

反潜飞机搜潜 效能评估与决策建模

Effectiveness Evaluation and Decision Modeling
on Searching Submarine of Antisubmarine Aircrafts

屈也频 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

V271.4
1061



NUAA2011020127

V271.4

1061-1

反潜飞机搜潜 效能评估与决策建模

Effectiveness Evaluation and Decision Modeling
on Searching Submarine of Antisubmarine Aircrafts

屈也频 著



国防工业出版社

· 北京 ·

2011020127

图书在版编目(CIP)数据

反潜飞机搜潜效能评估与决策建模 / 屈也频著.

—北京:国防工业出版社,2011.1

ISBN 978-7-118-07046-0

I. ①反... II. ①屈... III. ①反潜飞机-反潜战-作战效能-评估②反潜飞机-反潜战-决策模型
IV. ①V271.4②E843

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 200339 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 5 $\frac{1}{8}$ 字数 168 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

序

从智利出访归来,刚一踏上祖国的土地,就收到屈也频所长送来的书稿。我认真地、几乎是一口气地阅读了全书,感到非常欣慰和欣喜。所以,我十分高兴为本书作序。

这是一本关于反潜飞机搜潜效能评估与决策建模的学术专著。作者结合自己多年的论证工作实践,在运用现代决策理论对航空反潜的决策理论与方法进行深入研究的基础上,创新地提出了基于两级搜索方案决策的航空反潜作战指挥搜索辅助决策系统概念和框架,建立了适用于反潜作战中搜索方案优化决策模型,从理论上阐述了巡逻机从捕捉“蛛丝马迹”到实现“大海捞针”的全过程,填补了这一研究领域的理论空白,既有丰富的理论探索价值,也对今后的论证工作具有十分现实和普遍的指导意义。

这本专著体现了作者勇于探索、敢于创新和挑战前沿的精神,书中有许多思想的闪光点,如巧妙运用了模糊理论、层次分析法(AHP)和数据包络分析法(DEA),较好地实现了将人脑处理模糊、不定量问题的优势和电脑快速、精确的计算能力有机结合;同时,针对目前普遍存在的、对水下目标位置散布假设条件不合理和过于简单等情况,经过缜密思考、严格推导和仿真验证,研究并提出了潜艇初始位置和运动后的位置散布模型等,对于航空反潜装备论证具有直接的借鉴意义和应用价值。

理论的价值不仅在于揭示真理,更在于揭示探索真理的方向。作为一部学术著作,本书的价值不仅在于它的理论意义,而且作者

研究问题的深度、思考问题的角度、严谨治学的态度、大胆求解和提出问题的力度,同样会给所有科技工作者以启迪。

当前,潜艇的隐蔽性和威慑性给海洋安全带来巨大威胁。随着人民海军驶向远洋和我国海上交通线不断延伸,这种威胁日益加剧,环视周边,从东北亚、东南亚、直到南亚正在成为世界上潜艇数量最密集的区域,而西太平洋早已常年处于世界超级大国核潜艇的打击圈内。面对潜艇威胁,海军必须扩展反潜巡逻范围,提高反潜作战能力,能够在广阔海域内有效摆脱敌方反潜体系跟踪,逐步实现远海防卫的战略目标。这既是海军转型建设的要求,也是当代海军科技工作者义不容辞的责任。

衷心祝愿屈也频同志不断取得创新成果的同时,也期望研究院广大科研人员加强理论和实践创新,写出更多更好的专著,为海军装备发展提供坚实有力的理论支撑。



2010年12月于北京

赵永甫 海军装备研究院院长、海军少将。

IV

前 言

随着潜艇朝高速、深潜和低噪声方向发展,反潜作战变得更加困难和复杂。与反潜潜艇、反潜水面舰艇和反潜直升机等兵力相比,反潜巡逻飞机具有快速反应能力强、航程远、留空时间长、可装备多种搜潜设备和攻潜武器,以及不易受到潜艇攻击的优势,已成为世界海军强国竞相发展的装备。正是由于现代反潜巡逻飞机搜潜、攻潜手段的多样性,以及反潜战中存在的大量不确定因素,使得仅仅依靠指挥员的经验已经难以胜任反潜作战任务。因此,运用先进的计算机技术和现代决策理论建立作战指挥辅助决策系统,为指挥员提供有效的作战方案,最大限度地发挥反潜巡逻飞机的效能,已成为现代反潜巡逻飞机研制中的重要研究方向。

