

森林航空消防综合评价体系研究*

——以广东省森林航空消防能力建设为例

张志鸿

(广东省航空护林站, 广东 广州 510520)

摘要 基于广东省森林航空消防发展现状和未来发展需求,从基础设施与装备、应急管理处置水平、消防技术、人才队伍4个方面筛选出19个指标,构建森林航空消防评价指标体系。同时,采用AHP层次分析法确定了各指标的权重,并运用该评价指标体系对广东省森林航空消防进行评价分析,结果表明:广东省森林航空消防整体发展良好,其在应急管理处置能力和消防技术水平方面还有一定的提升空间,构建的评价指标体系对当前广东省森林航空消防具有较科学的评价效用。

关键词 森林航空消防;综合评价;指标体系;森林防火

中图分类号: S762 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053(2021)06-0182-06

Comprehensive Evaluation System of Aviation Fire-Taking Capacity Building of Guangdong Aviation Fire as An Example

ZHANG Zhihong

(Guangdong Aerial Forest Fire Protection Station, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract Based on the current situation and future development needs of Guangdong aviation fire, this paper constructs a comprehensive evaluation index system with 19 indicators in 4 aspects, including infrastructure and equipment, emergency management and disposal capability, firefighting technology, and talent team. AHP analytic hierarchy process was used to determine the weight of each index, and the indicator system was used to make a comprehensive assessment of the development level of Guangdong aviation fire. The result shows that the overall development of aviation fire in Guangdong is good, and there has a better improvement in its emergency management and disposal capability and firefighting technology. The evaluation index system has a more scientific evaluation utility for the current aviation fire.

Key words aviation fire; comprehensive assessment; indicator system; forest-fire prevention

森林航空消防是利用飞机预防和扑救森林火灾的方法和手段,是森林防火事业中科技含量最高、发挥作用最突出的力量^[1]。作为我国生态文明建设事业、林业改革发展和公共应急体系建设的重点发展对象,森林航空消防迎来了前所未有的发展机遇期。广东省森林航空消防自2010年以

来发展迅速,按照“1个航站,4个中心基地,6个驻防基地,112个临时起降点”的建设规划,已基本形成空间设施布局,对火险等级较高、森林防灭火形势较为严峻的粤东、西、北地区实现了全覆盖,并逐渐迈入高质量发展阶段。目前,国内围绕森林航空消防开展的研究主要涉及到管理

* 作者简介: 张志鸿(1966—),男,高级工程师,主要从事森林航空消防管理工作, E-mail: gdyjglzhh@163.com。

与运行^[1-3]、基础设施建设^[4-6]、消防技术应用与研究^[7-13]、航空护林现状探讨等方面^[14-15]，而关于森林航空消防综合评价体系的研究仍处于空白阶段。构建森林航空消防综合评价指标体系，全面评价广东省当前的森林航空消防能力水平，对指导广东省森林航空消防建设具有重要价值，对完善全国森林航空消防标准化建设，促进森林航空可持续发展具有重要意义。

1 指标体系构建

1.1 评价指标选取及框架

本研究基于广东省森林航空消防现实情况和发展趋势，参考森林航空消防相关标准^[16-17]和理论研究成果，遵循科学性原则、系统性原则、全面性原则从森林航空消防基础设施与装备、应急管理处置能力、消防技术、人才队伍4个方面选取了19个单项指标，构建森林航空消防评价指标体系（表1）。

广东省森林航空消防的综合评价指标分为两级，第一级指标集 = { 基础设施建设与装备水平，应急管理处置能力，消防技术水平，人才队伍建

设水平 }；第二级指标从属于第一级指标，其指标集分别为： $A = \{ A_1, A_2, A_3 \}$ ， $B = \{ B_1, B_2, B_3 \}$ ， $C = \{ C_1, C_2, C_3 \}$ ， $D = \{ D_1, D_2, D_3 \}$ 。

