

基于多元统计的地面防空武器效能评估方法

齐立辉, 杨建军

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:地面防空武器效能评估是军事装备效能评估的一项重要内容。针对地面防空武器装备的特点,提出了采用多元统计学中的因子分析法,进行地面防空武器的效能评估,建立了相应的模型运算方法,并对典型装备进行了实例验证,结果表明了该方法的可行性。

关键词:防空武器;效能评估;多元统计;因子分析

中图分类号: O213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2004)06-0021-03

地面防空武器效能评估是军事装备效能评估的一项重要内容。效能评估的准确与否,将对现役和在研新装备的改进论证、方案优化、各项技战术指标的分析论证,以及装备的可靠性、维修性评估等方面产生重大的影响。本文将采用多元统计学中的因子分析法,进行地面防空武器的效能评估,这一方法可以归结为目前武器装备效能评估的两大类方法(解析法和统计法)中的后者。

1 因子分析法的基本原理

多元统计分析是研究多个随机变量之间相互依赖关系及其内在统计规律的一门统计学科,它通过对多个随机变量观测数据的分析,来研究变量之间的相互关系以及揭示这些变量的变化规律。同时,利用多元统计分析中的不同方法还可以对研究对象进行分类(如指标分类或样品分类)和简化(如把相互依赖的变量变成独立的或降低复杂集合的维数等等)。

因子分析是多元统计分析中的一种重要方法,是将具有复杂关系的变量综合为较少的几个因子,以得出原始变量与因子的相互关系,同时还可以根据不同的因子对变量进行分类、排序的一种多元统计方法^[1]。它通过变量的相关系数矩阵内部结构的研究,找出能控制所有变量的少数几个随机变量,以便于描述多个变量之间的关系,这少数几个随机变量通常称为因子,而后根据得到的因子对原始变量进行评估。

设 X 为 P 维列向量,均值为 μ ,称 X 有 k 个因子的模型,则 X 能表示为

$$X = \mu + A_{p \times k} f + g \quad (1)$$

其中: $A_{p \times k}$ 是未知常数矩阵因子负荷矩阵; f 是 k 维列向量,称作公共因子; g 为 p 维列向量,称作特殊因子。

一般情况,可设 $\mu = 0$, X 服从正态分布, $X \sim N(Af, \Psi)$, 则因子得分 \hat{f} 为

$$\hat{f} = (A^T \Psi^{-1} A)^{-1} A^T \Psi^{-1} (X - \mu) \quad (2)$$

其中, Ψ 为协方差矩阵,用 \hat{A} 和 $\hat{\Psi}$ 代替 A 和 Ψ 到式(2)中,将每个样品的数据 X 代入,便得相应的因子得分 \hat{f} 。

2 地面防空武器效能评估方法

运用因子分析法进行地面防空武器的效能评估,必须首先选取评估参数。由于地面防空武器装备,表征

收稿日期:2004-09-16

作者简介:齐立辉(1981-),男,河北昌黎人,硕士生,主要从事空军装备建设与发展研究;

杨建军(1955-),男,河北阜平人,教授,博士生导师,主要从事空军武器装备综合保障研究。

其效能的各项技战术指标众多,因此,应选取对武器系统效能影响较大的独立指标作为评估参数。针对地面防空武器装备的特点,一般选取目标容量、单发杀伤概率、杀伤区的界限(包括杀伤区的高、低、远、近界等)、系统反应时间、抗电子干扰能力和可靠性等几个主要指标^[2,3]。

在获得各项评估参数之后,为了消除各变量量纲不同的影响,需将原始数据标准化,并建立其相关系数矩阵 R 。在进行原始数据的标准化前,涉及到反向数据的正向化问题,即,对于评估目的而言,“参数值越大表明系统效能越低”的评估参数,应进行一定的正向化处理,可使用倒数运算、负指数运算等。显然,评估参数中的“系统反应时间”为反向数据,需进行正向处理。

然后,求出相关系数矩阵 R 的特征根和相应的方差贡献率,进而建立因子负荷矩阵,对因子载荷矩阵实施极大方差旋转。最后,计算因子得分,得出武器装备效能的评估结论。

3 评估实例

选取目前几种主要的中远程地面防空武器的性能参数^[4-5],见表1。

表1 几种主要的中远程地面防空武器性能参数

装备类型	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
S_1	1	0.75	12.2	50	8	2.14
P_2	3	0.75	30.3	20	62	11.59
C_3	6	0.76	46.4	20	60	12.61
C_{31}	6	0.82	63.3	15	68	14.22

表中: x_1 为目标容量; x_2 为单发杀伤概率; x_3 为杀伤区界限因子; x_4 为系统反应时间(s); x_5 为可靠性指标; x_6 为抗电子干扰能力。 x_3 、 x_5 、 x_6 3个参数的数值均由相关的模型和算法求得^[2-3]。具体的评估运算过程如下:

