|  |  |
| --- | --- |
| 合同编号：  项目编号： | 密级： |

xxxx（合同名称）

技术总结报告

合同名称： 楷体GB\_2313四号行距22磅，如果

是两行字数多的不要过线

课题负责人（签字）： ×××

承担单位（盖章）： ×××××××××

编写日期： 20XX年XX月XX日

目录

引言………………………………………………………………………………………………1

1 一级标题………………………………………………………………………………………1

1.1 二级标题…………………………………………………………………………………1

1.2 公式的编写…………………………………………………………………………………1

1.3 插表…………………………………………………………………………………………1

1.4 插图…………………………………………………………………………………………2

结论………………………………………………………………………………………………4

参考文献…………………………………………………………………………………………4

附录A一体化询问天线测试报告…………………………………………………………………6

附录B……………………………………………………………………………………………7

总篇目……………………………………………………………………………………………8

说明：

1 本页格式要求：

● 目次的内容均用五号宋体（包括连接符“……”也用中文宋体状态）。

● 版式采用分散对齐方式，段前“0磅”，段后“0磅”，行距“最小值16磅”（系统模板默认格式）。如采用“粘贴”方式复制已有内容时，应符合该要求。

● 标题序号与题名之间应空一个汉字(两个英文字符)的间隔。

● 结论、参考文献、附录、总篇目必须排进在“目次”中，致谢不用排进“目次”。

● 标题需转行时，第二行的首字与第一行首字对齐（用：选择性粘贴，无格式文本）。

● 具体要求请参见《中国国防科学技术报告编写规则范例（第一篇）》P33～36。

2 本页内容要求：

目次一般列到二级标题即可,三级及三级以下标题可不列出。

3 本页页码要求：

本页页码应从第3页起，依次顺延。后面的“插图和附表清单”页、“符号和缩略词说明”页承接目次页依次顺延。

4 本页及以后各部分内容的页面设置均为：

页边距：上3.3cm/下3.56cm/左3.05cm/右2.79cm

装订线：0.51cm

页眉：1.5cm（正文部分是1.27cm）

页脚：1.75cm（正文部分是2.5cm）

插图和附表清单

图1 应供电和信息加载功能实现图……………………………………………………………3

图2 定线圈示意图………………………………………………………………………………3

图A1 和端口驻波比的频率特性………………………………………………………………6

图A2 *f*=1030MHz方位面和差方向图（H面）………………………………………………6

表1 各实验情况的红外辐射强度………………………………………………………………1

表2 一体化询问天线与英国Cossor公司和德国ASYM公司产品性能对比………………2

表A1 天线驻波比测试数据……………………………………………………………………6

表B1 局域网与模拟广域网传输延迟测定结果………………………………………………7

说明：

1 本页格式要求：

● 插图和附表清单下面的内容均用五号宋体字；图（表）题与所在页面的页码之间的连接符用中文宋体状态下的“……”。

● 图（表）题序号与题名之间应空一个汉字(两个英文字符)的间隔。

● 应先列插图清单，后列附表清单，两清单之间空一行。

● 版式采用分散对齐方式，段前“0磅”，段后“0磅”，行距“最小值18磅”（系统模板默认格式）。如采用“粘贴”方式复制已有内容时，应符合该要求。

2 本页页码要求：

● 续前页（“目录”页）。

● 报告中无本页内容时，请将其删除。为避免出现页码错误，必须采用“Backspace”键删除此页。

3 图表共超过五个时必须列插图和附表清单。

4 续图和续表不在插图和附表清单中列出。

5 具体要求请参见《中国国防科学技术报告编写规则范例（第一篇）》P37～40。

符号和缩略词说明

★ 涉密、涉限GF报告的标志

