

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.015

基于灰色系统理论的联合机动编队多源情报感知能力评估

盖世昌¹, 许腾², 朱智³

(1. 海军指挥学院 研究生队, 江苏 南京 210016; 2. 海军指挥学院 合同战术教研室, 江苏 南京 210016;
3. 海军指挥学院 学生军训教研室, 江苏 南京 210016)

摘要: 针对多源情报感知过程中情报信息的不确定性, 基于灰色系统理论模型对联合机动编队多源情报感知能力进行评估。构建多源情报感知能力评估的效能指标, 运用层次分析法确定各层次指标权重, 并通过实例进行验证。结果表明, 灰色系统理论在多源情报感知能力评估中的应用是可行的, 结论比较可靠。

关键词: 多源情报感知; 联合机动编队; 灰色聚类评估

中图分类号: N941.5; N945 **文献标识码:** B

Multi-Resource Intelligence Apperception Assessment of Joint Mobile Formation Based on Grey System Theory

Gai Shichang¹, Xu Teng², Zhu Zhi³

(1. Brigade of Postgraduate, Naval Command Academy, Nanjing 210016, China;

2. Staff Room of Tactical, Naval Command Academy, Nanjing 210016, China;

3. Staff Room of Military Training, Naval Command Academy, Nanjing 210016, China)

Abstract: For the uncertainties of intelligence information during the multi-source information perception, based on grey system theory model, this thesis makes assessment about the ability of the multi-resource intelligence perception of joint tactical formation. The thesis also constructs multi-resource intelligence evaluation of the performance indicators of perception, using AHP to determine weights at all levels. Finally, an example to validate the results that it is feasible to use grey system theory in assessment of multi-resource intelligence perception and the conclusion is reliable.

Keywords: multi-resource intelligence apperception; joint mobile formation; grey clustering evaluation

0 引言

第二次世界大战以来, 新的战争形态和作战方式既需要先进的情报侦察技术来满足精确制导武器在目标相关数据、精确度和准确度上所提出的要求, 又要求整个作战空间里情报、监视和侦察系统与指控系统、武器系统相联结, 形成一个“无缝”的情报信息网络, 提高对战场态势信息的共享程度^[1]。在信息化条件下, 联合机动编队遂行海上作战任务, 对信息优势的依赖性越来越强, 实现这种信息优势则主要依赖于多源情报感知。

多源情报感知系统是一个灰色系统, 系统中既有人们已经了解的白色信息 (即确定性因素), 也有人们尚未了解的黑色信息, 但更多的是一般定性了解的灰色信息 (不确定性因素)。这种不明确或不完整信息会增加决策者的难度并可能导致错误的结果^[2]。在传统意义下, 多源情报感知系统效能评估指标体系中许多量的值都是通过各种模型和算法求出一个近似值, 并将此近似值当作一个确定的真值。可见, 多源情报感知系统效能评估的数据不完全受各种因素干扰、各种条件的限制, 其数值和

代表性等都具有不确定性, 表现出了多源情报感知系统的各种灰色特性。故运用灰色系统理论方法, 对联合机动编队多源情报感知能力进行评估。

1 基于端点三角白化权函数的灰色聚类评估

灰色聚类是根据不同聚类指标所拥有的白化权函数将聚类对象按几个灰类进行归纳, 以判断该类对象属于哪一类的决策方法。一个聚类可以看成是属于同一类的观测对象集合。在实际问题中, 往往是每个观测对象具有许多个特征指标, 难以进行准确分类。按照灰色聚类分析法, 不同影响指标对于不同灰类拥有不同的白化数, 将这些白化数按灰类进行归纳, 就可以判断其作战效能所属灰类^[3]。其工作流程如图 1。

