

森林灭火作战有效空间理论模型与实战分析

张志^{1,2}, 钟少波^{1*}, 华朝朗³, 袁宏永¹

(1 清华大学公共安全研究中心, 北京 100084; 2 武警警种指挥学院, 北京 102202; 3 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要: 提出森林灭火作战有效空间理论模型, 包括环境因素、林火对象和灭火力量三个主要组成部分及其包含的若干要素, 通过彼此之间物质、能量和信息的流动共同作用于有效空间。通过对云南山地森林火灾实战分析, 森林灭火作战空间理论模型可以帮助指挥员解决控制点、控制线和缓冲控制区的定位问题。

关键词: 森林火灾; 灭火作战; 有效空间; 理论模型

中图分类号: S762.3⁺4; X43

文献标识码: A

森林火灾是一种突发性强、破坏性大、处置救助较为困难的自然灾害, 尤其在山地, 一方面由于森林火灾造成的林木资源直接损失、引发的水土流失等次生衍生灾害情况较为严重, 另一方面由于复杂的地理环境和相对闭塞的交通通信条件, 山地林火的预防与扑救更为困难, 灭火作战中的伤亡事故屡有发生。加强对山地林火的深入研究, 对于山区环境保护和发展具有重要的现实意义。目前, 国内外关于山地森林灭火方面的研究仍处于发展完善的过程中, 在我国一方面是现有理论没有形成体系, 大多停留在操作和技术层面, 少有的宏观层面也仅限于政策性的描述; 另一方面也存在理论与实践脱节的问题。

森林灭火作战理论与实践都需要面对以下问题:

1. 如何才能帮助灭火指挥员, 尤其是在山地森林灭火作战中, 建立一个综合的、完整的有效控制空间概念?
2. 如何把不同层面与林火相关的影响因子涵括起来, 建立一个针对灭火作战的理论模型?

3. 如何把现有的林火理论成果整合到一个理论框架当中? 用以解决零散不成体系的问题, 同时便于指导灭火实战, 即解决实用性的问题。

1 有效空间理论模型

总体框架

参考范维澄院士提出的公共安全科技“三角形”框架^[1], 本文初步建立森林灭火作战有效空间理论模型, 旨在抛砖引玉, 以引起对森林灭火作战有效空间问题的关注, 促进森林灭火作战理论和实践的进一步发展。

借鉴军队现代作战理论^[2], 森林灭火作战有效空间包含但不限于火场环境因子, 它是指在灭火作战中, 指挥员可以设定并支配的具有动态性和可选择性火场综合条件, 指挥员需要在特定的时间控制特定的灭火作战有效空间, 这是确保人员安全并取得灭火胜利的前提。

林火本质上是生态系统在景观尺度上的一种客观存在, 在其超过临界量或遇到一定的触发条件形

收稿日期 (Received date): 2010-01-19; 改回日期 (Accepted): 2010-07-29.

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (70901047) “基于广义知识耦合的应急决策方法研究”。 [Natural Science Foundation of China (70901047): Study for the Method of Emergency Decisionmaking Based Coupling Broad Knowledge]

作者简介 (Biography): 张志 (1972-) 男, 博士后, 副教授。主要研究森林火灾应急管理、生态安全格局等。 [Zhang Zhi (1972-), male, Post Doctor, Associate Professor, Major in forest fire emergency management and ecological safety Pattern etc.] Tel: 13693532249 E-mail: wzhangzh@139.com

*通讯作者: 钟少波 (1978-) 男, 博士, 主要研究 GIS 遥感和空间统计。 [Zhong Shaobo (1978-), male, Doctor, Major in GIS remote sensing and Spatial statistics] E-mail: zhongshaobo@tsinghua.edu.cn

成森林火灾, 就可能导致人为灭火力量的介入, 引发灭火作战行动。环境因素、林火对象和灭火力量通过彼此之间物质、能量和信息的流动, 共同组成了森林灭火作战有效空间(图 1)。



