

Flexsim 软件在物流系统仿真中的应用

8.1 配送中心仿真案例

8.1.1 问题描述与模型参数

1、配送中心设计方案与作业流程

物流配送中心仿真的主要目的是：①判断系统中设备地配置是否合理；②检验系统运行过程是否畅通及货物通过能力；③评价和改进配送中心系统的设备配置。该配送中心的系统流程分为以下五个主要环节：入库处理区、存储区、流通加工区、拣货区和发货区。

配送中心根据空间属性和设备的物理位置建立仓库的 Flexsim 三维模型。货物的到达和离开分别使用 Source（发生器）和 Sink（吸收器）模拟；自动分拣机用 Conveyor（输送机）来模拟，各段 Conveyor 之间通过一定的逻辑连接，并在参数中设置使用操作员；码盘作业使用 Combiner（合成器）模拟；对出入库托盘的处理使用 Processor（处理器）模拟，模拟一段时间的延迟；出入库台用 Queue（暂存区）模拟；拆分托盘用 Separator（分解器）模拟，并使用 Operator（操作员）；其它的运输工具、操作员等均使用 Flexsim 实体资源中相应的模型来模拟。各模型建立后按照前述的参数进行设置。

货物到达收货区以后，经过卸货、拆装、标示、验收等工作流程后入库。流通加工区从货物存储区或者拣货区取出货物以后，对货物进行贴价签、更换包装等二次加工后，将从货物存储区取出的货物送回货物存储区重新入库，从拣货区取出的货物送到发货区直接出库。作业控制区发出发货命令后，配送中心把相应货物送到发货区，等待装货。发货区的货物一部分来自货物存储区，另一部分来自拣货区。

设计配送中心整体概念运作方式如图 8.1 所示，配送中心作业流程图如下图 8.2 所示。

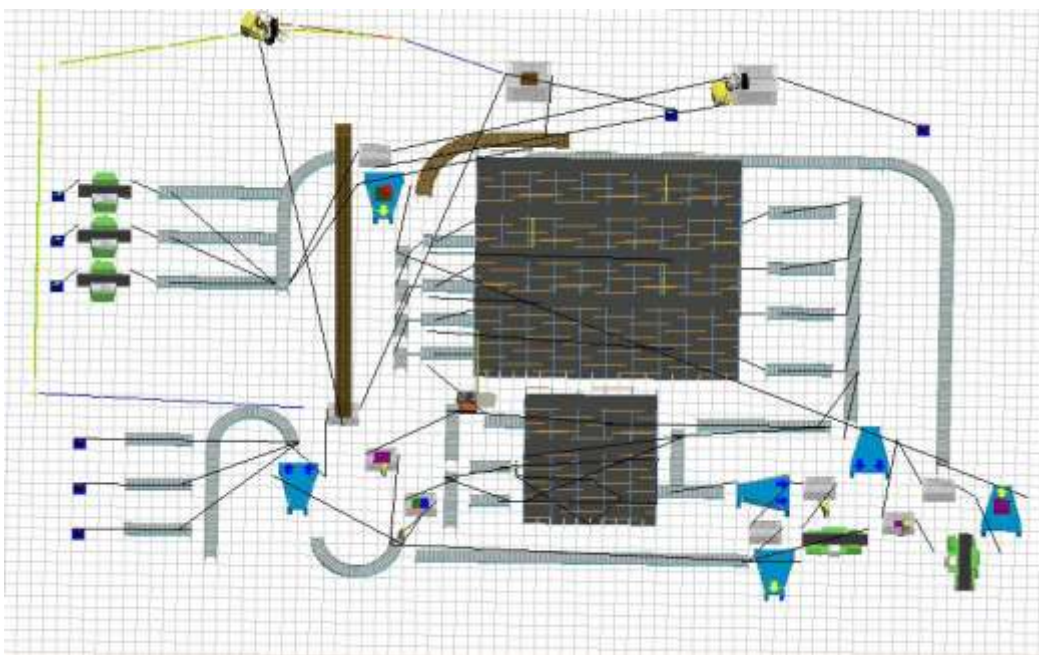


图 8.1 配送中心整体概念图

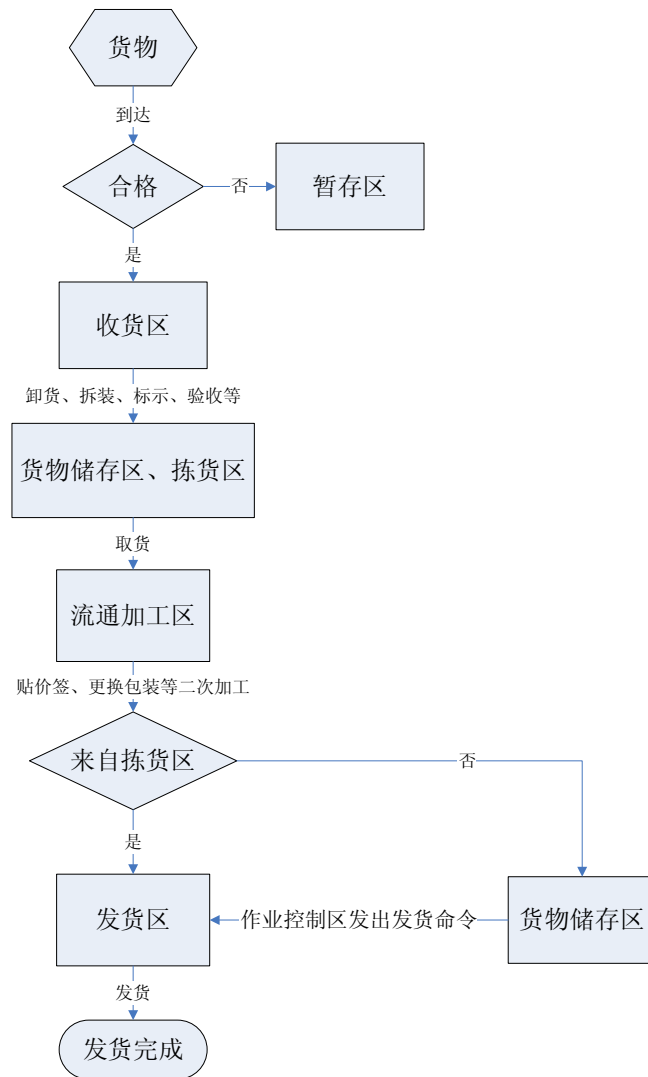


图 8.2 配送中心作业流程图

2、包装以及托盘方案尺寸

三种产品在进入传送带主干线时进行托盘装盘。库房托盘采用标准托盘 800mm 错误!
未找到引用源。1000mm。每类产品每盘装载 4 件。

3、主要参数设计

(1)收货：货物到服从泊松分布，数学期望为 55。

(2)不良货物率为 10%。

(3)生成托盘，数量为 340。

(4)合成器装盘，每个托盘装货量为 4 件。

(5)流通加工区从货物存储区和拣货区取货操作员服从定长分布，均值分别为 68、92。

(6)到达流通加工区的时候用分解器去托盘。

(7) 储存区货架设置成 10 行 10 列，货物的放置从第一排第一列开始放置，停留时间按泊松分布，均值为 7200,随机数流为 1；拣货区货架设置成 10 行 5 列，停留时间按泊松分布，均值为 3600，随机数流为 1。

4、建模仿真研究的问题

仿真周期设为 10 小时，使用复演法做多次独立的仿真试验，然后通过观察、统计、分析实时状态图和导出的仿真实验数据，得到最终的仿真结果，解决以下问题：

- （1）对堆垛机、运输小车、货架的仿真结果进行分析。
- （2）找出配送中心瓶颈，解决瓶颈，从而提高整个配送中心的效率。
- （3）分析 340 个托盘是合适，如果不合适如何进行优化。

8.1.2 Flexsim 仿真建模

1. 入库处理区 flexsim 模型

这个区域主要负责收货、检验、整理等工作，实现库外物资的转运，装载单元采用 AGV 运输小车或叉车，收货检查时，如果发现有不良品，货物不能入库，将货物送入暂存区。入库处理区由 4 个发生器，1 个吸收器，3 个处理器，5 个输送机，3 个暂存区，1 个合成器和一辆叉车组成。如下图 8.3、8.4 所示。

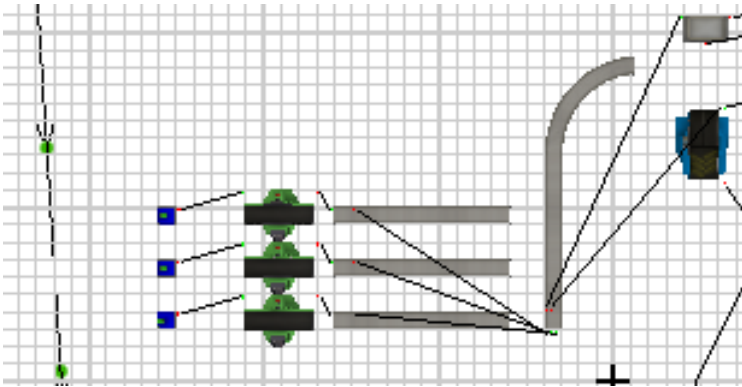


图 8.3 入库处理区(1)

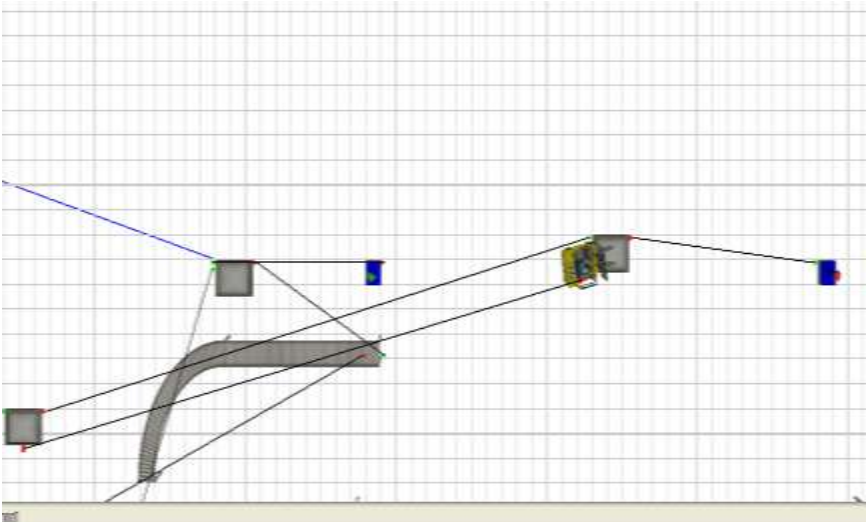


图 8.4 入库处理区(2)

入库处理区实体参数设置如下表 8.1 所示。

表 8.1 入库区里区对象参数设置

| 实体名称 | 对象说明 | 参数设置 |
|------|------|------|
|------|------|------|

| | | |
|----------------------------|--------|--|
| Source1-3 | 产品发生器 | 发生器 1、2、3 代表 3 种货物的到达。货物都按照泊松分布到达，均值为 55，随机数流为 1 |
| Source68 | 托盘发生器 | 系统一开始运行就立即产生 340 个托盘；托盘产生的初始颜色为绿色 |
| Processor1-5 | 入库加工台 | 参数保持默认设置 |
| Conveyor7-9、 Conveyor71 | 输送机 | 参数保持默认设置 |
| Conveyor10 | 输送机 | 货物的不良货物的概率为 10% |
| Queue11、Queue67 | 产品暂存区 | 参数保持默认设置 |
| Queue66 | 托盘存放区 | 最大容量设置为 350 |
| Combiner12 | 组盘合成器 | 合成器的托盘装货量为 4 件 |
| Transporter73 | 托盘叉车 | 参数保持默认设置 |
| Sink69 | 不合格物品区 | 参数保持默认设置 |

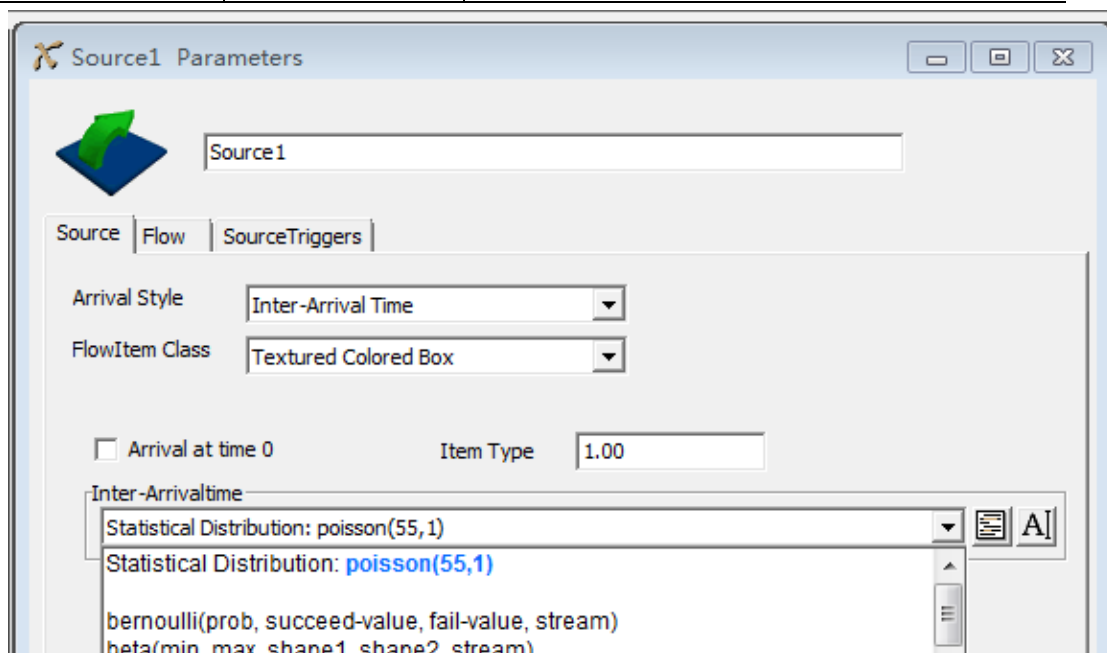


图 8.5

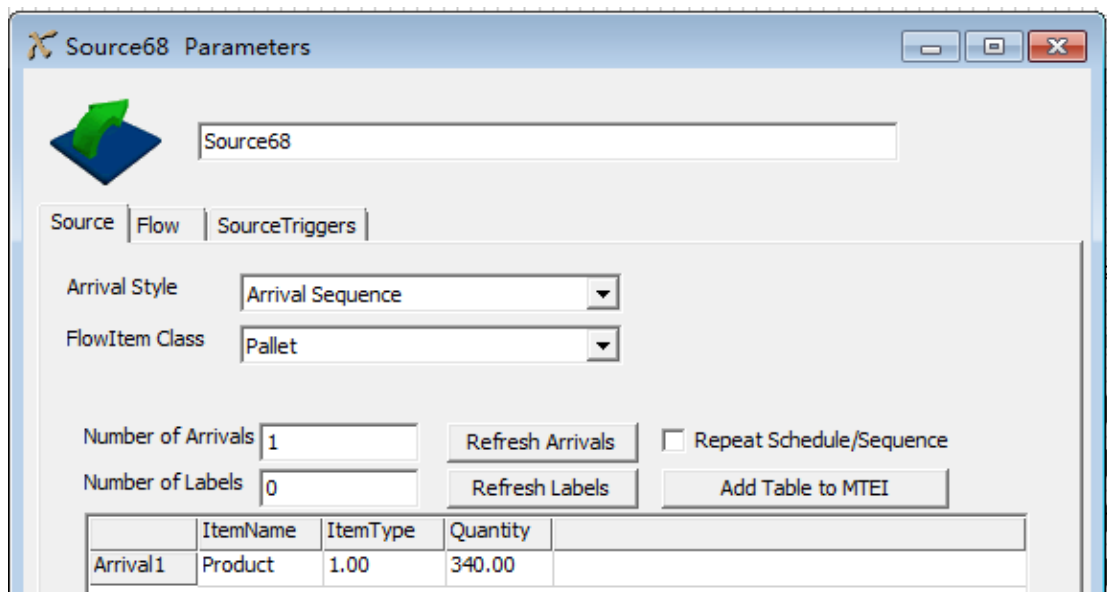


图 8.6

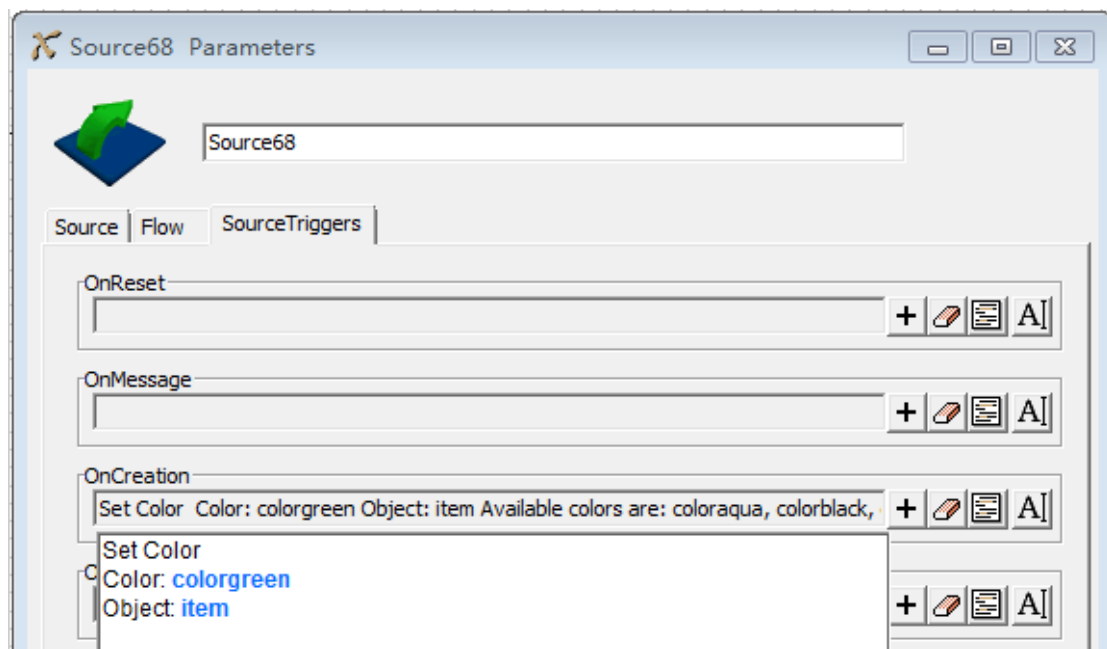


图 8.7

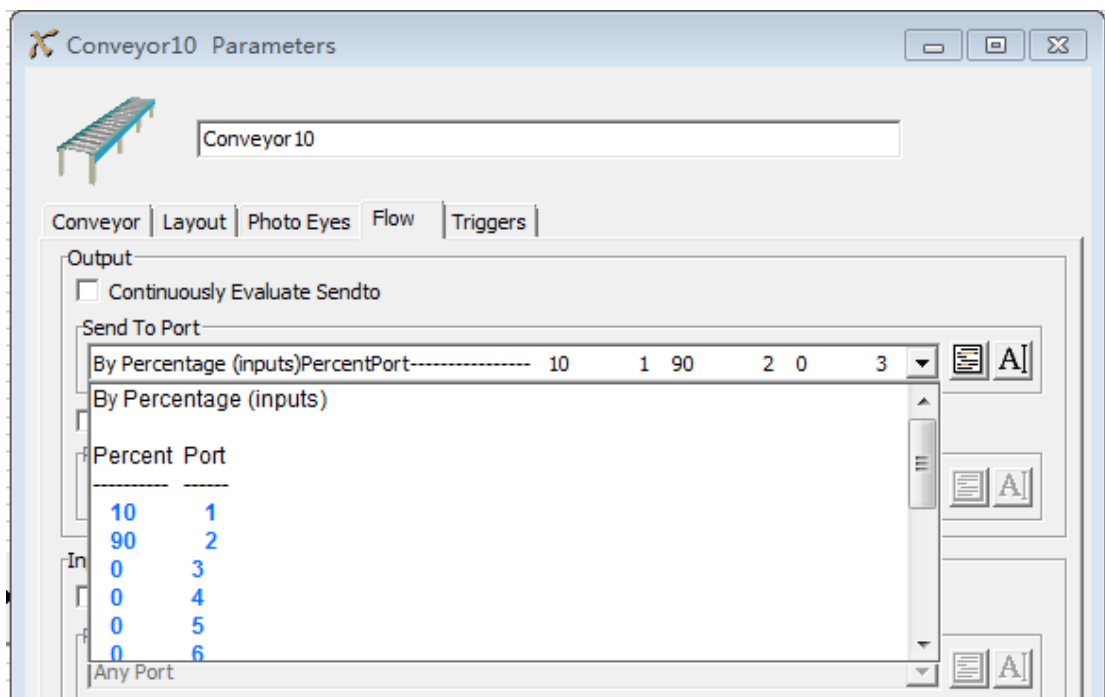


图 8.8

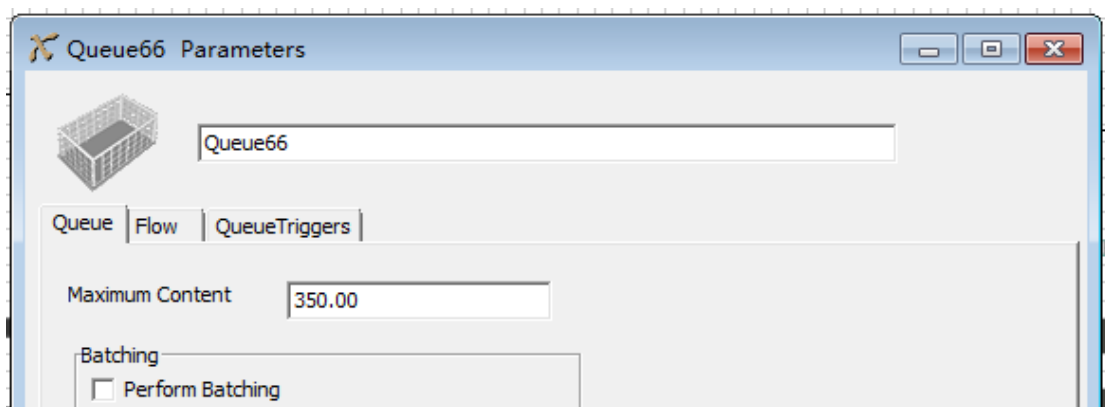


图 8.9

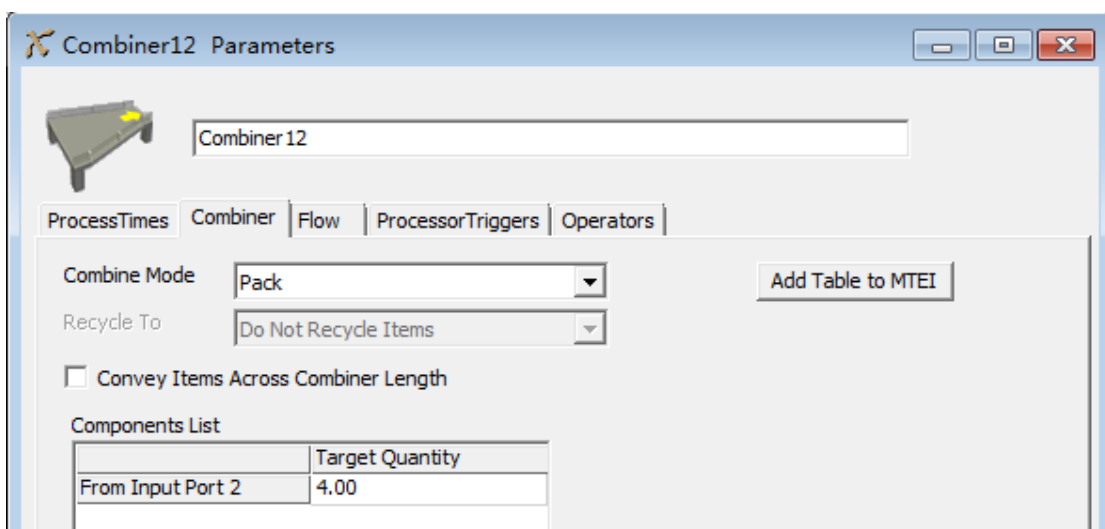


图 8.10

2. 存储区的 flexsim 模型

存储区采用横梁式组合货架，存放出入库频率较低的商品，货物的接受、上架、出库均采用条形码手持终端导引作业。存储区由 4 个暂存区，12 个输送机，4 个货架和 4 台堆垛机组成。如下图 8.11 所示。

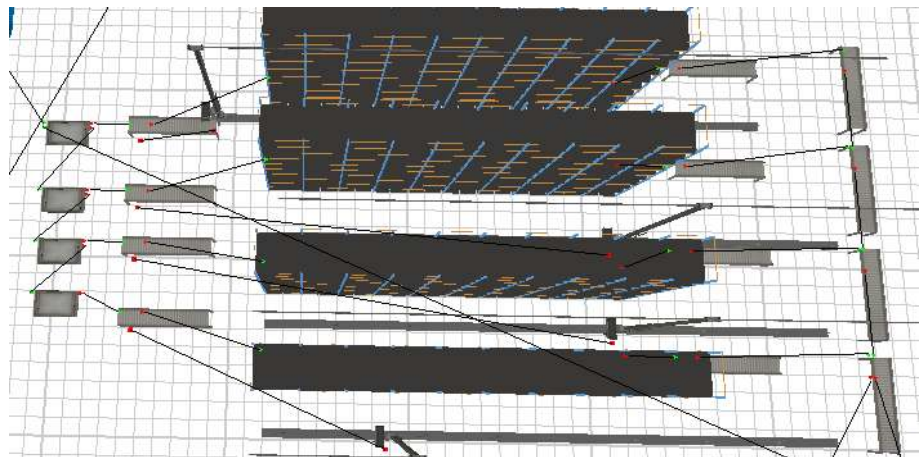


图 8.11 存储区

存储区实体参数设置如下表 8.2 所示。

表 8.2 存储区对象参数设置

| 实体名称 | 对象说明 | 参数设置 |
|---|-------|--|
| Queue13-16 | 产品暂存区 | 输出端口设置为随机端口 |
| Conveyor17-20 Conveyor28-31 Conveyor32 Conveyor81-85 | 输送机 | 参数保持默认设置 |
| Conveyor86 | 输送机 | 当货物到达传送带 86 时，判断货物类型。如果是 1，就可以走输出端口 1 和 2；如果是 2，就说明是返工过的，就只能走端口 1 |
| Rack21-24 | 货架 | 设置成 10 行 10 列最大容量为 100，每个货格存放一个托盘产品，货物的放置从第一排第一列开始放置，停留时间按泊松分布，均值为 7200,随机数流为 1；当货量储存量达到 80 个时，系统将关闭货架的输入端口，当存储量减少到 20 个时，系统将自动打开货架的输入端口继续补货 |
| ASRSvehicle22-27 ASRSvehicle83 | 堆垛机 | 参数保持默认设置 |

以下程序是 Conveyor86 输送机判断物品类型

```
1treenode item = parnode(1);
2treenode current = ownerobject(c);
3/**Cases by Value*/
4/** \nValue: */
5int value = /**/getitemtype(rank(item,1))/**/;
6/** \nCases:*/
```



```

7switch(value){
8/**/
9case 1: return duniform(1,2);
10case 2: return 2;
11
12default: return 0;/**/
13}

```

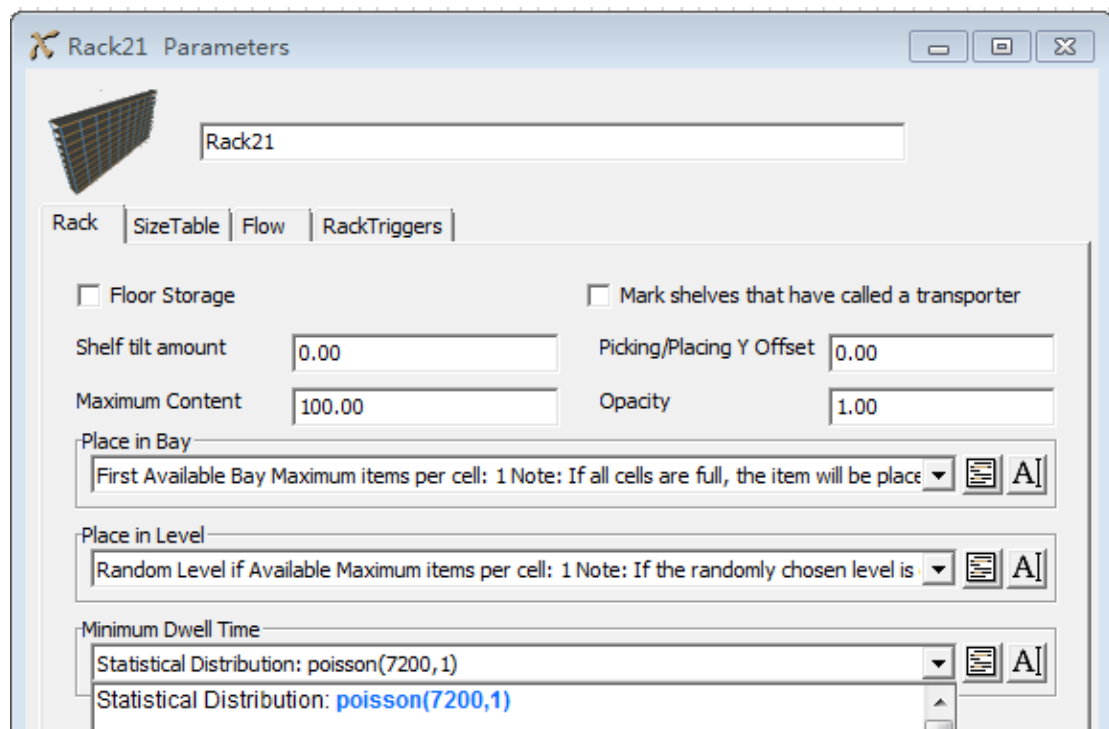


图 8.12

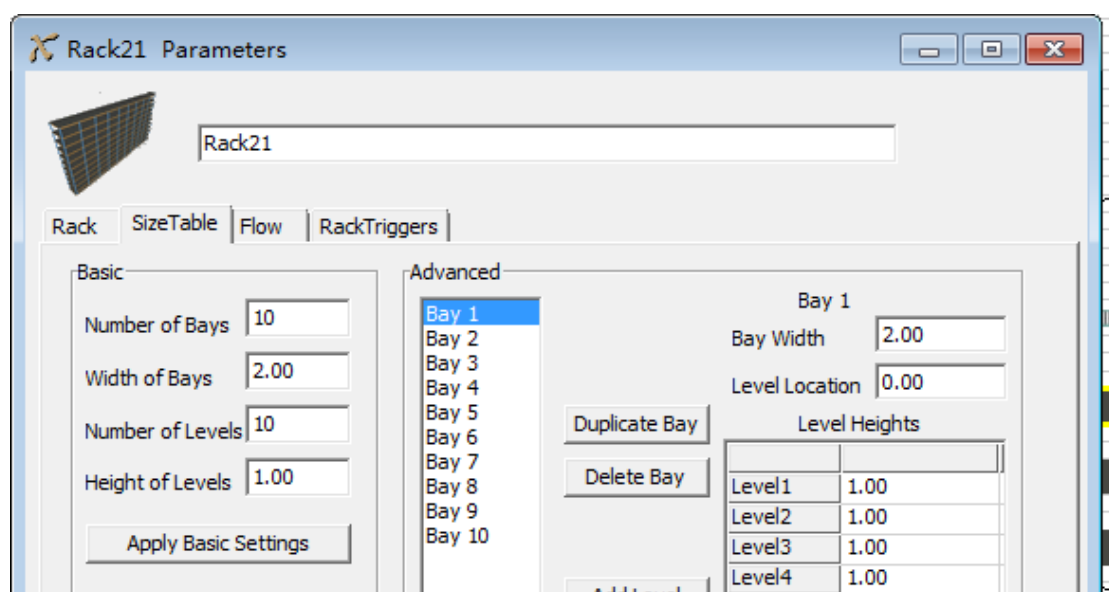


图 8.13

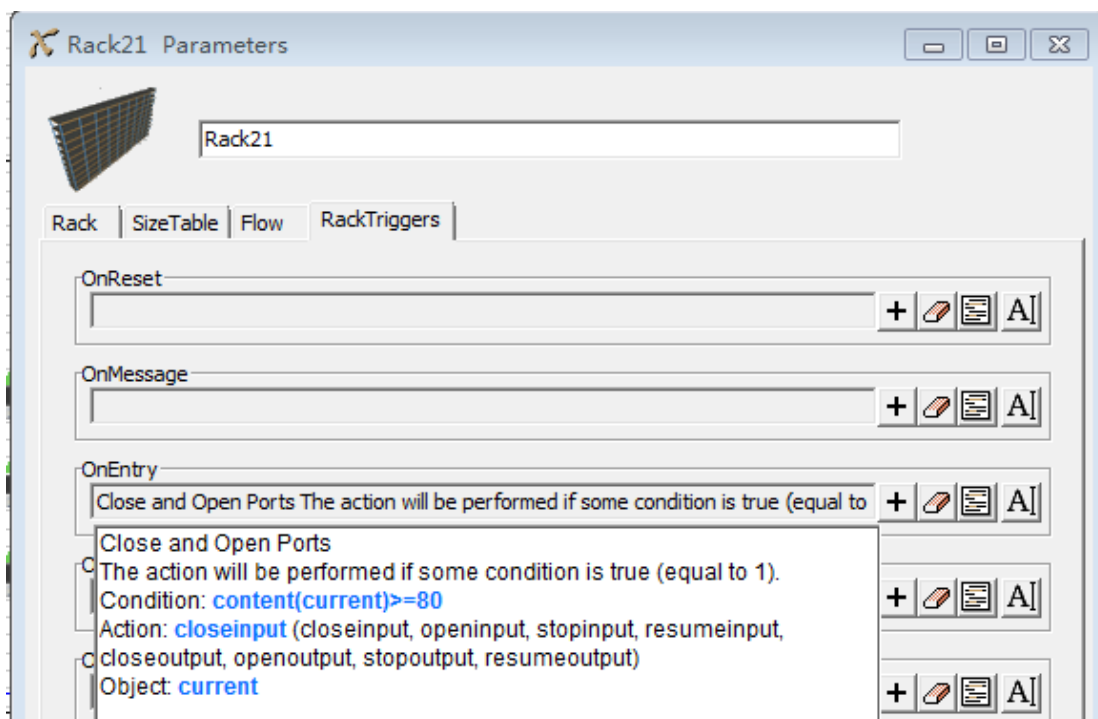


图 8.14

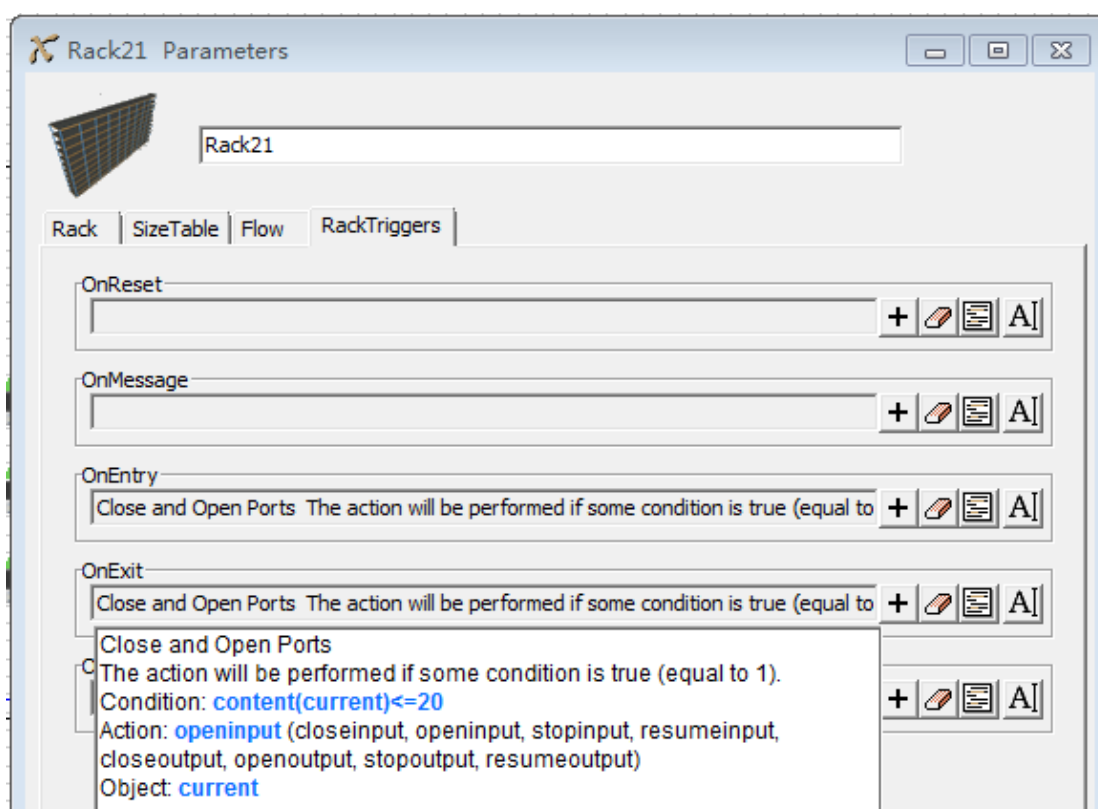


图 8.15

3. 流通加工区的 flexsim 模型

流通加工区放置一台条形码打印机、一台电脑和若干手持终端，进行分装包装，贴标签等加工活动。流通加工区由 2 个分解器，4 个暂存区，2 个操作员，2 处理器和 2 个合成器

组成。如下图 8.16 所示。

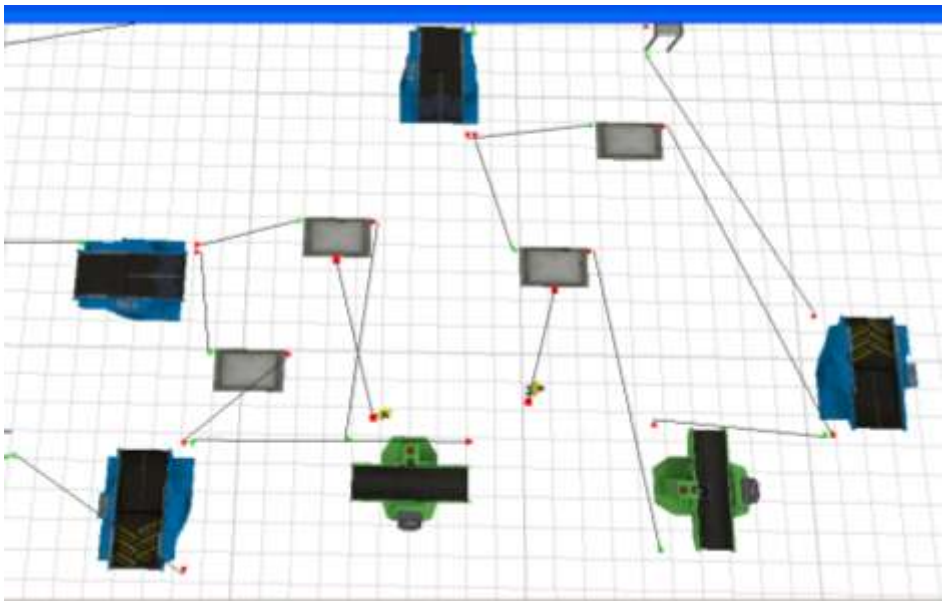


图 8.16 流通加工区图

流通加工区实体参数设置如下表 8.3 所示。

表 8.3 流通加工区对象参数设置

| 实体名称 | 对象说明 | 参数设置 |
|----------------------------|-------|---|
| Separator35 Separator59 | 托盘分解器 | 设置为容器临时实体从端口 1 发送，将容纳的所有临时实体从端口 2 发送。如果没有拆包，则仅送往第一个可用端口 |
| Queue36、Queue61 | 产品暂存区 | 设置最大容量为 100 |
| Queue37、Queue60 | 托盘暂存区 | 设置最大容量为 100 |
| Processor63-64 | 处理器 | 设置为容器临时实体从端口 1 发送，将容纳的所有临时实体从端口 2 发送；如果没有拆包，则仅送往第一个可用端口 |
| Combiner62 Combiner65 | 组盘合成器 | 合成器的托盘装货量都为 4 件；Combiner65 设置通过流通加工区加工过后的类型为 2，托盘的颜射为红色，没通过的为类型 1 |
| Operator82 Operator87 | 操作员 | 操作员 87 与操作员 82 服从定长分布，均值分别为 68、92 |

