

森林火灾地空配合扑救K-32与M-26直升飞机定点水囊投水可行性^{*}

吴泽鹏¹ 周宇飞¹ 甄学宁² 李小川¹ 张志鸿³
刘佳英³ 吴 琰¹ 王振师¹ 郭天峰³ 曾 臻³
朱宇浩³ 魏书精¹ 先 锋² 李 溯³

(1. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 2. 华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642; 3. 广东省航空护林站/广东省林火卫星监测中心, 广东 广州 510173)

摘要 文章通过在森林火灾扑救实地演练火场边缘设置定点可折叠水囊, 并采取水囊加固技术, 使用 K-32 与 M-26 直升机进行吊桶定点投水试验, 测试在地面有烟雾、能见度较差的情况下, 两种机型通过地面引导对定点水囊投水的准确性与投水效率, 验证在森林火灾扑救过程中进行地空配合定点投水的可行性, 并比较两种机型对定点投水技术的适用性。试验证明, 在相似的地面环境条件下, 由地面标识物引导, 两种机型均能较准确地向加固后的水囊投水; K-32 直升飞机投水准确率、投水有效率优于 M-26 直升飞机, 是南方森林火灾地空配合扑救定点水囊投水的优选机型。

关键词 森林火灾; 直升机吊桶洒水; 地空配合

中图分类号: S762.6 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053 (2017) 02-0062-04

Feasibility of Ground-Air Cooperating Forest Fire Extinguishing with K-32 and M-26 Helicopter's Fixed Point Water Sprinkling Technique

WU Zepeng¹ ZHOU Yufei¹ ZHEN Xuening² LI Xiaochuan¹
ZHANG Zhihong³ LIU Jiaying³ WU Yan¹ WANG Zhenshi¹
GUO Tianfeng³ ZENG Zhen³ ZHU Yuhao³ WEI Shujing¹
XIAN Feng² LI Su³

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520 China; 2. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642 China; 3. Guangdong Aerial Forest Fire Protection Station/Guangdong Forest Fire Satellite Monitoring Center, Guangzhou, Guangdong 510173, China)

Abstract In this paper, by setting designated foldable water bag reinforced on the out-ring of simulated fire scene, we tested helicopter fixed point water sprinkling of K-32 and M-26 to verify water sprinkling accuracy and efficiency by ground guidance in poor visibility condition of smoke, and compared the applicability of the two models. The test proved that, the two kinds of models could accurately sprinkle water to reinforced water bag by ground guidance in similar ground environment conditions; K-32's sprinkling accuracy and efficiency was better than M-26, which is the better choice in southern China forest fire fighting by ground-air cooperation.

Key words forest fire; helicopter hanging bucket sprinkling; ground-air cooperation

^{*} 基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目“森林火灾地空高效配合扑救技术研究”(2013KJ CX017, 2015KJ CX046)。

第一作者: 吴泽鹏(1967—), 男, 高级工程师, 主要从事森林防火、林业碳汇和林业政策法规研究, E-mail: wzpeng1998@163.com。

森林火灾严重威胁人类的生命和财产安全, 且对生态环境产生重要影响。水是成本低廉而且干净清洁的灭火物质, 以水灭火速度快而且效果好, 尤其是可以防止死灰复燃, 同时减少对生态环境的破坏, 因而以水灭火是森林防火发展的主要方向, 是扑救森林火灾首选方法^[1]。直升机吊桶洒水灭火^[2]是 20 世纪 70 年代开始发展的新型消防技术, 在扑救位置偏远、地形复杂的林区火灾效果较好。实际森林火灾扑救中, 将直升飞机吊桶洒水与地面扑救人员以水灭火、风力灭火等方式相结合的地空配合扑救^[3]能够更加快速、有效地扑灭森林火灾。在现有的森林防火规划中, 通过在高火险地区设置蓄水池作为中继水源, 在发生火灾时可供扑救人员连接水泵进行扑救工作^[4]。但现有的蓄水池均为定点构建, 不能移动、缺乏灵活性, 难以覆盖整个林区, 在蓄水池距离火场较远时无法适用。基于这些问题, 考虑使用可折叠材料制作消防水囊, 在发生森林火灾时可迅速铺设于火场附近, 并使用直升机吊桶洒水的方式向加固后的水囊投水, 作为中继水源, 供火场消防队伍扑救和安全避险使用。本文通过对我国森林航空消防主要机型 K—32^[5]与 M—26 直升飞机向消防水囊定点投水的测试, 比较不同机型在地面引导下向作为中继水源的水囊投水的有效性与投水效率, 为以水灭火扑救森林火灾水源补给方式选择提供科学试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

