Journal of System Simulation

Volume 29 | Issue 3

Article 27

6-2-2020

Optimization on Search Submarine Parameters of Dipping Sonar Using Orthogonal Design Method

Musheng Luo 1. Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China; ;

Zongjie Wang 1. Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China; ;

Wencai Ge 2. Unit 91880, PLA, Jiaozhou 266300, China;

Follow this and additional works at: https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal

Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Optimization on Search Submarine Parameters of Dipping Sonar Using Orthogonal Design Method

Abstract

Abstract: To solve the limitation of multi-parameter analysis using one by one optimization method, search submarine parameters optimization of antisubmarine helicopter using dipping sonar was studied. After analyzing the submarine-search process of dipping sonar, search probability and average time of search cost were made as the indexes. *The seven primary factors which influenced submarine-search efficiency were analyzed and corresponding factorial levels were selected. Based on orthogonal design*

method, the orthogonal test schemes of $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ were built, which could simulate seven parameters when their value changed simultaneously. Monte Carlo simulation model was built and all schemes were simulated. The results show that the influence degree and influence trend of parameters are not the same to different search index; the number of helicopter should be 2 or 3; total search time should not excess the time cost to search 6 detecting points.

Keywords

dipping sonar, orthogonal design, submarine search, parameters optimization, search probability

Recommended Citation

Luo Musheng, Wang Zongjie, Ge Wencai. Optimization on Search Submarine Parameters of Dipping Sonar Using Orthogonal Design Method[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(3): 669-675.

第 29 卷第 3 期	系统仿真学报©	Vol. 29 No. 3
2017年3月	Journal of System Simulation	Mar., 2017

吊放声纳搜潜参数正交试验设计与优化

罗木生1, 王宗杰1, 葛文才2

(1. 海军航空工程学院,山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 91880 部队,山东 胶州 266300)

摘要:针对反潜直升机使用吊放声纳搜潜的参数优化问题,为克服多参数逐个分析优化方法的局限 性,在分析吊放声纳搜索过程的基础上,采用正交试验设计的方法,固绕搜索概率、发现潜艇的平 均花费时间2个指标,确定了7个影响吊放声纳搜潜效能的因素及相应的因素水平,构建了L₁₈(6¹×3⁶) 混合水平正交试验方案,实现了7个参数同时变化下的仿真试验设计。采用蒙特卡洛法建立了仿真 模型,对所有方案进行了仿真计算,结果显示:对不同的搜潜指标,因素的影响程度不同,且影响 趋势也不尽相同;兵力数量2~3 架、总搜索时间不超过搜索6个探测点所需时间为佳。 关键词: 吊放声纳;正交设计;搜潜;参数优化;搜索概率

中图分类号: E925 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 03-0669-07 DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201703027

Optimization on Search Submarine Parameters of Dipping Sonar Using Orthogonal Design Method

Luo Musheng¹, Wang Zongjie¹, Ge Wencai²

(1. Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China; 2. Unit 91880, PLA, Jiaozhou 266300, China)

Abstract: To solve the limitation of multi-parameter analysis using one by one optimization method, search submarine parameters optimization of antisubmarine helicopter using dipping sonar was studied. After analyzing the submarine-search process of dipping sonar, search probability and average time of search cost were made as the indexes. The seven primary factors which influenced submarine-search efficiency were analyzed and corresponding factorial levels were selected. Based on orthogonal design method, the orthogonal test schemes of $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ were built, which could simulate seven parameters when their value changed simultaneously. Monte Carlo simulation model was built and all schemes were simulated. The results show that the influence degree and influence trend of parameters are not the same to different search index; the number of helicopter should be 2 or 3; total search time should not excess the time cost to search 6 detecting points.

