

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.10.010

## 基于单调能力空间的对地攻击战术决策指标分析方法

杨丰<sup>1,2</sup>, 方雷<sup>1,3</sup>, 刘连科<sup>3</sup>, 孙金标<sup>4</sup>(1. 空军指挥学院研究生管理大队9队, 北京 100097; 2. 空军 94973 部队 64 分队, 杭州 310021;  
3. 空军装备研究院雷达与电子对抗研究所航管中心, 北京 100085; 4. 空军指挥学院科研部, 北京 100097)

**摘要:** 为更好地进行对地攻击战术决策, 提出一种基于单调能力空间的对地攻击战术决策指标分析方法。通过建立基于单调能力空间的对地攻击战术决策指标分析模型, 对决策指标的需求轨迹和灵敏度进行分析, 并通过仿真实验进行验证。仿真结果表明: 该方法能够直观地反映战术决策指标随着战斗进程所产生的变化, 可为对地攻击战术决策提供量化依据。

**关键词:** 单调能力空间; 对地攻击; 战术决策指标; 需求轨迹; 灵敏度

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Analysis of Air-Land Attack Tactics Decision Index Based on Monotonous Ability Space

Yang Feng<sup>1,2</sup>, Fang Lei<sup>1,3</sup>, Liu Lianke<sup>3</sup>, Sun Jinbiao<sup>4</sup>

(1. No. 9 Team, Administrant Brigade of Postgraduate, Air Force Command College, Beijing 100097, China;

2. No. Unit 64, No. 94973 Army of PLA, Hangzhou 310021, China;

3. Navigation Management Center, Radar &amp; ECCM Research Institute, Air Force Equipment Academy, Beijing 100085, China;

4. Dept. of Scientific &amp; Research, Air Force Command College, Beijing 100097, China)

**Abstract:** To make a better air-land attack tactics decision, an analytical way of air-land attack tactics basing monotonous ability space is presented in this thesis. By air-land attack tactics decision index analytical model which based monotonous ability space, the demand locus and sensitivity of decision index are analyzed. By means of simulation test, this way can reflect attack tactics decision index change following combat course intuitionisticly. And air-land attack tactics decision can also be quantized by it.

**Keywords:** monotonous ability space; air-land attack; tactics decision index; demand locus; sensitivity

### 0 引言

航空兵对地攻击是信息化条件下高技术局部战争的一个重要的战斗样式<sup>[1-3]</sup>。对地攻击中的战术决策能力指标是其执行某些战术行动的量化标度, 是整个战术行动规划设计的基础<sup>[4-5]</sup>。目前, 世界军事强国都非常重视系统能力指标发展规划, 如美军提出的基于能力指标的计划 (capability-based planning, CBP)<sup>[6-7]</sup>就是系统能力指标规划设计思想的一种直接体现。

作为一种新的能力指标分析与设计方法, 单调能力空间<sup>[8]</sup>是由一些与任务需求指标具有单调影响关系的若干系统能力指标合成的一个空间结构 (在此假定每个指标维都是连续取值)。这种方法假定弱能力是强能力的子集。在其它相关条件不变的情况下, 弱能力能完成的任务, 强能力肯定也能完成, 即能力的单调性原理。

因此, 笔者将单调能力空间方法引入对地攻击战术决策中, 运用探索性分析策略来探索有效的战术决策能力需求区域, 然后完成对地攻击战术决策能力指标各种类型的分析与设计。

### 1 战术决策单调能力空间的公设与概念

#### 1.1 战术决策能力指标单调性公设

战术决策能力指标单调性即战术决策能力指标与对地攻击战斗任务需求指标之间具有单调关系。因为这种单调性具有普遍性, 在此把战术决策能力指标与对地攻击使命需求指标之间具有单调关系作为一个公设。战术决策能力指标不同于一些参数指标, 它对于对地攻击战斗任务需求而言是单调的, 通常希望某项能力指标越大越好, 或者越小越好, 或者越接近 (越偏离) 某个值 (区域) 越好, 它们都蕴含着“越……越……”的性质, 即一种单调性。

