

上方山森林火灾评估与分析

指导老师：艾刚

组别：第十组

小组成员：梁露匀 张子禄 熊舒尘 许红圳 路寓茗 王媛

摘要：森林火灾是世界八大自然灾害之一，持续燃烧的森林火灾严重威胁生命财产和生态安全。基于 GIS、遥感技术可开展森林火灾受害程度评价、着火点检测、森林大火燃烧动态监测、森林火险区划等方面的研究工作，为森林火灾扑救和预防提供参考。通过森林火灾管理不仅可以降低火灾风险，还可以在火灾发生时有效应对和处理，从而使火灾带来的损失降到最低，有效保护森林资源。研究的基本目标是通过 3S 技术对上方山森林火灾进行预测、评估与预警，对上方山林火的控制避险方面提出科学建议，并对山火爆发情况进行虚拟仿真，以可视化方式呈现。

关键词：3S 技术；Cesium；卫星遥感；森林火灾；风险预警

1 引言

1.1 研究区现状

北京上方山国家森林公园，是国家 3A 级旅游景区。位于北京市房山区韩村河镇，距北京市区约 60 公里，是山岳型自然风景区。自东魏孝静帝天平二年（535）就有僧人在这里开山建寺，管护森林。上方山总面积 329.3 公顷，景区总面积 3.53 平方公里，拥有华北地区唯一保存完好的原始次生林。公园林地面积 1.74 平方公里，灌木林地面积 1.63 平方公里，森林覆盖率达 90%以上。

该区气候为典型的北温带半湿润大陆性季风气候，夏季高温多雨，冬季寒冷干燥，降水量季节分布不均，且 80%集中于下半年，故森林火灾易在植被生长的上半年发生，但得益于上方山地区消防人员的努力，上方山已保持 24 年无大型林火的好记录。

1.2 研究背景与意义

森林火灾是世界八大自然灾害之一，持续燃烧的森林火灾严重威胁生命财产和生态安全。进入 2021 年，受气候、可燃物、火源等因素的影响，森林火灾在全球呈现爆发态势。2021

年 1 月至 11 月，我国共发生森林火灾 546 起，草原火灾 17 起，与 2020 年同期相比，森林火灾次数、受害森林面积、死亡人数分别下降 51%、68%、32%，受害草原面积下降 62%[1]。

进入 2021 年，森林火灾呈现火灾时间延长、火灾范围扩大、火灾损失严重、火灾时间延长等特点。气候变化导致气温升高、干旱加剧、空气湿度降低，全球森林火灾季节平均延长了 20%，呈现出季节性防火向全年性防火转变的特点；受气候变化影响，森林火灾影响的空间范围也不断扩大；一些潮湿、寒冷的区域也频繁爆发大规模山火，热带雨林和高纬度地区山火的频率和强度不断增加；极端天气影响下高能量火行为出现的频率和强度明显增加，导致生命财产损失更加严重；山火燃烧过程中会排放有毒气体及多种有害颗粒，严重影响区域空气质量，影响当地居民身体健康，且持续燃烧的山火可能会导致多地进入紧急状态，影响正常社会秩序。

国务院安全生产委员会于 2022 年 2 月 12 日印发了《“十四五”国家消防工作规划》，上明确提出要以坚持预防为主，从源头上防范化解重大安全风险，着力提高消防治理和综合应急救援能力。同时要坚持科技引领。全面融入科技强国战略和“智慧城市”建设，优化整合各类科技资源，推进消防科技自主创新，加强产学研用深度融合和科技成果转化，推进新一代信息技术、人工智能、新材料等前沿科技在消防领域广泛应用，提高消防工作的科学化、专业化、智能化、精细化水平。

基于 GIS、遥感技术可开展森林火灾受害程度评价、着火点检测、森林大火燃烧动态监测、森林火险区划等方面的研究工作，为森林火灾扑救和预防提供参考。通过森林火灾管理不仅可以降低火灾风险，还可以在火灾发生时有效应对和处理，从而使火灾带来的损失降到最低，有效保护森林资源。

2 研究准备

2.1 研究内容

通过 3S 技术对方山森林火灾进行预测、探究降水量人流量与预测林火区域的关系、推算林火蔓延区域、进行林火监测点和消防站点的选址、林火避险及受灾财产损失预测，为上方山森林消防提供参考建议，并将演算出的数据建立为三维模型，增强视觉感受，提高普通群众的上山防火意识，助力上方山健全风险防范化解机制，从源头上防范化解重大安全风险，真正把问题解决在成灾之前。

