

末段低层反导武器系统部署决策模型

商长安, 郭蓬松, 刘 健

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原, 713800)

摘要 研究了末段低层反导武器系统的部署决策问题。首先针对末段低层反导武器系统的特点,探讨了该类反导武器系统部署的决策准则;其次,构建了末段低层反导部署的多属性决策模型,给出了部署应满足的基本条件和决策步骤,涵盖了决策参数计算和多属性决策 2 个关键环节;再次,根据部署决策模型和参数的特点,建立了决策参数计算的系统动力学(SD)仿真模型,用以对 2 个重要决策参数进行仿真计算。最后,通过案例,运用 SD 仿真计算模型,完成了多个备选部署阵地的决策参数计算,并利用部署决策模型给出了部署方案的优选排序,案例分析表明了决策模型的有效性。

关键词 末段低层反导;部署;决策模型;系统动力学

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.02.007

中图分类号 O22 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)02-0029-05

弹道导弹是目前最难对付的空天目标之一,在未来高技术局部战争中,面临的弹道导弹威胁将以战术弹道导弹(TBM)为主。目前,虽有少量用于中段和末段高层防御的反导武器系统列装^[1-2],但弹道导弹防御的主体仍是用于末段低层防御的防空导弹武器系统。防空导弹武器系统因受其反导杀伤区的限制,执行反导作战任务时,必须部署在掩护目标周围的地域^[3-5],本文的讨论以此为基础展开。影响反导部署决策的因素较多,以最大限度发挥反导武器系统作战效能为前提,针对特定的决策准则,对末段低层反导武器系统部署的辅助决策模型进行深入讨论。

1 末段低层反导武器系统部署决策准则

在装备性能一定的前提下,通过合理部署可在一定程度上提升反导武器系统的作战效能^[6]。在部署决策时,应首先考虑武器系统部署的基本要求,例如,部署阵地要求一定的地形、道路条件等等。在此基础上,考虑如何应用一定的准则,做出正确、合理的反导武器系统部署决策。

作为反导作战的最后阶段,在末段低层的拦截中,应争取对弹道导弹尽早拦截,使得遭遇点远离掩护目标。而且,TBM 在杀伤区内还应有一定的停留时间,否则,尽管 TBM 的末段通过了武器系统的反导杀伤区,但时间非常短——“一闪即逝”,也难以满足反导作战的需要,见图 1。

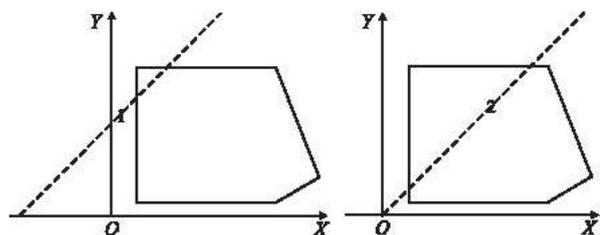


图 1 末段低层反导武器系统部署决策准则示意图
Fig. 1 A sketch map of decision rule on terminal low altitude anti-TBM systems deployment

图 1 中,虚线 1 和 2 分别为垂直平面内的 TBM 末段弹道,实线表示武器系统的反导杀伤区,如果某部署

* 收稿日期:2011-10-25

作者简介:商长安(1975-),男,黑龙江齐齐哈尔人,讲师,博士,主要从事防空作战决策分析研究。

E-mail: scawxr@yahoo.com.cn

方案 1 使得 TBM 末段航迹以虚线 1 通过反导杀伤区,而另一部署方案 2 使得 TBM 末段航迹以虚线 2 通过反导杀伤区,显然,从 TBM 在反导杀伤区内有一定停留时间的角度来看,方案 2 的部署优于方案 1。

根据以上分析,可以得到武器系统在执行末段低层反导作战时的部署决策准则为:①弹目遭遇点尽可能的远离掩护目标,即 TBM 拦截点相对于掩护目标的斜距要大,记为 M_{yx} ;②TBM 在武器系统反导杀伤区内要有相对较长的飞行时间,记为 M_{sc} 。

