

# “尼米兹”级航母编队 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力研究

1 2 1

(1. 海军大连舰艇学院信息作战系, 辽宁 大连, 116018 2. 海军大连舰艇学院海洋测绘系, 辽宁 大连, 116018)

**摘要:** 从指挥控制的角度, 分析了指挥控制过程中的主要影响因素, 建立了一套新的 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力评价指标体系, 在分析对象有色 Petri 网 (OPCPN)、层次分析法 (AHP) 两种典型的指挥控制能力评价方法的基础上, 提出了一种既能反映系统动态行为特征又可以对系统具备的指挥控制能力量化表示的组合评价方法, 并使用该方法仿真计算了“尼米兹”级航母编队 C<sup>3</sup>I 系统的指挥控制能力, 最后给出结论及对抗“尼米兹”级航母编队的对策建议。

**关键字:** 尼米兹、C<sup>3</sup>I 系统、指挥控制、系统评价方法、OPCPN、AHP

## 1 构建 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力评价指标体系

“尼米兹”级航母编队的 C<sup>3</sup>I 系统的作战使用主要是紧紧围绕着指挥控制过程而展开, 它的指挥控制能力可以分为三层指标体系<sup>[1]</sup>:

目标层指标: 系统的指挥控制能力(A)。

准则层指标:

- (1) 对作战环境变化的快速感知能力(B)。
- (2) 数据有效处理和支持指挥决策的能力(C)。
- (3) 有效控制各种作战平台和使用武器的能力(D)。
- (4) 通信网络的支持能力(E)。
- (5) 系统组成设备的综合可用性(F)。

指标层 (底层指标)。见表 1。

表 1 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力评价指标体系指标层

指标	含义	指标	含义
B <sub>1</sub>	发现目标最大的距离范围	B <sub>2</sub>	发现目标最大的高度范围
B <sub>3</sub>	目标跟踪精度	B <sub>4</sub>	目标数据更新的平均周期
B <sub>5</sub>	电子信号捕获能力	B <sub>6</sub>	获得数据和信息的置信度
C <sub>1</sub>	信息处理容量	C <sub>2</sub>	信息处理时延
C <sub>3</sub>	信息融合能力	C <sub>4</sub>	辅助决策支持能力
C <sub>5</sub>	人-机交互能力	C <sub>6</sub>	平均决策响应时间
D <sub>1</sub>	作战通路的组织能力	D <sub>2</sub>	软硬武器的控制能力
D <sub>3</sub>	作战任务协调能力	D <sub>4</sub>	引导空中作战平台能力
E <sub>1</sub>	通信容量	E <sub>2</sub>	互联互通程度
E <sub>3</sub>	畅通率	F <sub>1</sub>	系统可靠性
F <sub>2</sub>	系统重组和降档使用能力	F <sub>3</sub>	电磁防护和兼容能力

## 2 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力评价方法

### 2.1 OCPN 法

C<sup>3</sup>I 系统的 OCPN 模型的建模过程遵循以下 7 个步骤<sup>[2]</sup>:

- (1) 明确研究目的。
- (2) 基于面向对象的观点建立功能分析模型, 分别从作战使用的观点、系统的观点、技术实现的观点建立相应的模型, 将系统功能与需求以及系统的行为联系起来。
- (3) 根据功能模型中信息的转化和流动过程建立系统的动态可执行模型, 用于分析和预测系统的行为, 要确立起始状态或条件。

(4) 将步骤 (2) 和 (3) 中的相应模型转化为 OCPN 模型, 通过综合, 建立起系统的离散动态事件模型。

(5) 建立假设的作战背景及其它约束条件。

(6) 进行模型检验, 检查是否存在死锁现象; 如果出现, 及时解除死锁, 保证模型可以正常运行。

(7) 进行模型仿真运行, 进行数据分析与处理。

## 2.2 AHP 法

AHP 法采用相对标度的形式, 充分利用了人的经验和判断能力。它比较适合于对系统进行静态的分析<sup>[3]</sup>。

### 2.2.1 建立评价的层次结构

根据研究问题的需要, 分析影响 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力的各元素之间的关系, 建立它们的层次结构, 如图 1。

