

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.10.017

## 要地防空空袭目标主攻方向判断

刘蕊, 李相民, 刘立佳

(海军航空工程学院兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 针对当前要地防空作战指挥过程中对敌主攻方向判断的主观性和复杂性问题, 结合主成分分析理论对其进行分析和提取。从影响敌主攻方向选取的诸多因素着手, 依据主成分综合评价模型计算出不同来袭方向的综合评价价值, 判断敌主攻方向, 并以某要地防空群参加要地防空作战为战术背景, 介绍主成分分析法在判断敌主攻方向中的运用。分析结果表明, 该方法可以减少传统方法中主观因素的干扰, 提高主攻方向判断效率和准确性。

**关键词:** 主成分分析; 要地防空; 主攻方向判断

**中图分类号:** TJ302 **文献标志码:** A

## Attack Direction Differentiation of Air Striking in Point Air Defense

Liu Rui, Li Xiangmin, Liu Lijia

(Dept. of Ordnance Science &amp; Technology, Naval Aeronautical &amp; Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** Facing with the subjectivities and complexities problem to judging air-attack direction in the process of command of air defense, the paper considers many factors that affect the judgment of main air-attack direction. The paper uses the principal component analysis (PCA) to analyze and extract the factors influencing the choice of hostile main attacking direction, then realize the attack direction differentiation, calculating the comprehensive evaluated values for various different attacking directions based on integrated evaluation models of the PCA. The method provides a new idea and a new way of quantitative analysis for the differentiation, and reduces the interference of the subjective factors in the traditional methods. Through instance operation, this method can reduce the interference of subjective factors in the traditional method, and improve the efficiency and accuracy of main direction determination.

**Key words:** PCA; point air defense; attack direction differentiating

### 0 引言

战场形势瞬息万变, 在要地防卫作战中, 能在第一时间有效地对敌方高强度空袭的主攻方向作出判断, 是防空作战胜利的重要保障。影响敌空袭主攻方向的因素很多, 某些因素之间相对独立, 而某些因素内存在一定的联系, 如果全面讨论这些因素不但会使决策推演变得复杂甚至不可实现, 而且会导致计算机推演耗时冗长, 时效性差, 更重要的是某些次要因素会对决策产生负面干扰, 造成判断失准, 影响作战的顺利进行。因此, 很多相关研究中均对影响敌主攻方的因素进行了人为的主观筛选, 选出诸如地形、气象、目标形状、友邻位置、被攻击目标重要性等其认为影响较大的因素而忽略其他次要因素<sup>[1-5]</sup>。虽然经过众多演习实践经验的积累, 这些因素的重要性被广泛认可, 但仍缺乏科学的理论对敌空袭主攻方向影响因素的取舍提供支撑。笔者利用主成分分析法对敌空袭主攻方向复杂繁多的影响因素进行分析和提取, 从而大大简化了问题的难度, 剔去了干扰项, 使决策更加准确迅速。

### 1 主攻方向影响因素分析

敌空袭目标主攻方向选取的影响因素很多, 对影响因素的提取和分析是利用主成分分析法进行空袭目标主攻方向判断的基础。

#### 1) 地形条件。

地形条件是选取主攻方向的重要依据, 根据地形判断敌空袭目标的主攻方向主要考虑以下问题: 空袭目标能否利用周围的地物地貌特征进行隐蔽; 地形条件是否便于水平攻击和俯冲攻击; 退出方向山高等障碍是否对空隙目标退火造成困难等。

#### 2) 保卫目标附近火力配置。

进行攻击的过程中, 空袭目标会尽量避免或减少损失, 所以一般会选择火力密度比较小的进入方向和退出方向, 也就是保卫目标火力配置相对薄弱的方向。同时, 空袭目标也会考虑保卫目标友邻部队的火力分布情况。

#### 3) 气象条件。

在选取主攻方向上, 空袭目标一般会利用阳光、风向、云层等客观条件, 选取便于敌机瞄准攻击,

收稿日期: 2012-05-04; 修回日期: 2012-06-04

基金项目: 光电控制技术重点实验室和航空基金联合资助(20105184001)

