

美国野地-城市交界域火灾管理概述 及对我国的启示

郑文霞^{1,2} 郭新彬^{1,2} 郭林飞^{1,2} 马远帆^{1,2} 郭福涛^{1,2*}

(¹福建农林大学林学院, 福州 350002; ²海峡两岸红壤区水土保持协同创新中心, 福州 350002)

摘要 随着全球人口增长,世界范围内野地-城市交界域(WUI)正在加速扩张。美国的WUI面积大、分布广、聚集人口多,由于交界域直接与森林植被相贯通,极易受到林火影响,区域范围内人类生命财产安全面临巨大威胁。经过长期的火灾管理实践,美国形成了一套较为完善的WUI林火预防、扑救管理体系。本文从美国WUI的形成方式、火灾发生情况、预防扑救措施等几方面系统总结了美国WUI火灾的管理体系。此外,本文分析了我国WUI火灾管理的现状及存在问题,并基于美国经验提出了完善我国WUI火灾管理的六点建议:(1)制定交界域消防管理计划;(2)合理利用计划火烧;(3)研发火灾预警系统;(4)增强社区防火能力;(5)提高消防员灭火水平;(6)完善火灾扑救策略。

关键词 火灾预防; 适应火灾社区; 扑救; 计划火烧

Overview of fire management in the Wildland-Urban Interface of the United States and its enlightenment to China. ZHENG Wen-xia^{1,2}, GUO Xin-bin^{1,2}, GUO Lin-fei^{1,2}, MA Yuan-fan^{1,2}, GUO Fu-tao^{1,2*} (¹ College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, 350002, China; ² Collaborative Innovation Center of Soil and Water Conservation in Red Soil Region of the Cross-Strait, Fuzhou, 350002, China).

Abstract: With the growth of global population, the expansions of Wildland-Urban Interfaces (WUIs) are accelerating worldwide. In the United States, WUIs are widely distributed with large population. They are highly vulnerable to wildfire due to its direct connection with the forests. The human life and property in the WUIs is facing a great threat. With a long history of management practice, the United States has formed a relatively complete management system on wildfire prevention and suppression in WUIs. We summarized the management system of wildfire in WUIs of the United States from the aspects of formation of WUIs, wildfire situation, and the measures of wildfire prevention and suppression. In addition, current situation and problems of wildfire management in WUIs of China were analyzed. Based on the experience from the United States, we proposed suggestions for improving the fire management of WUIs in China: (1) developing fire management plan for the WUIs; (2) rationally utilizing the prescribed burning; (3) developing early fire warning system; (4) improving the capability of wildfire prevention in WUI community; (5) improving the fire fighting level of firefighters; (6) promoting fire fighting strategy in WUIs.

Key words: fire prevention; fire adapted community; fire fighting; prescribed fire.

20世纪90年代以来,美国在自然植被区或靠近自然植被区的地方新建了大量住宅,这种发展模式

式产生了大量的野地-城市交界域。资料表明,美国交界域大约有 $76.89 \times 10^5 \text{ km}^2$, 9900万居民, 占美国总人口的32%, 并且交界域土地面积仍在持续增长(Hammer *et al.*, 2009; Bradbury *et al.*, 2014)。据统计, 1990—2010年, 美国交界域面积合计新增 $1.89 \times 10^5 \text{ km}^2$, 交界域的面积增长已成为全国土地类型变

国家自然科学基金项目(31770697)、福建农林大学杰出青年基金项目(XJQ201613)和福建农林大学国际科技合作与交流项目(KXB16008A)资助。

收稿日期: 2019-05-27 接受日期: 2019-10-18

*通讯作者 E-mail: guofutao@126.com

更最快的类型(Homer *et al.*, 2015)。截至2016年,全美已在交界域地区建成7万多个社区4600多万套住宅(Butler, 2016)。由于交界域直接与森林植被相贯通,人类活动频繁导致交界域成为美国野火重灾区,对人类生命财产构成极大的威胁(Radeloff *et al.*, 2005)。此外,交界域火灾与大规模极端野火密不可分。大规模极端火灾强调可燃物、地形和天气之间的相互作用。Cohen等(2008)指出,极端火灾往往伴随着强风,当住宅暴露在极端野火条件下时,火势蔓延迅速,每分钟可点燃1~4所住宅,大量住宅同时着火和燃烧,使消防人员不堪重负,降低消防效率。2000—2016年,有38000多所住宅被交界域火灾吞噬(Butler, 2016)。过去30年来,美国针对交界域火灾制定和采取了一系列政策和措施,取得了较好成效,积累了丰富的经验,这些经验将有助于我国制定针对快速发展的森林-城镇交界域的林火防控、扑救方案,减少灾害损失。本文对美国交界域火灾情况、政策和措施进行了归纳、总结,并针对我国交界域火灾问题提出了建议。

