

上方山森林火灾预警与评估

指导教师：艾刚

组别：第八组

编者：汪都、温江天、沈伟豪、纪浩、韩喆羽、王磊、邵远辰

摘要：森林生态系统作为陆地生态系统的主体，在维护整个自然界的动态平衡及改善人类生存环境中占据着非常重要的地位，但森林火灾在很大程度上对森林资源与环境造成了破坏。如果能够准确、有效地预测可能发生的森林火灾，并推演出受灾地区状况，那么这对减少灾害损失、保护森林资源和维护生态平衡都具有非常重要的意义。以北京市上方山为研究区域，利用 Landsat8 遥感数据对该区的森林火灾进行了时空分析推算出可能发生的森林火灾区域，并结合地理、气象、人为要素在森林火灾的预测监测控制避险方面进行了较为深入的研究。研究的基本目标是通过 3S 技术认识影响上方山森林火灾因素的变化规律，并根据预测结果在森林火灾的控制避险方面提出科学建议，以数据可视化方式展出。

关键词：林火风险预测，3S 技术，消防设施规划。

1 引言

1.1 研究区现状

北京市上方山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，植物种类达 625 种，其中有 20 个变种或变型，其中有独根草、知母、银杏、省沽油等珍稀植物。同时该区域具有 2000 年的佛教文化历史，是一座集自然、佛教和溶洞为一体的综合性的国家森林公园，更是集山、林、洞、寺、泉、馆、坑景观为一体的综合性多功能景区，被定为全国二十家示范型森林公园之一，在生态环境及人文历史方面具有重要的价值。

而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，春、秋短促。降水量季节分布很不均，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，但得益于该地消防队的努力，上方山已保持 22 年无大型林火的好记录。

1.2 研究背景及意义

《全国森林防火规划(2016--2025年)》中明确指出要坚持预防为主的基本原则,重点加强对预警检测系统的建设[。3S技术具有获取并处理信息速度快、周期短、方法多、数据量大、受环境条件限制少等特点,在森林消防方面有着不可比拟的优势,且随着卫星影像技术和计算机技术的发展,3S技术在预测并控制森林火灾方面的重要性越发突出。上方山具有高达90%以上的森林覆盖率,且内含各种珍惜物种,则其森林消防的要求也更为严格。

林火作为陆地生态系统中的一种主要干扰因子,会对森林生态系统造成严重破坏。本文通过3S技术对上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,并将演算出的数据可视化,增强视觉感受,提高普通群众的上山防火意识。

1.3 国内外研究现状

我国的林火预测预报是从50年代初开始的,当时主要引进、试用和改进国外火险天气预报的方法,几十年来我国的林火预测预报研究也取得了一些成绩。目前为提高林火检测精度,将遥感、全球卫星定位系统与地理信息系统技术相结合来监测森林火灾,同时将林相图、地形图等信息和由航空、卫星图象和地形数字高程模型所得到的各层信息加到林火数据库,以提高林火消防风险预测的精度[。

国外以美国为首,将信息处理技术、通信技术、遥感监测技术等综合运用到森林火灾防治工作上,形成了独有的森林消防高级系统技术 ffast,大大提高了预防和检测能力。

2 研究准备

2.1 研究内容

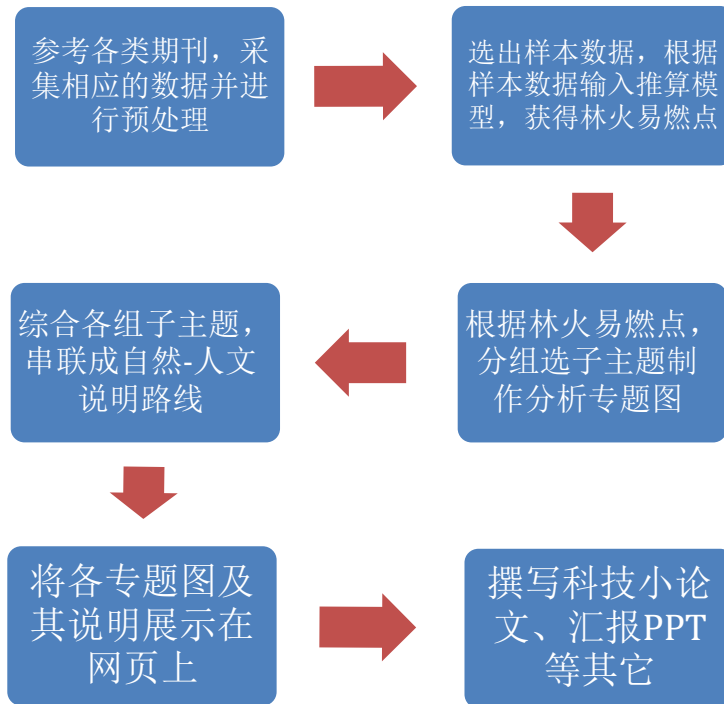
研究内容	研究技术与方法
①森林火灾风险分级预测	NDVI 与 TVDI 计算模型
②景区人流量与林火风险预测区域关系	核密度算法
③林火监测点选址	通视分析
④降雨量与林火预测区域关系	栅格数值分级统计
⑤森林火灾蔓延走势风险预测	森林火灾蔓延模型
⑥消防站点选址	层次分析法

⑦林火避难所选址与灾后财产损失预测	层次分析法、栅格数值计算
-------------------	--------------

2.2 数据准备

数据类型	获取来源	基本作用
①归一化植被指数 NDVI	Landsat8 遥感影像处理 USGS	植被茂密区域易导致火灾的扩散，作为易燃点的影响因子
②温度植被干旱指数近似数据 NTVDI	Landsat8 遥感影像处理 GEE	地表温度-植被分布数据可近似表明该地的气温及土壤干旱程度，作为易燃点的影响因子
③地表异常温度分布数据	MODIS 遥感数据影像处理	表明地表的高温区域，即可能存在的易燃点，作为森林火灾预测点参考
④坡度坡向 DEM 数据	中国科学院资源环境科学中心 resdc	坡度大的地区，林火易于扩散蔓延，坡向可用于推测林火的传播方向，作为风险预测的参考因素
⑤降雨量数据	中国气象资源网	协助推测降雨量与可能易燃点关系，不同季度的影响大小
⑥风向数据	中国气象资源网	可用于预测林火易扩散的方向，与坡度坡向数据共同构成风险预测的参考因素
⑦上方山及相关站点分布矢量数据	网盘	作为风险预测的参考因素，协助数据的可视化表达