1.2 构建判断矩阵

本研究利用软件YAHP10.3构建判断矩阵，最后确定各指标的权重^[18]，判断矩阵是表示本层所有因素针对上一层某一个因素的相对重要性的比较。判断矩阵的元素 a_{ij} 用Saaty的1~9标度方法获取，具体见表2。

表2 森林航空消防判断矩阵标度及含义

Table2 Judgement matrix scale and implication

重要性标度 Value scale	含义 Meaning
1	表示两个元素相比，具有同等重要性
3	表示两个元素相比，前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述判断的中间值
倒数	若元素 <i>i</i> 与元素 <i>j</i> 的重要性之比为 a_{ij} ，则元素 <i>j</i> 与元素 <i>i</i> 的重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

表1 森林航空消防评价指标体系

Table1 Aviation fire evaluation index system

一级指标 Level I	二级指标 Level II	计算方法 Method
(A) 基础设施建设及装备水平	(A ₁) 基地覆盖度	基地覆盖面积 / 全省森林面积 × 100%
	(A ₂) 临时机降点密度	临时基降点数量 / 全省森林面积
	(A ₃) 机型种类	统计全省灭火飞机类型
	(A ₄) 飞机数量	统计全省灭火飞机数量
	(A ₅) 航油保障	根据油料装备、油料供应渠道、油料配送方式进行定性评价
(B) 应急管理处置能力	(B ₁) 航空巡护覆盖度	航空巡护所覆盖的森林面积 / 森林面积 × 100%
	(B ₂) 航期和防火期一致性	根据航期和防火期时间范围，分析其一致性
	(B ₃) 地方标准规范	根据基地建设、技术资格、岗位补贴等标准的制定情况定性评价地方标准规范的完善程度
	(B ₄) 飞机使用率	飞行时间 / 应使用时间 × 100%
	(B ₅) 每公顷投入金额	总投入金额 / 总森林面积
(C) 消防技术水平	(C ₁) 地空协调配合度	结合以往案例根据地空配合效果和进行定性评价
	(C ₂) 大数据技术水平	根据大数据平台，大数据开发应用项目进行定性评价
	(C ₃) 洒水准确率	根据飞行员经验进行定性评价
	(C ₄) 技术创新能力	根据机构的科研项目、发表论文和专利的数量、获奖和参与学术会议次数进行定性评价
(D) 人才队伍建设水平	(D ₁) 人员完备率	已配备人员数量 / 应配备人员数量 × 100%
	(D ₂) 员工受教育水平	高学历员工人数 / 总工作人员数量 × 100%
	(D ₃) 专技人员缺口率	(1- 已有专业技术人员 / 需要的技术人员) × 100%
	(D ₄) 日常演练频率	统计每月演练和培训次数
	(D ₅) 职工补助	根据职工补助标准进行定性评价

要求参与森林航空消防综合评价的专家采用两两比较的办法，在数值 1~9 之间对主因素层各指标间或各个对应子因素层内部各分指标间进行打分，并按其重要程度评定等级，由此得到判断矩阵。若比较各准则 A_1, A_2, \dots, A_n 对目标 A 的重要性，记 A_i 与 A_j 的重要性之比为 a_{ij} ， $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。若 $n=4$ 可以建立判断矩阵 A，具体见表 3。

表 3 森林航空消防因素权重的判断矩阵
Table3 Judgment matrix of factor weight

A	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}
A_2	$1/a_{12}$	1	a_{23}	a_{24}
A_3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	a_{34}
A_4	$1/a_{14}$	$1/a_{24}$	$1/a_{34}$	1

