

密级： 保密期限：

北京邮电大学

工程硕士专业学位论文



题目： 制造企业仓储物流系统的
仿真与优化

学 号： 09Z0410

姓 名： 郭斐

专业领域： 物流工程

导 师： 卢山

学 院： 自动化学院

2012年 05月 08日

独创性（或创新性）声明

本人声明所呈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中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京邮电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所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名：_____ 日期：_____

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京邮电大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京邮电大学。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磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后遵守此规定）

保密论文注释：本学位论文属于保密在__年解密后适用本授权书。非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

本人签名：_____ 日期：_____

导师签名：_____ 日期：_____

制造企业仓储物流系统的仿真优化研究

摘要

现代物流业是融合运输、仓储、货运代理和信息等行业的复合型服务产业，涉及领域广，促进生产、拉动消费作用大。现代物流业的重要性突出表现为对制造业发展的支撑作用，并在制造业经济增长方式转变中发挥重要作用，倘若脱离了现代物流，制造企业的经济效益和竞争能力的快速发展都会受到很大的影响。目前，由于我国的综合物流和供应链管理体系并没有建立，传统物流发展模式并未改变，我国现代物流业整体水平仍比较落后，制造业的发展和国民经济效益的提高受到很大的制约。为此，加快发展现代物流，建立现代物流服务体系，以优质物流服务促进现代制造业的快速发展与竞争力的提高是一项十分关键和紧迫的任务。

本文主要依托 S 公司某装配车间物流系统分析与优化设计项目，以 S 公司某装配车间和机械零部件拣选库为研究对象，根据制造企业物流的特点，对其规划设计方案中的配送调度系统和零部件拣选系统进行了深入的分析，并以离散事件系统仿真思想和物流系统仿真优化理论为基础，运用物流仿真软件，对两个系统分别建立相应的仿真模型，随后对所建立的仿真模型进行验证，并根据输出报告中的统计结果对系统做出评估，找出系统瓶颈，得出最佳资源配置方案。

在本文的应用与实践部分，通过物流仿真软件交互式的人机界面，能够实时地监控系统在实际生产过程中各实体的运行状态，而且仿真系统能够通过其仿真数据直观地反映出系统中存在的瓶颈和问题。可通过变更初始输入数据对系统实际运作过程中可能会遇到的状况进行模拟，并在仿真运行后得到相应输入条件下系统的反应。在实际系统尚未投资建设之前，就可从仿真得到的数据上了解即将建设的物流系统的实际流程及运行状况。

本文基于物流仿真软件进行系统仿真研究，不仅能够用最低的成本找出制造业仓储物流系统中具体存在的问题，计算机仿真结果还为系统的优化提供了参考和依据，提高企业效益。

关键词：制造业 配送调度 零件拣选 仿真优化

SIMULATION AND OPTIMIZATION RESEARCH OF MANUFACTURING ENTERPRISE STORAGE AND LOGISTICS SYSTEM

ABSTRACT

Modern logistics industry plays the key role to support transforming manufacturing economic growth pattern and industry development. Transport, warehousing, freight forwarding and information industries composite modern logistics industry, which involved wide sphere. Currently, less of synthetic logistic and supply chain, which are evidences of domestic low level modern logistics industry, are the pain point for development of manufacturing and national economic. It is important and urgent to accelerate modern logistics development and to setup modern logistics service system.

This paper analyzed logistics system and optimized designing of certain workshop in S company. Based on the logistics characters of manufacturing industry and logistics simulate optimization theory, the author provided the best resources allocating solutions, which is automatically selected by AutoMod, a profession logistics simulating software, with deeply analyzing for statistics result of simulating both distribution system and components selection system.

In the part of application and practice, it is fond that the place where the block and bottle-neck have taken place and state how they develop, reflecting by the system of simulation by monitoring the whole space-time information of the systemic equipment in the practical process of production of future through the user interfaces. By changing the input of the parameters and simulating the process of production and the impulsion of system aroused by fluctuation, it is avoided that various unforeseen factors of system design in the state of idealization as same as visual and intuitionistic solving way for the block of the system.

Therefore, it is known that the all-sided actual flow and production information of the future automatic logistical system before the system is invested and founded.

Based on the research of the system with logistics simulation software, this paper not only specified problems in manufacturing warehousing and logistics system with the lowest cost, but also provided principle of system optimization, which improve enterprise efficiency.

KEY WORDS: manufacturing distribution scheduling parts
selection simulation and optimization

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究的背景.....	1
1.1.1 制造业物流的内涵.....	2
1.1.2 制造业物流的特点.....	2
1.1.3 我国制造业物流目前存在的主要问题.....	2
1.2 研究的目的与意义.....	4
1.3 国内外研究现状.....	5
1.4 本文的主要研究内容.....	6
第二章 配送理论与仿真方法的介绍.....	8
2.1 物料配送理论与方法.....	8
2.1.1 配送的概念.....	8
2.1.2 配送与物流之间的关系.....	8
2.1.3 配送系统的目标.....	9
2.2 系统仿真的一般步骤.....	9
2.3 几种仿真软件的介绍.....	10
2.3.1 仿真软件 AutoMod 的介绍.....	10
2.3.2 仿真软件 Quest 的介绍.....	12
2.3.3 仿真软件 Promodel 的介绍.....	13
2.3.4 仿真软件 AnyLogic 的介绍.....	14
2.4 本章小结.....	14
第三章 S 公司某装配车间物料配送调度系统优化分析.....	15
3.1 S 公司某装配车间概况.....	15
3.1.1 车间装配区布局.....	15
3.1.2 系统相关参数.....	16
3.1.3 S 公司某装配车间装配区物流系统目标分析.....	18
3.1.4 其他约束条件.....	20
3.2 系统初步分析.....	21
3.2.1 运输工具数量、配送量及单次配送耗时的计算.....	21
3.2.2 配送调度表的制定.....	22
3.3 配送调度方案设计与分析.....	23
3.3.1 方案设计及相关参数介绍.....	23
3.3.2 单台套初步分析.....	24
3.3.3 JIT 配送初步分析.....	25
3.3.4 其他方案分析及 Quest 仿真模型搭建.....	25
3.3.5 仿真结果分析.....	30
3.4 本章小结.....	33

第四章 机械零部件拣选库拣选方案仿真与优化.....	34
4.1 机械零部件拣选库情况概述.....	34
4.1.1 拆零拣选方式的选取.....	34
4.1.2 模型前提假设.....	39
4.1.3 系统参数.....	39
4.2 AUTOMOD 仿真模型搭建	40
4.3 仿真结果分析.....	40
4.3.1 一号库播撒效率.....	41
4.3.2 二号库播撒效率结果分析.....	46
4.3.3 一号库与二号库之间穿梭车效率分析.....	48
4.4 结论分析.....	49
4.5 本章小结.....	49
第五章 总结与展望.....	51
5.1 总结.....	51
5.2 展望.....	51
参考文献.....	52
致 谢.....	54

第一章 绪论

1.1 研究的背景

伴随着我国高速发展的国民经济和日益增加的社会多样化需求,企业拥有了更大的发展机遇和空间,现代物流也逐渐展开了快速发展的脚步。物流作为企业第三利润源泉,它的发展会在企业国内外市场拓展中起到越来越重要的作用。现代物流的理念已经得到众多企业的广泛认知,它在制造业中的作用日益增大,使得现在的企业发展时都会着重改善自身的物流系统,同时,现代网络信息技术以及先进物流设备的出现,极大地推动了现代物流的发展。

自我国加入 WTO,世界经济环境在近些年不断变迁,而西部大开发等政策的实施,市场需求不断增加,再加上我国制造业近些年的结构整改和技术革新,我国制造业也相应的进入了一个飞速发展时期。社会经济的不断发展促使企业物流的发展,我国制造业改革发展的三个阶段就很好的说明了这个问题。1978-1993年,我国的经济主体从计划经济向市场经济的过渡,卖方市场为主导,企业是以生产资源型扩张作为发展的重点,也就是通过大量投入生产设备,使得企业生产能力提高;1994-1998年,企业生产模式由原先的大批量少品种,逐渐转换成为多品种小批量或大规模定制生产,市场主导逐渐由卖方市场转向买方市场,企业通过采用 MRP、JIT、MRP、ERP 等来组织企业生产和加强管理,资本运营和低成本规模扩张成为企业发展的重点;从 1998 年到现在,制造业之间竞争的重点已经逐渐由原先的价格竞争向客户反应、市场需求、准时供货等方面转变,现代物流理念和先进的物流管理技术将成为现代企业发展战略的重要内容。

现代物流业是融合运输、仓储、货运代理和信息等行业的复合型服务产业,涉及领域广,促进生产、拉动消费作用大。现代物流业的重要性突出表现为对制造业发展的支撑作用,并在制造业经济增长方式转变中发挥重要作用,倘若脱离了现代物流,制造企业的经济效益和竞争能力的快速发展都会受到很大的影响。目前,由于我国的综合物流和供应链管理体系并没有建立,传统物流发展模式并未改变,我国现代物流业整体水平仍比较落后,制造业的发展和国民经济效益的提高受到很大的制约。为此,加快发展现代物流,建立现代物流服务体系,以优质服务促进现代制造业的快速发展与竞争力的提高是一项十分关键和紧迫的任务。

1.1.1 制造业物流的内涵

制造企业物流一般包括五个部分，它们分别是原材料采购物流、生产物流、销售物流、废弃物处理和回收物流。一般情况下，制造企业内的生产与物流是同时进行的，某些企业的物流活动甚至成为其生产活动中的一个环节。除了有现代物流的基本特征，制造企业物流还具有一些特性：一是制造企业物流与生产活动紧密相连。在现代汽车和大型机械生产企业中，自动化生产装配线上的零部件配送，机械制造业中各种材料在生产过程中的搬运，使得制造企业生产物流与生产工艺相结合，物流系统的运转情况将直接影响到企业的生产效益。二是物流模式具有多样化。根据不同的特点和适用性，制造企业常用的物流模式主要有三种，分别是企业自营物流、第三方物流和物流外包。三是制造业物流与社会物流分工协作。现代企业物流更多地与社会物流进行分工协作，社会物流的现代化发展会对制造企业的供应、销售物流起制约作用，而制造企业物流的现代化发展会影响到社会物流的效率，二者互相影响又互相促进。四是制造业物流是制造企业的重要支持系统。随着供应链管理模式的快速发展，一体化物流已成为制造企业的生产盈利重要的支持系统。

1.1.2 制造业物流的特点

(1)空间布局的合理性。对于制造业物流而言，如果物流空间布局出现问题，会破坏制造业加工流程的持续性，由此可见空间布局的重要性。一般情况下采用空间结构物流的优化准则和分析方法来确保空间布局的合理性。

(2)物流过程的复杂性。单从物流角度来看，生产加工产品状态的转变、位置转移，涉及到各个生产工序，这中间的关系错综复杂。而物流调度系统常常出现多目标冲突，可以看出制造业物流过程是非常复杂的。

(3)企业物流组织结构和市场形势的一致性。目前我国制造业的市场形势是：经济结构性过剩、买方市场确立、制造产业结构性矛盾凸显、国际市场竞争日趋激烈。面对当前的市场形势，只有企业物流发展与市场形势保持一致，才能在当下激烈的竞争中生存发展。

1.1.3 我国制造业物流目前存在的主要问题

(1)主观方面

大多数国营企业对于物流理念的认识相对落后，企业发展的重心更多的偏向于生产工艺建设，而对物流规划管理不够重视，相应的在物流设施建设、物流系

统整合重组上投资较少。而相对分散的企业组织结构，使得企业内部的物流系统分散于企业不同部门，在物流系统整体管理上存在较大的难度。现代物流理念虽已开始受到重视，但传统物流模式与格局尚未根本改变，综合物流和供应链管理体系统尚未建立，应用程度较低。

(2)客观方面

受现代物流在我国发展较晚的影响，多数制造企业在生产线建设及生产设施布局规划时忽略了物流系统规划设计，把企业重心全部放在了生产环节上，从而导致了工厂内作业交叉、迂回，重复、无效搬运等现象频繁出现，从而极大的增加了产品完成时间，完全违背了现代物流的要求。现阶段，我国制造企业中有相当一部分企业采用自营物流，然而较差的物流装备，较低程度的机械化、自动化，使得这些企业的物流作业仍需要许多人力来完成。

(3)功能及管理方面

①企业物流与社会物流之间缺乏有效衔接，物流专业化、社会化程度较低；②物流管理效率低下；③库存管理控制缺乏柔性控制，不能及时根据市场、交通及气候变化进行库存调整；④物流、资金流、信息流结合不紧密。

(4)物流基础设施及技术装备方面

①技术装备落后，自动化、机械化程度低；②基础设施落后，不配套；③设施与装备的利用率低。

(5)物流组织结构方面

有些制造企业没有成立单独的物流管理部门，将仓储、运输、装卸搬运、包装、配送等物流活动的管理都分散在不同的部门，这种物流管理机构和职能的分散设置，分割物流管理活动，弱化物流系统整合，迟缓物流信息传递，致使企业物流管理水平与物流运作效率低下。总体来看，我国大部分制造企业的物流组织机构决策层与运作层脱节，应变能力较差，不适应生产和市场的需要。

(6)物流成本方面

物流系统一般没有采取总成本控制，物流成本模糊，分部门核算时总成本不清，各种浪费现象（物资方面、人员方面、设备设施方面、时间效率方面）普遍存在。

(7)缺乏专业的物流人才

由于物流管理涉及领域较广，这使得企业所需要专业物流管理人员不但要熟悉企业自身的各个物流环节，掌握相应的操作技能，还要熟悉企业外部整个供应链的运转情况。在制造企业领域，物流管理人才的长期培养并没有得到企业的重视，导致既懂物流管理又懂物流技术的复合型人才极度缺乏。

1.2 研究的目的与意义

物流系统具有整体性、目的性、相关性、环境适应性等普通系统的特点，也具有大系统所具有的规模庞大、目标众多、结构复杂等特征。物流系统是一个动态系统，它能够适应环境，满足社会需要，系统运行的对象是全社会里的各种各样的大量的物资资源，这就导致了物流系统的复杂性。物流系统呈现出多层次结构，各要素互相作用、联系，形成许多功能模块和子系统。物流系统分析，在选定的系统目标的基础上，以达到系统最优为目的，分析系统各子系统之间的关系和相互影响，优化分析可以解决问题的不同方案并做出综合评价的过程^[1]。对物流系统进行系统分析，可以把握物流系统的内在规律，掌握物流系统各部分的内在联系。因此，无论是设计一个新的物流系统，或者是改造已经存在的物流系统，物流系统分析都至关重要。

在物流系统中，仓储一般是指从接受储存物品开始，经过储存保管作业，直至把物品完好发放出去的全部活动过程^[2]。仓储是物流系统的中心环节，是生产和消费间的重要纽带。仓储用较低的物流成本提供相对理想的客户服务水平，在物流系统中起着调节、平衡的作用。合理高效的仓储可以帮助企业有效地控制管理物资，提升物资流动速度，保障生产顺利进行，降低生产成本。伴随着物流由少品种、大批量向多品种、小批量或多批次、小批量的转变，仓储的作用从以前只看重储存保管效率，逐渐转变为注重发货与配送的及时有效，以及加工与配送一体化发展。伴随着现代物流的快速发展，国内外市场中流通的物资逐步增多，流通的速度逐渐增快，现代化仓储业发展也会面临更高服务水平的要求。