由于飞机和潜艇处于不同的介质,潜艇具有很强的隐蔽性,反潜巡逻飞机在作战中的大部分时间都是用于对潜艇的搜索,对潜搜索方案的优化和决策是反潜作战指挥辅助决策系统最重要的功能。因此,本书以反潜指挥控制系统中的搜潜方案辅助决策为对象,分析现代航空反潜作战特点和搜索决策过程,研究航空搜潜辅助决策系统必须具备的主要功能和基本框架;研究潜艇位置的散布规律,推导出各种搜潜手段的搜索效能。最后,运用现代决策系统理论,建立适用于反潜作战中搜索方案优化决策的数学模型,并对模型进行仿真验证。

本书首先研究了潜艇的使用特点、反潜巡逻飞机的特点、几种主要的航空搜潜手段及其特点,分析了航空反潜作战中指挥员的决

策过程,将搜潜方案决策分为两级,首先在声纳浮标、磁探仪、雷达、红外搜索仪和电子监测系统等不同手段及其组合中选择搜索手段,即一级搜索方案的决策;然后,针对反潜巡逻飞机以声纳浮标为主要搜索手段的运用方式和声纳浮标布阵使用的特点,以取得最大搜索效能为出发点,研究如何确定声纳浮标的搜索方案 and 选择布阵图形,即二级搜索方案的决策。按照搜潜方案决策过程,进而确定了反潜作战指挥辅助决策系统的主要功能,提出了反潜作战指挥辅助决策系统的基本框架。

根据反潜巡逻飞机在执行应召搜索和巡逻搜索任务时所拥有的目标信息,针对当前搜潜效能评估研究中对潜艇位置的假设存在过于简单和不甚合理的情况,研究了潜艇位置的初始散布规律和运动后的散布规律,提出了执行巡逻搜索和应召搜索任务时的潜艇初始位置和运动后的位置散布模型。在此基础上,建立了各种潜艇散布规律条件下的搜潜效能评估数学模型,为开展搜潜方案决策模型研究提供了输入参数。

在研究航空反潜搜索的基本模式以及作战环境条件变化情况下搜索手段作用距离预报问题的基础上,对声纳浮标、雷达、红外搜索仪和磁探仪的应召搜索、巡逻检查搜索效能进行了研究,建立了声纳浮标搜索阵、雷达、红外搜索仪和磁探仪的规则图形搜索效能评估模型,以及雷达、红外搜索仪和磁探仪的随机搜索效能评估模型。

考虑到一级搜索方案决策中存在一些影响决策的模糊因素,在综合搜潜效能,以及搜索隐蔽性、可操作性和经济性等因素基础上,运用模糊决策理论研究了选择不同搜索手段及其组合对潜艇搜索的一级搜索方案优化决策数学模型,特别是增加了声纳浮标逐渐消耗对因素权重影响的研究,引入了与消耗品存存量相关的、基于层次分析法(AHP)的可变因素模糊集向量,并通过计算备选方案与

理想方案之间的模糊距离,来衡量所选择的方案接近理想方案的程度,建立了针对不同状态潜艇的搜索行动方案优选模型。

针对一级搜索方案选择带有声纳浮标的方案,并且各种搜索阵型的输入和输出可以事前分析得到的情况,为减少因采用模糊决策方法带来的人为权重分配的主观性,本书运用更加客观的数据包络分析法(DEA)选择二级搜索方案。在根据声纳浮标使用特点的基础上,构建了DEA的评价对象和指标,通过分析比较多种搜索阵形的相对有效性来选择最佳搜索图形,特别是针对搜索系统输出指标用概率值表征、边际效应明显的情况,重点研究并提出了用决策者偏好修正概率型输出量的方法。在此基础上,建立了在多种声纳浮标搜索阵形中择优且带有决策者偏好的决策模型,使评价结果既具有较强的客观性,又充分尊重决策者的主观意愿。

书稿采用现代决策理论对反潜指挥决策问题进行了系统研究,所给出的效能评估和决策数学模型,均经过严格的数学推导和计算机仿真验算,可作为反潜效能评估、反潜指挥辅助决策研究人员和军事系统分析人员的参考书。

