



全国计算机仿真大奖赛

NATIONAL COMPUTER SIMULATION GRAND PRIZE

第七届全国计算机仿真大奖赛

参赛人员： 彭小桂 杜进 李钊颖 参赛证号：

辅导老师： 李利娟

参赛单位： 湘潭大学

命题选择： C

联系人： 彭小桂

联系电话/ E-mail： 15573219354/ pxg0130@163.com

通讯地址： 湖南省湘潭市湘潭大学信息工程学院

邮政编码： 411105

目 录

| | |
|---------------------------------------|----|
| 基于战争模型的最优航母编队仿真分析平台 | I |
| 摘 要 | I |
| ABSTRACT | II |
| 第一章 绪 论 | 1 |
| 1.1 研究背景与意义 | 1 |
| 1.2 研究现状 | 2 |
| 1.3 本文主要研究内容 | 2 |
| 第二章 航母编队的建模分析 | 3 |
| 2.1 航母编队的简介 | 3 |
| 2.1.1 航母编队的相关定义 | 3 |
| 2.1.2 各国航母的现状 & 航母的主要军事战略 | 4 |
| 2.2 基于 AHP 的航母战斗力模型 | 5 |
| 2.2.1 AHP 的理论简介 ^[9] | 5 |
| 2.2.2 AHP 方法在模型中的应用 | 5 |
| 2.3 BP 神经网络简介及应用 | 6 |
| 2.3.1 BP 神经网络简介 ^[10] | 6 |
| 2.3.2 BP 神经网络在模型中的应用 | 7 |
| 2.4 基于多目标优化的航母编队数量的确定模型 | 7 |
| 2.4.1 多目标优化模型 | 7 |
| 2.4.2 模型符号的解释及参数范围的确定 | 10 |
| 2.4.3 模型求解思路 | 11 |
| 2.5 基于战争模型的航母编队数量判断 | 12 |
| 2.5.1 一般战争模型 | 12 |
| 2.5.2 战争模型在本文航母编队数量应用 | 12 |
| 2.5.3 战争模型的求解 | 13 |
| 2.6 基于多目标的航母编队编成问题 | 13 |
| 2.6.1 航母编成模式 | 14 |
| 2.6.2 航母编队作战能力指标体系构建 | 14 |
| 2.6.3 优化指标模型的建立 | 15 |
| 2.6.3 模型的求解 | 15 |
| 2.7 本章小结 | 15 |
| 第三章 多目标优化模型仿真 | 16 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 3.1 中国航母编队数量仿真实现 | 16 |
| 3.1.1 基于 AHP 的不同类型航母作战能力确定 | 16 |
| 3.1.2 航母建造周期数的确定 | 17 |
| 3.1.3 不同建造周期的维修和建造成本 | 17 |
| 3.1.4 中国航母数量多目标优化模型的建立与求解 | 18 |
| 3.1.5 航母的数量确定 | 19 |
| 3.2 其他国家航母编队数量仿真实现 | 20 |
| 3.2.1 美国航母编队数量 | 20 |
| 3.2.2 俄罗斯航母编队数量 | 21 |
| 3.2.3 印度航母编队数量 | 23 |
| 3.3 基于多目标决策的航母编队编成模型 | 24 |
| 3.4 本章小结 | 25 |
| 第四章 战争模型仿真结果实现 | 25 |
| 4.1 中美战争模型航母数量确定 | 26 |
| 4.1.1 美国航母初始战斗力 | 26 |
| 4.1.2 两国间的击杀率 | 26 |
| 4.1.3 抗衡时中国的航母初始战斗力 | 26 |
| 4.1.4 多目标优化模型确定中国的航母数量及类型 | 26 |
| 4.1.5 仿真结果展示 | 27 |
| 4.2 中俄战争模型航母数量仿真结果展示 | 28 |
| 4.3 中印战争模型航母数量仿真结果展示 | 28 |
| 4.4 本章小结 | 29 |
| 第五章 仿真结果分析与决策建议 | 30 |
| 5.1 中国航母编队数量决策建议 | 30 |
| 5.2 美国航母编队的决策建议 | 31 |
| 5.3 俄罗斯航母编队的决策建议 | 32 |
| 5.4 印度航母数量的决策建议 | 33 |
| 5.5 本章小结 | 34 |
| 第六章 总结与展望 | 35 |
| 6.1 仿真平台总结 | 35 |
| 6.2 仿真平台展望 | 36 |
| 参考文献 | 37 |
| 致 谢 | 39 |

基于战争模型的最优航母编队仿真分析平台

摘 要

本文通过对航母的各项属性进行量化,建立了多目标优化模型和战争模型,得出了中国、美国、俄罗斯和印度维持有效运行航母编队的最大可能数量和合理基本数量,并给出了决策建议,同时给国家制定航母的发展策略提供了一种新思路。

首先,本文将各国所能建造的航母分为重型、中型、小型三种类型,考虑航母的综合作战能力、维修和建造成本、建造周期,再以经济条件 and 政治条件为约束,建立了以耗资最少和综合作战能力最大的多目标优化模型。在模型的建立和求解的过程中,主要采用 AHP 方法确定不同类型航母的综合作战能力,然后在约束条件中引入了两个可调参数分别表征不同国际军事形势下,国家对航母的经济支持力度和政治支持力度,得出了二十年后,中国在国际军事形势为低危的情况下维持有效运行的最大可能航母编队数量为 5 艘(1 艘重型航母、3 艘中型航母和 1 艘小型航母),合理基本数量为 5 艘(4 艘中型航母和 1 艘小型航母);在国际军事形势为中危的情况下中国维持有效运行的最大可能航母编队数量为 8 艘、合理基本数量为 7 艘等结果,并且通过 Matlab 软件 GUI 对航母数量进行仿真实现。最后采用多目标决策理论,建立了航母编队编成模型,得到航母在作战行动中航母编队的最优编成方案。

然后,假设中国与其他三国的航母在特定海域进行作战,建立了正规战争模型。在战争模型中,结合当今各国的海上军事策略和多目标优化模型的结果,确定美、印和俄可能派遣到作战海域的航母数量,然后在给定的航母杀伤率的情况下,求出了中国与其他三个国家抗衡时中国应该具有的航母数量,如在美国派遣 6 艘重型航母到东海邻域作战,考虑作战距离,中国航母对美国航母的杀伤率为 0.6,美国航母对中国航母的杀伤率为 0.4 的情况下,中国应具有 7 艘航母(2 艘重型航母和 5 艘中型航母)才能与其抗衡,接着在不同航母杀伤率的情况下,通过 GUI 对中国航母数量进行仿真实现;并给出了满足战争模型结果要求,国家对航母的经济和政治支持力度的调整提升建议。

本文采用 Matlab 软件 GUI 仿真平台具有以下功能:在多目标优化模型中,通过调节经济支持系数和政治支持系数,可以对中、美、俄、印四个国家维持有效运行的航母编队最大可能数量和合理基本数量仿真;在战争模型中通过模拟不同航母杀伤率,得出与其余三国相抗衡时中国应建造的航母数量;最后在 GUI 中展现了中、美、俄、印四国航母发展战略决策建议。该平台对国家把握未来形势的航母发展战略具有一定的参考价值。

关键词: AHP 方法; GUI 仿真; 多目标优化模型; 航母; 战争模型

Abstract

Based on the quantified properties of the Aircraft carrier, a multi-objective optimization model and the model of war are built, then obtain the maximum and the reasonable carrier battle group number of China, the US, Russia and India, which gives decision recommendation to national Aircraft carrier's development strategy.

Firstly, dividing Aircraft carriers into large, medium and small models, and proposed the concept of comprehensive combat capability of Aircraft carrier, maintenance and construction costs, the construction cycle period, and then take the economic and political conditions as constraints to establish a minimum cost and largest comprehensive combat capability multi-objective optimization model. During the process of setting up and solving the model, we mainly use AHP method to determine the comprehensive combat capability of different types of Aircraft carrier, and then introduce two adjustable parameters to characterize the national economy and political support to the Aircraft carrier development in different international military situation. Then come to the conclusion that the maximum possible number of Aircraft carrier of China is 5 Aircraft carriers at a low-risk situation (one heavy Aircraft carrier, three medium-sized carriers and one small aircraft carrier), and a reasonable basic number is also 5 (four medium-sized carriers and one small aircraft carrier); and the maximum possible Aircraft carrier number is 8, a reasonable amount of 7 in a danger situation, etc. Then use Matlab software GUI to simulate the number of Aircraft carrier. Finally, with multi-objective decision theory, the model of aircraft carrier battle groups were built, and obtain the optimal number of Aircraft carrier battle group.

Then, assuming that China were at war with the other three counties in specific sea areas, building the formal war model. In war model, considering the naval strategy and multi-objective optimization of different countries to determine the number of Aircraft carrier belongs to the United States, India and Russia. Given the rate of destruction, the number of carriers is determined when China fight with three other countries in checks and balances, For example, six heavy carriers of the US on the East China Sea, considering combat distance, Chinese aircraft carrier destruction rate to the US is 0.6, the destruction rate of the US aircraft carrier to the Chinese is 0.4. To compete with the US, China should have seven aircraft (two heavy aircraft and five medium-sized aircraft carrier). Then in the case of different destruction rates, the number of aircraft is simulated for China by the GUI. And Giving the adjustment of economic and political support of the carrier's upgrade recommendations of China to meet the result of war model.

In this paper, Matlab simulation platform GUI has the following functions: In the multi-objective optimization model, by adjusting economic support and political support factor, the maximum possible and reasonable number of aircraft carrier battle groups of the US, Russia, India and Chain are simulated. In war model, by giving different aircraft destruction rate, come to the number of aircraft carrier that China should build. Finally we give recommendations to the US, Russia, India and Chain for the Aircraft carrier development strategy policy in GUI. The platform has a certain reference value to the national situation, which is helpful in grasping the future development strategy of carriers

Key words: Analytic Hierarchy Process; GUI simulation; Multi-objective optimization model; Aircraft carrier; War model

第一章 绪 论

1.1 研究背景与意义

航母编队是以航母为核心，多种不同的战斗机及舰艇共同组成的战斗群。现代航空母舰编队，是一个国家海军力量强大的体现，而且是一个国家政治、经济、国防、科技力量的综合体现。从某种意义上说，拥有现代航空母舰，不仅是海军是否强大的一个标志，也是一个国家海军战略和综合国力的体现。

如果把 1910 年美国民间飞行员尤金·伊利驾驶一架“柯蒂斯”双翼机，从铺设在美海军“伯明翰”号巡洋舰前部的飞行甲板升空算起，迄今航空母舰问世也不过百年的时间，然而，自第一次世界大战，尤其进入第二次世界大战不久，世界各国海军出于应对日渐激烈的海空战争的需要，以及对航母的作用地位认识的提高，开始加速建造或改装各种航母，其数量出现了明显的陡升。到二战末期，世界各国航空和护航航母总数逼近 300 艘，其中美国、英国和日本航母数量名列前三，其巅峰期分别达到 151 艘、83 艘和 29 艘。二战之后，由于海上作战任务锐减，战争创伤严重，各项建设百废待兴，急需大量费用，航母命运逐渐多舛，占绝大多数比例的航母或买，或拆，或改装，或出售，一时间各国拥有总数陡减^[1]。