1.3 指标权重的确定

将 A 的每一列向量归一化得到 $\overline{W}_{ij} = e_{ij} / \sum_{i=1}^n e_{ij}$,

其中 n 表示主因素层或子因素层中每组需确定权重的指标总个数。再对 \overline{W}_{ij} 按行求和得到

$\overline{W}_i = \sum_{j=1}^n \overline{W}_{ij}$ ，将其归一化，得到 $W = (W_1, W_2,$

$W_3 \dots W_n)^T$ ，即为近似特征向量。再求出最大特征根，进而求出一致性指标 CI(consistency index)，

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

查表确定相应的平均随机一致性指标 RI(random index)，从而求出一致性比例 CR(consistency ratio)， $CR = CI/RI$ 并进行判断。当 $CR < 0.1$ 时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，可以直接利用特征向量 W 作为权重向量； $CR > 0.1$ 时，认为判断矩阵不符合一致性要求，需要对该判断矩阵进行重新修正。按照层次分析法的以上步骤可以得出各指标的权重，具体见图 1。

2 广东省森林航空消防发展分析

根据以上评价指标体系，结合对广东省航空护林站调研所得数据，对广东省森林航空消防发展状况进行综合评价，以测度其基础设施与设备情况、应急管理处置现状、消防技术水平和人才队伍建设情况。

2.1 整体基础设施建设及装备水平

据统计，包括省航站在内，目前广东省投入使用的基地有 7 处，基本能按照半径 120km 的范围实现全省覆盖，临时机降点每 10 万 hm^2 森林面积约有 1.1 个，满足规定的每 10 万 hm^2 林地建设 1 处机降点标准要求。广东省主要采用政府购买服务模式向通航公司租用飞机，但租用机型仅 M-26、M-171、K-32、AS-350 共 4 种类型，均为直升机，其中 K-32 机型使用最为频繁，与美国、

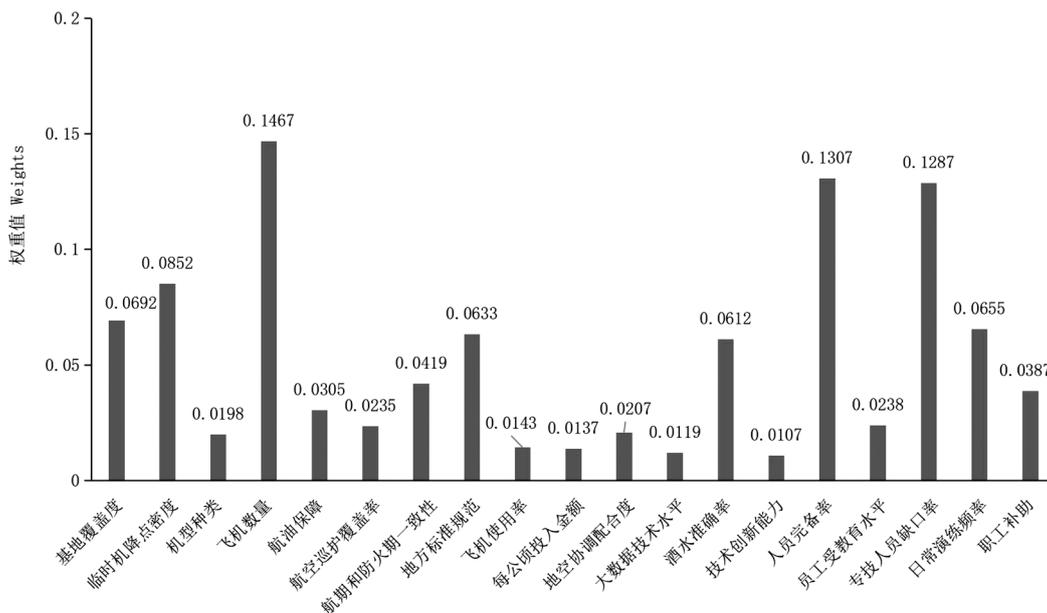


图 1 森林航空消防综合评价指标及权重

Fig.1 Weights of comprehensive assessment indicators of aerial forest fire

俄罗斯等国家相比，灭火飞机类型较为单一。在飞机数量方面，自2011年以来，广东省航空护林站飞机租用数量呈上升趋势，现为每个航期7~8架（图2），按广东省森林面积测算，每亿hm²森林面积仅76架，远远小于美国、加拿大的配置水平（美国平均每亿hm²森林面积846架，加拿大288架）。此外，在航油保障上，广东省主要使用航空公司提供的航油，并开展了靠前加油和不关车加油方式，能满足直升机紧急加油需求，具有较好的航油保障能力。