GF 中国国防科学技术报告的标志

GJB 国家军用标准的标志

J 机密级GF报告的标志

M 秘密级GF报告的标志

N 内部级GF报告的标志

G 公开级GF报告的标志

AAAW Antiaircraft Automatic Weapon 对空自动武器

kg·m2/s 动量矩/角动量单位,千克二次方米每秒kg·m2 转动惯量单位，千克二次方米

N·m2/kg2 引力常数单位，牛[顿]二次方米每二次方千克

主用弹 用以啥伤有生力量，摧毁目标或兼有这两项作用，供主要战斗用途使用的

弹种

减装药 按一定要求降低了全变装药初速的发射装药

说明：

1 本页格式要求：

● 符号和缩略词说明下面的内容为五号宋体字。

● 本页列出的所有符号、标志、缩略词、首字母缩写、计量单位、名词、术语等，均应左起顶格书写。

● 注释说明以最长的符号或缩略词为基准，后面空两个汉字的间隔，上下靠左对齐。段前“0磅”，段后“0磅”，行距“最小值16磅”（系统模板默认格式）。如采用“粘贴”方式复制已有内容时，应符合该要求。

2 本页页码要求：

● 续前页（“插图和附表清单”页或“目录”页）。

● 报告中无本页内容时，请将其页面删除。为避免出现页码错误，必须采用“Backspace”键删除此页。

3 具体要求请参见《中国国防科学技术报告编写规则范例（第一篇）》P40。

一、研究概述（技术总结报告参考框架）

（一）项目研究背景

（二）项目研究目标

**（三）主要研究内容**

**（四）预期标志性成果**

**可以照抄进度安排**

**（五）考核指标**

**可以照抄技术指标要求**

二、项目研究完成情况

（一）研究目标实现情况

在项目的执行过程中，已建立多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网构建问题的运筹优化数学描述模型，给出可行解数学特性的研究结果，设计相应的运筹优化求解方法。

综上，已完成此合同要求的研究目标。

（二）合同内容完成情况

**基于合同约定，本项目共有1项研究内容，其中已完成1项，未完成0项，具体研究内容完成情况如下。**

1. **整数规划理论在体系资源全局优化的应用研究**

**研究方案**：开展整数规划理论在多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网构建问题中的可行性研究、对防空反导体系作战环境进行特征提取，对作战资源进行能力表征，研究多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网构建问题的整数规划结构特点，给出数学模型并设计求解算法。

**研究过程**：总体研究过程分为以下几步

1. 开展调研，调研11篇论文，从中选择了2篇论文作为主要参考，分析得出论文与该问题的相似性，在问题的框架下，开展数学模型构建与算法设计。
2. 对问题进行特征提取与能力表征，设计问题数学模型的优化指标和条件约束。
3. 针对目标非线性，通过线性化方法将问题转化为线性规划
4. 针对先行化后问题的规模较大，应用诸多整数规划求解与加速技巧，设计了基于列生成的整数规划框架的求解方案

**研究细节：**

（1）数学模型构建

我们的目标是对战场中存在的各种威胁进行识别和评估，然后根据这些信息动态地对作战资源进行优化。这涉及在整个作战过程中，随着情况的变化，在多个关键时点上，针对每个目标建立有效的“杀伤链”，每条杀伤链都代表一种具体的打击，包括“目标-指控-雷达-发射车-弹药”的完整序列。每个目标都可以在多个时点上分配一条或多条杀伤链，这取决于我们的战略目标、敌方威胁的具体情况以及我们的资源状况。

我们的优化目标是使得在资源限制的条件下，对所有作战目标的整体效能（如最小化作战时间、最大化杀伤效果、最小化作战费效比等）达到最优。与以往的研究不同，过去的方法往往忽略了从整体战略角度出发的资源调配，仅仅关注于针对每一具体时刻的单一目标的反应。而我们的研究目标是打破这种模式，通过全局视角的优化，设计一个能够随时间动态变化的异构资源网络。这种网络不仅要能够针对即时来袭的目标进行有效应对，还要能够根据作战进程的推移和敌我双方态势的变化，实时调整和优化资源配置。这样的方法将有助于我们在保持战术灵活性的同时，实现作战效能的最大化，包括但不限于缩短作战时间、提升击毁效果和降低作战成本等关键指标。