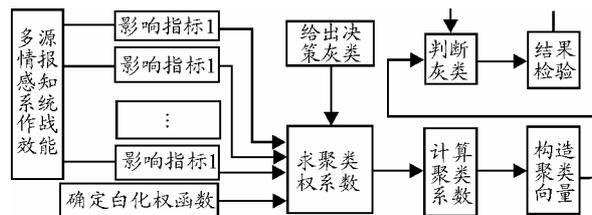


图 1 多源情报感知系统作战效能的灰色聚类分析模型

收稿日期: 2010-05-15; 修回日期: 2010-07-06

作者简介: 盖世昌 (1979-), 男, 山东人, 博士研究生, 从事海军合同战斗效能分析研究。

端点三角白化权函数：设有 n 个对象， m 个评估指标， s 个不同的灰类，对象 i 关于指标 j 的样本观测值为 x_{ij} ， $i=1,2,\dots,n$ ； $j=1,2,\dots,m$ ，要根据 x_{ij} 的值对相应的对象 i 进行评估，基于三角白化权函数的灰色评估方法的具体步骤为：

1) 按评估要求所需划分的灰类数 s ，将各个指标的取值范围也相应地划分为 s 个灰类，如将 j 指标的取值范围 $[a_1, a_{s+1}]$ 划分为：

$$[a_1, a_2], \dots, [a_{k-1}, a_k], \dots, [a_{s-1}, a_s], [a_s, a_{s+1}]$$

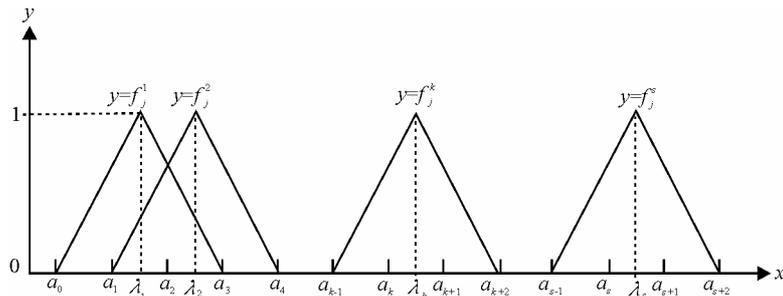


图 2 端点三角白化权函数示意图

对于指标 j 的一个观测值 x ，可由公式

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [a_{k-1}, a_{k+2}] \\ \frac{x - a_{k-1}}{\lambda_k - a_{k-1}}, & x \in [a_{k-1}, \lambda_k] \\ \frac{a_{k+2} - x}{a_{k+2} - \lambda_k}, & x \in [\lambda_k, a_{k+2}] \end{cases} \quad (1)$$

计算出其灰类 $k(k=1,2,\dots,s)$ 的隶属度 $f_j^k(x)$ 。

3) 计算对象 $i(i=1,2,\dots,n)$ 关于灰度

$k(k=1,2,\dots,s)$ 的综合聚类系数 σ_i^k ：

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \cdot \eta_j \quad (2)$$

其中， $a_k(k=1,2,\dots,s,s+1)$ 的值一般可根据实际情况的要求或定性研究结果确定。

2) 令 $\lambda_k = (a_k + a_{k+1})/2$ 属于第 k 个灰类的白化权函数数值为 1，连接 $(\lambda_k, 1)$ 与第 $k-1$ 个灰类的起点 a_{k-1} 和第 $k+1$ 个灰类的终点 a_{k+2} ，得到 j 指标关于 k 灰类的三角白化权函数 $f_j^k(\cdot)$ ， $j=1,2,\dots,m$ ； $k=1,2,\dots,s$ 。对于 $f_j^1(\cdot)$ 和 $f_j^s(\cdot)$ ，可分别将 j 指标取数域向左、右延拓至 a_0, a_{s+2} (如图 2)。

其中， $f_j^k(x_{ij})$ 为 j 指标 k 子类白化权函数； η_j 为指标 j 在综合聚类中的权重。

4) 由 $\max_{1 \leq k \leq s} (\sigma_i^k) = \sigma_i^{k^*}$ ，判断对象 i 属于灰类 k^* ；当有多个对象同属于 k^* 灰类时，还可以进一步根据综合聚类系数的大小确定同属于 k^* 灰类之各个对象的优劣或位次。