1 美国交界域的形成方式

美国政府在《联邦公报》上对野地-城市交界域(以下简称“交界域”)进行了明确的定义,将交界域分成混合交界域(Wildland-Urban Intermix)和界面交界域(Wildland-Urban Interface)两种形式(Stewart *et al.*, 2007)。混合交界域是指房屋和野生植被交互混生的区域,房屋密度为 $6.17 \text{ 套} \cdot \text{km}^{-2}$,野生植被覆盖率超过50%。界面交界域代表植被覆盖率少于50%,但该区域位于野生植被覆盖率超过75%的植被密集区(面积 $\geq 5 \text{ km}^2$)2.4 km以内(Bar-Mas-sada *et al.*, 2013)。交界域的形成有两种方式:新房屋建在靠近野生植被的区域或野生植被生长到住宅区,使得这些地区的房屋密度超过了 $6.17 \text{ 套} \cdot \text{km}^{-2}$ 的门槛。在这两种交界域形成方式中,前者占到97%,只有2%是由植被单独生长引起,1%是由房屋和植被共同作用形成。除了特拉华州、哥伦比亚特区、马里兰州和新泽西州外,美国其他州的交界域增长,80%以上都是由新建房屋推动的(Radeloff *et al.*, 2005)。

2 美国交界域火灾发生情况

交界域火灾有以下两种形成方式:一是由外部野火引发,二是交界域社区内部着火。美国交界域

火灾很大一部分是由极端野火引起的。美国的野火97%~99%都可以在初期灭火行动中得到控制,但仍有1%~3%失去控制,极易蔓延至交界域,引发交界域火灾(Manzello, 2014)。在大多数情况下,当消防能力足以控制住野火蔓延时,大部分交界域火灾就不会发生。然而,一项林火管理的悖论是当一个区域95%~98%的林火被长期控制,那么灾难性的重特大森林火灾便不可避免。美国林务局在成立之初,便将“野火排除”(wildfire exclusion)作为一项主要政策。这项政策虽然在很长一段时间内减少了火灾的次数,但森林更新缓慢,可燃物大量、连续地积累,反而极易形成大规模高强度的野火危及交界域(Radeloff *et al.*, 2005)。直到20世纪60年代末,野火才被重新定义为生态因素。但是,长期对野火的抑制已经显现出了严重的负面效应。例如,自19世纪后期以来,野火排除政策影响了北美西部黄松和干燥针叶林的动植物群落结构、景观格局和生态系统过程的变化,使许多地区的生态系统丧失恢复能力,导致非典型的极端野火频繁发生(Stevens-Rumann *et al.*, 2017; Addington *et al.*, 2018)。

受早期野火排除政策、交界域发展和气候变化等因素影响,美国交界域火灾形势非常严峻。对美国1990—2018年重大交界域火灾发生情况总结发现交界域火灾无论是在发生次数,还是破坏力上都越发严重(附表1)。如,2018年11月8日,加州北部发生的山火,导致至少86人死亡,2万个建筑物被毁,成为加州历史上最具破坏性的火灾之一(中国减灾, 2019)。此外,气候变化预测表明,气候条件将促进未来野火的发生(魏书精等, 2011),增加野火的规模,使火势蔓延更加难以控制,可能导致更广泛和更严重的交界域火灾行为。

3 美国交界域火灾管理

1985年,由野火导致的建筑物破坏成为全美公认的问题,交界域火灾管理正式进入公众视野。最初交界域火灾的消防管理主要由美国林务局和国家消防协会组织负责(Hammer *et al.*, 2009)。

3.1 交界域火灾预防

3.1.1 野火管理 一种有效降低野火风险的方法就是林火利用。计划火烧被认为是一种新型的林火管理方式(Butry, 2009)。林火作为一种生态因子,完全扑灭是不可取的,人为频繁地制造小型火灾反而有利于减少森林的可燃物积累,降低在交界域发

生高强度野火的几率。目前,计划火烧已成为联邦土地管理决策标准的一部分,一些地区也已经将计划火烧作为保护社区的预防活动。

美国开发了许多应用于野火管理的风险评估模型和预测预报模型,如:①野地消防决策支持系统(Wildland Fire Decision Support System-Rapid Assessment of Values-at-Risk, WFDSS-RAVAR)。当发生野地火灾时,WFDSS协助管理人员评估各种危险因素,例如实时的火点位置、邻近的可燃物情况、天气预测,以及周边的珍贵资源和建筑物情况等等。WFDSS包括火灾行为模型和经济影响模型。②可燃物管理规划系统(ArcFuels)。ArcFuels是ArcMap的一个定制版本,它将GIS功能与植被和野火行为模型联系起来。③国家野外火灾危险性和风险评估系统。该系统旨在从战略的角度对火灾发生的可能性和火灾强度如何在全国范围内影响社会、经济和生态价值的风险做出初步的模拟。并使用FSim(Fire Simulation System)程序(一种美国本土林火概率模型)对覆盖美国大陆的137个火灾规划单元进行燃烧概率和火灾行为建模(Calkin *et al.*, 2011)。

