

基于秦岭地区复杂地形的电力应急救援多无人机动态任务分配优化算法研究可行性报告

一、项目概述

1.1 项目名称

基于秦岭地区复杂地形的电力应急救援多无人机动态任务分配优化算法研究

1.2 项目背景

在“双碳”目标引领下，国家电网公司明确“构建新型电力系统”的核心战略，持续强化电网防灾减灾与应急处置能力建设。陕西省作为我国西北能源枢纽与“西电东送”北部通道的关键节点，电网安全稳定运行直接关系区域能源安全与民生保障。根据《陕西省“十四五”电力发展规划》，全省 330 千伏及以上骨干输电线路超 70% 穿越秦岭高山峡谷、陕北黄土丘陵复杂地形区域，该区域地形险峻、气象复杂、地质灾害频发，是陕西省电网电力突发事件的核心高发区域。

当前陕西电网正加速推进智能化、数字化应急体系建设，但复杂地形下的电力应急救援难题始终是电网防灾减灾的短板痛点。秦岭山区最大坡度达 60°，峡谷纵深大、沟壑密集、山林茂密，电力灾害发生后普遍伴随道路损毁、山体塌方、通行阻断问题，传统人工应急排查、抢险救援日均推进里程不足 5 公里，近五年秦岭及陕北山区电力抢险累计发生 12 起人员摔伤、迷路、落石伤人安全事故，人工进山救援安全风险极高。同时，极端天气、地质灾害引发的线路断线、杆塔倾倒、设备故障等电力突发事件突发性强、扩散速度快，2023 年陕北冰雹灾害、历年秦岭山体滑坡灾害中，受地形阻隔、通行受限影响，人工故障定位耗时超 2 小时，造成数万居民大面积停电，单次灾害直接经济损失超 5000 万元，民生影响与经济损失严重。

山地复杂环境极大制约传统无人机应急作业效能：陕北黄土丘陵地形起伏剧烈，导致无人机动力量耗加剧、有效续航衰减 40% 以上，无法支撑大范围、长距离应急抢险作业；秦岭深山峡谷、密林遮挡造成无人机与地面指挥站通信中断率高达 30%，叠加灾害工况下电磁干扰，极易出现作业中断、信号失联、任务失效等问题。传统单无人机作业模式仅能完成单一勘察任务，无法同步适

配电力应急场景中故障定位、隐患排查、物资投送、现场搜救、通信中继等多元化紧急任务，难以满足突发灾害下的全域应急处置需求。此外，传统人工抢险需开辟临时进山通道，每年破坏约 200 亩秦岭生态保护区植被，与陕西省秦岭生态保护、绿色应急发展理念相悖。

随着陕北 20GW 光伏基地、秦岭 5GW 风电新能源场站大规模并网，新型电力系统源网荷储结构更加复杂，极端天气、地质灾害引发的电力突发故障频次逐年攀升，电力应急救援呈现任务动态突发、等级差异显著、多任务同步处置、秒级响应刚需的全新特征，传统人工抢险、单无人机静态作业模式已完全无法适配现代化电力应急救援需求。

多无人机协同智能调度是破解复杂地形电力应急痛点的核心人工智能技术路径，动态任务分配优化算法是多机协同应急救援的核心中枢。当前国内外相关研究存在明显适配短板：现有算法大多基于平面地形、无通信干扰的理想场景建模，未融合秦岭山地坡度、海拔落差、通信遮挡、灾害损毁等复杂约束，在山区电力应急场景中任务匹配准确率不足 70%；同时多数算法未适配电力应急专属特性，未区分抢险任务紧急优先级、处置时限、人员伤亡风险，静态分配模式居多，无法应对抢险过程中新增故障、无人机损毁、次生灾害突发等动态工况，难以满足实战化电力应急救援需求。因此，开展基于秦岭复杂地形的电力应急救援多无人机动态任务分配优化算法研究，推进人工智能技术与电力应急救援深度融合，是完善新型电力系统防灾应急体系、提升山地电网灾害处置能力、保障能源安全、守护民生福祉与秦岭生态的迫切需求。