2 多源情报感知系统效能分析

多源情报感知系统是由多个分系统组成的巨系统，为了评价感知度质量高低，必须建立一套科学的评价指标体系，如图 3。

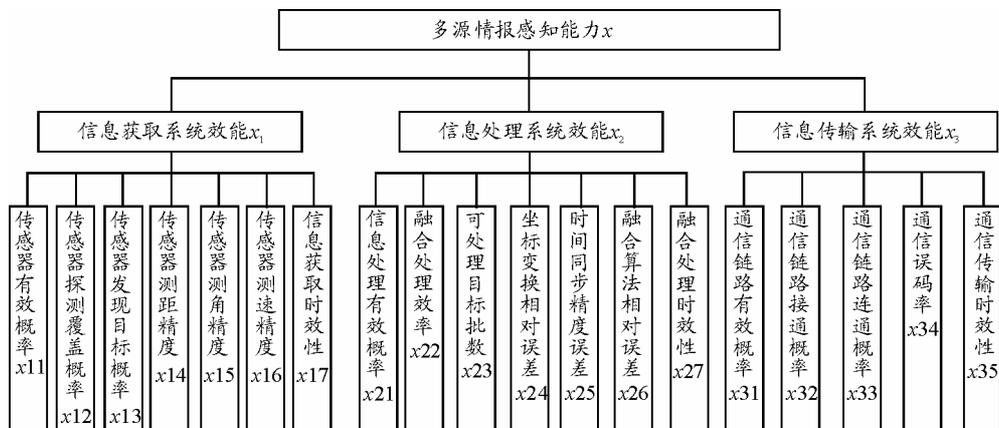


图 3 多源情报感知系统感知度评价指标体系

2.1 评价指标权重的确定

由于不同的评价指标对于多源情报感知度的影

响程度是不同的，因此按照评价指标体系确定的层次结构，应用层次分析法构造判断矩阵计算各指标

的权重^[4], 构造判断矩阵的过程略。

2.1.1 指标 x_i 权重的确定

在对联合机动编队多源情报感知系统进行考虑时, 编队内部的各作战单元装备有舰载的可以不依赖于编队多源情报感知系统的信息获取系统, 因此当信息传输系统不能可靠地工作, 无法从编队多源情报感知系统获取情报信息时, 仍可进行情报信息

的获取; 而如果信息处理系统不能正常发挥其功能时, 可以依靠编队(舰艇)指挥员及其参谋人员进行人工的情报信息处理。经过计算得 x_i 权重如下:

$$W = [0.539 \quad 0.297 \quad 0.164]^T$$

2.1.2 指标 x_{ij} 权重的确定

1) 经过计算得信息获取指标权重如表 1。

表 1 信息获取指标权重

| 指标 | 信息获取指标权重 ($x_1 = 0.539$) | | | | | | |
|------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} |
| 层次权重 | 0.140 2 | 0.220 3 | 0.408 5 | 0.047 4 | 0.047 4 | 0.047 4 | 0.088 6 |
| 组合权重 | 0.075 6 | 0.118 7 | 0.220 2 | 0.025 5 | 0.025 5 | 0.025 5 | 0.047 8 |

2) 经过计算得信息处理指标权重如表 2。

表 2 信息处理指标权重

| 指标 | 信息传输指标权重 ($x_2 = 0.297$) | | | | | | |
|------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} |
| 层次权重 | 0.141 2 | 0.372 9 | 0.082 7 | 0.049 2 | 0.049 2 | 0.082 7 | 0.221 8 |
| 组合权重 | 0.041 9 | 0.110 8 | 0.024 6 | 0.014 6 | 0.014 6 | 0.024 6 | 0.065 9 |

