

引用格式:许俊飞,卢发兴,王航宇,等.新型舰炮对海作战能力需求分析[J].电光与控制,2019,26(5):26-31,85. XU J F, LU F X, WANG H Y, et al. Anti-sea combat capability requirement analysis of new naval guns[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(5):26-31, 85.

新型舰炮对海作战能力需求分析

许俊飞, 卢发兴, 王航宇, 吴玲
(海军工程大学, 武汉 430033)

摘要:为实现新型舰炮对海作战能力需求生成,构建框架模型,建立舰炮武器在对海作战过程中的检测概率、最大发现距离及跟踪距离、反应时间及单发命中概率等映射模型。仿真验证新型舰炮在不同初速下,以要达到指定单发命中概率射击距离25 km处目标时的系统精度为标准,分析在不同射击距离下对新型舰炮的能力指标要求。模型方法可定量生成满足作战任务的能力指标需求,对于科学规划新型舰炮武器装备发展具有重要的理论和实践意义。

关键词:舰炮; 对海作战; 能力需求生成; 映射模型; 能力指标

中图分类号: N945.1 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.05.005

Anti-sea Combat Capability Requirement Analysis of New Naval Guns

XU Jun-fei, LU Fa-xing, WANG Hang-yu, WU Ling
(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to realize the anti-sea combat capability requirement generation of the new types of naval guns, the framework model is established, the anti-sea combat mission is decomposed and the capability index system of the naval gun is constructed. The mapping models are established, including the detection probability model, the maximum detection distance and tracking distance model, the single-shot hitting probability model, the reaction time model and so on. Taking the system accuracy when shooting a target at 25 km away with the given single-shot hitting probability as the standard, the simulation experiment analyzes the capability requirements to the new naval gun at different firing distances under different initial velocities. The model method can quantitatively generate the capability indicator requirements that satisfy the operational mission, and has theoretical and practical significance for scientific development of naval gun weapon equipment.

Key words: naval gun; anti-sea combat; capability requirement generation; mapping model; capability index

0 引言

当前海上作战形势严峻而复杂,以电磁轨道炮为代表的新型舰炮武器快速发展,具有初速高、反应快、精度高等优势,但其作战能力能否满足当前海上的作战需求,仍需要进行科学的论证。实现“任务”向“能力”转化的过程称为作战能力的需求生成,通过作战能力需求分析可以生成匹配于当前作战任务的舰炮武器装备能力指标值,为舰炮武器的发展与论证提供依据^[1]。

目前关于作战能力需求生成的研究较多,针对能力需求生成的理论与方法研究已比较深入,但对具体装备与映射模型研究仍不够,本文基于能力需求生成方法^[2],根据新型舰炮武器对海作战任务与能力指标的映射关系,建立新型舰炮在对海作战过程中的映射模型,通过映射模型的分析,生成新型舰炮武器装备的定量能力指标。

1 作战能力需求生成框架

为实现新型舰炮武器对海作战能力需求生成,即从“任务”向“能力”转换^[3],以新型舰炮作战任务为牵引,对新型舰炮对海作战任务进行分解,构建能力指标体系,映射分析,建立模型^[4]如图1所示。

收稿日期:2018-05-16 修回日期:2019-04-01

基金项目:国家自然科学基金(61703419)

