

文章编号:1674-8190(2019)03-396-05

# 舰载直升机远程目标指示系统的误差分析

袁大天, 于芳芳, 陈亮

(中国飞行试验研究院 航电所, 西安 710089)

**摘要:** 在目标指示系统的飞行试验中, 我们面临如何能在评估其指标符合性的同时, 评估目标指示系统的误差对其使用能力的影响问题。为研究目标指示系统精度与使用能力的评判方法, 对目标指示误差与武器打击效果的关系进行分析, 建立基于水面舰艇当前点攻击和预测点攻击方式下的目标指示系统误差模型, 分析不同目标指示方式下的误差分布, 将目标指示误差与武器捕获概率的关系转化为目标指示误差与导弹自控终点落入指定区域概率的关系。结果表明: 两种攻击方式下的目标指示误差均服从二维正态分布, 当目标指示误差增大时, 武器捕获概率显著下降, 若需保证武器攻击效果, 则对应目标指示误差的下限值, 该下限值为舰载直升机远程目标指示系统飞行试验方法提供了参考。

**关键词:** 舰载直升机; 远程目标指示; 误差分析; 捕获概率; 飞行试验

中图分类号: V275+.1

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2019.03.014

## Error Analysis of Remote Target Indication System for Ship-based Helicopter

Yuan Datian, Yu Fangfang, Chen Liang

(Avionics Institute, Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** In the flight test of target indication system, we are faced with the problem of how to evaluate the effect of the error of target indication system on its operational capability while evaluating its index conformance. To study the method of evaluating the precision and capability of target indication system, the relationship between target indication error and weapon strike effect is analyzed, and the error model of target indication system based on current point attack and predictive point attack mode of surface warship is established. The relationship between the target indication error and the weapon acquisition probability is transformed into the relationship between the target indication error and the probability of the missile terminal falling into the designated area. The results show that the target indication errors under the two attack modes obey the two-dimensional normal distribution. When the target indication errors increase, the probability of Weapon Acquisition decreases significantly. If the effect of weapon attack is to be guaranteed, there must be the corresponding lower limit of target indication error. The lower limit provides a reference for the flight test method of ship-based helicopter long-range target indication system.

**Key words:** ship-based helicopter; remote target indication; error analysis; acquisition probability; flight test

收稿日期: 2018-08-16; 修回日期: 2018-11-07

基金项目: 中航工业联合基金(6141B05110101)

通信作者: 袁大天, yuandatian@163.com

引用格式: 袁大天, 于芳芳, 陈亮. 舰载直升机远程目标指示系统的误差分析[J]. 航空工程进展, 2019, 10(3): 396-400, 406.

Yuan Datian, Yu Fangfang, Chen Liang. Error analysis of remote target indication system for ship-based helicopter[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2019, 10(3): 396-400, 406.

## 0 引言

美国海军在1987年提出编队协同作战能力的概念,在原来C3I(Command, Control, Communication and Intelligence)系统的基础上为加强海上舰队防空/反舰能力而研制的作战指挥控制系统。远程目标指示功能是海军作战编队协同作战能力(CEC, Cooperative Engagement Capability)中的一项重要应用。现代海战超视距导弹攻击已成为水面舰艇反舰作战的主要作战样式,但众所周知,由于受地球曲率的影响,一般的舰载雷达只能探测到海面视距范围内的目标,单独舰艇无法完成对海面目标的超视距打击,利用舰载直升机远程目标指示系统则可以建立信息通道,完成对海面目标的超视距打击,目标指示的精度直接决定反舰导弹能否有效捕获及命中目标<sup>[1]</sup>,因而对目标指示系统的试验主要集中在对目标指示系统精度的评估和分析。

