

AHP 法在阵地系统生存概率计算中的应用

许金余¹, 刘开帝¹, 战勇²

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军后勤部 机场营房部, 北京 100720)

摘要:应用层次分析法(AHP)讨论阵地的生存概率,将某型阵地作为一个系统分为三个层次,分别按照各指标重要性组成判断矩阵求出各种指标在系统中所占权值,与利用统计试验法所求出的某个目标的生存概率相结合,最终求出系统的生存概率。

关键词:阵地;生存概率;层次分析法

中图分类号:O321 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)01-0084-04

层次分析法(AHP)由美国著名运筹学家 T. L. Santty 于 70 年代中期提出。主要思想为,将多指标决策系统分层,构造各个层次的判断矩阵,计算各指标权值,最后累积和求得系统判断值。

对于阵地的生存概率计算,可以使用文献[1]中的解析公式作粗略估算,具体方法为,把整个阵地看作一个点目标,即以阵地的中心作为攻击点。求解出某型弹对阵地的破坏半径,代入解析式即可。但在实际情况下,相对于来袭武器的破坏半径,把阵地看作点目标必然引起很大的误差。所以,本文拟用层次分析法对阵地这个系统进行可能受到攻击的目标分类,按各分项指标的重要性得出系统的生存概率。

1 生存概率计算的系统模型

1.1 单个目标(分项目标)的生存概率计算

本文的重点是阵地系统的生存概率,这里仅对阵地中点目标的生存概率计算给出相关的两种方法^[1]。

1.1.1 解析法

$$P_s = 1 - P_{\text{发现}}(1 - P_{\text{机动}})(1 - 0.5^{R^2/(R_1+D)^2}) \quad (1)$$

式中 P_s 为生存概率, $P_{\text{发现}}$ 为阵地的发现概率, $P_{\text{机动}}$ 为来袭弹头到达之前,阵地武器系统能机动的概率, D 为误差距离, R 为破坏半径, R_1 为命中精度(圆公算偏差 CEP)

1.1.2 计算机模拟

由于投弹服从正态分布,可由计算机按一定规律产生正态分布随机数组成弹着点坐标,如果点目标与弹着点距离不大于来袭弹的破坏半径,即可认为该点目标被毁,计入一次毁伤成功。毁伤成功次数与模拟次数的比值即为该点目标的毁伤概率。则生存概率=1-毁伤概率。

1.2 层次分析法构建生存概率的系统模型

层次分析法(其流程图见图 1)的思想是将系统分层并量化,通过专家群来给各指标评定其重要性程度,构成判断矩阵,求出各指标的权值;然后通过其他的方法,给予各指标分值(在本文中为阵地的生存概率)。

1.2.1 权值评分图

按层次分析法做出阵地的分层结构权值评分图如图 2 所示。括号中数值为工程目标价值,其量化表见表 1,图中工程目标价值通过专家群评判,采用多数原则,利用评分算术平均法确定^[2]。

1.2.2 构造判断矩阵^[3]

按图 2 构造判断矩阵

收稿日期:2000-09-15

基金项目:总后科研基金资助项目(HX99502);空军拔尖人才科研基金资助项目

作者简介:许金余(1963-),男,吉林靖宇人,教授,博士,主要从事防护工程、结构工程及岩土工程领域研究。

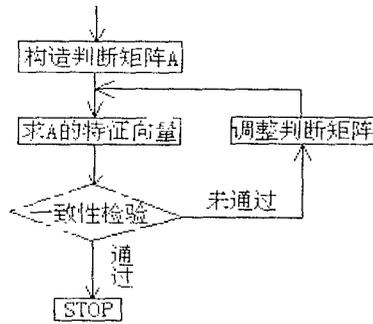


图 1 AHP 法计算流程图

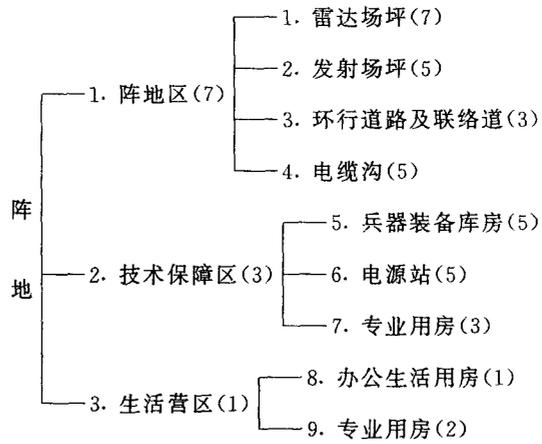


图 2 阵地分层结构权值评分图

表 1 工程目标价值量化表

标度(优先系数)	定义	说明
1	A_i 与 A_j 优劣(重要)相等	两者对目标的贡献相等
3	A_i 稍优于(重要于) A_j	根据经验一个比另一个评价稍有利
5	A_i 优于(重要于) A_j	根据经验一个比另一个评价更为有利
7	A_i 甚优于(重要于) A_j	根据经验一个比另一个评价更为有利,且其优势已在实践中证实
9	A_i 级端优于(重要于) A_j	明显重要的程度可以断言为最高
2,4,6,8	两相邻标度的中间值	需要折中时采用
以上非零数字的倒数	若 A_i 与 A_j 比较时规定 A_i 具有以上非零数字之一,则 A_j 与 A_i 比较时, A_j 具有相应的非零数字的倒数	