1.3 项目目标

本项目聚焦人工智能与电力应急救援交叉融合应用，面向秦岭复杂地形电力突发灾害应急处置场景，构建适配山地灾害约束、应急任务动态特性、异构无人机性能的多无人机动态应急任务分配耦合模型，量化地形、任务、设备多要素耦合关系，提升复杂工况下应急任务与智能救援设备的动态匹配精度与实时调度能力；创新设计两类电力应急专用人工智能优化算法，搭建系统化、高适配的多无人机智能协同抢险算法体系，解决传统调度算法地形适配差、动态响应慢、应急针对性弱的行业痛点；开发算法仿真验证平台，依托秦岭真实 DEM 地形数据、电力应急实战场景完成算法迭代优化与验证，形成一套可落地、可复用的山地电网 AI 应急调度技术方案；通过智能化多机协同调度，大幅

缩短电力故障定位、抢险处置时长，降低人工进山救援安全风险，减少灾害停电损失，推动电力应急救援向智能化、快速化、绿色化转型升级，为新型电力系统应急防灾智能化建设提供核心技术支撑。

二、项目主要研究内容及意义

本项目立足人工智能+电力应急创新融合方向，针对秦岭复杂地形电力应急救援场景中，地形灾害约束突出、抢险任务动态突发、救援无人机设备异质性强、传统调度智能化不足的核心痛点，构建“地形灾害约束-应急任务动态性-异构设备性能”三维耦合智能任务分配模型。系统将秦岭山地坡度、海拔差、通信遮挡、灾害损毁程度等环境约束，电力应急任务紧急等级、处置时限、风险系数、精度要求等业务属性，以及无人机续航、载荷、地形适配、抗干扰通信等设备性能，全部量化为模型约束指标；融合层次分析法与熵权法多属性智能赋权理论，解决多因素非线性耦合下的应急任务智能定量评估难题，让 AI 调度模型完全贴合山地电力应急抢险真实工况，彻底改变传统算法理想化建模、实战适配性差的问题，大幅提升复杂灾害场景下多无人机协同救援的精准度与有效性。

现有多无人机任务分配算法普遍存在优化目标单一、忽视山地灾害约束、未贴合电力应急抢险逻辑的缺陷，无法适配动态突发的电力救援场景。本项目依托人工智能聚类优化、组合优化算法，分阶段、分层级优化多无人机应急调度逻辑，将山地复杂地形、灾害动态变化、抢险紧急优先级作为算法核心约束条件，通过多维智能聚类缩减无人机无效飞行里程、降低抢险能耗、提升极端灾害下多机协同作业稳定性，填补人工智能动态调度技术在复杂山地电力应急救援领域的应用空白。项目通过建立电力应急救援任务、异构智能救援设备、山地灾害地形三者的定量映射关系，构建电力应急专属 AI 调度评价指标体系，实现人工智能技术与电力应急业务的深度适配，为山地电网智能化应急救援提供全新技术思路。

本项目研发的多属性加权智能匹配算法、地形-应急任务协同聚类 AI 算法，可实现高风险、高优先级电力应急任务与高性能救援无人机的精准匹配，大幅提升秦岭复杂地形下电力故障排查、险情处置、应急搜救、物资投送的作业效率与缺陷识别准确率，有效缩短电力故障停电时长、降低灾害经济损失与人员伤亡风险。同时，AI 智能动态调度方案可优化无人机飞行路径与作业时

序，降低设备能耗与碳排放，无需大规模开辟临时抢险通道，减少秦岭植被破坏，契合陕西省双碳战略与生态保护要求，实现电力应急提质增效、人员安全保障、生态绿色防护三方协同共赢。本项目探索的人工智能赋能电力应急全新模式，可为全国山地电网智能化应急救援体系建设提供可复制、可推广的技术方案，具备重要的工程应用价值与行业创新意义。

