

中南林业科技大学学报

Journal of Central South University of Forestry & Technology

ISSN 1673-923X，CN 43-1470/S

《中南林业科技大学学报》2026年第5期

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923X.2026.05.007

论文标题： 湖南省国有林场林火视频监控点空间分布格局

作　　者： 汪欣雨，龙时胜，蔡晓晶，等

收稿日期： 2025-04-09

引文格式： 汪欣雨,龙时胜,蔡晓晶,等.湖南省国有林场林火视频监控点空间分布格局[J].中南林业科技大学学报,2026,46(5):59-67,88.

WANG X Y, LONG S S, CAI X J, et al. Spatial distribution pattern of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(5):59-67,88.

相关论文推荐

Recommended articles

基于航拍可见光图像的早期林火探测优化

Early forest fire detection optimization based on aerial visible light images

基于无人机多光谱遥感的林火监测模型

Model research for monitoring forest fires based on UAV multispectral remote sensing

基于无人机红外影像的森林火灾燃烧点检测方法

Forest fire detection method based on UAV infrared images and deep learning

基于卫星遥感的森林火灾风险预警研究

Study on forest fire risk early warning based on satellite remote sensing

基于FY4遥感数据的森林火灾判别研究

Forest fire discrimination research based on FY4 remote sensing data

基于视觉变换网络的自监督森林火灾识别

Self-supervised forest fire recognition based on visual transformation network

基于改进Swin Transformer的森林火灾检测算法

Forest fire detection algorithm based on an improved Swin Transformer

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923x.2026.05.007
http: //qks.csuft.edu.cn

湖南省国有林场林火视频监控点空间分布格局

汪欣雨[1]，龙时胜[1]，蔡晓晶[1]，李梓铭[2]，刘发林[1]
（1. 中南林业科技大学 林学院，湖南 长沙 410004；2. 湖南省林业局，湖南 长沙 410007）

摘　要：【目的】林火视频监控是森林经营单位进行林火监测的核心手段。分析林火视频监控点的空间分布特征及其影响因素，对优化监控点的空间布局、提升监测效率、减少监测盲区、实现火情早发现早预警，进而降低森林火灾损失具有重要意义。【方法】以湖南省 216 个国有林场林火视频监控点为研究对象，采用最近邻距离指数、核密度估计法、标准差椭圆法分别分析林火视频监控点的空间分布类型、空间分布密度、空间分布方向性，对湖南省国有林场林火视频监控点的空间分布格局进行研究，从地形、交通、火灾风险、社会经济四个方面对林火视频监控点的选址影响因素进行了探讨。【结果】湖南省国有林场共有林火视频监控点 645 个，在空间上呈现显著集聚特征。从湖南省各市州林火视频监控点的分布数量来看，邵阳市林火视频监控点的数量最多，湘潭市最少，分别占全省总数的 17.36% 和 0.31%。从分布密度来看，在空间分布上呈“北少南多”的区域性差异，有 4 个高密集区中心，分别位于长沙市、株洲市、永州市和邵阳市；存在 1 个次密集区中心，位于湘西土家族苗族自治州；而湘潭市、娄底市、岳阳市、常德市以及张家界市等地区的核密度值较低。从分布方向性来看，标准差椭圆长短轴之间的数值差距较大，表明林火视频监控点的空间分布方向性较强，并呈现西北—东南走向的分布态势。【结论】湖南省国有林场林火视频监控点空间分布受高程、坡度、交通通达度、墓地数量、国有林场经营面积、旅游景点数量等因素影响较为显著，研究结果为加强湖南省森林防灭火能力建设及林火视频监控点合理布局提供参考。

关键词：林火视频监控；空间分布格局；国有林场；湖南省
中图分类号：S762.3^{+}2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673-923X(2026)05-0059-09

Spatial distribution pattern of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province

WANG Xinyu[1], LONG Shisheng[1], CAI Xiaojing[1], LI Ziming[2], LIU Falin[1]

(1. School of Forestry, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, Hunan, China;
2. Hunan Forestry Bureau, Changsha 410007, Hunan, China)

Abstract:【Objective】Forest fire video monitoring is the key means of forest fire monitoring in forest management agencies. Reasonable spatial distribution pattern can improve monitoring efficiency, reduce monitoring blind spots, detect fires in time, and reduce losses from forest fires.【Method】Taking 216 state-owned forest fire video monitoring points in Hunan Province as study objects, the spatial distribution type, spatial distribution density and spatial distribution direction of forest fire video monitoring points were analyzed by using the nearest neighbor index, kernel density estimation method and standard deviation ellipse, respectively. The spatial distribution pattern of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province was studied, and the influencing factors of site selection of forest fire video monitoring points were discussed from four aspects: topography, traffic, fire risk and social economy.【Result】There are 645 forest fire video monitoring points in the state-owned forest farms in Hunan Province, showing a significant agglomeration pattern in space. From the distribution of forest fire video monitoring points in various cities and prefectures of Hunan Province, Shaoyang City has the largest number of forest fire video monitoring points, and Xiangtan City has the least, accounting for 17.36% and 0.31% of the total number of the provinces, respectively. From the perspective of distribution density, the spatial distribution shows a regional difference of ‘less in the north and more in the south’. There are four high-density area centers, located in Changsha City, Zhuzhou City, Yongzhou City and Shaoyang City; in addition, there is a sub-intensive area center located in Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture. The numerical difference between the long and short axes is large, indicating that the

收稿日期（Received）：2025-04-09　　**修订日期**（Revised）：2025-07-14
基金项目：国家自然科学基金项目（31470659）；湖南省林业科技攻关与创新资金项目（XLK202435）。
第一作者：汪欣雨（54901354@qq.com），硕士研究生。**通信作者：**刘发林（liufl680@126.com），教授，博士，博士研究生导师。
引文格式：汪欣雨 , 龙时胜 , 蔡晓晶 , 等 . 湖南省国有林场林火视频监控点空间分布格局 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(5):59-67,88.
WANG X Y, LONG S S, CAI X J, et al. Spatial distribution pattern of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(5):59-67,88.

spatial distribution of forest fire video monitoring points has a strong directionality, and presents a northwest-southeast distribution trend. 【Conclusion】The spatial distribution of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province is significantly affected by factors such as elevation, slope, traffic accessibility, number of graves, operating area of state-owned forest farms, and number of tourist attractions. It provides a reference for strengthening the construction of forest fire prevention and extinguishing capacity in Hunan Province and the rational layout of forest fire video monitoring points.