2.3 计划路线



3 研究内容

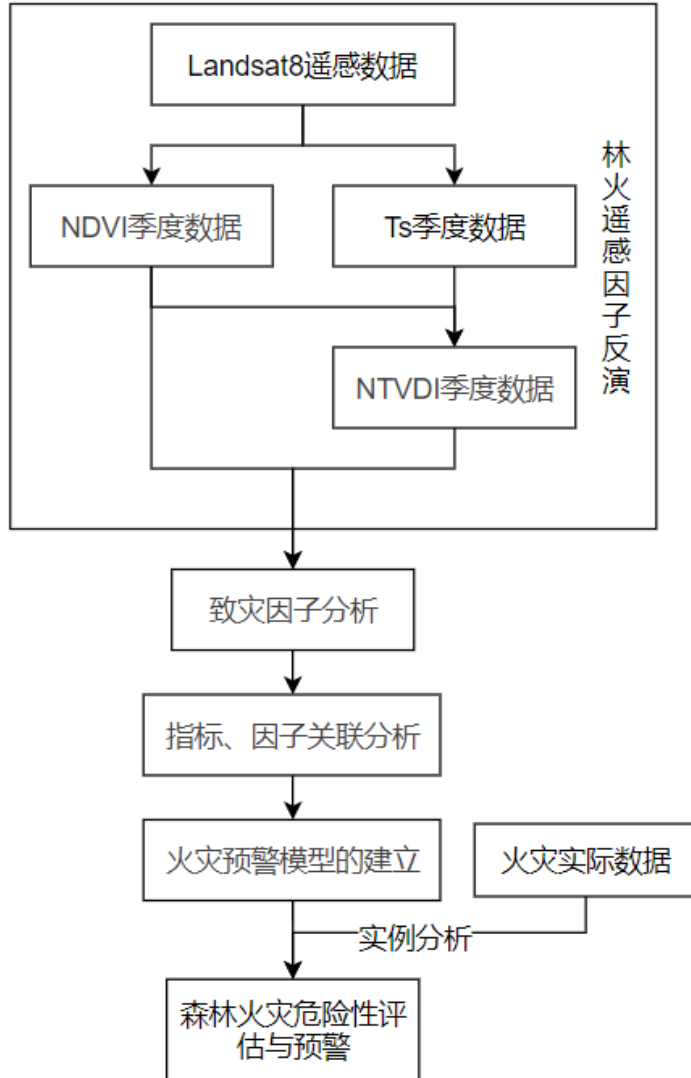
3.1 上方山地区林火风险等级划分

3.1.1 专题意义及理论说明

森林火灾的预警技术经过长时间发展，已经从以前简单单一的火险天气预报逐渐发展成今天的复杂预报体系，其中的关键部分就是火灾的预报模型。森林火灾的预报模型主要是利用 GIS 和遥感等技术，结合气象、森林资源调查等数据来建立预报模型，根据预报模型对森林火灾的等级进行判断，从而对森林火灾进行预报。本章以 Landsat8 数据为依托，结合上方山地区特有的植被环境和湿度环境，对森林火灾预警方法进行了初步的探讨，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。

3.1.2 技术方法

(1) 技术路线



(2) 森林火灾预警因子选择

一般来说影响森林火灾发生的因素主要有两大类，分别是燃烧物本身的特性以及外界条件对燃烧物的影响。燃烧物本身的特征在林火预警模型中即为森林地区的植被属性，不同的植被类型具有不同的属性，而植被的这种物理化学性质往往和火灾的发生蔓延有极大的关系，比如针叶林的含水量较少，树种油分较大，较为易燃，因此属于林火高发的树种。外界条件主要是气象要素方面，包含了气温、降水和湿度等。在利于火灾发生的高温、干旱、大风等条件下，森林就处在高火险状态。森林火灾的预警主要是根据气象要素和植被在相应环境下的反应来评估林火发生的可能性，也就是天气条件对林火发生的影响，对此在林火的预警方面主要是选择可以反应天气干湿状况的气象变化要素，本章结合林火预警的需要和数据获得性的实际状况选择了温度——植被干旱指数（TVDI）作为气象因子的反应，即以 TVDI 反应湿度。除此之外，

我们还选择了反应植被状况的归一化植被指数（NDVI）和森林植被类型，我们将根据这两个因子对森林火灾的预警进行研究。

（3）归一化植被指数（NDVI）

归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index）是融合 landsat8 的 654 波段的影像并利用 python GDAL 进行批量计算得到的，其计算公式为

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

其中 NIR 与 R 分别为近红外波段和红波段处的反射率值。

NDVI 是反映地表植被覆盖信息的一种植被指数，是监测植被类型、生长状态的重要指数。地表植被的覆盖情况、植被覆盖的有无直接对森林火灾的发生与否产生影响，植被的疏密程度对林火发生之后的蔓延也有一定的影响。

（4）近温度—植被干旱指数（NTVDI）

近温度—植被干旱指数（Near-Temperature-Vegetation Dryness Index）是 Landsat8 数据中通道 10（10.6~11.9 μm）和通道 11（11.5~12.51 μm）所探测到的地物对热红外遥感的反射率组合，经过 GEE 去云层和校正处理，并归一化获得。作为将温度和植被状况综合考虑的一种干旱指数，它可以用于旱情的监测、土壤湿度的反演和反应植被缺水状况，而植被的缺水状况和土壤的湿度作为反映可燃物干湿状况的因子又进一步影响森林火灾的发生与否。

（5）影响因子与森林火灾的相关性分析

将 2017-2019 年 3 年里北京房山区森林地区的植被归一化指数（NDVI）和近温度—植被干旱指数（NTVDI）的均值与房山区森林火灾火点数据按年际进行相关分析，判断房山区 NDVI 和 NTVDI 与房山区森林火灾的正、负相关性并得到相应的相关系数。

在 SPSS 软件导入 2017-2019 年火点时间对应的 NTVDI 和 NDVI 值，采用 Pearson 相关性检验验证每半年 NTVDI 和 NDVI 分别与对应年份火点个数的相关性，并进行显著性双侧检验，结果如表 1 所示：

表 1 TVDI、NDVI 分别与火点个数的相关性

相关系数	NTVDI	NDVI
------	-------	------

Pearson 相关性	0.265	-0.262
显著性（双侧）	0.026	0.028
平方与叉积的和	7.513	-9.055
协方差	0.109	-0.131
样本数	10	12

可以看出火灾发生次数与同期对应的 NTVDI 相关系数为 0.265，可以通过 0.05 的显著性检验，这表明房山区森林火灾发生次数与干旱指数呈显著正相关，即当房山区森林地区的干旱指数较高时（通常为上半年）森林火灾发生率较高，干旱指数较低时（通常为下半年）森林火灾发生率较低；火灾发生次数与同期对应的 NDVI 相关系数为-0.262，可以通过 0.05 的显著性检验，表明房山区森林火灾发生次数与植被指数正相关，即当重庆森林地区的植被指数较高时（通常为下半年）森林火灾发生率较低，植被指数较低时（通常为上半年）森林火灾发生率较高。

（6）森林火灾预警模型建立

根据房山区森林火灾发生次数与植被指数、和干旱指数的高相关性，以及房山区森林火灾发生规律、植被指数、森林植被类型和干旱指数的特征分析，利用植被指数与干旱指数相结合而得到的火险综合预报指数来反映森林火灾发生的难易程度。构建的计算模型如下：

$$F = (NDVI + 1 - NTVDI)/2$$

式中：NDVI 是植被归一化指数，NTVDI 表示近温度——植被干旱指数，它们均是 0-1 化的特征量。F 越大，表明植被指数越大、干旱指数越小，即植物含水率与土壤湿度越大，森林火灾发生率越小；F 越小，表明植被指数越小、干旱指数越大，即植物含水率与土壤湿度越小，森林火灾发生率越大。

使用 ArcGIS 的“栅格计算器”工具对 NDVI 和 NTVDI 的栅格图层进行计算得到新的栅格图层。

3.1.3 成果说明

根据我国已有的《全国森林火险天气等级》，将森林火险天气等级由低到高划分为 5 级。该标准主要考虑的气象因素对火险等级的影响，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，以及上方山地区的干旱指数、植被指数和数据本身的正态分布特点，将上方山森林火险等级划分为如下表 2 所示的 4 个等级：

表 2 上方山火险等级划分结果

等级	综合火险指数 F	危险程度
1	$F \geq 0.30$	没有危险
2	$0.20 \leq F < 0.30$	低度危险
3	$0.10 \leq F < 0.20$	中度危险
4	$F < 0.10$	高度危险

