

森林火蔓延方式与火 强度及自然风场的关系*

王贤祥^① 刘宪德^②

(^① 黑龙江森林保护研究所 哈尔滨 150040)

(^② 中国科学院力学研究所 北京 100080)

摘要

本文根据国内外森林试验火场和实际火场的观测资料及已有的研究成果,进一步分析讨论了不同强度的森林火的划分及其垂直空间尺度,以及森林火蔓延的方式、方向和速度与森林火强度及自然风场的关系。首先,讨论了不同强度的森林火在自然风场作用影响下的蔓延方式,方向和速度;其次,讨论了不同强度的森林火在自然风场作用影响下的连续蔓延和不连续蔓延(跳火蔓延和飞火蔓延)的条件和机理。

关键词:森林火蔓延 连续蔓延 跳火 飞火 不连续蔓延

1 前言

森林火行为也就是森林火特性。广义上是指森林燃烧的全过程,即森林火的发生、发展、蔓延以至熄灭的整个过程。森林火的发展是质的方面,决定于森林燃烧过程的变化。森林火的蔓延是量的方面,决定于火蔓延的方式、方向和速度。通常理解的森林火行为是以火焰高度、火线强度、火线宽度、火线长度、火蔓延方向和速度、跳火或飞火距离等等来加以表述的。

森林火的能量释放速度,一般是以 Byram G. M 的火线强度来表述,简称为火强度。

森林火蔓延与火强度有着非常密切的关系。森林火强度的高低不同,其蔓延特点也大不相同。低强度火在森林可燃物连续分布时,是连续蔓延。而高强度火,无论是森林可燃物连续分布、或是非连续分布,皆可蔓延,这就会出现以跳跃火或飞跃火为特征的不连续蔓延。而其过渡状态,即中强度火,既可能出现连续蔓延,又可出现不连续蔓延,这主要制于自然风场的作用影响,本文着重论述森林火蔓延方式与火强度及自然风场的关系。

1994-05-26 收稿, 1994-09-10 收修改稿。

* 国家森林防火灭火研究开发基金项目。

2 森林火的垂直空间尺度

森林火按森林可燃物的燃烧部位的不同,可以分为:地表火、地下火、树干火和树冠火。地下火是在特殊干旱季节,有较厚的腐殖质层和泥炭层的地区才有可能出现,所占比例较小,通常在1%以下。本文只论述地表火、树干火和树冠火。

不同强度的森林火,大都是以 Byram 火线强度的高低来加以划分。不同学者的划分标准差别较大。我们认为不同强度森林火的划分标准,应该结合其蔓延特点或蔓延方式特征来划分。低强度的火都是地表火;中强度的火大多是地表火,少数也可能造成灌木林火,幼林火或高大乔木树干火;而高强度火,即可以是地表火,也可以同时出现灌木林火、幼林火或高大乔木树干火和树冠火。显然各种不同强度的森林火其蔓延特点也大不相同。这里首先说明不同强度森林火的垂直空间尺度及有关的特征尺度。详见表1。

表1 不同强度森林火的特征尺度

火强度		低强度火	中强度火	高强度火
		<300 千瓦/米	300—2700 千瓦/米	>2700 千瓦/米
垂直空间尺度	火焰高度	<1 米	1—3 米	>3 米
	烟气高度	数十米至百米	百米至数百米	数百米至数千米
	火场上空对流速度	<2.1 米/秒	2.1—4.5 米/秒	>4.5 米/秒

表1内所列数据是根据国内外、也包括我们自己的野外试验火场和实际火场的观测资料,经过分析整理得出的大致情况。

3 森林火蔓延方式、方向和速度

不同强度森林火蔓延方式、方向和速度,主要决定于火强度和自然风场。火蔓延方向,决定于风向。按火蔓延方向,可以分为:顺风火、侧风火和逆风火。按火场部位,顺风火称为火头,侧风火称为火翼,逆风火称为火尾。显然,在自然风场的作用影响下,火头蔓延速度大大快于火翼蔓延速度,火翼蔓延速度又大大快于火尾蔓延速度。至于火蔓延方式,火尾的蔓延都是连续蔓延;火翼的蔓延,大多是连续蔓延,少数也可以是跳跃火方式的不连续蔓延;而火头的蔓延,即可能是连续蔓延,也可能是跳跃火或飞跃火方式的不连续蔓延。