Keywords: forest fire video monitoring; spatial distribution pattern; state-owned forest farm; Hunan Province

森林火灾是一种破坏性强且频繁发生的自然灾害，对森林资源和人民生命财产安全造成极大威胁 [1]。湖南省是我国森林火灾频繁发生的省份之一 [2]。据张敏等 [3] 的研究，2016—2020 年湖南省发生森林火灾达 1 970 次，以永州市发生火灾次数最多。国有林场是湖南省林业的重要组成部分，是全省生物多样性最突出、森林资源最丰富、生态功能最显著的区域，是全省森林可持续经营的主战场，是生态建设和林产品供给的核心力量。

如何科学监测森林火灾，是实现森林防灭火的重点。目前，我国的林火监测手段可以划分为 4 个空间层次：地面人工巡护、瞭望塔监测、飞机巡护监测和卫星监测。在这 4 个空间层次中，林火视频监控系统位于瞭望塔监测层面，通过高清热成像摄像机获取实时图像，能够全天候、大面积、高效、准确地监测林火，这一系统是有效遏制森林火灾发生的必要手段 [4-7]。因此，合理布局林火视频监控点是建立该监控系统的首要任务 [8]。然而，湖南省国有林场的林火视频监控点布局尚存在监测盲区过多、监控范围重叠等问题。更为严重的是，仍有少数林场尚未部署林火视频监控设施，这无疑增加了火灾早期发现和快速响应的难度。合理的空间分布格局可以确保监控点之间的覆盖范围互补和重叠，提高监控效率，减少监控盲区，及时发现火情。因此，调整优化林火视频监控点分布范围至关重要，能够及时发现并迅速响应林火事件，最大限度地减少森林火灾损失 [9]。目前，我国在林火监测领域的研究主要集中在以下几个方面：林火信息系统、林火等级区划及预报、林火时空分布特征、林火扑救决策系统以及林火蔓延模拟 [10-16]，对林火视频监控点的空间分布研究鲜有报道。基于此，以湖南省 216 个国有林场范围内所有林火视频监控点位数据为研究对象，探析湖南省国有林场林火视频监控点的空间分布特征，识别空间集聚模式，分析其分布的影响因素，为加强湖南省森林防灭火能力建设及林火视频监控点合理布局提供参考。

1 研究区概况

湖南省位于我国中南部，地处长江中下游，地理坐标为 108°47′ ～ 114°15′E、24°38′ ～ 30°08′N。全省总面积 2.12×10^5 km^2，地形呈自西南向东北逐渐降低的特征，主要由武陵山脉、雪峰山等山地组成。中部的长沙盆地和北部的洞庭湖平原是主要的农业区。气候类型为亚热带湿润气候，四季分明，降水丰富。这一气候条件有利于多种森林植被的生长，湖南省森林覆盖率达 59.98%。

湖南省现有国有林场 216 个，其中省属 2 个、市属 16 个、县属 198 个，主要分布在山区和丘陵地区，包括武陵山、雪峰山、衡山等区域。全省国有林场经营总面积 77.45 万 hm^2，森林覆盖率 96%，活立木总蓄积量 3.99×10^7m^3。国有林场的设立旨在保护森林资源，促进生态平衡，同时也是重要的木材生产基地。这些林场不仅为当地的经济发展提供支持，也承担了生态保护和林火防控的责任。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

216 个国有林场林火视频监控点的坐标数据与湖南省各市州国有林场经营面积来自湖南省国有林和种苗工作站及林业大数据中心（2024 年 3 月）；数字高程模型（DEM）来自地理空间数据云，分辨率为 30 m，行政边界矢量数据来自全国 1∶100 万公众版基础地理信息数据，将分散的 DEM 数据块整合成一个完整的数据集，再根据研究区域边界矢量数据进行剪裁；道路网络来自公开的高德地图 2022 年底图。将所有空间数据统一为 WGS_1984_UTM_Zone_49N 投影。湖南省各市州墓地总数、庙宇总数、历史森林火灾次数、可燃物总载量、旅游景点数量来自《湖南省森林火灾风险评估与区划报告》，湖南省各市州常住人口和 GDP 总额数据来源于 2023 年湖南省及各市州统计局发布的《2023 年国民经济和社会发展统计公报》等官方统计资料，经整理汇总。以 Excel 表格的形式对 216 个国有林场林火视频监控点的

坐标数据进行统计，建立湖南省国有林场林火视频监控点数据库，利用 ArcGIS 10.8 软件，以点要素形式建立监控点空间矢量数据，得到湖南省国有林场林火视频监控点位图（图 1）。

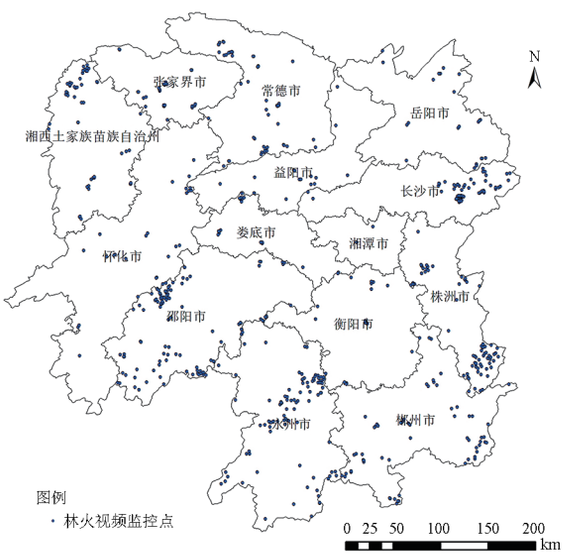


图 1　湖南省国有林场林火视频监控点位

Fig. 1　Forest fire video monitoring points of state-owned forest farms in Hunan Province

