

武汉理工大学

---

硕士学位论文

---

自动化立体仓库的调度策略研究及仿真

---

姓名：邹晖华

---

申请学位级别：硕士

---

专业：机械制造及其自动化

---

指导教师：胡吉全

---

20090601

## 摘要

近年来随着我国经济和对外贸易的快速发展，物流，因它通过货物在时间、地理位置上的转移创造高效益而倍受产学界的高度重视。仓储是物流系统的重要组成部分，自动化立体仓库较传统仓库有着无可比拟的优势，其发展非常迅速。但是由于自动化立体仓库是一个复杂的综合自动化系统，它的出、入库调度问题直接影响着仓储系统的运行效率。因此开展自动化立体仓库出、入库调度方面的研究具有重要的理论意义和工程实用价值。

本文在前人对自动化立体仓库调度策略的研究的基础上，对静态货位分配策略提出了一种合理的解决方案；对仓储出入库动态货位分配情况进行仿真分析。主要的工作包括以下几方面：

1) 对自动化立体仓库的类型、关键技术和出入库流程等进行了讨论，分析了自动化立体仓库货位分配问题的国内外研究现状，提出了自动化立体仓库货位静态货位分配和动态货位分配的原则。

2) 对静态货位分配问题，按照货位分配的原则，建立了货位分配的优化目标函数组。依据遗传算法求解多目标问题的思想，提出了一种合理的算法求解，并进行 Matlab 仿真求解，得出了一组收敛的可行解。

3) 对动态货位分配问题，使用 Flexsim 仿真软件，进行了不同进、出库调度策略仿真，得到直观的进出库三维仿真过程。对不同调度策略的仿真结果进行比较分析，找出不同调度策略的优劣。

4) 依托九州通立库的真实参数，进行货位分配的实例仿真。验证了使用堆垛机运行时间短的货位优先出、入库的原则进行出、入库作业的策略立库效率更高。

关键词：自动化立体仓库 货位分配 Flexsim 调度策略 优化

## Abstract

With the rapid development of domestic economy and high requirements to communicate with foreign enterprises in recent years, modern logistics have received more and more attention due to creating significant economic effects by transferring goods in terms of time and location. Warehouse is an important element of modern logistics. Automated storage outperforms more evidently than traditional storage in various aspects. However, since it is also a complex integrated automated system, and scheduling affects the operation efficiency of the whole systems directly, researches on the scheduling problems of corresponding in-out warehouse have significant values in the field of engineering application.

The theses put forward a logical solution about static state storage location assignment, simulate and analyzed the dynamic storage location assignment about goods in-warehouse/ex-warehouse based on reading large numbers of other people's research about scheduling strategy on warehouse. The main job of this thesis is briefly described as follows.

1) Introduce automated storage and retrieval system's types key technologies and the flow of goods inside and outside warehouse. Summarize the situation about some researches on automated storage and retrieval system's storage location assignment inside and outside country. Dividing automated storage and retrieval into a static allocation of cargo space and dynamic allocation of cargo space.

2) For the problem of static allocation of cargo space, this article establish the objective function group to optimize. Base on the thought of genetic algorithms to solve the problem of more than one aims, elicit a logical arithmetic and simulated for solve this arithmetic by Matlab, get a set of solution finally.

3) For the dynamic allocation of cargo space. Simulated different strategies of in-out warehouse by Flexsim get the intuitionist three-dimensional process for in-out warehouse. Analyze this result, according to the efficiency of ASRSvehicle, estimate the disadvantage and advantage of different scheduling strategies.

4) Make a simulative example on storage location assignment use the reality parameter of Jiu Zhou Tong. Validate the scheduling strategy.

**Keywords:** automated storage and retrieval system    storage location assignment  
Flexsim            scheduling strategy            optimization

## 独创性声明

本人声明，所提交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得武汉理工大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生（签名）：胡吉气 日期：2009.6.4

## 学位论文使用授权书

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权武汉理工大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印和其他复制手段保存或汇编本学位论文。同时授权经武汉理工大学认可的有关机构或论文数据库使用或收录本学位论文，并向社会公众提供信息服务。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

研究生（签名）：胡吉气 导师（签名）：胡吉气 日期：2009.6.4

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 自动化立体仓库及相关概念

随着科学技术和工业生产的快速发展，现代企业对于物料搬运和贮存提出了越来越高的要求，传统的仓储方式已不能满足生产和流通的需要。生产、仓储和配送要求的不断提高，促使仓储方式从最初通过人力手工业的简单堆积到通过叉车等简单设备的仓库式存储到目前采用高位叉车、堆垛机、无人导引小车 AGV(Automatic Guided Vehicles)等自动化设备的立体仓库存储。土地稀缺、地价上涨，促进仓储作业由地面简单堆积向空间发展，由简易仓库向立体高架仓库发展。自动化立体仓库作为现代物流技术的典型代表，集机械、电子、计算机、通信、自动控制和传感器等多种技术于一体，被广泛应用于现代化的仓储和配送当中，逐渐成为现代化物流生产、存储和配送的主要设施。

自动化立体仓库又称为自动化仓储 AS/RS(Automatic Storage and Retrieval System) 系统，它可以按照指令自动完成货物的存取，并能对库存货物进行自动管理，实现自动化作业，具有作业效率高，占地面积小，存储容量大，计算机自动控制等优势，受到企业越来越多的重视。自动化立体仓库效益的体现主要来自以下几个方面：

### (1) 高层货架存储

使用高层货架存储货物，可使地面存储区大幅度地提高，充分利用仓库地面和空间，节省了占地面积，提高空间利用率。

### (2) 自动存取

AS/RS 使用机械和自动化设备，运行和处理速度快，存储效率高，降低了操作人员的劳动强度。

### (3) 计算机控制

通过使用计算机控制可以准确无误地对各种信息进行存储和管理，减少信息处理过程中的差错，同时可以更方便进行多方位信息的获取和统计处理。例如通过对库存变动情况的及时获取，随时调整生产和销售，从而提高了整个生产的应变能力和决策效率。

### 1.1.1 自动化立体仓库的分类

自动化立体仓库是一个复杂的综合自动化系统，其分类也是多种多样。正是由于它分类的多样性，使其可以广泛地服务于各行各业，也促进了自动化立体仓库自身的发展，下面介绍常用的几种自动化立体仓库类型。

整体式，是指货架除了储存货物以外，还可以作为建筑物的支撑结构，是建筑物一个部分，即库房与货架形成一体化结构。

分离式，是指储存货物的货架独立存在。在现有的建筑物内可改造为自动化立体仓库，也可以将货架拆除，使建筑物用于其它用途。

单元货架式，是一种最常见的结构，货物先放在托盘或集装箱内，再装入仓库货架的货位中。

移动货架式，是由电动货架组成。货架可以在轨道上行走，由控制装置控制货架的合拢和分离。作业时货架分开，在巷道中进行作业。不作业时可将货架合拢，只留一条作业巷道，从而节省仓库面积，提高空间的利用率。

拣选货架式，拣选货架式仓库的分拣机构是这种仓库的核心组成部分。它有巷道内分拣和巷道外分拣两种方式。每种分拣方式又可分为人工分拣和自动分拣。

水平循环货架仓库，其货架本身可以在水平面内沿环形路线来回运行。

垂直旋转货架，其仓库与水平循环货架仓库相似，不同的是水平面内旋转改为垂直面内的旋转。

一般的自动化立体仓库用于温度为 0-40°C，湿度为 45%-85%的常温常湿环境下存储货物。低温自动化立体仓库用于温度为 0°C 以下的环境中存储货物。高温自动化立体仓库用于温度为 40°C 以上的环境中存储货物。防爆自动化立体仓库用于在有防爆要求的环境中存储货物。其他特殊环境型自动化立体仓库，一般用于防毒、防污染和防辐射等环境下使用。

### 1.1.2 自动化立体仓库的构成

#### 1) 自动化立体仓库的构成

自动化立体仓库的基本构成较之传统仓库除了库房、货架外，为了实现货物的自动存储和取出，还需要相应的管理、控制以及执行系统。自动化立体仓库的构成可以用图 1-1 表示：

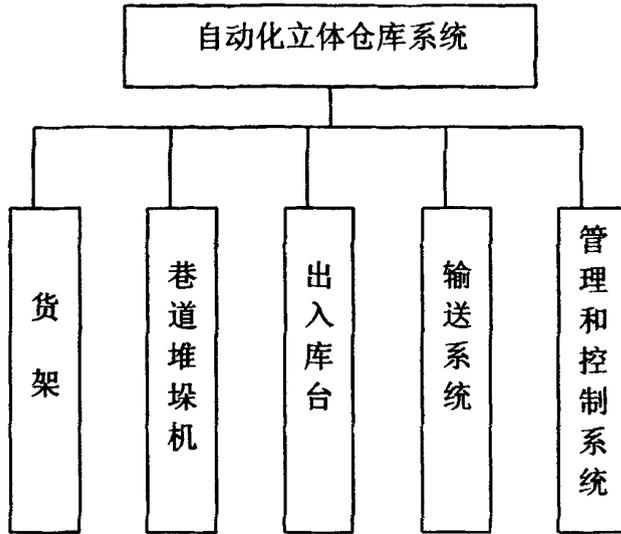


图 1-1 自动化立体仓库构成

其中货架、堆垛机、出/入库台和输送系统属于自动化立体仓库系统的硬件组成部分；其软件组成部分管理和控制系统，管理和控制系统的作业流程是：通过管理系统高效合理的管理物品的出/入库和库存信息、生成相应的出/入库命令，然后通过控制系统控制执行机构实现相应的操作并把操作信息反馈给管理系统，而执行机构操作的对象就是堆垛机、出/入库台、输送系统等硬件组成部分。上述管理和控制系统的作业流程可用图 1-2 表示：

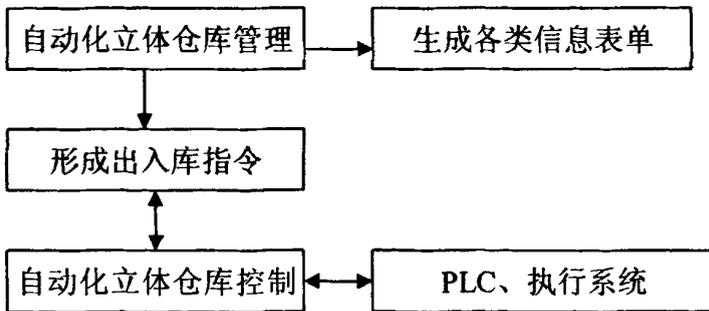


图 1-2 管理和控制系统作业流程

## 2)相关设备介绍

自动化立体仓库是个系统，需要多种设备共同协作才能顺利完成货物的出、入任务，其中几种主要相关设备简介如下：

### (1)货架

货架是自动化立体仓库中最主要的组成部分，它提供托盘和货物自动存储的空间。常用的货架有悬臂货架、流动货架、货格式货架、水平或垂直旋转货

架等。货架的结构及功能有利于实现仓库的机械化和自动化。由于货架是一种架式结构物，所以它可以充分地利用仓库空间，提高库容利用率，扩大仓库存储能力。存入货架中的货物，互不挤压，可完整保证物资本身的功能，减少货物的损失。货架中的货物存取方便，便于清点及计算。

### (2) 托盘

托盘是用于集装、堆放、搬运和运输被放置货物的水平平台装置。其基本功能是承载物料，同时还应该便于叉车和堆垛机的叉取和存放。托盘是由两层面板中间夹以纵梁（或柱脚）或单层面板下设纵梁（垫板或柱脚）组成的一种平面结构。为了提高出/入库效率和仓库的利用率，实现存储自动化作业，通常采用货物连带托盘的存储方法，托盘成为一种存储工具。

### (3) 堆垛机

堆垛机是自动化立体仓库中的重要设备，它是实现托盘货物自动出/入库作业的主要工具。堆垛机一般用电力驱动，通过自动或手动控制，实现货物搬运。它的主要用途是在高层货架的巷道内来回穿梭运行，将位于巷道口的货物存入货格；或者相反，取出货格内的货物运送到巷道口。整机结构高而窄，由起升机构、运行机构、货叉、伸缩机构、机架以及电气部分等组成。堆垛机的类型可按其支承方式、结构形式和作业方式等进行分类。

### (4) 自动导引小车

自动导引小车简称 AGV，是英文 Automated Guided Vehicle 的缩写。根据美国物流协会的定义，自动导引小车是指具有电磁或光学导引装置，能够按照预定路线行走，具有小车运行和停车装置、安全保护装置以及各种移栽功能的输送小车。

### (5) 货物输送系统

输送系统是伴随着生产物流和存储仓库产生的。它通过各种输送设备把工厂中的各个部分和各个生产工位连接起来，从而形成整个工厂物流，实现货物出/入库的自动输送功能。货物输送装置包括辊道输送机，链条输送机及平带式输送机等。采用什么样的输送装置，需要根据货物的类型、装运条件和仓库结构等因素来决定。

### (6) 分拣系统

分拣系统把很多货物按品种、不同的输送地点和客户的订货要求，迅速准确地从货位拣取出来，按一定的方式进行分类、集中并分配到指定位置，等待

装配送货。按分拣的手段不同，可分为人工分拣、机械分拣和自动分拣三大类。

### 1.1.3 基本作业流程

#### 1) 入库作业流程

入库作业流程如图 1-3 所示。货物单元入库时，由输送系统运输到入库台，货物进入射频识别的读卡器能量范围时，电子标签携带的信息被读入，传递给中央服务器，控制系统根据中央服务器返回的信息来判断是否入库以及货位坐标，当能够确定入库时发送包含货位坐标的入库指令给执行系统，堆垛机通过自动寻址，将货物存放到指定货格。在完成入库作业后，堆垛机向控制系统返回作业完成信息，并等待接收下一作业命令。控制系统同时把作业完成信息返回给中央服务器数据库进行入库管理。



图 1-3 入库作业流程

#### 2) 出库作业流程

出库作业流程如图 1-4 所示。管理员在收到生产或客户的货物需求信息后，根据要求将货物信息输入上位管理机的出库单，中央服务器将自动进行库存查询，并按照先入先出、均匀出库、就近出库等原则生成出库作业，传输到终端控制系统中，控制系统根据当前出库作业及堆垛机状态，安排堆垛机的作业序列，将安排好的作业命令逐条发送给相应的堆垛机。堆垛机到指定货位将货物取出放置到巷道出库台，并向控制系统返回作业完成信息，等待进行下一个作业。监控系统向中央服务器系统返回该货物出库完成信息，管理系统更新库存数据库中的货物信息和货位占用情况，完成出库管理。如果某一货位上的货物已全部出库，则从货位占用表中清除此货物记录，并清除该货位占用标记。