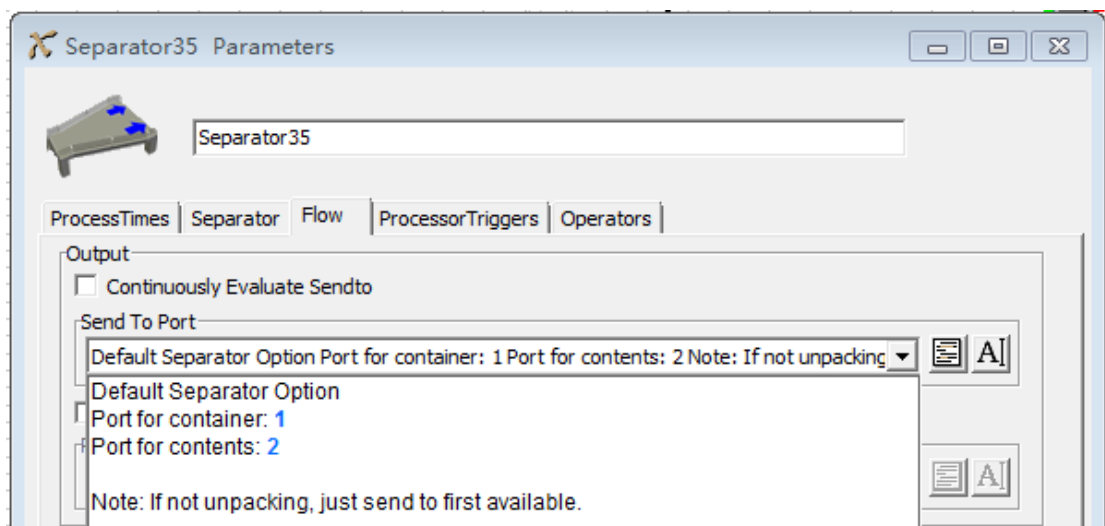


图 8.17

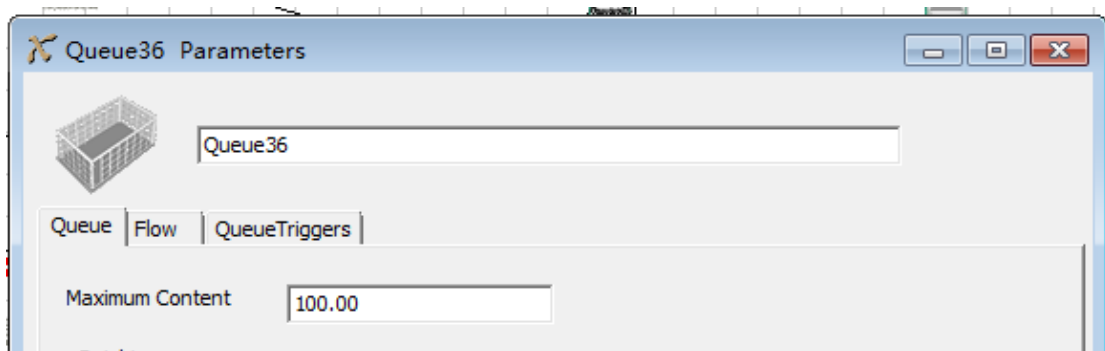


图 8.18

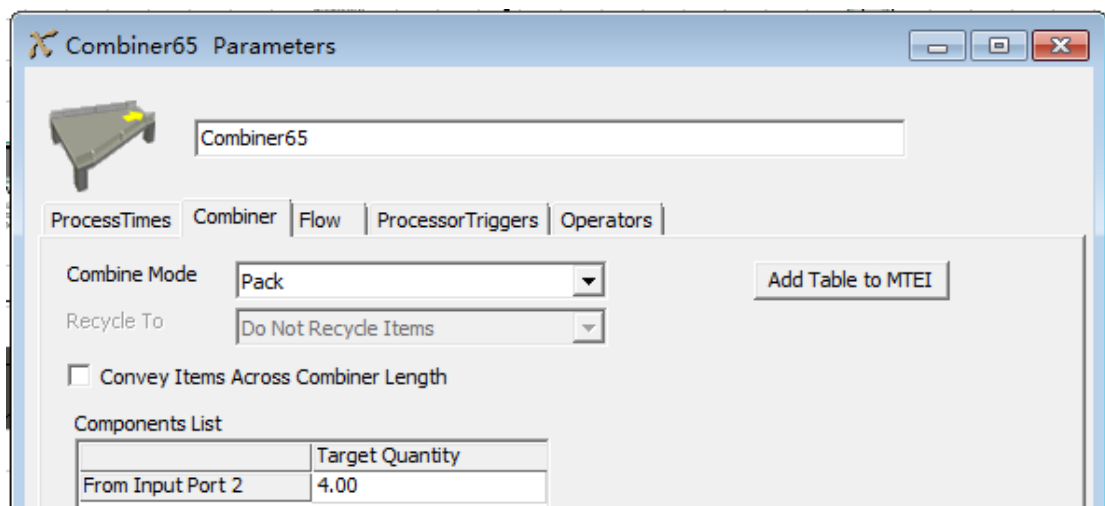


图 8.19

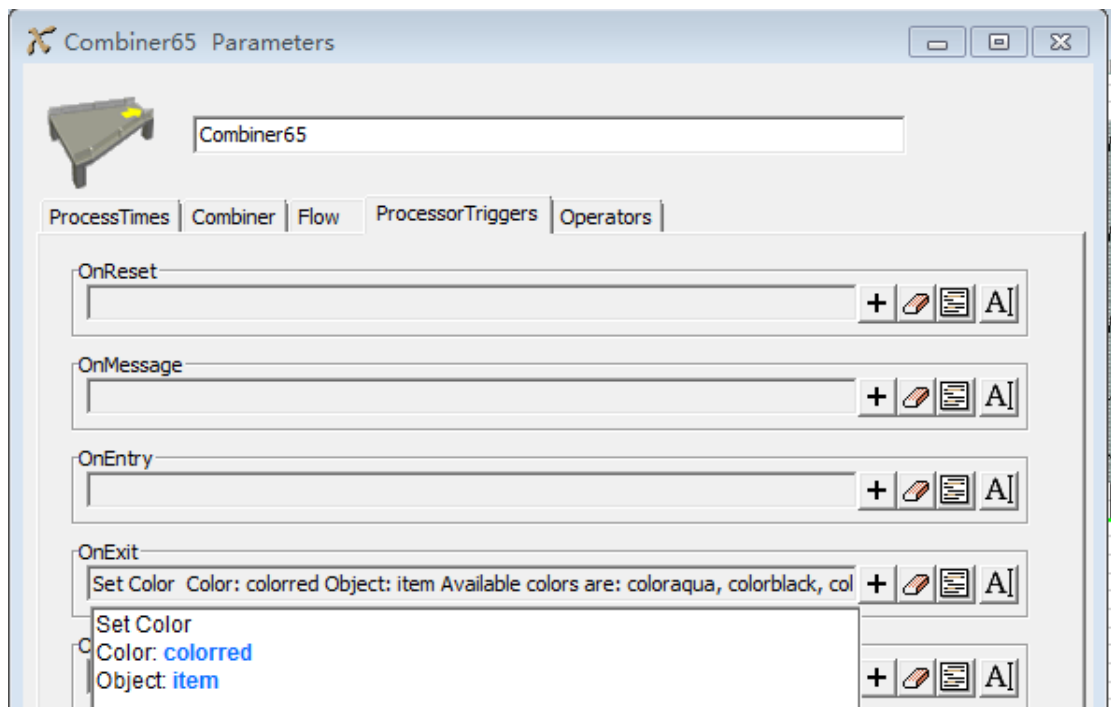


图 8.20

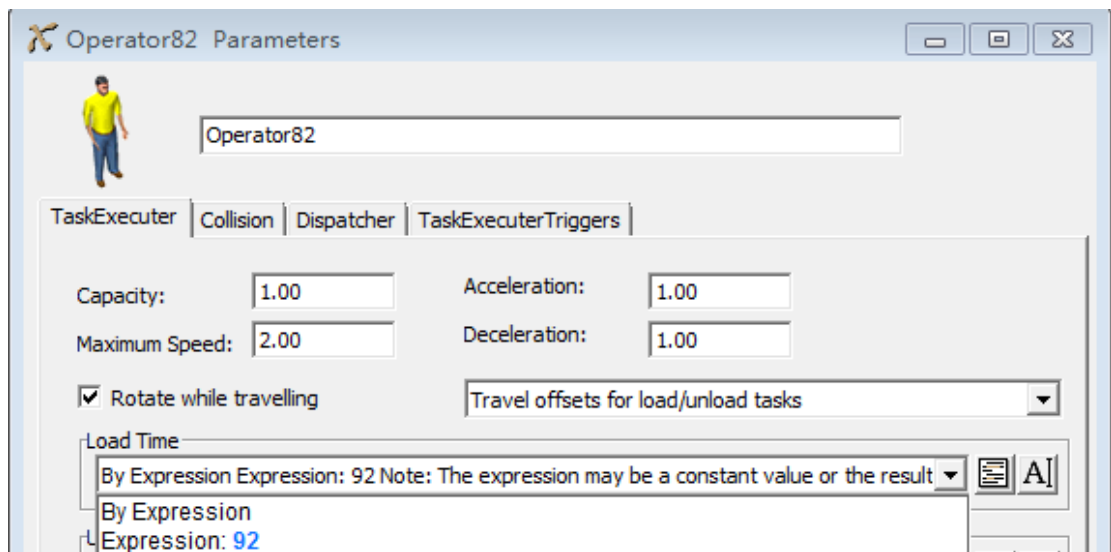


图 8.21

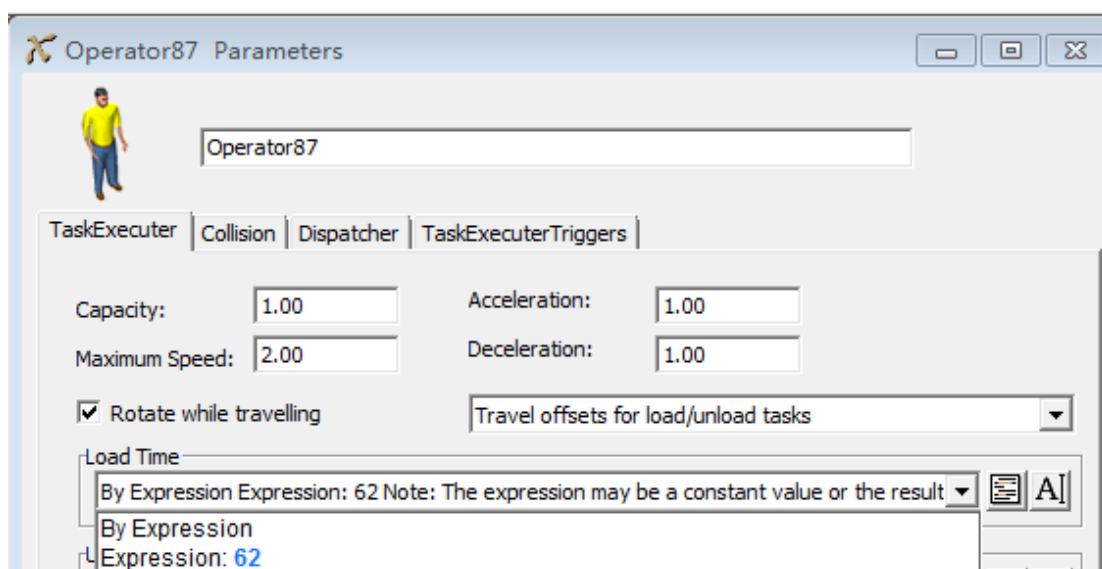


图 8.22

4. 拣货区的 flexsim 模型

拣货区采用水平旋转货架，在货架上可安置电子拣选设备，作业人员根据电子表指示，完成分拣作业。拣货区由 2 排货架，2 个操作员和 9 个输送机组成，如下图 2-9 所示。

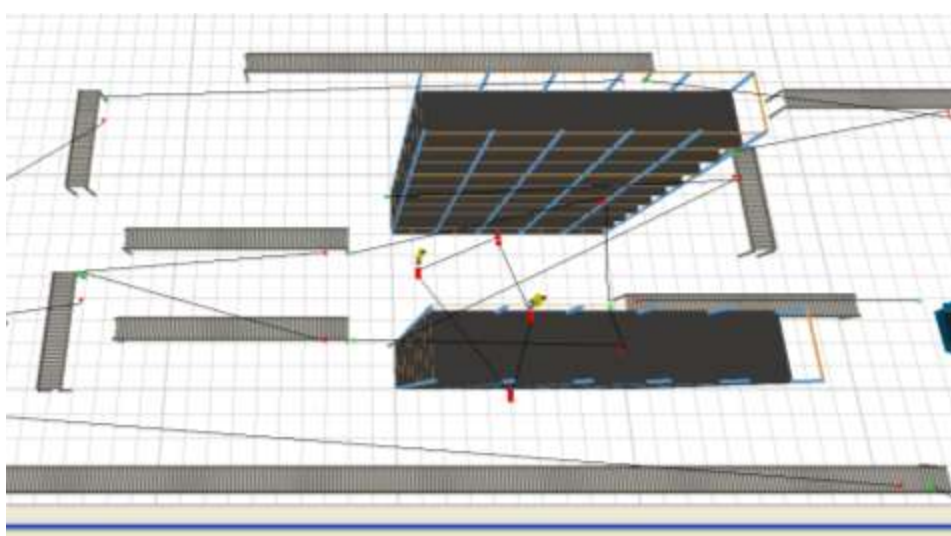


图 8.23 拣货区

拣货区实体参数设置如下表 8.4 所示。

表 8.4 拣货区参数对象设置

| 实体名称 | 对象说明 | 参数设置 |
|---|------|---|
| Conveyor34 Conveyor41-45 Conveyor58 | 输送机 | 参数保持默认设置 |
| Conveyor33 Conveyor38 | 输送机 | 当货物到达 Conveyor33 时，判断货物类型。如果是类型 2，是加工过的物品就可以走输出端口 1；如果是 1，就说明是未加工过的，就只能走端口 2；Conveyor38 输出端口为随机端口 |
| Rack39-40 | 货架 | 设置成 10 行 5 列最大容量为 50，每个货格存放一 |

| | | |
|---------------|-----|--|
| | | 个托盘产品，货物的放置从第一排第一列开始放置，停留时间按泊松分布，均值为 3600,随机数流为 1，输出端口为随机端口；当货量储量达到 45 个时，系统将关闭货架的输入端口，当存储量减少到 5 个时，系统将自动打开货架的输入端口继续补货 |
| Operator80-81 | 操作员 | 参数保持默认设置 |

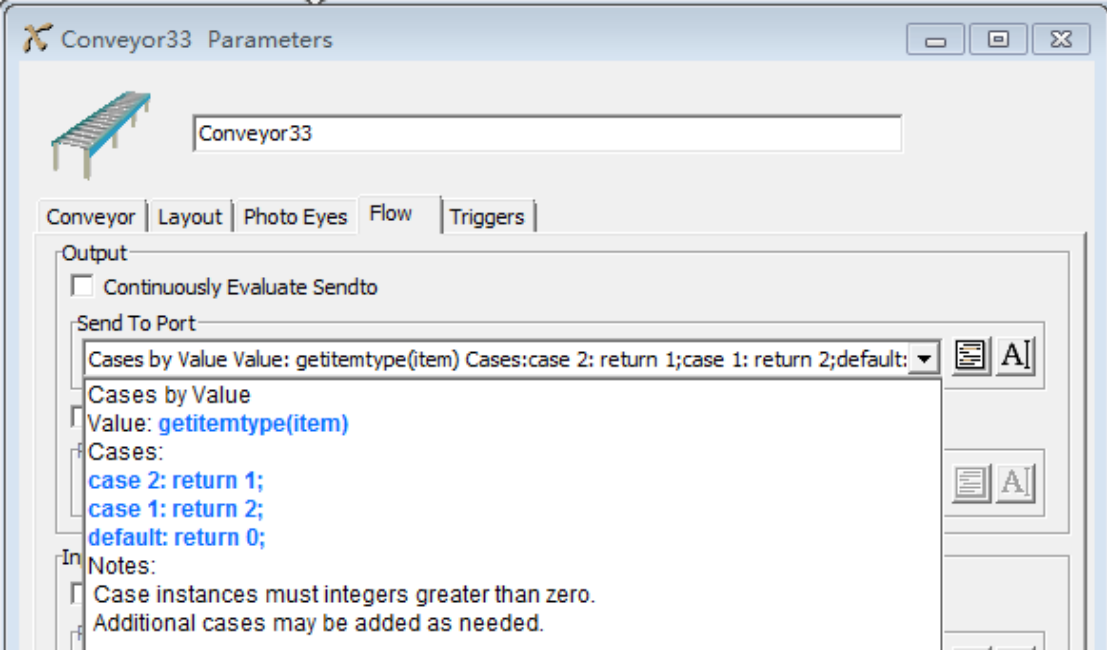


图 8.24

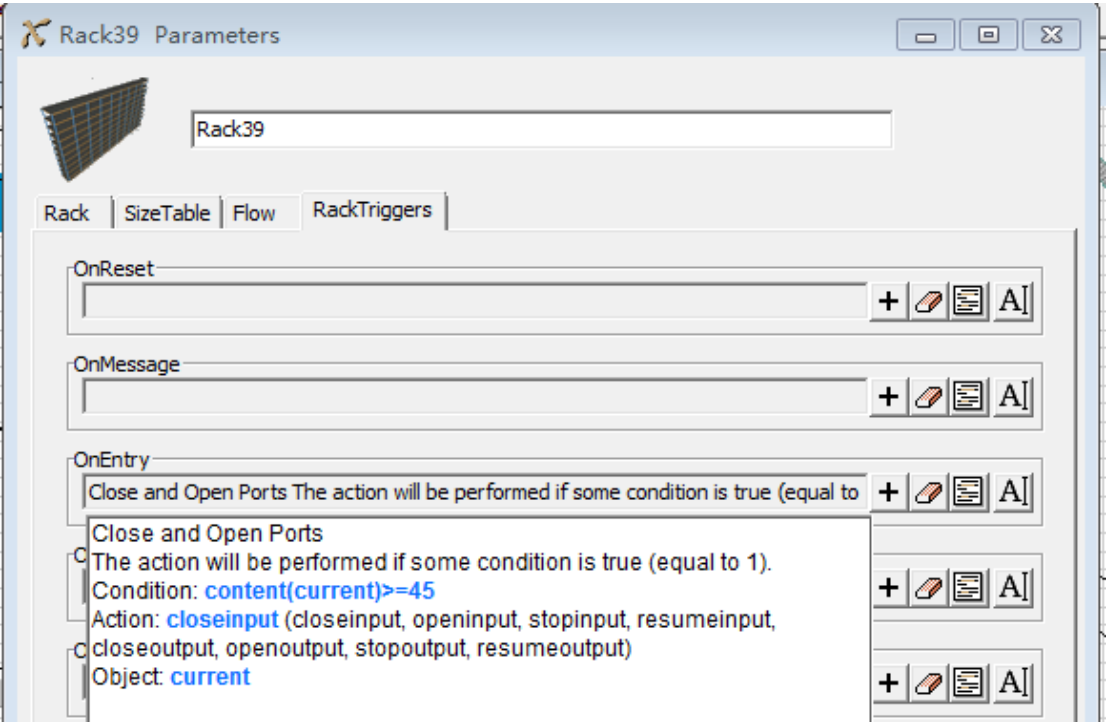


图 8.25

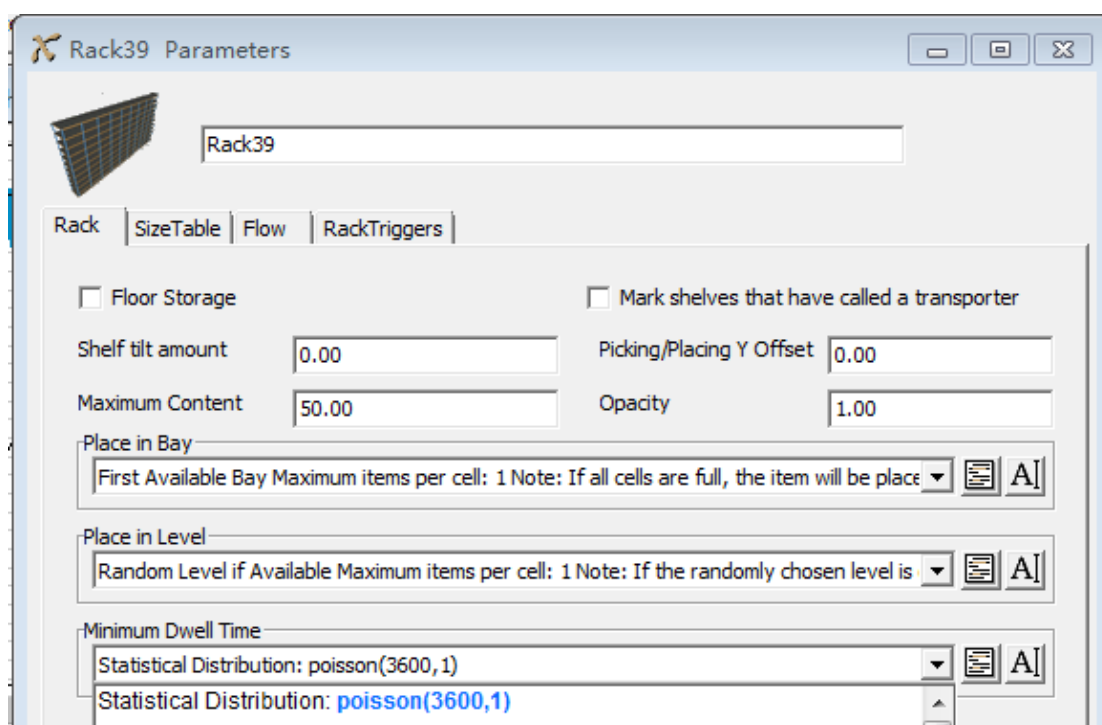


图 8.26

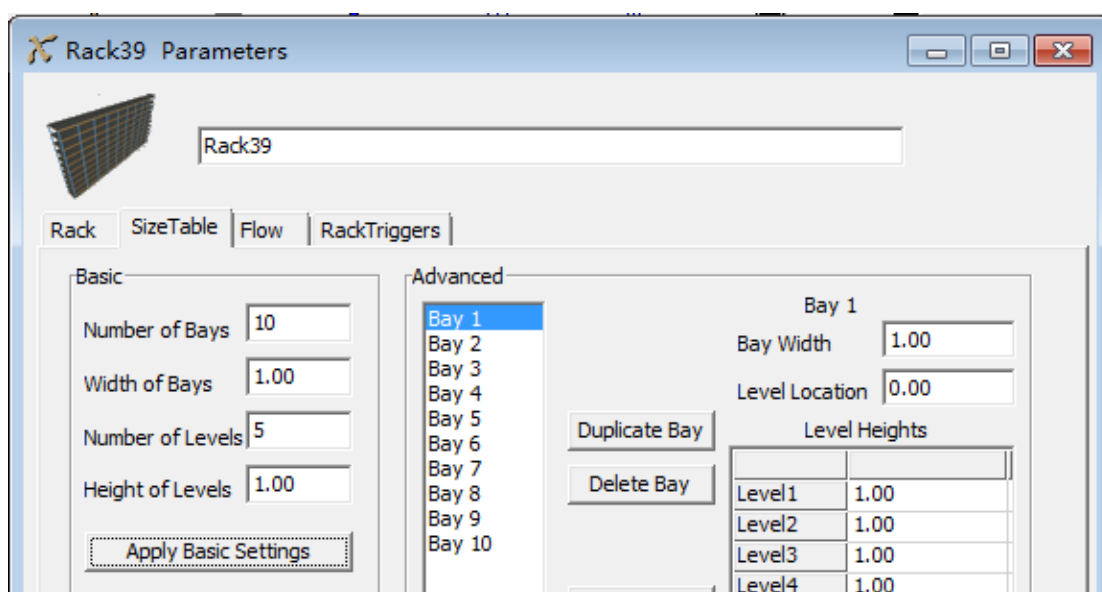


图 8.27

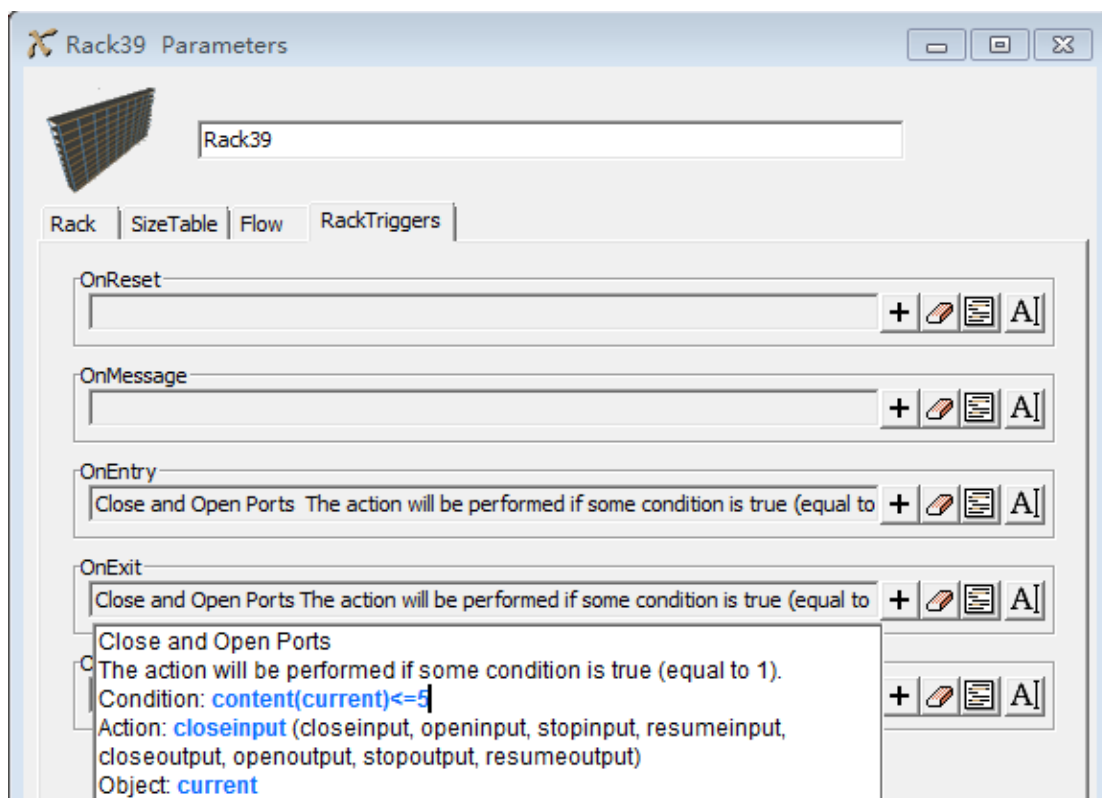


图 8.28

5. 发货区的 flexsim 模型

这个区域主要负责发货工作，实现库内物资的转运，装载单元采用 AGV 运输小车或叉车。发货区由 3 个暂存区，1 个分解器，一辆叉车，2 个操作员，5 个运输机和 3 个吸收器组成，如下图 8.29 所示。

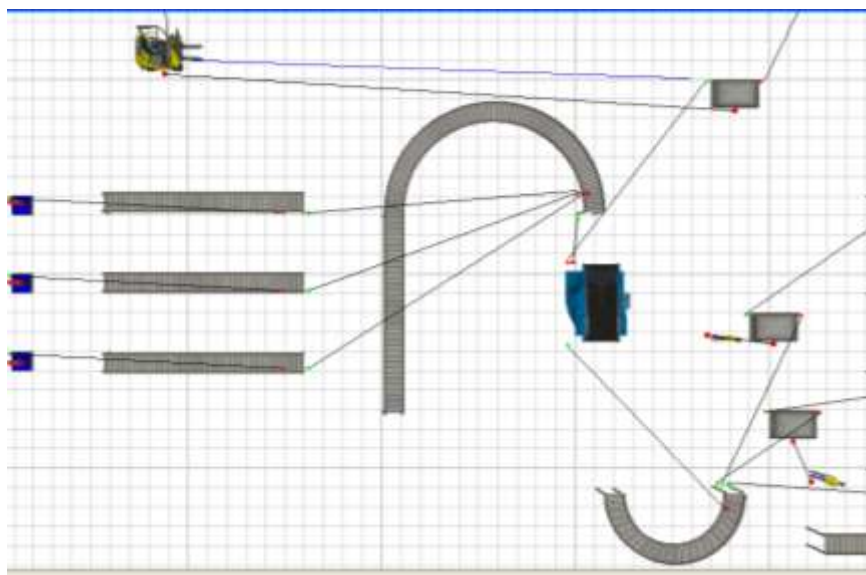


图 8.29 发货区

发货区实体参数设置如下表 8.5 所示。

表 8.5 发货区参数对象设置

| 实体名称 | 对象说明 | 参数设置 |
|------|------|------|
|------|------|------|

| | | |
|-----------------------------|----------|---|
| Queue46 | 托盘暂存区 | 设置使用运输工具，最大容量为 350 |
| Queue47-48 | 产品暂存区 | 设置使用运输工具 |
| Operator79 Operator88 | 、 操作员 | 参数保持默认设置 |
| Transporter86 | 托盘叉车 | 参数保持默认设置 |
| Separator49 | 托盘分解器 | 设置为容器临时实体从端口 1 发送，将容纳的所有临时实体从端口 2 发送。如果没有拆包，则仅送往第一个可用端口 |
| Conveyor50-53 Conveyor57 | 、 运输机 | Conveyor50 输出端口为随机端口，其他运输机参数保持默认设置 |
| Sink51-56 | 出库吸收器 | 参数保持默认设置 |

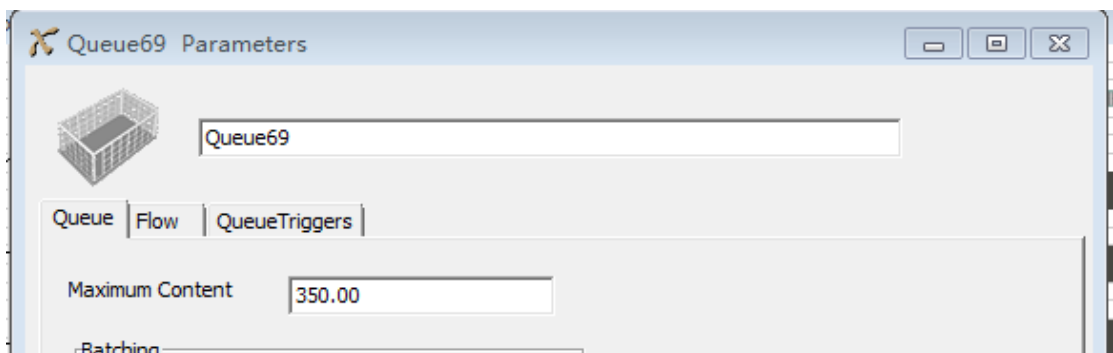


图 8.30

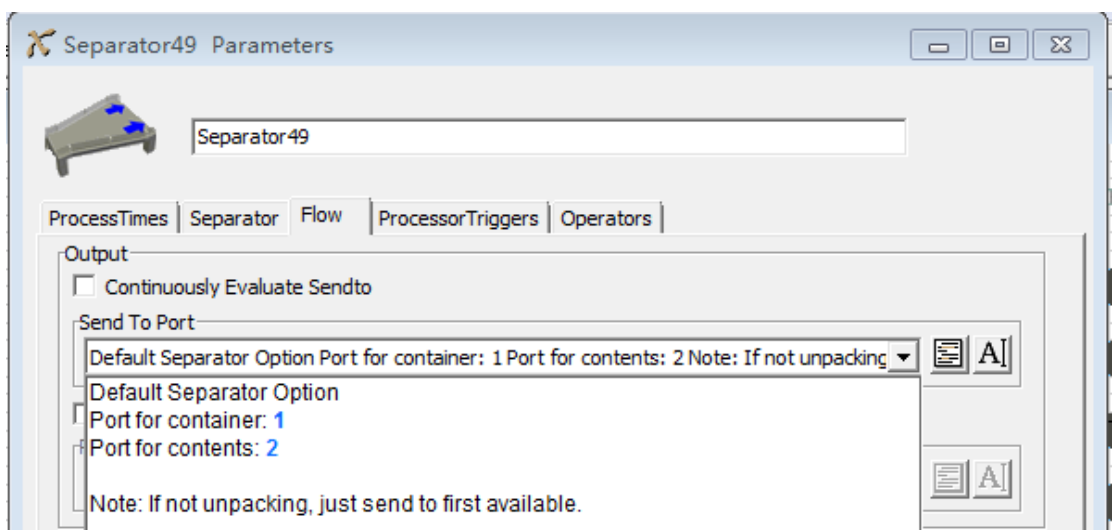


图 8.31

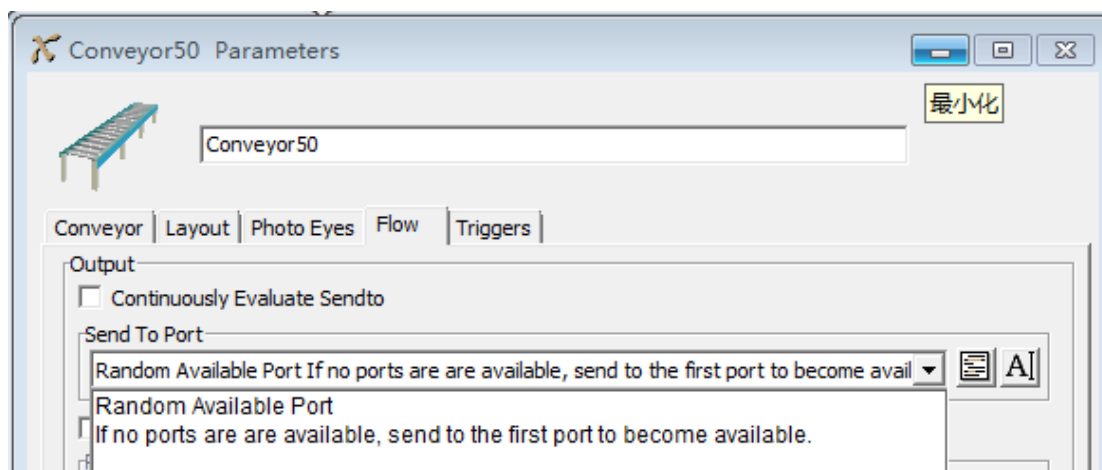


图 8.32

以上为配送中心主要的实体参数设置，其他没有说明的实体参数保持默认设置。经过以上全部参数设置后点击运行，可以得到配送中心的仿真运行过程图，如下图 8.33 和 8.34 所示。

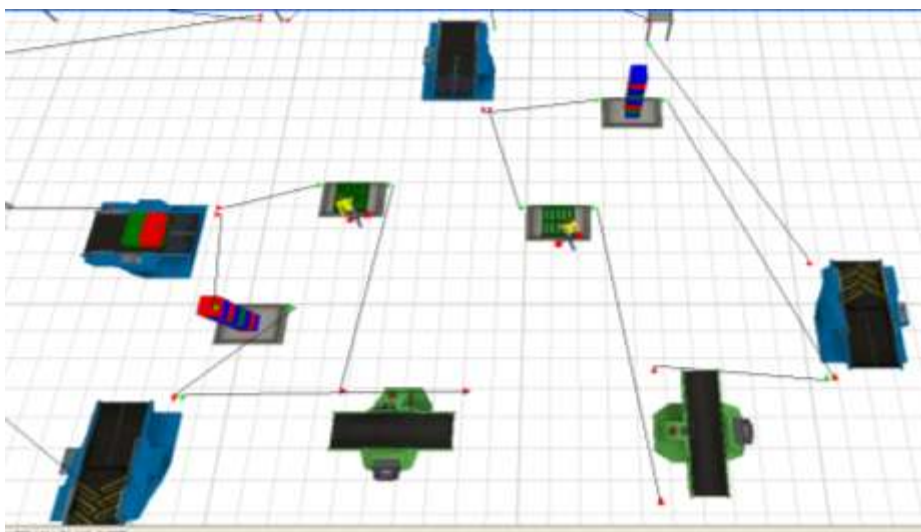


图 8.33 运行中的流通加工区和运行中的装盘过程

堆垛机运行状况的主要评价指标是工作时间、闲置率和利用率。通过堆垛机的属性统计分页，可以得到堆垛机 1、堆垛机 2、堆垛机 3 和堆垛机 4 的状态饼图，从图上可以清楚地看出堆垛机的空闲时间、装载时间，卸载时间、装载行驶时间、空载行驶时间及其各自所占的百分比等仿真结果。图 8.36 所示为仿真时间结束后 1 号堆垛机的 State 图；图 8.37 所示为仿真结束后 2 号堆垛机的 State 饼图；图 8.38 所示为仿真结束后 3 号堆垛机的 State 饼图；图 8.39 所示为仿真结束后 4 号堆垛机的 State 饼图。将其数据整理后记录于表 8.6 中。