Keywords: dipping sonar; orthogonal design; submarine search; parameters optimization; search probability

引言

吊放声纳是利用绞车电缆将换能器基阵悬垂



收稿日期:2015-06-02 修回日期:2016-01-05; 基金项目:国家社科基金军事学项目(14GJ003-154); 作者简介:罗木生(1982-),男,江西广昌,博士 生,讲师,研究方向为航空反潜;王宗杰(1978-), 男,山东平度,博士生,讲师,研究方向为海军兵 种战术。 于水中探测目标的声纳。其具有重量轻、体积小、 搜索速度快、精度高、工作深度可变、有主被动多 种工作方式等特点,已成为直升机遂行反潜作战任 务的重要搜潜器材^[1]。而影响吊放声纳搜潜效能的 参数较多,如兵力数量、搜索方法、搜潜路径、设 备工作参数等。若搜潜参数设置不合理,将严重降 低其搜潜效能。因此,如何优化吊放声纳搜潜参数,

第 29 卷第 3 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 3
2017年3月	Journal of System Simulation	Mar., 2017

是直升机运用吊放声纳搜潜需要解决的首要问题。

关于直升机运用吊放声纳的搜潜方法^[2]、搜潜 效能^[3],国内外已经进行了较多研究^[4-6],也已取 得重要的理论成果。目前,国内对于搜索阵形^[6]、 兵力数量^[7]、探测点间距^[8]、目标机动^[6]等因素影 响下的吊放声纳搜潜效能^[9-10]进行了一定的研究。 但主要采用单参数逐个优化方法,即:在假定其他 参数固定不变的前提下,分析一个参数变化对吊放 声纳搜潜效能的影响程度与趋势,从而确定最佳 值,然后逐一分析其他参数。若各参数之间相互独 立,该方法可取得令人满意的结果。但吊放声纳搜 潜时诸参数并非相互独立,因而前述方法存在局限 性,难以从全局的角度,得出最佳参数。

正交试验设计是研究与处理多因素、多水平试 验的一种科学方法,其理论比较成熟,在工程试验 方面应用较多^[11-15],但在作战试验应用较少^[16-18]。 正交试验设计能通过代表性强的较少试验方案结 果的分析,推断出最优方案;通过进一步分析,还 可得到比试验结果本身给出的还要多的有关各因 素的信息。为此,本文结合直升机使用吊放声纳搜 潜过程,分析影响搜潜效能的诸参数,并运用正交 试验设计方法,对搜潜参数优化问题进行研究。

1 反潜直升机吊放声纳搜潜过程

使用吊放声纳搜索时,反潜直升机通常采用跳 跃式逐点探测的方法进行。进入搜索海区后,反潜 直升机逆风悬停于第一个探测点,下放换能器基阵 至工作深度;听测指定时间后,若未接收到可疑声 信号,则将换能器基阵收起,爬升至指定高度,向 下一个探测点机动,重复上述动作^[1],如此循环。 搜潜过程的纵向典型飞行剖面如图1所示。





从直升机悬停于当前探测点至在下一个探测 点悬停好,定义为一个周期,所用时间称为吊放声 纳搜索周期,用*T*周期表示,则有:

$$T_{\text{BH}} = t_{\text{FW}} + t_{\text{Rb}} + t_{\text{Rb}} + t_{\text{Cf}} \tag{1}$$

其中: *t* 听测为换能器基阵在水中听测的时间; *t* 品放, *t* 品收分别为下放、收回换能器基阵的时间; *t* 品放, 升机在当前探测点开始爬升至机动到下一个探测 点并悬停好所用时间,包括直升机的爬升、巡航飞 行和降高时间等; 单位均为分钟。

搜索周期的长短,直接影响搜索效率。但一般 来说,下放、收回换能器基阵的时间是确定的,故 搜索周期取决于 *t* 听到,*t* 飞行。目前,反潜直升机使用 吊声的搜索周期一般为 8~20 min。

2 吊放声纳搜潜参数正交试验设计

吊放声纳搜潜参数对搜索效能的影响是一个 多因素、多水平的组合问题。因此,采用正交试验 法进行仿真设计,对影响因素及水平进行均衡搭 配;在较少的试验次数内,通过数理统计的方法分 析试验结果,可获得最佳的试验水平组合。

2.1 正交试验设计简介

正交试验设计是根据一种正交化的表——正 交表来安排试验,利用数理统计原理科学地分析试 验结构、处理多因素试验的科学方法^[12-13]。它不仅 能够使试验结果的代表性强,而且能从试验结果中 迅速找到各因素的最优水平组合^[14]。