作者

2010年10月18日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 搜潜辅助决策系统相关领域的研究 现状及其发展趋势	2
1.2.1 国外作战辅助决策系统研究现状及发展趋势	4
1.2.2 国内作战辅助决策系统研究现状及发展趋势	7
1.3 研究内容	9
1.4 研究思路、方法和本书结构	12
第 2 章 现代航空反潜作战指挥系统的基本框架	16
2.1 航空反潜的特点	16
2.1.1 作战对象的特点	16
2.1.2 反潜巡逻飞机的作战特点	19
2.1.3 主要的航空搜潜手段及其特点	20
2.1.4 海洋环境对航空反潜战的影响	24
2.2 航空反潜作战中指挥员的决策过程	24
2.3 反潜作战指挥辅助决策系统的功能	26
2.4 反潜作战指挥辅助决策系统的决策流程	28
2.5 本章小结	30

第3章 潜艇位置散布规律分析与建模	32
3.1 确定潜艇位置散布的基本原则	32
3.2 应召搜索时潜艇的位置散布	33
3.2.1 应召搜索时潜艇的初始位置散布	33
3.2.2 应召搜索时潜艇运动后的位置散布	34
3.3 巡逻搜索时潜艇的位置散布	40
3.3.1 在矩形海域潜艇的位置散布	40
3.3.2 在圆形海域潜艇的位置散布	46
3.4 本章小结	49
第4章 航空搜潜效能评估必须解决的基本问题	50
4.1 搜潜效能评估指标的选取	50
4.2 航空反潜的基本搜索模式	51
4.3 搜潜手段作用距离的实时预报	53
4.3.1 被动声纳浮标探潜作用距离估算	53
4.3.2 雷达搜潜作用距离估算	54
4.3.3 磁探仪作用距离估算	59
4.3.4 红外搜潜仪作用距离估算	61
4.4 本章小结	62
第5章 应召搜潜效能评估建模	64
5.1 声纳浮标的规则图形搜索效能	64
5.1.1 应召搜索的基本规则图形	64
5.1.2 单枚声纳浮标搜潜概率评估模型	67
5.1.3 声纳浮标阵圆形(环形)布阵搜潜概率模型	69
5.1.4 声纳浮标拦截阵的搜潜概率模型	75

5.1.5	声纳浮标规则图形阵平均布阵时间	77
5.2	搜索雷达和红外搜索仪的规则图形搜索效能	77
5.3	磁探仪的规则图形搜索效能	82
5.4	应召搜索概率计算模型的仿真验证	83
5.5	本章小结	88
第 6 章	巡逻/检查搜潜效能评估建模	89
6.1	规则图形巡逻检查搜索概率	89
6.1.1	雷达、红外和磁探仪的规则图形巡逻搜索概率 ..	89
6.1.2	声纳浮标阵规则图形检查搜索概率模型	91
6.1.3	规则图形搜索概率计算模型的仿真验证	95
6.2	基于 Poisson 流的雷达和红外搜索仪随机搜索概率 ..	99
6.2.1	雷达和红外搜索仪的随机搜索概率	99
6.2.2	考虑潜艇上浮概率后的随机搜索评估模型	101
6.3	本章小结	103
第 7 章	基于可变权重集的一级搜索方案	
	模糊决策模型	104
7.1	模糊评估与决策的基本理论	104
7.1.1	概述	104
7.1.2	模糊子集、模糊关系和模糊矩阵	105
7.1.3	模糊综合评判的基本原理	107
7.1.4	加权最小隶属度偏差决策法	108
7.1.5	模糊变换综合评价决策法	109
7.2	构建对潜艇一级搜索方案决策模型	110
7.2.1	建立递阶层次结构	110
7.2.2	确定搜索行动方案集	110

