

doi: 10.7690/bgzd.2015.11.005

舰空导弹红外制导系统抗干扰性能评估方法研究

张 良¹, 黎海雪²

(1. 中国人民解放军 92941 部队 93 分队, 辽宁 葫芦岛 125001;
2. 中国人民解放军 91216 部队 34 分队, 辽宁 兴城 125106)

摘要: 针对舰空导弹红外制导系统抗干扰性能各指标关联度强, 定量分析难的问题, 采用层次分析法建立评价指标体系, 按照层次将指标予以量化, 计算出各层次指标对总目标的合成权重, 并采用某型红外成像导引系统仿真数据进行仿真分析。结果表明: 该方法能减少许多不确定因素和人为造成的不利影响, 为舰空导弹红外制导系统抗干扰性能的评价提供了科学依据。

关键词: 舰空导弹; 红外; 抗干扰; 层次分析法
中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Research on Anti-interference Performance Evaluation Method of Ship-to-air Missile Infrared Guidance System

Zhang Liang¹, Li Haixue²

(1. No. 93 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125001, China;
2. No. 34 Team, No. 91216 Unit of PLA, Xingcheng 125106, China)

Abstract: In view of the problems of ship-to-air missile infrared guidance system anti-interference performance of each index correlation is strong, difficult to quantitative analysis, the method to establish the evaluation index system by analytic hierarchy process, in accordance with the level of quantifying the index, calculate the synthetic weight of each level index to the overall objectives, and the use of a certain type of infrared imaging guidance system simulation data for simulation analysis. Results show that the method can reduce a lot of uncertain factors and the negative impact of the man-made, provide scientific basis for the evaluation of ship-to-air missile infrared guidance system anti-interference performance.

Keywords: ship-to-air missile; infrared; anti-interference; analytic hierarchy process

0 引言

舰空导弹红外制导抗干扰系统由众多相互关联、相互制约的因素构成, 各因素在抗干扰过程中的作用并不确定。层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)可以通过简洁实用的建模方法来确定各因素的权重, 然后用综合评价模型处理已标准化的指标数据得到各评价对象的综合评价结果; 因此, 笔者利用层次分析法建立舰空导弹红外制导抗干扰系统评价指标体系。

1 层次分析法的原理

层次分析法是美国运筹学家、匹兹堡大学教授 T.L.Satty 于 20 世纪 70 年代初提出的一种定性与定量分析相结合的多准则决策方法。AHP 方法把复杂的问题分解成各个组成因素, 又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性。然后综合有关人员的判断, 确定备选方案相对重要性的总排序。整个过程体现了人们分解—判断—综合的思维特征。

在运用 AHP 方法进行评价或决策时, 大体可分为以下 4 个步骤:

- 1) 分析评价系统中各基本要素之间的关系, 建立系统的递阶层次结构;
- 2) 对同一层次的各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较, 构造两两比较判断矩阵, 并进行一致性检验;
- 3) 由判断矩阵计算被比较要素对于该准则的相对权重;
- 4) 计算各层要素对系统目的(总目标)的合成(总)权重, 并对各备选方案排序^[1]。

其步骤流程如图 1 所示。

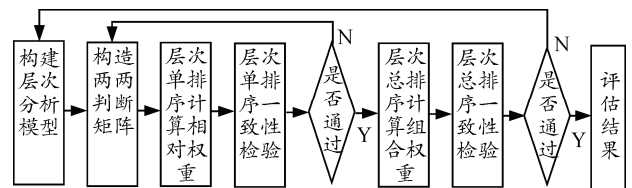


图 1 层次分析法步骤流程

收稿日期: 2015-07-11; 修回日期: 2015-08-14

作者简介: 张 良(1983—), 男, 安徽人, 工程师, 从事探测与跟踪制导研究。

2 抗干扰性能分析评估

2.1 建立递阶层次结构

递阶层次结构通常由 2 个以上层次组成：最高层只有一个要素，一般是分析问题的预定目标或期望实现的理想结果；中间层包括为实现目标所涉及的中间环节，有所需考虑的准则、子准则等；最低层表示为实现目标可供选择的各种方案、措施等。

红外舰空导弹的制导系统在发射前就已截获目标，发射后导弹继续跟踪已截获的目标。在视场中

出现干扰时，制导系统及时采取相应的抗干扰措施，减小干扰对制导系统跟踪的影响^[2]。如果丢失目标，制导系统会在它的搜索视场内重复搜索目标，直到目标被再次截获；因此，舰空导弹红外制导系统的抗干扰性能主要可以从探测能力、抗干扰能力和再次截获能力 3 个方面进行考虑。而这 3 个方面又由影响其能力效果的相关因素决定，通过分析这 3 个方面的具体影响因素^[3]，构造舰空导弹红外制导系统抗干扰性能评估层次分析结构如图 2 所示，整个递阶结构由 4 个层次组成。

