

文章编号: 1001-2486(2007)04-0126-04

机动导弹系统生存能力评估的结构模型*

刘琦¹, 胡军涛², 李恒峰³

(1. 国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073;

2. 空军雷达学院, 湖北 武汉 430019; 3. 总后勤部后勤科研所, 北京 100071)

摘要:在对导弹系统构成进行分析的基础上,建立了机动导弹系统生存能力的串联、并联、备份框图模型,并对机动导弹系统结构化模型的解析求解方案进行阐述,最后通过实例说明生存能力结构化建模的思想。

关键词:机动导弹;生存能力;模型

中图分类号:E917 **文献标识码:**A

The Structural Model for Mobile Missile System
Survivability AssessmentLIU qi¹, HU Jun-tao², LI Heng-feng³

(1. College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Air Force Radar Academy, Wuhan 430019, China; 3. Institute of Logistics Science Research, General Logistics Department, Beijing 100071, China)

Abstract: Based on the component analysis of missile system, the survivability block model of series, parallel, backup were built, and the analytical solution for structuralized model were illustrated. Finally, an example was presented to show the analysis process.

Key words: mobile missile; survivability; model

纵观近十几年发生的几场局部战争,不难发现每次战争的初始作战阶段,导弹武器系统阵地都是首要和重点的遭袭目标。在以精确制导炸弹、精确制导导弹、打击地下掩体的微型核武器、以卫星为制高点的 C⁴ISR 系统以及定向能武器等多种兵器综合的作用下,各国导弹系统在作战全过程中都面临着被打击的威胁,而且这种威胁日益严重。因此,对生存能力评估技术以及导弹部署、机动路线等技术的研究就至关重要。

美国一直关注陆基导弹武器系统的生存能力问题,不断加强对不同基地方式生存能力的研究,对生存能力评估模型和方法、不确定因素对评估的影响、密集基地、加固机动发射车、铁路机动等方案的生存能力都进行了分析^[1],并建立了陆射巡航导弹(GLCM)分队生存能力及易损性评估系统(SAVAGE)^[2]。在评估核攻击条件下导弹系统生存能力方面,文[3]阐述了评估核打击时生存能力的具体过程以及包含的主要研究内容。文[4]对核打击时地面核爆炸产生的主要效应进行了测定和计算。在导弹系统生存能力评估方面,还建立了核爆炸效应模型^[5]、地下井生存能力评估模型^[6]、密集加固地下井生存能力评估模型^[7]、地面机动弹道导弹生存能力评估模型^[8]、铁路机动弹道导弹生存能力评估模型^[9]等,国内也有相关文献给出了地地战略机动导弹武器系统论证中关于生存能力的内容、指标体系、程序和方法,文[10]分析了地地战术导弹系统生存能力的具体构成要素,提出了按机动导弹武器系统的拦截能力、隐蔽能力、示假能力、机动能力、预警发射能力、突防能力、电子战能力对机动导弹武器系统的生存能力进行评价。文^[11]基于启发式搜索算法,从系统角度对地空导弹袭击情况下,航天飞行器的飞行路径进行了分析,以增加对抗条件下系统的生存能力。文[12]基于效能层次模型和生存层次模型建立了一体化生存性评估模型,然而该模型适用于对体系、大型系统的生存性评估,其评估模型的量化与细化程度难以满足机动导弹武器系统的生存性评估。

* 收稿日期:2006-12-15

作者简介:刘琦(1974—),男,讲师,博士。

从现有的评估模型看,机动导弹武器系统生存能力评估是将机动导弹武器系统作为一个整体来考虑,并没有考虑到系统各组成部分。对导弹系统来说,由于系统各组成部分功能不同,所以在整个机动导弹武器系统作战中发挥的能力不同,从而不同组成成分系统的故障对整个系统生存能力的影响不同,因此需要在对生存能力评估模型进一步细化的基础上,对机动导弹武器系统的各组成部分的故障对系统生存能力的影响进行分析,再对整个系统的生存能力进行评估。

1 生存概率的框图模型

机动导弹武器系统通常由预警分系统、拦截分系统、测试分系统、机动分系统等组成,在此基础上可以进一步细分,构建机动导弹武器系统组成的金字塔模型。因此,对于综合评估模型的研究可以以可靠性分析中的可靠性框图建模为基础,改进后完成机动导弹武器系统生存性综合评估模型。

1.1 串联模型

设机动导弹武器系统包含 A 、 B 、 C 、 D 四个分系统,协同工作完成导弹的发射、作战。只要有一个分系统故障,则整个系统不能处于完好状态,不能完成系统规定的全部功能。如测试分系统故障后,不能提供测试信息,造成导弹发射信息不完备,从而不能成功地监控系统的状态,造成系统生存能力下降。此时系统的生存概率框图为串联模型,如图 1 所示。