2.2　研究方法

2.2.1　最近邻距离指数

最近邻距离指数是一个用于衡量地理空间分布模式的统计指标。它通常用于分析点状空间对象在地理空间上的分布是否呈现出一定的集聚性或随机性 [17]。其计算公式为：

$$R=\frac{\overline{r_i}}{r_0}=2\sqrt{A}\sum_{i=1}^{n}d_i\ ; \tag{1}$$

$$\overline{r_i}=\frac{\sum_{i=1}^{n}d_i}{n}\ ; \tag{2}$$

$$r_0=\frac{0.5}{\sqrt{\frac{n}{A}}}\ 。 \tag{3}$$

式（1）～（3）中：A 为研究区面积；n 为监控点数量；r_0 为最邻近期望值；$\overline{r_i}$ 表示监控点的实际平均最邻近距离；d_i 为实际最邻近距离。若 $R>1$，监控点表现为离散分布；若 $R<1$，则监控点表现为集聚分布。

2.2.2　核密度估计法

核密度分析是一种非参数密度估计方法，它基于数学函数计算每单位面积内的量值，考虑要素在周围邻域中的距离和密度，从而将离散样本点的密度转化为在空间上连续分布的密度值 [18]。该方法的核心观点是：某区域内的空间点密度越大，相关地理事件发生的概率就越高。对于每一个空间实体，其中心区域的密度最高，随着距离的增加，密度逐渐减小，并在达到一定距离阈值后降为 0。具体而言，某一空间位置 x 的核密度是其窗口范围内所有实体密度的总和。其计算公式为：

$$f(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}k\left(\frac{x-x_i}{h}\right)。 \tag{4}$$

式（4）中：$f(x)$ 为核密度估计值；n 为监控点的数量；h 为核密度计算的搜索半径；$k(x-x_i)/h$ 为核密度方程；$x-x_i$ 表示 2 个监控点之间的欧氏距离。

2.2.3　标准差椭圆法

标准差椭圆分析是一种用于分析点要素的方向和分布的方法，通过计算椭圆的长短半轴、重心和方位角等基本参数来描述地理要素的空间分布特征。其中，长轴的方向代表空间分布较多的方向，短轴的方向代表空间分布较少的方向，长短轴之间的差值越大，说明点要素分布的方向性越强 [19]。其计算公式为：

$$X=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2}}{n}\ ; \tag{5}$$

$$Y=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\overline{y})^2}}{n}\ 。 \tag{6}$$

式（5）～（6）中：X、Y 为椭圆的长轴、短轴；x_i 和 y_i 为要素 i 的坐标；$\overline{x}$ 和 $\overline{y}$ 为要素的平均中心坐标；n 为要素总数。

2.2.4　选址因素的选取

在林火视频监控系统选址过程中，需综合考量多类因素。海拔较高的山顶、山脊等地形具有更广的监测范围和更小的盲区，是理想的建设点位置。交通通达度直接影响维护成本与应急响应效率，选址应尽量便于抵达。人为活动频繁区域，如墓地、庙宇及旅游景点，火灾风险较高；同时，可燃物载量大的区域火势易蔓延、扑救困难。鉴于绝大多数林火由人为因素引发 [20]，监控点应优先覆盖人员活动频繁的高风险区。此外，地区生产总值较高地区通常具备更完善的通信、电力等基础设施，有助于降低建设与运维成本，保障设备稳定运行。这些因素共同影响着林火视频监控点的选址决策。

因此，本研究重点分析地形因素、交通因素、

火灾风险因素与社会经济因素对林火视频监控点分布选址的具体影响。借助 ArcGIS10.8 软件，分析地形、交通对林火视频监控点选址的影响程度；借助 SPSS 26.0 软件，对湖南省各市州国有林场林火视频监控点数量与火灾风险及社会经济各项因子进行 Pearson 相关性分析。

3 结果与分析

3.1 林火视频监控点数量特征

对湖南省国有林场林火视频监控点数量进行统计，结果见表 1。由表 1 可知，从数量上看，邵阳市（112 个）最多，永州市（96 个）其次，林火视频监控点占全省比例分别为 17.36% 和 14.88%，位于第 1 梯队；株洲市（74 个）、长沙市（65 个）、郴州市（63 个）位于第 2 梯队；湘西土家族苗族自治州（51 个）、常德市（50 个）位于第 3 梯队；张家界市（27 个）、怀化市（25 个）、娄底市（20 个）、衡阳市（20 个）、岳阳市（23 个）、益阳市（17 个）位于第 4 梯队；湘潭市（2 个）数量最少，仅占全省总量的 0.31%，位于第 5 梯队。根据各市州监控点数量，利用 ArcGIS10.8 软件绘制湖南省国有林场林火视频监控点数量占比图，结果（图 2）表明，林火视频监控点在各市州间分布存在较大差异。

表 1 湖南省国有林场林火视频监控点数量统计

Table 1 Statistics of the number of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province

市州 City or autonomous prefecture	监控点数量 Number of monitoring points / 个	比例 Proportion /%	排名 Ranking
邵阳市 Shaoyang City	112	17.36	1
永州市 Yongzhou City	96	14.88	2
株洲市 Zhuzhou City	74	11.47	3
长沙市 Changsha City	65	10.08	4
郴州市 Chenzhou City	63	9.77	5
湘西土家族苗族自治州 Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture	51	7.91	6
常德市 Changde City	50	7.75	7
张家界市 Zhangjiajie City	27	4.19	8
怀化市 Huaihua City	25	3.88	9
衡阳市 Hengyang City	20	3.10	10
娄底市 Loudi City	20	3.10	10
岳阳市 Yueyang City	23	3.57	12
益阳市 Yiyang City	17	2.63	13
湘潭市 Xiangtan City	2	0.31	14
合计 Total	645	100.00	

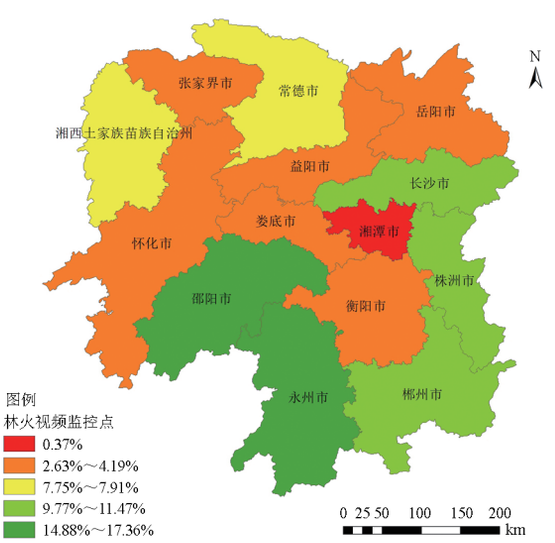


图 2 湖南省国有林场林火视频监控点数量的占比

Fig. 2 The proportion of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province