但是，装备航母的国家数量却呈增加趋势。当今，世界上拥有现役航母的国家有 11 个，即英国、日本、美国、法国、意大利、西班牙、巴西、印度、泰国、日本、韩国；就美国而言，美国海军现役 10 艘尼米兹级航空母舰，是现时全球拥有最多、排水量和体积最大、舰载机搭载数量最多、作战效率最强大、而且全部使用核动力航空母舰的国家。其依靠其强大的海上军事作战能力，扮演着“世界警察”的角色，当遇有那些“不听话的家伙”或对其战略利益有可能形成威胁的对手，美国肯定要派出航母编队航行至该国当面的海域，实施威慑，恐吓，乃至有效打击。例如，2006 年 7 月 5 日，朝鲜试射 7 枚导弹后，美国“企业号”航母编队于 7 月 16 日开往朝鲜附近的海域，对朝鲜施加威慑。总而言之，一个国家究竟配有几艘航母编队，今后个世界

大国拥有的航母数量目标将是多少，如何适度发展航母才能做到满足本国的实际需要，又不给国家经济与发展造成过重的负担，已经成为值得深入研究的重要课题。

1.2 研究现状

虽然航母编队不仅是一个国家海军力量强大的体现，而且是一个国家政治、经济、国防、科技力量的综合体现，但是各国受其科技水平的限制，当今世界上拥有现役航母的国家仅有 11 个，航母数总计 22 艘。因为各国每年能建的航母数量较少，所以在航母编队数量研究方面较少。当今在航母方面的研究主要在两个方面：从定性分析研究各国航母发展策略和航母编队编成的策略研究。高云等人对俄罗斯的航母发展做了研究^[2]，张紫辉等人从印度首艘国产航母分析印度航母的发展策略^[3]，再比如银河从俄国航母的发展看中国未来航母之路^[4]，这些都是从定性的角度去分析各国航母数量，具有较大的局限性和模糊性。在与航母有关的定量分析研究中，大都是从航母编队编成角度进行研究。如朴成日基于作战样式对航母编队进行兵力的配置^[5]，廖春科提出免疫克隆算法对航母编队进行配置^[6]。

从上可以看出，综合考虑的各国政治、经济、军事等各项数据和未来可能发展的战略形势，定量预测未来各国航母编队数量的研究暂处于空白。但现在具有海域的大国都想在适应自己国情的情况下，建造一定数量的航母；随着我国经济实力和综合国力的逐渐增强，我们相信航母编队数量的研究不久后定会成为一个国家重要的研究课题。

1.3 本文主要研究内容

新时期新阶段，出于捍卫国家领土主权，维护国家利益，以及海上军事行动的需要，特别是为了更好地应对日益增加的非战争军事行动需要，每个拥有海洋主权的国家，甚至内陆国家都想拥有相当数量的航母。基于航母当代发展的状况，本文不仅考虑了各国政治、经济、当今和未来的军事策略，而且考虑了各国的劳动力水平和工业水平，建立了用于确定航母编队最大可能数量和合理数量的多目标优化模型。利用建立的一般模型，分别假设二十年后的国际军事形势为“低级危险”和“中级危险”两种情况下，给出了 2036（20 年后）年美国、中国、俄罗斯和印度能维持有效运行航

母编队的数量。然后假设中国与其余三国在主要的军事海洋领地（如中国与美国在我国东海领域）存在航母编队之间的战争，建立适用于两国之间的航母战争模型，得出了中国要与其他三国相抗衡时航母编队的数量，接着采用多目标决策理论，建立了航母最优编队编成模型。最后就 Matlab 软件 GUI 仿真界面展示的结果，对各国的航母编队数量提出决策建议。

第二章 航母编队的建模分析

2.1 航母编队的简介

2.1.1 航母编队的相关定义

航母编队一般由 1 艘航母、2~3 艘防空型巡洋舰或驱逐舰、2~3 艘反潜驱护舰、1~2 艘攻击型核潜艇、1~2 艘后勤支援舰组成单航母战斗群。在美国的历史上，美国海军上将麦克·安德鲁·米切尔为了改变舰队中航母力量分散的问题，创建了以多艘航母形成的特混舰队的编队模式。但那主要是应用于第二次世界大战，基于现代和平发展的状况，我们在本文中仅考虑一个航母编队是以一个航母为核心的战斗群，即用**该国的航母的数量**代表航母编队的数量。

每个国家拥有的航母数量与该国的政治条件、经济基础、工业化水平及军事需求等有关，为了方便模型的建立，我们将航母具有以下属性：

（1）航母的作战能力

航母是一种以舰载机为主要作战武器的大型水面舰艇，其综合作战能力主要由其作战群决定，**自身不具备战斗力**。其综合作战能力与其搭载的舰载机的类型和数量，排水量、防御能力和运行能力相关^[7]。本文假设航母的作战能力用 b 表示，**其相对数值由 AHP 方法决定**。

（2）依照排水量对航母进行分级

每个国家的科技水平都不尽相同，所造航母类型及性能也不相同。如美国科技水平领先，所以其建造的大多核动力重型航母（排水量约为 10 万吨），俄罗斯建造的为

常规动力的中型航母（排水量约为 6 万吨）^[8]。为了简化模型，对航母进行分级如表 2-1 所示：

表 2-1 航母分级

| 航母级别 | 排水量 |
|------|------------|
| 重型航母 | 排水量 6 万吨以上 |
| 中型航母 | 排水量 3—6 万吨 |
| 小型航母 | 排水量 3 万吨以下 |

（3）航母的建造周期

航母的建造周期不仅取决于这个国家的科技实力和工业水平，同时也取决于该国是建造的航母是首舰还是非首舰。一般建造首舰因其包括研发、设计等过程，故建造周期与非首舰相比，建造周期更长。对此，本文对建造周期做以下假设：

假设航母的建造周期用 T 表示，取决于该国的工业水平，并且假设航母在建造完后，就具备相应的战斗力。

（4）航母的其他相关属性

航母除了具备以上所述的主要属性外，还具备以下的属性，如下表 2-2 所示：

表 2-2 航母的相关属性说明

| 符号 | 符号的解释 |
|-----|-----------|
| c | 表示航母的建造价格 |
| d | 表示航母的维修价格 |
| x | 表示航母的数量 |

2.1.2 各国航母的现状 & 航母的主要军事战略

航母编队的数量不仅与未来的政治、经济和军事有关，而且与各国现在所拥有的航母数量及军事战略有关，查找相关资料，得出中国、美国、印度和俄罗斯航母的现状 & 主要军事策略，如下表 2-3 所示：

表 2-3 各国航母的现状及其主要军事战略

| 国家 | 现拥有的航母数 | 航母的主要类型 | 现拥有的单航母编队作战能力 | 航母的军事战略方向 |
|-----|---------------------|-------------|---------------|---------------------|
| 中国 | 1 | 常规动力中型航母 | 较强 | 主要应对太平洋方向 |
| 美国 | 12（预计到 2016 年 9 月份） | 核动力重型航母 | 极强 | 5-大西洋方向，3-太平洋，3-印度洋 |
| 印度 | 3 | 1-小型，2-中型航母 | 强 | 主要应对印度洋方向 |
| 俄罗斯 | 1 | 常规动力中型航母 | 较强 | 巴伦支海方向和太平洋方向 |

2.2 基于 AHP 的航母战斗力模型

2.2.1 AHP 的理论简介^[9]

AHP 的基本原理就是把所要研究的复杂问题看作一个大系统，通过对系统的多个因素的分析，划出各因素间相互联系的有序层次；再请专家对每一层次的各项因素进行较为客观的判断后，相应给出相对重要性的定量表示；进而建立数学模型，计算出每一层次全部因素的相对重要性的权值，并加以排序；最后根据排序结果进行规划决策和选择解决问题的措施。层次分析法建模的步骤可分成以下四步：

- （1） 建立递阶层次的结构模型
- （2） 构造判断矩阵
- （3） 层次单排序及一致性检验
- （4） 层次总排序及一致性检验

2.2.2 AHP 方法在模型中的应用

由上部分航母简介中，可以看出国家建造航母战斗力是一个国家拥有理想航母数量其中的一个决定因素，同时航母的综合作战能力与其搭载的舰载机的类型和数量，排水量、防御能力和运行能力有关。可见，航母的战斗力是我们要研究的一个复杂的模糊的系统，所以我们采用 AHP 方法确定各个类型的相对作战能力。其重要的递阶层次结构模型如下图 2-1，具体求解将在第三章多目标优化模型中给出。

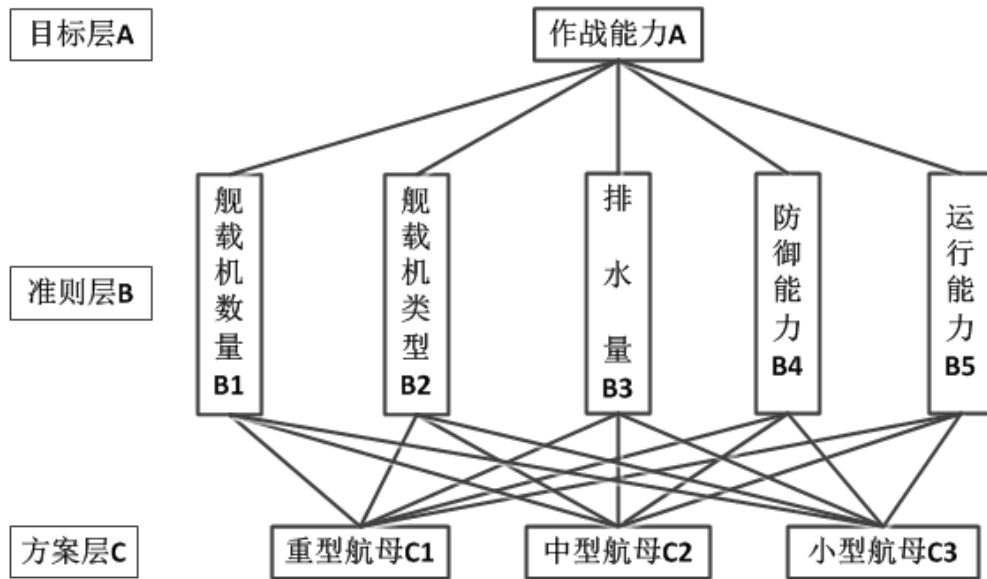


图 2-1 AHP 模型递阶层次结构图

2.3 BP 神经网络简介及应用

2.3.1 BP 神经网络简介^[10]

神经网络是一种大规模并行的复杂的非线性动力系统。自从 1987 年 Lapedes 和 Farber 首先将神经网络技术应用到预测研究领域以来，国内外许多研究人员开始从事神经网络预测方法的研究，涌现了许多神经网络在预测中成功运用的实例，如师洪涛在风电功率方面预测^[11]。

在此，我们采用前馈式即 BP 神经网络来进行预测。这是因为当我们试图预测系统的下一个输出时，假定在两个不同时刻，若系统有同样的输入，两次的输出应是相同的，即系统具有一定的确定性。只要能提供适当的输入，确定性系统是能够被模拟的。因此，预测的过程实际上是一个模拟确定性系统的过程，而 BP 神经网络是很好的模拟确定性系统的工具。