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：

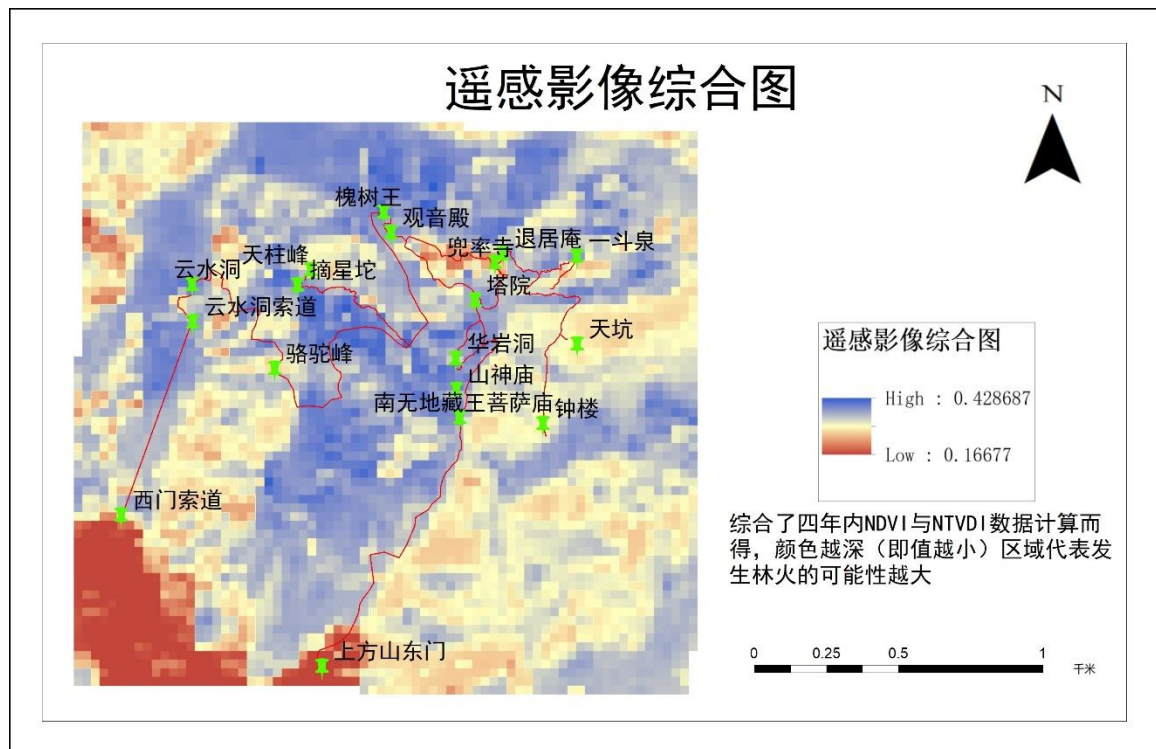


图 1 上方山林火风险分级图

3.1.4 结果分析

根据结果发现，2017-2019 年之间，每一年的上下半年相比，上半年的林火高风险区域明显要多余下半年。通过查阅往年北京火灾情况资料，可以了解到北京在 1986-2004 年之间发生森林火灾 494 起，其中上半年发生 427 起，占全年的 86.44%，其中 3、4 月份林火火灾尤其高发，占比高达 64.78%。北京上半年降水少，天气多以干旱为主，可燃物干燥易燃，且大风天气较多，因此我们推测导致上下半年林火发生频率巨大差异的主要因素是降水量。

从中国气象数据网上可获得房山区 2017-2019 年的降水量数据，将 2019 年的数据制作成条状图如图 2 所示（另外两年数据大致相似，在此不做展示）：

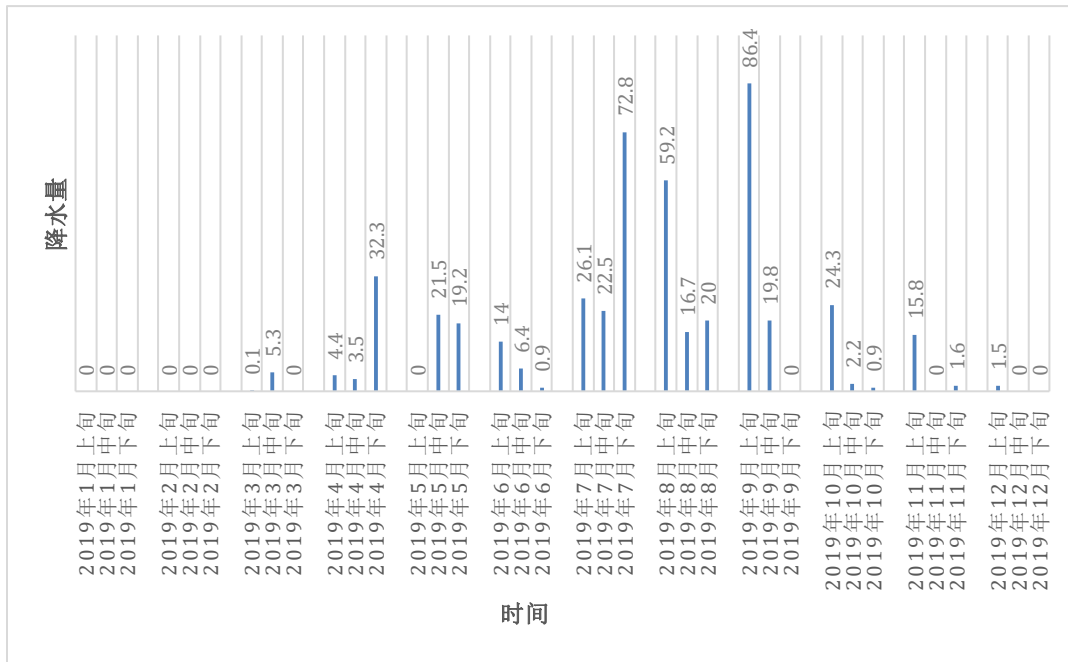


图 2 2019 年房山区降水量月度柱状图

对统计出的 2017-2019 年上下半年的火灾风险等级栅格数据进行分析，把数值在 0.2 以下的定义为有风险栅格，对栅格图层使用统计工具计算高风险栅格的数量并计算出所占全部栅格的百分比，再与降水量数据进行比较分析，可以得到如下图 3 所示结果：

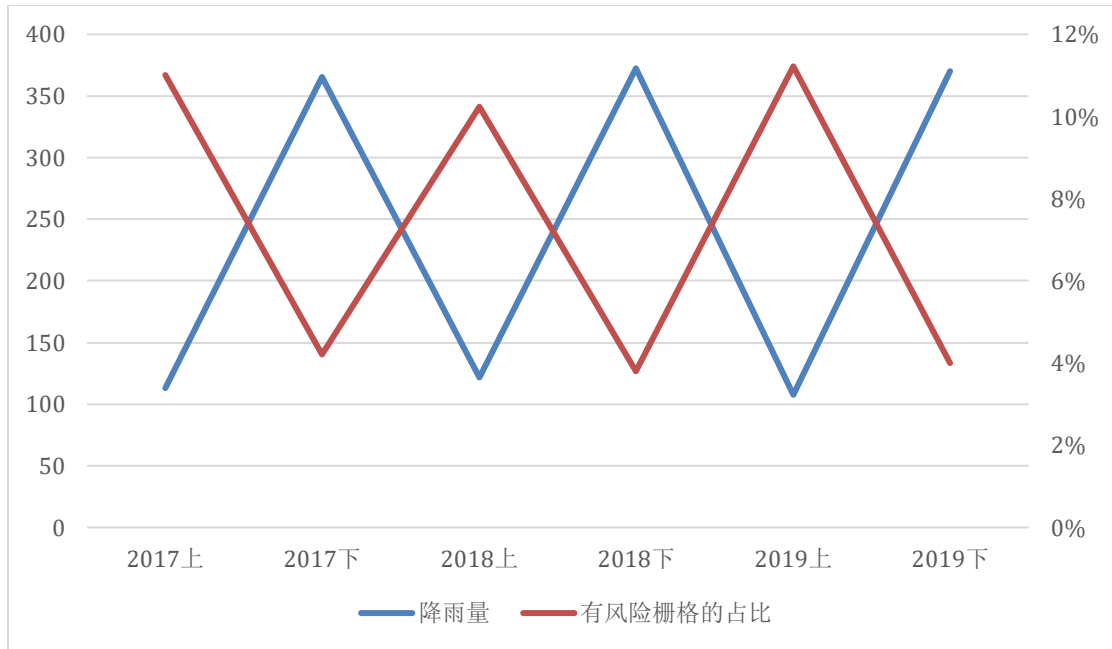


图 3 降雨量与有风险栅格关系折线图

从折线图可以看出，有风险栅格所占的百分比在每个年份的上半年较下半年明显更高，与降水量的情况完全相反，也即：降雨量多的月份，林火风险更小；降雨量少的月份，林火风险更大。