国内在远程目标指示系统领域开展了一定的研究。刘占荣<sup>[2]</sup>对海上远程精确攻击体系的构成、传感器网、信息传输网、远程目标指示系统的组成以及美国和前苏联远程目标指示系统的特点进行了分析;在导弹捕获概率方面,雷志东等<sup>[3-7]</sup>采用在一定的假设条件下,对雷达作用距离、惯导精度、陀螺漂移、目标运动、战区风场变化以及射击方式进行分析,建立导弹捕获概率模型,并对上述因素对导弹捕获概率的影响进行仿真计算;张山<sup>[8]</sup>通过分析典型超视距雷达和直升机目标定位方法的精度误差来源及构成,提出了舰载雷达和直升机在远程定位的作战使用中的战术要求,并以互瞄定位法为主,分析了舰载直升机远程定位的精度;在研究潜艇在使用目标信息来源时的导弹雷达捕捉概率方面,聂永芳<sup>[9]</sup>采用计算人工装订、声呐探测、雷达探测和远程目标指示四种方式对导弹雷达捕捉概率影响,给出其各自的使用特点;通过对可变搜索区末制导雷达的捕获模型的建立,王光辉<sup>[10]</sup>给出了该型雷达目标捕获的精度;贺浩<sup>[11]</sup>总结了某型直升机远程目标指示功能试验试飞的经验,给出了该型远程目标指示系统试飞特点;申战胜<sup>[12]</sup>通过对多源航迹法、单源目标法、接力和双边等目标指示方法的分析,给出了上述目标指示方法的优缺点及其对作

战的影响。

相关学者对远程目标指示精度对导弹捕获概率的研究相对较少,本文从远程目标指示误差分析入手,根据命中原理给出导弹捕获概率与目标指示精度的关系,以期为舰载直升机远程目标指示系统的飞行试验提供支撑和参考。

## 1 舰载直升机的远程目标指示系统

带有对海雷达和战术数据链设备的舰载直升机,由于其具有定位距离远、精度高、指挥方便、使用灵活等特点,在多种超视距定位方法中成为实现超视距目标指示的基本手段。

舰载直升机的远程目标指示系统应能实现远程目标探测、远程目标信息传输、目标信息综合处理三大功能。远程目标探测是指舰载直升机必须具备与远程精确打击武器所承担的作战任务相适应的探测、识别能力,对远程打击行动范围内的重要目标实施全时、全天候的目标探测跟踪。利用其警戒雷达、敌我识别等传感器探测、识别到敌方目标。远程目标信息传输能力应与远程打击平台的前出距离相匹配,保证远程目标指示信息在远程打击平台与远程目标指示信息发送节点之间的及时、可靠传输,为海上远程精确打击作战提供安全、可靠、快速、高效、综合的战场目标指示信息与火力通道组织信息的传输。目标信息综合处理是指装载远程打击武器的平台需要精确、完整、及时的目标位置信息与目标运动要素,要求远程目标定位处理,并对误差进行修正,以便其能够对目标精确定位跟踪解算、误差修正及目标识别,进行可攻性判断,对岸海空一体化远程武器实施火力通道组织、战斗毁伤效果评估以及信息分发控制、实施海上远程打击作战的岸海空信息分布式综合处理。

目前,利用舰载直升机进行超视距目标指示的主要方法是以舰载直升机为中继站,利用机载雷达实现对目标的探测、识别和跟踪,并通过机载数据链系统向舰指挥所发送目标的位置信息,综合本舰和直升机传输下来的战术数据,解算目标坐标和运动参数,从而完成超视距目标指示的任务。舰载直升机远程目标指示工作示意图如图1所示。

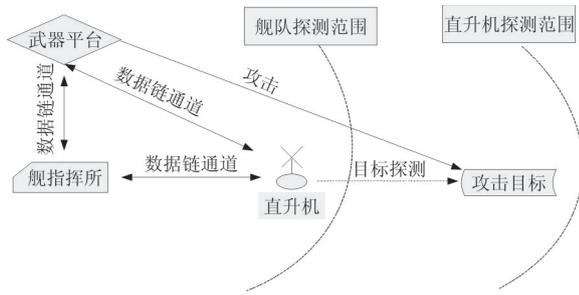


图 1 舰载直升机远程目标指示示意图

Fig.1 Schematic diagram of remote target indication system for ship-based helicopters

## 2 远程目标指示系统的误差模型

### 2.1 远程目标指示模型

远程目标指示模型主要有两种形式：提供目标位置参数，目标运动参数未知；提供目标位置参数（方位、距离、经度、纬度）和目标运动参数（航速、航向）。

(1) 目标指示提供位置参数，航速、航向参数未知，目标指示误差及目标运动所造成的目标散布区域如图 2 中圆形部分所示，该区域是以目标当前坐标点为圆心，以目标最大可能运动到的位置为半径，即  $R = T \times V_{\max}$ ，形成的圆形区域。反舰导弹实施当前点攻击方式，对应误差为指示位置误差与目标运动误差的综合，其模型可以用目标位置散布区外接圆的均方差来表示，目标散布点的方差服从于二维正态分布，且必然落在 3 倍均方差椭圆内，因此可以确定远程目标位置综合误差均方差为：