BP 神经网络预测步骤可描述如下：

（1）确定输入层和输出层。

（2）初始化网络及学习参数，即将隐含层和输出层各节点的连接权值、神经元阈值赋予（-1，1）区间的随机数，将各学习参数设定为合适的值。

(3) 提供训练模式，即从训练模式集合中选出一个训练模式，将其输入模式和期望输出送入网络；

(4) 反向传播过程，即从输出层反向计算到第一隐含层，按以下方式逐层修正各单元的连接权值：

① 计算同一层单元的误差 δ_k 。

② 按下式修正连接权值和阈值： $\omega_{jk}(t+1) = \omega_{jk}(t) + \eta \delta_k o_j$ 对阈值，可按照连接权值的学习方式进行，只是要把阈值设想为神经元的连接权值，并假定其输入信号为单位值 1 即可。反复执行上述修正过程，直到满足期望的输出模式为止。

(5) 返回第 (2) 步，对训练模式集合中的每一个训练模式重复第 (2) 到第 (3) 步，直到训练模式集合中的每一个训练模式都满足期望输出为止。

(6) 调整输入，在最佳权值下，输入预测输入值，经由神经网络进行训练学习，得到预测输出值。

2.3.2BP 神经网络在模型中的应用

通过查找《数据-世界银行》及其他资料，得出了中国、美国、印度和近 40 年来 GDP（国内生产总值）及军费支出占 GDP 的比重，采用 BP 神经网络预测法，预测出未来二十年内每年的国内生产总值及军费占 GDP 的比重。主要的预测步骤如下：

● 输入层和输出层的确定

以前 N 年的数据为输入样本，即有 N 个输入层； $N+1$ 年的数据为输出样本，即 1 个输出层。在将预测出的数据，作为输入样本，预测下一年的数据，依此下去。

2.4 基于多目标优化的航母编队数量的确定模型

多目标优化模型就是借助最优化数值计算的方法和计算机技术，求取工程或物理问题的最优化设计方案，即决策者力求一组合理的决策参数，以使得由这组决策参数确定的设计方案即满足各种约束条件，又使得其各项指标达到最佳^[12]。

2.4.1 多目标优化模型

本文建立的是以每个周期建造航母数量为决策变量，各国的经济条件、政策和军事为约束条件，所耗费的金钱最少和航母战斗力最大为目标的多目标优化模型。该模

型适用性强，推广性广，可应用与各个国家，各个阶段航母数量的确定。其具体建立的步骤如下：

(1) 模型的假设

- 在未来的 N 年中，按每个国家建造航母的周期 T ，我们将可能建造航母的时期划分为 N/T 个周期。即假设只能在每一个建造周期之初建造航母，并且在建造周期之末航母建造成功，而不延至下一个建造阶段，并且航母一建造完成就具备作战能力。

- 每个国家按重型航母、中型航母和小型航母进行建造，各等级航母的属性如表 2-4 所示。

- 航母所消耗的资金仅考虑其自身的建造成本及维修成本

(2) 各类型航母的说明

由 2.1 章节中航母的简介，各国能建造的航母类型及相关参数如下表 2-4 所示：

表 2-4 航母的相关参数

| 可供选择建造的 航母类型 | 建造期所建的航 母数量 | 单艘作战能力 | 建造成本（ /阶 段） | 维修成本（ /阶 段） |
|-----------------|----------------|--------|----------------|----------------|
| 重型航母 | x_{n1} | b_1 | c_{n1} | d_{n1} |
| 中型航母 | x_{n2} | b_2 | c_{n2} | d_{n2} |
| 小型航母 | x_{n3} | b_3 | c_{n3} | d_{n3} |

对上表的说明如下：

- 因为航母的作战能力 b 为相对作战能力，所以航母的战斗能力不随年份变化为固定值
- 航母的建造成本及维修成本随建造周期数的增长而增加。其计算公式为

$$\left\{ \begin{array}{l} c = c_0 (1+r)^t \\ d = d_0 (1+r)^t \\ t_{\max} = \frac{20n}{n_{\max}} \\ t = \frac{20}{n_{\max}}(n-1) + 1 \\ c_{ni} = \frac{\sum_t^{t_{\max}} c_{oi} (1+r)^t}{T} \\ d_{ni} = \lambda \sum_t^{t_{\max}} c_{oi} (1+r)^t \end{array} \right. \quad (2-1)$$

其中： c_0 ， d_0 表示当前的航母建造及维修价格； r 表示美元年贬值率^[13]； t 表示第 t 年（ $1 \leq t \leq 20$ ）， n 表示 N 年中第 n 个航母建造周期， $n_{\max} = N/T$ 为 N 年中总周期的个数； r 表示美元年贬值率； λ 表示第 t 年维修成本占当年建造成本的比例； c_{ni} 表示第 n 个建造周期第 i 种类型航母的建造成本； d_{ni} 表示第 n 个周期第 i 种类型航母的维修成本。

(3) 确定决策变量

从上述的航母相关参数说明中，其中航母的数量 x 为变量（ x_{n1}, x_{n2}, x_{n3} 分别为重型、中型、小型航母在第 n 个周期的航母数量），其余的为可求得或可查知常量。所以该优化模型可取决策变量为不同决策周期 n 时不同类型航母的数量，取向量如下：

$$X = [x_{n1}, x_{n2}, x_{n3}], n = 1, 2, \dots, n_{\max}$$

(4) 建立多目标函数

容易知道航母的总经济消耗取决于航母的建造数量 x 、建造成本 c 、维修成本 d 及可允许的建造阶段数 n ，航母的综合作战能力取决于航母的建造数量 x 、单艘航母的作战能力 d 及可允许的建造阶段数 n ，以 N 年后航母所消耗的成本最少和 N 年后航母综合作战能力最大为目标，其表达式为：

$$\min C = \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni} + \sum_{n=2}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{0i} \cdot d_{ni}$$

$$\max Z = \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i$$

式中: $\sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni}$ 表示 N 年后的建造航母的总成本; $\sum_{n=2}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni}$ 表示新建的航母 N 年后消耗的维修成本; $\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot d_{ni}$ 为第 n 阶段增加的航母作战能力, $\sum_{i=1}^{n_{\max}} \sum_{j=1}^3 x_{0i} \cdot d_{ni}$ 为当前拥有的航母在 N 年后消耗的维修成本。

(5) 确定约束条件

本多目标优化模型的约束条件主要体现在各国的经济、军事和政治和劳动力水平方面, 针对每一方面量化后所形成的约束条件(具体含义在下一节统一说明) 如下所示:

$$\begin{cases} g(1) = \left(\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni} + \sum_{i=1}^3 x_{0i} d_{ni} \right) \leq \alpha M^n; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\ g(2) = \frac{\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i}{L} \leq \beta; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\ g(3) = \sum_{i=1}^3 x_{ni} \leq x_{n_{\max}}; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\ x \geq 0; \end{cases}$$

2.4.2 模型符号的解释及参数范围的确定

1. 在多目标优化模型中, 各符号的解释如下:

(1) x, b, c, d , 分别表示建造航母 i 的数量、作战能力、建造价格和维修价格。

(2) $g(1)$ 类型约束为经济条件约束: 其解释为每一建造周期的成本都不大于这一阶段的军费支出乘以一个系数, 其中 M^n 表示第 n 个阶段的军费支出, 为预测值(数据来源: 世界银行。见附件 1);

(3) $g(2)$ 类型约束为政治条件约束: 其解释为单位海岸线上的单个周期增加的航母作战能力应小于一个系数, 其中 L 表示为对应各国的相对海岸线长度,

(4) $g(3)$ 类型约束为劳动力水平约束。其解释为在任一个建造周期内, 其能建造的航母数具有上限 $x_{n_{\max}}$, 由其劳动力水平决定。

(5) α 表示为单个建造周期航母投入费用占军费支出比重，也称经济支持系数。
 β 表示为国家政治对航母发展战略的支持力度系数，也称政治支持系数。

(6) x, b, c, d, M, L 均是常数， α, β 因各个国家不同而相应的变化，为仿真所用的可变参数。

2. 参数范围的确定

由于不同国家航母的不同参数设置会有所区别，对参数进行确定的可行度不高且模型的功能局限性太大。因此，根据上文所选取的 4 个典型国家，将 α, β 确定在一个范围内，不仅能在仿真平台中根据该国家的经济，政治特点在可调参数范围内设置参数，即可对该国的航母进行仿真，得出任意国家的航母数量，而且可以将 α, β 限定在不同的范围内用以表示不同的国际军事危机形势。在本文中将国际军事危机形势分为中危和低危期， α, β 的不同范围对应的不同形势，如下表 2-5 所示：

表 2-5 参数范围

| 国家 | 参数 | 参数范围 | |
|-----|----------|-----------|--------------|
| | | 低危期 | 中危期 |
| 中国 | α | [0,0.05] | [0.050,0.1] |
| | β | [0,5] | [5,8] |
| 美国 | α | [0,0.047] | [0.047,0.06] |
| | β | [0,1.5] | [2.5,5] |
| 俄罗斯 | α | [0,1.12] | [0.12,0.2] |
| | β | [0,3] | [3,5] |
| 印度 | α | [0,0.15] | [0.15,0.3] |
| | β | [0,5] | [5,10] |

2.4.3 模型求解思路

对建立的多目标优化模型并不能通过 MATLAB 直接求解，常用的方法为 AHP 法确定权重采用加权求和或者将其中多个目标函数转化成约束条件，将多目标问题转化成单目标优化问题进行求解^[14]。本文在求解的过程中，遵循以下原则：

- 航母编队的最大可能的数量求解思路

最大可能的数量是不考虑经济最少为目标的情况下，该国所能拥有的航母数量。故在求解中，直接将综合作战能力最大作为唯一的目标用 Matlab 进行求解。

● 航母编队的合理基本数量求解思路

合理的基本数量不仅在该国的航母综合作战能力达到最大的时候，而且要使所消耗的成本最少。故在求解过程中采用归一化的双目标求和法转化成单目标优化模型求解。

2.5 基于战争模型的航母编队数量判断

战争模型是 F.W.Lanchester 在第一次世界大战期间提出的用于描述传统的正规战争和稍微复杂的游击战争的数学模型^[15]。Lanchester 提出的模型非常简单，由战争模型就可判断整个战争的结局或由战争的胜负去确定初始兵力的多少。这些模型曾用于分析历史上的一些著名战争，如二次世界大战中的美日硫磺岛之战和 1975 年结束的越南战争。

2.5.1 一般战争模型

战争模型只考虑双方兵力的多少和战斗力强弱，兵力因战斗减员和非战斗减员而减少，又可由后备力量的增援而增加。同时假设每一方的战斗减员率取决于双方的兵力和战斗力，每一方的非战斗减员率（由疾病、逃跑等因素引起）只与本方的兵力成正比，故一般战争模型如下：

$$\begin{cases} y'(t) = -f(y, z) - \xi y + u(t), \xi > 0 \\ z'(t) = -g(y, z) - \psi z + v(t), \psi > 0 \end{cases}$$

