

以水灭火技术在山区森林火灾扑救中的实践与改进

陈金龙

同心县中心林场 宁夏 吴忠 751300

摘要：近年来，全球气候变化加剧，极端天气事件频发，导致山区森林火灾呈现出火势迅猛、过火面积大、扑救难度高等新特点。传统的风力灭火、隔离带阻隔等方法在应对高强度、大面积山火时日益显现出局限性。在此背景下，以水灭火技术凭借其高效、安全、环保的优势，逐渐成为现代森林消防体系的核心手段。本文旨在系统梳理以水灭火技术在山区森林火灾扑救中的主要应用形式，深入剖析其在水源获取、装备性能、战术协同及后勤保障等方面面临的现实困境，并结合国内外先进经验与前沿科技发展趋势，从装备智能化、水源多元化、战术体系化及指挥精准化四个维度，提出针对性的改进路径与优化策略。研究表明，构建“空地一体、智能高效、多元协同”的现代化以水灭火体系，是提升我国山区森林火灾综合防控能力的关键所在。

关键词：以水灭火；山区森林火灾；消防装备；水源保障；战术协同；智能消防

引言

森林火灾作为最具破坏性的自然灾害之一，不仅造成巨大的生态损失和经济损失，更严重威胁人民生命财产安全。我国地形地貌复杂，山区面积广大，加之气候干燥、植被茂密，使得山区成为森林火灾的高发区。特别是进入21世纪以来，受全球变暖影响，我国西南、西北等地区的森林火险等级持续攀升，火灾发生的频率、强度和复杂性均显著增加。面对严峻的防火形势，传统的“打早、打小、打了”原则虽仍是基础，但在扑救已形成规模的高强度地表火、树冠火时，单纯依靠人力和简单工具已难以奏效。以水灭火，作为一种物理降温、隔绝氧气、稀释可燃物浓度的直接有效手段，其核心地位日益凸显。相较于化学灭火剂可能带来的环境污染，以及风力灭火对火场风向、风速的高度依赖，水作为一种天然、无害、高效的灭火介质，在山区复杂环境下展现出不可替代的优势。因此，系统研究以水灭火技术在山区的应用现状、瓶颈问题及未来发展方向，对于构建科学、高效的现代森林火灾扑救体系具有重大的理论价值和现实意义。

1 以水灭火技术在山区森林火灾扑救中的主要实践形式

在山区森林火灾扑救中，以水灭火并非单一的技术，而是一个涵盖多种装备、平台和战术的综合性体系。根据作业平台和应用场景的不同，主要可分为以下几种实践形式。

1.1 地面以水灭火装备的应用

地面装备是扑火队伍最直接、最常用的作战单元，主要包括：（1）便携式高压细水雾灭火机：这是单兵

或小组作战的核心装备。它通过高压泵将水雾化成微米级的颗粒，极大地增加了水与火焰的接触面积，从而实现快速吸热降温、窒息灭火的效果。其优势在于重量轻、机动性强、耗水量少，特别适用于扑打初发火、清理火线余火以及在陡峭、狭窄的山路上进行精确打击。在扑救灌木丛火、草地火等低强度火时效果尤为显著。

（2）车载/履带式森林消防水泵：这类装备通常部署在靠近火场边缘的公路或简易道路上。它们拥有更大的功率和流量，能够建立较长距离的输水干线，为前线多个灭火点提供持续稳定的水源。通过铺设水带，可以形成一条或多条“水龙”，对火头进行强力压制，或对重点保护目标（如村庄、油库、通信设施）进行冷却防护。在扑救中强度地表火时，其持续作战能力远超便携式装备。（3）远程供水系统：针对远离水源的大型火场，远程供水系统通过多台接力泵和长距离水带（可达数公里），将水源（如河流、湖泊、水库）的水输送到火场前线。这套系统是支撑大规模、长时间灭火作战的“生命线”，解决了山区“有装备无水用”的核心难题。

1.2 空中以水灭火力量的协同

航空消防是突破山区地形限制、实现快速响应和全域覆盖的关键力量。（1）直升机吊桶灭火：这是目前我国应用最广泛的航空灭火方式。直升机携带一个可开合的吊桶（容量通常为1-5吨），从就近水源取水后，飞临火场上空精准投掷。其优势在于机动灵活、反应迅速，尤其适用于扑打火头、开辟隔离带前的预湿作业以及扑灭人力难以到达的悬崖、深谷火点。一次精准的吊桶洒水，往往能有效遏制火势蔓延，为地面队伍创造有利战机^[1]。（2）固定翼飞机洒水/投掷阻燃剂：大型固定翼飞