3) 经过计算得信息传输指标权重如表 3。

表 3 信息传输指标权重

| 指标 | 信息传输指标权重 ($x_3 = 0.164$) | | | | |
|------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} |
| 层次权重 | 0.161 0 | 0.261 8 | 0.416 2 | 0.062 4 | 0.098 6 |
| 组合权重 | 0.026 4 | 0.042 9 | 0.068 2 | 0.010 2 | 0.016 2 |

确定评价灰类, 是要确定评价灰类的等级数、灰类的灰数。灰类的灰数是仅知道大概范围而不知其确切值的数。在应用中, 灰数实际上指在某个区间或某个一般的数集内取值的不确定数, 通常用记号“ \otimes ”表示。灰类的等级数是设定不同的评估灰类, 在评价多源信息感知能力时, 采用 4 个评价灰类, 灰类序号为 k , $k = \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ 使其反映不同的评估等级优、良、中、差, 确定各指标所属灰类如表 4。

2.2 评价灰类的确定

表 4 评价指标灰类

| 准则 | 指标 | 优 | 中 | 良 | 差 |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 信息获取系统 x_1 | x_{11} | $0.80 \leq x_{11}^1 < 0.95$ | $0.60 \leq x_{11}^2 < 0.80$ | $0.40 \leq x_{11}^3 < 0.60$ | $0.10 \leq x_{11}^4 < 0.40$ |
| | x_{12} | $0.80 \leq x_{12}^1 < 0.95$ | $0.60 \leq x_{12}^2 < 0.80$ | $0.40 \leq x_{12}^3 < 0.60$ | $0.10 \leq x_{12}^4 < 0.40$ |
| | x_{13} | $0.80 \leq x_{13}^1 < 0.95$ | $0.60 \leq x_{13}^2 < 0.80$ | $0.40 \leq x_{13}^3 < 0.60$ | $0.10 \leq x_{13}^4 < 0.40$ |
| | x_{14}/m | $5 \leq x_{14}^1 < 10$ | $10 \leq x_{14}^2 < 20$ | $20 \leq x_{14}^3 < 30$ | $30 \leq x_{14}^4 < 50$ |
| | $x_{15}/^\circ$ | $0.15 \leq x_{15}^1 < 0.25$ | $0.25 \leq x_{15}^2 < 0.4$ | $0.4 \leq x_{15}^3 < 0.6$ | $0.6 \leq x_{15}^4 < 1$ |
| | $x_{16}/kn \cdot h^{-1}$ | $0.4 \leq x_{16}^1 < 0.8$ | $0.8 \leq x_{16}^2 < 1.2$ | $1.2 \leq x_{16}^3 < 1.6$ | $1.6 \leq x_{16}^4 < 2.0$ |
| | x_{17}/s | $300 \leq x_{17}^1 < 600$ | $600 \leq x_{17}^2 < 900$ | $900 \leq x_{17}^3 < 1\ 300$ | $1\ 300 \leq x_{17}^4 < 1\ 800$ |
| 信息处理系统 x_2 | x_{21} | $0.80 \leq x_{21}^1 < 0.95$ | $0.60 \leq x_{21}^2 < 0.80$ | $0.40 \leq x_{21}^3 < 0.60$ | $0.10 \leq x_{21}^4 < 0.40$ |
| | x_{22} | $0.80 \leq x_{22}^1 < 0.95$ | $0.60 \leq x_{22}^2 < 0.80$ | $0.40 \leq x_{22}^3 < 0.60$ | $0.10 \leq x_{22}^4 < 0.40$ |
| | $x_{23}/批$ | $500 \leq x_{23}^1 < 600$ | $400 \leq x_{23}^2 < 500$ | $250 \leq x_{23}^3 < 400$ | $100 \leq x_{23}^4 < 250$ |
| | x_{24} | $0.01 \leq x_{24}^1 < 0.05$ | $0.05 \leq x_{24}^2 < 0.1$ | $0.1 \leq x_{24}^3 < 0.15$ | $0.15 \leq x_{24}^4 < 0.2$ |
| | x_{25}/s | $1 \leq x_{25}^1 < 1.2$ | $1.2 \leq x_{25}^2 < 1.5$ | $1.5 \leq x_{25}^3 < 2$ | $2 \leq x_{25}^4 < 2.5$ |
| | x_{26} | $0.01 \leq x_{26}^1 < 0.05$ | $0.05 \leq x_{26}^2 < 0.1$ | $0.1 \leq x_{26}^3 < 0.15$ | $0.15 \leq x_{26}^4 < 0.2$ |
| | $x_{27}/批 \cdot s^{-1}$ | $100 \leq x_{27}^1 < 120$ | $80 \leq x_{27}^2 < 100$ | $55 \leq x_{27}^3 < 80$ | $30 \leq x_{27}^4 < 55$ |
| 信息传输系统 x_3 | x_{31} | $0.80 \leq x_{31}^1 < 0.95$ | $0.60 \leq x_{31}^2 < 0.80$ | $0.40 \leq x_{31}^3 < 0.60$ | $0.10 \leq x_{31}^4 < 0.40$ |
| | x_{32} | $0.80 \leq x_{32}^1 < 0.95$ | $0.60 \leq x_{32}^2 < 0.80$ | $0.40 \leq x_{32}^3 < 0.60$ | $0.10 \leq x_{32}^4 < 0.40$ |
| | x_{33} | $0.35 \leq x_{33}^1 < 0.45$ | $0.25 \leq x_{33}^2 < 0.35$ | $0.15 \leq x_{33}^3 < 0.25$ | $0.05 \leq x_{33}^4 < 0.15$ |
| | x_{34} | $0.05 \leq x_{34}^1 < 0.15$ | $0.15 \leq x_{34}^2 < 0.25$ | $0.25 \leq x_{34}^3 < 0.35$ | $0.35 \leq x_{34}^4 < 0.45$ |
| | x_{35}/s | $60 \leq x_{35}^1 < 90$ | $90 \leq x_{35}^2 < 120$ | $120 \leq x_{35}^3 < 150$ | $150 \leq x_{35}^4 < 180$ |