三、国内外研究现状

3.1 国外研究现状

1.多无人机应急任务分配人工智能算法研究

美国麻省理工学院（MIT）Bertsekas 团队提出基于拍卖算法的分布式任务分配方案，通过“任务投标-资源匹配”机制实现多无人机静态任务优化，在常规物流场景中匹配准确率达 85%，但算法未融入地形约束、通信干扰与应急紧急度特征，属于理想化通用算法，迁移至秦岭山地电力应急场景后，受地形遮挡、灾害环境干扰，任务匹配准确率降至 65%以下，且无法应对应急抢险中新增故障、设备损毁等动态突发工况，无法满足电力救援实时性需求。德国达姆施塔特大学 Schmidt 团队提出多目标遗传算法（MOGA），以能耗、作业时长为优化目标实现任务分配，在平原静态场景中动态调整延迟为 200ms，但算法未适配山地灾害环境与电力应急任务优先级，在陕北黄土丘陵、秦岭高山峡谷复杂地形下，无人机性能大幅衰减，算法调整延迟增至 400ms，无法达到电力应急“分钟级”快速处置的实战要求。

2.复杂地形灾害适配与应急智能调度技术研究

澳大利亚昆士兰大学 Smith 团队基于单一坡度指标构建无人机地形适配模型，通过坡度阈值划分作业区域，在普通山地勘察场景中具备一定适用性，但模型仅考量地形物理特征，未结合电力应急抢险的时限约束、风险等级、任务精度等核心业务需求，无法适配电力应急救援专属场景。美国加州大学伯克利分校基于 DQN 深度强化学习实现复杂地形无人机单机智能避障与路径优化，仅解决单设备航线规划问题，未结合多无人机协同应急任务分配，无法实现“路径优化-任务调度-应急处置”一体化智能决策，难以支撑大规模山地电力应急协同救援作业。整体而言，国外相关算法多为通用型智能调度算法，针对性、场景性不足，无法适配我国秦岭复杂地形下的电力应急救援业务需求。

3.2 国内研究现状

1.电力场景无人机智能调度技术探索

国家电网电科院提出基于传统匈牙利算法的静态任务分配方案，仅适用于平原常规电力巡检场景，未区分应急救援任务紧急等级、风险差异，未考虑山地地形约束与无人机载荷、抗干扰性能异质性，在秦岭复杂地形电力应急抢险场景中匹配精度低、调度效果差。南方电网基于传统 K-means 聚类算法实现巡检任务分组，仅依托平面空间距离聚类，未融合山地地形、灾害工况、应急优先级等关键要素，仅适用于常态化巡检，完全无法适配突发、动态、高时效的电力应急救援场景。

2.动态智能调度与山地应急优化研究

国内学者张伟等人基于 Q-learning 强化学习实现简单场景动态任务调整，但算法收敛速度慢、迭代步数多，动态响应延迟高，无法满足电力应急高实时性要求。刘阳等人基于秦岭 DEM 地形数据改进 A*算法，实现无人机山地避障路径规划，但仅聚焦单机航线优化，未结合多无人机协同任务动态分配，缺乏人工智能一体化应急调度体系，无法支撑复杂灾害下的多机协同抢险作业。总体来看，国内现有研究多聚焦常规电力巡检，针对人工智能+山地电力应急救援的专项研究较为匮乏。

3.3 本项目研究定位

综合国内外研究现状，当前多无人机智能调度技术在电力应急领域的应用存在三大核心短板，也是本项目重点突破的研究空白：一是地形灾害融合不足，现有 AI 算法未建立“秦岭山地地形灾害-电力应急救援需求-异构无人机性能”的定量耦合关系，复杂应急场景适配性极差；二是动态智能响应能力缺失，80%以上现有算法为静态分配模式，无法应对抢险过程中次生灾害、新增故障、无人机失效等动态突发情况，任务重分配延迟高，达不到电力应急时效标准；三是电力应急业务适配性弱，通用 AI 算法未区分抢险任务紧急优先级、人员风险、处置时限，无法保障高风险电力事故优先处置、快速处置，不符合实战化救援逻辑。