其中： $y(t), z(t)$ 表示两国交战双方时刻 t 的兵力， $f(y, z), g(y, z)$ 表示两国战斗减员率， $u(t), v(t)$ 表示双方的增援率 ξ, ψ 表示非战斗减员率。

2.5.2 战争模型在本文航母编队数量应用

本文考虑的两国（即中国-美国；中国-印度；中国-俄罗斯）之间的战争为用航母在特定海域进行正规作战，故将上述的一般战争模型进行简化，正规战争模型如下：

$$\begin{cases} y'(t) = -\omega z - \xi y + u(t), \xi > 0 \\ z'(t) = -\theta y - \psi z + v(t), \psi > 0 \end{cases}$$

式中： ω 表示中国航母平均的作战能力对其他三国航母的杀伤率；同理 θ 表示其他三国航母的平均作战能力对中国航母的杀伤率。

在分析航母战争结局时忽略非战斗航母损失一项（与航母战斗时损失相比，这项很小），并且假设四个国家都没有增援。记双方初始的航母战斗力为 y_0 和 z_0 ，则上述模型又可简化为：

$$\begin{cases} y' = -\theta z \\ z' = -\omega y \\ y(0) = y_0, z(0) = z_0 \end{cases}$$

由方程可知，双方的航母作战能力 $y(t), z(t)$ 都是单调递减函数，并且认为作战能力减至0的一方为负方。

2.5.3 战争模型的求解

在对模型的求解过程中，本文假设其他三国的航母战斗力已知（由多目标优化模型确定），旨在求：若是要使得中国能在特定海域与其抗争，中国应具有多少数量的航母。

为了更好的说明战争模型的求解方法，举美-中两国航母战争模型进行说明：由多目标优化模型可确定美国 N 年后的航母数量 x_A ，根据其海事战略，其可能派其中的某几艘或者全部派到特点海域东海领域来与中国进行航母战斗，派来航母的数量也可在仿真界面进行调节，通过战争模型可以确定中国与美国航母战争持平应该具有的航母数及航母类型。

模型通过 MATLAB 对建立的微分方程求解，并对两国之间的战争模型进行仿真平台展示。

2.6 基于多目标的航母编队编成问题

航母编队一般由 1 艘航母、2~3 艘防空型巡洋舰或驱逐舰、2~3 艘反潜驱护舰、1~2 艘攻击型核潜艇、1~2 艘后勤支援舰组成单航母战斗群。然而在实际应用中，航母编队编成不能按照固定的模式，而应根据作战任务的要求进行合理配置。本文分析

了航母编队的作战能力，并在此基础上构建航母编队模型的指标系统，利用多目标决策理论，建立了航母编队的编成模型。

2.6.1 航母编成模式

设航母编队的编成中可选兵力共有 $p+1$ 种型号的待选舰艇，型号依次编号为： $p=0,1,2,\dots,q$ （其中 $p=0$ 表示参加任务的航空母舰， $p=1,2,\dots,q$ 表示待选编队护航舰艇）； p 型舰艇的数量为 μ ，依次编号为 $k=1,2,\dots,\mu$ ，做变量 x_{pk} 。

$$x_{pk} = \begin{cases} 1, & \text{第 } p \text{ 型号的第 } k \text{ 号舰艇被编入航母编队} \\ 0, & \text{第 } p \text{ 型号的第 } k \text{ 号舰艇未被编入航母编队} \end{cases}$$

用集合 $S = \{(p,k) | x_{pk} = 1; p=0,1,2,\dots,q; k=1,2,\dots,\mu\}$ 表示航母编队的一种编成模式。

2.6.2 航母编队作战能力指标体系构建

航母编队编成模式的确定，应以最大限度地发挥编队的作战能力为总目标。航母编队作战能力的主要因素为：警戒探测能力、对空作战能力、反潜作战能力、对岸作战能力和电子对抗能力^[16]。编队作战能力指数是由构成编队的各单舰作战系统作战能力指数决定的，其层次结构如图 2-2 所示。

第一层为目标层，它是编队作战系统的作战能力指数；

第二层为任务层，是编队作战系统执行不同任务时的作战能力指数；

第三层为编队作战系统执行某一作战任务时的单舰作战系统作战能力指数。

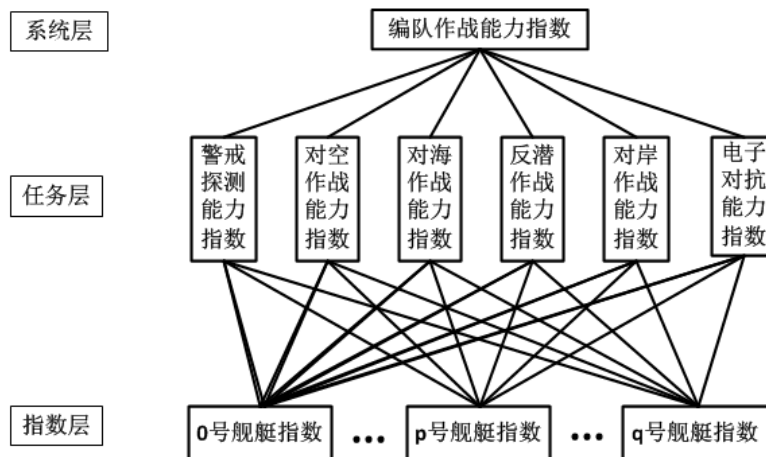


图 2-2 航母编队编成层次结构图

2.6.3 优化指标模型的建立

将上述指标警戒探测能力、对空作战能力、对海作战能力、反潜作战能力、对岸作战能力和电子对战能力依次编号 $h=1,2,\dots,6$ ，则第 h 个优化指标在编队模式 S 下，其值为 $F_h(S)$ ，则优化指标模型为：

$$F_h(S) = \sum_{(p,k) \in S} F_h(S) = v \cdot x_{pk}$$

其中： v_{ph} 为第 p 型舰艇的第 h 个优化指标的值。

航母编队编成模式不是固定不变的，一方面它受编队兵力单元空间的制约，另一方面受作战对象的制约。应根据编队的主要作战任务以及执行该任务时的战场威胁环境，选择适合完成不同任务的任务型编队。因此给定一组正的权重 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_6$ ，且 $\sum_{h=1}^6 \omega_h = 1$ 。（此权重通过分析对敌兵力所得），则将多目标决策问题转化为如下单目标决策问题。

$$\begin{cases} \max F(S) = \max[\sum_{h=1}^6 \omega_h \cdot F_h(S)] \\ J_{\min} \leq \sum_{p=1}^q \sum_{k=1}^{\mu_p} x_{pk} \leq J_{\max} \\ x_{pk} = 0 \text{ 或 } 1, \quad k = 1, 2, \dots, \mu, p; p = 1, 2, \dots, q \\ \sum_{k=1}^{\mu_p} x_{pk} \leq \mu_p \end{cases}$$

其中： ω_h 为编队第 h 个优化指标权重。

2.6.3 模型的求解

对于上述的单目标决策模型，只需要确定舰艇的不同作战能力指数及权重，应用 Matlab 软件的整数线性规划指令 `intlinprog` 即可求解。

2.7 本章小结

通过本章中的理论分析我们可知：航母的属性和各国的经济，军事和政治可以通过不同的方法对其进行描述和量化，在量化之后，可通过建立多目标优化模型应用 Matlab 软件对建立的多目标优化模型进行求解得出航母的数量。在求解的过程中，我

们设置了代表经济和政治的影响因素系数，只需要在仿真平台上调节参数的大小，就可以直观地看出四个国家在未来的二十年中应对不同的世界危机形势其最大可能和合理基本的航母数量。而战争模型对两个国家的抗争问题具有很强的建模能力，结合多目标优化模型求解出的结果，再利用战争模型去求解各国的航母数量，提供较高的理论建议，最后分析了航母编队的作战能力，并在此基础上构建航母编队模型的指标系统，利用多目标决策理论，建立了航母编队的编成模型。

第三章 多目标优化模型仿真

3.1 中国航母编队数量仿真实现

由第二章的理论分析可知，利用 Matlab 软件首先求出不同类型的综合作战能力，再确定各个国家的航母建造周期，然后依次求出各个国家随周期数改变的维修和建造航母成本，接着利用建立的多目标优化模型，调节相应的参数即可求出各个国家航母数量，对其进行数值仿真，在对比当前的形势对航母数量进行分析。

由于各个国家的计算步骤都如第二章所述，方法相同，故选取中国对其建模及求解过程进行详尽的说明，其余国家方法按照相同方法进行，不再重复说明。

3.1.1 基于 AHP 的不同类型航母作战能力确定

(1) 判断矩阵的构建

在本文中认为航母的综合作战能力由其搭载的舰载机的类型和数量，排水量、防御能力和运行能力五个因素决定。部分构造的判断矩阵如下表 3-1，3-2 所述，其余的见附件 1：

表 3-1 决策层的判断矩阵

| | 重型航母 | 中型航母 | 小型航母 |
|------|------|------|------|
| 重型航母 | 1 | 5 | 7 |
| 中型航母 | 1/5 | 1 | 5 |
| 小型航母 | 1/7 | 1/5 | 1 |

表 3-2 指标层决策矩阵

| | 舰载机数量 | 舰载机类型 | 排水量 | 防御能力 | 运行能力 |
|-------|-------|-------|-----|------|------|
| 舰载机数量 | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 |
| 舰载机类型 | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 1 |
| 排水量 | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 |
| 防御能力 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 | 1/3 |
| 运行能力 | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 1 |

(2)AHP 结果显示

利用 Matlab 软件求解得出航母的综合作战能力如下表 3-3:

表 3-3 基于 AHP 的航母的综合作战能力

| 航母类型 | 相对综合作战能力 |
|------|----------|
| 重型航母 | 0.5663 |
| 中型航母 | 0.3322 |
| 小型航母 | 0.1015 |

3.1.2 航母建造周期数的确定

各个国家的航母周期随各国的科技水平和工业水平有关,结合各国历艘航母的建造周期^[17],预估未来 20 年的航母建造周期 T 如下表 3-4 所示:

表 3-4 航母建造周期

| 国家 | 建造航母所需的时间 (/ 年) | 建造周期数 ($n_{\max} = \frac{N}{T}$) |
|-----|-------------------|------------------------------------|
| 中国 | 7 | 3 |
| 美国 | 5 | 4 |
| 俄罗斯 | 10 | 2 |
| 印度 | 10 | 2 |

3.1.3 不同建造周期的维修和建造成本

由第二章建造成本和维修成本公式 (2-1), 取 $r = 0.0771, \lambda = \frac{1}{8}$ 为, 计算出中国不同建造周期的维修和建造成本 (单位: 亿美元) 如下表 3-5 所示, 其余的三个国家见附件 1:

表 3-5 中国不同建造周期的维修成本和建造成本

| 航母 | 当前初始值 | | 第 1 个周期 | | 第 2 个周期 | | 第 3 个周期 | |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 建造成 本 | 维修成 本 | 建造成 本 | 维修成 本 | 建造成 本 | 维修成 本 | 建造成 本 | 维修成 本 |
| 重型航母 | 100 | 12.5 | 136.0832 | 119.0728 | 228.8742 | 200.2649 | 369.8012 | 277.3509 |
| 中型航母 | 50 | 6.25 | 68.0416 | 59.5364 | 114.4271 | 100.0530 | 184.9006 | 138.6754 |
| 小型航母 | 20 | 2.5 | 27.2166 | 23.8146 | 45.7748 | 40.0530 | 73.9602 | 55.4702 |