作者简介:许俊飞(1990—),男,陕西韩城人,博士生,研究方向为最优化理论在海军作战系统中的应用。

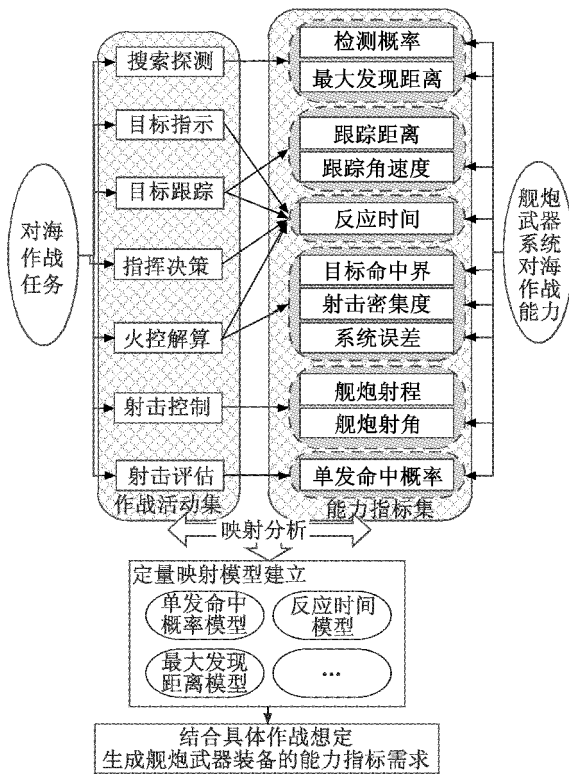


图1 模型框架

Fig.1 Model framework

在作战活动与能力指标的映射关系中,以搜索探测为例,在搜索探测作战活动中,可映射的作战能力指标有很多,如检测概率、检测精度、最大发现距离、目标搜索时间等。选择检测概率与最大发现距离作为搜索探测作战活动的主要能力指标,可代表搜索探测这个作战活动的主要特征,因此模型框架与作战活动映射选取主要部分能力指标,并且能力指标的构建满足舰炮主要作战使用要求的系统威力范围、系统反应时间、系统精度及射击效率等方面,因此能力指标的构建具备全面性及合理性^[5]。

2 映射模型的建立

结合舰炮武器系统对海作战流程以及舰炮对海作战任务与作战能力指标的映射匹配关系,依据对海作战流程,依次建立舰炮武器在对海作战中的映射模型。

2.1 检测概率模型

首先由舰载雷达对目标进行搜索,一般雷达部署确定以后,其本身固有的参数也就随之确定,结合雷达方程,通过一系列恒等变换,即可得到雷达在不同距离处的检测概率计算模型 $P_d(R)$ ^[6] 为

$$P_d(R) = \exp \left[\frac{(R_d/R_{p_{d0}})^4 \ln P_{d0} \ln P_{fa}}{\ln P_{fa} - \ln P_{d0} + (R_d/R_{p_{d0}})^4 \ln P_{d0}} \right] \quad (1)$$

式中: R_d 为对目标的最大发现距离; $R_{p_{d0}}$ 为在约束检

测概率为 P_{d0} 时雷达的最大探测范围,根据文献[7]有关该计算模型可知,当雷达的探测距离等于雷达的最大探测距离时,雷达的检测概率为 0.5,因此计算时取 $P_{d0} = 0.5$; P_{fa} 为虚警概率,一般取 10^{-6} 。

2.2 最大发现距离与跟踪距离模型

当舰载雷达以一定的概率检测到目标时,新型舰炮武器系统对目标的最大发现距离与跟踪距离即可确定,当舰炮武器对海作战时,舰炮与敌目标处于同一平面上,在舰炮武器系统设计中,要求雷达的发现距离足以保证及时发现目标,从而使第一次发射的导弹能在舰炮射程与目标相遇,以确保射击效能,模型如图2所示。

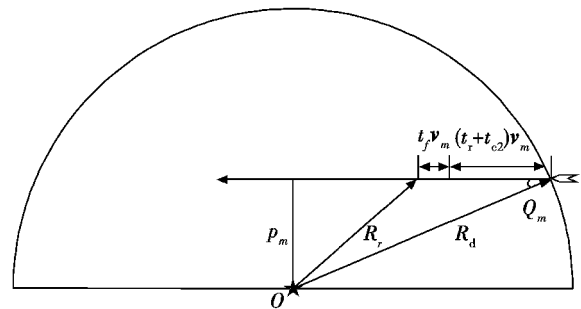


图2 最大发现距离

Fig.2 The maximum detection distance

因此对目标的最大发现距离 R_d 为

$$R_d = \sqrt{[\sqrt{R_r^2 - p_m^2} + (t_r + t_{c2} + t_f) v_m]^2 + p_m^2} \quad (2)$$

式中: R_r 为射击距离; t_r 为武器系统反应时间,即从发现目标到弹动所需时间,由总体指标给出; t_{c2} 为系统指挥控制时间; t_f 为从弹动到弹丸在最大射程和目标遭遇的时间; v_m 为目标速度; p_m 为目标的航路捷径, $p_m = R_d \cdot \sin Q_m$, Q_m 为目标舷角。

在发现来袭目标之后,目标的回波信号会进一步增强,只有增强到一定程度时,雷达才能对其进行稳定跟踪,同发现距离不同,在进行目标指示后,雷达对目标稳定跟踪一段时间之后,根据探测到的目标信息进行诸元解算准备舰炮的发射,为充分利用新型舰炮武器的射程,对目标的稳定跟踪距离应当满足图3所示关系。