收稿日期: 2011-06-10; 修回日期: 2011-07-12

基金项目: 空军军事理论研究课题 (09KZ3C11119R)

作者简介: 杨丰 (1980—), 男, 浙江人, 博士研究生, 从事空军战斗模拟研究。

### 1.2 对地攻击战斗效能公设

无论技术多么先进, 投入多么巨大, 能否达到对地攻击预定的战斗目标是评价战术决策是否合理有效的唯一标准<sup>[9-10]</sup>。因此, 进行对地攻击战术决策能力分析与设计时, 必须明确所要达成的战斗目标, 以目标为对照。在此将战斗目标作为系统效能评价的分界线, 假设达到战斗目标的战术决策效能为 1, 达不到的为 0。

### 1.3 战术决策单调能力空间 $P$

设  $R^n$  为  $n$  维欧几里德空间, 设  $P \subset R^n$ ,  $P = P_1 \times P_2 \cdots \times P_n$ , 它是战术决策能力指标点的集合, 每一维都代表了一项战术决策能力指标。设存在

$f_u$ ,  $f_u$  定义域是  $P$  上的子集, 表示战术决策能力指标与对地攻击战斗任务, 表示战术决策能力指标与对地攻击战斗任务指标的有界函数关系, 即  $f_u: P \rightarrow u$ 。它是  $n$  元单调函数, 即某个战术决策能力指标在其它指标的值确定时,  $f_u$  就是一元单调函数。

## 2 对地攻击战术决策指标分析模型

### 2.1 战术决策指标模型

整个对地攻击战斗过程主要分突防和突击 2 个阶段<sup>[11]</sup>, 因此也将战术决策指标分为 2 个部分: 对敌防空体系突防战术决策指标和突防后对预定目标实施打击战术决策指标, 如图 1。

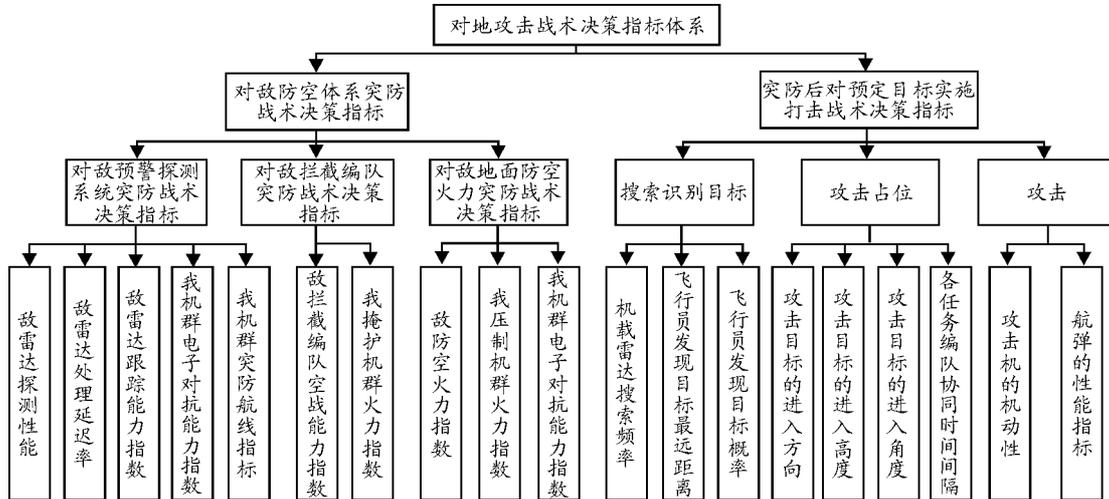


图 1 对地攻击战术决策指标模型

### 2.2 战术决策指标分析

根据图 1, 将整个对地攻击战术决策指标体系分为 6 个主要战术决策能力指标有效区域所合成的 6 维欧式空间的子集。下面以对敌预警探测系统突防战术决策指标为例进行分析。