图 1 森林灭火作战有效空间模型

Figure 1 The effective spatial model of forest fire fighting

有效空间模型内容涉及了林火突发事件从风险管理到应急救援的全部要素, 其重点是在林火突发事件的处置阶段, 主体是灭火力量, 目标既包括蔓延发展的林火对象, 同时还包括重点林区、社区、关键设施、生命线工程、人身安全等保护对象。

构建有效空间最重要的是要建立森林灭火作战有效空间的理念和意识。灭火作战有效空间需要映射在指挥员的大脑中, 通过指挥员对灭火力量、环境因素和林火对象及其具体要素组合的差异化进行权

衡判断和综合推演, 最终把期望的有效空间通过战斗行动落实到火场上。灭火作战行动与有效空间相互影响, 两者之间是互动关系。从实践意义上说, 有效空间理论主要针对战斗博弈中的合适定位问题, 为指挥员提供了一种综合思考模式。

通过“3S”技术、传感网络、卫星通信等技术支撑, 构建快速处理多尺度、不同时空分辨率林火事件信息的森林灭火作战信息平台体系, 实现全方位、多力量的持续协同应急, 把指挥员推演想定的作战空间与火场实体空间联系起来, 形成科学的灭火作战有效空间。

林火对象

如图 2 所示, 对于林火对象, 重点要了解其孕育、发生、发展和突变的演化规律, 认识林火类型、强度、时空格局和蔓延趋势, 阻断林火多极突变造成的灾害升级^[1], 掌握开展灭火作战行动的正确方法和恰当时机。火场的形状主要决定于风速、可燃物与地形^[9], 小范围内可燃物类型和地形条件是相对固定的, 而顺风方向和逆风方向的林火蔓延速度差别很大, 此外林火在山地的燃烧蔓延与地形和可燃物关系也较大, 所以在森林灭火作战有效空间中的林火对象必须结合环境因素, 并考虑到灭火力量的介入, 重点把握火场、火线、蔓延态势、特殊火行为、火源与现场能见度等要素及其组成因子。