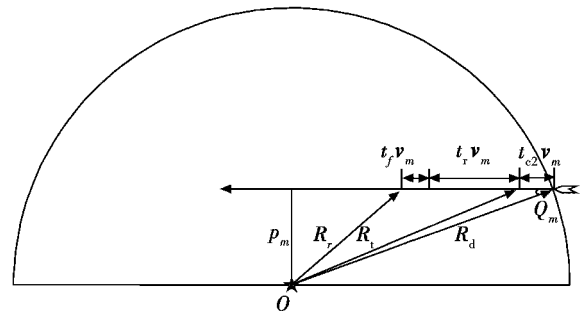


图3 最大跟踪距离

Fig.3 The maximum tracking distance

因此目标的最大跟踪距离 R_t 为

$$R_t = \sqrt{[\sqrt{R_r^2 - p_m^2} + (t_f + t_r)v_m]^2 + p_m^2} \quad (3)$$

2.3 跟踪角速度模型

一旦检测到目标,就要对其进行跟踪,为后续的射击打好基础,当目标在舰炮的射击范围内时,由于对海射击,还必须保证舰炮在方向上的跟踪角速度能够跟上目标,经推导,针对水平匀速直线运动的目标给出了关于目标舷角 Q_m 对时间导数的结果,在此基础上推导出目标运动产生的角速度,即跟踪角速度为

$$\omega_{Q_m} = \frac{v_m}{p_m \left(1 + \left(\frac{v_m t_f}{p_m}\right)^2\right)} \quad (4)$$

2.4 反应时间模型

舰炮武器系统反应时间为从接收目标指示到首发炮弹出膛所需要的时间,反应时间贯穿目标指示、目标跟踪、火控解算等作战任务。反应时间模型是以最小二乘滤波为基础,综合目标检测概率和目标速度对位置滤波的影响建立模型^[8]。

当系统为自动工作方式时,目标指示时间很短,可以忽略不计。对于舰炮武器系统的调舵、捕获和锁定跟踪目标以及协调击发时间 t_{oh} 相对目标指示时间 t_i 与火控处理时间 t_p 要小很多,同时舰炮武器系统的调舵、捕获和锁定跟踪目标所用时间 t_{oh} 与舰炮武器、雷达自身的特性有关,在分析系统反应时间时,可将这部分时间 t_{oh} 综合起来近似处理为常数。

火控处理时间主要取决于点迹形成航迹的滤波方法,而在所有的滤波方法中,最小二乘滤波是适用性最强的滤波方法,在此基础上考察目标检测概率 (P_{dr}) 和目标飞行马赫数 $Ma(v_m)$ 对位置滤波、外推误差的影响关系^[9]。最小二乘滤波的位置滤波均方误差 $P_{11}(n|n)$ 和一步外推均方误差 $P_{11}(n+1|n)$ 分别为

$$\begin{cases} P'_{11}(n|n) = \frac{2(2n-1)}{n(n+1)} \cdot \frac{1}{v_m^\alpha P_{dr}^\beta} \cdot \sigma^2 \\ P'_{11}(n+1|n) = \frac{2(2n+1)}{n(n-1)} \cdot \frac{1}{v_m^\alpha P_{dr}^\beta} \cdot \sigma^2 \end{cases} \quad n \geq 2 \quad (5)$$

式中: α, β 为修正系数,取优化结果 $\alpha = \frac{1}{3}, \beta = \frac{1}{2}$; P_{dr} 为目标检测概率。

假设考虑 P_{dr} 和 v_m 影响时的位置滤波和一步位置外推均方误差 σ^2 之比为 $R_f^2(n, v_m, P_{dr}), R_p^2(n, v_m, P_{dr})$, 即

$$\begin{cases} R_f^2(n, v_m, P_{dr}) = \frac{P'_{11}(n|n)}{\sigma^2} = \frac{2(2n-1)}{n(n+1)} \cdot \frac{1}{v_m^\alpha P_{dr}^\beta} \\ R_p^2(n, v_m, P_{dr}) = \frac{P'_{11}(n+1|n)}{\sigma^2} = \frac{2(2n+1)}{n(n-1)} \cdot \frac{1}{v_m^\alpha P_{dr}^\beta} \end{cases} \quad (6)$$

对应于位置滤波和一步外推误差压缩系数的平方,分别求小于或等于要求误差压缩系数 λ^2 的最小的 n , 即

$$\begin{cases} n_f^* = \min_n \left\{ n \mid R_f^2(n, v_m, P_{dr}) = \frac{2(2n-1)}{n(n+1)} \cdot \frac{1}{v_m^\alpha P_{dr}^\beta} \leq \lambda^2 \right\} \\ n_p^* = \min_n \left\{ n \mid R_p^2(n, v_m, P_{dr}) = \frac{2(2n+1)}{n(n-1)} \cdot \frac{1}{v_m^\alpha P_{dr}^\beta} \leq \lambda^2 \right\} \end{cases} \quad (7)$$

