

## 导弹综合效能分析与评价模型<sup>\*</sup>

徐培德 崔卫华

(国防科技大学系统工程与数学系 长沙 410073)

**摘 要** 本文论述导弹武器系统综合效能评价与分析的方法, 针对战略导弹系统建立了有关综合效能的评价分析模型, 并对评价分析的模式、方法进行了理论上的研究和探讨。

**关键词** 导弹, 效能分析, 模型

**分类号** TJ760.1

## Evaluation and Analysis Models of the Missiles Comprehensive Effectiveness

Xu Peide Cui Weihua

(Department of Systems Engineering and Applied Mathematics, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** This paper, based on discussing about the methods of evaluation and analysis of the comprehensive effectiveness of missile weapon system, studied the theory of evaluation and analysis of effectiveness, and introduced the evaluation and analysis model of the strategic missiles comprehensive effectiveness.

**Key words** missile, effectiveness analysis, model

导弹的研制是一项极复杂的系统工程, 具有技术先进、耗资巨大、工程庞大、研制周期长等特点, 难度和风险很大。研制工作取得成功很重要的方面是要保证计划和方案的正确, 这其中的关键是做好研制前期的论证(战术技术指标论证和方案论证)工作。在导弹武器系统的论证中, 效能的评价分析是最重要的工作之一。本文论述导弹武器系统综合效能评价与分析的方法, 针对战略导弹系统建立了有关综合效能的评价分析模型, 并对评价分析的模式、方法进行了理论上的研究和探讨。

<sup>\*</sup> 国防预研基金资助项目  
1996 年 10 月 5 日修订

# 1 效能指标分析的概念和方法

## 1.1 效能和效能指标

武器系统的效能,是指在特定条件下,武器系统被用来执行规定任务所能达到预期目标的程度。它表现了武器系统完成规定任务的能力。武器系统的效能一般可分为单项效能、系统效能和作战效能3类。效能指标是用于衡量武器系统效能高低的定量量度,是效能参数的量化表示。

战略导弹是结构非常庞大和复杂的系统,其效能的表现有多个方面。它既有单项效能,又有一定范围的系统效能和作战效能,例如,生存能力、毁伤能力、突防能力、一定作战环境下的综合作战效果、自身的性能因素等等。评价其效能需要对多种效能因素作综合考虑,因此,我们一般要用多项指标来评价、描述战略导弹总体上的效能。

## 1.2 效能指标评估方法

在简单情况下,效能指标可以是一个可测物理量(如射程、飞行速度)或根据测量结果可直接计算出的数值(如平均修复时间)。但在多数情况下,它是根据测量或仿真结果进行评估计算得到的量,甚至需要对多项评估的结果进行综合分析评价。

效能指标评估的方法多种多样,基本上可归为4类:(1)解析法:根据描述效能指标与给定条件之间的函数关系的解析表达式来计算效能指标值;(2)统计法:用数理统计方法,依据实战、演习、试验获得的大量统计资料来评估作战效能;(3)作战模拟方法:实质是以计算机模拟为实验手段,通过在给定数值条件下运行模型来进行作战仿真实验,得到的结果直接或经过统计处理后给出效能指标估计值。(4)多指标综合评价法:对于某些复杂的武器系统(如战略导弹),其效能呈现出较为复杂的层次结构,有些较高层次的效能指标与其下层指标之间有相互影响,但无确定函数关系,这时只有通过对其下层指标进行综合才能评价其效能指标。常用的综合评价方法有线性加权和法、概率综合法、模糊评判法、层次分析法以及多属性效用分析法等。

# 2 战略导弹系统效能的评价指标体系

## 2.1 层次指标体系

为了分析和评价战略导弹武器系统的效能,需要建立一个层次指标体系来评价其综合效能。根据战略导弹武器系统的特点和作战使用的要求,其效能通过分解可建立一个层次指标体系,如图1所示。

该图是根据其功能和作战使用特点给出的,图中带有删节号“...”项表示还可继续以向下分解,我们在构造评价模型时将其进行分解。

## 2.2 效能评价模式

根据所建立的综合评价指标体系,可以选择如下7个因素作为战略导弹的综合效能的评价目标:(1)威力;(2)有效性;(3)生存能力;(4)机动能力;(5)突防能力;(6)毁伤能力;(7)综合作战效果。通过对上述7个目标的评价来得到系统的综合效能。