3.1.2 社区管理 (1)火灾适应型社区(fire adapted community, FAC):美国适应火灾社区项目是由美国林务局、内政部和国家森林工作者协会共同发起的,旨在降低社区建筑物和植被的可燃性,从而降低建筑物在野火中暴露的敏感性。该项目将防火的责任分摊给土地管理机构、地方政府和个人。三者的职责如下:①土地管理机构:加强社区基础设施,消除火源;管理可燃物和植被,降低野火的规模和强度;进行社区教育,增强社区的防火意识;应对已经发生的野火。②地方政府:制定发展区划,控制建筑物密度。③个人:提高家庭用火安全意识;降低建筑物可燃性;消灭余烬等,降低社区脆弱性(Leschak, 2014)。

(2)社区野火保护计划(community wildfire protection plan, CWPP):该计划是为处于荒地火灾危险区的社区制定的。CWPP是由地方政府、地方消防机构、监督森林管理的州机构、联邦土地管理机构以及其他相关方共同协作开展的,能够有效地解决当地的森林和牧场条件、风险值和行动优先级。CWPP的基本要求是:①合作—CWPP是基于合作的保护计划,要求地方和州政府官员必须让社区附近的联邦机构和其他相关方,特别是非政府利益相关方参与进来。②优先减少可燃物—CWPP确定和优先

处理联邦和非联邦土地上的危险可燃物。③建筑物可燃性处理—CWPP向房主和社区提供有效的措施,以降低社区内建筑物的可燃性(Fleeger, 2008)。

(3)房主预防:主要采取两个方面的预防措施:一是改变建筑物周围的植被,减少潜在的火源;二是改变建筑物本身的结构,提高建筑物的抗火性(Bright, 2006)。

3.2 火灾应急管理体系

突发事件应急指挥体系(incident command system, ICS)是一个标准化的现场管理系统,旨在通过整合设施、人员、程序和通信设备的组合来实现高效的事件管理。ICS在美国被广泛应用于消防机构,也逐步应用于其他公共安全以及应急事件管理等方面(王靖元等, 2016)。其野火管理目标包括:建立管理目标;根据管理目标制定策略;制定和发布任务、计划、程序和协议;为各种火灾事件管理职能活动建立具体的、可衡量的策略或任务,并指导完成这些策略或任务;记录结果衡量绩效以完善策略(诚然, 2015)。

ICS主要由指挥部、行动部、规划部、后勤部和财务/行政部5个部分组成,每个部分根据具体需求配备人员。

(1)指挥部:由现场指挥官和指挥人员构成。现场指挥官负责整个火灾事件的指挥工作和人员分配。指挥人员主要包括新闻官、安全官和联络官,均由现场指挥官指定,直接向现场指挥官进行报告。

(2)行动部:负责实施消防战术活动,侧重于保护人员安全和财产安全。

(3)规划部:负责收集、评价和传播与火灾事件有关的资料,并保存关于当前和预测的火情以及资源分配状况的资料。

(4)后勤部:负责为整个事件提供所需资源、设施、通信以及食品和医疗服务等等。

(5)财务/行政部:负责监督管理资金来源,以及跟踪野火事件的进展向指挥官报告应计费用,避免资金问题影响应急管理行动(王靖元等, 2016)。

3.3 “交界域”火灾扑救

3.3.1 扑救机构 美国的农业部林务局(Forest Service)和内政部的5个机构:国家公园管理局(National Park Service)、土地管理局(Bureau of Land Management)、美国鱼类和野生动物管理局(Fish and Wildlife Service)、印第安事务局(Bureau of Indian Affairs)和垦务局(Bureau of Reclamation)对联邦

土地负有管理和行政责任,他们有法定权力和义务保护土地免受野火的侵袭。这些机构可以对土地提供直接保护,或者通过与其他保护组织签订合同和协议来对土地进行保护。其中农业部林务局负责 $7.81 \times 10^5 \text{ km}^2$ 森林的野火管理工作。内政部负责管理超过 $1.619 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的国家公园、野生动物保护区、印第安人保留区和其他公共土地的野火管理工作。美国政府火灾扑救的主要任务是保护人员、财产和自然资源,通过联邦紧急管理署(Federal Emergency Management Agency)向州和地方政府提供救灾服务。2018年美国共有27228个消防部门,121.66万名消防队员。