在进行部署决策时,上述 2 个准则要综合考虑。显然,这是一个多属性决策问题,可以据此构建末段低层反导武器系统部署的多属性决策模型。

2 末段低层反导武器系统部署决策模型

2.1 部署决策条件

在进行部署决策时,需要首先考虑在选定的部署点反导武器系统对 TBM 是否构成射击条件,这是进行部署决策的前提条件。具体来讲,需要考虑的决策条件包括以下几个。

1) TBM 末段弹道必须通过武器系统反导杀伤区:①TBM 航路捷径不大于武器系统反导杀伤区的最大航路捷径($P_{TBM} \leq P_{max}$);②TBM 末段飞行高度介于反导杀伤区的低界和高界之间($H_{min} \leq H_{TBM} \leq H_{max}$);③TBM 的航路角小于反导杀伤区最大航路角($q_{TBM} \leq q_{max}$);④TBM 相对于火力单元的高低角小于武器系统的反导杀伤区最大仰角($\varepsilon_{TBM} \leq \varepsilon_{max}$)。

2) TBM 速度不大于武器系统能拦截的最大目标速度($V_{TBM} \leq V_{max}$)。

3) 武器系统的作战反应时间(T_{fy} ,从目标探测系统发现目标到第一枚弹动)应满足反导作战的时间要求。

2.2 部署决策模型

末段低层反导武器系统的部署决策包括 2 个步骤:一是决策参数的计算;二是多属性决策,进而完成部署决策。

2.2.1 决策参数计算

以 M_{yx} 和 M_{sc} 为准则进行反导武器系统的部署决策,具体的计算函数如下:

$$D_{sy} = F_1((x, y), Q_{TBM}, Q_{weapon}) \quad (1) \quad T_{cx} = F_2((x, y), Q_{TBM}, Q_{weapon}) \quad (2)$$

式中: F_1 、 F_2 为计算函数; (x, y) 为部署地坐标; D_{sy} 为在选定的部署地点,根据射击条件计算出拦截弹与 TBM 遭遇点距掩护目标的斜距; T_{cx} 为在选定的部署地点,根据射击条件计算出 TBM 在武器系统反导杀伤区内的飞行时间; Q_{TBM} 为 TBM 的目标参数(P_{TBM} 、 q_{TBM} 、 H_{TBM} 、 ε_{TBM} 、 V_{TBM} 和 TBM 的 RCS); Q_{weapon} 为反导武器系统相关的战技参数(P_{max} 、 q_{max} 、 H_{min} 、 H_{max} 、 ε_{max} 、 V_{max} 和 T_{fy})。

上述决策参数的计算与反导作战过程密切相关,具体的参数计算可以通过解析法或其它方法实现,本文采用的是仿真计算方法,将在下文讨论。

2.2.2 多属性决策

通过函数 F_1 、 F_2 计算出 D_{sy} 和 T_{cx} ,利用多属性决策理论^[7],进行部署方案的辅助决策。假设,共有 n 个部署地点可供选择,如上所述,每个部署点的决策参数有 2 个,即 $m=2$,那么, n 个方案的 m 个参数构成了矩阵 $(f_{ij})_{2 \times n}$ 。

经式(1)、(2)计算决策参数为: (D_{syj}, T_{cxj}) , $j=1, 2, \dots, n$ 。首先,需对计算值进行归一化处理,由于 2 个参数均为效益型指标,为此利用如下公式进行归一化处理:

$$r_{ij} = \begin{cases} (f_{ij} - f_{imin}) / (f_{imax} - f_{imin}) & , f_{imax} \neq f_{imin} \\ 1 & , f_{imax} = f_{imin} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $f_{imax} = \max\{f_{ij}\}$; $f_{imin} = \min\{f_{ij}\}$, $j=1, 2, \dots, n$,从而得到新的归一化矩阵 $(r_{ij})_{2 \times n}$ 。