目前，对物流系统分析研究的技术与方法主要有以下几种^[1]：①运筹法。运筹法是通过通过对现有系统进行统筹规划，使用数学运算寻求最优方案。运筹法常用的方法有线性规划、排队论和动态规划等，而这些理论方法可用来解决物流系统中的物流设施选址、货物配载、物流作业的资源配置等问题；②统筹法。统筹法通过网络统筹安排规划系统的每个环节。它用网络图描绘出活动流程的路线，以事件为节点，在保证关键线路的前提条件下安排其他活动，调整它们之间的关系，以保证按时完成全部计划；③系统优化法。优化就是指在一定约束条件下，求出目标函数的最优解。对于物流系统，它包括很多参数，它们互为条件、互相制约，并受外界环境影响。系统优化研究，就是在不可控参数发生变化时，根据系统的初始目标，确定可控参数的值，使得系统达到最优状态；④系统建模与仿真。建模仿真是通过对实际系统调研，建立仿真模型，利用模型对实际系统进行试验研究。利用仿真软件，对不同方案建立相对应的模型，通过设定不同的生产能力和需求，将现实中的物流系统放置在虚拟环境中运行。通过观察分析系统可能产生

的各种情况,对不同的方案进行评价分析,得到相应的仿真结果,找出系统可能存在的瓶颈,并以此指导现实系统的设计。

现代物流研究领域逐渐扩大,信息技术发展飞快,系统建模与仿真方法越来越多的应用于物流系统的研究中。现代物流系统的复杂性使得系统建模与仿真已经成为检验物流系统高效与否的主要方法之一。系统建模仿真不但可以在新物流系统建设时提供设计方案,也可以对已存在的物流系统进行优化改进。因此,近些年来,系统建模与仿真的方法被广泛的应用于各种物流系统的优化研究中。

1.3 国内外研究现状

在物流设施布局规划方面,唐凤范通过对北海出口加工区仓储物流业发展现状的分析,以及对其仓储物流管理模式与服务现状的调研,结合加工区内的企业需求,探讨适合加工区发展的仓储物流管理模式与服务^[3]。王占中,郑家彬等人研究了由于制造业物流缓存区布局不合理而导致搬运费用增加和物料供应不顺畅的问题,王占中等以最小总搬运量为系统目标,以最小物料搬运矩和缓存区内各作业单位之间最大邻接关联度为约束条件,建立了改进的物流缓存区布局优化模型,并使用遗传算法求出该模型的优化解^[4]。

在物流管理和库存管理方面,程波在建筑金属结构产品制造业物流管理系统的体系结构和应用模式的研究基础上,用 IDEF 方法对适合建筑金属结构产品制造业的物流管理系统进行了研究和设计,主要从功能模型和信息模型两方面进行了详细设计^[5]。李容以重庆市川仪一厂物流管理信息系统为研究对象,对系统设计的指导思想 MRP、JIT 进行了理论研究,提出将二者有机结合的 Push/Pull 混和控制策略^[6]。李立伟、蒋国瑞,把 RFID 和制造业物流管理信息系统结合起来,使 RFID 完成 MES、WMS 的数据收集、整理,改进了传统制造业的物料补给和仓库管理流程,实现对物流各环节信息的实时监控与跟踪,从而在降低了成本的同时还提高了生产效率,为制造业带来显著收益^[7]。Jeffrey L.Funk 主要研究了为实施 JIT 生产,复杂物流系统、JIT 生产以及最佳组织结构之间的关系^[8]。简炜通过代数 Petri 网对供应商管理库存进行仿真建模研究,提出了一种改进的算法,优化批量计划问题中以库存为基准的目标函数,研究得出了批量生产中安全库存等问题的必需条件^[9]。

在物流组织结构方面,曹国安根据我国汽车制造业物流的发展现状以及其存在的问题,探讨了三种适合我国汽车制造业供应链物流一体化的发展模式,根据东风商用车公司供应链物流一体化改革实践的经验对汽车制造业供应链物流一体化发展方法进行了总结^[10]。马东彦等通过对供应链系统里资金流、物流、信息流之间的关系,使用广义随机 Petri 网创建仿真模型,并根据结果评价了该系

统的整体性能^[11]。崔政东,刘晋在广义随机 Petri 网和马尔可夫链某些结构相同的基础上,将两者结合起来对供应链系统进行建模并加以分析。该方法适用于供应链中运作效率与时间性能的分析^[12]。Hans Voordijk 主要提出了物流业和制造业改善方面存在障碍以及先决条件^[13]。Bart Vos 通过改善,平衡理性的分析和判断研究了国际物流业和制造业的结构重组方法^[14]。Rohit Bhatnagar and S.Viswanathan 主要研究了制造企业和全球物流服务提供商之间战略伙伴关系的实施办法^[15]。

在成本控制方面,袁丽娟将作业成本法应用于制造业的物流成本管理,分析了这种方案的可行性,并据此推导出物流作业通用成本性态的核算模型,最后对作业成本法及作业成本管理在制造业物流成本核算、物流作业过程分析、供应商及客户选择、作业流程再造以及物流作业基础绩效评价中的应用进行了论述,并加以举例说明^[16]。

仓储是物流中的重中之重,学者对于仓储物流系统的研究一直都有。王薇创建了一种新的仓储货位管理方法,使用货物存放和仓储区规划的方法,分析仓储物流系统中各子系统的运作流程^[17]。沙洪洲、郭果敢使用马尔可夫链的方法对物流仓储系统进行建模研究,通过参数输入的不同,得出不同时间段的库存情况,从而总结出库存量变化的规律^[18]。张汉江等人研究了自动化立体仓库可视化的方法,创建了自动化立体仓库可视化仿真模型,并用仿真辅助软件对模型实现优化^[19]。李霄峰等使用分层着色 Petri 网对制造业物流系统进行仿真建模,总结出以组件对象模型技术为基础的仿真建模程序设计方法^[20]。

从上面的分析中可以看出,学者们对于制造业物流的研究方向很多,有针对物流设施布局规划的,有针对物流管理,也有针对物流成本控制的等等。仓储物流是制造业物流系统中的一个重要部分,对其的研究也具有很大的实践意义。研究方法上,学者们大多都通过各种算法,对仓储物流系统进行仿真建模,并得出相应的优化结论。

1.4 本文的主要研究内容

本文以制造业物流系统为调研背景,结合 S 公司某车间物流系统分析与优化设计项目,对 S 公司某装配车间配送调度系统和某机械零件拣选库拣选作业分别进行详细的分析。在配送调度系统的研究中,对配送系统的目标进行分析,并以此为指导,结合物流仿真软件完成配送调度系统的优化,实现了配送系统及时化、合理化、高服务水准、低成本的优化目标;在零件拣选系统的研究中,通过对比摘果式和播种式拣选方法,确定系统采用更为合适的播种式拣选方法,并通过建模仿真分析找出系统中存在的隐性瓶颈,提出优化改进方案,提高了零件拣选库

的工作效率。

(1)首先介绍了本文的研究背景，包括制造业物流内涵、特点以及目前存在的问题，介绍四种常用的物流系统分析研究的方法。其次介绍国内外学着对于制造业物流中物流设施布局规划、库存管理、组织结构管理、成本控制、仓储物流等方面的研究成果。

(2)先介绍了物料配送的理论与方法，明确了配送的概念以及配送系统的目标。其次对系统仿真方法进行了概述，并介绍了几种流行物流仿真软件。

(3)对 S 公司某装配车间物料配送调度系统进行详细分析。先对 S 公司某车间物流系统进行了初步调研，通过容器数量分析和配送过程分析，得到运输工具数量、配送量以及单次配送耗时这些数据，计算配送时间段，制定出初始配送调度表；最后，根据初始配送调度表，进行仿真实验，得到物流通道拥塞报表、门径吞吐报表及运输工具利用率报表，对这些报表进行分析，反复实验最终确定调度方案，实现了配送系统及时化、合理化、高服务水品、低成本的优化目标。

(4)对 S 公司某机械零部件拣选库进行分析，首先介绍了两种常用的拆零拣选方式，即摘果式和播种式，对两种拣选方式进行了分析对比，确定了以播种式拆零拣选作为机械零件部的主要拣选方式；其次对零件拣选过程进行仿真模拟，通过仿真结果的分析，得到拣选库内堆垛机、穿梭车、播撒人员及拣选人员的利用率，找出系统中的隐性瓶颈，即堆垛机利用率过高，最终通过增加缓存区，精确播撒人员与拣选人员调度等方法使机械零件部拣选库能够高效、及时地完成工厂任务。

第二章 配送理论与仿真方法的介绍

2.1 物料配送理论与方法

2.1.1 配送的概念

配送^[21]是物流中一种特殊的、综合的活动形式，是商流与物流紧密结合，包含了商流活动和物流活动，也包含了物流中若干功能要素的一种形式。通常情况下配送以最终完成货物送达为目的，主要包括装卸、包装、保管、运输等过程。配送和一般物流的区别在于，一般物流的主要功能就是运输和保管，而配送则包含运输和分拣配货。对配送的理解主要有以下几点：

①配送的本质是送货。通常意义上的送货或许是一种偶然行为，配送却有着相对固定的形式。配送有的固定组织和渠道，并具有一定的管理和技术力量，按照一定的配送制度进行送货，也可以把配送看成一种高水平形式的送货。

②配送是一种“物流中转”形式。配送是把货物从物流结点送至客户的一种特殊送货形式。一般送货是将企业生产的产品直接送至客户，配送则是根据客户的要求进行送货。

③配送是“配”与“送”有机结合。配送可以通过分拣、配货等理货工作使所送货物达到一定规模，从而降低送货成本。所以，配送具有一定的规模优势，而分拣、配货等理货工作是必不可少的。

④配送以客户需求为出发点。配送强调“按客户的订货需求”进行，这就明确了客户的主导地位。配送是从客户的利益出发，根据客户的订货需求进行的送货活动，在满足客户需求的基础上取得企业自身的利益。

2.1.2 配送与物流之间的关系

①从物流的角度出发

从物流的角度出发，配送位于物流系统的最末端，它的距离短，位于二次运输、支线运输和末端运输的位置。但在配送过程中，也包含着其他的物流功能（如储存、装卸、包装等），是多种功能的组合，可以说配送是一个小范围的物流系统。

②从商流的角度出发

从商流的角度出发，配送本身是一种商业活动。配送作为物流系统的环节之一，在具体实施时，商流与物流是分离的，但从配送的发展趋势来看，商流与物

流的结合越来越紧密，是配送成功的重要保障。

2.1.3 配送系统的目标

配送系统目标一般可以概括为：配送作业合理化，配送及时性，提高服务水平，降低配送成本。以下对配送系统的目标分别进行论述：

①高服务水平

在客户要求的时间将货物完好无损地送到客户手中。配送系统的核心是为了满足客户需求，它是一种带有服务性质的系统，它的所有活动都是服务性质的活动，为客户服务、为流通服务、为生产服务。而高服务水平除了要做到服务态度好，还包含了其它各方面的高质量服务。

②高配送效率

每个企业追求的目标都是以较少的投入获得较多的产出。要想提高配送企业的经济效益，必须要提高配送效率。配送系统的效率是指“配送系统的产出与投入之比”。配送时以较低的成本实现较高的服务水平，可以使配送企业利益最大化。

③高配送质量

配送质量高低直接与客户相关，与配送企业的利益相关。配送质量的高低直接影响企业的形象和信誉，极在程度地影响着企业的市场占有率。

④低配送成本

不但要满足客户的要求，还要使配送企业自身有利可图，即要实现客户与企业的“双赢”。物流配送系统的构成包括多个单元，而配送活动包括多种配送环节，各配送环节、配送方式在配送的过程中都会产生相关费用，这些费用就是企业的配送成本。在配送过程中全部的物流活动以及各个配送环节产生的相关配送费用的总和，就是该配送系统的总配送成本。所谓低成本配送就是使总配送成本最少。这就要求对整个配送系统进行优化，对各配送环节也要进行优化，充分利用各种优化技术，努力节约资源，从而提高工作效率，降低配送成本。

2.2 系统仿真的一般步骤

系统仿真可以分为以下几个步骤：

(1)调研系统并建立目标：通过对现实系统的详细调研，尽可能对仿真对象进行全面的了解，确立出仿真目标以及系统调研的范围。一般而言，不同的仿真目标对应不同的仿真模型，因此建模时所需采集的数据也各有不同。

(2)搜集系统所需一些数据并建立系统模型：根据仿真目标对所需系统进行

选择整理，搜集数据时，应重点考虑系统运行的循环周期问题。建立模型过程是将现实中的、具体的系统进行简化和抽象的过程。为了确保所建模型的真实性和准确性，应该对模型进行检查，反复修改直至模型正确为止。

(3)选择合适的仿真软件建立仿真模型：根据实际情况选择合适的仿真软件建立仿真模型，为后面的研究做准备。

(4)运行模型：在计算机上运行建立好的仿真模型，获取仿真模型的输出数据。

(5)输出结果分析：分析输出结果，对比分析输出结果与期望的差异。

(6)修改完善模型：根据模型的运行情况，并针对所得结果对模型进行修改完善。

2.3 几种仿真软件的介绍

2.3.1 仿真软件 AutoMod 的介绍

仿真软件 AutoMod 一款较为成熟的离散事件系统仿真软件，广泛应用于制造系统、仓储系统、港口、配送中心、车站等系统仿真分析、评价和优化设计等。其包含的 AS/RS 子系统模块进行自动化立体库的建模与仿真，Pathmover 子系统模块便于进行穿梭车系统和工位播撒系统的建模与仿真，Conveyor 子系统模块便于进行输送带系统的建模与仿真。

1. AutoMod 模块结构

AutoMod 主要包括了四大模块：AutoMod 模块、Autostat 模块、AutoView 模块以及一些辅助模块。

①AutoMod 模块该软件的基础模块，其他模块都要先在这个模块中建立才能使用。AutoMod 模块包括两个部分：AutoMod Model Editor 和 AutoMod Runtime。AutoMod Model Editor 提供多种用于仿真现实世界物流系统的物流系统模块，比如输送机模块，立体仓库，堆垛机，AGV 和起重机模块等，用户可以选择任意模块组建相应的模型。AutoMod Runtime 里可以进行时间参数的设定，是用来控制仿真模型运行的。AutoMod 模块提供了两种随机数发生器以及多种随机函数，可以支持稳态仿真和多次快速仿真。

②AutoStat 模块为仿真建模提供强大的统计分析工具，用户可以自己定义测量和实验的标准，在 AutoMod 的模型上执行统计分析。其仿真结果输出形式有表格、曲线、饼图和数据文件等。

③Autoview 可以允许用户通过 AutoMod 模型定义场景，控制摄像机移动，生成高质量动画。用户能够任意缩放或移动视图，或使摄像机跟踪诸如叉车或者

托盘等一些物体运动。

④AutoMod 辅助模块包括模型间通讯模块，三维图形生成模块等等，通过这些模块运用可以实现一些特殊功能。例如：通过 MCM 模块，AutoMod 可以实现半实物仿真。

2.AutoMod 模型的子系统

在实际中，AutoMod 使用 10 种模型系统来描述现实中的生产系统和物流系统的结构。这 10 种模型系统分别是 Process, Submodel, Path Mover, Conveyor, Power&Free, Tanks&Pipes, AS/RS, Bridge Crane, Kinematics, Static。Process 系统是模型的主线，也就是主程序，其他 9 个模型系统均可以通过 AutoMod 主菜单进行操作。

