

DOI:10.12171/j.1000-1522.20190365

## 福建省将乐县生物防火林带阻隔网空间布局与规划

袁硕<sup>1</sup> 李超<sup>1</sup> 陈昊<sup>2</sup> Muhammad Amir<sup>1</sup> 刘晓东<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学林学院, 北京 100083)

**摘要:**【目的】福建省三明地区为森林火灾多发地区, 为了阻隔森林火灾的蔓延、切断火源, 降低火灾造成的亏损, 以福建省三明市将乐县为研究区域, 整体规划生物防火林带阻隔网。【方法】通过分析森林火灾时空分布规律, 计算得出阻隔网密度和最小控制面积, 然后利用空间分析、水文分析以及面向对象的空间特征提取等方法确定生物防火林带阻隔网的位置, 再结合阻隔网现状, 优化选取防火树种与阻隔网宽度, 最终计算得出生物防火林带阻隔网密度, 对将乐县生物防火林带阻隔网进行综合规划。【结果】最终确定生物防火林带阻隔网的密度为 19.04 m/hm<sup>2</sup>, 最小控制面积为 10 hm<sup>2</sup>, 共需营建生物防火林带阻隔网 3 591.67 km, 山脊防火林带阻隔网 1 846.64 km, 沟谷防火林带阻隔网 384.21 km, 林缘防火林带阻隔网 1 360.82 km。山脊防火林带阻隔网宽度取均值 12 m 进行计算, 沟谷及林缘防火林带阻隔网宽度取均值 9 m, 得出规划生物防火林带阻隔网总面积为 3 786.49 hm<sup>2</sup>, 通过对比将乐县主要树种的抗火能力, 选取以木荷为主, 油茶、毛竹等为辅的防火树种, 既能发挥较好的抗火性能又兼具经济效益。【结论】依据因地制宜、因害设防、适地适树、重在实效的原则, 在总结福建省生物防火林带阻隔网营建技术经验的基础上, 综合考虑阻隔网密度、最小控制面积、林带的位置、林带的有效宽度、树种的选择等重要参数之后, 对将乐县的生物防火林带阻隔网进行了优化, 不仅达到相关规定的生物防火林带阻隔网标准, 并且建设成本可控, 利用有限的资金发挥较好的防火效果。

**关键词:** 森林火灾; 生物防火林带阻隔网; 最小控制面积; 防火树种

**中图分类号:** S762.3<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2020)05-0088-08

**引文格式:** 袁硕, 李超, 陈昊, 等. 福建省将乐县生物防火林带阻隔网空间布局与规划 [J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(5): 88-95. Yuan Shuo, Li Chao, Chen Hao, et al. Spatial layout of biological fuelbreaks in Jiangle County, Fujian Province of eastern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(5): 88-95.

### Spatial layout of biological fuelbreaks in Jiangle County, Fujian Province of eastern China

Yuan Shuo<sup>1</sup> Li Chao<sup>1</sup> Chen Hao<sup>2</sup> Muhammad Amir<sup>1</sup> Liu Xiaodong<sup>1</sup>

(1. School of Ecology and Nature Reserves, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. School of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** [Objective] Sanming area of Fujian Province, eastern China is a forest fire-prone area. This study aims to reduce losses caused by fires and cutting off fire sources through the overall layout of biological fuelbreaks in the research area of Jiangle County, Sanming City of Fujian Province. [Method] In order to comprehensively plan the biological fuelbreaks in Jiangle County, we obtained the minimum control area by analyzing the spatial and temporal distribution of forest fires in Jiangle County over the past 12 years, determined the location of biological fuelbreaks through spatial analysis, hydrological analysis, and object-oriented spatial feature extraction and other methods and finally calculated the fire belt network density after selecting optimal fire-resistant tree species and determining the biological fuelbreak width based on statistics of the current status of biological fuelbreaks in Jiangle County. [Result] The density of

收稿日期: 2019-09-20 修回日期: 2019-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31770696)。

第一作者: 袁硕。主要研究方向: 森林防火。Email: yuanshuo2019@qq.com 地址: 100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学生态与自然保护学院。

责任作者: 刘晓东, 教授。主要研究方向: 森林防火。Email: xd-liu@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

biological fuelbreaks was finally determined to be 19.04 m/ha and the minimum control area was finally determined to be 10 ha. The final biological fuelbreaks need to be built were 3 591.67 km, including 1 846.64 km in ridges, 384.21 km in valleys and 1 360.83 km in forest edges. The width of biological fuelbreaks of ridges was 12 m, and valleys and forest edges were both an average value, i.e. 9 m. Thus, the total area of the planned biological fuelbreaks was 3 786.49 ha. Choosing *Schima superba* as the major species, and *Camellia oleifera* and *Phyllostachys heterocyclus* as subsidiary species after comparing the fire-resistant ability of main tree species in Jiangle County not only achieved a better result of fire prevention but also had economic benefits. [Conclusion] Based on the previous studies on fuelbreak construction in Fujian Province, and taking its density, minimum control area, construction location, and appropriate width into consideration, as well as the choose of fire-resistant tree species, this study has managed to optimize the spatial layout of fuelbreaks in Jiangle County. This economical and pragmatical engineering, which is adaptative to local conditions will play an important role in fire prevention in Jiangle County of Fujian Province, eastern China.