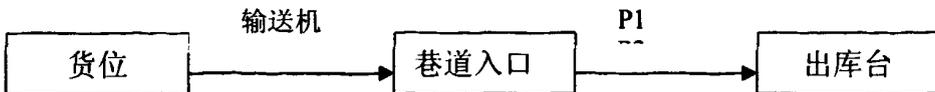


图 1-4 出库作业流程

### 3) 拣选作业流程

拣选作业流程如图 1-5 所示。货物单元拣选出库时，堆垛机到指定地址将货物取出放置到巷道出库台，AGV 自动导引小车取货后将货物送至分拣台，在分拣台上由工作人员或自动分拣设备按照出库单进行分拣。分拣完成后再由小车送回巷道入库口，由堆垛机将货物入库或者直接出库。在作分拣作业时，因为分拣台不只一个，所以输送小车要求具有优良的调度算法，确保高效、准确、可靠运行。

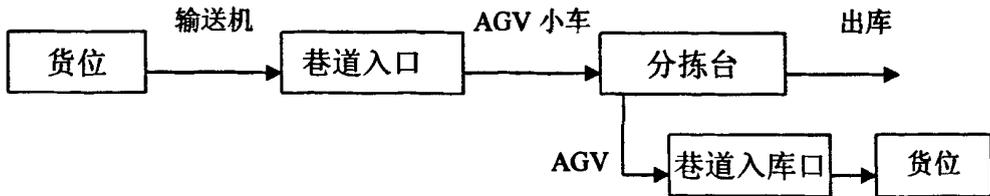


图 1-5 拣选作业流程

### 4) 盘点和报表查询

盘点的目的是为了保持帐存数量和实际库存数量的一致，准确掌握货物资源状况。盘点分为循环盘点和总盘点。循环盘点针对某一部分货位或某几类货物，可以随时进行。总盘点则针对所有货位和库存货物，通常定期进行。报表查询是处理与仓储业务相关的信息的综合查询功能模块。系统通过报表查询功能，针对业已完成的业务处理，将所获取的信息进行筛选、分析，以综合反映企业的仓储业务情况。主要包括仓储业务日报表和汇总报表，反映货物当日以及一段时间内的出、入库情况。

## 1.2 货位分配问题国内外研究现状

对于货位分配问题，有大量的研究是关注于如何将仓库分成不同的区域，进行不同的作业和管理。Van den Berg J P 和 Zijm WHM (1999 年)<sup>[1]</sup>对仓库进行了分类，分析了仓库中不同活动所产生的费用在总费用中占的比例，并对手工仓库，自动化立体仓库的拣选、出入库方式等进行了分析，将仓库分为前向区和保留区，同时将如何分配库存到前向区和保留区转换成一个 0-1 规划问题。对于仓库中各个功能区的面积以及如何安排产品到各个功能区，Heragu 等(2005

年)<sup>[2]</sup>建立了一个数学模型并提供了一种启发性的算法。他们将仓库分为收货区、前向区、保留区、直接换装区、发货区,同时将仓库的物流分为四种类型,然后建立优化模型,并给出一种启发式算法。Larson T N 等<sup>[3]</sup>则通过将库存分类来设计仓库布局,以便提高空间利用率,降低物流成本。

对于不同的货位分配策略进行比较,以便得到最适合的分配策略是非常重要的。Malmborg C J(1996 年)<sup>[4]</sup>提供了在不同的货位分配原则下分析空间需求和取货效率之间的折衷的工具。通过发展仓储系统中存货水平的状态分布概率函数,可以计算空间的减少和取货费用的变化。通过比较不同货位分配原则下的平均取货费用,从而可以比较不同的货位分配原则。柳赛男等(2006 年)<sup>[5]</sup>提出了库区分配策略、任务分配策略和货位分配策略 3 种调度策略来提高自动化立体仓库出入库操作的效率。在一般库区分配策略的基础上,提出了基于映射的货品-货位耦合库区分配策略。该策略采用货品按出库频率高低排列形成不同优先级的货品链,货位按照距离出入库台的远近划分为优先级不同的货位链,优先级高的货品链和优先级高的货位链相匹配耦合,从而形成相应的货位分区。这里研究了基于库区分配策略和货位分配策略的优化问题,建立了相应的数学模型,并应用基于 Pareto 最优解的遗传算法对问题进行了求解。蒋宇(2008 年)<sup>[6]</sup>提出了基于在对货物出入库频率预测的基础上,采用动态的研究方法,将出入库频率作为货位优化数学模型中的动态变化参数,建立了自动化立体仓库出入库调度优化模型。在优化模型中,针对货位优化问题的特殊性,应用遗传算法实现了货物价值、出入库频率、作业时间三方面的多目标组合优化。

李俊等(2007 年)<sup>[7]</sup>从企业仓储作业中出入库调度策略的需求出发,利用面向对象建模理论和 Flexsim 仿真软件进行入库策略的建模。给出了一种将复杂策略结果映射到仿真模型的方法,并将其应用于仿真实例中。最后,对改进的最近邻居策略和 ABC 库存分类的入库策略在效率上进行了比较,并分析得出两种策略的适用范围。张欢欢(2009 年)<sup>[8]</sup>使用 Flexsim 软件对某立体仓库进行了建模分析,以各种实体的利用效率为研究对象,找出了立体仓库的瓶颈。

### 1.3 本课题主要研究的内容

从 1.2 节国内外研究现状可以看出,目前大量研究建立的货位分配问题模型是以货品出入库频率和货品存储重心为优化目标,建立一个多目标优化函数。

该目标函数对于货架初始存储量考虑不足。在多目标函数的求解方面，多用遗传算法、蚁群算法等智能算法。其算法本身比较复杂，收敛效果并不理想。

在考虑了目前相关研究的优点和不足之后，本文使用了货品 COI 作为货品优化目标函数，并在进行求解多目标函数时，使用迭代的计算方法进行求解，得到了很好的收敛结果。

本文的工作可以分为以下几个方面：

(1)以货架货品 COI 值与货位到出入口时间的积和货品的重心最低作为货位优化的两个目标，并建立了相应的目标函数。

(2)根据遗传算法的思想，本文提出了计算多目标函数的方法，并给出了具体的仓储例子。依据此方法，使用 Matlab 编程仿真，得到了良好的收敛，证明了此算法的正确。

(3)利用 Flexsim 软件，对随机货位分配和分区货位分配的立体仓库进行仿真，以堆垛机运行效率作为主要的比较参数，得出了两种货位分配策略的优劣。

(4)仿真结果表明：对货架货位进行排序，根据此顺序，货品通过 FIFO 进出原则进行依次进出库，其进出库效率比按照单排优先或单列优先的原则进行出入库效率要高；按照货品的 COI 值进行货品的分区存放货品，其存储效率比单排优先或单列优先的原则进行出入库效率要高，但低于货位排序后的随机存放；在安全库存增加时，按照货品的 COI 值进行货品的分区存放的优越性变得明显，随机存放的存储效率下降的明显高于分区存放。

(5)根据九州通实际的系统布置及运行参数，建立了自动化立体仓库物流业务流程虚拟并进行仿真。实现了北京九州通物流业务流程的三维可视化，并重点对其货位分配不同策略的效率进行仿真比较，验证了各种调度策略。

## 第 2 章 立体仓库货位分配及存储策略

### 2.1 自动化立体仓库出入库原则

入库原则从考虑货物入库的角度出发，在实现满足货物入库基本要求的同时，尽可能提高货物入库的效率，还要兼顾货物存储的要求。需要考虑的主要入库原则有分区原则，即把整个立体仓库划分为几个不同的分区，分别存放对应的不同类型，不同特点或不同周转效率的货物；均布原则，即货物应该均匀地分布到不同的巷道，均衡每个巷道的任务，同时避免由于某个巷道的堆垛机发生故障造成某种货物因为集中存放而不能出库的问题；效率原则，即通过最短路径的方法或本文中提到的最优货位选择的方法，获得最佳出入库货位从而使堆垛机行走的距离最少，而存取货物的时间最少；重力原则，考虑到存取方便和安全性因素，较重的物品应尽量存放在低层的货位上。

出库原则，主要是按照先入先出原则作为总的指导思想，兼顾效率原则和均布原则，从而在满足货物出入库要求的同时，更好地提高自动化立体仓库的出库效率。

在设计自动化立体仓库时，应综合考虑上面提到的几种基本出入库原则，从而能够设计出一种满足一般自动化立体仓库作业要求的最佳出入库优化流程的设计方法。下面会简单阐述基本的出入库原则。

#### 2.1.1 分区原则

分区原则就是根据货物特性、货位拣选方式和作业方式的不同，把一个整体的立体仓库，逻辑上划分为几个不同的分区，从而更好的满足不同货物存储要求的同时，也能提高物品出入库效率。ABC 分类法可作为对货位进行分区的很好理论依据。ABC 分析法又称帕雷托(Pareto)分析法、ABC 分类管理法、ABC 动态管理法、重点管理法等。它是根据事物有关方面的特征，进行分类、排队，分清重点和一般，从而有区别地实施管理的一种分析方法。

立体库是不是需要分区，主要取决于仓库的形式以及仓库出、入库频率高低。对于库体较长的仓库，分区才有必要。因为运输设备效率在行程较短的情

况下，主要取决于加速、减速过程，只有在较长行程的情况下，才能体现出运行时间的差异，这样根据货物出入库优先级不同或者货位的周转周期不同来进行分区，才显得很有必要。同样，对于生产量大、出入库频率高的立体仓库有必要分区。对于出入库周期较多的物品则可以安排在出入库台较近的区域，从而更好地满足频繁出入库的要求。如果作业系统的瓶颈在输送机那么就没有必要分区。分区还要考虑所存储物料的性质。如果库中要存放用量大，单盘存放少的物料，则分区才有必要，同时还需要库存中有用量不大的物料存在，分区才有意义。对于一些特殊需求的物品，分区也很有必要。例如，如对于药品而言，就存在不能混放的情况，则也应考虑分区存放，但其分区目的不再是出入库效率的要求。分区也有其自身的特点，以此作为一种功能，系统要保留分区的功能。在实际立体仓库的运作过程中，要不要分区应根据实际情况决定。实际应用中按分区原则的不同，具体有几种分区方法。

### 1)根据货品特性分区

货品特性分区就是根据货品本身固有的性质，将需要特别储存、搬运或分离储存的货品进行分开存放，以保证货品的品质在储存期间保持一定。例如药品的存放就需要考虑分区原则，易串味的药品需要单独一个区域，需低温存放的药品也需要单独物理划区。这里的分区并没有考虑到出入库效率因素，主要是满足物品存放的要求。

### 2)出入库优先级分区

可以根据不同物品出入库的优先级别把整个库区划分成几个部分，优先入库区即离入库台比较近的区域，用来存放需优先入库的物品，优先出库区即离出库台比较近的区域，用来存放需要优先出库的物品，其他没有特定优先级的物品则放在其他的中间区域。这里就是利用提高效率的方法来解决物品优先出入库的问题。一般而言，自动化立体仓库都会有至少三个的分区。

### 3)出入库频率分区

这种分区方法通常对于同一端进行出入库作业的立体仓库系统来说有很大的必要。在这种自动化立体仓库系统中由于物品出入库台都在同一端，则靠近出入库台货位的出入库效率很高，而货架另一端则是效率最低的区域。因此可以把出入库频率较大的物品放在离出入库口近的区域，以充分利用出入库作业的效率。

## 2.1.2 均布原则

如果仅考虑效率原则，则货物的出入库主要集中在离出入库台较近的区域，造成货物堆放出现扇形分布现象，使得某一台堆垛机的利用率过高。均布原则是仓库管理最基本的货位选择原则，其目的是使各种物料均匀分布到各个巷道中去，在提高入、出库效率的同时，避免出现某种物料集中于某一巷道，而当此巷道设备出现问题后造成不能出库的现象。

均布原则基本分为三种，一种是货物的均布，适用于原本仓库中有空货位的情况，可以使物料均匀分布每个巷道中。这种方法多适用于单种入库物料较多的场合，第二种是货位的均布，适用于原本仓库中存在很少的货位，确保每个巷道都有等量多的空货位，也适用于单种入库物料较少的场合第三种是设备负荷的均布，即平均分配每台堆垛机的工作量以充分利用每一台堆垛机的工作量，使其工作负荷基本一致，避免了某堆垛机因频繁使用负载过大而导致使用寿命缩短。三种方式各自适用于不同的应用场合，也有一定的共性。比较而言，货位的均布原则适用性更广一些。

## 2.2 货位存储策略

良好的存储策略可以减少出入/出库移动的距离、缩短作业时间，甚至能够充分利用存储空间。存储策略按大类可分为两种：一种是专用存储策略(Dedicated Storage Polices)；另一种是共享存储策略(Shared Storage Polices)。专用存储策略又可分为定位储放与分类存储，共享存储策略又可分为随机存储、分类随机存储和共享存储。

**定位存储：**每一存储物品都有固定货位，物品不能互用货位，因此须规划物品的货位容量不得小于其可能的最大在库量。定位存储可按周转率大小或出货频率来安排，以缩短入/出库搬运距离，可针对各种物品的特性作货位的安排调整，将不同物品特性间的相互影响减至最小。缺点是货位必须按各项物品之最大在库量设计，因此货区空间平时的使用效率较低。

**分类储放：**所有的存储物品按照一定特性加以分类，每一类物品都有固定存放的位置，而同类的不同物品又按一定的法则来分配货位。分类存储通常按产品相关性、流动性、产品尺寸、重量或产品特性来分类。分类存储的优点是

便于畅销品的存取，具有定位存放的各项优点。各分类的存储区域可根据物品特性再作设计，有助于物品的存储管理。缺点是货位必须按各项物品最大在库量设计，因此货区空间平均的使用效率低。

**随机存储：**每一个物品被指派存储的位置都是经由随机过程所产生的，而且可经常改变，也就是说，任何物品可以被存放在任何可利用的位置。此随机原则通常按货品入库的时间顺序存放于靠近出入口的储位。随机储放的优点是货区空间使用效率较高。缺点是货品入/出库及盘点工作的进行困难度较高，周转率高的物品可能被存放在离入/出口较远的位置，增加了入/出库的搬运距离，具有相互影响特性的物品可能相邻储放，造成物品的伤害或发生危险。

**分类随机存储：**每一类物品有固定存放位置，但在各类货区内，每个货位的分配是随机的。分类随机存储具有分类储放的部分优点，又可节省货位数量，提高货区利用率。缺点是物品入/出库及盘点工作进行困难度较高。

**共享存储：**在确定知道各物品的入/出库时，不同物品可共享相同货位的方式称为共享存储。共享存储在管理上虽然较复杂，所需的存储空间及搬运时间却更为经济。

## 2.3 存储策略优化目标函数建立

### 2.3.1 基本假设

该系统基于如下假设：

(1)该自动化立体仓库系统的存取方式是单元货格式 (Unit Load, 简称 UL)。仓库有一个通道，两个货架，有一台堆垛机，堆垛机可以对每个货架正对通道的一侧进行操作，因为堆垛机在两侧作业情况一样，因此只要考虑一个货架的情况。

