参赛密码 ____________

（由组委会填写）

“华为杯”第十四届中国研究生

数学建模竞赛

学　　校	上海理工大学
参赛队号	**10252087**
队员姓名	**1.仇福康**
	2.江磊
	3.徐鸣

参赛密码 ____________

（由组委会填写）

“华为杯”第十四届中国研究生

数学建模竞赛

题 目 多波次导弹发射中的规划问题

摘 要：

为研究多波次导弹发射中的规划问题，本文综合运用了 Dijkstra 算法、0-1 规划模型、数值计算方法、线性优化等建立了多波次导弹发射中的规划模型，并对发射任务提出了合理的机动方案和分配方案，在一定程度上解决了多波次导弹发射中的规划问题。

针对问题一，由于发射导弹在已知限定条件下仅涉及发射点的选取问题，我们通过编写 MATLAB 程序求得每一段之间的距离，通过总结规律设计最小路径模型，得出了在不同发射点下所呈现的不同路径。再通过 Dijkstra 算法求出每一个待机域到发射点的距离，从而建立 0-1 模型，将目标函数设为最短距离，求出了每一个待机地域距离最短的发射点，并对所处这些发射点的车载装置进行合理分配，从而确定了暴露时间约不小于 7745 分钟。

针对问题二，我们分别假设 J25、J34、J36、J42、J49 成为转载地点，求出它们到第二波齐射地点的最短路径，将它们对应的最短路径距离分别除以 A，B，C 的车速，分别得到若将它们作为转载地点的最短暴露时间，对比它们彼此的最短暴露时间大小，发现可以选择道路节点 J34 和 J25 成为转载地点。

针对问题三，采用加权平均的方法，在约束了不能选择第一波发射地点的条件下，假设 J04、J06、J08、J13、J14、J15 可以成为隐蔽待机地点的情况下分别计算出它们到第二波齐射地点的最短路径，在通过除以 C 类车的速度，得到它们的最短暴露时间，互相比较它们彼此的最短暴露时间，发现可以将 2 台 C 类车隐蔽在道路地点 J15 附近，同时将 1 台 C 类车隐蔽在道路地点 J06 附近。

针对问题四，道路节点作为导弹发射战略部署当中重要的一环，也是作战部署环节中值得充分考虑及规划的一项因素，它的规划好与坏直接影响整个战略的发展趋势。根据所提出的问题，我们给定最短距离的条件，通过问题一和问题二所涉及的 Dijkstra 算法，利用其求出所有无向路线，统计出所有可能的路径，以此为突破口采取 Bellman 方程来解决此问题，再通过约束限制以及实际战略部署的大致导向，在假设导弹命中成功率为百分之百的前提下做出路线分析，对每个道路节点所被装载车辆通过的利用率为突破口，选择出指定的 3 个道路节点，以此来判定哪 3 个道路节点被破坏最容易影响到整体的战略布局。

针对问题五，制定的机动方案应把重点放在适当分散机制以及在条件允许的范围内，尽可能地缩短单台发射装置的暴露时间。由于我们在问题一当中已经求出了最短整体暴露时间，我们可以在问题一求解模型中仍然基于 Dijkstra 算法做出进一步优化，对其模型进行进一步的分析和评价，改变部署机制，提出将问题一中 A、B、C 三类发射装置的数量分别为 6 台、6 台、12 台，执行任务前平均部署在 2 个待机地域（D1，D2）这一机动方案整改为三类发射装置不分类型随机分布在 2 个待机地域（D1，D2）的假设，更好地贴合战略主动性和高效率，也更好地适应面对战略场地随机地多样性已经面对战场上所面临的一切未知的情况作出立即的反应判断，通过该模型在一定程度上对于战略部署起到了积极性的作用。最终确定了单车最短暴露时间为 427 分钟，整体最短暴露时间为 10248 分钟。

关键字：Dijkstra 算法　0-1 规划模型　线性优化　Bellman 方程　数值计算

目录

一. 问题重述

1.1.问题背景

大型国防工程施工、武器装备实验或部队大规模移动的隐蔽性关系到国家安全以及战争胜败。随着科学技术的不断发展，以导弹武器为代表的高精端武器被越来越多地运用到信息化战斗中，用导弹打击敌方的政治、经济、军事、交通等目标，可以达到对敌方的威慑、遏制和对己方后续攻势的展开提供支持的目的，可以说，导弹作战是最终取得战争胜利以及维护国家利益的重要因素，它已成为未来战场主要作战样式之一。但是，由于战争的复杂性，导弹一波次齐射很难达到相应的目的，所以多波次导弹作战就成了解决问题的有效手段。通俗地讲，多波次导弹作战就是导弹在整个作战过程中分为多批次打击敌方目标，即“打击—侦察—打击”，如此循环下去。多波次导弹作战打击敌方多个目标是一个复杂的随机过程，所以要想提高作战效率，对作战路线规划则提出了更高的要求。

高技术条件下的现代化战争，突发性急骤增强，对导弹部队的机动能力提出了更高的要求。机动路线制定的好坏直接决定着导弹暴露时间长短。要实现机动快、暴露时间短，就必须要有合理的机动方案，其中机动路线如何选择是机动作战决策的一个重要课题。在一定的作战意图下根据给定的打击目标和现有的武器条件，将可用的弹型、弹量、火力发射单位最优配置到各个目标上去，确定打击各目标所使用的弹型和数量，确定从哪个火力发射单位进行打击，以追求更快和最优的打击效果。

由此可见，对于多波次导弹发射中的规划方法就显得尤为重要，在这个大背景下，我们提出以下几个待解决的问题。

1.2.问题提出

问题一：

该部接受到实施两个波次的齐射任务（齐射是指同一波次的导弹同一时刻发射），每个波次各发射 24 枚导弹。给出具体发射点位分配及机动路线方案，使得完成两个波次发射任务的整体暴露时间最短。方案需按题目后面对附件 2 说明中规定的格式给出，并存入文件“E 队号.xls”中，随论文同时上传指定邮箱，作为竞赛论文评审的重要依据。统一以第一波次的发射时刻作为第二波次机动的起始时刻。

问题二：

转载地域的合理布设是问题的“瓶颈”之一。除已布设的 6 个转载地域外，可选择在道路节点 J25、J34、J36、J42、J49 附近临时增设 2 个转载地域（坐标就取相应节点的坐标）。应该如何布设临时转载地域，使得完成两个波次发射任务的整体暴露时间最短。

问题三：

新增 3 台 C 类发射装置用于第二波次发射。这 3 台发射装置可事先选择节点 J04、J06、J08、J13、J14、J15 附近隐蔽待机（坐标就取相应节点的坐标），即

这 3 台发射装置装弹后从待机地域机动到隐蔽待机点的时间不计入暴露时间内。每一隐蔽待机点至多容纳 2 台发射装置。待第一波次导弹发射后，这 3 台发射装置机动至发射点位参与第二波次的齐射，同时被替代的 3 台 C 类发射装置完成第一波次齐射后择机返回待机地域（返回时间不计入暴露时间）。转载地域仍为事先布设的 6 个的前提下，应该如何选择隐蔽待机点，使得完成两个波次发射任务的整体暴露时间最短。

问题四：

道路节点受到攻击破坏会延迟甚至阻碍发射装置按时到达指定发射点位。请结合图 1 路网特点，考虑攻防双方的对抗博弈，建立合理的评价指标，量化分析该路网最可能受到敌方攻击破坏的 3 个道路节点。

问题五：

在机动方案的拟制中，既要考虑整体暴露时间尽可能短，也要规避敌方的侦察和打击，采用适当分散机动的策略，同时还要缩短单台发射装置的最长暴露时间。综合考虑这些因素，重新讨论问题（1）。

二．模型假设与符号说明

2.1.问题假设

针对问题一：

(1)假设参与作战行动的 24 台车载发射装置功能和性能上没有任何区别。

(2)假设在车载发射装置在行动过程中没有发生故障。

(3)假设第一波车载发射装置在发射导弹前已装好导弹。

(4)假设发射的导弹弹道不发生交叉。

针对问题二：

(1)假设导弹转弯性质的限制不在考虑范围内。

(2)假设不存在导弹发射失误和失败的情况。

(3)假设道路阻碍对车载装置的影响可以忽略不计。

(4)假设 J25、J34、J36、J42、J49 道路节点附近分配转载地域概率相等，不考虑其距离远近等其它因素。

针对问题三：

(1)假设 3 台 C 类发射装置选择节点隐蔽的概率相等。

(2)假设第一波发射对新增的 3 台发射装置没有影响。

针对问题四：

(1)假设发射点依旧不能重复。

(2)假设每次发射装置发射导弹的命中率为百分百，排除空中导弹拦截的情况。

(3)假设可以忽略导弹水平攻击角与导弹发射角度所呈现的下降趋势。

(4)假设忽略天气等自然不可抗力对导弹发生成功的影响。

针对问题五：

(1)假设参与作战行动的 24 台车载发射装置功能和性能上没有任何区别。

(2)假设在车载发射装置在行动过程中没有发生故障。

(3)假设第一波车载发射装置在发射导弹前已装好导弹。

2.2.符号说明

在此，对本文所有的符号进行定义。

符号	符号说明
A、B、C	发射装置
D_1、D_2	待机地域
Z_{01}、Z_{02}、Z_{03}、Z_{04}、Z_{05}、Z_{06}	6 个转载地域
F_{01}、F_{02}……F_{59}、F_{60}	60 个发射点位
J_{01}、J_{02}……J_{61}、J_{62}	62 个道路节点
$L_m=\sqrt{\left(x_i-x_j\right)^2+\left(y_i-y_j\right)^2}$	单个小段之间的距离
v	128 个划分点

三．问题一的分析与建模

3.1.问题分析

因为要求同一波次的导弹齐射，为了减少整体暴露时间，安排较短路径上的装载车较晚发射，从而避免其在发射区等待。

由上小节中的分析可以得出，最小暴露时间可以用如下数学模型来表示：

已知

邻近矩阵

$$\mathrm{v}_a(\mathrm{x})=\begin{cases}70, & \mathrm{l}\text{ 为主干道路}\\45, & \mathrm{l}\text{ 为其他道路}\end{cases}$$

$$\mathrm{v}_b(\mathrm{x})=\begin{cases}60, & \mathrm{l}\text{ 为主干道路}\\35, & \mathrm{l}\text{ 为其他道路}\end{cases}$$

$$\mathrm{v}_c(\mathrm{x})=\begin{cases}50, & \mathrm{l}\text{ 为主干道路}\\30, & \mathrm{l}\text{ 为其他道路}\end{cases}$$

根据上式做出关于v_a,v_b,v_c的邻近矩阵V_a,V_b,V_c，其中：

$$V_a(U,E)=\begin{cases}45,<U,E>\text{ 在其他道路}\\70,\ <U,E>\text{ 为其他道路}\\0,\ other\end{cases}$$

$$V_b(U,E)=\begin{cases}35, <U,E> \text{在其他道路}\\ 60, \quad <U,E> \text{为其他道路}\\ 0, other\end{cases}$$

$$V_c(U,E)=\begin{cases}30, <U,E> \text{在其他道路}\\ 50, \quad <U,E> \text{为其他道路}\\ 0, other\end{cases}$$

而目标求

$$t_k = \mathrm{d}\left(D_j, F_i\right)./\, V_k\left(u_i, u_j\right) \quad k = A, B, C$$

$$\mathrm{T}(D_j, F_i) = \min\{\sum_{j=1}^{K_D}\sum_{i=1}^{N_{D_j}} t_k\}$$

其中:K_D 待机区域的总数, N_{Di} 为计划在从第 i 个待机区域出发的装载车的数量，分别为第 j 个等待区域和第 1 个发射点的坐标，d（D_jF_i）表示, D_jF_i 两点之间的最小行驶距离（并非空间上的直线距离）。

d（D_jF_i）可以采用 Dijkstra 算法进行求解。Dijkstra 算法是图论中求解距离最为经典的一种解法。针对本问题具体的做法是将所有待机区域、转载地域、道路节点和发射点作为节点构造网络图，然后将任何相互连接的节点的距离记为其欧式距离，不相邻的节点的距离记为无穷大，使用邻接矩阵表示该网络图，应用 Dijkstra 算法即可求解任何两点的距离。另外值得注意的是，在上式中求解过程中需要避免某个发射点 F_i 被重复采用。

通过上式分别求解在①待机地点 D 到发射地点 F 进行第一波齐射的最短消耗时间$\mathrm{T}(D_j, F_i)$。②发射地点 F 到转载地点 Z 进行导弹补充的的最短消耗时间$\mathrm{T}(F_j, Z_i)$。③转载地点 Z 到发射地点 F 进行第二波齐射的最短消耗时间$\mathrm{T}(Z_j, F_i)$。

则得最短暴露时间：

$$T_{explore} = \mathrm{T}(D_{j'} F_i) + \mathrm{T}(F_{j'} Z_i) + \mathrm{T}(Z_{j'} F_i)$$

3.2.模型建立与求解

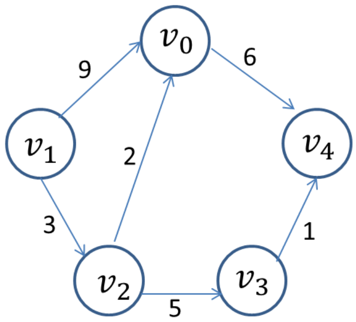
3.2.1.图的数据结构

图的邻接矩阵存储方式是用两个数组来表示图。一个一维数组存储图中顶点信息，一个二维数组（邻接矩阵）存储图中的边或弧的信息。

设图 G 有 n 个顶点，则邻接矩阵是一个 n*n 的方阵，定义为：

$$\mathrm{arc[i][j]} = \begin{cases} 1, 若(v_i, v_j) \in E 或 < v_i, v_j > \in E \\ \qquad\qquad 0, 反之 \end{cases}$$