3.2 林火视频监控点空间分布格局

3.2.1 空间分布类型

最近邻距离指数分析可以反映湖南省国有林场林火视频监控点之间的空间分布相关性和空间集聚特征。而点状要素在空间上的分布有均匀、随机和集聚 3 种类型，利用 ArcGIS 10.8 软件对研究对象进行最近邻距离指数测算，结果（表 2）表明，湖南省国有林场林火视频监控点的最邻近比率为 0.475 437 ＜ 1，表明林火视频监控点的分布在空间上属于显著集聚模式。

3.2.2 空间分布结构

利用 ArcGIS10.8 软件中的核密度工具与标准差椭圆工具对湖南省国有林场 645 个林火视频监控点进行分析，采用自然间断点分级法将核密度划分为 5 个等级，得出湖南省国有林场林火视频监控点空间分布（图 3），经计算，标准差椭圆分析参数如表 3 所示。由图 3 可知，湖南省国有林

表 2 湖南省国有林场林火视频监控点平均最近邻距离分析参数

Table 2 Average nearest neighbor distance analysis parameters of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province

项目 Project	$\bar{r}_i$	r_0	R	Z_{score}	P_{value}
林火视频监控点 Forest fire video monitoring point	4 861.821 4	10 226.007 2	0.475 437	-25.486 398	0

场林火视频监控点的空间分布呈现“北少南多”特征，具有明显的区域性差异，有较强的空间聚集性，具有多个密集区中心集聚分布特征。其中，有 4 个高密集区中心，分别位于长沙市、株洲市、永州市和邵阳市；有 1 个次密集区中心，位于湘西土家族苗族自治州；而湘潭市、娄底市、岳阳市、常德市以及张家界市等地区的核密度值较低。湖南省国有林场林火视频监控点的分布具有显著的方向性特征。标准差椭圆长半轴为 225.906 2 km，短半轴为 172.006 8 km，长短轴之间的数值差距较大，说明林火视频监控点的空间分布方向性较强，并呈现西北—东南走向的分布态势。标准差椭圆的长轴方向反映了湖南省国有林场林火视频监控点的主要布局趋势，椭圆短轴与长轴差距大反映出资源分配存在一定的不均衡性。

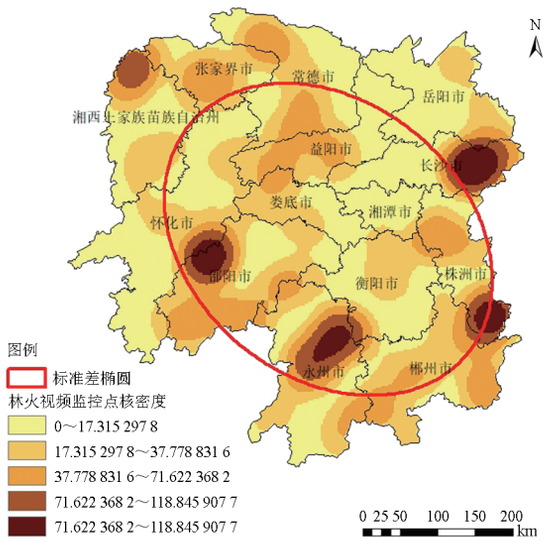


图 3　湖南省国有林场林火视频监控点空间分析
Fig. 3　Spatial analysis of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province

表 3　湖南省国有林场林火视频监控点标准差椭圆分析参数
Table 3　Standard deviation ellipse analysis parameters of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province

项目 Project	重心坐标 Areal coordinates	短半轴 Semiminor axis /km	长半轴 Semimajor axis /km	方位角 Azimuth /(°)
林火视频监控点 Forest fire video monitoring point	111°54′35″E，27°22′03″N	172.006 8	225.906 2	141.82

3.3　林火视频监控点选址因素分析

3.3.1　地形因素

湖南省的地势自西南向东北逐渐降低，地形主要由山地和丘陵构成。山地和丘陵集中在西部和南部地区，平原集中在中部和北部。将湖南省地形分为平原区、丘陵区、山地区，其海拔取值为 0 ～ 200、201 ～ 500、501 ～ 2 016 m；将坡向按方位角分为 9 个类别，坡度小于 5° 的区域划分为无坡；将坡度按坡度等级分为 6 类。具体分布情况如表 4 所示。结果（表 4）表明，分布在山地的林火视频监控点最多，占总数的 46.20%；丘陵和平原的分布数量相接近，各占 33.49% 和 20.31%。从坡向看，无坡区域林火视频监控点的分布数量最少，占总数的 1.71%，而北坡、东北坡、东坡、西北坡与东南坡、南坡、西南坡、西坡的总分布数量相接近，各占 47.28% 和 51.00%。从坡度看，以微坡分布的林火视频监控点数量最多，占总数的 47.13%；其次为平坡和斜坡，各占 32.56% 和 17.98%；陡坡和急坡区域林火视频监控点数量较少，各占 2.17% 和 0.16%；险坡没有林火视频监控点分布。林火视频监控点的高程、坡向和坡度分布情况如图 4 所示。

表 4　不同地形因素林火视频监控点分布
Table 4　Distribution of forest fire video monitoring points with different terrain factors

项目 Project	类别 Category	分级 Grading	数量 Number	比例 Proportion /%
高程 Elevation	平原	0 ～ 200 m	131	20.31
	丘陵	201 ～ 500 m	216	33.49
	山地	501 ～ 2 016 m	298	46.20
坡向 Aspect	北坡	338° ～ 22°	74	11.48
	东北坡	23° ～ 67°	58	8.99
	东坡	68° ～ 112°	67	10.39
	东南坡	113° ～ 157°	94	14.57
	南坡	158° ～ 202°	71	11.01
	西南坡	203° ～ 247°	82	12.71
	西坡	248° ～ 292°	82	12.71
	西北坡	293° ～ 337°	106	16.43
	无坡	＜ 5°	11	1.71
坡度 Slope	平坡	0° ～ 5°	210	32.56
	微坡	6° ～ 14°	304	47.13
	斜坡	15° ～ 24°	116	17.98
	陡坡	25° ～ 34°	14	2.17
	急坡	35° ～ 44°	1	0.16
	险坡	＞ 44°	0	0