**Key words:** forest fire; biological fuelbreaks; minimum control area; fire-resistant tree species.

全世界每年发生火灾约 20 万次,过火面积 3.5~4.5 亿  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。由于森林火灾造成了人员伤亡、财产损失、空气污染和土壤侵蚀,对社会和经济造成了巨大损失<sup>[2-4]</sup>。当前全球变暖日益严重,森林火灾也更加频繁地发生<sup>[5]</sup>。特别是近几年,我国南方因持续干旱而成为森林火灾高发地区,每年发生火灾次数占全国发生总次数的 80%<sup>[6]</sup>。该如何高效地控制森林火灾,已经引起全国乃至全世界的重视<sup>[7]</sup>。生物防火是指利用生物的难燃性、阻燃性来调节天然林的内部构造,使森林具有一定程度的抗火性<sup>[8]</sup>。生物防火林带阻隔网是一项投入少、效果好、持久效益好的防火基础性设施工程,并且属于一类绿色生物防火工程,具有一定的生态、经济效益。目前国内外已经普遍认可生物防火林带阻隔网的防火、阻燃、隔火效应,并且生物防火林也能丰富森林的多样性<sup>[9]</sup>。许多国家已将生物防火作为野火管理的方法来实施<sup>[10]</sup>。例如 1936 年在美国建立了生物防火林,当时在彭德尔顿和斯坦菲尔德之间的 30 号高速公路边种植了扁穗冰草(*Agropyron cristatum*),以降低路边发生火灾的概率。从那以后,美国的许多地方都种植了用于抑制火灾的难燃植物<sup>[11-12]</sup>。1990 年 Swarty<sup>[13]</sup>提出用阿拉伯金合欢(*Acacia arabica*)或埃及相思树(*A.nilotica*)(21 年生)来作为防火树种营造防火林带阻隔网,并且起到了很好的防火效果。绿色生物防火也被欧洲、亚洲、非洲、澳大利亚<sup>[14-18]</sup>等国家应用。在防火树种方面的研究,也取得了一定的成果。韩焕金<sup>[19]</sup>认为木荷(*Schima superba*)的燃烧性低,且容易营林,所以适合做林带的防火树种。田晓瑞等<sup>[20]</sup>利用层次分析的方法对一系列树种进行测试,最后发现核桃(*Juglans regia*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、青杨(*Populus cathayana*)、加杨

(*Populus × canadensis*)的防火能力较强。王明玉等<sup>[21]</sup>通过分析北京西山林场的气象、地形等因素,对北京西山进行了生物防火林带阻隔网的空间规划。田晓瑞<sup>[22]</sup>采用锥型量热计和野外火烧试验的方法研究木荷林带的阻燃能力,研究发现木荷可以很好地阻隔地表火和树冠火地蔓延,并且茂密的树冠也可阻断一定程度的“飞火”。

综上所述,国内外关于生物防火林带阻隔网的研究主要集中在防火树种的选择和培育,而关于整体的空间布局与规划的研究较少,但合理的布局与规划对生物防火林带阻隔网的建设具有重要意义。同时,福建省将乐县森林资源丰富,为南方乃至全国重点林区之一,森林覆盖率达 76.8%,也是林火的高发地区,所以选择此地为研究区域。

## 1 研究区域概况

将乐县地处福建省西部山区,地理坐标 26°26′~27°04′N、117°05′~117°40′E,全县县域面积 224 670  $\text{hm}^2$ 。该地区坡度变化大,其地形崎岖,地势复杂<sup>[23]</sup>。根据气象资料显示,将乐县风向主要受西风环流控制,大多西南偏西方向;雨季明显,平均降水量为 1 676.3  $\text{mm}$ <sup>[24]</sup>。将乐县地区植被资源丰富,水网密布,森林覆盖率达 76.8%,植被覆盖指数居全省首位<sup>[23]</sup>。将乐县境内有林地 18.86 万  $\text{hm}^2$ ,林木蓄积总量为 1 309.1 万  $\text{m}^3$ ,毛竹(*Phyllostachys heterocyclus*) 4 787.6 万根,针叶林面积为 107 666.90  $\text{hm}^2$ ,占总面积的 48.02%,可以看出大面积的针叶林,增加了发生火灾的概率。将乐县近 12 年(2000—2011 年)共发生火灾次数 56 起,过火总面积 564.1  $\text{hm}^2$ ,受害森林面积 448.5  $\text{hm}^2$ ,烧毁林木蓄积 28 305  $\text{m}^3$ ,烧毁幼林株数 10 373.0 万株。将乐县现有生物防火林

带阻隔网 221.23 km, 仅占有林地面积 0.11%, 主要分布在山脊位置, 生物防火林带阻隔网密度为  $1.17 \text{ m/hm}^2$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 数据的获取与参照标准

本次研究收集了将乐县林业基本数据、2000—2011 年火灾情况数据、气象数据、地形数据、遥感影像数据以及 2013 年将乐县生物防火林带阻隔网现状数据。从当地林业局获取林业基本数据、火灾情况数据, 林业基本数据包括森林资源类型分布及面积, 火灾情况数据主要包括将乐县每年火灾次数及过火面积; 气象数据来源中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>); 地形数据是分辨率 30 m 的 DEM 数据; 遥感影像数据分辨率 30 m。在确定阻隔网密度和最小控制面积时参照文献 [25], 在确定生物防火林带阻隔网宽度时参照文献 [26], 并在进行林带空间布局及规划时参照相关标准及技术规程, 参照文献 [27]。