试验设计方法本质上是在试验范围内挑选试 验因素代表点的方法。正交设计是根据正交性准则 挑选代表点,使这些点能反映试验范围内各因素和 试验指标之间的关系。正交设计在挑选代表点时有 两个特性,即均衡分散性和整齐可比性。均衡分散 性使得试验点有代表性,整齐可比性便于试验数据 的处理和统计分析^[11,15]。因而,正交试验,可通过 代表性很强的少数仿真试验,分析各因素对试验指 标的影响^[16-17]。 第 29 卷第 3 期 2017 年 3 月

2.2 构建搜潜参数优化正交试验设计方案

正交试验设计一般步骤为:首先根据试验目标 确定试验指标;然后设计试验因素及因素水平;接 着选择正交表并设计正交试验方案;最后进行试验 并对结果进行统计分析。

2.2.1 确定搜潜试验指标

搜潜作战中,通常以发现概率为指标。考虑到 反潜直升机留空时间有限,希望发现潜艇的时间越 快越好。因此,进行搜潜仿真试验时,选择发现概 率 *P_f、*发现潜艇的平均花费时间 *T_f* (单位: min)为 指标。

2.2.2 吊放声纳搜潜正交试验因素与因素水平设计

反潜直升机使用吊放声纳可以遂行多种搜潜 任务,其中,应召搜潜是最重要的一种。因此,下 面以吊放声纳应召搜潜为例进行分析。

应召搜潜是获得敌潜艇信息后,反潜直升机飞 往发现潜艇的海区,搜索潜艇以期再次发现丢失的 潜艇目标的战斗行动。其特征是已知目标在搜索前 某一时刻的位置。应召搜潜可充分利用航空反潜速 度快、反应迅速的优势。

通过对应召搜潜下吊放声纳搜索过程的分析,确定了影响搜潜指标 *P_f*,*T_f*的主要因素,并作为正 交试验因素,具体有:

(1) 目标信息精度及其时效性

目标信息精度主要指其他兵力提供的目标初 始位置误差 $\sigma_{\text{目标}}^{0}$ (单位:km),该值越小,则目标 信息精度越高,吊放声纳搜索发现潜艇的概率将越 高、搜索所需的时间将越短。

目标信息的产生至目标信息被利用之间有一 定时间间隔,故目标信息具有时效性,用延迟时间 *T*⁰_{延迟}(单位:min)表示,包括信息传递、处理及直 升机机动到目标海域使用吊放声纳开始搜索所需 时间等。该值越小,目标在该时间内机动的距离越 短,吊放声纳发现目标的概率越大。

(2) 出动直升机数量 N_{百升机} (单位:架)

反潜直升机出动数量越多,可用于搜索潜艇的 吊放声纳就越多,发现潜艇的概率就越高。但直升 机数量通常有限,因此,在满足任务要求的前提下, 应使用尽可能少的直升机。通常,一次任务出动 1~4 架反潜直升机。

(3) 吊放声纳性能与搜索参数

吊放声纳性能集中体现为有效作用距离 R_{θ₱}(单位:km),该参数受海洋环境、目标特性等诸多因素影响。定性分析得出 R_{θ₱}对 P_f, T_f的影响最大。

单次听测时间 t_{听测}(单位:min)指每一次悬停时 换能器基阵在水中听测的时间,是吊放声纳搜索过 程中最重要的参数之一。由公式(1)可知,t_{听测}决定 了搜索周期 T_{周期},还影响发现概率和搜索效率。

(4) 搜索方法

搜索方法决定了直升机的搜索路径。吊放声纳 搜索方法较多,扩展方形法是常用的应召搜潜方法 之一,如图2所示。其中,相邻探测点间距*d*间距(单 位:km)、初始搜索方位 γ₀(单位:°)是解算所有探 测点坐标的两个参数,对发现概率的有着直接的影 响。*d*间距值一般用 *d*间距=*R*_{吊声}·*k*间距表示,*k*间距为一般 为 1~2 的系数。γ₀指同一架直升机搜索路径中第 1 个探测点指向第2 探测的方位角,0°~360°。



图 2 扩展方形法搜索示意图 Fig. 2 Extended square search method

总搜索时间也是影响 P_f, T_f两个指标的重要因素,但为计算发现潜艇的平均花费时间这一指标,将单架直升机总搜索时间取为直升机留空时间内 允许的最大搜索时间,因此,不将总搜索时间列入

第 29 卷第 3 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 3
2017年3月	Journal of System Simulation	Mar., 2017