3.1.4 中国航母数量多目标优化模型的建立与求解

由章节 2.4 将求解中国能维持有效运行的最大航母数量的多目标优化模型化简成单目标规划模型:

$$\begin{aligned}
 \max Z &= \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i \\
 \left\{ \begin{aligned}
 g(1) &= \left(\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni} + \sum_{i=1}^3 x_{oi} d_{ni} \right) \leq \alpha M_n; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\
 g(2) &= \frac{\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i}{L} \leq \beta \frac{M_n}{G_n}; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\
 \sum_{i=1}^3 x_{1i} &\leq 2, \sum_{i=1}^3 x_{2i} \leq 3, \sum_{i=1}^3 x_{3i} \leq 3 \\
 x &\geq 0, \text{ 且为整数;}
 \end{aligned} \right. \quad (3-1)
 \end{aligned}$$

将求解中国能维持有效运行的合理基本的航母编队数量的多目标优化模型化简为单目标规划模型:

$$\begin{aligned}
 \min H &= \frac{C}{C_0} - \frac{Z}{Z_0} = \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni} + \sum_{n=2}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{oi} \cdot d_{ni} - \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i \\
 \left\{ \begin{aligned}
 g(1) &= \left(\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni} + \sum_{i=1}^3 x_{oi} d_{ni} \right) \leq \alpha M_n; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\
 g(2) &= \frac{\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i}{L} \leq \beta \frac{M_n}{G_n}; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\
 \sum_{i=1}^3 x_{1i} &\leq 2, \sum_{i=1}^3 x_{2i} \leq 3, \sum_{i=1}^3 x_{3i} \leq 3 \\
 x &\geq 0, \text{ 且为整数;}
 \end{aligned} \right. \quad (3-2)
 \end{aligned}$$

对式（3-1）式（3-2）求解作以下说明：

- 航母编队的最大可能的数量求解

最大可能的数量是不考虑经济最少为目标的情况下，该国所能拥有的航母数量。故在求解中，直接将综合作战能力最大作为唯一的目标用 Matlab 进行求解。

- 航母编队的合理基本数量求解

合理的基本数量不仅在该国的航母综合作战能力达到最大的时候，而且要使所消耗的成本最少。故在求解过程中采用归一化的双目标求和法转化成单目标优化模型求解，其中 C_0, Z_0 为与 C, Z 同数量级的数，目的是使量纲归一化。

3.1.5 航母的数量确定

由第二章内容可知当中国的参数 $\alpha \in [0, 0.05], \beta \in [0, 5]$ 时，即全球军事形势属于低危时期，在军事上并不会发生任何的战斗，中国并不会在经济上加大对航母的资金投入，也不会再政治上加大对航母的支持力度，相反的当 $\alpha \in [0.05, 0.1], \beta \in [5, 8]$ 时，全球军事形势属于中危时期，中国会加大对航母的投资及支持，以便建造更多的航母来捍卫自己的领土。由 Matlab 整数优化工具箱得出中国的航母数如下表 3-6。

表 3-6 中国航母数量的确定

| | 低危期 $\alpha \in [0, 0.05], \beta \in [0, 5]$ | | 中危期 $\alpha \in [0.05, 0.1], \beta \in [5, 8]$ | |
|------|--|--------|--|------|
| | 推荐值 $\alpha = 0.035, \beta = 4.2$ | | 推荐值 $\alpha = 0.065, \beta = 7$ | |
| | 最大可能数量 | 合理基本数量 | 最大可能数量 | 合理数量 |
| 重型航母 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| 中型航母 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 小型航母 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 总计 | 5 | 5 | 8 | 7 |

由上表可得以下结论：

- 二十年后，若是低危期，航母的最大可能数量与合理数量相同，仅是将重型航母建成中型航母，容易得出原因是低危时期，国际军事形势不紧张，中国对航母的依赖性并不算太强，在节省成本的情况下，宁愿建中型航母。若是中危期，航母的最大可能数量大于合理的数量，并且会将一艘重型航母和一艘小型航母转变成一艘中型航母，原因是中危期，国际军事形势紧张，首要保证的是航母战斗力，在不考虑经济的条件下，最大可能需要的数量会达到 8 艘，但考虑中国对航母投入的资金有限，其

合理的数量会减少成 7 艘，并且在考虑经济的情况下，合理的航母数量应该是一艘重型航母，6 艘中型航母。

● 可调参数 α, β 是建造航母数量的主要影响因素，也是中国应对国际军事环境形势变化对航母数量做出决策的因素，呈一定的正相关性。当国际形势严峻时，应该同时加大对航母的经济投入因素 α 和对建造航母的政治支持力度系数 β 。若是仅仅加大其中一个因素，航母数量则会因素另外一个因素的限制，而不会发生太大变化。如仅仅增加政治支持力度系数 β ，由于建造航母的经费不足，航母数量同样也不会增加。

3.2 其他国家航母编队数量仿真实现

基于多目标优化的航母数量确定模型适用性广，即适用于中国，也同样适用于其他国家。模型的建立与求解过程可参考中国的航母数量的确定。下面仅对美国、俄罗斯和印度的仿真结果进行展示和分析。

3.2.1 美国航母编队数量

（1）仿真结果

基于仿真平台求解出美国航母编队数量见下图 3-1 和 3-2。

| 航母数量仿真 | | |
|--------|----|----|
| 航母种类 | 最大 | 合理 |
| 重型航母 | 13 | 12 |
| 中型航母 | 0 | 1 |
| 小型航母 | 0 | 2 |
| 航母总数 | 13 | 15 |

图 3-1 美国低危期航母数量仿真

| 航母数量仿真 | | |
|--------|----|----|
| 航母种类 | 最大 | 合理 |
| 重型航母 | 13 | 12 |
| 中型航母 | 8 | 8 |
| 小型航母 | 1 | 0 |
| 航母总数 | 22 | 20 |

图 3-2 美国中危期航母数量仿真

将美国航母编队数量仿真结果总结成下表 3-7 所示。

表 3-7 美国航母数量的确定

| | 低危期 $\alpha \in [0, 0.047], \beta \in [0, 1.5]$ | | 中危期 $\alpha \in [0.047, 0.06], \beta \in [2.5, 5]$ | |
|------|---|--------|--|------|
| | 推荐值 $\alpha = 0.047, \beta = 2.5$ | | 推荐值 $\alpha = 0.06, \beta = 4.5$ | |
| | 最大可能数量 | 合理基本数量 | 最大可能数量 | 合理数量 |
| 重型航母 | 13 | 12 | 13 | 12 |
| 中型航母 | 0 | 1 | 8 | 8 |
| 小型航母 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 总计 | 13 | 15 | 21 | 20 |

（2）对仿真结果的分析

美国的军费支出一直都是居全球各国的首位，据统计 2014 年美国其军费支出占全球军费支出的百分之三十五，为中国 2014 年军费支出的三倍。在这种实际情况的背景下结合我们的仿真结果可得出以下结论：

- 低危时期，不考虑经济的情况下，美国最大可能的数量为 13 艘，在考虑航母开支最小的情况下，可将 1 艘重型航母分别建成 1 艘中型航母和 2 艘小型航母，即各类型的航母合理基本的数量达到 15 艘。但由于美国在军费预算上很大，美国 2036 年最有可能的数量仍为 13 艘重型航母。

- 中危时期，其航母的最大可能数量为 21 艘，合理基本数量为 20 艘。与中国相比，美国的可调参数 α 变动量相对较小时，其航母数量剧增，由此证明了美国的军事实力很强，若是用战争模型实现中国与美国在特定海域与其进行航母战争，中国需要付出巨大的经济代价。

3.2.2 俄罗斯航母编队数量

（1）仿真结果

基于仿真平台求解出俄罗斯航母编队数量见下图 3-3 和 3-4。

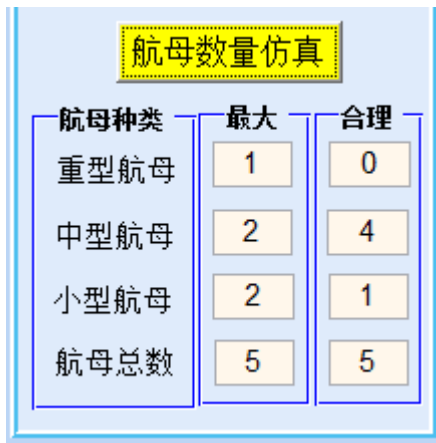


图 3-3 俄罗斯低危期航母数量仿真

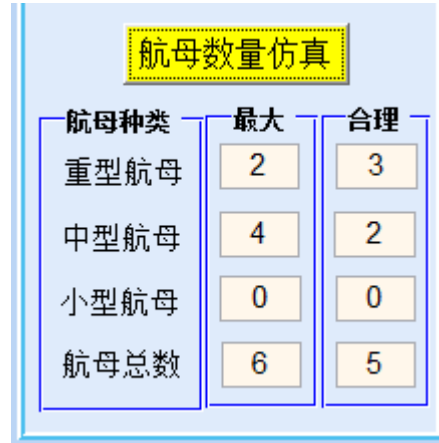


图 3-4 俄罗斯中危期航母数量仿真

将俄罗斯航母编队数量仿真结果总结成下表 3-8 所示。

表 3-8 俄罗斯航母编队数量确定

| | 低危期 $\alpha \in [0, 0.12], \beta \in [0, 3]$ | | 中危期 $\alpha \in [0.12, 0.2], \beta \in [3, 5]$ | |
|------|--|--------|--|------|
| | 推荐值 $\alpha = 0.12, \beta = 2$ | | 推荐值 $\alpha = 0.2, \beta = 4$ | |
| | 最大可能数量 | 合理基本数量 | 最大可能数量 | 合理数量 |
| 重型航母 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 中型航母 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 小型航母 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 总计 | 6 | 4 | 6 | 5 |

(2) 对仿真结果的分析

俄罗斯海军曾经是世界上航母数量第二大的国家，但因苏联的解体，其航母数锐减，目前仅剩一艘^[17]。但这些年来俄罗斯经济有所复苏，GDP 大幅增长，以及普京对海军政策的格外倾斜，海事军费明显增加。另一方面苏联解体后，俄罗斯由于没有航母建造的经验，优秀技术人员和熟练工人又大量流失，工期一拖再拖，费用一涨再涨，建造航母难度又继续增大。在这种实际情况的背景下结合我们的仿真结果可得出以下结论：

- 低危时期，俄罗斯对于最大可能的数量应该建 4 艘中型航母，2 艘小型航母，总计 6 艘，但在这种情况下，俄罗斯仍然要将航母支出占军费支出的比例的百分之十二，可见对于俄罗斯而言，建造航母是一个较大的经济负担。若是考虑经济因素，2036 年俄罗斯应该建 4 艘合理基本数量的中型航母。

● 中危时期，俄罗斯的最大可能数量应该为 2 艘重型航母和 4 艘中型航母，合理的基本数量为 3 艘重型航母，2 艘中型航母，总计 5 艘航母。可见约束俄罗斯建造航母的主要因素是资金不够和造航母科技水平不高。