(2)货架是矩形，货架的 I/O 处位于货架的左下角。货架的长度  $L$ ，高度  $H$  已知，并且  $L, H$  足够大从而使堆垛机从 I/O 处出发时一定可以达到其在该方向上的最大速度。货架在行程时间是矩形的，即堆垛机从 I/O 处到达货架最远点的垂直和水平方向的时间是不一样的。货架共有  $N$  列， $M$  层，货位长度为  $w$ ，高度为  $h$ 。

(3)系统中有多种货物，且每个托盘只存取一种类型的货物，并且所有的托

盘是相同的。货架上所有货位尺寸都是相同的，并且任意一个托盘都可以存放于货架上的任意一个货位。

(4)系统中对各种货物的需求是固定且已知,且货物之间没有相关性。

(5)堆垛机的运行模式为混合模式，即当存货队列和取货队列中都不为空时，进行双指令（DC）周期作业，当存货队列和取货队列一个为空一个不为空时，进行单指令（SC）周期作业。

(6)堆垛机可以在水平方向和垂直方向上同时运动，并设其在水平和垂直方向上的加减速是线性的。已知水平和垂直方向上的最大速度以及加速度分别为  $V_h$ 、 $V_v$ 、 $A_h$ 、 $A_v$ ，并设水平和垂直方向的减速度与该方向上的加速度在数值上相等。为了简化处理，这里设堆垛机只有一种速度，即最大速度。

(7)堆垛机从货位中取货和放货时间与堆垛机的运行速度，以及货架的形状无关。

根据上述假设得到货架图如下：

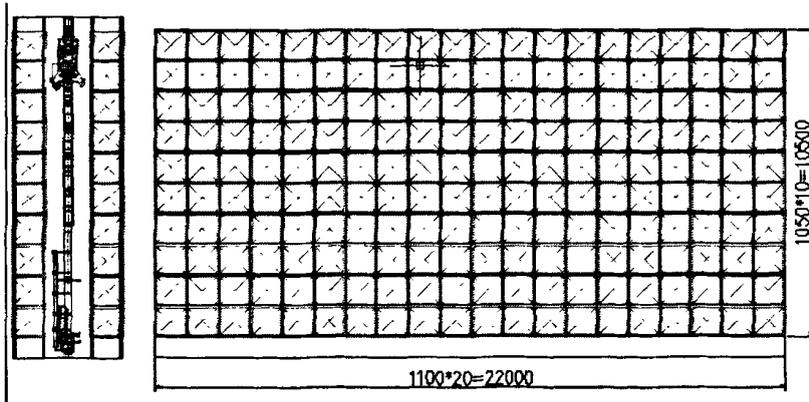


图 2-1 货架基本尺寸

### 2.3.2 目标函数

#### 1)立体仓库基本参数

表 2-1 立体仓库的基本参数：

堆垛机运行水平速度	120m/min	托盘货位高	1050mm
堆垛机运行垂直速度	30m/min	货架层数	10
托盘货位长	1300mm	货架列数	20
托盘货位宽	1100mm	托盘型号	1000x1200mm

2)目标函数

(1)货架货位编号

以堆垛机运行效率最有利为原则进行货位编号，根据上表所示堆垛机水平运行速度 120m/min、垂直运行速度为 30m/min。假定条件为堆垛机水平和垂直加速度一样，则根据货架货位到达出入库口的堆垛机运行时间  $t_{ij} = L \times \frac{i}{V_x} + H \times \frac{(j-1)}{V_y}$  为在不考虑堆垛机启动和制动的情况下，将第 i 列第 j 层货位上的货品搬运到出入库台所用的时间 ( $v_x, v_y$  为堆垛机的水平和垂直运行速度，L, H 为单个货位的长度和高度) 由短到长进行货架的货位编号，如果堆垛机垂直运行和水平运行时间一样则以水平运行时间优先编号，得到编号如下：

181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	140
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	111	112	113	114	139
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	72	73	74	75	107	108	109	110	138
22	23	24	25	26	27	28	41	42	43	44	68	69	70	71	103	104	105	106	137
15	16	17	18	19	20	21	37	38	39	40	64	65	66	67	99	100	101	102	136
4	5	6	11	12	13	14	33	34	35	36	60	61	62	63	95	96	97	98	135
1	2	3	7	8	9	10	29	30	31	32	56	57	58	59	91	92	93	94	134

图 2-2 货架货位编号

其中左下侧为货物 I/O 侧。

(2)货品编号

根据货品的 COI 值为  $I_i$  (COI 为立方体索引号，Heskett 给出的 COI 的计算公式为： $I_i = C_i / f_i$ ，其中  $C_i$  为某种货品储存总量所需的库存容量； $f_i$  为某种货品的出库频率) 货品 COI 值越小，出入库频率越高，应该离出入口越近，所给编号也就越小。

使用 COI 值是因为在货品进行存储时，货架上有一个初始的存货量，虽然某货品出入库频率低，但如果初始存储量比较大，则将其放在 O/I 近的货位会使后续进出库货物所用时间更长。

出入库货品频率和容量：

出入库频率——10 类货物相对比的频率，他们的加权和为 1；

所占货位格数——表示当该类货物存储量最大时需要占据的货位数量。

表 2-2 货品参数

货品	出入库频率	重量 (kg/托)	所占货位格数 (个)
1	0.1	100	50

2	0.2	50	30
3	0.16	40	20
4	0.24	80	40
5	0.1	90	15
6	0.05	100	5
7	0.05	60	10
8	0.04	80	10
9	0.03	70	6
10	0.03	60	14

根据 COI 的计算方式可以计算货品 COI 值如下：

表 2-3 货品 COI 编号

COI 值	出入库频率	重量 (kg/托)	所占货位格数 (个)
100	0.05	100	5
125	0.16	40	20
150	0.2	50	30
150	0.1	90	15
167	0.24	80	40
200	0.05	60	10
200	0.03	70	6
250	0.04	80	10
467	0.03	60	14
500	0.1	100	50

(3)优化函数

根据出入库堆垛机运行时间最少原则，当堆垛机运行时间  $t$  和货品 COI 的乘积之和  $Q$  最小时（出入库频率高的货品对应近的货位），得到一个优化目标条件：

$$\min Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \times COI_{ij} \quad (2-1)$$

$t_{ij}$ ——堆垛机运行到第  $i$  层第  $j$  列货位时运行时间；

$COI_{ij}$ ——第  $i$  层第  $j$  列货位对应的货品 COI 值。

根据上轻下重的原则，仓库每排货架共有 10 层 20 列，设地面层为第一层，

离出入口最近的列为第一列，处在第  $i$  层第  $j$  列的货品重量记为  $W_{ij}$ ，我们货位分配优化目标是每个托盘上货品的质量与其所在层的乘积之和  $S$  最小。得到第二个优化目标条件：

$$\min S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} \times (i-1) \quad (2-2)$$

由上述优化函数可以知道，货位分配需要同时考虑货架的稳定性和存取效率，这是个组合多目标优化问题。

## 2.4 本章小结

本章介绍了自动化立体仓库货位分配的原则，建立了货位分配的优化目标函数。对货位分配问题列出了假设条件，明确了要解决的问题；根据假设给出了一个具体的仓库入库货物信息，由此信息对货架货位进行了编号。

## 第3章 基于 matlab 的静态货位分配优化计算仿真

### 3.1 算法实现

#### 3.1.1 遗传算法简介

遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。总的说来,遗传算法是按不依赖于问题本身的方式去求解问题。它的目标是搜索这个多维、高度非线性空间以找到具有最优适应值(即最小费用的)的点。遗传算法最早由美国的 Holland 教授提出,起源于六十年代对自然和人工自适应系统的研究。七十年代 De Jong 基于遗传算法的思想在计算机上进行了大量的纯数值函数优化计算试验。在一系列研究工作的基础上,八十年代由 Goldberg 进行归纳总结,形成了遗传算法的基本框架。它的基本出发点是仿照自然界优胜劣汰的自然选择原理,将问题的求解形象的表示成为“染色体”的适者生存的过程,即通过复制、交叉和变异等过程使群体中个体的“染色体”一代一代的不断进化,最终找到最适应环境的个体,从而得到该问题的最优解。遗传算法在本质上是一种不依赖具体问题的直接搜索方法。遗传算法在模式识别、神经网络、图像处理、机器学习、工业优化控制、自适应控制、生物科学、社会科学等方面都得到应用。在人工智能研究中,现在人们认为“遗传算法、自适应系统、细胞自动机、混沌理论与人工智能一样,都是对今后十年的计算技术有重大影响的关键技术”。作为强有力且应用广泛的随机搜索和优化方法,遗传算法可能是当今影响最广泛的进化计算方法之一。在过去的几年中,遗传算法界将更多的注意力放在工业工程领域的优化问题上,并由此产生了一批新的应用和研究。

#### 3.1.2 基本遗传算法

基本遗传算法只使用选择算子、交叉算子和变异算子这三种基本遗传算子,其遗传进化操作过程简单,容易理解,是其他一些遗传算法的雏形和基础。

基本遗传算法的构成要素:

(1)染色体的编码方法：基本遗传算法使用固定长度的二进制符号串来表示种群中的个体，其等位基因是由二值符号集{0,1}组成的。初始群体中各个个体的基因值可用均匀分布的随机数来生成。

(2)个体的适应度评价。基本遗传算法按与个体适应度成正比的概率来决定当前群体中每个个体遗传到下一代种群中的机会多少。为了正确计算这个概率，这里要求所有个体的适应度必须为正数或零。这样，根据不同种类的问题，必须预先确定好由目标函数值到个体适应度之间的转换规则。

(3)遗传算子：基本遗传算法有三种遗传算子。

·选择算子使用比例选择算子

·交叉算子使用单点交叉算子

·变异算子使用基本位变异算子或均匀位变异算子

### 3.1.3 基本遗传算法的设计

基本遗传算法是一个迭代过程，它模仿生物在自然环境中的遗传和进化机理，反复将选择算子、交叉算子和变异算子作用于种群，最终可得到问题的最优解和近似最优解。

(1)初始化：设置进化代数计数器  $i=0$ ；设置最大进化代数  $\maxgen$ ；设置遗传算法的几个重要参数(交叉概率  $P_c$ ,变异概率  $P_m$  和群体规模  $N$ )；随机产生  $n$  个个体作为初始种群  $Population(0)$ 。

(2)个体评价：计算群体  $Population(i)$ 中个体的适应度。

(3)选择运算：将选择算子作用于群体，即根据各个个体的适应度，按照一定的规则或方法，从当前群体中选择一些优良的个体遗传到下一代群体中。

(4)交叉运算：将当前群体的各个个体随机搭配成对，对每对个体，以交叉概率  $P_c$  交换它们的部分染色体。

(5)变异操作：将当前群体中每个个体，以变异概率  $P_m$  改变某一个或某一些基因座(染色体由多个基因组成，基因座即基因在染色体中的位置)上的基因值。群体  $Population(i)$ 经过选择、交叉、变异操作后得到下一代的群体  $Population(i+1)$ 。对于  $Population(i+1)$ ,  $Population(i)$ 称为父代；而对于  $Population(i)$ ,  $Population(i+1)$ 称为子代。

(6)终止条件判断。若  $i \leq \maxgen$ ，则  $i=i+1$ ，转步骤 2；否则将当前群体中具有最大适应度的个体作为最优解输出，终止计算。

遗传算法的一般流程如图所示：

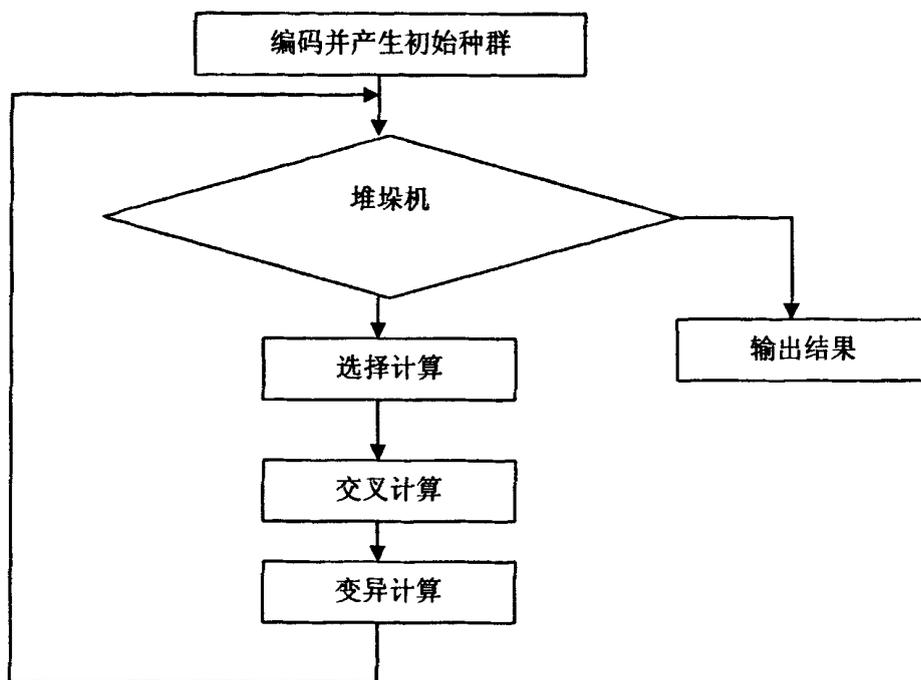


图 3-1 遗传算法的一般流程

Fig4-1 the general process of genetic algorithm

根据上述遗传算法简单介绍，利用遗传算法的设计思想，本文给单个货位货品的位置优劣建立判断方程，通过迭代得出最优货品存储状态。

### 3.1.4 货位分配的计算过程

#### (1)多目标优化问题的单目标简化

使用赋权值的方法把上述多目标问题变成单目标问题，具体方法如下：

$$\begin{cases} \min Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \times COI_{ij} \\ \min S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} \times (i-1) \end{cases}$$

两目标函数分别是求堆垛机利用率最高和货架重心最低的函数，通过对量目标函数赋予权重，不同的仓库类型对两目标的重要性具有不同的要求，这里为了研究的需要，赋予权重相等，分别为 0.5，则多目标函数就变成：

$$\min h = 0.5S + 0.5Q = 0.5 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} \times (i-1) + 0.5 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \times COI_{ij} \quad (3-1)$$

两边各乘 2 得到:

$$\min H = S + Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} \times (i-1) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \times COI_{ij} \quad (3-2)$$

(2)进行初始分配, 随机给货品赋给一个货位, 根据表 3-3 的内容, 假设货架满货时 (也就是没有空货位存在)。不同的货品所占货位格数已给出。

(3)货品赋给的货位正确与否的判断条件, 任意选取第  $i$  行第  $j$  列货品其对应的重量为  $W_{ij}$ , COI 值为  $COI_{ij}$ , 使用该货品与第  $m$  行第  $n$  列货品其进行比较对应的重量为  $W_{mn}$ , COI 值为  $COI_{mn}$ , 把第  $i$  行第  $j$  列货品的 H 值与第  $m$  行第  $n$  列货品的 H 值进行求和得到式 5:

$$he1 = W_{ij} \times (i-1) + t_{ij} \times COI_{ij} + W_{mn} \times (m-1) + t_{mn} \times COI_{mn} \quad (3-3)$$