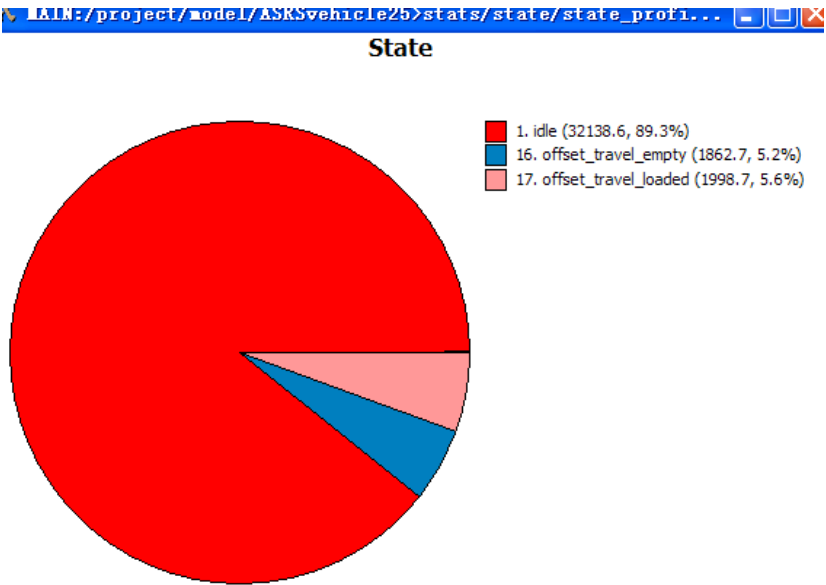


图 8.36 1 号堆垛机仿真结束后的状态饼图

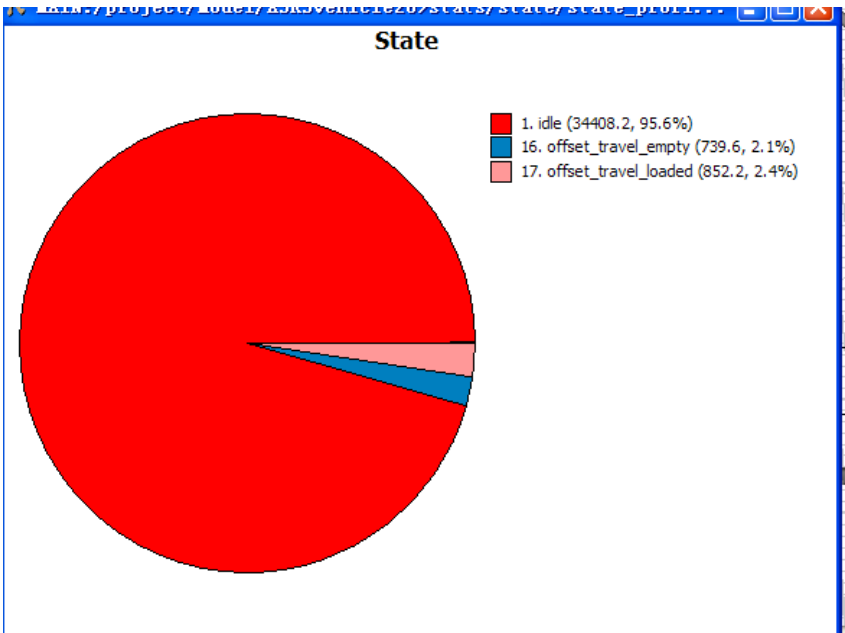


图 8.37 2 号堆垛机仿真结束后的状态饼图

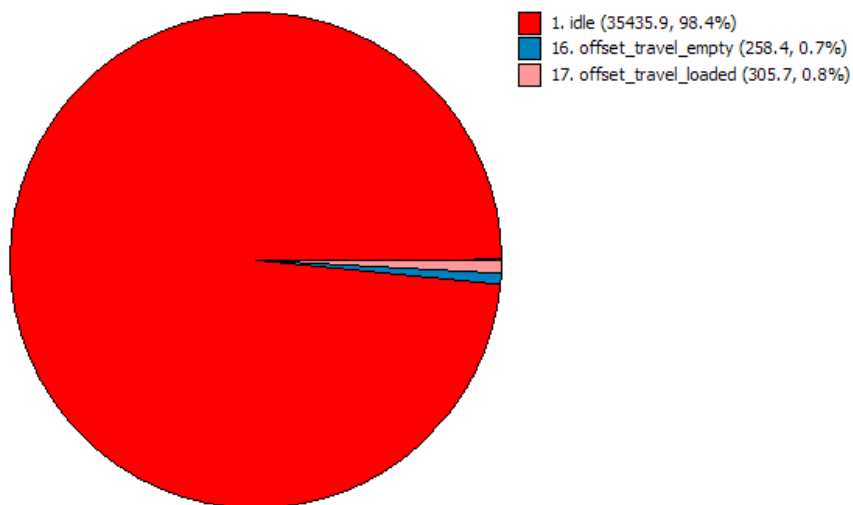


图 8.38 3 号堆垛机仿真结束后的状态饼图

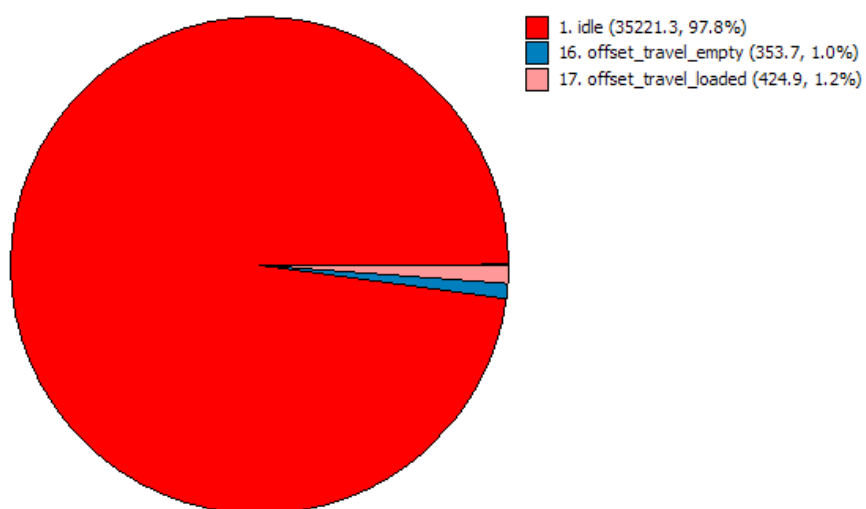
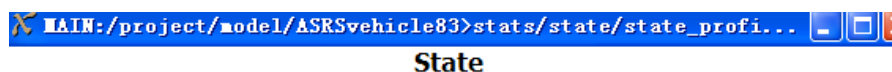


图 8.39 4 号堆垛机仿真结束后的状态饼图

表 8.6 堆垛机仿真输出数据

| | 1 号堆垛机 | 2 号堆垛机 | 3 号堆垛机 | 4 号堆垛机 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 最小等待时间 | 3.808 | 3.808 | 3.808 | 3.808 |
| 最大等待时间 | 10.313 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| 平均等待时间 | 6.553 | 5.426 | 4.703 | 4.884 |
| 空闲时间百分比 | 89.3% | 95.6% | 98.4% | 97.8 |
| 空载运输时间百分比 | 5.2% | 2.1% | 0.7% | 1.0% |

| | | | | |
|-----------|------|------|------|------|
| 装载运输时间百分比 | 5.6% | 2.4% | 0.8% | 1.2% |
|-----------|------|------|------|------|

运输机的主要评价指标是执行次数、空载运输时间、装载运输时间、装载时间和卸载时间。通过运输机的属性统计分页，可以得到运输机 1 和运输机 2 的状态饼图，从图上可以清楚地看出运输机的空闲时间、装载时间，卸载时间、装载行驶时间、空载行驶时间及其各自所占的百分比等仿真结果。图 8.40 所示为仿真时间结束后 1 号运输机的 State 图；图 8.41 所示为仿真结束后 2 号运输机的 State 饼图。将其数据整理后记录于表 8.7 中。

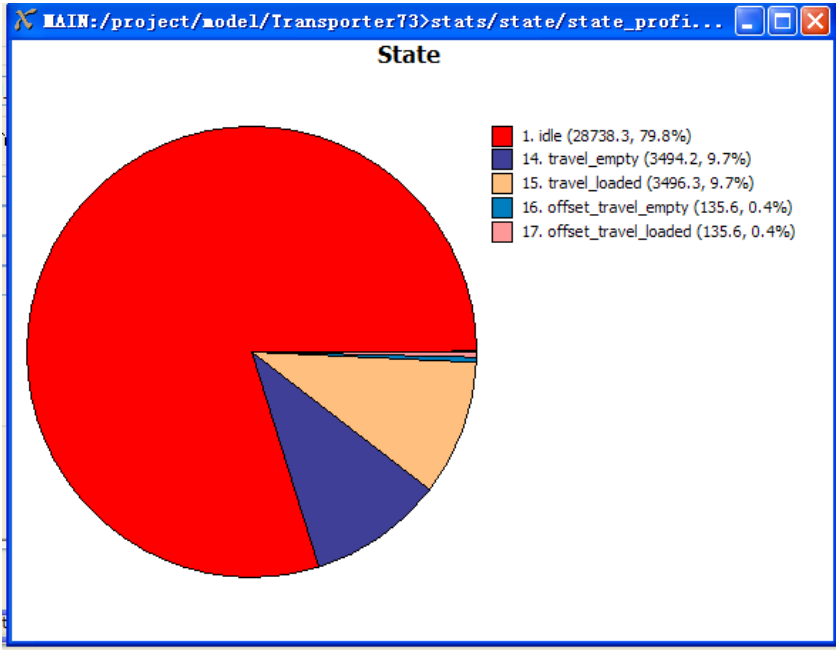


图 8.40 1 号运输机仿真状态饼图

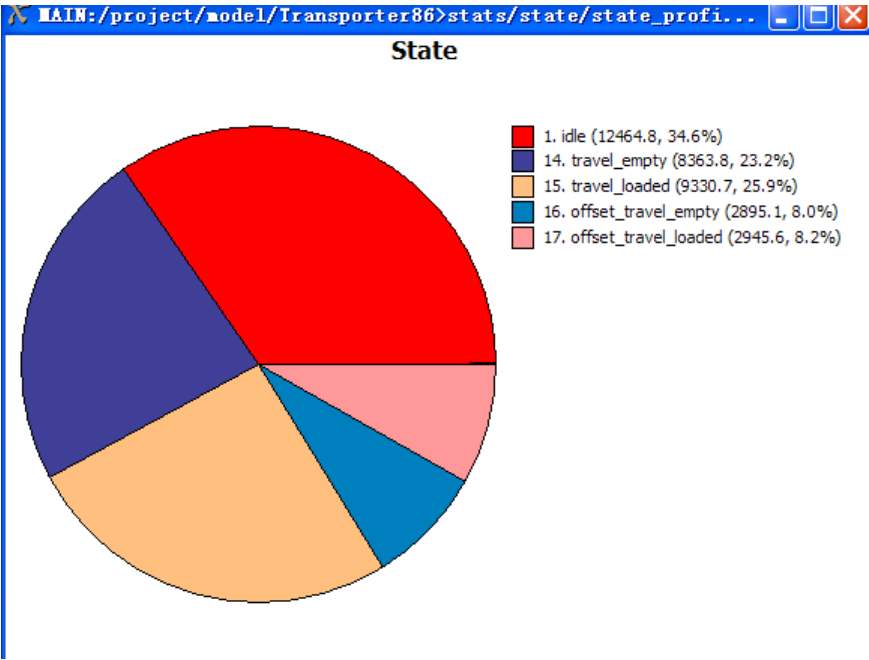


图 8.41 2 号运输机仿真状态饼图

表 8.7 运输机仿真输出数据

| 执行任务 | 空闲率 | 空载运输 | 装载运行 | 装载时间 | 卸载时间 |
|------|-----|------|------|------|------|
|------|-----|------|------|------|------|

| | 次数 | | 时间 | 时间 | | |
|--------|-----|-------|-------|-------|------|------|
| 1 号运输机 | 186 | 79.8% | 9.7% | 9.7% | 0.4% | 0.4% |
| 2 号运输机 | 195 | 34.6% | 23.2% | 25.9% | 8.0% | 8.2% |

货架的主要评价指标是最大库存量、现有库存量、输入货物总数、输出货物总数和库位利用率，货架主要考虑储存区的货架，将仿真数据记录于表 8.8 中。

表 8.8 货架仿真输出数据

| 设备 | 当前库存量(盘/p) | 最大库存量(盘/p) | 平均库存量(盘/p) | 入库总数(盘/p) | 出库总数(盘/p) | 平均停留时间(秒/s) |
|------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|
| 货架 1 | 71 | 74 | 54.582 | 305 | 234 | 7199.551 |
| 货架 2 | 34 | 44 | 27.835 | 157 | 123 | 7184.325 |
| 货架 3 | 10 | 19 | 11.774 | 65 | 55 | 7216.727 |
| 货架 4 | 18 | 23 | 15.053 | 87 | 69 | 7243.203 |

由表 8.8 的数据可以得出储存区 4 排货架入库总量为 614，出库总量为 481，库位的平均利用率为 33.25%，相对较低，需要加以优化让配送中心能达到预期的作用，所以模型中发生器的到达时间间隔和货架的最小停留时间均要调整。

8.1.3.2 仿真结果分析

根据表 8.6、表 8.7 和表 8.8 可以得出堆垛机、运输机和储存区货架库位的利用率，如表 8.9 所示。

表 8.9 仿真实验数据分析结果

| 设备 | 利用率 | 设备 | 利用率 |
|-------|-------|------|-------|
| 堆垛机 1 | 10.7% | 货架 1 | 71% |
| 堆垛机 2 | 4.4% | 货架 2 | 34% |
| 堆垛机 3 | 1.6% | 货架 3 | 10% |
| 堆垛机 4 | 2.2% | 货架 4 | 18% |
| 运输机 1 | 21.2% | 托盘 | 73.5% |
| 运输机 2 | 65.4% | | |

(1)由表 8.9 可以看出，4 架堆垛机的利用率非常的低，而导致堆垛机利用率低的主要原因是因为配送中心到达的货物数量少以及货物的停留时间问题，如需要改善这个问题，我们必须在货物到达发生器上做出修改，让货物到达配送中心的数量多起来。

(2)由表 8.9 可以看出，2 辆运输机的利用率也比较的低，1 号运输机所运送的货物为不合格品，当然不合格品越少越好，但是根据货物的不合格品概率为 10%，说明 1 号运输机的利用率低；2 号运输机所运送的是将空的托盘运送回到货物装盘前的暂存区去，从利用率来看我们看出 2 号运输机工作了，但是利用率较低，造成运输机利用率低得主要原因也是由于货物的数量较少。

(3)由表 8.9 可以看出，4 个货架的平均利用率只有 33.25%，这和我们建立配送中心的最初想法完全相反，试想一下，加入我们建立一个配送中心，而我们的货架利用率很低。那我们为什么建立配送中心，建立配送中心的目的就是为了让货物能更加的方便周转。造成利用

率的原因主要是到达货物的数量少以及货物在货架上的停留时间问题,为了更好的解决货架问题。我们应该增加货物的到达数量以及货物停留在货架上的时间增长。

(4)由仿真模型可以看出在产生托盘的暂存区中托盘还有 75 个托盘处于空闲状态,托盘的利用率只有 73.5%,也就是说有四分之一多得托盘没有用到,所以 340 个托盘根据原来的数据仿真的话就明显过多,因为托盘是循环使用,而且货物的到达数量少,所以说 340 个托盘不合适。优化托盘问题主要在于适当减少托盘的生成,这样就可以避免托盘的浪费,得到优化。

以上就是配送中心在原始数据下进行仿真后的结果,从中我们可以发现系统运行过程中存在的一些问题,并为进一步优化系统配置提供了重要的依据。由于仿真模型中的临时实体是通过发生器连续产生的,沿袭这样的思路和方法,待有条件时可以进行更加全面、真实的分析。

8.1.3.3 配送中心的优化

1、优化方案

通过上一章分析了解到系统中存在货物数量太少的问题,造成配送中心极度空闲现象,导致堆垛机、运输机和货架利用率不高,未能达到建立配送中心的目的。针对这一问题,可通过调整货架参数、货物的出入库量、货物停留时间等手段来寻找系统优化的最佳方案。

优化设计的第一步就是定义模型的决策变量,最优化决策变量的选择是通过待解决问题的重述获得的。例如,货架的货位是多少时,使得货位的利用率达到最佳,此问题的陈述定义了模型的决策变量即货架的最大容量和货位的利用率。但是,这两个变量却有不同的用途,容量最大值是要对其进行改变而进行仿真实验的,而货位利用率作为结果反馈来体现改变的效果。在制定了变量的名称和类型后,将此变量与模型中某节点关联起来,选择持有此最大容量值的节点,且必须选择具有数值数据的节点,否则最优化将不能正常进行。定义了决策变量后,再定义最优化的约束条件,因为在最优化过程中,优化器将根据决策变量对若干场景进行实验。约束用来将不能满足约束条件的某些场景剔除出去,这样优化器就不会将一个无效的场景选作最优化方案。根据评价指标编写目标函数,设置仿真场景次数和场景运行时间,对其进行优化,获得最佳解答。

本文将通过多次仿真,在研究某一变量对系统的影响时视其它变量暂时为常数,从而避免复杂的分析过程,实现逐个击破。具体操作如下:

(1) 假定托盘生成数量与货物的入库时间间隔不变、货架中货物的最小停留时间及关闭货架的输入端口的上限容量视为变量。

(2) 在以上基础上,假定托盘生成数量与货架中得货物最小停留时间不变、货物的入库时间间隔视为变量。

(3) 在以上基础上,假定货物的入库时间间隔与货架中货物的最小停留时间不变,托盘生成数量视为变量。

(4) 结合前三者的结果，通过反复的多次试验仿真综合优化系统的资源配置。在优化并仿真的过程中，分析每个参数的改变对系统的影响，找出参数改变与系统效率之间的变化规律，并通过这种趋势修改实体参数，直至达到预期目标。

2、模型修改及仿真

(1) 货物的最小停留时间和货架输入端口的上限的优化及仿真分析

在仿真系统中泊松分布有着很重要的应用，当随机事件发生的间隔时间相互独立且服从同一负指数分布，则固定时间内事件发生的次数服从泊松分布。货架中货物的最小停留时间也采用泊松分布，由于暂存区存放入库频率较低的货物，所以设置停留时间长，暂存区货架停留时间均值修改为 9000，使用随机数流 1；储存区的货架关闭货架的输入端口的上限修改为 90，参照此数据修改模型，仿真结果整理、记录于下列各个图表中。

表 8.10 修改后堆垛机仿真输出数据表

| | 1 号堆垛机 | 2 号堆垛机 | 3 号堆垛机 | 4 号堆垛机 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 最小等待时间 | 3.808 | 3.808 | 3.808 | 3.808 |
| 最大等待时间 | 11.313 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| 平均等待时间 | 7.169 | 5.643 | 5.077 | 5.027 |
| 空闲时间百分比 | 88.2% | 95.6% | 97.9% | 97.9 |
| 空载运输时间百分比 | 5.7% | 2.1% | 1.0% | 0.9% |
| 装载运输时间百分比 | 6.1% | 2.4% | 1.1% | 1.1% |

由表 8.10 可以得出修改后的堆垛机 1、堆垛机 2、堆垛机 3 和堆垛机 4 的工作效率分别为 11.8%、4.6%、2.1%和 2.1%。与修改前工作效率比较得出下表 8.11。

表 8.11 修改前后堆垛机工作效率对照表

| | 1 号堆垛机 | 2 号堆垛机 | 3 号堆垛机 | 4 号堆垛机 |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| 修改前工作效率 | 10.7% | 4.4% | 1.6% | 2.2% |
| 修改后工作效率 | 11.8% | 4.6% | 2.1% | 2.1% |

通过表 8.11 可以看出，堆垛机工作效率得到了一点的提高并不明显。

表 8.12 修改后的运输机仿真输出数据表

| | 执行任务 次数 | 空闲率 | 空载运输 时间 | 装载运行 时间 | 装载时间 | 卸载时间 |
|--------|------------|-------|------------|------------|------|------|
| 1 号运输机 | 172 | 81.3% | 9.0% | 9.0% | 0.3% | 0.3% |
| 2 号运输机 | 179 | 41.1% | 21.4% | 23.8% | 7.4% | 6.3% |

由表 8.12 可以得出修改后的运输机 1 号和运输机 2 号的工作效率分别为 28.4%和 70.7%。与修改前工作效率比较得出下表 8.13。

表 8.13 修改前后运输机工作效率对照表

| | 1 号运输机 | 2 号运输机 |
|---------|--------|--------|
| 修改前工作效率 | 20.2% | 65.4% |
| 修改后工作效率 | 18.7% | 58.9% |

由表 8.13 可以明显的看出，运输机的效率的得到了稍为的降低，但是也不是很明显。

表 8.14 修改后的货架仿真输出数据表

| 设备 | 当前库存 量(盘/p) | 最大库存 量(盘/p) | 平均库存 量(盘/p) | 入库总数 (盘/p) | 出库总数 (盘/p) | 平均停留 时间 (秒/s) |
|------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------------|
| 货架 1 | 78 | 87 | 65.815 | 304 | 226 | 8983.169 |
| 货架 2 | 45 | 49 | 32.049 | 150 | 105 | 9032.848 |
| 货架 3 | 24 | 31 | 17.577 | 81 | 57 | 9071.825 |
| 货架 4 | 18 | 30 | 9048.619 | 81 | 63 | 9048.619 |

表 8.15 修改前后的货架利用率数据表

| | 1 号货架 | 2 号货架 | 3 号货架 | 4 号货架 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 修改前工作效率 | 71% | 34% | 10% | 18% |
| 修改后工作效率 | 78% | 45% | 24% | 18% |

由表 8.15 得出的数据可以看出货架的使用得到了提高，修改后的储存区货架平均利用率为 41.25%，与之前相比提高 8 个百分点。由上面的分析可知货物的最小停留时间和货架输入端口的上限为影响因素之一。

(2) 货物的入库时间间隔的优化及仿真分析

在上一优化方案的基础上，通过进一步的分析货物的入库时间间隔因素，优化该因素，提高堆垛机及货架利用率。具体操作如下：将货物的到达时间间隔按照泊松分布，均值为 56，随即数流为 1，参照此数据修改模型，仿真结果整理、记录于下列各个图表中。

表 8.16 修改前后堆垛机工作效率对照表

| | 1 号堆垛机 | 2 号堆垛机 | 3 号堆垛机 | 4 号堆垛机 |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| 修改前工作效率 | 11.8% | 4.6% | 2.1% | 2.1% |
| 修改后工作效率 | 12.1% | 5.2% | 2.9% | 3.3% |

通过表 8.16 可以看出，堆垛机工作效率得到了一点的提高但并不明显。

表 8.17 修改前后运输机工作效率对照表

| | 1 号运输机 | 2 号运输机 |
|---------|--------|--------|
| 修改前工作效率 | 18.7% | 58.9% |
| 修改后工作效率 | 21.9% | 60.8% |

由表 8.17 可以看出，运输机的效率的得到了稍为的提高。

表 8.18 修改前后的货架利用率数据表

| | 1 号货架 | 2 号货架 | 3 号货架 | 4 号货架 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 修改前工作效率 | 78% | 45% | 24% | 18% |
| 修改后工作效率 | 82% | 36% | 25% | 25% |

通过表 8.18 可以看得出，修改后的平均货架利用率为 42%，与修改前又提高了一点。由以上数据我们可以看出修改货物的入库时间间隔就能引起其他数据的有效变化，所以说货物的入库时间间隔因素为优化配送中心的其中因素之一。

(3) 托盘生成数量的优化及仿真分析

在以上优化方案基础上,通过进一步分析来确定在现有资源配置下该配送中心的托盘生成数量,在提高提高堆垛机和货架利用率的同时避免过多托盘的浪费,使配送中心效益最大化。在托盘发生器中设置托盘的初始数量为 300,参照此数据修改模型,仿真结果整理、记录于下列各个图表中。

表 8.19 修改前后托盘的利用率数据表

| | 托盘利用率 |
|---------|-------|
| 修改前工作效率 | 73.5% |
| 修改后工作效率 | 85% |

通过表 8.19 中我们可以得出,修改托盘初始生成数量也作为优化配送中心的影响因素之一,后面再通过多次试验仿真找出最优的托盘数量。

(4) 最终优化方案结果

通过反复的测算和仿真运行分析,在现有配置下不出现堵塞的最大吞吐量为 2182/1210。货物到达时间间隔和储存区货架货物最小停留时间均采用泊松分布,分别采用均值 56,9300,使用随机数流为 1,储存区的货架关闭货架的输入端口的上限修改为 90,托盘的初始生成数量为 280。参照此数据修改模型,仿真结果整理、记录于下列各个图表中。

表 8.20 最终修改前后工作效率对照表

| | 修改前工作效率 | 修改后工作效率 | | 修改前工作效率 | 修改后工作效率 |
|--------|---------|---------|-------|---------|---------|
| 1 号堆垛机 | 10.7% | 11.2% | 1 号货架 | 71% | 77% |
| 2 号堆垛机 | 4.4% | 4.1% | 2 号货架 | 34% | 36% |
| 3 号堆垛机 | 2.6% | 2.1% | 3 号货架 | 10% | 26% |
| 4 号堆垛机 | 2.2% | 2.3% | 4 号货架 | 18% | 31% |
| 1 号运输机 | 21.2% | 21.7% | 托盘 | 73.5% | 95% |
| 2 号运输机 | 65.4% | 78.9% | | | |

通过表 8.20 可以看出,堆垛机工作效率并没有太大的变化;运输机的效率的得到了相对的提高;我们可以明显看到储存区的货架利用率有了很大的提高,平均利用率由 33.25% 提高到了 42.5%;我们可以看出托盘的利用率有了很大的提高,避免了过多生产的托盘浪费,是配送中心的效益得到了提高。

综合以上结果,我们可以证明我们选择的优化方案是正确的,通过仿真分析,优化系统的资源配置后,达到了提高系统效率、优化投资效益的目的。

8.2 自动化仓储中心建模仿真案例

8.2.1 问题描述与模型参数

某物流中心采用单元货架式自动化立体仓库,主要由入库分拣区,入库处理区,货物存储区,出库处理区,出库分拣区五大部分组成。年工作日为 250 天,日工作小时为 10 小时。

自动化立体仓库平面如下图所示:

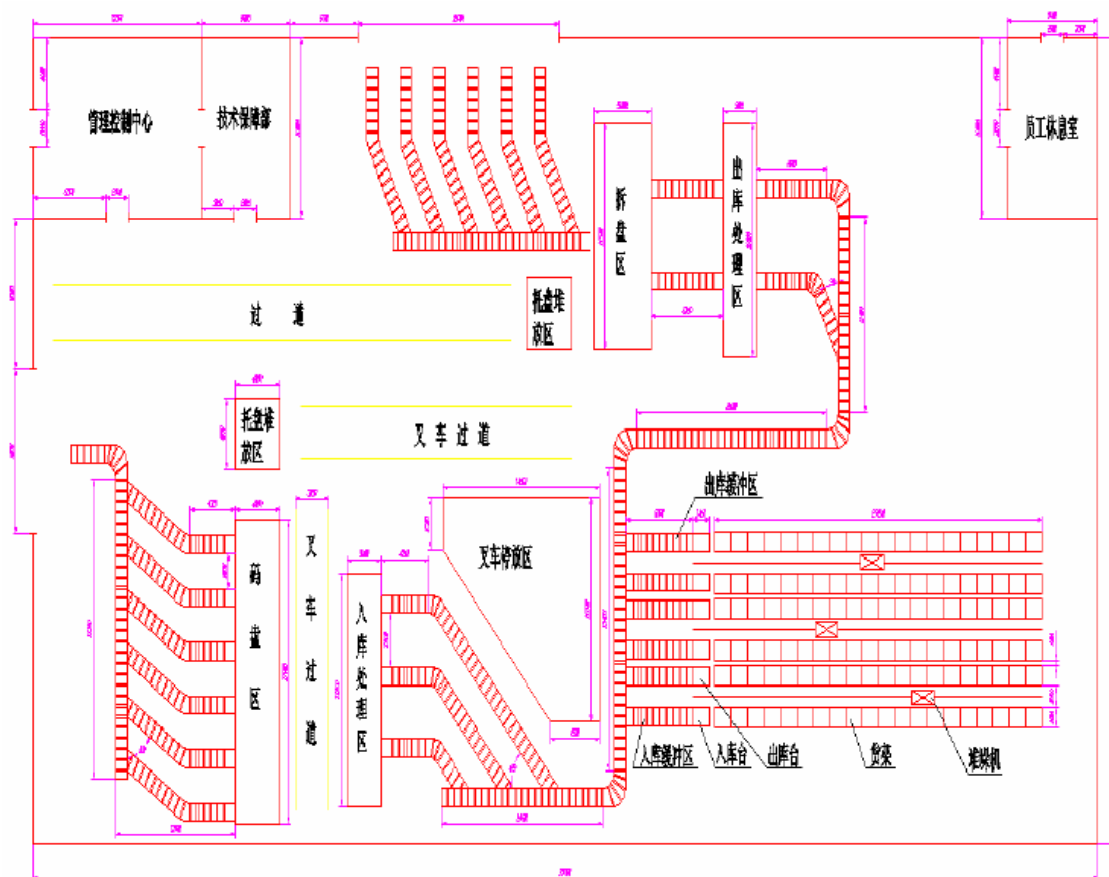


图 8.42 自动化立体仓库平面

(1) 入库分拣区:模型中的输送机由 12 段组成，其中 6 段弯道分别用来输送需要入库的 6 类货物，每一段的长度为 10 米，速度为 2 m/s，载货量均设置为 20 托盘。每两排输送机共用一个操作员。

(2) 入库处理区：处理区主要用来对码盘后的货物进行记录，校核清单。入库处理区有 3 台，出/入库处理器处理时间（峰值时间）为 30 s，在每次处理货物前的预置时间为 8 s（常数）。码盘作业器协助操作员进行码盘作业，人工将货物放至在托盘后，整理，打包，作业时间为 15 s（常值）。

(3) 货物储存区

货物经过输送带分类，从入库输送带进入入库暂存区，然后分类装入货架，其中类型 1,2 存储于第一组货架，类型 3,4 存储于第二组货架，类型 5,6 位于第三组货架。货物经过 exponential (0,10000,1) 停留后从出库暂存区出库。货位数：20（列）×6（行）×15（层）=1800（个）

(4) 出库处理区

出库处理区有 2 台，2 台衍生器和 2 个机器人对出库货物进行处理出库托盘经处理器处理后经过分解器，货物与托盘分离，由输送机将货物逐个送出库，此时分拣器无预置时间、操作时间。

(5) 出库分拣区

将货物分类拣选后经由 6 条输送带输送至吸收器。

8.2.2 Flexsim 仿真建模

设计完成整体布局图

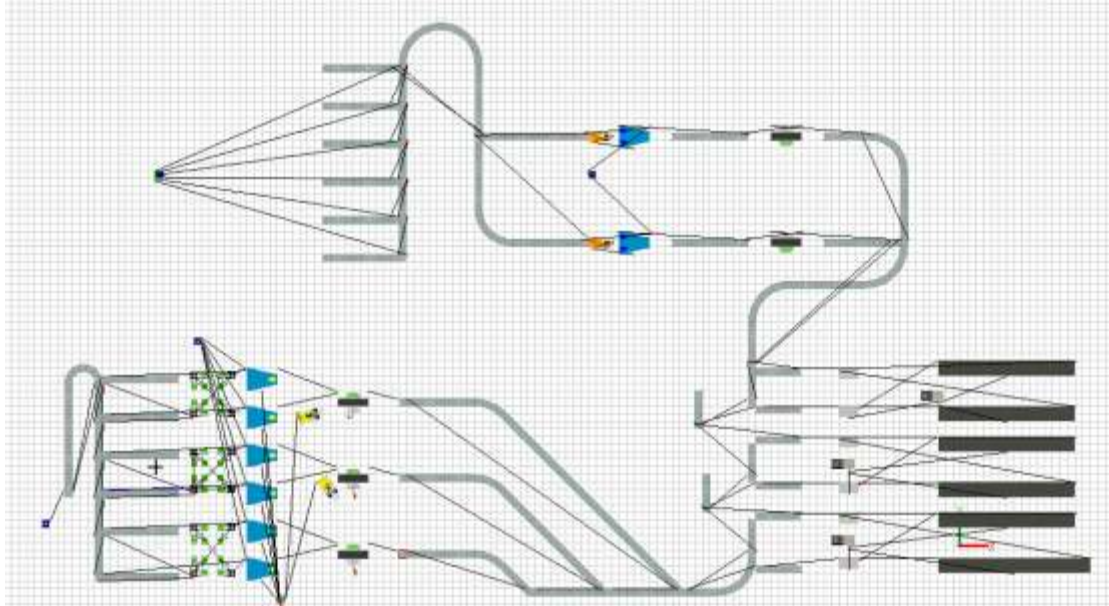


图 8.43 整体布局图

1. 入库分拣区模型

(1) 入库分拣区整体布局

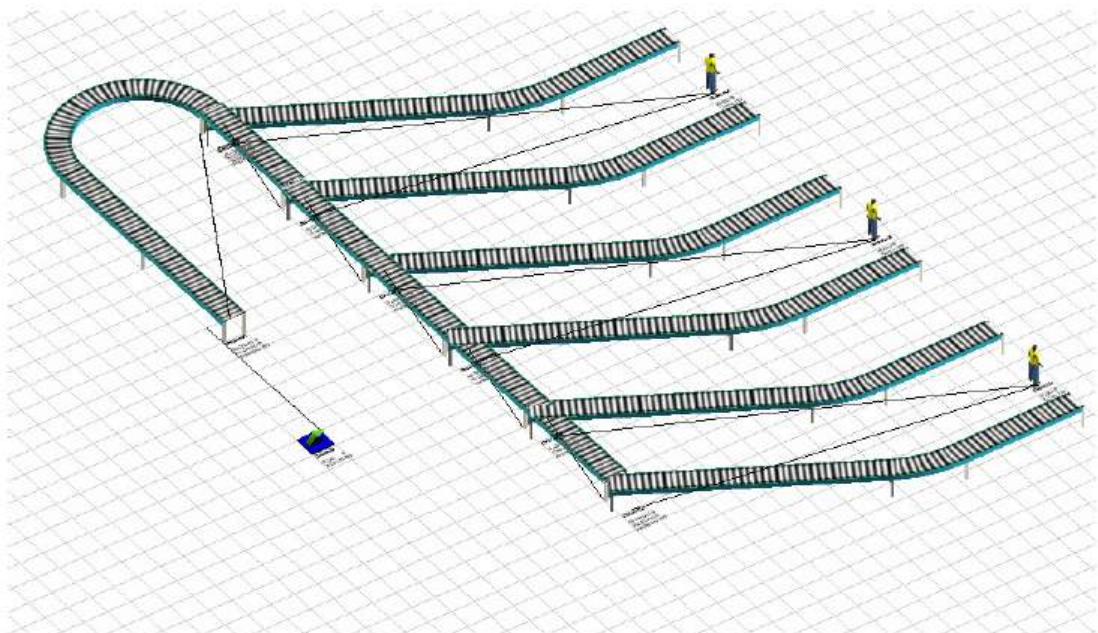


图 8.44

(2) 入库输送连接方式

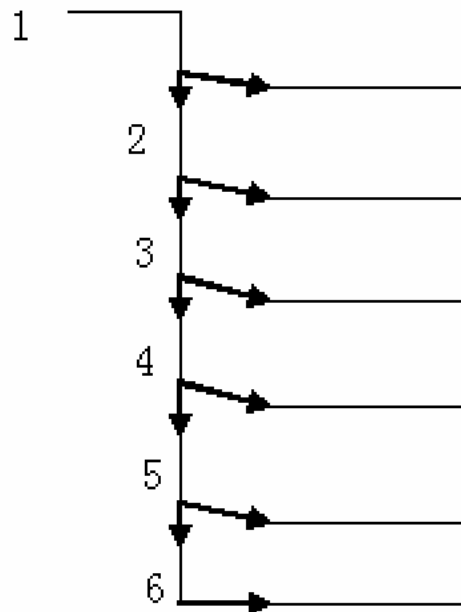


图 8.45

(3) 实体参数设置

生成器参数设置:

双击 Source 打开参数设置页, 在 Inter-Arrivetime 的下拉菜单中选择 Statistical Distribution 设置 exponential (0,35,1), 设置结果如图所示:

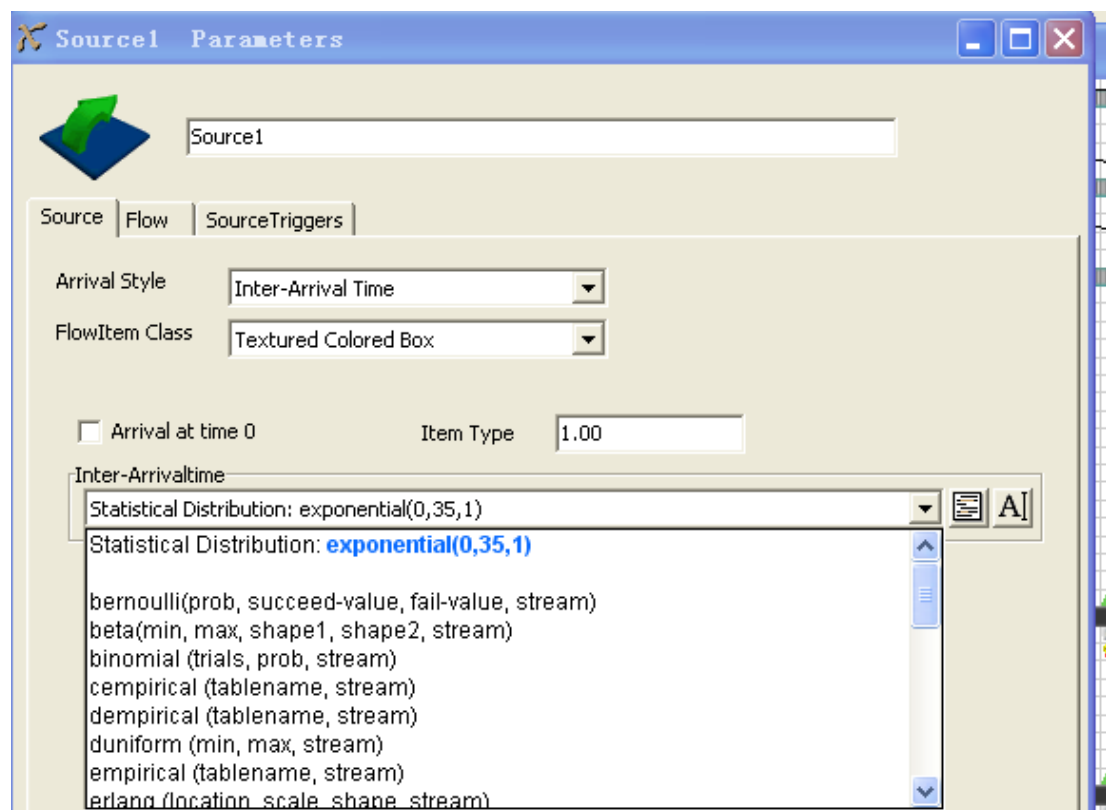


图 8.46

点击最上层的 SourceTriggers, 在 OnExit 下拉菜单中选择 Set Itemtype and Color, 根据系统

设置把 Itemtype 设置为 duniform(1,6)。

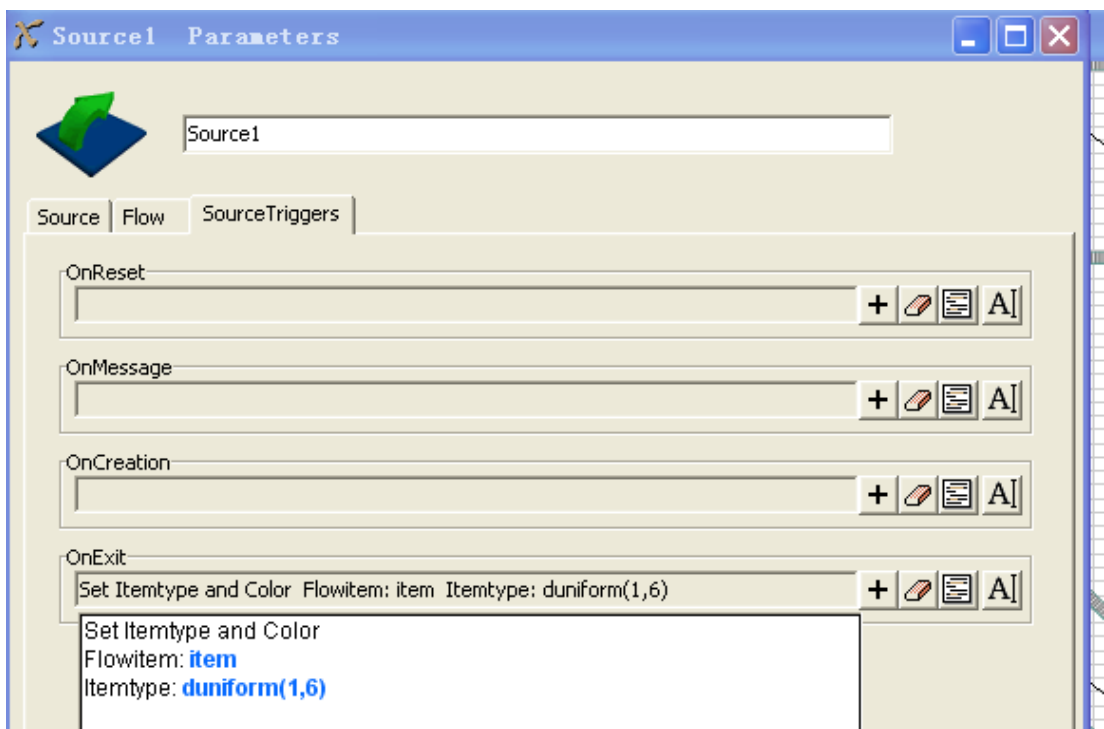


图 8.47

分拣输送带参数设置：

输送带 1 设置：点击 Flow ，在 Sent To Port 下拉菜单中选择 Cases By Value，设置参数如图所示：

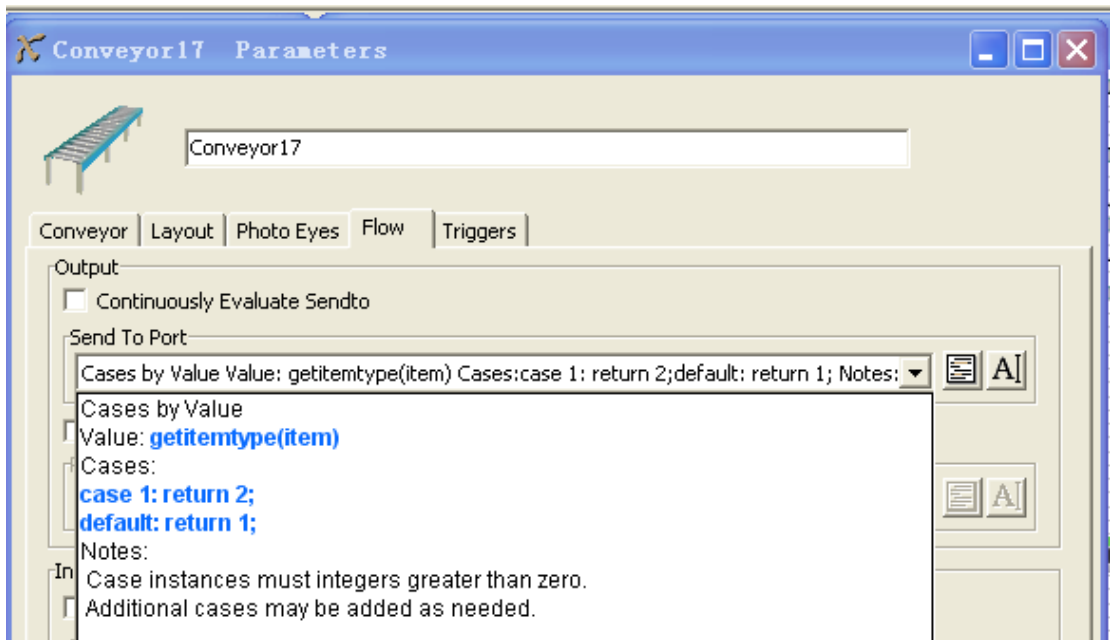


图 8.48

同理设置下端 5 段输送机，只是分别将上图中的“Case 1”分别改为“Case 2”，“Case 3”，“Case 4”，“Case 5”，“Case 6”。（注意接口连接顺序，应先将下端的输送机连接，再连接右