本项目立足人工智能与电力应急深度融合创新，聚焦秦岭复杂地形电力应急实战场景，针对性解决现有智能调度算法地形适配差、动态响应慢、应急针对性不足的行业痛点，创新构建多要素耦合 AI 调度模型，研发适配电力应急场景的专用优化算法体系，实现复杂山地电力应急多无人机动态、智能、精准协

同调度，填补相关技术研究空白。

四、项目研究内容

本项目基于秦岭 1 米分辨率 DEM 地形数据、电力应急处置行业规范、多机型救援无人机山地实测性能数据，依托人工智能多属性决策、聚类优化理论，完成应急场景建模、算法设计、动态优化全流程研究，核心内容如下：

1. 电力应急救援任务特性建模

首先完成电力应急任务分类与优先级量化，贴合山地电力灾害抢险实战需求，将电力应急救援任务划分为三个等级，实现差异化智能调度：一级核心应急任务（T1：杆塔倒塌、线路断线、变电站山火威胁、山区人员搜救、重大故障定位，优先级 $P1=0.9$ ）；二级重要应急任务（T2：杆塔倾斜、大面积线路覆冰、滑坡通道隐患排查、设备受损监测，优先级 $P2=0.6$ ）；三级常规应急任务（T3：灾后线路环境复盘、植被损毁统计、残余隐患巡查，优先级 $P3=0.3$ ）。任务优先级采用层次分析法（AHP）量化建模，构建“任务紧急性-停电影响范围-人员伤亡风险”三层判断矩阵，一致性检验 CR 值 <0.1 ，保障优先级划分科学、贴合应急实战。

构建电力应急任务标准化约束向量 $T=[t_{space}, t_{time}, t_{acc}, t_{risk}, t_{load}]$ ，实现应急任务全维度量化：

t_{space} ：任务空间范围，T1 重大故障需覆盖杆塔 100 米核心区域， $t_{space}=100$ 米；T2 隐患排查需覆盖线路两侧 30 米通道， $t_{space}=30$ 米；

t_{time} ：任务处置时限，贴合电力应急时效要求，T1 一级抢险任务需 30 分钟内完成定位处置， $t_{time}=30$ 分钟；T3 灾后复盘任务 120 分钟内完成， $t_{time}=120$ 分钟；

t_{acc} ：任务检测精度，T1 绝缘子破损、线路断线检测精度 $\leq 1\text{mm}$ ， $t_{acc}=1\text{mm}$ ；T2 滑坡通道偏移测量精度 $\leq 5\text{cm}$ ， $t_{acc}=5\text{cm}$ ；

t_{risk} ：灾害风险等级，依据线路电压等级、灾害损毁程度划定，330kV 骨干线路重大故障风险 $t_{risk}=0.9$ ，110kV 支线故障风险 $t_{risk}=0.6$ ；

t_{load} ：应急载荷需求，T1 搜救、物资投送等高优先级任务需搭载红外搜救、物资空投模块，载荷需求权重更高，适配专业救援无人机。

2. 无人机性能-山地灾害地形适配建模

针对电力应急救援异构无人机设备特征，构建山地应急救援无人机性能向

量 $U=[u_{end},u_{load},u_{env},u_{com},u_{res}]$ ，全面量化设备应急作业能力：

u_{end} ：山地有效续航能力，表征复杂地形、灾害工况下无人机实际可作业里程；

u_{load} ：应急载荷能力，搭载“高清相机+红外热像仪+物资空投模块”的专业救援无人机适配 T1 一级应急任务，权重 0.8；仅搭载可见光相机的勘察无人机适配 T2、T3 次级任务，权重 0.4；

u_{env} ：山地地形适应能力，高爬升救援无人机最大爬升率 5m/s，适配坡度 $\geq 30^\circ$ 高山峡谷、滑坡灾害区域；常规丘陵无人机适配坡度 15° - 25° 轻度灾害区域；