3.3.2 对消防员的要求 美国的森林和野地消防员为州或联邦政府机构工作。野火扑救具有很高的危险性,对消防员的专业技能和训练有很高的要求。美国劳工统计局指出,各州和联邦机构对林野消防员的入门要求并不完全相同。有些工作可能需要大专及以上学历,而有些工作可能只需要高中文凭,此外,林业、自然资源、生物或消防科学等相关领域的学位可能会受到雇主的青睐(Bureau of Labor Statistics, U.S., 2018)。此外,无论各机构的要求如何,所有申请者都必须通过三项考试:笔试、体能测试(candidate physical ability test)和智力测试。被录用的消防员需要在国家消防学院或各地消防学校进行为期12~14周的培训,包括学习与实际火灾情况相关的物理、化学、数学和火灾科学知识,体能测试中包含的体能项目(使用消火栓钥匙开闭消防栓、15 m消防梯攀登、将充满水约45 kg的水带拖行30~60 m、架设拉梯、携带拉梯通过障碍通道、负重登楼等),并进行实战化演练。此外,要成为美国职业制消防员,还需要取得急救医疗技师(emergency medical technician)证书。美国国家消防学院(National Fire Academy)开设超过70门以上的课程,内容主要包括:应急医疗服务、防火(管理类、公共宣传教育类和技术类)、火灾/纵火和爆炸事故调查、危险品、事故应急管理、领导能力拓展、规划和信息管理、战斗员健康与安全、训练计划以及野地-城市交界域火灾,其中针对交界域的课程涉及消防安全社区、疏散、土地使用和消防规范(杨华等,2018)。

3.3.3 扑救战略 (1)初期灭火。初期灭火战略包括:①进行适当的培训、装备、支持和人员配备,以满足当地的要求。②灭火使用战术和设备应基于该地区的资源、文化、经济和生态目标和政策。③尽可

能利用当地资源,在社区内建立消防管理政策和应急预案。④使用通信系统及时从官方和公众渠道获得火灾发生、位置和状态的信息。⑤在火灾过程中制定和应用大型火灾灭火策略和战术,为可能的跑火做好准备。⑥保护民众并指导疏散,进行救援和紧急医疗等医疗救护培训。⑦进行收集数据、准备评估和报告的培训,提高组织效率;⑧与媒体合作,将信息及时发布给群众(Hammer *et al.*, 2009)。

(2)大型火灾扑救和管理。大型火灾扑救和管理战略包括:①根据火灾预期的大小、持续时间和复杂程度制定大型火灾扑救计划和程序。②建立完备的信息获取通道,收集火灾的情报和信息,确保规划、战略制定和社区参与的有效性。③使用多功能和可扩展的管理系统来管理各种规模和复杂程度的火灾,最大限度地减少火灾过渡期间的混乱和风险。④制订火灾季节前协定,规定在当地资源完全投入的情况下,在发生大规模火灾时提供援助。⑤建立审查、评估和培训程序,以便人员了解可能发生大火的条件,并在大火发生之前迅速采取适当的措施。⑥评估大型火灾管理规定,以达到有益于生态系统、减少灭火人员风险和降低扑救成本的方式管理部分或全部火灾。⑦对实现预计目标失败的概率和后果进行风险分析。

(3)多起源火灾管理。管理同时发生的多起火灾事件的战略应包括:①在火灾季节开始之前制定计划,规定多起源火灾事件期间所需的管理、资源分配和优先级等等。②授权代表每个相关司法管辖区的高级管理人员,通过协调管理和政策实施来决定保护和资源分配优先级。③考虑火灾恶化的可能性以及分配灭火资源的可能性,以减少在关键区域发生的额外大规模和破坏性火灾的可能性。④通过在所有司法管辖区内使用ICS来应对所有类型的火灾或其他紧急情况,相关机构、团体和其他组织将获得在跨界和多起火灾情况下有效使用该系统的经验(Reams, 2005)。

3.4 灾后重建情况

统计数据表明,美国整体灾后重建率低。在2000—2005年,涉及建筑物的106起火灾中,共烧毁建筑物3604座,其中在火灾后5年内重建1881座,新建2403座。这意味着火灾发生后5年内火烧迹地周围的建筑物数量较往年多,新建筑物的数量大于重建建筑物的数量(Alexandre *et al.*, 2015)。

2010年的Fourmile Canyon Fire造成科罗拉多

历史上最大的房屋损失(165)。灾后重建进展缓慢,在火灾发生34个月,50所房屋(30%)得到重建和占用,32所(20%)正在重建中,82所(50%)尚未重建(Mockrin *et al.*, 2015)。

居民对住宅被烧毁的反应,以及他们是否决定搬迁、重建,甚至在被烧毁的地区建造新房,都是消防政策和管理的重大问题。目前美国国家层面的一项政策重点是建立适应火灾社区(Winter *et al.*, 2009; McCaffrey *et al.*, 2013)。如果社区要“适应”火灾,就必须对火灾的发生做出反应,选择不重建被烧毁的住宅也许是一种可能的适应性反应。