2.2 数据准备

研究内容	数据类型	数据来源
森林火灾预警监测点选址	主要景点、总路线、30M 分辨率数字高程数据	国家地理信息资源目录服务系统、地理空间数据云
林火避难所选址	主要景点、总路线、植被分布、30M 分辨率数字高程数据、MODIS 火点数据	国家地理信息资源目录服务系统、地理空间数据云
林火灾后财产损失预测	主要景点、植被分布数据、landsat8 卫星数据、30M 分辨率数字高程数据、MODIS 火点数据、文物建筑保护级别数据、植被覆盖类型数据	国家统计局、国家地理信息资源目录服务系统、地理空间数据云
上方山森林火灾风险分级	上方山区域范围、主要景点、总路线、landset8 卫星数据、等高线数据、相对湿度数据、MODIS 遥感数据、房屋与道路数据	地理空间数据云、中国气象资源网、地理遥感生态网

上方山微型消防站布设	上方山区域范围、主要景点、总路线、等高线数据, landset8 卫星数据、MODIS 遥感数据, 房屋与道路数据	地理空间数据云、中国气象资源网、地理遥感生态网
上方山森林火灾消防路线布设	上方山区域范围、主要景点、总路线、等高线数据、landset8 卫星数据、MODIS 遥感数据、坡度数据、房屋与道路数据	地理空间数据云、中国气象资源网、地理遥感生态网

2.3 研究路线

3 研究内容

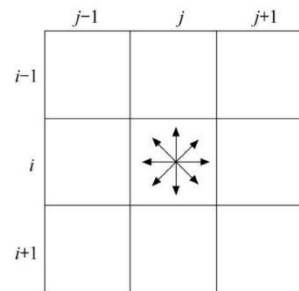
3.1 林火蔓延区域风险预测

3.1.1 专题意义及理论说明

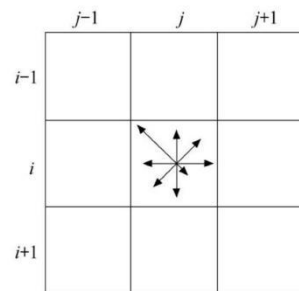
森林火灾蔓延模型是在一定程度上对火灾的整体趋势作出一个预测行为的模拟仿真,能对控制火灾危害和制定森林火灾救援计划起到关键性的作用。现阶段,林火蔓延模型大多分为三个类型:物理模型、经验模型、空间模拟模型[2]。上述模型的主要特点是将林火行为与自然因素进行关联,并未考虑火点之间的关联性,具有一定的局限性。当系统的复杂度到达一定程度时,蔓延模型将非常难以求解,林火蔓延仿真的准确性较低。因此我们在制作三维模型对火灾取数进行模拟分析时选择了陈爱斌等[3]提出的基于群体智能的林火蔓延模型,该模型减少了传统林火蔓延模型的迭代次数,提高了蔓延模型的仿真精度,能够较为准确地仿真出森林火灾蔓延的趋势。

3.1.2 技术路线

(1) 基于群体智能的林火蔓延模型的建立流程是首先在目标区域建立坐标矩阵，将较大的区域划分成许多等量大小的模块，能够更精确地定位分析区域内所有模块的位置，并根据影响林火蔓延速度、蔓延面积和蔓延方向的因素分别建立了可燃物因素影响因子矩阵、地貌因素影响因子矩阵和气象因素影响因子矩阵。然后根据当地的可燃物类型、地貌因素建立影响因子矩阵。并结合实时的气象信息，根据模块之间的关联，来定义区域之间的状态转换规则，并且持续地修正林火蔓延的方向。



(a) 无干扰因素的蔓延权重



(b) 西北风向下的蔓延权重

(2) 数字三维地形可视化

目前，三维空间可视化模型以网络地理信息系统（Web GIS）为基础进行开发，随着 Web GL 技术的发展和完善，以 Web GL 引擎渲染的三维 GIS 已经成为主要使用对象。Cesium 是当前最先进的开源三维 GIS 框架，可直接在浏览器页面上展示三维虚拟地球并叠加丰富的地理要素，Cesium 作为开源地图引擎，被广泛用于三维场景的构建和应用。

3.1.3 成果说明

我们利用 Cesium 所提供的接口（Url Template Imagery Provider），导入不同级别分辨率的卫星影像，形成上方山基本的表面纹理。Cesium 目前所支持的模型数据类型有

gltf、gltb、bgltf 等格式，我们所采用的数据模型以 shape 数据和人工建模为主，实现山体的立体完美呈现。

为了更直观地将起火点及对于山火爆发时风向的影响因素展示出来，我们基于 UE4 对山火爆发的情况进行了仿真。



3.2 上方山森林火灾风险分级

3.2.1 专题意义及理论说明

卫星遥感技术提供了地球表面的全球观测信息，使森林火灾风险预警不再受地面气象站数据的限制，能够更快速的获得森林火灾风险因子信息，且卫星遥感数据具有高实时性，可满足森林火灾风险预警的时效性[4]。