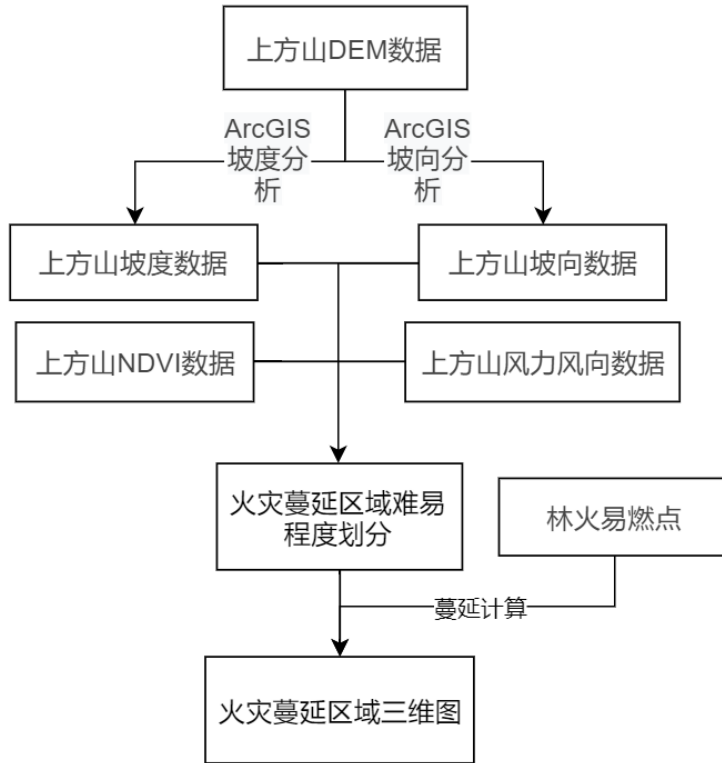
3.2 林火蔓延区域风险预测

3.2.1 专题意义及理论说明

森林起火后，由火点向其上下及周围发生火势扩展称为林火蔓延。林火蔓延是持续毁灭森林的根本动力。因此，了解和掌握林火蔓延模型，预测林火蔓延趋势，可视化林火蔓延研究将最大限度地减少森林火灾造成的损失，具有极其重要的作用。影响林火蔓延的主要因素有：植被、坡向、坡度、风向、风力等。计算机模拟林火蔓延基于栅格数据开展，因为栅格数据可以较好地描述空间连续变化地现象。由 DEM 数据生成上方山区域地坡向、坡度栅格数据，再结合其它数据生成林火蔓延区域难易度分级图。并根据此图，在预测的可能性较大的起火点区域模拟火灾可能蔓延的范围，制成三维地图形式，为消防人员控制火势、游客林火避险提供直观的展示参考。

3.2.2 技术方法

(1) 技术路线



(2) 林火蔓延分析的因子选择

影响林火蔓延的因子主要有三个：①可燃物：种类不同，其理化性质、结构、大小均不相同，燃点和燃烧速度也就有明显差异。火的蔓延方向往往向燃点低的可燃物蔓延较快，而燃点高的可燃物蔓延较慢。细小的可燃物如杂草和地表枯枝落叶，含水率随大气的湿度而变化；较粗大的可燃物含水率变化与天气连旱密切相关。所以细小可燃物的蔓延较快，而粗大可燃物的蔓延则较慢；②地形：地形变化不仅影响可燃物的种类及其分布，并能影响生态因子的重新分配，从而能影响火环境。地形起伏变化，能影响热的传播。如火在阳坡、山脊时，立地条件干燥，林火蔓延速度较快；而火在阴坡、山谷时，立地条件潮湿，林火蔓延则缓慢。火由山下向山上蔓延较快，称冲火，不易扑救；火由山上向山下蔓延则缓慢，称坐火，容易扑救。坡度大小对林火蔓延影响较大，在一般情况下，林火的蔓延速度随坡度的增加而加快，但在平缓地段对林木危害较重，而坡度增大则对林木的危害轻；③风：顺风蔓延的速度最快，逆风蔓延缓慢，侧风蔓延则介于二者之间。风不仅加快可燃物的水分蒸发与蒸腾，加速干燥，促使可燃物更易燃，而且能改变热传播，使对流热能变为热平流，加快林火向前蔓延的速度。在风的作用下，能不断补充新的氧气，加速燃烧的过程。此外，风向能决定林火蔓延方向。在火场上，当风向突变时，火势会减弱，有利扑救。对于其他气象因子，如温度、湿度、降水、日照等都与

林火蔓延有关，但影响较小。当然，林火蔓延与时间密切相关，时间愈长，火场蔓延面积愈大；反之，火场蔓延面积也小因此及时发现火险，在其早期扑灭是及其必要的。

鉴于因子的相关性和数据的可获得性，我们选择了上方山 NDVI 指数（近似代表可燃物）、地形和大致风向为分析因子。

（3）模型及参数的计算方法

参考吴瑞旭等人的《基于 ArcGIS 的高原林火蔓延三维可视化系统》，对其中的计算模型 Rothermel 模型做了一定的简化，其计算公式为：

$$R = (1 + W + S)/NDVI$$

式中计算结果 R 为林火蔓延速度 (m/min)；W 为风速修正系数；S 为坡度修正系数。

除了蔓延速度，我们还应预测蔓延的方向，Rothermel 模型同样提供了蔓延方向的分析，其模型构建如图 4 所示：

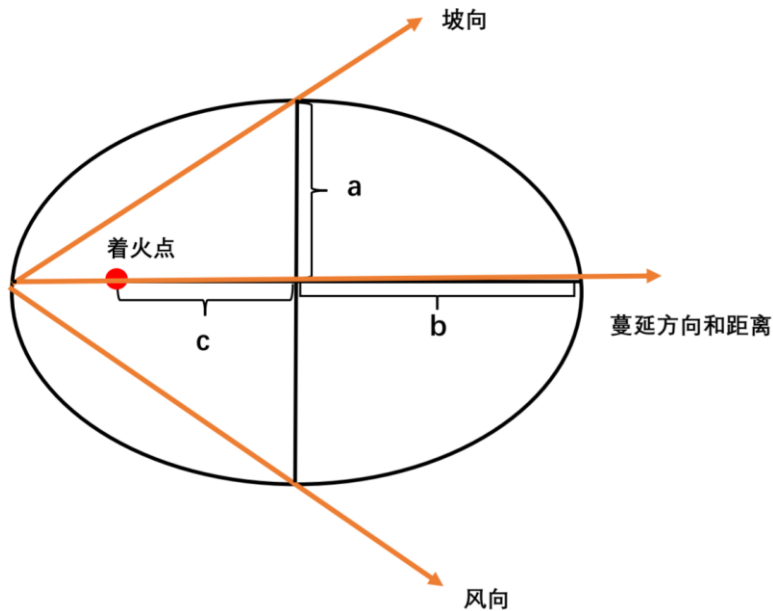


图 4 Rothermel 模型蔓延方向示意图

根据元胞自动机原理(如图 5)，把 Rothermel 模型椭圆形 8 个方向的林火蔓延方向，分解为以火点为中心的 8 个方向的蔓延距离。设蔓延火点 $K(i, j)$ ，计算燃烧范围，其周围 8 个区域为蔓延栅格，提取火点蔓延参数，计算蔓延速度，当蔓延距离超过单位栅格边长(上、

下、左、右)，或 $\sqrt{2}$ 单位栅格边长（右上、右下、左上，左下），计算蔓延栅格中心坐标点，不断记录新的着火点。

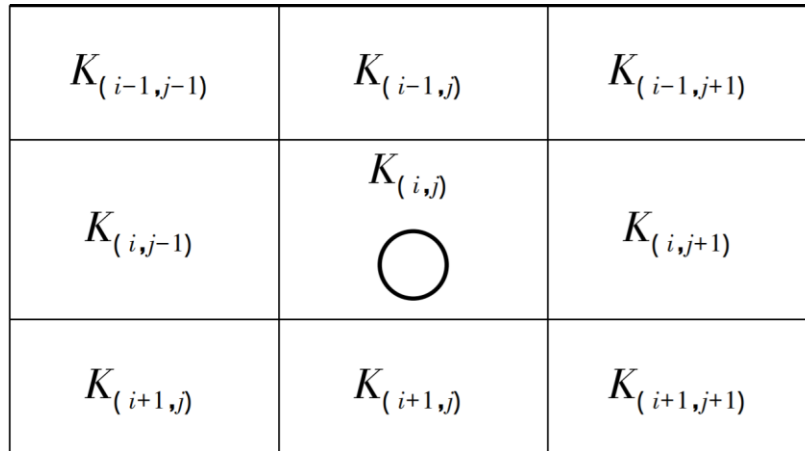


图 5 元胞自动机原理

(4) 火灾蔓延区域难易程度

根据计算结果划分上方山区域内的蔓延难易程度，划分的依据为时间，即：由之前得到的林火风险等级划分数据，选定几个高危点作为着火点，作林火蔓延模型的计算。由火点扩散到各区域的时间为标准。划分的情况如表 3：