作者简介: 刘蕊(1987—), 女, 黑龙江人, 硕士研究生, 从事火力控制系统研究。

且能对要地防空搜索、瞄准、射击上造成一定困难的方向进行进攻。

4) 攻击方向目标重要性。

为了提高作战效能, 空袭目标通常选择能够造成直接毁伤后果和能够对战争造成严重影响的攻击方向进行空袭。

5) 敌机场位置。

空袭目标通常选取机场距保卫目标距离较近的方向进行攻击, 从而缩短航线, 并减少在保卫目标空域活动时间, 方便组织进攻和退火。

6) 上级意图。

下级在选取主攻方向时, 必须在上级指定的范围内选择, 以符合上级总的作战目的。

7) 保卫目标形状。

在地形等条件完全相同的条件下, 对于点状和面状目标, 攻击方向对攻击效果影响不大, 但对于线状目标, 攻击方向不同则攻击效果相差较大。

### 2 利用主成分分析法判断敌主攻方向

设  $x_1, x_2, \dots, x_p$  分别代表  $p$  个影响因素, 集合

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_p\} \quad (1)$$

$C$  表示各影响因素对应的权重。将每个可能来袭方向的各影响因素加权和表示为

$$s_j = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_px_p \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

当  $s_1, s_2, \dots, s_n$  的值很分散时, 表明容易决策主攻方

向, 从而将判断主攻方向的问题转化为寻找一组权重, 使  $s_1, s_2, \dots, s_n$  尽可能分散。该问题的数学描述为: 设  $X_1, X_2, \dots, X_p$  表示以  $x_1, x_2, \dots, x_p$  为样本观测值的随机变量, 求解

$$C_{opt} = \arg \max_C \text{Var}(c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_px_p) \quad (3)$$

约束条件为

$$\sum_{i=1}^p c_i^2 = 1 \quad (4)$$

由于这个问题的解是  $p$ -维空间的一个单位向量, 它代表一个“方向”, 即主成分方向。一个主成分不足以代表原来的  $p$  个影响因素, 因此需要寻找第 2 个乃至第 3 个、第 4 个主成分, 第 2 个主成分不应该再包含第 1 个主成分的信息, 统计上的描述是让这 2 个主成分的协方差为零, 几何上是让这 2 个主成分的方向正交<sup>[6]</sup>。下面就如何对这些影响因素进行主成分分析进行具体介绍。

#### 2.1 各因素量化处理

综合相关文献中的敌主攻方向影响因素, 将大家普遍认可的影响因素总结为 13 个方面, 这些影响因素的量化方法见表 1。经分析可知, 其中一些指标具有极大值性, 即值越大, 对于进攻方向越有利, 该方向为主攻方向的可能性越大; 相反, 一些指标具有极小值性, 即值越大, 该方向为主攻方向的可能性越小。

表 1 敌主攻方向选取的影响因素及量化方法

考虑因素	量化方法	极值性
敌机场距保卫目标距离/km		极大值极性
气象条件	有利取 3, 无影响取 2, 不利取 1	极小值极性
保卫目标形状	点状取 1, 线状取 2, 面状取 3	极大值极性
友邻防空部队的配置	强取 5, 较强取 4, 一般取 3, 较弱取 2, 弱取 1	极小值极性
目标便于隐蔽程度	便于隐蔽取 3, 一般取 2, 不便于取 1	极小值极性
保卫目标被毁的直接后果	后果很严重取 3, 一般取 2, 没有直接后果取 1	极大值极性
保卫目标对战争进程的影响程度	影响很大取 3, 一般取 2, 无影响取 1	极大值极性
便于水平攻击的可能性	很可能取 3, 可能取 2, 不可能取 1	极大值极性
便于俯冲攻击的可能性	很可能取 3, 可能取 2, 不可能取 1	极大值极性
退出方向火力密度	目标防空群个数	极小值极性
退出方向山高/m		极小值极性
上级意图	符合取 3, 一般取 2, 不符合取 1	极大值极性
进入方向的火力密度	目标防空群个数	极小值极性

为能更加快速准确地找到敌主攻方向, 现对这 13 个因素进行主成分分析。

#### 2.2 数据标准化

假设进行主成分分析的指标变量(影响因素)有  $p$  个, 即  $x_1, x_2, \dots, x_p$ , 评价对象(可能来袭方向)有  $n$

个, 第  $i$  个评价对象的第  $j$  个指标的取值为  $a_{ij}$ 。

在确定各影响因素的标准值时, 由于某些因素存在极大值极性, 另一些存在极小值极性, 故可将量化值矩阵作如下标准化处理:

对于具有极大值极性的指标, 将其标准值选为该因素量化值的最大值, 有

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{M_i}, \quad M_i = \max(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}) \quad (5)$$

对于具有极小值极性的指标，将其标准值选为该因素量化值的最小值，有

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{m_i}{a_{ij}}, \quad m_i = \min(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}) \quad (6)$$

式 (5)、式 (6) 中， $i=1,2,\dots,p$ ； $j=1,2,\dots,n$ 。

### 2.3 计算相关系数矩阵并计算主成分

设相关系数矩阵  $R=(r_{ik})_{p \times p}$

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ji} \cdot \tilde{a}_{jk}}{n-1} \quad (i, k=1, 2, \dots, p) \quad (7)$$