4 我国交界域火灾概况

4.1 交界域基本情况

当今中国在大力推进生态文明建设的战略决策背景下,林业得到了快速发展,我国人工林规模居世界首位,森林覆盖率仍在逐年增加(盛炜彤, 2018)。2018年我国森林覆盖率超过50%的省份有福建(66.8%)、江西(63.1%)、海南(63.0%)、广西(62.3%)、浙江(61.2%)、湖南(59.82%)、云南(58.59%)等13个。森林覆盖率较高的地区主要集中在南方和东北地区,这些地区拥有大量的林业城镇,构成我国交界域的主要分布区域。同时,我国积极倡导国家森林城市建设,截至2018年10月,已达165个(于畅等, 2019)。与美国相比,我国交界域的人口和建筑物密度更大,且随着生态文明建设和国家森林城市建设的推进,交界域在未来仍会持续扩大。交界域拥有丰富的生活、农业生产、休闲和宗教祭祀相关的设施,丰富的火源来源和可燃物分布,加之群众防火意识淡薄,使得火灾安全形势日益严重(王海晖等, 2018)。

4.2 火灾管理及问题

近年来我国林火管理整体上取得了明显成效,1988—2016年,全国年均发生火灾约7082起,受害森林面积约7.3万公顷,伤亡人数160人,与1949—1987年相比林火次数、受害森林面积、伤亡人数的年均值分别下降55.55%、92.29%和79.16%(陈延特, 2017)。目前,我国交界域火灾管理主要体现在预防上,包括火源和可燃物管理、火灾宣传和教育等工作等等。火源管理以实现野外火源管理制度为主,限制野外生产用火,控制局部地区的生活用火,在高火险地区设置哨卡和巡逻检查。可燃物管理主要体现在清理特定场所地被物和建设防火隔离带。火灾

宣传和教育工作主要包括设立防火标牌,张贴防火宣传标语和告示,广播、电视等媒体进行宣传,与当地居民签订用火责任状和防火公约等等(赵凤君等, 2007)。

虽然我国应对交界域火灾采取了很多管理措施,也取得了一定的效果,但针对性不强,仍有许多亟待解决的问题:①防火基础设施薄弱。消防基础设施十分陈旧,难以发挥应有的防范作用(穆国庆, 2017)。此外,我国的WUI林火管理缺少各类模型技术支持,火灾预测预报工作有弱化的现象。②缺少对森林可燃物的主动管理方案,计划火烧、可燃物清理等措施开展不充分、不系统。③防火应急管理欠缺。很多地区缺少系统规范的林火发生、扑救应急预案,很多预案实际可操作性不强,一旦发生火灾,将会陷入被动的救援局面(刘忠惠等, 2018)。④交界域社区的防火意识薄弱、能力不足。交界域社区群众对科学防火的知识结构不足,经验缺乏,社区整体防火能力较弱。⑤消防员培训不足。培训工作得到的重视程度不够,基层指挥员指挥业务不全面、不熟练,扑火队员基本技能不扎实,开展火场紧急避险训练不足,扑火机具维护保养等方面的培训欠缺等等。

4.3 美国交界域火灾管理对我国的启示

(1)制定交界域消防管理计划。交界域火灾未来的形势不容乐观,应基于生态系统的类型、潜在的火灾影响、消防制度以及社会和环境价值,制定详细的消防管理计划。政府在制定资源和消防管理计划时应让当地社区和其他相关人员充分参与进来,提高社区本身的责任感和防火意识。

(2)合理利用计划火烧。在充分考虑和评估环境影响基础上,开展计划火烧减少森林可燃物累积,降低交界域火险等级。要制定科学合理的计划火烧执行程序,建设计划火烧操作标准流程,加强计划火烧操作人员的技能培训。

(3)研发火灾预警系统。我国在火灾预警和管理系统方面的研究较为滞后,应以高校、科研院所为依托,根据地形、植被和气象等数据建立火灾危险等级系统,进一步建立国家或区域预警系统和信息网络,以便迅速向地方和社区提供可靠的火灾危险预警。

(4)增强社区防火能力。让社区成为消防合作伙伴,帮助预防、发现和报告火灾,并与消防人员一起控制火灾。建立全民共享防火信息网,制定建筑

物和可燃物防火规范,宣传计划火烧的作用,为群众提供各类防火信息,并做好森林防火宣传。

(5)提高消防指挥员、队员林火管理、扑救水平。为消防指挥人员提供专业的系列培训,使其学习掌握林火扑救管理系统,提升林火扑救指挥能力水平。为消防员提供针对当地林火发生特点的林火扑救培训,熟练掌握各类消防器材、工具的使用方法,掌握不同火行为下的扑救、逃生策略等。

(6)完善火灾扑救策略。交界域火灾涉及植被和建筑物,扑救较为复杂困难,为了有效应对交界域火灾,现有的扑救策略应该进行合理修订。扑救策略应注意充分考虑当地的自然地理、资源、文化情况,及时获取火情信息的渠道,对火灾发展的所有可能进行预测,以此制定针对性的预防和控制策略。