形如：



顶点数组：

v_0	v_1	v_2	v_3	v_4

边数组：

$$\begin{array}{c} \\ v_0 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} v_0 & v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & \infty & 6 \\ 9 & 0 & 3 & \infty & \infty \\ 2 & \infty & 0 & 5 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & 0 & 1 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

图 3.2-1 邻近矩阵的表达

观察所给的作战区域的图，可作出题目中的邻近表，并生成图 3.2。其中 D[:],Z[:],F[:],J[:]到邻近表序号的映射关系为：

表 3-1

D[01~02]	1,2
Z[01~06]	3~8
F[01~60]	9~68
J[01~62]	69~130

我们将这题目中所有的点保存在 mymap.mat 中，而其道路邻近表矩阵 W 则通过 excel 软件画在 map.xlsx 中。方便在实验过程将其导入。

3.2.2.对于每一小段距离的求解

由于从待机地域移动到发射点位并不是走的一条直线，而是经过几小段道路采到达的，所以为了方便表示机动总距离，我们将发射点位、转载地域、道路节点统一看做划分点 v ，把“作战区域内相关要素及道路的分布示意图”中的道路划分为小段。

设每一小段道路两端的划分点的坐标分别为 $V_i(x_i, y_i)$和 $V_j(x_j , y_j)$，则每一小段的距离为

$$L_m = \|V_i - V_j\| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

其中 m 表示划分出的小路段的数量。

3.2.3.Dijkstra 算法

Dijkstra(迪杰斯特拉)算法是典型的单源最短路径算法，用于计算一个节点到其他所有节点的最短路径。主要特点是以起始点为中心向外层层扩展，直到扩展到终点为止。Dijkstra 算法是很有代表性的最短路径算法，在很多专业课程中都作为基本内容有详细的介绍，如数据结构，图论，运筹学等等。注意该算法要求图中不存在负权边。

问题描述：在无向图 G=(V,E) 中，假设每条边 E[i] 的长度为 w[i]，找到由顶点 V0 到其余各点的最短路径。（单源最短路径）

算法思想：

设 G=(V,E)是一个带权有向图，把图中顶点集合 V 分成两组，第一组为已求出最短路径的顶点集合（用 S 表示，初始时 S 中只有一个源点，以后每求得一条最短路径 , 就将加入到集合 S 中，直到全部顶点都加入到 S 中，算法就结束了），第二组为其余未确定最短路径的顶点集合（用 U 表示），按最短路径长度的递增次序依次把第二组的顶点加入 S 中。在加入的过程中，总保持从源点 v 到 S 中各顶点的最短路径长度不大于从源点 v 到 U 中任何顶点的最短路径长度。此外，每个顶点对应一个距离，S 中的顶点的距离就是从 v 到此顶点的最短路径长度，U 中的顶点的距离，是从 v 到此顶点只包括 S 中的顶点为中间顶点的当前最短路径长度。

算法步骤：

a.初始时，S 只包含源点，即 S＝{v}，v 的距离为 0。U 包含除 v 外的其他顶点，即:U={其余顶点}，若 v 与 U 中顶点 u 有边，则<u,v>正常有权值，若 u 不是 v 的出边邻接点，则<u,v>权值为∞。

b.从 U 中选取一个距离 v 最小的顶点 k，把 k，加入 S 中（该选定的距离就是 v 到 k 的最短路径长度）。

c.以 k 为新考虑的中间点，修改 U 中各顶点的距离；若从源点 v 到顶点 u 的距离（经过顶点 k）比原来距离（不经过顶点 k）短，则修改顶点 u 的距离值，修改后的距离值的顶点 k 的距离加上边上的权。

d.重复步骤 b 和 c 直到所有顶点都包含在 S 中。

算法流程图如下：

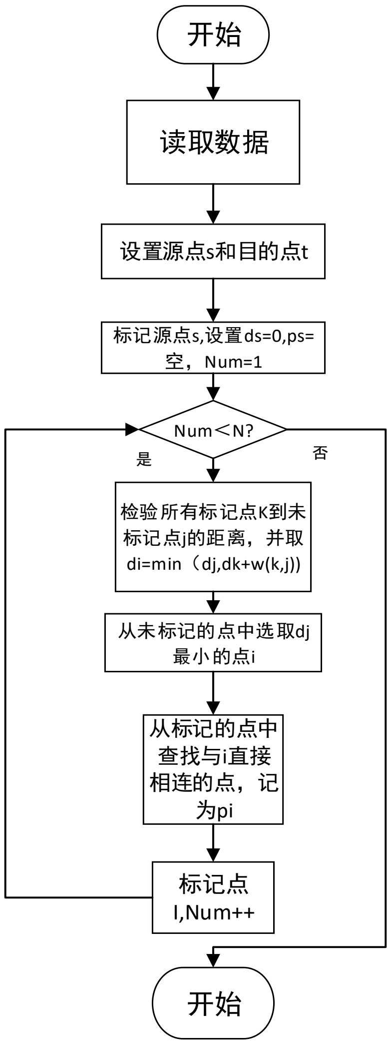


图 3.1 Dijkstra(迪杰斯特拉)算法流程图

编程实现 Dijkstra 算法函数，将其以文件名 mydijkstra.m 保存在附件目录下，其调用格式为:

$$[distance, \mathrm{path}] = \mathrm{mydijkstra}(L_{st}, \mathrm{start}, \mathrm{end})$$

其中，L_{st} 是存储了由起点 start 到终点 end 每一小段距离的邻接矩阵之和。即对于二维矩阵 L_{st},，满足

$$\mathrm{L_{st}}（V_i，V_j） = \mathrm{L}_{st}(V_j, V_i)$$

$$= \|V_i，V_j\|$$

3.2.4.0-1 规划模型

将确定好的发射节点集为{ f_i} ，目标集为{ t_i}，可以构建一个从发射节点集为{ f_i } 到目标集为{ t_i }的有向图，图中的节点为全部发射节点集和目标集中的点，边为所有发射节点 f_i 到所有目标 t_j 构成一条边 d_{ij}，边的长度为两点间的欧式距离。

若发射节点 f_i 发射导弹到目标 t_j ，则记 $f_{ij}= 1$，否则记 $f_{ij}= 0$ ，$R(t_j)$表示 t_j 安排的导弹数，那么一个通用的可行的目标打击安排可由如下 0-1 规划模型表示

$$\min \sum_j \sum_i f_{ij}|d_{ij}|$$

$$s.t.\quad \begin{cases} \sum_j f_{ij} = 1 \\ t_{ji} = f_{ij} \\ \sum_i t_{ji} = R(t_j) \\ f_{ij}(f_{ij}-1) = 0 \end{cases}$$

我们通过 MATLAB 软件仿真以及附件 1 所给定的坐标将作战区域道路示意图进行简化并将节点标记成数字以方便后续问题解决，具体如下图：

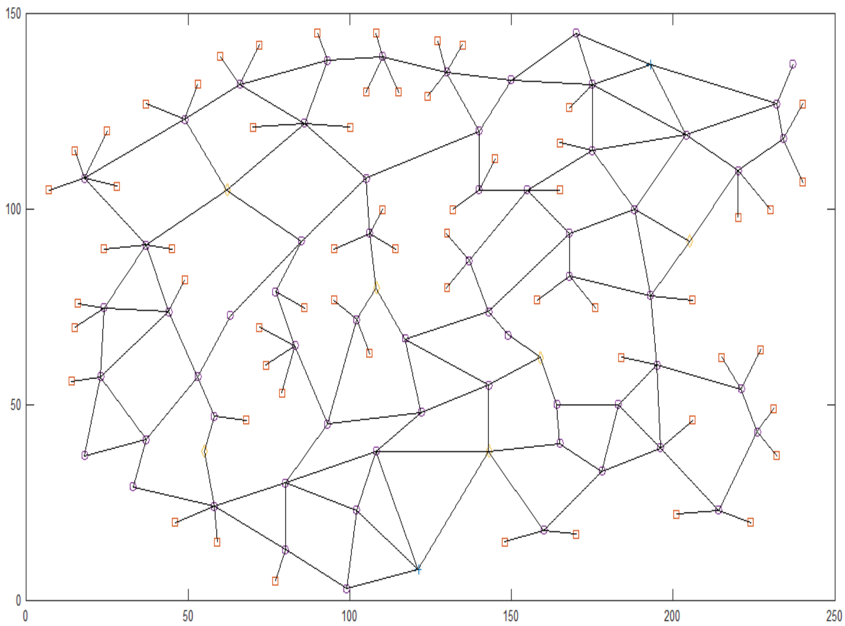


图 3.2 未做标记的作战区域道路示意图

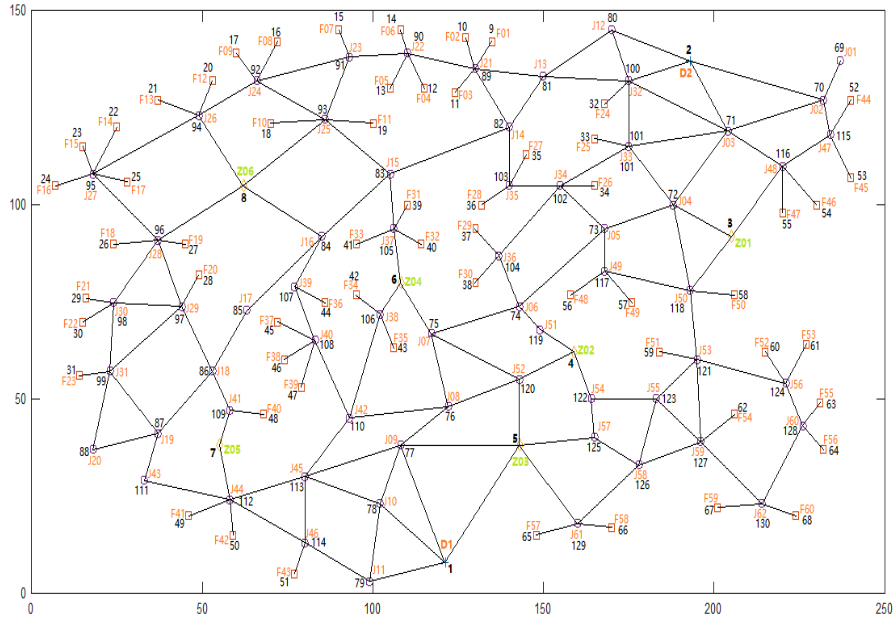


图 3.3 更改节点数字编号后的作战区域道路示意图

具体节点对应对象如下表

表 3-2

原节点设置	**现节点设置编号**
D_1、D_2	1,2
Z_1、Z_2、Z_3、Z_4、Z_5、Z_6	3,4,5,6,7,8
F_1、F_2....F_{59}、F_{60}	9,10....67,68
J_1、J_2...J_{61}、J_{62}	69,70...129,130

（备注：以下问题我们将以现节点设置编号进行讨论优化，结果填写在附件 2 时，我们会将对应结果转换回原节点设置表示。）

该问题的求解过程大致可以分为第一波发射点------>第一波导弹发射------>第二波发射点转载地域------>第二波导弹发射。

由于第一波不用考虑发射装置的使用问题，我们可以直根据上述每段最小距离的求解以及 Dijkstra 算法和 0-1 规划模型确定其发射点。

3.2.5.对于第一波模型的考虑具体建立模型如下：

根据题意，设在初始时 A、B、C 三类车载发射转置分散地位于 D1 和 D2 的位置。

设每个发射点到各待机区域的最短距离为 Lst，s 表示发射点的数量，t 表示待机区域的数量。设从每个发射点到待机区域需要路过的小路段有 n 个。则可得到：

$$L_S=L_1+L_2+L_3+\ldots+L_{n-1}+L_n$$

在这里我们利用 MATLAB 软件再结合 Dijkstra 算法，可以求出具有邻近表特征的矩阵 L_{st}。（行列号分别代表某一序号点）

$$\mathrm{L}_{st}=\sum_{i=1}^{n} L_i * w_i$$

w_i 是代表连接着每小段 i 路径的邻近表。

我们建立 0-1 规划模型求解到每一个待机域距离最短的 M 个发射点。引入 0-1 规划的模型的变量 x_i 和 x_j，其含义表示该发射点是否被待机区域选取，其中 i 和 j 均表示发射点的数量。

$$x_l=\begin{cases}0, & \text{路径 l 终点已有车}\\ 1, & \text{路径 l 终点无车}\end{cases}$$

$$x_j=\begin{cases}0, & \text{路径 j 终点已有车}\\ 1, & \text{路径 j 终点无车}\end{cases}$$

设总距离为 L，待机区域数量为 P，则目标函数可以表示为：

$$\min L=\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{P} x_i L_{st} \quad \text{（i，j）}$$

$$=\left\|\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{P} x_i L_{st\,\text{（I，j）}}\right\|$$

设发射装置的数量为 N，由于 N 套车载发射装置是平均部署在两个待机地域的，所以我们要在每一个待机区域安排 $\frac{N}{2}$ 套，所以对每个待机区域要求 $\frac{N}{2}$ 个到其距离最近的发射点，即确定如下限制条件：

$$\sum_{i=1}^{M} x_i = \frac{N}{2}$$

$$\sum_{j=1}^{M} x_j = \frac{N}{2}$$

综上所述，第一波模型建立如下：

$$find \quad L_1$$

$$L_{ij} = \min\{\left\| \sum_{i=1}^{M} \sum_{t=1}^{P} x_i L_{st} \right\|\}$$

$$s.t.\begin{cases} \sum_{i=1}^{M} x_i = \frac{N}{2} \\ \sum_{j=1}^{M} x_j = \frac{N}{2} \end{cases}$$