环境因素

如图 3 所示, 环境因素实质上是指在某一地方“天—地—人”复杂系统中的与林火事件有联系的

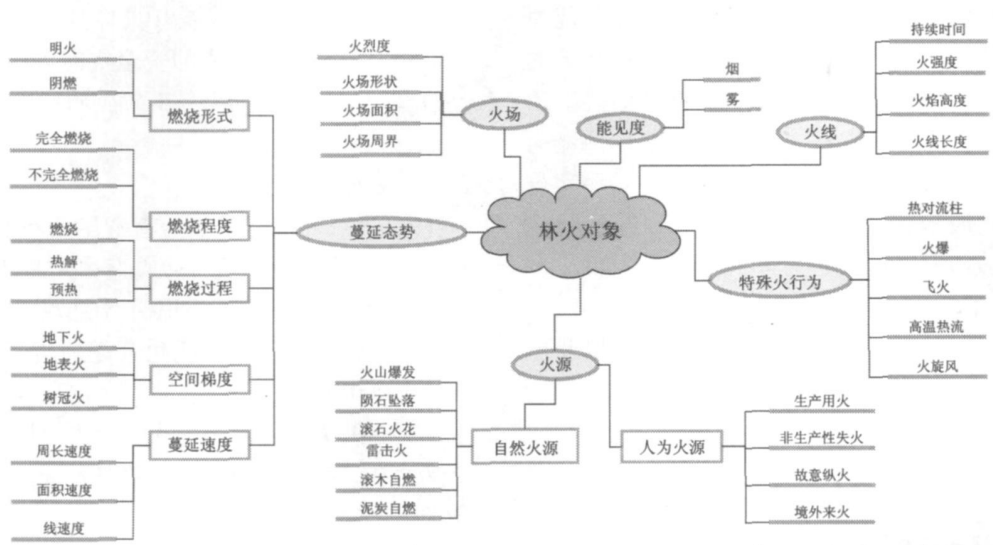


图 2 森林灭火作战有效空间中的林火对象组成

Figure 2 The forest fire objects of fire fighting space

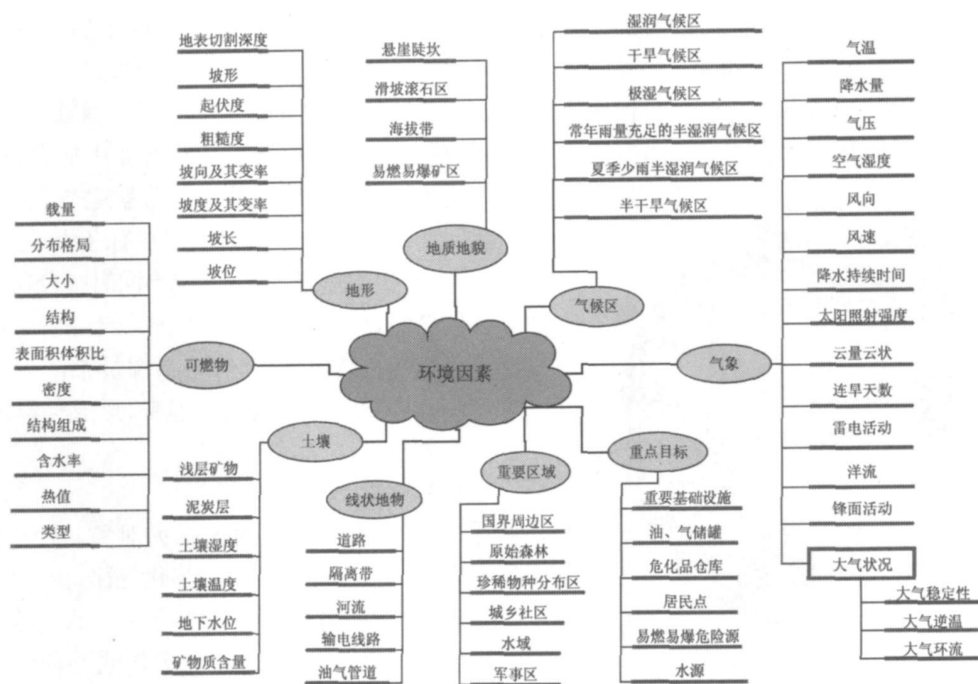


图 3 森林灭火作战有效空间中的环境因素组成

Fig 3 The environmental factors of fire fighting space

要素, 包括了孕灾环境和承灾载体, 同时还有灭火作战的保护对象。森林火灾作用于承灾载体表现为本体破坏和功能破坏两种形式, 有可能导致其所孕含的其他风险要素的激活或意外释放, 产生链式效应, 引发次生衍生突发事件的出现。针对环境因素, 事前可以开展风险评估, 确定风险管理关键目标, 采取适当的防范措施; 事中利用其中有利减灾的因素, 提高灭火行动的效能和效率; 事后实施合理的恢复重建。需要研究承灾载体对林火事件作用的承受能力与极限、损毁形式和程度, 以及与社会、自然系统的耦合作用, 实现对森林火灾及林火事件链的科学预警, 并在灭火行动中采取适当的方法阻断事件链的发生发展。森林灭火作战有效空间中的环境因素包括可燃物、地质地貌、地形、气候气象、土壤、线状地物、重要区域和重点目标等方面^[3-4]。

灭火力量

如图 4 所示, 灭火力量是指对林火对象以及环境因素所构成的体系, 通过人力、组织、机构、手段、资源等方面的协调^[5], 施加一系列的人为干预, 最大程度减轻灾害损失的综合能力和运作机制。需要对干预的方式、力度和时机进行科学的研究, 真正做到知己知彼、把握全局, 实施有效出击。战略上讲求“重兵投入”, 其概念不是单纯增加兵员数量, 而是面向有效作战空间重点投入打击力量, 在森林灭火

