

基于红外遥感气象信息的舰载机飞行安全性评估

李 伟¹, 唐 君¹, 邵利民², 韩云东¹

(1. 海军大连舰艇学院 航海系 辽宁 大连 116018;

2. 海军大连舰艇学院 军事海洋系, 辽宁 大连 116018)

摘 要: 为充分利用战场气象信息, 提高舰载机飞行的战场安全性, 在对红外遥感气象信息特点和优势进行分析的基础上, 提出了舰载机在一定气象条件下的作战与训练使用的安全性评估模型。模型包括起降安全指数和往返安全指数两部分, 分别分析了主要的相关因素, 并根据作训实际提出了评估与拟合计算办法。对于起降安全指数, 利用判断矩阵求取不同气象要素的合理权重, 提出了独立的客观气象指数的概念并给出了计算方法, 然后进行线性加权便得起降安全指数; 对于往返安全指数, 则主要根据云雾对舰载机的掩护程度做为安全性计算的基本依据。

关键词: 红外遥感; 气象信息; 舰载机; 作训使用; 安全性评估

中图分类号: P47; TP391.9 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201645.0514001

Safety evaluation for carrier aircrafts based on infrared remote sensing meteorological information

Li Wei¹, Tang Jun¹, Shao Limin², Han Yundong¹

(1. Navigation Department, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2. Military Ocean Department, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: In order to make full use of meteorological information and to improve the safety index of the carrier aircrafts, based on an objective analysis for the features and advantage of meteorological information, a safety evaluation model was put forward for the use of carrier aircrafts under pure marine meteorological background. The model was composed of two parts, namely taking off & landing safety index and the round-trip safety index. the main relevant factors and evaluation method were given according to the practical use, including the fitting formulas. For the taking off & landing safety index, a judge matrix was used to determine the weight of different meteorological factors, a new concept "objective meteorological index" and it's way of calculation were firstly put forward, then, the taking off & landing safety index can be calculated by the way of linear weight adding. For the round-trip safety index, the main calculation method was focused on the covering effect for the aircrafts of clouds and fog.

Key words: infrared remote sensing; meteorological information; carrier aircrafts; combatting & training use; safety evaluation

收稿日期: 2015-09-11; 修订日期: 2015-10-20

基金项目: 大连舰艇学院科研发展基金(2016)

作者简介: 李伟(1980-), 男, 讲师, 博士生, 主要从事天文与气象教学方面的研究。Email: apuredrop@163.com

导师简介: 邵利民(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事气象导航方面的教学研究。Email: shaolm@163.com

0 引言

对于舰载机的海上作战来说, 战场海洋气象环境是至关重要的因素。对于参战方来讲, 气象条件要么是有利因素, 要么是不利因素, 二者必居其一。所以, 海上作战行动, 要求必须善用战场环境因素, 寻找最合适的战机, 隐蔽自己, 打击敌人。

舰载飞机执行特定任务, 在起降和往返过程中势必受到实时气象条件的制约。在特定的海空条件下, 其起降与往返整个过程的安全性的量化评估尚未有权威和公开的研究成果。

1 基于红外遥感的多层气象分析预报

利用先进的红外数字气象预报, 可以得到未来某时间段的战场综合气象信息, 从而据此作出舰载机的起降和往返安全指数评估, 做为海上军事行动时机选择的参考。

对于海面的气象要素, 主要表现为风向和风速, 可以直接由地面分析和预报信息获取; 对于空中的气象要素, 则主要表现为云和雾的影响。对于云层的厚度和高度, 可由红外遥感信息获取; 而对于海雾, 可由其他手段获取。比如, 气象研究预报模式(WRF)在海雾模拟预报方面得到了广泛应用, 利用气象格式数据(FNL)再分析数据和日平均海洋表面温度(SST)数据驱动 WRF 模式对气象过程进行数值模拟, 可以细化垂直分层并进行垂直分层敏感性实验, 进而得到较为可靠的战场环境预报信息^[1]。图 1 为一次对于海雾的气象预报。