3.3.2　交通因素

建设较为完善的道路网络是林火视频监控点选址的基础。道路网络的完善性直接影响监控点的选址、建设、维护和运行效率，所以交通条件是影响林火视频监控点空间分布的重要因素。本

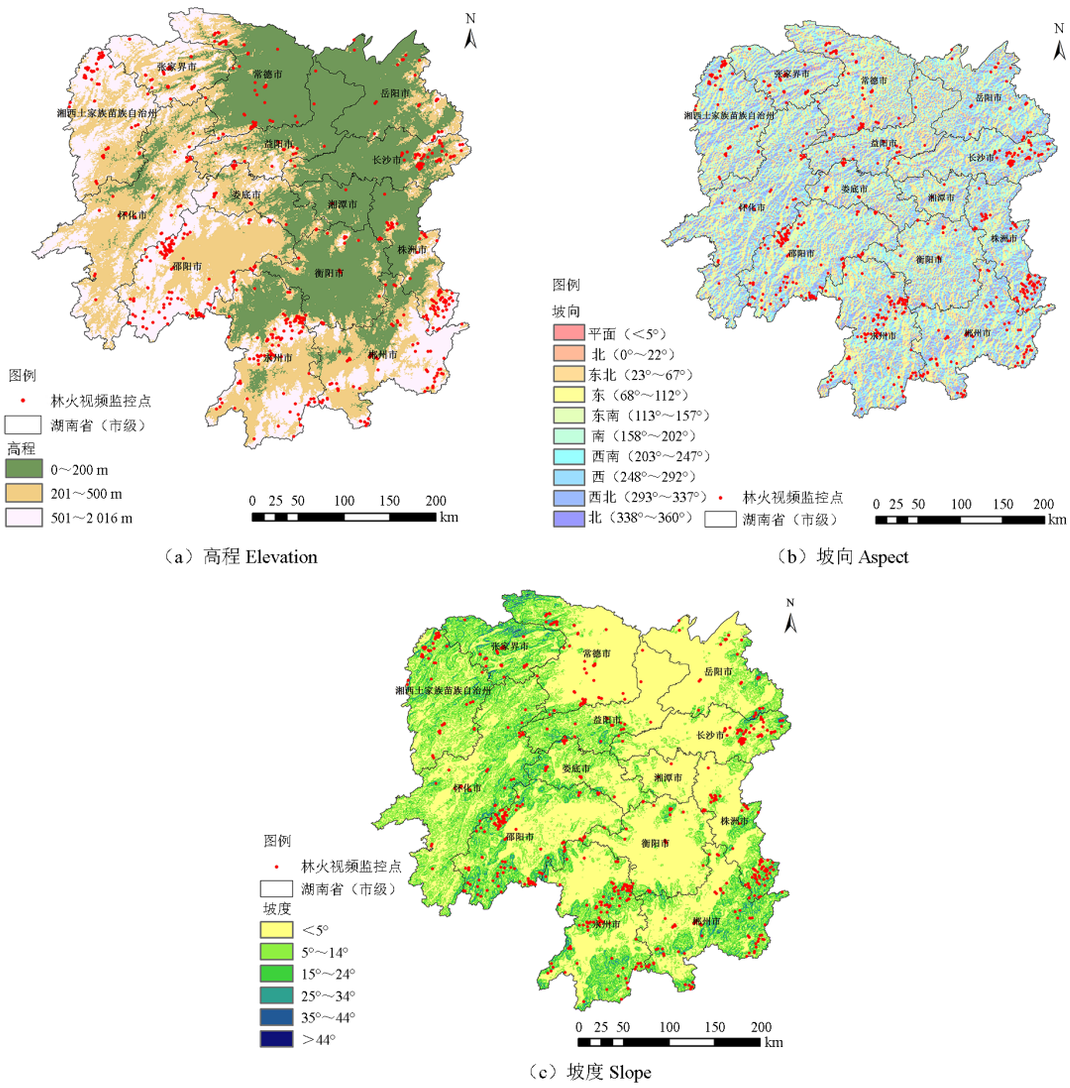


图 4　不同地形因素林火视频监控点分布

Fig. 4　The distribution of forest fire video monitoring points with different terrain factors

研究对湖南省林火视频监控点与交通通达度的关系分析发现，共有 470 个要素点位于高速公路、国道及省道 10 km 缓冲区内，占所有监控点数量比高达 72.87%，表明交通基础设施优劣对林火视频监控点分布具有较大影响（图 5）。

3.3.3　火灾风险因素

利用 Pearson 相关性检验对湖南省各市州国有林场林火视频监控点数量与各市州墓地总数、庙宇总数、历史森林火灾次数、可燃物总载量 4 项指标进行测算，发现只有墓地总数与林火视频监控点数量呈显著正相关，表明墓地数量影响林火视频监控点的空间分布（表 5）。

3.3.4　社会经济因素

利用 Pearson 相关性检验对湖南省各市州国有林场林火视频监控点数量与湖南省各市州国有林场经营面积、旅游景点数量、常住人口、地区生产总值 4 项指标进行测算，结果（表 6）表明，国有林

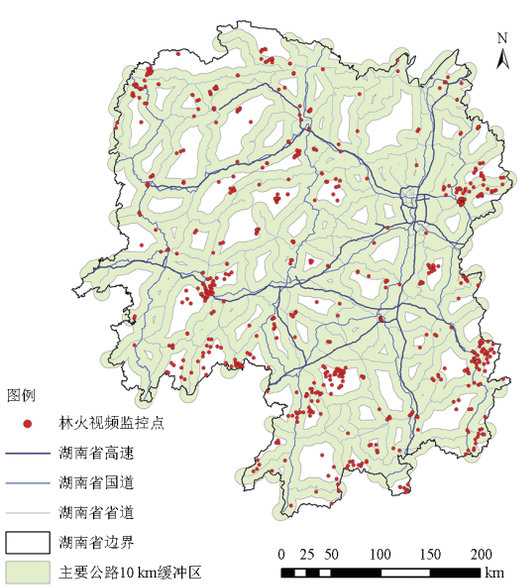


图 5　湖南省道路分布与国有林场林火视频监控点分布

Fig. 5　Distribution of roads and distribution of forest fire video monitoring points in state-owned forest farms in Hunan Province

场经营面积、旅游景点数量与林火视频监控点数量呈显著正相关。国有林场经营面积与监控点数量相关性最强，相关系数达 0.821，表明国有林场的经营面积对林火视频监控点的选址至关重要。