图 1 生存概率的串联模型

Fig.1 Survivability serial block model

1.2 并联模型

设机动导弹武器系统中,为了避免分系统的故障造成整个系统不能正常运转,从而对某些关键部件采用并联技术进行冗余,如对测试车(在框图中以 C 表示),配置两台(C_1 、 C_2)共同完成导弹相关数据的测试,两台测试车只要有一台正常运转即可保证整个系统的正常运转。则系统的生存概率框图可描述为图 2 所示。

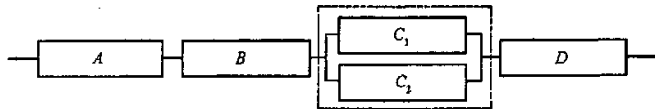


图 2 生存概率的并联模型

Fig.2 Survivability parallel block model

1.3 备份模型

在机动导弹武器系统中,为了避免分系统的故障造成整个系统不能正常运转,采取的冗余技术还可以包括冷备冗余、热备冗余,如对指挥车(在框图中以 B 表示)可采用冷备技术(分别记为 B_1 、 B_2),当某一指挥车故障时,另一台指挥车代替指挥,则系统的生存能力框图可描述为图 3 所示。

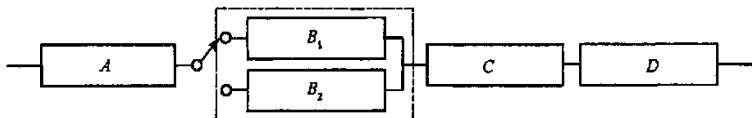


图 3 生存概率的冷备模型

Fig.3 Survivability cool-redundancy block model

2 生存概率的数学模型

建立了生存能力的框图模型后,即可在框图模型的基础上,建立由于分系统故障所引起的系统生存能力变化的数学模型。下面分别对串联、并联、备份情况下系统生存概率的评估模型进行分析。

假设在各分系统完好情况下,机动导弹武器系统的生存概率为 P ,此时 P 的计算,可在对导弹系统

预警能力、拦截能力、抗毁能力等进行综合分析的基础上得到。

2.1 串联模型

在串联情况下(图1),记由于敌方的打击,造成A、B两个分系统失效。在A分系统单独故障的情况下,造成整个系统的生存概率下降量为 S_1 (在此以百分比表示),在B分系统单独故障的情况下,造成整个系统的生存概率下降量为 S_2 ,则由于A、B两个分系统的共同故障,造成整个系统的生存概率下降为:

$$P_1 = P(1 - S_1)(1 - S_2) \quad (1)$$

但在实际的作战过程中,分系统A、B的故障是以一定的概率出现的,如受敌方打击后A分系统故障的概率为 F_A ,B分系统故障的概率为 F_B ,则由于A、B分系统的故障,造成系统生存概率的下降为:

$$P_1 = P(1 - F_A S_1)(1 - F_B S_2) \quad (2)$$

2.2 并联模型

在并联情况下(图2),在分系统A、B、D正常的情况下,分系统 C_1 、 C_2 只要有一个正常工作,则系统正常工作,生存概率为 P 。在分系统 C_1 、 C_2 同时故障的情况下,整个系统的生存概率下降量为 S_3 。记由于敌方打击,造成分系统 C_1 、 C_2 故障的概率分别为 F_{C_1} 、 F_{C_2} 。则由于分系统 C_1 、 C_2 故障造成系统生存概率下降为:

$$P_2 = P(1 - F_{C_1} F_{C_2} S_3) \quad (3)$$

2.3 备份模型

对于备份模型(图3),可类似于并联模型进行分析。在分系统A、C、D正常的情况下,记由于B分系统(此时由 B_1 、 B_2 组成冷备系统)故障,造成整个系统生存概率下降量为 S_2 。记由于备份在敌方打击条件下,B分系统故障的概率为 F_B 。则在备份条件下,系统生存概率可由下式计算:

$$P_1 = P(1 - F_B S_2) \quad (4)$$

从上述推导过程可知,对系统生存概率的计算在分系统故障对系统生存概率影响已知的情况下,系统的生存概率完全由敌方打击后分系统的故障概率确定,这样对生存概率的计算即转化为敌方打击后分系统故障概率的计算。

3 实例分析

设机动导弹系统由A、B、C、D四个分系统构成,其生存能力的结构框图如图4所示。假设在A、B、C、D分系统分别故障的情况下,系统生存概率下降程度 S_i 已知,在受敌方打击后A、B、C、D的故障概率分别如表1所示。求在敌方连续打击后系统的生存概率。