然后再把第  $i$  行第  $j$  列货品与第  $m$  行第  $n$  列货品互换, 同时计算其和得到式 6:

$$he2 = W_{ij} \times (m-1) + t_{mn} \times COI_{ij} + W_{mn} \times (i-1) + t_{ij} \times COI_{mn} \quad (3-4)$$

把式 5 和式 6 进行比较, 如果式 5 大于式 6, 则第  $i$  行第  $j$  列货品与第  $m$  行第  $n$  列货品不进行互换, 反之, 进行互换。

(4)重复第三步骤, 直到每个货位上的货品与其他每个货位上货品进行比较完成, 这样得到一个最优的货位分配方案。

上述算法流程如图 3-2 所示:

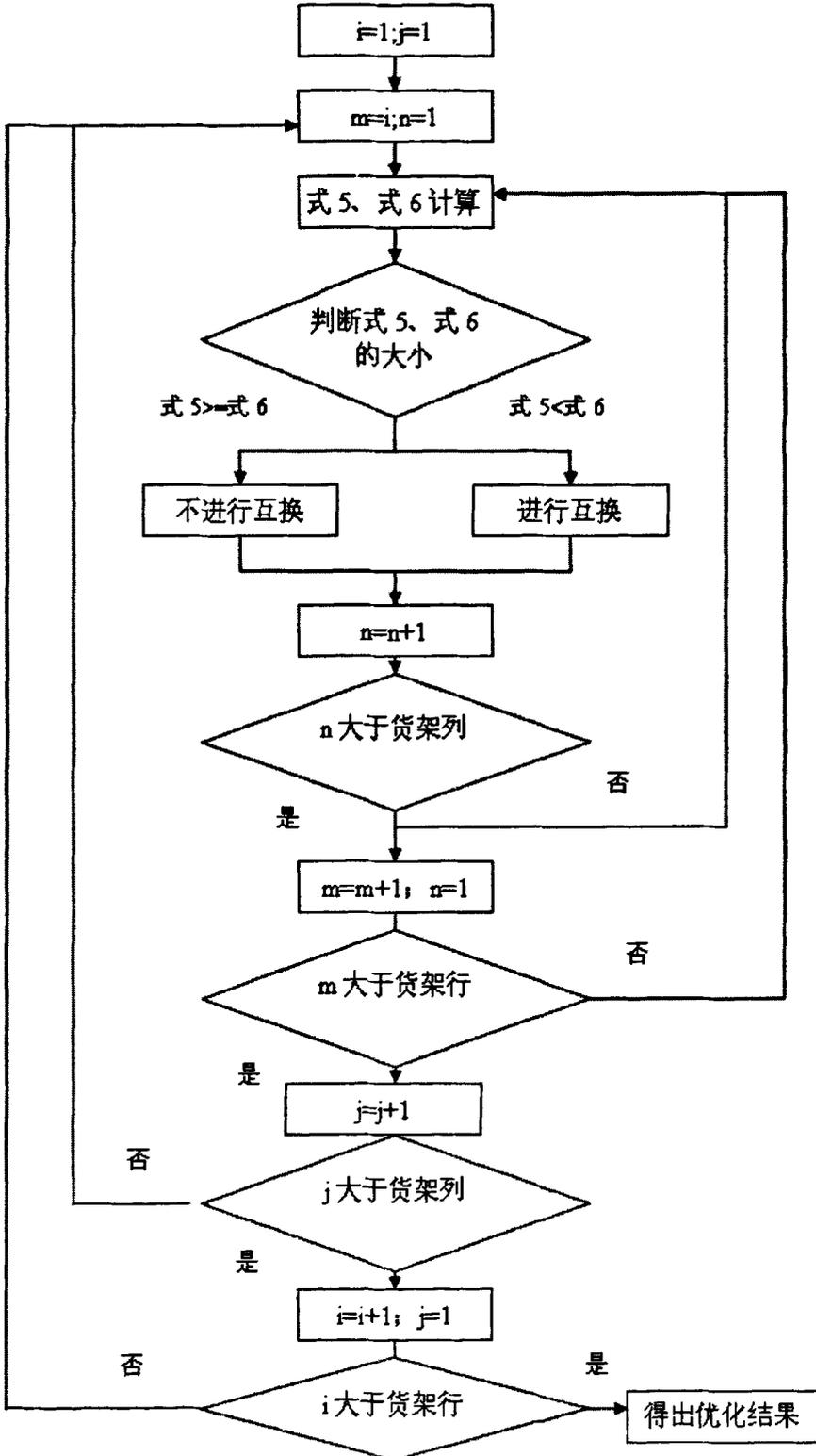


图 3-2 算法流程图

## 3.2 matlab 简介

Matlab(Matrix Laboratory)为美国 Mathworks 公司 1983 年首次推出的一套高性能的数值分析和计算软件。Matlab 将矩阵运算、数值分析、图形处理、编程技术结合在一起, 为用户提供了一个强有力的科学及工程问题的分析计算和程序设计工具, 它还提供了专业水平的符号计算、文字处理、可视化建模仿真和实时控制等功能, 是具有全部语言功能和特征的新一代软件开发平台。

Matlab 已发展成为适合众多学科, 多种工作平台、功能强大的大型软件。在欧美等国家的高校, Matlab 已成为线性代数、自动控制理论、数理统计、数字信号处理、时间序列分析、动态系统仿真等高级课程的基本教学工具。成为攻读学位的本科、硕士、博士生必须掌握的基本技能。在设计研究单位和工业开发部门, Matlab 被广泛的应用于研究和解决各种具体问题。在中国, Matlab 也已日益受到重视, 短时间内就将盛行起来, 因为无论哪个学科或工程领域都可以从 Matlab 中找到合适的功能。

一种语言之所以能如此迅速地普及, 显示出如此旺盛的生命力, 是由于它有着不同于其他语言的特点, 正如同 FORTRAN 和 C 等高级语言使人们摆脱了需要直接对计算机硬件资源进行操作一样, 被称作为第四代计算机语言的 Matlab, 利用其丰富的函数资源, 使编程人员从繁琐的程序代码中解放出来。Matlab 最突出的特点就是简洁。Matlab 用更直观的, 符合人们思维习惯的代码, 代替了 C 和 FORTRAN 语言的冗长代码。Matlab 给用户带来的是最直观, 最简洁的程序开发环境。以下简单介绍一下 Matlab 的主要特点:

(1)语言简洁紧凑, 使用方便灵活, 库函数极其丰富。MATLAB 程序书写形式自由, 利用起丰富的库函数避开繁杂的子程序编程任务, 压缩了一切不必要的编程工作。由于库函数都由本领域的专家编写, 用户不必担心函数的可靠性。可以说, 用 Matlab 进行科技开发是站在专家的肩膀上。

(2)运算符丰富。由于 Matlab 是用 C 语言编写的, Matlab 提供了和 C 语言几乎一样多的运算符, 灵活使用 Matlab 的运算符将使程序变得极为简短。

(3)Matlab 既具有结构化的控制语句(如 for 循环, while 循环, break 语句和 if 语句), 又有面向对象编程的特性。

(4)程序限制不严格, 程序设计自由度大。例如, 在 Matlab 里, 用户无需对矩阵预定义就可使用。

(5)程序的可移植性很好，基本上不做修改就可以在各种型号的计算机和操作系统上运行。

(6)Matlab 的图形功能强大。在 FORTRAN 和 C 语言里，绘图都很不容易，但在 Matlab 里，数据的可视化非常简单。Matlab 还具有较强的编辑图形界面的能力。

(7)Matlab 的缺点是，它和其他高级程序相比，程序的执行速度较慢。由于 Matlab 的程序不用编译等预处理，也不生成可执行文件，程序为解释执行，所以速度较慢。

(8)功能强大的工具箱是 Matlab 的另一特色。Matlab 包含两个部分：核心部分和各种可选的工具箱。核心部分中有数百个核心内部函数。其工具箱又分为两类：功能性工具箱和学科性工具箱。功能性工具箱主要用来扩充其符号计算功能，图示建模仿真功能，文字处理功能以及与硬件实时交互功能。功能性工具箱用于多种学科。而学科性工具箱是专业性比较强的，如 control、toolbox、signal processing toolbox、communication toolbox 等。这些工具箱都是由该领域内学术水平很高的专家编写的，所以用户无需编写自己学科范围内的基础程序，而直接进行高、精、尖的研究。

(9)源程序的开放性。开放性也许是 Matlab 最受人们欢迎的特点。除内部函数以外，所有 Matlab 的核心文件和工具箱文件都是可读可改的源文件，用户可以通过对源文件的修改以及加入自己的文件构成新的工具箱。

### 3.3 货位优化的 matlab 仿真

通过上面求解过程，在 Matlab 中进行编码计算，计算代码如下：

```
%初始化
```

```
for i=1:10
```

```
    for j=1:20
```

```
        for m=i:10
```

```
            for n=1:20
```

```
                chuizhi=i*1.05/0.3;
```

```
                shuiping=j*1.1/1.20;
```

```
                if chuizhi>shuiping
```

```

    p=chuzhi;
    else p=shuiping;
end
    chuzhi=m*1.05/0.30;
    shuiping=n*1.1/1.20;
    if chuzhi>shuiping
        q=chuzhi;
    else q=shuiping;
    end
    heij=p*COI(i,j)+WEIGHT(i,j)*(i-1)*1.05+q*COI(m,n)+WEIGHT(m,n)*(m-1)*1.05;
    hemn=q*COI(i,j)+WEIGHT(i,j)*(m-1)*1.05+p*COI(m,n)+WEIGHT(m,n)*(i-1)*1.0
5;

    %计算单个货位的总值
    if heij>hemn
        z1=COI(i,j);
        COI(i,j)=COI(m,n);
        COI(m,n)=z1;
        z2=WEIGHT(i,j);
        WEIGHT(i,j)=WEIGHT(m,n);
        WEIGHT(m,n)=z2;
    %选择优化货位并进行替代
    end
end
end
s2=rem(BIANHAO,20);
for t1=1:10
    for t2=1:20
        if (t1-1)*1.05/0.3>t2*1.1/1.2
            t(t1,t2)=(t1-1)*1.05/0.3;
        else t(t1,t2)=t2*1.1/1.2;
        end
    end
end

```

```

end
end
k=(i-1)*20+j;
Q(k)=ones(1,10)*(t.*COI)*ones(20,1);
S(k)=(0:9)*(s2.*WEIGHT)*ones(20,1);
H(k)=ones(1,10)*(t.*COI)*ones(20,1)+(0:9)*WEIGHT*ones(20,1)
%计算目标函数最终解的和
end
end
plot(Q);
plot(S);
plot(H);
%图表输出

```

### 3.4 计算结果分析

#### 3.4.1 目标函数值

1)计算过程中目标函数 H 值的变化

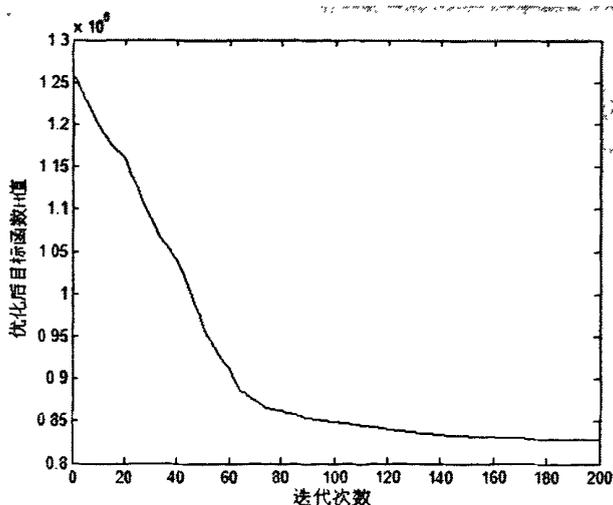


图 3-3 H 函数值变化曲线

从图中曲线可以看出：通过函数的迭代，目标函数总值 H 随着迭代次数的增加而下降，在次数 180 到 200 此之间，函数值基本上没有太大的变化，可以

看出迭代已经基本达到收敛。

目标函数总值  $H$  开始迭代时为  $1.2554 \times 10^6$ ，迭代完成后  $H$  值为  $8.2887 \times 10^5$ 。

2) 计算过程中目标函数  $Q$  的变化

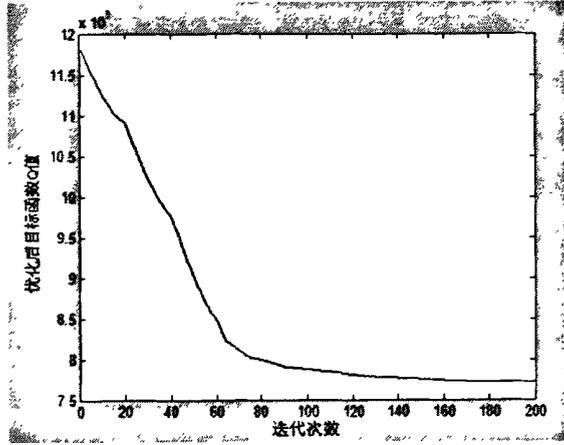


图 3-4  $Q$  函数值变化曲线

目标函数  $Q$  是关于堆垛机运行效率的函数，由变化曲线可以看出，在迭代过程中堆垛机运行总效率不断提高，和  $H$  函数变化对应，在 180 到 200 之间，函数基本上达到收敛，不再有很大的变化。

迭代开始时目标函数  $Q$  值为  $1.1798 \times 10^6$ ，迭代结束值为  $7.7184 \times 10^5$ 。

3) 计算过程中目标函数  $S$  的变化

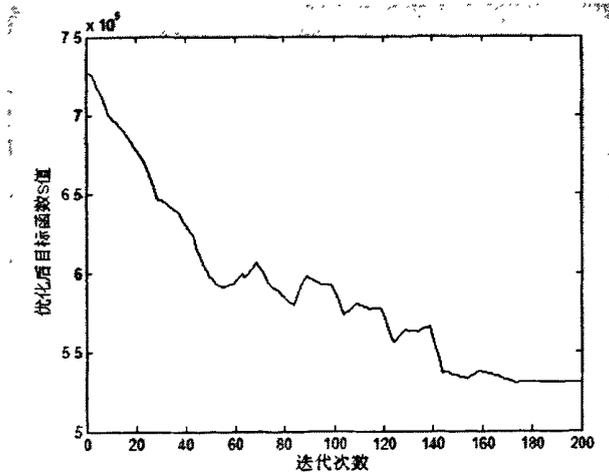


图 3-5  $S$  函数值变化曲线

目标函数  $S$  是关于货架重心的函数，由变化曲线可以看出，在迭代过程中货架重心不断下降，在下降过程中，稍微有些波动，是因为为了达到  $H$  目标函数要达到最小， $S$  函数可能在迭代时变大。和  $H$  函数变化对应，在 180 到 200