作为一个求解系统，在这个数学模型中系统的输入与输出分别是：

输入：

1、 敌方有多个目标来袭，可对目标路径进行初步预测，以得到每个目标的可打击时间、雷达可探测时间。

2、 不同时间使用不同资源对敌方目标的杀伤概率、目标的权重。

3、 其他的目标及资源特性。

输出：

在每个打击时间点，如何给每个目标安排杀伤链。

接下来给出了问题的一些**关键概念与作战假设**：

**关键概念：**

* 目标：对方的威胁，需要我们进行打击的对象。
* 雷达：我们用来监控和定位目标的设备。
* 发射车：装载弹药并进行发射的作战装备。
* 杀伤链：由目标、雷达、发射车和弹药构成的完整的打击流程。在这个流程中，指控部分可以解耦，而弹药与发射车则是绑定在一起的。
* 作战时点：将整个作战时间离散为多个作战时点，仅允许在这些作战时点时进行作战决策与行为（即给目标分配杀伤链）。
* 雷达窗口：给定目标与雷达，雷达能够探测到目标的时点集合。
* 打击窗口：给定目标，允许武器命中的时点集合，在其他时点认为对该目标的打击无效。
* 杀伤网：是整个打击目标的分配方案，每个目标都会被分配至少一条杀伤链进行打击。杀伤网的构建考虑了所有的资源限制和作战目标，目标是全局最优。
* 存活概率：在多个杀伤链打击下地方目标的存活概率，每个目标在不同的时点因为有不同的打击方案，因此在每个时点都需要重新计算存活概率。
* 毁伤概率：每个目标被毁伤的可能性，即1减去目标的存活概率。

**作战假设：**

在对全局资源优化问题进行特征提取后，我们做出如下假设：

* + 确定性假设：每个目标的价值是固定的，不随着时间发生变化。同时在给定打击时点、目标、雷达、发射车、弹药的条件下，雷达-发射车-弹药组成的杀伤链对目标的毁伤概率是定值，不随时间发生变化。
  + 毁伤概率假设：我们假设每条杀伤链之间是相互独立的。如果一个目标被多个杀伤链同时打击，那么该目标的存活概率就是每个杀伤链打击后的存活概率的乘积。如果一个目标在不同时间被多个不同的杀伤链打击，则它的存活概率是累积到该时点的所有杀伤链打击下存活概率的乘积。优化目标中的毁伤概率就是用1减去存活概率的大小。
  + 优化目标假设：我们的目标是整合多个优化目标，包括最大化消除的来袭目标威胁值、最小化作战时间和最小化作战消耗。这几个目标之间的关系为线性相加，其系数可随着战场态势由指挥官负责调整，以体现多个作战目标的有限度。
  + 资源限制假设：由于资源特性，我们假设为每个目标分配杀伤链时，需要考虑到各类限制，具体而言包括：
    1. 在每个时点杀伤链使用雷达的次数应小于等于其通道数
    2. 在每个时点杀伤链使用发射车的次数应小于等于发射车载弹量。
    3. 每个发射车具有总体的弹药上限，在各个时点使用这个发射车的次数累加也应该有上限。
    4. 针对每个目标，最多可构建的杀伤链条数有上限。
    5. 每个雷达与一个目标绑定，每个目标占用雷达的一个通道。当雷达锁定一个目标时，多个武器可以同时使用这个雷达的锁定信息。
    6. 每个武器与一个雷达绑定，在武器发射到击中目标这段时间内，不允许更换武器使用的雷达。
    7. 雷达窗口约束：针对每个来袭目标，不同的雷达仅在部分时间能够扫描到这个目标，雷达对目标的锁定必须在这个窗口期内。
    8. 打击窗口约束：针对每个来袭目标，能够被打击得窗口有限，由此限制了给定杀伤链攻击的时点，不能在超出时点范围外对目标进行打击。