2.2 整体应急响应和处置能力

广东省航空护林站日常巡护频率较高，能基本覆盖全省森林面积，达到预防较大火灾的效果。根据对2011—2020年森林火灾发生次数和直升机数量的统计，发现全省直升机驻防期和森林火灾高发期一致性高，能基本实现出现森林火灾的时候有直升机驻防，但5—9月偶有森林火灾，该期间无直升机驻防，存在安全隐患（图3）。

在规范制度建设上，广东省航空护林站已制定并印发了财务管理制度、内部控制制度、部门

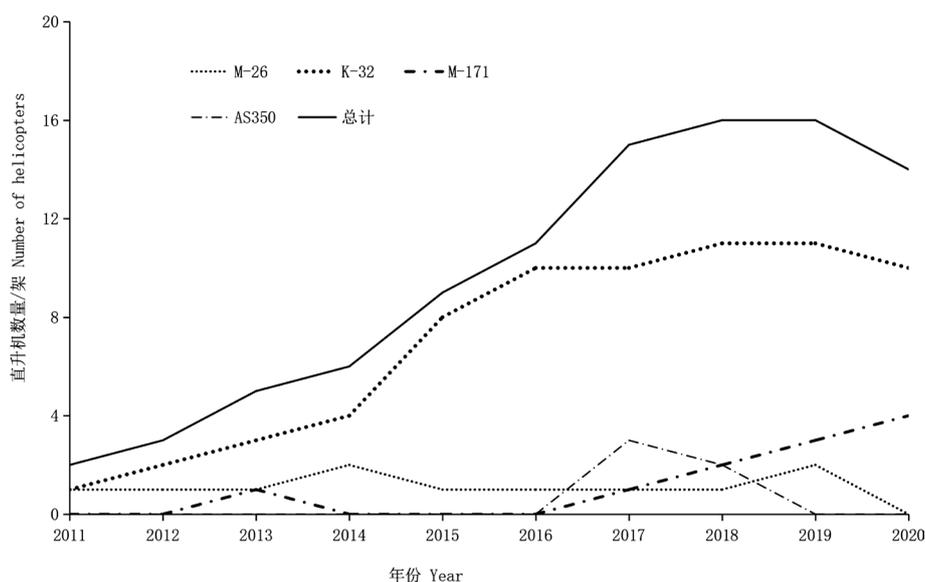


图2 2011-2020年广东省森林航空消防租用直升机数量
Fig.2 Rental of helicopters from 2011 to 2020 in Guangdong province