端输送机连接)。

右端 6 条输送机设置:

在 Conveyor 选项卡中, Speed 改为 “2”; Maximum Content 改为 “20”, 如图所示:

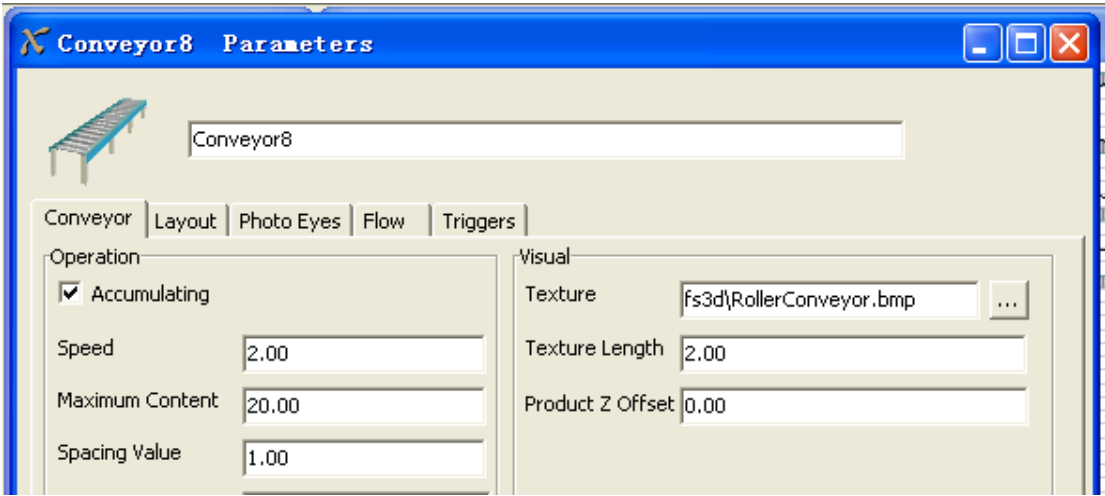


图 8.49

点击 Layout 将下面表格中的 length 改为 “10”; 如图所示:

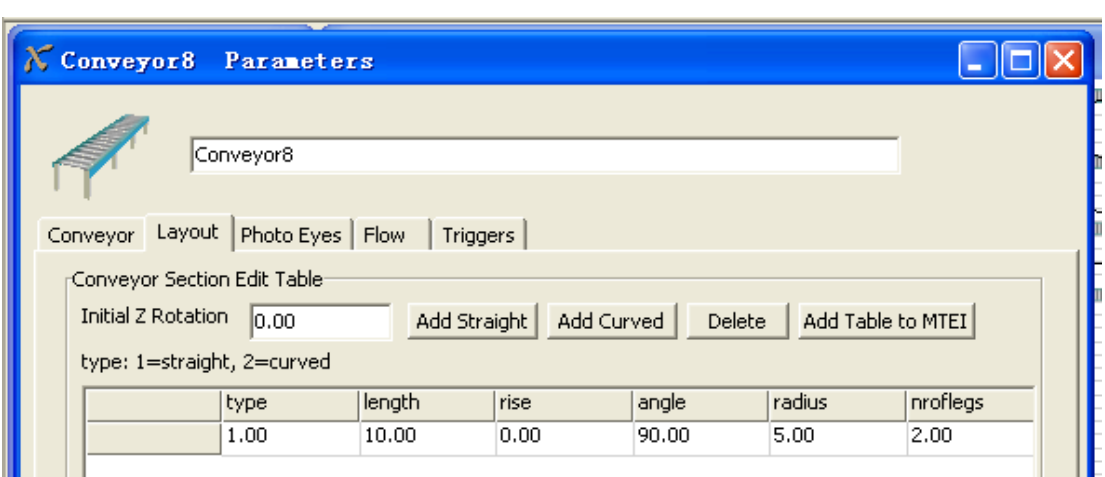


图 8.50

点击 Flow 将 Use Transport 选项前面点击打勾 ☒ Use Transport 。

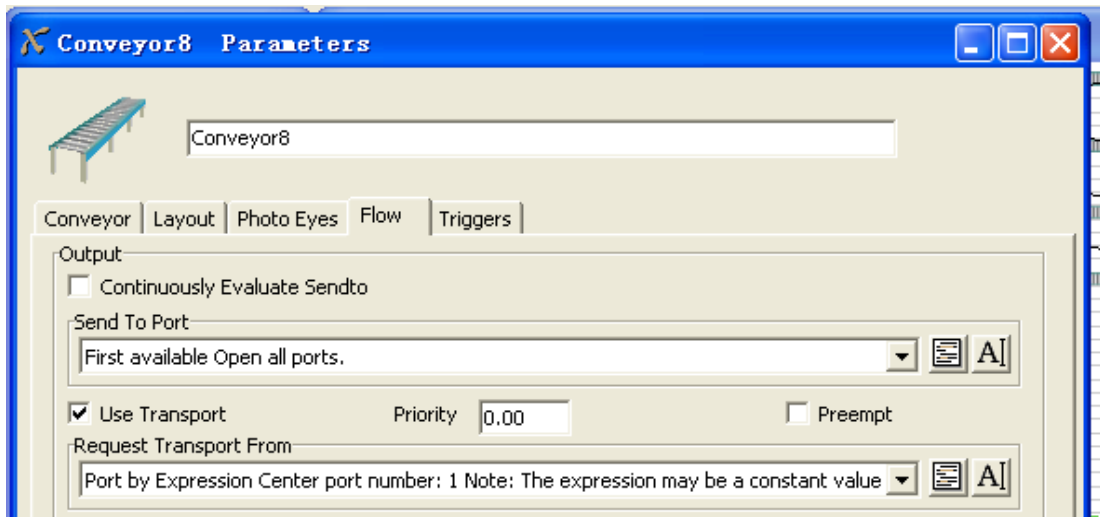


图 8.51

右端其它五个输送机设置同上。

操作人员设置：双击 Operator 在 Load Time 下拉菜单中选择 By Expression 将参数改为“15”，如图所示：

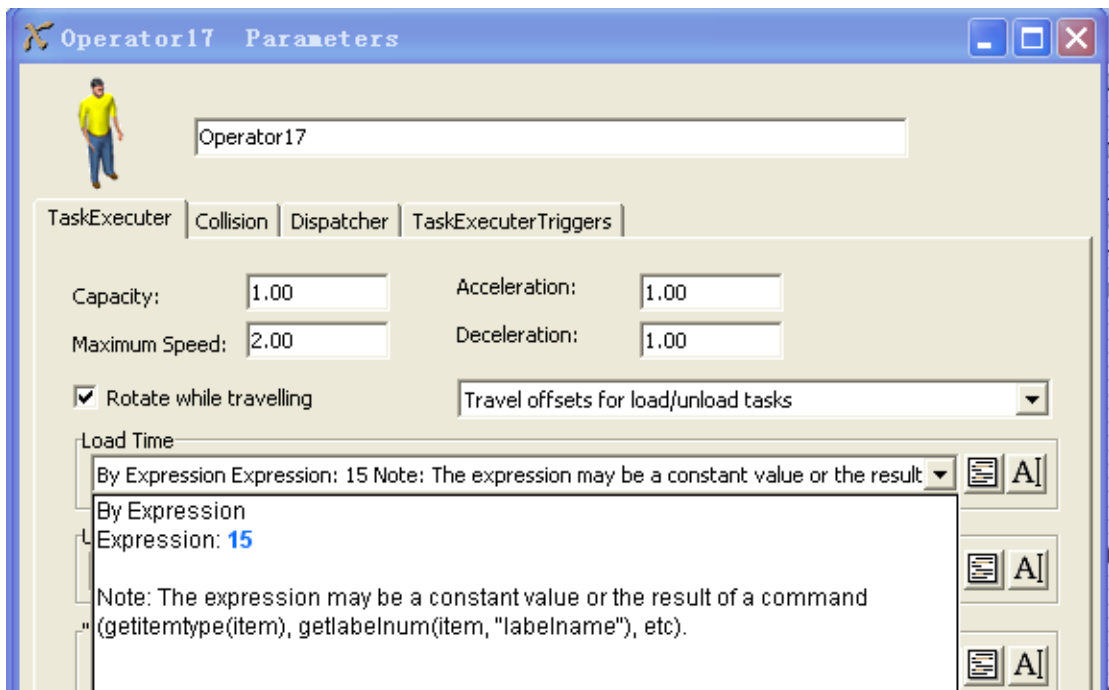


图 8.52

操作人员的行走路径如图：

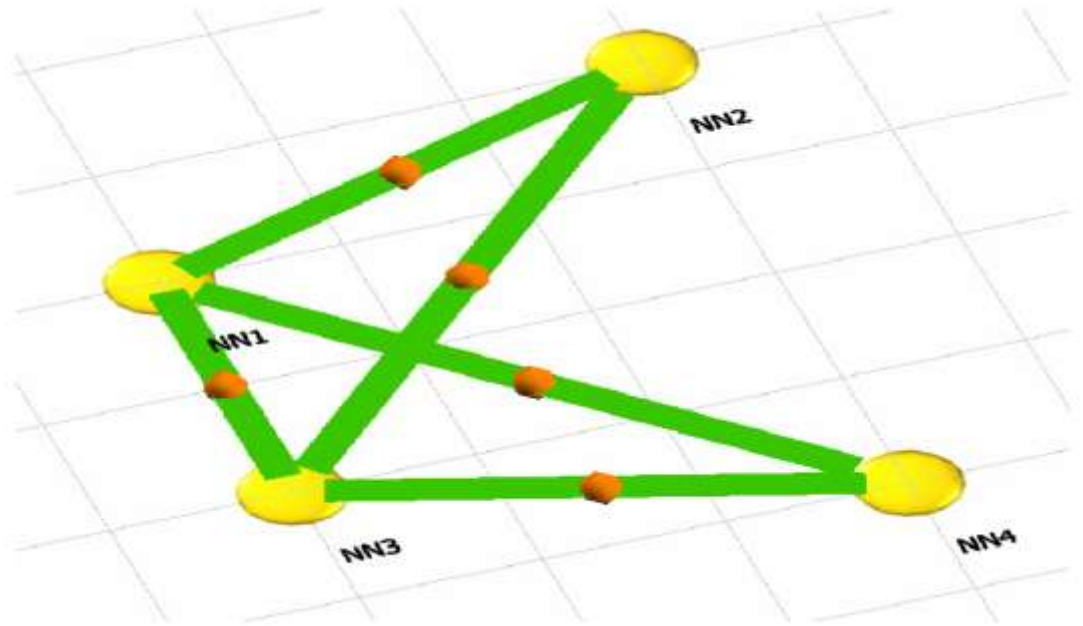


图 8.53

其余两名操作人员设置相同。

2. 入库处理区

(1) 入库处理区整体布局，如图所示：

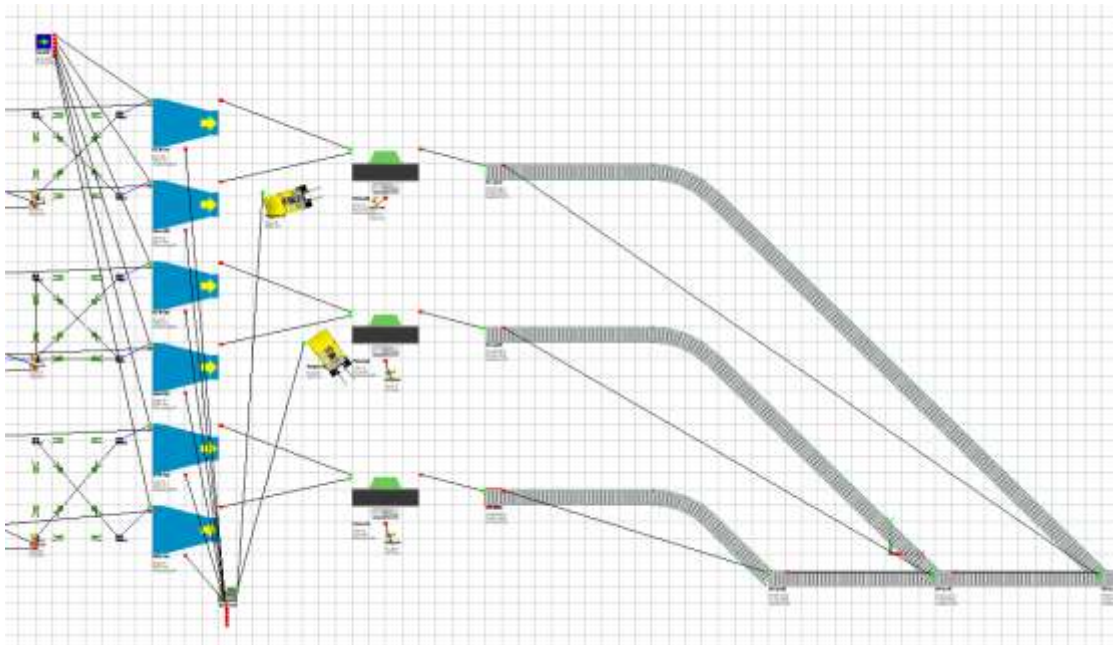


图 8.54

(2) 参数设置

Source 参数设置：双击第二个 Source 打开参数设置页面，在 FlowItem Class 下拉菜单中选择 “Pallet”，如图所示：

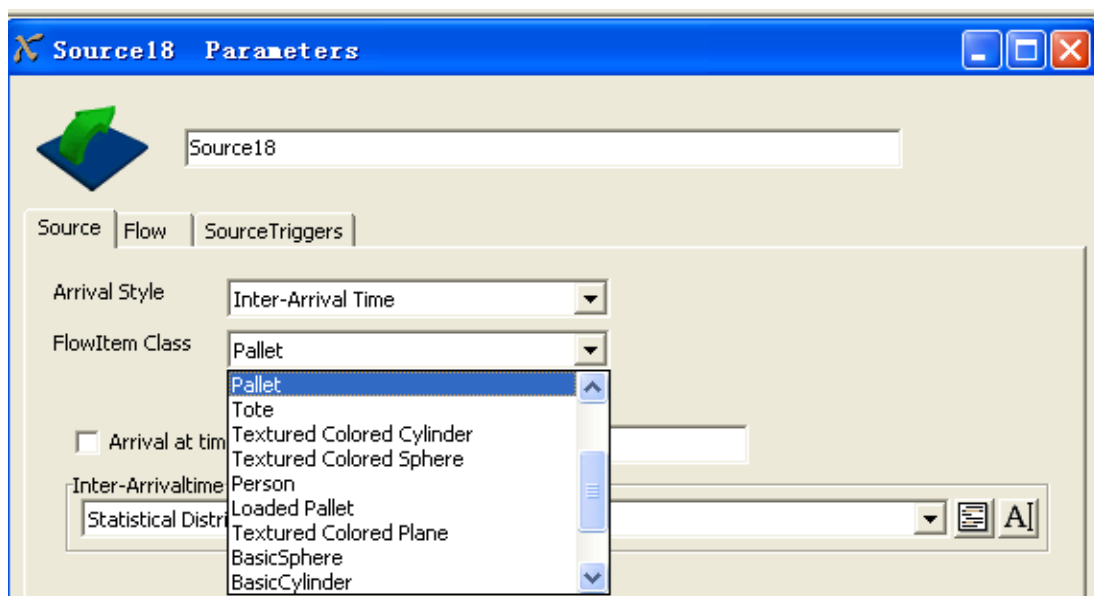


图 8.55

Combiner 参数设置：双击 Combiner 打开设置页面，在 Process Times 下拉菜单中选择 By Expression 将参数改为“10”，如图所示：

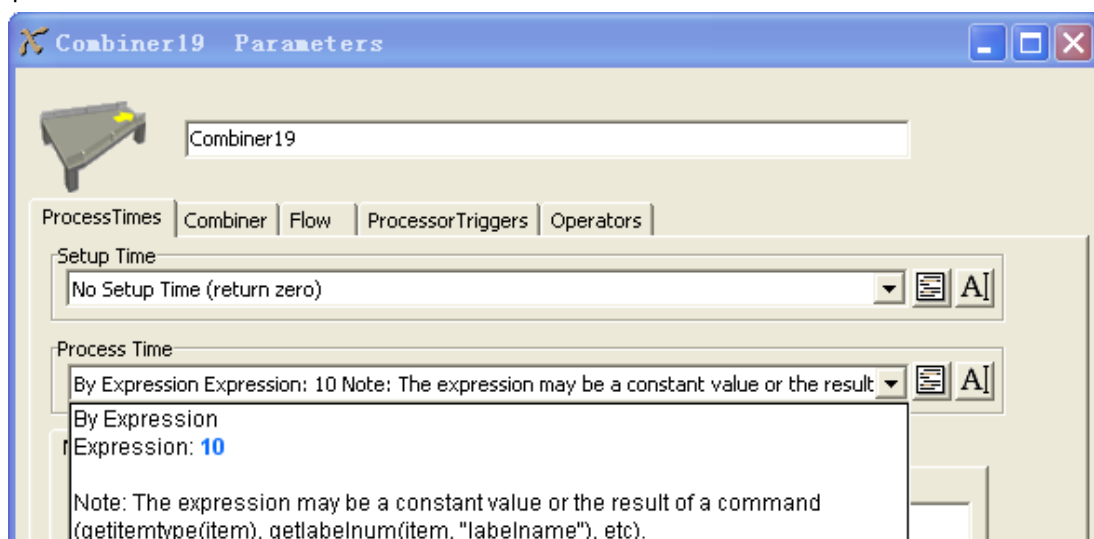


图 8.56

点击 Combiner 选项卡，将 Target Quantity 参数改为“4”，如图所示：

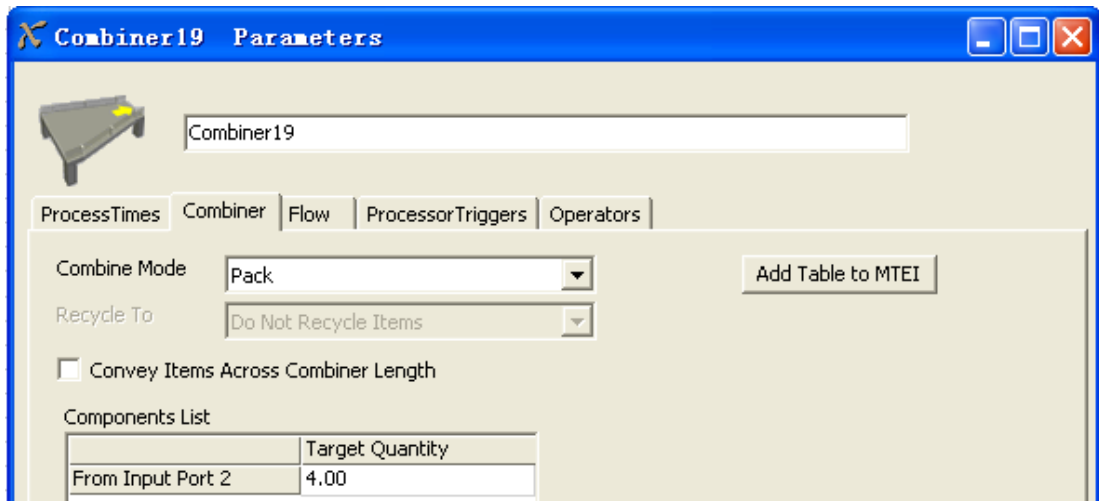


图 8.57

点击 Flow 将 Use Transport 选项前面点击打勾 ☒ Use Transport。

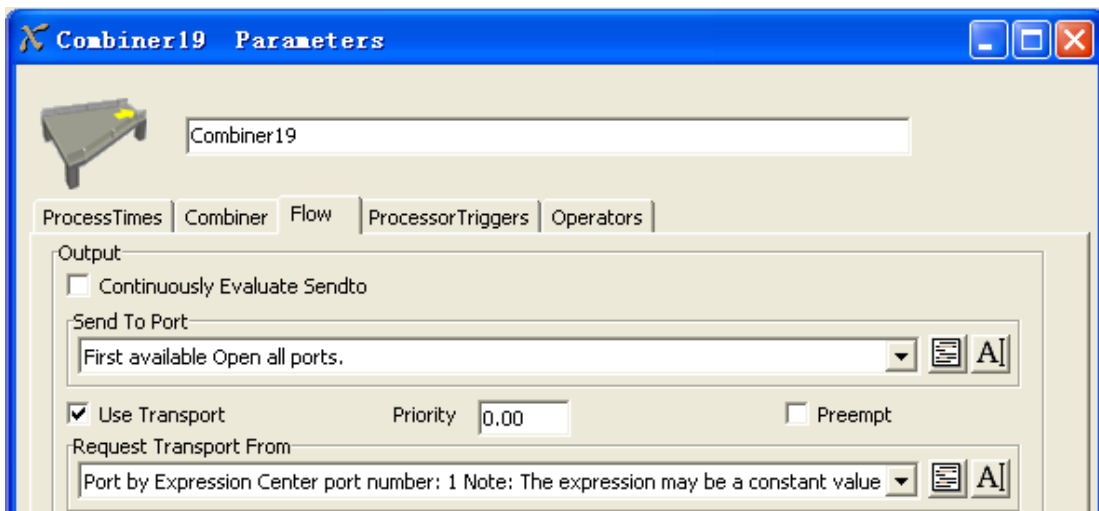


图 8.58

点击 Processor Triggers，在 OnExit 下拉菜单中选择 Set ItemType 设置为 duniform(1,1), 如图所示：

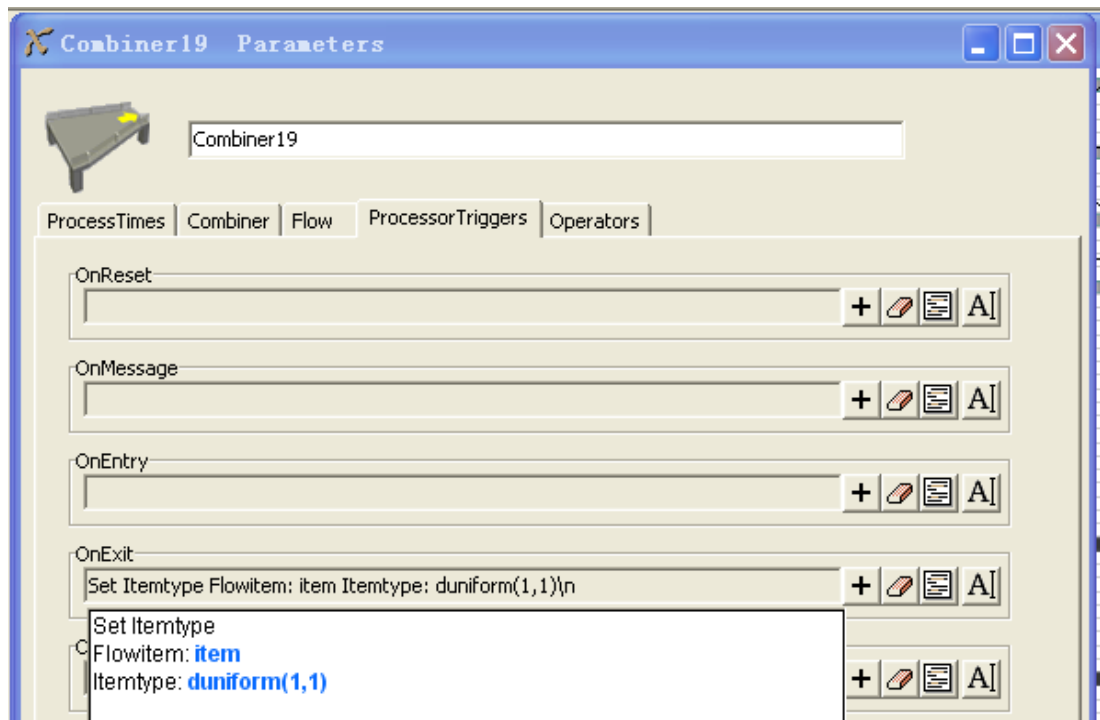


图 8.59

其它 5 个 Combiner 设置相同，除了将上图中 `duniform(1,1)` 的分别设置为 `duniform(2,2)`, `duniform(3,3)`, `duniform(4,4)`, `duniform(5,5)`, `duniform(6,6)`。

Transporter 设置：双击 Transporter 打开设置页面, `Maximum Speed` 参数改为“2”；`Load Time` 和 `UnLoad Time` 下拉菜单中均选择 `Statistical Distribution` 设置为 `uniform (3,5,1)`，如图所示：

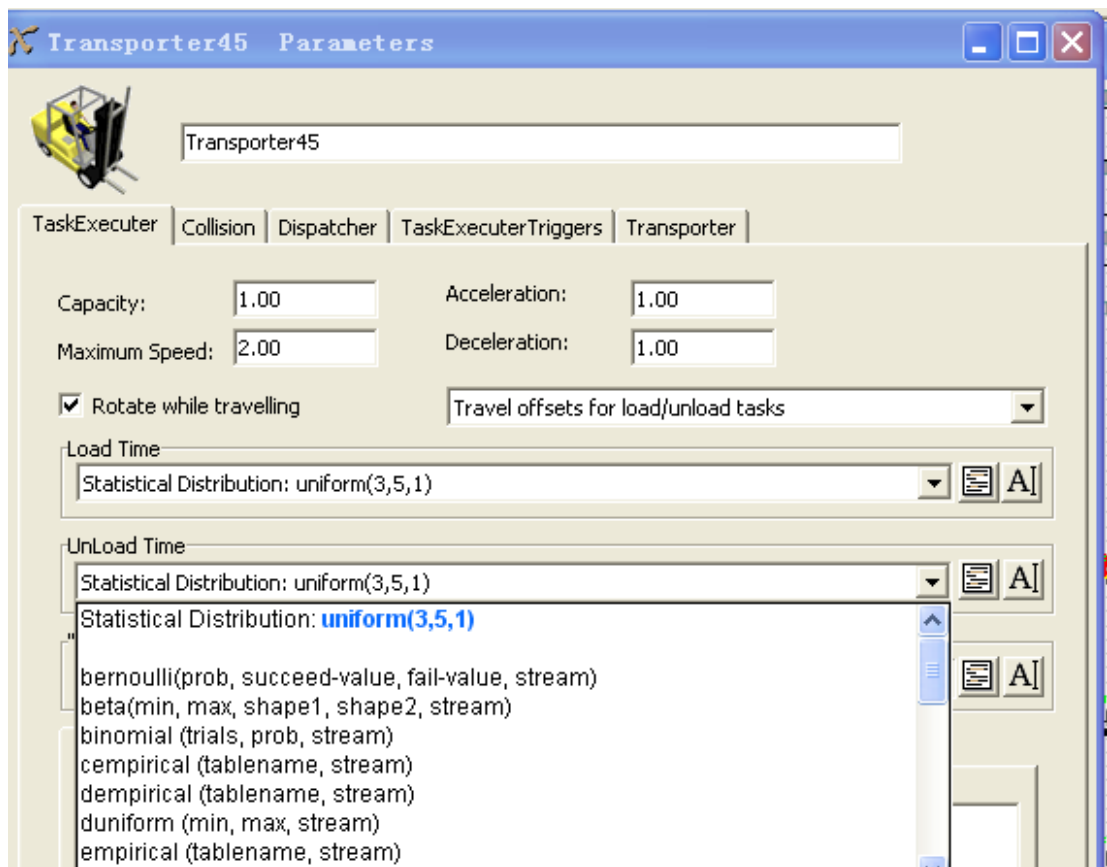


图 8.60

其余 Transporter 设置同上。

处理器参数设置：双击 Processor 打开设置页面，在 Setup Time 下拉菜单中选择 By Expression 将参数改为“8”，在 Process Time 下拉菜单中选择 By Expression 将参数改为“30”，如图所示：

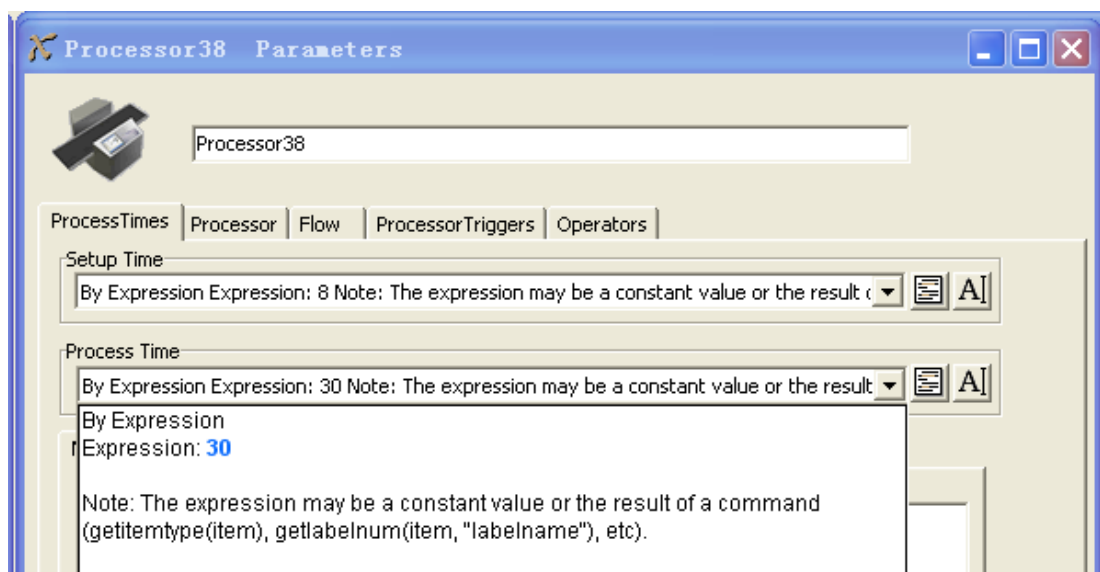


图 8.61

点击 Operators 将 Use Operator (S) for Setup 选项前面点击打勾 ☒ Use Operator (s) for Setup ,如图所示：

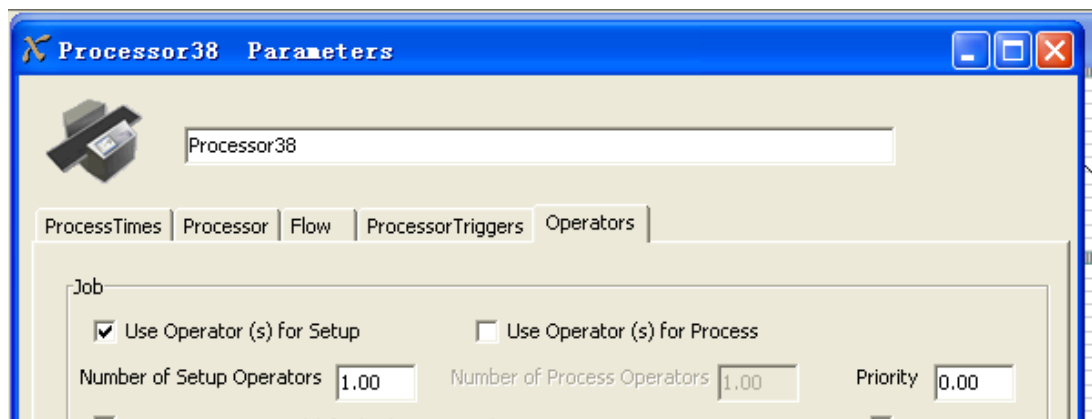


图 8.62

其余 Processor 设置同上。

3. 货物存储区

(1) 货物存储区整体布局，如图所示：

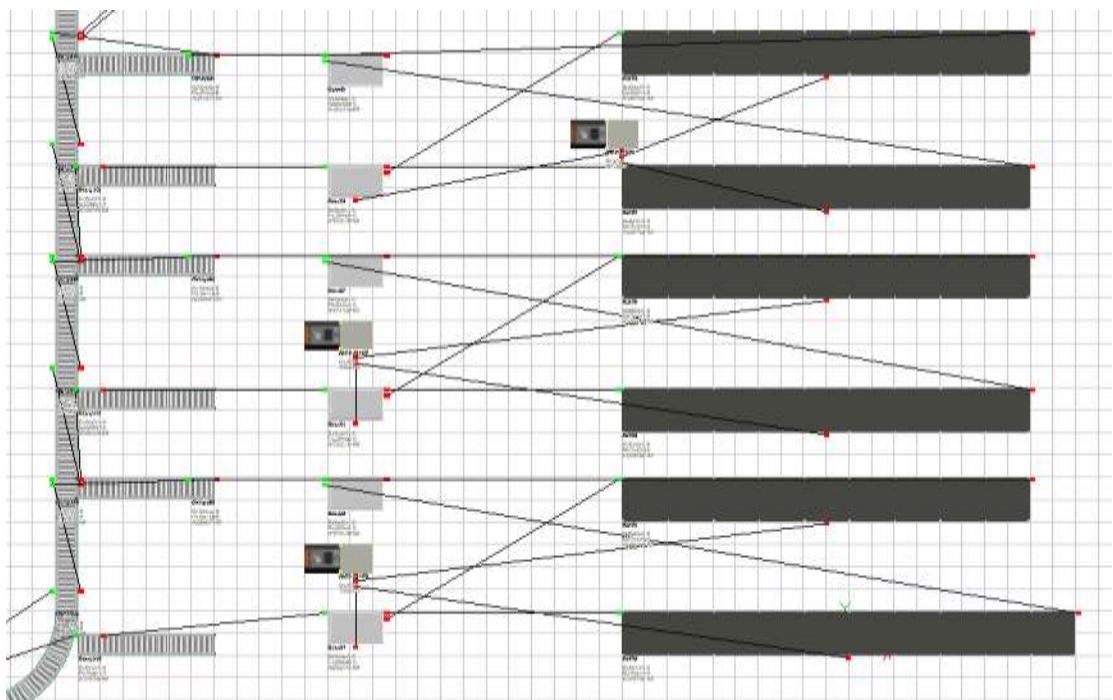


图 8.63

(2) 存储输送连接方式

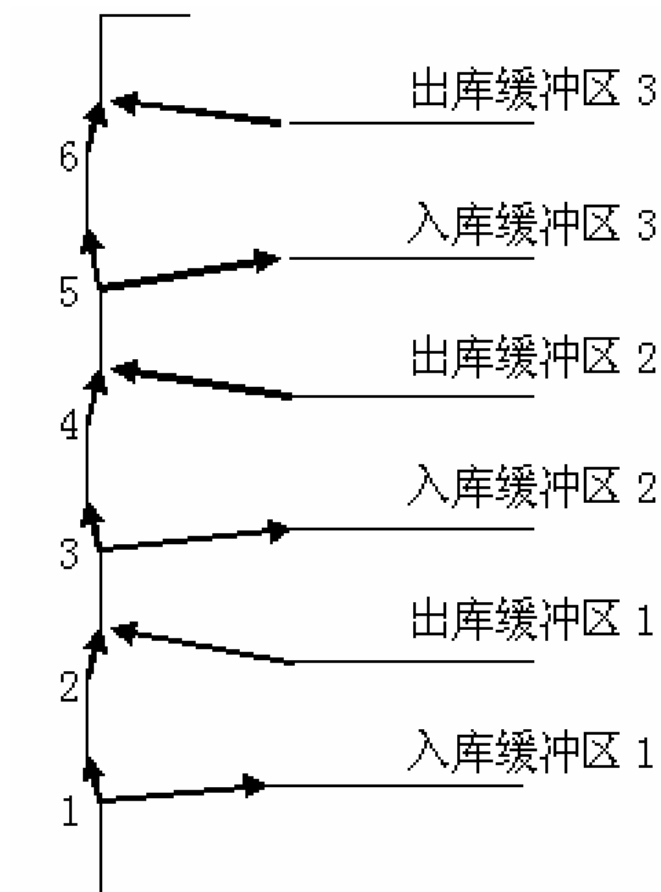


图 8.64

(3) 参数设置

输送带 1,3,5 设置: 点击 Flow , 在 Sent To Port 下拉菜单中选择 Cases By Value, 输送带 1,3,5 设置参数分别如图所示:



图 8.65

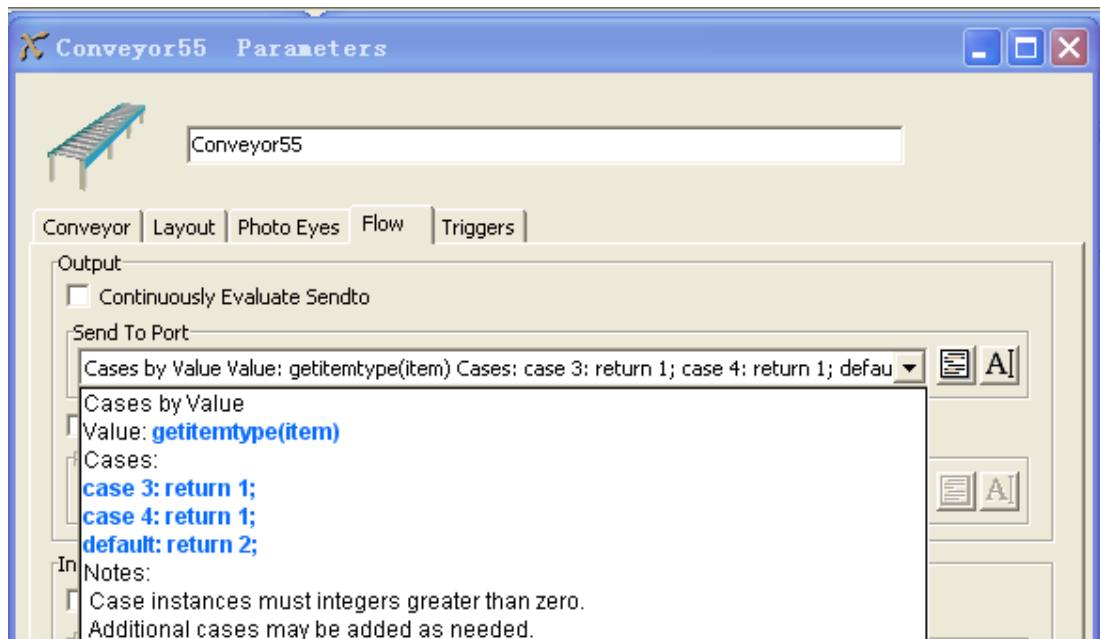


图 8.66

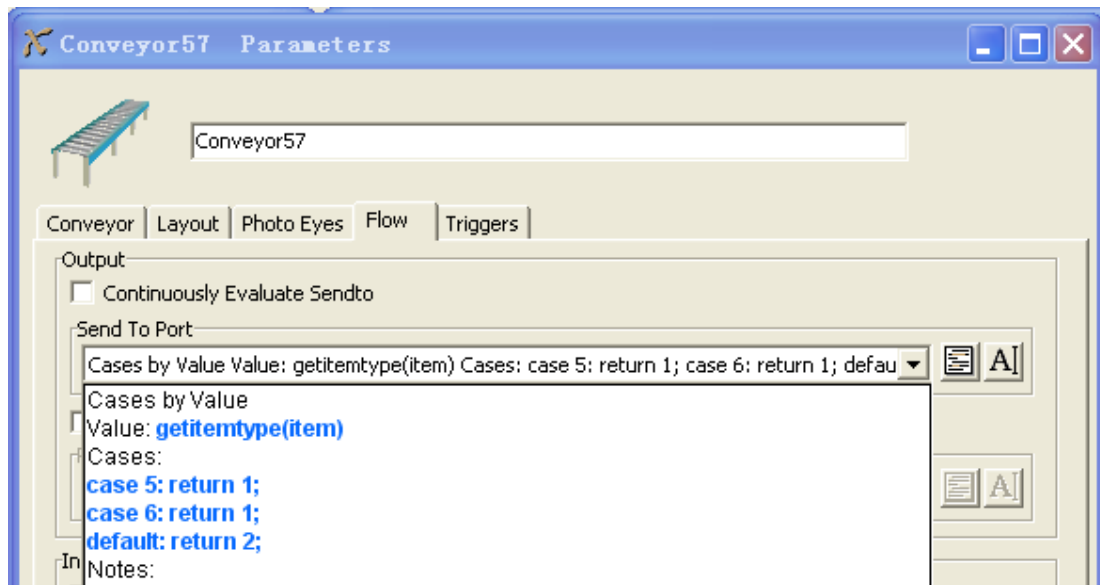


图 8.67

(注意接口连接顺序, 应先将右端的输送机连接, 再连接上端输送机连接)。

右端输送机参数设置: 双击 Conveyor 打开参数设置页面, Speed 参数改为“1”; Maximum Content 参数改为“5”, 如图所示:

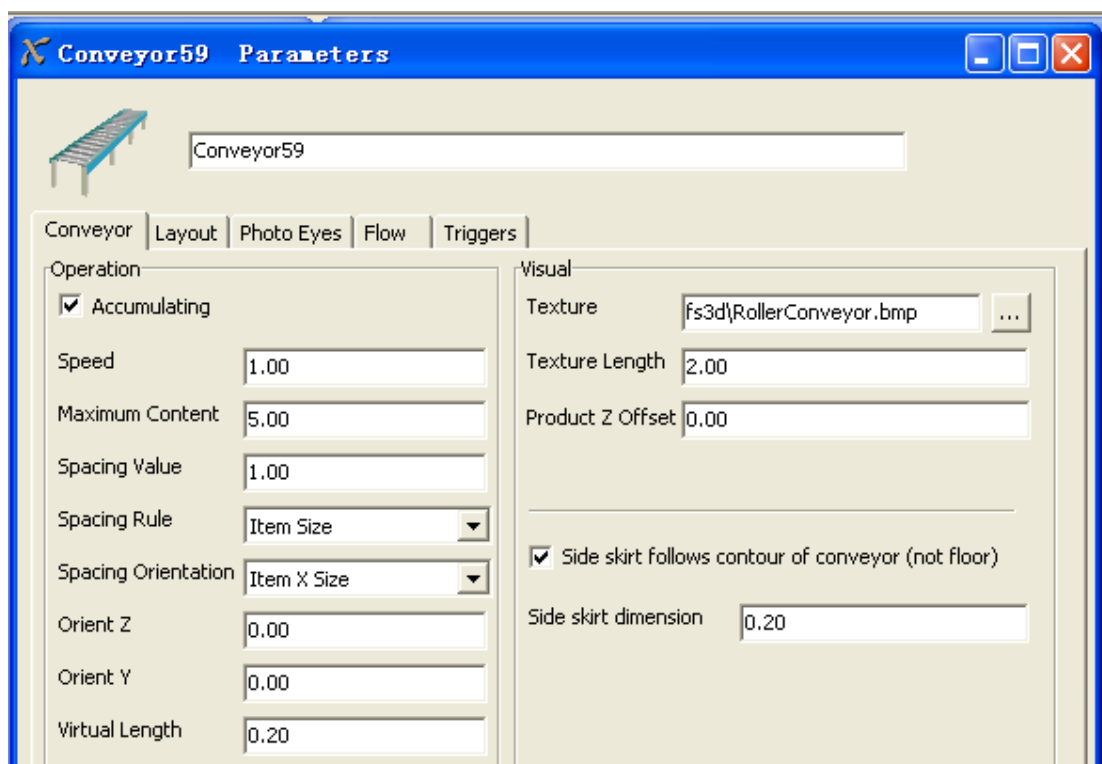


图 8.68

点击 Layout，在表格中 Length 参数改为“6”，如图所示：

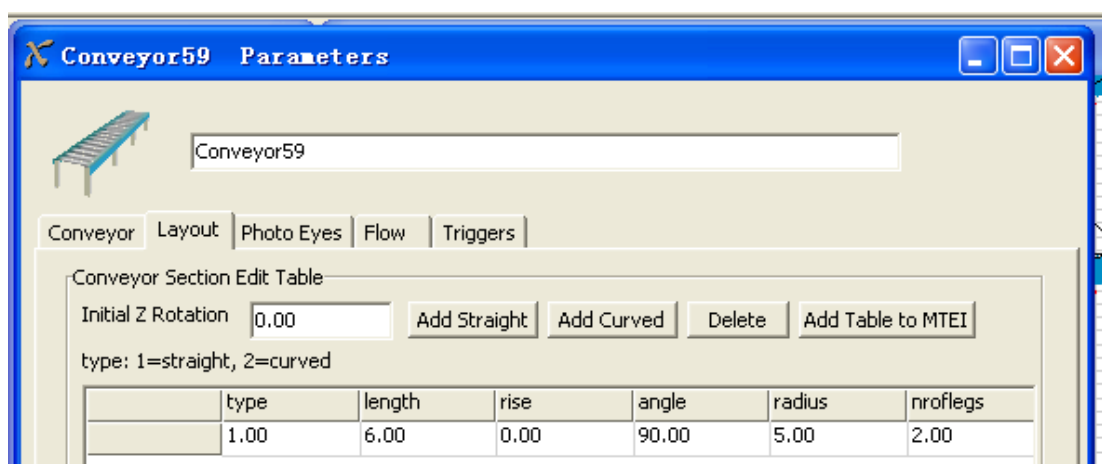


图 8.69

右端其它传送带设置同上。

入库暂存区 1,2,3 设置：点击 Flow，在 Sent To Port 下拉菜单中选择 Cases By Value，入库暂存区 1,2,3 设置参数分别如图所示：

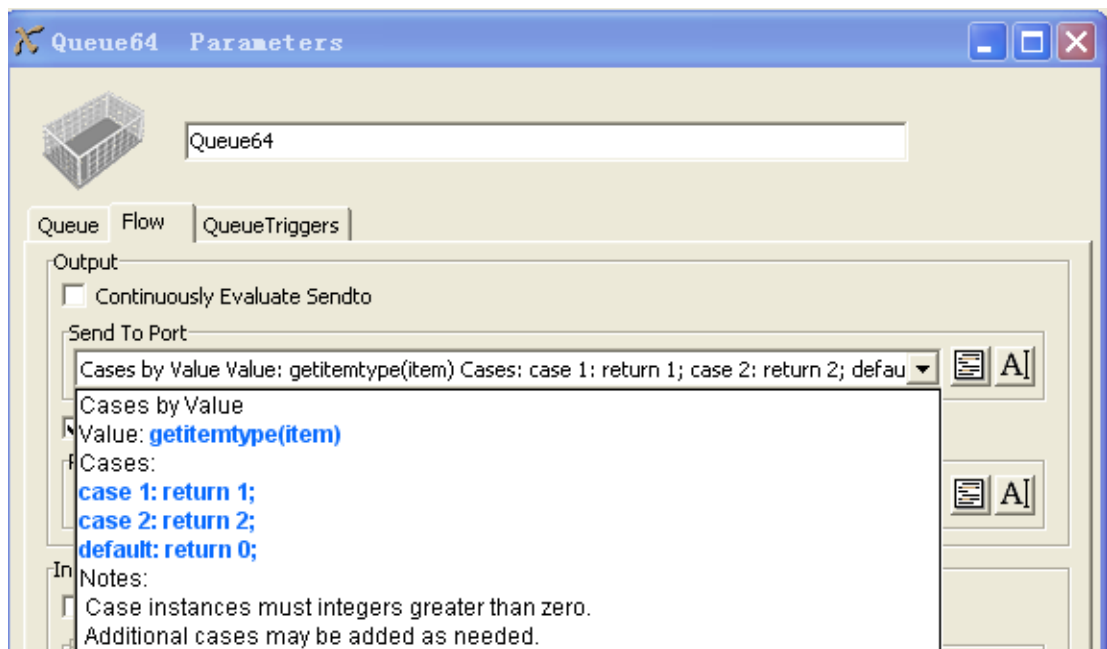


图 8.70

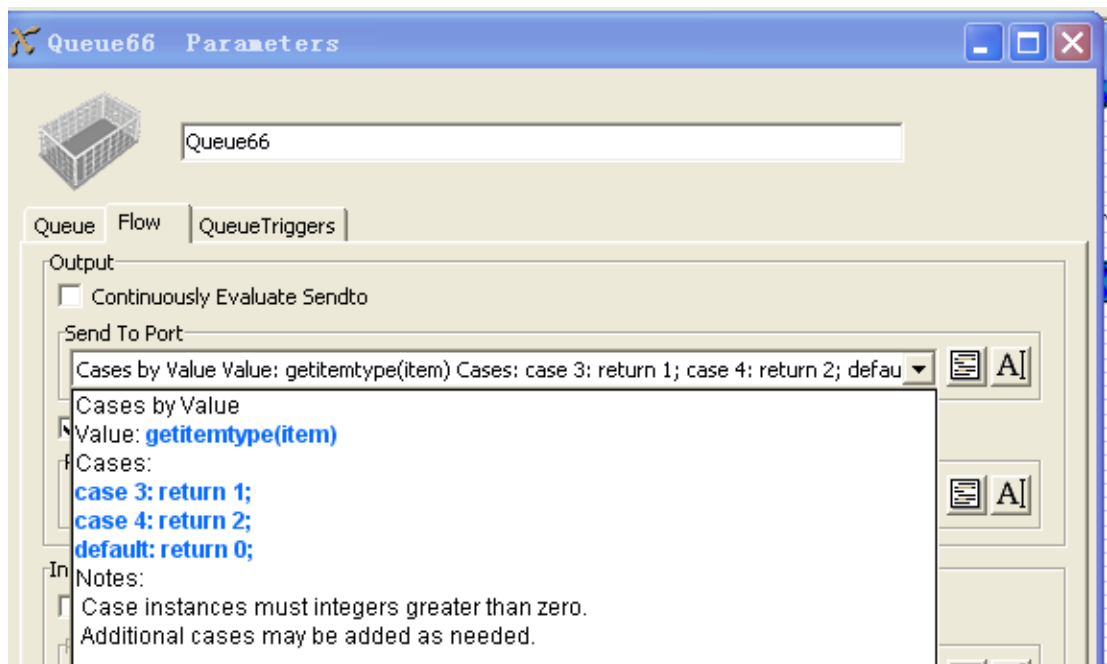


图 8.71

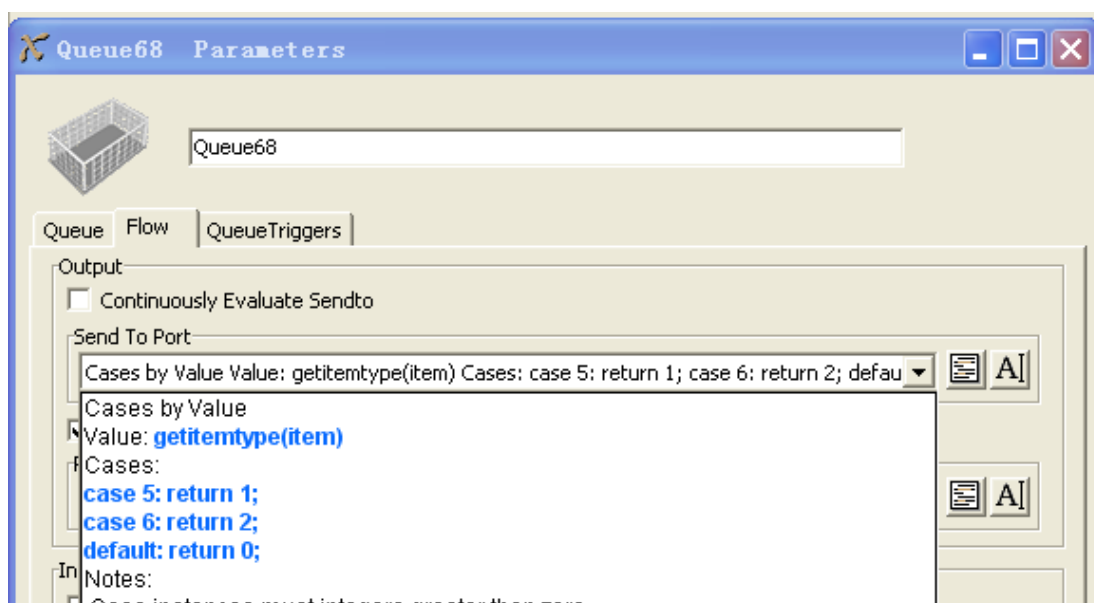


图 8.72

堆垛机参数设置：双击 ASRSvehicle，将 Maximum Speed 参数改为“2”；在 Load Time 和 UnLoad Time 下拉菜单中均选择 By Expression 参数改为“5”，如图所示：

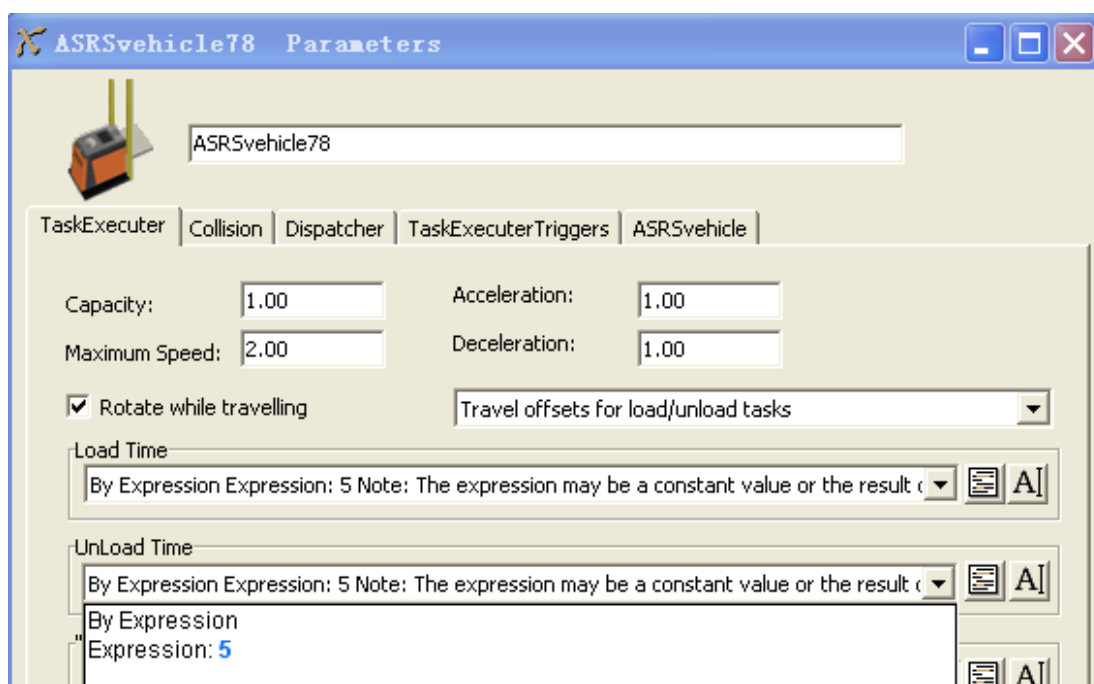


图 8.73

其余堆垛机设置同上。

货架参数设置：双击 Rock 打开设置参数页面，将 Maximum Content 改为“300”，在 Minimum Dwell Time 下拉菜单中选择 Statistical Distribution 设置 exponential (0,10000,1)，如图所示：

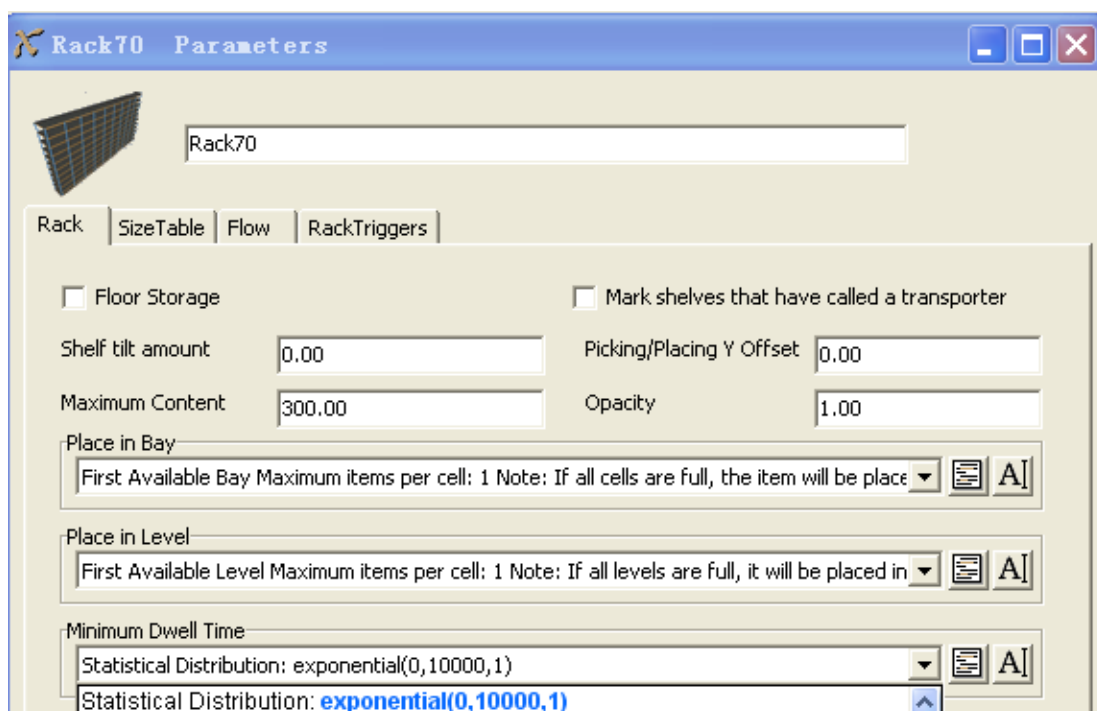


图 8.74

点击 Size Table, Number of Bays 参数改为“20”, Width of Bays 参数改为“1.1”, Number of Levels 参数改为“15”, Height of Levels 参数改为“1.46”, 点击 Apply Basic Settings, 如图所示:

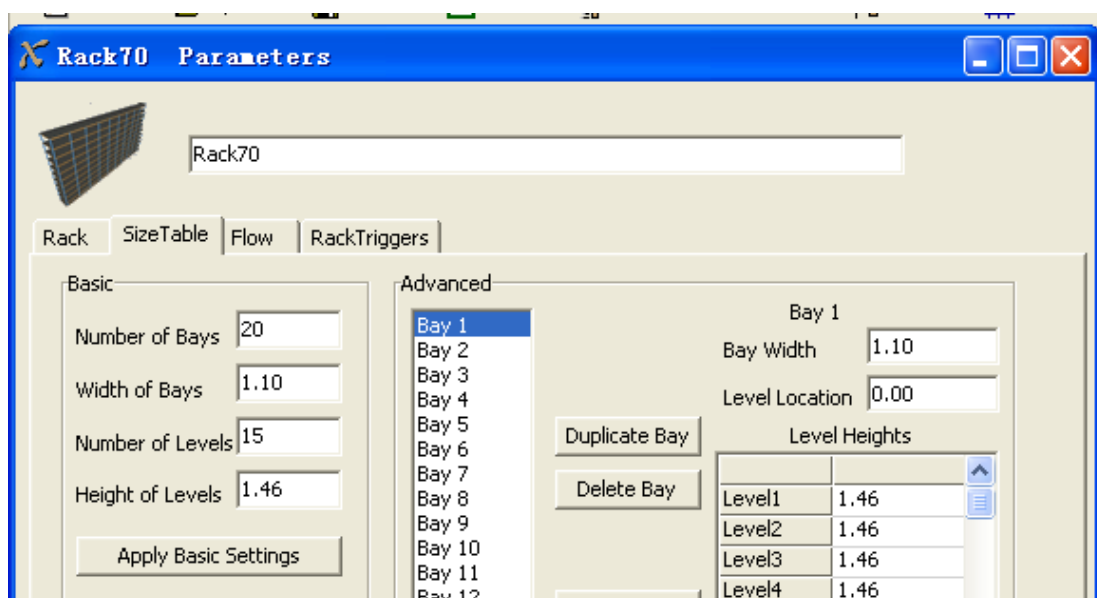


图 8.75

点击 Flow 将 Use Transport 选项前面点击打勾 ☒ Use Transport 。

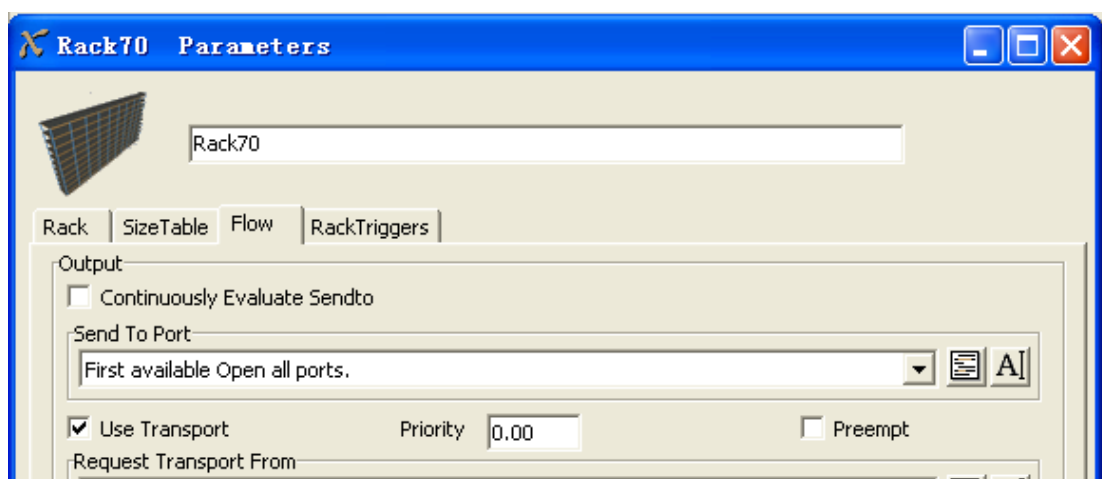


图 8.76

其它货架设置同上。

4. 出库处理区

(1) 出库处理区整体布局，如图所示：

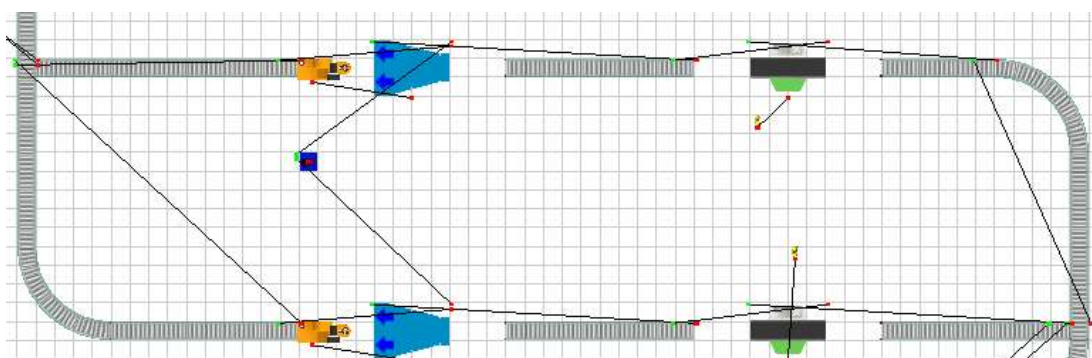


图 8.77

(2) 参数设置

处理器参数设置：双击 Processor，在 Setup Time 下拉菜单中选择 By Expression 参数改为“8”，在 Process Time 下拉菜单中选择 ByExpression 参数改为“30”，如图所示：

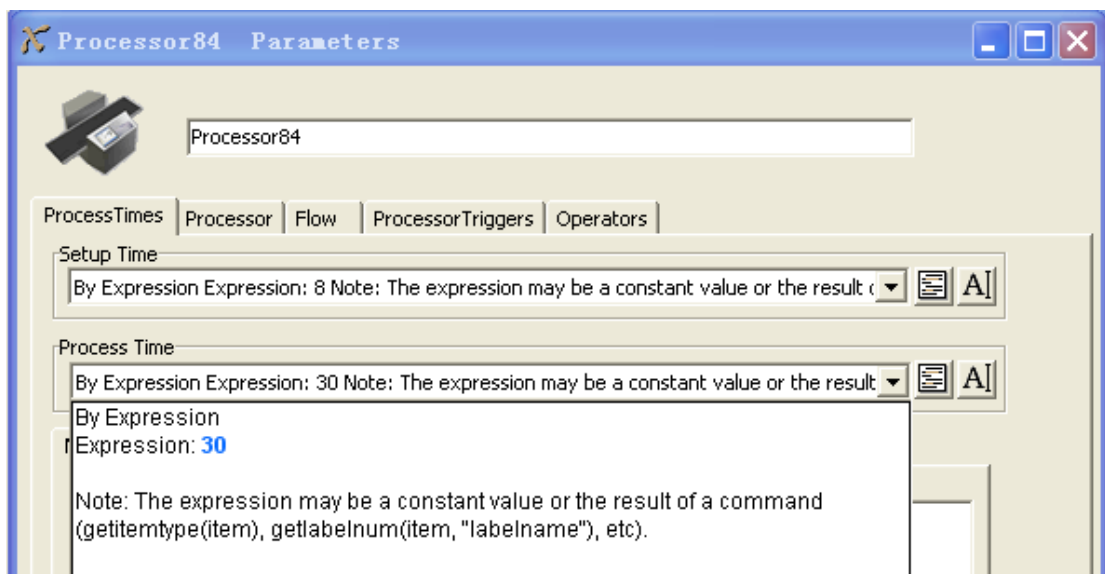


图 8.78

点击 Operators 将 Use Operator (S) for Setup 选项前面点击打勾
☒ Use Operator (s) for Setup ,如图所示:

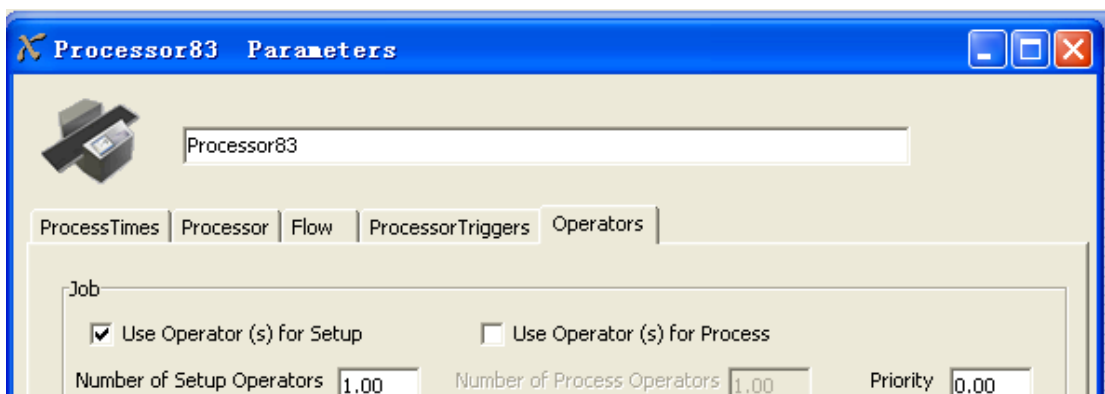


图 8.79

衍生器参数设置: 双击 Separator, 在 Process Time 下拉菜单中选择 By Expression 参数改为 “10”,如图所示:

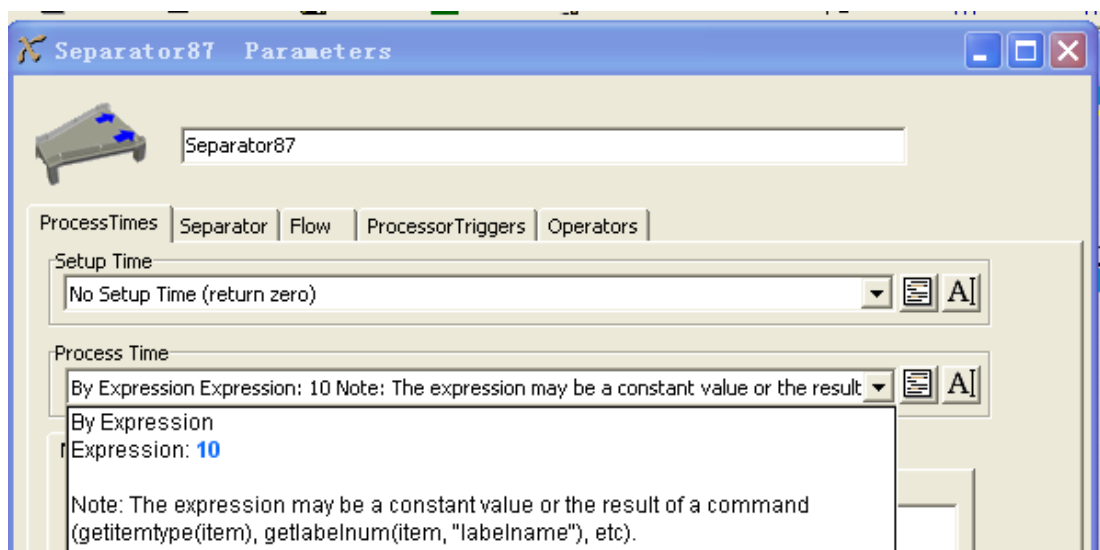


图 8.80

机器人手设置：双击 Robot 打开参数设置页面，Maximum Speed 参数改为“2”，在 Load Time 和 UnLoadTime 下拉菜单中均选择 ByExpression 参数改为“3”，如图所示：

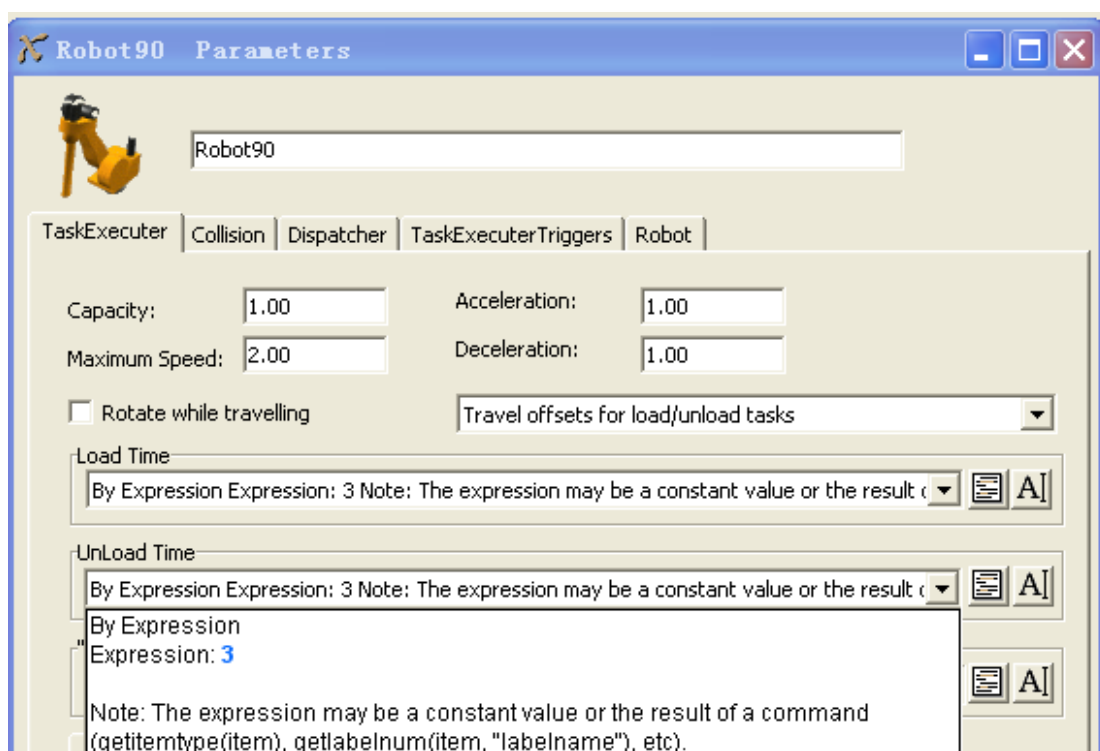


图 8.81

点击 Robot，参数设置如图所示：

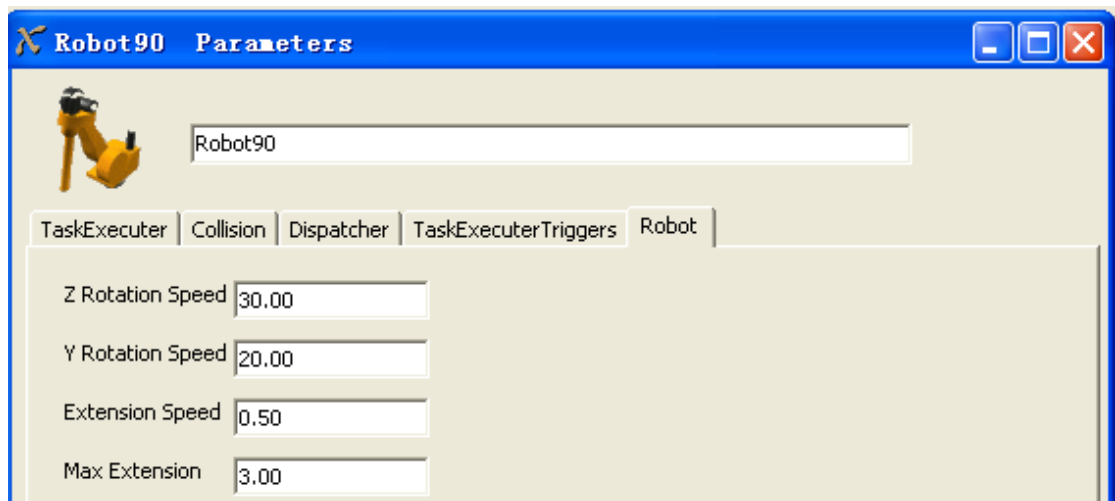


图 8.82

5. 出库分拣区

(1) 出库分拣区整体布局，如图所示：

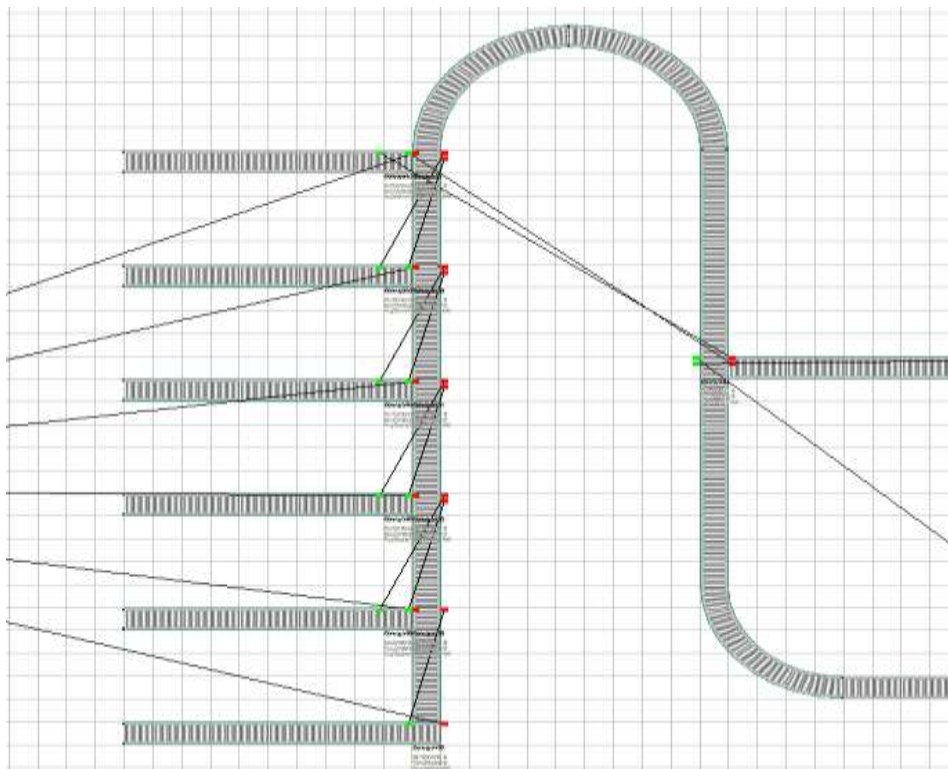




图 8.83

(2) 参数设置参照入库分拣传送带设置。

6. 编译，重置，运行模型

整个模型基本参数设置完毕后，就可以对模型进行编译和运行了。单击主视窗底部的  **Compile** 按钮，编译过程完成后，就可以进行模型的重置和运行了。

单击主视窗左下角  **Reset** 按钮，重置模型可以保证所有系统变量都是初始值，并将模型中所流动的实体清除。

单击主视窗底部  Run 按钮。模型运行如图所示：

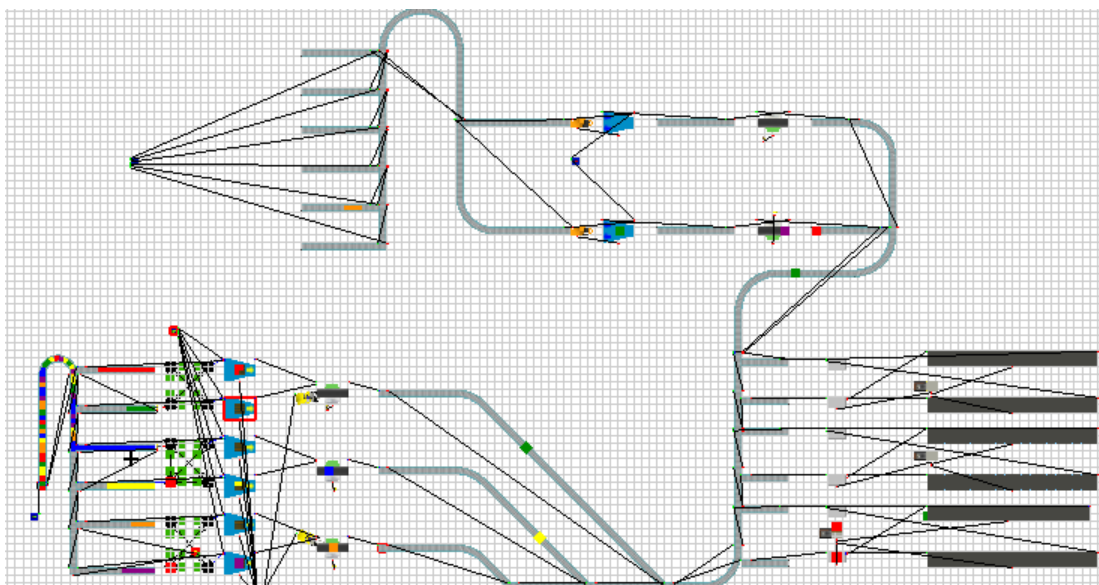


图 8.84

8.2.3 仿真结果分析

1. 运行时间设置：单击主视窗顶部的 Execute 选择 Set stop time 选项，弹出对话框设置时间为“36000”，如图所示：

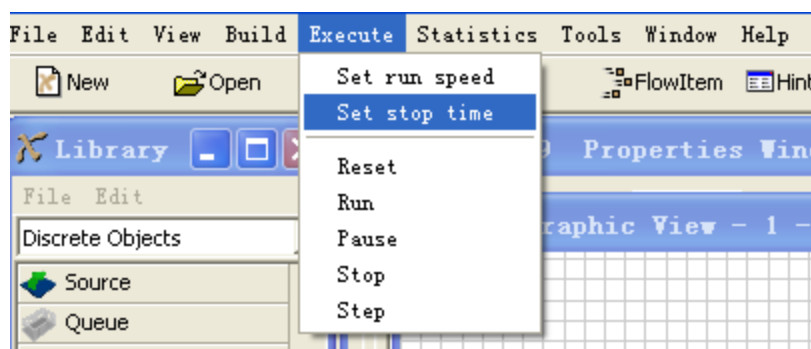


图 8.85

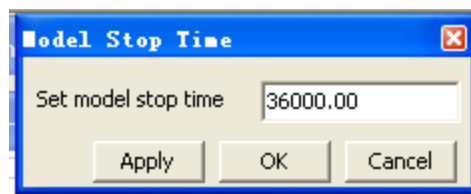


图 8.86

2. 仿真结果分析

运行完毕后分别右键单击所查询对象，选择 Properties 打开属性页，点击选择 Statistics 项目。根据运行结果，出库处理区两个处理器经常处于闲置状态，如图所示：