3.AutoMod 建模环境

AutoMod 软件中包含编辑环境和仿真环境这两个用户环境。

(1)在编辑环境里，用户可以建立模型，定义参数。在 AutoMod 窗口中可以创造一个新的模型，也可以打开一个已有的模型。从主菜单 File 下拉菜单中选择 New 创建一个新的编辑环境(如图 2-1 所示)。编辑环境分为两个窗口，左边是 Process System 面板，右边是绘图窗口。绘图窗口主要用来建立静态仿真环境模型，主要是场景搭建和模型的调用。

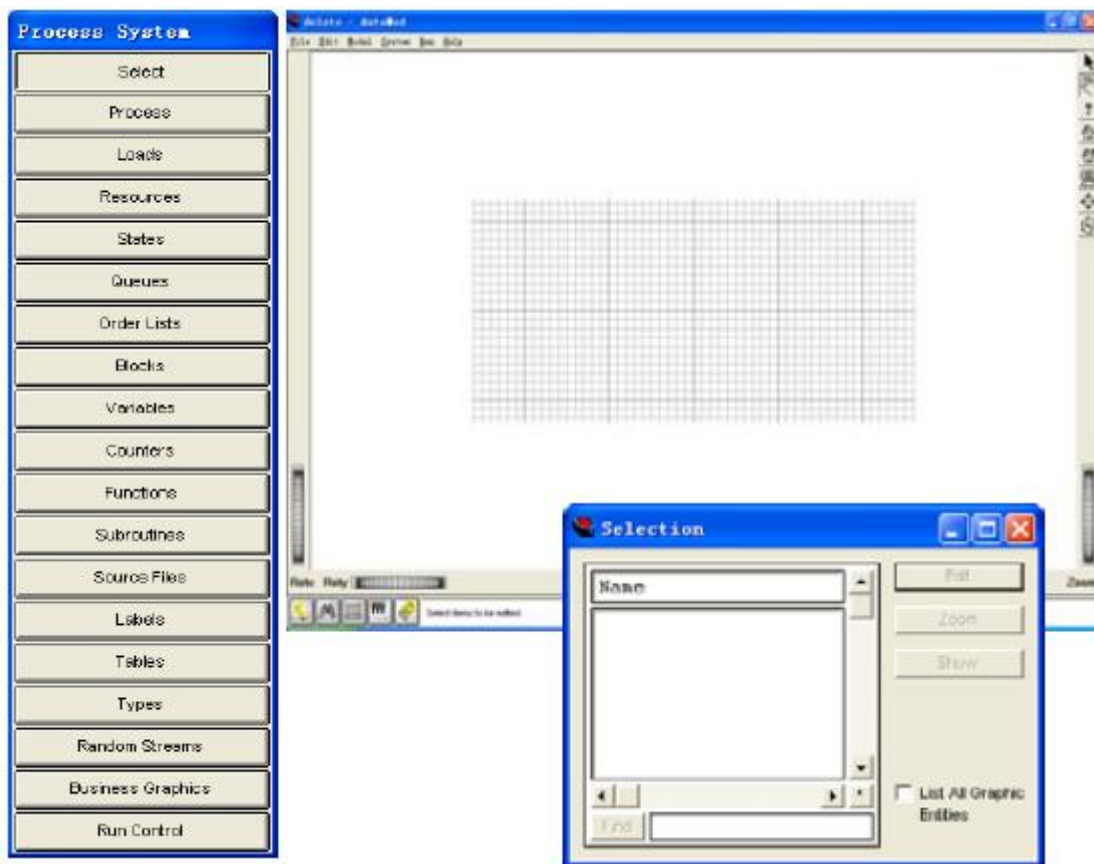


图 2-1 AutoMod 的系统建模界面

4.AutoMod 的建模特点及步骤

AutoMod 作为物流仿真专用软件，它内置的系统模块为现实系统仿真建模提供了很多方便，与其它仿真软件相比，AutoMod 在仿真建模中具有其独特的优点，主要表现在以下几个方面^[22]：

①高精度的模型。AutoMod 并不限制用户对模型的精细程度进行修改，用户可以根据自己的需要，任意刻画模型的细节，提高极高的建模精度。

②较强的兼容性。在 AutoMod 中绘图会相对繁琐，软件提供了非常强大的接口功能，用户可以在 CAD、Pro/E 等软件中绘图，然后直接在 AutoMod 中调用，不需要其他的处理。

③虚拟现实 3D 图形显示。AutoMod 可以生成 3D 动画来虚拟现实情境。同时软件采用了虚拟现实的显示，实物的形状、尺寸精确，而且显示美观，满足了市场对显示效果的要求。

④丰富的模型单元。AutoMod 提供了丰富的模型单元，用户可以直接调用进行建模，也可以根据自己的需求更改已有图形的参数来改变图形的大小形状，加快了建模的速度。

⑤可以进行快速仿真分析。

⑥有多种输出功能。

应用 AutoMod 进行建模，首先在系统层内定义模型以及各个子模型，然后在每个子系统内定义实体，编辑实体属性，并对物理单元进行布局设置，最后编写资源文件，控制全部仿真模型的运行逻辑。在实际使用过程中，不同的使用者有不同的建模方法和建模步骤。

2.3.2 仿真软件 Quest 的介绍

Quest 是一款离散事件仿真软件，主要应用于生产工艺流程及其可视化方案解决、生产系统集成与生产效率的仿真分析。在实际设施投资建设之前，可以使用 Quest 对生产流程进行改善设计，可以更好的控制企业生产成本，降低风险。Quest 灵活的、基于对象的离散事件仿真环境结合了强大的可视化和导入/导出功能，使其成为生产工艺流程仿真与分析的工程与管理首选解决方案^[23]。

Quest 提供了一套全面的三维物流仿真方案，用户可以直观地进行物流线路设计，分析物流系统的瓶颈，并通过柱状图或饼状图等分析工具，对物流线路、物流负荷进行调整。因此，它被广泛地应用于各种过程的建模、试验、分析设备的布局和过程流。

Quest 的仿真是在一个动态的、基于 3D 的建模环境中进行的。所有的模型都可以分成物理模型和逻辑模型两部分。逻辑模型是 Quest 仿真的核心部分，主

要由要素(Elements)和零件(Parts)两部分组成。

其中,要素主要由以下几方面组成:①逻辑,指掌握要素行为的规则和程序;②属性,指要素相关的数据项;③外观,主要由3D的几何体构成。

而零件是指要素加工出来的实体,与要素相比,零件同样具有属性和3D几何体构成,但是它们没有任何逻辑定义。

2.3.3 仿真软件 Promodel 的介绍

ProModel 是由美国 ProModel 公司开发的离散事件仿真软件,它可以构造多种生产、物流和服务系统模型,是美国和欧洲使用最广泛的仿真系统之一。

ProModel 基于 Windows 操作系统、采用图形化用户界面,并向用户提供人性化的操作环境。ProModel 提供二维和 3D 建模及动态仿真环境场景。用户根据需求,利用键盘或鼠标选择所需的建模元素,就可以建立仿真模型。

在定义系统的输入输出、作业流程和运行逻辑时,ProModel 提供了多种手段,既可以借助参数或利用条件变量进行弹性调整,也可以利用程序语言实现控制,从而改变系统的设置和运行逻辑。对制造和物流系统的人员、机器、物料、夹具、机器人、输送带等动态建模元素,可以设定元素的速度、加速度、容量、运作顺序、方向等属性。

此外,ProModel 软件还提供 SimRunner 模块。SimRunner 具有基于进化算法的优化功能,用户可以利用 ProModel 提供的宏指令输入元素和目标函数。SimRunner 则根据输入元素及其边界条件,寻求目标函数的最大值或最小值,或实现用户指定的目标值。优化输出报告包括目标函数的均值、置信区间以及输入变量的取值等。

ProModel 是一款针对生产制造业的系统仿真软件。ProModel 界面直观,便于用户操作和使用,而逼真的动画显示、各种分析报表以及强大优化功能,能够帮助用户尽可能快的实现最佳方案选择。在生产制造企业中,ProModel 的主要功能有以下几个方面:

- (1)生产能力、生产周期、瓶颈分析;
- (2)产能规划、生产排程分析;
- (3)精益制造方案验证;
- (4)布局优化和扩充;
- (5)供应链和库存优化。

2.3.4 仿真软件 AnyLogic 的介绍

AnyLogic 是一款较为独特的仿真软件，它以最新的复杂系统设计方法论为基础，将 UML 语言引入了建模仿真领域。AnyLogic 拥有较强的兼容性，丰富的模型单元，多种输出功能等优点，可以满足客户的各种要求，针对现实中的不同领域提供多种解决方案。

AnyLogic 的动态仿真结构比较独特，可以通过模型的层次结构，以模块化的方式快速地构建复杂交互式动态仿真。AnyLogic 的动态仿真是基于 Java 技术的，因此可以使用因特网访问，在 Web 页面上显示出来。AnyLogic 非常适用于大型复杂系统的设计，因为建设现实系统代价高昂，耗时太长，而通过软件进行试验，可降低企业风险，控制成本。

AnyLogic 模型的可视化图形是由 Java 编写的，用户可方便地定义对象，端口，信息，时钟等的功能；并且在模型的任一层次，都可直接在模型编辑器中添加 Java 代码。假设需要对一些有规则结构的系统建模，如网，托，链，环等，只需复制一些对象，定义对象的个数作为参量，然后用 Java 语句将对象连接起来即可。

AnyLogic 的框架结构包括随机的模型输入条件，对经过统计的输出结果进行收集，分析和表示，参数变化机制，与数据库的接口，电子数据表，数据存储，工具箱的优化和丰富的 API。AnyLogic 的数据库能够帮助用户收集、分析模型执行过程中的数据。AnyLogic 支持不同的数据集的表示方法，如曲线图，柱状图和甘特图等。AnyLogic 的最优化工具箱包括最小值查找、牛顿和随机查找等。

2.4 本章小结

本章首先介绍了物料配送的理论与方法，明确了配送的概念以及配送系统的目标。其次对系统仿真方法进行了概述，并介绍了几种流行物流仿真软件。

第三章 S 公司某装配车间物料配送调度系统优化分析

3.1 S 公司某装配车间概况

S 公司是一家大型工程机械制造商，其中某装配车间主要负责泵车、车载泵、拖泵、搅拌主机、砂浆车、摊铺机、压路机、熨平板、平地机等设备的总装。该装配车间南面有泵送物料区，车间东面有两个立库，将总装所需的物料送入车间内。

3.1.1 车间装配区布局

在车间装配区内，有 10 条总装线和 13 条部装线，7 个运输通道，以及一个参观通道，具体布局如图 3-1 所示：



图 3-1 车间装配区布局图

3.1.2 系统相关参数

(1)各通道配送点数量

从图 2-1 中可以看出, A-G 这七条通道上标有各总装线及部装线上所需的工位, 所以各通道内的配送点数量有所不同, 具体情况如表 3-1 所示:

表 3-1 各通道配送点数量分布

	A 通道(个)			B 通道(个)						
	分动箱	电控箱	阀组清洗	泵车 2	转塔	臂架 2	支腿 2			
配送点数量	3			23						
	1	1	1	11	4	4	4			
	C 通道(个)				D 通道(个)					
	泵车 1	泵送机构	臂架 1	支腿 1	拖泵	主动 力 1	泵送机构 2	车载泵	主动 力 2	泵送机构 3
配送点数量	24				14			15		
	11	5	4	4	8	1	5	9	1	5
配送点数量	E 通道(个)			F 通道(个)						
	搅拌主机			摊铺机			压路机			
	6			58						
			21			37				
配送点数量	G 通道(个)									
	熨平板					平地机				
	26									
9					17					

(2)产能及生产节拍:

计划产能: 泵车月产量 1000 台, 车载泵月产量 500 台, 拖泵月产量 1000 台;

节拍 1: 泵车总装每条线 60 分钟, 车载泵总装 60 分钟, 拖泵总装 30 分钟;

节拍 2: 摊铺机 320 分钟, 熨平板 320 分钟, 搅拌主机 240 分钟, 砂浆车 960 分钟, 平地机 160 分钟, 压路机 160 分钟。

(3)有中转情况的配送容器数量。一个配送周期内各通道所需容器数量如表 3-2 所示。一个配送周期内各通道所需厂外件容器数量如表 3-3 所示。一个配送周期内各通道所需立库件容器数量如表 3-4 所示。

表 3-2 一个配送周期内各通道所需容器数量

一个配送周期内各通道所需容器数量		
通道	立库件(个)	厂外件(个)
A	22	42
B	45	102
C	43	110
D 车	19	82
D 拖	36	88
E	6	7
F	22	97
G	23	36

表 3-3 一个配送周期内各通道所需厂外件容器数量的详细分布

一个周期内各工位所需厂外件容器数量(个)												
装配线(工位)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
泵车总装	0	2	7	2	2	2	9	4	7	1	3	
转塔部装	28	0	0	0								
支腿部装	14	0	1	0								
臂架部装	20	0	0	0								
泵送机构 1	36	0	0	0	0							
拖泵总装	1	0	4	1	1	1	2	7				
车载泵总装	1	1	13	8	6	11	1	1	13			
主动力部装	8											
分动箱部装	2											
阀组清洗部装	20											
电控柜部装	20											

表 3-4 一个配送周期内各通道所需立库件容器数量的详细分布

一个周期内各工位所需立库件容器数量(个)												
装配线(工位)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
泵车总装	0	1	3	1	1	1	1	3	1	3	2	3
转塔部装	12	2	0	2								
支腿部装	3	1	0	1								
臂架部装	1	1	1	1								
泵送机构 1	6	2	2	2	2							
拖泵总装	1	1	1	1	1	1	1	1				

车载泵总装	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
主动力部装	2											
分动箱部装	6											
阀组清洗部装	8											
电控柜部装	8											

(4)AGV/叉车基本参数。叉车基本参数如表 3-5 所示，AGV 基本参数如表 3-6 所示。

表 3-5 叉车基本参数

	厂外空载 速度(m/s)	厂外负载 速度(m/s)	厂内速度 (m/s)	拐弯速度 (m/s)	装载时间 (s)	卸载时间 (s)
叉车	3	2	1	0.5	30	60

表 3-6 AGV 基本参数

	空载速 度(m/s)	负载速 度(m/s)	拐弯速 度 (m/s)	拐弯时 间 90(s)	拐弯时 间 180(s)	装载时 间 (s)	卸载时 间 (s)
AGV	1.2	1.2	1.2			5	52

3.1.3 S 公司某装配车间装配区物流系统目标分析

为使车间内各装配线能够顺畅工作，运输工具安全有序行进，使公司成本降至最低，公司利益达到最大化，现需要对车间装配区以下内容进行调研分析：

泵送装配区（4 总装线、13 部装线）、压路机、搅拌设备、砂浆车装配区各物料来源点所需 AGV 或叉车数量；车间 AGV 及叉车整体调度规划；南 1 门、南 3 门、北 1 门、北 3 门的吞吐分析；ABCDEFGH 各物流通道的拥塞分析；立库 1、立库 2 及外部仓库出货能力需求。

根据确立的分析目标，具体的分析流程如下：

为了制定出完整的配送调度表，首先要确定物料的配送量以及配送时间，这就需要进行容器数量分析和配送过程分析。容器数量分析，首先需要分析生产计划，得到生产所需的物料需求，将物料进行分类，结合配送批量以及工位空间来确定容器设计，最终确定物料的配送量；对于配送过程的分析，需要通过配送路径、物料的来源点与配送点远近，对配送模式进行分析，确定所用的运输工具，