### 2.2.2 逐层在单一准则条件下构造判断矩阵<sup>[4]</sup>

在建立了系统评价层次结构模型后, 上下层之间元素的隶属关系便确定了。假定以元素  $B_k$  为准则, 对其下一层次元素  $c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kn}$  有支配关系, 则通过这一层元素  $c_{ki}, c_{kj}$  两两之间相对上层准则  $B_k$  的重要性的反复比较, 按表 3.1 的比例标度方法, 建立两两比较的判断矩阵  $Pb_k$ 。

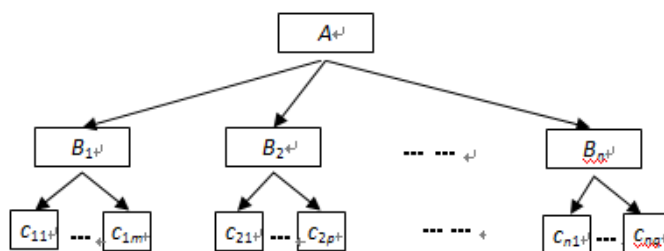


图 1 元素的层次结构

### 2.2.3 综合权重值的计算

各层权重值计算完毕并进行一致性检查后, 计算各层元素相对于系统总评价准则的相对权重值, 并得到底层指标相对于评价目标的权重值  $W_1, W_2, \dots, W_n$ 。

### 2.2.4 计算效能

通过带入量化的指标值, 得出 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力的量化计算结果, 即 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力的示性数。

## 2.3 组合评价方法

利用 AHP 法对 C<sup>3</sup>I 系统的指挥控制能力进行评价时, 最难量化的就是对具有动态性的指挥控制过程进行评价<sup>[5]</sup>。由于采用 OCPN 技术构建反映 C<sup>3</sup>I 系统动态行为的模型, 就可以对 C<sup>3</sup>I 系统中的指挥控制过程进行动态仿真, 从而为量化指挥控制过程提供科学的依据。利用组合评价方法的具体应用流程如下:

(1) 决定评价目标和评价的客体。

(2) 研究如评价客体有关的指挥控制过程, 并根据评价目标确定主要的指挥控制过程。

(3) 在一定的战术背景下构建反映研究客体主要指挥控制过程的 OCPN 模型, 并将模型细化分解。这一过程主要依据 OCPN 的建模规则。

(4) 建立符合研究要求的 OCPN 模型后, 进行动态仿真, 以获得反映指挥控制过程时效性的参数。

(5) 对获得的数据进行处理和综合, 使其最终结果能够反映指挥控制过程的时效性。

(6) 利用 AHP 法对 C<sup>3</sup>I 系统的指挥控制能力进行评价。

## 3 “尼米兹”级航母编队 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力研究

防空作战是航母编队一种典型的作战方式, 下面以防空作战为例, 分析“尼米兹”级航母编队 C<sup>3</sup>I 系统的指挥控制能力。

### 3.1 C<sup>3</sup>I 系统防空作战指挥的 OCPN 模型

#### 3.1.1 构建功能分析模型

防空作战顶层过程模型概括了航母编队 C<sup>3</sup>I 系统在防空作战时的基本指挥控制流程, 见图 2。这里, 航母编队 C<sup>3</sup>I 系统的作用被抽象为三个功能模块: 探测、指挥控制和行动。探测模块主要是指预警机和舰载雷达, 它们负责将威胁目标的信息从环境中检测出来, 当目标信息被输入编队 C<sup>3</sup>I 系统的 ACDS/NTDS 后, 指挥控制过程开始, 指挥员要利用 C<sup>3</sup>I 系统提供的包括目标和己方在内的各种信息, 对当前的战术态势做出正