5 总 结

交界域是美国增长最快的土地覆盖类型。交界域逐年增长使美国大量的生命和财产面临火灾的风险。当前,美国应对交界域火灾问题的管理上采取了积极的预防和扑救措施,主要包括火灾预防、完善应急管理体系和制定针对性火灾扑救策略等。随着我国生态文明建设和国家森林城市的推进,交界域也呈逐年增加趋势,制定火灾管理方案至关重要。与美国相比,我国对交界域火灾的研究滞后,管理措施缺乏针对性和系统性。美国利用计划火烧管理可燃物、先进的火灾管理系统和应急管理体系、适应火灾社区计划和社区野火保护计划,以及有针对性的火灾扑救策略等措施,都对交界域火灾管理起到了良好的效果,值得我们借鉴。与此同时,我国森林覆盖率低,人口众多,交界域火灾管理更应该引起重视,需要投入更多的研究,制定更适合我国的交界域火灾应对方法。

参考文献

- 陈延特. 2017. 王海忠:我国森林防火成效显著行政首长负责制逐步落实 [EB/OL]. [2019-07-15]. http://www.xinhuanet.com/travel/2017-05/02/c_1120906662.htm [Chen YT. 2017. Wang HZ: China's forest fire prevention has achieved remarkable results, and the administrative chief responsibility system has been gradually implemented [EB/OL]. [2019-07-15]. http://www.xinhuanet.com/travel/2017-05/02/c_1120906662.htm]
- 诚 然. 2015. 美国国家突发事件应急指挥系统(ICS)的发展历程与影响因素. 电子政务, (3): 87-94. [Chen R. 2015. The development history and influencing factors of

- the US national incident command system (ICS). *E-Government*, (3): 87-94.]
- 刘忠惠, 陈开伟. 2018. 森林防火管理中存在的问题及完善措施. 南方农业, 12(15): 117-118. [Liu ZH, Chen KW. 2018. Problems and improvement measures in forest fire prevention management. *South China Agriculture*, 12(15): 117-118.]
- 穆国庆. 2017. 城乡结合部消防安全现状分析. 消防界(电子版), (11): 116-117. [Mu GQ. 2017. Analysis on the status quo of fire safety in urban and rural areas. *Fire Protection (electronic version)*, (11): 116-117.]
- 盛炜彤. 2018. 关于我国人工林长期生产力的保持. 林业科学研究, 31(1): 1-14. [Sheng WT. 2018. On the maintenance of long-term productivity of plantation in China. *Forest Research*, 31(1): 1-14.]
- 王靖元, 刘立文. 2016. 美国 ICS 和我国消防组织指挥体系的比较研究. 消防技术与产品信息, (7): 47-51. [Wang JY, Liu LW. 2016. A comparative study of American ICS and China fire protection organization command system. *Fire Technology and Product Information*, (7): 47-51.]
- 王海晖, 翟春婕, 毛丽君, 等. 2018. 森林和村镇结合部火灾现象现场调查和分析途径. 森林防火, (1): 1-5. [Wang HH, Zhai CJ, Mao LJ, et al. 2018. Field investigation and analysis of the fire phenomenon in the combination of forest and village. *Forest Fire Prevention*, (1): 1-5.]
- 魏书精, 胡海清, 孙 龙. 2011. 气候变化对我国林火发生规律的影响. 森林防火, (1): 30-34. [Wei SJ, Hu HQ, Sun L. 2011. The impact of climate change on the occurrence of forest fires in China. *Forest Fire Prevention*, (1): 30-34.]
- 杨 华, 吴立志, 李思成. 2018. 美国职业消防指挥官的选拔晋升与培训. 消防技术与产品信息, 31(11): 93-96. [Yang H, Wu LZ, Li SC. 2018. Selection and promotion of US professional firefighting commanders. *Fire Technology and Product Information*, 31(11): 93-96.]
- 于 畅, 徐 畅, 熊立春, 等. 2019. 森林城市建设对大气质量的影响. 林业经济, 41(3): 72-78. [Yu C, Xu C, Xiong LC, et al. 2019. The impact of forest city construction on air quality. *Forestry Economics*, 41(3): 72-78.]
- 赵凤君, 任玉卯, 舒立福, 等. 2007. 城乡结合部森林火灾特点及预防扑救对策. 森林防火, (4): 26-27, 44. [Zhao FJ, Ren YM, Shu LF, et al. 2007. Characteristics of forest fires in rural-urban fringe and prevention measures. *Forest Fire Prevention*, (4): 26-27, 44.]
- 中国减灾. 2019. 美国加州山火保险理赔已达 90 亿美元. 中国减灾, (1): 12. [China disaster reduction. 2019. California mountain fire insurance claims have reached 9 billion US dollars. *China Disaster Reduction*, (1): 12.]
- Addington RN, Aplet GH, Battaglia MA, et al. 2018. Principles and practices for the restoration of ponderosa pine and dry mixed-conifer forests of the Colorado front range. *USDA Forest Service General Technical Report RMRS*, 373: 1-

121.

