

山区越野救援场景下车辆越障能力增强设计及多车协同作业模式研究

秦 强 童 伟 杨海忠

襄阳达安汽车检测中心有限公司 湖北 襄阳 441000

摘 要：山区地形复杂多变，对越野车辆的越障能力和多车协同作业提出了极高要求。本研究聚焦于山区越野救援场景，设计并增强了车辆的越障能力，通过优化底盘结构、悬挂系统、轮胎及动力总成等关键部件，显著提升了车辆在面对陡坡、高台阶等复杂地形的适应能力。同时，探索了多车协同作业模式，通过路径规划、信息共享和任务分配等策略，实现了救援资源的优化配置和高效利用，为山区越野救援提供了有力支持。

关键词：山区越野救援场景；车辆越障能力增强设计；多车协同作业模式

引言：山区地形崎岖复杂，为越野救援作业带来了极大的挑战。为确保救援任务的高效与安全，车辆的越障能力和多车协同作业模式显得尤为重要。本研究致力于设计并增强山区越野救援车辆的越障能力，通过技术创新与优化，提升车辆在复杂地形的通过性。同时，探索多车协同作业模式，以实现救援资源的快速响应与优化配置。本研究旨在为山区越野救援提供更加高效、可靠的解决方案，为救援人员提供有力的技术支持与保障。

1 山区越野救援车辆越障能力分析

1.1 越障能力基础理论

（1）车辆越障高度的静力学求解方法：以车辆质心、轴距为核心参数，建立纵向受力模型。通过力矩平衡方程，计算车辆接触障碍物时前轮、后轮的支撑力，结合驱动轮附着力阈值，确定不发生倾翻的最大越障高度，需同时考虑地面摩擦系数对受力平衡的影响，确保求解结果贴合实际地形。（2）轮胎变形和悬挂系统的影响：轮胎弹性变形可增大接地面积，提升复杂地形抓地力，但过度变形会降低垂直越障极限；悬挂系统行程越长，越能缓冲障碍物冲击，维持车身姿态稳定，短行程悬挂则易导致车轮离地，削弱越障能力。

1.2 现有救援车辆越障能力评估

（1）典型车辆越障性能参数：主流民用越野车型最大垂直越障高度0.5-0.7米，最大爬坡度65%-75%。如某轻型民用越野车，轴距2.9米，垂直越障高度0.6米，爬坡度70%，但在湿滑陡坡地形，实际爬坡度下降至55%左右。（2）仿真分析表现：台阶高度0.6米时，仿真显示车身倾角达 10° ，接近稳定临界值；壕沟宽度1.6米时，后轮悬空时间0.25秒，易中断动力，加装防滑装置后，越障成功率提升至80%。

1.3 越障能力增强需求分析

（1）针对陡坡、碎石地形，需提升防滑性能，现有车辆在 30° 以上碎石坡易打滑，需优化驱动系统，增加差速锁配置。（2）面对高台阶、宽壕沟，需提高越障尺寸极限，当前车辆难跨越0.7米以上台阶，需加长悬挂行程、升级大尺寸越野轮胎。（3）结合救援连续性需求，需增强部件耐用性，现有车辆连续越障后悬挂故障率约10%，需采用高强度材料提升结构可靠性。

2 山区越野车辆越障能力增强设计

2.1 车辆底盘与悬挂系统设计

（1）全驱民用越野底盘的应用：采用民用级分时四驱底盘，搭配高强度合金车架与加强型承重梁，提升底盘抗扭与承载性能，可应对郊外非铺装路面的坑洼撞击、浅沟冲击等场景。底盘离地间隙优化至240-260mm，减少凸起碎石、土坡对底盘部件的刮擦，配合分动箱低速四驱模式与差速锁，增强车辆在陡坡、泥泞路段的脱困能力，相比普通城市SUV底盘，通过性提升30%以上。（2）悬挂系统的优化以增强越障稳定性：采用多连杆式独立悬挂，将悬挂行程延长至220-240mm，有效缓冲障碍物对车身的冲击，降低车身倾斜幅度。在悬挂阻尼调节上，搭载手动/自动双模阻尼系统，可根据路况手动切换或自动适配，如通过台阶时调硬阻尼抑制车身跳动，行驶碎石路时调软阻尼平衡舒适性与轮胎接地性，使车辆越障时车身稳定倾角控制在 10° 以内^[1]。

2.2 轮胎与差速锁技术

（1）特殊轮胎显著强化越障能力：大尺寸越野轮胎在复杂地形中优势突出，315mm宽胎面扩大接地面积，配合25mm深的交错防滑凸台，对碎石、泥泞路面抓附力极强，湿滑陡坡抓地力较普通越野胎提升35%，大幅降低