K—32 直升飞机停机坪平地定点投水试验地位于紫金县临江镇河源市公安局交警支队车管所山顶直升飞机临降点, 经纬度为 114.719° E、23.703° N, 海拔 200 m。试验时间: 2016 年 11 月 17 日, 当天天气多云, 温度 26~28 °C, 湿度 40%。停机坪附近林地植被为大叶相思 (*Acacia auriculiformis*)、马尾松 (*Pinus massoniana*) 人工林, 株行距 2 m × 3 m, 中龄林, 郁闭度 0.7。

K—32 直升飞机森林火灾扑救实地演练火场地空配合投水试验地位于广东省河源市东源县, 经纬度为 115.001° E、23.810° N, 试验区域为最高海拔 290 m 的桉树 (*Eucalyptus* sp.) 人工林林地, 株行距 2 m × 3 m, 中龄林, 平均树高 11 m, 胸径 14 cm, 约 70% 已采伐。试验时间: 2016 年 11 月 18 日, 当天天气多云, 温度 20~28 °C, 湿度 20%,

风力 1~2 级, 风向东北。

M—26 直升飞机森林火灾实地演练现场火场地空配合投水试验地位于广东省梅州市梅县区, 经纬度为 116.185° E、24.486° N, 试验区域为海拔 126 m 的马尾松人工林林地, 株行距 2 m × 3 m, 中龄林, 平均树高 7 m, 胸径 10 cm。试验时间: 2016 年 11 月 29 日, 当天天气晴, 温度 13~20 °C, 湿度 30%, 风力 4~5 级, 风向偏北。

1.2 研究设备

试验采用 K—32、M—26 直升飞机进行吊桶洒水测试。

K—32 直升飞机机长 12.2 m, 旋翼直径 15.9 m, 机高 5.5 m, 宽度 3.8 m, 空机重量 7 200 kg, 最大起飞重量 1.1 t, 实用升限 5 000 m; 悬停升限 3 500 m; 吊桶有效载水量 3 500~4 000 kg。M—26 直升飞机机长 40.025 m, 旋翼直径 32 m, 空机重量 28.2 t, 最大起飞重量 56 t, 实用升限 4 600 m; 吊桶有效载水量 8 000~9 000 kg。投水用水囊使用型号 SQ3-SCB30 的军民两用水囊, 由采用先进工艺生产的 TPU 胶布热合而成, 具有较长的使用寿命, 耐磨、防刺穿、底面柔软, 可以铺设在崎岖的道路上; 水囊自重 50 kg, 折叠尺寸 60 cm × 70 cm, 展开尺寸 6.2 m × 1.2 m; 底部直径 5 m, 蓄水量 30 m³, 进(放)水口结构采用 DN65~80 管牙或内扣式。

1.3 研究方法

1.3.1 飞机定点投水和水囊加固技术模拟试验

在紫金县临江镇河源市公安局交警支队车管所山顶 K—32 直升飞机临降点停机坪进行定点投水试验, 试验点满足净空条件, 地势平坦。在停机坪铺设水囊, 分别在水囊底部放置沙袋用于加固, 每个沙袋重约 20 kg, 设置 3 种沙袋摆放位置: 10 个沙袋放在水囊底部中心; 12 个沙袋放在水囊底部边缘; 15 个沙袋分别放在底部边缘和中心。使用 K—32 直升飞机在附近水源地取水后, 悬停于水囊上方向水囊投水, 重复试验 3 次, 记录每次投水的飞行参数与投水结果, 模拟火场测试 K—32 飞机投水的有效性和水囊加固技术的可行性。

1.3.2 森林火灾扑救实地演练火场地空配合投水试验

在 2 个试验点的森林火灾扑救演练火场各设置了 1 条火线, 火线上空满足净空条件: 无高压电线、悬崖峭壁、高大林木等, 飞机可安全进出。采水点与演练火场的直线距离约为 5~8 km, 在距离火线约 30~80 m 的山岗或山顶上选择一个