$$\sigma_{lx} = \sigma_{ly} = \sqrt{[\sigma_p^2 + \sigma_{V_{\max}}^1]} \quad (1)$$

$$\sigma_{V_{\max}} = V_{\max} T/3 \quad (2)$$

式中： $V_{\max}$  为目标运动最大可能速度； $T$  为提供目标指示到导弹自控终点飞行时间。

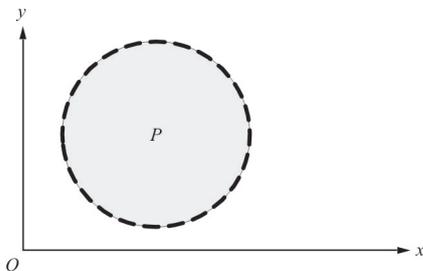


图 2 提供位置参数的目标散布区域

Fig.2 Target dispersion area providing location parameters

(2) 目标指示提供位置、航速、航向参数，目标指示误差所造成的目标散布区域如图 3 中 ABCD 所示区域。该类远程目标指示下，反舰导弹实施预测点攻击方式，对应误差为指示位置误差与指示航速、航向误差的综合，对应误差模型，可以用目标位置散布区外接椭圆的均方差来表示，该方差服从于二维正态分布，其中远程目标指示航速、航向参数对应的椭圆均方差分别为：

$$\sigma_v = \Delta V \times T \quad (3)$$

$$\sigma_H = \Delta H \times V \times T \quad (4)$$

式中： $\Delta V$  为目标指示速度误差 ( $1\sigma$ )； $T$  为提供目标指示到导弹自控终点飞行时间； $\Delta H$  为目标指示航向误差 ( $1\sigma$ , 弧度)； $V$  为目标指示速度。

将目标指示航速、航行误差导致的目标运动位置误差进行相应坐标变换，并与目标指示位置误差合成，形成目标指示综合误差为：

$$\sigma_{mx} = \sqrt{[\sigma_{px}^2 + \sigma_v^2]} \quad (5)$$

$$\sigma_{my} = \sqrt{[\sigma_{py}^2 + \sigma_H^2]} \quad (6)$$

式中： $\sigma_{mx}$  和  $\sigma_{my}$  分别为将目标指示位置误差分解到坐标  $x$  和  $y$  方向上的误差的均方差。

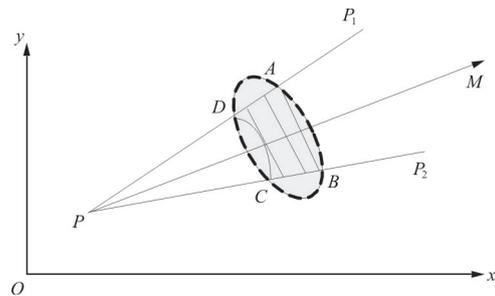


图 3 提供位置和运动参数的目标散布区域

Fig.3 Target scatter area providing location and motion parameters

### 2.2 目标指示误差对导弹捕获概率的影响分析

影响导弹捕获概率的主要因素有，反舰导弹在大航程自控终点的落点散布、目标机动、弹上末制导雷达的探测距离等，而目标指示系统误差则直接影响导弹自控终点的散布。因此目标指示系统的试验不仅要目标指示系统自身的精度进行评估，还应该分析目标指示误差对导弹自控终点散布，进

而明确对导弹捕获概率的影响。

一般地,导弹对目标的捕获概率是一个二维分布的正态函数,可分别由相互独立的俯仰(垂直)捕获概率  $P_y$  和方位(水平)捕获概率  $P_x$  组成。鉴于反舰导弹的搜索方式,导弹对目标的纵向捕获概率可近似为 1,则导弹的捕获概率可近似用横向捕获概率代替,即

$$P_B = P_x \times P_y \approx P_y$$

当导弹飞行至自控终点时,导弹未制导雷达开机,在一定的扇面内进行搜索。只要目标出现在未制导雷达的搜索范围内,未制导雷达就能可靠捕获目标,显而易见,自控终点的散布对于导弹的捕获概率非常重要。

