

# KM 阻燃剂森林草原防火的实验研究

刘毅<sup>1</sup> 乔妮<sup>2</sup> 姜恩来<sup>1</sup>

(1 北京林业大学工学院 2 北京市林业工作总站)

**摘要:**通过对 KM 阻燃剂在林区边缘的草地植被防火实验过程中的研究,分析了 KM 阻燃剂的阻燃性能,给出了 KM 阻燃剂的使用方法。实验表明:25% 以上的 KM 阻燃剂在草地火灾发生时完全可以用于开设防火隔离带;对于低矮、稀疏的枯草,阻燃剂用量为  $5 \text{ m}^2/\text{L}$ ,高而浓密的枯草阻燃剂用量为  $2 \text{ m}^2/\text{L}$ ;为了有效发挥 KM 阻燃剂的作用,草地防火隔离带要连续,不得留有缺口,防火带宽度应该是枯草平均高度的 5 倍以上。

**关键词:** 阻燃剂; 森林防火; 隔离带

中图分类号: S762.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2010)02-0161-04

LIU Yi<sup>1</sup>; QIAO Ni<sup>2</sup>; JIANG En-lai<sup>1</sup>. **Experimental study on KM flame retardant in prairie fire prevention.** *Journal of Beijing Forestry University* (2010) 32(2) 161-164 [Ch, 5 ref. ]

1 School of Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 General Forestry Station of Beijing Municipality, 100029, P. R. China.

With an experimental study in fireproofing with the use of the KM flame retardant at the edge of prairie vegetation, we analyzed its fireproof performance and developed a method to apply the KM flame retardant. An application of more than 25% of KM flame retardant could effectively build fire prevention belts in the case of prairie fires. Retardant dosage used in low and sparse dry shrubs is  $5 \text{ m}^2/\text{L}$ , while in high and bushy land only  $2 \text{ m}^2/\text{L}$ . Fire prevention belts in prairies should be built continuously without any breaks, with a width more than five times of the average height of the dry shrubs, which should ensure the KM flame retardant functions effectively.

**Key words** flame retardant; forest fire prevention; fire prevention belts

防火隔离带是指为了防止火灾蔓延而在林区或草地开设的具有一定宽度、长度的无可燃物的区域,通常用于防止森林、草原火灾,也可以作为林区道路,便于巡逻和扑救森林火灾。防火隔离带是较早采用的、十分有效的防火措施之一。经过多年的发展,防火隔离带的开设工艺和维护手段得到不断完善。目前,打防火带的主要方法之一是开生土带。开生土带工艺简单,操作容易,成本也较低。但生土带维护困难,容易造成水土流失,导致土壤沙化,引起扬尘等<sup>[1-4]</sup>。

用阻燃剂打防火隔离带、在林火危险期对火灾危险地段的可燃物进行阻燃处理是全新的防火理念。该方法不破坏植被、不破坏景观,阻燃剂不会对土壤造成污染。近期的一系列研究表明,该方法十分有效<sup>[5]</sup>。近年来,用阻燃剂处理林、草地带的可

燃物、重点文物保护单位的意义、效果逐渐得到了人们的认可,处理面积逐年扩大,阻燃剂的使用量也逐年增加。

草原防火用阻燃剂应该是水溶性的,春天植物返青时在水分的作用下,能从植物上脱落,不会对多年生草本植物的呼吸作用等造成不良影响;有一定的黏性,能较好地附着在植物表面,在整个防火季节都保持着较好的阻燃作用,不会因为降雪或小雨而降低;且没有污染,对环境、特别是土壤、植物产生危害;在防火季过后能降解或被植物吸收,不会产生残留和积累。要满足这些要求,有污染的卤系阻燃剂、不溶于水的有机阻燃剂、金属氧化物等均不可能用于森林、草原的防火。

KM 阻燃剂作为一种氮磷系列的阻燃剂,理化性质满足上述要求,可用于森林草原防火,于 20 世

收稿日期:2009-01-17

基金项目:“948”国家林业局引进项目(2008-4-51)。

第一作者:刘毅,博士,教授。主要研究方向:林业机械、森林防火技术。电话:010-62338144 Email:liuyi@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京市清华东路35号北京林业大学工学院

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

纪 80 年代由俄罗斯圣彼得堡林业大学 A. A. Леонович 教授发明 ,对土壤不产生污染 ,可被植物吸收 ,并有很好的阻燃效果。

1 材料与方法

于 2007 年冬季至 2008 年春季 ,在延庆县龙庆峡荒滩分别进行了阻燃剂浓度和阻燃剂用量确定试验 ,并进行了喷洒试验、KM 字符阻燃剂试验及油松阻燃试验考察阻燃效果。

