

|      |        |
|------|--------|
| 队伍编号 | 901138 |
| 题号   | (B)    |

## 环形穿梭车系统的设计与调度

### 摘 要

环形穿梭车系统为集多种高新技术于一体的自动搬运设备，行驶和输送速度快、灵活性好、自动化程度高。但由于系统采用封闭式轨道，不合理的系统参数设计及车辆调度会加剧轨道堵塞，降低运行效率。因此，本文对环形穿梭车系统的设计和调度进行深入研究，主要解决了如下若干问题：

问题 1，根据给定环形穿梭车系统约定及任务，将穿梭车看成质点，建立以总完工任务为目标函数的模型，约束条件为不可超车，穿梭车只能执行一个搬运任务及各参数取值范围限制等。利用自适应遗传算法对模型进行求解，算法初始种群由规则调度生成，加快收敛速度。对穿梭车数量  $N=3,6,9$  的情况分别求解模型得到完工时间  $T_{task}$  为 10880s、6943s 以及 5805s，并对三种情况进行对比分析。

问题 2，基于问题 1 调度模型，考虑穿梭车长度，更改约束条件，穿梭车之间距离定义为从前车尾到后车头，安全距离  $l_{safe}=1.3m$ 。对穿梭车数量  $N=3,6,9$  的情况分别求解模型得到完工时间  $T_{task}$  分别为 11137s、7122s 以及 5843s，并对问题 1 与问题 2 六种情况作对比分析。

问题 3，根据问题 1 和问题 2 求得总拥堵时间、最大货物吞吐量、复合作业次数以及有效搬运总距离比四个穿梭车系统运行效率评价指标。分别采用层次分析法和熵值法进行初步指标权重选取，然后建立最小二乘主客观一致赋权评价模型，引入拉格朗日函数进行模型进行求解，构造正、负理想方案，得到问题 1 与问题 2 六种情况的最终评价系数  $F$  分别为：0.5191、0.5475、0.6337、0.4514、0.5761 以及 0.6226；系数越大，系统运行效率越高。

问题 4，从货物角度进行系统建模，引入排队理论，建立  $M/M/n$  排队模型。以轨道直线部分长度、弯道部分长度、穿梭车行驶速度和穿梭车数量作为系统待优化的参数，将系统服务强度，系统内所有穿梭车空闲概率、系统中平均等待队长和平均正在服务的穿梭车台数作为寻优目标函数；将模型转化多目标寻优问题，采用带约束的粒子群优化算法进行模型求解，得到参数优化结果，建议轨道直线部分长度为 113.5m，弯道部分长度为 7.1m，穿梭车速度为 1.2m/s，穿梭车数目为 6。

关键词：环形穿梭车系统；优化调度；自适应遗传算法；主客观一致赋权评价；PSO

# 目录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 一、 问题重述 .....                    | 1  |
| 1.1 问题背景与提出 .....                | 1  |
| 1.2 问题要求与分析 .....                | 1  |
| 二、 模型假设 .....                    | 1  |
| 三、 符号说明 .....                    | 2  |
| 四、 模型建立与求解 .....                 | 3  |
| 4.1 问题 1 模型建立与求解 .....           | 3  |
| 4.1.1 问题 1 分析与求解思路 .....         | 3  |
| 4.1.2 问题 1 调度模型的建立 .....         | 3  |
| 4.1.3 问题一调度模型的求解 .....           | 5  |
| 4.1.4 总完工时间 $T_{task}$ 的求解 ..... | 7  |
| 4.2 问题 2 模型建立与求解 .....           | 9  |
| 4.2.1 问题 2 分析与求解思路 .....         | 9  |
| 4.2.2 问题 2 调度模型的建立 .....         | 9  |
| 4.2.3 问题 2 调度模型的求解 .....         | 9  |
| 4.2.4 总完工时间 $T_{task}$ 的求解 ..... | 10 |
| 4.3 问题 3 模型建立与求解 .....           | 11 |
| 4.3.1 问题 3 分析与求解思路 .....         | 11 |
| 4.3.2 问题 3 评价模型的建立 .....         | 11 |
| 4.3.3 问题 3 评价模型的求解 .....         | 15 |
| 4.4 问题 4 模型建立与求解 .....           | 17 |
| 4.4.1 问题 4 分析与求解思路 .....         | 17 |
| 4.4.2 问题 4 系统参数优化模型的建立 .....     | 17 |
| 4.4.3 问题 4 系统优化模型的求解 .....       | 19 |
| 4.4.4 系统参数优化解 .....              | 22 |
| 4.4.5 改进建议 .....                 | 23 |
| 五、 模型优缺点分析 .....                 | 24 |
| 5.1 模型优点分析 .....                 | 24 |
| 5.2 模型缺点分析 .....                 | 24 |
| 参考文献 .....                       | 26 |
| 附录 .....                         | 28 |

## 一、问题重述

### 1.1 问题背景与提出

环行穿梭车系统集成光、机、电、信息等高新技术为一体，广泛应用于自动化物流系统，其可替代大量的普通输送设备和多台直行穿梭车，实现输送目的地的任意性，简化生产工艺流程，提高搬运效率。但在环行封闭导轨上多台穿梭车执行搬运任务时，易造成交通堵塞，降低运输能力，增大完工时间。因此，合理设计穿梭车调度策略及优化系统，对提高环形穿梭车系统的运输效率具有重要意义。此外，为对不同环形穿梭车系统进行评价与改进，建立客观有效的系统运行效率评价模型十分必要。

### 1.2 问题要求与分析

1. 不计穿梭车实际长度，建立一般化的调度  $N$  辆穿梭车完成各个进货口待处理货物的数学模型和相应求解算法，目标为总完工时间最小。并根据表 1 给定系统参数，求解  $N=3,6,9$  时，完成附件 1 附件 2 给定的待处理货物所需时间。

**分析：**该问题为车辆调度问题，需根据题目给定环形穿梭车系统描述，建立一般化调度模型，使系统在完成任务的基础上总完工时间最短。当不计穿梭车实际长度时，可将穿梭车看为质点。并将建立的调度模型用于实际应用，求解给定系统具体参数，穿梭车数量及任务时的总完工时间。

2. 考虑穿梭车实际长度，建立一般化的调度  $N$  辆穿梭车完成各个进货口待处理货物的数学模型和相应求解算法，目标为总完工时间最小。并根据表 1 给定系统参数，求解  $N=3,6,9$  时，完成附件 1 附件 2 给定的待处理货物所需时间。

**分析：**该问题大体思路与问题一类似，区别在于该问题不能将穿梭车看为质点，需考虑穿梭车本身长度对系统运行的影响。

3. 根据表 1，附件 1 及附件 2 数据，对环形穿梭车系统运行效率进行评价。

**分析：**该问题为系统运行效率评价问题，先需找到系统评价指标，再对评价指标进行融合得到综合特征评价指标等，最后得到系统评价值。系统评价指标可从穿梭车拥堵时间，系统最大货物吞吐量等角度进行选取，评价指标融合方法有主观或客观多指标融合方法。

4. 对此环形穿梭车系统进行参数优化设计，并给出实际可行改进建议。

**分析：**该问题为系统优化设计问题，首先需分析各参数对系统运行效率的影响，然后对参数值进行寻优，可用带约束的优化方法进行求解。最后根据求解值提出系统参数改进建议。

## 二、模型假设

1、假设穿梭车无起停加减速时间，为立起立停，即也无最小制动距离等；

- 2、假设穿梭车位置检测时间、安全检测时间、通讯时间等常数定值时间可不计；
- 3、假设穿梭车、道口在整个调度运行周期中不发生故障等意外停止运行情况，或此情况对调度优化过程不产生影响。

### 三、符号说明

| 符号名          | 符号解释                         |
|--------------|------------------------------|
| $T_{task}$   | 总完工时间                        |
| $T_{L/U}$    | 所有货物装载和卸货过程的总时间              |
| $T_{run}$    | 完成所有过程穿梭车运行时间                |
| $T_{wait}$   | 任务执行期间由于道路阻塞而停止的等待时间         |
| $t_{L/U}$    | 一次装卸货时间                      |
| $R_{Bh}$     | B 侧进货口 $h$ 中的待处理货物数          |
| $R_{Aj}$     | A 侧进货口 $j$ 中的待处理货物数          |
| $m_B$        | B 侧进货口的数目                    |
| $m_A$        | A 侧进货口的数目                    |
| $l_1$        | 轨道直线部分长度                     |
| $l_2$        | 轨道弯道部分长度                     |
| $v$          | 穿梭车的行驶速度                     |
| $t_{wait,i}$ | 第 $i$ 次等待的时间                 |
| $n_{wait}$   | 由于道路阻塞而等待的次数                 |
| $l_{safe}$   | 相邻穿梭车之间的安全距离                 |
| $N$          | 穿梭车的数目                       |
| $f_{max}$    | 最大适应度值                       |
| $f_{avg}$    | 平均适应度值                       |
| $f'$         | 个体适应度值                       |
| $l$          | 穿梭车长度                        |
| $N_{L/U}$    | 最大货物吞吐量                      |
| $x$          | 复合作业次数                       |
| $L_{car}$    | 所有穿梭车搬运距离                    |
| $l_{cj}$     | 第 $j$ 个穿梭车沿运行方向到所承担任务取货道口的距离 |
| $x_{cj}$     | 第 $j$ 个穿梭车的状态值               |
| $y_e^+$      | 取各指标的最大值构成正理想方案              |
| $F_i$        | 评价系数                         |
| $\rho$       | 系统服务强度                       |
| $P_0$        | 系统内所有穿梭车都空闲的概率               |
| $L_q$        | 系统中托盘的平均等待队长                 |
| $L_p$        | 平均正在服务的穿梭车台数                 |
| $\lambda$    | 托盘到达率                        |
| $\mu$        | 服务率                          |

|               |          |
|---------------|----------|
| $c_1$ 和 $c_2$ | 学习因子     |
| $X_i$ 和 $V_i$ | 粒子的速度和位置 |
| $\omega$      | 惯性因子     |
| $pbest$       | 局部最优解    |
| $gbest$       | 全局最优解    |

## 四、模型建立与求解

### 4.1 问题 1 模型建立与求解

#### 4.1.1 问题 1 分析与求解思路

为建立一般化穿梭车调度模型，首先需要分析题目给定的此环形穿梭车系统基本信息及运行规则，以获取此系统对应的完工时间等指标计算公式以及调度模型约束。在不计穿梭车实际长度的情况下，可将穿梭车看成质点进行分析。其次，对于调度模型的目标，可直接将完工时间作为目标函数或从间接角度选取其他指标作为目标函数，但根据题意最佳为前者。然后，可利用传统规则调度或现代智能优化算法进行调度结果求解，也可综合两者进行更优化求解，本文采用在规则调度结果的基础上再利用智能算法进行优化，提高求解效率与精度。最后，根据给定具体数据进行应用求解，并作对比分析。

#### 4.1.2 问题 1 调度模型的建立

##### 4.1.2.1 环形穿梭车系统调度问题描述

本文环形穿梭车系统的调度问题可描述如下：环形穿梭车系统有 A、B 两侧，轨道为环形轨道，直线部分长度为  $l_1$ ，弯道部分长度为  $l_2$ ， $m$  个进货口和  $n$  个出货口，每侧的进出货口均匀地分布在轨道（直线部分）边上，依次交替排列，其布置形式如图 1.1 所示。需要处理的运输任务集合为  $Task = \{task_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ ，其中，B 侧进货口  $h$  中的待处理货物数为  $R_{bh}$ ，A 侧进货口  $j$  中的待处理货物数为  $R_{aj}$ ，且 A 侧进货口只能送至 B 侧给定目标出货口，B 侧进货口可送至 A 侧任意出货口。穿梭车集合为  $Car = \{c_s | s = 1, 2, \dots, N\}$ 。在此情况下，根据表 1 给定系统参数，附件 1 及附件 2 给定任务安排，进行调度，得到最短时间完成所有任务的调度方案。

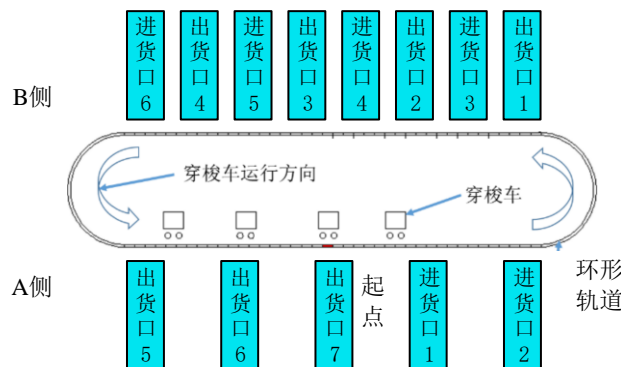


图 1.1 穿梭车系统布置示意图

环形穿梭车系统运行的相关约定及假设：

- (1) 环形轨道穿梭车在封闭轨道按照固定顺序逆时针行走，均不可超车，一辆跟一辆；
- (2) 穿梭车每次只可同时负责一个搬运任务；
- (3) 定义进出货口编号为从起始点逆时针递增，其对应位置的任务不变只是编号改变；
- (4) 穿梭车和道口位置为轨道从原点起沿标定方向展开的距离；
- (5) 货物装载卸货时间不可忽略且相等，一次装卸货时间  $t_{L/U}=10s$ ；
- (6) 同一进出货口处的多件货物按先来先服务的顺序运送。

#### 4.1.2.2 穿梭车调度模型的建立

基于上述条件定义，当所有任务完成时间最短时，即环形穿梭车系统调度问题的最优方案可描述为：

$$\min T_{task} \quad (1.1)$$

式中， $T_{task}$  为总完工时间；由于  $T_{task}$  无法直接测定，可给出如下计算方式：

$$T_{task} = T_{L/U} + T_{run} + T_{wait} \quad (1.2)$$

式中， $T_{L/U}$  表示所有货物装载和卸货过程的总时间； $T_{run}$  表示完成所有过程穿梭车运行时间； $T_{wait}$  表示任务执行期间由于道路阻塞而停止的等待时间。

为了便于研究作如下定义：穿梭车在环形封闭的轨道上行走一圈，完成一个搬运任务称为单循环作业；完成两个搬运任务称为复合作业。

##### ➤ 目标函数

根据问题描述与任务要求，目标函数直接选取为总完工时间最短，定义从开始搬运时刻到所有出货口均无货，且所有小车均空闲时刻的时间为总完工时间：

$$\min T_{task} \quad (1.3)$$

##### ➤ 约束条件

环形轨道穿梭车系统对该模型存在以下约束条件：

##### 1) 两辆车之间有足够安全的距离

第  $n+1$  辆穿梭车和第  $n$  辆穿梭车之间有足够安全距离， $l_{safe}$  表示相邻穿梭车之间的安全距离，问题 1 中， $l_{safe}=0$ ； $l_{car}(n,n+1)$  为第  $n+1$  辆穿梭车和第  $n$  辆穿梭车之间的距离。则

$$\begin{cases} l_{car}(n,n+1) > 0 \\ \sum_{n=1}^{N-1} l_{car}(n,n+1) = l_1 + l_2 \end{cases} \quad (1.4)$$

式中， $N$  表示穿梭车的数目。

##### 2) 等待时间与等待次数

$$\begin{cases} t_{wait,i} \geq 0 \\ n_{wait} \geq 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

### 4.1.3 问题一调度模型的求解

#### 4.1.3.1 规则调度

规则调度广泛存在于当下已有的调度系统中，是一种即时的调度策略，其最大的优点为算法复杂度低，能较好地应用于动态实时调度和复杂大规模调度问题。可首先利用规则调度方法对系统进行规划调度，得到一个不完善的调度规则，作为中间结果。

环行穿梭车系统采用规则调度时，须待环行穿梭车系统穿梭车完成搬运任务后才能给其分配下一个任务。规则调度主要模式如下：一是一次分配任务模式，当有一个搬运任务时，调度管理系统根据当前全部 RGV 的工作状态，把搬运任务一次分配给距搬运任务最近的空闲穿梭车，任务不再进行变更；在搬运任务量大的情况下，基本上达到每辆穿梭车每行走一圈完成一次搬运任务，偶尔有复合作业和空跑。二是变更分配任务模式，当产生一个新搬运任务的取货口时，分配给距搬运任务最近的空闲穿梭车，但这样容易导致空跑，降低效率。

因为本题的取卸货原则为先来先服务，刚好避免了最近站点优先规则的对于起始道口相同终止道口不同的任务无法合理分配的问题。因此，选择采用一次分配任务模型，并定义规则 1 为最近站点优先规则；穿梭车队列形似“贪吃蛇”，则取货规则为，从“蛇尾”（穿梭车队列末尾）开始，空闲穿梭车完成任务起始道口距离最近位置的且未被分配的任务，依次类推。穿梭车和任务之间的指派决策是基于两者之间的距离。

然后接下来需采用遗传算法进行模型求解，为保证初始种群质量，优化初始种群编码。再采用规则 2 生成初始种群，规则 2 为染色体中，优先使同一辆穿梭车分配的相邻任务中，后一个任务的起始道口位置尽量靠近上一个任务的终止道口且不超过上一个任务的起始道口。

#### 4.1.3.2 遗传算法

传统的遗传算法其交叉概率和变异概率大部分是依靠经验取值，其参数的选择直接影响算法最终的优化效果好坏和计算时间的长短。且由于环形穿梭车调度是一种即时问题，固定的参数不利于其调度问题的求解。而自适应遗传算法采用自适应的交叉变异参数，当个体的差异大时，它尽量缩小差距，既让优秀的个体能充分发展，也给较差的个体一定的进化机会；当个体的差异小时，它尽量增大差距，能更好地推动群体的进化。

染色体编码采用自然数编码方式，对穿梭车和任务进行编码，组成一个染色体，编码如下规定：a.染色体中，同一任务不可重复出现；b.  $x_{cj}$  为 0 的位置，根据其实际承担的任务进行编码。

编码方式为  $x_{c1}task_1...x_{cj}task_j...x_{cm}task_m, x_{c1}task_{m+1}...x_{cj}task_{m+i}...x_{cm}task_{2m}...$ ，编码长度为总任务量。

### 1) 适应度函数

适应度函数是评价个体优劣程度的标准。本文中，染色体目标适应度函数如下：

$$f_{fit}(x) = \min T_{task} \quad (1.6)$$

### 2) 自适应交叉概率

在遗传算法的参数中，交叉和变异算子直接影响算法的收敛速度和跳出局部极小的能力。传统遗传算法中，固定的交叉概率和变异概率不利于收敛到全局最优。自适应交叉、变异概率能够较好地改善这一现象。其中自适应交叉概率  $p_{cross}$  计算公式如下：

$$p_{cross} = \begin{cases} k_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - f_{avg}}\right), & f' > f_{avg} \\ k_2, & f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (1.7)$$

式中， $f_{\max}$  表示最大适应度值； $f_{avg}$  表示平均适应度值； $f'$  为个体适应度值。

本文中采用两点交叉方法，交叉位置采用随机选取方式。由于同一任务不能由两辆车同时执行，因此，在交叉完毕后需要对染色体进行修复，操作如图 1.2 所示。

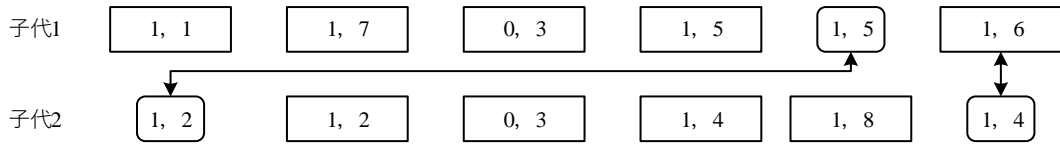


图 1.2 染色体修复操作示意图

### 3) 自适应变异概率：

$$p_m = \begin{cases} k_3 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - f_{avg}}\right), & f' > f_{avg} \\ k_4, & f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (1.8)$$