### 2.2 确定生物防火林带阻隔网密度和最小控制面积

林火阻隔网是林区被林火阻隔带分割成块后, 形成封闭独立又相互联系的阻隔网。地上林火阻隔网能够有效阻隔地表火和林冠火蔓延, 林火阻隔系统网络在本次研究中指的是地上林火阻隔网。阻隔网密度用生物防火林带阻隔网的长度比上研究区域的林地面积, 根据定义, 公式表示为:

$$D = L/A \quad (1)$$

式中:  $D$  表示生物防火林带阻隔网密度,  $\text{m/hm}^2$ ;  $L$  表示生物防火林带阻隔网长度,  $\text{m}$ ;  $A$  表示研究区内有林地面积,  $\text{hm}^2$ 。

林火阻隔网控制面积是指一个林火阻隔网内的林地面积。统计分析将乐县 2000—2011 年间森林火灾时空分布规律, 根据文献 [25] 阻隔网控制面积应小于所在县前 10 年或前 20 年每次森林火灾平均面积, 从而得出最小控制面积。

### 2.3 生物防火林带阻隔网位置确定

生物防火林带阻隔网的位置是在考虑地形、气象等因素的基础上, 建立数据库。通过将乐县分辨率 30 m 的 DEM 数据, 利用 ArcGIS10.0 与 SimDTA1.0 获得研究区域的山脊线、沟谷线、坡度以及坡向; 对将乐县气象站点(站点号: 58820)2001—2012 年的气象数据整理分析, 提取防火期风向数据, 制作玫瑰风向图, 整理分析出当地主风向方向。根据山脊线的位置, 结合坡度、坡向、主风向确定山脊防火林带阻隔网即主防火林带阻隔网的位置, 根据沟谷线的位置以及其他因素确定副防火林带阻隔网的位置。利

用 ERDAS 和 ENVI 软件, 采用面向对象的空间特征提取 TM 影像的林缘位置, 确定林缘防火林带阻隔网的位置, 进一步完善生物防火林带阻隔网网络。

### 2.4 防火树种的选择

生物防火林带阻隔网营造成败的关键因素是树种选择, 更关系到防火性能的高低。防火树种就其叶片理化性质及生物学特性应该选择叶片含水量高、生长速度较快、叶片粗灰分含量高、叶子质地较厚的树种。本研究通过对比将乐县主要树种的抗火能力, 筛选出抗火能力较强的树种。

### 2.5 生物防火林带阻隔网综合规划

综合分析生物防火林带阻隔网的密度和最小控制面积、生物防火林带阻隔网位置以及现有防火林带阻隔网情况, 结合相关技术标准, 对将乐县生物防火林带阻隔网进行综合规划, 并最终完成将乐县生物防火林带阻隔网综合规划图。

## 3 结果与分析

### 3.1 将乐县生物防火林带阻隔网最小控制面积确定

生物防火林带阻隔网的密度和最小闭合面积, 目前并没有统一的标准和要求, 一般都是在综合考虑各方面因素后确定下来的<sup>[21]</sup>。生物防火林带阻隔网营建的目的是为了阻隔森林火灾的发生, 所以从将乐县近年来火灾发生的空间变化规律入手来确定最小控制面积是可靠的。这种方法降低了理论推导阻隔网密度和最小闭合面积的难度。根据发生的森林火灾过火面积将网络结构分为四级, 其中一级用于防范特别重大森林火灾, 二级用于防范重大森林火灾, 三级用于阻隔较大森林火灾的蔓延, 四级网络用来阻隔一般森林火灾, 相应的网络控制面积为 1 000、100、10、1  $\text{hm}^2$ <sup>[28]</sup>。统计 2000—2011 年间将乐县森林火灾发生情况, 对将乐县林火空间变化规律进行分析, 如图 1。

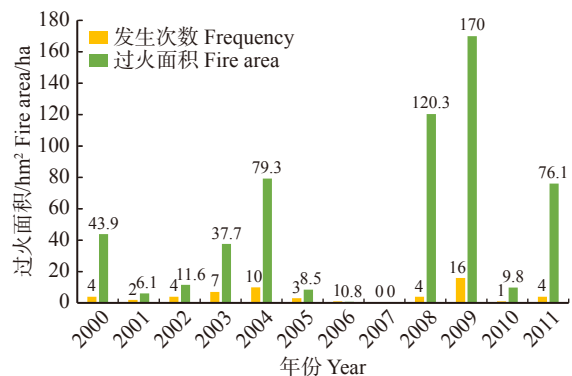


图 1 2000—2011 年三明市将乐县森林火灾空间变化  
Fig. 1 Spatial variations of forest fires in Jiangle County of Sanming City (2000—2011)

从图中可以看出, 将乐县近 12 年发生火灾次数共 56 起, 过火总面积  $564.1 \text{ hm}^2$ , 森林火灾平均过火面积是  $10.07 \text{ hm}^2$ 。林火发生时过火面积都不大, 但火灾频繁, 过火面积最大为  $64.3 \text{ hm}^2$ , 最小是  $0.5 \text{ hm}^2$ , 处理好小地块的森林火灾是此地区主要工作。根据文献<sup>[25]</sup>, 阻隔网控制面积应小于所在县前 10 年或前 20 年每次森林火灾平均面积, 生物防火林带阻隔网闭合网络最小面积应控制在  $10 \text{ hm}^2$  以下, 依据文定元<sup>[28]</sup>的关于防火林带阻隔网网络结构分类的理论方法, 最终将乐县的生物防火林带阻隔网网络结构定为三级, 相对应的闭合网络最小面积为  $10 \text{ hm}^2$ 。