为便于工程实现,采用加权求和法,进行多属性决策,即:

$$M_j = \lambda r_{1j} + (1 - \lambda) r_{2j} \quad , \quad j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中 λ 为指挥员对 M_{yx} 准则的偏好程度,显然, $(1 - \lambda)$ 表示指挥员对 M_{sc} 准则的偏好程度,在实际的决策过程中, λ 可根据指挥员的偏好程度进行调整。而后,就可以根据计算得到的 $M_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 值,对决策方案进行排序、优选。

3 决策参数的 SD 仿真计算模型

在部署决策模型中,2 个决策参数 (D_{sy}, T_{cx}) 的计算是一个关键环节,是进行部署决策的重要依据。本节将利用系统动力学 SD (System Dynamics, SD) 理论,构建部署决策参数的 SD 仿真计算模型。系统动力学解决问题的思路是通过系统分析构建 SD 模型,利用模型在不同对策条件的仿真实现对策分析^[8-10]。根据 SD 的思想,可将每一个部署点的坐标视之为一个对策,通过模型仿真,获取每一个部署点的相关决策参数,以之作为部署决策的依据。

反导部署参数计算的 SD 模型框架见图 2。图中,部署模块输入武器系统的部署地坐标;TBM 参数模块可以用于设定 TBM 的再入段参数(再入角、速度、RCS 等);射击条件判断模块主要进行反导拦截条件的判断。图中虚线框所示为决策参数的仿真计算输出。

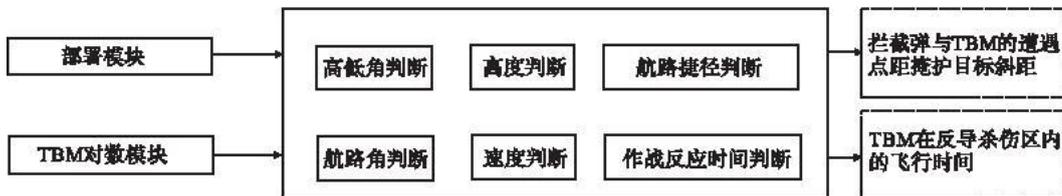


图 2 反导部署决策参数计算的 SD 模型框架

Fig. 2 The SD model framework of deployment decision parameters calculation

根据以上分析,建立反导部署决策参数计算 SD 模型,见图 3,包含了图 2 中模块的各项要素。SD 模型的计算关系式如下,其实质是完成参数计算函数 C 的功能,即:

$$C = \text{IF THEN ELSE} (H_d = T; \text{AND}; H_{fy} = T; \text{AND}; H_g = T; \text{AND}; P_{hl} = T; \text{AND}; D_j = T; \text{AND}; P_e; \text{AND}; P_{hlj} = T; \text{AND}; D_y = T, T, F) \quad (5)$$

式中:IF THEN ELSE 为 SD 模型中的条件判断运算符;AND:为 SD 中的逻辑与运算符; H_d 为低界判断条件; H_{fy} 为反导作战反应时间判断条件; H_g 为高界判断条件; P_{hl} 为航路捷径判断条件; D_j 为杀伤区近界判断条件; P_e 为高低角判断条件; P_{hlj} 为最大航路角判断条件; D_y 为杀伤区远界判断条件; T 为满足条件; F 为不满足条件。