表 3 火灾蔓延区域难易程度分级

等级	林火扩散至该区域时间 H	危险程度
1	$H \geq 6$	低
2	$4 \leq H < 6$	中
3	$2 \leq H < 4$	高
4	$H < 2$	极高

由此可得到火灾蔓延区域难易程度分级图（如图 6）

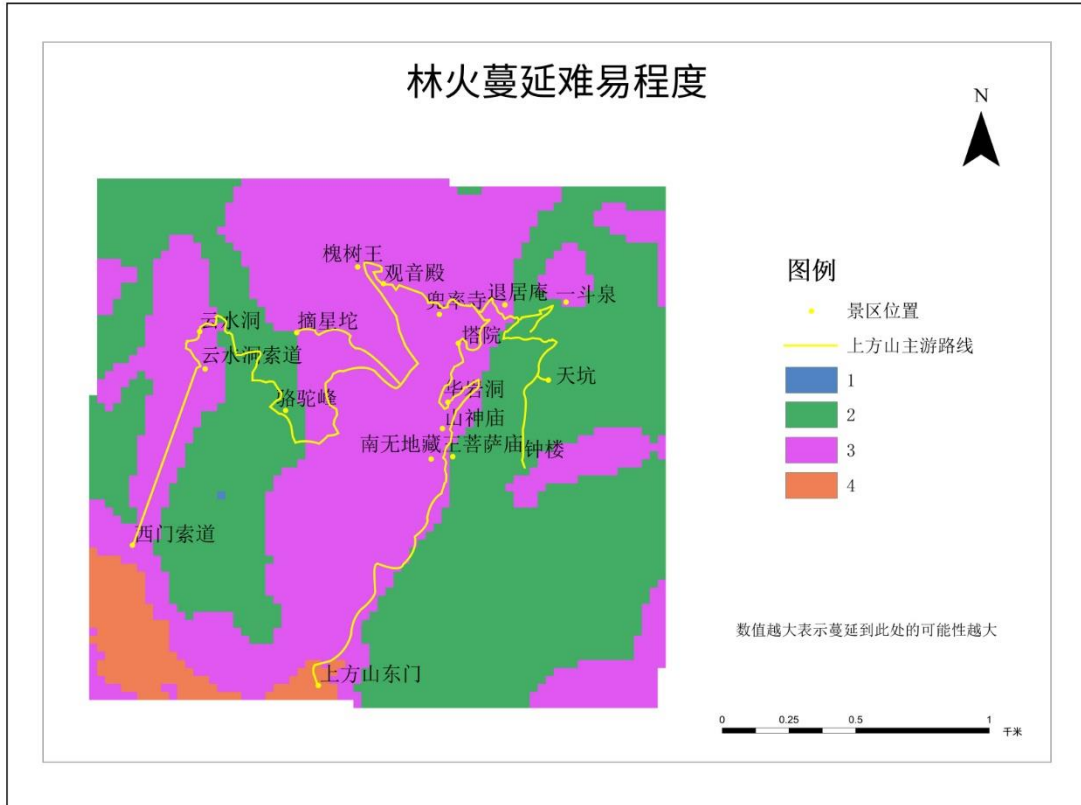


图 6 火灾蔓延区域难易程度

(5) 数字三维地形可视化

DEM 是对地形地貌离散的数字表达, 是对地面特性进行空间描述的一种数字方法和途径。三维地形的生成, 首先利用三角网生成方法, 首先提取高程点, 把点集划分到足够小, 使其易生成三角网, 然后把子集中的三角网合并生成最终的三角网, 由 TIN 内插格网 DEM 利用等高线建立 TIN 后, 可以由 TIN 解求该区域内任意一点的高程, 通过三维分析方法, 在三维空间坐标系中生成可视化地形。使用 ArcSence 可实现这一过程。选择之前分析所选择的着火点, 设置一定的时间步长, 蔓延总时长以分钟为单位共 60min, 即 1h。得到的渲染结果如图 7 与图 8 所示。