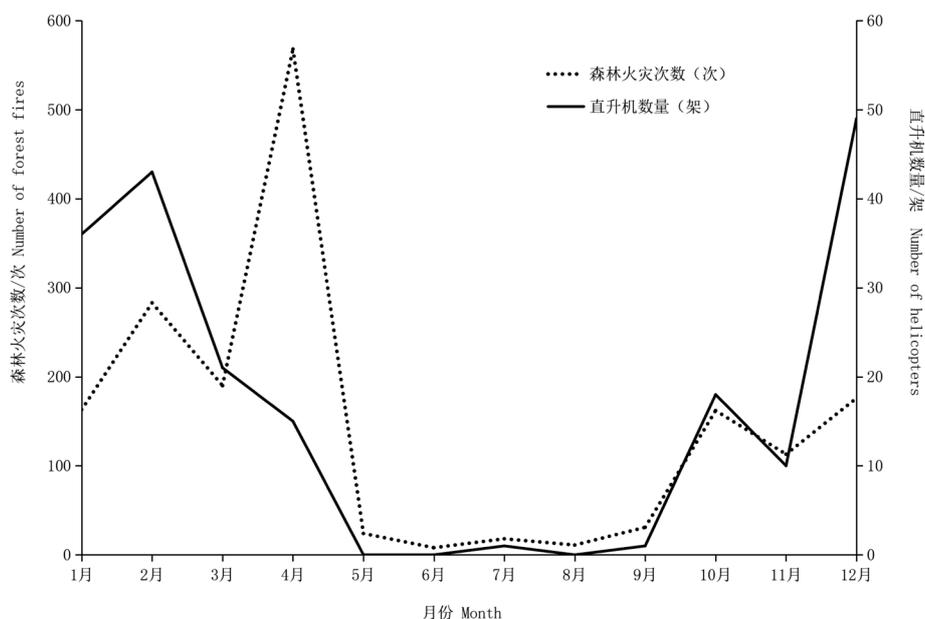


图3 航期和防火期一致性
Fig.3 Consistency analysis of voyage and fire periods

预算编制及经费审批管理办法、政府采购管理办法、固定资产管理办法、省级森林防灭火物资储备库管理规定等内部管理制度，内部管理制度较为完善，但行业标准化建设较为滞后，如地空配合标准、岗位补助标准等都无据可查。在飞机使用率方面，通过分析2016—2020年直升机使用情况，发现每年飞机使用率差异较大，年平均使用率约为73.90%（图4），基本满足直升机使用要求。在资金投入方面，广东省航空护林站资金来源主要为国家和省财政拨款，每年每公顷森林面积投入5.9元，与美国平均每公顷森林和草原投入6.99美元（44.71元）相比，还有较大差距。

2.3 整体森林航空消防技术水平

根据广东省2016—2020年的森林火灾发生和吊桶灭火数据可知（图5），近5年来，广东省共发生森林火灾872起，其中较大火灾345起，重大火灾1起，无特大火灾，上级部门下达直升机灭火任务次数89次，任务完成率为100%，森林航空消防是目前重特大火灾的主要灭火力量。此外，广东省森林航空消防主要采取吊桶洒水灭火的方式，根据飞行员经验测算，目前洒水准确率约为60%~70%。

在地空配合方面，通过靠前指挥，灭火队伍能较好地协调配合以高效完成灭火任务，未来通讯技术、信息传输技术的进一步提高能使地空配合更加精准、高效。其次，广东省航空护林站尚未建立数据整合分析平台，未应用大数据技术进行决策辅助，大数据应用能力有待提高，此外，省航空护林站日常办公已实现电子化，基本结束纸质化办公。在技术创新能力方面，2016—2020年期间，省航空护林站参与科研课题数，论文、专著、专利及获奖次数，参与学术交流会议次数均不多（图6）。

2.4 人才队伍建设

据统计，广东省航空护林站定员20人，现实际到位16人，人员完备率

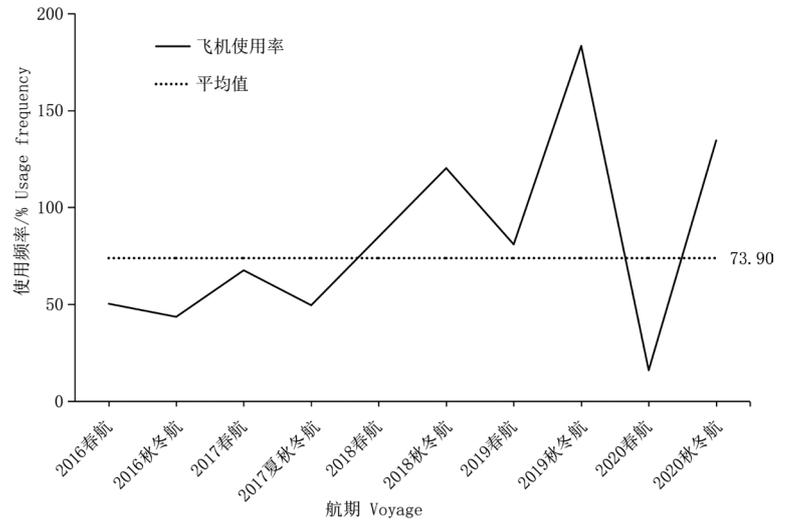


图4 2016—2020年广东省森林航空消防直升机使用统计
Fig.4 Helicopter use from 2016 to 2020 in Guangdong province