表 5　湖南省国有林场林火视频监控点数量与火灾风险指标的相关性分析 †

Table 5　Correlation analysis between the number of forest fire video monitoring points and fire risk indicators in state-owned forest farms in Hunan Province

市州 City or Autonomous Prefecture	林火视频监控点数量 Number of forest fire video monitoring points	坟墓总数 Total number of graves	庙宇总数 Total number of temples	历史森林火灾次数 Number of historical forest fires	可燃物总载量 Total load of combustibles /kg
长沙市 Changsha City	65	461 089	2 119	440	3.46×10^7
株洲市 Zhuzhou City	74	931 978	354	922	3.48×10^7
湘潭市 Xiangtan City	2	118 249	319	373	1.01×10^7
衡阳市 Hengyang City	20	1 512 060	269	797	3.11×10^7
邵阳市 Shaoyang City	112	1 514 253	1 016	1 080	7.95×10^7
岳阳市 Yueyang City	23	593 621	186	667	3.13×10^7
常德市 Changde City	50	1 001 007	205	744	4.14×10^7
张家界市 Zhangjiajie City	27	411 148	66	998	3.41×10^7
益阳市 Yiyang City	17	710 125	174	1 222	3.73×10^7
郴州市 Chenzhou City	63	1 416 571	300	2 279	6.35×10^7
永州市 Yongzhou City	96	1 200 481	162	1 461	6.69×10^7
怀化市 Huaihua City	25	1 168 108	927	1 085	1.04×10^8
娄底市 Loudi City	20	373 604	525	879	1.91×10^7
湘西土家族苗族自治州 Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture	51	927 751	554	439	5.17×10^7
相关关系 Coefficient of correlation		0.555*	0.300	0.331	0.496
显著性（双尾）Significance (Double tailed)		0.039	0.297	0.248	0.071

† *, $P < 0.05$.

表 6　湖南省国有林场林火视频监控点数量与社会经济指标的相关性分析 †

Table 6　Correlation analysis between the number of forest fire video monitoring points and socio-economic indicators in state-owned forest farms in Hunan Province

市州 City or Autonomous Prefecture	林火视频监控点数量 Number of forest fire video monitoring points	国有林场经营面积 Operating area of state-owned forest farm /hm^2	旅游景点数量 Number of Tourist attractions	常住人口 Permanent population / 万人	地区生产总值 GDP / 亿元
长沙市 Changsha City	65	24 785.37	162	1 051.31	14 331.98
株洲市 Zhuzhou City	74	59 760.78	106	385.20	3 667.90
湘潭市 Xiangtan City	2	1 222.10	31	270.12	2 741.84
衡阳市 Hengyang City	20	24 934.17	70	649.70	4 190.87
邵阳市 Shaoyang City	112	149 272.82	78	635.88	2 731.42
岳阳市 Yueyang City	23	23 221.68	10	499.14	4 841.78
常德市 Changde City	50	22 920.81	35	518.70	4 385.70
张家界市 Zhangjiajie City	27	27 730.90	27	149.70	613.90
益阳市 Yiyang City	17	18 678.65	43	375.92	2 136.21
郴州市 Chenzhou City	63	123 164.26	98	460.05	3 110.58
永州市 Yongzhou City	96	203 868.88	96	507.62	2 495.83
怀化市 Huaihua City	25	43 877.08	98	447.21	1 948.52
娄底市 Loudi City	20	18 353.54	16	374.32	1 990.50
湘西土家族苗族自治州 Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture	51	32 710.13	58	248.80	825.85
相关系数 Coefficient of correlation		0.821**	0.572*	0.386	0.173
显著性（双尾）Significance (Double tailed)		0.000	0.033	0.173	0.555

† *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.

4 结论与讨论

4.1 讨 论

以湖南省 216 个国有林场林火视频监控点为研究对象，统计分析了林火视频监控点在各市州分布上的差异，并采用最近邻距离指数、核密度估计法以及标准差椭圆法分析了林火视频监控点的空间分布格局。结果表明，湖南省国有林场林火视频监控点在各市州间分布存在较大差异，这与各市州国有林场数量、林场经营面积及区域火险等级密切相关。监控点的空间分布方向性较强，呈现西北—东南走向的分布态势，这与湖南省的地理特征、生态分布及人类活动中心具有高度一致性。

孙伟等 [8] 在视频监控点选址整体布局上，考虑了林火视频监控点监测的区域性、经济性和可及性等因素。卢天汉等 [21] 综合考虑了各镇（乡）森林资源及火险分布，将其作为怀集县森林防火远程视频监控点的选址因素。王彦卷等 [22] 利用 GIS 软件分析地形因子对森林火灾发生概率的影响，得出综合考虑坡度、坡向、海拔等因素，可以有效地解决林火监测点的选址问题，以提高火灾监测的准确性。左海龙 [23] 利用 GIS 技术与视频监控技术，以精简、经济效益高、兼容共享三个原则设计了视频监控点位选址系统。齐小亚 [24] 研究得出祁连山保护区林火视频监控点的选址因素主要有地形、交通区位、河流分布、重点监测区域分布及现有监控点分布。本研究从地形、交通、火灾风险、社会经济四个方面对湖南省国有林场林火视频监控点的选址影响因素进行了探讨：1）在地形因素方面，林火视频监控点的分布显著受到高程和坡度的影响，主要集中于山地及坡度低于 25° 的区域。高海拔地区因其视野开阔，对于监控点布局至关重要，有助于实现对广泛区域的有效监控，提升监控效率。陡坡对监控点维护和灭火行动构成挑战。因此，优先选择坡度平缓地区作为监控点的布局区域。2）在交通因素方面，超过 72% 的林火视频监控点位于主要道路 10 km 范围内，道路网络的建设直接影响监控设备的安装维护、覆盖范围、数据传输和应急响应效率。因此，科学规划道路网络，确保其与林火监测需求相结合，是提升监控效率的关键。3）在火灾风险因素方面，墓地数量与林火视频监控点数量存在显著正相关。墓地因人类活动和明火使用，如焚烧纸钱，增加了火灾风险，尤其在植被丰富的地区。因此，墓地密集地区需要更多的监控点以有效监测火情，减少火灾损失。4）在社会经济因素方面，国有林场经营面积和旅游景点数量对林火视频监控点分布有显著影响。国有林场面积越大，就需要更多的监控设备来保护森林资源和生态环境。旅游景点作为人流密集区，易引发火灾，对生态环境和游客安全构成威胁。因此，增加监控点对于保障森林资源的可持续利用和生命财产安全至关重要。湖南省国有林场林火视频监控点的空间分布是高程、坡度、交通通达度、墓地数量、旅游景点数量、国有林场经营面积等共同作用的结果。由于数据的可获取性，本研究仅分析了上述因素对林火视频监控点空间分布的影响，未来的研究可以进一步扩展到其他因素的考量，例如火点的分布特征以及相关政策的制定与实施等，这些因素可能会对林火监控体系的优化和资源配置产生重要的影响。