目前大部分国内外学者将气象因子、地形因子、植被状况划分为若干等级，对应不同等级的森林火灾风险区划，依次建立了森林火险预警模型，但由此得到的预警结果是一个静态的结果，而利用卫星遥感数据与 DEM 数据提取森林火灾风险预警因子并构建森林火灾风险

预警指标体系与模型,可进行森林火灾风险的动态预警以满足森林防火工作的时效性,旨在找到更适合上方山自然地理条件的森林火灾监测方法,并为以后的火灾预警提供依据。

3.2.2 研究方法

为了建立一种简单易操作的森林火灾动态危险性评估模型,可提出如下假设:1) 可燃物含水率可预测森林火灾发生的可能性; 2) 植被覆盖率可作用一个辅助指标提供相应的参考; 3) 地表温度会影响可燃物含水率的大小,因此地表温度可作为其中的一个动态因素来预测森林火灾的发生。

参考李哲全,张贵,谭三清,等人的《基于卫星遥感的森林火灾风险预警研究》,采用了其中作者所提到的以前的李晓恋研究提出的森林火灾动态危险性指数进行森林火灾风险预警公式。

其计算公式为:

$$FDDI = (1 - NDII7) * (1 - \text{湿度指数}) * (1 - NDVI)$$

式中 FDDI 为森林动态火灾危险性指数, NDII7 为 MODIS 第 7 波段归一化红外指数, NDVI 是一种归一化植被指数。NDVI 能有效地表征地面可燃物状态;对土壤湿度进行归一化处理得到干旱指数,可以表征地表温度与土壤湿度两个森林火灾风险因子; NDII7 反映可燃物含水率。

叠加预警因子的栅格图层,在 ArcMap10.4 软件中进行栅格计算,可得到森林火灾风险分布图。

3.2.3 成果说明

《森林火险天气等级》的划分是根据 LY1172-95《全国森林火险天气等级》行业标准(林业部 1995 年 6 月 22 日发布)进行划分的。该标准共考虑了 5 个火险气象因子,即:
①森林防火期内每日最高空气温度。②森林防火期内每日最小相对湿度。③森林防火期内

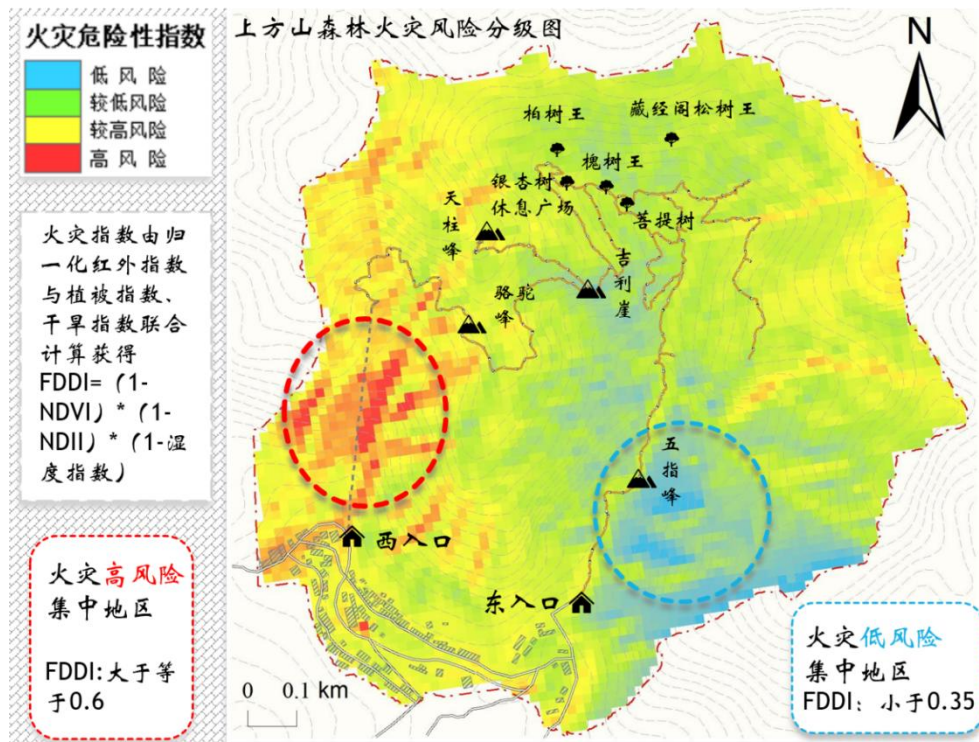
每日前期或当日的降水量及其后的连续无降水日数。④森林防火期内每日的最大风力等级。