- Alexandre PM, Mockrin MH, Stewart SI, *et al.* 2015. Rebuilding and new housing development after wildfire. *International Journal of Wildland Fire*, **24**: 138–149.
- Bar-Massada A, Stewart SI, Hammer RB, *et al.* 2013. Using structure locations as a basis for mapping the wildland urban interface. *Journal of Environmental Management*, **128**: 540–547.
- Bradbury M, Peterson MN, Jianguo L. 2014. Long-term dynamics of household size and their environmental implications. *Population and Environment*, **36**: 73–84.
- Bright AD, Burtz RT. 2006. Firewise activities of full-time versus seasonal residents in the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*, **104**: 307–315.
- Bureau of Labor Statistics, U.S. 2018. Department of Labor, Occupational Outlook Handbook, Firefighters, How to Become a Firefighter, Advancement [EB/OL]. [2019-05-16]. <https://www.bls.gov/ooh/protective-service/firefighters.htm#tab-4>, 2018-1-30/2018-3-21.
- Butler K. 2016. Improving WUI Community Fire Protection-Fire Resistant Building Design and Materials [EB/OL]. [2019-7-11]. <https://www.nist.gov/programs-projects/improving-wui-community-fire-protection-fire-resistant-building-design-and>
- Butry DT. 2009. Fighting fire with fire: Estimating the efficacy of wildfire mitigation programs using propensity scores. *Environmental & Ecological Statistics*, **16**: 291–319.
- Calkin DC, Finney MA, Ager AA, *et al.* 2011. Progress towards and barriers to implementation of a risk framework for US federal wildland fire policy and decision making. *Forest Policy and Economics*, **13**: 378–389.
- Carroll MS, Paveglio T, Jakes PJ, *et al.* 2011. Nontribal community recovery from wildfire five years later: The case of the Rodeo-Chediski Fire. *Society & Natural Resources*, **24**: 672–687.
- Clark L, Hardy KD. 1997. 1996. Alaskan wildland-urban interface fire: A catalyst for public involvement. *Fire Management Notes*, **57**: 7–9.
- Cohen J. 2008. The wildland-urban interface fire problem. *Forest History Today*, **38**(2–3): 16–22.
- Felder G. 2008. Laguna Beach Wildfire Fifteen Years Ago: What Happened? [EB/OL]. [2019-5-17]. <https://www.latimes.com/socal/daily-pilot/news/tn-dpt-xpm-2008-10-20-doc48fc81193cd0f539852210-story.html>
- Fleeger WE. 2008. Collaborating for success: Community wildfire protection planning in the Arizona White Mountains. *Journal of Forestry*, **106**: 78–82.
- Hammer RB, Stewart SI, Radeloff VC. 2009. Demographic trends, the wildland-urban interface, and wildfire management. *Society & Natural Resources*, **8**: 777–782.
- Homer C, Dewit J, Yang L, *et al.* 2015. Completion of the 2011 national land cover database for the conterminous United States: Representing a decade of land cover change information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **81**: 345 – 354.
- Keeley JE, Fotheringham CJ, Moritz MA. 2004. Lessons from the October 2003 wildfires in Southern California. *Journal of Forestry*, **102**: 26–31.
- Keeley JE, Safford H, Fotheringham CJ, *et al.* 2009. The 2007 southern California wildfires: Lessons in complexity. *Journal of Forestry*, **107**: 287–296.
- King L. 2006. Wildfires Rip Through Oklahoma [EB/OL]. [2019-5-23]. <http://edition.cnn.com/TRANSCRIPTS/0601/01/bn.02.html>
- Lam K. 2018. Death toll drops to 85 at Camp Fire; 11 people remain missing [EB/OL]. [2019-5-22]. <https://www.guampdn.com/story/news/2018/12/03/camp-fire-death-toll-california-deadliest-wildfire/2199035002/>
- Lavandera E. 2006. Texas wildfires' death toll now 11 [EB/OL]. [2019-5-23]. <http://edition.cnn.com/2006/US/03/14/wildfires/>
- Leschak P. 2014. Fire adapted communities. *Fire Management Today*, **73**: 7–8.
- Magirl C, Webb R, Schaffner MLS, *et al.* 2007. Impact of recent extreme Arizona storms [EB/OL]. [2019-5-22]. <https://eurekamag.com/research/016/071/016071582.php>
- Manzello SL, Foote EID. 2014. Characterizing firebrand exposure from wildland – urban interface (WUI) fires: Results from the 2007 Angora fire. *Fire Technology*, **50**: 105–124.
- Mass CF, Ovens D. 2019. The Northern California wildfires of 8–9 October 2017: The role of a major downslope wind event. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **100**: 235–256.
- McCaffrey S, Toman E, Stidham M, *et al.* 2013. Social science research related to wildfire management: An overview of recent findings and future research needs. *International Journal of Wildland Fire*, **22**: 15–24.
- Mockrin MH, Stewart SI, Radeloff VC, *et al.* 2015. Adapting to wildfire: Rebuilding after home loss. *Society & Natural Resources*, **28**: 839–856.
- Poppe R. 2015. Bastrop county families that lost everything in 2011 fire face a similar tragedy [EB/OL]. [2019-5-22]. <https://www.tpr.org/post/bastrop-county-families-lost-everything-2011-fire-face-similar-tragedy>
- Radeloff VC, Hammer RB, Stewart SI, *et al.* 2005. The wildland-urban interface in the United States. *Ecological Applications*, **15**: 799–805
- Reams MA, Terry KH, Cheryl RR, *et al.* 2005. Goals, obstacles and effective strategies of wildfire mitigation programs in the Wildland-Urban Interface. *Forest Policy & Economics*, **7**: 818–826.
- Serna J, Fernandez A, Song A. 2016. Santa Barbara fire bad omen for dangerous California fire season [EB/OL]. [2019-5-17]. <https://www.latimes.com/local/lanow/la-me-santa-barbara-fire-season-20160616-snap-story.html>
- Simon GL. 2014. Vulnerability-in-Production: A spatial history of nature, affluence, and fire in Oakland, California. *Annals of the Association of American Geographers*, **104**: 1199