- 1) 原始数据的标准化。
- 2) 建立原始数据的相关系数矩阵 R ,如表2所示。

表2 原始数据的相关系数矩阵

指标名称	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	1.000	0.647	0.949	0.863	0.830	0.891
x_2	0.647	1.000	0.838	0.734	0.497	0.565
x_3	0.949	0.838	1.000	0.939	0.837	0.894
x_4	0.863	0.734	0.939	1.000	0.954	0.969
x_5	0.830	0.497	0.837	0.954	1.000	0.992
x_6	0.891	0.565	0.894	0.969	0.992	1.000

3) 求 R 的特征根和相应的方差贡献率,如表3。显然,第一、二特征值的方差贡献率超过95%,这说明,因子分析的第一、二主成分已包含了原始数据的大部分信息,这一点还可以由特征根值散点图加以说明,见图1。

表3 相关系数矩阵 R 的特征值和相应的方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	5.167	86.111	86.111
2	0.634	10.567	96.678
3	0.199	3.322	100.000
4	3.094×10^{-16}	5.156×10^{-15}	100.000
5	-8.505×10^{-17}	-1.418×10^{-15}	100.000
6	-9.643×10^{-16}	-1.607×10^{-14}	100.000

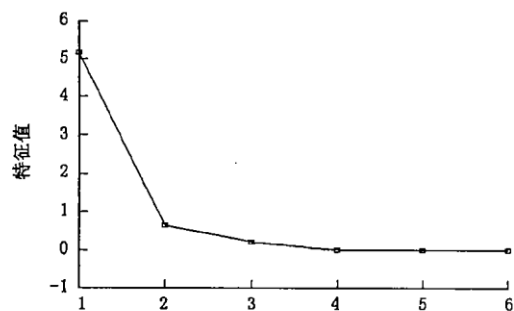


图1 相关系数矩阵 R 的特征根值散点图

由于第一、二主成分的累计贡献率在95%以上,计算相应特征根值对应的单位特征向量,以此来确定因子载荷,建立因子载荷矩阵。

4)对因子载荷矩阵实施极大方差旋转。旋转前后的因子载荷矩阵的比较见表4。

表4 旋转前后的因子载荷矩阵

变量	因子载荷矩阵		旋转后的因子载荷矩阵	
	1	2	1	2
x_1	0.935	-3.058×10^{-2}	-3.058×10^{-2}	0.498
x_2	0.757	0.643	0.268	0.956
x_3	0.980	0.169	0.718	0.688
x_4	0.985	-4.820×10^{-2}	0.843	0.511
x_5	0.928	-0.345	0.962	0.233
x_6	0.963	-0.265	0.946	0.319

5)计算因子得分,进行效能评估,见表5。其中, F_1, F_2 为极大方差旋转后因子载荷矩阵各列对应的线性函数: $F_1 = 0.792x_1 + 0.268x_2 + 0.718x_3 + 0.843x_4 + 0.962x_5 + 0.946x_6$, $F_2 = 0.498x_1 + 0.956x_2 + 0.688x_3 + 0.511x_4 + 0.233x_5 + 0.319x_6$, $E = W_1F_1 + W_2F_2$,为综合评价价值, W_1, W_2 分别为相应主成分的方差贡献率,即 $E = 0.86111F_1 + 0.10567F_2$ 。

表5 某地面防空武器效能评估结果

函数	S_1	P_2	C_3	C_{31}
F_1	19.489 9	94.982 7	107.962 1	129.345 8
F_2	12.165 5	41.226 2	53.665 9	67.736 7
评估值	18.068	86.146	98.637	118.537

从表5中的评估值,可以看出,该方法的评估结果与这几种地面防空武器的效能认定基本一致,说明该方法具有一定的可行性。上面的实例运算由多元统计学软件SPSS完成,计算过程详见有关的软件说明。

4 结束语

地面防空武器效能的评估方法很多,各种方法具有其各自的特点和应用时机。采用多元统计学中的因子分析法,是进行地面防空武器效能评估的一种可行方法,且方法的通用性较强。

参考文献:

- [1] 于秀林,罗雪松.多元统计分析[M].北京:中国统计出版社,1999.
- [2] 冯尚友.多目标决策理论方法与应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [3] 徐品高.空中目标威胁值的评定[J].战术导弹技术,2000,(2):1-8.
- [4] 刘铭.战术导弹系统效能研究[J].弹箭与制导学报,1999,19(3):47-52.
- [5] 陈永革,刘铭.地空导弹制导雷达综合抗干扰能力评估[J].空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(4):21-23.

(编辑:田新华)

Evaluation Method of the Ground - anti-aircraft Weapons' Effectiveness Based on Multivariate Statistics

QI Li - hui, YANG Jian - jun

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

Abstract: The effectiveness evaluation on the ground - anti-aircraft weapons is an important content of the effectiveness evaluation on the military equipment. According to the characters of the ground - anti-aircraft weapons, the factor analysis in multivariate statistics is proposed in the effectiveness evaluation on the ground - anti-aircraft weapons and its corresponding model algorithm is established. The method is verified through the typical equipment evaluation. The result shows that the method is feasible.

Key words: anti-aircraft weapon; effectiveness evaluation; multivariate statistics; factor analysis