最终计算出单次配送耗时。得到运输工具数量、配送量以及单次配送耗时这些数据后，便可进行配送时间段的计算，并制定出初始配送调度表。

有了初始配送调度表，便可以对其进行仿真实验，得到物流通道堵塞报表、门径吞吐报表及运输工具利用率报表，对这些报表进行分析，反复实验最终确定调度方案。装配区物流系统分析流程如图 3-2 所示：

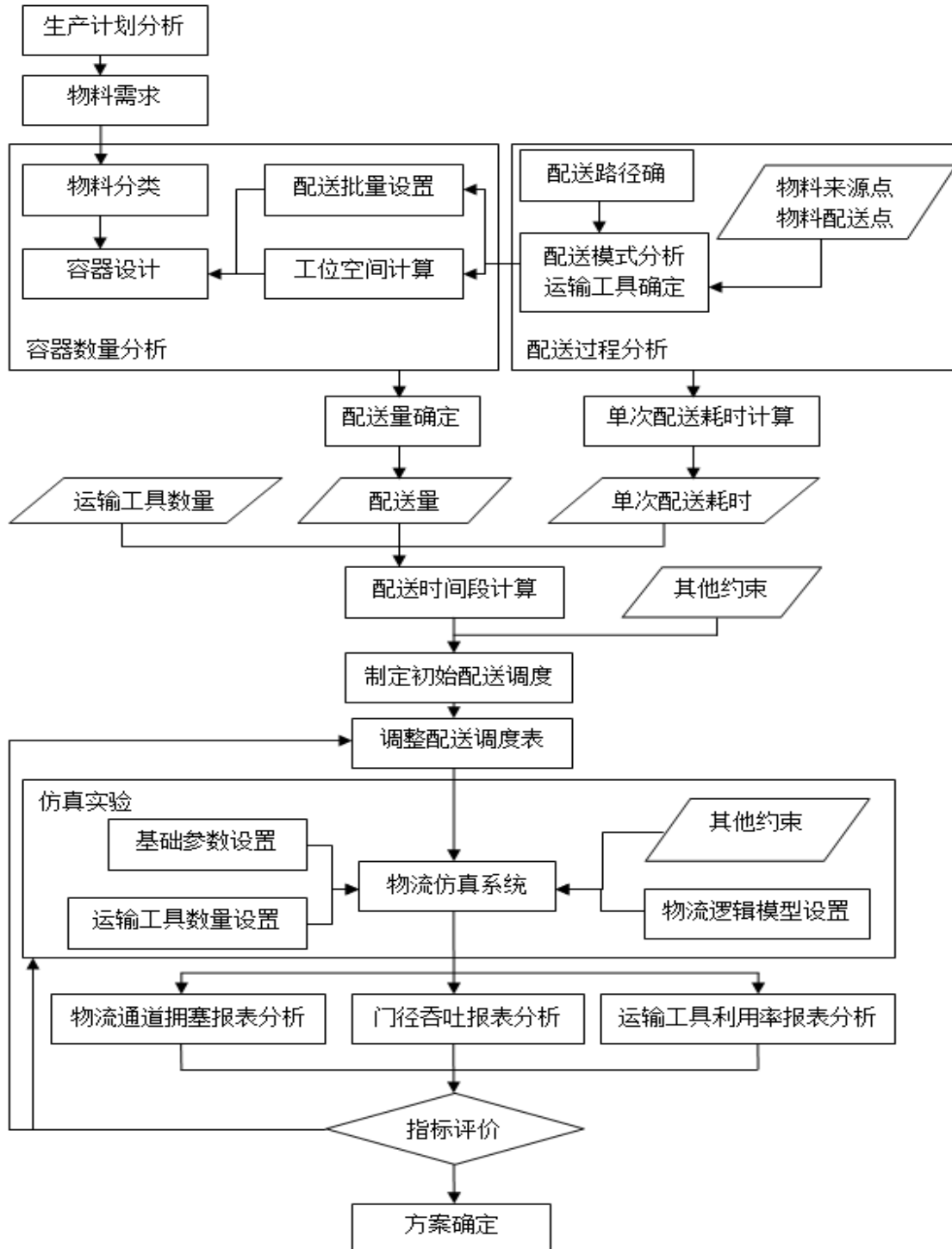


图 3-2 装配区物流系统分析流程图

3.1.4 其他约束条件

配送量方面，立库小件按照单工位单台套、两台套或四台套单批次配送；厂外大件按照单工位单台套、两台套单批次配送；厂外其他类型物料，按单工位四台套单批次，且来源点相同则尽量合批配送；设立统一缓冲站时，能够合批的物料种类增加，容器数量减少；

配送容器类型主要采用通用容器，专用容器以及专用工装；运输工具为 AGV 和叉车；

厂内配送路径约束：①东西向同一物流通道内不得同时出现 AGV 和叉车；②南北向参观通道内不得出现 AGV 和叉车交叉行驶，见图 3-3；③D 通道立库 1 与立库 2 AGV 路线在 D 通道重合；④A 通道的部装产品通过叉车配送到总装线，路径与厂外件类似。

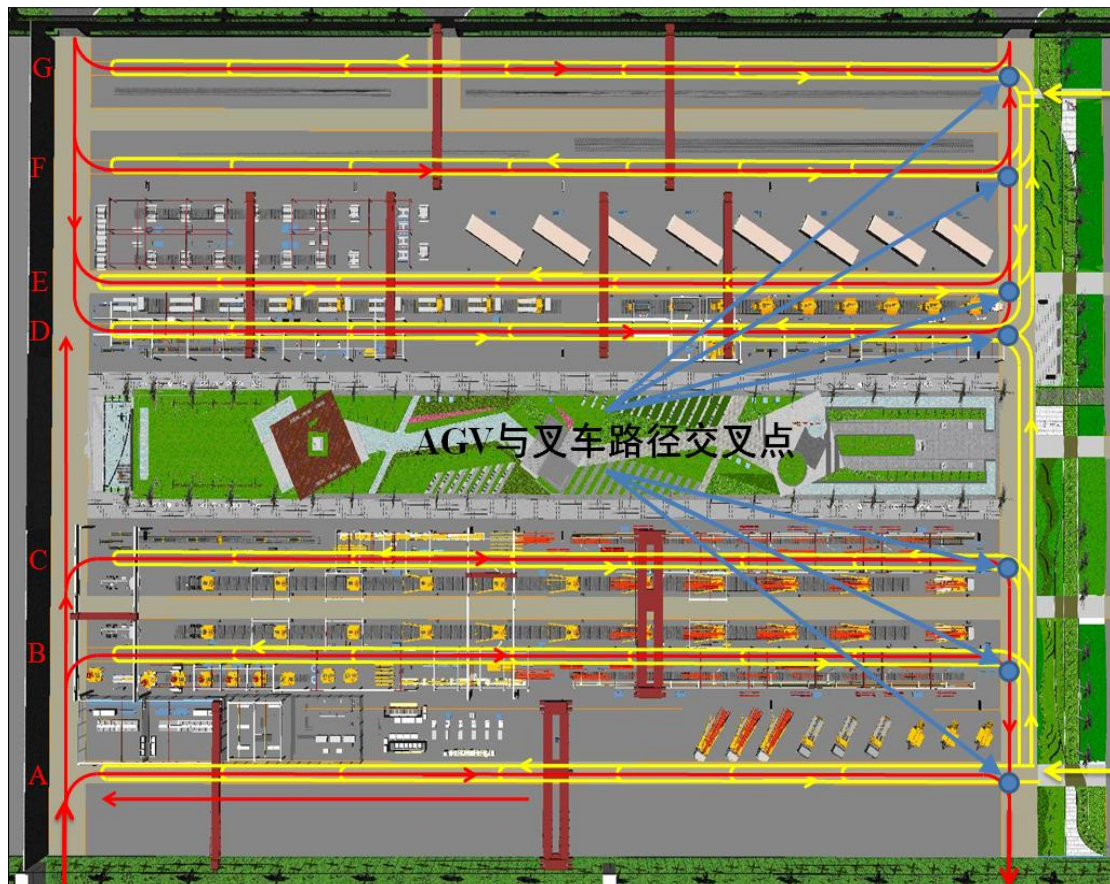


图 3-3 厂内 AGV 与叉车路径交叉点示意图

3.2 系统初步分析

3.2.1 运输工具数量、配送量及单次配送耗时的计算

由图 3-2 的流程图可知，为了制定初始配送调度表，首先要知道车间的运输能力，即各通道内 AGV 和叉车的初始数量及它们各自配送各通道所耗时间的估算。

单通道 AGV 数量=圆整(单辆 AGV 小车共计用时/(生产线生产节拍时间*单次配送台套数));

配送量=容器数量*配送周期/ (配送批量*生产节拍);

AGV 配送一次的时间=取货时间+配送时间+卸货和取空托盘时间+返程时间;

叉车配送一次的时间=负载到通道口时间+通道内时间+返回仓库时间。

AGV 配送各通道最远工位时间如表 3-7 所示，叉车配送时间如表 3-8 所示。

表 3-7 AGV 配送各通道最远工位时间

立库 1AGV 往返一次最大运输时间			
通道(立库 1)	运输时间(min)	通道(立库 2)	运输时间(min)
A	5	D	9
B	8	E	8
C	9	F	6
D	11	G	6

表 3-8 叉车配送时间

南 1 库配送各通道时间			
通道	到通道口时间 (min)	通道内时间(min)	返回仓库时间 (min)
A	3.5	5	3
B	4	5	4.5
C	4.5	5	5
D	5	5	5.5

3.2.2 配送调度表的制定

(1) 配送调度表的主要内容

配送调度表中主要包含物料、时间、数量以及配送点这四个方面。

物料：AGV 配送容器，叉车则针对具体物料进行配送，不同的物料配送节拍不同；

时间：不同配送点均设有提前期，按时间段配送；

数量：不同物料按不同批量配送；

配送点：调度表中每条数据指定相应物料的配送点。

(2) 配送调度表的限制条件

配送时要将配送量平衡的分布到各个时间段；岔开各通道相互之间 AGV 和叉车配送时间段；单个配送时间段大小与 AGV/叉车数量相互制约。

(3) 配送调度表的初始数据

配送调度表初始数据如下图 3-4 所示。

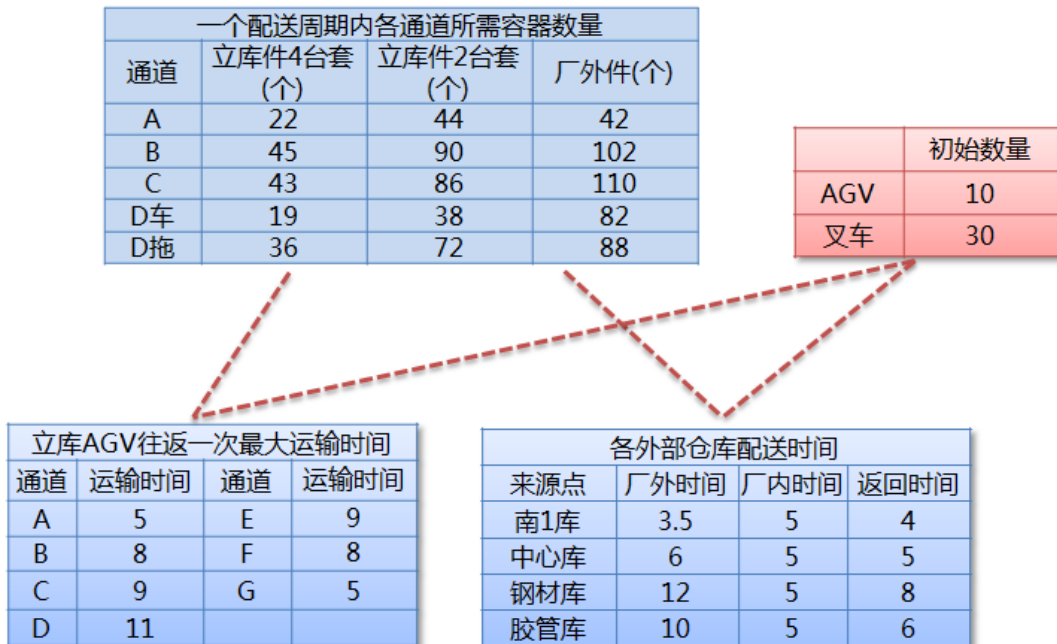


图 3-4 配送调度表

(4) AGV/叉车调度方案

初步制定配送调度表后，当调度命令发出后，空闲的 AGV 或叉车得到相应的指令，按照指令取货，并载货至目的地后卸货，取空托盘，返程时再将空托盘卸载，最终回到原点再次等待调度指令。AGV/叉车调度方案如图 3-5 所示。

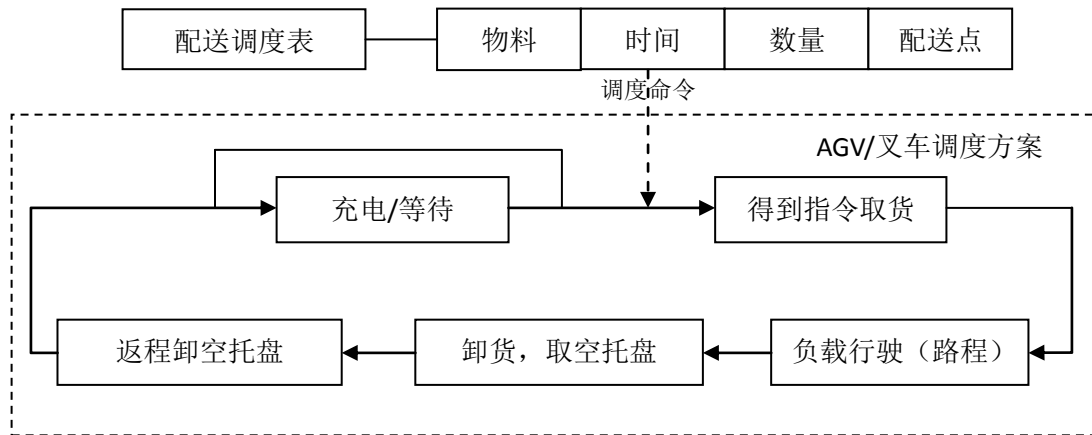


图 3-5 AGV/叉车调度方案

3.3 配送调度方案设计与分析

3.3.1 方案设计及相关参数介绍

根据厂方提供的相关数据，配送时需要考虑有无中转，是否为 JIT 方式，以及小件台套数，现共设计 12 种配送方案，表 3-9 所示。

表 3-9 配送方案设计

	中转	配送模式	小件台套数
方案 1	有	非 JIT	1
方案 2	有	非 JIT	2
方案 3	有	非 JIT	4
方案 4	无	非 JIT	1
方案 5	无	非 JIT	2
方案 6	无	非 JIT	4
方案 7	有	JIT	1
方案 8	有	JIT	2
方案 9	有	JIT	4
方案 10	无	JIT	1
方案 11	无	JIT	2
方案 12	无	JIT	4

参数介绍:

中转: 指所有厂外件从南 1 库中转, 然后进入车间;

JIT 配送: 在配送容器到工位时, 工位上已有的容器中的物料已经被消耗完, 可以被回收。该模式配送所需工位空间最少, 最小为 $N+1$ (N 是容器数量), 库存也较少;

台套数: 每个容器所容纳的物料套数;

从各种方案中的组合参数可以看出: (1)有中转的配送所用时间短, 所需叉车少; (2)JIT 配送可用配送时间少, 所需叉车、AGV 数量多; (3)台套数越大, 配送频次越低, 所需 AGV 越少。

配送方案的否决条件:

(1)配送延迟: 未能够在给定时间内将物料配送到指定配送点;