请注意，这些假设是在我们的优化问题中所需的，而实际情况可能会更为复杂。但是，这些假设提供了一个处理这个问题的实用框架，并可以根据更具体的场景进行调整和扩展。

基于上述假设，完成了数学模型的构建：

### 优化目标

优化目标1：最大化消除含时间加权的来袭目标威胁值

优化目标2：最小化作战花费

优化目标3：最小化作战时间

**符号解释**

：决策变量，针对目标，在时间 , 是否使用雷达和发射车 构建杀伤链。

: 毁伤概率。针对目标 ，在时间 , 使用雷达 和发射车 构建杀伤链时的毁伤概率。

发射车下标

雷达下标

目标下标

：第 目标的威胁值

：目标，在时间 的时间权重，用于衡量目标此时打击的紧迫程度。

：使用第个武器，第个雷达的作战花费

：总体的作战时间，用于辅助的决策变量。

：在时间 , 使用雷达和发射车 构建的杀伤链的作战时间

在我们的模型中，对于 设置的动机如下：

当同时面临多个目标时，希望优先分配那些比较紧急而且权重较大的目标，（比如同时面对2个来袭目标，目标 1 还有10秒到达，目标2有200秒才到达，此时若仅有一发可用导弹，应该优先分配给剩余打击窗口少的目标）。基于这个目标，设计了参数，用于刻画当前目标的紧迫程度。这个参数可以进行调整，其应该符合的标准为：目标剩余打击窗口的个数约少，这个目标越紧迫，它的时间权重就越高。因此采用如下的设置：

其中 是一个参数， 表示剩余的时间间隔。当设置为0时，我们认为和打击目标的急迫程度与剩余时间窗数呈反比，加入平衡参数可以让这个曲线变得更平缓，但同样呈现随着时间窗变小紧迫性变大。

### 约束条件

雷达通道约束：在时点 ，杀伤链使用雷达的次数应小于等于其通道数。

发射车通道约束：在时点 ，杀伤链使用发射车的次数应小于等于弹药数。

杀伤链数目约束：目标最多可构建的杀伤链条数为。

发射车弹药约束：在时点 ，杀伤链使用发射车的次数应小于等于弹药数。

锁定约束：武器要求当武器进行打击直到打到目标的过程中，必须要有唯一一个雷达进行锁定：

雷达窗口约束：雷达必须在规定的窗口内:

打击窗口约束：武器的打击必须在目标的可打击窗口内

（2）线性化技术

在上述数学模型的基础上，使用线性化的方法，得到如下线性规划模型

**数学符号：**

* ：打击场景，表示包含时序的杀伤链使用组合集合。
* ：针对目标 允许被使用的包含时序的杀伤链打击方案。诸多可行约束被包含在这项之内。
* ：针对某个目标的一个包含时序的杀伤链使用组合
* ：决策变量，是否对目标应用打击场景。
* ：目标目标在场景打击下的加权毁伤概率与花费，注意此时仅考虑一个目标 ，其计算公式为：
* ：打击场景在时间是否使用发射车 (0-1常量，1代表使用该发射车，0代表未使用该发射车）。
* ：打击场景时间是否使用雷达 (0-1常量，1代表使用该雷达，0代表未使用该雷达）。
* ：打击场景 使用发射车 的次数，应该对时间进行累加
* ：雷达使用限制。
* ：发射车使用。
* ：发射车弹药

（3）关键技术与算法设计

**关键技术如下：**

**① 割平面方法**

依据资源的具体结构，推导定制的割平面算法，改善模型质量，以加速问题的求解速度，通过数值实验，分析该问题中涉及的整数规划求解器，进行参数调优，确定割平面算法在每个分支定界节点的执行频率；在某一分支定界节点产生的割平面应用到其他节点的标准；在每个节点添加割平面的数量等参数，以最大化割平面方法效率的最大化。

在全局资源匹配问题中，割平面方法发挥了关键性的作用。考虑到问题的特性，我们针对我方的资源配置情况，设计了一种特定的割平面。这种方法有效地利用了问题的结构信息，以优化割平面的生成策略，从而大大减小了问题的规模，同时也提高了求解的效率。

**② 分支定界方法**

根据问题分支过程中不同子问题的关系，提出强有效的分支策略，割掉不同子问题之间的可行域相交部分，减少搜索树的规模，提升问题的求解效率。通过大量数值实验反复论证，验证新的分支策略的有效性。在此问题中，设计了针对问题结构的分支策略，以优化求解速率。