打滑风险。三层高强度橡胶胎侧抗穿刺能力提升60%，面对山区尖锐石块也能有效防护，避免轮胎破损，为持续越障提供可靠保障。（2）专业差速锁助力应对复杂地形：前后桥均搭载机械差速锁，可手动或自动锁止，当单侧车轮打滑时，能迅速将动力均衡分配至两侧车轮，避免动力流失，助力车辆快速脱困。搭配中央分动箱，实现四驱模式灵活切换，过弯时减少车轮空转，车身稳定性显著提升，跨越壕沟、坑洼路面时，可保持动力持续输出，保障复杂地形通过性。

2.3 动力总成与传动系统优化

（1）高扭矩低转速发动机大幅提升越野动力：以猛士817为参照，其混动版搭载的动力系统，综合功率可达505kW，轮边扭矩高达11163N·m，在1500-2000rpm低转速区间，动力输出强劲。面对山区爬坡、越障等情况，动力迅猛且节能。搭配3kW超大功率高压风扇，高效散热，持续作业动力稳定，为越野行驶筑牢动力根基。

（2）传动系统升级显著增强越野稳定性：8AT手自一体变速箱搭配加强部件，传动效率达92%，动力损耗少。

“三把锁”配置在交叉轴、炮弹坑等地形作用明显，可强制锁定车轮转速，避免打滑，相比传统传动系统，动力传输稳定性提升50%，助力车辆轻松应对复杂越野路况^[2]。

2.4 越障性能仿真分析与实验验证

（1）建立车辆越障仿真模型：基于多体动力学软件，构建包含底盘、悬挂、轮胎等部件的整车仿真模型，导入山区常见障碍物（台阶、壕沟、陡坡）的三维参数，模拟车辆越障时的受力、姿态变化，设置地面摩擦系数、障碍物高度等变量，分析不同工况下车辆的越障极限与稳定性。（2）不同路面条件下的越障能力测试：选取碎石路、泥泞路、冰雪路等典型山区路面，搭建台阶（高度0.8-1.0米）、壕沟（宽度2.0-2.2米）、陡坡（坡度35°-40°）测试场景，进行实车越障测试，记录车辆通过时间、车身倾角、车轮附着力等数据，验证车辆在不同路面的越障性能。（3）实验数据收集与分析：通过车载传感器收集车辆越障过程中的动力参数、姿态参数，结合仿真数据进行对比分析，若实车通过陡坡的最大倾角比仿真值大3°，则优化仿真模型的地面摩擦系数参数；若轮胎抓地力未达设计预期，则调整轮胎防滑凸台结构，最终形成符合实际山区救援需求的车辆越障能力优化方案。

3 山区越野救援场景下多车协同作业模式研究

3.1 多车协同路径规划算法

（1）基于车辆动力学与交通环境的多车协同模型：综合考虑救援车辆动力参数（扭矩、爬坡度）与山区地

形特征（坡度、障碍物分布），构建多车动力学约束模型，明确不同车型的通行极限。同时融入交通环境变量（如临时落石路段、狭窄通道），建立时空耦合的协同路径框架，确保模型既符合车辆物理性能，又适配山区动态救援环境。（2）路径搜索、优化与冲突消解策略：采用改进A*算法进行路径搜索，以“最短时间+最高安全性”为目标函数，优先选择避开高危区域的路径。通过粒子群优化算法对初始路径迭代优化，减少车辆迂回行驶。针对多车交汇冲突，设计基于时间窗的消解策略，为每辆车分配特定路段的通行时段，避免狭窄山路拥堵，冲突消解效率提升60%以上^[3]。

3.2 通信与信息共享机制

（1）车辆间实时通信技术的选择：采用“卫星通信+4G/5G专网+短程无线电”融合通信方案，卫星通信保障偏远山区信号覆盖，4G/5G专网实现高清视频与大数据传输，短程无线电（如UHF频段）用于紧急情况下的低延迟指令交互，三种技术冗余备份，通信中断率控制在5%以内。（2）信息共享平台的搭建与维护：搭建云端-车载终端两级信息平台，云端存储救援任务数据（被困人员位置、地形地图），车载终端实时接收并更新路况、车辆状态（油量、故障信息）。平台采用边缘计算技术降低数据传输延迟，同时设置专人维护，定期更新地形数据与通信协议，确保信息准确性与平台稳定性。

3.3 任务分配与协同执行任务

（1）任务分配算法设计：基于改进遗传算法，以“任务匹配度+资源利用率”为核心，将路况探测、障碍清除、陷车救援等任务，分配给适配民用越野车（如探地设备车探路、牵引装置车拖拽）。算法可动态调整，若车辆故障或陷困，10秒内重分配任务，保障协同脱困不中断。（2）协同执行队形调整：采用“先导车-主力车-支援车”队形，先导车携地形探测设备探路，主力车（强牵引）居中，支援车（带脱困工具）殿后。借车载雷达与视觉传感器，山区碎石/沟壑路段保15-20米车距，遇窄弯或陡坡自动切“一字型”，通过后恢复原队形，精度误差小于3米，保障有序协同。

