doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.02.011

森林燃烧中的火焰特征研究进展

杨昊东¹, 高开明¹, 王秋华¹, 张文文¹, 王劲¹, 宋春显², 龙腾腾¹

(1. 西南林业大学 土木工程学院/云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224;
2. 昆明都市卫士信息技术有限公司, 云南 昆明 650000)

摘要: 阐述火焰的概念, 从火焰高度与长度、火焰颜色与温度、火焰热辐射与结构、火焰传播与火焰淬熄等方面对火焰特征进行综述。可利用火焰燃烧频率判断森林火灾是否发生, 利用森林可燃物燃烧的火焰颜色进行火焰区域分割、提取并进行识别。影响森林燃烧火焰的主要因素是森林可燃物, 其结构与组成等特征直接决定了燃烧蔓延及火焰特征。未来将聚焦森林燃烧火焰结构识别与特征提取。森林抚育能调整林分密度, 优化林分结构, 调控可燃物, 提高森林抵御火灾能力。

关键词: 森林燃烧; 火焰特征; 火焰颜色; 火焰温度; 火焰结构

中图分类号: S762 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)02-0065-05

引文格式: 杨昊东, 高开明, 王秋华, 等. 森林燃烧中的火焰特征研究进展[J]. 林业调查规划, 2023, 48(2): 65-69, 74.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.02.011

YANG Haodong, GAO Kaiming, WANG Qiuhua, et al. Research Review of Flame Characteristics in Forest Combustion [J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(2): 65-69, 74. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.02.011

Research Review of Flame Characteristics in Forest Combustion

YANG Haodong¹, GAO Kaiming¹, WANG Qiuhua¹, ZHANG Wenwen¹, WANG Jin¹,
SONG Chunxian², LONG Tengting¹

(1. College of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Yunnan Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control, Kunming 650224, China; 2. Kunming Dushi Weishi Information Technology Co., Ltd., Kunming 650000, China)

Abstract: This paper elaborated the concept of flame, and summarized the flame characteristics from flame height and length, flame color and temperature, flame thermal radiation and structure, flame propagation and flame quenching. The frequency of flame combustion could be used to determine whether the forest fire had occurred, and the flame color of forest combustibles could be used for flame region segmentation, extraction and recognition. The main factor affecting forest combustion flames was forest combustibles, whose structure and composition directly determined the spread of combustion and flame characteristics. Identifying the structure and feature extraction of forest combustion flames will be the focus in the future. Forest tending can adjust forest density, optimize forest structure, regulate combustible materials, and improve fire resistance.

收稿日期: 2021-12-06.

基金项目: 国家自然科学基金(31960318, 32160376); 云南省农业联合面上项目(2018FG001-055); 国家级大学生创新创业项目(2021110677005).

第一作者: 杨昊东(2003-), 男, 贵州贵阳人, 本科. 研究方向为森林消防. Email: 3156737306@qq.com

责任作者: 王秋华(1978-), 男, 福建长汀人, 教授, 博士生导师. 主要从事森林防火研究. Email: qhwang2010@swfu.edu.cn

Key words: forest combustion; flame characteristics; flame color; flame temperature; flame structure

火焰是林火行为的重要参数和指标之一,能简单、快捷、方便地判断火势,为科学安全灭火提供参考^[1]。火焰的燃烧特征可以很好地反映可燃物燃烧时所释放能量的大小^[2]。森林燃烧中火焰主要取决于森林可燃物的种类和数量,也与当地的植被特点以及环境因素密切相关^[3]。森林燃烧的主要载体是可燃物,可燃物载量是潜在林火行为的重要指标,决定森林火灾发生的难易程度以及火势大小尤其是火焰大小和其他特征。研究森林燃烧中的火焰及其特征有利于更好地把握森林燃烧规律,有利于更科学、安全灭火,也有利于灭火指挥并提高扑火效率。