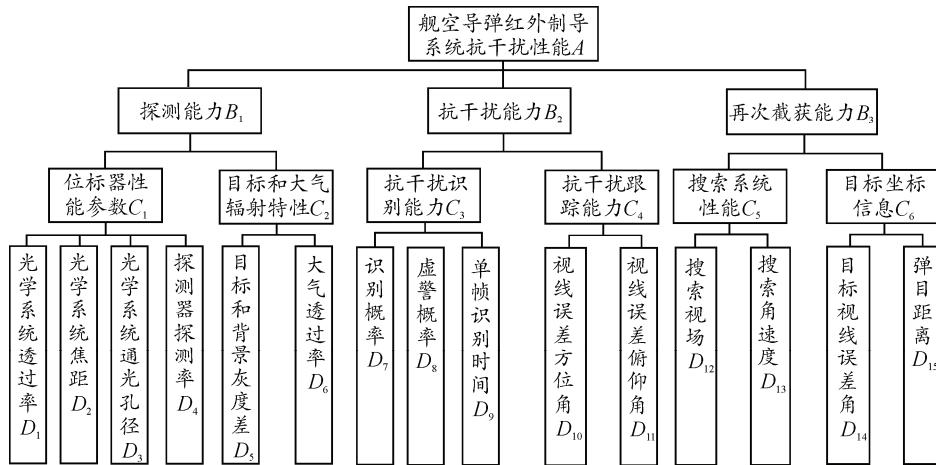


图 2 红外制导系统抗干扰性能评价指标体系

2.2 构造两两比较判断矩阵

对同一层次各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较，构造两两比较判断矩阵

$$A \triangleq (a_{ij}) \quad (1)$$

式中 a_{ij} 表示要素 i 与要素 j 相比的重要性标度，定义如表 1 所示。

表 1 判断矩阵标度定义

标度	含义
1	2 个要素相比，具有同样重要性
3	2 个要素相比，前者比后者稍重要
5	2 个要素相比，前者比后者明显重要
7	2 个要素相比，前者比后者强烈重要
9	2 个要素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值
倒数	2 个要素相比，后者比前者的重要性标度

2.3 计算要素相对权重

求各要素相对于上层某要素的归一化相对重要度向量，常用方根法，即：

$$W_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

$$W_i^0 = \frac{W_i}{\sum_i W_i} \quad (3)$$

W^0 为权重向量，最大特征值

$$\lambda_{\max} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} W_j}{W_i} \quad (4)$$

式中 $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个分量。

2.4 一致性检验

1) 计算一致性指标

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

2) 从表 2 中查找相应的平均随机一致性指标 R.I.

表 2 平均随机一致性指标

n	R.I.	n	R.I.	n	R.I.
1	0	6	1.26	11	1.52
2	0	7	1.36	12	1.54
3	0.52	8	1.41	13	1.56
4	0.89	9	1.46	14	1.58
5	1.12	10	1.49		

R.I.是同阶随机判断矩阵的一致性指标的平均值，其引入可在一定程度上克服一致性判断指标随 n 增大而明显增大的弊端。

3) 计算一致性比例

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} < 0.1。 \quad (6)$$

当 C.R.<0.1 时，即认为判断矩阵满足一致性，否则需调整判断矩阵。

2.5 计算合成权重

最后计算最底层的各项指标相对于舰空导弹红外制导系统整体抗干扰能力的合成权重，计算公式如下：

$$W^{(k)} = (W_1^{(k)}, W_2^{(k)}, \dots, W_{n_k}^{(k)})^T = P^{(k)} W^{(k-1)}; \quad (7)$$

$$W^{(k)} = P^{(k)} P^{(k-1)} \dots W^{(2)}。 \quad (8)$$

式中：k 表示当前层数； $P^{(k-1)}$ 表示第 k-1 层对上一层各指标的权重构成的 $n_{k-1} \times n_{k-2}$ 矩阵； $W^{(2)}$ 表示第 2 层指标对导引头整体抗干扰性能的单权重向量。

3 仿真分析

针对 2.1 节中建立的指标体系，采用某型红外成像导引系统仿真数据进行分析^[4]，对数据进行标准化，其中 $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_{12}, D_{13}$ 为常量指标，其数据依次为 0.75, 0.7, 0.725, 0.875, 0.866 7, 0.65, 0.5, 0.6，其余指标如表 3 所示。

表 3 指标数据

序号	D_7	D_8	D_9	D_{10}	D_{11}	D_{14}	D_{15}
1	0.853 1	0.74	0.8	0.786 7	0.713 3	1	1
2	0.857 2	0.75	0.8	0.620 0	0.546 7	1	1
3	0.892 4	0.84	0.8	0.786 7	0.760 0	1	1
4	0.804 5	0.66	0.8	0.546 7	0.460 0	1	1
5	0.804 3	0.66	0.8	0.680 0	0.520 0	1	1
6	0.804 3	0.69	0.8	0.573 3	0.480 0	1	1
7	0.804 3	0.69	0.8	0.386 7	0.446 7	1	1
8	0.804 6	0.69	0.8	0.213 3	0.180 0	0.89	0.143 2