试验用 KM 阻燃剂是一种氨基磷酸盐 ,由磷酸和尿素聚合而成 ,溶于水 ,有一定黏性 ,饱和溶液浓度 59% ,熔点 107℃ ,活化温度 190℃ ,pH 值为 6.4。

2 结果与分析

2.1 阻燃剂浓度的确定

阻燃剂浓度(质量比)是影响阻燃效果的决定性因素 ,也是影响使用成本的重要因素。浓度越高 ,阻燃效果越好 ,但使用成本越高。因此有必要确定合理的阻燃剂浓度 ,使阻燃效果和使用成本都达到理想指标。根据以往试验的结果 ,阻燃剂浓度低于 15% 以下时 ,阻燃作用不大。本试验使用的阻燃剂浓度分别为 10%、15%、20%、25%、30%。将这 5 种浓度的阻燃剂在枯草高度比较均匀、地势平坦的地块中连续喷洒 ,每种浓度喷洒面积 2 m×3 m=6 m<sup>2</sup> ,喷洒量 1.5 L(图 1)。使用农用背负式手动喷雾器喷洒 ,雾化很好 ,操作者通过目测 ,可以很均匀地喷洒 ,保证了阻燃剂均匀覆盖在枯草的表面 ,只是喷洒效率较低。阻燃剂喷洒时间 2008 年 1 月 18 日上午 ,风速 2.2 m/s ,温度 1℃ ,湿度 10% ,植被特征:白草 ,浓密 ,平均高度 30 cm。阻燃剂浓度试验记录见表 1。

表 1 阻燃剂浓度试验记录

Tab. 1 Spraying density of KM flame retardant

序号	浓度/ %	喷洒面积/ m <sup>2</sup>	喷洒量/ L	着色剂 用量/%	阻燃效果
1	10	6	1.5	1	无(B3 级)
2	15	6	1.5	1	弱(B2 级)
3	20	6	1.5	1	强(B1 级)
4	25	6	1.5	1	不燃(A 级)
5	30	6	1.5	1	不燃(A 级)

喷洒完后 ,自然干燥 ,2008 年 1 月 24 日上午做点火试验 ,温度 -8℃ ,湿度 33% ,风速 0.4 m/s ,阴天。为防止火势蔓延 ,失去控制 ,延庆林业局森林消防队携带风力灭火机协助试验。为点燃枯草 ,在试验地段中间撒上条状汽油带 ,用打火机点燃。汽油燃烧的火势凶猛 ,火焰高度达 1.5 m 以上(图 2)。汽油燃烧导致阻燃剂浓度为 10%、15% 的地段几乎

完全燃烧 ,但燃烧缓慢 ,火势较弱;浓度 20% 的地段只有小部分燃烧 ,阻燃效果十分明显;浓度 25%、30% 的地段不能燃烧 ,汽油燃烧完后 ,火苗即刻熄灭 ,对阻燃处理过的枯草没有任何作用。枯草被汽油火焰燃烧、炭化、变黑 ,没有灰分(图 3)。

此后 ,又连续喷了 3 块 2 m×2 m 的样地 ,阻燃剂浓度分别是 25%、30%、42%。喷完 30 min 后点燃周边的枯草 ,无论是顺风、还是逆风 ,喷洒过阻燃剂的枯草均不燃。

为进一步确定浓度对阻燃效果的影响 ,我们选择了面积 2 m<sup>2</sup> 左右、长势均匀、平均高度约 50 cm 的草地进行收割 ,将割下的白草等分为 5 份 ,摊在地上 ,用没有着色剂的、浓度为 10%、15%、20%、25%、30% 的 KM 阻燃剂分别喷洒 ,使枯草全部淋湿 ,药剂实际喷洒过量。然后用未处理的干草分别点燃 ,结果显示 ,喷洒浓度 10% 阻燃剂的枯草可燃烧 ,但燃烧速度慢;浓度 15% 的可燃烧 ,燃烧速度更缓慢;浓度 20% 可点燃 ,但不能持续燃烧 ,撤去火源即自行熄灭 ,有阻燃效果;而浓度 25%、30% 的根本不能点燃 ,阻燃效果十分明显。