正交试验因素。

综上所述,正交试验因素的选择,以及各因素 水平如表1所示。

表1 搜潜正交试验因素及因素水平

Tab. 1 The factors and levels of orthogonal test of submarine

			searc	n			
因素	$T^0_{\mathfrak{MB}}$	$\sigma^{\scriptscriptstyle 0}_{\scriptscriptstyle \equiv k \scriptscriptstyle ar k}$	$N_{\rm aff.m}$	$t_{ m fr}$	R_{B}	k_{iiiiii}	γo
1	30	9.0	1	3	5	1.2	330
2	60	2.0	2	6	8	1.9	270
3	90	5.0	3	9	13	1.5	210
4	-	-	-	-	-	-	150
5	-	-	-	-	-	-	90
6	-	-	-	-	-	-	30

2.2.3 选择正交表并设计正交试验方案

通过 2.2.2 的分析, 需要对 7 个因素进行试验, 其中 6 个因素有 3 个水平、1 个因素有 6 个水平。 因此需选择混合水平正交表 L₁₈(6¹×3⁶)。确定正交 试验方案如表 2 所示。

表 2 $L_{18}(61 \times 36)$ 混合水平正交试验方案 Tab. 2 Mixed level orthogonal test scheme of $L_{18}(61 \times 36)$

いよった口			因素	素水平	值		
试验亏	$T^0_{\mathfrak{HE}}$	$\sigma^{\scriptscriptstyle 0}_{\scriptscriptstyle \equiv k \overline{k}}$	$N_{\rm affm}$	$t_{ m frimlet}$	$R_{ m R}_{ m B}$	k_{iiiii}	γo
1	1(30)	3(5.0)	2(2)	2(6)	1(5)	2(1.9)	1(330)
2	2(60)	1(9.0)	1(1)	1(3)	2(8)	1(1.2)	1(330)
3	3(90)	2(2.0)	3(3)	3(9)	3(13)	3(1.5)	1(330)
4	1(30)	2(2.0)	1(1)	2(6)	3(13)	1(1.2)	2(270)
5	2(60)	3(5.0)	3(3)	1(3)	1(5)	3(1.5)	2(270)
6	3(90)	1(9.0)	2(2)	3(9)	2(8)	2(1.9)	2(270)
7	1(30)	1(9.0)	3(3)	1(3)	3(13)	2(1.9)	3(210)
8	2(60)	2(2.0)	2(2)	3(9)	1(5)	1(1.2)	3(210)
9	3(90)	3(5.0)	1(1)	2(6)	2(8)	3(1.5)	3(210)
10	1(30)	1(9.0)	1(1)	3(9)	1(5)	3(1.5)	4(150)
11	2(60)	2(2.0)	3(3)	2(6)	2(8)	2(1.9)	4(150)
12	3(90)	3(5.0)	2(2)	1(3)	3(13)	1(1.2)	4(150)
13	1(30)	3(5.0)	3(3)	3(9)	2(8)	1(1.2)	5(90)
14	2(60)	1(9.0)	2(2)	2(6)	3(13)	3(1.5)	5(90)
15	3(90)	2(2.0)	1(1)	1(3)	1(5)	2(1.9)	5(90)
16	1(30)	2(2.0)	2(2)	1(3)	2(8)	3(1.5)	6(30)
17	2(60)	3(5.0)	1(1)	3(9)	3(13)	2(1.9)	6(30)
18	3(90)	1(9.0)	3(3)	2(6)	1(5)	1(1.2)	6(30)

3 吊放声纳搜潜参数优化仿真与分析

为体现吊放声纳搜潜过程的随机性和对抗性, 采用蒙特卡洛法进行仿真计算。

3.1 吊放声纳蒙特卡洛仿真模型

为尽量符合吊放声纳搜潜实际,并简化仿真过程,作如下假设:

(1) 若在反潜直升机的最大搜索时间内没有 发现目标,则返回;

(2) 当目标与探测点的距离小于吊放声纳有效作用距离 *R*_{0,0},则认为发现潜艇,否则没有发现;