针对图 2 建立的红外制导系统抗干扰性能评价指标体系，利用表 1 建立对应的判断矩阵^[5]。

在第 2 层指标中，相对于探测能力和再次截获能力，抗干扰能力对红外制导系统抗干扰性能起着主导作用^[6]，建立判断矩阵如表 4 所示，并运用式 (2)~(4) 计算其权重向量 W_A 。

表 4 A-B 判断矩阵及其处理

A	B_1	B_2	B_3	W_A	W_A^0
B_1	1	1/8	2	0.630 0	0.121 8
B_2	8	1	9	4.160 2	0.804 4
B_3	1/2	1/9	1	0.381 6	0.073 8

建立第 3 层指标对于第 2 层指标的判断矩阵^[7]，如表 5 所示，并分别计算其权重向量。

表 5 B-C 判断矩阵及其处理

B_1	C_1	C_2	W_{B1}	W_{B1}^0
C_1	1	3	1.442 2	0.714 1
C_2	1/3	1	0.577 4	0.285 9
B_2	C_3	C_4	W_{B2}	W_{B2}^0
C_3	1	8	2.828 4	0.888 9
C_4	1/8	1	0.353 6	0.111 1
B_3	C_5	C_6	W_{B3}	W_{B3}^0
C_5	1	1/2	0.707 1	0.333 3
C_6	2	1	1.414 2	0.666 7

建立第 4 层指标对于第 3 层指标的判断矩阵^[8]，如表 6 所示，并分别计算其权重向量。

表 6 C-D 判断矩阵及其处理

C_1	D_1	D_2	D_3	D_4	W_{C1}	W_{C1}^0	
D_1	1	1/3	1/2	1/4	0.451 8	0.091 6	
D_2	3	1	2	1/3	1.189 2	0.241 1	
D_3	2	1/2	1	1/2	0.840 9	0.170 5	
D_4	4	3	3	1	2.449 5	0.496 7	
C_2	D_5	D_6	W_{C2}	W_{C2}^0			
D_5	1	1/3	0.577 4	0.285 9			
D_6	3	1	1.442 2	0.714 1			
C_3	D_7	D_8	D_9	W_{C3}	W_{C3}^0		
D_7	1	4	8	3.174 8	0.707 1		
D_8	1/4	1	4	1	0.222 7		
D_9	1/8	1/4	1	0.315	0.070 2		
C_4	D_{10}	D_{11}	W_{C4}	W_{C4}^0			
D_{10}	1	2	1.414 2	0.666 7			
D_{11}	1/2	1	0.707 1	0.333 3			
C_5	D_{12}	D_{13}	W_{C5}	W_{C5}^0			
D_{12}	1	1/4	0.5	0.2			
D_{13}	4	1	2	0.8			
C_6	D_{14}	D_{15}	W_{C6}	W_{C6}^0			
D_{14}	1	2	1.414 2	0.666 7			
D_{15}	1/2	1	0.707 1	0.333 3			

由于二阶矩阵肯定满足一致性，所以只需对矩阵 A 、 C_1 、 C_3 进行一致性检验。 A 是三阶矩阵，由表 2 可知 R.I.=0.52，由式 (5) 计算得到 C.I.=0.018 5，由式 (6) 得到 C.R.=C.I./R.I.=0.035 5<0.1，因此 A 通过一致性检验。 C_1 是四阶矩阵，计算同上，R.I.=0.89，C.I.=0.072 5，C.R.=C.I./R.I.=0.081 5<0.1，因此 C_1 通过一致性检验。 C_3 是三阶矩阵，R.I.=0.52，C.I.=0.026 8，C.R.=C.I./R.I.=0.051 5<0.1，因此 C_3 通过一致性检验。

由式 (7)、式 (8) 计算最底层各项指标相对于舰空导弹红外制导系统整体抗干扰能力的合成权重值。 $W=[0.008 0 \ 0.021 0 \ 0.014 8 \ 0.043 2 \ 0.010 0 \ 0.024 9 \ 0.505 6 \ 0.159 2 \ 0.050 2 \ 0.059 6 \ 0.029 8 \ 0.004 9 \ 0.019 7 \ 0.032 8 \ 0.016 4]$ 。通过此合成权重值以及归一化指标向量，可以对红外制导系统抗干扰性能进行综合评价。假设归一化指标向量为 A ，得到 8 组数据向量为 $B=[0.815 0 \ 0.803 8 \ 0.852 2 \ 0.755 8 \ 0.765 5 \ 0.762 7 \ 0.750 6 \ 0.714 8]$ 。8 组数据得到的抗干扰性能优劣排序为 (3, 1, 2, 5, 6, 4, 7, 8)。