可见要达到阻燃目的 ,阻燃剂的浓度必须在 20% 以上;而 25% 以上的阻燃剂在火灾发生时完全可以用于打防火隔离带。

2.2 阻燃剂用量的确定

为确定合理的阻燃剂用量 ,以保证用最少的阻燃剂达到阻燃效果 ,进行了喷洒强度试验。试验时间 2008 年 2 月 5 日 ,风速 0.5 m/s ,温度 11℃ ,湿度 10%。荒滩上的枯草 ,种类很多 ,高低、疏密差别很大 ,实验中没能找到连续的、浓密均匀、高度一致的荒草地块。因此数据无法像设计的那样 ,得到可以建立曲线的、可看出变化趋势的点。野外作业 ,误差太大 ,无法精确控制。除植被影响外 ,喷洒设备、实验人员、操作等方法等 ,对喷洒效果影响很大。比如机动喷雾器要比手动喷雾器浪费阻燃剂 ,大量阻燃剂被打到地面上 ,而没有喷到植物上。手动喷雾器喷洒效果较好 ,节省阻燃剂 ,但效率低。若操作人员工作认真 ,可以喷得很均匀。

所选择的 6 个地块中 ,有 2 个地块喷洒完后 ,没有阻燃效果(表 2) ,主要是因为草比较高 ,阻燃剂没能全面覆盖。同样的喷洒强度 ,草高相对较低的地块 ,就表现出了阻燃效果。

试验证明 ,对于荒滩枯草的阻燃 ,很难给出确切的喷洒强度指标。由于喷洒过程中阻燃剂只能在植物表面覆盖一层 ,用量过多会流到地面 ,造成浪费。因此在使用阻燃剂时 ,保证所要处理的可燃物得到均匀覆盖即可。一般低矮、稀疏的枯草用量为 5



图1 连续喷洒不同浓度的阻燃剂  
Fig.1 Continuous spraying at different flame retardant densities



图2 不同浓度阻燃剂的阻燃效果  
Fig.2 Effect of different flame retardant densities



图3 不同浓度阻燃剂阻燃效果试验迹地  
Fig.3 Experimental trace at different flame retardant densities

$\text{m}^2/\text{L}$  高而浓密的枯草用量为  $2\text{ m}^2/\text{L}$ 。

2.3 防火试验

2.3.1 阻燃剂波浪及间隔喷洒试验

根据试验设计要求,我们同时做了波浪形喷洒及间隔喷洒。阻燃剂浓度 20%,喷洒宽度为 1 m。波浪形喷洒的实际形状类似三角波形,每边长约 2 m;间隔喷洒的间距为 1 m。试验表明:2 种喷洒均有阻燃作用,但有个别地方会有火焰蔓延过去。整

体效果没有连续喷洒的好,而且波浪形喷洒浪费阻燃剂。

2.3.2 KM 字符阻燃试验

用浓度 20% 的阻燃剂喷洒出 1 个  $15\text{ m} \times 12.5\text{ m}$  的方框,每边宽 1.8 ~ 2.0 m。内部用浓度 25% 的阻燃剂喷洒“KM”2 个字符。总的喷洒面积  $122.5\text{ m}^2$ ,阻燃剂消耗量约 80 L,平均喷洒强度近  $1.5\text{ m}^2/\text{L}$ 。这里的草平均高度 50 cm,十分浓密,有倒伏现象,为保证阻燃效果,阻燃剂的消耗量有所增加。



图4 KM 字符阻燃实验  
Fig.4 Retardancy test with KM characters



图5 向油松喷洒阻燃剂  
Fig.5 Spraying of flame retardant on Chinese pine



图6 油松阻燃剂试验迹地  
Fig.6 Experimental trace of flame retardant on Chinese pine

在框内分布的 5 个点分别点火 枯草燃烧迅速 ,火焰高度 0.5 ~ 1 m ,在风力 ( 风速 2 级 ) 作用下 ,蔓延很快 但遇到阻燃处理后的枯草时 ,火焰马上减弱 并逐

渐熄灭 ,未烧过矩形框。5 个着火点均被牢牢地控制在框内,“KM”2 个字母在燃烧后清晰可见(图 4)。

表 2 喷洒强度试验记录  
Tab.2 Spraying intensity of KM flame retardant

序号	枯草平均高度/cm	喷洒面积/m <sup>2</sup>	喷洒量/L	喷洒强度/(m <sup>2</sup> ·L <sup>-1</sup> )	阻燃剂浓度/%	着色剂用量/%	阻燃效果
1	50	12.0	1.44	4.00	20	1	无(B3级)
2	50	16.2	3.96	4.00	20	1	无(B3级)
3	30	6.0	1.50	4.00	20	1	强(B1级)
4	30	13.2	3.60	3.60	20	1	强(B1级)
5	30	18.0	10.00	1.80	20	1	强(B1级)
6	30	14.3	15.00	0.95	20	1	强(B1级)