(3) 搜潜海区有且只有1艘潜艇,采取自由的 机动策略,机动模型见文献[8]。

在假设的基础上,依据吊放声纳搜潜过程,确 定概率蒙特卡洛法的仿真计算流程,如图3所示。



图 3 搜潜仿真试验流程 Fig. 3 The flow of submarine search simulation

图中, n_d 取决于直升机留空时间与吊声搜索周 期 T_{BM} ; $t_i=t_{i-1}+T_{\text{BM}}(i=2, 3, \cdots)$; $t_1 = T_{\mathcal{U}\mathcal{U}}^0$, 潜艇位 置 A, B 的坐标是依据潜艇运动模型计算得出,参 见文献[10]。

第 29 卷第 3 期 2017 年 3 月

3.2 仿真试验及结果

设已知反潜直升机巡航速度 200 km/h,换能器 下放深度 120 m,下放和提升速度 3.5 m/s,转弯悬 停等时间为 3 min,潜艇初始航向 0°,最小/最大机 动速度 4 节/12 节,速度、航向变化的时间间隔为 10 min,潜艇航向单次变化幅度不超过 20°。

依据正交试验方案, 需对 18 个试验点的分别 进行仿真。仿真时,每个试验点仿真次数为 N=10⁴ 次。仿真结果如表 3 所示。

3.3 仿真结果分析

由表 3 可知: 第 16 号试验的 *P_f*值最大,为 0.999 0,但 *T_f*比最小值多了近 10 min;第 7 号试 验的 *T_f*值最小,为 1.45 min,而 *P_f*为 0.993 3,与 *P_f*的最大值相差甚微;故综合考虑两个指标,则第 7 号试验为最佳参数组合。

为了研究7个因素对2个试验指标影响的程度 和趋势,做了进一步的分析。

(1) 因素对 Pf影响程度分析

依据表 3,采用极差法对指标 P_f进行分析计 算,结果如表 4 所示。

		Tab. 3	Orthogonal te	st results of s	submarine se	arch using dip	ping sonar		
试验号	$T^0_{\mathfrak{U}\mathfrak{U}}$	$\sigma^{\scriptscriptstyle 0}_{\scriptscriptstyle \overline{m} }$	$N_{\pm m ft}$	$t_{ m ufi}$	$R_{ m Rpm}$	k_{iijE}	γo	P_f	T_f
1	1(30)	3(5.0)	2(2)	2(6)	1(5)	2(1.9)	1(330)	0.734 3	20.97
2	2(60)	1(9.0)	1(1)	1(3)	2(8)	1(1.2)	1(330)	0.023 0	37.06
3	3(90)	2(2.0)	3(3)	3(9)	3(13)	3(1.5)	1(330)	0.706 1	30.55
4	1(30)	2(2.0)	1(1)	2(6)	3(13)	1(1.2)	2(270)	0.997 5	1.48
5	2(60)	3(5.0)	3(3)	1(3)	1(5)	3(1.5)	2(270)	0.262 1	26.95
6	3(90)	1(9.0)	2(2)	3(9)	2(8)	2(1.9)	2(270)	0.150 1	32.46
7	1(30)	1(9.0)	3(3)	1(3)	3(13)	2(1.9)	3(210)	0.993 3	1.45
8	2(60)	2(2.0)	2(2)	3(9)	1(5)	1(1.2)	3(210)	0.002 8	71.10
9	3(90)	3(5.0)	1(1)	2(6)	2(8)	3(1.5)	3(210)	0.006 3	40.16
10	1(30)	1(9.0)	1(1)	3(9)	1(5)	3(1.5)	4(150)	0.030 9	21.97
11	2(60)	2(2.0)	3(3)	2(6)	2(8)	2(1.9)	4(150)	0.922 3	38.19
12	3(90)	3(5.0)	2(2)	1(3)	3(13)	1(1.2)	4(150)	0.808 4	28.37
13	1(30)	3(5.0)	3(3)	3(9)	2(8)	1(1.2)	5(90)	0.882 7	19.44
14	2(60)	1(9.0)	2(2)	2(6)	3(13)	3(1.5)	5(90)	0.992 1	19.23
15	3(90)	2(2.0)	1(1)	1(3)	1(5)	2(1.9)	5(90)	0.002 2	48.40
16	1(30)	2(2.0)	2(2)	1(3)	2(8)	3(1.5)	6(30)	0.999 0	11.38
17	2(60)	3(5.0)	1(1)	3(9)	3(13)	2(1.9)	6(30)	0.743 6	26.79
18	3(90)	1(9.0)	3(3)	2(6)	1(5)	1(1.2)	6(30)	0.006 1	34.69