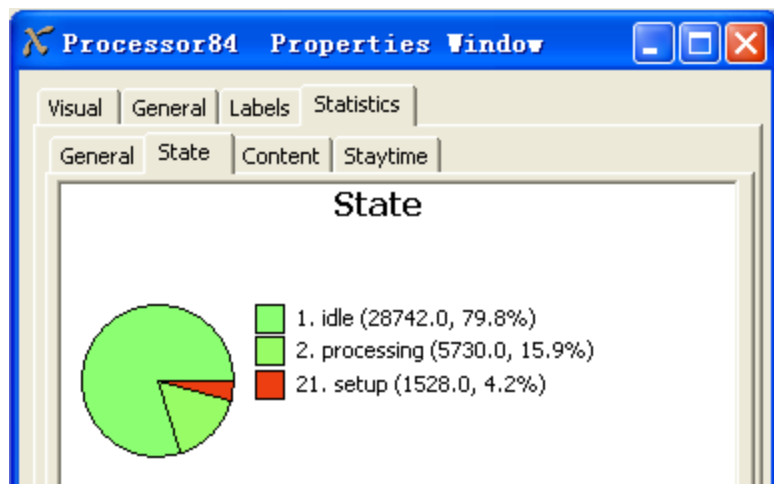


图 8.87

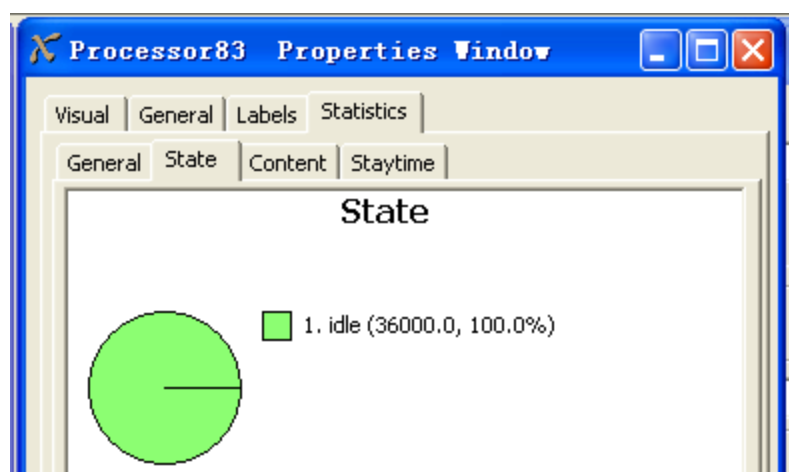


图 8.88

所以取消一条处理线路，使资源合理利用，处理后布局图如图所示：

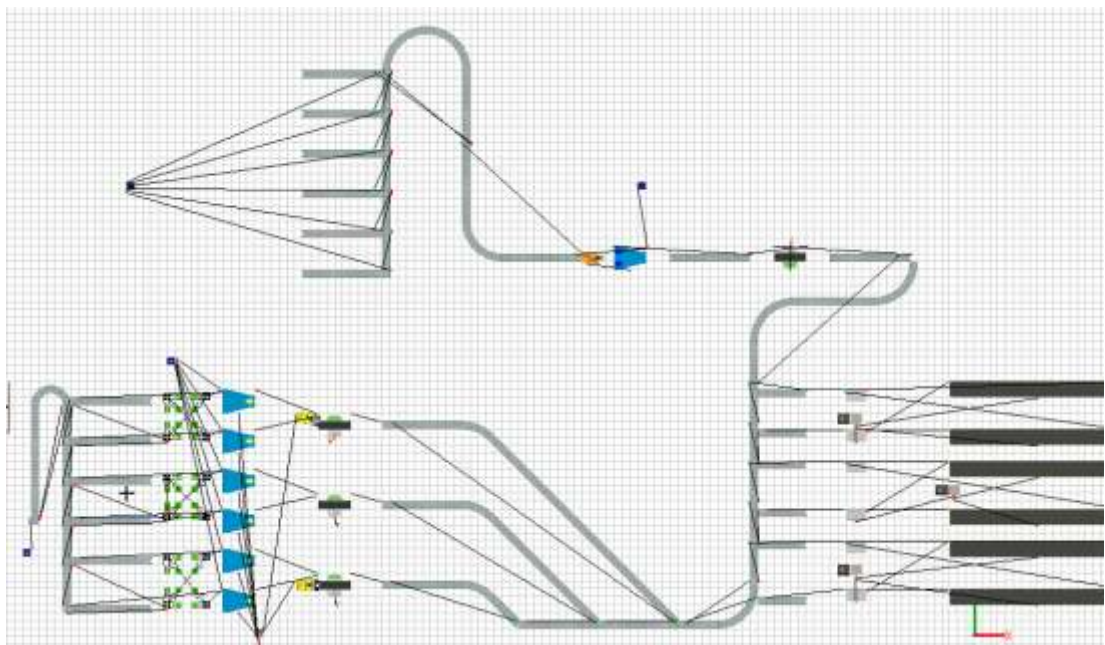


图 8.89

8.3 离散流水线仿真优化案例

8.3.1 问题描述与模型参数

根据下述系统描述和系统参数，应用 Flexsim 仿真软件建立仿真模型并运行，查看仿真结果，分析各种设备的利用情况，发现加工系统中的生产能力不平衡问题，然后改变加工系统的加工能力配置（改变机器数量或者更换不同生产能力的机器），查看结果的变化情况，确定系统设备的最优配置。

系统描述与系统参数：

- （1）一个流水加工生产线，不考虑其流程间的空间运输。
- （2）两种工件 A、B 分别以正态分布（10，2）分钟和均匀分布（10，20）分钟的时间间隔进入系统，首先进入队列 Q1。
- （3）两种工件均由同一个操作工人进行检验，每件检验用时 2 分钟。
- （4）不合格的工件废弃，离开系统；合格的工件送往后续加工工序，合格率为 95%。
- （5）工件 A 送往机器 M1 加工，如需等待，则在 Q2 队列中等待；B 送往机器 M2 加工，如需等待，则在 Q3 队列中等待。
- （6）A 在机器 M1 上的加工时间为均匀分布（1，5）分钟；B 在机器 M2 上的加工时间为正态分布（8，1）分钟。
- （7）一个 A 和一个 B 在机器 M3 上装配成产品，需时为正态分布（5，1）分钟，装配完成后离开系统。
- （8）如装配机器忙，则 A 在队列 Q4 中等待，B 在队列 Q5 中等待。
- （9）连续仿真一个月的系统运行情况。

8.3.2 Flexsim 仿真建模

根据系统描述，通过对系统的分析，建正确的模型。在标准实体栏中选择正确的实体，将其拖拽到正确的位置即可。

根据系统描述，可设置两个发生器，分别表示工件 A、B，五个暂存区用来存放等待的工件，一台输送机用来把工件分别运往正确的暂存区，处理器一共有三台，一台用来检验工件是否合格，另外两台用来加工工件，还有一台合成器用来装配产品。

实体建立完成后，下一步是根据临时实体的路径连接端口。连接过程是：按住“A”键，然后用鼠标左键点击发生器并拖曳到暂存区，再释放鼠标键。拖曳时你将看到一条黄线，释放时变为黑线

模型如下图所示：

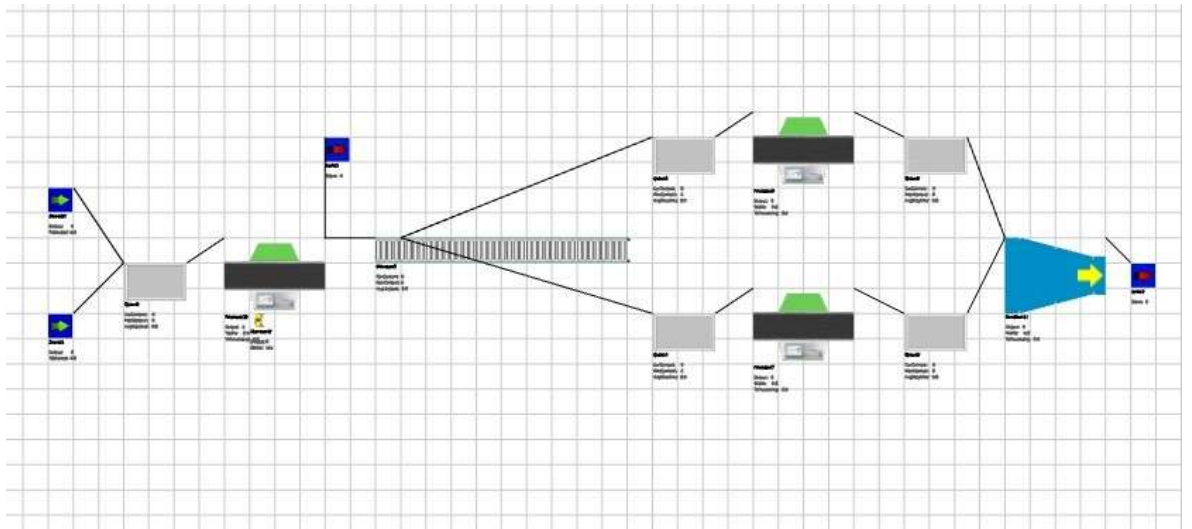


图 8.90

1. 参数设置

参数设置是对模型中的各实体参数按照系统描述所示进行设置。双击标准实体，就弹出其参数设置窗口，在窗口中根据系统描述选择正确选项后点确定即可。

(1) 发生器 1 的参数设置如下：临时实体种类选择“Pallet”，物品类型“1”，发生器下到达时间间隔，下拉框中选择“使用正态分布”一项，(10, 2) 分钟，如图所示：

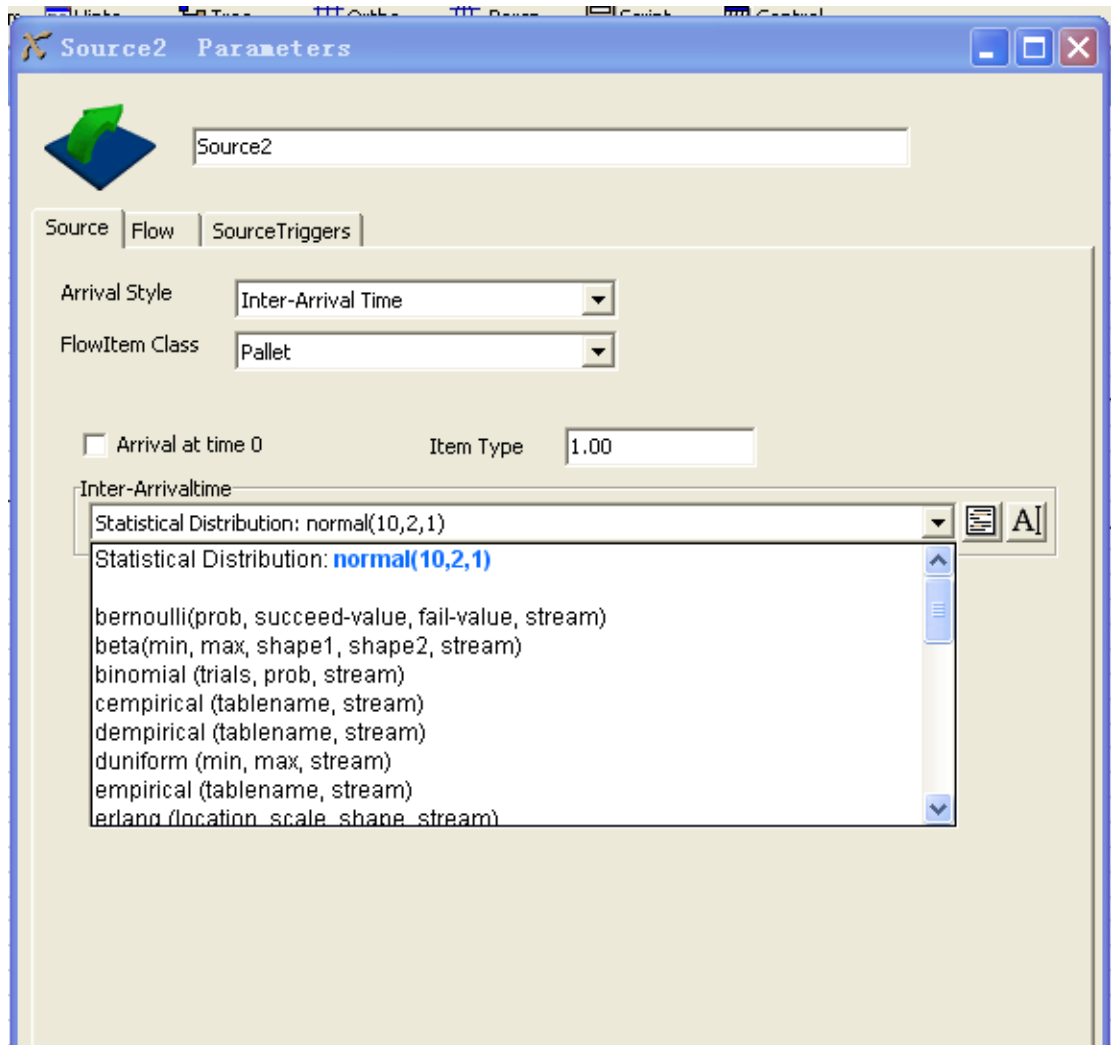


图 8.91

(2) 发生器 2 的参数设置如下,临时实体类型选择“tote”，物品类型“2”，发生器下到达时间间隔，下拉框中选择“使用均匀分布”一项，（10，20）分钟，如图所示：