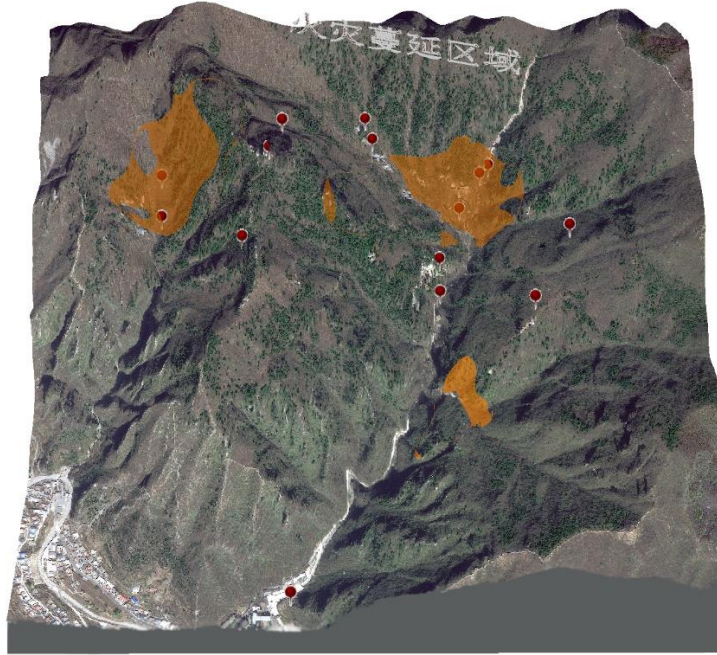


图 7 三维火势蔓延推测图（角度 1）

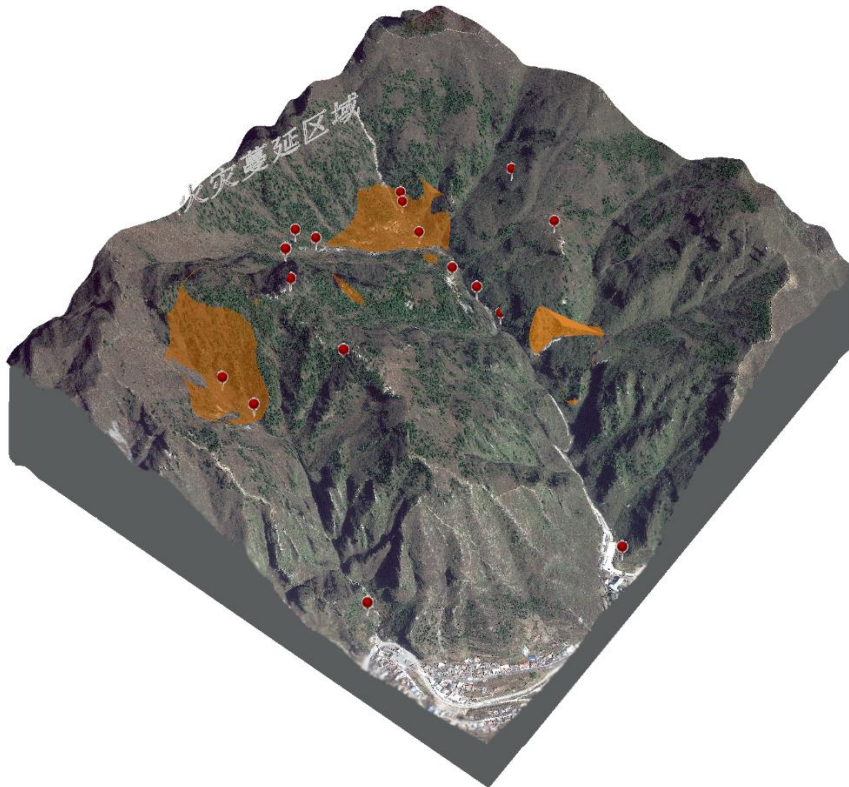


图 8 三维火势蔓延推测图（角度 2）

三维图上所示的红色区域即为火灾扩散区域，可以发现大多位于山谷处，沿山谷线向西南方向扩散。

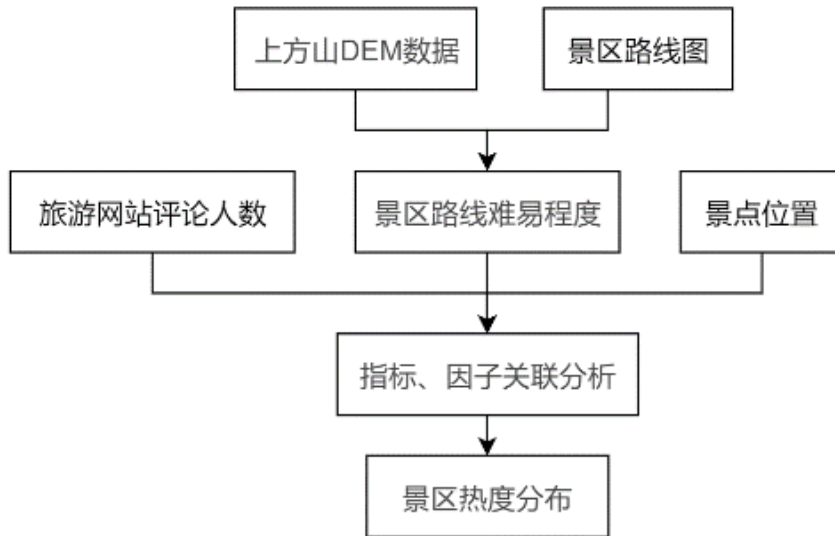
3.3 景区热度分析

3.3.1 专题意义及理论说明

随着科学技术的发展，人们对自然因素引起的林火的控制能力不断加强。但目前人为因素引起的火灾次数比重不断上升，据统计 1986-2004 年北京市共发生林火 494 起，在明确起火原因的 322 起中人为火源占 99.69%，其中吸烟、林地垃圾等生活性火源为主要原因，而在人流量集中的区域，此种因素更容易发生，故可根据人流量合理推测森林火灾易燃点，并且可根据景区热度分布，设立必要的消防、避险设施，以保障游客的生命健康安全。

3.3.2 技术方法

(1) 技术路线



(2) 景区热度计算

将旅游网站景点评论人数、景区路线难易程度和景点位置三个因子建立大致的计算模型。

$$K = 0.4 * A + 0.4 * B + 0.2 * C$$

式中 K 是综合热度指数，A 为旅游网站的景点评论人数并根据人数划分区间赋值，赋值情况表 4 所示：

表 4 景区评论人数分级与赋值情况

等级	景点评论人数 A	赋值
1	$A < 50$	0.5
2	$50 \leq A < 100$	1
3	$100 \leq A < 150$	1.5
4	$A \geq 150$	2

B 为景区路线的难易程度，以上方山的 DEM 数据为基础，结合景区路线图，根据海拔对景区路线进行难度划分；C 为景点位置，根据各个景点的海拔位置对它们进行划分。

使用 ArcGIS 中的核密度计算方法进行密度分析，原理则为落入搜索区的点具有不同的权重，靠近搜索中心的点或线会被赋予较大的权重，反之，权重较小，它的计算结果分布较平滑，在普通的点\线密度分析中，落在搜索区域内的点或线有相同的权重，先对其求和，再除以搜索区域的大小，从而得到每个点的密度值，即可得到景区热力分布。