对任意的 $v_m^\alpha P_{dr}^\beta \lambda^2 > 0$ 有 $n_f^* \leq n_p^*$ 。上述系统在误差压缩系数为 λ 时的采样点数 n 在 $v_m^\alpha P_{dr}^\beta \lambda^2 < \frac{7}{3}$ 条件下为 $n_f^* + 1 \leq n \leq n_p^* - 1$ 。

因此,火控滤波时间的计算主要取决于误差压缩系数 λ , 定义 λ^2 为位置滤波和一步位置外推均方误差与观测系统量测误差 σ^2 之比,通过单发命中概率、射击命中界以及射击密集度模型可知当战场态势要求命中概率达到指定值时对系统误差的要求,而这个系统误差即火控系统对目标位置预测的滤波误差 m_x 和 m_z , 设观测系统的量测误差为 σ_r 和 σ_θ , 因此误差压缩系数 λ 为

$$\lambda = \sqrt{\frac{m_x}{\sigma_r}} = \sqrt{\frac{m_z}{C_m R \sigma_\theta}} \quad (8)$$

通过采样点数 n 可知火控处理时间 t_p 为

$$t_p = (n-1)\tau \quad (9)$$

其中: $0 < \lambda \leq 1; \tau$ 为系统采样时间间隔。

综合以上论述可知,舰炮武器系统反应时间 t_r 为

$$t_r = t_p + t_{oh} \quad (10)$$

2.5 命中界模型

对目标进行稳定跟踪后,就要做好对目标射击的准备,目标命中界是弹丸可击中的目标面积,一般可根据等面积替代原则,用规则形状的目标面积近似代替舰艇命中面积。以水面舰艇为例,设目标舰艇甲板面等效矩形长为 L_j , 宽为 B_j , 舰艇平均舷高为 H_p , 根据面积等效原则,得到舰艇目标的命中界模型^[10] 为

$$\begin{cases} L_x = 0.8L_j \sin Q_m + B_j \cos Q_m \\ L_z = 0.8L_j B_j / L_x + H_p \cot \theta_c \end{cases} \quad (11)$$

式中: L_x, L_z 为舰艇目标的命中界; θ_c 为弹丸落角。

2.6 射击密集度模型

在以误差源分析单发命中概率过程中,射击密集度是随机误差的重要组成部分,舰炮射击密集度是指弹着点相对散布中心的偏离程度,以舰炮散布误差的大小来衡量。由于射弹散布误差、随动系统误差的取值与水平射击距离相关,因此射击密集度为^[11]

$$\begin{cases} E_x = \eta_x \cdot R_r \\ E_z = \eta_z \cdot C_m \cdot R_r \end{cases} \quad (12)$$

式中: η_x, η_z 分别为距离和方向射击密集度系数; C_m 为密位变为弧度的转换系数, $C_m = 1/955$ 。

2.7 单发命中概率模型

单发命中概率是衡量新型舰炮作战能力的重要指标,影响误差源可分为系统误差与随机误差两大类:系统误差主要是火控设备系统误差;随机误差是由多方面不确定因素引起的,在舰炮射击过程中,主要体现为舰炮的散布误差、随动系统误差以及弹道气象准备误差,如图4所示。弹道气象准备误差可通过前期的射击准备予以消除,与其准备的方法及技术水平密切相关,在使用单炮对海射击时,按照海军习惯将由舰炮随动系统误差和射弹散布误差的合成称为舰炮单炮散布误差,即射击密集度^[12]。

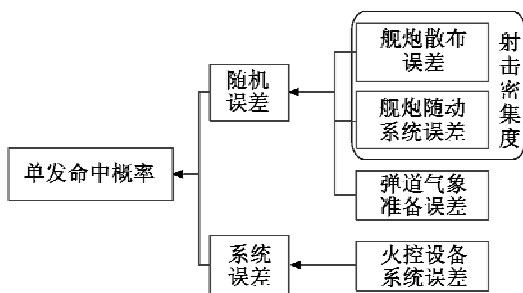


图4 单发命中概率影响因素

Fig.4 Influence factors of single-shot hitting probability

对于海上舰艇目标,一般将其近似处理为矩形目标^[13],则对舰艇目标的单发命中概率 $P(x, z)$ 为

$$P(x, z) = \iint_R \varphi(x, z) dx dz = \int_{-L_x/2}^{L_x/2} \varphi(x) dx \int_{-L_z/2}^{L_z/2} \varphi(z) dz = \frac{1}{4} \left[\Phi\left(\frac{m_x + L_x/2}{E_x}\right) - \Phi\left(\frac{m_x - L_x/2}{E_x}\right) \right] \cdot \left[\Phi\left(\frac{m_z + L_z/2}{E_z}\right) - \Phi\left(\frac{m_z - L_z/2}{E_z}\right) \right] \quad (13)$$