$\overline{X} = P_{f} \Gamma \overline{X} \overline{X} \overline{M} \overline{M} \overline{M} \overline{M} \overline{M} \overline{M} \overline{M} M$	表 4	Pe正交试验结果分析
--	-----	------------

			Tab. 4 Orthogo	onal test results a	analysis of P_f			
试验号	T ⁰ 延迟	$\sigma^{\scriptscriptstyle 0}_{\scriptscriptstyle \overline{m} }$	$N_{\pm \pm \pi \pi}$	$t_{ m spin}$	$R_{_{\mathrm{F}\!E}}$	$k_{ m inite}$	γo	P_f
Ι	0.773	0.366	0.301	0.515	0.173	0.453	0.488	
II	0.491	0.605	0.615	0.610	0.497	0.591	0.470	
III	0.280	0.573	0.629	0.420	0.874	0.499	0.334	0.515
IV	-	-	-	-	-	-	0.587	0.313
V	-	-	-	-	-	-	0.626	
VI	-	-	-	-	-	-	0.583	
极差	0.493	0.239	0.328	0.190	0.700	0.138	0.292	

第 29 卷第 3 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 3
2017年3月	Journal of System Simulation	Mar., 2017

由表 4 可知, $T_{\underline{H}\underline{U}}^0$, $\sigma_{\underline{H}\overline{h}}^0$ 越小, $N_{\underline{I}\underline{H}\underline{H}}$, $R_{\overline{H}\underline{h}}$, $k_{\underline{H}\underline{B}\underline{B}}$ 越大, 则 P_f 越大; 而 $t_{\underline{H}\underline{H}}$ 不宜过大或过小。当 $N_{\underline{I}\underline{H}\underline{H}}$ 增加到 2 架时, P_f 显著提高, 但增加到 3 架 时, P_f 增幅很小, 故 $N_{\underline{I}\underline{H}\underline{H}}$ 不宜过大, 2~3 为宜。

此外, P_f极差最大的是 R_{B声}, 即吊放声纳有效 作用距离对发现概率影响最大, 然后依次是 T⁰_{延迟}、 N_{直升机、 Y0}、 $\sigma^0_{\text{目标}}$ 、 t_{听测}、 k_{问距};因而,为提高 P_f, 一方面必须改善吊放声纳性能,另一方面尽量缩短 延迟时间、增加直升机数量,而 k_{问距}在 1~2 之间取 值时对 P_f的影响较小。

(2) 因素对 Tf影响程度分析

依据表 3,采用极差法分别对指标 T_f进行分析 计算,结果如表 5 所示。

表 5 T_f正交试验结果分析

	Tab. 5 Orthogonal test results analysis of T_f								
试验号	$T^0_{\mathfrak{K}\mathfrak{U}}$	$\sigma^{\scriptscriptstyle 0}_{\scriptscriptstyle \! k \!\! }$	$N_{\rm aff}$	$t_{ m ff}$	$R_{\mathrm{R}^{\mathrm{B}^{\mathrm{B}}}}$	k_{iiiiii}	γo	T_f	
Ι	12.78	24.48	29.31	25.60	37.35	32.02	29.53		
II	36.56	33.52	30.59	25.79	29.78	28.05	20.30		
III	35.77	27.12	25.21	33.72	17.98	25.04	37.57	28 27	
IV	-	-	-	-	-	-	29.51	20.37	
V	-	-	-	-	-	-	29.02		
VI	-	-	-	-	-	-	24.29		
极差	23.77	9.04	5.37	8.12	19.37	6.98	17.27		

由表 5 可知,对 T_f 影响对大的是 $T_{\overline{\mu}\overline{\nu}}^0$,其次 是 $R_{\overline{n}\overline{\nu}}$,再次是 γ_0 。当 γ_0 取为 270°时, T_f 有最小 值 20.30 min,此时,第1架直升机第1个探测点 与第2架直升机第1个探测点连线的方位,正好是 潜艇航向的初始方位。

表 5 中, *T_f*最大值为 37.57 min, 即:如果能 够发现潜艇目标,则超过 98%是在前 6 个探测点之 内发现目标的。换句话说,在仿真条件下,吊放 声纳探测点的数据不需超过 6 个,如果继续搜索, 能够发现目标的概率非常小,即:总搜索时间不 宜过长。