1 火焰的概念

火焰是燃烧中的典型现象,可以观察到。火焰可分为不发光火焰、发光火焰、半发光火焰^[4]。火焰是能量的梯度场,包括火焰高度、火焰深度等。火是森林生态系统的重要干扰因素,从复杂而长远的时间、空间角度上来说,火焰在森林生态系统的发展变化中起到了重要作用。在森林可燃物与助燃物在发生氧化还原反应时(但不一定有氧气参与)产生火焰,从微观角度出发,火焰是可燃物在燃烧过程中出现微小而为数众多的炽热碳粒和三原子气体的辐射表现。在森林燃烧中火焰的复杂程度和形状是随意的、动乱的和暂时的。火焰发光强弱与可燃物种类、空气(氧)供应量大小、可燃气体和空气的混合情况、燃烧温度和压力等有关^[5]。火是森林破坏最为剧烈的因子,通过火焰的热作用,导致森林生态系统碳的损失^[6]。

2 火焰的特征

2.1 火焰高度与长度

火焰高度为火焰距离开口中性面的垂直距离,随着流量(热释放速率)增加而增加,随着风速的增加而减小。火焰燃烧行为可以直观地用火焰高度表示,火焰高度是研究火焰动力学的重要参数^[7-8]。火焰高度与火焰辐射强度、火焰传播速度等关系密切,是研究火灾科学的重要参数,准确有效地获取火焰高度有利于火灾科学研究^[9]。火焰在热浮力作用下具有较强的脉动现象,因此,火焰的实时高度具有多变性。在火灾环境中灭火指挥人员主要根据火

场各部位火势情况来选择灭火手段,其主要依据就是火焰高度。当火焰高度小于 0.5 m 时,扑火人员可直接靠近火用手工工具将其扑灭,当火焰高度达到 1.5 m 时,扑火人员可用风力灭火机和地面消防车喷水或化学灭火药剂等方法扑灭,当火焰高度高于 2.5 m 时,任何地面灭火机械都将无效,只能开设隔离带或放迎面火等来灭火^[8]。

固定水层厚度下,燃油燃烧速度越快,火焰高度也将逐渐升高,并逐渐趋于平缓^[10]。火焰起升高度主要受火化学延迟期控制。协流火焰的升高对加快化学反应速率有利,可以使物理和化学着火延迟期缩短,但当协流温度足够高时,对火焰的起升高度就难以造成太大影响。两者间呈指数函数关系,较大的预混当量比有利于快速形成可燃性的混合气体,从而使火焰起升高度降低^[11]。交直流电场作用下,火焰高度均有所减小,相比较而言,直流电场对火焰高度的影响更为明显,交直流电场条件下火焰高度最大减小幅度为 28.69%~42.37%^[12]。富氧气氛下火焰高度明显降低^[13]。

火焰长度是可燃物燃烧性能指标的一个关键评价参数,可作为可燃物安全性、可靠性的一种检验方法^[1]。在野外,可直接测量火焰长度,也可通过照片估测火焰高度。传统的气体燃烧器,火焰长度的控制一般是通过增减热负荷来实现^[14]。关注火焰长度及其变化是判断火焰燃烧情况最直观的方式。但人眼无法连续稳定地观察火焰全貌。基于计算机视觉的火焰检测技术成为了火检领域中最重要的发展方向^[15]。煤燃烧中,煤尘粒径相同时,挥发分含量越高,爆炸火焰长度值越大,在挥发分含量较高区间,随着挥发分含量的增加其爆炸火焰长度急剧增加,并且粒径越小,增加越快^[16]。利用丙烷火焰燃烧喷吹铬矿粉,在相同丙烷流量下,火焰长度与氧流量成反比,在相同氧和丙烷流量下,加粉后火焰长度更长,喷粉燃烧丙烷时更有利于加热^[17]。

2.2 火焰颜色与温度

色度学中,红、绿、蓝光称为色光的三原色^[1]。可燃物燃烧时的火焰具有很多颜色特征,不同物质燃烧产生的火焰颜色也不一样,森林火灾中的火焰颜色主要有白色、黄色、橙色、红色、暗红色等,一般情况为红色逐渐过渡到黄色^[18]。如果森林可燃物燃烧时供氧不充分,其局部缺氧区将形成自由碳,其与部分灰粒一起在高温作用下发出红光和红外

线^[5]。火焰颜色与温度有一定关系,如樱桃红色的火焰温度可能是 746℃,柠檬黄的火焰温度可达到 996℃,接近 1 000℃,而白色火焰的温度超过了 1 000℃,达到 1 205℃(表 1)。在野外灭火作战中,可大致借助火焰颜色来判断温度,采取相应的防护措施,避免高温灼烧受伤。