(2)通道拥堵: 车辆之间的距离过短, 有安全隐患, 根据观察叉车一般运行安全距离为 5 米, 在物流通道内的安全距离给定为 8 米, AGV 运行安全距离为 5 米, AGV 在参观通道最繁忙, 据此可以给出通道中最多可以同时出现 AGV 数量= $135/5=27$ 台, 叉车数量= $200/8=25$ 台, 叉车通过门径的数量= $60/5-1=11$ 台/min, 此为运输工具数量的安全阈值;

(3)物流通道中同时出现叉车和 AGV 且相对行驶;

(4)参观通道中出现叉车与 AGV 交叉行驶。

3.3.2 单台套初步分析

根据运输工具的平均单次配送时间和各通道的配送量可以初步评估小件单台套所需的运输工具数量。

单台套各通道配送量如表 3-10 所示。

表 3-10 单台套各通道的配送量

单台套各通道的配送量		
通道	立库所需配送量(个)	南 1 库所需配送量(个)
A	16	20
B	36	58
C	34	58
D 车	18	28
D 拖	22	22

以 B 通道为例, 非 JIT 配送节拍 60 分钟, 若 30 分钟运行 AGV, 30 分钟运行叉车, 则 AGV 平均每次往返需要 7.5 分钟, 可以往返 3 次, 数量= $36/3=12$,

叉车平均每次往返需要 10 分钟，可以往返 3 次，数量=58/3=20。

同理 A 通道需要 AGV4 台，叉车 7 台；C 通道 AGV12 台，叉车 20 台；D 通道需要 AGV9+8=17 台，叉车 25 台。

叉车总数 72 台，AGV 总数 45 台，无论增加叉车数量减少 AGV 数量，还是增加 AGV 数量减少叉车，都超过了各自的安全阈值，因此单台套不可行，所以方案 1, 4, 7, 10 可以否决。

3.3.3 JIT 配送初步分析

以 D 通道 4 台套为例，假设拖泵所有物料在第四个生产节拍之前消耗完，第四个生产节拍 30 分钟时间配送下一个物流节拍的物料 AGV 运输一次平均需要 11 分钟，南 1 库叉车运输一次需要 12 分钟，则拖泵需要：

AGV 数量=1 次配送量=18 台；

叉车数量= 1 次配送量=44 台；

车载泵需要：

AGV 数量=1 次配送量=19 台；

叉车数量= 1 次配送量=82 台；

超过安全阈值，因此 4 台套 JIT 配送不可行，1, 2 台套与此类似分析均不可行，因此方案 7-12 否决。

3.3.4 其他方案分析及 Quest 仿真模型搭建

通过简单分析，否决方案 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 剩余方案 2, 3, 6。我们以方案 3 为例进行初步分析，方案 3 为有中转，4 台套，非 JIT 配送情况，则根据前面的分析方法：

各通道需要 AGV 数量：A=2,B=10,C=8,D=7，总数 27；

各通道需要叉车数量：A=7,B=10,C=15,D=12，总数 44；

初步判断可行，需要通过仿真实验进行优化，仿真过程如图 3-6 所示。

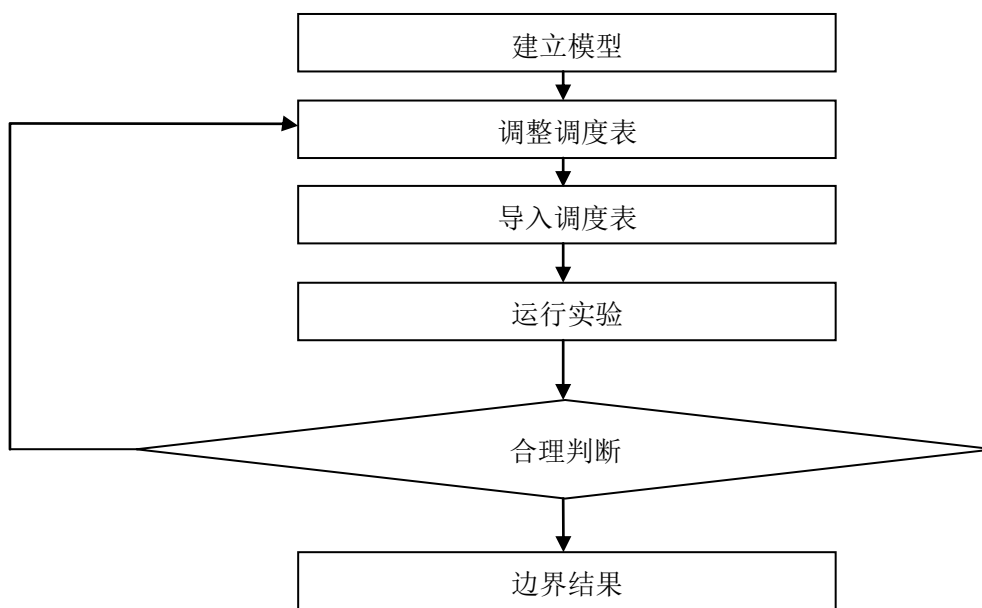


图 3-6 仿真实验流程图

首先根据已知条件，使用仿真软件 Quest 搭建好模型，如图 3-7 所示。

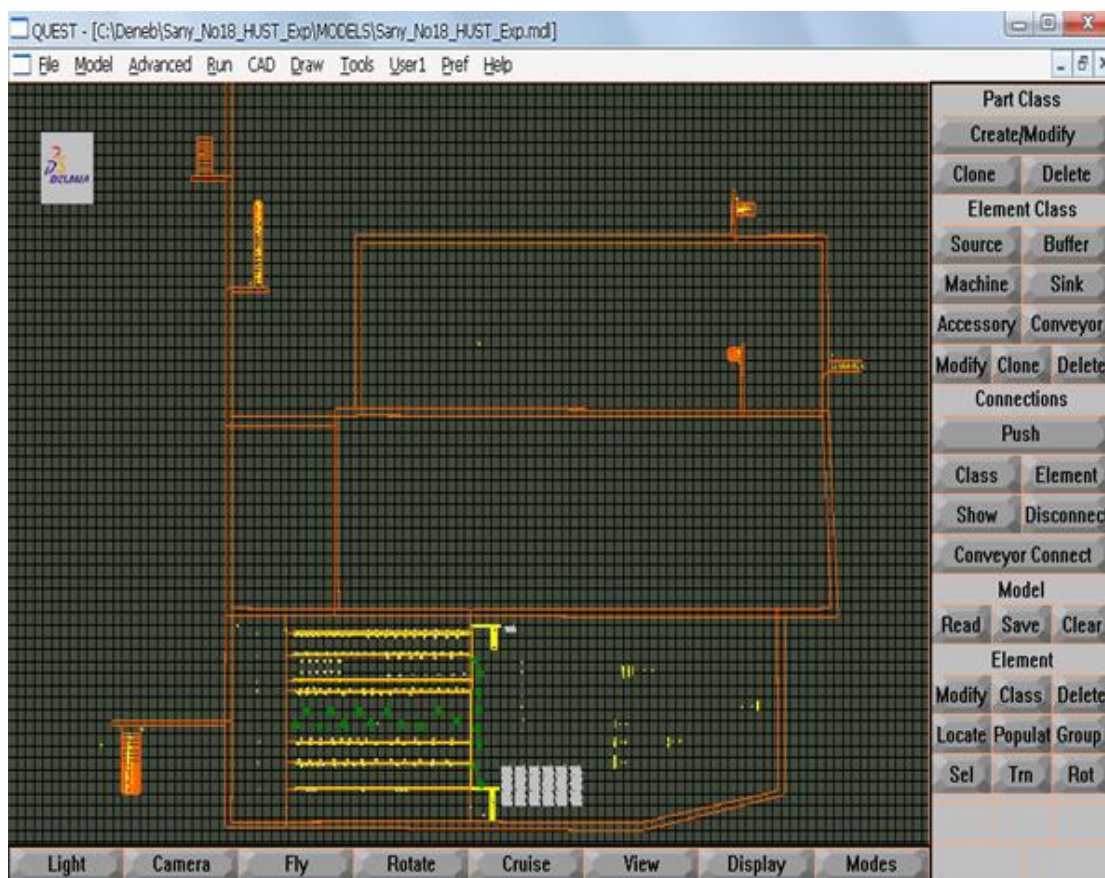


图 3-7 仿真模型搭建

参数设置如图 3-8 所示，调度表界面如图 3-9 所示。

AGV名称	激活状态
LK1_AGV1	激活
LK1_AGV2	激活
LK1_AGV3	激活
LK1_AGV4	激活
LK1_AGV5	激活
LK1_AGV6	不激活
LK1_AGV7	不激活
LK1_AGV8	不激活
LK1_AGV9	不激活
LK1_AGV10	不激活
LK1_AGV11	不激活
LK1_AGV12	不激活

修改AGV激活数量

命令文件位置:

C:\Deneb\Sarv Nc

图 3-8 参数设置界面

物料名	来源	托盘	数量	时间点
operator	0			
B_XJ_BSG	LK1	CZB_XJTP_1	4	21
XJ_liaodou	LK1	CZB_XJTP_10	4	21
U_zhudongli	LK1	CZB_XJTP_2	4	21
XJ_liaodou	LK1	CZB_XJTP_10	4	21
_XJ_huosai	LK1	CZB_XJTP_3	4	21
_XJ_BSG	LK2	TB_XJTP_1	4	21
XJ_liaodou	LK2	TB_XJTP_11	4	21
_XJ_BSG	LK2	TB_XJTP_1	4	21
XJ_liaodou	LK2	TB_XJTP_11	4	21
_XJ_BSG	LK2	TB_XJTP_1	4	21
XJ_liaodou	LK2	TB_XJTP_11	4	21
J_zhudongli	LK2	TB_XJTP_2	4	21

生成发货顺序表

发货顺序表位置:

C:\Deneb\Sary_

图 3-9 调度表界面

数据输入完成后，运行实验，根据否决条件 1 判断实验参数是否合理，并调整实验参数直到完成正常配送。仿真实验运行界面如图 3-10 所示。

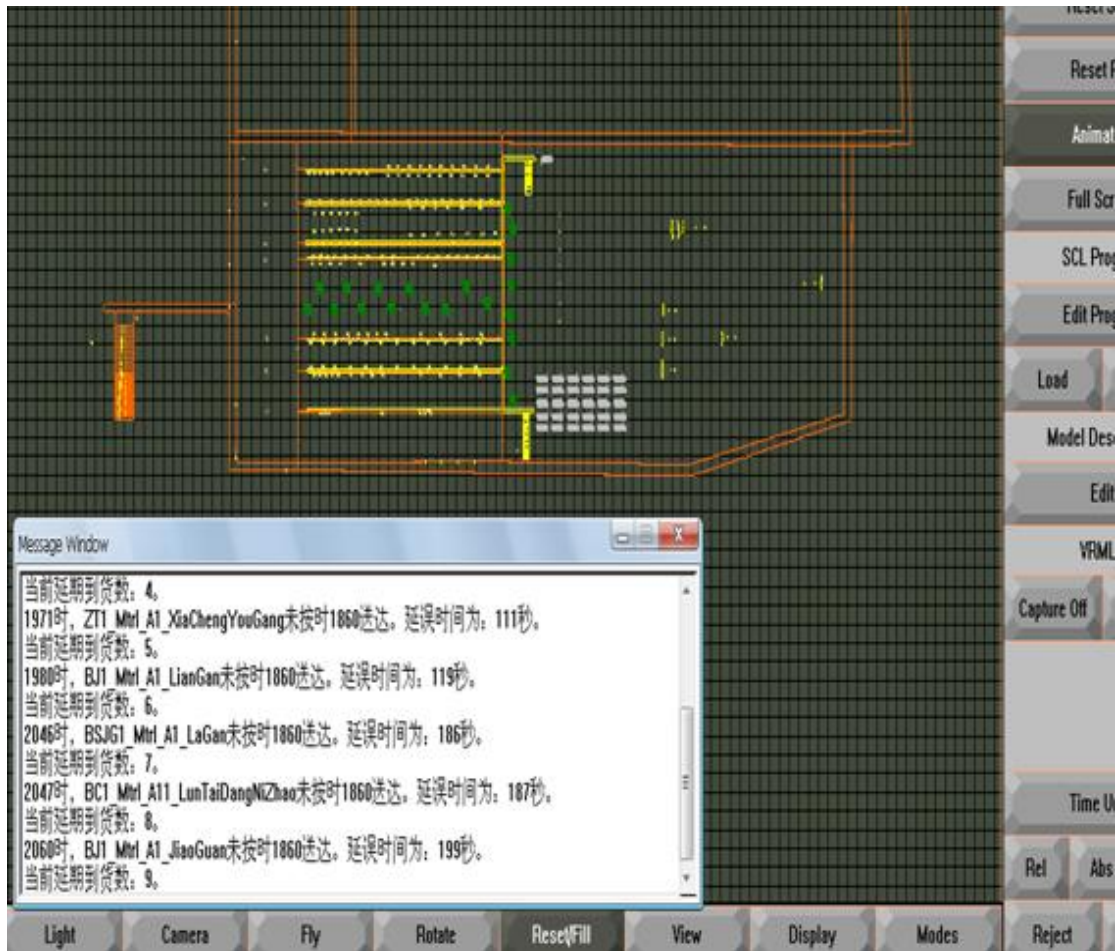


图 3-10 仿真实验运行界面

根据实验数值采样进行分析，以此为依据进行调度表或参数的调整。图 3-11 为实验数据采样图 1。

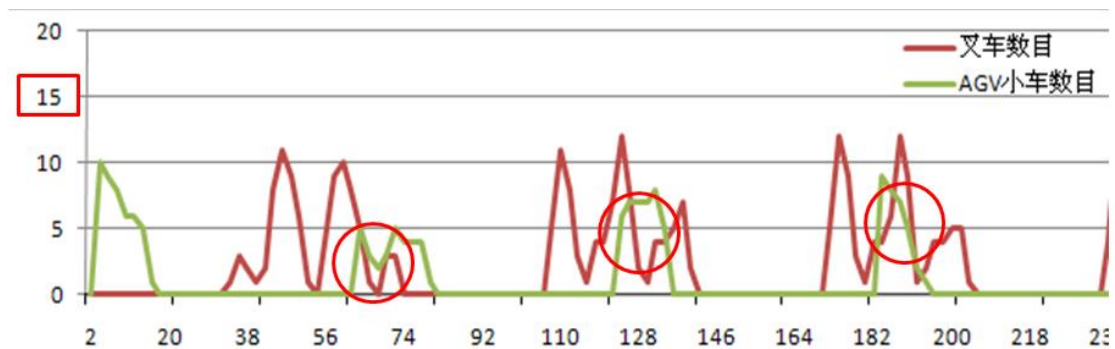


图 3-11 实验数据采样图 1

如上图红圈所示，表明 AGV 与叉车同时出现在通道中，实验参数需要调整。增加了 AGV 或叉车之后，实验数据采样如下图所示，此时减少了干涉情况。图 3-12 为实验数据采样图 2。