u_{com} ：抗干扰应急通信能力，搭载跳频抗遮挡通信模块的无人机灾害通信中断率 $\leq 5\%$ ，适配深山应急场景，权重 0.7；常规通信无人机峡谷中断率 30%，仅适用于开阔区域，权重 0.3；

u_{res} ：应急冗余能力，表征无人机故障迫降、临时通信中继、应急补位的实战保障能力。

基于秦岭 1 米分辨率 DEM 地形数据，融合山地核心灾害影响因子，综合坡度 θ 、海拔差 h 、通信遮挡率 c 、灾害损毁程度 s ，构建电力应急专属地形-无人机适配度函数，量化地形灾害对智能设备作业的约束影响：

$$f(\theta,h,c,s)=\alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \theta)+\gamma \cdot \exp(-\delta \cdot h)+(1-\alpha-\gamma) \cdot (1-c) \cdot (1-s)$$

其中， $\alpha=0.4$ （坡度权重）、 $\beta=0.05$ （坡度衰减系数）、 $\gamma=0.3$ （海拔差权重）、 $\delta=0.02$ （海拔差衰减系数）、 c 为山体通信遮挡率、 s 为区域灾害损毁程度（取值 0-1）。适配度判定标准： $f \geq 0.7$ 判定设备与灾害地形适配，可执行应急抢险任务； $0 < f < 0.7$ 为地形环境恶劣、设备适配性不足，需通过 AI 算法重新优化分配。

在算法构建方面，本项目依托人工智能理论，创新构建两类电力应急专用核心优化算法，分静态初始分配、动态增量调度两个阶段，实现复杂地形下多无人机智能协同应急任务分配。

1. 多属性加权匹配 AI 算法（应急初期静态任务分配阶段）

电力灾害突发初期，存在多项待处置应急任务与多架异构救援无人机，需在满足地形灾害约束、任务应急约束、设备性能约束的前提下，实现“应急任务-救援无人机”全局最优智能匹配，核心优化目标为最大化综合应急匹配度：

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij} \cdot x_{ij}$$

式中 $x_{ij}=1$ 代表应急任务 i 分配给无人机 j , $x_{ij}=0$ 代表不分配; m_{ij} 为任务与设备的综合应急匹配度。

传统匈牙利算法仅适用于平时无约束静态指派场景, 未适配电力应急多属性、高紧急、强约束的场景特征, 无法直接用于山地抢险调度。本项目基于人工智能多属性决策理论对传统算法进行针对性改进, 融入应急优先级、地形适配、时限约束等核心要素, 形成电力应急专属改进匈牙利算法, 具体分为三步:

步骤 1: 构建多维度应急匹配度矩阵

定义应急任务与救援无人机的综合匹配度为任务权重向量与设备性能向量的点积, 实现多指标智能融合:

$$m_{ij}=W_i \cdot V_j^T=w_{i1}v_{j1}+w_{i2}v_{j2}+w_{i3}v_{j3}+w_{i4}v_{j4}$$

其中任务权重向量 $W_i=[P_i, t_{acc,i}, t_{risk,i}, 1/t_{time,i}]$, 融合任务优先级、精度要求、灾害风险、时限紧迫性四大应急核心指标; 无人机性能向量 $V_j=[u_{end,j}, u_{load,j}, u_{env,j}, u_{com,j}]$ 。采用熵权法智能求解各指标权重, 规避人工主观赋值偏差, 保障匹配结果客观精准, 最终构建 $n \times m$ 标准化应急匹配度矩阵。

步骤 2: 改进匈牙利算法最优求解

将最大化匹配度目标转化为最小化成本问题, 构建成本矩阵并迭代求解, 通过矩阵变换、增广路径检索, 快速输出初始应急任务分配方案, 算法时间复杂度优化至适配电力应急实时调度需求。

步骤 3: 多约束智能校验与调整

针对初始分配方案, 自动校验地形适配度、设备续航、载荷能力、任务时限四大应急约束, 对不满足抢险工况的配对自动置零重算, 直至所有任务分配方案完全贴合山地电力应急实战需求。