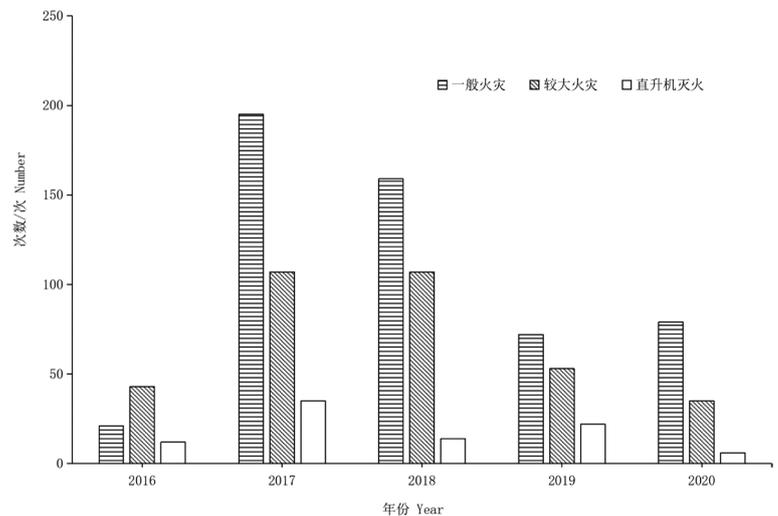


图5 2016—2020年森林火灾及直升机灭火次数
Fig.5 Forest fires and helicopter firefighting in 2016—2020

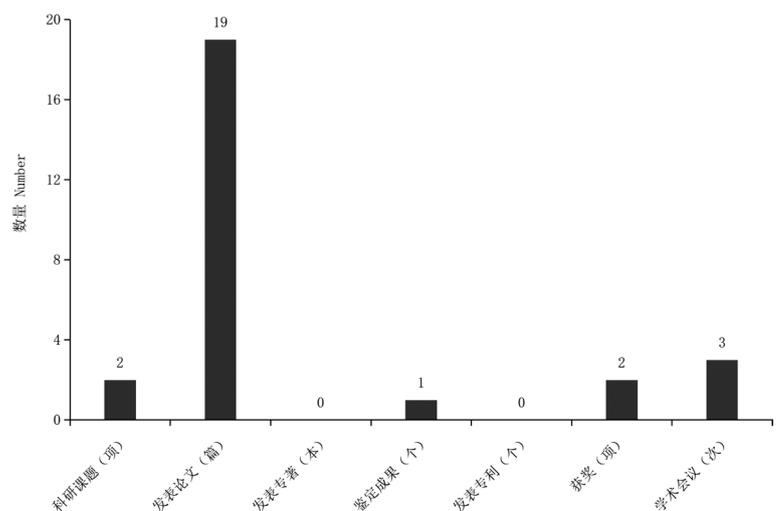


图6 2016—2020年广东省森林航空消防科研开展概况
Fig.6 Analysis of research development in 2016—2020

为80%，其中，具有硕士学历2人，本科学历14人。包括调度员和飞行观察员在内的专业技术人员仅10人，而按照国家林业和草原局南方航空护林总站关于飞行观察员、调度员的管理规定，每架直升机需配备2~3名飞行观察员，每个航站配备2~3名专职调度员，即广东省航空护林站至少需配备18名专业技术人员，专技人员缺口率达44.44%，缺口较大。

在培训演练方面，无灭火任务时，航空护林站训练频率为每周2次以上，为灭火安全提供了保障。但在职工补助方面，多数航空护林人员行业待遇偏低且相关补助难以落实。航空护林飞行观察员和调度员等一线岗位的职员，其专业技术工种没有得到认可，未列入国家劳动保障部门的职业标准，其飞行、疗养、劳保等补助也得不到保障，且广东省自开展航空护林以来，一直缺乏飞行观察人员相应的高危职业保护和补助政策，从事飞行观察工作人员的补助待遇无法落实。