$r_{ik}$  是第  $i$  个指标与第  $k$  个指标的相关系数，满足  $r_{ii}=1$ ， $r_{ik}=r_{ki}$ 。

计算相关系数矩阵  $R$  的特征值  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ ，及对应的特征向量  $u_1, u_2, \dots, u_p$ ，其中  $u_j=(u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{pj})^T$ ，由特征向量组成  $p$  个新的指标变量

$$\begin{cases} s_1 = c_{11}\tilde{x}_1 + c_{21}\tilde{x}_2 + \dots + c_{p1}\tilde{x}_p \\ s_2 = c_{12}\tilde{x}_1 + c_{22}\tilde{x}_2 + \dots + c_{p2}\tilde{x}_p \\ \dots \\ s_n = c_{1n}\tilde{x}_1 + c_{2n}\tilde{x}_2 + \dots + c_{pn}\tilde{x}_p \end{cases} \quad (8)$$

式中： $s_1$  是第 1 主成分， $s_2$  是第 2 主成分， $\dots$ ， $s_n$  是第  $n$  主成分。

### 2.4 计算累积贡献率并确定主成分

计算特征值  $\lambda_j(j=1,2,\dots,n)$  的信息贡献率和累

计贡献率。设  $b_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j} (j=1,2,\dots,n)$  为主成分  $s_j$  的

信息贡献率； $\alpha_j = \sum_{m=1}^j b_m$  为主成分  $s_j$  对应的累计贡献率，当  $\alpha_j$  接近于 1 (可取  $\alpha_j \geq 0.95$ ) 时，则可选择前  $j$  个主成分代替原来的指标变量进行主攻方向的判断和分析。

### 2.5 建立主成分综合评价模型并判断主攻方向

分别以  $j$  个主成分的贡献率为权重，构建主成分综合评价模型：

$$Z = \sum_{m=1}^j b_m s_m \quad (9)$$

其中  $b_m$  为第  $m$  个主成分的信息贡献率。

根据模型计算出不同来袭方向的综合评价价值，并据此对其进行排序，从而完成对敌主攻方向的判断。

## 3 算例分析

下面以某要地防空群参加要地防空作战为战术背景，介绍主成分分析法在判断敌主攻方向中的运用。此次作战拟将敌可能来袭方向划分为东、南、西、北、东南、西南、西北、东北 8 个方向<sup>[7]</sup>。

### 3.1 量化影响因素

根据前面的分析，假设可能来袭方向量化数据归纳如表 2。

表 2 可能来袭方向数据量化

考虑因素	东	东南	南	西南	西	西北	北	东北
敌机场距保卫目标距离/km	30	15	25	12	11	18	27	22
气象条件对进攻影响	3	3	2	2	2	1	3	1
保卫目标形状	3	3	2	2	2	1	3	1
友邻防空部队的配置	1	2	3	4	5	3	4	3
目标便于隐蔽程度	3	2	2	2	1	1	2	1
目标被毁的直接后果	1	2	3	3	1	2	2	2
目标对战争进程的影响程度	2	2	2	3	1	3	3	2
便于水平攻击的可能性	3	3	2	2	2	1	3	1
便于俯冲攻击的可能性	2	2	1	3	1	2	3	1
退出方向火力密度	1	0	2	1	0	3	2	1
退出方向山高/m	200	300	100	500	850	600	1 100	700
上级意图	1	1	3	2	2	3	2	2
进入方向的火力密度	2	2	1	0	1	1	0	3

### 3.2 标准化数据并建立相关系数矩阵

由 2.3 节计算 13 个影响因素的相关系数矩阵得

$$R = \begin{pmatrix} 1.000 & -0.065 & -0.065 & -0.100 & \dots & -0.061 \\ -0.065 & 1.000 & 0.678 & 0.753 & \dots & 0.917 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ -0.061 & 0.917 & 0.917 & 0.617 & \dots & 1.000 \end{pmatrix}_{13 \times 13}$$

### 3.3 确定主成分

计算相关系数矩阵  $R$  的特征值及对应的特征向量, 可得前 8 个特征值及其对应的贡献率见表 3。

表 3 主成分分析结果

序号	特征值	贡献率	累积贡献率
1	10.405 3	80.040 9	80.040 9
2	1.021 6	7.858 1	87.899 0
3	0.842 1	6.477 3	94.376 3
4	0.730 8	5.621 5	99.997 8