2. 地形-应急任务协同聚类 AI 算法（动态抢险增量调度阶段）

电力应急抢险全过程具备强动态性, 持续存在新增故障点位、次生灾害、临时搜救任务等突发情况, 零散分配设备会导致作业效率低、能耗高、抢险滞后。本项目融合 DPC 密度峰值聚类与 K-means 聚类两类人工智能算法优势, 构建双层协同聚类模型, 实现动态任务智能分组与设备集群匹配。

DPC 密度峰值聚类可自适应识别聚类中心，无需预设任务分组数量，适配山地灾害故障点位不规则分布的特征；K-means 算法迭代效率高、工程落地性强，可实现精细化分组优化，二者融合可有效弥补单一算法缺陷，适配电力应急动态场景。

步骤 1：构建应急任务多维特征向量

融合空间位置、地形特征、应急属性构建标准化任务特征向量，通过最小-最大标准化消除量纲差异，为 AI 聚类提供标准化数据输入。

步骤 2：DPC 算法生成初始应急任务簇

通过计算任务局部密度、相对距离，依托决策图自适应筛选聚类中心，将空间邻近、地形相似、任务关联度高的应急任务聚合为初始任务簇，实现动态任务快速分组。

步骤 3：K-means 优化与智能簇匹配

基于无人机性能特征完成设备同质化聚类，构建任务簇-无人机簇综合适配度模型，融合地形适配、续航匹配、时限适配多维度指标，实现批量应急任务与设备集群的最优动态匹配，大幅减少无人机无效飞行能耗，提升动态抢险效率。

五、关键技术与难点

5.1 关键技术

1. 电力应急-山地灾害-异构无人机多属性 AI 耦合建模技术

本核心技术依托人工智能多属性决策理论，打通电力应急任务、山地灾害环境、异构救援无人机三者的量化关联通道。系统提取应急优先级、抢险时限、灾害风险、地形坡度、通信遮挡、设备续航载荷等多维核心指标，融合 AHP 层次分析法与熵权组合赋权算法，实现多指标智能加权量化，消除主观偏差；构建标准化特征向量、山地灾害适配度函数、应急匹配度矩阵，实现三元要素非线性耦合建模，为 AI 智能动态调度算法提供高精度、标准化的场景输入，是人工智能赋能山地电力应急救援的核心基础技术。

2. 地形-应急任务双层协同智能聚类优化技术

创新融合两类经典人工智能聚类算法，搭建适配电力应急动态场景的双层智能调度框架。第一层基于地形、空间、应急属性自动完成抢险任务自适应分簇，适配灾害任务随机分布特征；第二层基于设备性能完成无人机同质化聚

类，通过簇间适配度模型实现任务簇与设备集群智能配对，有效解决传统调度算法动态响应慢、资源利用率低的问题，大幅提升复杂地形电力应急协同抢险的智能化水平与作业效率。

5.2 研究难点及解决方案

难点 1：山地灾害地形与电力应急任务的非线性定量耦合建模

秦岭高山峡谷、滑坡沟壑、密林遮挡等复杂地形，对无人机续航、通信、作业性能存在差异化、非线性约束；同时不同等级电力应急抢险任务的风险、时限、精度需求差异极大，地形环境与应急任务需求存在复杂非线性耦合关系，难以精准量化，导致传统 AI 模型适配性差、调度结果脱离实战抢险工况。

解决方案：数据驱动+机器学习非线性优化

一是采集秦岭高精度 DEM 地形数据、构建电力灾害应急台账、多机型无人机山地抢险实测数据，完成降噪、插值、标准化预处理，构建高质量应急数据集；二是通过多元线性回归构建地形与应急任务的基础耦合模型，量化基础关联关系；三是引入随机森林机器学习算法，捕捉多要素非线性耦合特征，通过特征筛选、超参数优化提升模型精度，确保模型误差可控，精准适配山地电力应急复杂工况。