### 3.2 生物防火林带阻隔网位置的确定

生物防火林带阻隔网及其位置主要基于地势形态(坡度、坡向、山脊线、沟谷线)、主风向、林缘进行确定。

#### 3.2.1 坡度的提取

坡度是重要的地形因子之一, 是描述地形的重要参数。在退耕还林中, 我国规定退耕坡度临界值为  $25^\circ$ 。王明玉<sup>[21]</sup>在对北京西山林场防火林带阻隔网进行规划时, 将栽植临界值定为  $20^\circ$ , 这个角度以下既可以有效的防治水土流失, 栽植难度也相对较低, 便于后期林带的养护。利用 ArcGIS10.0 中工具箱空间分析模块下表面分析的坡度提取模块进行坡度提取, 坡度输出表达方式采取度数表达, 再将坡度图重新分类, 根据研究区域特点, 对将乐县坡度重新分类为三级, 即  $0^\circ \sim 20^\circ$  为一级,  $20^\circ \sim 40^\circ$  为二级,  $40^\circ$  以上为三级, 绘制将乐县坡度分级图 2。白色区域小于  $20^\circ$ , 灰色和黑色为大于  $20^\circ$  的不适宜生物防火林带阻隔网营建的区域。

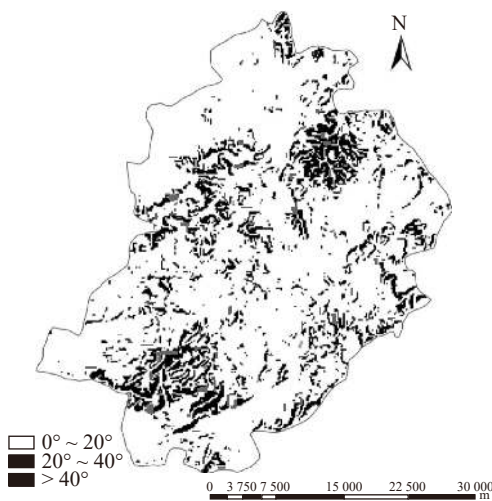


图 2 将乐县坡度分级图

Fig. 2 Map of slope gradient classification in Jiangle County

从坡度图中可以看出, 将乐县县域内整体都比较平缓, 坡度在  $0^\circ \sim 20^\circ$  之间的占 82.9%, 大于  $20^\circ$  的坡度比较少, 占 17.1%, 也就是说大部分的地面都适

宜耕种。在种植防火树种时要尽量避开坡度较高的地方, 这样既方便种植树木的抚育管理, 又可以提高树种的成活率。

#### 3.2.2 坡向

坡向是从高向低的走向, 也是坡度的方向。利用 ArcGIS10.0 软件, 提取坡向图, 得到 8 个坡向, 按阳坡与阴坡的方向定位, 即阳坡包括东坡(E)、东南坡(SE)、南坡(S)与西南坡(SW), 阴坡包含北坡(N)、西坡(W)、西北坡(NW)与东北坡(NE), 重新分类为阳坡与阴坡, 得到将乐县坡向分级, 见图 3。

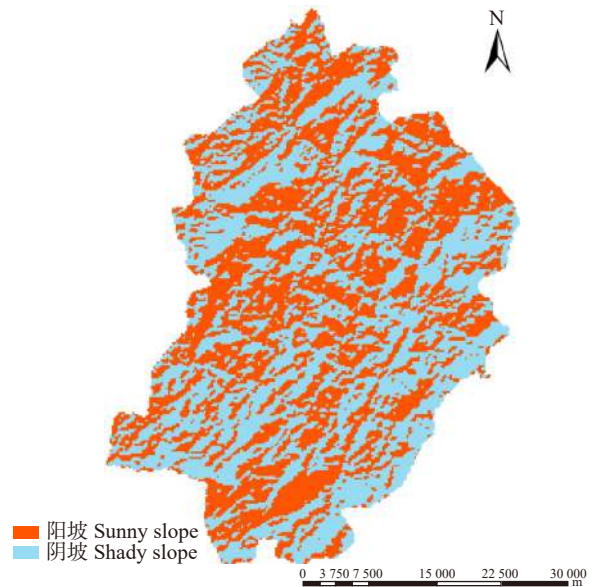


图 3 阳坡区域

Fig. 3 Sunny slope area

由于地理位置和气候的原因, 阳坡太阳光照充足, 吸收的热量较高, 造成阳坡的植物含水量低的特点, 树木抗火性差, 易发生火灾, 在规划时更应重点加强防火树种的栽植。

#### 3.2.3 山脊线的提取

山脊因其地势特点, 即两侧低、中间较为平缓, 这样使得在发生森林火灾时, 会切断水平或向下方蔓延的林火, 因此山脊线是生物防火林带阻隔网规划的一个重要参数。在本次研究中使用中国科学院地理科学与资源研究所秦承志开发的软件 SimDTA1.0, 采用 Peucker and Douglas 算法对栅格 DEM 提取山脊<sup>[29]</sup>, 该算法简单, 精度较高。用 SimDTA1.0 对将乐县 30 m 分辨率的 DEM 提取山脊线, 如图 4。