3.2.3 印度航母编队数量

(1) 仿真结果

基于仿真平台求解出俄罗斯航母编队数量见下图 3-5 和 3-6。

| 航母数量仿真 | | |
|--------|----|----|
| 航母种类 | 最大 | 合理 |
| 重型航母 | 2 | 3 |
| 中型航母 | 4 | 2 |
| 小型航母 | 0 | 0 |
| 航母总数 | 6 | 5 |

图 3-5 印度低危期航母数量仿真

| 航母数量仿真 | | |
|--------|----|----|
| 航母种类 | 最大 | 合理 |
| 重型航母 | 2 | 0 |
| 中型航母 | 1 | 5 |
| 小型航母 | 4 | 2 |
| 航母总数 | 7 | 7 |

图 3-6 印度中危期航母数量仿真

将印度航母编队数量仿真结果总结成下表 3-9 所示。

表 3-9 印度航母数量确定

| | 低危期 $\alpha \in [0, 0.15], \beta \in [0, 5]$ | | 中危期 $\alpha \in [0.15, 0.3], \beta \in [5, 10]$ | |
|------|--|--------|---|------|
| | 推荐值 $\alpha = 0.13, \beta = 5.5$ | | 推荐值 $\alpha = 0.25, \beta = 8$ | |
| | 最大可能数量 | 合理基本数量 | 最大可能数量 | 合理数量 |
| 重型航母 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 中型航母 | 2 | 2 | 1 | 5 |
| 小型航母 | 4 | 3 | 4 | 2 |
| 总计 | 6 | 5 | 7 | 7 |

(2) 对仿真结果的分析

印度是具有辽阔海域的国家。印度海军对航母情有独钟，视其为海上威慑力量和远洋作战能力的主要象征，用航母来谋求印度洋乃至太平洋及其他海域是目前印度海

军的首要目标^[19]，故其建造航母时，政治支持系数和经济支持系数较其他国家相比具有较大的值。在这种实际情况的背景下结合我们的仿真结果可得出以下结论：

- 低危时期，印度对于最大可能的数量应该建 2 艘中型航母，4 艘小型航母，总计 6 艘，但在这种情况下，印度要将航母支出占军费支出的比例的百分之十三，可见对于印度而言，航母支出费用占军费支出的比重较大。若是考虑经济因素，2036 年印度能维持有效的合理基本航母编队数量为 2 艘中型航母，3 艘小型航母。

- 无论是在低危时期还是中危时期，二十年中四个国家建同等数量的航母，印度要比其他国家投入的更多。这也表明了印度在建造航母的过程中并不轻松，给国家带来了较大的负担。

- 从表中可以看出，低危期和中危期航母的建造数量并没有像美国和中国这样的大国一样剧增，而是略微的增加，这可认为当今印度发展航母的策略就是用于应对国际军事形势为中危期的策略。

3.3 基于多目标决策的航母编队编成模型

由上可得出不同国家二十年后，航母编队的最大可能数量及合理基本数量。现举例说明在航母编队数量确定后，如何得出最优航母编队编成问题。

假设设在执行某一任务时，航母编队准备配属 8 艘舰艇护航。可选兵力单元中各舰艇的作战能力指数及其数量如表 3-10 所示(其中舰型编号 0 表示中型航母，1~4 表示驱护舰，5 表示潜艇)。

表 3-10 可编入航母编队的舰艇作战能力指数及其数量^[20]

| 舰型编号 p | 警戒探测 指数 | 对空指数 | 对海指数 | 对岸指数 | 反潜指数 | 电子对抗 指数 | 可选最大 数量 |
|-------------|------------|--------|--------|-------|-------|------------|------------|
| 0 | 85.00 | 123.70 | 112.00 | 73.10 | 70.20 | 78.20 | 1 |
| 1 | 12.00 | 16.00 | 18.85 | 14.85 | 11.08 | 8.25 | 2 |
| 2 | 16.00 | 25.00 | 39.82 | 14.85 | 12.77 | 17.25 | 4 |
| 3 | 17.00 | 16.00 | 38.70 | 17.70 | 9.68 | 13.80 | 2 |
| 4 | 18.25 | 20.00 | 23.23 | 10.23 | 18.13 | 10.15 | 2 |
| 5 | 9.15 | 0 | 17.20 | 0 | 22.80 | 8.15 | 4 |

根据某次任务的性质和敌军使用兵力规模等情况，假设编队优化指标权重如表 3-11 所示。

表 3-11 指标权重 ω 分配值

| 指标权重 | ω_1 | ω_1 | ω_1 | ω_1 | ω_1 | ω_1 |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 分配值 | 0.1 | 0.35 | 0.25 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

将以上的数据和各舰艇作战能力指标代入单目标优化模型中，结果显示适合此次作战任务的总和战斗力强的舰艇是编成的首选。航母编队准备配属 8 艘舰艇护航时，作战中航母编队编成为：中型航母 1 艘，2 型舰艇 4 艘，3 型舰艇 2 艘，4 型舰艇 2 艘。

3.4 本章小结

本章通过建立的多目标优化模型求出了中、美、俄、印四个国家在不同的国际军事形势下，推荐的航母的最大可能数量及合理的基本数量，并通过仿真平台实现了可调参数变化时下，各国对应的航母数量的变化。并对其仿真结果分析，发现了由于美国的军事支出大，经济影响参数发生微小的增加，美国的航母数相对于其他国家会快速的增大，证明了美国当今的海上霸主地位，通过对俄，印的仿真结果分析，证明了经济条件的约束是俄罗斯和印度建造航母的主要因素，通过对中国的仿真结果分析，发现中国的航母数量主要因素是政治上对航母的支持系数，若是增大航母政治上的支持系数，二十年后的中国的航母数量也会增大许多，最后采用多目标决策理论，建立了航母编队编成模型，并举例说明航母在某次作战行动中航母编队的最优编成方案。

第四章 战争模型仿真结果实现

由第二章理论知识所述，战争模型可应用于任意两个国家之间的战争抗衡问题。在假设两国之间航母的战斗击杀率的前提下，若已知其中一国的初始航母战斗力的情况下，可求出相抗衡时另一国应该投入战斗的初始航母战斗力，然后利用多目标优化模型，求出该国的应具有的航母数量，并通过仿真界面展示战斗击杀率改变时，相抗衡国应具有航母数量的变化。综合考虑战争模型和多目标优化模型，会使得的求出的航母数量更加合理，具有较高的参考价值。

本文以中国为例，假设中美，中俄在东海进行航母海上作战，中印在南海进行海上作战三种不同的情况下，中国应该具有的航母数量及类型。

4.1 中美战争模型航母数量确定

4.1.1 美国航母初始战斗力

多目标优化模型得出二十年后的美国航母合理的基本数量为 12 艘重型航母，1 艘中型航母，2 艘小型航母。但是每个国家有其与国情相应的海事战略，对于美国而言，美国航母编队的主要应对方向为大西洋和太平洋方向，又因为美国军事战略重心向太平洋方向转移，所以美国最终决定将大西洋方向的航母数量减至 5 艘，而将太平洋方向的航母增至 6 艘。所以美国的航母派往东海的航母为 6 艘重型航母，在 GUI 中可以改变美国派往东海领域的航母数进行航母数量的仿真。

4.1.2 两国间的击杀率

两国间的击杀率不仅与航母的作战能力有关，而且与当天战斗的天气状况，军事领导有关，所以本文认为两国间彼此的击杀率为可调节的参数，可通过 GUI 界面进行仿真调节。由于美国为入侵国，又受东海领域地位位置及相关情况约束，所以在此假设中国对美国航母的击杀率和美国对中国航母击杀率分别为 0.6 和 0.4。

4.1.3 抗衡时中国的航母初始战斗力

由战争模型，应用 Matlab 软件计算出中国抗衡时的航母初始战斗力总和为：

$$Z_o = 2.7743$$

4.1.4 多目标优化模型确定中国的航母数量及类型

战争模型解出来的仅仅是抗衡时中国航母的初始战斗力，并非航母编队的数量，所以本文将求出的初始战斗力 Z_o 作为约束条件带入到多目标优化模型中进行求解得出，求解出中国应具有 2 艘重型航母，5 艘中型航母才能与美国抗衡。求解的多目标优化模型如下所示：

$$\min C = \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni} + \sum_{n=2}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{0i} \cdot d_{ni}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} g(1) = \left(\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot c_{ni} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{(n-1)i} \cdot d_{ni} + \sum_{i=1}^3 x_{0i} \cdot d_{ni} \right) \leq \alpha M^n; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\ g(2) = \frac{\sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i}{L} \leq \beta; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\ g(3) = x_{ni} \leq x_{\max ni}; n=1, 2, \dots, n_{\max} \\ Z = \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{i=1}^3 x_{ni} \cdot b_i \geq Z_o \\ x \geq 0; \end{array} \right.$$

4.1.5 仿真结果展示

假设战争模拟国为美国，派往东海的航母数量为 6 艘重型航母，且中国对美国航母的击杀率和美国对中国航母击杀率分别为 0.6 和 0.4 时，中国应具有 2 艘重型航母，5 艘中型航母才能与美国抗衡，根据 20 年后中国正常发展的情况，按照合理的航母数派遣航母不足以与美国所派遣的航母抗衡，所以中国应该加大对航母的经济支持系数 α ，由原来的 **0.035** 提高到 **0.059**，方可与美国派遣来的航母相抗衡。仿真结果展示如下图 4-1 所示。



图 4-1 美国仿真结果

4.2 中俄战争模型航母数量仿真结果展示

假设战争模拟国为俄罗斯，派往特点战争海域东海领域的航母数量为 4 艘中型航母，1 艘小型航母，且中国对俄罗斯航母的击杀率和美国对中国航母击杀率分别为 0.7 和 0.3 时，中国应具有 3 艘中型航母，才能与俄罗斯抗衡，仿真结果展示如下图 4-2 所示。

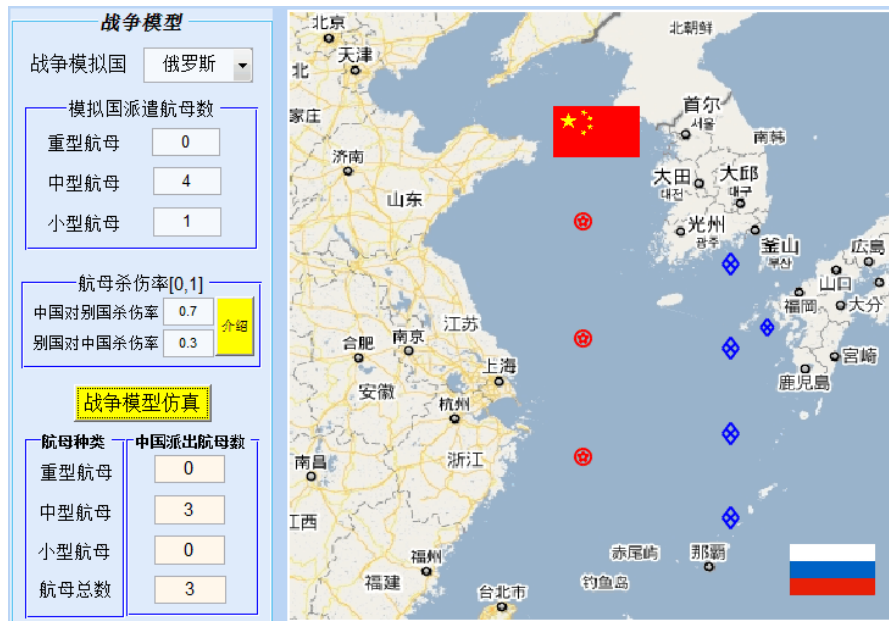


图 4-2 中俄战争模型仿真结果

4.3 中印战争模型航母数量仿真结果展示

假设战争模拟国为印度，派往特点战争海域南海领域的航母数量为 4 艘中型航母，1 艘小型航母，且中国对印度航母的击杀率和印度对中国航母击杀率分别为 0.7 和 0.3 时，中国应具有 3 艘中型航母，才能与印度抗衡，仿真结果展示如下图 4-3 所示。