确的判断，并适时地下达命令控制己方的作战平台（主要是舰载机）完成作战任务<sup>[6]</sup>。

### 3.1.2 构建顶层 OCPN 模型

将各个静态模型转化为 OCPN 的表示方式：

- (1) 过程模型结构 $\leftrightarrow$ OCPN 的结构；
- (2) 条件和状态的特征或属性 $\leftrightarrow$ 有色位置集；
- (3) 数据模型 $\leftrightarrow$ 全局声明标记；
- (4) 规则模型 $\leftrightarrow$ 弧；
- (5) 系统动态行为特征 $\leftrightarrow$ 初始标识和输入标记顺序。

这样，就得到了能表示航母编队 C<sup>3</sup>I 系统防空作战行为特征的顶层 OCPN 模型，见图 3，其中，探测过程包括预警机和舰载雷达的探测过程，指挥控制过程包括了编队内相互协同和分布指挥控制的过程，行动过程包括对于舰载机和舰载武器（主要是航空导弹）的控制。

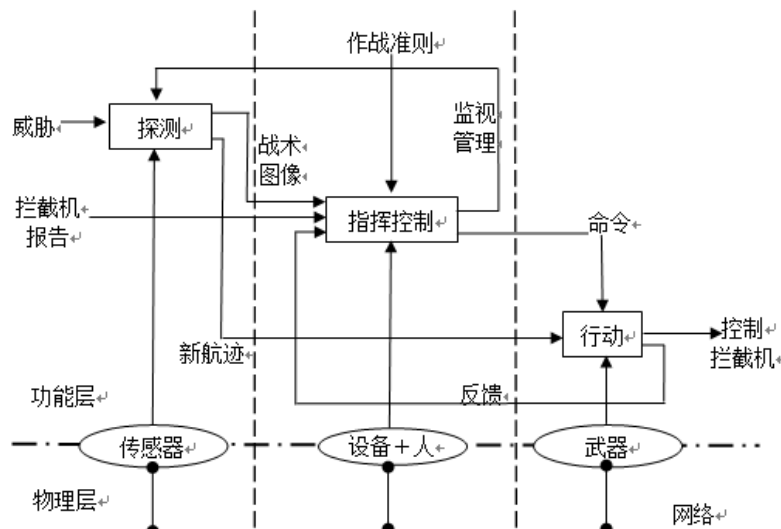


图 2 防空作战的顶层过程模型

## 3.2 仿真模拟计算

### 3.2.1 仿真程序说明

以防空作战为例，指挥周期受很多因素的影响，因此通过在几种典型的条件下对指挥控制周期的计算，找出对其主要的影响因素。需要说明的有两点：(1) 可执行 OCPN 模型在仿真时可以分布进行；(2) 由于仿真开始是从目标被预警机探测到时，因此输入数据可以简化，只表明类型、方位和速度即可。