机（如运-12、AG600等）载水量巨大（可达10-20吨），飞行速度快，适合对大面积、高强度火场进行覆盖式压制。虽然其灵活性不如直升机，但在应对突发性、爆发性大火时，其强大的“火力”输出是地面力量无法比拟的。此外，部分飞机还可混合投放长效阻燃剂，形成化学隔离带，增强灭火效果。

1.3 固定/半固定水源设施的建设

为了提升“以水快灭”的能力，许多重点林区开始规划建设固定的水源保障网络。（1）蓄水池/消防水鹤：在林区道路沿线、重点防火区域附近，修建永久性或季节性的蓄水池，并配套消防水鹤。一旦发生火灾，消防车辆可快速取水，大大缩短了水源准备时间。（2）林区管网系统：在条件允许的区域，铺设地下或地表消防管网，将水源与关键节点连接起来，形成类似城市消防的“毛细血管”网络，实现水源的快速、精准调度。

2 山区以水灭火技术面临的主要困境与挑战

尽管以水灭火技术优势明显，但在复杂的山区环境中，其效能的发挥受到诸多因素的制约。

2.1 水源获取困难，保障体系脆弱

这是山区以水灭火面临的首要难题。山区往往远离大型水体，天然水源（溪流、水塘）分布不均且水量不稳定，旱季时极易干涸。即便找到水源，也可能因地形落差大、水质浑浊（含沙量高）而无法直接用于精密的消防水泵。临时寻找、净化、输送水源的过程耗时耗力，极易贻误最佳扑救时机。现有的远程供水系统虽然有效，但铺设数千米水带需要大量人力，且在复杂地形下易被岩石、树根划破，维护成本高。

2.2 装备性能与地形环境不匹配

一是机动性不足：山区道路崎岖狭窄，甚至无路可走。重型消防车难以抵达火场核心区，只能在边缘地带作业，限制了其作用发挥。现有的便携式装备虽然轻便，但续航能力和水压稳定性仍有待提高。二是适应性不强：高海拔地区空气稀薄，导致内燃机动力下降，水泵出力不足；低温环境下，设备易冻损，水带易结冰脆裂。现有装备在极端环境下的可靠性和耐用性面临考验。

2.3 空地协同效率有待提升

目前，我国航空消防力量相对薄弱，直升机数量有限，且受气象条件（如大风、低能见度）影响较大。更重要的是，空地之间缺乏高效的协同机制。地面指挥员难以实时、精确地为空中力量指示目标，而飞行员也难以全面掌握地面火情和人员分布，导致洒水精度不高，有时甚至出现“洒不到点上”或误伤地面人员的情况^[2]。信息壁垒严重制约了“1+1>2”的协同效应。

2.4 战术运用缺乏体系化指导

在实际扑救中，存在“重装备、轻战术”的倾向。如何根据火场类型（地表火、树冠火、地下火）、地形坡度、风向风速等因素，科学组合使用不同类型的以水灭火装备，形成最优的战术编组，尚缺乏系统化的理论指导和标准化的操作流程。例如，在扑打高强度树冠火时，是优先使用直升机压制火头，还是先由地面水泵冷却下层植被？这些问题的答案往往依赖于指挥员的个人经验，而非科学的决策模型。

3 以水灭火技术的改进路径与优化策略

针对上述困境，应从装备、水源、战术、指挥四个层面入手，推动以水灭火技术向更高效、更智能、更协同的方向发展。

3.1 推动装备智能化与轻量化升级

应加快装备体系的智能化与轻量化转型。首先，研发新一代智能消防装备。依托物联网（IoT）与人工智能（AI）技术，开发具备自诊断、自调节功能的智能水泵系统。例如，水泵可实时感知水压、流量、发动机温度等参数，自动调整转速以实现最优能效比；内置水质传感器可识别泥沙、杂质含量，联动过滤装置进行预处理，延长设备寿命。同时，为一线指战员配备AR（增强现实）眼镜，将火场热力图、队友位置、水源分布、风向风速等关键信息叠加至视野中，实现“所见即所知”，显著提升态势感知与决策效率。其次，发展新能源与轻量化装备。针对高原、山地等特殊环境，探索电动或氢能驱动的消防水泵及运输车辆，不仅可规避燃油机在低氧环境下的动力衰减问题，还能大幅降低噪音，减少对野生动物的干扰。结构上，广泛采用碳纤维、镁铝合金、高强度工程塑料等轻质复合材料，在保证强度的前提下减轻整机重量30%以上，提升单兵携行能力与复杂地形通过性，尤其适用于无路可通的陡峭林区。