3.3.3 成果说明

对结果数据的本身正态分布特点，对热力分布分成了 9 个等级，景区热力可视化如下图 9 所示，其中颜色越接近红色热力越高，越接近蓝色热力越低：

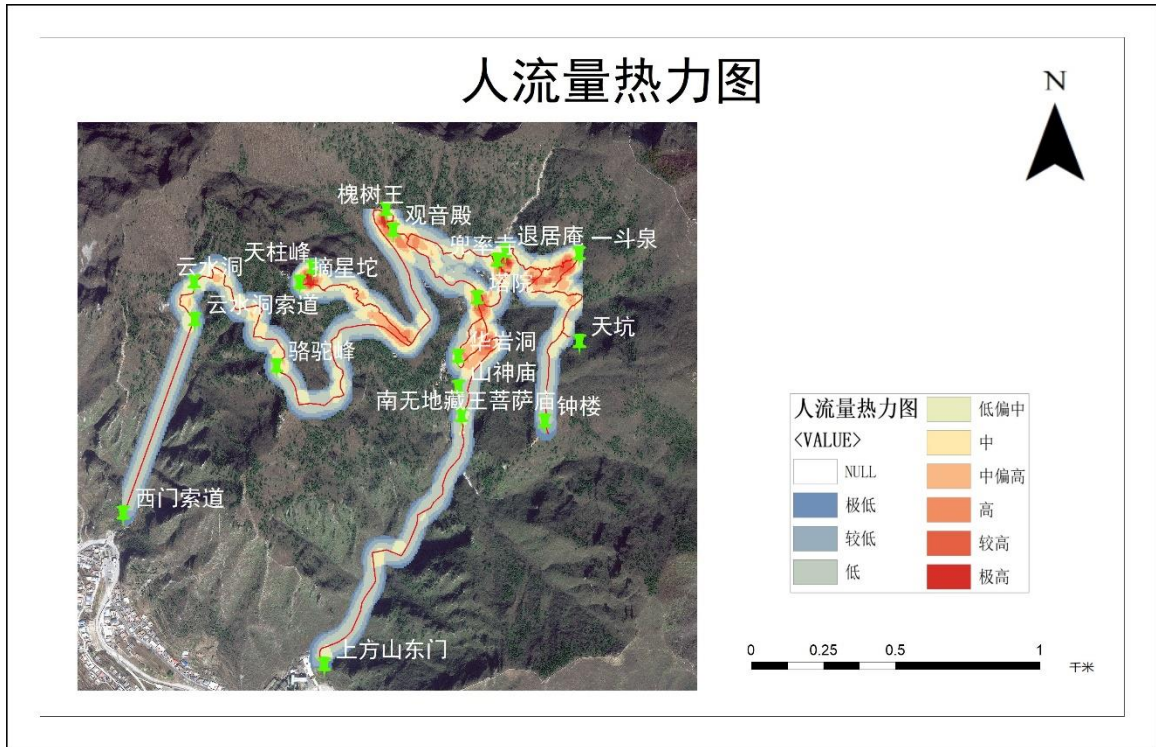


图9 景区人流量展示

3.4 上方山森林公园避难所与消防站选址

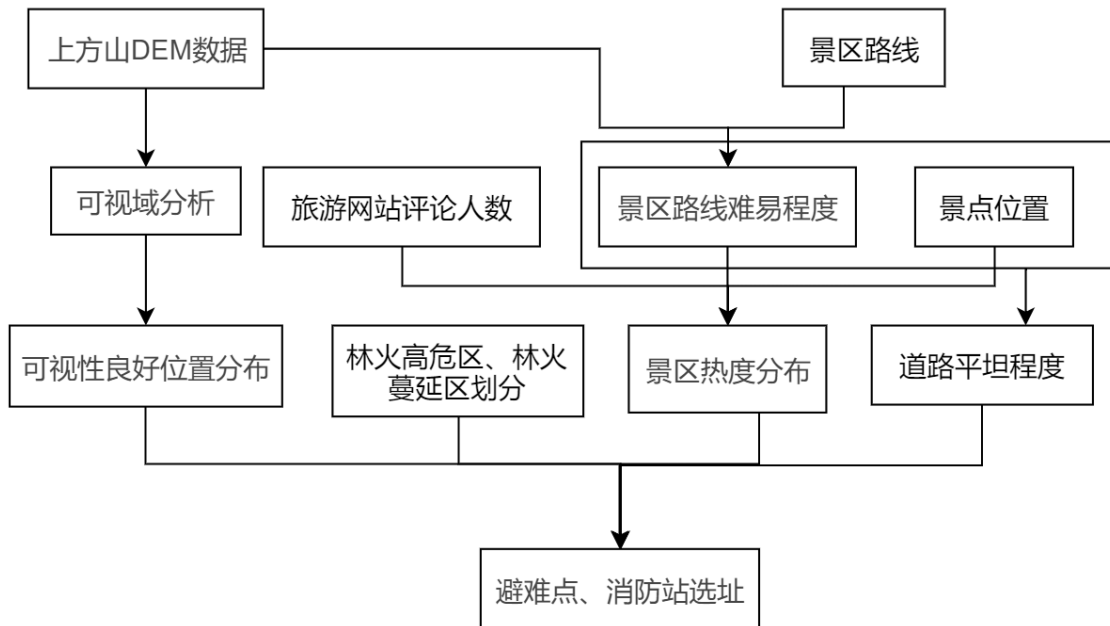
3.4.1 专题意义及理论说明

在上房山面对突如其来的大火，如何尽早发现并扑灭林火即为重中之重，因此山林应急救援站的选址问题是关乎森林安全的重要一环，决策者需要考虑时间、成本和资源等多个影响决策的因素，尤其是需要优先考虑应急救援的时效问题，基于时间目标选择出应急救援站候选地址，综合考虑时间、成本和资源三个目标进行决策，最终从应急救援站候选地址中选择出最合理的山林区应急救援站的地址，指导和帮助山林区域决策者对林区应急救援站选址问题做出科学决策。

另外，快速有效的保障游客和当地住民的生命和财产安全同样是一个十分重要的问题，在林火迅速蔓延之际，游客和居民撤离到避难所躲避无疑是一个很好的解决办法。通过地形是否平坦、道路是否通畅、距离火点的距离以及是否在林火的可能蔓延区域内等因素综合分析，以选择合适的避难场所。

3.4.2 技术方法

(1) 技术路线



(2) 选址参考因子的选择

对于避难所和消防站的选址首先应该遵循安全性的原则，即应该考虑：①是否为林火高危点；②林火蔓延至该地的风险有多大；③地势是否平坦，满足前面三点，则基本满足安全性的需求。其次，根据建设部、发改委 2011 年 10 月批准施行的《2011 年新城市消防站建设标准》（建标 152-2011），对于消防站，其布局一般应以接到出动指令后 5 min 内消防队可以到达辖区边缘为原则确定，因此还应该考虑易到达性，以及能否第一时间侦测到火情。易到达性对于避难所选址也同样适用，发生危险后人们应该也能第一时间躲避，因此要综合景区热力划分，在客流量高的区域附近且容易到达的地点进行选址。

(3) 上方山可视性良好位置分布

对上方山地区进行可视域分析（ArcGIS 软件实现），划分出可视性良好与在可视性好的地方，则可视性好的地方就可以考虑设立消防站的瞭望台了，能够在一定程度降低各地的林火危险度，因为当某地发生火灾，能直接看见发生火灾的地点的其他区域可及时进行消防救火，减小火灾发生的危害，而可视域狭小的地方，如果发生火灾不能及时发现，火灾危险等级就会升高。

我们先考虑了各路线的易到达程度，在距离热门景点距离近且道路平坦的地区选点，并对其做可视域分析，得到了方案一，结果如图 10：

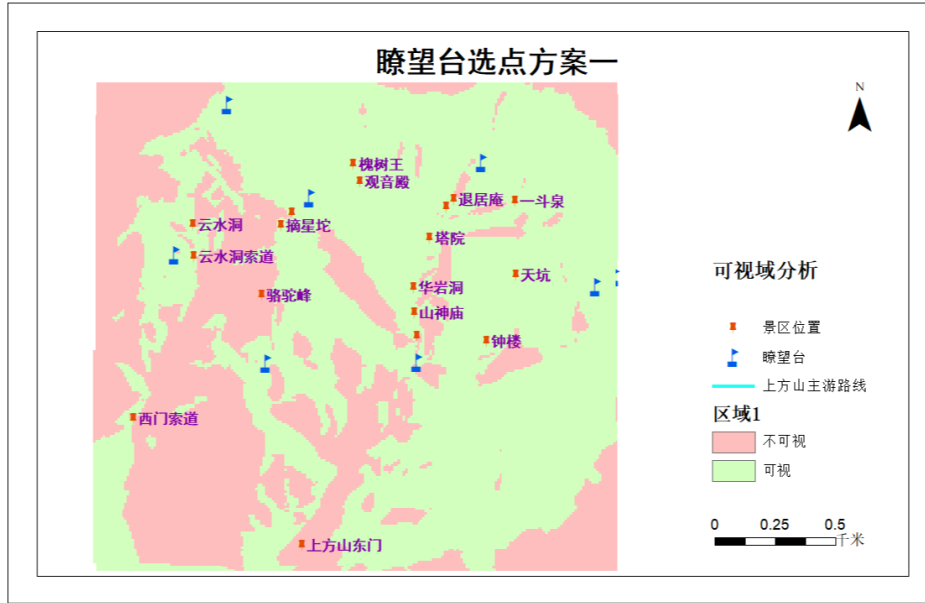


图 10 瞭望台选点方案一

图中绿色区域即为在图中的站点角度上视线良好的区域，可以发现，对于图 3.7，有过多不可视区域，这会给林火的检测增加难度。因此，在减小了道路的考虑权重后，加大对可视区域面积的考量，由此生成了方案二。

如下图 11 是分析之后对结果进行可视化得到的图：

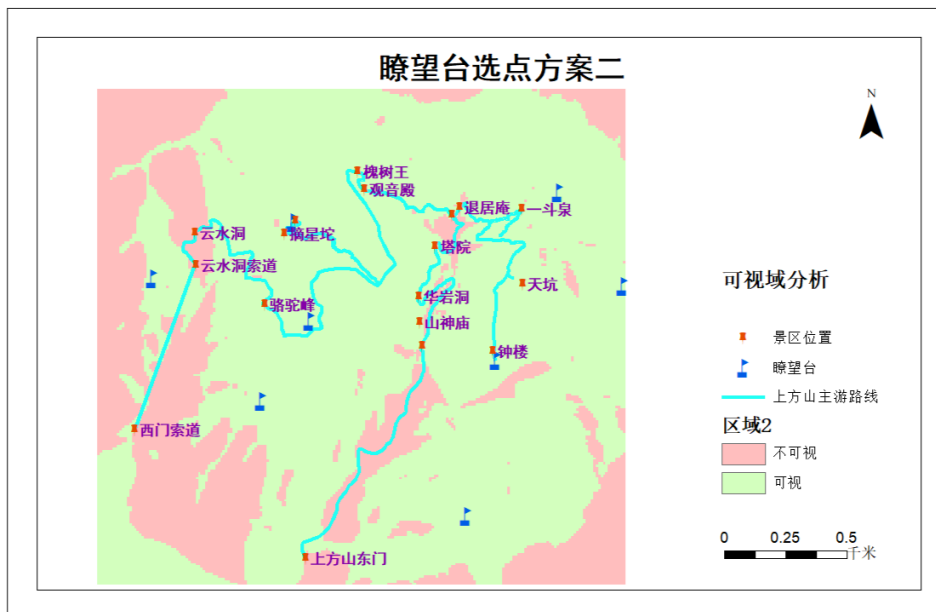


图 11 瞭望台选点方案二

由图 3.8 可见，如果在图中所示设立瞭望台，在考虑道路易到达程度的同时，上方山地区大部分区域都可以被很好的观测，因此方案二可以作为消防站选址的参考。

3.4.3 综合各因子分析选址

综合 3.1 中得到的林火风险分级数据，3.2 中得到的林火蔓延预测，3.3 中得到的景区热力分布数据，再结合道路平坦程度和可视域分析得到的结果，进行指标、因子关联分析。