表 4 标准化变量的前 4 个主成分对应的特征向量

影响因素	1	2	3	4	5	6	7
第 1 特征向量	-0.028 1	0.302 0	0.302 0	0.256 5	0.299 6	0.289 2	0.289 3
第 2 特征向量	0.931 4	0.029 4	0.029 4	-0.195 6	0.105 8	0.124 9	0.118 1
第 3 特征向量	0.302 4	0.112 8	0.112 8	0.361 5	-0.244 8	-0.364 3	-0.366 9
第 4 特征向量	0.198 0	-0.232 8	-0.232 8	0.476 8	-0.074 8	0.049 5	0.047 1
影响因素	8	9	10	11	12	13	
第 1 特征向量	0.302 0	0.289 5	0.298 6	-0.305 6	0.270 8	0.251 1	
第 2 特征向量	0.029 4	0.111 3	-0.033 7	0.069 7	-0.179 6	-0.017 9	
第 3 特征向量	0.112 8	-0.367 7	-0.076 9	-0.166 2	0.272 0	0.411 9	
第 4 特征向量	-0.232 8	0.044 9	0.300 3	0.005 7	0.440 4	-0.523 8	

由此可以得到 4 个主成分, 分别是

$$s_1 = -0.0281\tilde{x}_1 + 0.3020\tilde{x}_2 + \dots + 0.2453\tilde{x}_{13} \quad (10)$$

$$s_2 = 0.9314\tilde{x}_1 + 0.0294\tilde{x}_2 + \dots - 0.0179\tilde{x}_{13} \quad (11)$$

$$s_3 = 0.3024\tilde{x}_1 + 0.1128\tilde{x}_2 + \dots + 0.4119\tilde{x}_{13} \quad (12)$$

$$s_4 = 0.1980\tilde{x}_1 - 0.2328\tilde{x}_2 + \dots - 0.5238\tilde{x}_{13} \quad (13)$$

从表 4 可以看出, 第一主成分主要反映了第 2、3、7、8、9 个影响因素, 第二主成分主要反映了第

可以看出, 前 3 个特征值的累计贡献率达到 94%, 主成分分析效果很好。取前 4 个主成分时, 累计贡献率接近于 100%, 故可取前 4 个主成分进行决策分析。

### 3.4 判断主攻方向

将标准化变量的前 4 个主成分对应的特征向量列于表 4。

1 个影响因素, 第三主成分主要反映了第 13 个影响因素, 第四主成分主要反映了第 4 个影响因素。

分别以 4 个主成分的贡献率为权重, 构建主成分综合评价模型

$$Z = 0.8004s_1 + 0.0786s_2 + 0.0648s_3 + 0.0562s_4 \quad (14)$$

把各可能来袭方向的 4 个主成分代入式 (14), 可得各方向的综合评价值及排序, 见表 5。

表 5 排名和综合评价结果

来袭方向	西	东南	西南	南	东	西北	东北	北
主攻方向可能性排名	1	2	3	4	5	6	7	8
综合评价值	1.769 1	1.365 5	1.200 9	-0.171 2	-0.209 9	-0.238 3	-0.241 1	-0.241 9

由表 5 可以看出, 敌最有可能的主攻方向为西方。

## 4 结论

笔者利用主成分分析法预测敌空袭主攻方向, 避免了传统方法中主观因素的不利影响, 其思路清晰、原理易懂、理论模型较为合理。从算例仿真可以看出, 该方法计算简单快速, 结果较为合理, 可进一步推广应用于防空作战实践。下一步, 笔者将对模型的科学性与实用性做进一步研究, 应用过程中应充分结合作战实际情况, 在真实数据下调整模型参数, 提高预测的科学准确性。

## 参考文献:

- [1] 刘小航, 邓中华. 应用灰色理论预测敌空袭主攻方向研究[J]. 射击学报, 2011(2): 18-20.
- [2] 袁进徐, 赵建锋, 董振平, 等. 灰靶理论的空中目标威胁评估与排序[J]. 火力指挥与控制, 2007, 32(4): 56-61.
- [3] 李进军, 丛蓉, 刘驰. 空袭目标攻击方向判断的综合聚类方法[J]. 兵工学报, 2005, 26(5): 702-705.
- [4] 龚旭, 郝强, 冯立东. 改进 AHP 法在主攻方向判断中的应用[J]. 射击学报, 2005(1): 36-37.
- [5] 武战国, 李连中, 秦钰, 等. 敌主攻方向预测[J]. 射击学报, 2006(4): 24-26.
- [6] 司守奎, 孙玺菁. 数学建模算法与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 269-272.
- [7] 王巨海, 胡建辉, 武志强, 等. 要地防空群对敌主攻方向确定度分析[J]. 指挥控制与仿真, 2006, 28(4): 53-55.