从图中能清晰地表达出, 采用 SimDTA 软件 Peucker and Douglas 算法所得到的山脊线连续完整, 山脊走向明显, 适合在本次研究中用于对山脊线的提取, 确定拟建的山脊防火林带阻隔网位置。山脊是建设生物防火林带阻隔网中的重点位置, 在生物



图4 利用 SimDTA1.0 提取的山脊线

Fig. 4 Ridgelines extracted by SinDTA1.0

防火林带阻隔网规划中是主林带。

### 3.2.4 山谷线的提取

山谷是两山之间狭窄低凹地带,即与周围地势相比高程最低的地方。山谷在生物防火林带阻隔网中也起着重要的作用。利用 ArcGIS10.0 软件的水文分析,提取拟建的沟谷防火林带阻隔网的位置,得到将乐县山谷线分布,见图 5。

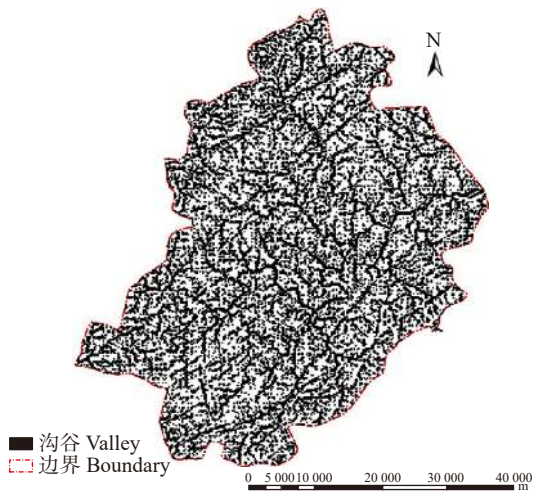


图5 提取的山谷线分布图

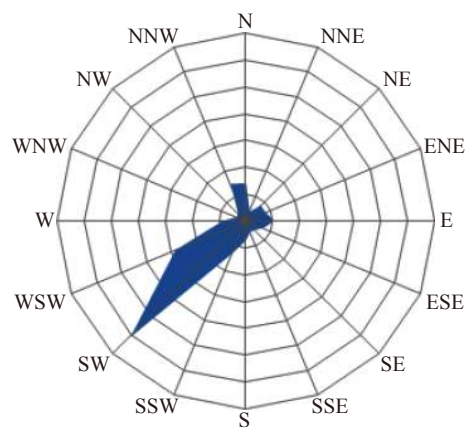
Fig. 5 Distribution map of extracted valley line

从图中可以看出,山谷线集中在两山之间狭窄低凹、高程较低处,符合实际情况,可以作为山谷防火林带阻隔网规划的依据。

### 3.2.5 主风向的影响

风对林火的影响主要有两个方面,一个方面是吹干可燃物降低其含水率,另一个方面就是能在火燃烧时对火起助燃和推进的作用,加速火灾的蔓延,尤其是“飞火”,将火带到其他未燃区域,造成更大面积,更加复杂的火灾。有许多研究表明,风速和风向对火灾的蔓延起到了至关重要的影响<sup>[30]</sup>。林火的蔓

延主要由主风向决定,因此生物防火林带阻隔网的布设上,要对主风向进行重点关注,特别是在坡度变化大的地区,这些复杂的地形在时间和空间上形成复杂的格局<sup>[31]</sup>。在中国气象局网站上(<http://www.cma.gov.cn/>)收集整理 2001—2012 年三明市永安、泰宁、尤溪、宁化 4 个气象站点的气象数据。在中国气象局网站上在将乐县没有设置气象站点,但泰宁县站点距离将乐县最近,通过对这两个地点的地形及植被类型特点分析,将泰宁站点(站点号:58820)的气象数据作为将乐县的主风向参考,通过 Excel 软件,对防火期的风向进行统计分析,制作得出玫瑰风向图图 6。



N 代表北方; NNE 代表北北东; NE 代表东北; ENE 代表东东北; E 代表东方; ESE 代表东东南; SE 代表东南; SSE 代表南东南; S 代表南方; SSW 代表南南西; SW 代表西南; WSW 代表西南西; W 代表西方; WNW 代表西西北; NW 代表西北; NNW 代表北北西。N stands for north; NNE stands for north north east; NE stands for northeast; ENE stands for east north east; E stands for east; ESE stands for east south east; SE stands for southeast; SSE stands for south south east; S stands for south; SSW stands for south south west; SW stands for southwest; WSW stands for west south west; W stands for west; WNW stands for west north west; NW stands for northwest; NNW stands for north north west.