作战有效空间中的灭火力量包括组织体系、指挥调度、灭火梯队、灭火措施、装备机具、应急通信、信息报告等要素。

2 实战分析

森林灭火作战有效空间模型在实战中的应用, 主要就是解决定位控制点、控制线和缓冲控制区的问题, 参战队伍到位并展开具体战法, 需要说明的是, 有效空间(包括其中的安全空间与疏散路线)是动态调整的。以下结合云南省昆明市山地森林灭火作战进行分析(图 5)。

灭火作战经过

2009-02-02 中午云南省昆明市晋宁县三家村地区, 因小孩上山玩火造成森林火灾, 15:00 地方扑火队 1 名指挥员被火围困不幸遇难。

16:30 灭火部队摩托化开进到达三家村, 距离火场 3 000 m。

18:40 灭火部队××人步行由火场北部穿插到火场南线, 与地方联指汇合, 领受歼灭火场南线火头任务。

18:50 到达沟底火线, 以“一点突破, 两路推进”战法展开灭火行动。

19:30 南线林火蔓延趋势得到有效控制。

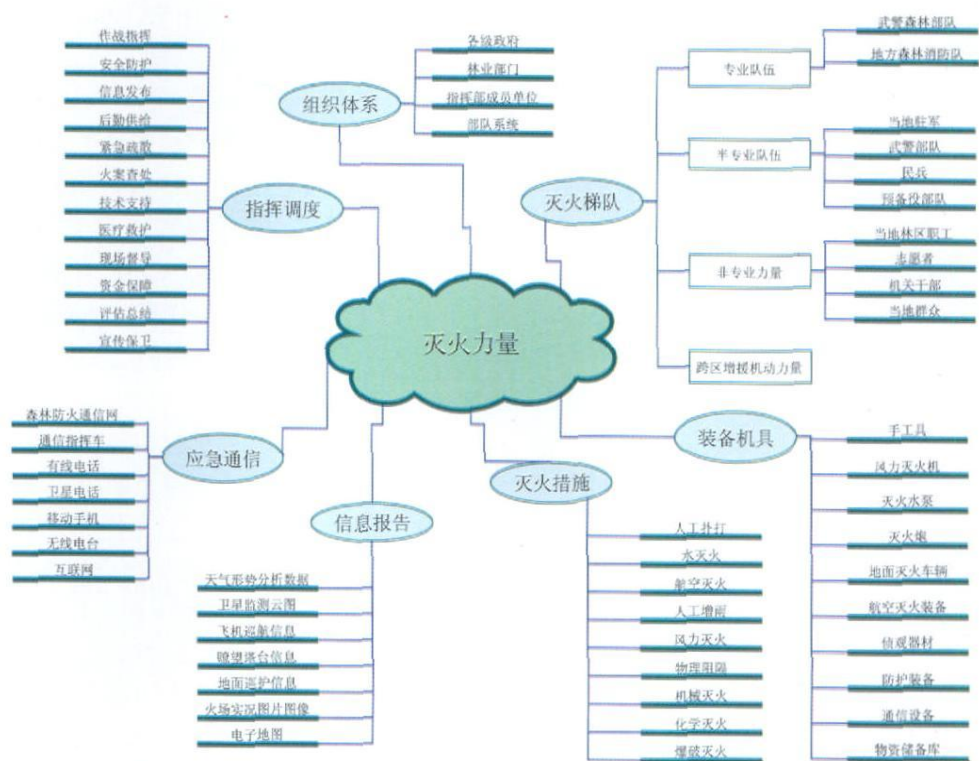


图 4 森林灭火作战有效空间的灭火力量组成

Fig. 4 The force composition of fire fighting space

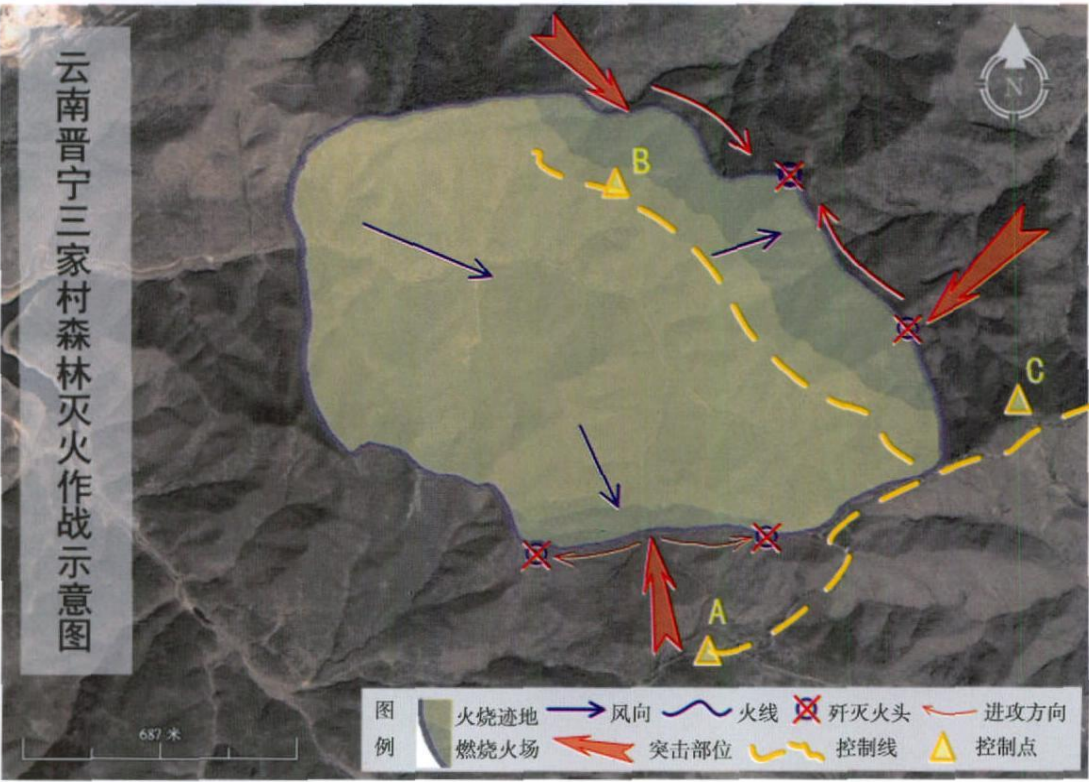


图 5 云南晋宁三家村森林灭火作战示意图(采用 Google Earth 影像作为底图)

