情况时远程开启应急广播来处理。安全员每天做两次以上的现场安全隐患排查工作,发现隐患立即填写隐患报告单,录入系统,保证安全隐患信息全网可查、全程可追溯。针对临边作业无稳固锚点的缺点,设计1.0m×1.0m×1.0m钢筋笼毛石固定装置,用Φ12mm螺纹钢焊接制成,顶部设Φ16mm钢筋挂耳并做防锈处理,内部填充MU30级毛石,单笼自重1.5~2.0吨,抗倾覆、抗滑移性能好。在现场每10~15米处设一组装置,在临边1.5米以外的稳定地面上安装,作业前和作业后检查装置的稳定性,从根本上解决了山区高边坡临边作业安全带固定的问题,有效地杜绝了高空坠落安全事故[4]。

3.4 高陡边坡分级防护与雨期路基质量管控技术

高陡边坡失稳、雨期路基损坏属于山区防火道路的主要病害来源,工程用分层挡土墙防护技术和标准化雨后复验体系,保证道路结构稳定。根据边坡的位置、坡度来确定防护标准,路侧陡边坡坡度大于1:0.5设置仰斜式路堑挡土墙,路肩侧边坡坡度大于1:1.5设置仰斜式路肩挡土墙。基础施工严格控制埋深,土质地基≥1.5m、岩质地基≥0.5m,地基承载力不够时换填50cm以上的级配碎石,压实度≥95%。墙体用MU30级片石、M10水泥砂浆浆砌筑,灰缝控制在2-3cm,饱满度≥80%,分层砌筑厚度30-40cm,用石笋结构加强墙身整体性。挡土墙每10~15m设一条沉降缝,用2cm宽的沥青麻絮密封;梅花形布置Φ100mm PVC泄水管,并配以50cm碎石反滤层和黏土隔水层,迅速排除墙背积水。墙体强度达到70%之后,用砾粒土分层回填夯实,压实度≥93%,全方位保证边坡防护结构的稳固。对山区6~8月雨期施工的难题实行主动避雨的原则,成型路基及时用篷布覆盖起来,并且设置挡

水埂和临时排水沟。雨后进行全方位复验,严格检测路基含水率、压实度、高程、平整度、边坡稳定情况,确定各项指标的检测标准和频率,针对含水率超标的路基、压实不到位的路基、边坡松散的问题进行分类处理,翻晒补压、重新填筑,全程归档记录,从源头上消除雨期路基质量隐患,保证路基施工耐久性。

3.5 差异化路面配置与边坡生态复绿技术

为了达到防火通行功能、防滑安全、工程经济性的目的,工程采用坡度适应的层级化路面配置技术。防火公路坡度 $\leq 15\%$ 路段用 18cmC30 混凝土面层+18cm 水泥稳定碎石基层,严格控制基层强度和混凝土坍落度,规范设置伸缩缝,养护周期不少于 14 天;坡度 15%-20%路段用 20cm 毛石面层+18cm 基层,坡度 $>20\%$ 路段用 15cm 毛石面层+10cm 水泥砂浆找平层,毛石均采用 MU30 高强度石材,增设防滑结构保证应急通行安全。防火步道按坡度分层修建,坡度小于等于 25 度的用生态土石结构,25 度到 45 度用毛石铺砌,大于 45 度陡坡修筑防滑条石台阶,完全满足巡查和应急通行的要求。工程实行施工与生态修复同步开展,开挖裸露边坡采取“柔性防护网+厚层基材喷播”复绿办法,搭设 SNS 主动防护网,配以

25mm 锚杆加固,合理掺入乡土物种的喷播基材,喷播厚度为 8~12cm,养护时间不少于 45 天。施工后边坡植被覆盖率达到 85%,水土流失治理率大于 95%,很好地恢复了施工中产生的生态破坏,使工程安全、功能和生态效益达到统一^[5]。

4 结语

山区森林防火道路属于森林防灾减灾体系的基础性工程,施工质量关乎到森林火灾应急处置能力和山林生态安全。本文结合房山区森林防火二期工程实际,对山区复杂环境施工技术进行了系统的整合,采用精准测设、绿色开挖、畜力运输、智能控制、分级防护、质量复核和生态复绿等技术,解决了山区施工勘察难、运输难、安全控制难、边坡易失稳、路基易损坏、生态扰动大等问题。该技术体系经过工程实战的检验,施工效率和工程质量大大提高,安全风险和生态破坏大大降低,技术实用性、系统性、可复制性很强。对于不同地形地貌和森林防火要求的山区森林防火道路工程,可以根据项目的地形、生态、功能需求灵活借鉴本技术体系持续优化施工工艺与管控模式,不断提升山区防火基础设施建设标准化水平,充分发挥防火道路的应急保障功能,为森林生态资源安全提供坚实的工程支撑。

参考文献:

- [1] 李晓娟,朱甲昂,王磊,孟庆军,周丽丽.山区乡镇森林火源管控问题及对策研究[J].森林防火,2026,44(02):33-36.
- [2] 殷桥.南方丘陵地区森林防火精准治理实践——基于江苏省无锡市惠山区森林防灭火体系现代化的探索[J].中国减灾,2026,(03):39-40.
- [3] 许升.郴州山区森林防火智能监控系统构建与优化[J].农村科学实验,2025,(23):147-149.
- [4] 张伟.彭山区森林火灾风险评估方法和防火措施探讨[J].消防界(电子版),2025,11(06):10-12.
- [5] 夏炎,李明春.浅析山区森林防火工作存在的问题及对策[J].河南林业科技,2023,43(04):44-46.