模型求解算法流程图如图 1.3 所示：

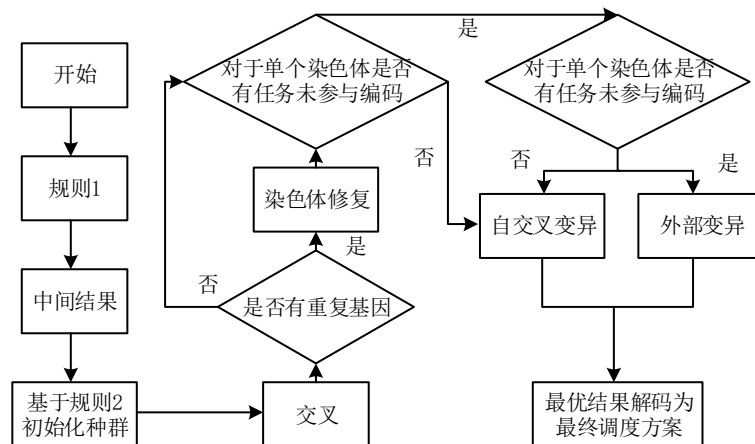


图 1.3 模型求解算法流程图



4.1.4 总完工时间 $T_{task}$ 的求解

根据表 1 给定环形穿梭车系统的参数设置，及附件 1 附件 2 给定的任务表，分别对  $N=3,6,9$  时的调度模型进行求解。遗传算法参数设置为：子种群 4 个，每个子群体规模  $nscale=20$ ，交叉概率初始概率  $p_{cross}=0.8$ ，变异概率初始概率  $p_m=0.1$ ，最大进化代数为 50 代。求解得到不同穿梭车数量  $N$  的调度方案表如表 1.1 到表 1.6 所示，限于篇幅仅列出  $N=3,6,9$  部分，剩余完整调度方案表参见附录 A。不同系统总完工时间 $T_{task}$  如表 1.7 所示。

表 1.1  $N=3$  时穿梭车调度编号表（部分）

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | 进货口 1 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 2 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 3 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 4 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 5 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 6 的<br>穿梭车调<br>度编号 |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1                   | 3                      | 1                      | 3                      | 1                      | 2                      | 2                      |
| 2                   | 1                      | 2                      | 2                      | 3                      | 1                      | 1                      |
| 3                   | 2                      | 1                      | 3                      | 1                      | 2                      | 2                      |
| 4                   | 2                      | 2                      | 2                      | 1                      | 3                      | 1                      |
| 5                   | 1                      | 3                      | 3                      | 3                      | 3                      | 2                      |
| 6                   | 3                      | 1                      | 2                      | 3                      | 2                      | 1                      |

表 1.2  $N=3$  时进货口对应出货口编号表（部分）

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | A 侧进货<br>口 1 的货物<br>在 B 侧的<br>目标出货<br>口编号 | A 侧进货<br>口 2 的货物<br>在 B 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 3 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 4 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 5 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 6 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1                   | 4   | 2   | 5   | 5   | 7   | 6   |
| 2                   | 4   | 1   | 7   | 7   | 6   | 5   |
| 3                   | 2   | 4   | 6   | 6   | 7   | 6   |
| 4                   | 1   | 3   | 6   | 7   | 7   | 7   |
| 5                   | 3   | 1   | 6   | 6   | 7   | 6   |
| 6                   | 2   | 4   | 5   | 7   | 6   | 5   |

表 1.3  $N=6$  时穿梭车调度编号表（部分）

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | 进货口 1 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 2 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 3 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 4 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 5 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 6 的<br>穿梭车调<br>度编号 |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1                   | 3                      | 1                      | 7                      | 6                      | 6                      | 7                      |
| 2                   | 1                      | 2                      | 7                      | 7                      | 6                      | 6                      |
| 3                   | 2                      | 1                      | 5                      | 5                      | 6                      | 7                      |
| 4                   | 2                      | 2                      | 5                      | 6                      | 7                      | 6                      |
| 5                   | 1                      | 3                      | 7                      | 6                      | 6                      | 7                      |
| 6                   | 3                      | 1                      | 6                      | 5                      | 7                      | 6                      |

表 1.4  $N=6$  时进货口对应出货口编号表（部分）

| 各进货口<br>货物的处 | A 侧进货<br>口 1 的货物 | A 侧进货<br>口 2 的货物 | B 侧进货<br>口 3 的货物 | B 侧进货<br>口 4 的货物 | B 侧进货<br>口 5 的货物 | B 侧进货<br>口 6 的货物 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|

| 理顺序 | 在 B 侧的<br>目标出货<br>口编号 | 在 B 侧的<br>目标出货<br>口编号 | 在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | 在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | 在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | 在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1   | 4                     | 3                     | 3                     | 6                     | 4                     | 2                     |
| 2   | 2                     | 4                     | 4                     | 1                     | 1                     | 5                     |
| 3   | 5                     | 5                     | 2                     | 2                     | 3                     | 4                     |
| 4   | 1                     | 1                     | 3                     | 3                     | 5                     | 4                     |
| 5   | 3                     | 6                     | 1                     | 2                     | 5                     | 1                     |
| 6   | 6                     | 1                     | 5                     | 6                     | 6                     | 2                     |

表 1.5  $N=9$  时穿梭车调度编号表（部分）

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | 进货口 1 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 2 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 3 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 4 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 5 的<br>穿梭车调<br>度编号 | 进货口 6 的<br>穿梭车调<br>度编号 |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1                   | 3                      | 1                      | 7                      | 5                      | 5                      | 5                      |
| 2                   | 1                      | 2                      | 5                      | 6                      | 7                      | 7                      |
| 3                   | 2                      | 1                      | 5                      | 6                      | 6                      | 6                      |
| 4                   | 2                      | 2                      | 5                      | 5                      | 5                      | 6                      |
| 5                   | 1                      | 3                      | 6                      | 6                      | 7                      | 5                      |
| 6                   | 3                      | 1                      | 6                      | 5                      | 6                      | 5                      |

表 1.6  $N=9$  时进货口对应出货口编号表（部分）

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | A 侧进货<br>口 1 的货物<br>在 B 侧的<br>目标出货<br>口编号 | A 侧进货<br>口 2 的货物<br>在 B 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 3 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 4 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 5 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 | B 侧进货<br>口 6 的货物<br>在 A 侧的<br>目标出货<br>口编号 |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1                   | 6   | 6   | 7   | 5   | 5   | 8   |
| 2                   | 4   | 9   | 4   | 4   | 9   | 1   |
| 3                   | 9   | 5   | 8   | 4   | 2   | 3   |
| 4                   | 7   | 3   | 1   | 8   | 7   | 1   |
| 5                   | 3   | 2   | 6   | 5   | 6   | 5   |
| 6                   | 2   | 6   | 8   | 9   | 2   | 6   |

表 1.7  $N=3,6,9$  时总完工时间结果表

| $N$ | 总完工时间 $T_{task}$ |
|-----|------------------|
| 3   | 10880            |
| 6   | 6943             |
| 9   | 5805             |

从表 1.7 可以看出，随着穿梭车数量的增加，总完工时间逐渐减小。当穿梭车数量从 3 递增到 6 时，总完工时间减小幅度较大，当穿梭车数量从 6 递增到 9 时，总完工时间减小幅度变小。说明，当穿梭车数量为 3 时，系统属于穿梭车数量不足，整体拥堵时间较小；当穿梭车数量为 6 时，系统穿梭车数量较合适但仍未饱和，整体拥堵时间为适中；当穿梭车数量为 9 时，系统穿梭车数量已差不多饱和，整体拥堵时间较大。

## 4.2 问题 2 模型建立与求解

### 4.2.1 问题 2 分析与求解思路

问题 2 的分析与求解大体与问题 1 类似，主要区别在于问题 2 将穿梭车长度纳为考虑。此时，穿梭车将不能再视为质点，穿梭车之间的安全距离从零变为穿梭车车长，穿梭车之间的距离定义也从点到点变为前车尾到后车头，使得环形封闭式轨道拥堵概率增加，需更改约束建立新的调度模型并进行求解。

### 4.2.2 问题 2 调度模型的建立

#### ➤ 目标函数

根据问题描述与任务要求，目标函数直接选取为总完工时间最短：

$$\min T_{task} \quad (2.1)$$

#### ➤ 约束条件

环形轨道穿梭车系统对该模型存在以下约束条件：

##### 1) 两辆车之间有足够安全的距离

第  $s+1$  辆穿梭车  $c_{s+1}$  和第  $s$  辆穿梭车  $c_s$  之间有足够安全距离， $l_{safe}$  表示相邻穿梭车之间的安全距离，不同于问题 1，问题 2 中， $l_{safe}=l=1.3m$ ， $l$  为穿梭车长度； $l_{car}(s,s+1)$  为第  $s+1$  辆穿梭车最前点到第  $s$  辆穿梭车最后点之间的距离，得到

$$\begin{cases} l_{car}(s,s+1) > l_{safe} \\ \left[ \sum_{s=1}^{N-1} l_{car}(s,s+1) \right] + Nl = l_1 + l_2 \end{cases} \quad (2.2)$$

式中， $N$  表示穿梭车的数目； $l$  为穿梭车长度。

##### 2) 等待时间与等待次数

$$\begin{cases} t_{wait,i} \geq 0 \\ n_{wait} \geq 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

### 4.2.3 问题 2 调度模型的求解

首先利用规则调度方法对系统进行规划调度，得到一个不完善的调度规则，其流程如图 2.1 所示，调度规则如问题 1 中规则 1 所示。

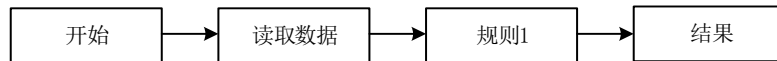


图 2.1 规则调度流程图

然后根据此结果结合遗传算法编码方式和问题一规则 2 获得初始种群，编码规则与方式同问题 1 为： $x_{c1}task_1...x_{cj}task_i...x_{cm}task_m, x_{c1}task_{m+1}...x_{cj}task_{m+i}...x_{cm}task_{2m}...$ 。

##### 1) 染色体目标适应度函数为：

$$f_{fit}(x) = \min T_{task} \quad (2.4)$$

2) 自适应交叉概率  $p_{cross}$  为:

$$p_{cross} = \begin{cases} k_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - f_{avg}}\right), f' > f_{avg} \\ k_2, f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (2.5)$$

式中,  $f_{\max}$  表示最大适应度值;  $f_{avg}$  表示平均适应度值;  $f'$  为个体适应度值。

交叉方式采用两点交叉方法, 交叉位置采用随机选取方式。由于同一任务不能由两辆车同时执行, 因此, 在交叉完毕后需要对染色体进行修复。

3) 自适应变异概率:

$$p_m = \begin{cases} k_3 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - f_{avg}}\right), f' > f_{avg} \\ k_4, f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (2.6)$$

算法主要步骤与问题一类似, 如下:

(1) 依据调度规则 1 进行初始调度, 得到中间结果。

(2) 根据 (1) 中结果结合遗传算法编码方式和规则 2 获得初始种群的一半个体, 剩下的一半个体基于规则 2 获得。

(3) 利用遗传算法进行优化运算得到最终结果, 并通过解码获得调度方案。

#### 4.2.4 总完工时间 $T_{task}$ 的求解

根据表 1 给定环形穿梭车系统的参数设置, 及附件 1 附件 2 给定的任务表, 分别对不可忽略穿梭车长度情况下,  $N=3,6,9$  时的调度模型进行求解。遗传算法参数设置为: 子种群 4 个, 每个子群体规模  $nscale=20$ , 交叉概率初始概率  $p_{cross}=0.8$ , 变异概率初始概率  $p_m=0.1$ , 最大进化代数为 50 代。求解得到不同穿梭车数量  $N$  的调度方案表如表 2.1, 表 2.2 所示 (限于篇幅仅列出  $N=3$  部分, 剩余完整调度方案表及  $N=6,9$  完整调度方案表参见附录 1), 总完工时间  $T_{task}$  如表 2.3 所示。

表 2.1 考虑穿梭车长度时  $N=3$  时穿梭车调度编号表 (部分)

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | 进货口 1<br>的穿梭车<br>调度编号 | 进货口 2<br>的穿梭车<br>调度编号 | 进货口 3<br>的穿梭车<br>调度编号 | 进货口 4<br>的穿梭车<br>调度编号 | 进货口 5<br>的穿梭车<br>调度编号 | 进货口 6<br>的穿梭车<br>调度编号 |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                   | 3                     | 1                     | 3                     | 1                     | 2                     | 2                     |
| 2                   | 1                     | 2                     | 2                     | 3                     | 1                     | 1                     |
| 3                   | 2                     | 1                     | 3                     | 1                     | 2                     | 2                     |
| 4                   | 2                     | 2                     | 2                     | 1                     | 3                     | 1                     |
| 5                   | 1                     | 3                     | 3                     | 3                     | 3                     | 2                     |
| 6                   | 3                     | 1                     | 2                     | 3                     | 2                     | 1                     |

表 2.2 考虑穿梭车长度时  $N=3$  时进货口对应出货口编号表 (部分)

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | A 侧进货<br>口 1 的货<br>物在 B 侧<br>的目标出<br>货口编号 | A 侧进货<br>口 2 的货<br>物在 B 侧<br>的目标出<br>货口编号 | B 侧进货<br>口 3 的货<br>物在 A 侧<br>的目标出<br>货口编号 | B 侧进货<br>口 4 的货<br>物在 A 侧<br>的目标出<br>货口编号 | B 侧进货<br>口 5 的货<br>物在 A 侧<br>的目标出<br>货口编号 | B 侧进货<br>口 6 的货<br>物在 A 侧<br>的目标出<br>货口编号 |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1                   | 4   | 2   | 5   | 5   | 7   | 6   |
| 2                   | 4   | 1   | 7   | 7   | 6   | 5   |
| 3                   | 2   | 4   | 6   | 6   | 7   | 6   |
| 4                   | 1   | 3   | 6   | 7   | 7   | 7   |
| 5                   | 3   | 1   | 6   | 6   | 7   | 6   |
| 6                   | 2   | 4   | 5   | 7   | 6   | 5   |

表 2.3 考虑穿梭车长度时  $N=3,6,9$  时总完工时间结果表

| $N$ | 总完工时间 $T_{task}$ |
|-----|------------------|
| 3   | 11137s           |
| 6   | 7122s            |
| 9   | 5843s            |

从表 2.3 可以看出，随着穿梭车数量的增加，总完工时间逐渐减小。当穿梭车数量从 3 递增到 6 时，总完工时间减小幅度过大，当穿梭车数量从 6 递增到 9 时，总完工时间减小幅度过小。说明，当穿梭车数量为 3 时，系统属于穿梭车数量不足，整体拥堵时间较小；当穿梭车数量为 6 时，系统穿梭车数量较合适但仍未饱和，整体拥堵时间为适中；当穿梭车数量为 9 时，系统穿梭车数量已差不多饱和，整体拥堵时间较大。

### 4.3 问题 3 模型建立与求解

#### 4.3.1 问题 3 分析与求解思路

先需要选取不同角度但可反映运行效率的多个评价指标，如拥堵时间，最大货物吞吐量，平均复合作业次数以及有效搬运总距离比等。然后可分别采用主观和客观两种多指标融合评价方法进行评价，并利用最小二乘对两种方法再进行融合优化，以各方法对正负理想方法的贴近度为依据确定出最终有效评价值。此外，是否考虑穿梭车长度对各指标值数值有影响，所以需对两种情况下的系统运行效率分别考虑并可作比较。

#### 4.3.2 问题 3 评价模型的建立

##### 4.3.2.1 评价指标

通过查阅相关文献及分析各指标值对系统运行效率的影响，本文确定多个环形穿梭车系统运行效率评价的指标，并通过多指标融合方法构建综合指标，具体如图 3.1 所示。

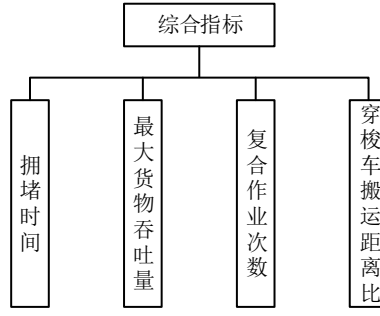


图 3.1 指标示意图

### 1) 总拥堵时间 $T_{wait}$

总拥堵时间为任务执行期间由于道路阻塞而停止的等待时间，可通过问题 1 与问题 2 的求解得到。

$$T_{wait} = \sum_{i=1}^{n_{wait}} t_{wait,i} \quad (3.1)$$

拥堵时间越小，系统运行效率越高。

### 2) 最大货物吞吐量 $N_{L/U}$

最大货物吞吐量为单位时间内装载和卸下货物的最大容量，计算公式如下：

$$N_{L/U} = \frac{\sum_{h=1}^{m_B} R_{Bh} + \sum_{j=1}^{m_A} R_{Aj}}{T_{task}} \quad (3.2)$$

最大货物吞吐量越大，系统运行效率越高。

### 3) 复合作业次数 $x$

复合作业次数为整个任务过程中穿梭车在环形封闭的轨道上行走一圈，完成两个搬运任务的总次数，具体可根据问题 1 求得。

$$x = \sum_{s=1}^N x_s \quad (3.3)$$

复合作业次数越多，系统运行效率越高。

### 4) 穿梭车有效搬运总距离比 $L_{car}$

穿梭车有效搬运总距离比为所有穿梭车根据任务分配后有效搬运距离之和与总运行距离之比，计算公式如下：

$$L_{car} = \frac{\sum_{s=1}^N (l_{cs} x_{cs})}{\sum_{s=1}^N l_s} \quad (3.4)$$

式中， $l_{cs}$  为第  $s$  个穿梭车沿运行方向到所承担任务取货道口的距离，若穿梭车未被分配任务，本文中认为  $l_{cs}=0$ ； $x_{cs}$  为第  $s$  个穿梭车的状态值，若未被分配任务给第  $s$  个穿梭车，则  $x_{cs}=0$ ，否则  $x_{cs}=1$ ； $l_s$  为第  $s$  个穿梭车总运行距离，可由问题 1 与问题 2 求解得

到。

穿梭车有效搬运总距离比越大，系统运行效率越高。

#### 4.3.2.2 评价模型建立

在评价指标确定后，下一步需确定评价方法以建立评价模型。目前的评价方法主要有两类，一类为主观评价方法，另一类为客观评价方法。这两类评价方法各有优缺点，为了让评价结果更加科学合理，同时又兼顾评估专家对指标的青睐，尽量减少主观随意性，故采用优化评价方法，建立主客观一致赋权评价方法模型。优化评价方法以最小二乘为工具对主观评价方法和客观评价方法进行优化，以各方案对正负理想方案的贴近度为依据从而确定出方案的优劣。

##### ➤ 主观评价方法

主观评价方法采用层次分析法，其是通过对复杂问题的本质进行深入分析，将问题分解为若干层次，然后在相对简单的层次上再进行分析，从而为多目标或无结构特性的复杂问题提供简便的解决方法。分析四种指标的特点及其相对重要性，对指标进行两两比较获得判断矩阵如表 3.1 所示。

表 3.1 规则层次结构相对重要性权重表

|          | 最大货物吞吐量 | 总拥堵时间 | 有效搬运总距离比 | 复合作业次数 |
|----------|---------|-------|----------|--------|
| 最大货物吞吐量  | 1       | 2     | 3        | 3      |
| 拥堵时间     | 1/2     | 1     | 2        | 2      |
| 有效搬运总距离比 | 1/3     | 1/2   | 1        | 2      |
| 复合作业次数   | 1/3     | 1/2   | 1/2      | 1      |

求取判断矩阵最大特征值  $\lambda_{\max} = 4.0710$ ，其对应的归一化特征向量  $u$  即为各评价指标的权重值，计算可得  $U = [0.8047, 0.4654, 0.3013, 0.2122]$ 。其中，随机一致性比率  $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0404}{0.89} = 0.02559 < 0.10$ ， $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ，即所构建的判断矩阵具有一致满意性，可以用来计算各评价指标的权重值。

最后得到综合层次分析评价价值  $T_{AHP}$  表达式如下：

$$T_{\theta} = u_1 \cdot N_{L/U} + u_2 \cdot T_{wait} + u_3 \cdot L_{car} + u_4 \cdot x \quad (3.5)$$