很多研究者或森林防火工作者,把造成不连续蔓延的跳跃火或飞跃火,统称为飞火。而把这些所谓的飞火又分为:短距离、中距离、长距离飞火。短距离约为几米至几十米、中距离约为几十米至几百米、长距离约为几百米至几千米甚至于更长的距离。我们认为,根据野外试验火场和实际火场的观察结果表明,有很多所谓的飞火,实际上应该是跳跃火,简称为跳火。这些跳跃火的大多数是短距离的,也就是几米至几十米;少数是中距离火,也就是几十米至几百米。而大多数大的中距离飞火和全部的长距离飞火

才真正是飞跃火，简称为飞火。

4 森林火蔓延的条件和机理

Byram G. M 根据理论分析计算得出的结论认为：大气低层处于中性稳定时，火场对流气流存在或保持的必要条件是：火场热能转变成为对流气流动能的通量 (P_f) 与风场动能的通量 (P_w) 相等或稍大，即：

$$P_f \geq P_w$$

为了判别或测算以强度和风速为转移的火场对流气流的对比关系，可以事先计算出不同风速和火强度时的 P_f 和 P_w 数值。详见表 2。

表 2 在不同风速时足以形成对流气流的火强度

风 速 (米/秒)	$P_w = P_f$ (千克·米/秒·米)	火 线 强 度	
		(千卡/米·分)	(千瓦/米)
0.5	0.008	28.8	2.0
1.0	0.06	231	16.1
1.5	0.21	780	54.4
2.0	0.49	1848	129
2.5	0.95	3612	252
3.0	1.65	6242	435
3.5	2.62	9912	691
4.0	3.91	14796	1032
4.5	5.57	21066	1470
5.0	7.64	28896	2015
6.0	13.20	49932	3483
8.0	31.28	118362	8256
10.0	61.10	231180	16127
12.0	105.60	399480	27868

根据 Byram 理论，火场对流气流存在或保持的必要条件，由表 2 所列数据就可以确定，即在不同风速时，形成或保持火场对流气流（对流柱）应该具有什么样的火强度。为此 Валендик 等作了大量的野外试验，目的是为了弄清两种能量相互作用的关系对火场对流气流（对流柱）的存在或保持所造成的影响。试验结果表明，Byram 的理论是正确的。

显然，当 P_f/P_w 比值小于 1 时，对流气流（对流柱）难以形成或保持。火只能沿地表面连续蔓延，不会产生跳跃火或飞跃火。只有当 P_f/P_w 比值很大时，对流气流很强时，有明显对流柱，对流柱倾斜角较小，与地面几乎成直角，更有利产生跳跃小或飞

跃火。

根据分析计算结果,低强度火(小于300千瓦/米),在风速小于2.5米/秒时,才有利于形成对流气流(对流柱),绝大多数只能是连续蔓延。中强度火(300—2700千瓦/米)在风速2.5—5.5米/秒时,才有利于形成对流气流(对流柱),既可能是连续蔓延,也可能是以跳跃火方式的不连续蔓延。而高强度火(小于2700千瓦/秒),在风速大于5.5米/秒,仍可以形成对流气流(对流柱),这时能够出现以跳跃火或飞跃火方式的不连续蔓延。显然只有森林火场上空形成对流气流(对流柱)的条件下,才有可能出现以跳跃火方式的短距离的不连续蔓延,或以飞跃火方式的中距离,长距离的不连续蔓延,总之,森林火蔓延的方式和速度,主要决定于火强度和风速。而不连续蔓延速度远大于连续蔓延速度。