图 4-2 中印战争模型仿真结果

4.4 本章小结

本章主要讲述了假设中国与其他三国存在航母的战争，建立了正规战争模型，求出了中国要与他国在航母战争中处于不败之地，二十年后应该具有的航母数量。在战争模型中，按美国的海事策略，假设美国派遣 6 艘重型航母到东海邻域作战，中国航母对美国航母的杀伤率为 0.6，美国航母对中国航母的杀伤率为 0.4 的情况下，中国应具有 7 艘航母（2 艘重型航母和 5 艘中型航母）才能与其抗衡，但这已经超出了中国正常发展情况下二十年后航母应具备的数量。在与俄罗斯和印度国家进行战争时，中国正常情况发展下的所拥有的航母战斗力，足以应对俄和印派遣过来的航母。可见美国依旧是我国海域一个潜在的巨大威胁，若是要在二十年后要与美国航母进行战争，中国必须增加对航母的经济投资和政治支持力度。

第五章 仿真结果分析与决策建议

5.1 中国航母编队数量决策建议

在仿真界面做如下设置，可得仿真平台如图 5-1 所示：

- 中国的经济支持系数和政治支持系数（低危期）分别为推荐值 0.035 和 4.2；
- 战争模拟国为美国，且美国派遣 6 艘重型航母，中国对美国航母的杀伤率为 0.6，美国对中国航母的杀伤率为 0.4。



图 5-1 中国航母编队数量仿真平台

在仿真界面做如下设置，可得仿真平台如下图 5-2 所示：

- 中国的经济支持系数和政治支持系数分别为推荐值 0.065 和 7；
- 战争模拟国为美国，且美国派遣 6 艘重型航母，中国对美国航母的杀伤率为 0.5，美国对中国航母的杀伤率为 0.5。



图 5-2 中国航母编队数量仿真平台

对仿真结果进行对比分析，得出给中国的决策建议如下：

(1) 如果国际军事形势为低危时期时，中国仅需要建 4 艘中型航母和 1 艘小型航母即可实现对自己海上领域实施保护，实施海上主权。如果国际军事形势为中危期，由于中国的 GDP 高，军费投入大，中国可以在不给国内经济带来负担的情况下，考虑增加建造航母费用占军费支出比重，以便建造更多的航母来捍卫自己的领土，谨防别的国家海上侵略。

(2) 将中国航母编队最大可能数量与合理数量相对比，在经济许可的情况下，中国更倾向于建造重型航母以保证自己的航母综合作战能力，所以中国可以通过给航母搭载高科技装置的方法，比如提高舰载机的战斗能力，雷达探测能力等，既可以提高航母编队的作战能力，又可以节省航母编队的成本。

(3) 由战争模型分析得美国是对中国海上威胁最大的一个国家，若中国要与美国进行抗衡，中国不仅可以通过建造尽可能多的航母，也可以考虑通过提升科技水平和合理安排作战策略的方法，提高中国对其他国家的航母击杀率，保证中国在航母战争赢得胜利。

5.2 美国航母编队的决策建议

在仿真界面做如下设置：

● 低危期，美国的经济支持系数和政治支持系数分别为推荐值 0.047 和 2.5，仿真结果如图 5-3 所示。

● 中危期，美国的经济支持系数和政治支持系数分别为推荐值 0.06 和 4.5，仿真结果如图 5-4 所示。

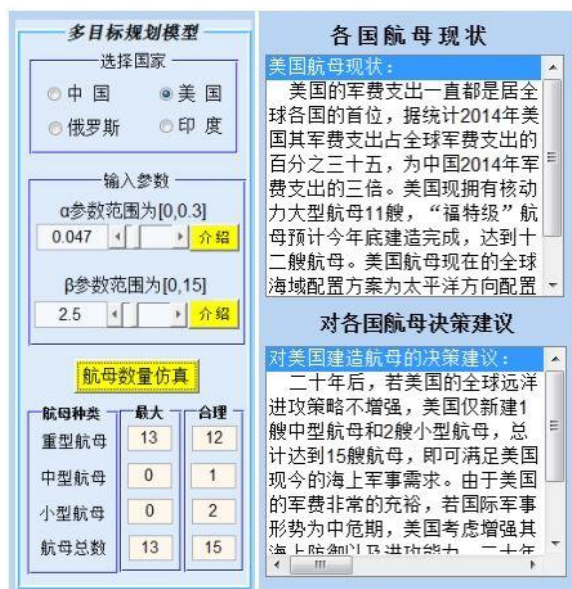


图 5-3 低危期美国航母编队数量仿真

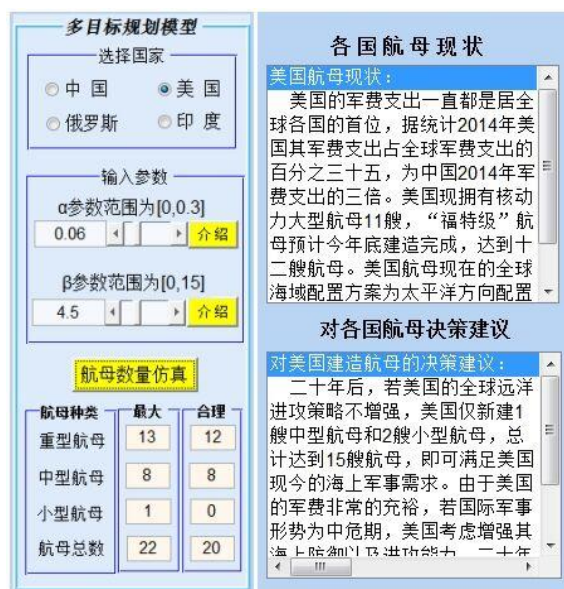


图 5-4 中危期美国航母编队数量仿真

对仿真结果进行对比分析，得出给美国的决策建议如下：

(1) 二十年后，若美国的全球远洋进攻策略不增强，美国仅新建 1 艘中型航母和 2 艘小型航母，总计达到 15 艘航母，即可满足美国现今的海上军事需求，其航母的全球海域配置方案应为太平洋方向配置 8 艘航母，大西洋方向配置 7 艘航母。

(2) 由于美国的军费非常的充裕，若国际军事形势为中危期，美国考虑增强其海上防御以及进攻能力，二十年中，美国航母的可以考虑新建 8 艘中型航母，1 艘小型航母，总计达到 21 艘重型航母。按其军事战略分配，其航母应为太平洋方向配置 11 艘航母，大西洋方向配置 10 艘航母。

5.3 俄罗斯航母编队的决策建议

在仿真界面做如下设置：

● 低危期，俄罗斯的经济支持系数和政治支持系数分别为推荐值 0.12 和 2，仿真结果如图下 5-5 所示。

- 中危期，俄罗斯的经济支持系数和政治支持系数分别为推荐值 0.20 和 4，仿真结果如图下 5-6 所示。

多目标规划模型

选择国家

☐ 中国 ☐ 美国
☒ 俄罗斯 ☐ 印度

输入参数

α 参数范围为[0,0.3]
0.12

β 参数范围为[0,15]
2

航母数量仿真

| 航母种类 | 最大 | 合理 |
|------|----|----|
| 重型航母 | 1 | 0 |
| 中型航母 | 2 | 4 |
| 小型航母 | 2 | 1 |
| 航母总数 | 5 | 5 |

各国航母现状

俄罗斯航母现状：
俄罗斯海军曾经是世界上航母数量第二大的国家，但因苏联的解体，其航母数锐减，目前仅剩一艘前苏联时期建造的库兹涅佐夫号航母，标准排水量53000吨。2015俄海军司令宣布俄罗斯正在建造一艘全新的大型航母，但由于优秀技术人员和熟练工人大量流失，建造进度缓慢。

对各国航母决策建议

对俄罗斯建造航母的决策建议：
二十年中俄罗斯应兴建3艘中型航母，总计四艘中型航母。但在这种情况下，俄罗斯航母支出占军费支出的比例为百分之十二，可见对于俄罗斯而言，建造航母是一个较大的经济负担，俄罗斯应该先大力发展经济和建造航母的科技水平，在和平时期筹划发展经济和科技水平，以应对中危时期的威胁。

图 5-5 低危期俄罗斯航母编队数量仿真

多目标规划模型

选择国家

☐ 中国 ☐ 美国
☒ 俄罗斯 ☐ 印度

输入参数

α 参数范围为[0,0.3]
0.2

β 参数范围为[0,15]
4

航母数量仿真

| 航母种类 | 最大 | 合理 |
|------|----|----|
| 重型航母 | 2 | 3 |
| 中型航母 | 4 | 2 |
| 小型航母 | 0 | 0 |
| 航母总数 | 6 | 5 |

各国航母现状

俄罗斯航母现状：
俄罗斯海军曾经是世界上航母数量第二大的国家，但因苏联的解体，其航母数锐减，目前仅剩一艘前苏联时期建造的库兹涅佐夫号航母，标准排水量53000吨。2015俄海军司令宣布俄罗斯正在建造一艘全新的大型航母，但由于优秀技术人员和熟练工人大量流失，建造进度缓慢。

对各国航母决策建议

对俄罗斯建造航母的决策建议：
二十年中俄罗斯应兴建3艘中型航母，总计四艘中型航母。但在这种情况下，俄罗斯航母支出占军费支出的比例为百分之十二，可见对于俄罗斯而言，建造航母是一个较大的经济负担，俄罗斯应该先大力发展经济和建造航母的科技水平，在和平时期筹划发展经济和科技水平，以应对中危时期的威胁。

图 5-6 中危期俄罗斯航母编队数量仿真

对仿真结果进行对比分析，得出给俄罗斯的决策建议如下：

国家军事形势为低危时期时，俄罗斯对于最大可能的数量应该建 4 艘中型航母，2 艘小型航母，总计 6 艘，但在这种情况下，俄罗斯航母支出占军费支出的比例为百分之十二，可见对于俄罗斯而言，建造航母是一个较大的经济负担，俄罗斯应该先大力发展经济和科技水平，然后再选择建造航母。中危时期，俄罗斯的最大可能数量应该为 2 艘重型航母和 4 艘中型航母，与低危期相比，航母战斗力没有提升太多，所以俄罗斯应该积极维护世界的和平，在和平时期筹划发展经济和科技水平，以应对中危时期的威胁。