式中: L_x, L_z 为舰艇目标的命中界; E_x, E_z 分别为舰炮武器距离与方向上的射击密集度; m_x, m_z 分别为距离和方向上的系统误差。

3 仿真分析

新型舰炮对于未来海上火力支援作战具有重要的意义,在具体作战想定下,舰炮对海作战的能力指标需求生成可以看作是一个输入输出问题:输入的是在具体作战想定下对作战效果的要求;输出的是能够有效完成作战任务目标的舰炮武器装备所应具备的能力指标值。

我方利用新型舰炮对一定距离外的目标舰艇进行打击,相关仿真参数如表1所示。

仿真实验设计思路为:确定弹丸初速,根据作战要求,将新型舰炮所要达到的单发命中概率作为牵引,分析不同射击距离下的误差压缩系数,即系统精度,以视距临界处25 km的系统精度要求(误差压缩系数)作为

标准,计算在此系统要求下对不同距离目标射击的能力指标值,因为新型舰炮在对视距内目标进行射击时,倘若对视距临界距离处的目标能达到指定命中概率要求,射击距离变小时,一定能达到要求。新型舰炮的优点在于初速可调,同样的思路,分析初速对新型舰炮能力指标变化趋势的影响,仿真思路如图5所示。在进行仿真计算时,弹丸飞行时间、弹丸落角、各类偏差量等指标可通过新型舰炮外弹道模型得到^[13]。

表1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

仿真参数	取值
目标速度 $v_m / (m \cdot s^{-1})$	15.43
目标舷角 $Q_m / (^\circ)$	30
目标外形 $L_j \times B_j \times H_j / m^3$	155.29 × 20.4 × 10.35
距离射击密集度系数 η_x	1/250
方向射击密集度系数 η_z	0.8
观测系统距离误差 σ_r / m	60
观测系统方向误差 σ_θ / mil	1.8
单发命中概率 $P / \%$	8

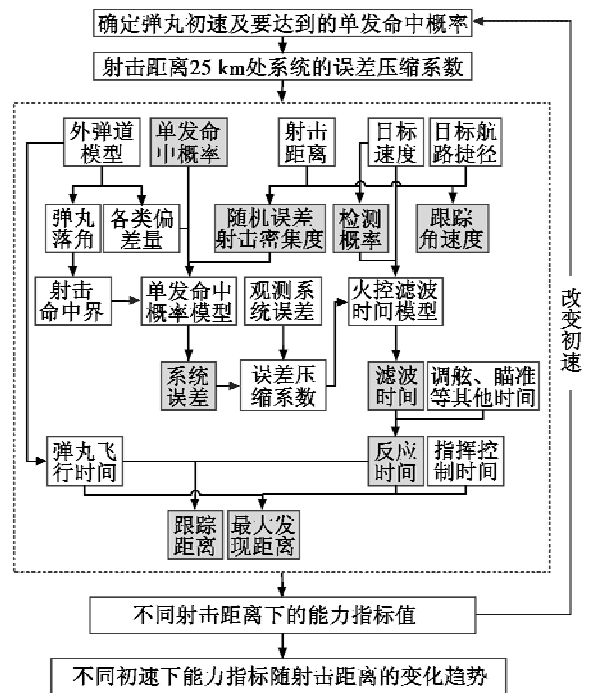


图5 仿真设计思路

Fig.5 The scheme of simulation design

仿真分析弹丸初速为2000 m/s、单发命中概率达到8%时,对不同射击距离下的能力指标要求结果如表2所示。

分析表2可得如下结论。

1) 当初速为2000 m/s时,在射击距离为20 km时误差压缩系数 $\lambda > 1$,在此特定条件下滤波作用不明显,说明在实际中,当射击距离小于20 km时,经滤波后舰炮武器系统一定能达到大于8%的单发命中概率;

表2 单发命中概率恒定下的能力指标需求生成

Table 2 Capability indicator requirement generation under constant single-shot hitting probability