对敌预警探测系统突防战术决策指标能力空间, 取敌雷达探测性能指标  $p_1 \in P_1$ , 敌雷达处理延迟率  $p_2 \in P_2$ , 敌雷达跟踪能力指数  $p_3 \in P_3$ , 我机群电子对抗能力指数  $p_4 \in P_4$ , 我机群突防航线指标  $p_5 \in P_5$  等 5 个关键战术决策指标。对敌预警探测系统突防战术决策指标能力空间  $P$  就是这 5 个指标的笛卡尔积:  $P_{\text{预警}} = p_1 \times p_2 \cdots \times p_5$ 。建立一个五元函数  $u = f_u(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)$ , 其表示 5 个战术决策能力指标与对敌预警探测系统突防概率  $u$  的函数关系。显然,  $f_u$  具有单调性。相对于对敌预警探测系

统突防概率, 敌雷达探测性能指标  $p_1$ 、敌雷达处理延迟率  $p_2$  以及敌雷达跟踪能力指数  $p_3$  均为单调减的, 我机群电子对抗能力指数和均为单调增的。

依此类推其余 5 项战术决策能力指标空间。最终得出整个对地攻击战术决策能力指标集合  $P_{\text{对地}} = P_{\text{预警}} \times P_{\text{拦截}} \times P_{\text{地防}} \times P_{\text{搜索}} \times P_{\text{占位}} \times P_{\text{攻击}}$ 。

### 2.3 战术决策单调能力指标需求轨迹

设  $Dl \subseteq P$ , 对给定一战斗效能指标值  $u_k$ ,  $\forall p \in Dl, f_u(p) \leq u_k$  或  $\geq u_k$  (“ $\leq$ 或 $\geq$ ”和  $u_k$  根据实际需求确定), 则  $Dl$  称为战术决策单调能力指标需求轨迹。

轨迹指的是坐标满足某一等式或一个或多个代数条件的所有点的集合或组合。战术决策单调能力指标需求轨迹也就是在单调能力空间能够满足某项战术需求的能力指标点集。以对敌预警探测系统突

防为例，设要求我攻击机群对敌预警探测系统的突发概率大于等于 0.7，则在  $P$  中所有满足  $f_u(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5) \geq 0.7$  点的集合为  $DI$ 。

设满足整个对地攻击战术需求的战术决策能力指标集为  $TDI$ ，则  $TDI = \bigcap_i DI$ 。其中， $PI_i$  是针对第  $i$  项战术任务需求所对应的战术决策能力指标需求轨迹。 $TDI$  即为  $P$  中能同时对地攻击中各单项战斗任务的子集。

### 2.4 战术决策指标评估

进行战术决策指标评估时，必须明确对地攻击战斗目标，以目标为对照，以目标满足度作为战术决策有效性评估的尺度。由于整个对地攻击战斗具有不确定性，并非所有的战术决策指标都能精确地确定，通常指标是以概率分布形式描述的。对于一些难以用概率形式描述的指标，通常需要对指标进行规范化处理，将其规范到某一区间中，并都化为同一种单调特性。

在此，定义战术决策指标的有效性值：

$E \approx \sum_{j=1}^N \int_{DI} f(p) dp$ ， $0 \leq E \leq 1$ ， $1 \leq N \leq 6$ 。 $E$  的实质就是对战术决策效能期望，也即预期一组战术决策指标满足一组特点任务要求程度的度量。

考虑到对地攻击使命任务具有模糊性，建立基于模糊单调能力需求的战术决策效能模糊有效性计算公式：

$$E_f = (Fuzzy) \int_{DI} f(p) dp = \bigvee_{0 \leq \lambda \leq 1} (\lambda \wedge \int_{DI(\lambda)} f(p) dp) \quad (1)$$

其中， $\lambda$  为一给定的隶属度值。采用二分法或逼近法可快速求出  $E_f$ 。

### 2.5 战术决策指标灵敏度分析

灵敏度分析一般采用扰动法，即某条件作微小变动后，计算问题的输出结果的相应变化量。为了突出关键指标，忽略相对次要因素，笔者采用解析法求解指标的灵敏度。另外由于指标取值范围不一样，通常在灵敏度分析之前，应进行规范化到相同的区间内，消除量纲，便于分析。指标  $p_i$  的灵敏度  $S_i$  定义为：

$$S_i = \frac{\partial E}{\partial e_i} = \frac{\partial(\int_{DI} f(p, e) dp)}{\partial e_i} \approx \frac{\partial(\sum_{j=1}^N f(p, e) dp)}{\partial e_i}, \quad DI = \bigcup_{j=1}^N H_j \quad (2)$$