3.2 构建多元化、立体化的水源保障网络

必须打破对固定水源的依赖，构建覆盖全域、动态响应的水源保障体系。一方面，推广“移动水囊”与“人工增雨”技术。在偏远林区或火险高发区，预先部署可折叠、易空投的大型柔性水囊（如5-10吨容量），作为临时中转蓄水点，配合便携泵实现“接力供水”。同时，加强与气象部门联动，在火险等级升高或火灾初发阶段，科学实施人工增雨作业，既可提前增加林区湿度、降低可燃物含水率，又可在灭火关键期提供天然降水补充，形成“天—地”协同的水源补充机制^[3]。另一方面，建设智慧水源地图。利用无人机航拍、激光雷达（LiDAR）与GIS技术，对林区所有潜在水源（包括溪

流、池塘、季节性积水洼地、废弃矿坑等)进行全面普查、精准定位与可用性评估,建立动态更新的“智慧水源电子地图”。该地图接入指挥平台后,可在火灾发生时自动计算最优取水点,并结合地形坡度、植被覆盖、道路通达性等因素,智能规划输水路径,极大缩短供水准备时间。

3.3 构建体系化、标准化的灭火战术

推动战术体系化、模块化、标准化。首先,制定《山区以水灭火战术手册》。组织森林消防专家、一线指挥员与科研机构,基于大量实战案例,提炼适用于不同火场类型(如地表火、树冠火、地下火)、不同地形条件(如陡坡、峡谷、林缘交错带)的标准化战术模板。例如,“直升机先行压制火头—地面水泵梯队跟进清理余火”、“远程高压供水干线支撑—多点细水雾精确打击火点”等组合战术,通过常态化演练与考核,确保各级指战员“心中有图、手中有法”。其次,强化“以水开设隔离带”理念。传统隔离带依赖砍伐或火烧,生态破坏大且效果不稳定。应大力推广“湿隔离带”战术:在计划烧除或机械开设前,先用水泵对目标区域进行充分喷洒预湿,使可燃物含水率大幅提升,形成一道“不可燃屏障”。该方法不仅阻火效果更可靠,还能显著减少烟尘排放与土壤扰动,契合生态文明建设要求。

3.4 打造精准化、一体化的智能指挥平台

一是建设“空天地”一体化指挥系统。整合卫星遥感(宏观火情监测)、无人机集群(中观火场侦察)、地面传感器网络(微观温湿度、气体浓度)及单兵终端(位置、状态反馈)等多源数据,构建火场三维数字孪生模型。系统可自动标绘火线蔓延方向、危险热点、水源点位、兵力部署等要素,并基于AI算法预测火势发展趋势,为指挥员提供“秒级响应”的决策支持。二是

实现空地协同的“一键呼叫”机制^[4]。在指挥平台中嵌入“航空支援”功能模块。当地面分队发现需空中洒水压制的目标区域时,只需在电子地图上框选范围并点击“请求支援”,系统即自动将目标坐标、海拔、风速、火场热辐射强度等参数打包推送至待命直升机或固定翼飞机。飞行员据此执行精准洒水,误差控制在10米以内,真正实现“所见即所得、所呼即所应”的高效空地协同。

4 结语

以水灭火技术是应对现代山区森林火灾挑战的核心利器。其价值不仅在于水的物理灭火效能,更在于它代表了一种从“人海战术”向“科技制胜”转型的现代消防理念。当前,我国在以水灭火的装备列装和力量建设上已取得长足进步,但在水源保障的韧性、装备性能的适应性、战术运用的科学性以及指挥协同的精准性等方面,仍有巨大的提升空间。未来的改进方向,必须牢牢把握“智能化、体系化、协同化”三大核心。通过科技创新赋能装备,使其更聪明、更强悍;通过系统规划织密水源网络,使其更可靠、更便捷;通过理论研究固化战术战法,使其更标准、更高效;通过数据融合打通信息壁垒,使其指挥更精准、协同更无缝。

参考文献

- [1]李伟,刘平.“以水灭火”技术在富源森林消防中的实践应用与优化路径[J].湖北应急管理,2025,(16):40-43.
- [2]张明振,张明蕊.新形势下以水灭火技战术在森林火灾扑救中的应用[J].林业机械与木工设备,2025,53(07):21-25.
- [3]韩佳诺.森林草原防灭火,如何发力“以水灭火”? [N].新华每日电讯,2024-11-05(002).
- [4]李亮,刘义全,谭永仓,等.森林火灾以水灭火战例启示[J].今日消防,2023,8(01):7-9+15.