-1221.

Stebner B. 2012. Raging Colorado wildfire claims first victim as Obama declares area a ‘disaster zone’... but was it started by an arson attack? [EB/OL]. [2019-5-22]. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2166474/Colorado-wildfires-2012-Waldo-Canyon-claims-victim-President-Obama-set-visit.html?ITO=1490>

Stevens-Rumann CS, Kemp KB, Higuera PE, *et al.* 2017. Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change. *Ecology Letters*, **21**: 243–252.

Stewart SI, Radeloff VC, Hammer RB , *et al.* 2007. Defining the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*, **105**: 201–207.

Sumner DM. 2001. Evapotranspiration from a cypress and pine forest subjected to natural fires, Volusia County, Florida, 1998–1999. *Journal of the Institute of Brewing*, **121**: 518–523.

Telg R, Raulerson B. 1999. Firefighter public information officers’ communication effectiveness with the media during the 1998 Florida wildfires. *Journal of Applied Communications*, **74**: 77–82.

Winter G, McCaffrey S, Vogt CA. 2009. The role of community policies in defensible space compliance. *Forest Policy and Economics*, **11**: 570–578.

作者简介 郑文霞,女,1995 年生,硕士研究生,主要从事森林火生态学研究。E-mail: ZWX15985703227@163.com

责任编辑 张 敏

附表 1 1990—2018 年美国交界域火灾

Appendix Table 1 WUI fires in the United States from 1990 to 2018

年份 Years	火灾事件 Fire incidents	发生地点 Locations	建筑物损坏数量 Numbers of building damage	参考文献 References
1990	彩绘洞穴 Painted Cave	加利福尼亚州 California	427	Serna <i>et al.</i> ,2016
1991	奥克兰山风暴 Oakland Hills firestorm	加利福尼亚州 California	3469	Simon,2014
1993	拉古纳海滩火灾 Laguna Beach Fire	加利福尼亚州 California	441	Felder,2008
1996	米勒火灾 Miller’s Reach Fire	阿拉斯加州 Alaska	344	Clark <i>et al.</i> ,1997
1998	佛罗里达火灾 Florida Fires	佛罗里达州 Florida	342	Telg <i>et al.</i> ,1999; Sumner,2001
2002	罗得奥-切迪斯基火 Rodeo-Chediski Fire	阿利桑那州 Arizona	426	Carroll <i>et al.</i> ,2011
2003	阿斯彭火 Aspen Fire	阿利桑那州 Arizona	340	Magirl, <i>et al.</i> ,2007
2006	老火 Old Fire	加利福尼亚州 California	993	Keeley <i>et al.</i> ,2004
	德州-俄克拉荷马州的火灾 Texas-Oklahoma Fires	德克萨斯州 Texas	723	Lavandera,2006; King, 2006
		俄克拉荷马州 Oklahoma		
2007	十月加州野火 California wildfires of October	加利福尼亚州 California	1500	Keeley <i>et al.</i> ,2009
2011	巴斯特罗普县综合大火 Bastrop County Complex fire	德克萨斯州 Texas	1660	Poppe,2015
2012	沃尔多峡谷火灾 Waldo Canyon Fire	科罗拉多州 Colorado	346	Stebner,2012.
2017	北加州野火 Northern California wildfires	加利福尼亚州 California	8900	Mass <i>et al.</i> ,2019
2018	营火 Camp Fire	加利福尼亚州 California	14000	Lam,2018