##### ➤ 客观评价方法

客观方法采用熵值法，其为一种基于熵理论的客观赋权方法，可以通过计算评价指标变化程度的信息熵，根据评价指标的相对变化程度对整体的影响来决定各指标的权重。第  $b$  种评价指标的熵值  $h_b$  计算公式如下：

$$h_b = -k_{fac} \sum_{q=1}^a f_{bq} \ln f_{bq} \quad (3.6)$$

式中,  $f_{bq} = v_{bq} / \sum_{q=1}^n v_{bq}$ ,  $-k_{fac}$  是系数因子, 且有  $-k_{fac} = 1 / \ln a$ ;  $v_{bq}$  为通过公式归一化得到的第  $b$  种评价指标第  $q$  个数据;  $a$  为总评价对象数。当某个特征参数归一化后的值为 0 时, 会出现  $f_{ij} = 0$  的情况, 这里令  $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$  带入计算, 最终可以得到每种评价指标的熵值  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$ 。

然后, 通过求得的熵值  $h_p$  来确定每种评价指标的熵权, 计算公式如下:

$$v_p = \frac{1 - h_p}{m - \sum_{p=1}^m h_p} (0 \leq v_p \leq 1, \sum_{p=1}^m v_p = 1) \quad (3.7)$$

式中,  $v_b$  表示第  $b$  种评价指标的熵权。当某一指标的权重与其它指标相差十倍以上, 且去除这一评价指标, 其它评价指标的权重几乎不变时, 说明其几乎不影响我们对系统运行效率的判断, 可将其忽略。

最后得到综合评价指标  $T$  表达式如下:

$$T = v_1 \cdot N_{L/U} + v_2 \cdot T_{wait} + v_3 \cdot L_{car} + v_4 \cdot x \quad (3.8)$$

#### ➤ 主客观一致赋权评价模型建立

本题共有  $a=6$  个评价对象, 分别为问题 1 和问题 2 中的六种情况,  $b=4$  个评价指标, 以  $x_{ie}$  表示第  $i$  个待评对象的第  $e$  个评价指标值, 构成矩阵为  $X = (x_{ie})_{a \times b}$ , 由于各指标量纲不停, 将其转换成规范化矩阵  $R = (r_{ie})_{a \times b}$ 。其中, 对越小越优性指标采用式(3.9)进行转换:

$$r_{ie} = \frac{\max(x_{ie}) - x_{ie}}{\max(x_{ie}) - \min(x_{ie})} \quad (3.9)$$

对越大越优性指标采用式(3.10)进行转换:

$$r_{ie} = \frac{x_{ie} - \min(x_{ie})}{\max(x_{ie}) - \min(x_{ie})} \quad (3.10)$$

设主观评价方法给出的指标权重为  $U = [u_1, u_2, \dots, u_b]^T$ , 客观评价方法给出的指标权重为  $V = [v_1, v_2, \dots, v_b]^T$ , 各指标优化组合权重为  $W = [w_1, w_2, \dots, w_b]^T$ 。

第  $i$  个评价对象的评价值为:

$$f_i = \sum_{e=1}^b w_e r_{ie} \quad (i=1, 2, \dots, a) \quad (3.11)$$

对评价指标而言, 当主客观的评价值的偏差越小越好, 因此建立最小二乘主客观一致赋权评价模型:



$$\begin{aligned}\min H(w) &= \sum_{i=1}^a \sum_{e=1}^b \{[(u_e - w_e)r_{ie}]^2 + [(v_e - w_e)r_{ie}]^2\} \\ \sum_{e=1}^b w_e &= 1, w_e \geq 0, (e = 1, 2, \dots, b)\end{aligned}\quad (3.12)$$

### 4.3.3 问题 3 评价模型的求解

#### 4.3.3.1 模型求解

求解最小二乘主客观一致赋权评价模型，对模型作拉格朗日函数得：

$$L = \sum_{i=1}^a \sum_{e=1}^b \{[(u_e - w_e)r_{ie}]^2 + [(v_e - w_e)r_{ie}]^2\} + \lambda \left( \sum_{e=1}^b w_e - 1 \right) \quad (3.13)$$

令：

$$\frac{\delta L}{\delta w_e} = - \sum_{i=1}^a 2(u_e + v_e - 2w_e)r_{ie}^2 + \lambda = 0 \quad (3.14)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \lambda} = \sum_{e=1}^b w_e - 1 = 0 \quad (3.15)$$

式(3.14)、(3.15)用矩阵表示为：

$$\begin{bmatrix} A & E \\ E^T & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W \\ \frac{1}{4}\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

式中：

$$\begin{aligned}A_{b \times b} &= \text{diag} \left[ \sum_{i=1}^b r_{i1}^2, \sum_{i=1}^b r_{i2}^2, \dots, \sum_{i=1}^b r_{ib}^2 \right], \\ E_{b \times 1} &= [1, 1, \dots, 1]^T, \\ W_{b \times 1} &= [w_1, w_2, \dots, w_b]^T, \\ B_{b \times 1} &= \left[ \sum_{i=1}^a \frac{1}{2}(u_1 + v_1)r_{i1}^2, \sum_{i=1}^a \frac{1}{2}(u_2 + v_2)r_{i2}^2, \dots, \sum_{i=1}^a \frac{1}{2}(u_b + v_b)r_{ib}^2 \right]^T\end{aligned}$$

由式(3.16)可得：

$$W = A^{-1} \cdot \left[ B + \frac{1 - E^T A^{-1} B}{E^T A^{-1} E} \cdot E \right] \quad (3.17)$$

将规范化矩阵  $R$  按列单位化，则得到单位化矩阵  $Z = (z_{ie})_{a \times b}$ 。

取各指标的最大值构成正理想方案，即：

$$y_e^+ = \max_e (z_{ie} w_e) (i = 1, 2, \dots, a; e = 1, 2, \dots, b) \quad (3.18)$$

取各指标的最小值构成负理想方案，即：

$$y_e^- = \min_e (z_{ie} w_e) (i = 1, 2, \dots, a; e = 1, 2, \dots, b) \quad (3.19)$$

定义：

$$L_i = \sqrt{\sum_{e=1}^b (z_{ie} w_e - y_e^+)^2} \quad (3.20)$$

$$D_i = \sqrt{\sum_{e=1}^b (z_{ie} w_e - y_e^-)^2} \quad (3.21)$$

式中,  $L_i, D_i$  分别称为系统方案  $A_i (i=1,2,\dots,a)$  对正理想系统方案  $A^+$  和负理想系统方案  $A^-$  的贴近度。

确定评价系数  $F_i$  定义为:

$$F_i = D_i / (L_i + D_i) \quad (3.22)$$

可通过评价系数  $F_i$  对环形穿梭车系统运行效率进行评价,  $F_i$  的数值越大, 则系统运行效率越优。

#### 4.3.3.1 系统评价求解

评价不考虑穿梭车实际长度和考虑穿梭车长度情况下  $N$  分别为 3,6,9 时的 6 种不同系统的运行效率, 分别简写为情况 1~情况 6。根据问题 1 和问题 2 得到穿梭车系统运行效率四种评价指标值, 如表 3.2 所示。

表 3.2 不同情况下各项指标

| 情况 | 拥堵时间   | 最大货物吞吐量 | 复合作业次数 | 穿梭车搬运距离比 |
|----|--------|---------|--------|----------|
| 1  | 1331.2 | 0.0402  | 156    | 0.2068   |
| 2  | 4711.1 | 0.0643  | 110    | 0.2827   |
| 3  | 8777.2 | 0.0769  | 96     | 0.2203   |
| 4  | 1874.2 | 0.0401  | 132    | 0.3728   |
| 5  | 4959.0 | 0.0627  | 109    | 0.2806   |
| 6  | 8273.0 | 0.0764  | 95     | 0.2389   |

然后对六种调度系统分别进行主客观一致赋权评价模型的求解; 构造正、负理想方案, 得到最终评价系数。

采用 AHP 方法确定的主观权重合归一后的  $U$  为:

$$U = [0.4512, 0.2609, 0.1689, 0.1190]$$

采用熵值法确定的客观权重  $V$  为:

$$V = [0.2915, 0.3751, 0.1718, 0.1616]$$

通过式(3.17)计算得到的优化权重  $W$  为:

$$W = [0.3713, 0.3180, 0.1704, 0.1403]$$

对比上述三种权重, 可知, 采用 AHP 方法时, 拥堵时间权重最高, 穿梭车搬运距离比权重最低; 采用熵值法时, 最大货物吞吐量权重最高, 穿梭车搬运距离比权重最低; 说明主观权重与客观权重具有一定的相似结果, 但也存在一定的偏差; 采用优化评价模型所得优化权重, 拥堵时间权重最高, 穿梭车搬运距离比权重最低; 说明优化之后的权重更加客观科学的得到了对系统影响的主要评价指标, 即拥堵时间。

最后，利用公式(3.18)-(3.22)得到的计算结果如表 3.3 所示：

表 3.3 计算结果

| 情况 | $L$    | $D$    | $F$    |
|----|--------|--------|--------|
| 1  | 0.1135 | 0.1225 | 0.5191 |
| 2  | 0.0742 | 0.0897 | 0.5475 |
| 3  | 0.0810 | 0.1402 | 0.6337 |
| 4  | 0.1195 | 0.0984 | 0.4514 |
| 5  | 0.0691 | 0.0940 | 0.5761 |
| 6  | 0.0802 | 0.1323 | 0.6226 |

由表 2 可知，情况 3，即不考虑穿梭车长度且  $N=3$  时，评价系数  $F$  最大，说明这种情况下环形穿梭车系统运行效率最高，

此外，一方面随着穿梭车数目的增加，评价系数  $F$  也随着增大，任务可靠性与高效性等也会增加，但随着穿梭车数目的递增，复合作业次数会随着递减，拥堵时间会显著增加，因此穿梭车数目不能取较大值；另一方面就整体而言，不考虑穿梭车长度的情况比考虑穿梭车长度的性能更优，原因是在不考虑穿梭车长度时，安全距离会大大缩小，从而加快了系统运行，提高了系统运行效率。该结论对工程实际应用具有指导作用。

#### 4.4 问题 4 模型建立与求解

##### 4.4.1 问题 4 分析与求解思路

此题需要对环形穿梭车系统的参数进行优化设计，与具体调度方案没有联系，可从货物角度进行思考分析并对系统进行建模，引入排队理论，建立多服务窗等待制  $M/M/n$  排队模型，并得到相关性能指标。然后选取部分系统参数作为待优化参数，模型中的有效指标作为寻优目标函数，其实质为多目标寻优问题。然后可采用带约束的粒子群优化算法进行模型求解，得到最终系统优化参数以及最优目标函数结果。最后根据参数优化结果，提出可行建议。

##### 4.4.2 问题 4 系统参数优化模型的建立

###### 4.4.2.1 环形穿梭车系统的排队论模型

排队论也称随机服务系统理论，是研究、解决排队问题而发展起来的一门学科。它应用于一切服务系统，包括生产管理系统、交通运输系统、通讯网络系统、存储系统等，排队论的一般模型如图 4.1 所示。排队论主要对服务系统排队过程的几个数量指标进行分析、研究，提供参考与决策，进一步探讨最优化问题。

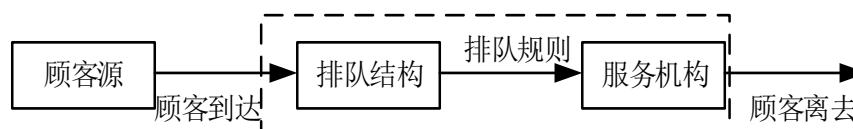


图 4.1 排队模型框图

#### 4.4.2.2 系统优化模型建立

在图 4.1 所示的排队模型中，货物视为顾客，穿梭车视为服务机构，将所有出入库站台视为一合并的站台列，货物到达站台列，等待穿梭车搬运即视为货物排队，等候穿梭车服务，搬运到指定站台，视为服务结束。

模型约束松弛条件的建立：

- 1) 货物的到达是无限且相互独立的，到达时间服从泊松分布。
- 2) 排队规则为等待制，即货物排队等待直到被搬运完成。
- 3) 服务过程为先到先服务服务方式。
- 4) 环轨上有  $N$  台穿梭车，即系统有  $N$  个服务窗口进行服务。
- 5) 穿梭车服务时间服从负指数分布。

由约束松弛条件可知环形穿梭车系统属于多服务窗等待制  $M/M/n$  排队模型，如图 4.2 所示。

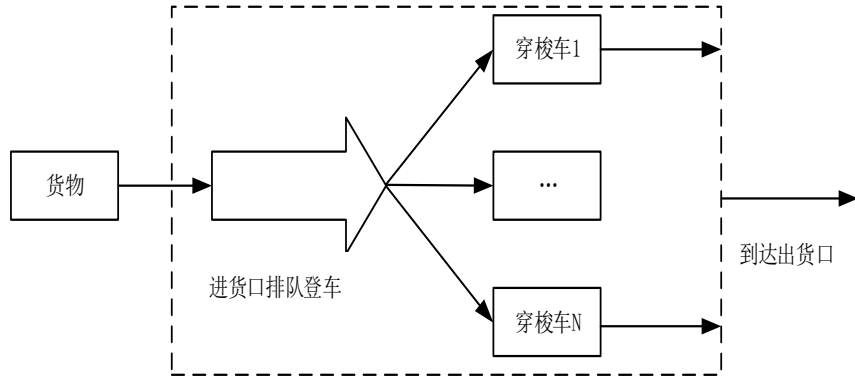


图 4.2 环形穿梭车系统排队模型框图

设货物到达规律服从参数为  $\lambda$  的泊松过程，穿梭车服务时间服从参数为  $\mu$  的负指数分布，考虑到环形轨道上多车间存在任务调度及前后车安全防撞距离保护等因素，其整体服务效率为  $\eta$ ，参照排队论  $M/M/n$  模型的计算方法，则系统服务强度为：

$$\rho = \frac{\lambda}{\eta n \mu} \quad (4.1)$$

系统内所有穿梭车都空闲的概率：

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(n\rho)^k}{k!} + \frac{(n\rho)^n}{n!(1-\rho)} \right]^{-1} \quad (4.2)$$

系统中货物的平均等待队长为：

$$L_q = \frac{(n\rho)^n \rho}{n!(1-\rho)^2} P_0 \quad (4.3)$$

系统中货物的平均等待时间：

$$W_q = \frac{(n\rho)^{n-1} \rho}{\mu n!(1-\rho)^2} P_0 \quad (4.4)$$

平均正在服务的穿梭车台数：

$$L_p = \frac{\lambda}{\eta\mu} \quad (4.5)$$

上述式中相关参数的具体计算方法如下：

进出货口与穿梭车交接货物一次所需时间为  $t_{L/U}$ ；货物到达率为： $\lambda = \frac{1}{t_{L/U}}$ ；穿梭车完成一次搬运服务的时间为小车在轨道上行驶的时间和装卸载货物时间之和： $T = \frac{l_1 + l_2}{v} + 2t_{L/U}$ ；服务率为： $\mu = \frac{1}{T}$ 。穿梭车数量为  $n = N$ 。

将轨道直线部分长度  $l_1$ 、弯道部分长度  $l_2$ 、穿梭车行驶速度  $v$  和穿梭车数量  $N$  作为系统待优化的参数。将系统服务强度  $\rho$ ，系统内所有穿梭车都空闲的概率  $P_0$ 、系统中货物的平均等待队长  $L_q$  和平均正在服务的穿梭车台数  $L_p$  作为寻优目标函数。即：

$$\min F(l_1, l_2, v, N) = \min \left\{ \frac{1}{\rho}, P_0, L_q, \frac{1}{L_p} \right\} \quad (4.6)$$

#### 4.4.3 问题 4 系统优化模型的求解

##### 4.4.3.1 多目标寻优问题

不难看出式 (4.6) 为多目标寻优问题。具体多目标寻优问题描述如下：

多目标优化问题是指如何一个系统的多个目标在某种约束条件下同时达到最优。在此类问题中，目标函数之间、约束条件之间以及目标函数和约束条件之间往往存在较为复杂的关系，尤其是目标函数之间往往是相互矛盾的。多目标优化问题的数学描述如下：

$$\min F(X) = \{f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)\} \quad (4.7)$$

$$\text{s.t. } g_i(X) \leq 0, i = 1, 2, \dots, p \quad (4.8)$$

式中， $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)^T$  是实数域的  $n$  维向量， $g_i(X) \leq 0, i = 1, 2, \dots, p$  为约束函数，

$F(X) = \{f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)\}$  为目标空间。将  $X$  所在空间看作多目标优化问题的决策空间，子目标函数  $f_i(X) (i = 1, 2, \dots, m)$  是不存在  $X$  使得  $\{f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)\}$  同时取得最小值。

多目标优化问题本质是不存在能够使得所有子目标函数同时均达最优的可行解，也就是说一个目标函数值的改善往往会造成其他子目标函数性能降低，因此只能在多个子目标函数间进行协调、处理，使尽量多子目标函数达到最优。对于多目标问题本质，由法国学者 Pareto 最早通过在经济领域的研究所发现的，并提出了 Pareto 最优解集概念，该解集中由一些“非劣”的解组成。

最优解的关键在于支配（非劣）的概念。以最小化多目标问题为例， $N$  个目标分量  $f(n=1,...,N)$ ，对于两个决策变量  $X_i$  和  $X_j$ ，

当且仅当  $\forall n \in \{1,...,N\}$ ，有  $f(X_i) < f(X_j)$ ，则  $X_i$  支配  $X_j$ 。

当且仅当  $\forall n \in \{1,...,N\}$ ，有  $f(X_i) \leq f(X_j)$ ，则  $X_i$  弱支配  $X_j$ 。

当且仅当  $\forall n \in \{1,...,N\}$ ，有  $f(X_i) > f(X_j)$ ，则  $X_i$  不支配  $X_j$ 。

所有“非劣”解组成的集合称为 **Pareto 最优解集**，其在目标函数组成的空间的象称为 **Pareto 最优前沿**。如只有两个目标函数，Pareto 最优前沿如图 4.3。

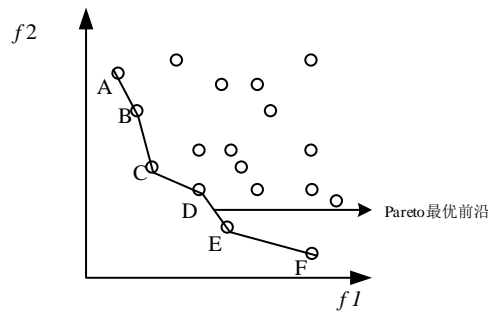


图 4.3 Pareto 最优前沿

#### 4.4.3.2 带约束的粒子群优化算法

基于以上分析，我们需要采用一些智能优化算法对本题的多目标寻优问题进行优化。现常用的智能优化算法有遗传算法、神经网络和粒子群优化算法等。由于在本题中所需的优化参数较多，各参数量纲相差较大，且给定的经验值和测量数据只有较少，因此基于大量数据训练的神经网络算法不适用于此处的优化过程。若用遗传算法优化，则会出现编码范围过大，计算消耗过大的问题。而使用粒子群优化算法不仅可以在优化的过程中使每个参数对应上其实际的物理变量，而且能保存历代迭代中单个粒子的局部最优解和全局粒子的全局最优解，充分利用优化过程中的信息，加快优化收敛过程，达到更好的优化效果。所以针对本题的实际情况，我们采用粒子群优化算法对文中的各参数进行优化。

假设粒子  $i$  在  $N$  维空间的位置表示为矢量  $X_i = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ ，飞行速度表示为矢量  $V_i = (v_1, v_2, \dots, v_N)$ 。每个粒子都有一个由目标函数决定的适应值 *fitness*（来表征此粒子优化程度），并且知道自己到目前为止发现的最好位置 *pbest*（即局部最优解）和现在自己的位置  $X_i$ 。除此之外，每个粒子还知道到目前为止整个群体中所有粒子发现的最好位置 *gbest*（即全局最优解）。则粒子群优化算法的优化策略为，根据现在所求得的局部最优解和全局最优解进行迭代，使得整个粒子群向着最优解的方向移动，来使得整体的适应值（性能指标）不断的优化，直到达到我们所设定的标准。再提取最后优化过的全