图6 玫瑰风向图

Fig. 6 Rose wind chart

从玫瑰风向图可以清晰的看出,将乐县防火期的主风向走向是西南偏西。防火期主风向对生物防火林带阻隔网的走向有着直接的影响,一般规定,主风向要尽量垂直于生物防火林带阻隔网的走向,对于无法达到要求的部分,应将角度设定在 45°以上,小于这个数值,将会降低生物防火林带阻隔网的效能。

### 3.2.6 林缘的确定

林缘是林业用地与非林业用地的分界地带。利用 ENVI5.0 软件的面向对象图像分类的功能,将得到的面状图形边缘光滑化,结合目视解译的方式,提取出林缘如图 7。

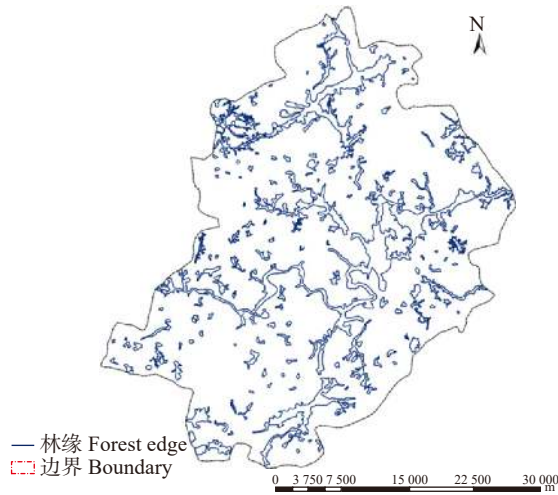


图 7 林缘提取

Fig. 7 Forest edge extraction

### 3.3 防火树种选择

选择合适的防火树种对于生物防火林带阻隔网的营建起到至关重要的作用。在树种的选取和应用上两点需要注意：一是防火树种应当有较强的抗火性能和耐火性能，并能同时兼顾经济效益和当地传统营林方式；二是防火树种要适应当地的气候特点，从而更好地做到适地适树。防火树种就其叶片理化性质及生物学特性应该选择叶片含水量高、生长速度较快、叶片粗灰分含量高、叶子质地较厚的树种。根据当地林业资源统计，将乐县内的林内构成树种主要有杉木(*Curminghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)、木荷(*Schima superba*)、茶树(*Camellia sinensis*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、黄山松(*Pinus taiwanensis*)、油茶(*Camellia oleifera*)、橙(*Citrus sinensis*)、湿地松(*Pinus elliottii*)、建柏(*Fokienia hodginsii*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、桉类、栎类等。综合王明玉等<sup>[21]</sup>、宋卫国等<sup>[32]</sup>、谷建才等<sup>[33]</sup>、田晓瑞等<sup>[20]</sup>、戴云喜等<sup>[34]</sup>对南方林区防火树种的筛选研究成果，结合将乐县火烧迹地调查和自然地理条件，确定将乐县生物防火林带阻隔网主要造林树种为木荷、油茶、毛竹等。

### 3.4 生物防火林带阻隔网综合规划

根据当地实际情况，将乐县现有生物防火林带阻隔网 221.23 km，仅占有林地面积 0.11%，主要分布在山脊位置，生物防火林带阻隔网密度为 1.17 m/hm<sup>2</sup>，文献 [26] 规定重点火险区每公顷林地应有防火阻隔带 15~25 m，一般火险区每公顷林地应有防火阻隔带 10~15 m。将乐县属重点火险区，因此每公顷林地应有生物防火林带阻隔网 15~25 m，达到这个标准同样也会达到很好的阻隔林火的作用。规划共将县域分割为 2 211 个不同大小的独立单元。山脊防

火林带阻隔网参照文定元<sup>[35]</sup>关于南方山脊防火林带阻隔网宽度的平均值 12 m 进行计算，沟谷及林缘防火林带阻隔网宽度取均值 9 m，具体参数见下表 1。

表 1 规划生物防火林带阻隔网统计表

生物防火林带阻隔网类型 Biological fuelbreak type	根数 Root number	长度 Length/km	面积/hm <sup>2</sup> Area/ha
山脊防火林带阻隔网 Ridge firebreaks	1 229	1 846.64	2 215.96
沟谷防火林带阻隔网 Valley firebreaks	246	384.21	345.79
林缘防火林带阻隔网 Forest edge firebreaks	320	1 360.82	1 224.74
总计 Total	1 795	3 591.67	3 786.49

基于上述研究结果，综合分析将乐县防火阻隔网密度和最小控制面积，根据山脊线的位置，结合坡度、坡向、主风向等，确定山脊防火林带阻隔网即主防火林带阻隔网的位置。根据沟谷线的位置以及其他因素，确定沟谷防火林带阻隔网的位置。根据林缘线的位置，确定林缘防火林带阻隔网。结合现有防火林带阻隔网、天然和工程阻隔系统(道路、河流)，按照相关技术标准，对将乐县生物防火林带阻隔网进行综合规划，完成生物防火林带阻隔网综合规划图，见图 8。

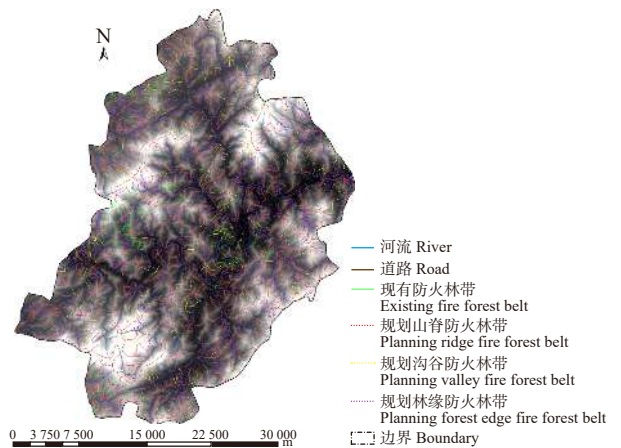


图 8 福建省将乐县生物防火林带阻隔网综合规划图

Fig. 8 Integrated planning map on biological fuelbreaks in Jiangle County of Fujian Province