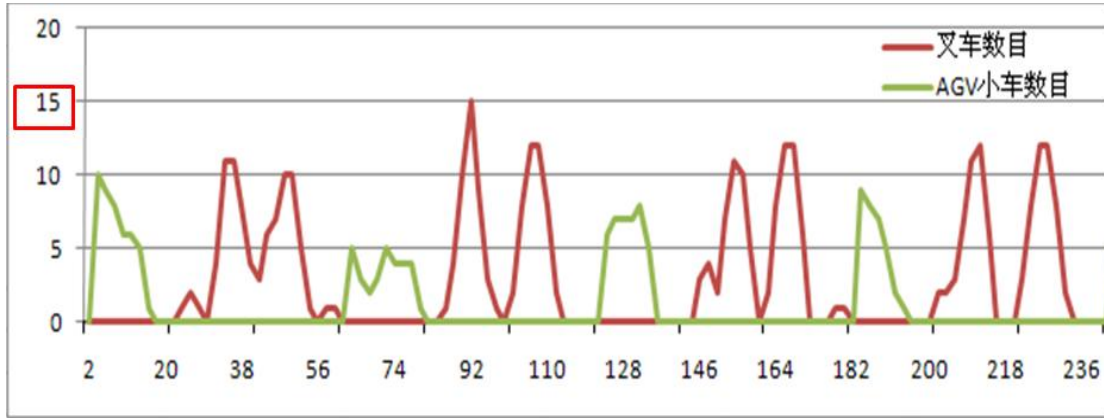


图 3-12 实验数据采样图 2

若叉车数量增加跟 AGV 数量减少的曲线有少量交叉没有影响，因为通道 202 米，叉车从左边进入的时候 AGV 从右边出去，虽然同时出现在通道中，不会发生实质性干涉。如果出现下面的干涉情况，还可以通过修改调度表来调整。图 3-13 为实验数据采样图 3。

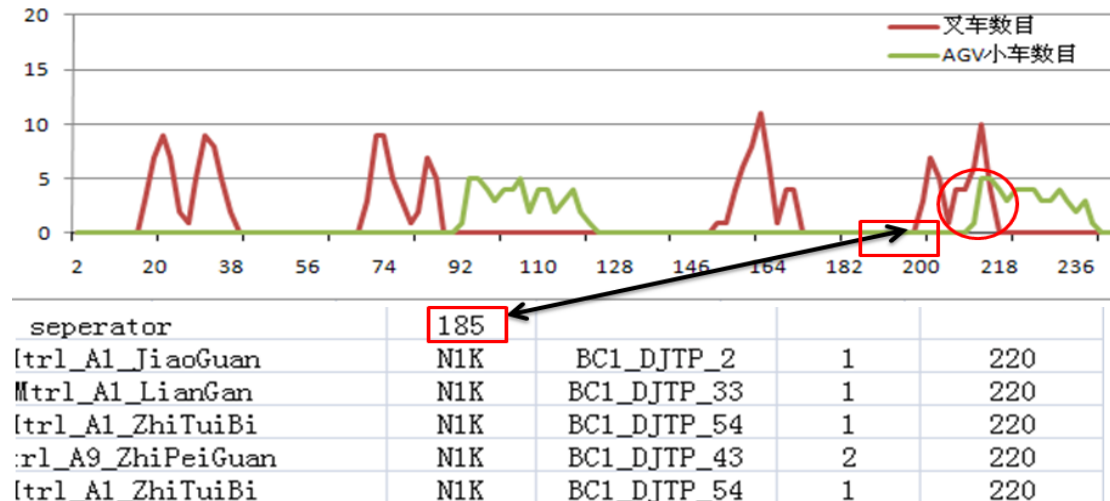


图 3-13 实验数据采样图 3

叉车实际发车时间点根据仓库的远近有不同的提前期。叉车两次发车之间有较多时间空余，可以让第二次提前发车，从而避免干涉。图 3-14 为实验数据采样图 4。

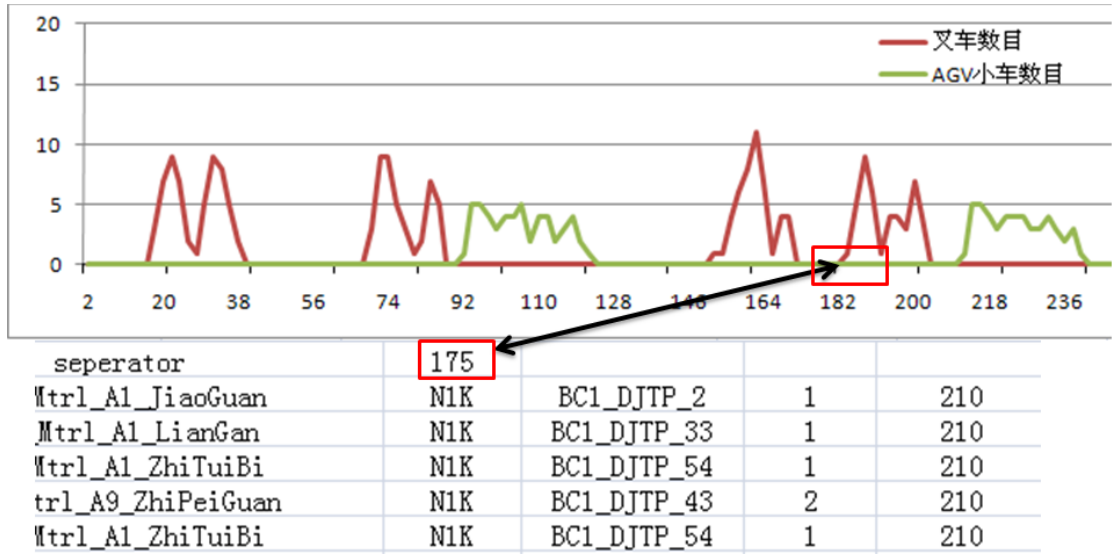


图 3-14 实验数据采样图 4

还要注意其他约束条件:

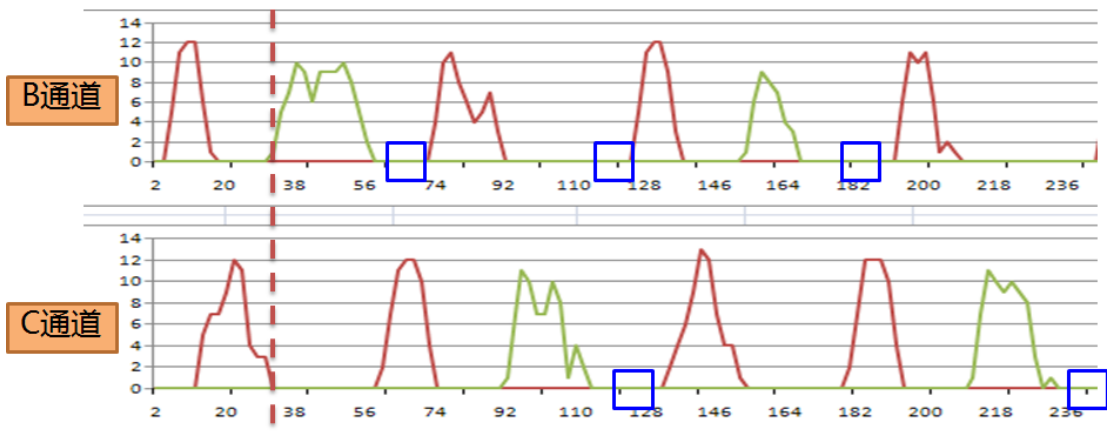


图 3-15 实验数据采样图 5

上图中的红色虚线是为了防止叉车与 AGV 在参观通道有交叉；而蓝色的方框表示通道应预留有一定的应急时间。图 3-15 为实验数据采样图 5。

3.3.5 仿真结果分析

现在以方案 3 为例，进行仿真实验。方案 3 基本参数如下：中转情况：南 1 库中转；小件台套数：4；运输工具数量：立库 1AGV，11；南 1 库叉车，31；240 分钟内各通道配送量如表 3-11 所示：

表 3-11 240 分钟内各通道配送量

通道	立库件(个)	厂外件(个)
A	22	42
B	45	102
C	43	110
D 车	19	82
D 拖	36	88

仿真结果分析:

(1)工位空间要求(单位: 米)如表 3-12 所示。

表 3-12 工位空间要求

各工位立库件容器占用空间大小(AGV 配送容器)												
装配线	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
泵车总装	0	3.9	3.9	9.1	3.9	3.9	3.9	9.1	3.9	9.1	6.5	6.5
转塔部装	9.1	3.9	0	3.9								
支腿部装	6.5	3.9	0	3.9								
臂架部装	3.9	3.9	3.9	3.9								
泵送机构	9.1	3.9	3.9	3.9	3.9							
拖泵总装	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9				
主动力部装	9.1											
车载泵总装	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9			
分动箱部装	6.5											
阀组清洗部装	6.5											
电控柜部装	3.9											

(2)各仓库出库能力要求如表 3-13 所示。

表 3-13 各仓库出库能力要求

	出货要求峰值(个/min)	出货要求均值(个/h)
立库 1	1.4	37
南 1 库	2.2	92

上表中出货峰值是对出货口上货能力和缓存区的要求; 出货均值是对堆垛机和配盘的要求。

(3)通道运行情况如表 3-14 所示。

表 3-14 通道运行情况

	AGV 峰值(台)	AGV 阈值(台)	叉车峰值(台)	叉车阈值(台)
A	5	27	5	25
B	7		20	
C	7		17	
D	8		16	

峰值：某时刻同时出现在通道中的 AGV/叉车最大数量；

阈值：根据运输工具运行时的安全距离和通道长度计算所得，通道中同时出现的车辆数量不能超过该值。

(4)车辆运行状况如图 3-16 所示。



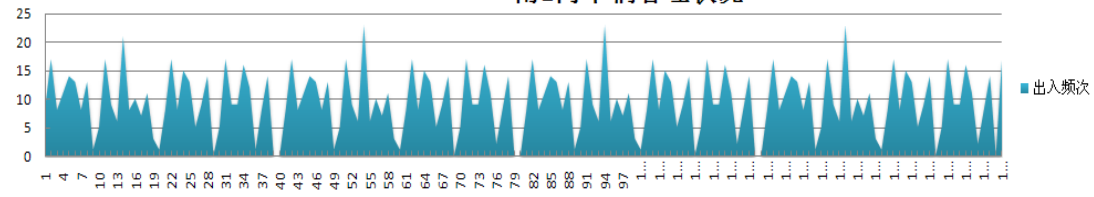
图 3-16 车辆运行状况

(5)门径吞吐状况如图 3-17 所示。

峰值：单位时间通过车辆最大值；

阈值：根据运输工具的安全距离和速度计算所得。

南1门车辆吞吐状况



南3门车辆吞吐状况

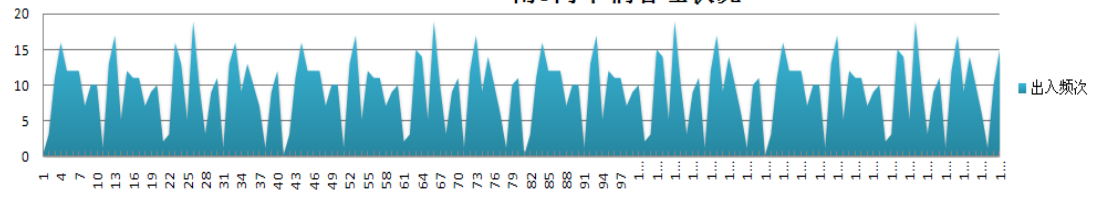


图 3-17 门径吞吐状况

由上图可得出南 1 门车辆吞吐峰值为 2.9 台/min，阈值为 11 台/min；南 3 门车辆吞吐峰值为 2.4 台/min，阈值为 11 台/min。

(6)泵送装配区物流方案对比(见表 3-15)

表 3-15 最终方案对比

		方案 3	方案 2	方案 6
参数	有无中转	有	有	无
	立库 1AGV 数量	11 台	25 台	10 台
	叉车数量	31 台	31 台	55 台
	小件台套数	4 套	2 套	4 套
指标	设备成本	970 万	1810 万	
	立库 1 出货峰值	2 个/min	4 个/min	叉车过多通道 拥塞
	立库 1 出货均值	37 个/h	46 个/h	
	外部仓库出货峰值	2.2 个/min	2.2 个/min	
	外部仓库出货均值	108 个/h	108 个/h	
	通道 AGV 峰值	10 台	18 台	
	通道叉车峰值	13 台	20 台	
	门径吞吐峰值	2.9 台/min	2.9 台/min	

由上图可知，方案 3 中所用 AGV 小车数量为 11 台，叉车数量为 31 台,小件台套数为 4 台套，总成本 970 万,所耗成本最低，配送作业最终达到及时化、合理化、具有较高的服务水平，能够满足项目要求。

3.4 本章小结

本章主要对 S 公司某装配车间物料配送调度系统进行详细分析。先对 S 公司某车间物流系统进行了初步调研，通过容器数量分析和配送过程分析，得到运输工具数量、配送量以及单次配送耗时这些数据，计算配送时间段，制定出初始配送调度表；最后，根据初始配送调度表，进行仿真实验，得到物流通道拥塞报表、门径吞吐报表及运输工具利用率报表，对这些报表进行分析，反复实验最终确定调度方案，实现了配送系统及时化、合理化、高服务水品、低成本的优化目标。

第四章 机械零部件拣选库拣选方案仿真与优化

4.1 机械零部件拣选库情况概述

4.1.1 拆零拣选方式的选取

现代拆零拣选通常都采用电子显示标签来进行辅助,按照操作流程,可将拆零拣选方式区分为摘果式和播种式两类。

1.概念比较

(1)摘果式拣选

摘果式拣选法是针对每一份订单或者客户进行拣选。拣货人员或设备巡回于各个货物储位,将所需的货物取出,每人每次只处理一份订单或客户。

应用电子显示标签进行摘果式拣选,一般要求每一品种货物(货位)对应一个电子显示标签,控制计算机系统可根据货物位置和订单数据,发出出货指示,并使货位上的电子显示标签亮灯,操作员根据电子标签所显示的数量及时、准确地完成拣货作业。

摘果式拣选系统作业特点是:从货架上取货,放入流水线上的箱中。图 4-1 是使用电子显示标签的摘果式拣选系统示意图,图 4-2 是某配送中心的摘果式分拣作业场景。



图 4-1 摘果式拣选示意图



图 4-2 某配送中心摘果式分拣作业现场

(2)播种式拣选

播种式分拣是把多份订单(多个客户的要货需求)集成一批,先把其中每种商品的数量分别汇总,再逐个品种对所有客户进行分货,形似播种,因此也将其称为“商品别汇总分播”。

应用电子显示标签的播种式分拣系统,其每个电子标签货位代表一张订单(即一个客户),操作员先通过条码扫描把将要分拣货物的信息输入系统中,需要货物的货位所在的电子标签就会亮灯,同时显示出该位置所需分货的数量。载有单一品种货物的拣货人员或设备,巡回于各个客户的分货位置,按电子标签显示数量进行分货。

图 4-3 是使用电子显示标签的播种式分拣系统示意图,图 4-4 是某配送中心播种式分拣线的作业场景,该线采用“货到人”方式,一次分拣客户数最多为 60 个。其作业特点是:从流水线上的货箱中取货,放入货架上的发货箱内,与摘果式的动作刚好相反。



图 4-3 播种式分拣系统示意图



图 4-4 某配送中心播种式分检作业现场

图 4-5、图 4-6 是摘果式系统和播种式系统在配送中心的平面布局图，参照条件是分拣处理的品种数不小于 2000 个，分拣输出能力大致相等。图 4-5 中拆零拣选区安装的摘果式分拣线长度大于 200 米，并且一般情况下都是如此。图 4-6 中的拆零拣选区安装了 4 条播种式分拣线，每条线长度 10 米。