局最优解作为我们所求得的结果，这样就实现了求取最优解的目标。

粒子可以根据局部最优解和全局最优解来更新自己的速度和位置。

$$V_i(t+1) = \omega \cdot V_i(t) + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot (pbest_i - X_i(t)) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (gbest - X_i(t))$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t) \quad (4.9)$$

式中,  $i=1,2, \dots, N$ ,  $N$  是此群粒子的总数;  $t$  为迭代次数;  $\text{rand}()$  是介于 (0,1) 之间的随机数;  $c_1$  和  $c_2$  是学习因子, 通常  $c_1 = c_2 = 2$ ;  $X_i$  和  $V_i$  分别表示  $i$  粒子的速度和位置。 $\omega$  是惯性因子, 其值为非负, 其值较大, 则全局寻优能力强, 局部寻优能力弱, 其值较小, 全局寻优能力弱, 局部寻优能力强。所以为了更好的寻优效果,  $\omega$  采取动态值, 在优化开始阶段时, 寻找最优位置, 保持较大值, 寻找最有方向, 在优化后期, 进行局部优化搜索, 故  $\omega$  在优化过程中线性递减权值:

$$\omega = \omega_{\max} - t \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{T} \quad (4.10)$$

式中,  $\omega_{\max}$  和  $\omega_{\min}$  为预设阈值;  $t$  和  $T$  分别为当前迭代次数和  $T$  最高迭代次数, 这样就保证了在优化过程中全局和局部搜索能力的调整。

标准的粒子群优化算法分为以下几个步骤:

- (1) 对一群粒子进行速度和未知的初始化;
- (2) 评价每一个粒子的适应度, 并记录好  $pbest$  和  $gbest$ ;
- (3) 对每个粒子根据速度和位置更新方程进行更新;
- (4) 判断是否达到结束条件, 若否, 则跳转到步骤 (2)。

需要说明的是, 由于粒子群优化算法的更新记录仅与粒子的适应数值有关, 但是在实际情况中, 我们计算的每一个容量 (即粒子的维度) 都有实际意义, 因此, 我们应该从参数的实际物理意义出发, 对粒子的初始化和每一次速度和位置的更新进行约束, 这样会很大程度上提高粒子群优化算法的效率。因此, 求取容量分配问题转化成带约束条件的最优化问题。因此我们提出了基于带约束粒子群优化算法。

为假定约束条件为  $s.t.$ , 则带约束的粒子群算法的步骤为:

- (1) 根据物理意义, 判断粒子的维度, 对不同的维度进行不同量纲和符号的初始化;
- (2) 评价每一个粒子的适应度, 并记录好  $pbest$  和  $gbest$ ;
- (3) 对每个粒子根据速度和位置更新方程进行更新;
- (4) 对更新后的位置中的特定维数进行判断 (即根据物理含义判断此值是否符合)  $X$  是否满足于  $ft$ . 若不符合要求, 则此次更新无效, 不需要对该粒子进行适应值的计算以节省计算成本, 该粒子的速度和位置保持上一次的数;

(5) 判断是否达到结束条件，若否，则跳转到步骤（2）。

具体流程图如图 4.4 所示：

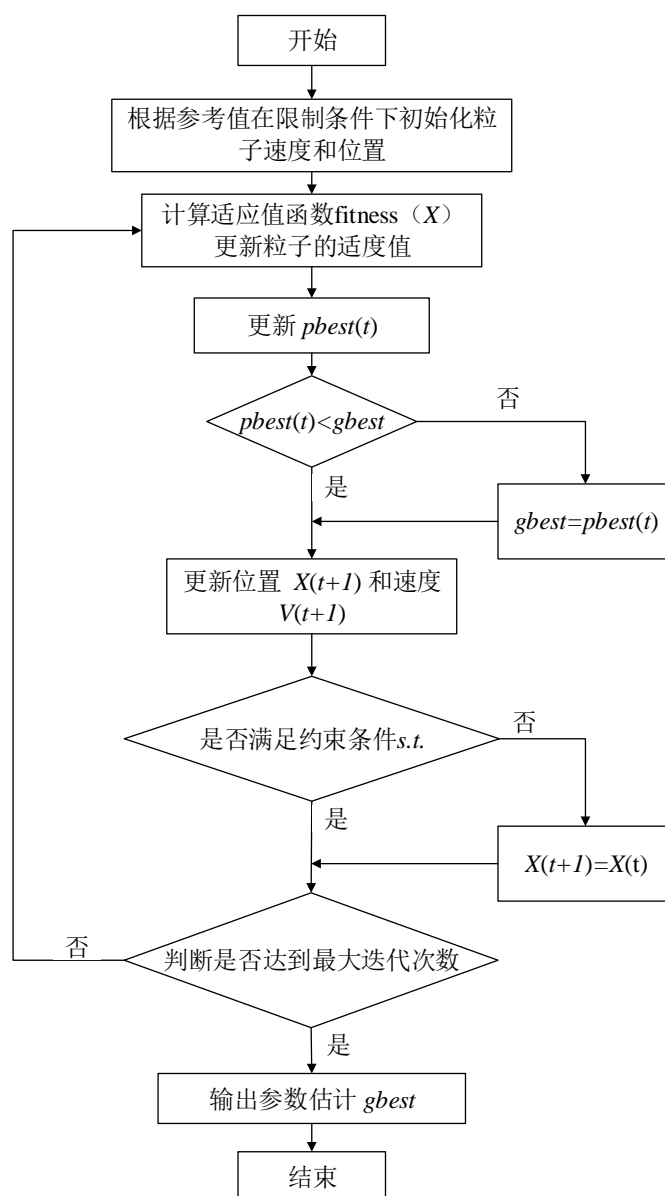


图 4.4 带约束粒子群优化算法流程图

#### 4.4.4 系统参数优化解

根据参数物理意义，很容易得到 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $v$ 和 $N$ 的值为非负，所以在初始化和位置速度更新过程中对估计的参数进行判断和取舍，来解决不符合物理意义的解的出现。

在本题中，以 $\rho$ 、 $P_0$ 、 $L_q$ 、 $L_p$ 作为寻优目标函数。所以该模型参数的求解转化为一个带约束条件的优化过程。为了使算法的效率更高，我们在粒子群的初始化过程中也利用参数的物理意义进行限定初始化。在此题中，约束条件存在，且由于各参数的量级差别较大，各参数的优化值不会与给定初始参数发生大量级的变化，所以我们对粒子位置采用参考值范围在 $(0, 2)$ 的随机数进行初始化，对粒子速度采用参考值范围 $(-1, 1)$ 的随机数进行初始化。



利用上述带约束的粒子群优化算法，根据经验参数值来给定粒子初始速度和位置，对模型进行参数优化。设定粒子群大小为 100，每次的迭代次数为 30，整体服务效率  $\eta=0.9$ ，通过多次迭代，可以得到优化参数结果如表 4.1 所示。

表 4.1 优化参数结果

| 参数 | $l_1/\text{m}$ | $l_2/\text{m}$ | $v/\text{m/s}$ | $N/\text{个}$ |
|----|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 大小 | 113.5          | 7.1            | 1.2            | 6            |

由表 4.1 可知，相比于题中所给的数据，优化参数结果表明直线部分与弯道部分轨道长度长一些较好，速度略微降低一些较好，穿梭车数目在 6 个最优。

这些参数具体的寻优过程如图 4.5 所示。

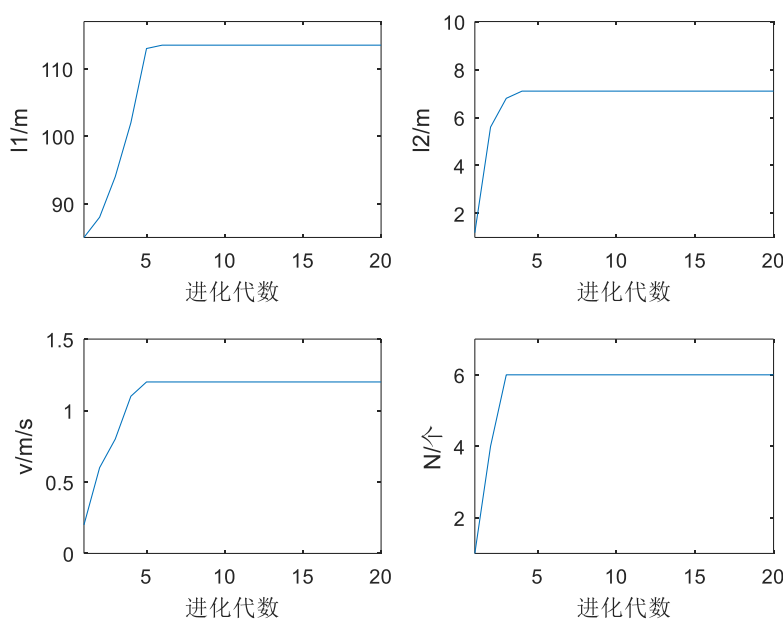


图 4.5 寻优过程图

由图 4.5 可知，优化参数基本上都能在 5 步之内收敛，收敛速度快，精度准确，较好的优化了系统参数。

寻优目标函数结果如表 4.2 所示。

表 4.2 寻优目标函数结果

| 目标函数 | $\rho$ | $P_0$  | $L_q$ | $L_p$ |
|------|--------|--------|-------|-------|
| 大小   | 0.92   | 0.0038 | 4.32  | 5.5   |

由表 4.2 可知，服务强度与平均正在服务的穿梭车台数有很大的提升，穿梭车空闲概率和等待队长较小，且正在服务的穿梭车台数与投入穿梭车数目相近，说明参数优化结果不仅准确而且有效。

#### 4.4.5 改进建议

根据上述分析，为了提高环形穿梭车运行系统的效率，在固定其他系统参数的前提下，通过 PSO 寻优算法对系统参数进行优化设计，主要是针对  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $v$  和  $N$  四个参数

进行优化。根据优化结果可知,建议轨道直线部分长度为 113.5m,弯道部分长度为 7.1m,穿梭车速度为 1.2m/s,穿梭车数目 6 个,这样可使得  $\rho$ 、 $P_0$ 、 $L_q$ 、 $L_p$  等参数能够达到较优效果。

通过问题 1 和问题 2 可知,虽然随着穿梭车数目  $N$  的递增,完工总时间逐渐递减,但总拥堵时间增加,空载跑的距离增加,负载跑距离减少,复合作业次数减少。优化参数之后,减缓了穿梭车运行速度,增加了轨道长度,同时又确保了穿梭车数目没有增加,这样有助于减少拥堵时间与空载跑的距离,进而增加负载跑距离和复合作业次数。

本文主要是针对环形穿梭车轨道、速度以及投入数目进行优化,若要进一步提升系统运行效率可进一步对穿梭车本身进行优化,如穿梭车长度,加速度等;或者对进货口与出货口数目以及位置分布进行优化。

## 五、模型优缺点分析

### 5.1 模型优点分析

1、环形穿梭车系统调度模型,充分考虑了动态调度是特性,分析过程明了,模型简单,对整个调度过程描述清晰,为实际穿梭车系统的设计提供了简要的理论支撑。

2、针对环形穿梭车系统调度模型求解,在前人研究的基础上提出基于规则的遗传算法,在规则调度的结果上进行优化,结合了规则调度和遗传算法的优点,既缩短了求解时间,又使得求解结果尽量最优。

3、环形穿梭车系统运行效率评价模型,综合考虑了多个性能评价指标,建立系统综合评价模型;利用主观评价方法 AHP 和客观评价方法熵值法,以最小二乘为工具对主观评价方法和客观评价方法进行优化,以各方案对正负理想方案的贴近度为依据从而确定出方案的优劣,使得评价结果更加科学合理,同时又兼顾评估专家对指标的青睐,减少了主观随意性。

4、环形穿梭车参数优化模型,以排队论着手,结合系统参数、性能指标和调度模式,在允许出库货物进行适当排队的情况下分析了环形穿梭车系统的工作模式,拓展了传统的排队模型,提出多目标寻优方案,便捷有效地优化了系统模型参数。

5、使用带约束的粒子群算法求解多目标寻优问题,很好逼近了系统模型参数最优解。

### 5.2 模型缺点分析

1、建立环形穿梭车系统调度模型时,忽略了穿梭车加速和减速过程,可能对最终总完工时间有一定的影响。

2、环形穿梭车系统运行效率评价模型,只考虑了四种性能评价指标,可能存在其他评价指标未被考虑,使得评价结果存在一定的偏差。

3、粒子群算法中使用较大迭代次数和粒子数，导致计算时间较长。

## 参考文献

- [1] Gu H, Xu W, Zou P, et al. Self-Learning Automatic Tiered Warehouse Scheduling Based on the Expert Database[J]. Journal of Computational & Theoretical Nanoscience, 2012, 12(1):428-432.
- [2] 郎茂祥, 胡思继. 用混合遗传算法求解物流配送路径优化问题的研究[J]. 中国管理科学, 2002, V(5):51-56.
- [3] Ko C H , Wang S F . Precast production scheduling using multi-objective genetic algorithms[J]. 2011, 38(7):8293-8302.
- [4] 江唯, 何非, 童一飞, et al. 基于混合算法的环形轨道 RGV 系统调度优化研究[J]. 计算机工程与应用唯一官方网站, 2016, 52(22):242-247.
- [5] Feng N . Research on the Optimal Scheduling of RGV System[J]. Logistics Technology, 2008.
- [6] 晏鹏宇, 杨乃定, 车阿大. 自动化制造单元最小完工时间调度问题的混合启发式算法[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(4).
- [7] 胡建伟. 环形穿梭车运行调度系统研究与开发[D]. 南京理工大学, 2016.
- [8] 牟善栋. 多层穿梭车仓储系统建模与优化[D]. 山东大学, 2014.
- [9] 邹敢. 柔性搬运系统的智能作业调度方法研究[D]. 昆明理工大学, 2014.
- [10] Kim B I , Oh S , Shin J , et al. Effectiveness of vehicle reassignment in a large-scale overhead hoist transport system[J]. International Journal of Production Research, 2007, 45(4):789-802.
- [11] 杨少华, 张家毅, 赵立. 基于排队论的环轨多车数量与能力分析[J]. 制造业自动化, 2011, 33(16):102-104.
- [12] 向旺, 吴双, 张可义, et al. 基于排队论的环形穿梭车系统运行参数分析[J]. 制造业自动化, 2018, 40(6).
- [13] 刘永强. 基于遗传算法的 RGV 动态调度研究[D]. 2012.
- [14] 陈国良, 王熙法, 庄镇泉, et al. 遗传算法及其应用[M]. 人民邮电出版社, 1999.
- [15] 叶义成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 冶金工业出版社, 2006.
- [16] Borodin A, Kleinberg J, Raghavan P, et al. Adversarial queuing theory[J]. Journal of the Acm, 2001, 48(1):13-38.
- [17] Maulik U, Bandyopadhyay S. Genetic algorithm-based clustering technique[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(9):1455-1465.
- [18] Omkar S N, Mudigere D, Naik G N, et al. Vector evaluated particle swarm optimization (VEPSO) for multi-objective design optimization of composite structures[J]. Computers &

Structures, 2008, 86(1):1-14.

[19] 金芳, 方凯, 王京林. 基于排队论的 AGV 调度研究[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(S1):844-846.

附录

附录 A 调度方案结果

1.1 N=3 时穿梭车调度编号表

| 各进货口货<br>物的处理顺<br>序 | 进货口 1 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 2 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 3 的穿<br>梭车调度编号 | 进货口 4 的穿<br>梭车调度编<br>号 | 进货口 5 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 6<br>的穿梭车<br>调度编号 |
|---------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1                   | 3                      | 1                      | 3                  | 1                      | 2                      | 2                     |
| 2                   | 1                      | 2                      | 2                  | 3                      | 1                      | 1                     |
| 3                   | 2                      | 1                      | 3                  | 1                      | 2                      | 2                     |
| 4                   | 2                      | 2                      | 2                  | 1                      | 3                      | 1                     |
| 5                   | 1                      | 3                      | 3                  | 3                      | 3                      | 2                     |
| 6                   | 3                      | 1                      | 2                  | 3                      | 2                      | 1                     |
| 7                   | 2                      | 3                      | 1                  | 1                      | 1                      | 2                     |
| 8                   | 2                      | 2                      | 3                  | 1                      | 2                      | 3                     |
| 9                   | 1                      | 1                      | 2                  | 1                      | 1                      | 2                     |
| 10                  | 1                      | 1                      | 3                  | 3                      | 2                      | 1                     |
| 11                  | 1                      | 3                      | 1                  | 2                      | 1                      | 1                     |
| 12                  | 1                      | 2                      | 2                  | 3                      | 1                      | 1                     |
| 13                  | 2                      | 3                      | 2                  | 2                      | 1                      | 1                     |
| 14                  | 3                      | 3                      | 3                  | 3                      | 2                      | 1                     |
| 15                  | 3                      | 2                      | 2                  | 3                      | 3                      | 1                     |
| 16                  | 2                      | 2                      | 2                  | 1                      | 3                      | 1                     |
| 17                  | 3                      | 3                      | 2                  | 2                      | 3                      | 3                     |
| 18                  | 3                      | 1                      | 2                  | 1                      | 2                      | 1                     |
| 19                  | 3                      | 3                      | 2                  | 1                      | 3                      | 2                     |
| 20                  | 1                      | 3                      | 3                  | 2                      | 2                      | 3                     |
| 21                  | 1                      | 2                      | 3                  | 2                      | 1                      | 3                     |
| 22                  | 3                      | 2                      | 2                  | 3                      | 2                      | 1                     |
| 23                  | 2                      | 1                      | 1                  | 3                      | 2                      | 3                     |
| 24                  | 3                      | 1                      | 2                  | 1                      | 1                      | 2                     |
| 25                  | 1                      | 3                      | 1                  | 3                      | 2                      | 1                     |
| 26                  | 2                      | 2                      | 3                  | 1                      | 1                      | 3                     |
| 27                  | 2                      | 1                      | 2                  | 1                      | 2                      | 1                     |
| 28                  | 3                      | 2                      | 1                  | 3                      | 1                      | 3                     |
| 29                  | 2                      | 3                      | 1                  | 2                      | 3                      | 2                     |
| 30                  | 3                      | 3                      | 1                  | 3                      | 2                      | 3                     |
| 31                  | 3                      | 1                      | 2                  | 1                      | 2                      | 2                     |
| 32                  | 3                      | 2                      | 2                  | 3                      | 2                      | 1                     |
| 33                  | 1                      | 2                      | 3                  | 2                      | 1                      | 1                     |
| 34                  | 2                      | 1                      | 2                  | 3                      | 1                      | 3                     |
| 35                  | 2                      | 1                      | 2                  | 2                      | 3                      | 2                     |
| 36                  | 2                      | 3                      | 2                  | 2                      | 1                      | 3                     |
| 37                  | 1                      | 2                      | 1                  | 1                      | 3                      | 3                     |
| 38                  | 1                      | 2                      | 3                  | 1                      | 1                      | 2                     |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 39 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 40 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 41 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 42 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 43 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 44 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| 45 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 46 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 47 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 |
| 48 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| 49 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 50 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 51 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 52 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 |
| 53 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 |
| 54 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 55 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 56 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 |
| 57 | 2 | 3 | 2 | 0 | 3 | 2 |
| 58 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| 59 | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| 60 | 3 | 2 | 3 | 0 | 3 | 3 |
| 61 | 3 | 2 | 3 | 0 | 3 | 2 |
| 62 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| 63 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 64 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| 65 | 3 | 3 | 3 | 0 | 2 | 3 |
| 66 | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| 67 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 68 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 3 |
| 69 | 3 | 2 | 2 | 0 | 3 | 2 |
| 70 | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 71 | 3 | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| 72 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 73 | 3 | 2 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 74 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 75 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 76 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 77 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 78 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 79 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 80 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 81 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 82 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 83 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 84 | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 |

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 85  | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 86  | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 87  | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 88  | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 89  | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 90  | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 91  | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 92  | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 93  | 3 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 94  | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 95  | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 96  | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 97  | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 98  | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 99  | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 100 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 |