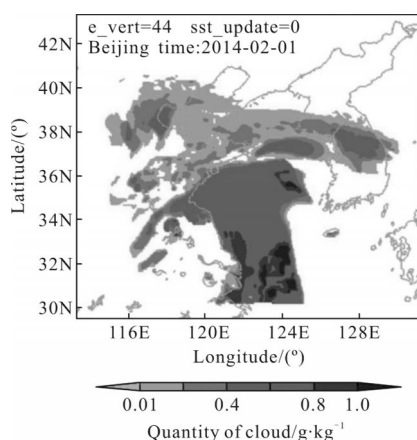


图 1 一次对于海雾的数字气象预报

Fig.1 A forecast for sea fog

研究表明: 在 44 层以上的垂直分层下, WRF 模式能较好地模拟海雾区的分布^[2]。这样, 就可以预报出所需海域任意时间点(段)的立体气象信息, 结合敌我装备对于气象条件适应性的实际情况, 可以得出战场使用安全性的评估意见, 供指挥员参考。

2 舰载机起降安全性评估

根据参考文献[3]和舰载机作战与训练的公开资料, 对于舰载机来讲, 甲板起降必须满足的气象条件是:

(1) 起降平台横摇和纵摇不能超过一定幅度;

(2) 能见度和云底高必须在一定范围之内, 能见度越好、云底高度越高, 起降效率就越高;

(3) 甲板航行风速有一个最佳值, 在风速不稳定时, 尤其是甲板附近的湍流和乱流有可能对起降中的飞机造成致命影响^[4]。

2.1 基本思路

舰载飞机甲板起降的安全性评估, 需要综合考虑上述各方面因素, 合理确定各方面权重与各自客观气象指数, 最后进行线性加权。

计算流程如图 2 所示。

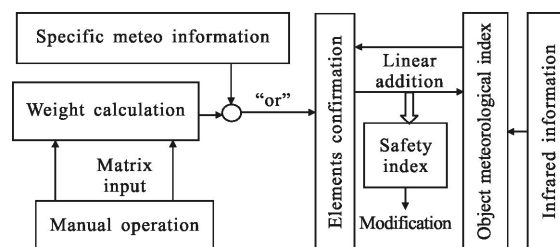


图 2 起降安全指数计算流程图

Fig.2 Flow for calculating taking off & landing safety index

2.2 气象要素权重求取

不同的机型, 由于作战功能和起降方式的不同, 对于气象条件的要求略有差别和侧重。所以, 科学的权重, 应该由判断矩阵两两比较给出^[5]。判断矩阵既可以事先根据机型和作战任务确定, 也可以由指挥员根据现场需要给出。

例如, 某次气象要素的判断矩阵为:

摇摆	1	2	3/2	4/3
风	1/2	1	2/3	2/5
云底高	2/3	3/2	1	1/2
能见度	3/4	5/2	2	1

由此可得四方面权重向量为:

$$w^T=(0.333\ 9, 0.141\ 2, 0.196\ 8, 0.328\ 0) \quad (1)$$

需要注意的是,为保证数据逻辑的合理性,判断矩阵需经过一致性检验。

图 2 中,“或”运算是一个重要的环节,它代表按照“人工优先”的原则选取一组权重信息,而“线性加权”的计算实行“一票否决”制,即当某一客观气象指数低于设定阈值时,要求综合起降安全指数的结果输出为零。

2.3 客观气象指数计算

客观气象指数是指,在一般情况下,无论对于何种机型,无论其他气象环境如何,能够相对独立地表征某一方面气象条件好坏程度的参数。在这里,把最好的情况定为 100。

客观气象指数,必须根据起降训练的实际情况,由多次训练的效果合理确定。

2.3.1 舰艇摇摆安全指数

相关资料表明,甲板飞机起降的安全性随着甲板摇摆幅度的增加而降低,但两者并非呈线性关系。描点数据表明,在倾角不大时,起降安全性基本不受影响,而在所能允许的极限倾角前后,安全性随倾角的稍微变化而变化剧烈。

经反复拟合验证,舰艇摇摆指数基本可用二次幂函数的一段来近似表示,即纵横摇摆指数分别可表示为:

$$y_1=a_1\alpha^2+k_1, y_2=a_2\beta^2+k_2 \quad (2)$$

式中: y_1 、 y_2 分别为纵、横摇摆指数; α 、 β 分别为母舰纵倾角和横倾角,常数系数可由边界条件确定。令倾角为 0 时,指数为 100;倾角为允许的最大值时,指数为 60。则综合摇摆指数可表示为:

$$y=t_1y_1+(1-t_1)y_2 \quad (3)$$

式中:系数 $t_1(0<t_1<1)$ 由具体机型和甲板跑道形状确定。

2.3.2 风速风向安全指数

对于大多数舰载机来讲,甲板最佳起飞风速趋于一致,甲板视风向与起飞方向夹角越大,风对飞机起降越不利,安全指数显著越低,尤其在相对风速较大时更为明显。

数据表明:风速对起降安全影响较风向来较为缓和。经拟合研究,可以用下式近似表征此项安全指数:

$$f=100 \left| \frac{v_{opt}-v}{2v_{opt}} \right| \cos\theta \quad (4)$$

式中: f 为风速风向安全指数; v_{opt} 为最佳甲板视风速; v 为甲板航行风速; θ 为甲板视风向与起飞方向的夹角。

2.3.3 云底高度安全指数

云底高度是舰载机起降的重要因素。当云底过低时,舰载机无法实施起降;当云底处于一定高度时,起降安全性呈线性变化;当云底高大于某一值时,指数均为 100。

所以,可用分段函数来表征此项指数:

$$yd=\begin{cases} 0 & h<h_1 \\ a_3h+k_3 & h_1<h<h_2 \\ 100 & h>h_2 \end{cases} \quad (5)$$

式中: yd 为云底安全指数; h 为云底高度; h_1 为可以起降的临界高度,常数系数 a_3 、 k_3 由 h_1 、 h_2 对应的边界条件确定。需要特别注意的是要合理确定 h_1 对应的安全指数,过小则可能错失战机。

2.3.4 能见度安全指数

水平能见度也是舰载机起降所要考虑的重要因素,其特点与计算方法大致与云底高指数程相同,也可以用分段函数表式。

$$nj=\begin{cases} 0 & d<d_1 \\ a_4d+k_4 & d_1<d<d_2 \\ 100 & d>d_2 \end{cases} \quad (6)$$

式中: nj 为能见度安全指数; d 为海上能见度距离; d_1 为可以执行任务的最底能见度; d_2 为对起降无影响的最小距离。常数系数 a_4 、 k_4 求解的注意事项与 2.3.3 节同。

这样,就可以得到舰载机起飞或降落时的客观气象指数向量:

$$v^T=(y, f, yd, nj) \quad (7)$$

则线性加权即可得实时综合气象条件下的客观起降安全性指数:

$$\text{Index}_{qj}'=v^T w \quad (8)$$

在实际操作中,由于不同气象条件的组合可能对起降的方式产生影响,不同的起降方式本身产生一个安全性指标,用因子 ξ 来表示。

这样,最终的起降安全性评估结果便为:

$$\text{Index}_{qj}=\xi v^T w \quad (9)$$

3 舰载机往返安全性评估

在未来海战中,预警机引导所属兵力进行进攻

与防御将是海军作战的主要方式。所以,在近乎透明的海战场,对于舰载飞机来讲,最大程度地隐蔽自己将是顺利完成作战任务的重要前提。

实践数据表明,一定厚度的云和雾不仅可以遮蔽视线,还可以有效衰减各种雷达波和红外毫米波^[6],所以,执行作战任务的舰载机,在导航设施完善的情况下,能巧妙利用云雾等气象因素进行隐蔽接敌将能大大提高进攻的突然性,且能有效规避敌方火力的打击。

在舰载机航路确定的前提下,在局部气象信息完全掌握以后,根据航路上云雾对舰载机的不同掩护程度,可采用“积分法”计算飞机的往返安全指数^[7]。即把往返的全程分为 n 段,每段的安全指数为 μ_n ,则总的的安全指数可表示为:

$$\text{Index}_{wf} = \sum_{n=1}^n \frac{\mu_n}{n} \quad (10)$$

可见,航路分段越多,指数计算越真实客观,但过多的分段将会降低计算效率;而局部安全指数的确定至关重要,它是计算是否真实有效的前提。若分段指数确定偏低,将会使军事行动过于保守,贻误战机;偏高则会暴露兵力,徒增危险。

4 综合评估

一般情况下,对于大多数舰载机来讲,无论执行何类任务,由于任务本身或者燃油限制,其留空时间都相对确定,在母舰航向航速确定的情况下,飞机起飞和降落的地点也随之确定。而从第 3 部分的分析可知,舰载机一旦起飞降落地点确定,其执行任务的航路规划也基本完成,而这又具备了往返安全指数计算的基本条件。

舰载机执行任务的综合安全指数,由起降安全指数与往返安全指数线性相加获得,两部分所占权重由指挥员现场设定。综上,舰载机使用综合安全指数可用下式表示:

$$\text{Index} = t_2 \times \text{Index}_{qt} + (1 - t_2) \times \text{Index}_{wf} \quad (11)$$