无论是跳跃火,还是飞跃火,其产生条件除与火强度与风速有着密切关系之外,还与能够被火场热对流气流卷扬到火场上空的燃烧物的性质和尺度有着密切关系。

显然,重型燃烧物尺度较大,如木质可燃物,即使被火场热对流气流卷扬到火场上空,也容易脱离对流气流,下落到地面,形成跳跃火。而轻型燃烧物尺度较小,既可以是木质可燃物,也可以是草质可燃物。被火场热对流气流卷扬到火场上空的轻型可燃物,草质燃烧物持续燃烧时间很短,在空中就可燃尽,木质燃烧物(干燥的稍腐朽的树皮、球果、细枝和朽木块等)持续燃烧时间较长,在火场上空,在自然风场作用下,可以飞跃或飘移到火场前部的远方,逐渐下落到地面,点燃地面可燃物,形成飞跃火点燃。不过轻型可燃物,无论是草质燃烧物,还是木质燃烧物,在火强度较低,对流气流较弱的情况下,也应是跳跃火而不是飞跃火。

跳跃火应该是容易观察到的、跳跃的、明燃的火团(燃烧物),而飞跃火则有时是难以观察到的卷扬到空中的阴燃的火团(燃烧物)。

跳跃火和飞跃火产生的基本条件是: $P_f/P_w \geq 1$ 。Вадендик通过大量的野外试验结果提出,有利飞跃火产生的条件是火强度 I 大于等2700千瓦/米,火焰高度 $H \geq 3$ 米。我们通过野外试验观察结果认为,有利于跳跃火产生的条件是火强度 $I > 300$ 千瓦/米,火焰高度 $H > 1$ 米。当然这一判据尚有待于用大量的试验火场和实际火场的观察资料来予以证实或改进。至于跳跃火和飞跃火产生可燃物性质和尺度条件,以及跳跃火和飞跃火点燃地表可燃物的含水率和风速条件,有待于进一步的深入研究。

5 结语

本文只是粗略地定量或定性论述,而不是精确的结论。

森林出现大面积火灾时,或以低强度火为主,伴有中强度火及高强度火;或以中强度火为主,伴有低强度火及高强度火;而高强度火,由于森林可燃物和气象条件等条件的制约,只能出现于部分时段和地段。

森林低中强度火蔓延可以室内试验或野外试验为基础进行研究;而高强度火蔓延,在不强度太高时,尚可以野外试验为基础进行研究。至于很高或超高强度火蔓延,只能在自然界中实际发生时,才可能进行观测研究,这类高强度火又极少见,因此是非常难以研究的世界性难题。中距离以下的跳火或飞火研究,近年来有些进展,但是没有区别开来,本文试图加以区分;长距离飞火研究,至今尚没有得出有实际意义的理论成果。

显然, 在进行大面积高强度火蔓延研究时, 必须考虑到由于火强度、风速及其它参数的量变可以引起大火行为的质变, 因而大火行为应该具有于小、中火行为不同的特殊的规律性.

参 考 文 献

- [1] Davis K P, Byram G M, Krum W R. *Forest Fire*, New York:Graw-Hill Bokk Co, 1959
- [2] Валендик. З. Н, Матвеев. П. М, Софронов. М. А, Крупные Лесные Пожары. М < Наука > Co, 1979, С. 43 – 45, 51 – 52
- [3] Валендик. З. Н, Воръяс Крупными Лесными Пожарами Новосибирск < Наука > Co, 1990

Relations Among Rorest Fire Spread Way, Intensity and Natural Wind Field

Wang Xianxiang

(Heilongjiang Forest Protection Institute Harbin 150040)

Liu Xiande

(Institute of Mechanics of Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

ABSTRACT

In this article, according to observing material of forest experimental fire field, of actual fire field, and available research achievements at home and abroad, we futher anylyse and discuss the classifications of different forest fire intensity, vertical space scale and relations among way, direction and rate of forest fire spread, forest fire intensity and naturl sind field. In the first place, we discuss spread way, direction and rate of different forest fire intensity which was affected by natural wind field; in the end, we also discuss the condition and mechanism about the continuous spread and surmount spread of different forest fire intensity (leaping fire spread and flying fire spread) which was affected by natural wind field.

Key words: forest fire spread continuous spread leaping fire flying fire surmount spread.