即求出L_1，则就知道了第一段待机地点 D[01:02]到发射地点 F [01:60]的最短路径，以此类推是，计算出所有隐蔽待机地点 D[0:1]到发射地点 F[0:60]的最短路径的距离矩阵集合｛L_1，L_2, … ，L_n｝。

根据集合的定义，必存在至少一个 $L_{opt1} \in$ ｛L_1，L_2， … ，L_n｝，使得

$$L_{opt1} = min\ \{L_1, L_2, \ldots, L_n\}$$

此时容易求得 i 类发射装置的最短暴露时间矩阵t_i。

$$t_i = L_{opt}./v_i, \qquad (\mathrm{i = A, B, C})$$

在有了t_i后，找出当前路径的邻接表，则可求该路径下的总暴露时间

$$\mathrm{T}_i = \|t_i.* W_l\|, \qquad \mathrm{i = a, b, c}$$

在获取了各T_i的值后，显然$\min$｛T_i｝就是最较为理想的暴露时间，能使车载发射装置尽快地抵达发射地点 F[01:60]。

化简上述公式，得 i 类车的最短暴露时间

$$\mathrm{T}_{min} = \left\| L_{opt}.* W_l../v_i \right\|\}$$

表示当$\left\| L_{opt}.* W_l../v_i \right\|$取得最小值时，其对应的路径$L_{opt}$就是能使车载发射装置尽快地抵达发射地点 F[1:60]的路径。

综上所述，第一波导弹齐射的数学模型建立如下：

$$\text{find } L_{opt}$$

$$L_{opt1} = min\ \{L_1,\ L_2,\ \dots,\ L_n\}$$

when

$$\mathrm{T}_{min} = \left\| L_{opt1}.* W_l../v_i \right\|$$

其中，

$$L_{ij} = min\{\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{P} x_i L_{st}\}$$

$$s.t.\begin{cases} \sum_{i=1}^{M} x_i = \frac{N}{2} \\ \sum_{j=1}^{M} x_j = \frac{N}{2} \end{cases}$$

根据题意将 A，B，C 类车分别均匀由隐蔽待机地点 D[01:02]沿路径L_{opt}发车至发射地点 F[01:60]。记下各自第一波齐射所占用的发射地点为$F_1[01:60]$，作为选择转载路径的起点，和第二波齐射所需要排除的发射地点。

下表为发射装置到第一波发射点的跳转路径，当最后一辆车抵达发射地点时，时间约过去 210.5 分钟，因此第一波发射时间在出发 210.5 分钟后。

表 3-3

A01	D1	J10	J45	J42	J40	F37		
A02	D1	J10	J45	J42	J40	F39		
A03	D1	J11	J46	J44	Z05	J41	F40	
A04	D2	J32	J33	J34	F26			
A05	D2	J32	J13	J21	F03			
A06	D2	J32	J13	J21	F02			
B01	D1	J11	J46	J44	F42			
B02	D1	J11	J46	J44	F41			
B03	D1	J09	J08	J07	Z04	J38	F35	
B04	D2	J03	J48	F36				
B05	D2	J02	J47	F44				
B06	D2	J02	J47	F45				
C01	D1	J11	J46	F43				
C02	D1	Z03	J61	F58				
C03	D1	Z03	J61	F57				
C04	D1	J10	J45	J42	J40	F38		
C05	D1	J09	J08	J07	Z04	J38	F34	

C06	D1	Z03	J57	J58	J59	F54		210.5mins
C07	D2	J32	F24					
C08	D2	J32	J33	F25				
C09	D2	J03	J48	F47				
C10	D2	J03	J04	J05	J49	F48		
C11	D2	J03	J04	J05	J49	F49		
C12	D2	J03	J04	J50	F50			

（备注：该表格每一行从左到右表示不同类型的发射装置从不同的待机地域到发射点的路径流程。例如表 3-3 第一行表示发射装置 A01 从待机地域到达第一个发射点的路径流程为 J10→J45→J42→J40→F37，该表格形式同样适用表 3-4,7-1,7-2）

所有车载发射转置从 D1，D2 出发到第一波导弹齐射，它们的转移路径图可由图 3.4 所示：

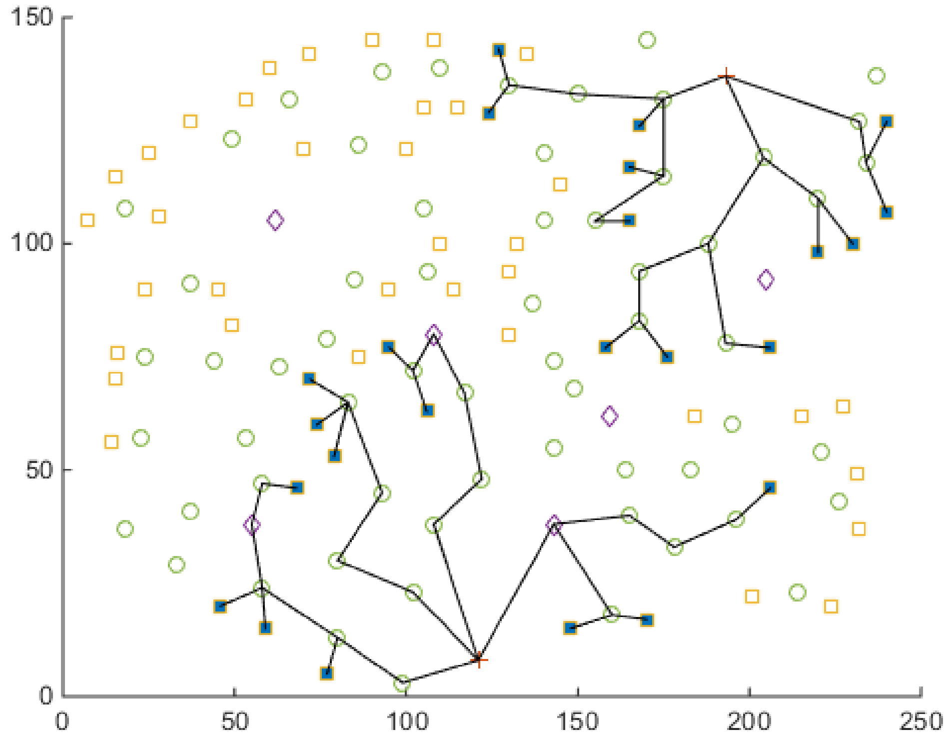


图 3.4 第一次齐射部署图

3.2.6.对于第二波模型的考虑：

（1）转载地域的确定

由题意得，这是一个让第一次齐射地点 F_1 向转载地点 Z01~Z06 汇聚的一个实例。

要确定发射点 F_1 向 Z[01:06]的最佳汇聚路径，即求发射点 F_1 到每个转载地点 Z01~Z06 的最短耗费时间。通过分别对比 F_1 到 Z01,Z02,...,Z06 的耗费时间，判决出应当选那个转载地点 Z 作为目标终点。

对于第一波求出的 N 个发射点分别表示为 $a_i\left(i=1,2,...,\frac{N}{2}\right)$，P 个转载地域分别表示为 $Z_j\left(j=1,2,...,\mathrm{P}\right)$，N 个发射点到各转载地域的距离分别表示为 $L_{ij}\left(i=1,2,...,N;\ j=1,2,...,\mathrm{P}\right)$，路过的各小段道路的长度分别表示为 l_n，n 表示路过的小段道路的数目。它们之间存在如下关系：

$$L_Z = l_1 + l_2 + \cdots + l_t$$

$$L_{ij} = l_1 + l_2 + \ldots + l_t$$

同第一波齐射的公式相似，

Exist
$$L_{optZ} \in L_{ij}$$

$$L_{optZ} = \min\{\sum_{i}^{s}\sum_{t}^{p} x_{ij}L_{ij}\}$$

When

$$\mathrm{T}_{min} = \|L_Z.*W_l./v_i\|$$

综上所述，转载地点判决的模型建立如下：

$$find \quad L_{optZ}$$

Render

$$L_{optZ} = min\{\sum_{i}^{s}\sum_{t}^{p} x_{ij}L_{ij}\}$$

When

$$\mathrm{T}_{min} = \min\{\|L_Z.*W_l../v_i\|\}$$

$$s.t.\begin{cases} L_{ij} = l_1 + l_2 + \ldots + l_t \\ L_{sz} = l_1 + l_2 + \ldots + l_n \end{cases}$$

根据上述模型编写程序（见附件），得到车载发射装置进行转载过程的路径图 3.5。

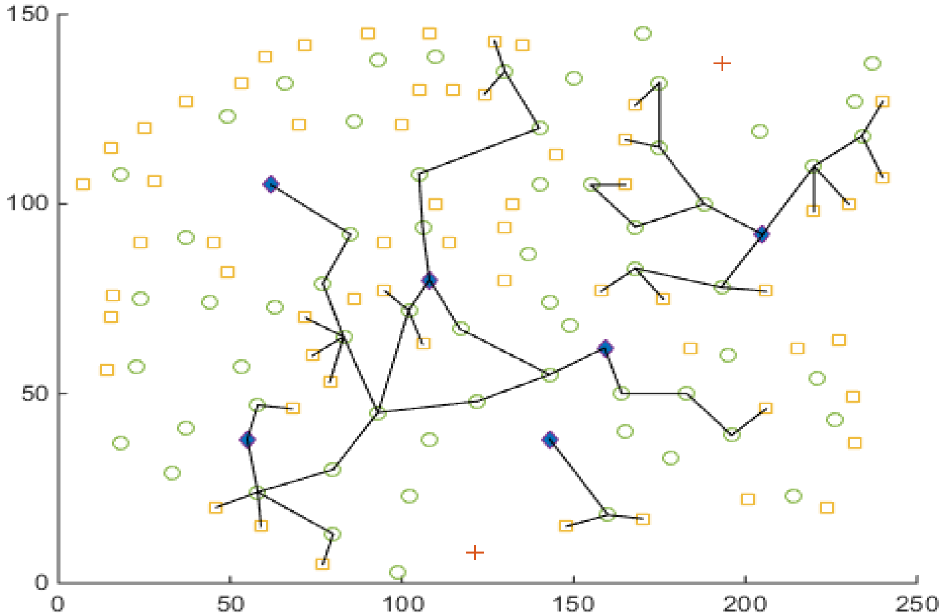


图 3.5 转载部署图

表 3-4

A01	J40	J39	J16	Z06			
A02	J40	J39	J16	Z06			
A03	J41	Z07	J05	J06	J07	Z04	
A04	J34	J05	J04	Z01			
A05	J21	J14	J15	J37	Z04		
A06	J21	J14	J15	J37	Z04		
B01	J44	Z05					
B02	J44	Z05					
B03	J38	Z04					
B04	J35	J34	J05	J04	Z01		
B05	J47	J48	Z02				
B06	J47	J48	Z02	Z04			
C01	J46	J44	Z05				
C02	J61	Z03					
C03	J61	Z03					
C04	J40	J42	J38	Z04			
C05	J38	Z04					
C06	J59	J55	J54	Z02			
C07	J32	J33	J04	Z01			
C08	J33	J04	Z01				
C09	J48	Z01					
C10	J49	J50	Z01				

C11	J49	J50	Z01				
C12	J50	Z01					

（2）发射点的确定

设各转载区域到每个发射点（除第一波用过的发射点）的最短距离为 L_{sz}（s=1,2,…,S；z=1,2,…,P）；s 表示 S 个发射点，z 表示 P 个待机区域。从每个发射点到待机区域需要路过的小路段有 n 个。则可得到：

$$L_{sz} = l_1 + l_2 + \ldots + l_n$$

采用 Dijkstra 算法，可求 L_{sz}。

我们建立 0-1 规划模型求解到每一个转载地域距离最短的 N 个发射点。引入 0-1 变量 $x_{ij}\left(i=1,2,...,S; j=1,2,...,P\right)$ 表示对每个转载地域是否选取该发射点。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & F_1 \cap F_2 = \emptyset\text{，且路径终点没有车辆} \\ 0, & \text{other} \end{cases}$$

设总距离为 L_2，则目标函数可以表示为：

$$L_{opt2} = \min\{\sum_{i}^{s}\sum_{t}^{p} x_{ij}L_{ij}\}$$

$$L_{opt2} \in L_{ij}$$

when

$$\mathrm{T}_{min} = \min\{\|L_{opt2}.* W_l../v_i\|\}$$

综上所述，第二波模型建立如下：

$$find \quad L_{opt2}$$

$$L_{opt2} = \min\{\sum_{i}^{s}\sum_{t}^{p} x_{ij}L_{st}\}$$

when

$$\mathrm{T}_{min} = \min\{\|L_{opt2}.* W_l../v_i\|\}$$

$$s.t.\begin{cases} L_{ij} = l_1 + l_2 + \ldots + l_t \\ L_{sz} = l_1 + l_2 + \ldots + l_n \end{cases}$$

根据上述模型，通过编程得出车载发射转置的转移路径。（在附件中有详细数据）

根据第一波模型和第二波模型的综合得出总模型建立如下：

$$find \quad L$$

$$\min L = L_{opt1} + L_{optz} + L_{opt2}$$

$$= \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{P} x_i L_{st} + \sum_{i}^{s}\sum_{t}^{p} x_{ij} L_{st} + \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{P} x_i L_{st}$$

When,

$$T_{min} = \min\{\|L_{opt1}.* W_l../v_i\| + \|L_{FZ}.* W_l../v_i\| + \|L_{opt2}.* W_l../v_i\|\}$$

$$s.t.\begin{cases} \sum_{i=1}^{M} x_i = \frac{N}{2} \\ \sum_{j=1}^{M} x_j = \frac{N}{2} \\ L_{ij} = l_1 + l_2 + \ldots + l_t \\ L_{sz} = l_1 + l_2 + \ldots + l_n \end{cases}$$