(3) 因素的综合影响分析

由表 4 对 P_f分析中,对于 t_{听测},有: II₂₍₆₎>I₁₍₃₎>III₃₍₉₎,表明 3个水平中,2(6)最佳,而 1(3)优于 3(9)。结合表 4~5 对其它因数进行类似分 析,可得出如表6所示结果。

Tab. 6		The optimum level of each factor					
试验指标	$T^0_{\mathfrak{K}\mathfrak{U}}$	$\sigma^{\scriptscriptstyle 0}_{\scriptscriptstyle \! {\scriptscriptstyle k \!$	$N_{\pm \pm \pi}$	t_{ff}	$R_{\mathrm{R}^{\mathrm{B}^{\mathrm{B}}}}$	k_{iiii}	γo
P_f	1(30)	2(2.0)	3(3)	2(6)	3(13)	2(1.8)	5(90)
T_f	1(30)	1(9.0)	3(3)	1(3)	3(13)	3(1.5)	2(270)

由表可知,对不同试验指标,各因素的最佳水 平值并非全部一致: $T_{\mathcal{I}_{\mathcal{U}\mathcal{U}}}^{0}$, $N_{\pm \beta \pi n}$, $R_{\pi b}$ 3 个因素 一致,而 $\sigma_{\Pi k}^{0}$, $t_{m m}$, $k_{\Pi m}$, γ_{0} 并不一致。这是因为 P_{f} 最大时, T_{f} 并不是最小,这是符合实际的。因此, 在制订吊放声纳搜索方案时,应根据作战企图的侧 重,确定作战指标,然后在因素水平取值上有所偏 重。

4 结论

吊放声纳是反潜直升机独有的对潜搜索器材, 其搜索参数的合理设置可有效提高反潜直升机的 搜潜效能。采用正交试验设计和蒙特卡洛法仿真, 研究了 7 个因素影响下的吊放声纳搜潜参数优化 问题,得出以下结论:

(1) 正交试验设计方法可较好地解决多因素同时变化下的吊放声纳搜潜参数优化问题;仿真条件下,若综合考虑2个试验指标,则第7号试验的各因素水平最佳;

(2) 吊放声纳有效作用距离对发现概率指标 影响最大,延迟时间对于发现潜艇的平均花费时间 指标影响最大;

(3) 从有效运用兵力的角度,并非搜索时间越 长越好,在仿真条件下,直升机总搜潜时间不宜超 过完成6个探测点搜索所需时间,若继续搜索,能 发现目标的概率很小;

(4) 对不同的搜潜指标,因素的影响趋势不尽 相同,延迟时间、出动兵力数量、吊放声纳有效作 用距离等 3 个因素对 2 个试验指标的影响趋势一 致,其他的因素不一致,故在制订吊放声纳搜索方 案时,应根据作战指标要求,在因素水平设置上有 所侧重。 第 29 卷第 3 期 2017 年 3 月

参考文献:

- 孙明太. 航空反潜战术 [M]. 北京: 军事科学出版社, 2003. (Sun M T. Aviation Antisubmarine tactics [M]. Beijing, China: Military Science Press, 2003.)
- [2] 罗木生,姜青山,沈培志,等. 反潜直升机侧翼伴随巡逻 搜 潜 建 模 与 仿 真 [J]. 航 空 学 报, 2015, 36(3):
 921-928. (Luo M S, Jiang Q S, Shen P Z, et al. Modeling and Simulation of Antisubmarine Helicopter Flank-accompany Patrol Search [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2015, 36(3): 921-928.)
- [3] Martin J. Multiplying the effectiveness of helicopter ASW sensors [J]. Sea Technology (S0093-3651), 2006, 47(11): 33-36.
- [4] 罗木生,姜青山,侯学隆. 正态圆分布下的双机吊放 声纳扩展方形搜潜 [J]. 电光与控制, 2012, 19(7): 1-4.
 (Luo M S, Jiang Q S, Hou X L. Modeling of search submarine distributed in a circular bivariate normal distribution by two helicopters in extended squared search using dipping sonar [J]. Electronics optics & Control, 2012, 19(7): 1-4.)
- [5] Donald R D, Hemsteter K P. GRASP multi-sensor search tactics against evading targets [R]. USA: Naval Research Laboratory, 2002.
- [6] Cesar J R. A reactive target active ASW sonar search tactical decision aid [D]. Monterey, California, USA: Naval Postgraduate School, 1996.
- [7] 吴芳,杨日杰.多机吊放声纳应召搜潜建模与仿真
 [J]. 航空学报, 2009, 30(10): 1948-1953. (Wu F, Yang R J. Model building and simulation based on definite second time submarine search by multi-aircraft dipping sonar [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(10): 1948-1953.)
- [8] 罗木生,姜青山,侯学隆. 直升机使用吊声应召反潜 兵力需求仿真 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(6): 1277-1281. (Luo M S, Jiang Q S, Hou X L. Simulation of the optimum helicopter force in definite second time submarine search by dipping sonar [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2012, 24(6):1277-1281.)
- [9] 吴福初, 王磊, 刘卫东. 反潜直升机吊放声纳搜潜效能[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(11): 72-75. (Wu F C, Wang L, Liu W D. Discussion about Search Efficiency Model of Dipping Sonar [J]. Fire Control and Command Control, 2010, 35(11): 72-75.)
- [10] 孙明太, 王涛, 赵绪明. 反潜直升机吊声搜潜效能的 建模仿真 [J]. 火力指挥与控制, 2005, 30(6): 33-36.
 (Sun M T, Wang T, Liu W D. Modeling and simulation

the efficiency of the dipping sonar on the antisubmarine helicopter [J]. Fire Control and Command Control, 2005, 30(6): 33-36.)

- [11] 徐享忠, 于永涛, 刘永红. 系统仿真 [M]. 2版. 北京: 国防工业出版社, 2012: 241-242. (Xu H Z, Yu Y T, Liu Y H. System Simulation [M]. 2nd ed. Beijing, China: National Defense Industry Press, 2012: 241-242.)
- [12] 常显奇,程永生.常规武器装备试验学 [M].北京:国防工业出版社,2007:67-68. (Chang X Q, Cheng Y S. Conventional Weapons Test Study [M]. Beijing, China: National Defense Industry Press, 2007:67-68.)
- [13] 杨剑春,王延荣. 基于正交试验设计的空心叶片结构 优化设计 [J]. 航空动力学报, 2011, 26(2): 376-384.
 (Yang J C, Wang Y R. Structural Optimization of Hollow Fan Blade Based on Orthogonal Experimental Design [J]. Journal of Aerospace Power, 2011, 26(2): 376-384.)
- [14] 汪冬华. 多元统计分析与SPSS应用 [M]. 上海: 华东 理工大学出版社, 2010: 57-58. (Wang D H. Multivariate statistical analysis and SPSS applications [M]. Shanghai, China: East China University of Science and Technology Press, 2010: 57-58.)
- [15] 肖艳. 参数设计分析及优化模式研究 [D]. 西安: 西北 工业大学, 2004. (Xiao Y. Study on parameter design and optimization model [D]. Xi'an, China: Northwestern Polytechnical University, 2004.)
- [16] 唐明南,张维刚,宋海凌,等. 防空导弹武器中末制导交班灵敏度分析 [J]. 现代防御技术, 2012, 40(2): 36-41. (Tang M N, Zhang W G, Song H L, et al. Sensitivity Analysis of Handover from Midcourse to Terminal Guidance about the Air Defense Missile Weapon [J]. Modern Defence Technology, 2012, 40(2): 36-41.)
- [17] 曹营军, 冯武斌, 毕晓蒙, 等. 基于正交试验设计的末 修弹脉冲参数优化研究 [J]. 弹箭与制导学报, 2012, 32(6): 136-139. (Cao Y J, Feng W B, Bi X M, et al. The Research on Pulse Parameter Optimization of Terminal Trajectory Correction Projectile Based on Orthogonal Experimental Design Method [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2012, 32(6): 136-139.)
- [18] 李响, 邢清华, 董涛, 等. 基于多指标正交实验设计的UAV编队配系优化 [J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(2): 331-337. (Li X, Xing Q H, Dong T, et al. Deployment Optimization of UAV Formation Based on Multi-index Orthogonal Experimental Design [J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(2): 331-337.)