一般地,所要打击的目标应在导弹飞行方向上,即目标初始位置点应位于导弹自控终点前方,落入由导弹雷达搜索范围角和雷达搜索距离上下限所构成的导弹捕获区内,不同的导弹自控终点对应有不同的目标捕获概率,即存在这样一个自控终点散布区域  $D$ ,在该区域内,导弹雷达开机即可捕获目标,因此,导弹捕获概率可等效为导弹自控终点落入区域  $D$  的概率,目标指示误差对导弹捕获概率的影响可等效为目标指示误差对自控终点落入区域  $D$  的概率的影响。导弹目标位置初始装订点为远程目标指示系统输入的目标位置点,则根据概率统计规律,导弹自控终点相对目标指示系统输入位置点误差的分布可以认为是  $X$  方向和  $Y$  方向上独立的正态分布,则:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad (-\infty < x < +\infty) \quad (7)$$

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad (-\infty < y < +\infty) \quad (8)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right]} \quad (-\infty < x, y < +\infty) \quad (9)$$

假设均值  $\mu_x = \mu_y = 0$ , 以及有  $\sigma_x = \sqrt{\sigma_{mx}^2 + \sigma_{ey}^2}$ ,  $\sigma_y = \sqrt{\sigma_{my}^2 + \sigma_{ex}^2}$ , 式中  $\sigma_{ex}$  和  $\sigma_{ey}$  为导弹惯导的漂移误差,为了便于分析,在此忽略,则有  $\sigma_x = \sigma_{mx}$ ,  $\sigma_y = \sigma_{my}$ 。

导弹自控终点的散布区域  $D$  还与导弹雷达性能,包括天线扫描范围,雷达作用距离等有关系。直角坐标转为极坐标下可表示为:

$$x = [(R+r)/2] - \rho \cos\theta \quad (10)$$

$$y = \rho \sin\theta \quad (11)$$

式中:  $r < \rho < R$ ,  $-\varphi < \theta < \varphi$ ,  $\varphi$  为雷达天线波束扫描范围;  $r$  为导弹雷达搜索距离下限;  $R$  为雷达搜索距离上限。

综上所述,导弹自控终点落入区域  $D$  的概率为:

$$p = \iint_D f(x, y) dx dy \quad (12)$$

将式(10)、式(11)代入,得到

$$p = \iint_D f(\rho \cos\theta, \rho \sin\theta) \rho d\rho d\theta \\ = \int_r^R \int_{-\varphi}^{\varphi} \frac{\rho}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(\rho \cos\theta - (R+r)/2)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(\rho \sin\theta)^2}{\sigma_y^2} \right]} d\rho d\theta \quad (13)$$

由此可见,导弹自控终点落入区域  $D$  的概率(在该区域雷达开机即可截获目标)是目标指示位置误差、雷达作用距离、导弹飞行时间的函数,假设忽略导弹惯导陀螺漂移、初始对准精度对目标捕获概率的影响,输入参数确定后,即可由式(13)求导弹自控终点落入区域  $D$  的概率(可等效捕获概率),同样,若捕获概率等参数一定,也可获得对目标指示精度的要求。

以某型舰载直升机为例,在试验前对其目标指示误差与等效捕获概率进行分析,给出试验结果参考值。假定:导弹射程为 500 km,飞行速度为 0.9 Ma,雷达最大作用距离为 80 km,雷达扫描范围为  $\pm 40^\circ$ ,雷达最小作用距离为 3 km,目标舰航速为 0~35 kt,实施当前点攻击。

远程目标指示系统提供目标位置参数,目标运动参数未知,通过计算可得不同目标位置误差条件下对应导弹捕获概率结果,如表 1 所示。

目标指示系统提供目标位置误差与等效导弹捕获概率的关系如图 4 所示,随着位置误差的增大,导弹捕获概率显著下降。若需保证导弹对运动目标捕获概率到达 75% 以上,目标指示系统位置误差位置应小于 9 km; 需保证导弹捕获概率到达 80% 以上,目标指示系统位置误差参数应小于 6 km。

表 1 位置误差与自控终点落入区域  $D$  概率的关系  
Table 1 Relationship between position error and probability of Auto-control Terminal Point falling into area  $D$

序号	目标指示位置误差/km	自控终点落入区域 $D$ 的概率 (等效导弹捕获概率)	
		固定目标	运动目标
1	0	0.985	0.852
2	1	0.983	0.841
3	2	0.981	0.838
4	3	0.979	0.831
5	4	0.975	0.819
6	5	0.969	0.811
7	6	0.952	0.802
8	7	0.943	0.784
9	8	0.923	0.769
10	9	0.902	0.746
11	10	0.876	0.725
12	12	0.825	0.683
13	14	0.764	0.636
14	16	0.701	0.591
15	18	0.639	0.542
16	20	0.578	0.497