选择优化的判决路径

同时可以求出优化的整体暴露时间T_{min}。

发射车编号	第一次发射暴露时间（min）	发射点	装弹部署时间	装弹点	第二次发射暴露时间(min)
A01	90.7	34	26.0	7	28.5
A02	96.4	11	88.9	3	42.7
A03	96.5	10	92.0	8	46.5
A04	135.4	45	92.8	8	59.2
A05	136.2	47	137.6	4	63.6
A06	136.6	48	104.6	6	65.8
B01	71.5	54	34.0	6	39.6
B02	80.4	52	40.0	7	110.0
B03	82.7	53	46.2	7	113.7
B04	103.6	50	64.4	3	119.6
B05	108.4	49	86.4	3	124.2
B06	140.3	43	89.3	3	124.2

C01	55.8	32	37.2	6	51.7
C02	91.8	33	39.0	7	88.7
C03	103.2	55	63.0	3	117.6
C04	105.2	51	70.9	3	140.4
C05	141.7	57	72.6	5	142.7
C06	142.4	56	77.2	5	146.5
C07	143.2	58	95.0	7	149.8
C08	147.0	66	97.7	3	155.9
C09	151.6	65	110.5	3	166.3
C10	199.6	46	111.2	3	167.4
C11	207.9	42	122.5	4	174.6
C12	210.5	62	161.0	4	184.2

综上所述，我们可以看到 A,B,C 三类车载发射装置在第一波齐射时的行驶路径，在转载过程中经过的发射点与装弹点，通过计算以及 MATLAB 编程得出整体暴露的最短时间为 7745 分钟。

四. 问题二的分析与建模

4.1.问题分析

根据对问题二的理解，在除已布设的 6 个转载地域外，在道路节点附近临时增设 2 个转载地域（可选 J25、J34、J36、J42、J49）。为了使其他车载发射转置在发射后能够尽快地由发射点位抵达这两个增设的转载地域点，应该求出这 5 个转载地域到所有发射点（Z01~Z06）的最短暴露时间。由于 A、B、C 三辆转载装置在不同路径上的各自也速度不同，因此我们认为必须分解所经过路径上点与点之间的距离，使分解的路径距离除以三辆转载装置的行驶速度，就可以求到每小段路上的暴露时间。

以 J25、J34、J36、J42、J49 为起始点求到所有发射地点最短暴露时间，它们到全局发射地点的暴露时间就是评价它们是否能成为转载地点的依据。

4.2.模型建立与求解

由题意得转载地点的主要工作就是为完成第一波齐射任务的车载发射装置转载导弹，若要合理地在道路地点 J25、J34、J36、J42、J49 中选取 2 个道路地点作为转载地点，则必须考虑第一波齐射地点F_1和第二波齐射地点F_2到转载地点上关于暴露时间的关系。

为了使完成第一波齐射的车辆能够尽快地收敛到转载地点上，同时也使参与第二次齐射的车辆尽快抵达目标发射地点，减少不必要的暴露时间，则需要分别求出 J25、J34、J36、J42、J49 到所有发射地点最短暴露时间

由问题一的分析可得运用公式：

$$\mathrm{T}_{min} = \| L_Z.* W_l./v_i \|$$

求得在路径表W_l所产生的最短暴露时间T_{min}

综上所述，建立下述数学模型：

$$find \quad L_{opt}$$

Render

$$L_{opt} = min\{\sum_{i}^{s}\sum_{t}^{p} x_{ij}L_{ij}\}$$

$$s.t.\begin{cases} L_{ij} = l_1 + l_2 + \dots + l_t \\ L_{sz} = l_1 + l_2 + \dots + l_n \end{cases}$$

$$\mathrm{T}_{min} = \min\{\left\| L_{opt}.* W_l./v_i \right\|\}，\ \mathrm{i} = \mathrm{A,B,C}$$

其中

然后求出候选道路地点到 F01~F60 的所有最短暴露时间之和

$$\mathrm{T_{alex}（J_i）} = \min\{\left\| \sum_{l}^{F} L_{opt}.* W_l./v_i \right\|\}$$

编写程序，通过程序程序运行，统计出下表，描述了到每个道路地点 J 到全局发射地点的暴露时间：

表 4-1

J25	J34	J36	J42	J49
523.7446	495.5967	550.8485	546.2406	542.4037

显然其中具有最短暴露时间的两个转载地点是：J34 和 J25

结论：

可设临时装载区地点为: 'J25'　和 'J34'

'

五．问题三的分析与建模

5.1.问题分析

由题意可知，新增 3 台 C 类发射装置用于第二波次发射。这 3 台发射装置可事先选择节点 J04、J06、J08、J13、J14、J15 附近隐蔽待机。每一隐蔽待机点至多容纳 2 台发射装置。待第一波次导弹发射后，这 3 台发射装置代替已参加 3 第一波齐射的发射装置，并机动至发射点位参与第二波次的齐射。

为了简化问题，我们假定已参加第一次齐射的 3 台 C 类发射转置台在第一次齐射后立即退出战场，即假设原 3 台 C 类发射装置不会影响其他 A、B、C 类发射转置对战场区域道路的使用。通过已知作战区域道路示意图（图 1），可知战场区域中总共有 175 条道路，而车载发射转置只有 27（24+3）台，容易证得：

$$\log_2(175) \gg 27$$

所以只要这 3 台已参加第一波齐射的 C 类发射转置刻意避开其他发射转置正在或即将使用的道路，总可以找到一条不影响其他发射装置对战场区域道路的使用的路径。

5.2.模型建立与求解

在验证上述的假设可以成立后，我们继续对问题进行分析。可将问题简化为求：从道路节点 J04、J06、J08、J13、J14、J15 分别到其他发射地 F_2 的最短路径，其中发射地不得为第一波次的发射地 F_1，即满足：

$$F_2 \cap F_1 = \emptyset$$

即在排除第一波发射地点F_1的情况下，评价分别从道路节点 J04、J06、J08、J13、J14、J15 分别到其他发射地 F_2 的暴露时间总和，暴露时间越短越好。

即相当于求

$$W_{sum}(J, F_2) = w_1|w_2|\ldots|w_n$$

上式计算出了由所有道路节点 J 到所有发射地点F_2的路径逻辑之和。每个W_n表示了由道路节点J到发射地点F_2的最短路径的邻接矩阵。

$$\mathrm{T}_i = \|t_c.* W_{sum}(J, F_2)\|$$

η_i代表了路径w_i对终点的收敛的速率，

比较T_{J04}，T_{J06}，⋯，T_{J49}，其中对应暴露时间T_{sum}最短的 3 个就是所要选择的三个道路地点

通过编写相关程序，由实验仿真运行，求得：

表 5-1

J15	J15	J06	J14	…
0.708226	0.765998	0.807244	0.814466	…

从 J06 出发的一台 C 类发射装置和从 J15 出发的两台 C 类发射装置到达最快。J15 放两台，J06 放一台 C 类发射装置

六．问题四的分析与建模

6.1.问题分析

问题四要求结合作战区域道路示意图的特点并加上对敌我双方相互博弈这些因素的考虑来建立评价指标。我们不妨换位思考，站在敌方的角度考虑，进而问题则便成为根据作战区域道路的特点哪几个对方的道路节点最容易被攻破。看似敌我双方的一个身份互换，实则主动性以及问题的考虑方式则变得更为主观。

我们考虑到，由于采用随机分配的方法将导弹发射装置部署在待机地域，通过问题一和问题二所涉及的 Dijkstra 算法，利用其求出所有无向路线，统计出所有可能的路径，以此为突破口采取 Bellman 方程来解决此问题，在通过添加约束条件，得出最短距离在各种路线情况下，可以求出不同发射装置在进入下一个装弹点时难免会发现多辆导弹发射装置以相同装弹点为目的地，而且由于装弹点的容量限制问题，导致不能同时容下超过两辆以上的装载装置车辆，这时，在外等候的装载装置车辆暴露时间增长，容易遭到地方攻击，在假设敌方导弹发射成功率很高的情况下，此时的道路节点很容易成为攻击道路节点，以此为线索我们可以建立模型。

6.2.模型建立与求解

1.带禁忌列表的 Bellman 方程

按照逆向求解的思路从后至前依次分析。

（1）在第 n 波次的导弹火力打击任务中,从发射车当前的状态x_{2n-1}开始，根据发射点不重复的约束，采用策略$\pi=\{\mu_{2n-1},\mu_{2n}\}$只有在满足以下条件的时候才可行，

$$M_{2n+1}^{-1}\left(f(x_{2n},\mu_{2n})\right)=M_{2n-1}^{-1}(x_{2n-1})$$

也就是说$f(x_{2n},\mu_{2n})$和x_{2n-1}两个状态不能对应同一个 发 射 点. 令 禁 忌 列 表$L_T(x_{2n-1})=\{M_{2i+1}M_{2n-1}^{-1}(x_{2n-1}),i=1,2,\cdots,n\}$，也就是其他任意阶段中,与状态$x_{2n-1}$对应同一发射点的状态的集合。

可行的最优方案为

$$J_1(x_{2n-1})=inf\left\{g\big(x_{2n-1},\mu_{2n-1}(x_{2n-1})\big)+g\left(x_{2n},\mu_{2n}(x_{2n})-\lambda\big(L_T(x_{2n-1})\big)\right)\right\}$$

其中，x_{2n}= $f\big(x_{2n-1},\mu_{2n-1}(x_{2n-1})\big)$, $\lambda\big(L_T(x_{2n-1})\big)$是所有的执行后会使系统转移到$L_T(x_{2n-1})$中状态的控制决策变量集合。

记

$$J_2(x_{2n-1})＝infH\big(x_{2n-1},\mu_{2n-1}(x_{2n-1})\big)$$

$$=TH\big(x_{2n-1},\mu_{2n-1}(x_{2n-1})\big)\{\mu^*(x_{2n-1}),x_{2n+1}^*\}=argJ^*(x_{2n-1})$$

其中, $\mu^*(x_{2n-1})$是最优策略, x_{2n+1}^*是最优策略上第 2n+1 阶段的状态。

将最优策略$\mu^*(x_{2n-1})$上第 2n+1 阶段的状态x_{2n+1}^*对应同一个发射点的所有状态加入到禁忌列表，令禁忌列表

$L_T(x_{2n-1})=L_T(x_{2n-1})+\{M_{2i+1}M_{2n+1}^{-1}(x_{2n+1}^*),i=1,2,\cdots,n\}$。

（2）在第 n-1 波次的导弹火力打击任务中,从发射车的当前的状态x_{2n-3}开始,根据发射点不重复的约束,采用策略$\pi=\{\mu_{2n-1},\mu_{2n-2}\}$只有在满足以下条件的时候才可行，

$$M_{2n-1}^{-1}\big(f(x_{2n-2},\mu_{2n-2})\big)=M_{2n-2}^{-1}(x_{2n-2})$$

也就是说$f(x_{2n-2},\mu_{2n-2})$和(x_{2n-2}) 两个状态不能对应同一个发射点. 令禁忌列表$L_T(x_{2n-2})+\{M_{2i+1}M_{2n-2}^{-1}(x_{2n-2}),i=1,2,\cdots,n\}$,也就是其他任意阶段中,与状态$x_{2n-3}$对应同一发射点的状态的集合。

可行最优方案为

$$J_2(x_{2n-3})=inf\big\{g\big(x_{2n-3},\mu_{2n-3}(x_{2n-3})\big)+g\big(x_{2n-2},\mu_{2n-2}(x_{2n-2})\big)\big\}+J_1(x_{2n-1}^2)$$

其中,

$$\begin{cases}x_{2n-2}=f\big(x_{2n-3},\mu_{2n-3}(x_{2n-3})\big)\\\{\mu^*(x_{2n-1}),x_{2n-1}^*\}=argJ_1(x_{2n-1})\\\mu_{2n-2}(x_{2n-2})\in U(x_{2n-2})-\lambda(L_T)\end{cases}$$

其中, $\lambda(L_T)$是所有的执行后会使系统转移到L_T中状态的控制决策变量集合。

将最优策略 $\mu^*(x_{2n-3})$上第$2n-1$阶段的状x_{2n-1}^*对应同一个发射点的所有状态加入到禁忌列表，令 禁 忌 列 表$L_T(x_{2n-3})=L_T(x_{2n-2})+L_T(x_{2n-1}^*)$

（k）在第 n－k 波次的导弹火力打击任务中(k＝1,2, ••• ,n-1)从发射车的当前的状态$x_{2n-2k-1}$开始,根据发射点不重复约束,采用策$\pi=\{\mu_{2n-2k-1},\mu_{2n-2k}\}$只有在满足以下条件的时候才可行，

$$M_{2n-2k+1}^{-1}\left(f(x_{2n-2k},\mu_{2n-2k})\right)=M_{2n-2k-1}^{-1}(x_{2n-2k-1})$$

也就是说$f(x_{2n-2k},\mu_{2n-2k})$和$x_{2n-2k-1}$两个不能对应同一个发射点。令禁忌列表$L_T(x_{2n-2k-1})+\{M_{2i+1}M_{2n-2k-1}^{-1}(x_{2n-2k-1}),i=1,2,\cdots,n\}$,也就是其他任意阶段中,与状态$x_{2n-2k-1}$对应同一发射点的状态的集。

可行的最优方案为

$$\begin{aligned}J_{k+1}(x_{2n-2k-1})&\\&=inf\{g\left(x_{2n-2k-1},\mu_{2n-2k-1}(x_{2n-2k-1})\right)\\&+g\left(x_{2n-2k},\mu_{2n-2k}(x_{2n-2k})\right)\}+J_1(x_{2n-2k+1}^*)\end{aligned}$$