Fig.5 The map of forest fire suppression battle in Sanjiacun village,Jinning County,Yunnan Province (based Google Earth image)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

20:00 南线明火全部扑灭。

02—03 T₁ 30 南线部队机动到火场北线,与后续增援部队合计 $\times\times\times$ 人,分段展开对北线明火的扑救行动。

3. 30 火场明火全部扑灭。

有效空间分析

火场过火面积为 220 hm^2 ,火场周界长 $6\ 500\text{ m}$,火场范围即图 5 中火线之内。

整个灭火作战空间包括火场、前指、临时基地、现场运兵路线、缓冲区等,面积约 550 hm^2 ,为火场面积的 2.5 倍。其中灭火部队灭火作战重点在南部 12 hm^2 燃烧火场 600 m 火线,北部 48 hm^2 燃烧火场 $1\ 700\text{ m}$ 火线。

有效空间随着灭火行动的展开是动态变化的,部队于 02—02 T₁ 8:40 刚到火场北部时,火线蔓延到途中的 B 点位置以北约 100 m 处,由于当时兵力较少,加之需要同地方联指取得联系,部队横穿了火场至 A 点,领受指令后先行消灭南线火头。南线任务完成之后,部队利用火场外围东北的防火道路摩托化运兵迂回 $11\ 000\text{ m}$ 回到三家村,再步行至火场北线与增援部队汇合,花费了 4 h 此时林火蔓延至山下部,山形为爪状延伸,侵蚀沟较多,北部火线被自然地形切割为数段,部队行进、观察判断及接近扑救都异常困难。