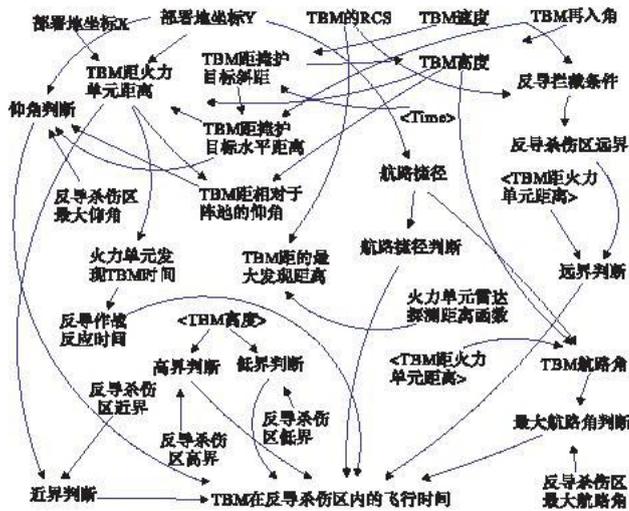


图 3 反导部署决策参数计算的 SD 模型

Fig. 3 The SD model of deployment decision parameters calculation

不失一般性,对图3的SD模型进行以下几点假设(见图4):①坐标系采用直角坐标系;②坐标系原点为掩护目标所在地;③鉴于末段低层反导武器系统必须部署在掩护目标附近,因此设定武器系统的部署地域为 $X \in [-20, 20]$ km、 $Y \in [-20, 20]$ km的地域范围内。该计算模型在仿真运算时,将待选部署点坐标、反导武器系统战术技术指标、TBM参数等在模型中进行设定,而后,通过模型仿真运行,得到反导武器部署在 (x, y) 时2个重要的决策参数 (D_{yx}, T_{cx}) 的运算值,随后,以之为依据进行多属性决策,实现部署方案的排序、优选。

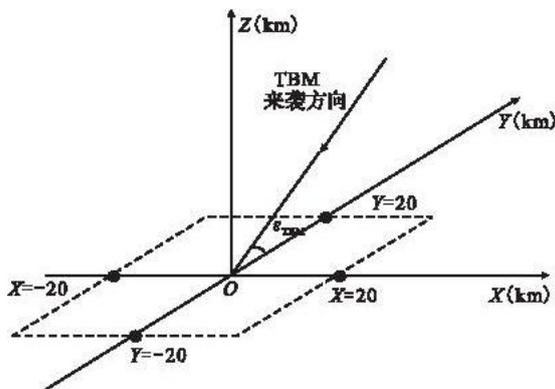


图4 末段低层反导部署坐标系

Fig. 4 The coordinate of terminal low altitude anti-TBM systems deployment

4 案例应用

模型在实际运算过程中,需根据反导武器系统的战术技术指标,设定模型中的兵器性能参数,TBM参数需要根据弹道导弹的目标特性和威胁分析设定。假定TBM来袭方向为Y轴的反向(即弹道位于图4的YOZ平面内),高低角为 ε_{TBM} ,在部署地域内共有8个部署地点可供选择,设定武器系统战技参数后,经过模型仿真计算出的决策参数 (D_{yx}, T_{cx}) ,见表1。

利用式(3)、(4)对待选的8个部署方案进行多属性决策,并假定指挥员对 M_{yx} 准则的偏好程度为0.3,即 $\lambda = 0.3$ 。首先,利用式(3)将决策参数矩阵 $(f_{ij})_{2 \times 8}$,经归一化处理得到消除量纲的参数归一化矩阵 R 。即:

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} 27.1 & 33 & 51.8 & 45.9 & 28.7 & 37.1 & 47 & 54 \\ 19.4 & 24.2 & 27.8 & 30.6 & 20.6 & 27.6 & 29.6 & 25.9 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0.219 & 0.918 & 0.699 & 0.059 & 0.372 & 0.740 & 1 \\ 0 & 0.429 & 0.75 & 1 & 0.107 & 0.732 & 0.911 & 0.58 \end{bmatrix}$$