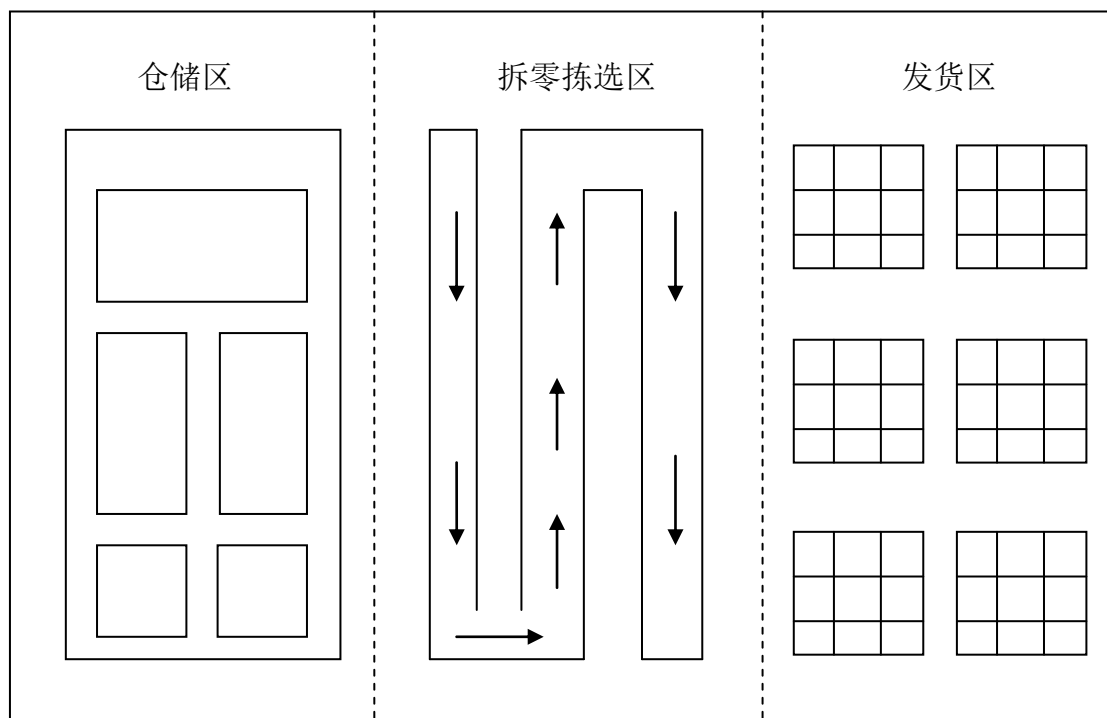


图 4-5 摘果式系统平面布局

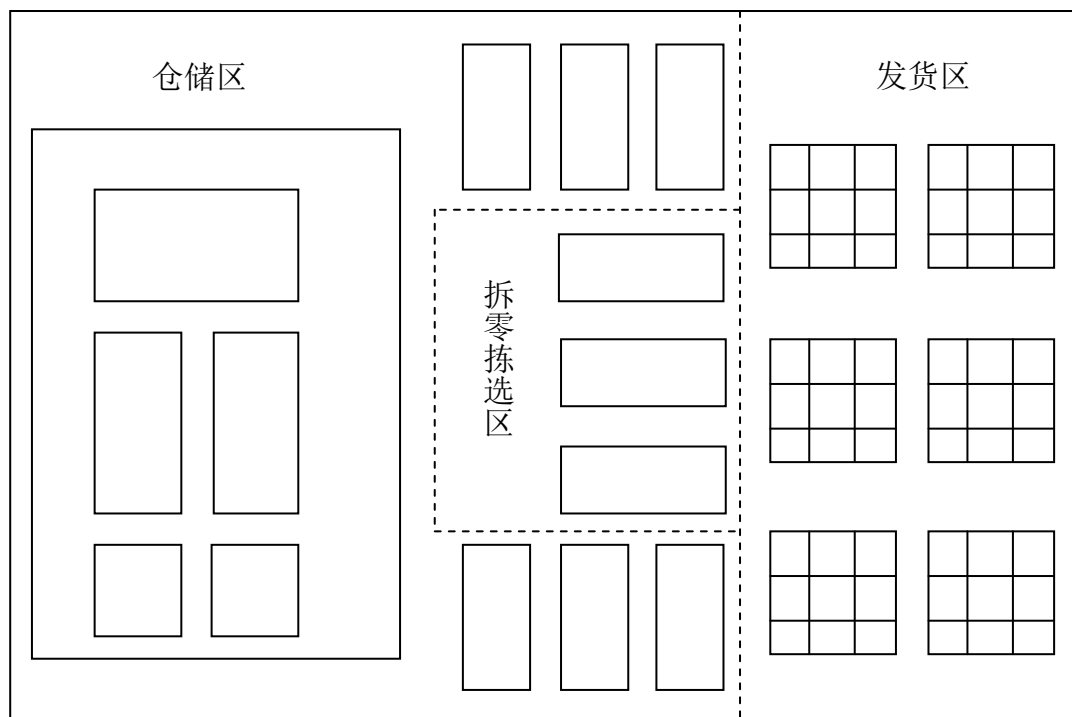


图 4-6 播种式系统平面布局

2. 占地、造价、适用范围的比较

①当拆零拣选的品种较多时（例如大于 1000），对应相同的分拣能力，摘果式分拣系统的货架和输送线长度、占地面积远大于播种式系统，因此造价和操作人员数量也多很多。换言之，如果占用同样的场地面积，播种式系统的分拣能力会比摘果式大很多。

因此，对于拆零拣选品种数较多的情况，应该优先选用播种式。

②当拆零拣选的品种数小于 300 个，而订单客户数量巨大（超过 1000 个）时，就非常适合使用摘果式分拣，因为如果采用播种式，会造成很长的货架、流水线长度、占地面积，带来类似于品种数巨大时采用摘果式的情况；此时品种数不多，因此摘果式的拆零拣选货架长度不大，可以使用。

③拆零货物数量较少时，因为不需要频繁补货，所以摘果式比较方便。拆零数量较大时就应该使用播种式。

总而言之，对于订单品种和数量都比较多的大规模拆零拣选，播种式分拣比摘果式具有多方面的优势，此时应该以播种式为主要作业流程，适当辅之以摘果式流程。

3. 工作效率

在订单品种重合度较高的情况下，摘果式和播种式在分货工序人均工效相差不多，而摘果式的补货工作量比播种式大。

多数配送中心实际工作中，通常订单品种差异变化较大，此时播种式因行走

距离较短等因素，效率优于摘果式。因此，从提高工作效率考虑，应该优先采用播种式进行拆零拣选。

4. 差错率

播种式在分拣过程中可以很方便地兼顾复核，而摘果式则很难做到。摘果式要降低差错，就必须增加复核工序，也就相应增加了工作量。所以同等条件下播种式差错率低于摘果式。

5. 订单响应时间

订单响应时间较短是摘果式的优点。早期播种式分拣系统订单相应时间较长，严重制约了播种式分拣技术的推广。

需要指出，现在多数配送中心的订单都是按照计划作业的，要求即刻提货的订单只是个别现象，所以摘果式“摘了就出”的作业特点实际价值并不大。对于个别紧急订单，可以采用 RF 手持终端辅助人工拣货方式给予解决。

6. 对“通过型”物流的支持

现代物流市场对时效性的要求越来越高，越来越多的货物往往不进入仓储区就直接分拣出货，称为“通过型”物流。摘果式分拣方式必需要把货物放置在拆零货架上才能分拣出货，因此很难支持“通过型”物流。

由工作方式分析可知，播种式分拣可以很好支持“通过型”物流，例如生鲜食品分拣等，也便于配送中心实现经营品种的快速更替。

所以，播种式分拣是一种更加现代化的分拣作业方式。

7. 作业连续性

摘果式分拣作业中，对数千个拆零货位的补货往往需要中断拣选作业，这使得拣选作业通常在一天之内要暂停几次、数小时，影响了作业的连续性，降低了效率。播种式则完全没有这个问题。

8. 操作流程的管理控制

①摘果式分拣技术直接脱胎于最原始的货架取货方式，操作简单，技术成熟。由于是分别处理每份订单，流程的控制和管理比较容易。

②由于播种式分拣需要同时处理许多订单，订单间存在各种差别（品种重合度、包装体积、数量、物理状态等），因此分拣流程的整体操作难度大于摘果式。

③流程的管理要求较高

摘果式分拣的工作失误通常只影响一份订单，播种式影响的是一批订单。因此使用播种式分拣对流程管理的要求更高，对管理信息系统、人员操作、规章制度都有更高的要求。

综上所述，根据机械零件拣选库的实际情况，采用播种式的拣选方法更加有利于生产。

4.1.2 模型前提假设

1. 机械零部件拣选库由 1 号库与 2 号库组成, 1 号库与 2 号库的日入库量均为 600 盘, 其中 2 号库入库的大小托盘量各有 300 盘;

2. 立体库的作业主要有右侧一层新满盘入库作业, 一层右侧的 B 类空容器入库和满容器出库作业, 左侧二三层出库作业和入库作业。对于 1 号库和 2 号库, 右侧一层的新满盘入库作业优先级低于其他作业, 其他作业按先到先作业原则完成出入库作业;

3. 整个方案是以“提升库作业效率不影响整个播撒”为基本前提假设。

4.1.3 系统参数

(1) 入库任务量: 1 号库和 2 号库入库量都为 600 盘/天。由于其入库作业优先级最低, 可以设定其到达频率为: $U(3, 0.5)$ 分。即, 每隔 $U(3, 0.5)$ 分有一个货物到达系统; 对于 1 号库, 到达系统的货物, 按照 (1: 1: 1: 1: 1: 1: 1) 的比例进入立体库 7 个巷道的某一个; 对于 2 号库, 货位分为大小托盘, 其比例为 (1: 1), 各有 300 盘, 达到 2 号库入库口, 按照 (1: 1: 1: 1: 1: 1: 1) 的比例进入立体库 7 个巷道的某一个;

(2) 立体库左侧穿梭车速度: 120 米/分钟, 加速度为 0.5 米/秒^2 , 装卸货时间为 30 秒;

(3) 立体库右侧穿梭车及 1 号库与 2 号库之间的穿梭车速度: 120 米/分钟, 加速度为 0.5 米/秒^2 , 装卸货时间为 10 秒;

(4) 提升机垂直提升速度: 20 米/秒, 加速度 0.25 米/秒^2 ; 在提升机进出口的水平速度为 12 米/秒, 加速度 0.25 米/秒^2 。

(5) 立体库系统每天连续作业时间不超过 20 小时。

(6) 立体库堆垛机水平速度最大为 120 米/秒, 垂直速度最大为 40 米/秒, 加速度 0.25 米/秒^2 , 取托盘和放托盘的时间为 20 秒。

(7) 拣选位人工拣选效率为: $U(7.5, 2.5)$ 分, 即拣选时间为 5-10 分钟。

(8) 播撒效率为: $U(11, 4)$ 分, 即拣选时间为 7-15 分钟。

(9) 1 号库二三层播撒区一个波次播撒 18 个工位 (每个工位 10 托盘, 共 180 盘), 每个工位的拣选种类均值为 15, 按照均匀分布 $U(15, 5)$ 来确定每个工位的拣选种类数量。每天播撒两个波次, 总播撒量为 720 盘。

(10) 1 号库拣选工位设置为 12 个, 拣选人员为 6 人; 播撒人员 12 人。

(11) 2 号库二三层播撒区由于空间区域不足, 仅设置 6 个播撒工位 (每个工位 10 托盘, 共 60 托盘), 每个工位的拣选种类均值为 15, 按照均匀分布 $U(15,$

- 5) 来确定每个工位的拣选种类数量。每天亦播撒两个波次，总播撒量为 240 盘。
(12)2 号库拣选工位设置为 6 个，拣选人员为 3 人，播撒人员 6 人。

4.2 AutoMod 仿真模型搭建

图 4-7 为仿真模型全景图。1 号库与 2 号库之间通过地下的穿梭车联系。新到的货物先到达 1 号库库区的卸货区，卸货后通过地下穿梭车送到 2 号库入库口，进入 2 号库。

1 号库和 2 号库左侧为满盘出库作业区，由穿梭车将出库托盘取走，并取回空容器。右侧二三层均设有播撒作业区。

1 号库播撒区二三层各设有 18 个播撒工位，并在工位左侧，立体库右侧设有入库容器缓存区，在播撒区右下侧设有空容器缓存区。

2 号库播撒区二三层各仅设有 6 个播撒工位，空容器缓存区仅设置在播撒区右上侧。

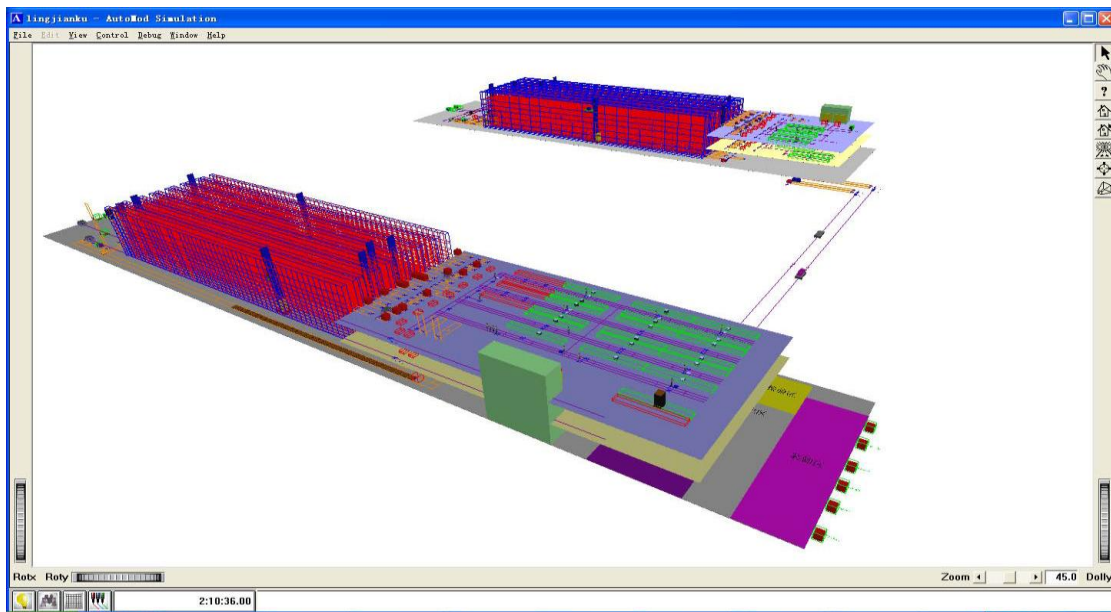


图 4-7 仿真模型全景

4.3 仿真结果分析

经过仿真分析与多次方案修改，从仿真结果看，最终确定的方案可以满足完成规定时间（20 小时）内每天作业量的需求。下面主要分析最终方案中整个系统的作业节奏、关键设备利用效率、人力配置及人力作业强度。

4.3.1 一号库播撒效率

1号库二三层播撒作业经由立体库出库，人工拣选，人工播撒等作业后，满盘回库后，再补充相应工位上的a类空容器和b类空容器（每个工位的a类容器和b类容器的个数相等，均为5个）。每层播撒工位有12个，人工拣选工位设有12个，拣选人员6名，播撒人员12名。每层提升库拣选人员和播撒人员，暂各设3名（提升库作业效率暂未分析）。

1.各作业环节时间统计

基于以上参数，在两轮播撒作业连续进行的情况下，仿真15次得到的统计数据如表4-1所示。

(1)人工播撒

表 4-1 各层播撒作业时间统计

层数	第一轮作业时间 (单位：小时)	第二轮作业时间 (单位：小时)	总时间
2	9.02 小时	8.96 小时	17.98 小时
3	9.36 小时	8.88 小时	18.24 小时