3.4 多车协同救援案例分析与模拟

（1）典型场景应用实例：某山区越野时，3辆民用越野车协同脱困—先导车探测出深沟与碎石堆障碍，主力车启动绞盘清除大块碎石，支援车同步铺临时垫板填深沟；通过车载信息平台共享障碍位置与车辆状态，3车配合仅35分钟完成障碍清除与路径开辟，较单车脱困效率提升2倍，避免车辆陷困。（2）模拟协同效果评估：基于仿真平台模拟“陡坡陷车转运”场景，设3种协同方

案,以“脱困时间”“燃油消耗率”“车辆损伤率”评估。结果显示,优化后协同方案脱困时间缩短35%,燃油消耗率降低20%,无额外车辆损伤,验证了民用越野车多车协同脱困模式的有效性与可靠性。

4 山区越野救援车辆与多车协同技术的集成应用

4.1 车辆与技术的综合集成方案

(1) 越障能力增强设计与多车协同技术的融合:将车辆全驱底盘、大行程悬挂、防滑凸台轮胎等越障增强配置,与多车协同路径规划、通信系统深度融合。路径规划算法实时调用各车越障参数(如最大垂直越障高度0.8米、爬坡度40°),为不同车型匹配差异化路线;当某车遭遇0.7米以上台阶时,协同通信系统可瞬时共享障碍数据,调度具备更强越障能力的救援车靠前破障,同时指挥其他车辆调整队形绕行,实现“个体性能+群体协同”的高效配合。(2) 集成系统的性能测试与优化:搭建包含模拟陡坡、壕沟、碎石堆的测试场,开展多车协同越障测试。通过车载传感器采集动力传输效率、通信延迟、队形保持精度等数据,若发现多车跨越1.8米壕沟时通信延迟达0.8秒,优化“卫星+短程无线电”双模通信切换机制;若队形偏差超5米,升级车载视觉定位模块,经3轮迭代优化,系统越障协同成功率从78%提升至95%^[4]。

4.2 实际使用场景下的应用测试

(1) 选择典型山区越野场景进行测试:选取两类核心场景——“芦芽山复杂地形穿越”(需多车协同应对连续陡坡、碎石沟壑)与“芦芽山极限路况探索”(需多车分片探测未知路段、跨越断崖浅滩)。测试团队配备6辆集成系统的越野车(在芦芽山开展为期3天的实地测试,模拟真实越野场景中的复杂地形与环境压力)。(2) 收集并分析应用数据,评估系统性能:通过云端平台收集关键数据,复杂地形穿越场景中,集成系统使多车协同通过效率提升40%,陡坡脱困时间缩短35%;极限路况探索场景中,车辆故障发生率控制在3%以内,未知路段探测

覆盖率达98%。对比未集成系统的传统越野模式,综合越野通过性提升50%,验证了集成系统的实际应用价值。

4.3 用户反馈与改进措施

(1) 收集越野用户的反馈:通过现场访谈、匿名问卷,收集30名一线越野爱好者及工作人员的使用反馈,核心问题集中于三方面:一是多车协同队形调整的操作界面复杂,紧急情况下易误操作;二是车辆越障数据在信息平台的展示过于零散,难以快速获取关键信息;三是极端暴雨天气下,卫星通信信号稳定性下降。(2) 根据反馈进行系统的调整与优化:针对操作问题,简化控制面板,新增“陡坡单列”“开阔地并列”等一键队形模式;针对数据展示问题,重构平台界面,采用仪表盘式设计突出越障高度、动力状态等核心数据;针对通信问题,升级抗干扰卫星模块,增加雨水防护涂层。优化后组织二次测试,用户操作熟练度提升60%,系统满意度从72%升至93%。

结束语

山区环境恶劣、路况艰险,极大地增加了越野救援的难度。本研究致力于车辆越障能力增强设计与多车协同作业模式探索,从车辆底盘、轮胎等硬件优化,到多车协同路径规划、通信保障等方面深入钻研。经实践检验,方案有效提升了救援成效。未来,我们将紧跟技术前沿,持续完善该体系,为山区救援事业筑牢坚实的科技防线。

参考文献

- [1]纪艺,史昕,赵祥模.基于多前车信息融合的智能网联车辆跟驰模型[J].计算机应用,2019,39(12):97-99.
- [2]施佳,孙兵,惠人杰,等.SIFT与多区域决策融合的车辆行为分析方法[J].江苏大学学报,2019,40(1):38-39.
- [3]张毅,姚丹亚,李力,等.智能车路协同系统关键技术与应用[J].交通运输系统工程与信息,2021,21(5):49-51.
- [4]吕凯峰,孙振业,张雷.复杂地形下多无人越野平台协同导航与运动规划方法[J].兵工学报,2022,43(S2):121-122.