再依据式(1)计算出规划后的阻隔网密度为 19.04 m/hm<sup>2</sup>，符合了文献 [26] 规定的要求，相比之前的阻隔网密度 1.17 m/hm<sup>2</sup>，提高了近 16 倍。

## 4 结论与讨论

综合分析火灾发生的历史记录、坡向、坡度、主风向、山脊、林缘等因素，最终完成了将乐县生物防火林带阻隔网的优化。防火林带阻隔网营建在坡度

小于 20°的位置,一是便于进行营林抚育,二是为了在火灾发生时便于防火队员的进入。防火树种选择以木荷为主,一是抗火效果佳,二是经济效益高。形成的防火网络总长度为 3 591.67 km,其中山脊防火林带阻隔网长度为 1 846.64 km,沟谷防火林带阻隔网长度为 384.21 km,林缘防火林带阻隔网长度为 1 360.82 km。山脊防火林带阻隔网宽度参照文定元<sup>[35]</sup>关于南方山脊防火林带阻隔网宽度取均值 12 m,山谷和林缘防火林带阻隔网宽度取均值 9 m,既可以有效阻隔林火的蔓延,又可以减少资金投入。通过计算得出防火网络所形成的网络密度为 19.04 m/hm<sup>2</sup>。防火网络总面积 3 786.49 hm<sup>2</sup>,占研究区域总面积的 1.69%。防火公路和林缘由于可燃物量骤减,形成了天然的阻火带,有效地阻隔林火的蔓延。山脊防火林带阻隔网、林缘防火林带阻隔网、沟谷防火林带阻隔网和防火公路将可燃物进行网络状分割,降低了可燃物的连续性,阻隔了森林火灾的发生。

生物防火林带阻隔网宽度的选取应该取决于对火行为的模拟,但是目前有关火行为模拟的研究与现实还存在一定差异,这将是未来的一个研究方向。本文在优化生物防火林带阻隔网时只考虑了火灾时空分布规律、坡度、坡向、林缘、河流、气象等因素,而实际上土壤类型、树高、枝下高等也会影响生物防火林带阻隔网的阻火效果。

### 参 考 文 献

- [1] Shi P J, Kaspersen R. World atlas of natural disaster risk [M]. Berlin: Springer, 2015: 309–323.
- [2] Williams J. Exploring the onset of high-impact mega-fires through a forest land management prism[J]. *Forest Ecology and Management*, 2013, 294: 4–10.
- [3] Goldammer J G, Statheropoulos M, Andreae M O. Chapter 1: impacts of vegetation fire emissions on the environment, human health, and security: a global perspective[J]. *Developments in Environmental Science*, 2009, 8: 3–36.
- [4] Selkimäki M, González-Olabarria J R, Pukkala T. Site and stand characteristics related to surface erosion occurrence in forests of Catalonia (Spain)[J]. *European Journal of Forest Research*, 2012, 131(3): 727–738.
- [5] 历美岑. 森林腐殖质热解与阴燃规律实验研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.  
Li M C. Experimental investigation on pyrolysis and smoldering rules of forest humus[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017.
- [6] 谭文雄, 徐高福. 生物防火林带研究现状与建设展望[J]. *防护林科技*, 2006(3): 87–89.  
Tan W X, Xu G F. Study on introduction status and developing prospect of ecological fireproofed belt[J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2006(3): 87–89.
- [7] 胡海清, 罗斯生, 罗碧珍, 等. 森林可燃物含水率及其预测模型研究进展[J]. *世界林业研究*, 2017, 30(3): 64–69.  
Hu H Q, Luo S S, Luo B Z, et al. Forest fuel moisture content and its prediction model[J]. *World Forestry Research*, 2017, 30(3): 64–69.
- [8] 陈存及. 中国的生物防火[J]. *火灾科学*, 1995, 4(3): 42–48.  
Chen C J. The biological fire prevention research in China[J]. *Fire Safety Science*, 1995, 4(3): 42–48.
- [9] 韦龙斌, 巨文珍, 黄道京, 等. 广西中越边境生物防火林带布局与规划[J]. *林业勘查设计*, 2018, 185(1): 86–88.  
Wei L B, Ju W Z, Huang D J, et al. Layout and planning of biological fire break forest belt in the Sino-Vietnamese border area of Guangxi[J]. *Forest Investigation Design*, 2018, 185(1): 86–88.
- [10] Timothy C, George P, Sarah W, et al. Managing fire and biodiversity in the wildland-urban interface: a role for green firebreaks[J]. *Fire*, 2017, 1(1): 1–3.
- [11] Behm A L, Long A J, Monroe M C, et al. Fire in the wildland-urban interface: preparing a firewise plant list for WUI residents[J]. *School of Forest Resources & Conservation*, 2018, 94(4): 727–744.
- [12] Harrison R D, Waldron B L, Jensen K B, et al. Forage kochia helps fight range fires[J]. *Rangelands*, 2002, 24(5): 3–7.
- [13] Suharty M. Acacia arabica as a firebreak in Baluran National Park[J]. *Duta Rimba*, 1990, 16(1): 41–45.
- [14] Della R G, Danti R, Raddi P, et al. Implementation of the "cypress system" as a green firewall[J]. *Forêt Méditerranéenne*, 2014(3): 275–280.
- [15] Paulsamy S, Bong S K, Arumugasamy K, et al. Original research: strategy to control surface fire using vegetational fire breaks in rangelands of Nilgiris, southern India[J]. *Substance Abuse*, 2003, 26(5): 251–254.
- [16] Soung-Ryoul R, Hyung-Tae C, Joo-Hoon L, et al. Post-fire restoration plan for sustainable forest management in South Korea[J]. *Forests*, 2017, 8(6): 188–201.
- [17] Swaine M D. Characteristics of dry forest in West Africa and the influence of fire[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1992, 3(3): 365–374.
- [18] Murray B M, Matin L J, Brown C, et al. Selecting low-flammability plants as green firebreaks within sustainable urban garden design[J/OL]. *Fire*, 2018, 1: 15(2018–05–09)[2018–11–25]. <https://doi.org/10.3390/fire1010015>.
- [19] 韩焕金. 生物防火林带研究进展概述[J]. *森林防火*, 2018, 139(4): 54–57.  
Han H J. A summary of the research progress of biological firebreaks[J]. *Forest Fire Prevention*, 2018, 139(4): 54–57.
- [20] 田晓瑞, 舒立福, 阎海平, 等. 华北地区防火树种筛选[J]. *火灾科学*, 2002, 11(1): 43–48.  
Tian X R, Shu L F, Yan H P, et al. Selecting fire-resistance tree species in northern China[J]. *Fire Safety Science*, 2002, 11(1): 43–48.