能力指标	数 值							
射击距离 R_r/km	20	21	22	23	24	25	26	27
单发命中概率 $P/\%$	8	8	8	8	8	8	8	8
距离射击密集度 E_x/m	80	84	88	92	96	100	104	-
方向射击密集度 E_y/m	16.75	17.59	18.42	19.26	20.10	20.94	21.78	-
距离系统误差 m_x/m	32.15	30.46	28.57	26.37	23.62	20.16	15.38	-
方向系统误差 m_y/mil	30.7	27.7	24.8	21.9	18.8	15.4	11.3	-
误差压缩系数 λ	1.01	0.96	0.91	0.85	0.79	0.72	0.61	-
检测概率 $P_d/\%$	98.84	98.59	98.30	97.97	97.60	97.18	96.72	-
火控处理时间 t_p/s	2.3	2.5	2.9	3.1	3.7	4.5	6.1	-
反应时间 t_r/s	8.54	8.74	9.13	9.33	9.94	10.74	12.33	-
舰炮射角 $\theta_0/(\text{°})$	5.97	6.83	7.78	8.79	9.88	11.01	12.19	-
最大发现距离 R_d/km	22.37	23.42	24.47	25.51	26.57	27.63	28.70	-
最大跟踪距离 R_t/km	20.53	21.57	22.62	23.67	24.72	25.78	26.85	-
跟踪角速度 $\omega_{Q_m}/((\text{°}) \cdot \text{s}^{-1})$	0.202	0.202	0.201	0.201	0.200	0.200	0.199	-

2) 随着射击距离的增大,射击密集度也在不断增大,为了达到指定的命中概率,对滤波要求越来越高, λ 越来越小,因此系统的反应时间也相应逐渐变大,当射击距离大于26 km时,即使系统误差完全消除也不能满足射击要求,要想达到指定的命中概率条件,就要从降低系统射击密集度方面考虑。

3) 射击距离越远,舰炮射角越大,由于作战目标为敌方舰艇目标,速度较小、距离较远,从理论上分析跟踪角速度会是一个特别小的值,在对跟踪角速度提出作战需求时,以目标在近距离为原则进行计算。因为目标距离越近,对舰载雷达跟踪角速度提出的要求越高。当跟踪角速度满足目标在近距离作战需求时,对远距离目标的跟踪也是可以满足的。

当弹丸初速为2000 m/s时,在仿真计算中,以射击距离25 km处目标时系统的精度为标准,即误差压缩系数 $\lambda = 0.72$ 时,分析不同射击距离上能力指标的需求,计算结果如表3所示。

当系统误差恒定时,随着射击距离的增大,单发命中概率逐渐变小,而火控处理时间变化比较平稳呈增大趋势,火控处理时间主要与误差压缩系数、检测概率以及目标状态有关,检测概率随着射击距离的增大而减小,因此火控处理时间会随着射击距离的增大而增大,反应时间同理。

新型舰炮的特点在于初速可控,以初速分别为1500 m/s,2000 m/s,2500 m/s为例,当射击距离为25 km时,计算结果如表4所示。

表3 以射击距离25 km处目标为原则的能力指标需求生成

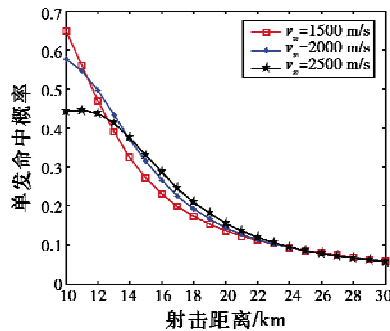
Table 3 Capability indicator requirement generation based on shooting a target at the distance of 25 km

能力指标	数 值							
射击距离 R_r/km	20	21	22	23	24	25	26	27
单发命中概率 $P/\%$	14.47	12.78	11.42	10.30	9.37	8.00	7.90	7.30
距离射击密集度 E_x/m	80	84	88	92	96	100	104	108
方向射击密集度 E_y/m	16.75	17.59	18.42	19.26	20.10	20.94	21.78	22.61
距离系统误差 m_x/m	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16
方向系统误差 m_y/mil	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
误差压缩系数 λ	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
检测概率 $P_d/\%$	98.84	98.59	98.30	97.97	97.60	97.18	96.72	96.19
火控处理时间 t_p/s	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.7
反应时间 t_r/s	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.74	10.94
舰炮射角 $\theta_0/(\text{°})$	5.97	6.83	7.78	8.79	9.88	11.01	12.19	13.41
最大发现距离 R_d/km	21.94	22.98	24.03	25.07	26.12	27.63	28.21	29.26
最大跟踪距离 R_t/km	20.58	21.62	22.66	23.70	24.75	25.78	26.84	27.89
跟踪角速度 $\omega_{Q_m}/((\text{°}) \cdot \text{s}^{-1})$	0.202	0.202	0.201	0.201	0.200	0.200	0.199	0.198