式中: $t_2 (0 < t_2 < 1)$ 值由指挥员根据战场态势确定。

5 仿真实验

由第 3 和第 4 部分的分析可知,如果在某一确定的时刻起飞的话,舰载机起降和往返安全性基本

可以看作是母舰航向和航速的函数。按照这个思路,在自主开发的仿真平台上对所有涉及的参数进行设定,然后在一定气象信息下进行试验,图 3 所示为某次仿真的结果。色标是基于红外遥感气象信息计算生成的战场能见度指标,主要以低云为计算依据^[8],颜色越深代表云量越多,不利于起降但有利于舰载机隐身飞行。

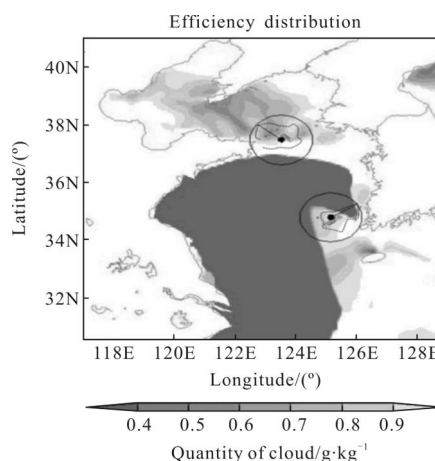


图 3 一次仿真运行的效果图

Fig.3 A simulation result

由仿真结果可以看出:在当前时刻即为舰载飞机起飞时间且只考虑气象因素的前提下,母舰 A 取航向 319 对舰载机使用来说最安全,而母舰 B 取航向 066 左右为最佳选择,不同航向的安全指数用母舰周围的虚线点来表示。可以看出:在推荐航向处具有最大的安全指数,实际应用中,指挥员可以根据其他非气象因素进行综合决策。

6 结论

通过仿真结论可以看出:评估模型以客观计算框架为基础,同时受指挥员对于现场形势判断的主观控制,能够融合主客观因素给出较为合理的航向建议,较好地发挥了辅助决策的作用。

另外,客观气象指数的计算依据是 WRF 信息,计算的科学性和客观性有待于进一步考证。此外,随机气象要素(比如甲板处空气的湍流、乱流)在模型中没有考虑在内,舰艇纵横摇还与舰艇结构和航向相关,这都是模型后续进一步完善的方向。

参考文献:

[1] Liu Yang, Fang Yonghua, Wu Jun, et al. Stray light analysis

- for a mid-infrared plane grating spectromrter system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(4): 1164–1169. (in Chinese)
 刘洋, 方勇华, 吴军, 等. 中红外平面光栅光谱仪系统杂散光分析[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(4): 1164–1169.
- [2] Zeng Xiangtong, Zhang Yuzhen, Sun Jiachong, et al. One color contrast enhanced infrared and visible image fusion method [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(4): 1198–1204. (in Chinese)
 曾祥通, 张玉珍, 孙佳崇, 等. 颜色对比度增强的红外与可见光图像融合方法 [J]. 红外与激光工程, 2015, 44(4): 1198–1204.
- [3] Xu Dongsong, Liu Xingyu, Wang Lixin. Influence of carrier motion on landing safety for carrier-based airplanes [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2011, 37(3): 289–294. (in Chinese)
 许东松, 刘星宇, 王立新. 航母运动对舰载飞机着舰安全性的影响[J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 37(3): 289–294.
- [4] Atkinson D, Agnew J, Miller M. The B–2 navigation system [C]//Aerospace and Electronics Conference, 1993:345–354.
- [5] Kunkel B A. Parameterization of droplet terminal velocity and extinction coefficient in fog models [J]. *Climate Appl Meteor*, 1984, 23: 34–41.
- [6] Stoelinga M T, Warner T T. Nonhydrostatic, mesobeta-scale model simulations of cloud ceiling and visibility for an east coast winter precipitation event [J]. *J Appl Meteor*, 1999, 38: 385–404.
- [7] Minnis Pat rick. Strat ocumulus cloud properties derived from simultaneous satellite and island based instrument ation during FIRE [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1992, 31: 317–339.
- [8] Zhou Jun. Research on stray light of the infrared detection system[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013. (in Chinese)
 周军. 红外目标探测系统的杂散辐射研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.