⑤森林防火期内生物及非生物物候季节的影响订正指数。用① + ② + ③ + ④ - ⑤得出的数值与森林火险天气等级标准值进行比较得出森林火险天气等级。其中一级没有危险；二级低度危险；三级中度危险；四级高度危险；五级极度危险。本文主要采用的是植被指数和干旱指数，结合《全国森林火险天气等级》标准的一致性，以及上方山地区归一化红外指数、干旱指数、植被指数和数据本身特点，将上方山森林火险等级划分为如下表 1 所示的 4 个等级：

上方山火险等级划分结果表

等级	森林动态火灾危险性指数 FDDI	危险程度
1	FDDI 小于 0.35	低风险
2	$0.35 \leq \text{FDDI} < 0.45$	较低风险
3	$0.45 \leq \text{FDDI} < 0.6$	较高风险
4	$\text{FDDI} \geq 0.6$	高风险

对各等级的颜色进行设置，即可将上方山林火风险划分可视化，下图 1 即为预测结果：



3.2.4 结果分析

得到上方山区域内的 FDDI 后对其分类, 简单分为高风险、较高风险、较低风险、低风险四种类别 (提示: 该风险值只是一个相对比较值, 并非发生的可能概率), 发现高风险地区集中在上方山西入口索道下方山谷一带, 中心区域 FDDI 大于等于 0.6 低风险地区集中在上方山东入口五指峰东边一带, 中心区域 FDDI 小于等于 0.35。

3.3 上方山微型消防站布设

3.3.1 专题意义及理论说明

近年来, 随着我国经济的迅猛发展, 城市化发展进程加快的同时, 各种引发火灾的危险因素增多, 城市火灾频发。据统计, 我国的火灾发生数量已由 2012 年的 15.1 万起增加到 2018 年的 23.7 万起, 严重威胁人民群众的生命和财产安全。消防安全关乎城市的安全与稳定。合理的消防站布局作为城市消防安全的基础, 对科学分配消防资源、提高消防站的出动效率具有重要意义[5]。

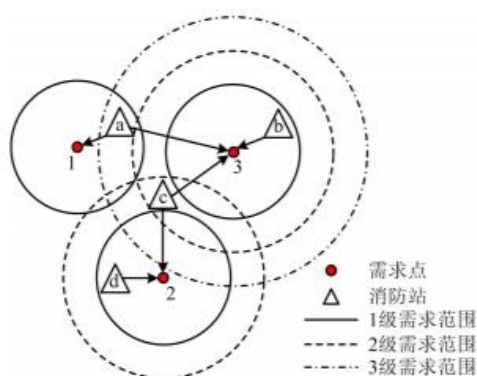
在实际消防工作中, 通常火灾风险小的需求点对消防站需求小, 发生火灾后只需主管消

防站便可扑灭；而高火灾风险需求点着火后需要主管消防站和增援消防站同时出动。因此，本文从需求角度出发，提出在消防站规划中对需求点实行分级覆盖，即需求点由主管消防站覆盖的同时，也得到该风险等级所需的增援消防站的覆盖。

3.3.2 研究方法

采用该论文中提出的分级覆盖选址模型，即需求点由主管消防站覆盖的同时，也得到该风险等级所需的增援消防站的覆盖。

假设在 3 个需求点(需求点 1,2,3)和 4 个消防站 (消防站 a,b,c,d)的选址问题中,需求点 1,2,3 的火灾风险等级分别为 1 ~ 3 级。考虑分级覆盖,需求点 1 只需得到消防站 的服务;需求点 2 可得到消防站 d 和增援消防站 c 的服务;需求点 3 可得到消防站 b 和增援消防站 c,a 的服务。如下图所示