在全局资源匹配问题中，分支定界方法同样展现了其独特的优势。我们尝试将列生成方法应用于求解松弛问题，并将其融入到分支定界的框架中。这种独特的方法结合使得整个求解过程更为高效，不仅保证了问题的整数最优解的获得，而且极大地提高了问题的求解速度。

**③ 外逼近方法**

外逼近方法是针对一类特定的凸优化问题，基于对最优值的逼近来求解问题。该方法在每一次迭代中，都会在现有的可行域中寻找一个局部最优解，并根据该局部最优解形成一个割平面，用以割去部分可行域，使得新的可行域仍包含全局最优解。在实际操作过程中，通过调整这个割平面的生成策略，可以有效地控制迭代过程，以提高收敛速度和解的精度。

在全局资源匹配问题中，已经证明了列生成子问题具有凸性，因此我们决定采用外逼近方法对子问题进行求解。这种方法能够有效地缩小问题规模，提高求解效率，尤其在处理大规模问题时表现出色。

**④ 次模割方法**

次模割方法是一种专用于处理带有次模结构的优化问题的方法。次模函数是一种在整个定义域上具有凸性的函数，因此，次模问题可以被看作是一种特殊的凸优化问题。次模割方法利用了次模函数的特性，通过在每次迭代中引入一个割平面，逐步逼近全局最优解。对于整数问题，可以通过构造有效的不等式将问题转化为次模问题，从而应用次模割方法进行求解。

在全局资源匹配问题中，决策变量均为二元变量，目标函数可以通过次模函数描述，因此我们决定采用次模割方法进行求解。这种方法的应用，使我们能够得到更有效的不等式，从而有效地降低了问题规模，提升了求解速度。

**⑤ 列生成方法**

列生成方法的总体思想是许多线性规划问题的列数（变量）太多而无法明确考虑所有变量，因此在算法的开始仅使用其变量的子集求解所考虑的子问题开始求解。 然后迭代地，将有可能改进目标函数的变量添加到数学规划模型中。一旦可以证明添加新变量将无法再提高目标函数的值，该过程就会停止。应用列生成算法时，希望只生成很小一部分变量即可得到最优解，对于这个想法是基于以下思路的支持：在最优解中，大多数变量将是非基本变量并假定值为零，因此可以在没有它们的情况下找到最优解。

在算法的执行过程中，该算法考虑了两个问题：主问题和子问题。主要问题即如上面指出的，仅考虑部分变量，依次构造出一列规模逐渐变大的线性规划问题，知道能够保证得到问题的精确解。子问题则是为识别改进变量（即选择出可以改进主问题的变量）而创建的新问题。当问题的结构让子问题可以使用高效算法（通常是专用组合算法）解决子问题时，列生成方法特别有效。通常原问题是大规模的线性规划问题，此时可以保证子问题同样是线性规划问题。

**算法的核心内容如下**：

体系多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网构建问题的求解过程涉及到一个模型等价转换与三个求解算法，模型等价转换将问题等价转换为一个线性规划整数模型，并调用算法一进行求解，算法一的求解过程中会调用算法二，算法二的求解过程中会调用算法三，三个算法共同保证了问题解的最优性。

等价转化方法被称为线性化方法，三个求解算法是：（一）分支定界求解算法，（二）列生成求解算法与（三）外逼近求解算法，线性化方法及三个求解算法的主要求解流程及算法间的关系如下：



### 模型转化方法：线性化方法

1. 初始化打击场景：将针对每个目标的不同的打击场景作为线性规划的列，设定其上下界以及目标函数系数。
2. 调整约束条件：将资源容量约束条件调整为新形式。将其他约束转化用于判定打击场景的可行性。
3. 增加新约束：增加额外的约束，确保每个目标只能被分配一个打击场景。