其中，

$$\begin{cases}x_{2n-2k}=f\left(x_{2n-2k-1},\mu_{2n-2k-1}(x_{2n-2k-1})\right)\\\{\mu^*(x_{2n-2k-1}),x_{2n-2k-1}^*\}=argJ_2(x_{2n-2k-1})\\\mu_{2n-2k}(x_{2n-2k})\in U(x_{2n-2k})-\lambda(L_T)\end{cases}$$

其中,$\lambda(L_T)$是所有的执行后会使系统转移到L_T中状态的控制决策变量集合。

将最优策略$\mu^*(x_{2n-2k-1})$上第$2n-2k-1$阶段的状态$x_{2n-2k+1}^*$对应的禁忌列表加入本级禁忌列表，令禁忌列表

$$(x_{2n-2k-1})=\ L_T(x_{2n-2k-1})+\ L_T(x_{2n-2k-1}^*)。$$

2.模型的建立

假设导弹发射车平时隐蔽待机，接收到多波次火力打击任务之后，要为每一辆发射车规划火力打击行动方案，具体包括一系列连续经过的发射点和导弹装载仓库，要求发射点不能重复，并且总路线的长度最短，这称为导弹火力打击行动规划问题。

设在网络 G ＝(V,E),V＝P＋D＋F＋C 上，其中，P 是发射车的平时隐蔽待机点的集合，待机点 pi∈P 的发射车的集合为 Li，每个发射车上的导弹数量为一个单位，D 是导弹仓库的集合，导弹仓库 di∈D 的导弹数量为|di|个单位,发射点的集合为 F，普通道路节点的集合为 C，E 是网络的边集。下面建立导弹火力打击行动规划问题的抽象动态规划模型

假设导弹火力打击任务的波次数为 n，则令系统的阶段数为 2n+2。令 X 代表系统的状态集合，xk∈X 代表发射车第 k 阶段的状态，Xk ⊂X 代表第 k 阶段状态的集合。

第 0 阶段的状态为 $X_0=\{s\}$,是一个虚拟的状态,是产生计算的起点;

第 1 阶段的状态集合为 $X_1=M_1(P)$,其中,$M_1:P\rightarrow X_1$ 是一个停车场点到第 1 阶段状态的一一映射;

第 2 阶段的状态集合为 $X_2=M_2(D)$,其中,$M_2:D\rightarrow X_2$ 是一个导弹仓库点到第 2 阶段状态的一一映射;

第 3 阶段的状态集合为 $X_3=M_3(F)$,其中,$M_3:F\rightarrow X_3$ 是一个发射点到第 3 阶段状态的一一映射;

......;

第 2i($n>i\geq 2$)阶段的状态集合为 $X_{2i}=M_{2i}(D)$,其中, $M_{2i}:D\rightarrow X_{2i}$ 是一个导弹仓库点到第 2i 阶段状态的一一映射;

第 2i+1($n>i\geq 2$)阶段的状态集合为 $X_{2i+1}=M_{2i+1}(F)$,其中,$M_{2i+1}:F\rightarrow X_{2i+1}$ 是一个发射点到第 2i+1 阶段状态的一一映射;

第 2n+2 阶段,也就是最后一个阶段的状态为 $X_{2n+2}=\{e\}$.令 U 代表系统的决策变量集合.u_k 代表第 k 阶段可以采用的某个决策变量.记 $U(x)\subset U$ 为状态 x 可取的决策变量集合。记 $g(x_k,u_k)$为在状态 x_k 采用决策 u_k 的时候所需要经历的最短距离。

记 M 函数$\mu:X\rightarrow U$ 的集合,对$\forall x\in X$,均有$\mu(x)\in U(x)$.

从状态 x_0 开始,采用策略$\pi=\{\mu_0,\mu_1,....\}$的距离为

$$J_\pi(x_0)=\sum_{k=0}^{n} g(x_k,\mu_k(x_k))$$

其中,状态序列 $\{x_k\}$是由以下系统的状态转移方程产生

$$x_{i+1}=f(x_k,\mu_k(x_k)),k=0,1,\ldots$$

系统的目标是寻找最优策略 π,使得总的距离最短,因此,系统的目标函数为

$$J^*(x)=\inf_{\pi\in\Pi} J_\pi(x)\,,x\ \in X$$

根据 Bellman 方程,有以下递推关系

$$J^*(x)=\inf_{\pi\in\Pi}\{g(x,u)+J^*(f(x,u))\}\,,\forall\, x\in X$$

最优策略(也称为最优性条件为

$$\mu^*(x)\in\ \arg\min_{x\in X(s)}\{g(x,u),J^*(f(x,u))\}\,,\forall\, x\in X$$

记

$$\mathrm{H}(x,u,\mathrm{J})=\mathrm{g}(x,u)+J^*(f(x,u)),x\in X,u\in U(x)$$

对于任一策略$u \in$M 定义映射T_μ: R(X)→R(X)为

$$\left(T_\mu J\right)(x) = H(x, \mu(x), J), \forall\, x \in X, J \in R(X)$$

定义映射T 为:

$$(TJ)(x) = \inf_{\mu \in U(x)} \mathrm{H}(x, u, \mathrm{J}) = \inf_{\mu \in M} (T_\mu J)(x)$$
$$\forall\, x \in X, J \in R(X)$$

对于某函数$J \in R(X)$,以及非静态策略π ={μ_0, μ_1,....},对于任一整数 N≫1,定义函数:

$$J_{\pi,N}(x) = \left(T_{\mu_0}, T_{\mu_2}, \cdots, T_{\mu_{N-2}} J\right)(x), x \in X$$

1.模型求解

导弹部队在隐蔽在待机地域 D_1 和 D_2，每一波次发射 24 个导弹，每一个火力单元需要通过网络机动到某一个发射点 F_i 进行发射，然后进入装载区域进行装弹，再进入下一个发射点进行第二波次导弹发射，在前几题的问题背景下可以得出同一个发射点不会被重复利用。给出以下作战区域网络图中的节点坐标。

表 6-1 作战区域网络节点坐标图

要素编号	X 坐标（单位：km）	y 坐标（单位：km）	要素编号	X 坐标（单位：km）	y 坐标（单位：km）
1	121	8	66	170	17
2	193	137	67	201	22
3	205	92	68	224	20
4	159	62	69	237	137
5	143	38	70	232	127
6	108	80	71	204	119
7	55	38	72	188	100
8	62	105	73	168	94
9	135	142	74	143	74
10	127	143	75	117	67
11	124	129	76	122	48
12	115	130	77	108	38
13	105	130	78	102	23
14	108	145	79	99	3

15	90	145	80	170	145
16	72	142	81	150	133
17	60	139	82	140	120
18	70	121	83	105	108
19	100	121	84	85	92
20	53	132	85	63	73
21	37	127	86	53	57
22	25	120	87	37	41
23	15	115	88	18	37
24	7	105	89	130	135
25	28	106	90	110	139
26	24	90	91	93	138
27	45	90	92	66	132
28	49	82	93	86	122
29	16	76	94	49	123
30	15	70	95	18	108
31	14	56	96	37	91
32	168	126	97	44	74
33	165	117	98	24	75
34	165	105	99	23	57
35	145	113	100	175	132
36	132	100	101	175	115
37	130	94	102	155	105
38	130	80	103	140	105
39	110	100	104	137	87
40	114	90	105	106	94
41	95	90	106	102	72
42	95	77	107	77	79
43	106	63	108	83	65
44	86	75	109	58	47
45	72	70	110	93	45
46	74	60	111	33	29
47	79	53	112	58	24
48	68	46	113	80	30
49	46	20	114	80	13
50	59	15	115	234	118
51	77	5	116	220	110
52	240	127	117	168	83
53	240	107	118	193	78
54	230	100	119	149	68
55	220	98	120	143	55
56	158	77	121	195	60
57	176	75	122	164	50

58	206	77	123	183	50
59	184	62	124	221	54
60	215	62	125	165	40
61	227	64	126	178	33
62	206	46	127	196	39
63	231	49	128	226	43
64	232	37	129	160	18
65	148	15	130	214	23

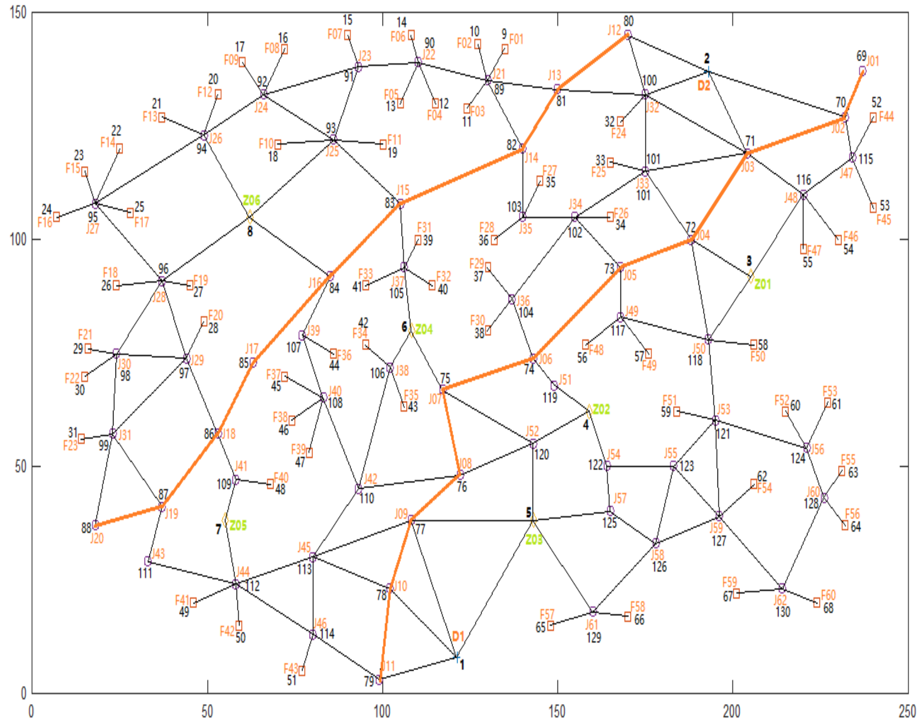


图 6.1 网络中各点的位置及网络结构

根据第一个问题和第二个问题可知，算法首先根据点平面之间的坐标求两点直线间的直观直线距离，然后再根据所求得的距离进行比较，并计算出任意两点之间直线的最短距离。通过比较得出多种路径方案，得出此问题下的多阶段网络流模型图。

我们由第一个问题和第二个问题可以得到第一次发射导弹和第二次发射导弹的战略路径以及转载装弹区域的部署图，通过装弹部署图我可以更加直观的观察各运载装置的行进路线以及在最短路径的前提下所作出的战略调整以及在不同道路节点不同装载车辆的通过次数，由第一个问题可得装弹部署图如下：

（1） 第一波次发射

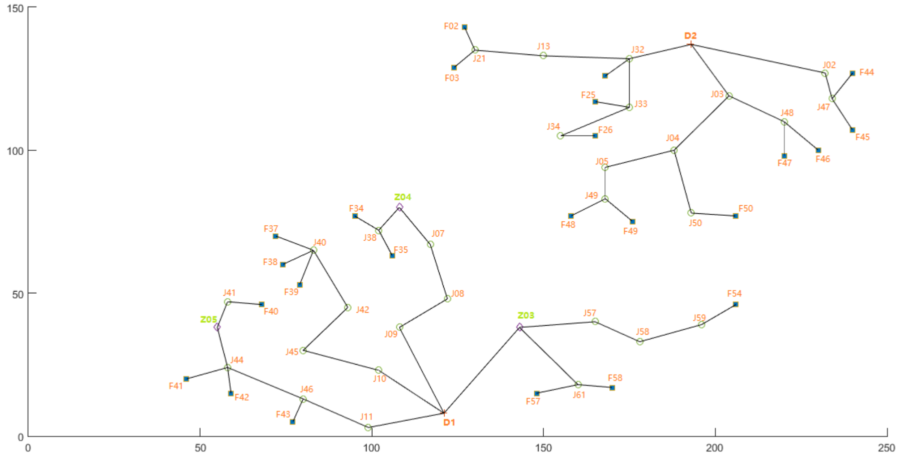


图 6.2

（2） 转载地域

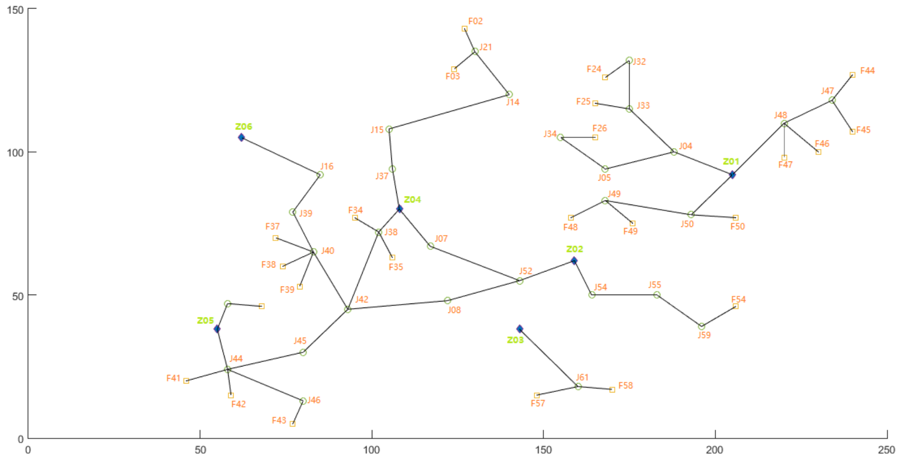


图 6.3

（3） 第二波次发射

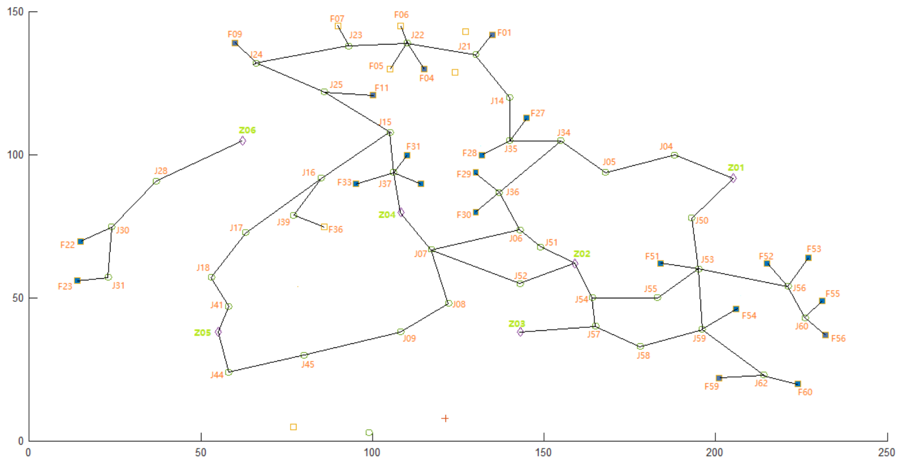


图 6.4

由上图可知，在这样一个网络模型图当中，所采取的最小距离流是对应的是多波次导弹发射装置行动最优方案。这样，多波次导弹的最优行动规划问题就转化为最短距离的增广链如问题一所示，通过表 3-3 和表 3-4 可得发射装置的主要分布区域以及道路主干。