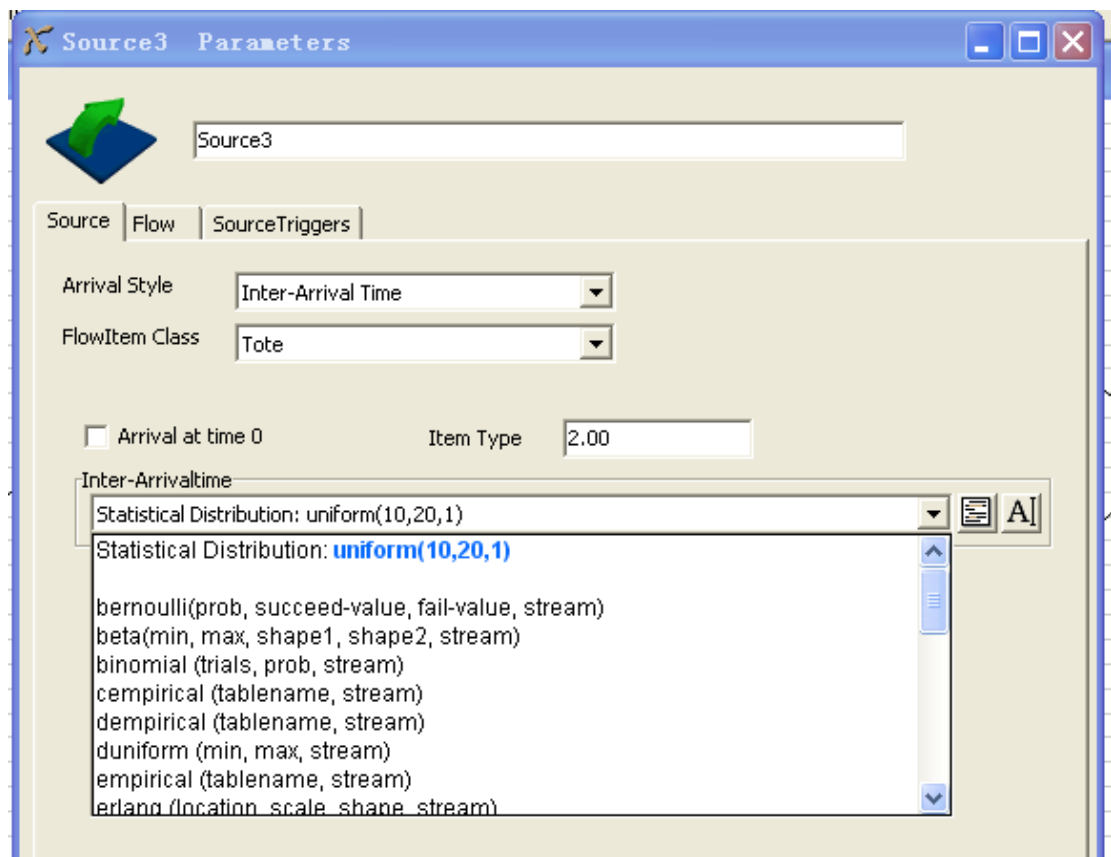


图 8.92

(3) 处理器的 1 参数设置如下图，表示检验所花的时间为 2 分钟，如图所示：

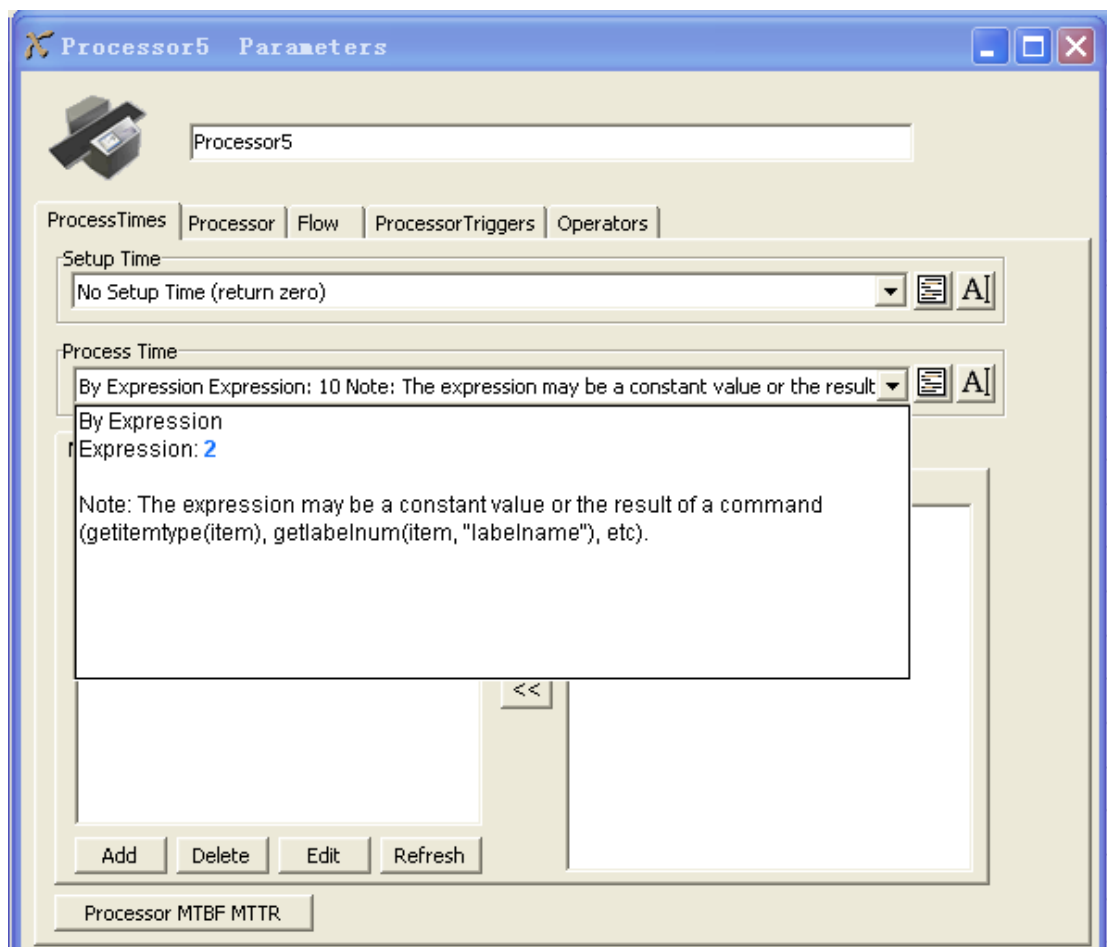


图 8.93

(4) 工件检验合格率 95%，设置参数如下，如图所示：

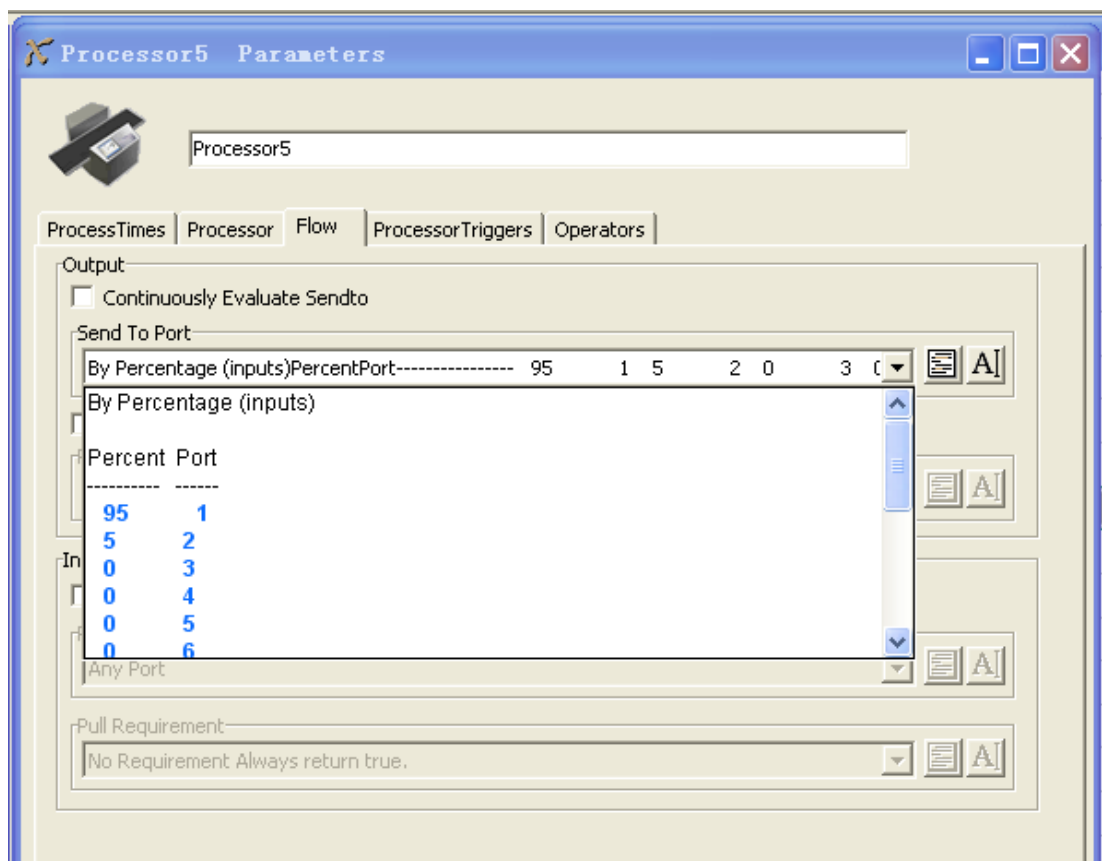


图 8.94

(5)对输送机参数进行设置，将工件 A、B 区分，分别运往不同的处理器对工件进行加工处理，参数设置如下图所示：

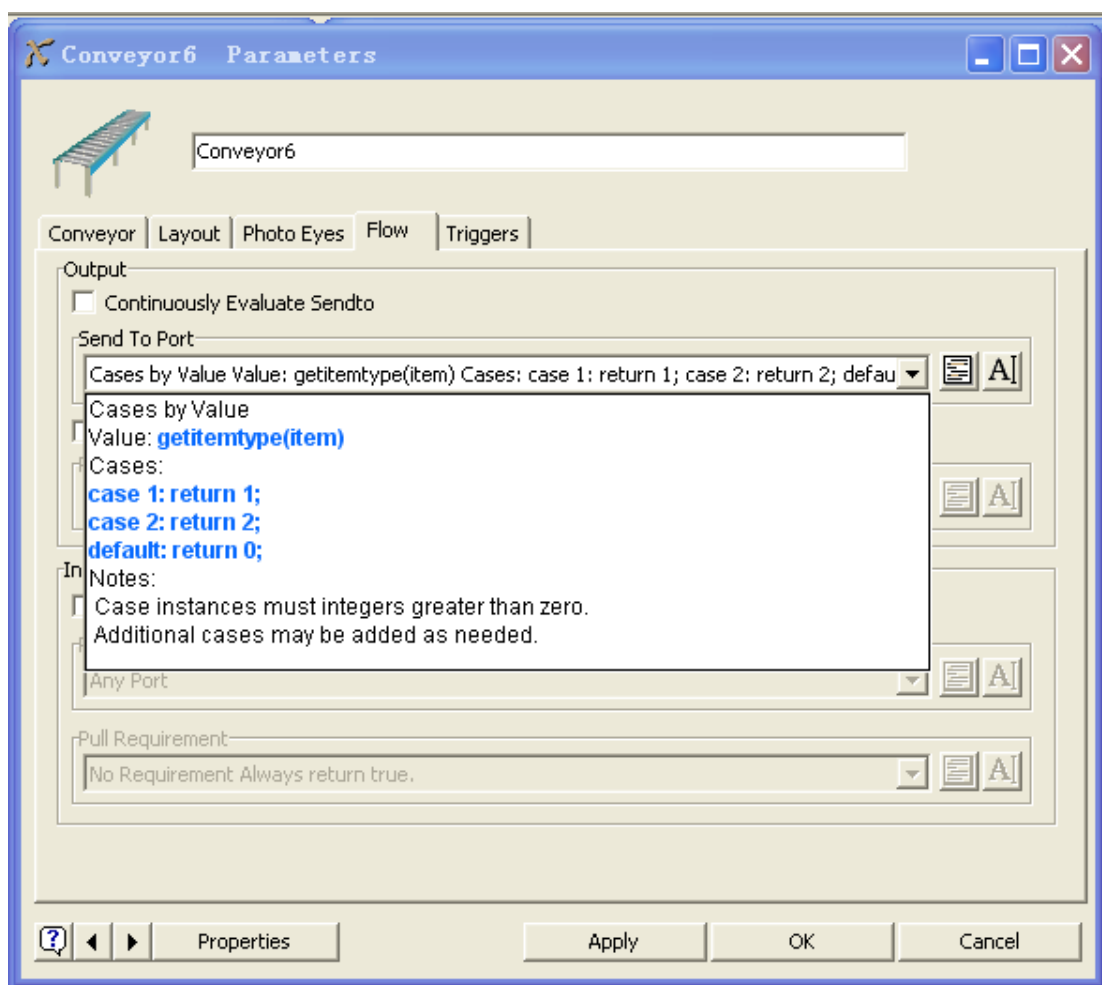


图 8.95

(6)对处理器 2 进行参数设置，工件 A 加工时间满足均匀分布，并设置其最小值为 1，最大值为 5，如图所示：

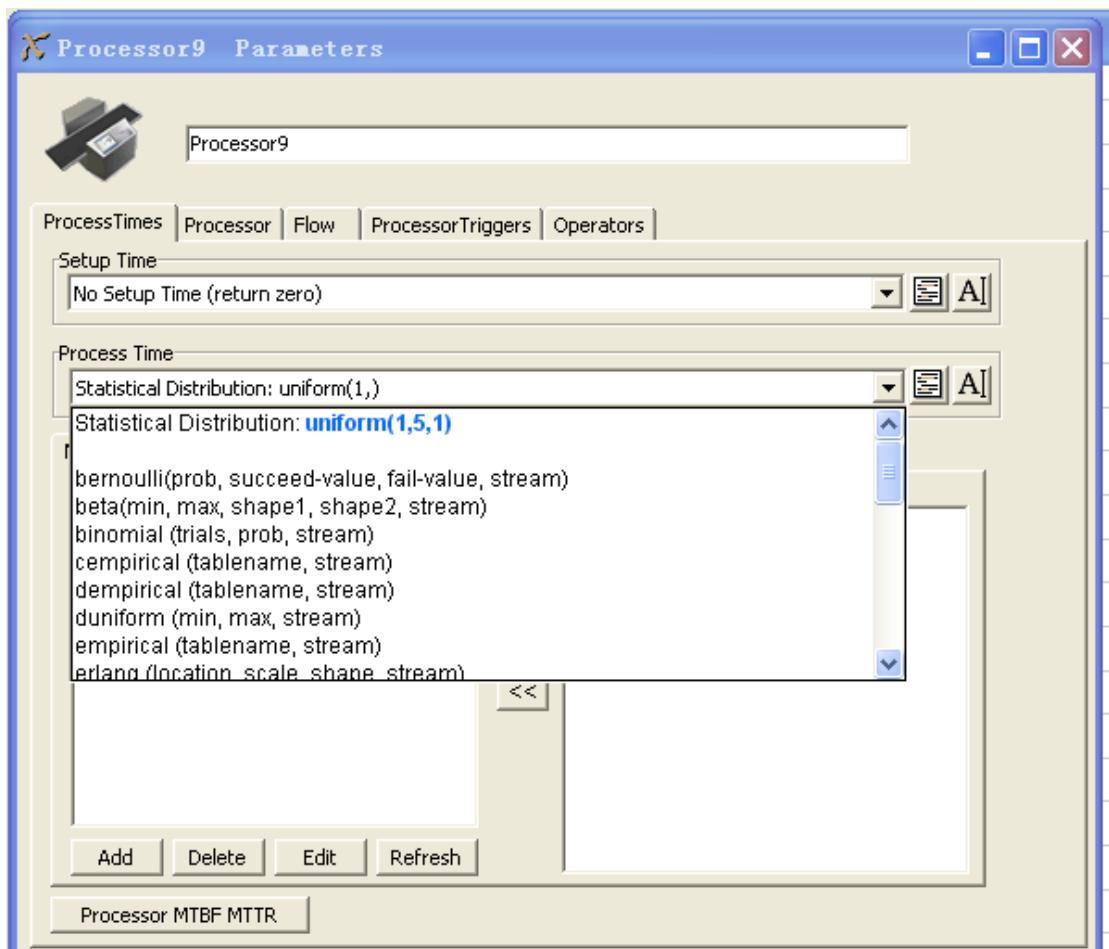


图 8.96

(7)对处理器 3 进行参数设置，工件 B 加工时间满足正态分布，均值为 8，标准差为 1，如图所示：

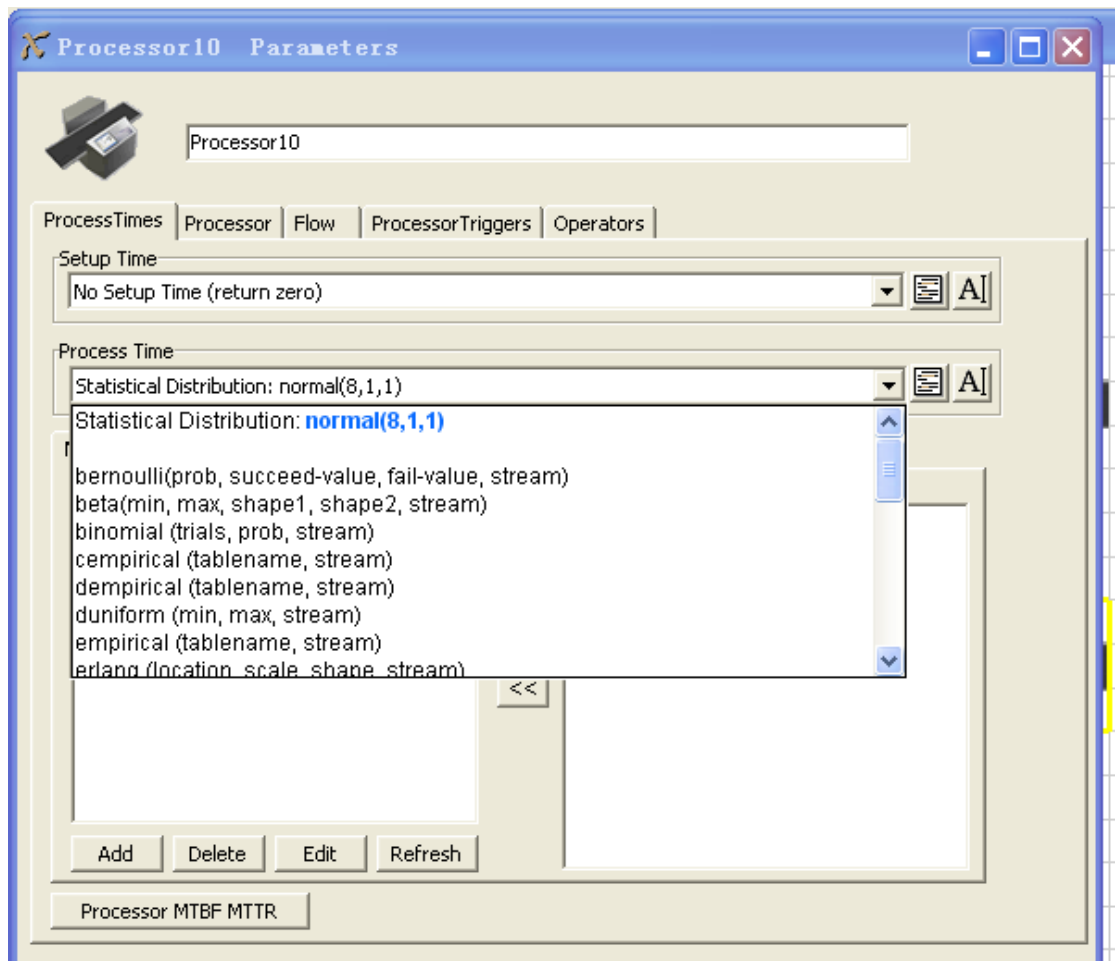


图 8.97

(8)对合成器进行参数设置，需时为正态分布（5，1）分钟，如图所示：

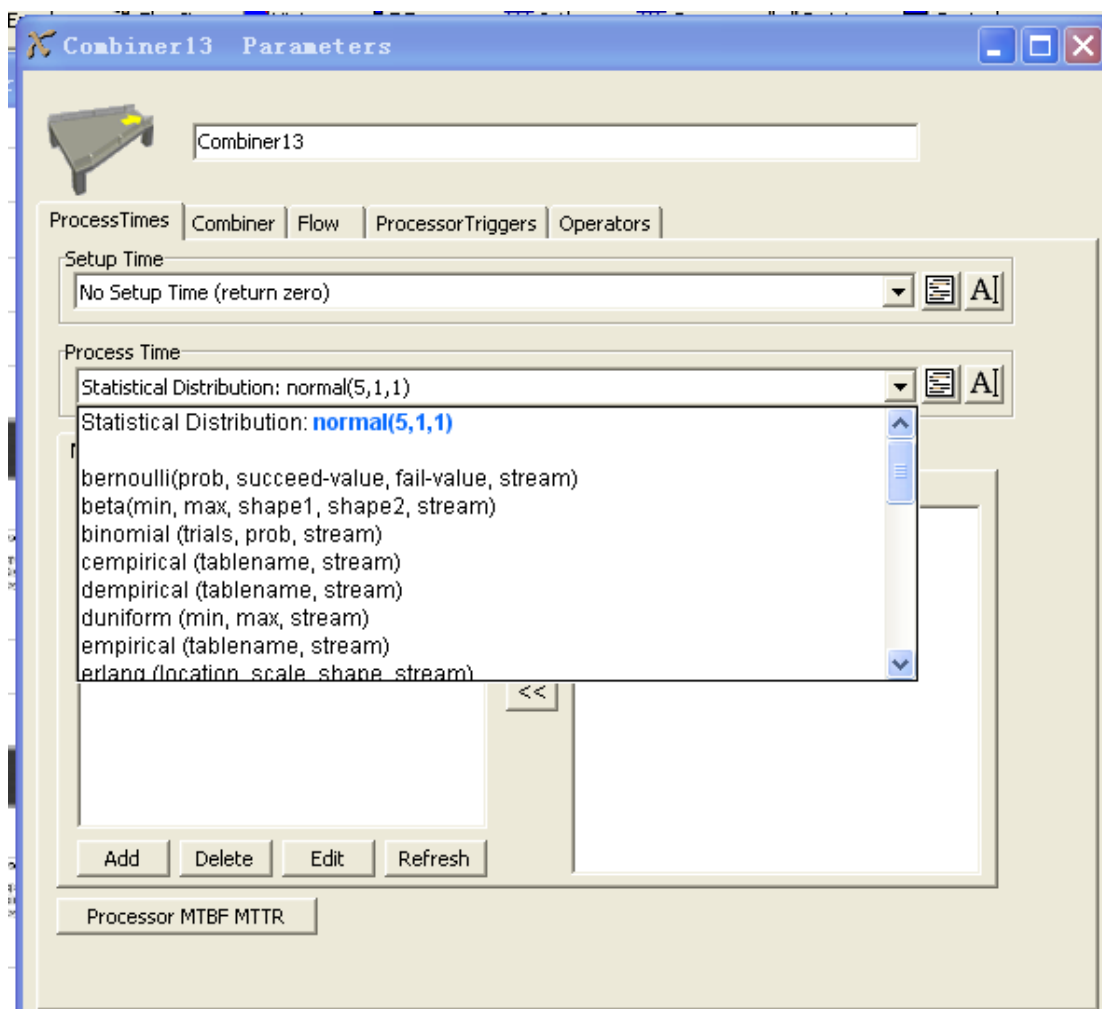


图 8.98

8.3.3 仿真结果分析

所建模型无法实现连续仿真一个月的任务要求，为了实现这一目标，必须对模型进行优化改进，以使系统顺利，持续运行下去。

考虑到工件 B 的速度相对于工件 A 慢了很多，并且设备的闲置时间太多，不能有效利用，于是，对系统以下的参数进行了调整。

将暂存区 3、4 的最大容量改为 25；

将发生器 1 的到达时间间隔，改为正态分布（16，1）分钟，发生器 2 的到达时间间隔，改为均匀分布（12，20）分钟；

处理器 2 的处理时间改为均匀分布，（8，11），处理器 3 的处理时间改为正态分布，（12，2）。

经过优化后，最长的运行时间可达到 970000 多，各设备闲置率都降到了 25%~49%之间。下图为优化后的最终运行图：

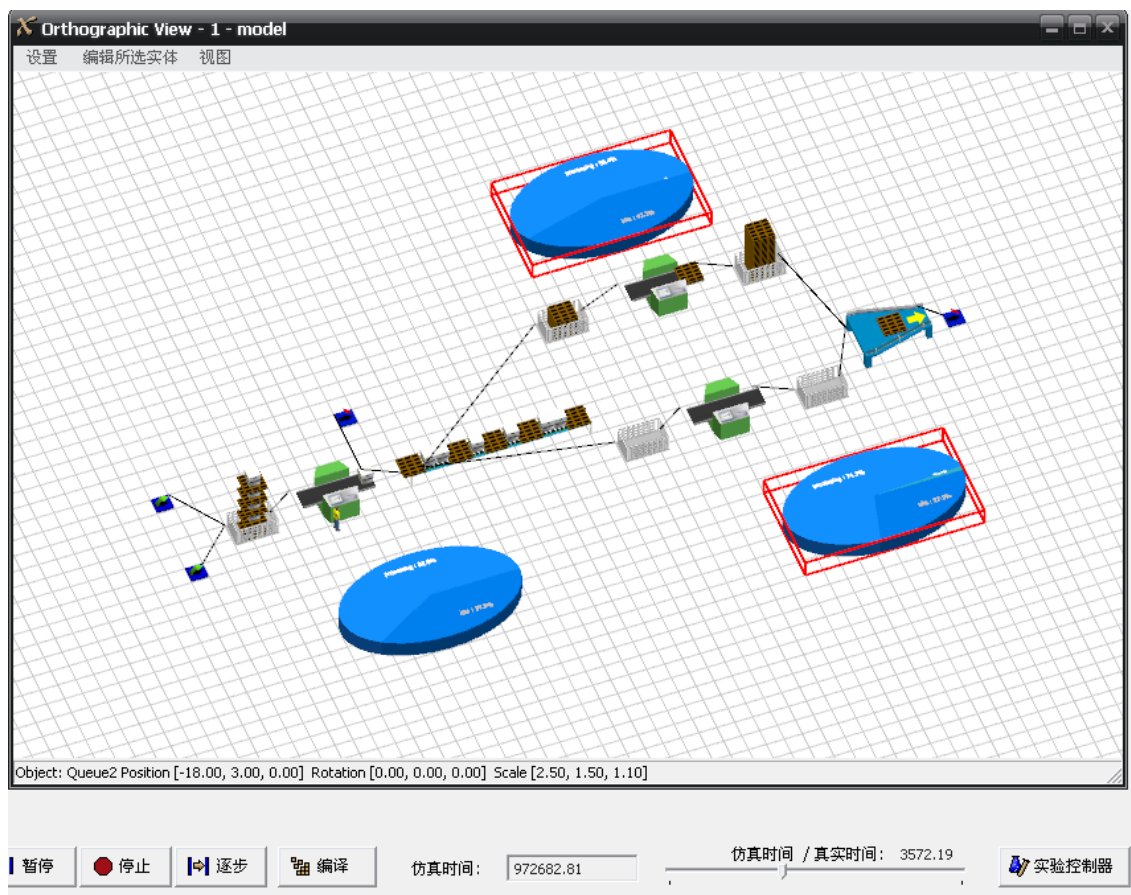


图 8.99

系统仿真一个月后，标准数据报告统计如下图：

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|
| 1 | Flexsin | standard Report | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Time: | 692447.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Object | stats_cor | stats_cor | stats_cor | stats_cor | stats_in | stats_out | stats_st | stats_st | stats_st | stats_st | state_cun | state_sir | idle | processing |
| 5 | Source1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 43311 | 0 | 0 | 0 | 5 | 692445.7 | 0 | 0 | |
| 6 | Queue2 | 1 | 0 | 1 | 0.097198 | 86589 | 86588 | 0 | 4.999873 | 0.777296 | 8 | 692445.8 | 0 | 0 | |
| 7 | Conveyor3 | 1 | 0 | 2 | 1.187062 | 82198 | 82197 | 10 | 10 | 10 | 13 | 692444.7 | 0 | 0 | |
| 8 | Queue4 | 0 | 0 | 9 | 0.125468 | 41102 | 41102 | 0 | 141.3476 | 2.113714 | 6 | 692429.6 | 0 | 0 | |
| 9 | Queue5 | 0 | 0 | 1 | 0.000106 | 41095 | 41095 | 0 | 2.081785 | 0.001785 | 6 | 692444.7 | 0 | 0 | |
| 10 | Processor | 1 | 0 | 1 | 0.564237 | 41095 | 41094 | 8.000142 | 10.99996 | 9.507545 | 2 | 692444.7 | 301741.6 | 390703.1 | |
| 11 | Processor | 0 | 0 | 1 | 0.729217 | 41102 | 41102 | 4.563344 | 49.10091 | 12.28509 | 1 | 692444 | 187502.3 | 493873.4 | |
| 12 | Queue8 | 0 | 0 | 25 | 1.57456 | 41094 | 41094 | 0 | 391.1745 | 26.5317 | 6 | 692443.4 | 0 | 0 | |
| 13 | Queue9 | 8 | 0 | 25 | 10.55456 | 41102 | 41094 | 0 | 488.0568 | 177.834 | 8 | 692444 | 0 | 0 | |
| 14 | Combiner1 | 1 | 0 | 2 | 0.692774 | 82188 | 82187 | 0 | 63.96201 | 5.836775 | 2 | 692443.4 | 212736.4 | 410930 | |
| 15 | Sink12 | 1 | 1 | 1 | 0 | 41093 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | |
| 16 | Sink13 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4389 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | |
| 17 | Operator1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 18 | DefaultNa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | |
| 19 | Source29 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 43278 | 0 | 0 | 0 | 5 | 692445.8 | 0 | 0 | |
| 20 | Processor | 1 | 0 | 1 | 0.625226 | 86588 | 86587 | 5 | 5 | 5 | 2 | 692445.7 | 259510.7 | 432935 | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | |

图 8.100

8.4 分拣系统仿真案例

8.4.1 问题描述与模型参数

1、分拣作业流程描述

分拣作业是 A 配送中心内部流程的最后一个环节。在这部分中，库管员开票后，登记业务系统记录业务账数，并检查可销库存数量，防止开出票不能配货的问题发生。配货前，库管员检查是否有未处理的状态调整单，先处理状态调整单，再检查拣货区商品数量是否能够满足此次配货，如果不足，生成补货单，将拣货区商品数量增加到大于等于配货数量，并通知上游部门执行补货作业；配货员按照销售票上所开商品数量进行配货。

分拣环节是将客户订单中的不同数量、种类的货物从配送中心的货架取出集中在一起的过程，分拣的目的在于正确且迅速地集合顾客所订购的商品。在拣选方式上，A 企业还是采用比较原始的不分区、按单拣选，即根据订单到来的顺序安排空闲的工作人员对订单进行分拣。具体的配送流程如下：

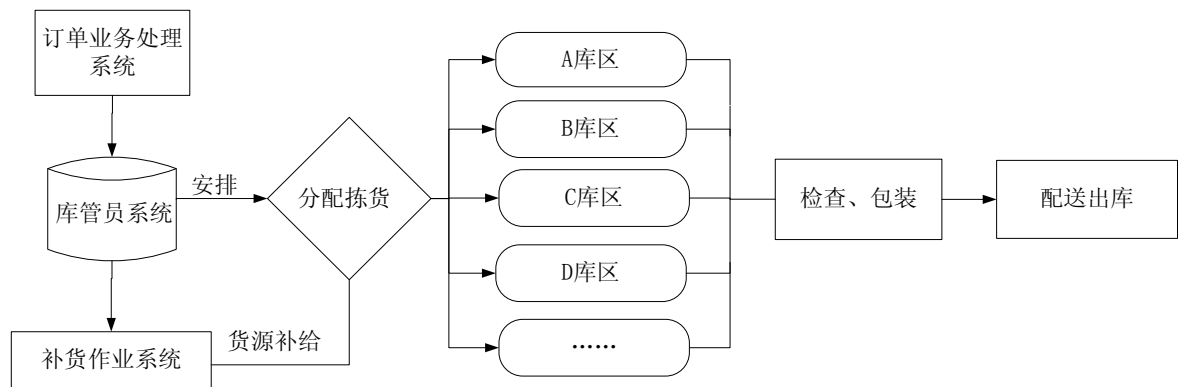


图 8.101 A 配送中心分拣作业流程图

2、参数设定

为细化对企业的调查，我们就配送环节中最重要的环节：分拣环节做仿真研究，现对仓库某仓库配送作业进行模拟，经部门主管介绍，该仓库占地面积 1000m^2 ，仓库分为五个区，它们分别是补货入口、存货区（货架为该企业主要存货工具）、库管员办公区、分拣包装区、出货码头。配送对象以箱为单位，研究为避免冗长复杂，故简化补货，入库检查等内容。

配送的 A、B、C 三种货品基本资料如下：

表 8.21 三种产品的相关数据

| 产品 | 初始库存 | 补货条件 | 补货速度 | 储运单位 | 颜色 |
|----|------|------|-----------------------------|------|----|
| A | 200 | 100 | $\text{exponential}(0,1,1)$ | 箱 | 红 |
| B | 200 | 100 | 3 | 箱 | 黄 |
| C | 200 | 100 | $\text{exponential}(0,2,1)$ | 箱 | 蓝 |

表 8.22 订单组合

| 产品 | 订单 1 | 订单 2 | 订单 3 | 订单 4 | 订单 5 |
|----|------|------|------|------|------|
| A | 4 | 10 | 8 | 0 | 16 |
| B | 2 | 16 | 8 | 20 | 0 |
| C | 12 | 0 | 8 | 0 | 4 |

表 8.23 其他相关数据

| 名称 | 属性 | 数据 |
|------|------|-----------------------------|
| 分拣人员 | 数量 | 3 人 |
| | 分拣能力 | 1 箱/人 |
| 订单 | 到达间隔 | $\text{exponential}(0,1,1)$ |
| | 各类分布 | $\text{duniform}(1,5)$ |

配送中心内部主要使用工具是地牛、叉车和手持终端。地牛主要的作用是用于货物在配送中心内部的运输；叉车的主要作用是高架货物的上架和取货，同时也会少量做一些货物运输工作；手持终端在货物的入库到出库都起着发出指导信息的作用。

8.4.2 Flexsim 仿真建模

1、实体设置

根据该仓库的实际分拣系统布局，通过 Flexsim 建立模型（如图 8.102 所示）。三个货架

分别表示 A、B、C 三种电子产品的存储区，三个发生器分别表示货物的补充，合成器 1 及发生器 4 表示订单的派发与分拣作业的过程，五个暂存区分别表示五种订单的出库暂存。具体参数如下：

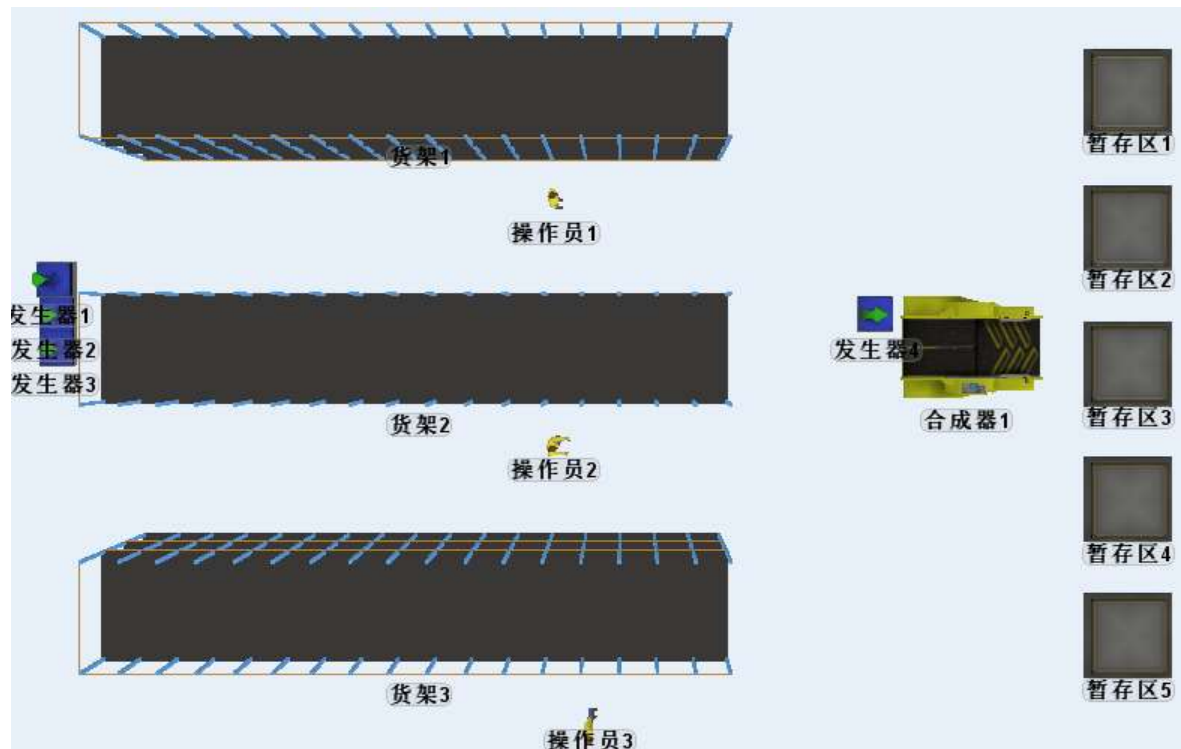


图 8.102 仓库分拣区布局

货物到达：A 货物到达时间间隔，统计分布 $\text{exponential}(0,1,1)$ ；B 货物到达时间间隔，返回一个时间常量 3；C 货物到达时间间隔，统计分布 $\text{exponential}(0,2,1)$ 。

货架 1，货架 2，货架 3 容量：200。

订单到达：发生器 4 统计分布 $\text{exponential}(0,1,1)$ 。

暂存区 1，暂存区 2，暂存区 3，暂存区 4，暂存区 5 容量：2000 箱

货物合成：合成时间为 10s

（1）货架的设置

货架以箱为存储单位。因为货物需求量不在本课题讨论范围，故简化了入库的操作。具体安排如下：

方法 1：设置货架存储量为 200，

方法 2：对货架进行入库量控制，分别在货架 OnSet 和货架的 OnExit 触发器内容中编写代码：

```
if(content(current)>=200)
{closeinput(current);} /** 货架存货为 200 时，关闭输入端口*/
if(content(current)<200)
{openinput(current);} /** 货架存货小于 200 时，打开输入端口*/
```

（2）抽象订单的实体化

订单的下达是来自于客户，在仿真中我们令订单发生器产生托盘（pallet）使得抽象的订单实体化。实现方法：在订单发生器属性中发生器选项卡内，产生实体类型为 **Pallet**，并根据不同订单设置不同托盘的类型和颜色，具体操作是在触发器选项卡内的离开出发中，添加“设置临时实体颜色”，具体改为：

```
case 1: colorred(item);break;
case 2: coloryellow(item);break;
case 3: colorblue(item);break;
case 4: colorred(item);break;
case 5: colorwhite(item);break;
```

订单设定完成，下面仅需对出货暂存区进行必要设置，使得订单于出货暂存区对应。具体方法是：将暂存区输入实体类型于上文的不同 case 对应，以类型 1 为例，如图 8.103 所示

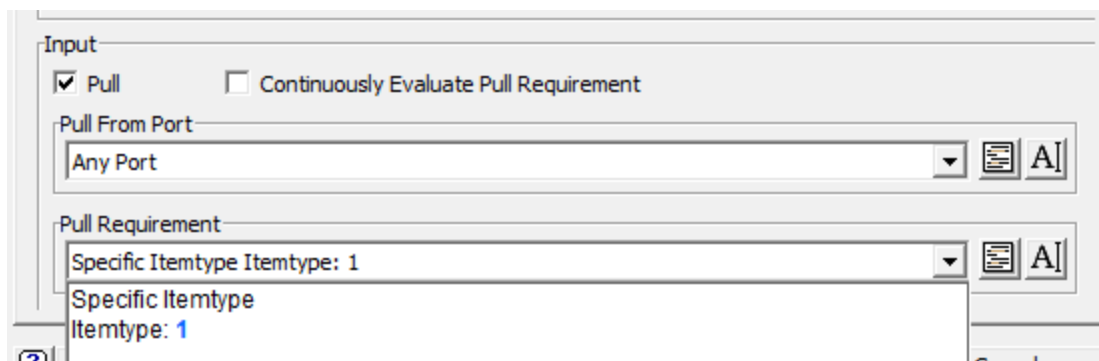


图 8.103 订单的实体化设置

设置完成后，订单就会依据出库方向流进对应的暂存区，包装出库。

（3）合成器的设置

合成器的三种工作模式中，我们选择 **pack**——即装盘。当满足订单后，合成器包装货物，然后输出至出货暂存群。

订单实体化后，托盘即作为驱动合成器（分拣流程）的因素。根据合成器的工作原理，我们规定各个合成器的输入端口 1 为订单发生器的输出端口，这样就完成了“一份订单配货”的分拣逻辑。现在我们可以设置不同订单的配货比例，假设客户订单 1 需求 A 货物 4 份，B 货物 2 份，C 货物 12 份。满足后打包出库。则合成器如图 8.104 所示进行设置。

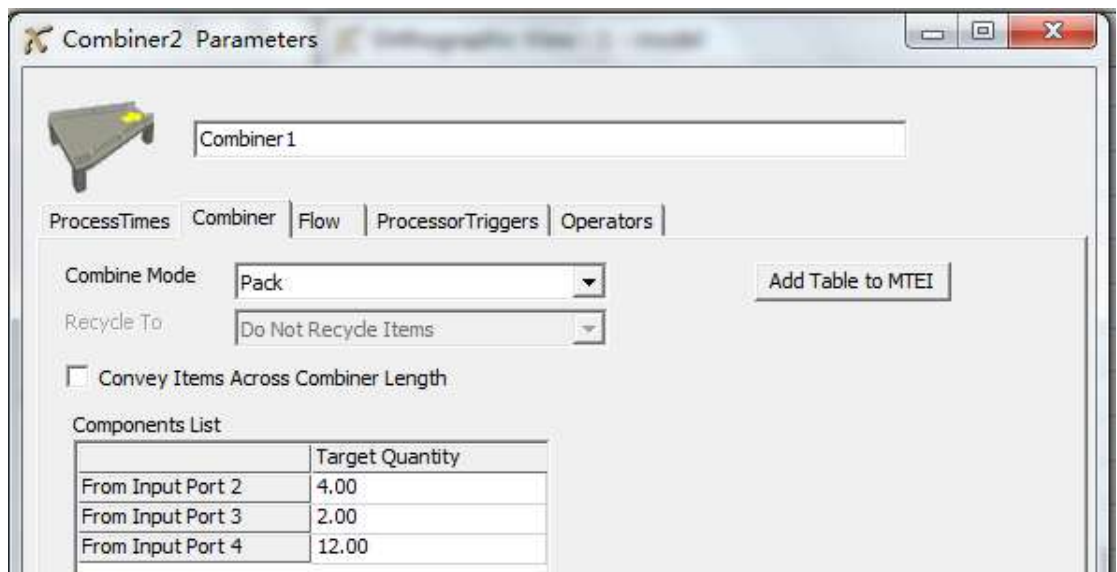


图 8.104 合成器设置

2、拣选策略的设置

(1) 全局表

分拣策略的实现需要使用全局表，全局表可以存储数字型或字符串型数据。模型中任何一个实体都可以用 `gettablenum()`、`gettablestr()`、`settablenum()`、`settablestr()`、`reftable()` 命令来访问这些数据，而且一个模型可以有多个全局表。下面我们从菜单栏上的工具下拉菜单中点击添加新全局表，并按照订单内容添加数据。现实来源：因为有三种品种的货物，所以行数为 3；案例中提到配送中心有五种订单需配送，所以列数是 5，如图 8.105 所示。

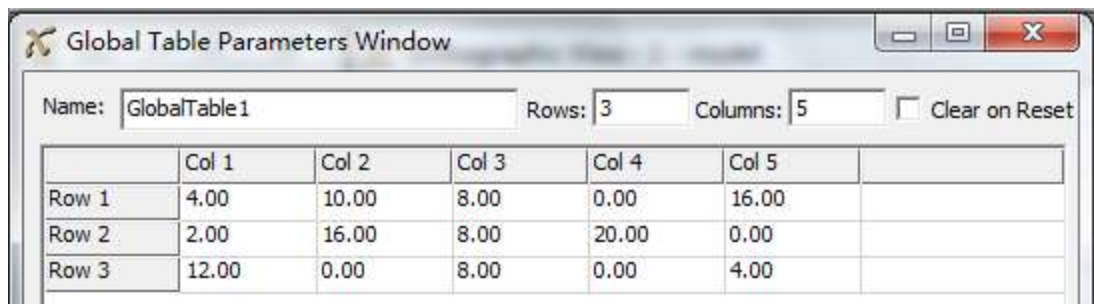


图 8.105 全局表的设置

全局表设置完成，我们仅需再合成器属性中触发器选项卡的进入出发，修改出发类型为：更新合成器组件列表，并把更新的数据来源设置成全局表，如图 8.106 所示。

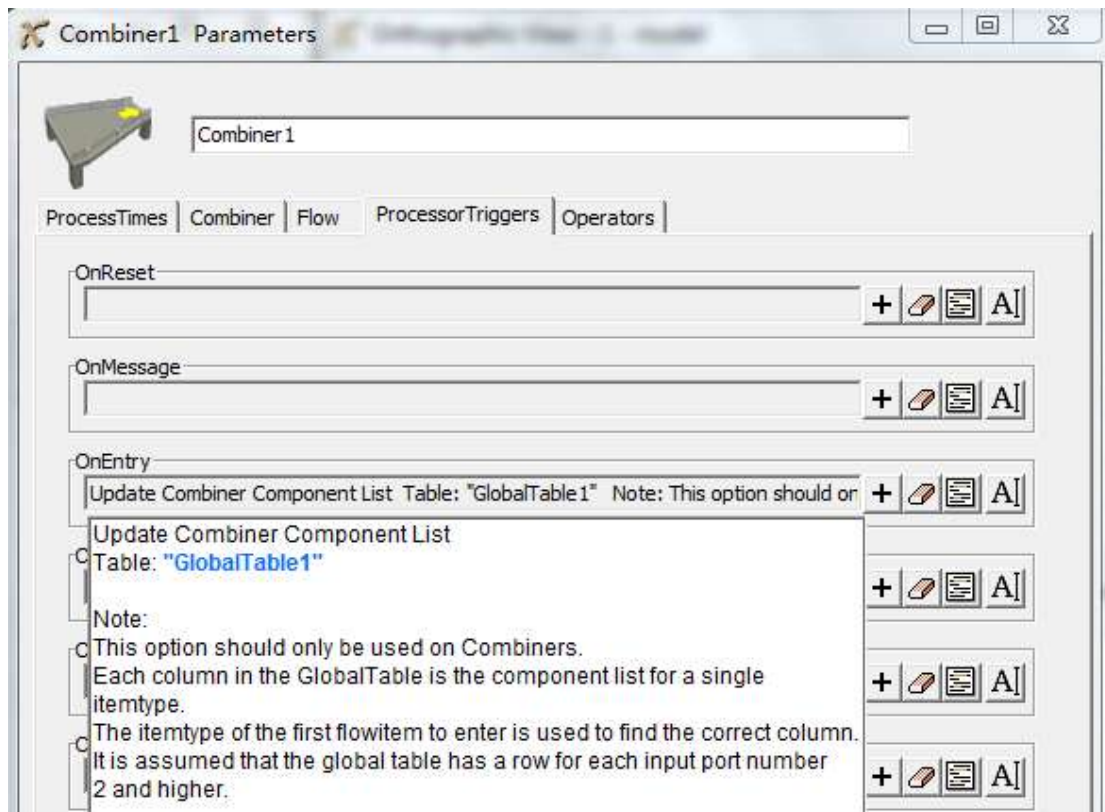


图 8.106 合成器设置

8.4.3 仿真结果分析

1、分区按单

分区按单拣选，即货物从三个货架按订单顺序输出至合成器。打开货架属性选择临时实体流选项卡找到并修改输出属性：第一个可用，打开所有端口。这个策略的意义：各货架的工作人员按订单的需求，从第一个订单到来的时刻对其拣货，直至拣选满足每个人员所负责货架的货物为止，然后继续拣选第二个货架以此类推（假设订单的到来顺序按订单序号，如果订单到来为随机，则采用按单并行）。

2、分区并行

分区并行只需添加合成器的数量，合成器的设置相同。这个策略的意义在于，多份订单到达的情况，工人按所有订单的需求统计个负责分区的货物需求进行分拣。

3、不分区按单

不分区按单拣选的设置，需要用到员工分配器，在 Flexsim 中分配器的作用是：员工依赖于临时实体本身而不是货架，从而使员工以“一组”的形式工作。具体实现方法是创建分配器到各个货架间的中间连接，创建分配器到各个员工的普通连接。在使用分配器的基础上，重复分区按单的分拣策略，即可得到在不分区的拣选方法。

4、不分区并行

同不分区按单拣选一样，不分区并行拣选也是用分配器对员工进行控制。

至此，完成四种分拣策略的仿真模型，编译并分别运行四种分拣策略对应的模型 8h（28 800s）后，输出仿真统计数据。

分区按单方案仿真结果见表 8.24、表 8.25。

表 8.24 订单处理数据

| | | | | |
|----------|------|------|---------|--------|
| 方案一：分区按单 | | | 总订单量：97 | |
| 实体 | 输出量 | 空闲时间 | 处理时间 | 收集时间 |
| 合成器 1 | 2163 | 0% | 3.30% | 96.70% |
| 总计(除订单) | 2066 | | | |

表 8.25 工人处理数据

| | | | | | | |
|----------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 方案一：分区按单 | | | | | | |
| 实体 | 搬运量 | 空闲时间 | 空载时间 | 负载时间 | 偏移空载时间 | 偏移负载时间 |
| 工人 1 | 659 | 54% | 11.20% | 19.10% | 12.20% | 2.80% |
| 工人 2 | 984 | 37.30% | 14.20% | 26.10% | 18.10% | 4.20% |
| 工人 3 | 424 | 70% | 7.20% | 12.90% | 8.60% | 1.80% |

分区并行方案仿真结果见表 8.26、表 8.27。

表 8.26 订单处理数据

| | | | | |
|----------|------|------|----------|--------|
| 方案二：分区并行 | | | 总订单量：150 | |
| 实体 | 输出量 | 空闲时间 | 处理时间 | 收集时间 |
| 合成器 1 | 1683 | 0% | 2.60% | 97.40% |
| 合成器 2 | 1681 | 0% | 2.60% | 97.00% |
| 总计（除订单） | 3214 | | | |

表 8.27 工人处理数据

| | | | | | | |
|----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 方案二：分区并行 | | | | | | |
| 实体 | 搬运量 | 空闲时间 | 空载时间 | 负载时间 | 偏移空载时间 | 偏移负载时间 |
| 工人 1 | 1154 | 23% | 19.00% | 32.30% | 20.70% | 4.90% |
| 工人 2 | 1255 | 18.90% | 18.20% | 33.80% | 23.70% | 5.40% |
| 工人 3 | 807 | 41% | 14.30% | 25.00% | 16.20% | 3.40% |

不分区按单方案仿真结果见表 8.28、表 8.29。

表 8.28 订单处理数据

| | | | | |
|-----------|------|------|----------|--------|
| 方案三：不分区按单 | | | 总订单量：184 | |
| 实体 | 输出量 | 空闲时间 | 处理时间 | 收集时间 |
| 合成器 1 | 4189 | 0% | 6.40% | 93.00% |
| 总计（除订单） | 4005 | | | |

表 8.29 工人处理数据

| | | | | | | |
|-----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 方案三：不分区按单 | | | | | | |
| 实体 | 搬运量 | 空闲时间 | 空载时间 | 负载时间 | 偏移空载时间 | 偏移负载时间 |
| 工人 1 | 1348 | 9% | 21.60% | 38.00% | 25.30% | 5.80% |
| 工人 2 | 1316 | 10.70% | 21.10% | 37.50% | 25.00% | 5.60% |
| 工人 3 | 1342 | 10% | 21.60% | 37.70% | 24.90% | 5.70% |

不分区并行方案仿真结果见表 8.30、表 8.31。

表 8.30 订单处理数据

| 方案四：不分区并行 | | 总订单量：208 | | |
|-----------|------|----------|-------|--------|
| 实体 | 输出量 | 空闲时间 | 处理时间 | 收集时间 |
| 合成器 1 | 2329 | 0% | 3.60% | 96.40% |
| 合成器 2 | 2164 | 0% | 3.30% | 96.40% |
| 总计（除订单） | 4295 | | | |

表 8.31 工人处理数据

| 方案四：不分区并行 | | | | | | |
|-----------|------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 实体 | 搬运量 | 空闲时间 | 空载时间 | 负载时间 | 偏移空载时间 | 偏移负载时间 |
| 工人 1 | 1486 | 0% | 23.80% | 41.90% | 27.90% | 6.30% |
| 工人 2 | 1487 | 0.00% | 23.80% | 41.90% | 27.90% | 6.40% |
| 工人 3 | 1487 | 0% | 23.90% | 41.90% | 27.90% | 6.40% |

8.5 生产系统仿真案例

8.5.1 问题描述与模型参数

1、问题描述

按照规划设计，A 企业生产车间要加工相同的 8 个零件，经过 8 道工序，分别为 A、B、C、D、E、F、G、H。每道工序加工的时间分别为 12 min、5 min、15 min、7 min、9 min、11 min、22 min、5 min。

按照顺序移动方式，8 个相同的零件在 A 道工序加工完成后，再整批转移到 B 道工序加工，以此类推，直到加工到 H 道工序为止。具体的工序图如图 8.107。

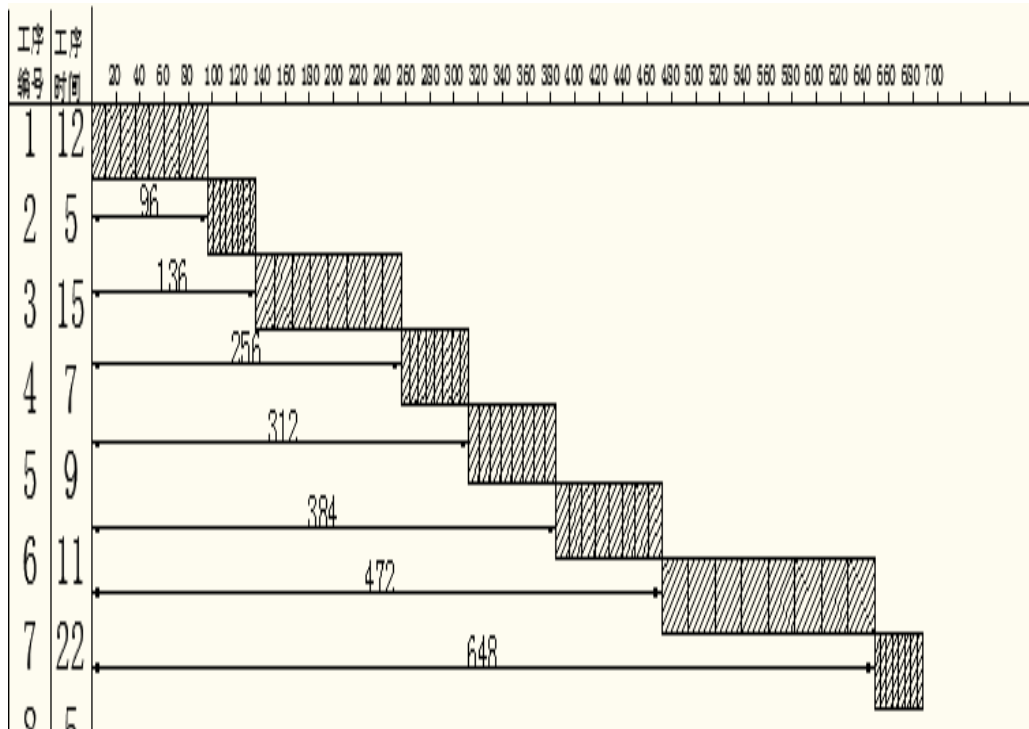


图 8.107 顺序移动工序图

由工序图可得：总加工时间=688

设备的总等待时间=0

设备的总闲置时间=96+136+256+312+384+472+648=2304

按照平行移动方式，第一个零件在 A 道工序完成以后，立即转移到 B 道工序继续加工；同时第二个零件开始在 A 道工序加工。以此类推。直到第 8 个零件完成最后一道工序。具体的工序图如图 8.108。

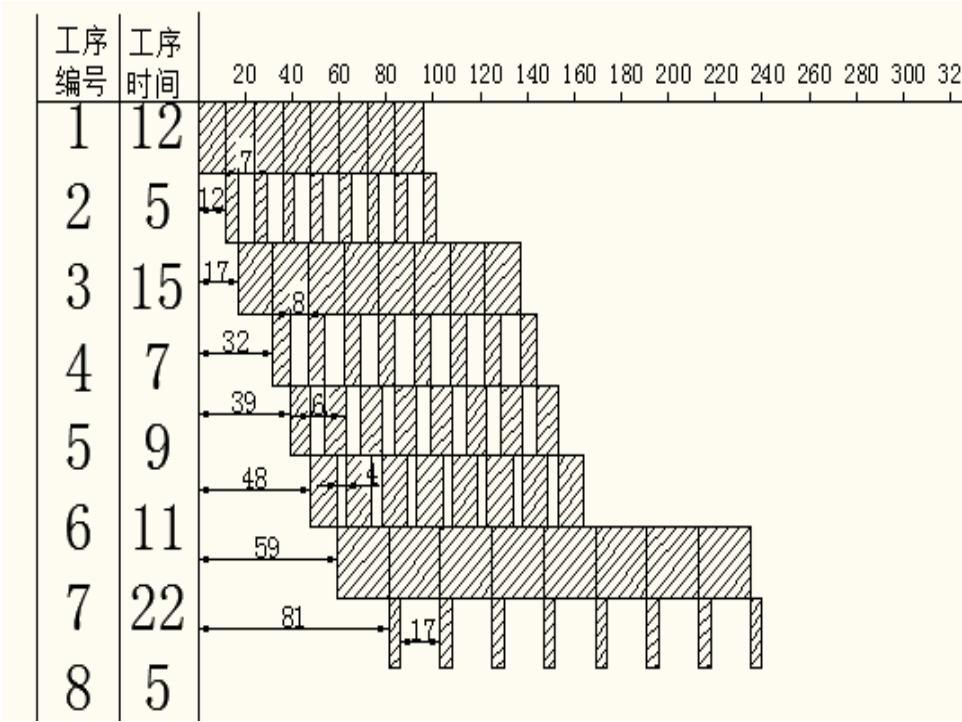


图 8.108 平行移动工序图

由工序图可得：总加工时间=240

设备的总等待时间=7×7+8×7+6×7+4×7+17×7=294

设备的总闲置时间=12+17+32+39+48+59+81=288

按照平行顺序移动方式，是把顺序移动方式和平行移动方式综合运用的方式。即在整批零件尚未全部完成前道工序的加工时，就先将其中部分已经完成的零件转入到下道工序加工。往下道工序转移的提前时间，以能维持下道工序对该零件的连续加工为准。具体的工序图如图 8.109。