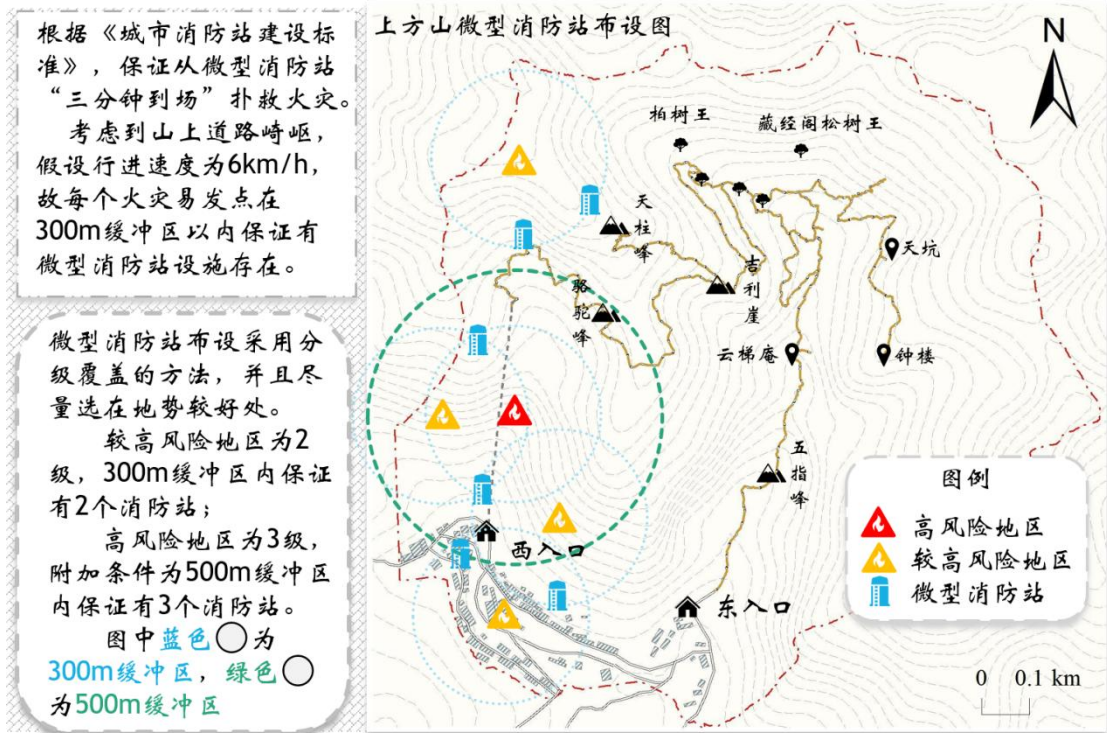


3.3.3 成果说明

考虑到上方山的整体区域大小和地势，决定布置微型消防站。依据上一张专题图中得到的森林火灾动态危险性指数，得到高风险区域、较高风险区域，采用他们的中心区域来代表，分为 3 级、2 级，即高风险点需要 3 个消防站，较高风险点需要 2 个消防站。根据《城市消防站建设标准》，微型消防站要确保“3 分钟到场”扑救火灾，考虑到上方山山路崎岖，假设消防员上山行进速度为 6km/h，即要保证火灾风险点 300m 缓冲区（2 级需求范围）内有 2 个微型消防站，依据一般消防站“5 分钟消防队到场”，同理可知风险点 500 缓冲

区（3级需求范围）内有3个消防站。

分别对高风险、较高风险点位建立缓冲区，在节省消防站建设资源的前提下，先考虑多种需求范围共同区域布设，再对其进行统一的道路方便程度、地势平坦程度的比较分析，总共建立6个点位来布设微型消防站对5个高危风险点进行消防处理。



3.4 上方山森林火灾消防路线布设

3.4.1 专题意义及理论说明

在完成微型消防站的布设后，针对具体高危火灾风险点位分为主管消防站和增援消防站，每个高风险地区的主管消防站的消防优先级在增援消防站的优先级之上，同时主管消防站的辖区内进行分级消防路线的规划，分级路线前往分级火场，实现井然有序的消防程序，以达到节省前往火灾现场时间的目的。