难点 2：电力应急动态场景下 AI 算法秒级实时调度优化

电力应急抢险属于高动态、高实时性场景，全过程存在无人机损毁、通信中断、新增故障、次生灾害突发等动态扰动，要求 AI 算法实现秒级任务重分配。传统聚类、匹配算法迭代量大、响应延迟高，无法满足电力应急快速处置的硬性要求。

解决方案：轻量化动态 AI 调度优化机制

增设任务簇动态缓存机制，仅对新增动态任务局部重聚类，降低全局迭代计算量；在改进匈牙利算法中嵌入动态扰动因子，设备失效、环境突变时自动更新匹配权重，快速重算最优方案；引入轻量化强化学习自适应修正模型参数，适配动态灾害环境变化，满足电力应急实时抢险需求。

六、项目预期成果

（1）基于秦岭地区复杂地形的电力应急救援多无人机动态任务分配优化算法研究报告一份

（2）基于秦岭地区复杂地形的电力应急救援多无人机动态任务分配优化算

法原型一套

(3) 发表高水平学术论文 1 篇

(4) 软件著作权 1 个

七、可行性分析

7.1 理论可行性

本项目核心依托人工智能多属性决策、组合优化、聚类分析、机器学习等成熟且完善的理论体系，所采用的改进匈牙利算法、DPC-Kmeans 协同聚类、随机森林非线性建模等技术，均具备充足的国内外学术研究基础与工程落地案例，理论体系完备、技术迭代路径清晰。项目针对山地电力应急场景开展的模型耦合、算法改良与动态调度优化，均具备严谨的数理逻辑与实现路径，不存在理论缺陷与技术壁垒。同时，现有的人工智能优化理论可有效支撑复杂约束、动态场景下的多目标求解，能够精准适配本项目地形、设备、任务多要素耦合的复杂求解需求，整体研究理论风险极低。

7.2 技术与数据可行性

本项目研究所需基础数据来源可靠、储量充足，可完全支撑模型训练、参数校准与算法验证工作。其中，秦岭高精度 DEM 地形公开数据可完整还原高山峡谷、沟壑起伏、地形遮挡等真实地貌特征，陕西省电网历年电力灾害应急台账可提供真实故障场景、灾害类型与应急处置需求数据，多机型无人机山地实测作业数据可有效表征异构设备在复杂地形下的续航、通信、爬升、载荷性能差异。在技术实现层面，Python 机器学习开源库、无人机仿真平台、数值计算工具可快速搭建轻量化开发与测试环境，开发门槛低、技术成熟度高。同时，可依托小型多旋翼救援无人机开展简易山地实景试验，通过“仿真模拟+实景测试”双重验证方式，保障研究方案可落地、可验证、可优化。

7.3 政策与应用可行性

本项目研究内容高度契合国家新型电力系统建设、电网防灾减灾数字化转型、双碳战略及秦岭生态环境保护等多项政策导向。当前国家电网重点推进电力应急智能化、无人化建设，着力破解复杂山地电网应急处置难度大、风险高、效率低的行业痛点，人工智能赋能电力应急已成为电网运维抢险的重点发展方向。本项目成果针对性解决秦岭复杂地形电力应急调度难题，可直接应用于山地电网故障排查、灾害抢险、隐患治理等实战场景，能够有效提升电网应

急响应能力、降低人员作业风险、减少灾害经济损失，兼具极高的工程应用价值与行业推广价值，适配未来智能电网应急体系建设发展趋势。

7.4 实施条件可行性

项目整体研究周期合理、研发流程清晰，无需大型专用设备与高额研发投入，依托现有计算机仿真环境与开源算法框架即可完成全部研究内容。研究团队具备人工智能算法、电力系统运维、无人机应用等多领域研究基础，学科交叉优势明显，可有效保障模型搭建、算法改进、仿真验证各环节工作高效推进。项目研究难度循序渐进，从理论建模、数据预处理、算法迭代到成果验证层层递进，研究风险可控，整体实施条件充分满足项目开展要求。