5.4 印度航母数量的决策建议

在仿真界面做如下设置：

- 低危期，印度的经济支持系数和政治支持系数分别为推荐值 0.13 和 5.5，仿真结果如图下 5-7 所示。
- 中危期，俄罗斯的经济支持系数和政治支持系数分别为推荐值 0.25 和 8，仿真结果如图下 5-8 所示。

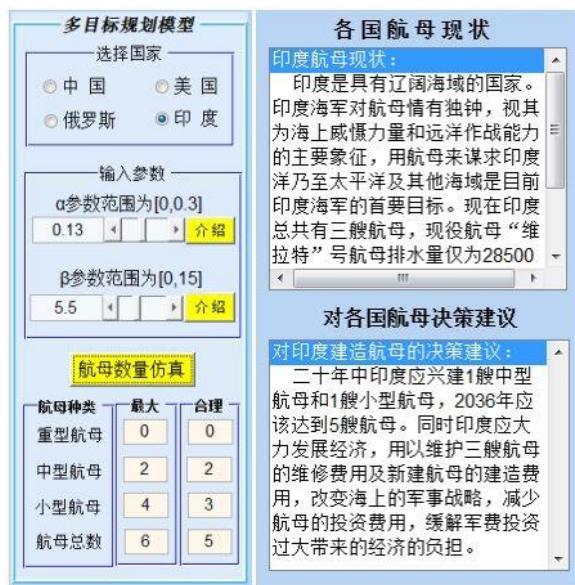


图 5-7 低危期印度航母编队数量仿真

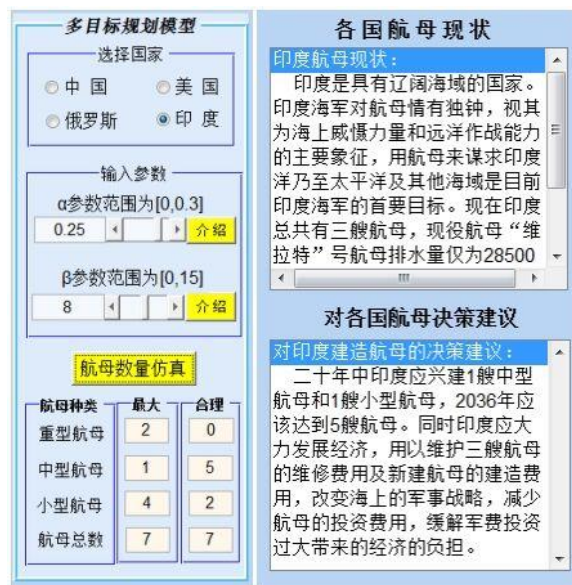


图 5-8 中危期俄印度航母编队数量仿真

对仿真结果进行对比分析，得出给俄罗斯的决策建议如下：

印度现已经有了 3 艘航母，当国际军事形势为低危期时，印度到 2036 年时应该兴建 1 艘中型航母和 1 艘小型航母，总计的合理基本数量为 5 艘。当国际军事形势为中危期时，印度航母合理基本数量应增加到 7 艘，用以降低国际形势带来的威胁。通过观察低危和中危的经济支持系数和政治支持系数的变化，航母编队的变化趋势可以建议：印度应该大力发展经济，用以维护三艘航母的维修费用及新建航母的建造费用，改变海上的军事战略，提升自身的科技水平，减少航母的投资费用，缓解军费过大带来的经济的负担。

5.5 本章小结

本章主要通过调节经济支持系数和政治支持力度系数，对中、美、俄、印四国航母编队数量的仿真结果分析，对四个国家的航母发展战略提供决策建议。美国军事力量强大，建造航母的经济资金充裕，美国可以继续建造航母，增强军事力量。中国也应该大力发展航母事业，在经济和政治上增大对建造航母的支持，用以保卫中国的海域安全，行驶海上主权。同时对于中国而言，提升科技水平可以有效地降低美国航母在海上给中国的威胁。对于俄罗斯和印度，其主要任务应该发展经济，在经济充裕起来之后，才可大力发展航母事业。

第六章 总结与展望

本文通过对航母的各项属性进行量化，建立了适用于任一国家航母编队数量确定的多目标优化模型和战争模型，并针对中、美、印、俄四国的未来的航母数量给出了决策建议。在模型建立的过程中，本文难免进行了一些必要简化，建立的模型也并不是完全正确，但本文考虑的因素较多，不仅考虑了该国的经济、政治和当今和未来军事策略，而且考虑了不同国家的劳动力水平和工业水平等，建立的模型较为合理，可为国家制定航母的发展策略提供思路。

6.1 仿真平台总结

本文建立的航母编队仿真平台，具有如下优点和创新：

- 过去研究的航母编队数量都是从经济、政治和军事角度的定性分析，少有学者从定量的角度分析。本文将未来航母编队数量这个模糊、涉及面广的问题，进行了必要的简化和量化，提出了一种新的建模方法，为与航母编队数量相似的问题提供了一种建模思路。

- 建立确定未来航母编队数量的多目标优化模型，具有一般性，适用性和推广性广等特点。可以针对任何一个国家在任一时期，结合该国的经济、政治等因素和未来的国际的军事形势，确定该国应该具有的航母的合理数量。

- 建立的战争模型，是在多目标优化模型的基础上进行拓展的一种新模型。用战争模型模拟两国在特定海域进行航母战争，求解出的航母数量具有较强的实际指导意义，同时也得出了航母数量并不是一场战争胜败的决定因素，航母战争的胜利也可以通过提高科技水平及作战指挥能力等取得。

- 利用 Matlab 软件对模型进行参数仿真，通过在预定的范围内调节参数，即可以得出在不同国际军事形势下各国的航母最大可能数量和合理基本数量。通过微调参数得出的航母数量变化，可以看出该国的建造航母的能力及决定该国建造航母的主要取决因素为经济因素还是政治因素，为各国的建造航母提供了决策建议，如印度在发展航母事业时，也得重视对经济的发展，才能避免入不敷出的状态。

- 在不同的国家航母数量在仿真结果的基础上，对航母编队数量进行了对比分析，为各个国家更好地制定航母发展策略提供了理论依据。

6.2 仿真平台展望

由于时间关系，对于航母编队的数量及各国的发展策略建议还有很多问题值得深究，本平台还存在如下几个方面可以在以后完善和改进：

- 各个国家建造航母的类型各不相同，可以将各国所能建造的航母与其本身所能够建造的航母相对应，并且可以考虑该国的科技水平提高，建造的航母类型也能随时间发生改变。

- 在现实中，影响一个国家未来航母数量的因素有很多，本模型主要考虑了经济、政治、军事、未来发展形势和当前的发展策略等因素，然而航母数量实际情况比本文研究得更为复杂，本文仿真平台的研究中模型运用的灵活性仍有待增强。

- 由于学生自身获取与航母相关的数据能力有限，在条件允许的情况下，可以对模型中的某些参数进行修正，使该模型的作用不仅体现在理论指导意义上，而且能够应用于实际情况。

参考文献

- [1] 李杰. 航母,几艘够用?[J]. 现代舰船,2011,12:10-17
- [2] 高云. 俄罗斯海洋战略研究[D].武汉大学,2013.
- [3] 张紫辉,朱启超,周厚强,饶伟. 印度首艘国产航母及其战略影响[J]. 国防科技,2014,01:45-50
- [4] 银河.从俄法航母看中国未来航母之路[J]. 舰载武器,2006,03:20-32+8
- [5] 朴成日,沈治河. 基本作战样式下航母编队兵力配置方法[J]. 指挥控制与仿真,2013,02:58-62
- [6] 廖春科,罗莉,何鸿君,彭林. 基于免疫克隆算法的航母编队配置研究[J]. 舰船科学技术,2010,02:91-94+137.
- [7] Rochlin G I, La Porte T R, Roberts K H. The self-designing high-reliability organization: Aircraft carrier flight operations at sea[J]. Naval War College Review, 1998, 51(3): 97.
- [8] 21CN 新闻网. 专家:中国二艘航母 5 万吨级 属中型航母
<http://news.21cn.com/caiji/roll1/a/2016/0104/03/30447453.shtml>, 2016-1-4/2016-6-15
- [9] 常建娥, 蒋太立.层次分析法确定权重的研究[J].武汉理工大学学报.2007 年 1 月第 1 期, 文章编号: 1007-144X (2007) 01-0153-04.
- [10] 易帆. 神经网络预测研究[D].西南交通大学,2005.
- [11] 师洪涛,杨静玲,丁茂生,王金梅. 基于小波—BP 神经网络的短期风电功率预测方法[J]. 电力系统自动化,2011,16:44-48.
- [12] Jiménez M, Bilbao A. Pareto-optimal solutions in fuzzy multi-objective linear programming[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2009, 160(18): 2714-2721.
- [13] Blanchard O, Giavazzi F, Sa F. The US current account and the dollar[R]. National Bureau of Economic Research, 2005.
- [14] 乔辰,张国立. 几何加权法求解多目标优化问题[J]. 华北电力大学学报(自然科学版),2011,06:107-110.]
- [15] 姜启源,谢金星,叶俊, 数学模型 (第四版) [M], 北京: 高等教育出版社, 2011.P149-P153
- [16] 宋剑,黄培荣,丁海燕. 基于多目标决策模型的航空母舰编队编成研究[J]. 舰船电子工程,2009,05:53-56.
- [17] 新浪军事. 军方专家谈国产航母: 比强国差距明显印度都有 3 艘

<http://mil.news.sina.com.cn/china/2016-01-01/doc-ifyncyar6136041.shtml>, 2016-1-1/2016-6-15

[18] 新浪新闻. 俄罗斯航母雄心理想很丰满, 现实很骨感

<http://news.sina.com.cn/c/2016-01-21/doc-ifynuvxe8260659.shtml>, 2016-1-21/2016-6-15

[19] 中国新闻网. 印度第2艘国产航母吨位大增

<http://www.chinanews.com/mil/2016/01-22/7728612.shtml>, 2016-1-22/2016-6-15

[20] Jane s fighting ships 2006~2007[M]. Edited by Com-modore Stephen Saunders RN, 2007

致 谢

首先，我们要感谢我们的指导老师李利娟副教授。本文正是在李老师悉心指导下顺利完成的。从文章的选题、构思、写作以及修改定稿的每一个过程，李老师都给予了我们悉心的指导和支持以及帮助。在竞赛的过程，学生深深地为老师严谨求实的治学态度、精益求精的学术风尚、助人成才的高尚品德和诚恳待人的处事风格所感染，这必将使学生在学术和生活方面的觉悟得以提升。至此文完成之际，谨向老师致以衷心的感谢！

论文研究过程中，模型建立时得到了湘潭大学数学与计算科学学院刘红良副教授的悉心指导。并得到了湘潭大学信息工程学院黄辉先教授、张东波教授和盛孟刚副教授对论文研究提出宝贵的建议，在此表示衷心感谢！同时，我们衷心地感谢各位评委在炎炎酷暑里不辞劳苦的批阅论文。最后，向中国自动化学会、中国计算机用户协会、中国系统仿真学会、教育部高教司、总装仿真技术组、《计算机仿真》杂志社表示感谢，感谢提供了一个供我们展示自己、提高自己的公平的竞争平台。