之间，函数基本达到收敛，不再有很大的变化。

迭代开始时目标函数  $S$  值为  $7.271.3 \times 10^5$ ，迭代结束后为  $5.312 \times 10^5$ 。验证  $H=Q+S$ ，迭代开始时  $1.2554 \times 10^6 = 1.1798 \times 10^6 + 7.271.3 \times 10^5$ ，迭代结束后  $8.2887 \times 10^5 = 7.7184 \times 10^5 + 5.312 \times 10^5$ 。

### 3.4.2 优化后货品分配矩阵

#### 1) 优化后货品 COI 值矩阵

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
2	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
3	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467
4	467	467	467	467	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	200	200	200	200	200
5	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167
6	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167
7	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
8	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
9	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	125	125	125	125	125
10	100	100	100	100	100	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

图 3-6 优化后对应 COI 值

#### 2) 优化后对应货品的重量矩阵

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
4	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	70	70	70	70	70	70
5	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
6	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
7	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
8	90	90	90	90	90	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
9	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	40	40	40	40	40
10	50	50	50	50	50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

图 3-7 优化后对应货品重量值

通过表 2-3 的货品 COI 和重量的赋值，同时对照上面货品的 COI 值和重量进行，就能得出最终货品的货位分配矩阵。

## 3.5 本章小结

本章首先介绍了静态货位分配的算法实现，通过使用 Matlab 软件对货品货位优化函数进行了编码求解，得出了最优货品货位分配，并对最终分配情况求出了最小目标函数值。

## 第 4 章 基于 flexsim 的动态货位分配仿真

### 4.1 Flexsim 软件介绍

目前仿真领域有许多仿真软件，一些主流的仿真软件如 witness，Em-Plant 等诸种数据的统计分析，而忽略模型的可视性。虽然这些软件也带有三维显示功能，但是功能不强，或者该方面的功能模块过于昂贵，在实际应用并不是很多。Flexsim 是目前最新的采用 VR 技术的三维仿真软件，不仅带有强大的数据统计分析功能，还有强大的三维显示功能。

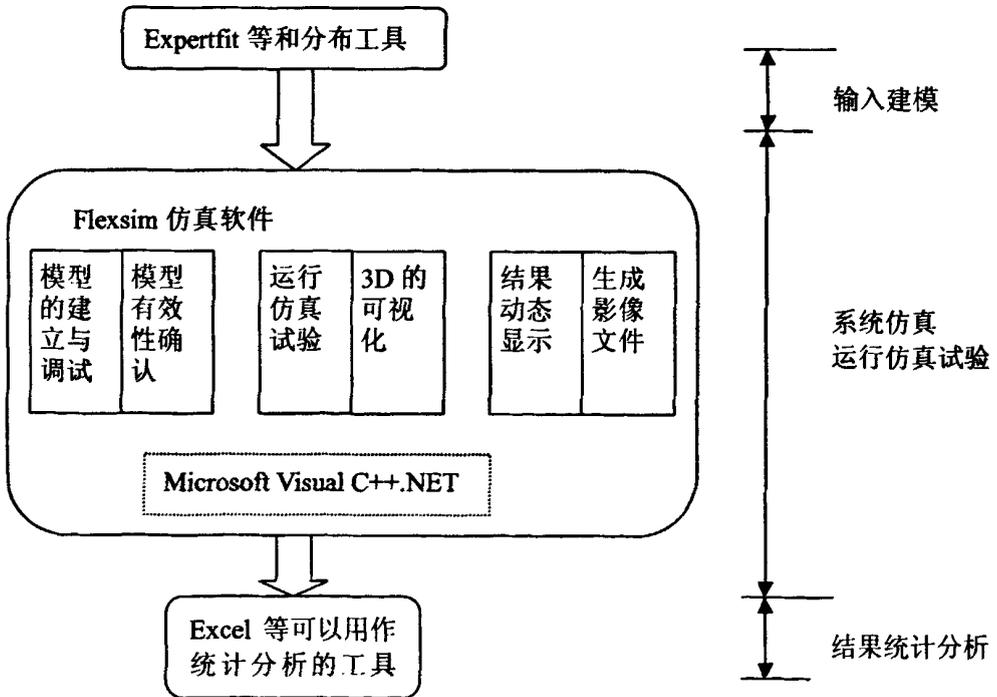


图 4-1 Flexsim 软件总体结构

Flexsim 是由美国的 Flexsim Software Production 公司出品的，是一款商业化离散事件系统仿真软件。Flexsim 采用面向对象技术，并具有三维显示功能。建模快捷方便和显示能力强大是该软件的重要特点。该软件提供了原始数据拟和、输入建模、图形化的模型构建、虚拟现实显示、运行模型进行仿真试验、

对结果进行优化、生成 3D 动画影像文件等功能，也提供了与其他工具软件的接口。图 4-1 是 Flexsim 软件及其构成模块的结构图。

Flexsim 提供了仿真模型与 Expertfit 和 Execl 的接口，可以同过 Expertfit 对输入数据进行分布拟合，同时可以在 Execl 中方面地实现和仿真模型之间的数据交换，包括输出和运行模型过程中动态修改运行参数等。另外该软件还提供了优化模块 Optquest，增加了帮助迅速建模的 Microsoft Visio 的接口。

Flexsim 仿真软件的特点主要体现在采用面向对象技术，突出 3D 显示效果，建模和调试简单开放方便，模型的扩展性强，易于和其他软件配合使用等方面。

## 4.2 基本问题

### 1) 仓库的形式

采用第三章提供的仓库货格数据，根据现在常用的仓库类型，选用封闭式仓储形式进行仿真分析。

### 2) 堆垛机的工作方式

堆垛机有两种运作模式，双指令周期（DC）和单指令周期（SC），堆垛机的这两种运行方式。

#### (1) 单一式作业方式

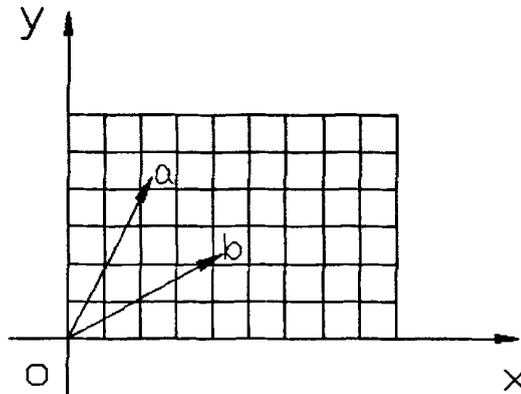


图 4-2 单一作业方式

如图 4-2 所示，假设 a 点为入库作业，b 点为出库作业，在单一作业方式下，堆垛机进行作业时，要先进行入库作业，空机返回，再空机到 b 点，进行出库作业。

#### (2) 复合作业方式

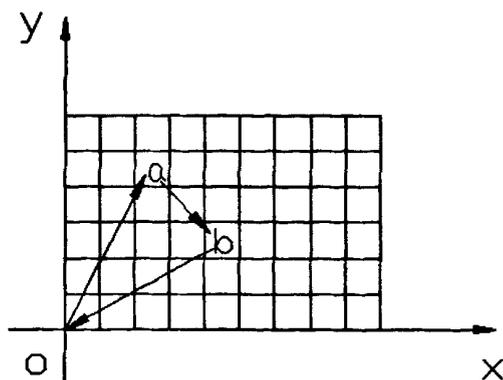


图 4-3 复合作业方式

如图 4-3 所示，同样假设 a 点为入库作业，b 点为出库作业；复合作业方式下，堆垛机先进行入库到达 a 点，然后空机到达 b 点进行出库作业。

由这两种堆垛机的工作方式的图形比较，可以很清楚得到堆垛机采用复合作业方式显然比单一作业方式效率要高。结合货物到达的实际情况（出库和入库可能不是同时进行），堆垛机采用混合作业方式进行作业，混合作业方式是堆垛机在有货物同时进出库作业时采用复合作业方式进行堆取作业，在只有入库作业或只有出库作业时采用单一作业方式进行作业。

### 3) 入库时货位分配的策略

根据现今使用仓储的实际情况，采用随机存放和分区存放两种方式进行存放。

在随机存放的原则下，每一个货物进入货架时的货位都是随机分配的，即货架上的每一个货位都有相同的概率被分配到某种货物。此随机原则通常按货品入库的时间顺序储放于靠近出入口的储位。随机存放的优点：由于储位可共享，因此只需按所有库存货品最大在库量设计即可，储区空间的使用效率较高。其缺点是货品的出入库管理及盘点工作的进行较困难；周转率高的货品可能被储放在离出入口较远的位置，增加了出入库的搬运距离；具有相互影响特性的货品可能相邻储放，造成货品的伤害或发生危险。因此随机存放较适用于以下两种情况即厂房空间有限，需尽量利用储存空间和种类少或体积较大的货品。

在分区存放的原则下，所有的货物都按照一定特性加以分类，每类货物都有固定存放的位置，而同属一类不同货品又按一定的法则来分配货位。分类存放通常按产品相关性、流动性、产品尺寸、重量或产品特性来分类。分类存放的优点是便于畅销品的存取，具有定位储放的各项优点；各分类的储存区域可

根据货品特性再作设计，有助于货品的储存管理。其缺点是储位必须按各类货品最大在库量设计，因此储区空间平均的使用效率低。分类储放较定位储放具有弹性，但也有与定位储放同样的缺点。因而较适用于以下情况：

- (1)产品相关性大者，经常被同时订购；
- (2)周转率差别大者；
- (3)产品尺寸相差大者。

#### 4) 出库策略

出库策略采用先进先出（First in First out）原则，在货架上的货物按照存放时间进行出库。

### 4.3 基本实体设置

Flexsim 软件的模型对象选用方式为：直接从模型库进行选用，拖入到工作空间进行使用，得到基本模型图 4-4：

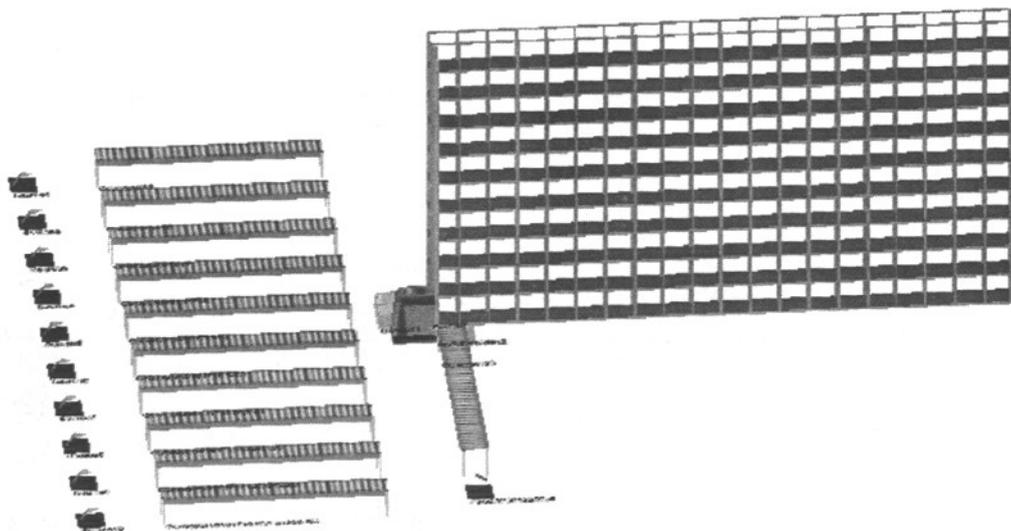


图 4-4 基本模型

对实体进行连接操作，然后对实体进行参数设置，具体设置如下：

#### 1) Source 的选用和参数设置

根据第 2 章表 2-3 拖动十个 Source 对象到工作界面，每个 Source 对象对应产生一种货品随机序列，同时对每个 Source 对象进行参数设置。

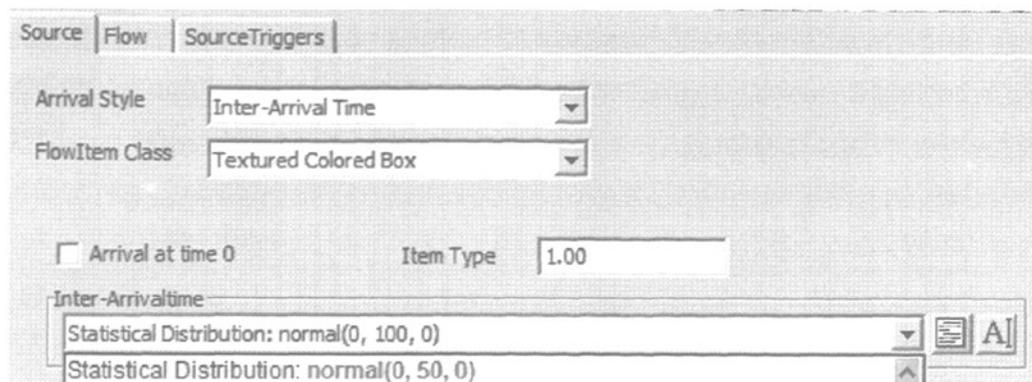


图 4-5 Source 设置

到达方式采用间隔时间到达，货物类型选用 flexsim 软件自带的 flexsimbox，货物类型根据表 2-3 对货品进行的 COI 编号，设置每个 Source 上 Item Type 类型分别为 1、2、3、4...10；Inter-Arrivaltime 采用 Statistical Distribution（统计函数）进行货品的产生，选用 normal(正态)函数货品到达。由上图所示给表 COI 最小的货品设置为类型“1”，分布函数为  $\text{normal}(100,1,0)$ 表示按照正态函数分布每一百个仿真时间产生一个类型为“1”的货品。按照表 2-3 给出的货品入库频率得出各个货品的入库函数分别为： $\text{normal}(100,1,0)$ 、 $\text{normal}(31.25,1,0)$ 、 $\text{normal}(25,1,0)$ 、 $\text{normal}(50,1,0)$ 、 $\text{normal}(20.83,1,0)$ 、 $\text{normal}(100,1,0)$ 、 $\text{normal}(166.7,1,0)$ 、 $\text{normal}(125,1,0)$ 、 $\text{normal}(166.7,1,0)$ 、 $\text{normal}(50,1,0)$ 。