设阵地构成矩阵 A , 阵地区构成矩阵 B , 技术保障区构成矩阵 C , 生活营区构成矩阵 D 。

构造判断阵 $A-B$: ($A-B$ 表示在 A 层下 B 的判断阵)

$$A-B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 7/5 & 7/3 & 7/5 \\ 5/7 & 1 & 5/3 & 1 \\ 3/7 & 3/5 & 1 & 3/5 \\ 5/7 & 1 & 5/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $b_{11} = b_{22} = b_{33} = b_{44} = 1$, $b_{12} = \frac{1}{b_{21}}$, $b_{13} = \frac{1}{b_{31}}$, $b_{14} = \frac{1}{b_{41}}$, $b_{23} = \frac{1}{b_{32}}$, $b_{24} = \frac{1}{b_{42}}$ 。其中 b_{12} 表示雷达场坪重要性与发射场坪重要性之比为 7/5。余类推。

同理构造 C 阵, D 阵以及 A 阵。

1.2.3 各矩阵权系数值^[4]

对矩阵 $A-B$ 方根法 $\rightarrow \sqrt[4]{1 \times 7/5 \times 7/3 \times 7/5}$
 $\sqrt[4]{5/7 \times 1 \times 5/3 \times 1}$
 $\sqrt[4]{3/7 \times 3/5 \times 1 \times 3/5}$
 $\sqrt[4]{5/7 \times 1 \times 5/3 \times 1}$ \rightarrow 规一化 \rightarrow 得其特征向量 $\omega = \begin{bmatrix} 0.350 \\ 0.250 \\ 0.150 \\ 0.250 \end{bmatrix}$

则

$$A\omega = \begin{bmatrix} 1 & 7/5 & 7/3 & 7/5 \\ 5/7 & 1 & 5/3 & 1 \\ 3/7 & 3/5 & 1 & 3/5 \\ 5/7 & 1 & 5/3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.350 \\ 0.250 \\ 0.150 \\ 0.250 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.4 \\ 1 \\ 0.6 \\ 1 \end{bmatrix}$$

于是矩阵 B 的最大特征根为, $\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A\omega)_i}{n\omega_i} = \frac{1}{4} \left(\frac{1.4}{0.35} + \frac{1}{0.25} + \frac{0.6}{0.15} + \frac{1}{0.25} \right) = 4$

查表 2, 当 $n=4$ 时, $R \cdot I=0.90$, 则随机一致性比率为 $C \cdot R = \frac{C \cdot I}{R \cdot I} = \frac{\lambda_{\max} - n}{N - 1} = \frac{4 - 4}{4 - 1} = 0 < 0.1$

表 2 平均随机一致指标 $R \cdot I$

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
指标 $R \cdot I$	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48

则 B 的权系数值为 $\omega_1 = 0.35, \omega_2 = 0.25, \omega_3 = 0.15, \omega_4 = 0.25$

同理求得 C 的权系数值为 $\omega_5 = 0.385, \omega_6 = 0.385, \omega_7 = 0.230$

D 的权系数值为 $\omega_8 = 0.333, \omega_9 = 0.667$

A 的权系数值为 $\omega_B = 0.636, \omega_C = 0.273, \omega_D = 0.091$

1.2.4 系统生存概率

权值计算在表 3 中进行。

表 3 阵地系统分项权值系数 ω_i 计算表

	ω_B	ω_C	ω_D	ω_i
	0.636	0.273	0.091	
ω_1	0.35			$\omega_1 \times \omega_B = 0.223$
ω_2	0.25			$\omega_2 \times \omega_B = 0.159$
ω_3	0.15			$\omega_3 \times \omega_B = 0.095$
ω_4	0.25			$\omega_4 \times \omega_B = 0.159$
ω_5		0.385		$\omega_5 \times \omega_C = 0.105$
ω_6		0.385		$\omega_6 \times \omega_C = 0.105$
ω_7		0.230		$\omega_7 \times \omega_C = 0.063$
ω_8			0.333	$\omega_8 \times \omega_D = 0.030$
ω_9			0.667	$\omega_9 \times \omega_D = 0.061$