显然，要想找出最可能受到敌方攻击的三个道路节点，我们考虑到两个必要因素。一个是该道路节点是大量发射装置必经的一个路径，也就是说，在有效控制最短暴露时间的同时有大量发射装置选择经过此节点。二是在减小单车暴露时间的同时，在选择最短路径的同时，必须要经历的道路节点。以此，我们结合图和 MATLAB 程序统计出 3 个道路节点，以此作为最可能受到敌方攻击的 3 个道路节点。

综上所述，最有可能受到敌方攻击的 3 个道路节点为 J07，J35 和 J53。

七. 问题五的分析与建模

7.1.问题分析

根据问题五我们了解到在既要考虑到整体暴露时间尽可能短又要考虑到缩短单台发射装置的最长暴露时间，这是一个双重规划的问题，也可以理解为条件概率事件。当然，我们还是利用问题一中所利用到的 Dijkstra 算法以及 0-1 规划模型，在第一问的结果与设计的模型做进一步的修改已到达题目所要求的目的。将问题一中 A、B、C 三类发射装置的数量分别为 6 台、6 台、12 台，执行任务前平均部署在 2 个待机地域（D1，D2）这一机动方案整改为三类发射装置不分类型随机分布在 2 个待机地域（D1，D2）的假设，这样既满足了分散部署机制，又可以对单台发射装置进行路径选择和暴露时间的计算。

7.2.模型建立与求解

我们假设 24 辆发射装置不按照 A、B、C 三个种类平均分配而是按照所有为一个整体随机分配在 D1 和 D2 两个待机区域。以随机的方式进行分配部署。

对于第一波次，它的目标、条件都与问题一一样，所以我们拟采用问题一的 Dijkstra 算法和 0-1 规划模型，可能求出使第一波次单台发射装置最大暴露时间和第一波次暴露时间最短的方案。但是注意：此时的 A、B、C 三个种类的发射装置并不是单独平均分配在 D1 和 D2 两个待机区域，虽然方法相同，但是在数据处理上面还是有不同之处的。

根据题目要求，我们使用跟问题一一样的算法和模型，利用 MATLAB 软件来设计程序（程序在附录已有标注），求出每个点到各待机地域的最短距离。因为方法和原理算法相同，我们就不再一一赘述了，这里我们直接给我仿真后路线图已经用 MATLAB 软件处理之后的一些数据。

7.2.1.对于第一波发射：

（1）通过 MATLAB 仿真得出仿真路线图如下：

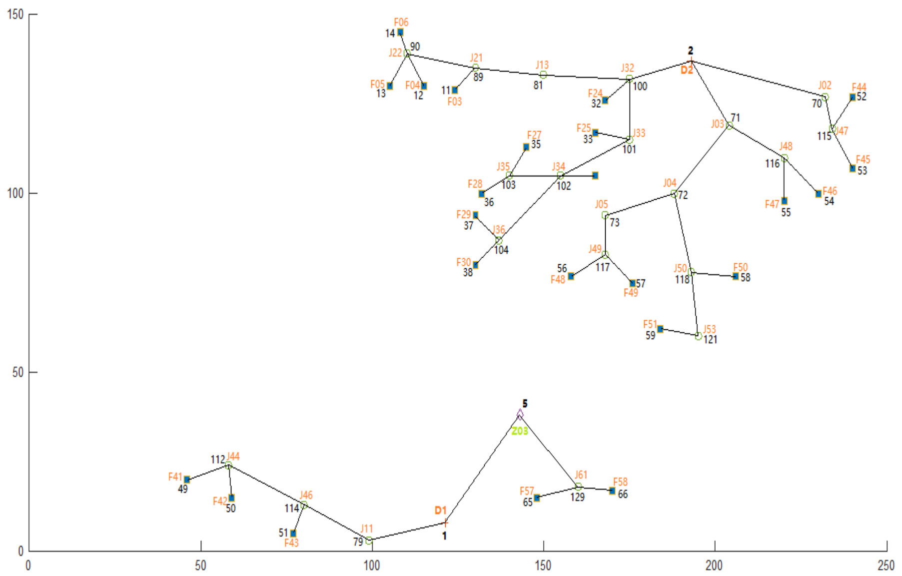


图 7.1 第一次发射路径仿真图

（2）由图可知，不同的路线总结如下

表 7-1 第一波发射路线表

A01	D2	J32	J33	J34	J35	F27		
A02	D2	J32	J33	J34	J35	F28		
A03	D2	J03	J04	J50	J53	F51		
A04	D2	J32	J13	J21	J22	F06		
A05	D2	J32	J33	J34	J36	F29		
A06	D2	J32	J33	J34	J36	F30		
B01	D1	Z03	J61	F58				
B02	D1	Z03	J61	F57				
B03	D1	J11	J46	J44	F42			
B04	D1	J11	J46	J44	F41			
B05	D2	J32	J13	J21	J22	F04		
B06	D2	J32	J13	J21	J22	F05		
C01	D2	J32	F24					
C02	D2	J32	J33	F25				
C03	D2	J03	J48	F47				
C04	D1	J02	J46	F43				
C05	D2	J02	J48	F46				
C06	D2	J32	J47	F44				
C07	D2	J02	J47	F45				
C08	D2	J32	J33	J34	F26			

C09	D2	J03	J04	J05	J49	F49		
C10	D2	J03	J04	J05	J49	F48		
C11	D2	J03	J04	J50	F50			
C12	D2	J32	J13	J21	F03			

7.2.2.对于第二波发射：

（1）我们通过 MATLAB 仿真得到在转载地域的仿真图：

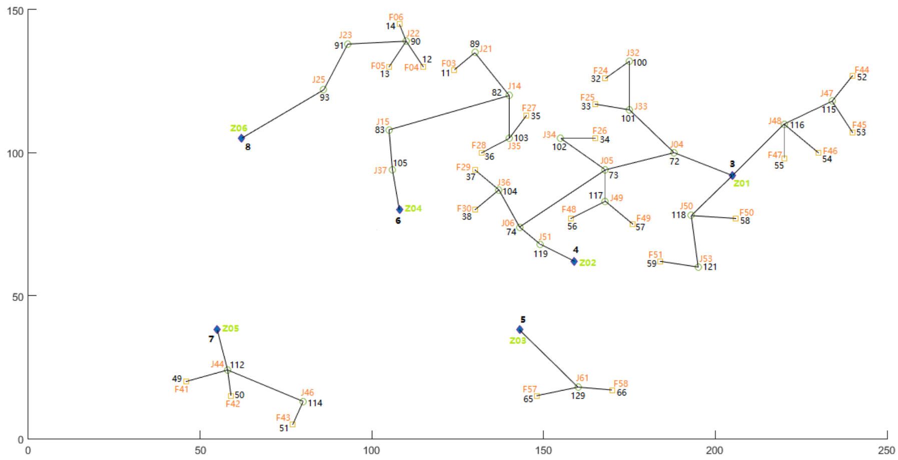


图 7.2 第一次发射后在转载地域路径仿真图

（2）随后得出第二波次发射路径仿真图：

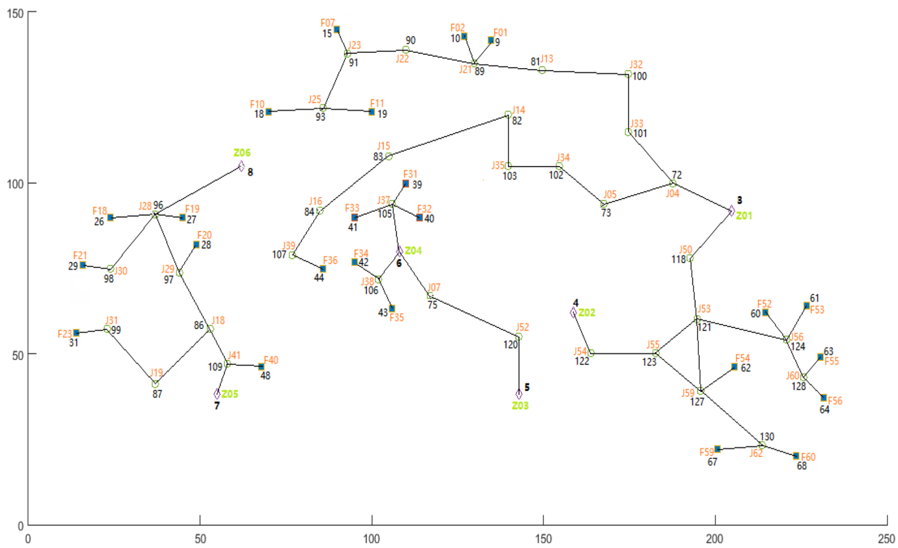


图 7.3 第二次发射路径仿真图

（3）通过分析仿真图我们可以将路线归纳如下：

表 7-2 第二波发射路线表

A01	D2	J35	J14	J15	J37	Z04	F32						
A02	D2	J35	J14	J15	J37	Z04	F33						
A03	D2	J53	J50	Z01	J04	J05	J34	J35	J14	J15	J16	J39	F36
A04	D2	J22	J23	J25	Z06	J28	J30	F21					
A05	D2	J36	J06	J51	Z02	J54	J55	J53	J56	J60	F56		
A06	D2	J36	J06	J51	Z02	J54	J55	J53	J56	J60	F55		
B01	D1	J61	Z03	J52	J07	Z04	J38	F34					
B02	D1	J61	Z03	J52	J07	Z04	J38	F35					
B03	D1	J44	Z05	J41	J18	J19	J31	F23					
B04	D1	J44	Z05	J41	J18	J29	F20						
B05	D2	J22	J23	J25	Z06	J28	F18						
B06	D2	J22	J23	J25	Z06	J28	F19						
C01	D2	J32	J33	J04	Z01	J04	J33	J32	J13	J21	J22	J23	J25	F10
C02	D2	J32	J33	J04	Z01	J04	J33	J32	J13	J21	J22	J23	J25	F11
C03	D2	J48	Z01	J04	J33	J32	J13	J21	J22	J23	F07			
C04	D1	J46	J44	Z05	J41	F40								
C05	D2	J48	Z01	J04	J33	J32	J13	J21	F01					
C06	D2	J47	J48	Z01	J04	J33	J32	J13	J21	F02				
C07	D2	J47	J48	Z01	J50	J53	J59	F54						
C08	D2	J34	J05	J04	Z01	J50	J53	J56	F52					
C09	D2	J49	J05	J06	J51	Z02	J54	J55	J59	J62	F59			
C10	D2	J49	J05	J06	J51	Z02	J54	J55	J59	J62	F60			
C11	D2	J50	Z01	J50	J53	J56	F53							
C12	D2	J21	J14	J15	J37	Z04	J37	F31						

（4）由问题一可得，

根据第一波模型和第二波模型的综合得出总模型建立如下：

$$find \quad L$$

$$\min L = L_1 + L_2 = \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{P} x_i L_{st} + \sum_{i=1}^{S}\sum_{t=1}^{P} x_i L_{st}$$

$$s.t.\begin{cases}\sum_{i=1}^{M} x_i = \frac{N}{2} \\ \sum_{j=1}^{M} x_j = \frac{N}{2} \\ L_{ij} = l_1 + l_2 + \ldots + l_t \\ L_{sz} = l_1 + l_2 + \ldots + l_n \end{cases}$$

表 7-3 单车对应的各阶段暴露时间表

发射车编号	第一次发射暴露时间（min）	发射点	装弹部署时间	装弹点	第二次发射暴露时间(min)
A01	109.8	35	59.4	4	59.4
A02	109.8	36	59.4	4	59.4
A03	118.5	59	63.6	3	63.6
A04	120.6	14	93.6	8	76.4
A05	124.8	37	102.2	6	76.4
A06	124.8	38	102.2	6	78.6
B01	97.8	66	40.1	7	55.2
B02	100.8	65	46.2	7	59.4
B03	103.8	50	62.4	5	62.9
B04	108.6	49	66.2	5	71.4
B05	126.2	12	127.2	8	74.5
B06	126.2	13	127.2	8	77.9
C01	55.8	32	46.8	3	98.7
C02	91.8	33	63.3	3	101.4
C03	103.2	55	75.4	3	103.2
C04	105.2	51	77.4	3	106.2
C05	107.4	54	94.8	7	109.2
C06	120.6	52	100.8	3	112.8
C07	124.2	53	104.4	3	114.6
C08	136.2	34	123.4	4	119.4
C09	141.6	57	124.2	4	122.4
C10	142.2	56	129.6	3	123.6
C11	143.4	58	133.2	3	128.7
C12	144.6	11	147.2	6	129.2