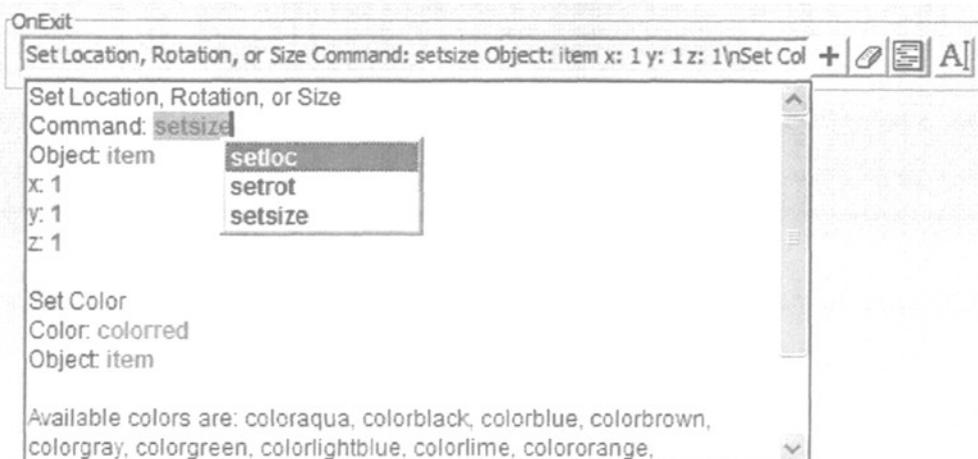


图 4-6 SourceTriggers 设置

只进行 OnExit 设置，出 Source 时对货物进行尺寸和颜色的设置。十种货物出 Source 时尺寸都设置为单元尺寸，颜色分别设置为：colored、colorblue、colorpink、coloryellow、colorwhite、colororange、colorblack、colorteal、colorbrown、colorlime。

### 2) Conveyor 的选用和参数设置

给每个 Source 一个配套 Conveyor，拖动十个 Conveyor 到工作界面，并对应于各自的 Source 进行连线和配对。Conveyor 的作用主要是进行缓冲和方便货品出入的可视化。因此其设置参数按照系统给定参数不变，为了美观，将其尺寸变为单元 8。

### 3) Queue 的选用和参数设置

Queue 的主要作用时用作缓冲，设置 Queue 最大的容量为 10 个货品。Input 采用 first available open all ports 最先有用的出口进行货品流出，Use Transport 使用 Transport（搬运设备）进行货品输出。Input 不进行设置。

### 4) Conveyor 的选用和参数设置

堆垛机的设置主要是对其速度进行设置，在本文中，堆垛机的水平速度为 120m/min，垂直速度为 30m/min。但是在软件实现时（因为软件没有单位），我们只要求把握水平与垂直速度的比例关系，对堆垛机速度设置为，水平速度设置为 12，垂直速度设置为 3，设置其加速度为 800，基本可忽略其加速度对模型的影响。

## 4.4 Rack 货架的设置

货架是货位分配模型进行设置的主体，货架参数如图 4-7 所示：

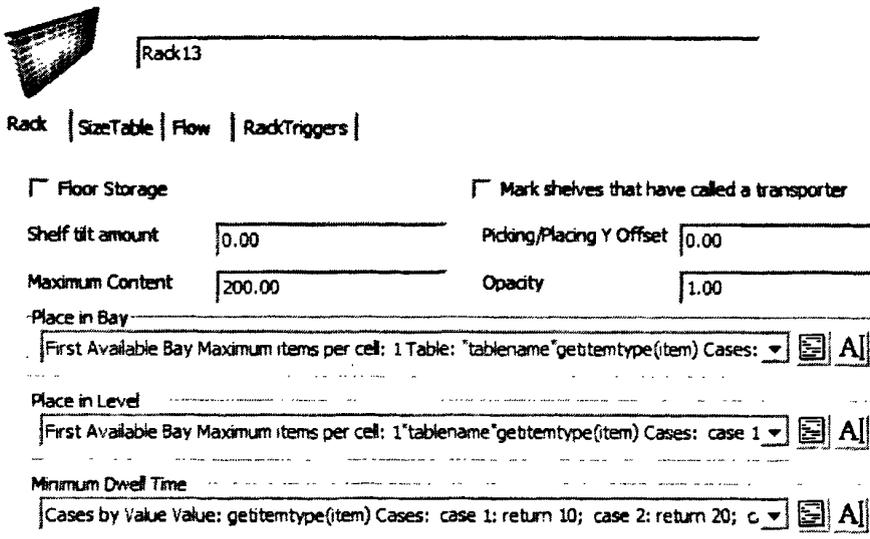


图 4-7 货架的设置

基本设置：货架的容量为 200，单元货格的容量为 1。

#### 4.4.1 货品入库设置

货架货品入库设置，就是给进入货架的货品分配合适的货位，分三种情况进行考虑：

情况 1：按照行优先或列优先的原则，从 I/O 口最近的行或列依次进行货品货位分配。使用软件自带的分配策略进行分配，选用策略为：

**Place in bay:** First Available Bay

**Place in level:** First Available level

情况 2：按照堆垛机到货位运行时间从小到大对货品进行货位随机分配，运行时间短的货位优先进行入库作业。由第 2 章图 2-2（货架货位编号图）可以得到各个货位分配的优先顺序，把货位的行和列依照此编号顺序写入 excel 表格，然后把表格导入到 flexsim 软件的 Global Table 中，取名为 tabletime。导入后如图 4-8 所示：

	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10	Col 11	Col 12	Col 13	Col 14
Row 1	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	4.00	5.00	6.00	7.00
Row 2	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00

图 4-8 Global Table 表

然后进行货架的行、列设置：

**Place in bay:**

```
treenode item = parnode(1);
```

```
treenode current = ownerobject(c);
```

```
int cellcap = 1;
```

```
string tablename = "tablename"
```

```
for(int col=1;col<=200;col++)
```

```
{if(rackgetcellcontent(current,gettablenum(tablename,1,col),gettablenum(tablename,2,col))<cellcap)
```

```
return gettablenum(tablename,1,col);
```

```
}
```

**Place in level:**

```

treenode item = parnode(1);
treenode current = ownerobject(c);
double baynumber = parval(2);
int cellcap = 1;
int nroflevels = rackgetnroflevels(current,baynumber);
for(int index = 1; index <= nroflevels ; index ++)
{
    if(rackgetcellcontent(current, baynumber, index ) < cellcap)
        return index ;
}
return 1;

```

情况 3: 根据图 4-8 对不同货品进行货位分区分配, 分配完成后, 按照堆垛机到货位运行时间从小到大对货品进行货位分配, 运行时间短的货位优先进行入库作业, 货架的行、列设置为:

**Place in bay:**

```

treenode item = parnode(1);
treenode current = ownerobject(c);
int cellcap = 1;
string tablename = "tablename";
int value = getitemtype(item);
switch(value)
{
case 1: for(int col0=1;col0<=5;col0++)
    {if(rackgetcellcontent(current,gettablenum(tablename,1,col0),gettablenum(tablename,2,col0))<cellcap)
        return gettablenum(tablename,1,col0);};
case 2: for(int col1=6;col1<=25;col1++)
    {if(rackgetcellcontent(current,gettablenum(tablename,1,col1),gettablenum(tablename,2,col1))<cellcap)
        return gettablenum(tablename,1,col1);};
}

```

```

case 3: ..... (同 case 1、2, 省略)
.....
default: return 0;
}
Place in level:
treenode item = parnode(1);
treenode current = ownerobject(c);
int cellcap = 1;
string tablename = "tablename";
int value = getitemtype(item);
switch(value)
{
case 1: for(int col0=1;col0<=5;col0++)
    {if(rackgetcellcontent(current,gettablenum(tablename,1,col0),gettablenum(table
name,2,col0))<cellcap)
    return gettablenum(tablename,2,col0);};
case 2: for(int col1=6;col1<=25;col1++)
    {if(rackgetcellcontent(current,gettablenum(tablename,1,col1),gettablenum(table
name,2,col1))<cellcap)
    return gettablenum(tablename,2,col1);};
.....
case 0:.....
default: return 0;
}

```

表 2-3 对应货品 COI 从 1-10 所需的货格分别为：5、10、30、15、40、10、6、10、14、50。选择对应的货格，把货架进行划分为十个部分，按照货品 COI 编号从小到大划分对应的所需要的货格数量，划分结果如图 4-9 所示：

181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200		
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	货品10分区		174	175	176	177	178	179	180		
141	142	货品9分区			146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160		
115	货品6分区			118	119	120	121	122	货品7分区			125	126	127	128	货品8分区		131	132	133	140
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	货品6分区			114	货品1分区		
45	46	47	48	49	50	51	货品3分区		54	55	72	73	74	75	货品5分区		107	108	109	110	118
22	23	24	25	26	27	28	41	42	43	44	68	69	70	71	103	104	105	106	137		
15	16	货品2分区		19	20	21	37	38	39	40	64	货品4分区		67	99	100	101	102	货品5分区		
货品1分区		6	11	12	13	14	33	34	35	36	60	61	62	63	95	96	97	98	货品1分区		
1分区	3	7	8	9	10	29	30	31	32	56	57	58	59	91	92	93	94	14			

图 4-9 货架分区图

#### 4.4.2 货品出库设置

货品的出库设置是按照一定的出库策略进行出库设置，在本文中，以不同货品在货架上的不同存储时间作为货品出库的触发。

在 4.2 节对 Source 设置时，是按照表 2-3 货品出入库频率得出的货品产生函数，表 2-3 中同时还列出了货品所占货格数量，例如保证每种货品有其占货位数的 40% 作为安全库存。货品入库函数分别为： $normal(100,1,0)$ 、 $normal(31.25,1,0)$ 、 $normal(25,1,0)$ 、 $normal(50,1,0)$ 、 $normal(20.83,1,0)$ 、 $normal(100,1,0)$ 、 $normal(166.7,1,0)$ 、 $normal(125,1,0)$ 、 $normal(166.7,1,0)$ 、 $normal(50,1,0)$ ，要保证 40% 的安全库存，得到计算公式：

$$\text{存储时间} = \text{货品容量} \times 40\% \times \text{单位货品产生时间}$$

各货品在货架上的存储时间相应为：200、250、300、300、333.4、400、400、500、600、1000。

在 flexsim 中实现，如图 4-10 所示进行设置：

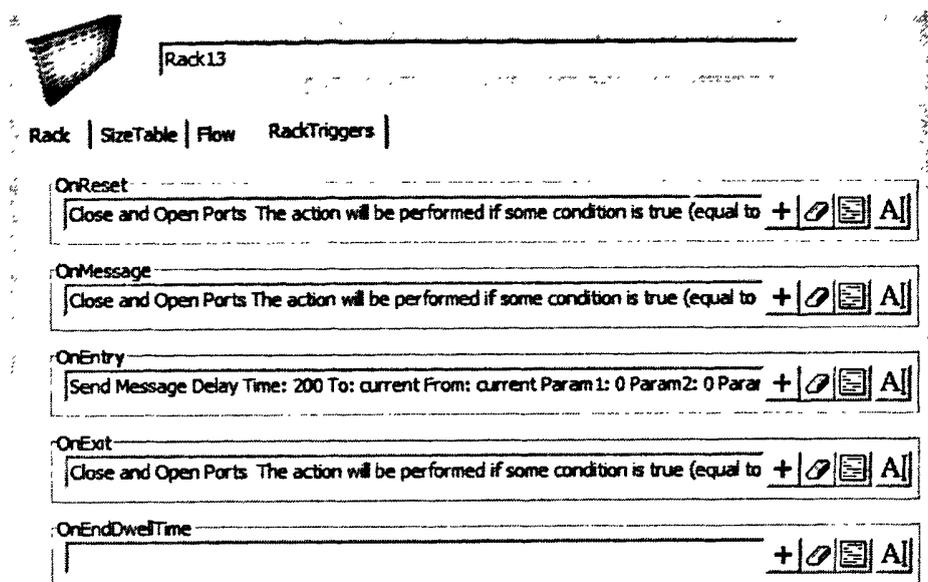


图 4-10 货品出库设置

OnReset:复位时设置为关闭输出;

OnMessage: 具有信号时设置为打开输出;

OnEntry: 货品进入时设置其存储时间, 时间完成就发送一个 message, 具体设置代码:

```

treenode item = parnode(1);
treenode current = ownerobject(c);
int port = parval(2);
{
int NoDelay = -1;
double delaytime = /**/200/**list:NoDelay~0~10~getlabelnum(current,
"messagedelay")*/;
treenode toobject = /**/current/**/;
treenode fromobject = /**/current/**/;
double param1 = /**/0/**/;
double param2 = /**/0/**/;
double param3 = /**/0/**/;
int condition = /**/true/**/;
if(condition)
{

```

```

if(delaytime == NoDelay)
    sendmessage(toobject,fromobject,param1,param2,param3);
else
    senddelayedmessage(toobject,          max(0,delaytime),
fromobject,param1,param2,param3);
}
}

```

OnExit: 货品输出后设置为关闭输出。

至此，完成了货品出库策略设置。

## 4.5 结果比较与分析

1)仿真结果 1，设置仿真时间为 5000，按照 40%的库存量对不同情况进行仿真，结果得：

情况 1、情况 2、和情况 3，堆垛机运行结束后其空闲比例图：

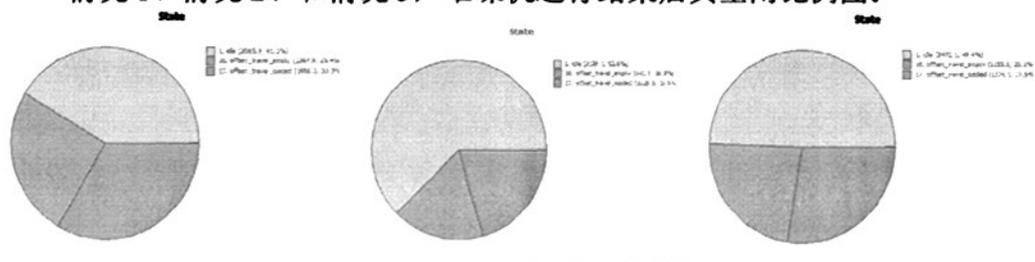


图 4-11 堆垛机空闲率

分区存储的效果图：

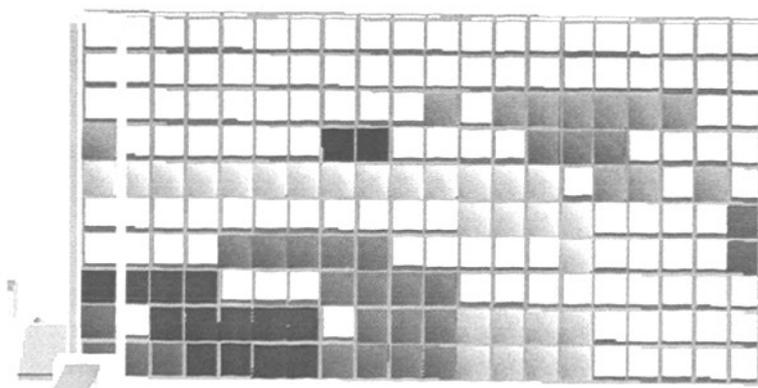


图 4-12 分区存储效果图

### 仿真结果 1 分析:

(1)图 4-11 为堆垛机使用情况分布图, 堆垛机在情况 1 的空闲时间比例为 41.3%; 堆垛机在情况 2 的空闲时间比例为 62.6%; 堆垛机在情况 3 的空闲时间比例为 49.4%。在相同的仿真时间里, 堆垛机的空闲时间显示了货位分配策略的好坏, 情况 1 空闲时间比例最少, 说明堆垛机最繁忙, 出入库耗费时间最长; 情况 2 空闲时间比例多, 说明堆垛机最空闲出入库耗费时间最少; 情况 3 介于两者之间。这个结果也显示了通过对货位分配策略的改进, 在进出库同样多货品时, 明显能缩短堆垛机运行时间, 提高进出库效率; 情况 2 与情况 3 比较可知, 在 40%的安全库存下, 随机存放策略比分区存放策略更优。