7.2.3	建立评价因素集	112
7.2.4	方案因素集的模糊评判矩阵	112
7.2.5	基于 AHP 的可变因素权重模糊集向量	116
7.2.6	基于模糊 Minkowski 距离的综合评判模型	121
7.3	一级搜索方案模糊决策模型的仿真实验验证	122
7.3.1	验算条件	122
7.3.2	仿真程序框图	123
7.3.3	计算结果	123
7.4	本章小结	125
第 8 章	基于 DEA 方法的二级搜索方案决策模型	126
8.1	引言	126
8.2	DEA 的基本理论	128
8.3	二级搜潜方案评估的 DEA 基本模型	131
8.3.1	决策单元和指标体系	131
8.3.2	声纳浮标搜索阵选择的 DEA 模型	132
8.4	具有决策者偏好的概率型输出量的模糊修正	137
8.5	引入带有输入“偏好锥”的 DEA 模型	138
8.6	二级搜索方案决策 DEA 评估算例和仿真	141
8.6.1	声纳浮标搜索阵决策单元评估算例	141
8.6.2	仿真评估程序框图	147
8.7	本章小结	148
第 9 章	反潜巡逻飞机搜潜辅助决策系统的总体设计	149
9.1	引言	149
9.2	搜潜辅助决策系统总体功能设计	150
9.3	反潜巡逻飞机搜潜辅助决策系统主要模块设计	153

9.3.1	数据库系统模块.....	153
9.3.2	模型库管理模块.....	154
9.3.3	知识库管理模块.....	154
9.4	搜潜辅助决策支持系统人机接口设计与实现	156
9.4.1	搜潜辅助决策支持系统人机接口功能	156
9.4.2	搜潜辅助决策支持系统人机接口设计与实现 ...	157
9.5	本章小结	163
第 10 章	总结与展望.....	164
10.1	研究工作总结	164
10.2	主要创新点	166
10.3	对进一步研究的展望	167
参考文献		169
致谢		175

第1章 绪 论

1.1 研究背景和意义

潜艇技术的发展,使反潜战成为未来海上作战的首要任务。海军反潜体系是一个覆盖水面、水下、空中、太空等多维的立体体系,拥有水面舰艇、潜艇、航空、卫星等多种反潜兵力,而航空反潜因其具有速度快、机动性强、可携带多种探测设备、搜索效率高、不易被潜艇攻击等特点,尤其为各国海军所重视。

航空反潜包括搜潜和攻潜两个阶段。由于潜艇朝高速、深潜、低噪声方向发展,使搜索发现潜艇更加困难。因此,对潜搜索是航空反潜首要解决的问题,然后才是对潜艇的攻击。反潜巡逻飞机通常在从其他兵力获得预知信息的情况下,或按照给定的海域执行巡逻搜索任务,对指定海域内的潜艇目标进行搜索和攻击。在搜索过程中,探测处于水面状态潜艇的手段有搜索雷达、红外搜索仪和电子监测系统等设备;探测水下潜艇的手段包括主动浮标、被动定向浮标和全向浮标在内的声纳浮标系统以及磁探仪等。进入攻击阶段后,主要使用的武器包括声自导鱼雷和深水炸弹。

反潜巡逻飞机拥有的各种探测和攻击手段的特点和使用时机都有所不同,如何根据潜艇的状态(如水面半潜、通气管、浅水和深水等)采取哪种搜索与攻击方案,才能获得较高的效能,需要指挥员果断采取应对策略。但是在反潜作战过程中存在着大量的不确定

因素,包括目标的不确定性、海洋水文环境的不确定性,以及各种外来信息的不确定性,需要使用多种搜潜手段并配合各种战术行动才能达成反潜作战的目的,因此给作战指挥决策带来了很大的困难。可以说,在现代反潜作战条件下,仅仅依靠指挥员个人的水平,已经难以胜任和完成反潜作战任务。

鉴于作战指挥辅助决策系统在反潜巡逻飞机各系统中的核心地位,对发挥反潜巡逻飞机的作战效能具有重要的作用,本书运用现代决策理论对航空反潜战的决策理论与方法系统地进行深入研究,建立适用于反潜作战中搜索方案优化决策的数学模型,并对模型进行仿真验证。

这是首次采用现代决策理论研究航空反潜搜索方案决策问题,具有重要的学术价值,研究成果对指导反潜巡逻飞机作战指挥辅助决策系统研制和开展航空反潜搜索效能评估研究将具有重要的参考价值。

1.2 搜潜辅助决策系统相关领域的研究现状及其发展趋势

现代决策理论最早起源于20世纪40年代的统计决策理论。随着理论研究的深入,已经从单目标决策理论发展为多目标决策,从单人决策又发展到群决策等,决策分析理论已经形成了一个十分活跃和广阔的研究领域^[1]。从20世纪60年代开始,决策分析方法在经济管理各部门逐步得到应用,并取得了良好的经济效益和社会效益。在军事领域,国内已经开始在地面指挥所和大型作战平台上,研究应用现代决策理论解决作战辅助决策问题。