这组评价目标全面考虑了各种效能因素,能适合各种研究问题的需要,在具体进行某一问题的评价分析时,并不要求这7个目标都作考虑,可根据不同要求进行适当取舍。

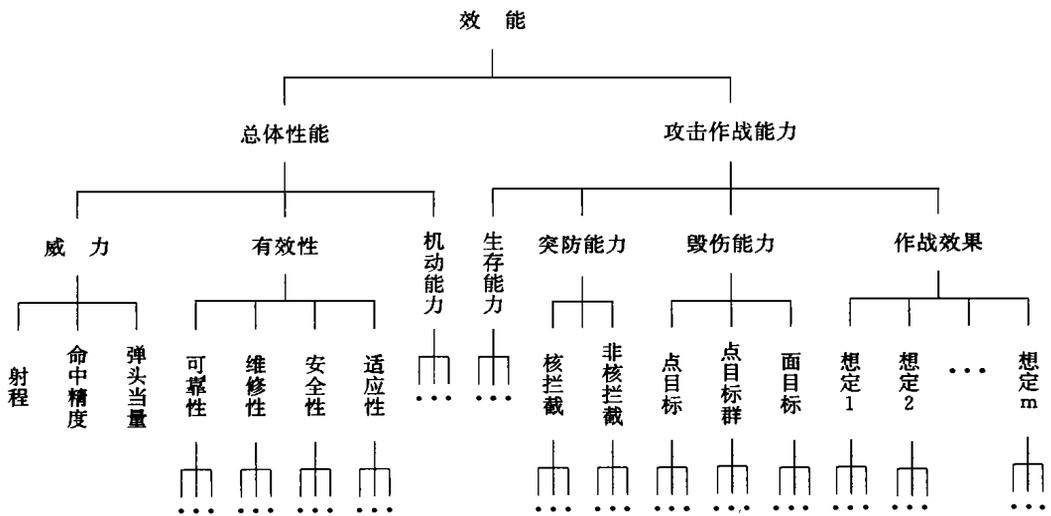


图1 战略导弹效能综合评价指标体系示意图

### 3 战略导弹系统效能的评价分析模型

#### 3.1 威力模型

威力的评价采用简单的综合法：首先对其子指标进行分析，得出评价结果，然后给出各子指标对应的权重。最后通过加权综合得出威力评价结果。

与威力有关的因素主要有射程、命中精度、核弹头当量等。它们都是战略导弹系统的直接战术性能指标，具有不同的量纲，每个子指标的评价实际上是一个无量纲化过程。通过该指标与国内外类似型号导弹相应指标的比较，把它转化为一个无量纲的分值（代表先进性程度、威慑力大小）。

指标的无量纲化可以采用多种方法，如专家打分法和效用函数法。具体进行时两种方法可以结合使用。设指标进行无量纲化所得结果分别为  $A_1, \dots, A_n$ ，给出的权重值分别为  $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ ，则威力效能指标为：

$$E_p = \sum_{i=1}^n \gamma_i A_i$$

#### 3.2 有效性模型

有效性的评价采用多级模糊综合评判法。有效性对应的子指标有可靠性、维修性、安全性、适应性。这一组指标要作进一步的分解。

可靠性可向下分解为导弹各部分的可靠性要求，维修性则分解为平均故障间隔时间、平均修复时间等，这两项指标可通过解析模型由下层指标来求得，得出模糊评价向量：

$$R_1^{(1)} = (r_{11}^{(1)}, r_{12}^{(1)}, \dots, r_{15}^{(1)}) \quad (\text{可靠性})$$

$$R_2^{(1)} = (r_{21}^{(1)}, r_{22}^{(1)}, \dots, r_{25}^{(1)}) \quad (\text{维修性})$$

安全性和适应性也可分别向下分解。安全性分解为对事故预防能力、对核弹头安全要求和核辐射的防护要求。适应性分解为使用环境要求、地面设备要求、兼容性要求

以及标准化程度。安全性与适应性无解析模型，要分别进行一级模糊综合评判。

### 3.3 生存能力模型

战略导弹的生存能力是指首先遭到敌方核打击或常规打击下能保存下来进行反击的一种潜在能力，分为综合隐身能力、防空干扰能力、抗毁伤能力和可修复能力等4种。对其评价采用退化的系统效能模型，即系统可用度、可信赖度和能力三者之积。

这里可用度指与导弹生存有关的系统可使用概率，用  $A_s$  表示；可信赖度指导弹在采取机动、隐身、防空干扰等生存措施保存实力的过程中的可靠性，用  $D_s$  表示；能力则是综合隐身能力、防空干扰能力等4种能力的综合，表示为  $C_s$ ；隐身性、干扰性、抗毁性和可修复性的值分别用  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$  表示。于是，在已知  $A_s$ 、 $D_s$  和  $C_s$  等前提下，生存能力指标由下式得到：

$$E_s = A_s D_s C_s = A_s D_s \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 W_i C_i^2}$$