$e_i$  是实际战术决策指标  $p_i$  的期望值。由式 (2) 可得，战术决策指标的灵敏度与对地攻击战斗任务和战斗实际的表现是紧密相关的，其通常是一连续变化的量，这也体现了对地攻击战斗过程的复杂非线性特点。

## 3 想定分析

需要说明的是：空中编队执行对地攻击战斗任务，需对敌防空体系实施战术突防，而进行突防，则应首先考虑对敌预警探测系统进行突防。鉴于整个对地攻击战斗过程的复杂性，现仅以对敌预警探测系统突防为例进行战斗基本想定和分析。

### 3.1 基本想定

假设我突击机群在电子干扰掩护下，选择有利航线对敌远程警戒雷达实施隐蔽突防。敌远程警戒雷达发现目标后，将目标信息传送到指挥中心。在本例中假定我突击机群按预定航线进行突防，如图 2。在突防航线周围部署 3 部远程警戒雷达  $R_1(50,60)$ 、 $R_2(60,40)$ 、 $R_3(65,20)$ 。由于敌预警探测系统具有较高的信息化作战水平，因此对我突击机群突防战术决策提出更高的要求。假设我突击机群将以  $P \geq 0.7$  概率对敌预警探测系统成功突防为使命需求约束条件。本想定主要以此为需求，得出相应的战术决策关键指标的需求轨迹，进行对敌预警探测系统突防战术分析，对其它相关想定参数假定已知。

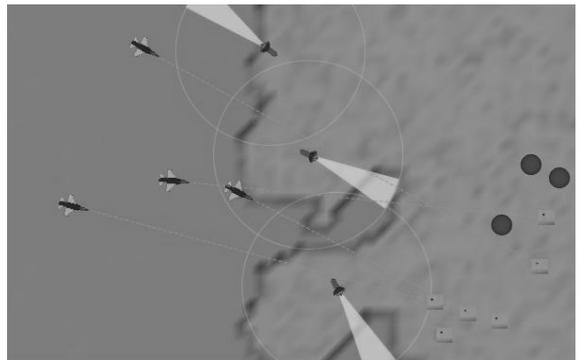


图 2 作战想定图

对敌预警探测系统成功突防战术决策关键指标是：

- 1) 敌雷达探测性能指标  $K_1$

在突防战斗中，敌远程警戒雷达负责尽远发现我突击机群目标，然后传送到指控中心进行分析处理。 $K_1$  是一个由雷达发射功率、增益系数等多个指

标计算合成的一个描述雷达探测能力的综合指标。对于我突击机群的使命需求而言, 显然  $K_1$  是一个单减的指标。

#### 2) 敌雷达处理延迟 $T$

$T$  表示敌远程预警雷达一旦发现目标后上报到指挥所, 经指挥所处理, 然后指示给各导弹阵地所需时间, 它也是通信时延与决策处理时延合成的一个综合指标。 $T$  是一个单减指标。

#### 3) 敌雷达跟踪能力指数 $K_2$

$K_2$  是衡量导弹制导雷达能否有效跟踪敌机的性能指标, 是单减指标。

#### 4) 我突击机群电子对抗指数 $C$

$C$  是衡量我突击机群电子对抗性能的指标, 是单增指标。

#### 5) 突防航线指标 $J_s$

$J_s$  用来反映突击机群在选择突防航线上的优劣。通常情况下, 希望突防航线的航程尽可能短, 尽可能选择敌防空力量薄弱处。突防航线指标与飞行航线上的航线关键点数目、飞机的转弯半径和各关键点处的转弯角度等因素有关。经规范化处理, 可得突防航线指标为单增指标。