利用式(4),取 $\lambda = 0.3$,计算得到多属性决策值:

$$M = [0, 0.366, 0.8, 0.91, 0.093, 0.624, 0.86, 0.71]$$

部署方案优选排序为:④>⑦>③>⑧>⑥>②>⑤>①。

5 结束语

末段低层反导作战是整个反导拦截打击过程的最后阶段,武器系统的部署将直接影响其反导作战效能的发挥。末段低层反导武器系统部署涉及的问题较多,本文选取的决策参数侧重于对反导作战效能影响较大的关键要素,通过SD仿真进行决策参数计算,利用多属性决策理论可实现部署方案的优选。在实际的作战运用中,将文中讨论的决策模型进行软件实现是一种较为理想的途径,可根据不同武器的性能参数,实现部署决策的科学性、高效性,以满足末段低层反导作战的需要。

参考文献(References):

[1] 李学忠. 国家空天安全论[M]. 北京:解放军出版社,2010.

LI Xuezhong. Theory of nation air and space safety [M]. Beijing: Chinese people liberation army publisher, 2010. (in Chi-

表1 决策参数运算结果

Tab. 1 The calculation results of decision parameters

序号	坐标(X,Y)	D_{yx}/km	T_{cx}/s
1	(-17, -10)	27.1	19.4
2	(-14, -5)	33	24.2
3	(-10, 16)	51.8	27.8
4	(-8, 8)	45.9	30.6
5	(6, -12)	28.7	20.6
6	(15, 0)	37.1	27.6
7	(10, 10)	47.0	29.6
8	(7, 20)	54	25.9

- nese)
- [2] 王凤山. 现代防空学[M]. 北京:航空工业出版社,2008.
WANG Fengshan. Science of modern air defense [M]. Beijing: Navigation industry publisher, 2008. (in Chinese)
- [3] 刘健. 地空导弹兵作战部署定量分析方法研究[D]. 西安:空军工程大学,2002.
LIU Jian. Study on quantitative analysis methods for operational disposition of ground - to - air missile force [D]. Xi'an: Air force engineering university, 2002. (in Chinese)
- [4] Armenian H K, Collier J D, Dennis P W. TMD battle management [C]//Fifth AIAA/BMDO technology readiness conference. [S. l.]: AIAA/BMDO press, 1996:63 - 73.
- [5] Brig Gen Mark Shackelford. The weapon of ballistic missile defense[R]. USA: USAF acting deputy director missile defense agency, 2004.
- [6] Dean A. Wilkening. A simple model for calculating ballistic missile defense effectiveness[J]. Science & global security, 1999, 8(2):183 - 215.
- [7] Jaiswal N K. Military operations research: quantitative decision making [M]. Massachusetts: Kluwer academic publishers, 1997.
- [8] 王其藩. 高级系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
WANG Qifan. Advance system dynamics[M]. Beijing: Tsinghua university press, 1998. (in Chinese)
- [9] 商长安. 空防对抗仿真的系统动力学模型研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 20(19):5994 - 5997.
SHANG Chang'an. Study on system dynamics model of the simulation of air - defense confrontation[J]. Journal of system simulation, 2009, 20(19):5994 - 5997. (in Chinese)
- [10] WANG Qifan. Theory and application of system dynamics[M]. Beijing: New Times Press, 1997.

(编辑:田新华)

Research on Deployment Decision Model of the Terminal Low Altitude TBMD Systems

SHANG Chang - an, GUO Peng - song, LIU Jian

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: This paper researches the deployment decision problem on terminal low altitude TBMD systems. Firstly, in view of the characters of terminal low altitude TBMD systems, the decision rules are discussed. Secondly, multiple attribute decision model of the weapon systems deployment is built, the basic deployment conditions and decision process are proposed, which include two important factors: decision parameter calculation and multiple attribute decision. Thirdly, according to the characters of the parameters and the deployment decision model, the System Dynamics (SD) calculating simulations model on decision parameters is built, which is useful for the calculation of two important decision parameters. Finally, the calculations of alternative deployment positions' decision parameters are performed by the SD model, and the deployment schemes order is acquired by the decision model. The case application shows that the decision model is effective.

Key words: terminal low altitude TBMD; deployment; decision model; system dynamics