表 1 火焰颜色与温度的关系^[23]

Tab. 1 Relationship between flame color and temperature

序号	温度/℃	颜色	序号	温度/℃	颜色
1	482	粉红	7	899	橙红
2	566	血红	8	941	桔红
3	636	深红	9	996	柠檬黄
4	677	半红	10	1080	淡黄
5	746	樱桃红	11	1205	白色
6	843	鲜红	12	1233	蓝白

稀释燃烧可有效降低火焰峰值温度从而降低污染物排放^[19]。火焰温度的升高有利于碳烟生成,从火焰温度角度来看,升高压力可以促进碳烟的生成。压力越高,燃烧反应速率越快,在更短时间内释放出更多的热量,使得温度升高,加快了燃料裂解,使碳烟成核加快而促进碳烟的生成^[20]。水蒸气 4 种效应对火焰温度特性影响大小次序为:稀释效应 > 辐射效应 > 化学效应 > 热力学效应,其中化学效应和稀释效应占主导地位^[21]。可将 Landweber 算法引入到火焰三维温度场重建中,利用 Landweber 算法计算广义源项分布进而重建火焰的三维温度分布^[22]。森林在氧气充分条件下燃烧更猛烈,火焰温度更高(表 1),不同颜色的火焰是由于不同的燃烧温度产生不同波长的热辐射形成的。如火焰温度为 566℃ 时表现为血红色,火焰温度为 899℃ 时表现为橙红色,火焰温度达到 1 233℃ 时表现为蓝白色。扑火过程中可大致参考火焰颜色来判断温度,提前采取防护措施。

2.3 火焰热辐射与结构

在火的燃烧初期,热辐射是主要的能量传递方式,还是重要地表火蔓延途径,热辐射可以提前预热前方未被燃烧的可燃物。热辐射的大小体现为正在燃烧状态下的可燃物引燃而未被燃烧的能力^[2]。未燃烧可燃物受正在燃烧状态下的可燃物的热辐射越大,其未来燃烧的可能性就越大。在现实灭火环

境中要特别注意无焰燃烧及阴燃。无焰燃烧极有可能导致火场或火场附近发生二次火灾,也是火灾扑救过程中导致人员受伤的主要因素之一^[24]。针对火焰的对外界热辐射研究对于防灾减灾意义重大^[25]。温度场受可燃物所能释放的火焰辐射量的影响较大。根据提取火焰图像的亮度能反映出可燃物燃烧时的辐射情况,是火焰特性的正确反映^[1]。提高火焰温度和火焰覆盖面积可获得较好的辐射效果^[26]。高温碳烟气中的二氧化碳、水蒸气只在某几个特殊光带区域中具有显著的辐射能力和吸收能力,以此可对这些光带区域中的气体辐射作用进行计算^[27]。

在森林火灾环境中,火焰热辐射通量是灭火指挥人员评价火灾危险性的主要参数之一,在现实的森林火灾救援中对减小火灾损失意义重大。火焰的热辐射与火焰温度、火焰组分浓度等密切相关,其主要取决于可燃物燃烧过程中产生的生成物,通常包括水蒸气、一氧化碳、二氧化碳等气体和固体颗粒产物,如炭黑、飞灰、焦炭粒等^[4]。在高温火焰中以热辐射为主,而在温度较低的接近燃烧反应临界状态的火焰中,可燃物燃烧时火焰区燃烧生成物中的固体粒子会对辐射光产生反射和散射,热辐射理论将其归结于热辐射率^[28]。

火焰热辐射通量取决于火焰与接受辐射面间的几何关系及燃烧物所能发出的辐射能。通过对比辐射率和几何传递系数,得出圆柱形火焰的热辐射通量最大,圆锥形火焰最小^[29]。热辐射损害程度的判定准则明确规定了目标所承受的热辐射强度与造成设备损坏程度及人员伤亡程度之间的对应关系^[30]。火灾热辐射的快速估算可采用线热源模型,精度高、速度快,其结果能为应急救援、事故风险评估及火炬设计等提供参考^[31]。热辐射的危害与受热辐射强度和时间的长短有关,热辐射通量还与火焰温度、发射率和高度有关^[13]。在低火焰拉伸率条件下,热辐射热损失会导致火焰熄灭,在较宽的速度梯度范围内,热辐射的影响较小^[32]。细水雾对火焰热辐射有很强的衰减作用,热辐射通量在施加细水雾后 5 s 内迅速衰减,随着火焰温度升高,细水雾阻隔热辐射效率增加^[33]。