式中  $W_i$  为  $C_i$  所对应权重值 ( $i = 1, \dots, 4$ )。

### 3.4 机动能力模型

这里的机动能力指其机动性能和运输性能的综合，其下层指标主要有：机动（运输）方式，机动（运输）道路状况，最大机动（运输）速度，最大一次机动（运输）距离，最大累积机动（运输）距离，机动（运输）配套装备状况等。这些指标分别记为  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $\dots$ 、 $B_6$ 。

与生存能力评价类似，机动能力的评价采用退化的系统效能模型。由下式计算：

$$E_m = A_m D_m C_m$$

式中， $E_m$  为机动能力效能指标， $A_m$  为可用度， $D_m$  为可信赖度， $C_m$  则是机动能力因子。 $A_m$  与  $D_m$  两者的计算公式分别如下：

$$A_m = \frac{\text{MTBF}_m}{\text{MTBF}_m + \text{MTTR}_m}; D_m = e^{-\frac{t_m}{\text{MTBF}_m}}; \text{MTBF}_m = \frac{\text{MMBF}}{V_a}$$

式中， $\text{MTBF}_m$  为平均故障间隔时间； $\text{MTTR}_m$  为平均修复时间； $\text{MMBF}$  为平均故障间隔里程； $V_a$  为平均行驶速度； $t_m$  为任务持续时间。上式中各变量都是对于战略导弹的机动与运输系统而言。由于机动能力主要与导弹的机动和运输系统有关，涉及的因素比较单一，所以对可信赖度  $D_m$  的评价采取常用的解析公式来估算。

### 3.5 突防模型

导弹在攻击敌方战略目标时会受到敌防御系统的拦截，故必须要有一定的突防措施。突防能力是战略导弹攻击作战能力的一种直接表现，是最重要的效能指标之一。评价战略导弹攻击作战能力的效能时，突防概率是一项重要的参数。突防与拦截中的对抗措施各有多种。拦截措施通常分为两种：核拦截和非核拦截；相应地，突防可以分为核拦截突防与非核拦截突防。

突防模型分为两部分。第一部分是突防能力估算模型，用于对每种突防措施在任一种拦截方式下的突防效果（突防概率）作出评估，经综合估算出总体突防能力。这部分采用模糊综合评判法实现。第二部分是突防措施选择模型，用于在效能模拟时根据具体作战环境选择突防措施。这部分通过建立突防与拦截对抗条件下的对策模型来实现。

### 3.6 毁伤模型

毁伤能力是任何火力杀伤武器最根本的效能量度,通常用对目标的毁伤概率来表示。毁伤能力的估算是效能计算与模拟的核心,由解析计算模型来完成。这里分为导弹对单个点目标(通常指导弹发射井)、点目标群和单个面目标(城市、基地等目标)的毁伤概率计算模型。

### 3.7 作战模拟模型

作战模拟模型是效能模拟的主体部分。它通过计算机作战模拟来评价战略导弹在不同作战环境和想定下的综合作战效果。评价的标准是完成作战任务的程度,以概率值来表示。根据效能评价与分析的要求,作战模拟模型的任务为:(1)模拟战场环境和想定的变化对作战效果的影响;(2)模拟武器战术技术指标的变化对作战效果的影响;(3)模拟不同的战术原则对作战效果的影响。

### 3.8 效能综合评价模型

战略导弹总的效能  $E$  是在前面各模型评价的基础上通过 AHP 法来综合。根据效能指标层次结构的划分,  $E_p$ 、 $E_v$ 、 $E_s$  和  $E_m$  属总体性能指标,而  $E_b$ 、 $E_r$  和  $E_c$  属攻击作战能力指标,运用 AHP 法可通过两个层次的综合。为了简单,我们把总体性能指标与攻击作战能力指标并列起来,只经过一个层次的综合来得出效能的最终结果,所有 7 项评价目标都被选取。

评价因素  $E_p$ 、 $E_v$ 、 $E_m$ 、 $E_s$ 、 $E_b$ 、 $E_r$ 、 $E_c$  简记为  $E_1 \dots E_7$ 。若已知 7 个指标的权重值  $W_1$ , ...,  $W_7$ , 则效能  $E$  由下式给出

$$E = \sum_{i=1}^7 W_i E_i$$

指标的权重对效能的评价结果影响很大,直接由专家判断给出是不易做到的,也不易被决策者所接受。因此要通过 AHP 法对它们进行赋权,并允许判断矩阵元素残缺。

## 参 考 文 献

- 1 兵器系统工程研究所译. 陆军武器系统分析, 1985
- 2 徐培德. 弹道导弹作战效能分析. 模糊系统与数学(增刊), 1995
- 3 Brode H L, Review of Nuclear Weapon Effects. Annual Review of Nuclear Science, 1968

(责任编辑 潘 生)