- [21] 王明玉, 任云卯, 赵凤君, 等. 北京西山防火林带空间布局与规划[J]. 林业科学研究, 2010, 23(3): 399-404.  
Wang M Y, Ren Y M, Zhao F J, et al. Spatial pattern and planning of shaded fuelbreak in Xishan of Beijing[J]. Forest Research, 2010, 23(3): 399-404.
- [22] 田晓瑞, 高承德, 舒立福, 等. 木荷林带阻燃性研究[J]. 安全与环境学报, 2003, 3(6): 21-25.  
Tian X R, Gao C D, Shu L F, et al. On effectiveness of *Schima superba* fuelbreaking[J]. Journal of Safety and Environment, 2003, 3(6): 21-25.
- [23] 郭怀文. 福建三明地区森林火灾碳排放研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.  
Guo H W. Study on forest fires carbon emissions in Sanming area of Fujian Province[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [24] 叶丽敏, 吴伟, 邱荣祖, 等. 闽西北将乐县地形景观空间分异性研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2018, 34(3): 288-293.  
Ye L M, Wu W, Qiu R Z, et al. Study on spatial topographical heterogeneity of landscape[J]. Journal of Harbin University of Commerce(Natural Sciences Edition), 2018, 34(3): 288-293.
- [25] 国家林业局. 林火阻隔系统建设标准: Y/T5007—2014[S]. 北京: 中国林业出版社, 2014.  
State Forestry Administration. Forest fire blocking system construction standards: Y/T5007—2014[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2014.
- [26] 国家林业局. 国家林业局关于进一步加强防火阻隔带工程建设的决定[Z]. 2002-05-15.  
State Forestry Administration. Decision of the State Forestry Administration on further strengthening the construction of fire prevention and barrier zone projects [N]. 2002-05-15.
- [27] 国家林业局森林防火办公室. 中国生物防火林带建设[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.  
Forest Fire Prevention Office of State Forestry Administration. Construction of China's biological fire prevention forest belt [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003.
- [28] 文定元. 关于防火林带几个问题的探讨[J]. 森林防火, 1992(4): 22-23.  
Wen D Y. Discussion on several problems of biological fuelbreaks[J]. Forest Fire Prevention, 1992(4): 22-23.
- [29] Peucker T K, Douglas D H. Detection of surface-specific points by local parallel delineation from digital elevation data[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1975, 4(4): 375-387.
- [30] Williams T M, Williams B J, Song B. Modeling a historic forest fire using GIS and FARSITE[J]. Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences, 2014, 6(2): 80-88.
- [31] Li X, Lü Z H, Zheng Z G, et al. Assessment of lively street network based on geographic information system and space syntax[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(17): 801-819.
- [32] 宋卫国, 汪秉宏, 舒立福, 等. 自组织临界性与森林火灾系统的宏观规律性[J]. 中国科学院研究生院学报, 2003, 20(2): 205-210.  
Song W G, Wang B H, Shu L F, et al. Self-organized criticality and macro-characteristics of forest fire system[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2003, 20(2): 205-210.
- [33] 谷建才, 陆贵巧, 吴斌, 等. 八达岭森林健康示范区森林火险等级区划的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(3): 47-48.  
Gu J C, Lu G Q, Wu B, et al. Study on the division of grade of fire in the forest health demonstration area of Badaling[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2006, 29(3): 47-48.
- [34] 戴云喜, 马桂莲, 金建国, 等. 经济树种型生物防火林带营造技术研究[J]. 浙江林业科技, 2004, 24(4): 33-35.  
Dai Y X, Ma G L, Jin J G, et al. Study on construction of biological firebreak belt by economic tree species[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2004, 24(4): 33-35.
- [35] 文定元. 防火林带研究现状[J]. 森林防火, 1997(2): 23-24.  
Wen D Y. Research status of biological fuelbreaks[J]. Forest Fire Prevention, 1997(2): 23-24.

(责任编辑 赵 勃  
责任编辑 臧润国)