为加强湖南省森林防灭火能力建设及林火视频监控点合理布局，提出以下几点建议：1）优化监控点布局。针对高风险区域增加监控设施，结合历史火灾数据和生态环境特征，合理规划监控点位和数量，以实现更全面的覆盖。2）科技助力监控能力提升。针对监控死角，可以引入无人机，增强监控能力，以弥补传统监控设施的不足，提升火灾监测和预警的实时性和准确性。3）增强防护措施与定期维护。为监控设备加装防护罩，防止恶劣天气、动物破坏等因素对设备的损害，确保监控设备具备防水防尘功能，以延长其使用寿命。设立定期巡检机制，对监控设备进行定期检查和维护，包括清洁镜头、检查连接线和电源等，确保设备正常运转，以提高整体监测林火的能力和效率。

4.2 结 论

湖南省国有林场共有林火视频监控点 645 个，其中，邵阳市的林火视频监控点数量最多，湘潭市最少，各占全省总数的 17.36% 和 0.31%，说明湖南省国有林场林火视频监控点在各市州间分布存在较大差异。

湖南省国有林场林火视频监控点在空间上为显著集聚特征并呈现“北少南多”的区域性差异。存在 4 个高密集区中心，分别是长沙市、株洲市、永州市和邵阳市，有 1 个次密集区中心（湘西土家族苗族自治州）。林火视频监控点的空间分布方向性较强，并呈现西北—东南走向的分布态势。

在地形因素方面，林火视频监控点的分布显

著受到高程和坡度的影响，主要集中于山地及坡度低于 25° 的区域。在交通因素方面，超过 72% 的林火视频监控点位于主要道路 10 km 范围内，凸显了完善道路网络对监控点选址的重要性。在火灾风险因素方面，墓地数量与林火视频监控点数量存在显著正相关。在社会经济因素方面，国有林场经营面积和旅游景点数量对林火视频监控点分布有显著影响。

参考文献：

[1] 岳超 , 罗彩访 , 舒立福 , 等 . 全球变化背景下野火研究进展 [J]. 生态学报 ,2020,40(2):385-401.
YUE C, LUO C F, SHU L F, et al. A review on wildfire studies in the context of global change[J]. Acta Ecologica Sinica,2020,40(2):385-401.

[2] 周慧 , 唐林 , 黎祖贤 , 等 . 湖南省森林火灾时空分布特征及典型个例分析 [J]. 沙漠与绿洲气象 ,2021,15(6):129-133.
ZHOU H, TANG L, LI Z X, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of forest fire and typical case analysis in Hunan Province[J]. Desert and Oasis Meteorology,2021,15(6):129-133.

[3] 张敏 , 赵正萍 , 颜学武 , 等 . 湖南省森林火灾时空分布特点及周末、节假日效应探析 [J]. 湖南林业科技 ,2024,51(4):33-38,60.
ZHANG M, ZHAO Z P, YAN X W, et al. Analysis of the temporal and spatial distribution characteristics of forest fire and the weekend and holiday effects in Hunan Province[J]. Hunan Forestry Science & Technology,2024,51(4):33-38,60.

[4] 徐海文 , 刘沙 . 基于铁塔的湖南省森林防火视频监控系统设计与实现 [J]. 现代信息科技 ,2023,7(2):42-44,48.
XU H W, LIU S. Design and implementation of Hunan forest fire prevention video monitoring system based on iron tower[J]. Modern Information Technology,2023,7(2):42-44,48.

[5] 张峰 , 郑丹萍 , 夏屹 . 数字监控系统在森林防火中的应用 : 以汤浦水库林区数字微波监控系统为例 [J]. 浙江林业科技 , 2006,26(6):51-54.
ZHANG F, ZHENG D P, XIA Y. Application of digital monitoring system for forest fire prevention[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology,2006,26(6):51-54.

[6] 王轩 , 张贵 . 基于物联网技术结构的森林火灾监测研究 [J]. 现代农业科技 ,2011(5):26-27.
WANG X, ZHANG G. Study on forest fire monitoring base on the structure of internet of things technology[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology,2011(5):26-27.

[7] 陈浩 , 周宇飞 , 乔玮 , 等 . 基于远程视频的林火识别技术研究现状 [J]. 林业与环境科学 ,2016,32(4):102-106.
CHEN H, ZHOU Y F, QIAO W, et al. Research status of forest fire identification technology based on remote video[J]. Forestry and Environmental Science,2016,32(4):102-106.

[8] 孙伟 , 曹姗姗 , 唐小明 . 林火视频监控空间优化布局与评价技术 [J]. 自然灾害学报 ,2013,22(2):61-69.
SUN W, CAO S S, TANG X M. Spatial optimum arrangement and evaluation technology of forest fire video monitoring[J]. Journal of Natural Disasters,2013,22(2):61-69.

[9] 赵丽宏 , 牛立成 , 魏何坤 , 等 . 视频监控系统在尚志国有林区森林防火中的应用 [J]. 林业科技情报 ,2022,54(3):49-53.
ZHAO L H, NIU L C, WEI H K, et al. Application of video surveillance system in forest fire prevention in Shangzhi state-owned forest area[J]. Forestry Science and Technology Information,2022,54(3):49-53.

[10] 黄水生 , 唐小明 , 张煜星 , 等 . 面向集成多监测平台的森林火灾监测信息系统设计 [J]. 林业资源管理 ,2009(5):24-28.
HUANG S S, TANG X M, ZHANG Y X, et al. Multi-monitoring platforms integration oriented design on the information system of forest fire monitoring[J]. Forest Resources Management,2009(5):24-28.