### 3.2 实验及分析

本例战术决策的根本需求就是突防, 即以大于 0.7 的生存概率对敌预警探测系统实施突防。要实现这一作战需求, 其关键就是上述 5 个战术决策指标以及相应的战斗环境。笔者采用仿真实验, 建立战术决策指标与突防使命需求之间的关系, 相应的单调能力需求轨迹如图 3 (为了显示方便, 分别用  $100-K_1$ ,  $100-K_2$  来代替  $K_1$ ,  $K_2$ )。

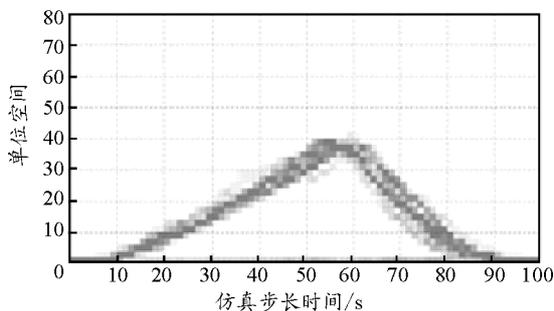


图 3 对敌预警探测系统突防战术决策指标单调能力需求轨迹

突防初期, 利用式 (3) 计算出 5 个指标的灵敏度为: (0.05, -0.27, 0.14, 0.57, 0.33)。我突击机群的战术决策必须根据敌方实际情况确定, 前 3 个敌方战

术指标都较为灵敏, 后 2 个我方战术决策指标相对不灵敏。原因在于突防初期, 由于距离目标尚有一定距离, 有利于敌雷达远距离探测的战术性能优势的发挥, 而不利于我方战术性能的发挥。随着机群与突防目标距离接近到一定值时, 计算得出 5 个指标的灵敏度为: (0.000 026, -0.17, 0.08, 0.77, 0.55)。可以看出: 前 3 个敌方战术指标灵敏度明显下降, 而我突击机群的 2 个战术决策指标灵敏度显著提升。究其原因在于随着距离的接近, 敌雷达探测性能、敌雷达处理延迟和敌雷达跟踪能力在我突击机群电子干扰和突防航线的影响下, 其战术能力较突防初期受到一定压制。

## 4 结束语

仿真实验及分析结果表明: 运用基于单调能力空间的对地攻击战术决策指标分析模型, 可以较直观地反映对敌预警探测系统突防战术决策指标能力需求轨迹。同时, 通过对战术决策指标灵敏度的分析, 为战术决策的制定提供一定依据。

## 参考文献:

- [1] 张莉, 张安, 等. 多编队对地攻防对抗多层决策分析仿真与研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(1): 106-109.
- [2] 华玉光, 孙金标. 空中进攻战斗对地突击阶段军事概念模型探索[J]. 空军军事学术, 2009 (2): 15-18.
- [3] 穆中林, 周中良, 等. 综合电子干扰对编队对地攻击作战效能的影响[J]. 电子信息对抗技术, 2010, 25(1): 60-63.
- [4] 崔晓宝. 航空兵战术定量分析的理论与方法[M]. 北京: 蓝天出版社, 2008, 2(5): 139-163.
- [5] 崔晓宝. 航空兵作战模拟概论[M]. 北京: 蓝天出版社, 2001, 7: 260-284.
- [6] 胡晓峰, 杨镜宇, 等. 战争复杂系统仿真分析与实验[M]. 2009, 7(10): 604-605.
- [7] Paul K. Davis, Jimmie McEver, Barry Wilson. Measuring Interdiction Capabilities in the Presence of Anti-Access Strategies: Exploratory Analysis to Inform Adaptive Strategy in the Persian Gulf[J]. MR-1471-AF, RAND, 2002, 5(2): 404-405.
- [8] 胡剑文. 一种基于复杂系统观的系统效能分析新方法: 单调指标空间方法[J]. 中国科学: E 辑, 2005, 4.
- [9] 房启胜, 葛勇. 空对地作战时的突击效果分析[J]. 空军第二飞行学院学报, 2005 (4): 70-74.
- [10] 徐浩军, 魏贤智, 华玉光, 等. 作战航空综合体及其效能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006, 5: 137-145.
- [11] 李相明. 编队对地攻击作战效能评估理论与方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2006, 4: 74-75.