决策系统(Decision Support System, DSS)是以计算机技术为基

础的人机交互作用的系统。它应用决策理论与方法,根据决策者的决策思维方式,从系统分析的角度为决策者或系统分析人员构建一种决策环境。在此环境下,决策者和系统分析人员可以充分利用自己的经验和知识,或在系统的引导下,掌握决策过程中各因素的影响,激发起思维创造力,在 DSS 系统的辅助下决策者最终做出决策^[2]。它强调模型和数据的有机结合,并按照人的思维规律引导决策者解决问题。也可以说,决策系统是用模型和数据支持决策活动的、具有智能作用的人机计算机系统^[3]。它能按照模型对各种信息进行不同的处理,为决策者提供决策所需要的信息,帮助明确决策目标和进行问题识别,提供各种备选方案,并对各种方案进行评价和优选,从而使决策更合理、更科学^[4]。

指挥决策是为实现一定的军事目的而制定各种可供选择的军事行动方案,并决定采用某种方案的思维活动过程。它的基本任务是根据上级意图、敌情及我情,考虑地理、气象等环境因素的影响,确定自己的行动目标,部署兵力兵器,确定作战样式,组织协同作战等^[5]。影响指挥决策系统性能的主要因素是决策过程存在一些不确定性^[6]。Bomont 在参考文献[7]中指出“指挥方法设计者和使用者面临的问题是努力缩小不确定性的范围,并且适当地处理这种不确定性,最终作出评估”。在现代高科技信息化战争中,作战指挥越来越呈现出向精确指挥决策转变的趋势。由于现代战争中战场环境日趋复杂、传感器数量增多,面临快速变化的、庞杂的数据,仅仅依靠指挥者个人的能力在实战状态下理清错综复杂的作战信息,并迅速作出决策方案,难度很大。因此,采用作战指挥辅助决策系统已经成为指挥员操作使用现代军事装备,并发挥其最大效能的一种重要手段。

作战指挥辅助决策系统是以现代决策理论为基础,以计算机技术、仿真技术和信息技术为手段,针对半结构化或非结构化的决策

问题,利用模型和数据支持作战指挥决策活动的具有智能作用的人机计算机系统。它强调充分利用科学的方法论和信息处理技术,使指挥人员的主观能动性与精密的定量计算、定量分析有机结合起来,通过在精确的时间和地点,科学地部署和使用各种兵力、火力,精确地发挥各种作战力量的战斗潜力,达到合理利用作战资源,提高作战效能的目的。

1.2.1 国外作战辅助决策系统研究现状及发展趋势

国外在作战辅助决策系统方面有大量的研究和应用,而且起步都比较早,其中最成功的是美国。从20世纪60年代起,美军各军种陆续开发了各种版本的作战方案辅助生成和评估系统。之后,又将各种辅助决策功能集成应用于C³I系统中。海湾战争期间,美军的联合作战计划与执行系统(JOPES)、战区级战役作战方案评估系统(CEM)等辅助决策系统的应用大大提高了作战指挥决策的实时性和正确性^[8,9]。海湾战争后,美军从三个方面对作战指挥辅助决策手段进行了改进:一是提高辅助决策系统的实时性;二是将辅助决策系统与联合作战仿真模拟系统功能集成为一个整体;三是提高各辅助决策系统的信息互通能力^[10,11]。最终基本形成了以支持作战指挥决策全过程为核心的信息系统,即作战指挥决策支持系统(CCDSS)。在情报获取和处理阶段,CCDSS可及时准确地感知战场态势,与其他作战平台实现互联互通,经过对多传感器的数据融合处理,实时形成战场综合态势图;在方案决策阶段,CCDSS运用人工智能技术优选作战方案,并对实施该方案的结果进行仿真模拟预测;在方案实施阶段,CCDSS可及时将战场情况反馈给指挥员,增强了作战指挥的有效性^[12]。目前,美军的参谋计划与决策支持系统(SPADS)是机动控制系统(MCS)或称“凤凰”系统的核心,现已装备到陆军的机动营至军级^[13],为指挥官提