### 1.2 N=3 时进货口对应出货口编号表

| 各进货口货物的处理顺序 | A 侧进货口 1<br>的货物在 B 侧的目标出货口编号 | A 侧进货口 2<br>的货物在 B 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 3<br>的货物在 A 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 4<br>的货物在 A 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 5<br>的货物在 A 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 6<br>的货物在 A 侧的目标出货口编号 |
|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1           | 2                            | 4                            | 5                            | 5                            | 7                            | 6                            |
| 2           | 1                            | 4                            | 7                            | 7                            | 6                            | 5                            |
| 3           | 4                            | 2                            | 6                            | 6                            | 7                            | 6                            |
| 4           | 3                            | 1                            | 6                            | 7                            | 7                            | 7                            |
| 5           | 1                            | 3                            | 6                            | 6                            | 7                            | 6                            |
| 6           | 4                            | 2                            | 5                            | 7                            | 6                            | 5                            |
| 7           | 3                            | 1                            | 6                            | 7                            | 7                            | 7                            |
| 8           | 3                            | 2                            | 6                            | 6                            | 5                            | 7                            |
| 9           | 1                            | 3                            | 5                            | 5                            | 6                            | 5                            |
| 10          | 4                            | 2                            | 7                            | 6                            | 7                            | 5                            |
| 11          | 3                            | 4                            | 7                            | 5                            | 7                            | 5                            |
| 12          | 2                            | 1                            | 6                            | 5                            | 6                            | 6                            |
| 13          | 2                            | 3                            | 7                            | 5                            | 7                            | 7                            |
| 14          | 2                            | 1                            | 5                            | 6                            | 7                            | 5                            |
| 15          | 1                            | 4                            | 6                            | 5                            | 7                            | 7                            |
| 16          | 3                            | 4                            | 6                            | 5                            | 7                            | 7                            |
| 17          | 4                            | 1                            | 6                            | 6                            | 6                            | 6                            |
| 18          | 1                            | 3                            | 5                            | 6                            | 6                            | 5                            |
| 19          | 3                            | 3                            | 6                            | 7                            | 5                            | 6                            |
| 20          | 4                            | 3                            | 7                            | 6                            | 7                            | 6                            |
| 21          | 2                            | 3                            | 7                            | 5                            | 7                            | 5                            |
| 22          | 3                            | 2                            | 5                            | 6                            | 7                            | 6                            |
| 23          | 2                            | 3                            | 6                            | 6                            | 7                            | 5                            |
| 24          | 4                            | 3                            | 7                            | 7                            | 6                            | 7                            |



---

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 2 | 3 | 7 | 7 | 5 | 6 |
| 26 | 1 | 2 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| 27 | 3 | 4 | 7 | 5 | 7 | 7 |
| 28 | 3 | 1 | 5 | 7 | 6 | 6 |
| 29 | 3 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 |
| 30 | 1 | 4 | 7 | 6 | 7 | 5 |
| 31 | 1 | 4 | 6 | 6 | 5 | 7 |
| 32 | 1 | 3 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| 33 | 1 | 3 | 7 | 5 | 7 | 5 |
| 34 | 3 | 4 | 5 | 7 | 6 | 6 |
| 35 | 4 | 3 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 36 | 4 | 3 | 5 | 6 | 5 | 6 |
| 37 | 1 | 3 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| 38 | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 | 7 |
| 39 | 3 | 2 | 7 | 7 | 7 | 5 |
| 40 | 3 | 1 | 7 | 7 | 5 | 5 |
| 41 | 3 | 3 | 7 | 5 | 6 | 6 |
| 42 | 3 | 1 | 6 | 5 | 7 | 5 |
| 43 | 3 | 1 | 5 | 6 | 7 | 6 |
| 44 | 2 | 3 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| 45 | 3 | 4 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| 46 | 1 | 3 | 6 | 5 | 6 | 6 |
| 47 | 2 | 3 | 5 | 6 | 6 | 5 |
| 48 | 1 | 4 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| 49 | 3 | 3 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| 50 | 3 | 3 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 51 | 3 | 1 | 6 | 7 | 7 | 6 |
| 52 | 3 | 2 | 7 | 0 | 5 | 7 |
| 53 | 2 | 3 | 6 | 0 | 6 | 5 |
| 54 | 3 | 2 | 7 | 0 | 6 | 5 |
| 55 | 4 | 1 | 5 | 0 | 5 | 7 |
| 56 | 3 | 3 | 6 | 0 | 5 | 7 |
| 57 | 3 | 4 | 5 | 0 | 7 | 7 |
| 58 | 3 | 1 | 7 | 0 | 5 | 5 |
| 59 | 1 | 2 | 7 | 0 | 6 | 7 |
| 60 | 3 | 4 | 6 | 0 | 6 | 5 |
| 61 | 3 | 1 | 6 | 0 | 5 | 5 |
| 62 | 1 | 4 | 5 | 0 | 5 | 5 |
| 63 | 4 | 3 | 5 | 0 | 7 | 6 |
| 64 | 2 | 3 | 6 | 0 | 5 | 5 |
| 65 | 2 | 1 | 5 | 0 | 7 | 6 |
| 66 | 4 | 3 | 6 | 0 | 7 | 7 |
| 67 | 4 | 1 | 7 | 0 | 7 | 7 |
| 68 | 2 | 3 | 5 | 0 | 5 | 7 |
| 69 | 3 | 4 | 6 | 0 | 7 | 6 |
| 70 | 2 | 1 | 7 | 0 | 5 | 5 |

---

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 71  | 1 | 2 | 6 | 0 | 6 | 7 |
| 72  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 73  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 74  | 4 | 3 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 75  | 1 | 3 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 76  | 2 | 4 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 77  | 3 | 4 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 78  | 2 | 4 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 79  | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 80  | 3 | 4 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 81  | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 82  | 3 | 4 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 83  | 2 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 84  | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 85  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 86  | 1 | 2 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 87  | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 88  | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 89  | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 90  | 2 | 3 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 91  | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 92  | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 93  | 3 | 4 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 94  | 3 | 2 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 95  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 96  | 4 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 97  | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 98  | 4 | 3 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 99  | 3 | 4 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 100 | 1 | 3 | 5 | 0 | 0 | 5 |

1.3 N=6 时穿梭车调度编号表

| 各进货口货物的处理顺序 | 进货口 1 的穿梭车调度编号 | 进货口 2 的穿梭车调度编号 | 进货口 3 的穿梭车调度编号 | 进货口 4 的穿梭车调度编号 | 进货口 5 的穿梭车调度编号 | 进货口 6 的穿梭车调度编号 |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1           | 3              | 1              | 7              | 6              | 6              | 7              |
| 2           | 1              | 2              | 7              | 7              | 6              | 6              |
| 3           | 2              | 1              | 5              | 5              | 6              | 7              |
| 4           | 2              | 2              | 5              | 6              | 7              | 6              |
| 5           | 1              | 3              | 7              | 6              | 6              | 7              |
| 6           | 3              | 1              | 6              | 5              | 7              | 6              |
| 7           | 2              | 3              | 6              | 6              | 5              | 6              |
| 8           | 2              | 2              | 7              | 7              | 6              | 7              |
| 9           | 1              | 1              | 6              | 7              | 6              | 7              |
| 10          | 1              | 1              | 5              | 6              | 5              | 5              |
| 11          | 1              | 3              | 5              | 5              | 5              | 7              |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 1 | 2 | 7 | 6 | 6 | 7 |
| 13 | 2 | 3 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| 14 | 3 | 3 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| 15 | 3 | 2 | 7 | 6 | 5 | 7 |
| 16 | 2 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 |
| 17 | 3 | 3 | 7 | 7 | 5 | 7 |
| 18 | 3 | 1 | 6 | 5 | 6 | 6 |
| 19 | 3 | 3 | 7 | 6 | 7 | 7 |
| 20 | 1 | 3 | 5 | 5 | 7 | 7 |
| 21 | 1 | 2 | 6 | 7 | 5 | 7 |
| 22 | 3 | 2 | 7 | 5 | 5 | 6 |
| 23 | 2 | 1 | 7 | 5 | 5 | 7 |
| 24 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | 7 |
| 25 | 1 | 3 | 7 | 5 | 5 | 6 |
| 26 | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| 27 | 2 | 1 | 6 | 5 | 5 | 7 |
| 28 | 3 | 2 | 5 | 7 | 7 | 6 |
| 29 | 2 | 3 | 7 | 7 | 6 | 7 |
| 30 | 3 | 3 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| 31 | 3 | 1 | 7 | 5 | 5 | 7 |
| 32 | 3 | 2 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| 33 | 1 | 2 | 5 | 6 | 5 | 7 |
| 34 | 2 | 1 | 6 | 5 | 7 | 7 |
| 35 | 2 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 36 | 2 | 3 | 6 | 7 | 7 | 6 |
| 37 | 1 | 2 | 7 | 5 | 7 | 5 |
| 38 | 1 | 2 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 39 | 2 | 2 | 7 | 7 | 6 | 7 |
| 40 | 1 | 3 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 41 | 1 | 3 | 6 | 6 | 5 | 6 |
| 42 | 1 | 2 | 7 | 6 | 6 | 7 |
| 43 | 3 | 1 | 7 | 5 | 5 | 5 |
| 44 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 45 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | 7 |
| 46 | 1 | 2 | 5 | 7 | 6 | 7 |
| 47 | 1 | 1 | 7 | 5 | 5 | 5 |
| 48 | 2 | 1 | 7 | 5 | 6 | 7 |
| 49 | 1 | 3 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 50 | 2 | 1 | 6 | 5 | 7 | 5 |
| 51 | 2 | 3 | 6 | 6 | 5 | 6 |
| 52 | 3 | 3 | 7 | 0 | 7 | 6 |
| 53 | 3 | 3 | 7 | 0 | 5 | 6 |
| 54 | 1 | 1 | 5 | 0 | 7 | 7 |
| 55 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 6 |
| 56 | 1 | 1 | 6 | 0 | 6 | 5 |
| 57 | 2 | 3 | 7 | 0 | 7 | 5 |

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 58  | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 5 |
| 59  | 1 | 3 | 6 | 0 | 5 | 7 |
| 60  | 3 | 2 | 6 | 0 | 7 | 6 |
| 61  | 3 | 2 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 62  | 2 | 2 | 5 | 0 | 6 | 6 |
| 63  | 1 | 1 | 5 | 0 | 7 | 6 |
| 64  | 2 | 1 | 6 | 0 | 5 | 6 |
| 65  | 3 | 3 | 6 | 0 | 5 | 7 |
| 66  | 1 | 3 | 6 | 0 | 7 | 6 |
| 67  | 2 | 1 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 68  | 3 | 1 | 5 | 0 | 5 | 7 |
| 69  | 3 | 2 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 70  | 3 | 2 | 6 | 0 | 7 | 5 |
| 71  | 3 | 3 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 72  | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 73  | 3 | 2 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 74  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 75  | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 76  | 2 | 2 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 77  | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 78  | 3 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 79  | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 80  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 81  | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 82  | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 83  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 84  | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 85  | 2 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 86  | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 87  | 3 | 2 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 88  | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 89  | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 90  | 1 | 3 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 91  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 92  | 3 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 93  | 3 | 2 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 94  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 95  | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 96  | 1 | 3 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 97  | 2 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 98  | 3 | 1 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 99  | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 100 | 3 | 2 | 7 | 0 | 0 | 7 |

1.4 N=6 时进货口对应出货口编号表

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | A 侧进货口<br>1 的货物在<br>B 侧的目标<br>出货口编号 | A 侧进货口<br>2 的货物在<br>B 侧的目标<br>出货口编号 | B 侧进货口<br>3 的货物在<br>A 侧的目标<br>出货口编号 | B 侧进货口4<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口<br>5 的货物在<br>A 侧的目标<br>出货口编号 | B 侧进货口<br>6 的货物在<br>A 侧的目标<br>出货口编号 |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1                   | 4                                   | 3                                   | 3                                   | 6                                  | 4                                   | 2                                   |
| 2                   | 2                                   | 4                                   | 4                                   | 1                                  | 1                                   | 5                                   |
| 3                   | 5                                   | 5                                   | 2                                   | 2                                  | 3                                   | 4                                   |
| 4                   | 1                                   | 1                                   | 3                                   | 3                                  | 5                                   | 4                                   |
| 5                   | 3                                   | 6                                   | 1                                   | 2                                  | 5                                   | 1                                   |
| 6                   | 6                                   | 1                                   | 5                                   | 6                                  | 6                                   | 2                                   |
| 7                   | 2                                   | 6                                   | 3                                   | 6                                  | 1                                   | 3                                   |
| 8                   | 1                                   | 1                                   | 4                                   | 4                                  | 2                                   | 2                                   |
| 9                   | 6                                   | 5                                   | 5                                   | 3                                  | 1                                   | 5                                   |
| 10                  | 2                                   | 4                                   | 3                                   | 2                                  | 4                                   | 6                                   |
| 11                  | 4                                   | 6                                   | 5                                   | 4                                  | 6                                   | 5                                   |
| 12                  | 3                                   | 4                                   | 5                                   | 1                                  | 2                                   | 1                                   |
| 13                  | 6                                   | 5                                   | 3                                   | 3                                  | 2                                   | 2                                   |
| 14                  | 6                                   | 1                                   | 1                                   | 6                                  | 4                                   | 6                                   |
| 15                  | 3                                   | 2                                   | 2                                   | 3                                  | 6                                   | 5                                   |
| 16                  | 3                                   | 2                                   | 6                                   | 1                                  | 1                                   | 2                                   |
| 17                  | 6                                   | 5                                   | 3                                   | 1                                  | 3                                   | 2                                   |
| 18                  | 5                                   | 1                                   | 5                                   | 4                                  | 2                                   | 5                                   |
| 19                  | 5                                   | 5                                   | 1                                   | 2                                  | 3                                   | 4                                   |
| 20                  | 4                                   | 4                                   | 4                                   | 5                                  | 2                                   | 3                                   |
| 21                  | 5                                   | 1                                   | 2                                   | 4                                  | 4                                   | 2                                   |
| 22                  | 5                                   | 3                                   | 4                                   | 1                                  | 2                                   | 4                                   |
| 23                  | 3                                   | 2                                   | 6                                   | 2                                  | 6                                   | 1                                   |
| 24                  | 1                                   | 4                                   | 2                                   | 1                                  | 4                                   | 5                                   |
| 25                  | 4                                   | 5                                   | 5                                   | 5                                  | 3                                   | 3                                   |
| 26                  | 4                                   | 3                                   | 3                                   | 3                                  | 1                                   | 4                                   |
| 27                  | 1                                   | 4                                   | 4                                   | 6                                  | 2                                   | 6                                   |
| 28                  | 4                                   | 2                                   | 2                                   | 2                                  | 4                                   | 3                                   |
| 29                  | 2                                   | 5                                   | 1                                   | 6                                  | 3                                   | 4                                   |
| 30                  | 5                                   | 6                                   | 1                                   | 4                                  | 1                                   | 4                                   |
| 31                  | 6                                   | 6                                   | 2                                   | 5                                  | 1                                   | 2                                   |
| 32                  | 6                                   | 5                                   | 5                                   | 2                                  | 1                                   | 4                                   |
| 33                  | 6                                   | 1                                   | 3                                   | 1                                  | 4                                   | 1                                   |
| 34                  | 3                                   | 2                                   | 5                                   | 3                                  | 3                                   | 1                                   |
| 35                  | 5                                   | 4                                   | 5                                   | 6                                  | 2                                   | 2                                   |
| 36                  | 1                                   | 4                                   | 5                                   | 4                                  | 5                                   | 5                                   |
| 37                  | 3                                   | 6                                   | 2                                   | 1                                  | 6                                   | 2                                   |
| 38                  | 4                                   | 3                                   | 4                                   | 2                                  | 1                                   | 4                                   |
| 39                  | 2                                   | 3                                   | 2                                   | 1                                  | 3                                   | 3                                   |
| 40                  | 6                                   | 1                                   | 5                                   | 3                                  | 5                                   | 4                                   |
| 41                  | 5                                   | 1                                   | 6                                   | 4                                  | 4                                   | 2                                   |
| 42                  | 4                                   | 4                                   | 1                                   | 6                                  | 2                                   | 4                                   |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 43 | 3 | 2 | 6 | 1 | 5 | 1 |
| 44 | 2 | 1 | 5 | 2 | 3 | 2 |
| 45 | 5 | 3 | 5 | 6 | 6 | 4 |
| 46 | 2 | 6 | 6 | 1 | 2 | 1 |
| 47 | 6 | 4 | 6 | 6 | 4 | 2 |
| 48 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 |
| 49 | 2 | 1 | 5 | 1 | 3 | 1 |
| 50 | 4 | 4 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| 51 | 6 | 6 | 5 | 3 | 1 | 4 |
| 52 | 6 | 4 | 4 | 0 | 1 | 3 |
| 53 | 5 | 5 | 5 | 0 | 2 | 5 |
| 54 | 4 | 1 | 4 | 0 | 5 | 6 |
| 55 | 4 | 4 | 5 | 0 | 6 | 3 |
| 56 | 3 | 6 | 4 | 0 | 2 | 5 |
| 57 | 5 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| 58 | 2 | 1 | 1 | 0 | 4 | 5 |
| 59 | 3 | 3 | 5 | 0 | 3 | 6 |
| 60 | 5 | 3 | 5 | 0 | 3 | 1 |
| 61 | 3 | 1 | 6 | 0 | 4 | 4 |
| 62 | 6 | 5 | 3 | 0 | 2 | 5 |
| 63 | 3 | 4 | 2 | 0 | 2 | 3 |
| 64 | 6 | 3 | 3 | 0 | 2 | 6 |
| 65 | 1 | 2 | 5 | 0 | 3 | 5 |
| 66 | 4 | 3 | 1 | 0 | 4 | 1 |
| 67 | 3 | 2 | 3 | 0 | 4 | 3 |
| 68 | 5 | 3 | 2 | 0 | 3 | 5 |
| 69 | 6 | 1 | 5 | 0 | 4 | 4 |
| 70 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 5 |
| 71 | 1 | 1 | 1 | 0 | 6 | 5 |
| 72 | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 73 | 3 | 2 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| 74 | 2 | 6 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| 75 | 1 | 6 | 4 | 0 | 0 | 6 |
| 76 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 77 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 4 |
| 78 | 1 | 4 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 79 | 4 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 80 | 5 | 1 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| 81 | 6 | 4 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 82 | 6 | 4 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 83 | 4 | 6 | 2 | 0 | 0 | 5 |
| 84 | 5 | 2 | 2 | 0 | 0 | 5 |
| 85 | 2 | 6 | 2 | 0 | 0 | 4 |
| 86 | 5 | 6 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 87 | 4 | 3 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 88 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 89  | 5 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 90  | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 91  | 5 | 6 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| 92  | 5 | 3 | 5 | 0 | 0 | 4 |
| 93  | 4 | 4 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 94  | 6 | 4 | 6 | 0 | 0 | 2 |
| 95  | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| 96  | 5 | 6 | 5 | 0 | 0 | 2 |
| 97  | 4 | 4 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 98  | 5 | 6 | 2 | 0 | 0 | 6 |
| 99  | 1 | 6 | 6 | 0 | 0 | 3 |
| 100 | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 1 |