火焰结构是研究火焰特性的重要部分,一般将火焰分为焰心富氧燃烧区域、内焰贫氧燃烧区域、外焰接触空气燃烧区域。大部分物质在燃烧时都会生成碳烟,但在火焰内焰中的碳烟生成量最大。从焰心至内焰过渡部分,氧气浓度逐渐下降,刚开始时碳

烟颗粒氧化的消耗反应速度低于产生反应速度,且碳烟生成量逐渐增加。在内焰至外焰过渡区域,氧气浓度增大,温度上升,热解产生碳烟颗粒迅速被消耗^[34]。随着燃烧区域中空气流量的增加,火焰整体有变宽变高的趋势。在燃料流量一定的情况下,反扩散火焰的高度、宽度和最大温度随空气流量增加而逐渐增加,高温区域也逐渐增大^[35]。

2.4 火焰传播与火焰淬熄

火焰传播速度是燃料燃烧时的重要参数,就是未燃区混合气体沿火焰面法线方向在单位时间内向火焰面移动的距离^[36]。一般情况下,火焰传播速度会受到可燃物燃烧区域中预混气体浓度、温度、压强、可燃物燃料属性等因素的影响。其中,火焰羽流高度是衡量火焰羽流几何特性的重要参数之一,对火焰的蔓延传播具有重要影响^[10]。火焰传播速度与预混气体的初始温度正相关,当初始温度上升时,化学反应速率加快,火焰传播速度加快。火焰传播速度与预混气体的压力负相关,当初始压力上升时,实验体系中活性基的浓度下降,导致火焰传播速度降低^[37]。与 N_2 相比, CO_2 及 H_2O 由于化学动力学效应对层流火焰的传播具有更强的抑制作用,层流火焰传播速度较低^[38]。二氧化碳对火焰传播速度的影响是通过增大混合物比热容、减小热扩散度,从而降低火焰温度^[39]。

林火蔓延速度可在野外用简便方法直接测量得到,也可从经验方法或林火蔓延数学模型中获得,通常包括线速度、面积速度和周长速度^[5]。地表可燃物燃烧实验表明,上坡火火焰传播速度快,下坡火燃烧更完全,但蔓延速度相对较慢,平均最大热辐射差距不明显^[3]。湍流火焰速度主要由火焰表面总面积决定,而湍流传播火焰主要因素是由火焰表面褶皱的产生和耗散两种机理控制^[40]。 C_7H_{16} 与混合二元燃料所产生的层流火焰速率会随着 CH_3OH 的掺混比例的增加而极少地加快,同时随着燃烧初始压强的增大而逐渐下降,随着燃烧初始温度增加而逐渐上升^[41]。

热能损失和火焰过度拉伸会导致可燃物燃烧时发生火焰淬熄。湍流火焰传播速度越大,管道管径越大,火焰淬熄越难发生^[42]。淬熄直径为能让火焰发生淬熄的狭缝间距的最大值^[43]。

3 森林燃烧中的火焰影响因素

火灾会对森林生态系统造成严重破坏,森林火灾会产生大量烟雾及有毒物质释放到大气中,严重

破坏当地气热平衡。森林火灾产生的烟雾不仅严重影响大气,也影响到燃烧中的火焰。森林燃烧排放物中的气态产物主要是二氧化碳,也有部分一氧化碳和氢气等,在一定条件下能继续燃烧,导致二次燃烧甚至三次燃烧,产生明亮的火焰。在特定极端条件下,也可能剧烈燃烧,产生极端火行为,如火旋风、对流柱和火爆等。爆燃会在短时间内大量积聚的可燃气体剧烈燃烧,释放出大量能量,产生明亮火焰和蘑菇状烟气,破坏巨大。烟气排放会造成空气中悬浮颗粒物的增加,水平能见度降低,导致雾霾的形成^[44],不利于火焰的形成。但在氧气充足等适宜条件下,火焰亮度将明显增强。