3.4.2 研究方法

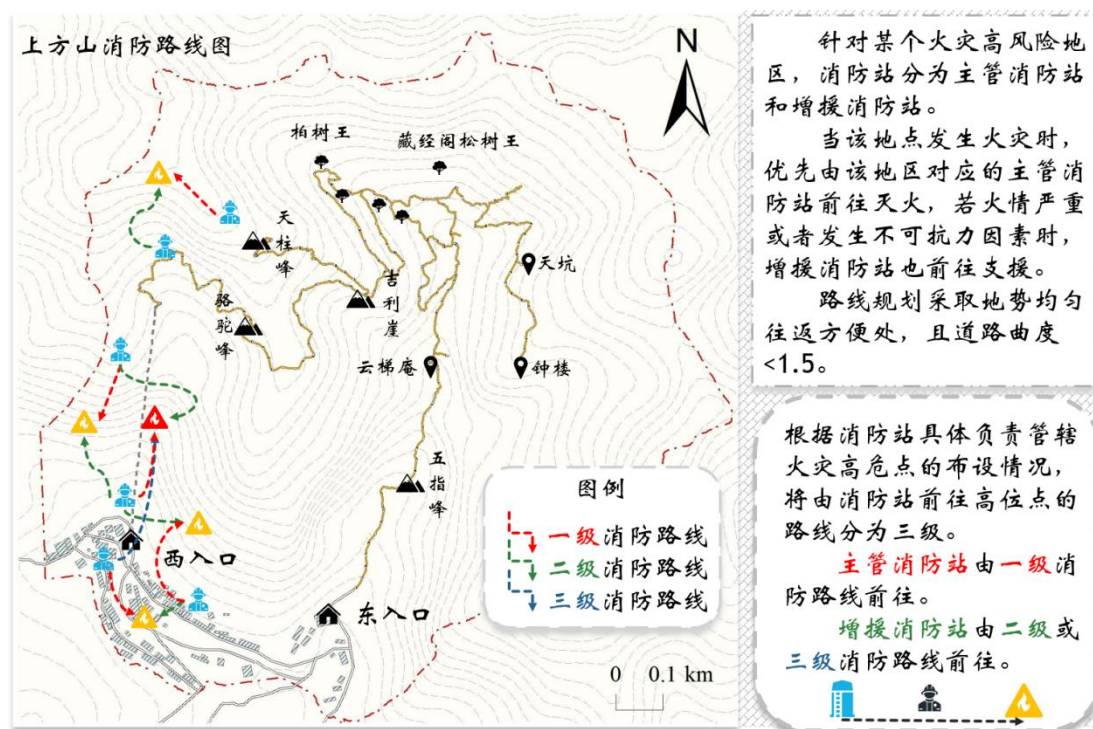
在已完成分级覆盖选址基础上，每个高危点的主管消防站和增援消防站设置完毕后，在每个高危点位的缓冲区中进行从消防站到达高危点的路径分析，调整阻抗，优先采取往返方便、地势均匀、坡度缓和小、道路曲度小的路线。（道路曲度：即两点间实际交通距离与直线距离之比）

3.4.3 成果说明

(1) 每个高危点都有一个对应的主管消防站和多个增援消防站（较高风险地区只有一个增援消防站，高风险地区有两个增援消防站），而该图中有5个高危点，则有5个主管消

防站，每个主管消防站同时又是其他高危点的增援消防站。根据消防站具体负责管辖火灾高危点的布设情况，将由消防站前往高危点的路线分为三级，一级路线是从消防站到对应的主管风险点，二级和三级路线是从消防站到对应的增援风险点。

(2) 进行紧急情况模拟：五个高危点同时发生火灾时，由五个主管消防站分别出动消防人员沿一级路线前往各自的风险点进行消防工作，若某个高危点消防工作完成或某个高危点火情严重时，则沿二级路线或三级路线出动人手前往增援。



3.5 上方山森林火灾预警监测点布设

3.5.1 专题意义及理论说明

通过大数据与大生态相融合，为上方山国家森林公园建设森林防火信息化体系，打造森林防火的智慧模式

3.5.2 研究方法

以上方山的主要游览路线为基础，以主要景点为参照点，进行了可视域分析，由此布设了10个林火远程视频监控点。

3.5.3 成果说明

通过监控系统，不仅可以全天候24小时实时监测林区火情，还可以进行智能图像处理，

从而实现烟火自动识别并报警，能自动接收国家发布的卫星热点数据，为上方山森林防火提供了技术支撑和第一道预警屏障。



3.6 森林火灾避难点选址

3.6.1 专题意义及理论说明

选择合适的避难点,把损失尽可能减到最小。

3.6.2 研究方法

以上方山的主要游览路线为基础，在 2.5 维地图中展现，我们将这段路线分为上方山门口到筏汗岭、筏汗岭到钟楼上、筏汗岭到大悲庵搭配三个部位，每条线路上为游客设置 2-3 个避难所。