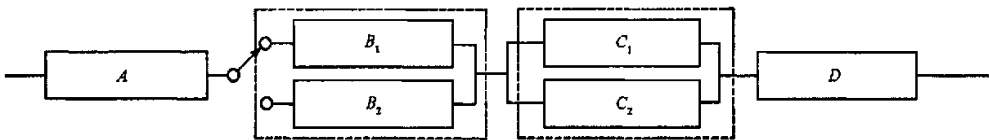


图4 某导弹系统生存概率结构框图

Fig.4 The missile survivability block diagram

表1 分系统故障效应及故障概率

Tab.1 The subsystem's failure effect & probability

分系统	S_i	故障概率
A	10%	0.15
B	B_1	0.1
	B_2	0.13
C	C_1	0.1
	C_2	0.2
D	20%	0.1

对于分系统 B 由于采取冷备措施,在敌方一次打击后,若分系统 B_1 故障可立即更换为分系统 B_2 ,所以 B 分系统的故障概率可计算出为 $F_B = 0$ 。而分系统 C 由于采用并联措施,所以在敌方一次打击后,分系统故障概率为 $F_C = 0.2 \times 0.2 = 0.04$ 。从而系统在遭受一次打击后,生存能力可由下式计算:

$$P_1 = P(1 - 0.15 \times 0.1) \times (1 - 0 \times 0.15) \times (1 - 0.04 \times 0.12) \times (1 - 0.1 \times 0.2) = 0.9607P$$

而在进行二次打击时,对于分系统 B 由于采取冷备措施,在敌方一次打击后,若分系统 B_1 故障可立即更换为分系统 B_2 ,在敌方第二次打击后故障的概率为 0.13;在敌方一次打击后,如分系统 B_1 未故障,则在敌方第二次打击后故障的概率为 0.1。所以在敌方二次打击后,分系统 B 故障的概率为

$$F_B = 0.1 \times 0.13 + (1 - 0.1) \times 0.1 = 0.1030$$

从而在遭受第二次打击后,系统的生存能力可由下式计算

$$P_2 = P_1(1 - 0.15 \times 0.1) \times (1 - 0.1030 \times 0.15) \times (1 - 0.04 \times 0.12) \times (1 - 0.1 \times 0.2) = 0.9086P$$

4 小结

在本文中,对机动导弹机构化建模的方法进行研究,构建了串联、并联、备份模型,并对生存能力结构化建模的解析模型进行了阐述。通过实例说明模型计算过程。研究成果对于改进机动导弹的生存性设计,优化系统配置具有理论指导作用。需要指出的是:

(1) 本文仅对敌方打击后,分系统单一故障模式下对系统生存能力的影响情况进行分析,基于此种思想可对多故障模式下分系统故障对系统生存能力的影响进行研究。

(2) 本文中系统的结构、分系统故障对系统生存能力的影响数据等,均为为验证系统模型而编辑的数据,并非系统真实数据。

(3) 本文中仅考虑分系统故障之间相互独立的情况,如考虑分系统之间存在耦合的情况,可将耦合的分系统作为一个分系统来考虑,类似进行分析。

(4) 对敌方打击后,分系统故障概率的计算可在对敌方打击模式、导弹系统的抗毁性等进行分析的基础上,建立故障概率模型进行分析。

(5) 由于分系统故障对系统生存能力的影响由分系统本身的属性以及分系统在整个系统中所起的作用决定,所以可以在对相关信息处理后,建立专门的表格。

参考文献:

- [1] 王基祥,常渊.美国弹道导弹地面生存能力评估模型研究(1)[J].导弹与航天运载技术,1999,5:11-21.
- [2] 吕小红.提高陆射巡航导弹发射装置及车辆生存能力的技术途径与措施[J].导弹与航天运载技术,2003,4:54-59.
- [3] Douglas D M. Introduction to the Operational Nuclear Survivability Assessment Process[R]. ADA210072,1988.
- [4] 秦志高,等.陆基战略弹道导弹生存能力[M].北京:宇航出版社,1987.
- [5] Bernett B W. Uncertainty in ICBM survivability [J]. 1979.
- [6] Levietai. The Future of Land-based Strategic Missiles[J]. 1989.
- [7] Romm J, Tsipis K. Analysis of Dense Pack Vulnerabilities[D]. MIT, 1982.
- [8] Gearhart D J, Merrow S F. Survivability of the Hardened Mobile Launcher when Attacked by a Hypothetical Rapidly Retargetable ICBM system[R]. ADA172453, 1986.
- [9] 王基祥,常渊.美国弹道导弹地面生存能力评估模型研究(2)[J].导弹与航天运载技术,1999,6:10-14.
- [10] 金伟新. 地地战术导弹作战系统生存能力研究[J].军事系统工程,1995,3:12-18.
- [11] Scow, Yoke W. Survivability Enhancement in a Combat Environment[R]. ADA429875, 2004.
- [12] Guzie, Gary L. Integrated Survivability Assessment[R]. ADA422333, 2004.