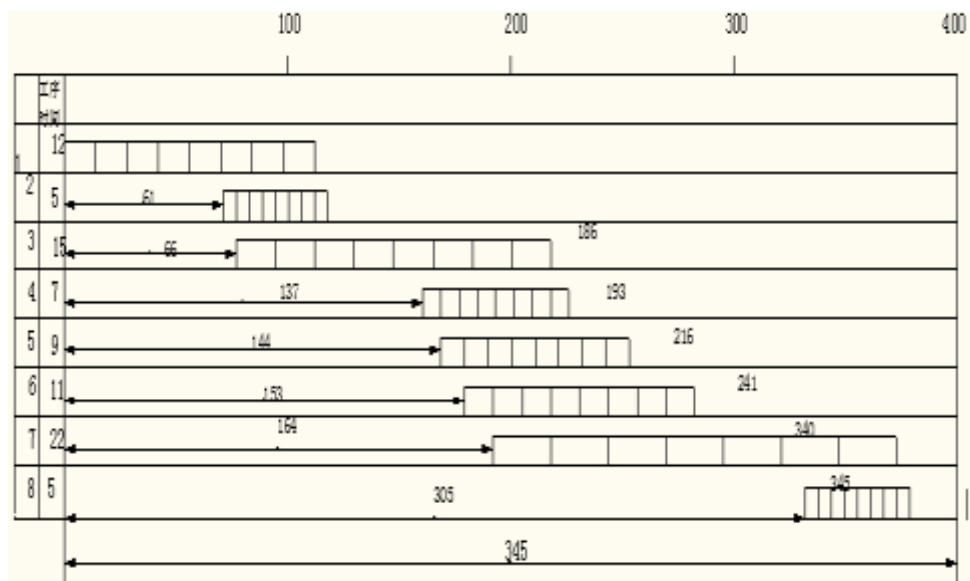


图 8.109 平行顺序移动工序图

由工序图可得：总加工时间=345

总设备的等待时间=0

总设备的闲置时间=61+66+137+144+153+164+305=1030

利用 flexsim 软件对这种移动方式进行仿真，布置图如图 8.110。

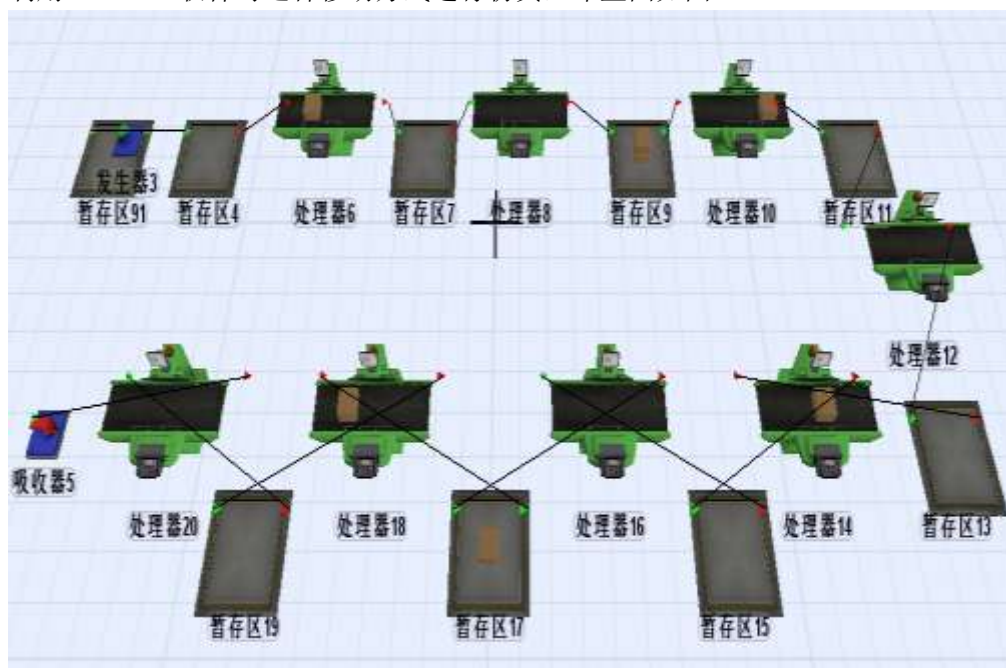


图 8.110 生产线整体概念图

2、参数设定

三种组织方法的参数设定有所不同，其中共同部分如下：

零件：按到达时间间隔，统计分布 **exponential** (0,10,1)；零件颜色为默认颜色灰色。

暂存区 91：目标批量为 8，进入触发 **content(current)==8** 然后执行 **closeinput**。

处理器的加工时间依次设为 12 min、 5 min、 15 min、 7 min、 9 min、 11 min、 22

min、 5 min。

顺序移动方法：暂存区的目标批量全部为 8，物品按垂直堆放。

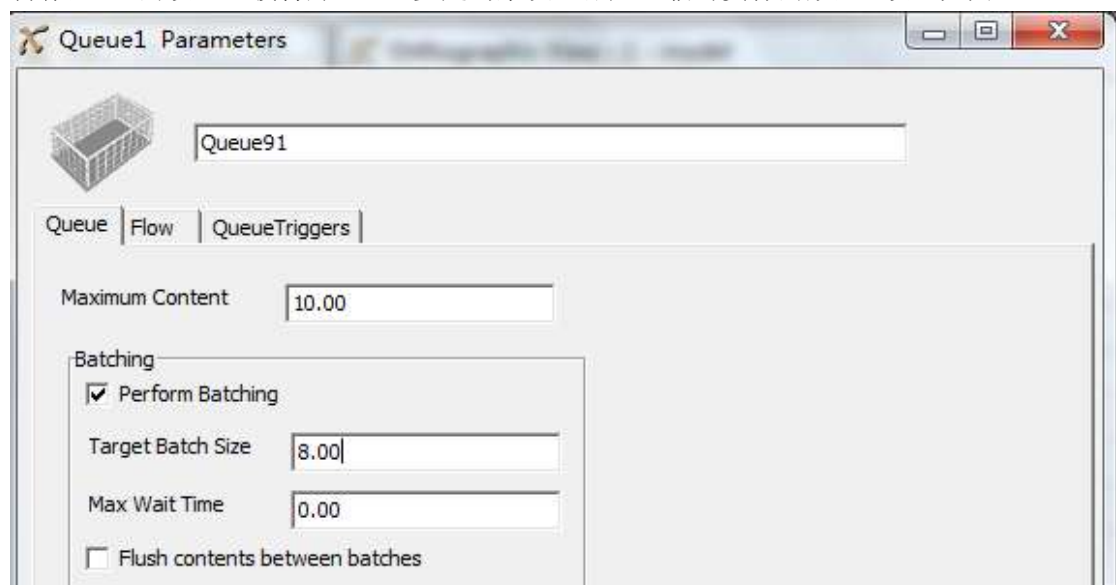
平行移动方法：暂存区不设置批量，就可以基本上满足平行移动方式。

平行顺序移动方法：对于上道工序加工时间比下道工序加工时间短，可以满足平行移动方式的原则，即暂存区的设置方法与平行移动方式相同，通过观察割到工序加工时间可知，暂存区 4、9、13、15、17 的设置同平行移动方式一致；对于上道工序加工时间比下道工序加工时间长，先按照平行移动方式去设计，再把有等待时间的工序里面，把所有的等待时间都加到本道工序的闲置时间里面，把这个总时间设置成一个触发时间，这道工序必须到了这个触发时间，才能开始工作，这样就能保证上道工序的最后一个零件刚加工完，这道工序正好开始加工最后一个零件。此时暂存区就需要分不同情况设置，暂存区 7 设批量为 4，最长等待时间为 49；暂存区 11 设批量为 4，最长等待时间为 56；暂存区 19 设批量为 4，最长等待时间为 41。

8.5.2 Flexsim 仿真建模

1、暂存区参数设置

暂存区 91 的设置比较特殊，它主要是约束发生器产生临时实体的数量，设置如图 8.111



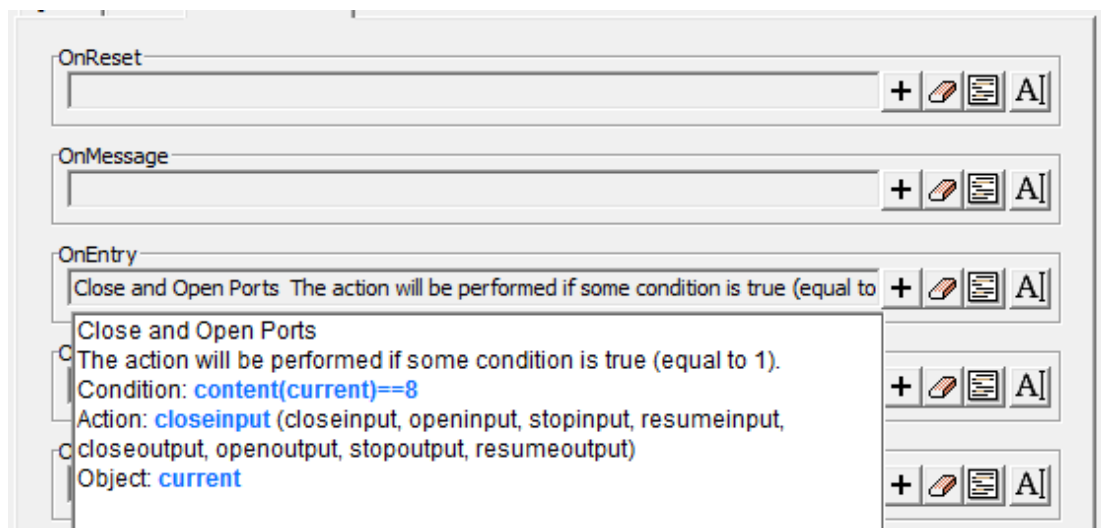


图 8.111 暂存区 91 参数设置

根据三种不同的组织方法，设置其余的暂存区。

顺序移动方法：

暂存区 4、7、9、11、13、15、17、19 的参数设置相同，下图以暂存区 4 为例，进行参数设置，如图 8.112。

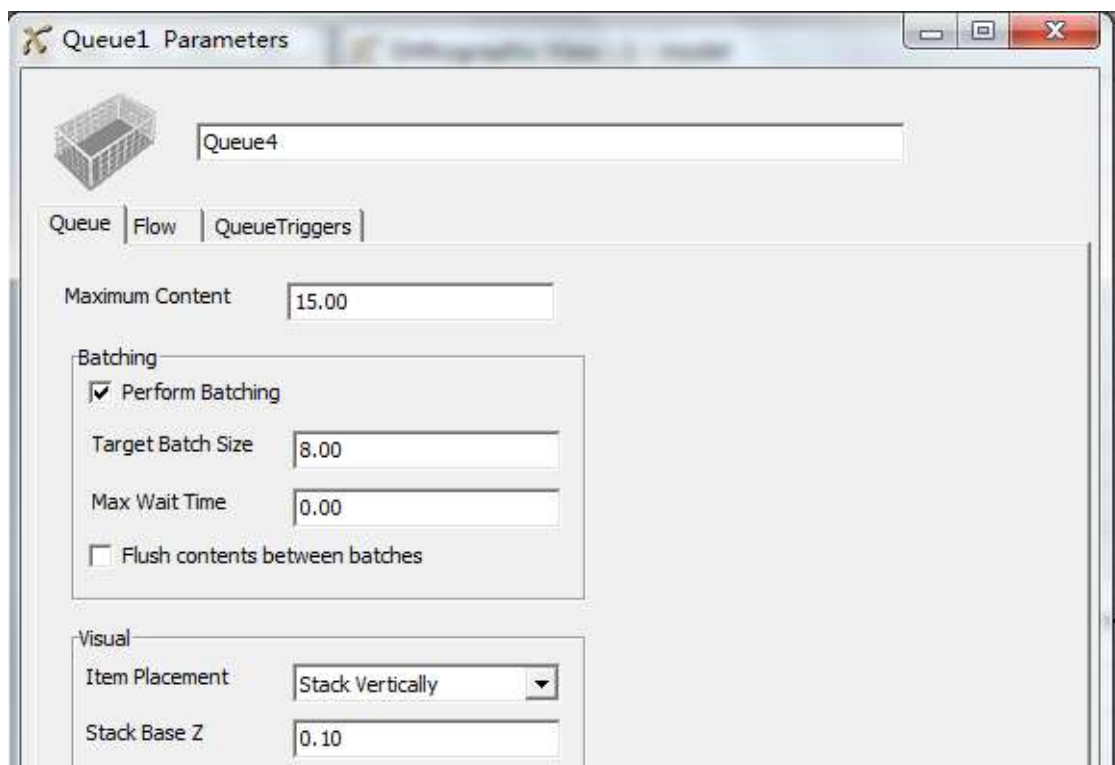


图 8.112 顺序移动方式下的暂存区参数设置

平行移动方法：

暂存区 4、7、9、11、13、15、17、19 的参数设置相同，，暂存区不需设置批量，就可以基本上满足平行移动方式。下图同样以暂存区 4 为例，进行参数设置如图 8.113。

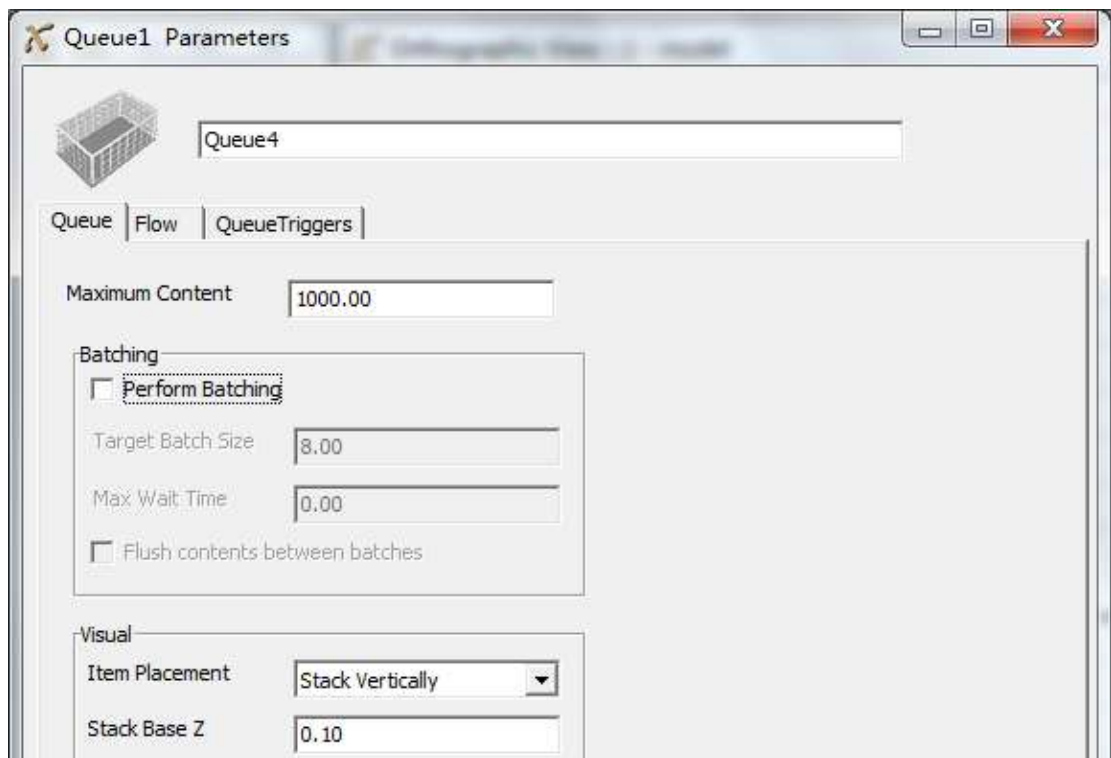


图 8.113 平行移动方式下的暂存区参数对话框

平行顺序移动法：

暂存区的设置大不相同，下面依次介绍。

暂存区 4、9、13、15、17 的设置，暂存区不需设置批量，就可以基本上满足条件要求。

下图同样以暂存区 4 为例，进行参数设置如图 8.114。

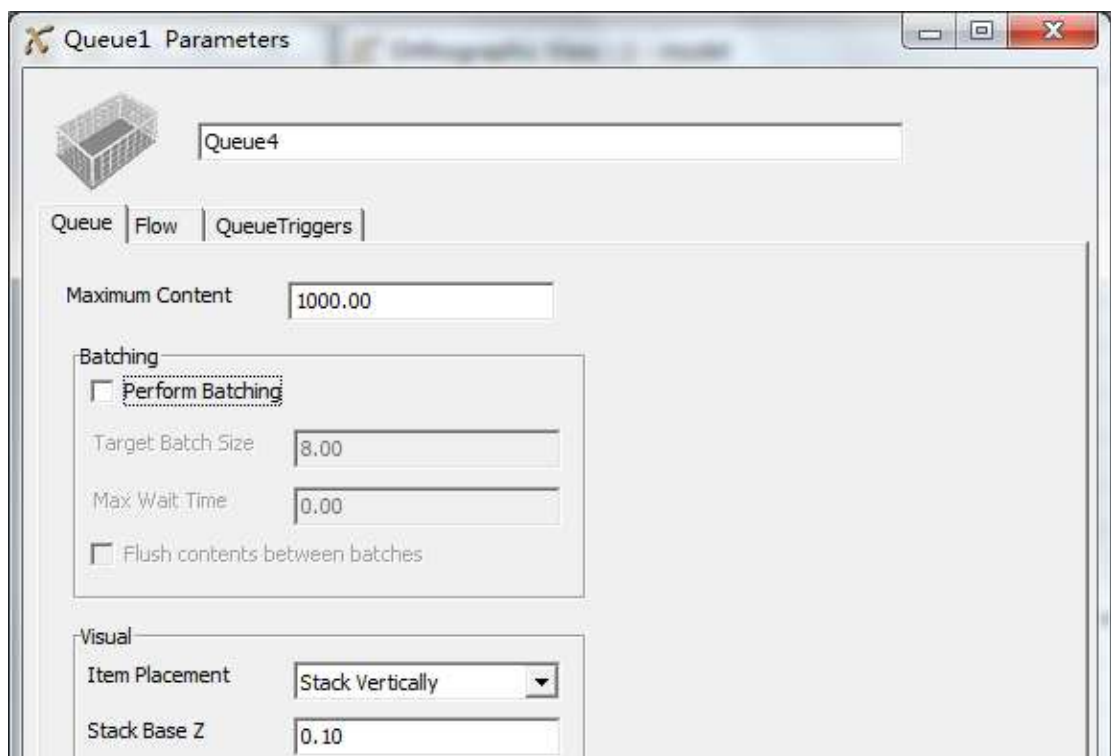


图 8.114 暂存区参数设置

暂存区 7 的设置，如图 8.115。

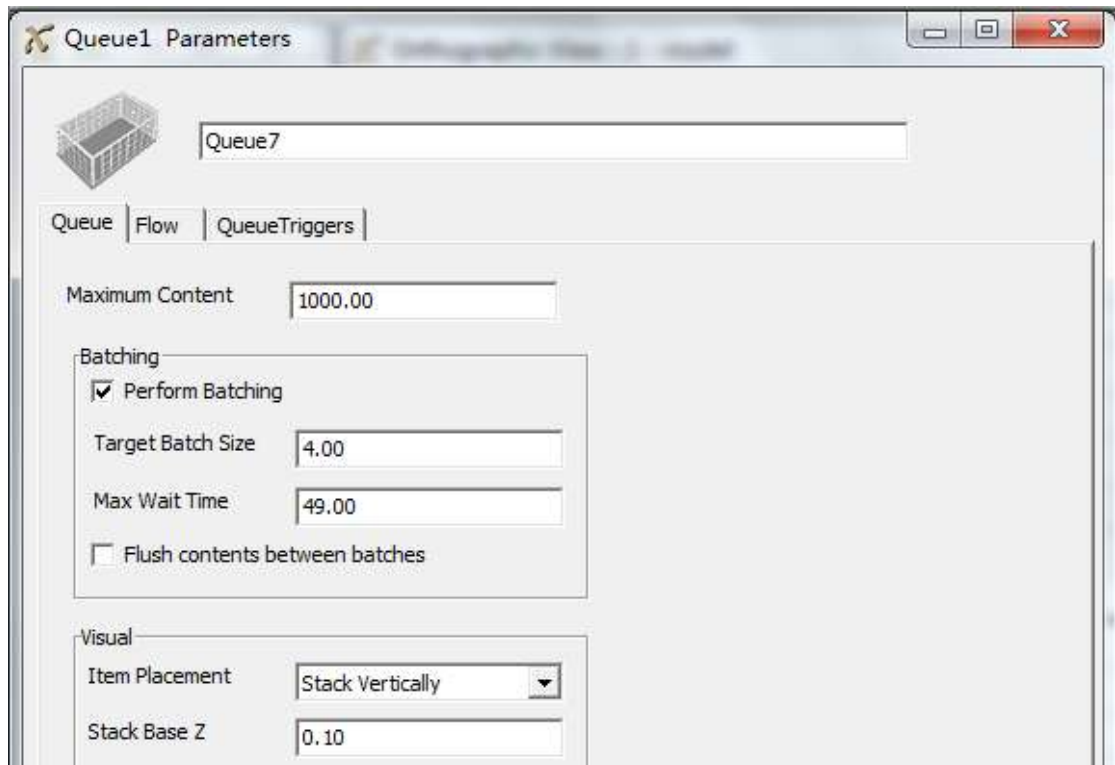


图 8.115 暂存区参数设置

暂存区 11 的参数设置，如图 8.116。

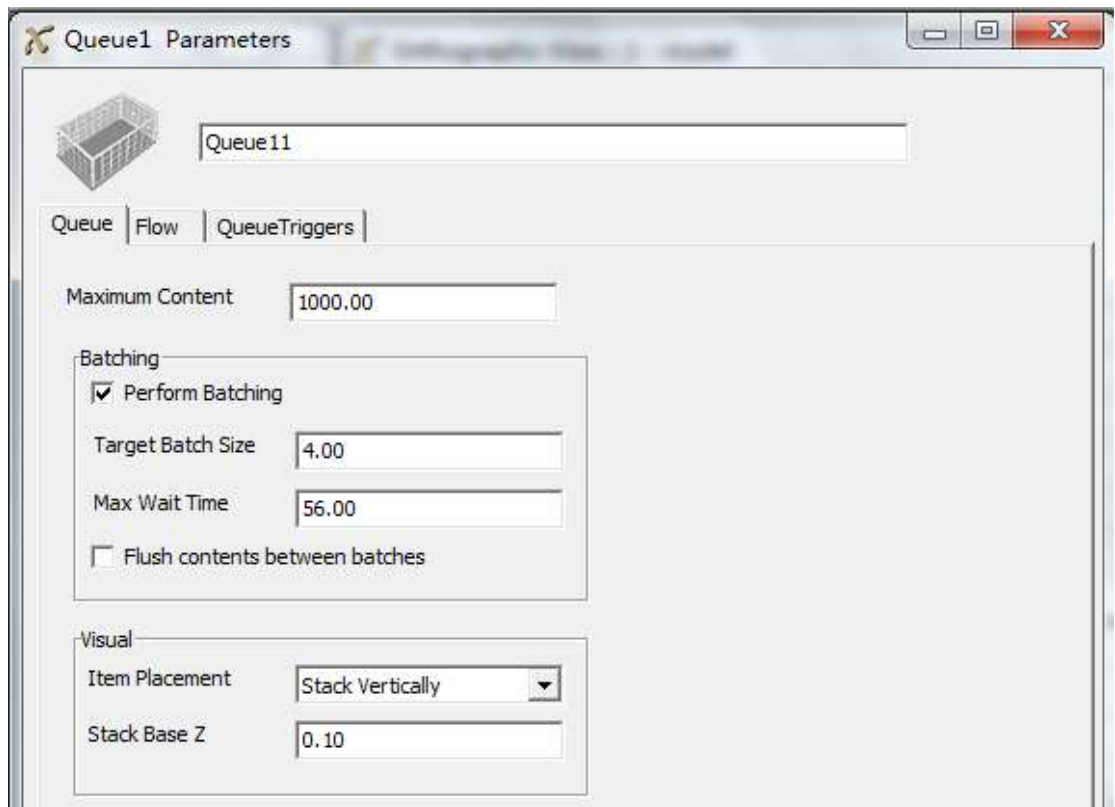


图 8.116 暂存区参数设置

暂存区 19 的参数设置，如图 8.117。

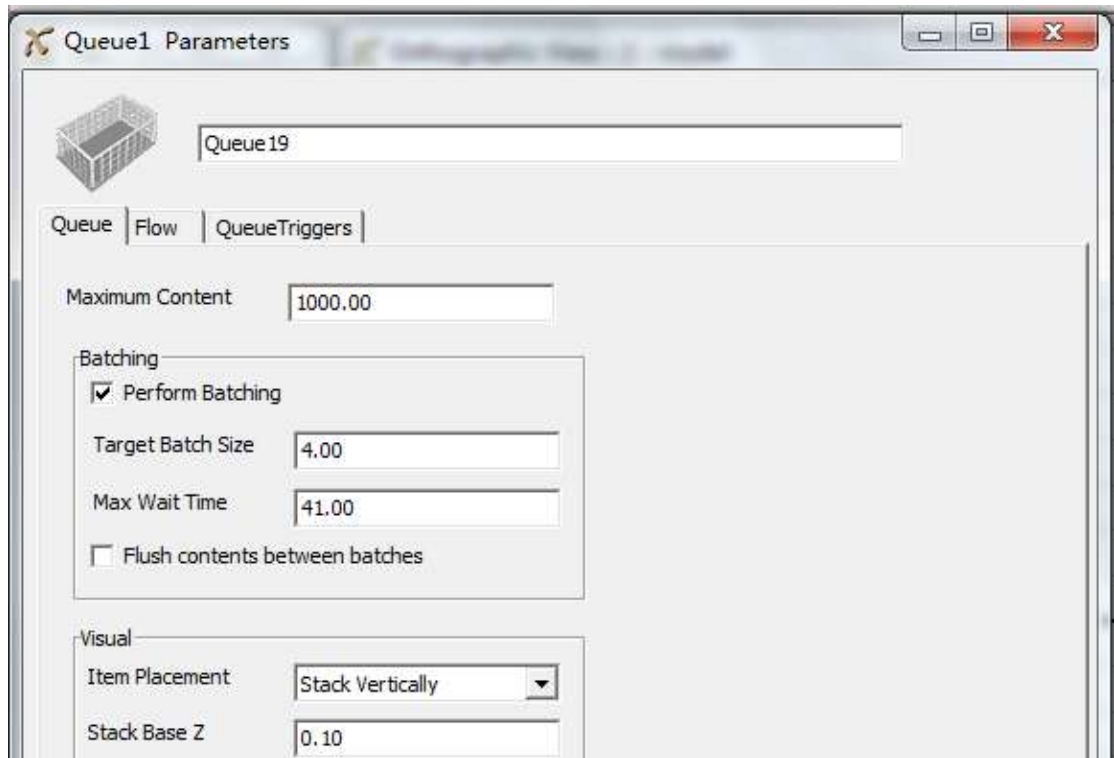


图 8.117 暂存区参数设置

5.3.3 处理器的设置

三种组织方法中，对处理器的设置也是相同的。把处理器的加工时间依次设为 12 min、5 min、15 min、7 min、9 min、11 min、22 min、5 min。下面以处理器 6 进行说明。通过双击对象打开对象实体属性窗口如图 8.118，进行对象参数编辑。

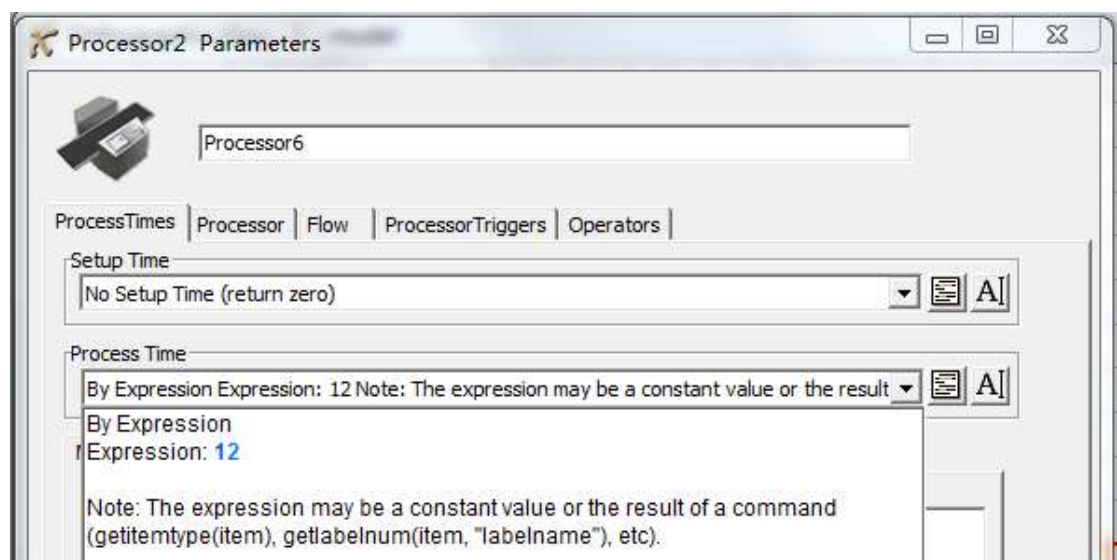


图 8.118 处理器的参数设置

8.5.3 仿真结果分析

1. 仿真数据统计

(1) 顺序移动方法

运行后，察看它们的工作强度和标准信息,将所有实体的运行结果全部整理出来，汇成表。可得标准报告表，如表 8.32。

表 8.32 标准报告表

| Flexsim summary report | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-------|-----|-----|----|------|-----|-----|
| Model Clock: 688.000 | | | | | | | | | |
| | 当前 | | | | 吞吐量 | | 停留时间 | | |
| | now | min | avg | max | 输入 | 输出 | min | avg | max |
| Source3: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Queue171: | 0 | 0 | 0 | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Queue4: | 0 | 0 | 4 | 8 | 8 | 8 | 0 | 42 | 84 |
| Processor6: | 0 | 0 | 1 | 1 | 8 | 8 | 12 | 12 | 12 |
| Queue7: | 0 | 0 | 3.634 | 8 | 8 | 8 | 35 | 59 | 84 |
| Processor8: | 0 | 0 | 0.294 | 1 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| Queue9: | 0 | 0 | 2.324 | 8 | 8 | 8 | 35 | 70 | 105 |
| Processor10: | 0 | 0 | 0.469 | 1 | 8 | 8 | 15 | 15 | 15 |
| Queue11: | 0 | 0 | 2.020 | 8 | 8 | 8 | 49 | 77 | 105 |
| Processor12: | 0 | 0 | 0.179 | 1 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| Queue13: | 0 | 0 | 1.195 | 8 | 8 | 8 | 49 | 56 | 63 |
| Processor14: | 0 | 0 | 0.188 | 1 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| Queue15: | 0 | 0 | 1.215 | 8 | 8 | 8 | 63 | 70 | 77 |
| Processor16: | 0 | 0 | 0.186 | 1 | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 |
| Queue17: | 0 | 0 | 1.476 | 8 | 8 | 8 | 77 | 115 | 154 |
| Processor18: | 0 | 0 | 0.272 | 1 | 8 | 8 | 22 | 22 | 22 |
| Queue19: | 0 | 0 | 1.107 | 8 | 8 | 8 | 35 | 94 | 154 |
| Processor20: | 0 | 0 | 0.058 | 1 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| Sink5: | 1 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |

通过上表，可以读出零件在加工时的总等待时间为： 42+59+70+77+56+70+115+94=583

将所有实体的工作强度整理出来，可得到所有实体的状态报告表。如表 8.33。

表 8.33 状态报告表

| | idle | processing | empty | collecting | releasing |
|-------------|---------|------------|--------|------------|-----------|
| Source3: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue171: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue4: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% |
| Processor6: | 100.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue7: | 0.00% | 0.00% | 9.20% | 90.80% | 0.00% |
| Processor8: | 70.60% | 29.40% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue9: | 0.00% | 0.00% | 41.90% | 58.10% | 0.00% |

| | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Processor10: | 53.10% | 46.90% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue11: | 0.00% | 0.00% | 49.50% | 50.50% | 0.00% |
| Processor12: | 82.10% | 17.90% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue13: | 0.00% | 0.00% | 70.10% | 29.90% | 0.00% |
| Processor14: | 81.30% | 18.70% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue15: | 0.00% | 0.00% | 69.60% | 30.40% | 0.00% |
| Processor16: | 81.40% | 18.60% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue17: | 0.00% | 0.00% | 63.10% | 36.90% | 0.00% |
| Processor18: | 72.80% | 27.20% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue19: | 0.00% | 0.00% | 72.30% | 27.70% | 0.00% |
| Processor20: | 94.20% | 5.80% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Sink5: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |

第二个表只给出部分表格，其余的部分都为零。（下同）

从这两个表可以看出顺序移动方式所带来的优缺点。缺点：1.设备生产周期较长；2.在制品数量较大。优点：1.工件加工按顺序，有规律可循，同时机床的布置和连接较为简单；2.加工过程中运输次数少。

（2）平行移动方法

运行结束后，得到的相应的仿真结果，将所有实体的运行结果全部整理出来，汇成表。可得标准报告表，如表 8.34。

表 8.34 标准报告表

| Flexsim summary report | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-------|-----|-----|----|------|------|-----|
| Model Clock: 240.000 | | | | | | | | | |
| | 当前 | | | | 吞吐量 | | 停留时间 | | |
| | now | min | avg | max | 输入 | 输出 | min | avg | max |
| Source3: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Queue91: | 0 | 0 | 0 | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Queue4: | 0 | 0 | 4 | 7 | 8 | 8 | 0 | 42 | 84 |
| Processor6: | 0 | 0 | 1 | 1 | 8 | 8 | 12 | 12 | 12 |
| Queue7: | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Processor8: | 0 | 0 | 0.396 | 1 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| Queue9: | 0 | 0 | 0.689 | 2 | 8 | 8 | 0 | 10.5 | 21 |
| Processor10: | 0 | 0 | 0.876 | 1 | 8 | 8 | 15 | 15 | 15 |
| Queue11: | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Processor12: | 0 | 0 | 0.389 | 1 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| Queue13: | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Processor14: | 0 | 0 | 0.471 | 1 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| Queue15: | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Processor16: | 0 | 0 | 0.537 | 1 | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 |
| Queue17: | 0 | 0 | 0.920 | 3 | 8 | 8 | 0 | 24.5 | 49 |
| Processor18: | 0 | 0 | 0.749 | 1 | 8 | 8 | 22 | 22 | 22 |
| Queue19: | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|
| Processor20: | 0 | 0 | 0.167 | 1 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| Sink5: | 1 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |

通过上表，可以读出零件在加工时的总等待时间为： $42+0+10.5+0+0+0+24.5+0=77$

将所有实体的工作强度整理出来，可得到所有实体的状态报告表。如表 8.35。

表 8.35 状态报告表

| | idle | processing | empty | collecting | releasing |
|--------------|--------|------------|---------|------------|-----------|
| Source3: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue91: | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue4: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100.00% |
| Processor6: | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue7: | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% |
| Processor8: | 60.40% | 39.60% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue9: | 0.00% | 0.00% | 38.50% | 0.00% | 61.50% |
| Processor10: | 12.40% | 87.60% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue11: | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% |
| Processor12: | 61.10% | 38.90% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue13: | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% |
| Processor14: | 52.90% | 41.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue15: | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% |
| Processor16: | 46.30% | 53.70% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue17: | 0.00% | 0.00% | 39.00% | 0.00% | 61.00% |
| Processor18: | 25.10% | 74.90% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue19: | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% |
| Processor20: | 83.30% | 16.70% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Sink5: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |

从这两个表可以看出平行移动方式所带来的优缺点。缺点：1.容易出现设备等待或零件等待的情况。2.加工过程中搬运次数较多。优点：1.加工的在制品减到最少；2. 缩短了加工周期。

（3）平行顺序移动方法

运行结束后，得到的相应的仿真结果，将所有实体的运行结果全部整理出来，汇成表。可得标准报告表，如表 8.36。

表 8.36 标准报告表

| Flexsim summary report | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|-----|-----|
| Model Clock: 345.000 | | | | | | | | | |
| | 当前 | | | | 吞吐量 | | 停留时间 | | |
| | now | min | avg | max | 输入 | 输出 | min | avg | max |
| Source3: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Queue3: | 0 | 0 | 0 | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Queue4: | 0 | 0 | 4 | 7 | 8 | 8 | 0 | 42 | 84 |
| Processor6: | 0 | 0 | 1 | 1 | 8 | 8 | 12 | 12 | 12 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|-------|---|---|---|----|------|----|
| Queue7: | 0 | 0 | 1.838 | 4 | 8 | 8 | 15 | 25 | 36 |
| Processor8: | 0 | 0 | 0.345 | 1 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| Queue9: | 0 | 0 | 1.063 | 3 | 8 | 8 | 0 | 21 | 42 |
| Processor10: | 0 | 0 | 0.694 | 1 | 8 | 8 | 15 | 15 | 15 |
| Queue11: | 0 | 0 | 1.361 | 4 | 8 | 8 | 21 | 33 | 45 |
| Processor12: | 0 | 0 | 0.279 | 1 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| Queue13: | 0 | 0 | 0.116 | 1 | 8 | 8 | 0 | 3 | 6 |
| Processor14: | 0 | 0 | 0.333 | 1 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| Queue15: | 0 | 0 | 0.108 | 1 | 8 | 8 | 0 | 3 | 6 |
| Processor16: | 0 | 0 | 0.378 | 1 | 8 | 8 | 11 | 11 | 11 |
| Queue17: | 0 | 0 | 0.830 | 3 | 8 | 8 | 0 | 30.5 | 61 |
| Processor18: | 0 | 0 | 0.557 | 1 | 8 | 8 | 22 | 22 | 22 |
| Queue19: | 0 | 0 | 0.765 | 1 | 8 | 8 | 24 | 32.5 | 41 |
| Processor20: | 0 | 0 | 0.116 | 1 | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| Sink5: | 1 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |

通过上表，可以读出零件在加工时的总等待时间为： $42+25+21+33+3+3+30.5+32.5=190$

将所有实体的工作强度整理出来，可得到所有实体的状态报告表，如表 8.37。

表 8.37 状态报告表

| | idle | processing | empty | collecting | releasing |
|--------------|--------|------------|---------|------------|-----------|
| Source3: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue3: | 0.00% | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue4: | 0.00% | 0.00% | 2.80% | 0.00% | 97.20% |
| Processor6: | 0.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue7: | 0.00% | 0.00% | 10.80% | 89.20% | 0.00% |
| Processor8: | 65.50% | 34.50% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue9: | 0.00% | 0.00% | 38.60% | 0.00% | 61.40% |
| Processor10: | 30.60% | 69.40% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue11: | 0.00% | 0.00% | 35.10% | 64.90% | 0.00% |
| Processor12: | 72.10% | 27.90% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue13: | 0.00% | 0.00% | 88.40% | 0.00% | 11.60% |
| Processor14: | 66.70% | 33.30% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue15: | 0.00% | 0.00% | 89.20% | 0.00% | 10.80% |
| Processor16: | 62.20% | 37.80% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue17: | 0.00% | 0.00% | 51.40% | 0.00% | 48.60% |
| Processor18: | 44.30% | 55.70% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Queue19: | 0.00% | 0.00% | 47.60% | 52.40% | 0.00% |
| Processor20: | 88.40% | 11.60% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Sink5: | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |

从这两个表可以看出平行顺序移动方式所带来的优缺点。缺点：1. 每个工件都有不同的加工路线，生产组织安排比较复杂；2.总设备闲置时间相对较长。优点：1.周期相对较少；2.搬运次数少。

（1）三种组织方式的对比分析

表 8.38 组织方法的比较

通过比较,可以看出顺序移动的加工时间最长,设备闲置时间也最长,说明该方法没能充分利用设备资源,因而加工时间最长;平行移动的加工时间虽然最短,但设备产出了等待时间,这说明在加工过程中设备有空运作现象,这使公司消耗了不必要的资源。在生产系统也是应该避免的;平行顺序移动的加工时间处于两者中间,略高于平行移动的时间,设备闲置时间也处于二者之间,但比顺序移动要少一半的时间,并且设备等待时间为零,在生产过程中避免了设备的空运转。综合考虑,三种方法中,平行顺序移动是三者中最优的方案。

表 8.39 方法的详细比较

[illegible]

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|------------|-------|------------|--------|-------|------------|------------|-------|
| 处理器 18 | 72.80% | 27.20 % | 0.00% | 25.10 % | 74.90% | 0.00% | 44.30 % | 55.70 % | 0.00% |
| 暂存区 19 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 处理器 20 | 94.20% | 5.80% | 0.00% | 83.30 % | 16.70% | 0.00% | 88.40 % | 11.60 % | 0.00% |
| 吸收器 5 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |

通过上表，可知顺序移动的设备空闲时间最长，顺序移动的工作时间最长，平行顺序移动的工作时间与平行移动的工作时间相差不大。

通过上面的对比，根据行程最短、时间最省、占用和耗费最少、效率最高等指标，综合考虑，平行顺序移动是最优的组织生产方法。