较为平坦的地面预先挖一个直径 6.5 m、深 0.5~0.6 m 的土坑，坑内水平放置试验水囊，将水囊上沿每隔 1.5 m 设一绳扣，并与在水囊旁插入地面的钢筋用塑料绳连接加固，再在水囊底部和边缘放置 20 个重约 20 kg 沙袋用于固定。引燃火线燃烧 0.5 h 后，在水囊周边设置红、黄、橙色旗帜 3~5 面（旗杆高 2.3 m、彩旗长 2 m、宽 1.5 m）对 K-32 和 M-26 直升飞机进行引导，直升飞机从火点附近的水源取水后悬停于水囊上方向水囊投水，飞机从定点悬停到完成洒水时间控制在 3~5 min。

记录每次投水的飞行参数、结果与最终水囊中的水量。投水结束后，K-32 机型投水较准确，水囊储水较多，采用水囊水深计算储水量和有效率；M-26 投水准确度较低，水囊储水较少，使用流量为 85 L/min 的抽水泵从水囊中抽水，通过抽水时间计算水囊储水量和有效率。

2 结果与分析

2.1 停机坪定点投水及水囊加固效果

投水过程中，K-32 直升飞机的飞行参数如表 1 所示。由于停机坪定点投水试验地为水泥地面，用沙袋置于水囊底部水囊底部中心、水囊底部边缘、水囊底部边缘和中心用以固定，防止直升飞机下降时因风力过大使水囊位置偏移。各次投水的沙袋设置与投水效果如表 2 所示。在 K-32 直升飞机正常投水的飞行状态下，15 个 20 kg 沙袋摆放在水囊底部边缘和底部中心，水囊较固定，飞机投水较准确，投水效率约 50%。

表 1 K-32 平地定点投水试验飞行参数

项目	数值
飞行高度 /m	25
飞行速度 / (km · h ⁻¹)	70
吊桶距地面高度 /m	8~10

表 2 K-32 停机坪定点投水试验沙袋设置与投水效果

沙袋 / 个	沙袋摆放位置	投水效果
10	偏向水囊底部中心	直升飞机下降时风力较大，导致沙袋移动，水囊无法展开，投水效果较差。
12	偏向水囊底部边缘	水囊被吹起，导致投水时飞溅较多，投水效率约 20%。
15	水囊底部边缘和底部中心	水囊较稳定，投水较准确，投水效率约 50%。

2.2 K-32 森林火灾扑救实地演练火场地空配合投水效果

水囊与火线的位置和点火时间如表 3 所示。K-32 直升机投水时的飞行参数如表 4 所示。各次投水的能见度与投水效果如表 5 所示。

表 3 K-32 实地演练火场地空配合投水试验火线与水囊设置

名称	经度	纬度	海拔 /m	点火时刻
火线	115.003679° E	23.811262° N	239	15:36:20
水囊	115.001970° E	23.810332° N	243	

表 4 K-32 实地演练火场地空配合投水试验飞行时参数

项目	数值
飞行高度 /m	40~50
飞行速度 / (km · h ⁻¹)	40~50
吊绳长度 /m	12

表 5 K-32 实地演练火场地空配合投水试验投水效率和水囊固定效果

序号	地面能见度	旗帜能见度	吊桶距地面高度 /m	投水效率和水囊固定效果
1	差	非常清晰	10.49	投水较为准确，由于直升机螺旋桨风力较大，旗帜几乎被吹飞；加固后的水囊未移动位置。
2	差	非常清晰	10.49	直升机向加固的水囊缓慢下降过程中，吊绳晃动较大，前半桶投放较为准确，后半桶位置有一定偏移；加固后的水囊未移动位置。
3	较差	非常清晰	2.22	相对于 1、2 次投水，飞机可近距离准确悬停在加固后的水囊上方，吊绳晃动较小、吊桶与水囊距离更接近，投水非常准确，吊桶中的水完全投入到水囊中；加固后的水囊未移动位置。

在地面彩旗的引导下，K-32 直升机可以非常清晰看到水囊，飞机第 3 次可近距离准确悬停在加固后的水囊正上方，此时吊绳晃动较小、吊桶与水囊非常接近，加固后的水囊没有被吹离，投水非常准确，几乎完全投入水囊中。

投水结束后，水囊中平均水深 30 cm，计算可得水囊中最终水量为 $2.5^2 \times 0.3 \times 3.141\ 59=5.89\ \text{t}$ 。吊