（备注：发射点和装弹点数字对应的对象请参考表 3-1）

通过 MATLAB 软件计算，得出在随机分布 24 辆的发射装置至两个待机域得出的最终单车最短暴露时间约为 427 分钟，则整体最短暴露时间约为 10248 分钟。（具体计算数据和程序已在附件中给出）

同理，我们观察数据并进行归纳和整理，得到以下数据

表 7-4 不同发射车所对应的第一波发射点以及转载地域

发射车编号	第一波发射点编号	转载地域
A01	F27	Z04
A02	F28	Z04
A03	F51	Z01
A04	F06	Z06
A05	F29	Z02
A06	F30	Z02
B01	F58	Z03
B02	F57	Z03
B03	F42	Z05
B04	F41	Z05
B05	F04	Z06
B06	F05	Z06
C01	F24	Z01
C02	F25	Z01
C03	F47	Z01
C04	F43	Z05
C05	F46	Z01
C06	F44	Z01
C07	F45	Z01
C08	F26	Z01
C09	F49	Z02
C10	F48	Z02
C11	F50	Z01
C12	F03	Z04

转载地域	个数
Z01：	9
Z02：	4
Z03：	2
Z04：	3
Z05：	3
Z06：	3

表 7-5 24 辆发射装置经过各转载地域的次数

由此可见，各发射车经过转载地域 Z01 的次数高达 9 次，数量最多。以此可以给出机动方案在控制单车和整体暴露时间的同时，尽量不要部署大量发射点在作战区域战略图的上半部分，可以适当部署发射装置转移至靠近中部的发射点，这样可以尽可能躲避敌方的的攻击。

八．结论与分析

文章主要对实际问题进行了一定的分析和简化，建立的模型也简单明了，再通过 MATLAB 软件对问题进行了更进一步的分析，并且根据题目所给要求考虑的要素也比较全面。通过 Dijkstra 算法以及 0-1 规划模型的通用性，解决我们对大量数据分析和处理。使之在不同情况下问题得到了有效的解决，面对特殊情况下的问题，我们也给予了充分的考虑和想法，尽量呈现出一个完整有效的解决方案。针对多波次导弹的发射问题，模型将整个任务按照波次进行划分，并考虑当前波次对后续波次的影响，使得实验结果的精确度更高，追求的误差更小。根据可行性方案的数量及其解空间的大小对问题进行区分，采用不同的求解方案，从而实现高效高质量求解。

根据问题解决要分多个阶段来考虑的特点，在求解过程中针对导弹齐射问题，为了减少整体暴露时间，安排运载装置从出发地域按路径长短分批出发，从而减少了其在发射区等待，使结果相对更优。当然，由于我们将目标函数定义为最短距离，可能存在对运载装置运输途中忽略了其等待时间，以及所谓的会车问题，从而导致最后模型的解决方案不是最优。由于时间问题，我们将会在后续的研究当中进行更深层次的探究，并作出相对优化过后的模型设计。对于问题当中的有效规划路径的问题，也必将成为我们下一步研究的重要方向。

九．模型评价

9.1.模型的优缺点

优点：本文用 MATLAB 软件对 Dijkstra 算法进行了仿真与优化，对大量数据进行了处理，适合在大数据下对最短路径的选择以及处理，提供了很大的方便。运用 0-1 规划模型简单明了的对选取的变量进行采用和舍去的处理，在不影响整体结果的情况下大大减少了计算量以及简化了对大量数据的处理方式，也使结果更加地清晰明朗。

不足：由于军事战场的各种复杂性，使得该模型不能充分考虑到战场上所出现的各种突如其来的动态变化。我们只是单方面假设了几种特定情况下战略部署安排以及规划路径的选择，对于各种情况下的模型没有做到很好的完善，希望在以后可以对此进行不断优化和调整。

9.2.模型的期望

中国作为军事大国，不断开发和探索不同情形下的军事部署规划，我们也为此深感骄傲，同时也期待祖国更加强大更加繁荣。希望本文所涉及到的模型能在一定程度上对祖国的军事发展上能起到一丝丝的促进作用，让我们从心底为祖国未来的发展而感到自豪！

参考文献

[1]隋树林，数学建模教程[M].北京：化学工业出版社，148-149、90-94，2015.2
[2]季青梅，辛文芳，多波次导弹火力打击任务研究[J].信息技术与信息化,122-123,2017
[3]宋志华,张晗,惠晓滨,张发,导弹作战行动网络流模型及动态规划算[J].解放军理工大学学报:自然科学版,2-3,2017
[4]金宏，余跃，张如飞，常规导弹联合火力打击统一分配模型[J].火力与指挥控制,2014
[5]卜广志,张斌,师帅,战术导弹对机场跑道多波次打击时的瞄准点选择方法[J].火力与指挥控制,2014,39（11）：64-71
[6]舒长胜，孟庆德，舰炮武器系统应用工程基础[M].国防工业出版社，2014
[7]曾家有,基于航路规划的反舰导弹发射顺序和间隔研究[J].航天控制,22-25，2009
[8]杨飞等，实施饱和攻击的反舰导弹武器目标分配[J].系统仿真学报，316-320,2011