火焰燃烧频率反映了火焰特点,有一定规律。通过火焰燃烧的频谱特性,可利用火焰燃烧频率来判断森林火灾是否发生^[45]。颜色特征是在图像处理中应用最为广泛的视觉特征,对于森林火灾这一颜色特征更为明显的特殊目标,利用森林可燃物燃烧的火焰颜色进行火焰区域分割、提取并进行识别,是进行森林火灾灾情探测与规划的主要依据^[46]。

影响森林燃烧火焰的主要因素是森林可燃物,其结构与组成等特征直接决定了燃烧蔓延及火焰特征,特别是连续性的影响更大,水平连续性决定了火焰深度和水平传播,尤其是地表火的蔓延,垂直连续性则决定了火焰的高度,一旦有良好的“梯状可燃物”,很可能从地表火蔓延到树干和树冠,形成猛烈的树冠火。

4 研究展望

未来将聚焦森林燃烧火焰结构识别与特征提取,如海计算模式运用到运动目标检测以及实际场景中的森林燃烧火焰识别^[44]。利用双视角、深层多粒度扫描的深度森林模型进行火焰特征提取和火焰识别^[47]。也包括各种新方法和新技术的组合和强化。火焰是森林燃烧中的外在主要表现。可通过对森林燃烧的调控方法来适当调控火行为。在森林燃烧三要素中,只有可燃物能通过人工方式进行调控。森林抚育是森林经营的重要环节,调整林分密度,优化林分结构,调控可燃物,提高森林抵御火灾能力。抚育过的森林,即使着火,火焰较弱,有利于火的控制和扑救。周期性计划烧除能控制森林可燃物载量和分布连续性,降低森林火灾风险,间接减弱了火焰。

总之,森林燃烧中的火焰特征是可以观察、监测和预测的,有利于灭火指挥员科学判断,提前预警,

采取措施,减少损失。将来借助高科技手段,如远程视频监控、直升机外挂红色扫描、更高分辨率的卫星遥感以及各种高效灭火装备和设备的组合,一旦发生森林火灾,将更高效更迅捷更安全灭火。

参考文献:

- [1] 巨新刚,倪晋平. 火焰长度的图像测量方法研究[J]. 应用光学,2006,27(6):524-527.
- [2] 闫想想,王秋华,缪秀丽,等. 昆明西山林场5种可燃物的火行为研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(1):197-204.
- [3] 王秋华,肖慧娟,刘文国,等. 昆明西山森林公园主要林型地表可燃物的潜在燃烧性[J]. 福建林业科技,2014,41(1):40-44.
- [4] 李全峰,季经纬,陈金林,等. 蒙特卡洛法在火焰热辐射计算中的应用[J]. 消防科学与技术,2008,27(2):79-82.
- [5] 舒立福,王明玉,田晓瑞,等. 关于森林燃烧火行为特征参数的计算与表述[J]. 林业科学,2004,40(3):179-183.
- [6] 刘晓东,王博. 森林燃烧主要排放物研究进展[J]. 北京林业大学学报,2017,39(12):118-124.
- [7] 周晓东. 外界风作用下窗口外部燃烧火焰高度[J]. 消防科学与技术,2017,36(2):167-170.
- [8] 骆介禹. 森林燃烧能量学[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1992.
- [9] 王林,靳红雨,吕东. 基于 MATLAB 图像处理技术提取火焰高度[J]. 消防科学与技术,2017,36(3):366-369.
- [10] 王亮,苏石川,郭晨宇,等. 基于水面边界的小尺度柴油池火焰高度及其周期振荡频率特性研究[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版),2019,33(6):27-32.
- [11] 胡宗杰,张骏捷,龚慧峰,等. 基于二氧化碳红外热成像的火焰起升高度分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2019,47(5):714-719.
- [12] 王美. 电场作用下乙醇小尺度扩散火焰高度研究[J]. 应用能源技术,2017(10):5-7.
- [13] 余登美,张仲依,娄春. 空气及富氧气氛下碳氢扩散火焰热辐射的实验研究[J]. 燃烧科学与技术,2018,24(5):458-462.
- [14] 冯明杰,李德立,王恩刚. 火焰长度可调式燃烧器的数值模拟[J]. 东北大学学报(自然科学版),2014,35(9):1297-1283.
- [15] 毛翠丽,马卫红,孟立庄,等. 基于数字图像处理的火焰长度计算方法[J]. 光学仪器,2007,29(1):27-31.
- [16] 王冬雪,刘剑,高科,等. 煤尘挥发分及粒径对爆炸火焰长度的影响研究[J]. 中国安全生产科学技术,2016,12(5):43-47.
- [17] 董大西,韩宝臣,赵亮,等. 利用丙烷燃烧火焰喷吹铬矿粉实验研究[J]. 工业加热,2020,49(3):10-12.
- [18] 王勇智,谭杨磊,韩锐,等. 基于分离 YUV 颜色通道的火焰提取方法[J]. 科学技术创新,2020(25):42-43.
- [19] 沈雪豹,叶桃红,严野,等. 湍流射流火焰抬举高度的实验研究[J]. 工业加热,2014,43(6):6-10.
- [20] 王生福,席剑飞,严野,等. 不同压力下层流对冲 C_2H_4 扩散火焰中碳烟生成的数值模拟研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2020,20(4):16-21.
- [21] 郑宇恒,邱亮,孟顺,等. 水蒸气对火焰特性和碳烟生成影响的数值模拟[J]. 内燃机与动力装置,2020,37(3):1-7,14.
- [22] 黄兴,齐宏,牛志田,等. 基于光场成像技术的散射性火焰温度场重建[J]. 北京航空航天大学学报,2020,46(5):952-959.
- [23] 刘远景. 火焰的颜色随温度而异[J]. 中国消防,1987(4):31.
- [24] 王秋华,张文文,缪秀丽,等. 昆明周边4种主要林型地表可燃物的火焰特征[J]. 消防科学与技术,2021,40(7):1082-1085.
- [25] 沈景刚,季经纬,王志一. 圆锥形火焰热辐射计算[J]. 消防科学与技术,2017,36(10):1348-1351.
- [26] 孙亮燕,任转波,代森伟,等. 扁平火焰自增碳纯氧燃烧技术[J]. 玻璃,2020,47(8):19-23.
- [27] 张国维,朱国庆,袁广林,等. 火焰热辐射作用下大空间火场钢构件升温模型[J]. 哈尔滨工业大学学报,2013,45(6):96-101.
- [28] 夏守之,朱新旺,姚琦琦. 热辐射率对火焰温度测量精度影响的研究[J]. 光学与光电技术,2008(5):72-75.
- [29] 李全峰. 火焰形状对其热辐射通量的影响[J]. 中国科技信息,2010(15):40-43.
- [30] 蔡亮. 基于火焰燃烧机理和热辐射特性确定储罐防火距离的探讨[J]. 石油石化节能,2018,8(10):1-4,7.
- [31] 包士毅,姚建,夏舒阳,等. 基于线热源模型的喷射火焰热辐射计算方法[J]. 浙江工业大学学报,2018,46(4):413-417,452.
- [32] 冯耀勋,赵黛青,刘庆才,等. 热辐射对富氧扩散燃烧火焰结构和氮氧化物生成的影响[J]. 热能动力工程,2005,20(3):275-279,332.
- [33] 丛北华,蔡志刚,陈吕义,等. 细水雾阻隔火焰热辐射的模拟研究[J]. 中国安全科学学报,2005,15(12):69-73,139.
- [34] 代正华,孟凯,郭庆华,等. 基于双色法油浆火焰温度场和碳烟浓度场分析[J]. 华东理工大学学报(自然科学版),2020,46(3):319-325.
- [35] 李智聪,何小煌,娄春. 乙烯层流反扩散火焰形状的理论计算及实验测量[J]. 燃烧科学与技术,2020,26(3):199-204.