应用以上步骤，将原问题转化为等价的线性化模型。

### 分支定界算法（算法一）

1. 问题初始化：对于一个整数规划问题，先解其线性规划松弛问题，得到初值。求解线性松弛的步骤调用了算法二。
2. 分支操作：基于当前解，选择一个分数解进行分支，创建两个新的子问题。
3. 定界操作：求解子问题的线性规划松弛问题，得到解作为界，如果解为整数解则可能是最优解，如果解的目标函数值小于当前已知的最优解，则剪枝（舍弃该子问题）。
4. 选择操作：从当前未被剪枝的子问题中选择一个子问题作为下一个求解的问题，子问题求解的步骤调用了算法二。
5. 迭代过程：重复执行2-4步，直到所有子问题都被剪枝或者求得最优解。
6. 终止条件：当所有子问题都被处理后，得到的整数解即为问题的最优解，算法执行结束。

### 列生成算法（算法二）

1. 初始化主问题：通过启发式方法或随机选择的方式，为每个目标分配少量的备选的含时序的打击方案。
2. 求解主问题：从每个目标当前的备选杀伤链（含时序的打击方案）中构建含时序的异构杀伤网，得到局部最优杀伤网。
3. 求解子问题：计算尚未选择的杀伤链（含时序的打击方案）对当前异构杀伤网是否有改进潜力，依此判断局部最优杀伤网是否还具有优化空间，列生成子问题求解的过程调用了算法三。
4. 步骤三的结果分为可以改进与不可改进两种情况。如果存在具有对当前杀伤网具有改进潜力的打击方案，则将该方案加入到备选中，回到步骤二接待求解。否则进入步骤五。
5. 算法逐步改进可行解，可依据无改进方案或其他符合实际作战需求的终止条件作为列生成算法的终止条件。

### 外逼近算法（算法三）

1. 问题初始化：选择一组初始解，计算目标函数值，定义收敛精度。
2. 线性化：在当前解处对非线性问题进行线性化，形成切平面，将非线性问题转化为一个线性问题。
3. 求解线性问题：求解线性问题，得到一个新的解。
4. 收敛性检验：比较新解与旧解之间的差异，如果小于定义的收敛精度，则停止迭代，输出当前解作为最优解。否则，进入步骤5。
5. 更新：将新解作为旧解，返回步骤2，进行新的迭代。
6. 终止条件：满足收敛性条件后，算法执行结束，输出最优解。

**研究结果：**

在合同要求的算例中，我们主要考察了算法的计算时间，针对每种不同的规模，我们随机生成了30个算例，经过仿真模拟后对30个算例的求解时间进行统计并求平均，得到如下结果：

针对计算时间

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 目标 | 雷达 | 发射车 | 弹药 | 资源总数 | 计算时间(s) |
| 1 | 26 | 1 | 1 | 4 | 26 | 0.95 |
| 2 | 52 | 2 | 2 | 8 | 52 | 1.13 |
| 3 | 78 | 3 | 3 | 12 | 78 | 2.52 |
| 4 | 104 | 4 | 4 | 16 | 104 | 4.11 |
| 5 | 156 | 6 | 6 | 24 | 156 | 8.80 |
| 6 | 208 | 8 | 8 | 32 | 208 | 12.19 |
| 7 | 312 | 12 | 12 | 48 | 312 | 33.11 |
| 8 | 364 | 14 | 14 | 56 | 364 | 54.03 |
| 9 | 468 | 18 | 18 | 72 | 468 | 77.26 |
| 10 | 598 | 23 | 23 | 92 | 598 | 100.48 |
| 11 | 728 | 28 | 28 | 112 | 728 | 1450.77 |
| 12 | 1092 | 42 | 42 | 168 | 1092 | 2801.06 |

合同要求规模与类型7接近（要求为300资源300目标，类型四为312资源，312目标，在上表中标红），在这个规模下，**问题的平均求解时间为33.11秒，在生成的10个算例中最慢计算时间为42.48秒，能够满足在60秒内求得解的合同要求。**

针对作战效能，设置毁伤概率，打击花费、作战时间的权重分别为0.6，0.3，0.1，根据不同的提升区间得到如下数据：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 提升比例区间 | 算例个数 | 占比 |
| [30%, +] | 23 | 6.39% |
| [25%, 30%) | 63 | 17.50% |
| [20%,25%) | 107 | 29.72% |
| [15%,20%) | 136 | 37.78% |
| [0,15%) | 31 | 8.61% |