(2)图 4-12 为分区存放策略仿真的效果图, 从中能看到, 不同的货品能按照各自赋予的获取进行堆存, 很好的实现了货品分区存储。

2)仿真结果 2, 设置仿真时间为 5000, 按照 60%的库存量对不同的情况进行仿真, 结果得:

情况 1、情况 2、和情况 3, 堆垛机运行结束后其空闲比例图:

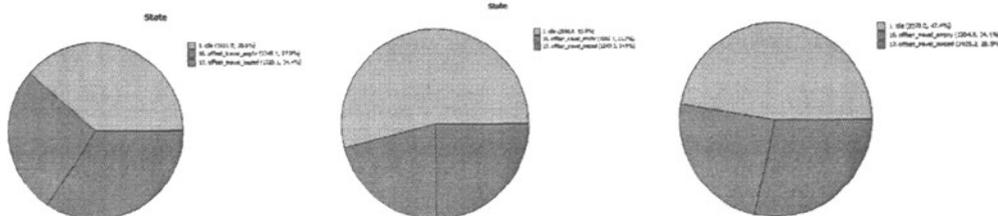


图 4-13 堆垛机空闲率

### 仿真结果 2 分析:

(1)图 4-13 为堆垛机使用情况分布图, 堆垛机在情况 1 的空闲时间比例为 38.6%; 堆垛机在情况 2 的空闲时间比例为 53.9%; 堆垛机在情况 3 的空闲时间比例为 47.4%。在相同的仿真时间里, 堆垛机的空闲时间显示了货位分配策略的好坏, 情况 1 空闲时间比例最少, 说明堆垛机最繁忙, 出入库耗费时间最长; 情况 2 空闲时间比例多, 说明堆垛机最空闲出入库耗费时间最少; 情况 3 介于两者之间。这个结果也显示了通过对货位分配策略的改进, 在进出库同样多货品时, 明显能缩短堆垛机运行时间, 提高进出库的效率; 情况 2 与情况 3 比较可知, 在 60%的安全库存下, 随机存放策略比分区存放策略更优。

(2)仿真结果 1 与仿真结果 2 比较分析: 从 40%库存到 60%库存, 情况 1 堆垛机空闲率由 41.3%变到 38.6%; 情况 2 堆垛机空闲率由 62.6%变到 53.9%; 情

况 3 堆垛机空闲率由 49.4%变到 47.4%。从中可以得出当安全库存增加时，三种情况堆垛机空闲率都下降，说明当安全库存增加，堆垛机在存储货品的货位距离加大，运行时间变长，因此空闲率下降；情况 2 在安全库存增加时，堆垛机的空闲率变化最大，说明在通过一定顺序对出入库进行调度时，库存增加随机式调度策略的作用也相应的下降，分区式货位分配策略作用增加。可以推断，当安全库存增加到一定限度时，分区存储将比随机存储更优。

## 4.6 本章小结

首先简单介绍 flexsim 软件，介绍了仓库的形式，定义了堆垛机工作的形式及选用出库策略和入库策略。然后进行模型的建立，设置了模型的实体参数，使得实体按照一定的策略进行出、入库作业，定义了三种形式的货架出入库策略并进行仿真。得出了三种出入库策略的堆垛机运行效率，分析了堆垛机效率不同的原因，验证了优化的正确性。

## 第 5 章 基于 Flexsim 软件的货位分配仿真应用实例

中国·九州通集团，是一家以医药商业和实业投资为主，以药品批发、物流配送、零售连锁和医药电子商务为核心业务的大型民营企业集团。集团公司现有注册资金 3.2 亿元，拥有总资产 32 亿元、员工 5400 余人、下属企业 30 余家，2004 年实现销售收入达 84 亿元，2005 年实现销售收入 110 亿元，2006 年实现销售收入 128 亿元。据中国医药商业协会统计，九州通集团在全国上万家医药商业企业中位列第三名、其中中国民营医药商业企业第一名；在全国工商联公布的“中国民营企业 500 强”中名列全国第 33 位，湖北省第 1 位。集团拥有完善的营销网络和丰富的市场资源，拥有上游合作伙伴 3500 多家，下游客户 36000 多家，连锁药店 700 多家，经营品种超过 10000 种。

九州通集团北京分公司自动化立体仓库与 2007 年 3 月开始施工，于 2008 年 7 月进入试运行。该立体仓库系统共包括八个巷道，16500 个货位，集自动储存、自动补货、箱件拣选出库于一体，是国内医药流通行业中功能最齐全的也是最为先进的自动化立体仓库。该自动化立体仓库系统的设计完成能力较大，所以需要系统投入使用的过程中可能会出现的问题进行一定的建模与仿真工作。

### 5.1 调研数据

#### 5.1.1 立体仓库运行基本参数

表 5-1 立体仓库运行基本参数表

名称	数据	名称	数据
仓库面积	4000 m <sup>2</sup>	堆垛机高度	22m
仓库高度	23m	输送带条数	43
货架排数	16	托盘型号	1000*1200mm
货架长度	98m	货物堆码方式	自然码放
货架高度	22m	货物进货方式	随机分配

每排货架宽度	1100mm	平均每天进库货物数	1000 托
每排货架货位层数	12	平均每天出库货物数	1000 托
每层货位数	74	堆垛机数目	8
巷道宽度	1600mm	货物包装尺寸	600*400mm
巷道长度	98m	输送机运行速度	16m/min
堆垛机运行水平速度	120m/min	运转能力	45 箱/小时
堆垛机运行垂直速度	30m/min	拣选区货位	13000

### 5.1.2 立体仓库布局图

立体仓库俯视图 1:

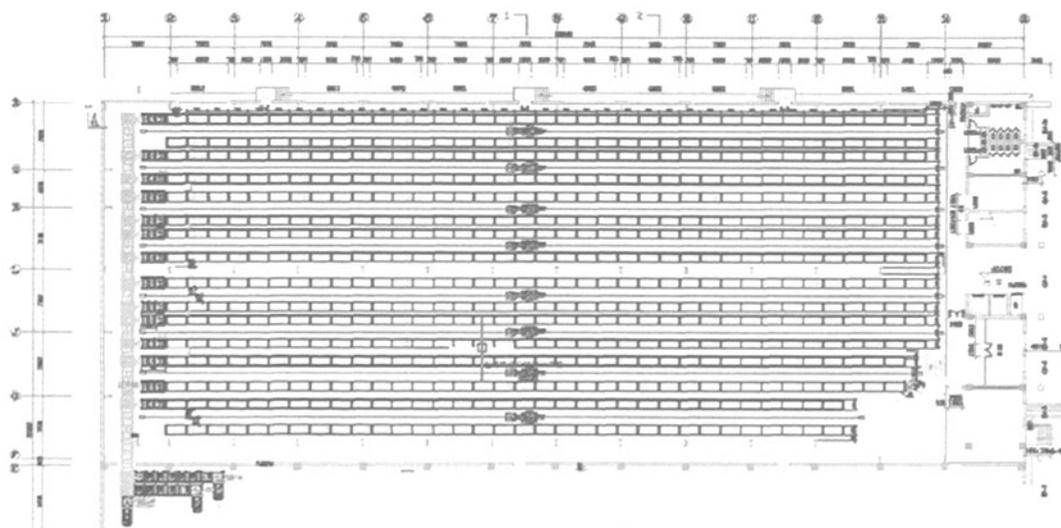


图 5-1 俯视图

立体仓库俯视图 2:

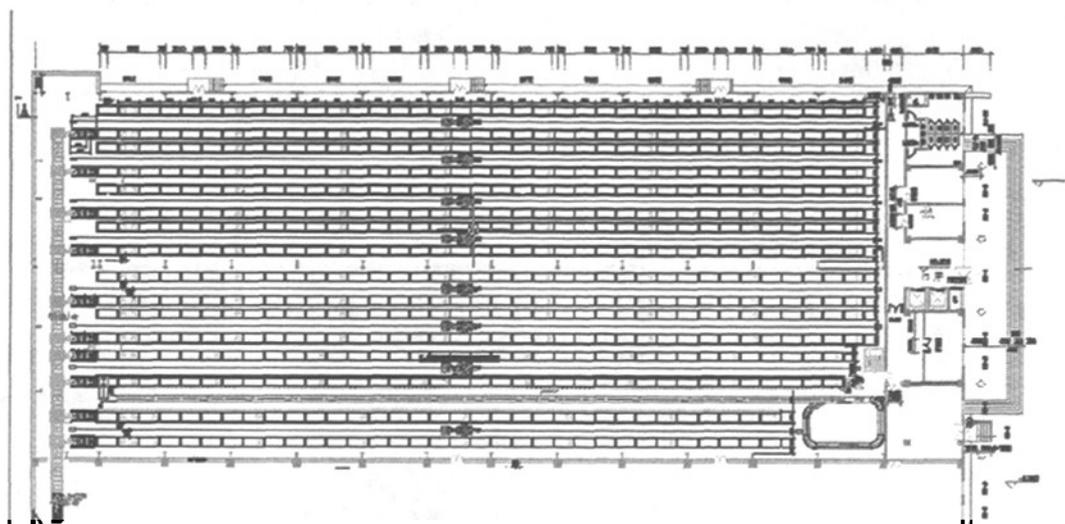


图 5-2 俯视图

立体仓库侧图:

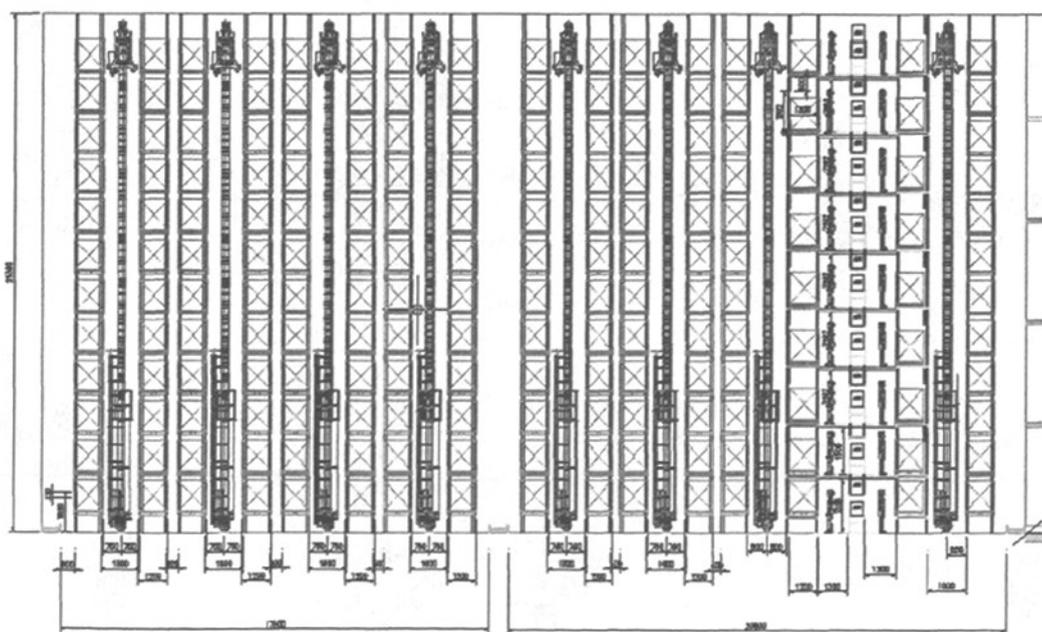


图 5-3 侧视图

## 5.2 建立模型

### (1)模型图

使用 Flexsim 软件依据 5.1 节所给出数据建立模型图:

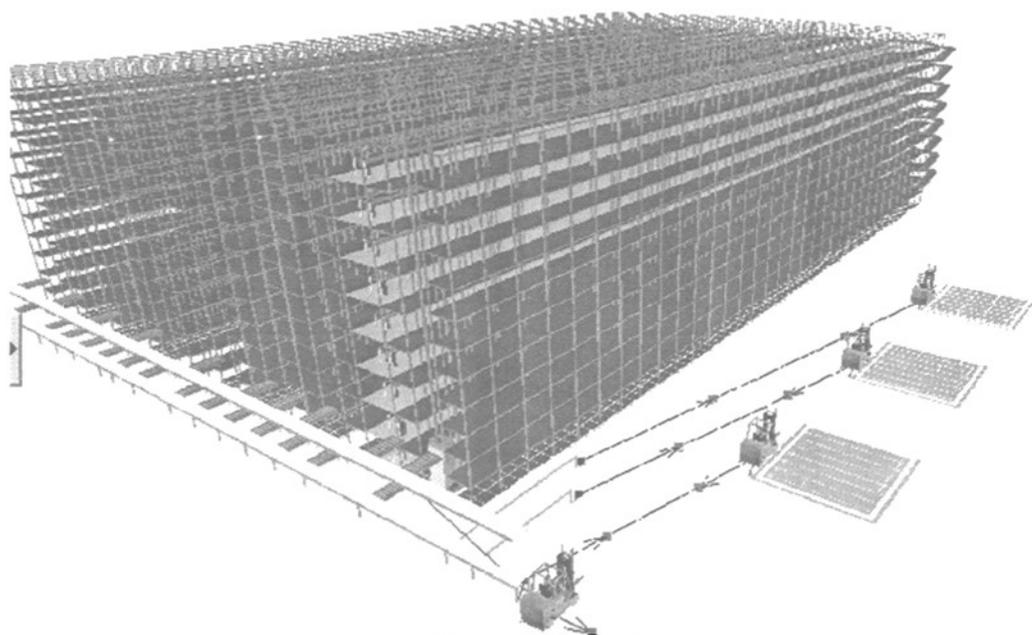


图 5-4 模型图

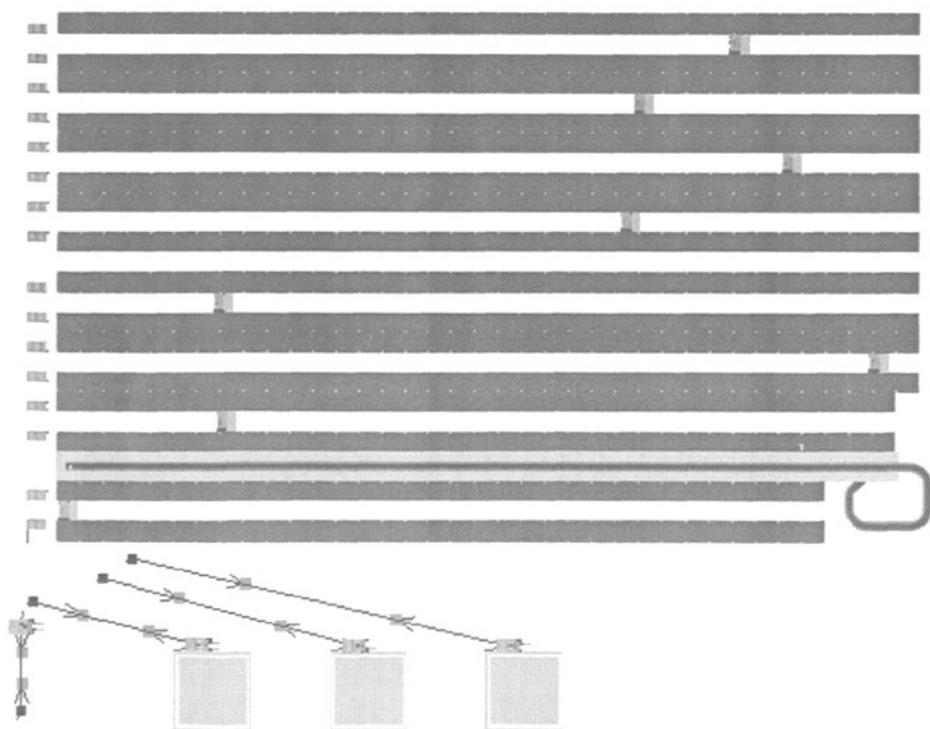


图 5-5 俯视图

(2)模型设置

- 输送带为上层出库，下层入库；
- 货品进入货架的方式为距离最短原则，有排队序列才选择下一个货架；
- 从缓存区到输送带为叉车进行作业，作业路线已经设定；
- 货架第二排和第三排为堆垛机入库，人工拣选出库；
- 其他参数按表 5-1 进行相应的赋值。