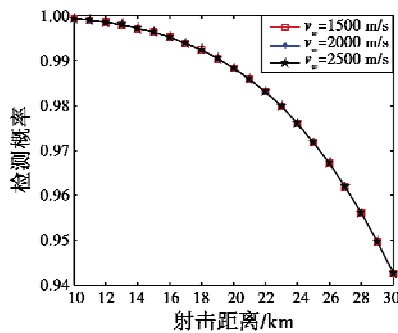
表4 不同初速相同射击距离下的能力指标需求生成
 Table 4 Capability indicator requirement generation at different initial velocities and the same shooting distance

能力指标	数值		
射击初速 $v_w / (m \cdot s^{-1})$	1500	2000	2500
射击距离 R_s / km	25	25	25
单发命中概率 $P / \%$	8	8	8
距离射击密集度 E_s / m	100	100	100
方向射击密集度 E_d / m	20.94	20.94	20.94
距离系统误差 m_s / m	17.02	20.16	23.30
方向系统误差 m_d / mil	13.0	15.4	17.8
误差压缩系数 λ	0.66	0.72	0.77
检测概率 $P_d / \%$	97.18	97.18	97.18
火控处理时间 t_p / s	5.3	4.5	3.9
反应时间 t_r / s	11.54	10.74	10.14
舰炮射角 $\theta_0 / (^\circ)$	19.15	11.01	7.13
最大发现距离 R_d / km	27.82	27.63	27.50
最大跟踪距离 R_t / km	25.98	25.78	25.66
跟踪角速度 $\omega_{\theta_m} / ((^\circ) \cdot s^{-1})$	0.2	0.2	0.2

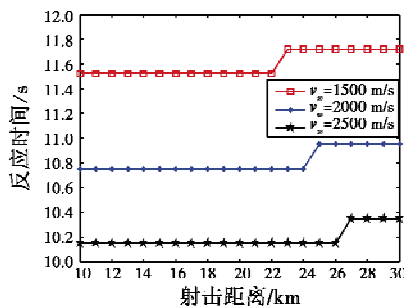
以射击距离 25 km 处达到指定命中概率时的系统精度为标准,仿真计算初速不同时,能力指标随射击距离的变化趋势,如图 6 所示。



a 单发命中概率



b 检测概率



c 反应时间

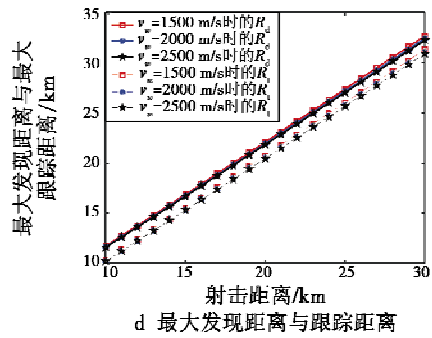


图6 不同初速下能力指标随射击距离的变化趋势
 Fig.6 Capability index vs firing distance when muzzle velocity is different

从上述仿真可以总结如下。

1) 系统的射击密集度、检测概率与射击距离有关,如图 6b 所示,初速变化对其没有影响。

2) 为达到指定的命中概率,在射击距离相同时,如图 6c 所示,误差压缩系数与检测概率共同影响着滤波时间及反应时间,检测概率随着射击距离的增大而减小,因此火控处理时间及反应时间会随着射击距离的增大而增大,初速越大误差压缩系数越大,火控处理时间及反应时间则越小。

3) 仿真计算中以在射击距离 25 km 处达到指定命中概率时的系统误差为原则,如图 6a 所示,当射击距离较小时,距离越小,初速越大,对目标的命中概率并不一定变大。随着射击距离的增大,初速对目标单发命中概率的影响也就体现出来,但是当射击距离较大时,不同初速的弹丸对目标的命中概率均降低,而后渐趋平稳,因此对不同距离的目标进行打击时,存在最佳弹丸初速,使得弹丸对目标的命中概率最大。

4) 系统的最大发现距离、跟踪距离与反应时间、弹丸飞行时间有关,当误差压缩系数固定时,即系统精度是固定的,反应时间也相对固定,弹丸飞行时间随着弹丸初速的增加逐渐减小,而对于海上目标而言,速度较小,因此在射击距离恒定时,不同初速下系统的最大发现距离与跟踪距离差别并不大。

4 结束语

基于作战能力需求生成方法模型,本文通过建立新型舰炮武器对海作战过程中的映射模型,以对目标的单发命中概率为牵引,对其所需的能力指标进行求解,定量化的仿真结果既能表明在既定作战想定下为完成作战任务对舰炮武器装备的能力要求,又能为舰炮武器装备的发展与论证提供依据。

(下转第 85 页)