桶载水重约为 3.5 t，3 次投水试验共约投水 10.5 t，水囊总计得水 5.89 t， $5.89 / (3 \times 3.5) = 0.561$ ，经计算，K—32 直升飞机定点水囊投水试验的总有效率可达 56.1%。

2.3 M—26 森林火灾扑救实地演练火场地空配合投水效果

水囊与实地演练火场的位置，以及点火时间如表 6 所示。M—26 直升飞机投水时的飞行参数如表 7 所示。各次投水的能见度与投水效果如表 8 所示。

表 6 M—26 实地演练火场地空配合投水试验火线与水囊设置

名称	经度	纬度	海拔 /m	点火时刻
火线	116.188765° E	24.487170° N	108	10:32:03
水囊	116.188046° E	24.487213° N	122	

表 7 M—26 实地演练火场地空配合投水试验飞行参数

项目	数值
飞行高度 /m	约 50
飞行速度 / (km · h ⁻¹)	约 80
吊绳长度 /m	30
吊桶距地面高度 /m	10

表 8 M—26 实地演练火场地空配合投水试验投水效率和水囊固定效果

序号	地面能见度	旗帜能见度	吊桶距地面高度 /m	投水效率和水囊固定效果
1	差	清晰	6.62	由于 M—26 的转弯半径大，在向水囊下降过程中吊绳摆动较大，投水位置与水囊位置有较大偏差，投水效率较低；加固后的水囊未移动位置。
2	差	清晰	3.38	直升飞机花费较长时间调整位置并缓慢下降，投水准确；加固后的水囊未移动位置。
3	差	清晰		由于直升飞机螺旋桨风力过大，扑救人员距离水囊太近，未投水；加固后的水囊未移动位置。

在地面彩旗的引导下，M—26 直升飞机可以较清晰看到水囊，飞机在花费较长时间调整位置并缓慢下降后可以比较准确投水；加固后的水囊未移动位置。

投水结束后，花费 13 min 将水囊中的水抽完，水囊中水量为 $85 \times 13 = 1\,105\text{ L}$ 即 1.105 t。吊桶载水量约 8 t 左右，水囊总计得水 1.105 t， $1.105 / 8 = 0.14$ ，经计算，M—26 直升飞机定点水囊投水试验的总有效率约 14%。

3 结论与讨论

3.1 试验证明，在森林火灾火场烟雾较大、能见度差的情况下，通过设置地面红、黄、橙色旗帜等引导物，可以有效引导 K—32 和 M—26 直升飞

机准确向水囊投水，供地面扑救人员作为中继水源进行火灾扑救与安全避险工作。

3.2 使用型号 SQ3-SCB30 的军民两用水囊，并采用在平坦的地面挖坑、坑内水平放置水囊、水囊上沿与在水囊旁插入地面的钢筋连接加固、水囊底部和边缘放置沙袋的加固方法，固定效果良好，K—32 和 M—26 直升飞机定点向水囊投水时，水囊未移动位置。

3.3 与 M—26 直升飞机相比，K—32 直升飞机在南方林区投水准确性和有效性更高，且能较好地与地面扑救人员相互配合，所以总体上 K—32 直升飞机比 M—26 更适用于南方森林火灾地空配合扑救。

3.4 直升飞机接近地面时风力较大，投水时水囊需具有高稳定性，目前水囊还需使用绳索与插入地面的钢筋来连接固定，存在铺设耗时较长、在不平整的地面难以操作的问题。在未来的研究中，可进一步对水囊结构和加固技术进行改进，提升水囊的稳定性与铺设速度、降低铺设难度。

参考文献

[1] 陈鹏宇, 舒立福, 文东新, 等. 国内外森林火灾扑救中以水灭火技术与设备研发[J]. 林业机械与木工设备, 2014, 42(1): 9-12.

[2] 马勇健, 马大和. 我国林区直升机吊桶灭火应用分析[J]. 林业劳动安全, 2013, 26(4): 31-33.

[3] 吴泽鹏, 周宇飞, 甄学宁, 等. 森林火灾地空配合扑救吊桶洒水有效性——以K—32直升飞机为例[J]. 林业与环境科学, 2016,32(6): 16-19.

[4] 孙家宝, 问永贤, 姚庆学, 等. 森林消防通用水灭火系统设计初探[J]. 森林防火, 2014(1): 32-35.

[5] 谢应敏, 张汉彪, 胡鸣. K—32A直升机的引进意义及其在森林防火中的应用[J]. 森林防火, 2009(1): 56-59.