附件：

```
%solvemap.mat
%%solvemap 针对问题 1
clear all;clc;
load mymap.mat;
w=xlsread('map.xlsx');
%w 为有径矩阵
w(isnan(w))=0;
Temp=[D;Z;F;J];
figure(1);
plot(D(:,1),D(:,2),'+');
hold on;
plot(F(:,1),F(:,2),'s');
hold on
plot(Z(:,1),Z(:,2),'d');
hold on
plot(J(:,1),J(:,2),'o');
hold on;


dist=inf(130);
for i=1:1:130
    for j=1:1:130
        if w(i,j)>0;
           x=[Temp(i,1),Temp(j,1)];
           y=[Temp(i,2),Temp(j,2)];
           %点到点距离矩阵 dist

dist(i,j)=sqrt((Temp(i,1)-Temp(j,1))^2+(Temp(i,2)-Temp(j,2))^2);%所有
连线点的距离
           plot(x,y,'k');
        end
        if i==j
            dist(i,j)=0;
        end
        clear x y;
    end
end
clear i j;



Va=45.*ones(130);
```

```
Vb=35.*ones(130);
Vc=30.*ones(130);
%Va，b，c 重新赋主干道
for i=69:1:78
    Va(i,i+1)=70;
    Vb(i,i+1)=60;
    Vc(i,i+1)=50;
end
clear i;

for i=80:1:87
    Va(i,i+1)=70;
    Vb(i,i+1)=60;
    Vc(i,i+1)=50;
end
clear i;


%第一波发射阶段
%出发地为 D1

%D1 到发射台 i
for i=9:1:68
        if i==9
            [distance1,path1] = mydijkstra(dist,1,i);%使用 dijkstra
%             distance1=[distance1,zeros(1,130-length(distance1))];
            path1=[path1,zeros(1,130-length(path1))];
        else
            [~,p]=mydijkstra(dist,1,i);
%             d=[d,zeros(1,130-length(d))];
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
%             distance1=[distance1;d];
            path1=[path1;p];
        end
end
clear p d;
% [distance path] = mydijkstra(dist,1,42);

%出发地为 D2 到发射台 i
for i=9:1:68
        if i==9
            [distance2,path2] = mydijkstra(dist,2,i);%使用 dijkstra
%             distance2=[distance2,zeros(1,130-length(distance2))];
            path2=[path2,zeros(1,130-length(path2))];
```

```
        else
            [~,p]=mydijkstra(dist,2,i);
%              d=[d,zeros(1,130-length(d))];
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
%              distance2=[distance2;d];
            path2=[path2;p];
        end
end
clear p d;

%distance为起点到终点的全局距离
distance=[distance1;distance2];
path=[path1;path2];
clear distance1 distance2 path1 path2 i;


newpath=path(any(path'),:);%删除全为0行
newpath=newpath(:,any(newpath));%删除全为0列
[m,n]=size(newpath);
xlswrite('selpath.xls',newpath)
fprintf('有%d条路径可供选择，请打开selpath.xlsx文件查看\n',m);

%ABC分别在点-点距离矩阵行驶时间矩阵
ta=dist./Va;tb=dist./Vb;tc=dist./Vc;

%创建深度为60层的矩阵wp，每一层代表一个最短路径方案,wp(:,:,:)=1选路
wp=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if newpath(i,j+1)~=0
            wp(newpath(i,j),newpath(i,j+1),i)=1;
        end
    end
end
clear i j path;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%


%%%%%%前往第一波导弹发射区%%%%%%%%
%A类车
for k=1:1:m
    a=ta.*wp(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    tta(:,:,k)=a;
```

```
    tTa(1,k)=sum(sum(tta(:,:,k)));
    clear a;
end

%Ta为A种车使用方案Ia时的最短时间
[Ta,Ia]=sort(tTa);
a=[Ta;Ia];
xlswrite('第一波发射timetable.xls',a,1);
clear a;


%B类车
for k=1:1:m
    a=tb.*wp(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    ttb(:,:,k)=a;
    tTb(1,k)=sum(sum(tta(:,:,k)));
    clear a;
end

%Tb为B种车使用方案Ib时的最短时间
[Tb,Ib]=sort(tTa);
b=[Tb;Ib];

xlswrite('第一波发射timetable.xls',b,2);
clear b;


%C类车
for k=1:1:m
    a=tc.*wp(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    ttc(:,:,k)=a;
    tTc(1,k)=sum(sum(ttc(:,:,k)));
    clear a;
end

%Tc为C种车使用方案Ic时的最短时间
[Tc,Ic]=sort(tTc);
c=[Tc;Ic];

xlswrite('第一波发射timetable.xls',c,3);
clear c;
```

```
clear i k m n;



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%数据人工处理%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%前往装载导弹区 Z          %%%%%%%%%%%%%%%
%发射台 firstshot(i,3)到装弹区 j
firstshot=[xlsread('firstshot_1.xlsx',1);xlsread('firstshot_1.xlsx',2
);xlsread('firstshot_1.xlsx',3)];



for i=1:1:24
    for j=3:1:8
        if i==1&&j==3
            [distance1,path1] = mydijkstra(dist,firstshot(i,3),j);%使
用 dijkstra
            path1=[path1,zeros(1,130-length(path1))];
        else
            [d,p]=mydijkstra(dist,firstshot(i,3),j);
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
            distance1=[distance1;d];
            path1=[path1;p];
        end
    end
end
clear p d;
path1=path1(:,any(path1));%删除全为 0 列

%%%%%%%%%%%%%%%%%5
%发射台 i 到装弹区 j 的路径为 path1，全局实际距离 distance1
for i=1:1:24
    x(1,i)=Temp(firstshot(i,3),1);
    y(1,i)=Temp(firstshot(i,3),2);
end
% 第一波发射部署图
figure('name','第一次发射部署图');
scatter(x,y,'s','filled');
axis([0 250 0 150]);
clear x y;
hold on;


plot(D(:,1),D(:,2),'+');
```

```
hold on;
plot(F(:,1),F(:,2),'s');
hold on
plot(Z(:,1),Z(:,2),'d');
hold on
plot(J(:,1),J(:,2),'o');
hold on;

w1=zeros(130);
for k=1:24
    w1=w1+wp(:,:,firstshot(k,1));
end
for i=1:130
   for j=1:130
        if w1(i,j)>0;
                x=[Temp(i,1),Temp(j,1)];
                y=[Temp(i,2),Temp(j,2)];
                plot(x,y,'k');
        end
    end
end
clear x y w1 k i j;


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%创建深度为 144 层的矩阵 wpath，每一层代表一个最短路径方案,wp(:,:,:)=1
选路
[m,n]=size(path1);
wp1=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if path1(i,j+1)~=0
            wp1(path1(i,j),path1(i,j+1),i)=1; %有向路径
        end
    end
end
clear i j m n;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%A 类,fta 每段路，fTa 是方案 k 时的全局时间
for k=1:1:36
    a=ta.*wp1(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
```

```
    fta(:,:,k)=a;
    fTa(1,k)=sum(sum(fta(:,:,k)));
    clear a;
end

%Ta1 为 A 种车使用方案 Ia1 时的最短时间
[Ta1,Ia1]=sort(fTa);
a=[Ta1;Ia1];
xlswrite('newtime1.xls',a,1);
clear a;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%B 类,ftb 每段路，fTb 是方案 k 时的全局时间
for k=37:1:72
    a=tb.*wp1(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    ftb(:,:,k)=a;
    fTb(1,k)=sum(sum(ftb(:,:,k)));
    clear a;
end

%Tb1 为 B 种车使用方案 Ib1 时的最短时间
[Tb1,Ib1]=sort(fTb);
a=[Tb1;Ib1];
xlswrite('newtime1.xls',a,2);
clear a;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%C 类,ftc 每段路，fTc 是方案 k 时的全局时间
for k=73:1:144
    a=tc.*wp1(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    ftc(:,:,k)=a;
    fTc(1,k)=sum(sum(ftc(:,:,k)));
    clear a;
end

%Tb1 为 B 种车使用方案 Ib1 时的最短时间
[Tc1,Ic1]=sort(fTc);
a=[Tc1;Ic1];
xlswrite('newtime1.xls',a,3);
clear a k;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%%%%第二波导弹发射
armloadtime=[xlsread('armloadtime_1.xlsx',1);xlsread('armloadtime_1.x
lsx',2);xlsread('armloadtime_1.xlsx',3)];


for i=1:1:24
    x(1,i)=Temp(armloadtime(i,3),1);
    y(1,i)=Temp(armloadtime(i,3),2);
end


%%装弹部署图
figure('name','装弹部署图');
scatter(x,y,'d','filled');
axis([0 250 0 150]);
hold
clear x y;

plot(D(:,1),D(:,2),'+');
hold on;
plot(F(:,1),F(:,2),'s');
hold on
plot(Z(:,1),Z(:,2),'d');
hold on
plot(J(:,1),J(:,2),'o');
hold on;


w1=zeros(130);
for k=1:24
    w1=w1+wp1(:,:,armloadtime(k,1));
end

w1(10,89)=1;
w1(32,100)=1;
w1(101,100)=1;
w1(46,108)=1;
for i=1:130
   for j=1:130
        if w1(i,j)>0;
               x=[Temp(i,1),Temp(j,1)];
               y=[Temp(i,2),Temp(j,2)];
               plot(x,y,'k');
```

```
        end
    end
end
clear x y w1 k i j;


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%注意 firstshot(:,3)是不能用的点 continue
clear path2 distance2
for i=3:1:8
    for j=9:1:68
        flag=0;
        for k=1:1:24
            if j==firstshot(k,3)
                flag=1;
                break;
            end
        end
        if flag==0
            if i==3&&j==9
                [distance2,path2]  =  mydijkstra(dist,i,j);%  使  用
dijkstra
                path2=[path2,zeros(1,130-length(path2))];
            else
                [d,p]=mydijkstra(dist,i,j);
                p=[p,zeros(1,130-length(p))];
                distance2=[distance2;d];
                path2=[path2;p];
            end
        end
    end
end
clear d p flag;
path2=path2(:,any(path2));%删除全为 0 列

%创建深度为 228 的矩阵 wpa2，每一层代表一个最短路径方案,wp2(:,:,:)=1 选
路
[m,n]=size(path2);
wp2=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if path2(i,j+1)~=0
            wp2(path2(i,j),path2(i,j+1),i)=1; %有向路径
```

```
        end
    end
end
clear i j m n;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%注意 k 的分配还未确定
%A 类,fta 每段路，fTa 是方案 k 时的全局时间
for k=1:1:216
    a=ta.*wp2(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    eta(:,:,k)=a;
    eTa(1,k)=sum(sum(eta(:,:,k)));
    clear a;
end

%Ta2 为 A 种车使用方案 Ia2 时的最短时间
[Ta2,Ia2]=sort(eTa);
a=[Ta2;Ia2];
xlswrite('newtime2.xls',a,1);
clear a;
%
%%B 车
%B 类,ftb 每段路，fTb 是方案 k 时的全局时间
for k=1:1:216
    a=tb.*wp2(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    etb(:,:,k)=a;
    eTb(1,k)=sum(sum(etb(:,:,k)));
    clear a;
end

%Tb1 为 B 种车使用方案 Ib1 时的最短时间
[Tb2,Ib2]=sort(eTb);
a=[Tb2;Ib2];
xlswrite('newtime2.xls',a,2);
clear a;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%C 类,ftc 每段路，fTc 是方案 k 时的全局时间
for k=1:1:216
    a=tc.*wp2(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    etc(:,:,k)=a;
    eTc(1,k)=sum(sum(etc(:,:,k)));
```

```
    clear a;
end

%T1 为B 种车使用方案 Ib1 时的最短时间
[Tc2,Ic2]=sort(eTc);
a=[Tc2;Ic2];
xlswrite('newtime2.xls',a,3);
clear a k;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
secondshot=[xlsread('secondshot.xlsx',1);xlsread('secondshot.xlsx',2)
;xlsread('secondshot.xlsx',3)];
for i=1:1:24
    x(1,i)=Temp(secondshot(i,3),1);
    y(1,i)=Temp(secondshot(i,3),2);
end
%%第二次发射部署图
figure('name','第二次发射部署');
scatter(x,y,'s','filled');
axis([0 250 0 150]);
hold on;
clear i x y;

plot(D(:,1),D(:,2),'+');
hold on;
plot(F(:,1),F(:,2),'s');
hold on
plot(Z(:,1),Z(:,2),'d');
hold on
plot(J(:,1),J(:,2),'o');
hold on;

w1=zeros(130);
for k=1:24
    w1=w1+wp2(:,:,secondshot(k,1));
end
for i=1:130
   for j=1:130
        if w1(i,j)>0;
               x=[Temp(i,1),Temp(j,1)];
               y=[Temp(i,2),Temp(j,2)];
               plot(x,y,'k');
        end
    end
```

```
end
clear x y w1 k i j;


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fprintf(' 单 辆 车 暴 露 时 间 为 ： %d 分 钟
\n',60*(max(firstshot(:,2))+max(armloadtime(:,2))+max(secondshot(:,2)
)));
fprintf(' 整 体 暴 露 时 间 为 ： %d 分 钟
\n',60*(sum(firstshot(:,2))+sum(armloadtime(:,2))+sum(secondshot(:,2)
)));
```

```
%problem.mat
%%problem2 针对问题 2

clc;
load mymap.mat;
w=xlsread('map.xlsx');
%w 为有径矩阵
w(isnan(w))=0;
Temp=[D;Z;F;J];

dist=inf(130);
for i=1:1:130
    for j=1:1:130
        if w(i,j)>0;

           %点到点距离矩阵 dist

dist(i,j)=sqrt((Temp(i,1)-Temp(j,1))^2+(Temp(i,2)-Temp(j,2))^2);%所有
连线点的距离

        end
        if i==j
            dist(i,j)=0;
        end

    end
end
clear i j;
```

```
%%%%%%%%即所有F发射到J25、J34、J36、J42、J49的最短路径下的时间判断
%J25->93到发射台i
for i=9:1:68
        if i==9
            [distance1,path1] = mydijkstra(dist,93,i);%使用dijkstra
            path1=[path1,zeros(1,130-length(path1))];
        else
            [~,p]=mydijkstra(dist,93,i);
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
            path1=[path1;p];
        end
end
clear p d;



%出发地为J34->102到发射台i
for i=9:1:68
        if i==9
            [distance2,path2] = mydijkstra(dist,102,i);%使用dijkstra
            path2=[path2,zeros(1,130-length(path2))];
        else
            [d,p]=mydijkstra(dist,102,i);
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
            path2=[path2;p];
        end
end
clear p d;

%出发地为J36->104到发射台i
for i=9:1:68
        if i==9
            [distance3,path3] = mydijkstra(dist,104,i);%使用dijkstra
            path3=[path3,zeros(1,130-length(path3))];
        else
            [~,p]=mydijkstra(dist,104,i);
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
            path3=[path3;p];
        end
end
clear p d;

%出发地为J42->110到发射台i
for i=9:1:68
```

```
        if i==9
            [distance4,path4] = mydijkstra(dist,110,i);%使用 dijkstra
            path4=[path4,zeros(1,130-length(path4))];
        else
            [~,p]=mydijkstra(dist,117,i);
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
            path4=[path4;p];
        end
end
clear p d i;



%出发地为 J49->117 到发射台 i
for i=9:1:68
        if i==9
            [distance5,path5] = mydijkstra(dist,117,i);%使用 dijkstra
            path5=[path5,zeros(1,130-length(path5))];
        else
            [~,p]=mydijkstra(dist,117,i);
            p=[p,zeros(1,130-length(p))];
            path5=[path5;p];
        end
end
clear p d i;



path1=path1(:,any(path1));%删除全为 0 列
path2=path2(:,any(path2));%删除全为 0 列
path3=path3(:,any(path3));%删除全为 0 列
path4=path4(:,any(path4));%删除全为 0 列
path5=path5(:,any(path5));%删除全为 0 列

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%J25
[m,n]=size(path1);
wp1=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if path1(i,j+1)~=0
            wp1(path1(i,j),path1(i,j+1),i)=1; %有向路径
        end
    end
```

```
end
clear i j m n;

%%%%%J34
[m,n]=size(path2);
wp2=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if path2(i,j+1)~=0
            wp2(path2(i,j),path2(i,j+1),i)=1; %有向路径
        end
    end
end
clear i j m n;

%%%%%J36
[m,n]=size(path3);
wp3=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if path3(i,j+1)~=0
            wp3(path3(i,j),path3(i,j+1),i)=1; %有向路径
        end
    end
end
clear i j m n;


%%%%%J42
[m,n]=size(path4);
wp4=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if path4(i,j+1)~=0
            wp4(path4(i,j),path4(i,j+1),i)=1; %有向路径
        end
    end
end
clear i j m n;

%%%%%J49
[m,n]=size(path5);
wp5=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
```

```
    for j=1:1:n-1
        if path5(i,j+1)~=0
            wp5(path5(i,j),path5(i,j+1),i)=1; %有向路径
        end
    end
end
clear i j m n;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Va=45.*ones(130);
Vb=35.*ones(130);
Vc=30.*ones(130);
%Va，b，c 重新赋主干道
for i=69:1:78
    Va(i,i+1)=70;
    Vb(i,i+1)=60;
    Vc(i,i+1)=50;
end
clear i;

for i=80:1:87
    Va(i,i+1)=70;
    Vb(i,i+1)=60;
    Vc(i,i+1)=50;
end
clear i;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disto=dist;
disto(isinf(disto))=0;
ta=disto./Va;tb=disto./Vb;tc=disto./Vc;
tq=ta+tb+tc;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5
Tj25=zeros(130);
for k=1:1:60
    a=tq.*wp1(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    tj=a;
    Tj25=Tj25+tj;
    clear a;
end
clear tj;

Tj34=zeros(130);
for k=1:1:60
```

```
    a=tq.*wp2(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    tj=a;
    Tj34=Tj34+tj;
    clear a;
end
clear tj;

Tj36=zeros(130);
for k=1:1:60
    a=tq.*wp3(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    tj=a;
    Tj36=Tj36+tj;
    clear a;
end
clear tj;

Tj42=zeros(130);
for k=1:1:60
    a=tq.*wp4(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    tj=a;
    Tj42=Tj42+tj;
    clear a;
end
clear tj;

Tj49=zeros(130);
for k=1:1:60
    a=tq.*wp5(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    tj=a;
    Tj49=Tj49+tj;
    clear a;
end
clear tj;

su=zeros(5);
for i=1:5
    su(1,i)=i;
end

su(2,1)=sum(sum(Tj25));
```

```
su(2,2)=sum(sum(Tj34));
su(2,3)=sum(sum(Tj36));
su(2,4)=sum(sum(Tj42));
su(2,5)=sum(sum(Tj49));
xlswrite('answerfor3.xlsx',su)
```

```
%%problem.mat
%%problem3 针对问题 3
clear all;
clc;
load mymap.mat;
w=xlsread('map.xlsx');
%w 为有径矩阵
w(isnan(w))=0;
Temp=[D;Z;F;J];

Vc=30.*ones(130);
%Va，b，c 重新赋主干道
for i=69:1:78
    Vc(i,i+1)=50;
end
clear i;

for i=80:1:87
    Vc(i,i+1)=50;
end
clear i;



dist=inf(130);
for i=1:1:130
    for j=1:1:130
        if w(i,j)>0;
%            点到点距离矩阵 dist

dist(i,j)=sqrt((Temp(i,1)-Temp(j,1))^2+(Temp(i,2)-Temp(j,2))^2);%所有
连线点的距离
        end
        if i==j
```

```
            dist(i,j)=0;
        end

    end
end
clear i j;


%C 分别在点-点距离矩阵行驶时间矩阵
tc=dist./Vc;

firstshot=[xlsread('firstshot_1.xlsx',1);xlsread('firstshot_1.xlsx',2
);xlsread('firstshot_1.xlsx',3)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%注意 firstshot(:,3)是不能用的点 continue
clear path2 distance2
%J04,J06 ,J08
for i=72:2:76
    for j=9:1:68
        flag=0;
        for k=1:1:24
            if j==firstshot(k,3)
                flag=1;
                break;
            end
        end
        if flag==0
            if i==72&&j==9
                [distance3,path3]  =  mydijkstra(dist,i,j);%  使  用
dijkstra
                path3=[path3,zeros(1,130-length(path3))];
            else
                [d,p]=mydijkstra(dist,i,j);
                p=[p,zeros(1,130-length(p))];
                distance3=[distance3;d];
                path3=[path3;p];
            end
        end
    end
end
clear d p flag;

%J13~J15
```

```
for i=81:1:83
    for j=9:1:68
        flag=0;
        for k=1:1:24
            if j==firstshot(k,3)
                flag=1;
                break;
            end
        end
        if flag==0
            if i==81&&j==9
                [distance4,path4] = mydijkstra(dist,i,j);% 使用dijkstra
                path4=[path4,zeros(1,130-length(path4))];
            else
                [d,p]=mydijkstra(dist,i,j);
                p=[p,zeros(1,130-length(p))];
                distance4=[distance4;d];
                path4=[path4;p];
            end
        end
    end
end
clear d p flag;

path34=[path3;path4];
clear path3 path4
path34=path34(:,any(path34));%删除全为 0 列

%创建深度为 228 的矩阵 wpa2，每一层代表一个最短路径方案,wp2(:,:,:)=1 选路
[m,n]=size(path34);
wp34=zeros(130,130,m);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n-1
        if path34(i,j+1)~=0
            wp34(path34(i,j),path34(i,j+1),i)=1; %有向路径
        end
    end
end
clear i j m n;


%C 类,ftc 每段路，fTc 是方案 k 时的全局时间
```

```
for k=1:1:216
    a=tc.*wp34(:,:,k);
    a(isnan(a))=0;
    etc(:,:,k)=a;
    eTc(1,k)=sum(sum(etc(:,:,k)));
    clear a;
end

%T1 为 B 种车使用方案 Ib1 时的最短时间
[Tc2,Ic2]=sort(eTc);
a=[Tc2;Ic2];
xlswrite('newtime3.xls',a,3);
clear k;

add3Cshot=xlsread('promble3.xlsx',3);
```