[11] 田玲玲 , 杨光 , 张运林 . 铜仁市林火驱动因子及火险区划 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2024,44(12):59-73.
TIAN L L,YANG G, ZHANG Y L. Forest fire driving factors and fire risk distribution in Tongren City[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2024,44(12):59-73.

[12] 李玉冬 . 大尺度森林火灾时空变化规律及火险预测研究 [D]. 北京 : 北京林业大学 ,2021.
LI Y D. Study on temporal and spatial variation of forest fire and fire risk prediction in large-scale areas[D]. Beijing: Beijing Forestry University,2021.

[13] 蔡晓晶 , 石蓉丹 , 肖化顺 , 等 . 基于点模式法的湖南省林火时空分布特征 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2024,44(7):29-35,76.
CAI X J, SHI R D, XIAO H S, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of forest fires in Hunan based on point pattern methods[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2024,44(7):29-35,76.

[14] 惠珊 , 芮小平 , 刘红瑛 , 等 . 基于 GIS 的林火扑救仿真及扑火位置决策方法 [J]. 科学技术与工程 ,2016,16(30):6-10,26.
HUI S, RUI X P, LIU H Y, et al. GIS based method for the simulation and location decision making of forest fire suppression[J]. Science Technology and Engineering,2016,16(30):6-10,26.

[15] 陈天恩 , 陈立平 , 陈红 , 等 . 基于 GIS 的森林火灾现场模拟及其应用 [J]. 自然灾害学报 ,2007,16(1):76-80.
CHEN T E, CHEN L P, CHEN H, et al. GIS-based forest-fire simulation and its application[J]. Journal of Natural Disasters,2007,16(1):76-80.

[16] 周宇飞 . 动态数据驱动林火蔓延自适应模拟技术研究 [D]. 北京 : 中国林业科学研究院 ,2010.
ZHOU Y F. Technology of forest fire adaptive spreading simulation based on dynamic data-driven[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry,2010.

（下转第 88 页）

Forestry,2001,99(1):20-25.

[19] 王凯 , 马履一 , 贾忠奎 , 等 . 不同林龄油松人工林林下植物对不同间伐强度的短期响应 [J]. 东北林业大学学报 , 2013,41(10):1-9.
WANG K, MA L Y, JIA Z K, et al. Short-term responses of undergrowth of *Pinus tabuliformis* plantation at different stand ages to different thinning intensity[J]. Journal of Northeast Forestry University,2013,41(10):1-9.

[20] 丁磊 , 潘丕克 , 李淳 , 等 . 间伐方式对日本落叶松人工林生长状况、林下植物多样性及土壤性质的影响 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版),2024,53(4):483-490.
DING L, PAN P K, LI C, et al. Effect of thinning method on growth, understory plant diversity and soil characteristics of *Larix kaempferi* plantation[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition),2024,53(4):483-490.

[21] 陈涵 , 郭弘婷 , 陈睿 , 等 . 杉木人工林林下植物多样性及其环境对不同间伐强度的短期响应 [J]. 生态学报 ,2023,43(24):10274-10284.
CHEN H, GUO H T, CHEN R, et al. Understory plant diversity of *Cunninghamia lanceolata* plantations and its short-term environmental response to different thinning intensities[J]. Acta Ecologica Sinica,2023,43(24):10274-10284.

[22] SEIWA K, ETOH Y, HISITA M, et al. Roles of thinning intensity in hardwood recruitment and diversity in a conifer, *Criptomeria japonica* plantation: a 5-year demographic study[J]. Forest Ecology and Management,2012,269:177-187.

[本文编校：谢荣秀]

（上接第 67 页）

[17] 罗庆 , 樊新生 , 高更和 , 等 . 秦巴山区贫困村的空间分布特征及其影响因素 [J]. 经济地理 ,2016,36(4):126-132.
LUO Q, FAN X S, GAO G H, et al. Spatial distribution of poverty village and influencing factors in Qinba mountains[J]. Economic Geography,2016,36(4):126-132.

[18] 刘传勇 . 基于建成区平面形态和地理信息整合的襄汾县丁村聚落空间量化分析 [D]. 北京 : 北京交通大学 ,2019.
LIU C Y. The quantitative analysis of settlement space of Dingcun village in Xiangfen County based on the two-dimensional form of built-up area and geographic information integration[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2019.

[19] 张俊 , 冯越珺 , 尤赟 . 黄河流域水生态文明建设水平的时空分异及影响因素 [J]. 中南林业科技大学学报 (社会科学版), 2023,17(5):41-51.
ZHANG J, FENG Y J, YOU Y. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of water ecological civilization construction in the Yellow River basin[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences),2023,17(5):41-51.

[20] 胡雨鑫 , 王雪梅 , 陈滢 , 等 . 基于地理探测器的我国不同林区林火驱动因素对比分析 [J]. 生态学报 ,2025,45(1):227-238.
HU Y X, WANG X M, CHEN Y, et al. Comparative analysis of forest fire driving in different forest regions of China based on the geographical detector approach[J]. Acta Ecologica Sinica, 2025,45(1):227-238.

[21] 卢天汉 , 周宇飞 , 李小川 . 怀集县森林防火远程视频监控系统的设计与实现 [J]. 林业与环境科学 ,2020,36(4):127-130.
LU T H, ZHOU Y F, LI X C. Design and implementation of the forest fire remote video monitoring system of Huaiji County[J]. Forestry and Environmental Science,2020,36(4):127-130.

[22] 王彦卷 , 张佳瑜 , 侯景伟 . 基于地形分析的山区森林火灾监控点选址方法 [J]. 林业资源管理 ,2020(2):135-140.
WANG Y J, ZHANG J Y, HOU J W. Location selection methods of mountain forest fire monitoring points based on terrain analysis[J]. Forest Resources Management,2020(2):135-140.

[23] 左海龙 . 基于 GIS 空间分析的视频监控点选址系统设计 [J]. 电子测试 ,2020(6):72-73.
ZUO H L. Design of video monitoring site selection system based on GIS spatial analysis[J]. Electronic Test,2020(6):72-73.

[24] 齐小亚 . 甘肃祁连山自然保护区森林防火视频监控点合理布局研究 [D]. 北京 : 北京林业大学 ,2017.
QI X Y. Research on the optimal location of video monitoring spots for forest fire prevention in Gansu Qilian mountain nature reserve[D]. Beijing: Beijing Forestry University,2017.

[本文编校：谢荣秀]