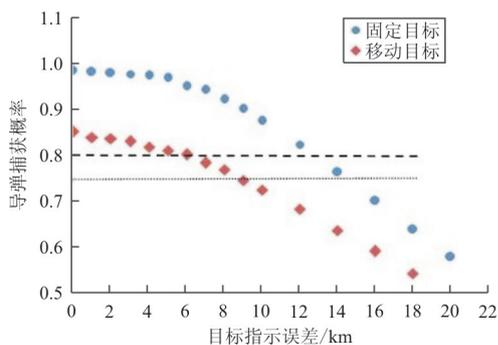


图 4 目标指示位置误差对导弹捕获概率的影响

Fig. 4 Influence of target indication position error on missile acquisition probability

### 3 远程目标指示系统试验简介

远程目标指示系统试验的主要目的是评估目标指示误差与指标的符合性,随着试验要求的不断提高和试验技术的提升,远程目标指示系统试验不断的加强对用户需求的关注,由上述仿真分析可得出,导弹捕获概率与远程目标指示误差息息相关,因此,在进行试验设计时,不仅要考虑指标符合性验证,更要考虑实际使用效果。

一般地,远程目标指示系统试验时,可设计舰载直升机的航线垂直于两船连线中心往返飞行,参

与试验的各方均在同一数据链网内,首先开展链路功能检查,入网正常后,开展远程目指功能和精度检查。

舰载直升机远程目标指示系统试验涉及空中、海上等多种试验配试资源,如何能高效的获取试验数据以及复杂电磁环境下数据通道的传输可靠性与实时性是下一步工作需要继续探讨验证的内容。

## 4 结 论

(1) 舰载直升机远程目标指示误差分为两类,即提供目标位置参数的综合误差和提供目标位置和运动参数的综合误差,这两类误差均服从二维正态分布。

(2) 目标指示位置误差影响导弹自控终点的散布,而导弹自控终点的散布显著影响导弹捕获概率,导弹捕获概率可等效为导弹自控终点落入指定区域的概率,目标指示误差对导弹捕获概率的影响可等效为目标指示误差对自控终点落入指定区域的概率的影响。

(3) 导弹捕获概率随着目标指示误差的增大而显著下降,在试验中不仅要评估目标指示误差的指标符合性,还应关注使用效果,即根据一定的导弹捕获概率给出目标指示误差的下限值。

### 参考文献

- [1] 吴惠喜. 目标指示数据老化时间对中远程反舰导弹有效射击距离的影响研究[J]. 战术导弹技术, 2010(5): 16-19.  
Wu Huixi. Research on the impact of the aging time of target indication datum to the effective shooting distance of medium and long rang anti-ship missile[J]. Tactical Missile Technology, 2010(5): 16-19. (in Chinese)
- [2] 刘占荣. 海上远程精确打击体系的构成[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2003(9): 1-12.  
Liu Zhanrong. Constitution of maritime long-range precision strike system[J]. Intelligence Command Control and Simulation Techniques, 2003(9): 1-12. (in Chinese)
- [3] 雷志东. 中远程反舰导弹一次捕获概率初探[J]. 战术导弹技术, 2004(6): 35-38.  
Lei Zhidong. A preliminary study of one-time capturing probability of medium-long range anti-ship missile[J]. Tactical Missile Technology, 2004(6): 35-38. (in Chinese)
- [4] 孙建华. 距离选择波门对导弹捕捉概率的影响分析[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(增刊 1): 170-174.  
Sun Jianhua. The influence analysis of select wave door in distance in calculating the probability of arresting target of missiles[J]. Fire Control & Command Control, 2005, 30 (S1): 170-174. (in Chinese)

(下转第 406 页)