3.6.3 成果说明

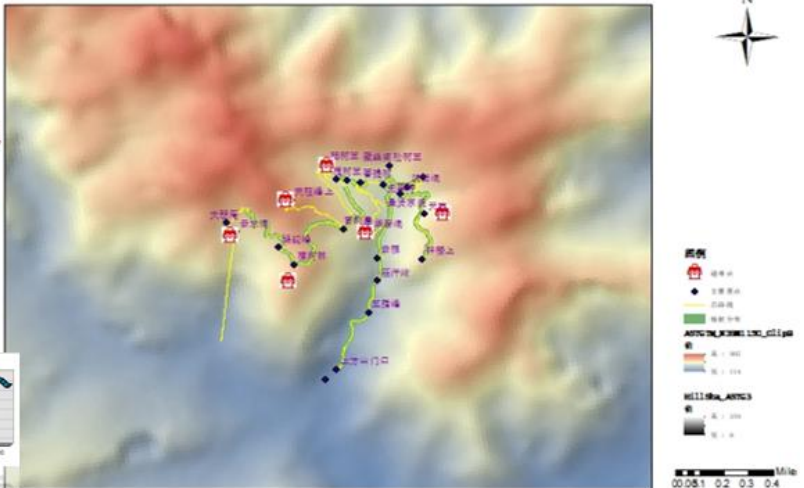
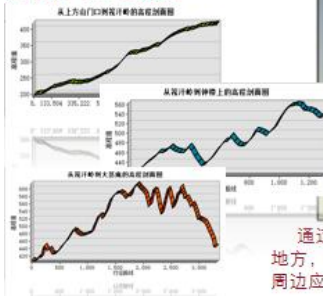
通过分析游客行为，我们决定围绕主要景点，进行避难所的点要素的编辑，要求是远离植被茂盛，火险级数高的地方，地形较平坦、地势较高、有利于排水、空气流通、具备一定基础设施的公共建筑与公共设施，其周边应道路畅通、交通便利。

利用 arcmap 叠置分析、布设避难点，进行栅格处理，使专题地图立体化，成图如下。

上方山森林火灾避难所选点建议图

Suggestions on the selection of forest fire shelters

以上方山的主要游览路线为基础，在2.5维地图中展现，我们将这段路线分为上方山门口到筱汗岭、筱汗岭到钟楼上、筱汗岭到大悲庵搭配三个部位，每条线路上为游客设置2-3个避难所，如右图所示。



通过分析游客行为，我们决定围绕主要景点，进行避难所的要素的编辑，要求是远离植被茂盛的地方，地形较平坦、地势较高、有利于排水、空气流通、具备一定基础设施的公共建筑与公共设施，其周边应道路畅通、交通便利，方便灾后管理工作的顺利开展。

3.7 灾后财产损失

3.7.1 专题意义及理论说明

林火不仅破坏了森林动物的生存环境，降低了森林生物多样性，而且给林业带来了较大的经济损失。森林经济损失是指景观资源、林内动植物资源、微生物资源、森林火灾对森林资源等造成的经济价值和财产损失。林业在社会经济发展中发挥着重要作用，而中国是一个森林资源稀少、森林火灾频发的国家。通过对森林火灾经济损失进行科学的评估，有助于加强经济技术措施，有效地控制森林火灾，尽量减少森林火灾的发生以及可能造成的巨大损失。

依据公安部、劳动部和国家统计局联合颁布的《火灾统计管理规定》及公安部颁布的火灾直接财产损失计算有关规定，火灾直接财产损失是指财产直接被烧毁、烧损、烟熏、辐射和在灭火中破拆、碰撞、水渍以及因火灾引起的污染等所造成的损失。

在上方山,这类损失主要分为两类:

(1) 古树名木,指百年以上树龄的树木或树种稀有,珍贵或具有历史价值和纪念意义的树木

(2) 文物建筑,指被县、市以上人民政府列为文物保护单位的古建筑,古建筑组、群,纪念建筑,石窟寺。

3.7.2 研究方法

依据公安部、劳动部和国家统计局联合颁布的《火灾统计管理规定》及公安部颁布的火灾直接财产损失计算有关规定, 文物建筑火灾直接财产损失统计方法, 单座文物建筑 $HS = CX(XB+XBT)XS$, 文物建筑组、群 $HSZ = \sum HS_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$, 通过对植被分布面积 S , 植被分布种类 n , 得出树种平均经济价值 V , 又根据上方山不同地区 NDVI 与高程、坡度、和坡向分别的的叠加分析, 我们将上方山地区大致分为损失严重, 损失一般, 损失较轻三个级别。

附文物建筑火灾直接财产损失统计方法:

(1) 单座文物建筑

$HS = CX(XB+XBT)XS$, 式中:

HS --文物建筑火灾损失额/元; C --文物建筑重建费/元; XB --文物建筑保护级别系数;
 XBT --文物建筑保护级别调节系数。

(2) 文物建筑组、群

$HSZ = \sum HS_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 式中: HSZ --文物建筑组、群火灾损失额/元; HS_i --组成文物建筑组、群的各单座文物建筑的火灾损失/元; n --文物建筑组、群中发生火灾的单座文物建筑数。

附:

(1) 文物建筑重建费 C 取值说明

由文物部门参照当地有关部门颁布的古建筑修缮概(预)算定额, 依据发生火灾时的实际修缮费用提出。

(2) 文物建筑保护级别 XB 取值说明:

全国重点文物保护单位 4.0, 省、自治区、直辖市级文物保护单位 3.0, 县、自治县、市

级文物保护单位 2.0,待定文物保护单位 一般为 2.0, 特殊情况为 3.0 或 4.0

(3)XBT 取值说明:

全国重点文物保护单位为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0,依其文物价值高、低取值属下列情况之一者, XBT 值不得小于 1.0,包括 a.在国际、国内仅有,有极高文物价值的; b.有极高文物价值的典型实物; c.有极高文物价值,在建筑史上有创造发明的; d.有极高文物价值并与重大科学发明或重大科学成就有关的。

省、自治区、直辖市级和县、自治县、市级文物保护单位为 0.5, 1.0 依其文物价值高、低取值。

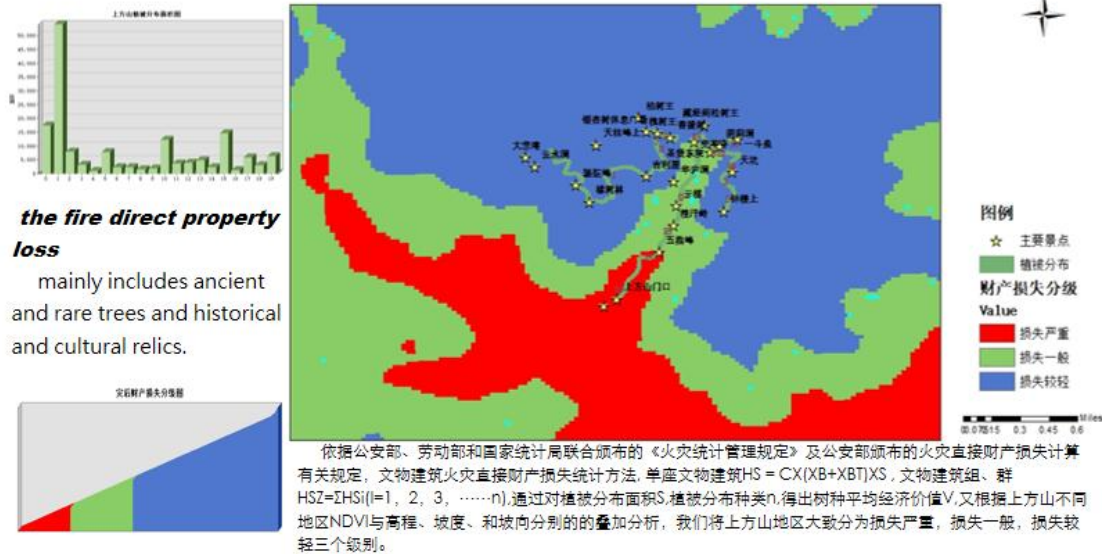
3.7.3 成果说明

依据公安部、劳动部和国家统计局联合颁布的《火灾统计管理规定》及公安部颁布的火灾直接财产损失计算有关规定,文物建筑火灾直接财产损失统计方法,根据上方山植被分布面积,植被分布种类,上方山不同地区 NDVI 与高程、坡度、和坡向分别的的叠加分析,我们将上方山地区大致分为损失严重,损失一般,损失较轻三个级别,如下表所示:

上方山火险直接财产损失划分结果表

等级	文物建筑火灾损失额 HS	危险程度
1	$HS \leq 0.3$	损失较轻
2	$0.3 < HS \leq 0.7$	损失一般
3	$HS > 0.7$	损失严重

上方山森林火灾财产损失分析图



参考文献:

[1] 白夜, 王博, 武英达, 刘晓东. 2021 年全球森林火灾综述 [J]. 消防科学与技术, 2022, 41(05): 705-709.

[2] 赵璠, 舒立福, 周汝良, 赵凤君, 王明玉. 林火行为蔓延模型研究进展 [J]. 世界林业研究, 2017, 30(02): 46-50.

[3] 陈爱斌, 丁福博, 周国雄, 周波. 基于群体智能的森林火灾蔓延仿真模型 [J]. 系统仿真学报, 2022, 34(07): 1439-1448.

[4] 李哲全, 张贵, 谭三清, 等. 基于卫星遥感的森林火灾风险预警研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2021

[5] 陈振南, 吴立志, 夏登友, 等. 基于城市火灾风险的消防站分级覆盖选址模型——以济南市市区为例 [J]. 中国安全生产科学技术, 2020