仿真框架见图 4，其中的规则设定主要用于研究规则对整个系统指挥效能的影响，包括：探测规则、警戒规则、决策和识别规则等初始条件的设定。

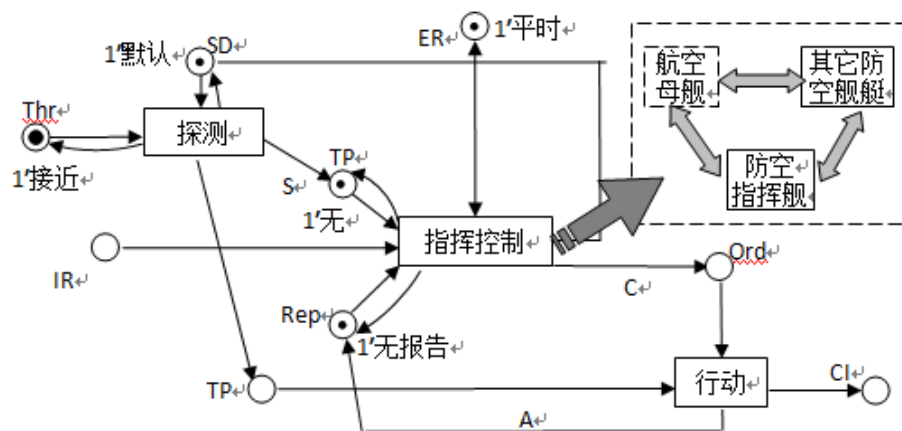


图 3 编队防空作战的顶层 OCPN 模型

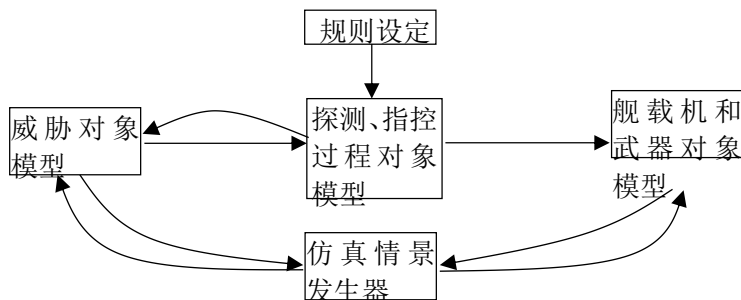


图4 仿真框架

### 3.2.2 C3I 系统作战指挥能力量化评价

首先确定一级指标的权重。其一级指标为：对作战环境变化的快速感知能力(B)，对获得数据有效处理和正确指挥决策的能力(C)，有效控制各种作战平台和使用武器的能力(D)，通信网络的支持能力(E)，系统组成设备的综合可用能力(F)。假设专家对这5项一级指标的相互权重评判结果为：

表2 准则层指标相互权重评判结果

	B	C	D	E	F
B	1	3	3	1	1
C	1/3	1	3	1/3	1/2
D	1/3	1/3	1	1/3	1/3
E	1	3	3	1	1/2
F	1	2	3	2	1

经判断满足一致性要求，经过对专家评价数据的处理和计算，一级指标的权重值为： $W_n(B, C, D, E, F) = (0.27414, 0.12344, 0.07356, 0.23864, 0.29038)$ 。同理，可根据专家的评判得到底层指标的相对权重和相对于总体评价目标的整体权重，见表3。

表3 准则层指标和底层指标的权重值

准则层指标	本层相对权重	底层指标	本层相对权重( $w_i$ )	整体权重( $W_i$ )
对作战环境变化的快速感知能力(B)	0.27414	发现目标最大的距离范围(B <sub>1</sub> )	0.2532	0.0694
		发现目标最大的高度范围(B <sub>2</sub> )	0.1302	0.0357
		目标跟踪精度(B <sub>3</sub> )	0.1674	0.0459
		目标数据更新的平均周期(B <sub>4</sub> )	0.2211	0.0606
		电子信号捕获能力(B <sub>5</sub> )	0.0817	0.0224
		获得数据和信息的置信度(B <sub>6</sub> )	0.1463	0.0401
对获得数据有效处理和正确指挥决策的能力(C)	0.12344	信息处理容量(C <sub>1</sub> )	0.1742	0.0215
		信息处理时延(C <sub>2</sub> )	0.2349	0.0290
		信息融合能力(C <sub>3</sub> )	0.0959	0.0118
		辅助决策支持能力(C <sub>4</sub> )	0.1268	0.0156
		人-机交互能力(C <sub>5</sub> )	0.0611	0.0075
		平均决策响应时间(C <sub>6</sub> )	0.3072	0.0379
有效控制各种作战平台和使用武器的能力(D)	0.07356	作战通路的组织能力(D <sub>1</sub> )	0.3767	0.0277
		软硬武器的控制能力(D <sub>2</sub> )	0.0720	0.0053
		作战任务协调能力(D <sub>3</sub> )	0.2345	0.0172
		引导空中作战平台能力(D <sub>4</sub> )	0.3168	0.0233