## 参考文献

- [1] 王建培, 王忠俊. 平衡场长的计算与影响因素分析[J]. 维普资讯, 1989, 11(14): 35-43.  
Wang Jianpei, Wang Zhongjun. The calculation of balanced field length and the influence factors analysis[J]. VIP Information, 1989, 11(14): 35-43. (in Chinese)
- [2] Visser H G. Optimization of balanced field length performance of multi-engine helicopters[J]. Journal of Aircraft, 2000, 37(4): 598-605.
- [3] 向孙祖, 郭献之, 白璐, 等. CJ828 大型客机平衡场长分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2013(S1): 56-59.  
Xiang Sunzu, Guo Xianzhi, Bai Lu, et al. Analysis of equilibrium field length for CJ828 large passenger aircraft[J]. Civil Aircraft Design & Research, 2013(S1): 56-59. (in Chinese)
- [4] 余俊雅, 赵涛. 运输类飞机平衡场长的计算[J]. 飞行力学, 1997, 15(4): 62-67.  
Yu Junya, Zhao Tao. The calculation on balanced field length for transport aircraft[J]. Flight Dynamics, 1997, 15(4): 62-67. (in Chinese)
- [5] 常振亚. 飞机飞行性能计算手册[M]. 西安: 飞行力学, 1987: 12-26.  
Chang Zhenya. Aircraft flight performance calculation manual[M]. Xi'an: Flight Mechanics Journal Press, 1987: 15-26. (in Chinese)
- [6] 中国民航局. CCAR-25-R4 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民航局, 2011.  
Civil Aviation Administration of China. CCAR-25-R4 airworthiness standards for transport aircraft[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [7] 王冲, 邱志平, 王晓军, 等. 基于灵敏度分析的结构——声学鲁棒优化设计[J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40(4): 512-516.  
Wang Chong, Qiu Zhiping, Wang Xiaojun, et al. Robust optimization of coupled structural-acoustic systems based on sensitivity analysis[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2014, 40(4): 512-516. (in Chinese)

## 作者简介:

张俐娜(1986—),女,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机飞行性能设计与计算。

王世涛(1974—),男,学士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机飞行性能设计与计算。

刘小川(1983—),男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机飞行性能设计与计算。

(编辑:沈惺)

## (上接第 400 页)

- [5] 何文涛. 超视距反舰导弹捕捉能力[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(6): 16-18.  
He Wentao. On catching probability of OTH anti-ship missiles[J]. Fire Control & Command Control, 2005, 30(6): 16-18. (in Chinese)
- [6] 陈力. 反舰导弹目标捕捉概率影响因素分析[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(6): 86-88.  
Chen Li. Analysis of the factors affecting anti-ship missile's target-acquiring probability[J]. Fire Control & Command Control, 2010, 35(6): 86-88. (in Chinese)
- [7] 旷志高. 反舰导弹纯方位发射捕捉概率计算方法[J]. 火力与指挥控制, 2003, 28(5): 109-112.  
Kuang Zhigao. Calculation method for capturing probability of anti-ship missiles in bearings only firing[J]. Fire Control & Command Control, 2003, 28(5): 109-112. (in Chinese)
- [8] 张山. 水面舰艇超视距目标定位方法及精度分析[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(9): 34-36.  
Zhang Shan. Over-the-horizon target localization method and accuracy analysis for surface force[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(9): 34-36. (in Chinese)
- [9] 聂永芳. 不同目标指示方式潜舰导弹雷达捕捉概率研究[J]. 战术导弹技术, 2009(5): 48-50.  
Nie Yongfang. Research on radar acquisition probability of sub-to-ship missile in various target indicating method[J]. Tactical Missile Technology, 2009(5): 48-50. (in Chinese)
- [10] 王光辉. 可变搜索区末制导雷达捕捉模型[J]. 火力与指挥控制, 2005, 30(4): 32-34.  
Wang Guanghui. The acquiring target model of changeable searching zone homing radar[J]. Fire Control & Command Control, 2005, 30(4): 32-34. (in Chinese)
- [11] 贺浩. 直升机远程目标指示功能试飞研究[J]. 中国新通信, 2016(8): 122-123.  
He Hao. Flight test of helicopter remote target indication function[J]. China New Telecommunications, 2016(8): 122-123. (in Chinese)
- [12] 申战胜. 水面舰艇超视距导弹攻击的远程目标指示方法解析[J]. 飞航导弹, 2011, 21(4): 87-89.  
Shen Zhansheng. Analysis of remote target indication method for over the horizon missile attack of warship[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2011, 21(4): 87-89. (in Chinese)

## 作者简介:

袁大天(1977—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:综合航电系统试飞、指挥控制系统试飞。

于芳芳(1980—),女,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞行安全管理研究。

陈亮(1986—),男,本科,工程师。主要研究方向:综合航电系统试飞。

(编辑:沈惺)