2.3 评价指标取数

结合研究区域评价指标灰类, 对各评价指标

进行延拓, 表 5 表示各指标延拓值和实际值。

表 5 评价指标延拓值和实际值

| 指标 | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} | x_{21} | x_{22} | x_{23} |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x_{ij}^0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0.05 | 0.2 | 200 | 1 | 1 | 630 |
| x_{ij}^6 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 55 | 1.2 | 2.3 | 2600 | 0.05 | 0.05 | 80 |
| 实际值 | 0.82 | 0.78 | 0.80 | 14 | 0.35 | 0.95 | 950 | 0.71 | 0.79 | 440 |
| 指标 | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | |
| x_{ij}^0 | 0.008 | 0.8 | 0.008 | 130 | 1 | 1 | 0.455 | 0.005 | 50 | |
| x_{ij}^6 | 0.202 | 2.7 | 0.202 | 20 | 0.05 | 0.05 | 0.005 | 0.455 | 200 | |
| 实际值 | 0.103 | 1.45 | 0.055 | 84 | 0.69 | 0.73 | 0.258 | 0.276 | 110 | |

2.4 各指标白化权聚类系数

据代入式 (1) 中, 可计算得到各指标白化权聚类系数, 如表 7。

根据 $\lambda_{ij}^k = \frac{1}{2}(x_{ij}^k + x_{ij}^{k+1})$ 计算 λ_{ij}^k , 见表 6。将相关数