准则层指标	本层相对权重	底层指标	本层相对权重( $w_i$ )	整体权重( $W_i$ )
通信网络的支持能力(E)	0.23864	通信容量( $E_1$ )	0.3325	0.0794
		互联互通程度( $E_2$ )	0.1396	0.0333
		畅通率( $E_3$ )	0.5278	0.1260
系统组成设备的综合可用能力(F)	0.29038	系统可靠性( $F_1$ )	0.5278	0.1533
		系统重组和降档使用能力( $F_2$ )	0.1396	0.0405
		电磁防护和兼容能力( $F_3$ )	0.3325	0.0966

### 3.2.3 指标和作战指挥能力量化值的计算

指标值的计算实际上是很复杂的过程,除了与组成设备的战技参数有关外,还与作战需求有关,涉及因素很多。为作简化起见,认为指标值只与主要的设备有关。由于底层指标总体可分为定量指标和定性指标,因此分别采用相应的归一化模型将其量化。

#### (1) 定量指标的归一化计算

由于定量计算的指标只有取值越大越优型和取值越小越优型两类,因此只需得到该指标的最小取值( $q_{imin}$ )和最大取值( $q_{imax}$ ), $a=2$ ,计算值见表4。

取值越大越优型:

$$\begin{cases} F(q_i) = 1 & q_i \geq q_{imax} \\ F(q_i) = [(q_i - q_{imin}) / (q_{imax} - q_{imin})]^2 & \text{else} \\ F(q_i) = 0 & q_i \leq q_{imin} \end{cases} \quad (1)$$

取值越小越优型:

$$\begin{cases} F(q_i) = 1 & q_i \leq q_{imin} \\ F(q_i) = [(q_{imax} - q_i) / (q_{imax} - q_{imin})]^2 & \text{else} \\ F(q_i) = 0 & q_i \geq q_{imax} \end{cases} \quad (2)$$

表4 定量指标归一化计算结果

指标	变化类型	$q_{imax}$	$q_{imin}$	$q_i$	归一值( $b_i$ )	取值说明
发现目标最大的距离范围	越大越优型	412公里	0公里	408公里	0.9807	$q_{imax}$ 主要警戒传感器正常工作时的视距要求
发现目标最大的高度范围	越大越优型	20000米	—	20000米	1	$q_{imax}$ 为战斗机的升限
目标跟踪精度	越小越优型	—	0.1°	0.1°	1	$q_i$ 主要跟踪探测器角度方差, $q_{imin}$ 满足导弹发射的精度
目标数据更新的平均周期	越小越优型	12s	0	1s	0.8403	$q_{imax}$ 为主要警戒雷达的天线周期, $q_i$ 为对主要目标的更新率
电子信号捕获能力	越大越优型	—	—	全频段	1	$q_i$ 频段覆盖范围
畅通率	越大越优型	1	0	0.95	0.9025	$q_i$ 为11号链的畅通率

### 2、定性指标的量化与归一化计算

定性指标的计算采用集值统计方法,并对其归一,从而得到指标值,见表5,而且

$$F(q) = \left(\frac{\bar{z}-1}{8}\right)^2 \quad (3)$$

表 5 定性指标量化与归一化计算值

指 标	真 实 / 估 计 值	评 价 值	归 一 值 ( $b_i$ )
获得数据和信息的置信度	—	8	0.7656
信息处理容量	—	9	1
信息处理时延	—	9	1
平均决策响应时间	2.6 min	7	0.5625
辅助决策支持能力	—	9	1
引导空中作战平台能力	—	8	0.7656
人-机交互能力	—	8	0.7656
信息融合能力	—	8	0.7656
作战通路的组织能力	—	9	1
软硬武器的控制能力	—	8	0.7656
作战任务协调能力	—	9	1
电磁防护和兼容能力	—	8	0.7656
互联互通程度	—	7	0.5625
通信容量	1.8 kb/s	7	0.5625
系统可靠性	—	8	0.7656
系统重组和降档使用能力	—	8	0.7656