2.3.3 油松的阻燃试验

选择高度 2 m 左右、枝叶茂盛的油松 ( *Pinus tabulaeformis* ) ,用背负式机动喷雾器喷洒浓度为 25% 的阻燃剂 ( 加着色剂——工业大红 ) ,用量不计 ,喷洒原则是保证阻燃剂使整棵树均匀覆盖 ( 图 5 ) 。喷洒完后 ,整棵树变成暗红色 ,第 2 天做试验时发现树的暗红色几乎消失。点燃试验时 ,气温 12℃ 枯草十分干燥 ,风向东北 ,风速 3 m/s。在上风处点燃树下的枯草 ,火势凶猛 ,火苗瞬间窜到 1.5 m 左右 ,到达树冠中部 ,使树冠部分的枝叶燃烧。几秒钟内 ,整个树全部着火 ,并伴随着燃烧的噼啪声 ,火苗窜到 3 m 左右 ,随后马上用风力灭火器将火扑灭。这 2 颗被火烧过的油松 ,在春天来临时又发芽变绿 ,没受多大影响。由于水的张力作用 ,水溶性阻燃剂对油松、芦苇等表面有蜡质层的植物没有阻燃作用 ,因为阻燃剂既不会均匀地附着在其表面 ,也不会渗透到其内部 ,而是慢慢地聚集成斑点 ,使树原来的暗红色褪去 ,阻燃作用消失 ( 图 6 ) 。

2.4 其他因素对阻燃剂防火效果的影响

1) 北京每年 11 月 1 日至次年 5 月 31 日为重点森林防火期 3 月 15 日至 4 月 15 日为森林防火戒严期。这期间植物枯萎 ,天干物燥 ,火灾极易发生 ,同时也是使用水溶性阻燃剂的最佳时机。这时期的植物、特别是枯草的吸水性很好 ,很容易吸收阻燃剂。这时喷洒阻燃剂可以获得很好的阻燃效果。

2) 阻燃剂喷洒后要彻底干燥。阻燃剂干燥后 ,在防火期内 ,下小雨和降雪对阻燃效果没有影响。

3) 阻燃剂是水溶性的 ,喷洒时环境温度要在 0℃ 以上 ,风力在 4 级以下。

3 结 论

1) 要达到阻燃目的 ,阻燃剂的浓度必须在 20% 以上。25% 以上的阻燃剂在火灾发生时完全可以用于打防火隔离带。

2) 试验证明 ,对于荒滩枯草的阻燃 ,很难给出确切的喷洒强度指标。由于阻燃剂在喷洒过程中只能在植物表面覆盖一层 ,过多会流到地面 ,造成浪费 ,因此阻燃剂在使用时 ,保证所要处理的可燃物得到均匀覆盖即可。一般低矮、稀疏的枯草用量为 5 m<sup>2</sup> /L ,高而浓密的枯草用量为 2 m<sup>2</sup> /L。

3) 每年的防火季节 ,植物枯萎 ,天干物燥 ,火灾极易发生 ,同时也是使用水溶性阻燃剂的最佳时机。这时期的植物、特别是枯草的吸水性很好 ,很容易吸收阻燃剂。这时喷洒阻燃剂可以获得很好的阻燃效果。

4) 阻燃剂喷洒后要彻底干燥。阻燃剂干燥后 ,在防火期内 ,下小雨和降雪对阻燃效果没有影响。

5) 阻燃剂是水溶性的 ,喷洒时环境温度要在 0℃ 以上 ,风力在 4 级以下。

6) 由于水的张力作用 ,水溶性阻燃剂对油松、芦苇等表面有蜡质层的植物没有阻燃作用 ,因为阻燃剂既不会均匀地附着在其表面 ,也不会渗透到其内部 ,而是聚集成斑点 ;对直径较大的蒿草也没有阻燃作用 ,因蒿草容易燃烧 ,而附着在表面及吸收到内部的阻燃剂相对较少。

7) 防火隔离带要连续 ,不得留有缺口。为保证安全 ,防火带宽度应该是枯草平均高度的 5 倍以上。

参 考 文 献

[1] 田晓瑞,舒立福.防火线的研究进展[J].火灾科学,1999(9): 44-49.

[2] 林信良.用化学除草方法修建防火隔离带的研究[J].森林防火,2007(1): 40-41.

[3] 曹志国,方敏,惠超.生物防火阻隔带营建技术[J].安徽林业,2002(1): 18.

[4] 赵义廷.世界森林防火对策与发展趋势[J].林业资源管理,1993(4): 60-63.

[5] 孙少辉,南海涛.BL-森林草原防火剂应用技术[J].内蒙古林业调查设计,2007(3): 85-86.

(责任编辑 李文军)