本文方法原理简单,所需分析数据量少,计算耗时较短,可靠性高,抗噪性较强,仿真表明该方法是6分量天平数据处理的一种有效可行的方法。

参考文献

- [1] 贾振元,李映君,张军,等. 并联式轴用压电六维力/力矩传感器[J]. 机械工程学报,2010,46(11):62-68.
- [2] 杨耀栋,王复,郭大华. 在高超声速脉冲风洞中使用的六分量天平测力系统和10°尖锥模型的气动力测量[J]. 气动实验与测量控制,1988(1):60-64.
- [3] JOSHI D, VADASSERY P, LU F K. Acceleration compensation for force measurements in hypersonic shock tunnel [C]//The 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum & Aerospace Exposition, 2013. doi:10.2514/6.2013-1020.
- [4] 罗亚军,吕治国,刘曦,等. 一种压电天平传感器的 ANSYS 仿真与分析[C]//中国空气动力学学会测控专业委员会六届四次空气动力学测控技术交流会,2013:1542.
- [5] 张晓辉,王玉惠,秦暄,等. 高超声速飞行器机翼的颤振损伤特性分析[J]. 电光与控制,2018,25(7):68-72.
- [6] BEAUSSIER J. A six-component balance[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 1968, AES-4(2):210-217.
- [7] 毕志献. 炮风洞中浮框式六分量应变天平的设计 [C]//全国激波与激波管学术会议,2004:271-274.
- [8] 钟佑明. 希尔伯特—黄变换局瞬信号分析理论的研究 [D]. 重庆:重庆大学,2002.
- [9] 马增强,李亚超,刘政. 基于变分模态分解和 Teager 能量算子的滚动轴承故障特征提取[J]. 振动与冲击, 2016,35(13):134-139.
- [10] 曾番,黄文龙,夏伟鹏,等. 小波包特征能量算子与多核函数组合 KPCA 的声目标识别[J]. 电光与控制, 2017,24(4):5-7.
- [11] 王川川,曾勇虎,赵明洋,等. 基于小波降噪和盲源分离算法的信号分离方法研究[J]. 电光与控制,2017, 24(7):7-11.
- [12] MARINEAU E C. Force measurements in hypervelocity flows with an acceleration compensated piezoelectric balance [J]. Journal of Spacecraft and Rockets, 2011, 48(4):697-700.
- [13] 张贤达. 现代信号处理[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2002.
- [14] MARINEAU E, MACLEAN M, MUNDY E, et al. Force measurements in hypervelocity flows with an acceleration compensated strain gage balance [J]. Journal of Spacecraft and Rockets, 2015, 49(3):474-482.
- [15] 贾振元,高翼飞,任宗金,等. 六维力压电天平研制与静态性能测试研究[J]. 大连理工大学学报, 2014(1):43-48.

(上接第31页)

参考文献

- [1] 李巧丽. 基于能力的装备需求论证结构化方法研究 [D]. 石家庄:装甲兵工程学院,2008.
- [2] 陈建荣. 面向装备论证的能力需求生成理论与方法研究 [D]. 石家庄:装甲兵工程学院,2010.
- [3] 许俊飞,邢昌风,吴玲. 基于解析规则的舰艇区域防空作战能力需求生成[J]. 北京航空航天大学学报, 2016,42(1):193-200.
- [4] ZHAO Q S, CHANG L L, ZENG P, et al. Problem frame analysis of weapon system of systems requirement [J]. Procedia Engineering, 2011(15):1466-1470.
- [5] FAN Y P, GUO Q S, ZHAO K. Capabilities-based requirement demonstration method for weapon system-of-systems [C]//International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2014:206-210.
- [6] 郭正新,江晶. 一种不同距离的雷达检测概率计算模型[J]. 空军雷达学院学报,2003,17(4):7-9.
- [7] 丁鹭飞,耿富录. 雷达原理[M]. 3版. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.
- [8] 董志荣. 论作战系统中时间与精度关系[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术,2000(1):1-12.
- [9] 朱莉,齐欢,代建民. 基于 Petri 网的作战系统时间与精度分析[J]. 系统工程与电子技术,2007,29(2):234-236.
- [10] 邢昌风,李敏勇,吴玲. 舰载武器系统效能分析[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [11] 邱志明,曹渊,郭勇. 舰炮武器对岛礁上集群目标射击效力指标算法研究[J]. 兵工学报,2016,37(1):37-41.
- [12] 元爱辉. 弹炮结合武器系统毁伤效能分析[D]. 南京:南京理工大学,2012.
- [13] ZHAI X J, LUO W. Numerical simulation research of interior ballistics character for non-lethal strike weapon system [J]. Procedia Engineering, 2012(31):308-314.