在360个算例上，有91.39%的案例显示出算法的提升比例超过了15%，平均的提升比例为23.1%，最大的提升比例为52.4%。合同要求的提升比例为15%，**从平均提升的角度而言，算法效果提升了23.1%**，**能够满足合同的要求。**值得指出的是，虽然有部分方法提升效果不高，并非新算法的效果能力不足，而是在一些简单的场景下，使用局部方法不考虑时序已经能够达到比较好的结果，因此无法再得到进一步的提升。

**（三）合同要求达到情况**

**指标名称：杀伤网时序运筹优化求解算法**

**合同要求的技术指标**：异构资源杀伤网运筹优化时间不超过60秒，相比无时序优化的杀伤网构建方法效能提升15%

**实际给出的技术指标**：异构资源杀伤网运筹优化平均求解时间为**33.11秒**，**最慢计算时间为42.48秒，**算法效果平均提升了23.1%。

**测试条件**：通过专家评审方式进行考核。

**结论：**已完成

**（四）合同进度满足情况**

**进度要求一：**

**进度要求**

初步建立多准则策略和时序约束下异构作战资源动态杀伤网构建问题的运筹优化数学描述模型

**成果名称：**

异构资源杀伤网运筹优化问题研究报告第一版

**考核方式：**

建立多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网构建问题的运筹优化数学描述模型，形成研究报告，专家现场评审

**是否满足进度**：满足进度

**进度要求二：**

**研究目标：**

异构资源杀伤网时序优化的可行解的数学特性研究，并设计相应的运筹优化求解方法

**成果名称：**

异构资源杀伤网运筹优化问题研究报告第二版

**考核方式：**

多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网构建问题的运筹优化数学描述模型和异构资源杀伤网时序优化可行解数学特性的研究结果。形成研究报告，专家现场评审。

**是否满足进度**：满足进度

三、取得的主要成果及应用情况

（一）项目主要成果

（1）成果介绍

建立多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网构建问题的数学描述。对防空反导体系作战环境进行特征提取，对作战资源进行能力表征，建立体系资源全局优化的整数规划理论并设计求解算法。

（2）先进性/创新性介绍

针对具体应用场景，创造了包含时序的多准则策略和时序约束下的异构作战资源杀伤网模型，并将学界最新的针对想改资源匹配问题的模型线性化技术应用到数学建模过程中，提供了便于求解的整数线性规划模型。在该模型中，结合多种战场资源，设计了包含雷达、指控发射车、弹药等多个资源的复杂资源匹配模型，针对来袭目标设计包含时序的异构资源杀伤网，根据真实作战需求实现效能最大化。

（二）成果应用情况及转化应用设想

1. 成果已转化应用情况

本项目的求解结果主要用于辅助进行作战智能决策，能够在规定的时间内，实现问题的求解，在360个仿真场景上，有91.39%的案例显示出算法的提升比例超过了15%，平均的提升比例为23.1%，最大的提升比例为52.4%。合同要求的提升比例为15%，从平均提升的角度而言，算法效果提升了23.1%。

1. 成果转化应用设想

暂无

四、经验、问题及建议

（一）主要经验

在本项目中，与主承研单位开展深度合作，在数学模型上进行沟通与讨论，共同发展，相互促进，最终有效完成了合同要求，实现了计算效能的对比。

同时，实验室在相关领域有多年积累，拥有自研求解器CMIP，在项目开展的过程中，有效地将积累转化为对应的方法，完成了有效的算法设计。

（二）存在问题

在项目执行过程中无问题

（三）建议

此项目无相关后续建议

**五、结论**

在项目的执行过程中，我们已经全面完成了以下几个关键环节：首先，与初定的研究目标相对应，项目已经成功达到预期，并呈现出了实质性的研究成果。其次，我们已按照既定的合同内容逐项执行，并确保每一项内容都得到了妥善的处理。其次，按照合同的要求，我们不仅满足了基础标准，更在某些方面超越了预期，展现出超出合同预期的高效表现。最后，项目的整体进度与合同中所规定的时间节点完全吻合，保证了合同期限内的所有任务都已经按期完成。总体来看，项目执行情况良好，从技术的角度完成了合同的各项要求。

附录