3 结论

3.1 广东省森林航空消防在基础设施设备和人才队伍建设方面良好，表现为基地覆盖度、临时机降点密度、航油保障能力、人员完备率、员工受教育水平均满足森林航空消防需要，但在机型种类、飞机数量、专业技术人员数量、职工补助方面还有待提升。广东省森林航空消防在地空配合、大数据技术应用和科研方面需要进一步完善。

3.2 本研究初次构建森林航空消防评价指标体系，全面考虑基础设施、应急管理、消防技术、人才队伍4个方面的内容，筛选了19个指标，并利用该指标体系分析了广东省森林航空消防的优势和劣势，该综合评价指标体系既可以为广东省森林航空消防建设水平的准确评价提供支持，也可用于森林航空消防建设的长期跟踪和监测，便于及时发现先进经验和存在问题，可为进一步提升森林航空消防力量提供参考依据和决策支持。

参考文献

- [1] 张健强. 攀西地区森林航空消防应急管理体系构建[D]. 成都: 西南石油大学, 2019.
- [2] 周涛. 航空护林野外停机坪建设及安全管理探讨[J]. 森林防火, 2019(2):50-54.
- [3] 周俊亮, 杨林, 周生瑞. 我国航空护林管理体制改革的初探[J]. 森林防火, 2017(4):44-48.
- [4] 牛红云, 艾秋月, 刘和风. 深度融合式森林航空消防基地建设构想[J]. 山东林业科技, 2017, 47(2):140-142.
- [5] 徐艾华, 陈宏刚, 史磊, 等. 论南方森林航空消防训练基地建设的必要性[J]. 林业建设, 2013(4):51-53
- [6] 周万书. 航空护林直升机临时起降场建设规范探讨[J]. 森林防火, 2017(3):37-39.
- [7] 郭天峰, 周宇飞, 吴泽鹏, 等. 航空护林标绘系统在森林防火工作中的应用[J]. 森林防火, 2018(3):49-52.
- [8] 江西军, 刘世明, 王志龙, 等. 无线视频传输系统在航空护林中的应用测试[J]. 森林防火, 2018(1): 42-44.
- [9] 孙丽峥. 浅析机载无线图像传输系统在森林航空消防中的作用[J]. 河南林业科技, 2014, 34(3):55-57.
- [10] 吴泽鹏, 周宇飞, 甄学宁, 等. 森林火灾空地配合扑救K—32与M—26直升飞机定点水囊投水可行性[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(2):62-65.
- [11] 闫光巍, 张昊, 李宝仓. 大型水陆两栖飞机森林灭火任务覆盖分析[J]. 森林防火, 2020(1):44-46.
- [12] 闫杨. 图像传输系统在森林航空消防工作中的应用[J]. 林业科技情报, 2018, 50(4):50-52.
- [13] 张志东, 何诚, 张明远, 等. 森林航空消防直升机吊桶洒水目标定位系统[J]. 林业机械与木工设备, 2019, 91(9):39-41; 46.
- [14] 杨林, 忠永此理, 毛建君. 云南森林航空消防存在的问题及对策[J]. 林业调查规划, 2014(2):69-72.
- [15] 单保君, 江西军, 王秋华, 等. 森林航空灭火研究综述[J]. 防护林科技, 2015(9):76-78.
- [16] 黑龙江省林业工程勘察设计标准化研究所. 森林防火工程技术标准: LYJ127-91[S]. [出版单位不详]. 1992.
- [17] 中国民用航空局第二研究所. 森林航空消防技术规范: MHT1033-2011[S]. [出版单位不详]. 2011.
- [18] 舒远琴, 宋维峰, 马建刚. 哈尼梯田湿地生态系统健康评价指标体系构建[J]. 生态学报, 2021(23):1-13.