对于消防站，选择了视野开阔、地形平坦、方便消防队出队和离景区人流量大的区域较近的地区，选址如下图 12：

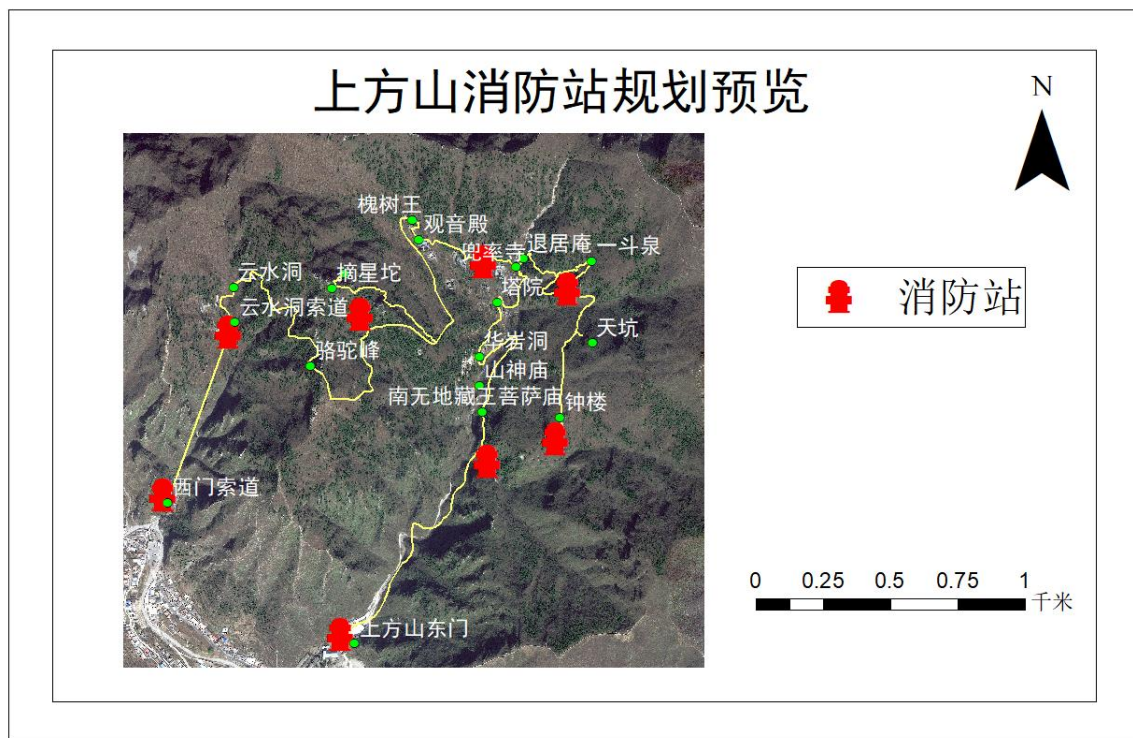


图 12 上方山消防站选址

对于避难所，选择地形平坦，易到达，原理林火高危区和林火蔓延区，以及离热门景点较近的地区，选址如下图 13：

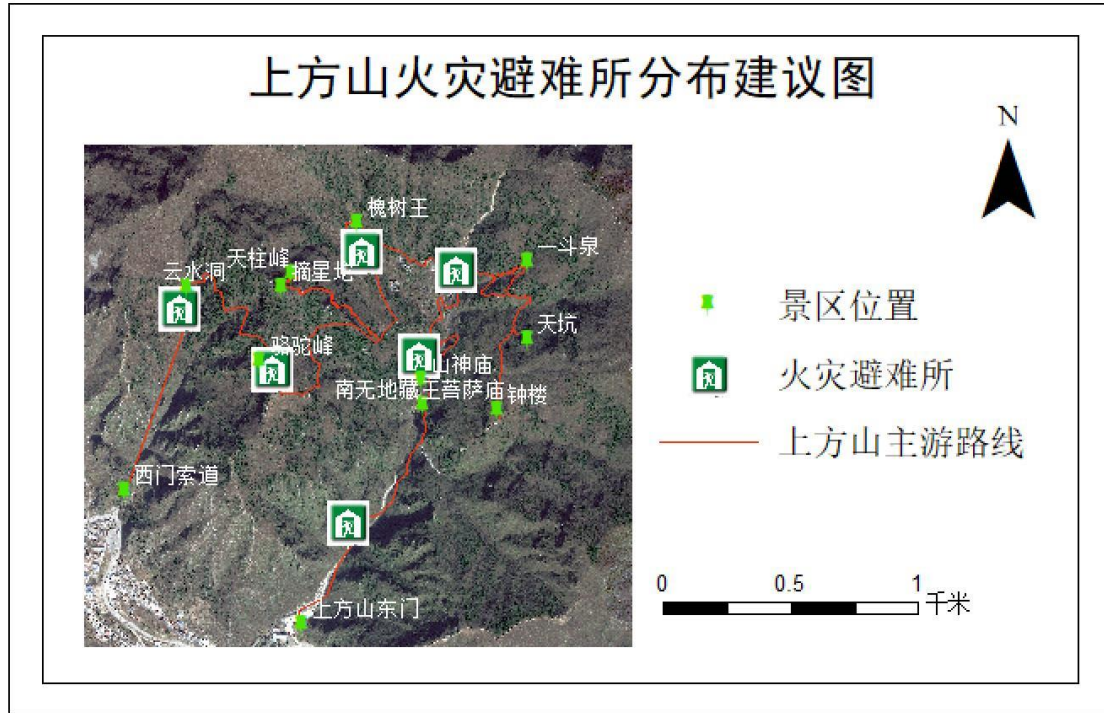


图 13 上方山避难所选址

4 结论与讨论

本文研究的基本目标在于认识森林火灾发生的基本规律，通过遥感手段对上方山这种复杂地形、气象条件下的森林火灾监测、预警方法进行探讨，进而找到适宜于上方山自然地理条件的森林火灾预警与组织方法，从而提高上方山防灾减灾水平，减少因灾造成的社会经济损失及避免人民生命健康安全受到危害。

以上方山为研究区，利用 Landsat8 遥感数据及 DEM 数据对该区森林火灾预警、森林火灾时空分析规律、森林火灾蔓延趋势三方面进行了比较深入的研究。其中对于森林火灾预警，本文使用 NDVI-NTVDI 模型计算出上方山地区各区域的风险指数，基于这些指数划分出不同的风险区。对于林火蔓延趋势，本文使用 Rothermel 模型，假设了位于高危区的着火点进行林火蔓延推演。对于森林火灾时空分析规律，本文总结出两个结论：①将北京真实火灾数据与降雨量等因素进行比较分析，得出北京上半年降雨少，引发的干旱会使火灾高发的结论；②分析林火蔓延的趋势可知，上方山地区着火点大多位于山谷处，沿山谷线向西南方向扩散。并由于上

方山地区的旅游景区特性, 本文还分析了上方山森林公园的景区人流量分布, 以及基于上述研究而对上方山地区的消防站与避难所进行选址, 保证了研究的人文关怀。

参考文献

- [1] 国家林业局国家发展改革委财政部联合印发《全国森林防火规划(2016--2025年)》[J]. 中国应急管理, 2017(01):34-44.
- [2] 王英博, 郑宏. 我国森林防火工作现状及对策[J]. 中国新技术新产品, 2018(09):141-142.
- [3] 刘北辰. 高科技在森林消防中的应用——美国森林消防一瞥[J]. 上海消防, 1996(04):38.
- [4] 刘琳. 基于 MODIS 数据的重庆市森林火灾监测与预警研究[D]. 重庆师范大学, 2014.
- [5] 吴瑞旭, 徐伟恒, 王秋华, 杨磊, 刘黄飞. 基于 ArcGIS 的高原林火蔓延三维可视化系统[J]. 西部林业科学, 2018, 47(01):80-85+91.
- [6] 贾宜普, 王伟. 《火灾直接财产损失统计方法》的实施与展望[J]. 消防科学与技术(6):12-12.
- [7] 王佳璆, 张贵, 肖化顺. ArcGIS 可视域分析在瞭望台管理中的应用[J]. 湖南林业科技, 2005(02):24-26.
- [8] 陈天恩, 陈立平, 陈红, 高惠瑛. 基于 GIS 的森林火灾现场模拟及其应用[J] 1004-4574 (2007) 01-0076-05.
- [9] 吴瑞旭, 徐伟恒, 王秋华, 杨磊, 刘黄飞. 基于 ArcGIS 的高原林火蔓延三维可视化系统[J]. 西部林业科学, 2018, 47(01):80-85+91.
- [10] 中国气象数据网, 天气雷达图像产品(2017-2019)[EB/OL]. <http://data.cma.cn>.