### 1.5 N=9 时穿梭车调度编号表

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | 进货口 1 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 2 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 3 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 4 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 5 的<br>穿梭车调度<br>编号 | 进货口 6 的<br>穿梭车调度<br>编号 |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1                   | 3                      | 1                      | 7                      | 5                      | 5                      | 5                      |
| 2                   | 1                      | 2                      | 5                      | 6                      | 7                      | 7                      |
| 3                   | 2                      | 1                      | 5                      | 6                      | 6                      | 6                      |
| 4                   | 2                      | 2                      | 5                      | 5                      | 5                      | 6                      |
| 5                   | 1                      | 3                      | 6                      | 6                      | 7                      | 5                      |
| 6                   | 3                      | 1                      | 6                      | 5                      | 6                      | 5                      |
| 7                   | 2                      | 3                      | 6                      | 7                      | 6                      | 6                      |
| 8                   | 2                      | 2                      | 7                      | 7                      | 7                      | 6                      |
| 9                   | 1                      | 1                      | 7                      | 6                      | 5                      | 6                      |
| 10                  | 1                      | 1                      | 5                      | 6                      | 6                      | 7                      |
| 11                  | 1                      | 3                      | 5                      | 7                      | 6                      | 7                      |
| 12                  | 1                      | 2                      | 7                      | 6                      | 5                      | 7                      |
| 13                  | 2                      | 3                      | 5                      | 5                      | 6                      | 7                      |
| 14                  | 3                      | 3                      | 7                      | 5                      | 7                      | 7                      |
| 15                  | 3                      | 2                      | 5                      | 7                      | 5                      | 7                      |
| 16                  | 2                      | 2                      | 6                      | 6                      | 5                      | 6                      |
| 17                  | 3                      | 3                      | 7                      | 7                      | 6                      | 6                      |
| 18                  | 3                      | 1                      | 5                      | 6                      | 5                      | 5                      |
| 19                  | 3                      | 3                      | 6                      | 7                      | 6                      | 7                      |
| 20                  | 1                      | 3                      | 5                      | 7                      | 5                      | 5                      |
| 21                  | 1                      | 2                      | 6                      | 6                      | 6                      | 5                      |
| 22                  | 3                      | 2                      | 5                      | 5                      | 5                      | 5                      |
| 23                  | 2                      | 1                      | 7                      | 6                      | 7                      | 5                      |
| 24                  | 3                      | 1                      | 6                      | 7                      | 7                      | 7                      |
| 25                  | 1                      | 3                      | 7                      | 5                      | 7                      | 6                      |
| 26                  | 2                      | 2                      | 7                      | 5                      | 7                      | 5                      |
| 27                  | 2                      | 1                      | 7                      | 7                      | 5                      | 6                      |
| 28                  | 3                      | 2                      | 7                      | 7                      | 5                      | 6                      |
| 29                  | 2                      | 3                      | 5                      | 6                      | 5                      | 5                      |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 3 | 3 | 7 | 7 | 7 | 5 |
| 31 | 3 | 1 | 6 | 7 | 6 | 5 |
| 32 | 3 | 2 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| 33 | 1 | 2 | 7 | 5 | 7 | 5 |
| 34 | 2 | 1 | 7 | 7 | 5 | 7 |
| 35 | 2 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 36 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 6 |
| 37 | 1 | 2 | 6 | 7 | 6 | 5 |
| 38 | 1 | 2 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| 39 | 2 | 2 | 7 | 5 | 7 | 7 |
| 40 | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 | 6 |
| 41 | 1 | 3 | 6 | 6 | 7 | 7 |
| 42 | 1 | 2 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| 43 | 3 | 1 | 6 | 5 | 7 | 6 |
| 44 | 2 | 3 | 5 | 6 | 6 | 5 |
| 45 | 3 | 1 | 7 | 6 | 6 | 7 |
| 46 | 1 | 2 | 6 | 6 | 7 | 5 |
| 47 | 1 | 1 | 6 | 7 | 7 | 5 |
| 48 | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 49 | 1 | 3 | 7 | 6 | 7 | 5 |
| 50 | 2 | 1 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| 51 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 7 |
| 52 | 3 | 3 | 6 | 0 | 5 | 6 |
| 53 | 3 | 3 | 7 | 0 | 7 | 5 |
| 54 | 1 | 1 | 7 | 0 | 7 | 5 |
| 55 | 2 | 2 | 5 | 0 | 7 | 6 |
| 56 | 1 | 1 | 6 | 0 | 5 | 6 |
| 57 | 2 | 3 | 6 | 0 | 7 | 5 |
| 58 | 2 | 2 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 59 | 1 | 3 | 5 | 0 | 5 | 6 |
| 60 | 3 | 2 | 6 | 0 | 5 | 6 |
| 61 | 3 | 2 | 6 | 0 | 5 | 7 |
| 62 | 2 | 2 | 6 | 0 | 6 | 6 |
| 63 | 1 | 1 | 6 | 0 | 6 | 7 |
| 64 | 2 | 1 | 7 | 0 | 5 | 5 |
| 65 | 3 | 3 | 6 | 0 | 5 | 6 |
| 66 | 1 | 3 | 7 | 0 | 7 | 7 |
| 67 | 2 | 1 | 7 | 0 | 7 | 6 |
| 68 | 3 | 1 | 6 | 0 | 5 | 7 |
| 69 | 3 | 2 | 7 | 0 | 5 | 7 |
| 70 | 3 | 2 | 5 | 0 | 7 | 5 |
| 71 | 3 | 3 | 7 | 0 | 7 | 7 |
| 72 | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 73 | 3 | 2 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 74 | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 75 | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 5 |



|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 76  | 2 | 2 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 77  | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 78  | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 79  | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 80  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 81  | 1 | 2 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 82  | 2 | 3 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 83  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 84  | 1 | 3 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 85  | 2 | 1 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 86  | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 87  | 3 | 2 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 88  | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 89  | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 90  | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 91  | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 92  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 93  | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 94  | 3 | 1 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 95  | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 96  | 1 | 3 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 97  | 2 | 1 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 98  | 3 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 99  | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 100 | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 5 |

### 1.6 N=9 时进货口对应出货口编号表

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | A 侧进货口 1<br>的货物在 B 侧<br>的目标出货<br>口编号 | A 侧进货口 2<br>的货物在 B<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 3<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 4<br>的货物在 A 侧<br>的目标出货口<br>编号 | B 侧进货口 5<br>的货物在 A 侧<br>的目标出货<br>口编号 | B 侧进货口 6<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1                   | 6                                    | 6                                   | 7                                   | 5                                    | 5                                    | 8                                   |
| 2                   | 4                                    | 9                                   | 4                                   | 4                                    | 9                                    | 1                                   |
| 3                   | 9                                    | 5                                   | 8                                   | 4                                    | 2                                    | 3                                   |
| 4                   | 7                                    | 3                                   | 1                                   | 8                                    | 7                                    | 1                                   |
| 5                   | 3                                    | 2                                   | 6                                   | 5                                    | 6                                    | 5                                   |
| 6                   | 2                                    | 6                                   | 8                                   | 9                                    | 2                                    | 6                                   |
| 7                   | 7                                    | 6                                   | 3                                   | 4                                    | 6                                    | 6                                   |
| 8                   | 5                                    | 1                                   | 4                                   | 5                                    | 8                                    | 4                                   |
| 9                   | 5                                    | 3                                   | 9                                   | 8                                    | 3                                    | 7                                   |
| 10                  | 3                                    | 4                                   | 7                                   | 9                                    | 1                                    | 5                                   |
| 11                  | 9                                    | 8                                   | 3                                   | 9                                    | 4                                    | 7                                   |
| 12                  | 3                                    | 2                                   | 2                                   | 8                                    | 8                                    | 5                                   |
| 13                  | 5                                    | 5                                   | 6                                   | 3                                    | 6                                    | 4                                   |
| 14                  | 9                                    | 9                                   | 2                                   | 4                                    | 4                                    | 1                                   |
| 15                  | 7                                    | 2                                   | 6                                   | 5                                    | 7                                    | 8                                   |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 3 | 8 | 2 | 1 | 6 | 2 |
| 17 | 3 | 6 | 7 | 9 | 8 | 2 |
| 18 | 4 | 5 | 3 | 6 | 8 | 3 |
| 19 | 7 | 1 | 4 | 5 | 9 | 7 |
| 20 | 9 | 9 | 3 | 8 | 6 | 8 |
| 21 | 5 | 4 | 6 | 3 | 7 | 5 |
| 22 | 6 | 6 | 7 | 2 | 4 | 5 |
| 23 | 8 | 1 | 8 | 7 | 7 | 4 |
| 24 | 3 | 6 | 9 | 4 | 3 | 3 |
| 25 | 3 | 6 | 1 | 1 | 8 | 2 |
| 26 | 2 | 4 | 5 | 3 | 4 | 7 |
| 27 | 8 | 6 | 7 | 4 | 1 | 4 |
| 28 | 9 | 2 | 2 | 9 | 9 | 6 |
| 29 | 6 | 9 | 6 | 3 | 5 | 7 |
| 30 | 4 | 2 | 2 | 9 | 9 | 4 |
| 31 | 6 | 4 | 5 | 2 | 1 | 3 |
| 32 | 5 | 1 | 2 | 4 | 3 | 8 |
| 33 | 7 | 7 | 7 | 7 | 2 | 9 |
| 34 | 8 | 9 | 7 | 4 | 3 | 8 |
| 35 | 8 | 6 | 8 | 6 | 8 | 8 |
| 36 | 9 | 6 | 3 | 3 | 7 | 2 |
| 37 | 5 | 5 | 3 | 9 | 3 | 8 |
| 38 | 7 | 2 | 7 | 6 | 1 | 4 |
| 39 | 3 | 1 | 9 | 7 | 1 | 5 |
| 40 | 1 | 2 | 5 | 9 | 4 | 8 |
| 41 | 8 | 7 | 4 | 1 | 2 | 6 |
| 42 | 5 | 3 | 1 | 4 | 8 | 3 |
| 43 | 9 | 8 | 9 | 9 | 7 | 5 |
| 44 | 7 | 3 | 5 | 8 | 6 | 9 |
| 45 | 8 | 6 | 9 | 5 | 2 | 5 |
| 46 | 6 | 8 | 4 | 8 | 6 | 6 |
| 47 | 5 | 4 | 4 | 7 | 1 | 4 |
| 48 | 5 | 7 | 2 | 9 | 8 | 5 |
| 49 | 4 | 6 | 7 | 8 | 4 | 2 |
| 50 | 9 | 6 | 1 | 9 | 3 | 3 |
| 51 | 3 | 7 | 4 | 1 | 8 | 1 |
| 52 | 8 | 2 | 9 | 0 | 9 | 4 |
| 53 | 8 | 6 | 7 | 0 | 6 | 5 |
| 54 | 1 | 5 | 9 | 0 | 8 | 5 |
| 55 | 4 | 1 | 6 | 0 | 7 | 2 |
| 56 | 1 | 6 | 3 | 0 | 3 | 4 |
| 57 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 7 |
| 58 | 4 | 7 | 4 | 0 | 8 | 8 |
| 59 | 6 | 6 | 6 | 0 | 5 | 7 |
| 60 | 4 | 3 | 8 | 0 | 2 | 8 |
| 61 | 5 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 |

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 62  | 2 | 6 | 1 | 0 | 5 | 7 |
| 63  | 8 | 6 | 1 | 0 | 6 | 3 |
| 64  | 6 | 7 | 8 | 0 | 4 | 7 |
| 65  | 6 | 7 | 8 | 0 | 4 | 3 |
| 66  | 6 | 2 | 6 | 0 | 4 | 5 |
| 67  | 6 | 4 | 9 | 0 | 9 | 9 |
| 68  | 9 | 4 | 4 | 0 | 1 | 2 |
| 69  | 2 | 4 | 9 | 0 | 1 | 8 |
| 70  | 8 | 2 | 3 | 0 | 5 | 1 |
| 71  | 3 | 9 | 5 | 0 | 3 | 1 |
| 72  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 3 |
| 73  | 8 | 6 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 74  | 4 | 4 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| 75  | 2 | 8 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 76  | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| 77  | 1 | 7 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 78  | 7 | 7 | 6 | 0 | 0 | 2 |
| 79  | 9 | 8 | 7 | 0 | 0 | 3 |
| 80  | 9 | 9 | 5 | 0 | 0 | 4 |
| 81  | 7 | 9 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| 82  | 8 | 4 | 8 | 0 | 0 | 9 |
| 83  | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 84  | 8 | 3 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 85  | 5 | 9 | 3 | 0 | 0 | 9 |
| 86  | 9 | 7 | 5 | 0 | 0 | 4 |
| 87  | 6 | 3 | 9 | 0 | 0 | 6 |
| 88  | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 7 |
| 89  | 7 | 9 | 3 | 0 | 0 | 9 |
| 90  | 9 | 2 | 6 | 0 | 0 | 8 |
| 91  | 8 | 3 | 9 | 0 | 0 | 5 |
| 92  | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 93  | 4 | 6 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 94  | 8 | 4 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| 95  | 1 | 6 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 96  | 1 | 6 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 97  | 6 | 4 | 2 | 0 | 0 | 9 |
| 98  | 5 | 6 | 7 | 0 | 0 | 4 |
| 99  | 4 | 4 | 5 | 0 | 0 | 2 |
| 100 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 8 |

## 2.1 N=3 时穿梭车调度编号表

| 各进货口货物的处理顺序 | 进货口 1 的穿梭车调度编号 | 进货口 2 的穿梭车调度编号 | 进货口 3 的穿梭车调度编号 | 进货口 4 的穿梭车调度编号 | 进货口 5 的穿梭车调度编号 | 进货口 6 的穿梭车调度编号 |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1           | 2              | 3              | 2              | 1              | 1              | 3              |
| 2           | 3              | 2              | 1              | 2              | 3              | 3              |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 3  | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 4  | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 5  | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| 6  | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 7  | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 8  | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 9  | 1 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 10 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 11 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| 13 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 14 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 15 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 16 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 17 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 18 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 19 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 20 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 21 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 22 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 23 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 24 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| 25 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 26 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 27 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 28 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 29 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 30 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| 31 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 32 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 33 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 34 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 35 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 36 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| 37 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 38 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 39 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 |
| 40 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 41 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 42 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 43 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 44 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 45 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 46 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 47 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 48 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 49 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 50 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 51 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 52 | 2 | 3 | 3 | 0 | 2 | 3 |
| 53 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 | 1 |
| 54 | 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | 2 |
| 55 | 3 | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 56 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| 57 | 3 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| 58 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 59 | 3 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 60 | 2 | 3 | 1 | 0 | 2 | 3 |
| 61 | 1 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 |
| 62 | 3 | 2 | 2 | 0 | 3 | 2 |
| 63 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 3 |
| 64 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| 65 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| 66 | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | 3 |
| 67 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| 68 | 3 | 1 | 3 | 0 | 1 | 3 |
| 69 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 70 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| 71 | 2 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 |
| 72 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 73 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 74 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 75 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 76 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 77 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 78 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 79 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 80 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 81 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 82 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 83 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 84 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 85 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 86 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 87 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 88 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 89 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 90 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 91 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 92 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 93 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 94 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 95  | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 96  | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 97  | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 98  | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 99  | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 100 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 |

## 2.2 N=3 时进货口对应出货口编号表

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | A 侧进货口 1<br>的货物在 B<br>侧的目标出<br>货口编号 | A 侧进货口 2<br>的货物在 B<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 1<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 2<br>的货物在 A 侧<br>的目标出货口<br>编号 | B 侧进货口 3<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 4<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1                   | 2                                   | 4                                   | 6                                   | 6                                    | 6                                   | 5                                   |
| 2                   | 1                                   | 4                                   | 7                                   | 5                                    | 7                                   | 5                                   |
| 3                   | 4                                   | 2                                   | 7                                   | 5                                    | 5                                   | 5                                   |
| 4                   | 3                                   | 1                                   | 6                                   | 5                                    | 5                                   | 5                                   |
| 5                   | 1                                   | 3                                   | 5                                   | 7                                    | 5                                   | 6                                   |
| 6                   | 4                                   | 2                                   | 7                                   | 7                                    | 7                                   | 5                                   |
| 7                   | 3                                   | 1                                   | 5                                   | 6                                    | 6                                   | 5                                   |
| 8                   | 3                                   | 2                                   | 7                                   | 6                                    | 5                                   | 7                                   |
| 9                   | 1                                   | 3                                   | 6                                   | 5                                    | 7                                   | 5                                   |
| 10                  | 4                                   | 2                                   | 6                                   | 5                                    | 6                                   | 6                                   |
| 11                  | 3                                   | 4                                   | 5                                   | 6                                    | 5                                   | 6                                   |
| 12                  | 2                                   | 1                                   | 7                                   | 6                                    | 7                                   | 7                                   |
| 13                  | 2                                   | 3                                   | 7                                   | 7                                    | 5                                   | 7                                   |
| 14                  | 2                                   | 1                                   | 5                                   | 6                                    | 7                                   | 7                                   |
| 15                  | 1                                   | 4                                   | 5                                   | 5                                    | 5                                   | 6                                   |
| 16                  | 3                                   | 4                                   | 7                                   | 6                                    | 6                                   | 7                                   |
| 17                  | 4                                   | 1                                   | 5                                   | 7                                    | 7                                   | 6                                   |
| 18                  | 1                                   | 3                                   | 7                                   | 6                                    | 7                                   | 5                                   |
| 19                  | 3                                   | 3                                   | 5                                   | 7                                    | 7                                   | 5                                   |
| 20                  | 4                                   | 3                                   | 7                                   | 5                                    | 7                                   | 6                                   |
| 21                  | 2                                   | 3                                   | 7                                   | 6                                    | 5                                   | 6                                   |
| 22                  | 3                                   | 2                                   | 5                                   | 5                                    | 6                                   | 7                                   |
| 23                  | 2                                   | 3                                   | 5                                   | 7                                    | 5                                   | 5                                   |
| 24                  | 4                                   | 3                                   | 6                                   | 7                                    | 5                                   | 6                                   |
| 25                  | 2                                   | 3                                   | 5                                   | 5                                    | 6                                   | 5                                   |
| 26                  | 1                                   | 2                                   | 6                                   | 6                                    | 5                                   | 5                                   |
| 27                  | 3                                   | 4                                   | 6                                   | 6                                    | 7                                   | 7                                   |
| 28                  | 3                                   | 1                                   | 6                                   | 6                                    | 6                                   | 7                                   |
| 29                  | 3                                   | 2                                   | 7                                   | 5                                    | 7                                   | 5                                   |
| 30                  | 1                                   | 4                                   | 7                                   | 6                                    | 7                                   | 7                                   |
| 31                  | 1                                   | 4                                   | 5                                   | 5                                    | 6                                   | 5                                   |
| 32                  | 1                                   | 3                                   | 5                                   | 7                                    | 7                                   | 5                                   |
| 33                  | 1                                   | 3                                   | 5                                   | 7                                    | 6                                   | 6                                   |
| 34                  | 3                                   | 4                                   | 7                                   | 5                                    | 7                                   | 7                                   |

---

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 4 | 3 | 5 | 6 | 5 | 7 |
| 36 | 4 | 3 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| 37 | 1 | 3 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| 38 | 1 | 3 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| 39 | 3 | 2 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| 40 | 3 | 1 | 7 | 5 | 6 | 7 |
| 41 | 3 | 3 | 7 | 7 | 6 | 5 |
| 42 | 3 | 1 | 5 | 6 | 7 | 5 |
| 43 | 3 | 1 | 6 | 6 | 7 | 6 |
| 44 | 2 | 3 | 6 | 5 | 6 | 7 |
| 45 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 |
| 46 | 1 | 3 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 47 | 2 | 3 | 5 | 7 | 6 | 6 |
| 48 | 1 | 4 | 5 | 6 | 5 | 6 |
| 49 | 3 | 3 | 7 | 7 | 6 | 7 |
| 50 | 3 | 3 | 5 | 7 | 7 | 6 |
| 51 | 3 | 1 | 6 | 7 | 5 | 5 |
| 52 | 3 | 2 | 6 | 0 | 7 | 5 |
| 53 | 2 | 3 | 5 | 0 | 6 | 7 |
| 54 | 3 | 2 | 6 | 0 | 5 | 7 |
| 55 | 4 | 1 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 56 | 3 | 3 | 5 | 0 | 7 | 5 |
| 57 | 3 | 4 | 6 | 0 | 7 | 7 |
| 58 | 3 | 1 | 6 | 0 | 6 | 7 |
| 59 | 1 | 2 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 60 | 3 | 4 | 5 | 0 | 7 | 7 |
| 61 | 3 | 1 | 6 | 0 | 7 | 7 |
| 62 | 1 | 4 | 6 | 0 | 7 | 6 |
| 63 | 4 | 3 | 6 | 0 | 6 | 6 |
| 64 | 2 | 3 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 65 | 2 | 1 | 5 | 0 | 5 | 5 |
| 66 | 4 | 3 | 5 | 0 | 7 | 7 |
| 67 | 4 | 1 | 5 | 0 | 7 | 7 |
| 68 | 2 | 3 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 69 | 3 | 4 | 7 | 0 | 7 | 5 |
| 70 | 2 | 1 | 5 | 0 | 5 | 6 |
| 71 | 1 | 2 | 6 | 0 | 5 | 5 |
| 72 | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 73 | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 74 | 4 | 3 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 75 | 1 | 3 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 76 | 2 | 4 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 77 | 3 | 4 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 78 | 2 | 4 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 79 | 1 | 4 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 80 | 3 | 4 | 6 | 0 | 0 | 6 |