### 5.3 Flexsim 仿真和结果分析

依据第 4 章讲解的方法，对模型仿真分为两种方式，一是货品进入货架随机分配货格；二是货品进入货架按照出、入库时间最少原则依次分配货格。对比两种方式，以堆垛机运行效率为评比标准。选择合适的分配方式，完成立体仓库的优化。

情况一：列优先原则（从离出、入口最近的列开始依次入库），得到各个堆垛机运行效率图 5-6：

Flexsim State Report						
Time:	50000					
Object	Class	idle	offset_tr	offset_tr	loading	unloading
ASRSvehicle17	ASRSvehicle	90.84%	2.51%	4.85%	0.90%	0.90%
ASRSvehicle18	ASRSvehicle	73.00%	8.31%	13.71%	2.49%	2.49%
ASRSvehicle19	ASRSvehicle	3.55%	30.66%	48.55%	8.62%	8.62%
ASRSvehicle20	ASRSvehicle	41.04%	19.63%	28.42%	5.46%	5.45%
ASRSvehicle22	ASRSvehicle	16.24%	27.48%	41.25%	7.52%	7.51%
ASRSvehicle23	ASRSvehicle	0.84%	32.00%	49.43%	8.87%	8.86%
ASRSvehicle24	ASRSvehicle	0.89%	33.81%	47.66%	8.82%	8.82%
ASRSvehicle25	ASRSvehicle	10.68%	34.65%	39.30%	7.69%	7.68%

图 5-6 堆垛机统计结果

情况二：货品进入货架按照出、入库时间最少原则依次分配货格，得到各个堆垛机运行效率图 5-7：

Flexsim State Report						
Time:	50000					
Object	Class	idle	offset trav	offset t	loading	unloading
ASRSvehic	ASRSvehic	92.12%	2.50%	4.45%	0.90%	0.90%
ASRSvehic	ASRSvehic	74.54%	8.61%	13.46%	2.49%	2.49%
ASRSvehic	ASRSvehic	3.76%	30.56%	49.13%	8.62%	8.62%
ASRSvehic	ASRSvehic	42.13%	19.23%	28.52%	5.46%	5.45%
ASRSvehic	ASRSvehic	16.57%	27.48%	41.35%	7.52%	7.51%
ASRSvehic	ASRSvehic	0.89%	32.20%	49.66%	8.87%	8.86%
ASRSvehic	ASRSvehic	0.95%	34.01%	47.98%	8.82%	8.82%
ASRSvehic	ASRSvehic	11.20%	35.26%	39.58%	7.69%	7.68%

图 5-7 堆垛机统计结果

比较图 5-6 和图 5-7 可以看到，在同样完成进出、入库任务量 1000 托的前提下，采用情况二方式进行货品出、入库，其堆垛机的空闲率(idle)高于情况一，从而可以得出：采用情况二方式进行出、入作业能够优化整个仓储作业效率。

## 5.4 本章小结

以北京九州通为实际依托，根据九州通实际的系统布置及运行参数，建立了自动化立体仓库物流业务流程虚拟并进行仿真。实现了北京九州通物流业务流程的三维可视化，并重点对其货位分配不同策略的效率进行仿真比较，验证了第五章所述策略。

## 第 6 章 总结与展望

### 6.1 论文主要研究工作及结论

本文首先简单介绍了自动化立体仓库，根据自动化立体仓库货位分配的原则，建立了静态分配货位的优化函数；再通过大量阅读对多目标问题求解的文献，依据遗传算法求解多目标问题的特点，提出了自己解决解决多目标问题优化的方法；根据此方法，对多目标问题进行了 Matble 编程求解，并得到一个最优解。

通过合理的假设，对动态货品进出库问题进行了 Flexsim 仿真；结合仿真结果的分析，得出以下结论：

(1)对货架货位进行排序，根据此顺序，货品通过 FIFO 进出原则进行依次进出库，其进出库效率比按照单排优先或单列优先的原则进行出入库效率要高。

(2)按照货品的 COI 值进行货品的分区存放货品，其存储效率比单排优先或单列优先的原则进行出入库效率要高，但低于货位排序后的随机存放。

(3)在安全库存增加时，按照货品的 COI 值进行货品的分区存放的优越性变得明显，随机存放的存储效率下降的明显高于分区存放。

(4)针对北京九州通自动化立体仓库的仿真分析要求，使用 Flexsim 软件对该立库进行仿真分析，并比较了简单列优先货位分配方式和按堆垛机运行时间由短到长的货格依次分配方式的优劣，选择效率更高的分配方式，从而优化了立库的货位分配。

本文主要创新点：

(1)对静态货品进行货位分配的多目标优化问题提出了简单的解决方案，并对此方案进行了求解，结果表明，此方案能很好的解决多目标优化问题。

(2)对不同的货位分配策略进行了 Flexsim 软件的仿真，货位分配的过程能够理想地按照策略进行作业。

## 6.2 尚待研究的问题

在论文完成过程中，遇到了很多问题，现把这些问题列举如下：

(1)在对多目标问题的模型进行赋权重进行简化成单目标问题时，不同类型的仓库所考虑的因素将不一样，导致其赋权重也必将不一样，本文在因为求解的必要，把两目标的权重化为同等重要度来进行建立模型。如何解决赋权重，也是一个关系仿真正确性的一个重要问题。

(2)在进行 Flexsim 仿真中只考虑单一货架情况，实际立体仓库是多排货架的立体模型，如何使用 Flexsim 进行多排货架的仿真也是一个需要解决的问题。

(3)在本文中，对货品进行货位分配时只考虑了货品进出库的频率，忽略了货品重量等因素的考虑，多特性考虑进出立体仓库的货品，进行其货位分配，也是一个值得研究的方向。

## 参考文献

- [1] Van den Berg J P and Zijm W H M., Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*.1999
- [2] Heragu S S, et al. Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*,2005
- [3] Larson T N, March H, Kusiak A. A heuristic approach to warehouse layout with class-based storage. *IIE Transactions*. 1997
- [4] Malmborg C J. An integrated storage system evaluation model. *Applied Mathematical Modeling*. 1996
- [5] 柳赛男, 柯映林, 李江雄, 等. 基于调度策略的自动化仓库系统优化问题研究. *计算机集成制造系统*, 2006
- [6] 蒋宇. 基于预测模型立体仓库调动策略研究. 大连: 大连海事大学, 2008
- [7] 李俊, 罗呈, 熊巍. 基于 Flexsim 软件的高层货架入库策略仿真与比较. *科学技术与工程*, 2007
- [8] 张欢欢, 黄芳, 曹衍龙, 杨将新, 马彬荣. 基于 Flexsim 的自动化立体仓库系统的仿真分析. *起重运输机械*, 2009
- [9] 迁本和史. 自动化立体仓库巷道堆垛机技术发展历程. *Authoritative Forum*.2006
- [10] 安晓钢, 史胜楠, 徐正林. 自动化仓库堆垛机货叉强度的分析与计算. *陕西科技大学学报*.2007
- [11] 吴勇, 李双祥. 物流配送中心的有轨巷道式堆垛机. *机床工具技术*.2006
- [12] 陈玉金. 立体仓库堆垛机设计. *现代物流*.2006
- [13] 葛高丰. 自动化立体仓库堆垛机控制系统. *科技信息*.2007
- [14] 董良, 陆连, 王宗颜. 堆垛机系列产品的参数化设计. *数字化设计*.2007
- [15] 邵琳. 自动化立体仓库堆垛机单一作业循环时间简析. *China storage & transport magazine*.2007
- [16] 马笑, 赵伟奇. 提高堆垛机运行速度的方法. *大纵化标准*.2005
- [17] 冯占营, 郭向亮. 自动化立体仓库堆垛机优化控制技术. *信息技术与信息化*.2006
- [18] 杨宏, 江进国. 自动化立体仓库堆垛机的设计. *起重运输机械*.2004
- [19] 黄学飞, 刘云霞, 曹玉华. 基于粒子群算法的立体仓库系统堆垛机作业路线优化. *起重*

运输机械.2007

- [20] 刘增晓, 冯占营, 吴建, 常发亮. 拣选式自动化仓库堆垛机作业路径简易优化算法.起重运输机械.2006
- [21] 杨华, 李欣, 钟敏.自动化立体仓库堆垛机拣选作业调度研究.起重运输机械.2005
- [22] 贾煜亮.自动化立体仓库中货位实时分配优化问题研究.清华大学工学硕士学位论文.2007
- [23] 宋伟刚, 战欣, 郑娜, 佟玲.自动化立体仓库出入库决策系统的开发与仿真.工业工程与管理.2007
- [24] 常发亮, 刘长有.自动化立体仓库拣选出库总体调度策略的优化研究.控制与决策.1995
- [25] 郑凌莺, 王绍宇.自动化立体仓库的货位优化管理.商场现代化.2007
- [26] 张英锋, 柏林.遗传算法在货位精确选址中的应用研究.系统仿真学报.2004
- [27] 顾君.货位布局研究和图形化模拟仓库的实现.内蒙古科技与经济.2007
- [28] 郑凌莺.物流中心仓库货位优化算法的研究.商场现代化.2006
- [29] 商允伟, 裘聿皇, 刘长有.自动化仓库货位分配优化问题研究.计算机工程与应用.2004
- [30] 党伟超, 曾建潮, 白尚旺.自动化立体仓库货位分配概念数据模型的研究.太原重型机械学院学报.2004
- [31] 唐卫华, 胡宗武.自动存取系统及其仿真分析.工业工程与管理.2000
- [32] 常发亮, 刘长有.自动化立体仓库输送系统调度的优化仿真及其应用研究.系统仿真学报.1998
- [33] 周奇才.自动化仓库主要参数的优化确定.上海铁道大学学报.1999
- [34] 王恒山, 浦志华.一种基于实时控制的立体仓库出入库算法.系统工程理论与实.1997
- [35] 石永铎, 冯刚, 方建成.仓储系统的评估与优化.大连理工大学学报.1996
- [36] 陈子侠, 龚剑虹.物流仿真软件的应用现状与发展.浙江工商大学学报.2007
- [37] 常鹏.基于 Flexsim 的散货码头物流系统仿真.中国水运.2007
- [38] 袁罕, 罗亚波.基于 Flexsim 的工艺流程仿真和优化.湖北工业大学学报.2007
- [39] 薛家兵, 鄂明成. Flexsim 在卷烟厂自动化辅料配送物流系统仿真中的应用.物流技术.2006
- [40] 张卫德, 严洪森, 徐成.基于 Flexsim 的生产线仿真和应用.工业控制计算机.2005
- [41] 李晓雪.基于 Flexsim 的生产线建模与仿真.制造业信息化.2007
- [42] 黄青, 严洪森, 陈琳.基于 Flexsim 的双向生产线的调度仿真研究.工业控制计算机.2007
- [43] 肖江波, 杨福兴.基于 Flexsim 仿真的物流配送中心优化探讨.现代商贸工业.2007
- [44] 李俊, 罗呈, 熊巍.基于 Flexsim 集装箱码头装卸系统的仿真.科学技术与工程.2007
- [45] 吴广伟.遗传算法及其在自动仓储系统中的应用研究.山东科技大学硕士学位论文.2003

- [46] 战欣.自动化立体仓库出入库的决策与仿真.东北大学硕士学位论文.2006
- [47] 薛永吉.仓储物流系统仿真及应用研究.东南大学硕士学位论文.2006
- [48] Nrodgren W B. Flexsim simulation environment. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference.2002
- [49] Petrak L. Automated storage retrieval system[J].Warehousing, Freezers,National Provisioner.2003
- [50] Ludo F Gelders, Jalal Ashayeri. Micro-computer assisted design of an automated warehouse. In:Proc of 5th International Conf on Automation in Warehousing.1983

## 致 谢

任何创作和创新都是集体智慧的结晶，本文也不例外。在本文的完成过程中，很多人给了我支持和帮助，在这里表示我最真挚的谢意。首先要感谢我的导师胡吉全教授，本论文的撰写是在胡老师的悉心指导下完成的，无论是在学习还是在生活上，胡老师都给予了我极大的关心和帮助。在论文的撰写过程中，胡老师以丰富的设计经验在论文思想和论文路线上做了悉心指导；以严谨认真的治学态度对论文进行了监督和批改，保证了我论文的顺利完成。他谦和待人却不怒而威，其长者之风始终鞭策和激励着我，是我现在和以后工作和学习的榜样。在此，向胡老师表示最崇高的敬意和最真诚的感谢。

同时还要感谢杨艳芳老师和谷曼同学给我提供的支持和帮助；感谢王述真、田仲等实验室同学给我的意见和建议；感谢汪伟、张兵等寝室同学给的帮助和支持；感谢在百忙之中抽出宝贵时间评审我的论文各位专家、学者。

最后，在这里感谢所有关心和帮助过我的人。

## 攻读硕士学位期间发表的论文和承担的科研项目

### 一、发表的论文

[1] 邹晖华. 自动化立体仓库货位分配策略优化研究.湖北工业大学学报.2008 年第 3 期

### 二、参与的科研项目

[1] 国家科技支撑项目“现代服务业共性技术支撑体系与应用示范工程”

[2] DMQ1634 带斗门机设计项目