所以，美航母编队 C<sup>3</sup>I 系统作战指挥能力的各分项能力指标的归一化值为（其中  $w_i$  为本层指标的相对权重， $W_i$  为相对与整体指挥控制能力的权重）：

对作战环境变化的快速感知能力为：

$$B = \sum_{i=1}^6 B_i w_i = 0.9254 \quad (4)$$

对获得数据有效处理和支持指挥决策的能力：

$$C = \sum_{i=1}^6 C_i w_i = 0.8289 \quad (5)$$

有效控制各种作战平台和使用武器的能力：

$$D = \sum_{i=1}^4 D_i w_i = 0.9089 \quad (6)$$

通信网络的支持能力：

$$E = \sum_{i=1}^3 E_i w_i = 0.7419 \quad (7)$$

系统组成设备的综合可用性：

$$F = \sum_{i=1}^3 F_i w_i = 0.7656 \quad (8)$$

美航母编队 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力的示性数为：

$$A = \sum_{i=1}^{20} W_i b_i = 0.8221 \quad (9)$$

这属于评价等级“很好”，这也与一般的主观理解相一致，说明方法有效可行。

## 4 结论建议

通过对 OCPN 模型的指挥控制过程的动态分析，结合航母编队的特点，可以看出

(1) “尼米兹”级航母编队 C<sup>3</sup>I 系统具有强大的指挥控制能力，这主要得益于技术和战术使用的有机结合，其中主要的影响因素是预警机、数据链和科学合理的指挥体制。

(2) 舰载机是航母编队 C<sup>3</sup>I 系统作战指挥控制延时的最主要环节，对 C<sup>3</sup>I 系统指挥控制能力的大小也产生着重要的影响。由于舰载机的起降需要较长的时间，为了弥补由此给航母带来的不利影响，必须要舰载机进行空中战斗巡逻。

基于上述分析，从指挥对抗的角度，提出以下三点抗击“尼米兹”级航母编队的建议：

(1) 攻击或驱赶预警机，从而削弱航母的预警时间和距离上的优势。

(2) 采用多种目标、多航路、小集多群的方式接近。这样，一方面可以增加预警机的识别时间，另一方面可以利用航母编队在预警空域上的不均匀性，缩短敌方的预警准备时间。

(3) 利用远程巡航导弹和反舰导弹攻击。从目前的飞机性能上分析，在预警机正常工作的情况下，采用飞机突击几乎是不可能的，只有采用低空掠海飞行的导弹才真正具有实战意义，对 RCS ≈ 1m<sup>2</sup> 的导弹，预警机的发现距离有 260 公里，若采用隐身措施和超音速，在这个发现距离就会大大降低，留给航母的预警时间就会大大减少。

## 参考文献

- [1] R. J. Staker. Military Information Operation Analysis Using Influence Diagrams and Coloured Petri Nets [R]. DSTO-TR-0914, 1999.10.
- [2] B. Grffin, K. Skinner. Vulnerability Analysis of C<sup>3</sup>I Networks Using Discrete Event Simulation and Modelling [J]. 0-7803-5256-4/99, 1999 IEEE.
- [3] Fred D.J.Bowdew, Carsten Gabrisch and Mike Davies. C<sup>3</sup>I systems analysis using the distributed interactive C<sup>3</sup>I effectiveness (DICE) simulation [J]. 0-7803-4053-1/97, 1997 IEEE.
- [4] Wade D. Turvold. Defending the Aircraft Carrier: Doctrine and Technology for Survival [R]. Naval War College, 2000.2.8
- [5] 张耀鸿. 基于对象 Petri 网的 C<sup>4</sup>ISR 系统分布仿真技术研究[D]. 国防科技大学博士学位论文, 2000.5.
- [6] 卫莹. 指挥自动化系统效能评估研究[D]. 国防大学硕士学位论文, 2000.11.