在 1.1 节中, 已经计算出各分项目标的生存概率, 则系统的生存概率可用下式计算,

$$P_{SS} = \sum_{i=1}^N P_{S_i} \omega_i \text{ 或 } P_{SS} = \sum_{i=1}^4 P_{S_i} \omega_i \omega_B + \sum_{i=5}^7 P_{S_i} \omega_i \omega_C + \sum_{i=8}^9 P_{S_i} \omega_i \omega_D \quad (3)$$

式中, P_{SS} 为阵地系统生存概率, P_{S_i} 为第 i 个分项目标的生存概率, $i=1, 2, 3, \dots, N, N$ 为分项目标个数, 本例中 $N=9$ 。

2 算例

以某环行布置的阵地地区为例计算该阵地系统的阵地地区子系统的生存概率。本文仅给出阵地地区示意图(如图 3 所示)。设来袭导弹为美 AGM-84E 斯拉姆导弹, 装药量为 220 kg(同爆炸药), 命中精度为 10 m, 地面爆炸。取该阵地 $P_{发现}=1, P_{机动}=0$, 雷达场坪及发射场坪抗力 $\Delta P_d=4$ MPa, 电缆沟及环行道路 $\Delta P_d=3$ MPa。

确定六个发射场坪的坐标为①(15.13, 51), ②(15.13, 149), ③(100, 1), ④(100, 199), ⑤(184.87, 51), ⑥(184.87, 149);

雷达场坪坐标为(100, 100), 环行道路在圆 $(x-100)^2 + (y-100)^2 = 99^2$ 上, 电缆沟在直线段 $\begin{cases} x=100 & 1 \leq y \leq 199 \\ y=x & 15.13 \leq x \leq 184.87 \\ y=-x+200 & 15.13 \leq x \leq 184.87 \end{cases}$

上, 利用文献[1]的方法进行计算机模拟, 得出阵地地区各分项目标的生存概率。雷达场坪生存概率为 $P_{S_1}=74.860\%$ 。发射场坪①为

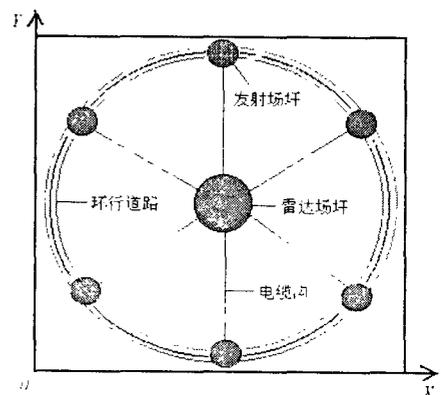


图 3 阵地地区示意图

73.771%;发射场坪②为82.723%;发射场坪③为76.555%;发射场坪④为75.441%;发射场坪⑤为76.657%;发射场坪⑥为74.305%。由于发射场坪的重要性相同,故生存概率取它们的均值, $P_{S_2}=76.575\%$ 。环行道路生存概率为 $P_{S_3}=47.056\%$ 。电缆沟生存概率为 $P_{S_4}=41.943\%$ 。则阵地子系统生存概率为 $\omega_1 \times P_{S_1} + \omega_2 \times P_{S_2} + \omega_3 \times P_{S_3} + \omega_4 \times P_{S_4} = 62.89\%$

3 结束语

1)利用层次分析法计算生存概率,把定性转化成定量来研究,便于在评估时制定一个量化指标。

2)利用层次分析法建立的模型,可明显看出阵地需要重点防护的目标。在进行阵地等级评定时有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 刘开帝,战勇,许金余.地空导弹阵地点目标生存概率计算机模拟[A].钱七虎.中国土木工程学会防护工程学会第四届理事会暨第七次学术年会论文集[C].井冈山,2000.246-251.
- [2] 郭凤鸣.层次分析法模型选择的思考[J].系统工程理论与实践,1997,17(9):54-58.
- [3] 秦学志,王雪华,杨德礼.AHP中群组评判的可信度法(1)[J].系统工程理论与实践,1999,19(7):89-93.
- [4] 许先云,杨永清.不确定AHP判断矩阵的一致性逼近与排序方法[J].系统工程理论与实践,1998,18(2):19-22.

AHP calculating method of system survival probability for air defense bastion

XU Jin-yu¹, LIU Kai-di¹, ZHAN Yong²

(1. The Engineering Institute, AFEU., Xi'an 710038, China;

2. Dept. of Air Force Logistics Airport and Barracks, Beijing 100720, China)

Abstract: This article applies AHP to discuss the survival probability of air defense bastion for missiles. After sorting the system of bastion into three layers, we build up judgment matrixes, then we utilize the survival probability of isolated item which is calculated with method of static experiment to acquire the system survival probability.

Key words: air defense bastion; survival probability; AHP