控制点: A 点是对南部火场的控制指挥位置,通视条件良好,防火道路可达,实战中联指也选址在此; B 点是整个火场的海拔最高点,02—02 T₁ 5:00 地方扑火队 1 名指挥员就在此不幸遇难,但随着林火蔓延, B 点成为火烧迹地,到了夜晚随风力减少, B 点不再是危险位置,而是观察控制整个火场的最佳位置; C 点位于火场东部的防火道路上方山顶,可对坡观察控制火场北线以东的大部分地区,此位置在实战中未能有效利用,造成增援部队进攻位置不当、作战效率较低。

控制线: 地方森林消防队在实战中利用了火场东部的林区防火道路,有效遏制了火场向东的蔓延发展,此线也成为兵力、供水、给养等保障的重要通道;火场西北至东南走向的山脊线是控制北部火场的控制线,当南线明火扑灭后,这条山脊线已成为火烧迹地,加之山脊植被稀疏且有小路通过,部队沿此行进比起没有道路的林区要容易得多,如果南线部队从 A 点横穿火场徒步急行军返回 B 点,可节约近 3 h 此外北线增援部队利用防火道路开进至 C 点,

并且从山脊向下扑打下山火,可保证安全并提高灭火效率,可惜此控制线在实战中未能得到有效识别并利用,消耗了更多的作战时间和人力。

从图 5 可看出,控制点和控制线构成的有效空间呈倒“T”字形分布,形成对林火态势的有效控制。

缓冲控制区: 整个作战空间里,火势是由西向东,入夜后分别向南北方向发展,随着灭火力量的介入,东部和南部已在当天得到有效控制,北部由于地形复杂扑救较为困难,加之邻近三家村社区,对社区存在一定威胁。因为火场出现人员身亡事故引起当地和上级政府高度的重视,火场周边除了乡镇社区,还有昆阳磷矿、大型油库等重点保护目标。控制点 B、C 之间的流域下端有一个水库,距离火场北线 $2\ 500\text{ m}$,可以把水库及其以西农地作为依托,向西南方向延伸 $1\ 000\text{ m}$ 范围内构建缓冲控制区,并在缓冲区内投入灭火梯队,如果火情剧变突破此缓冲区则需要疏散社区群众,并对周边的公路实行交通管制。

3 结论

在对现有林火研究成果及相关理论归纳凝练基础上,提出森林灭火作战有效空间理论模型,包括环境因素、林火对象和灭火力量三个主要组成部分及其包含的若干要素,通过彼此之间物质、能量和信息的流动共同作用于有效空间。有效空间模型内容涉及了林火突发事件从风险管理到应急救援的全过程,重点是在林火突发事件的处置阶段,通过灭火作战实证分析控制点、控制线和缓冲控制区的定位问题,为指挥员提供了科学有效把握灭火作战态势的思考模式。

4 讨论

目前国内外对于山地林火方面的研究,关于林火机理、环境影响以及常态下的林火管理方面的内容较多,而针对林火应急处置的研究较少。有效空间理论模型是对现有林火研究成果的集成创新。在理论模型的外延方面,突破了“一对一”或“一对多”的关系,综合考虑了林火对象、环境因素和灭火力量的耦合作用;在内涵方面,细化了组成要素,模型中的三大组分互相影响、互相依赖,在各要素的作用下,通过物质、能量、信息的流动与传递构成有效空

间, 并且明确了有效空间随时间维度的动态性。有效空间理论明确提出了森林灭火作战的理论体系框架, 提供了指挥员在实践中的综合定位模式并拓展了考虑范围, 引导了灭火作战实践中的观念创新。对灭火作战有效空间的控制, 就是解决关键位置的选择问题, 有了关键位置的概念, 在实际应用中就可以清楚说明控制点、线、缓冲区的定位与作用。