表 6 各指标 λ_{ij}^k 值

| 指标 | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} | x_{21} | x_{22} | x_{23} |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| λ_{ij}^1 | 0.875 | 0.875 | 0.875 | 7.5 | 0.2 | 0.6 | 450 | 0.875 | 0.875 | 550 |
| λ_{ij}^2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 15 | 0.325 | 1.0 | 750 | 0.7 | 0.7 | 450 |
| λ_{ij}^3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 25 | 0.5 | 1.4 | 1 100 | 0.5 | 0.5 | 325 |
| λ_{ij}^4 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 40 | 0.8 | 1.8 | 1 650 | 0.25 | 0.25 | 175 |
| 指标 | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | |
| λ_{ij}^1 | 0.03 | 1.1 | 0.03 | 110 | 0.875 | 0.875 | 0.4 | 0.1 | 75 | |
| λ_{ij}^2 | 0.075 | 1.35 | 0.075 | 80 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.2 | 105 | |
| λ_{ij}^3 | 0.125 | 1.75 | 0.125 | 67.5 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 135 | |
| λ_{ij}^4 | 0.175 | 2.25 | 0.175 | 42.5 | 0.25 | 0.25 | 0.1 | 0.4 | 165 | |

表 7 评价指标白化权聚类系数

| 指标 | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} | x_{21} | x_{22} | x_{23} |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| x_{ij}^1 | 0.8 | 0.655 | 0.727 | 0.48 | 0.25 | 0.417 | 0 | 0.4 | 0.691 | 0.267 |
| x_{ij}^2 | 0.52 | 0.68 | 0.6 | 0.9 | 0.909 | 0.917 | 0.636 | 0.96 | 0.64 | 0.95 |
| x_{ij}^3 | 0 | 0 | 0 | 0.267 | 0.4 | 0.083 | 0.7 | 0.633 | 0.033 | 0.343 |
| x_{ij}^4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.067 | 0 | 0 | 0 |
| 指标 | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | |
| x_{ij}^1 | 0 | 0.125 | 0.643 | 0.133 | 0.327 | 0.473 | 0.947 | 0 | 0.222 | |
| x_{ij}^2 | 0.627 | 0.846 | 0.692 | 0.9 | 0.967 | 0.88 | 0.28 | 0.493 | 0.889 | |
| x_{ij}^3 | 0.707 | 0.455 | 0.067 | 0.492 | 0.367 | 0.233 | 0.387 | 0.84 | 0.444 | |
| x_{ij}^4 | 0.04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.173 | 0 | |

2.5 结果分析

利用式 (2), 计算各分系统及所研究的多源情报感知系统效能综合聚类系数, 如表 8。

表 8 分系统及多源信息感知系统综合聚类系数

| | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_4 |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| x_1 | 0.608 | 0.653 | 0.098 | 0.006 |
| x_2 | 0.425 | 0.782 | 0.302 | 0.002 |
| x_3 | 0.593 | 0.621 | 0.377 | 0.011 |
| x | 0.551 | 0.686 | 0.204 | 0.006 |

根据 $\max_{1 \leq k \leq s} \{\sigma_i^k\} = \sigma_i^{k^*}$, 从表 8 中可以看出, 就给定的多源情报感知系统而言, 属于“良”灰类。

3 结束语

结果证明, 将灰色系统理论应用于多源情报感

知能力评估, 结果是可靠的, 能够为指导编队作战使用提供依据, 有利于分析并最大限度发挥联合机动编队综合作战能力。

参考文献:

- [1] 孙建民. 战后情报侦察技术发展史研究[M]. 北京: 军事科学出版社, 2008: 24.
- [2] Wang Daoping, Ma Shaoping, Liu Jing. Study on the Classification and Disposal of Uncertain Knowledge in Intelligent Fault Diagnosis Systems[C]: Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation. June 28-July 2, 2000: 308-312.
- [3] Ke Hongfa, Chen Yongguang, Xia Bin. Efficiency Evaluation and Comparison of Electronic Equipments via Grey Clustering[J]. The Journal of Grey System, 2006, 18(3): 275-280.
- [4] 康崇禄, 等. 国防系统分析方法(下册)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 531.