(下转第 74 页)

5 结 语

林业有害生物监测与管理的许多环节都涉及空间信息成分和时间序列特性^[9]。随着 3S 技术和便携式计算机软硬件技术的发展,基于 3S 研发的信息管理系统将对林业有害生物监测调查的工作方式带来革命性的转变^[10]。专门开发的 App 虽然针对性强、功能齐全,能涵盖 PC 基础信息管理系统、移动终端外业调查系统的各个工作流程,但缺点也是显而易见的,系统需购置 iPad、PDA 等作为移动终端,所用影像资料需单独购买并涉密,不能使用在线地图,不具备实时定位等实用功能,携带不方便,经济性、便捷性、安全性等相较于奥维互动地图 App 大打折扣。鉴于此,将奥维互动地图 App 应用在今后林业有害生物普查中无疑是更好的选择。

参考文献:

- [1] 大姚县森林病虫害防治检疫站. 大姚县林业有害生物普查报告[R]. 2016.
- [2] 云南省林业厅. 云南省林业有害生物普查技术方案[S]. 2014.
- [3] 云南省林业厅. 云南省森林资源规划设计调查操作细则(2013年修订)[S]. 2014.
- [4] 郭应敏,覃家理. 巍山县第三次林业有害生物普查成果初报[J]. 林业调查规划,2017,42(3):104-107.
- [5] 刘军,张伟岩,刘侠,等. 基于移动 GIS 的林业有害生物普查信息管理系统研究与应用[J]. 中国森林病虫,2015,34(3):32-37.
- [6] 国家林业局森林病虫害防治总站. 林业有害生物防治技术[M]. 北京:中国林业出版社,2014:205-212.
- [7] 张迎. 基于移动 GIS 的县级林业有害生物监测管理信息系统研究与应用[D]. 石家庄:河北师范大学,2007.
- [8] 李金亮,叶彪,蒋伟昌,等. 奥维地图移动终端在林业生产中的使用方法[J]. 绿色科技,2017(21):170-172.
- [9] LIN H, PENG C H. Geographic information forestry: Problems and prospects[J]. Forestry Studies in China, 2000, 2(1):3748.
- [10] 刘敏,罗贤坤. 基于 GIS&GPS 的林业有害生物监测调查信息采集系统[J]. 湖南林业科技,2011,38(1):53-56.
- [1] 张灏,高忠权,高煦尧,等. 甲烷/空气预混湍流火焰的离子电流信号[J]. 西安交通大学学报,2021,55(5):10-17.
- [2] 马怡琳. 富氧气氛下层流预混火焰燃烧特性探析[J]. 城市建设理论研究(电子版),2020(16):92-93.
- [3] 王式兴,王智化,陈晨霖,等. 热流量法测量高压 CH₄/O₂/N₂/CO₂ 的层流火焰速度[J]. 燃烧科学与技术,2020,26(3):193-198.
- [4] 隋春杰,毕晓龙,张俊卿,等. 正庚烷/甲醇二元燃料层流火焰特性的数值模拟[J]. 能源化工,2020,41(3):29-37.
- [5] 边志坚,王金华,赵浩然,等. 氨/氢气湍流预混火焰传播特性实验研究[J]. 燃烧科学与技术,2020,26(6):551-557.
- [6] 尚融雪,高俊豪,杨悦,等. CO₂/N₂ 稀释对 H₂/CH₄ 层流火焰传播特性的影响[J]. 东北大学学报(自然科学版),2020,41(9):1321-1327.
- [7] 李玉艳,蒋榕培,李智鹏,等. C₂H₄/N₂O 预混气体的爆轰性能与火焰淬熄特性[J]. 高压物理学报,2020,34(4):166-174.
- [8] 杜宇婷,司荣军,薛少谦. 铝粉爆炸无火焰泄压技术及装备研究[J]. 中国安全生产科学技术,2020,16(4):132-136.
- [9] 向临川,王秋华,龙腾腾,等. 森林火灾燃烧产物研究概述[J]. 森林防火,2020(3):28-33.
- [10] 王全,赵涓涓. 海计算模式下的森林火焰识别算法[J]. 计算机工程与设计,2015,36(11):3019-3024.
- [11] 申小龙,周海芳,窦勇. 基于色彩特征的森林火灾火焰分割方法[J]. 计算机应用,2013,33(S2):197-199,223.
- [12] 朱晓好,严云洋,刘以安,等. 基于深度森林模型的火焰检测[J]. 计算机工程,2018,44(7):264-270.

责任编辑:刘平书

责任编辑:许易琦