对于复杂条件下的山地森林火灾, 指挥员要识别并建立控制点、控制线和缓冲控制区, 构建动态变化的、具有时间维度的有效空间, 真正做到“谋势”。灭火作战成功的重要基础就是争取对有效空间的控制权。森林灭火作战对象是在空间上呈离散分布并动态蔓延变化的林火。在采取决定性行动之前, 指挥员首先必须确定何时、何地、在林火何种状态时展开灭火行动; 其次, 必须确定灭火参战队伍的位置、条件和状态; 最后, 必须确定能够支持灭火作战行动的适宜的火场条件, 然后为达到这些条件, 运用信息化手段保障纵深协调, 制定方案并开展系列行动。

森林灭火作战空间理论可在以下方向进一步开展研究:

1. 确立有效空间条件下开展灭火作战, 使之具有更高的效率 and 安全性;
2. 明确灭火作战的打击目标, 以及行动中的保护目标;
3. 落实“战略—战法—战术”的衔接;
4. 实现空间要素的组合, 明确政府、林业部门、部队、地方单位、社区等不同利益群体的结合点在火

场上的体现与反馈;

5. 结合信息技术对战例量化分析, 建立结构化的数字案例库, 提供作战平台调用参考;

6. 通过对有效空间的控制程度分析, 科学地评价森林灭火作战行动。

参考文献 (References)

- [1] Fan Weicheng, Liu Yi, Weng Wenguo. Triangular framework and "4+1" Methodology for public security science and technology [J]. Science & Technology Review, 2009 (6): 3 [范维澄, 刘奕, 翁文国. 公共安全科技的“三角形”框架与“4+1”方法学 [J]. 科技导报, 2009 (6): 3]
- [2] Xia Xuehua, Cheng Zhaolin. The New Developments of the U.S. Military Operational Theory in 21st Century [M]. Jinan: Yellow River Press, 2000 [夏学华, 陈昭林. 21世纪美军作战理论新发展 [M]. 济南: 黄河出版社, 2000]
- [3] Lin Qizhao, Shu Lili. Forest Fires Introduction [M]. Hefei: China Science and Technology University Press, 2003 [林其钊, 舒立福. 林火概论 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003]
- [4] Yao Shuren, Wen Dingyuan. Forest Fire Fighting Management [M]. Beijing: China Forestry Press, 2002 [姚树人, 文定元. 森林消防管理学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2002]
- [5] Zheng Shuangzhong, Deng Yuneng, Liu Tianjin. The development of incident command system (ICS) framework and its framework analysis [J]. China Safety Science and Technology, 2005 1 (3): 15 ~ 18 [郑双忠, 邓云峰, 刘铁民. 事故指挥系统 (ICS) 的发展与框架分析 [J]. 中国安全生产科学技术, 2005 1 (3): 15 ~ 18]
- [6] Philip E. Dennison, Thomas J. Covey, Max A. Moritz, WU MAC. A wildland-urban interface evacuation trigger model applied in strategic wildfire scenarios [J]. Nat Hazards, 2007 (41): 181 ~ 199

The Effective Space Theoretic Model of the Forest Fire Suppression and Its Actual Battle Analysis

ZHANG Zhi², ZHONG Shaob¹, HUA Chaolang³, YUAN Hongyong¹

(1. Center for Public Safety Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

2. The Chinese Armed Police Force Classification Command College, Beijing 102202, China

3. Forestry Inventory and Planning Institute of Yunnan Province, Kunming 650051, China)

Abstract: An effective space theoretic model of the forest fire suppression is proposed, which including three major components of environmental factors, forest fires and fire-fighting forces, and a number of elements by each other substances, energy and information flows together in the effective space. The analysis for Yunnan Mountain forest fire suppression battle shows that the theoretical model can help the fire fighting commanders to solve the positioning problems of control point, control line and buffer control area.

Key words: forest fire suppression battle, effective space, theoretic model