---

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 81  | 3 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 82  | 3 | 4 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 83  | 2 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 84  | 2 | 3 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 85  | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 86  | 1 | 2 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 87  | 1 | 3 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 88  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 89  | 2 | 3 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 90  | 2 | 3 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 91  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 92  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 93  | 3 | 4 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 94  | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 95  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 96  | 4 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 97  | 1 | 4 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 98  | 4 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 99  | 3 | 4 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 100 | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |

### 2.3 N6 时穿梭车调度编号表

| 各进货口货物的处理顺序 | 进货口 1 的穿梭车调度编号 | 进货口 2 的穿梭车调度编号 | 进货口 3 的穿梭车调度编号 | 进货口 4 的穿梭车调度编号 | 进货口 5 的穿梭车调度编号 | 进货口 6 的穿梭车调度编号 |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1           | 3              | 1              | 7              | 7              | 5              | 6              |
| 2           | 1              | 2              | 5              | 5              | 6              | 6              |
| 3           | 2              | 1              | 5              | 7              | 7              | 6              |
| 4           | 2              | 2              | 7              | 5              | 5              | 5              |
| 5           | 1              | 3              | 6              | 7              | 6              | 7              |
| 6           | 3              | 1              | 5              | 6              | 7              | 7              |
| 7           | 2              | 3              | 7              | 5              | 6              | 6              |
| 8           | 2              | 2              | 5              | 7              | 6              | 5              |
| 9           | 1              | 1              | 5              | 6              | 6              | 5              |
| 10          | 1              | 1              | 6              | 6              | 6              | 7              |
| 11          | 1              | 3              | 5              | 6              | 6              | 5              |
| 12          | 1              | 2              | 7              | 6              | 6              | 7              |
| 13          | 2              | 3              | 6              | 7              | 6              | 7              |
| 14          | 3              | 3              | 7              | 6              | 6              | 6              |
| 15          | 3              | 2              | 7              | 7              | 5              | 6              |
| 16          | 2              | 2              | 7              | 6              | 5              | 6              |
| 17          | 3              | 3              | 6              | 5              | 6              | 6              |
| 18          | 3              | 1              | 5              | 5              | 7              | 7              |
| 19          | 3              | 3              | 7              | 5              | 5              | 7              |
| 20          | 1              | 3              | 7              | 7              | 6              | 5              |
| 21          | 1              | 2              | 6              | 6              | 7              | 7              |



|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 3 | 2 | 7 | 7 | 5 | 6 |
| 23 | 2 | 1 | 6 | 7 | 6 | 7 |
| 24 | 3 | 1 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 25 | 1 | 3 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| 26 | 2 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| 27 | 2 | 1 | 7 | 7 | 7 | 6 |
| 28 | 3 | 2 | 6 | 5 | 7 | 7 |
| 29 | 2 | 3 | 7 | 7 | 5 | 5 |
| 30 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 7 |
| 31 | 3 | 1 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| 32 | 3 | 2 | 7 | 6 | 6 | 7 |
| 33 | 1 | 2 | 7 | 5 | 5 | 5 |
| 34 | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 7 |
| 35 | 2 | 1 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| 36 | 2 | 3 | 7 | 5 | 5 | 6 |
| 37 | 1 | 2 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 38 | 1 | 2 | 6 | 6 | 7 | 7 |
| 39 | 2 | 2 | 5 | 7 | 6 | 6 |
| 40 | 1 | 3 | 7 | 6 | 5 | 7 |
| 41 | 1 | 3 | 6 | 7 | 5 | 7 |
| 42 | 1 | 2 | 6 | 7 | 5 | 7 |
| 43 | 3 | 1 | 7 | 6 | 7 | 5 |
| 44 | 2 | 3 | 7 | 7 | 5 | 7 |
| 45 | 3 | 1 | 6 | 6 | 7 | 5 |
| 46 | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 | 6 |
| 47 | 1 | 1 | 7 | 6 | 5 | 6 |
| 48 | 2 | 1 | 7 | 7 | 5 | 7 |
| 49 | 1 | 3 | 6 | 7 | 7 | 6 |
| 50 | 2 | 1 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| 51 | 2 | 3 | 6 | 7 | 5 | 6 |
| 52 | 3 | 3 | 5 | 0 | 7 | 5 |
| 53 | 3 | 3 | 7 | 0 | 6 | 7 |
| 54 | 1 | 1 | 7 | 0 | 7 | 7 |
| 55 | 2 | 2 | 5 | 0 | 5 | 7 |
| 56 | 1 | 1 | 7 | 0 | 5 | 7 |
| 57 | 2 | 3 | 6 | 0 | 7 | 7 |
| 58 | 2 | 2 | 7 | 0 | 6 | 5 |
| 59 | 1 | 3 | 6 | 0 | 7 | 7 |
| 60 | 3 | 2 | 7 | 0 | 6 | 6 |
| 61 | 3 | 2 | 6 | 0 | 7 | 7 |
| 62 | 2 | 2 | 7 | 0 | 6 | 7 |
| 63 | 1 | 1 | 7 | 0 | 6 | 5 |
| 64 | 2 | 1 | 7 | 0 | 7 | 7 |
| 65 | 3 | 3 | 6 | 0 | 7 | 7 |
| 66 | 1 | 3 | 5 | 0 | 5 | 7 |
| 67 | 2 | 1 | 7 | 0 | 7 | 6 |

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 68  | 3 | 1 | 7 | 0 | 5 | 6 |
| 69  | 3 | 2 | 6 | 0 | 6 | 7 |
| 70  | 3 | 2 | 5 | 0 | 7 | 6 |
| 71  | 3 | 3 | 5 | 0 | 6 | 6 |
| 72  | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 73  | 3 | 2 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 74  | 1 | 2 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 75  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 76  | 2 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 77  | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 78  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 79  | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 80  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 81  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 82  | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 83  | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 84  | 1 | 3 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 85  | 2 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 86  | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 87  | 3 | 2 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 88  | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 89  | 3 | 3 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 90  | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 91  | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 92  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 93  | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 94  | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 95  | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 96  | 1 | 3 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 97  | 2 | 1 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 98  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 99  | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 100 | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 5 |

**2.4 N=6 时进货口对应出货口编号表**

| 各进货口货物的处理顺序 | A 侧进货口 1 的货物在 B 侧的目标出货口编号 | A 侧进货口 2 的货物在 B 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 3 的货物在 A 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 4 的货物在 A 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 5 的货物在 A 侧的目标出货口编号 | B 侧进货口 6 的货物在 A 侧的目标出货口编号 |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1           | 6                         | 6                         | 5                         | 2                         | 4                         | 3                         |
| 2           | 4                         | 1                         | 2                         | 6                         | 1                         | 5                         |
| 3           | 2                         | 6                         | 1                         | 2                         | 3                         | 1                         |
| 4           | 5                         | 6                         | 6                         | 3                         | 2                         | 5                         |
| 5           | 3                         | 2                         | 5                         | 1                         | 3                         | 2                         |
| 6           | 3                         | 5                         | 1                         | 3                         | 4                         | 4                         |
| 7           | 2                         | 2                         | 4                         | 6                         | 6                         | 1                         |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 8  | 1 | 5 | 2 | 4 | 6 | 4 |
| 9  | 4 | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 |
| 10 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 5 |
| 11 | 1 | 4 | 4 | 5 | 2 | 6 |
| 12 | 5 | 1 | 6 | 6 | 1 | 4 |
| 13 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 14 | 2 | 4 | 6 | 1 | 5 | 5 |
| 15 | 3 | 1 | 6 | 1 | 5 | 3 |
| 16 | 5 | 6 | 1 | 4 | 1 | 5 |
| 17 | 4 | 2 | 2 | 5 | 4 | 1 |
| 18 | 1 | 1 | 5 | 2 | 6 | 3 |
| 19 | 3 | 6 | 2 | 5 | 6 | 6 |
| 20 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 | 1 |
| 21 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 |
| 22 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 23 | 3 | 4 | 2 | 1 | 6 | 4 |
| 24 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 |
| 25 | 5 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 26 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 27 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 28 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 29 | 6 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 |
| 30 | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 |
| 31 | 2 | 4 | 5 | 5 | 1 | 3 |
| 32 | 6 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 33 | 5 | 6 | 3 | 6 | 2 | 6 |
| 34 | 3 | 2 | 1 | 2 | 6 | 4 |
| 35 | 3 | 4 | 5 | 1 | 4 | 3 |
| 36 | 2 | 1 | 4 | 1 | 5 | 4 |
| 37 | 6 | 4 | 6 | 4 | 2 | 6 |
| 38 | 6 | 1 | 3 | 5 | 6 | 2 |
| 39 | 6 | 2 | 3 | 1 | 3 | 6 |
| 40 | 6 | 1 | 4 | 5 | 3 | 1 |
| 41 | 2 | 6 | 6 | 6 | 3 | 1 |
| 42 | 2 | 5 | 1 | 5 | 2 | 3 |
| 43 | 2 | 3 | 2 | 5 | 6 | 4 |
| 44 | 5 | 3 | 5 | 6 | 3 | 1 |
| 45 | 3 | 4 | 6 | 5 | 3 | 4 |
| 46 | 3 | 6 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 47 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 6 |
| 48 | 1 | 2 | 1 | 6 | 5 | 4 |
| 49 | 5 | 2 | 6 | 4 | 6 | 4 |
| 50 | 1 | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| 51 | 6 | 2 | 3 | 5 | 6 | 1 |
| 52 | 6 | 3 | 1 | 0 | 2 | 5 |
| 53 | 2 | 3 | 1 | 0 | 5 | 1 |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 54 | 5 | 1 | 4 | 0 | 6 | 1 |
| 55 | 2 | 4 | 6 | 0 | 1 | 2 |
| 56 | 6 | 3 | 6 | 0 | 6 | 2 |
| 57 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| 58 | 3 | 3 | 3 | 0 | 4 | 1 |
| 59 | 6 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| 60 | 2 | 2 | 4 | 0 | 3 | 4 |
| 61 | 4 | 2 | 4 | 0 | 2 | 5 |
| 62 | 1 | 1 | 4 | 0 | 6 | 6 |
| 63 | 4 | 2 | 3 | 0 | 1 | 5 |
| 64 | 3 | 4 | 1 | 0 | 4 | 6 |
| 65 | 2 | 1 | 1 | 0 | 5 | 5 |
| 66 | 2 | 6 | 3 | 0 | 4 | 1 |
| 67 | 1 | 3 | 1 | 0 | 4 | 6 |
| 68 | 6 | 3 | 4 | 0 | 2 | 1 |
| 69 | 4 | 4 | 5 | 0 | 3 | 3 |
| 70 | 5 | 2 | 6 | 0 | 6 | 4 |
| 71 | 4 | 5 | 6 | 0 | 1 | 1 |
| 72 | 6 | 5 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| 73 | 4 | 6 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 74 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 75 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 76 | 2 | 5 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 77 | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 78 | 3 | 6 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 79 | 5 | 3 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| 80 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 6 |
| 81 | 4 | 6 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 82 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| 83 | 6 | 4 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 84 | 5 | 6 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| 85 | 1 | 5 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| 86 | 6 | 1 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 87 | 6 | 2 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 88 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 3 |
| 89 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 90 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | 4 |
| 91 | 6 | 5 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| 92 | 2 | 3 | 5 | 0 | 0 | 3 |
| 93 | 6 | 6 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 94 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 |
| 95 | 5 | 6 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 96 | 6 | 6 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 97 | 5 | 5 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 98 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 99 | 2 | 6 | 5 | 0 | 0 | 1 |

| 100                      | 4                  | 3                  | 2                  | 0                  | 0                      | 3                  |
|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| <b>2.5 N=9 时穿梭车调度编号表</b> |                    |                    |                    |                    |                        |                    |
| 各进货口货<br>物的处理顺<br>序      | 进货口 1 的穿<br>梭车调度编号 | 进货口 2 的穿<br>梭车调度编号 | 进货口 3 的穿<br>梭车调度编号 | 进货口 4 的穿<br>梭车调度编号 | 进货口 5 的穿<br>梭车调度编<br>号 | 进货口 6 的穿<br>梭车调度编号 |
| 1                        | 3                  | 1                  | 6                  | 7                  | 6                      | 7                  |
| 2                        | 1                  | 2                  | 6                  | 6                  | 5                      | 6                  |
| 3                        | 2                  | 1                  | 7                  | 7                  | 7                      | 5                  |
| 4                        | 2                  | 2                  | 7                  | 7                  | 6                      | 6                  |
| 5                        | 1                  | 3                  | 5                  | 5                  | 6                      | 7                  |
| 6                        | 3                  | 1                  | 6                  | 7                  | 7                      | 7                  |
| 7                        | 2                  | 3                  | 5                  | 5                  | 5                      | 5                  |
| 8                        | 2                  | 2                  | 7                  | 7                  | 5                      | 6                  |
| 9                        | 1                  | 1                  | 5                  | 7                  | 5                      | 6                  |
| 10                       | 1                  | 1                  | 7                  | 7                  | 7                      | 5                  |
| 11                       | 1                  | 3                  | 7                  | 5                  | 5                      | 5                  |
| 12                       | 1                  | 2                  | 5                  | 6                  | 7                      | 5                  |
| 13                       | 2                  | 3                  | 5                  | 7                  | 7                      | 7                  |
| 14                       | 3                  | 3                  | 7                  | 5                  | 7                      | 7                  |
| 15                       | 3                  | 2                  | 6                  | 7                  | 6                      | 5                  |
| 16                       | 2                  | 2                  | 5                  | 5                  | 7                      | 5                  |
| 17                       | 3                  | 3                  | 5                  | 5                  | 5                      | 5                  |
| 18                       | 3                  | 1                  | 6                  | 5                  | 7                      | 7                  |
| 19                       | 3                  | 3                  | 7                  | 6                  | 5                      | 7                  |
| 20                       | 1                  | 3                  | 6                  | 7                  | 6                      | 7                  |
| 21                       | 1                  | 2                  | 7                  | 5                  | 5                      | 5                  |
| 22                       | 3                  | 2                  | 7                  | 6                  | 7                      | 7                  |
| 23                       | 2                  | 1                  | 6                  | 6                  | 5                      | 7                  |
| 24                       | 3                  | 1                  | 6                  | 7                  | 5                      | 7                  |
| 25                       | 1                  | 3                  | 5                  | 7                  | 6                      | 6                  |
| 26                       | 2                  | 2                  | 6                  | 6                  | 6                      | 5                  |
| 27                       | 2                  | 1                  | 5                  | 5                  | 7                      | 5                  |
| 28                       | 3                  | 2                  | 7                  | 5                  | 7                      | 7                  |
| 29                       | 2                  | 3                  | 5                  | 7                  | 7                      | 5                  |
| 30                       | 3                  | 3                  | 6                  | 7                  | 7                      | 7                  |
| 31                       | 3                  | 1                  | 7                  | 6                  | 6                      | 6                  |
| 32                       | 3                  | 2                  | 7                  | 7                  | 6                      | 6                  |
| 33                       | 1                  | 2                  | 6                  | 5                  | 5                      | 7                  |
| 34                       | 2                  | 1                  | 5                  | 5                  | 6                      | 7                  |
| 35                       | 2                  | 1                  | 7                  | 6                  | 7                      | 5                  |
| 36                       | 2                  | 3                  | 5                  | 6                  | 6                      | 5                  |
| 37                       | 1                  | 2                  | 6                  | 7                  | 5                      | 6                  |
| 38                       | 1                  | 2                  | 5                  | 5                  | 6                      | 7                  |
| 39                       | 2                  | 2                  | 6                  | 7                  | 7                      | 6                  |
| 40                       | 1                  | 3                  | 5                  | 5                  | 5                      | 6                  |

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 41 | 1 | 3 | 6 | 7 | 5 | 7 |
| 42 | 1 | 2 | 6 | 6 | 5 | 7 |
| 43 | 3 | 1 | 5 | 6 | 5 | 6 |
| 44 | 2 | 3 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 45 | 3 | 1 | 7 | 6 | 7 | 6 |
| 46 | 1 | 2 | 5 | 5 | 7 | 5 |
| 47 | 1 | 1 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 48 | 2 | 1 | 7 | 7 | 6 | 7 |
| 49 | 1 | 3 | 6 | 5 | 7 | 6 |
| 50 | 2 | 1 | 6 | 5 | 7 | 7 |
| 51 | 2 | 3 | 5 | 7 | 6 | 5 |
| 52 | 3 | 3 | 6 | 0 | 5 | 5 |
| 53 | 3 | 3 | 5 | 0 | 6 | 7 |
| 54 | 1 | 1 | 7 | 0 | 5 | 7 |
| 55 | 2 | 2 | 7 | 0 | 7 | 6 |
| 56 | 1 | 1 | 5 | 0 | 6 | 7 |
| 57 | 2 | 3 | 6 | 0 | 7 | 6 |
| 58 | 2 | 2 | 6 | 0 | 7 | 6 |
| 59 | 1 | 3 | 7 | 0 | 7 | 7 |
| 60 | 3 | 2 | 5 | 0 | 5 | 5 |
| 61 | 3 | 2 | 7 | 0 | 7 | 5 |
| 62 | 2 | 2 | 7 | 0 | 6 | 7 |
| 63 | 1 | 1 | 7 | 0 | 7 | 6 |
| 64 | 2 | 1 | 5 | 0 | 7 | 5 |
| 65 | 3 | 3 | 5 | 0 | 6 | 5 |
| 66 | 1 | 3 | 5 | 0 | 7 | 6 |
| 67 | 2 | 1 | 6 | 0 | 5 | 5 |
| 68 | 3 | 1 | 7 | 0 | 7 | 5 |
| 69 | 3 | 2 | 6 | 0 | 7 | 5 |
| 70 | 3 | 2 | 7 | 0 | 5 | 5 |
| 71 | 3 | 3 | 6 | 0 | 5 | 6 |
| 72 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 73 | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 74 | 1 | 2 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 75 | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 76 | 2 | 2 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 77 | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 78 | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 79 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 80 | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 81 | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 82 | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 83 | 1 | 2 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 84 | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 85 | 2 | 1 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 86 | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |

|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 87  | 3 | 2 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 88  | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 89  | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 90  | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 91  | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 7 |
| 92  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 93  | 3 | 2 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 94  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 95  | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 96  | 1 | 3 | 6 | 0 | 0 | 5 |
| 97  | 2 | 1 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 98  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 99  | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 100 | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |

## 2.6 N=9 时进货口对应出货口编号表

| 各进货口<br>货物的处<br>理顺序 | A 侧进货口 1<br>的货物在 B<br>侧的目标出<br>货口编号 | A 侧进货口 2<br>的货物在 B<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 3<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 4<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 5<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 | B 侧进货口 6<br>的货物在 A<br>侧的目标出<br>货口编号 |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1                   | 2                                   | 9                                   | 3                                   | 5                                   | 4                                   | 8                                   |
| 2                   | 6                                   | 5                                   | 4                                   | 1                                   | 4                                   | 2                                   |
| 3                   | 6                                   | 2                                   | 8                                   | 7                                   | 5                                   | 9                                   |
| 4                   | 4                                   | 2                                   | 9                                   | 1                                   | 3                                   | 4                                   |
| 5                   | 6                                   | 8                                   | 8                                   | 1                                   | 5                                   | 8                                   |
| 6                   | 4                                   | 9                                   | 7                                   | 2                                   | 9                                   | 3                                   |
| 7                   | 5                                   | 4                                   | 5                                   | 3                                   | 2                                   | 1                                   |
| 8                   | 1                                   | 6                                   | 7                                   | 2                                   | 5                                   | 6                                   |
| 9                   | 3                                   | 9                                   | 2                                   | 5                                   | 3                                   | 9                                   |
| 10                  | 5                                   | 3                                   | 6                                   | 4                                   | 8                                   | 4                                   |
| 11                  | 1                                   | 9                                   | 7                                   | 1                                   | 8                                   | 9                                   |
| 12                  | 2                                   | 8                                   | 8                                   | 5                                   | 3                                   | 6                                   |
| 13                  | 4                                   | 3                                   | 4                                   | 6                                   | 9                                   | 7                                   |
| 14                  | 5                                   | 4                                   | 7                                   | 1                                   | 1                                   | 6                                   |
| 15                  | 1                                   | 1                                   | 3                                   | 4                                   | 2                                   | 1                                   |
| 16                  | 4                                   | 9                                   | 5                                   | 5                                   | 9                                   | 7                                   |
| 17                  | 3                                   | 9                                   | 8                                   | 5                                   | 4                                   | 8                                   |
| 18                  | 7                                   | 9                                   | 4                                   | 6                                   | 1                                   | 4                                   |
| 19                  | 2                                   | 8                                   | 3                                   | 5                                   | 3                                   | 7                                   |
| 20                  | 5                                   | 1                                   | 2                                   | 7                                   | 6                                   | 9                                   |
| 21                  | 2                                   | 6                                   | 7                                   | 5                                   | 6                                   | 6                                   |
| 22                  | 5                                   | 1                                   | 5                                   | 7                                   | 9                                   | 8                                   |
| 23                  | 3                                   | 6                                   | 5                                   | 9                                   | 4                                   | 8                                   |
| 24                  | 1                                   | 8                                   | 4                                   | 5                                   | 6                                   | 3                                   |
| 25                  | 8                                   | 4                                   | 6                                   | 1                                   | 9                                   | 9                                   |
| 26                  | 9                                   | 9                                   | 7                                   | 8                                   | 7                                   | 1                                   |

---

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 7 | 7 | 7 | 4 | 9 | 1 |
| 28 | 1 | 3 | 2 | 6 | 3 | 9 |
| 29 | 9 | 8 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| 30 | 6 | 8 | 1 | 5 | 6 | 3 |
| 31 | 8 | 1 | 2 | 9 | 6 | 4 |
| 32 | 7 | 1 | 7 | 7 | 3 | 4 |
| 33 | 1 | 8 | 6 | 9 | 8 | 4 |
| 34 | 8 | 9 | 3 | 1 | 2 | 6 |
| 35 | 4 | 7 | 9 | 1 | 2 | 4 |
| 36 | 1 | 3 | 6 | 4 | 1 | 3 |
| 37 | 8 | 4 | 8 | 5 | 7 | 6 |
| 38 | 6 | 8 | 2 | 2 | 5 | 8 |
| 39 | 5 | 1 | 8 | 6 | 3 | 4 |
| 40 | 2 | 3 | 3 | 9 | 6 | 9 |
| 41 | 3 | 9 | 8 | 9 | 5 | 2 |
| 42 | 3 | 8 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| 43 | 9 | 4 | 7 | 8 | 3 | 7 |
| 44 | 5 | 8 | 4 | 5 | 9 | 5 |
| 45 | 2 | 3 | 1 | 8 | 7 | 8 |
| 46 | 4 | 1 | 3 | 5 | 3 | 2 |
| 47 | 2 | 2 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 48 | 7 | 6 | 9 | 6 | 7 | 9 |
| 49 | 8 | 9 | 8 | 4 | 3 | 2 |
| 50 | 7 | 7 | 1 | 4 | 5 | 6 |
| 51 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 52 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 |
| 53 | 2 | 1 | 8 | 0 | 9 | 3 |
| 54 | 3 | 4 | 6 | 0 | 9 | 2 |
| 55 | 9 | 8 | 7 | 0 | 7 | 3 |
| 56 | 6 | 1 | 6 | 0 | 8 | 6 |
| 57 | 6 | 2 | 8 | 0 | 5 | 4 |
| 58 | 3 | 2 | 7 | 0 | 7 | 5 |
| 59 | 8 | 9 | 8 | 0 | 1 | 4 |
| 60 | 1 | 9 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 61 | 9 | 9 | 9 | 0 | 1 | 4 |
| 62 | 6 | 9 | 3 | 0 | 2 | 3 |
| 63 | 6 | 2 | 8 | 0 | 8 | 7 |
| 64 | 6 | 4 | 1 | 0 | 3 | 9 |
| 65 | 6 | 4 | 2 | 0 | 7 | 2 |
| 66 | 3 | 6 | 3 | 0 | 4 | 8 |
| 67 | 2 | 3 | 3 | 0 | 5 | 2 |
| 68 | 1 | 1 | 5 | 0 | 9 | 2 |
| 69 | 3 | 3 | 6 | 0 | 4 | 5 |
| 70 | 7 | 1 | 2 | 0 | 9 | 6 |
| 71 | 3 | 4 | 7 | 0 | 4 | 8 |
| 72 | 4 | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |

---



|     |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 73  | 8 | 5 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 74  | 6 | 1 | 7 | 0 | 0 | 8 |
| 75  | 4 | 4 | 9 | 0 | 0 | 5 |
| 76  | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 77  | 5 | 1 | 7 | 0 | 0 | 6 |
| 78  | 2 | 6 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 79  | 9 | 3 | 2 | 0 | 0 | 5 |
| 80  | 7 | 7 | 3 | 0 | 0 | 6 |
| 81  | 8 | 9 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| 82  | 4 | 9 | 5 | 0 | 0 | 3 |
| 83  | 1 | 6 | 6 | 0 | 0 | 8 |
| 84  | 3 | 8 | 2 | 0 | 0 | 9 |
| 85  | 7 | 5 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| 86  | 3 | 1 | 5 | 0 | 0 | 4 |
| 87  | 6 | 6 | 8 | 0 | 0 | 3 |
| 88  | 1 | 3 | 9 | 0 | 0 | 1 |
| 89  | 9 | 4 | 5 | 0 | 0 | 6 |
| 90  | 1 | 5 | 4 | 0 | 0 | 2 |
| 91  | 9 | 8 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| 92  | 2 | 5 | 7 | 0 | 0 | 4 |
| 93  | 9 | 9 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 94  | 7 | 1 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| 95  | 7 | 3 | 7 | 0 | 0 | 4 |
| 96  | 5 | 7 | 9 | 0 | 0 | 8 |
| 97  | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| 98  | 9 | 3 | 7 | 0 | 0 | 1 |
| 99  | 3 | 6 | 8 | 0 | 0 | 4 |
| 100 | 8 | 1 | 2 | 0 | 0 | 5 |

## 附录 B MATLAB 程序

### 1、基于遗传算法的穿梭车调度主函数

```
function [time]=GA()
N=3;num=10;%每次迭代一个口货物的数量，染色体携带的基因个数
popsize=20;%初始种群大小
Generationnmax=20;%最大代数
pcrossover=0.8;%交配概率
pmutation=0.1;%变异概率
fitness=zeros(1,popsize);%%产生初始种群，两个矩阵
A_2=xlsread('A.xlsx');A_2(:,1)=A_2(:,1)+A_2(:,2);A_2(:,2)=A_2(:,1)-A_2(:,2);
A_2(:,1)=A_2(:,1)-A_2(:,2);A_2_ini=A_2;
population=[ceil(4+3*rand(100,4,popsize)),ceil(N*rand(100,6,popsize))];
for i=1:popsize
    population(52:100,2,i)=0;
    population(72:100,3,i)=0;
    population(52:100,8,i)=0;
    population(72:100,9,i)=0;
```

```

end%%迭代的时候用到的 population 信息，ini 为所有信息，raise 随着迭代不断上升，
best 为最优种群
population_ini=population;population_raise=[];scnew=zeros(num,10,popsize);
smnew=zeros(num,10,popsize);handle_waitbar=waitbar(0,'Please wait...');%%每次迭代 10 个
货物
for s=1:10
    start=10*s-9;
    the_end=10*s;%%每次迭代取 ini 对应的 10 行，population_part 的值每次都在变
    population_part_s=population_ini(start:the_end,:);
    A_2_part=A_2_ini(1:the_end,:);Generation=0;
while Generation<Generationnmax
    Generation=Generation+1;%%算 raise 后的适应度
for i=1:popsize
    fitness(i)=simulation([population_raise;population_part_s(:,i)],A_2_part,N);
end%%给适应度函数加上一个大小合理的数以便保证种群适应值为正数
fitness=fitness';
valuemax=max(fitness);
fitness=(valuemax-fitness);
fsum=sum(fitness);
Pperpopulation=fitness/fsum;
cumsum=cumsum(Pperpopulation);
cumsum=cumsum';%%只对 part 进行交叉等操作
for j=1:2:popsize %选择操作
    seln=selection(cumsum); %交叉操作
    scro=crossover(population_part_s,seln,pcrossover);
    scnew(:,j)=scro(:,1);scnew(:,j+1)=scro(:,2);
    smnew(:,j)=mutation(scnew(:,j),pmutation,N);
    smnew(:,j+1)=mutation(scnew(:,j+1),pmutation,N);
end%%产生了新的种群，part
population_part_s=smnew;
end%%计算 raise 后的适应度
for i=1:popsize
    fitness(i)=simulation([population_raise();population_part_s(:,i)],A_2_part,N);
end
[~,index]=min(fitness); population_raise(start:the_end,:)=population_part_s(:,index);
waitbar(s/20,handle_waitbar)
end
close(handle_waitbar);time=simulation(population_raise,A_2_ini,N);
xlswrite('task.xlsx',population_raise);
end

```

## 2、环形穿梭车调度过程

```

function
[port_state,vehicle_state]=Fnc_update_state(task_assignment,task_information,port_state,veh
icle_state,vehicle_coordinate,in_coordinate,out_coordinate,N)
% vehicle_state 第一行代表 N 个运输车的状态，
%0 表示空闲%1 代表正在装货%2 代表正在运货%3 代表正在卸货

```

```

% 第二行代表货物来源于哪个进货口（编号 1-6），从开始装货到开始卸货此数值不为
0
% 第三行代表需要将货物送到哪个出货口（编号 1-7），从开始装货到开始卸货此数值
不为 0
% 第四行在运输车不处于 flag=1 或 3 时为 0，当 flag==1 或 3 时其数字代表装卸货剩余
的时间，本程序中由于取了 h=0.01
% 因为浮点数的判定条件问题所以取这个数字的范围为 0-100，每当进行一个 while 循
环 t 增加 0.1，10s 对应 100 次循环
%%port_state 口的状态，列数为 6，6 个进货口
%%第一行代表每一个口下一个有待装箱的货物编号%%第二行代表这个货物由哪个运
输车负责%%第三行代表这个货物要送到哪个口
for i=1:N%%如果空闲则满足一定条件变成装货
    if(vehicle_state(1,i)==0)
        %%检测第 i 个车是否到达对应进货口,如果已经到达进货口则进行装箱,
        %%并将小车状态改为正在装货，记录起始地和目的地，并将等待时间置 100.
        %%0.15=0.1*1.5，代表进货出货区间
        delta=vehicle_coordinate(i)-in_coordinate;%index 代表哪个进货口
        index=find((0<delta)&(delta<=0.15));%有空闲的运输车到达进货口
        if(~isempty(index))
            if port_state(2,index)==i
                vehicle_state(1,i)=1; vehicle_state(2,i)=index;
                vehicle_state(3,i)=port_state(3,index); vehicle_state(4,i)=100;
            end
        end
    end
    %%如果在装货，则时间减一，如果减一后为 0，变为运货状态,此时进货口的状态进行
    更新，
    %%货物信息进行移位
    elseif(vehicle_state(1,i)==1)
        vehicle_state(4,i)=vehicle_state(4,i)-1;
        if(vehicle_state(4,i)==0)
            vehicle_state(1,i)=2;index=vehicle_state(2,i);%%当有一个货物完成装货后，
            对应 port 货物编号+1，并更新对应 port 信息
            port_state(1,index)=port_state(1,index)+1;
            port_state(2,index)=task_assignment(port_state(1,index),index);
            port_state(3,index)=task_information(port_state(1,index),index);
        end
    end
    %%处于运货状态时，检测第 i 个车是否到达对应出货口，如果已经到达出货口进行卸
    货
    %%小车状态改为卸货，并将时间置 1000
    elseif(vehicle_state(1,i)==2)
        delta=vehicle_coordinate(i)-out_coordinate;
        index=find((0<delta)&(delta<=0.15));
        if(~isempty(index))
            if vehicle_state(3,i)==index
                vehicle_state(1,i)=3; vehicle_state(4,i)=100;
            end
        end
    end
end

```

end%%如果在卸货，则时间减一，如果减一后为 0，变为空闲状态，并清空该车的进货口和出货口信息

```
elseif(vehicle_state(1,i)==3)
    vehicle_state(4,i)=vehicle_state(4,i)-1;
    if(vehicle_state(4,i)==0)
        vehicle_state(1,i)=0; vehicle_state(2,i)=0; vehicle_state(3,i)=0;
    end
end
end
```

end

end

### 3、主客观一致赋权评价模型优化权重程序

clear

close all

clc

charct\_vector=6; %评价对象个数

charct\_totalnum=4; %评价指标个数

```
x=[ 1874.2  0.0401  132 0.3728;
    4959.0 0.0627  109 0.2806;
    8273.0 0.0764  95  0.2389;
    1874.2   0.0401  132 0.3728;
    4959.0 0.0627  109 0.2806;
    8273.0 0.0764  95  0.2389];
```

u=zeros(charct\_totalnum,1);v=zeros(charct\_totalnum,1);

for i=1:6

for j=2:4

r1(i,j)=(max(x(i,:))-x(i,j))/(max(x(i,:))-min(x(i,:)));%%越小越优的归一化处理

end

end

for i=1:6

for j=1:1

r1(i,j)=(x(i,j)-min(x(i,:)))/(max(x(i,:))-min(x(i,:)));%%越大越优的归一化处理

end

end

%%层次分析法%构建新特征参数

A=[1,2,3,3;1/2,1,2,2;1/3,1/2,1,2;1/3,1/2,1/2,1]; %判断矩阵

[V,DD]=eig(A); %求 A 的特征值构成对角阵 D，特征向量构成 V 的列向量

q=V(:,1); %q 向量即为权重向量

for i=1:charct\_totalnum

u(i)=q(i,1); %q 4x1

end %计算新定义特征参数

%%熵值法

entropy\_sum=zeros(charct\_totalnum,1);

for i=1:charct\_totalnum

for j=1:charct\_vector

entropy\_sum(i,1)=entropy\_sum(i,1)+r1(j,i);

end

```

end
f=zeros(charct_totalnum,charct_vector);
for i=1:charct_totalnum                                % 计算 f
    for j=1:charct_vector
        f(i,j)=r1(j,i)/entropy_sum(i,1);
        if f(i,j)==0
            f(i,j)=1;
        end
    end
end
end
k=-1/(log(charct_vector));h=zeros(charct_totalnum,1);sum_f=zeros(charct_totalnum,1);
for i=1:charct_totalnum
    for j=1:charct_vector
        sum_f(i,1)=sum_f(i,1)+f(i,j)*log(f(i,j));
    end
    h(i,1)=k*sum_f(i,1);    % 熵值
end
w2=zeros(charct_totalnum,1);sum_h=0;
for i=1:charct_totalnum
    sum_h=sum_h+h(i,1);
end
for i=1:charct_totalnum
    w2(i,1)=(1-h(i,1))/(charct_totalnum-sum_h); v(i)=w2(i,1);
end    % 熵权
%% 综合优化评价
A1=diag([sum(r1(:,1).^2),sum(r1(:,2).^2),sum(r1(:,3).^2),sum(r1(:,4).^2)],0);
E1=[1 1 1 1]';
B1=[(u(1)+v(1))*sum(r1(:,1).^2)/2,(u(2)+v(2))*sum(r1(:,2).^2)/2,(u(3)+v(3))*sum(r1(:,3).^2)/2,(u(4)+v(4))*sum(r1(:,4).^2)/2]';
W1=inv(A1)*(B1+(1-E1'*inv(A1)*B1)/(E1'*inv(A1)*E1)*E1);
[m1,n1]=size(r1);%% 矩阵单位化
for i=1:n1
    R1(1,i)=norm(r1(:,i));
end
R1=repmat(R1,m1,1); z1=r1./R1;
for j=1:4
    ye_z(j)=max(z1(:,j).*W1(j));%% 正理想方案
    ye_f(j)=min(z1(:,j).*W1(j));%% 负理想方案
for i=1:6
    L(i)=sqrt(sum((z1(i,:).*W1(j)-ye_z(j)).^2)); D(i)=sqrt(sum((z1(i,:).*W1(j)-ye_f(j)).^2));
    F(i)=D(i)/(L(i)+D(i));
end
end

```

#### 4、基于 PSO 算法的多目标寻优程序

```

function [gbest] = PSO( )
clear all;

```

```

clc;
close all
format long;
%-----给定初始化条件-----
c1=2;          %学习因子 1
c2=2;          %学习因子 2
w=0.3;         %惯性权重
MaxDT=100;     %最大迭代次数
D=4;           %搜索空间维数（未知数个数）
N=40;          %初始化群体个体数目
Vmax=[100,10,10,10]; Vmin=-Vmax; V_length=2*Vmax;% %l_1,l_2,v,n
popmax=[120,10,3,10]; popmin=[30,4,0.5,1]; pop_length=popmax-popmin;
pop=zeros(N,D); V=zeros(N,D); fitness=zeros(1,N);
%-----初始化种群的个体(可以在这里限定位置和速度的范围)-----
For i=1:N
    pop(i,:)=popmin+[pop_length(1)*rand(),pop_length(2)*rand(),pop_length(3)*rand(),pop_
length(4)*rand()];%随机初始化位置
    V(i,:)=Vmin+[V_length(1)*rand(),V_length(2)*rand(),V_length(3)*rand(),V_length(
4)*rand()]; %随机初始化速度
    fitness(i)=ackley(pop(i,:));
end
%-----先计算各个粒子的适应度，并初始化 Pi 和 Pg,34 行 min 取最小,最大变成 max
-----
[fitnessgbest,bestindex]=max(fitness);gbest_metrix=zeros(MaxDT+1,D);
gbest=pop(bestindex,:); gbest_metrix(1,:)=gbest; pbest=pop; fitnesspbest=fitness;
for i=1:MaxDT
    for j=1:N
        V(j,:)=w*V(j,:)+c1*rand*(pbest(j,:)-pop(j,:))+c2*rand*(gbest-pop(j,:));
        %%速度限幅
        for k=1:D
            if V(j,k)>Vmax(k)
                V(j,k)=Vmax(k);
            end
            if V(j,k)<Vmin(k)
                V(j,k)=Vmin(k);
            end
        end
        %%位置限幅
        pop(j,:)=pop(j,:)+V(j,:);
        for k=1:D
            if pop(j,k)>popmax(k)
                pop(j,k)=popmax(k);
            end
            if pop(j,k)<popmin(k)
                pop(j,k)=popmin(k);
            end
        end
        %%粒子运动方向，取最大最小需要改大于号和小于号

```

```

        fitness(j)=ackley(pop(j,:));
        if fitness(j)>fitnesspbest(j)
            pbest(j,:)=pop(j,:); fitnesspbest(j)=fitness(j);
        end
        gbest_metrix(i+1,:)=gbest_metrix(i,:);
        if fitness(j)>fitnessgbest
            gbest=pop(j,:); gbest_metrix(i+1,:)=gbest; fitnessgbest=fitness(j);
        end
    end
    yy(i)=fitnessgbest;
end%-----最后给出计算结果
gbest_metrix;
x_1=gbest_metrix(:,1);x_2=gbest_metrix(:,2);
x_3=gbest_metrix(:,3);x_4=ceil(gbest_metrix(:,4));
figure(5);
subplot(2,2,1);plot(x_1);xlabel('进化代数');ylabel('l1/m');
subplot(2,2,2);plot(x_2);xlabel('进化代数');ylabel('l2/m');
subplot(2,2,3);plot(x_3);xlabel('进化代数');ylabel('v/m/s');
subplot(2,2,4);plot(x_4);xlabel('进化代数');ylabel('N/个');
%-----算法结束---DreamSun GL & HF-----
end

```