由上表可得，两轮播撒作业共需要约 18 小时完成。

由于零部件的拣选、人工播撒和向生产线的配送（意味着出库作业），以及外部到达货物的入库和托盘容器的周转，在模型中都是并行的作业，因此，上述结果意味着，最终的仿真方案能够完成原计划的作业量，即 20 小时内完成该拣选与存储系统应该完成的所有作业。

(2)布空容器（一轮）

布空容器的开始时刻，即第 1 个播撒工位完成播撒，开始从立库出第 1 个空容器的时刻；布空容器的结束时刻，即 18 个播撒工位全部布满空容器的时刻。

由仿真结果得出，布空容器的平均开始时刻为 4.23 小时，平均结束时刻为 9.11 小时，总耗时为 4.87 小时。详细数据如表 4-2 所示，单位：小时。

表 4-2 各层布空容器时间统计

布空托盘	二层	三层	平均值
开始时刻	4.40	4.06	4.23
结束时刻	9.00	9.22	9.11
总耗时	4.60	5.14	4.87

上述结果表明，由于每个工位所要播撒的零部件类型和品种数都不同，所以，不同工位的容器将先后陆续到达“已播满”状态，历时 5 小时左右，而不是集中满盘，否则将形成满盘高峰，严重影响整个系统作业的节奏。

(3) 满盘入库（一轮）

满盘入库开始时刻，即第一个播撒工位完成播撒，开始将第一个满盘从工位放到入库缓存区的时刻；满盘入库的结束时刻，即 18 个播撒工位的所有满盘均放到自动化立体仓库的货位上的时刻。

由仿真结果得出，满盘入库的平均开始时刻为 4.23 小时，平均结束时刻为 9.75 小时，总耗时为 5.51 小时。详细数据如表 4-3 所示，单位：小时。

表 4-3 各层满盘入库时间统计

满盘入库	二层	三层	平均值
开始时刻	4.40	4.06	4.23
结束时刻	9.78	9.71	9.75
总耗时	5.38	5.65	5.51

2.效率统计分析

堆垛机、播撒人员、拣选人员以及拣选区一侧的出入口穿梭车的各个时间段和总体的平均利用率如表 4-4 所示：

表 4-4 分段利用率统计

时间 (h)	分段利用率 (%)			
	堆垛机	播撒人员	拣选人员	右侧穿梭车
0.5	97.43	90.50	82.25	41.85
1	99.09	83.48	86.24	39.75
1.5	99.96	83.48	79.72	37.16
2	99.89	78.29	74.26	34.45
2.5	98.14	77.46	77.64	38.31
3	92.51	84.84	94.32	44.99
3.5	85.59	88.08	92.63	44.00
4	84.46	86.98	89.01	44.81
4.5	97.91	88.42	76.65	52.52
5	99.99	85.25	66.39	56.91
5.5	100.00	79.38	47.46	66.03
6	100.00	71.48	38.41	63.14
6.5	99.02	67.92	38.04	58.04
7	96.54	77.15	54.80	61.46
7.5	96.59	85.36	46.56	69.37
8	96.13	83.85	27.91	65.91
8.5	98.01	69.42	11.73	51.68
9	95.23	54.96	5.07	35.63
9.5	86.12	49.10	1.43	15.33
10	71.98	60.81	0.33	3.34
平均利用率 (%)	96.50	80.51	62.2	51.14

从该表的统计结果看,可以清楚地看到整个存储拣选系统在既定的作业组织方式和系统设计方案下的运行情况。可以看到堆垛机、拣选人员、播撒人员和用于在立库前进行搬运的穿梭车(或AGV)车的阶段性工作效率。可以看到不同设备的作业高峰,尤其是堆垛机,在各种作业都发生的多项任务并行作业的时段,堆垛机的利用率达到100%。也可以看到拣选人员和穿梭车的总体利用率是较低的。为更明确分析各个关键设备,下面展开分析。

(1)堆垛机效率分析(见表4-5)

表4-5 堆垛机各时间段作业任务

时间段(h)	一层任务名称				二三层任务名称		
	左侧出库	左侧空容器入库	右侧原料入库(优先级低)	右侧空容器出库(优先级低)	右侧原料出库	右侧b类空容器出库	右侧满盘入库
0.0~0.5	√		√	√	√		
0.5~1.0	√	√	√	√	√		
1.0~1.5	√	√	√	√	√		
1.5~2.0	√	√	√	√	√		
2.0~2.5		√	√	√	√		
2.5~3.0			√	√	√		
3.0~3.5			√	√	√		
3.5~4.0			√	√	√		
4.0~4.5	√		√	√	√		
4.5~5.0	√	√	√	√	√	√	√
5.0~5.5	√	√	√	√	√	√	√
5.5~6.0	√	√	√	√	√	√	√
6.0~6.5		√	√	√	√	√	√
6.5~7.0			√	√	√	√	√
7.0~7.5			√	√	√	√	√
7.5~8.0			√	√	√	√	√
8.0~8.5	√		√	√	√	√	√
8.5~9.0	√	√	√	√		√	√
9.0~9.5	√	√	√	√			√
9.5~10.0	√	√	√	√			√

由以上两表可得出,在 0.5-2.5h, 4.5-9h 之间堆垛机的利用率均为 90%以上,属于较繁忙时间段。因为 0.5-2.5 时间段内,堆垛机有一层左侧出库、一层左侧空容器入库、一层右侧原料入库、一层右侧空容器出库、二三层右侧原料出库 5 项作业。其中一层左侧出库及二三层右侧原料出库任务较重,且频率较高;4.5-9 时间段内,堆垛机的 7 项任务均有,且一层的左侧出库、二三层的原料出库、b 类空容器出库、满盘入库任务量较重且频率较高。而 3.5-4h, 9.5-10h 之间堆垛机的利用率低于 90%,因为这个时间段内没有 b 类空容器出库的任务,甚至在 3.5-4 时间内也没有一层左侧出库的任务,而在 9.5-10 时间段内没有二三层原料出库的任务。因此,任务量相对低于 0.5-2.5h, 4.5-9h 这个时间段。

总的来说,在一轮播撒时间段 1-10 小时中,堆垛机的总体平均利用率为 96.5%。明显高于其他环节的利用率,因此,可以认为堆垛机作业环节为整个系统的瓶颈所在。

(2) 播撒人员效率分析

由播撒人员分段利用率数据可以看出,0-8h 时间段内,利用率普遍在 80%左右,比较正常;8-10h 时间段内,利用率普遍较低在 70%以下,其原因是各播撒工位种类数各不相同,工位播撒结束时刻也不尽相同,于是在 8 小时左右陆续有一部分工位已经完成播撒任务,已播满的工位较多,任务量相对较少。

总的来说,在一轮播撒时间段 1-10 小时中,播撒人员的总体平均利用率 80.51%,比较符合工人实际作业时的工作效率。因此,12 个人的播撒人员设置较为合理。

(3) 拣选人员效率分析

由拣选人员分段利用率数据可以看出,0-4.5h 时间段内,利用率普遍在 80%以上,平均利用率为 83.64%,因为各个播撒工位都未完成播撒任务,属于比较繁忙的工作时间段;4.5-7.5h 时间段内,利用率普遍在 50%左右,平均利用率为 48.61%,利用率相对不高的原因是从 4.5h 开始,陆续有工位开始完成播撒任务,任务量相对较少,而堆垛机无法出库更多原料以提高拣选人员利用率的原因在于:此时堆垛机还有 b 类空容器的出库以及满盘入库任务,其利用率已将近 100%;7.5-10h 时间段内,利用率普遍较低,均值为 9.29%,其原因是大部分工位已经完成播撒任务,任务量很少。

总的来说,在繁忙时间段内,拣选人员的利用率比较符合工人实际作业时的工作效率,且与播撒人员的效率相匹配。

(4) 二三层右侧出入库端穿梭车的效率分析

从穿梭车分段利用率数据可以看出,0-4.5h 时间段内,利用率普遍在 40%左右,平均利用率为 41.98%,因为此时只有原料出库任务,任务量较少;4.5-8.5h

时间段内，利用率普遍在 60%左右，平均利用率为 61.56%，利用率相对高于前 4.5h 的原因是从 4.5h 开始，陆续有 b 类空容器的出库以及满盘入库任务，任务相对较多；8.5-10h 时间段内，利用率普遍较低，均值为 18.1%，其原因是播撒任务已经基本完成，原料出库任务很少，且在 9h 之后 b 类空容器出库也已经基本完成，任务量很少。

3. 入库缓存区统计分析

基于模型参数得出的入库缓存区仿真数据如表 4-6 所示，其中“缓存区满盘存放数量”表示：在入库缓存区内，各个时刻存放的播撒完成的满盘数量的值。

表 4-6 入库缓存区仿真数据

缓存区满盘 存放数量	频数	含 0		不含 0	
		频率	累积频率	频率	累积频率
0	551	32.55%	-	-	-
1	35	2.07%	34.61%	3.06%	-
2	27	1.59%	36.21%	2.36%	5.43%
3	49	2.89%	39.10%	4.29%	9.72%
4	46	2.72%	41.82%	4.03%	13.75%
5	43	2.54%	44.36%	3.77%	17.51%
6	59	3.48%	47.84%	5.17%	22.68%
7	61	3.60%	51.45%	5.34%	28.02%
8	46	2.72%	54.16%	4.03%	32.05%
9	39	2.30%	56.47%	3.42%	35.46%
10	42	2.48%	58.95%	3.68%	39.14%
11	56	3.31%	62.26%	4.90%	44.05%
12	65	3.84%	66.10%	5.69%	49.74%
13	53	3.13%	69.23%	4.64%	54.38%
14	53	3.13%	72.36%	4.64%	59.02%
15	56	3.31%	75.66%	4.90%	63.92%
16	41	2.42%	78.09%	3.59%	67.51%
17	41	2.42%	80.51%	3.59%	71.10%
18	37	2.19%	82.69%	3.24%	74.34%
19	28	1.65%	84.35%	2.45%	76.80%
20	25	1.48%	85.82%	2.19%	78.98%
21	26	1.54%	87.36%	2.28%	81.26%
22	24	1.42%	88.78%	2.10%	83.36%

23	28	1.65%	90.43%	2.45%	85.81%
24	19	1.12%	91.55%	1.66%	87.48%
25	25	1.48%	93.03%	2.19%	89.67%
26	30	1.77%	94.80%	2.63%	92.29%
27	15	0.89%	95.69%	1.31%	93.61%
28	13	0.77%	96.46%	1.14%	94.75%
29	9	0.53%	96.99%	0.79%	95.53%
30	7	0.41%	97.40%	0.61%	96.15%
31	6	0.35%	97.76%	0.53%	96.67%
32	7	0.41%	98.17%	0.61%	97.29%
33	14	0.83%	99.00%	1.23%	98.51%
34	8	0.47%	99.47%	0.70%	99.21%
35	9	0.53%	100.00%	0.79%	100.00%
其他统计数据					
总频数 (含 0)	1693	均值 (含 0)	9.19	最大值	35
总频数 (不含 0)	1142	均值 (不含 0)	13.62	众数 (不含 0)	12

如上表所示，入库缓存区存放满盘数的最大值为 35，最小值为 0，均值为 9.19。取 0 的意义是，此时间段之内没有任何工位完成了播撒产生需要入库的任务。考虑到这一情况，统计分析时应该除去取 0 的情况。

对于除去取 0 的情况来说，最大值为 35，最小值为 1，众数为 12，均值为 13.62。根据频数、频率的统计分析，当满足缓存需求的水平为 90% 时，应该设 26 个缓存格口；当满足缓存需求的水平为 95% 时，应该设 29 个缓存格口；当满足缓存需求的水平为 100% 时，应该设 35 个缓存格口。总之，40 个缓存格口能够满足入库缓存的需求。

4.3.2 二号库播撒效率结果分析

2 号库二三层播撒作业经由立体库出库，人工拣选，人工播撒等作业后，满盘回库后，再补充相应工位上的 a 类空容器和 b 类空容器每个工位的 a 类容器和 b 类容器的个数相等，均为 5 个。每层播撒工位有 6 个，人工拣选工位设有 4

个，拣选人员 2 名，播撒人员 4 名。每层提升库拣选人员和播撒人员，暂各设 2 名提升库作业效率暂未分析。

1. 两轮播撒作业时间

基于以上参数，在两轮播撒作业连续进行的情况下，两轮播撒作业共需要 18 小时完成。其详细数据可见表 4-7。

表 4-7 播撒作业时间统计

层数	运行次数	第一轮作业时间单位：小时	第二轮作业时间单位：小时	总时间
2	15	7.28 小时	8.05 小时	15.33 小时
3	15	7.76 小时	8.15 小时	15.91 小时

2. 立库堆垛机效率分析

在上述的作业分配情况下，小件库以及大件库堆垛机各个巷道的利用率分别如表 4-8，4-9 所示（以下数据均为连续作业 21 小时所得数据）：

表 4-8 小件库堆垛机各巷道利用率

巷道数	堆垛机利用率%
1	48%
2	45%
3	42.2%
4	44.9%
5	38.7%
平均利用率	43.7%

表 4-9 大件库堆垛机各巷道利用率

巷道数	堆垛机利用率%
1	26.6%
2	27.9%
平均利用率	27.3%

3. 拣选人员效率分析

在上述的作业分配情况下，拣选人员的利用率如表 4-10：

表 4-10 各层拣选人员利用率

层数	拣选人员编号	拣选人员利用率%
2	1	74%
	2	76.8%
平均值		75.4%
3	1	73.5%
	2	77.2%
平均值		75.35%

由上表可知，二层和三层的每个拣选人员之间的利用率基本均衡，拣选人员的平均利用率约为 75.4%。

4. 播撒人员效率分析

在上述的作业分配情况下，播撒人员的利用率如表 4-11：

表 4-11 各层播撒人员利用率

层数	播撒人员编号	播撒人员利用率%
2	1	84.9%
	2	88.1%
	3	81.1%
	4	83.6%
平均值		84.4%
3	1	79.7%
	2	86.3%
	3	75.2%
	4	86%
平均值		81.8%

由上表可知，二层和三层的每个播撒人员之间的利用率相差不大，播撒人员的平均利用率约 83%。稍大于拣选人员的利用率，这是因为，播撒完成后的满盘入库时，拣选人员不参与工作。

4.3.3 一号库与二号库之间穿梭车效率分析

在外来货物的任务量为 600 盘，且大盘和小盘的任务量均为 300 盘的情况下，1 号库与 2 号库之间的穿梭车利用不同的时间完成这些任务量时，其效率的详细数据如表 4-12 所示：

表 4-12 1 号库与 2 号库之间穿梭车效率分析

完成 600 任务量的作业时间	载小盘穿梭车的利用率%	载大盘穿梭车的利用率%	平均利用率
7.5h	99%	98.3%	98.65%
8h	99%	92.7%	95.85%
8.5h	93.5%	87.2%	90.35%

从上表可知，在任务量为 600 盘，且大盘和小盘的任务量相等，均为 300 盘时，完成这些任务量最快需要 7.5 小时，而小车利用率约为 90% 时，完成 600 盘的任务量需要 8.5 小时。

4.4 结论分析

(1)系统的隐性瓶颈是立库的堆垛机的作业能力：堆垛机承担了 7 项作业任务，在任务重叠并行的时段，堆垛机将无法完成外在任务的需要，只能按照堆垛机能力极限工作；这个时段大约 1.5 小时，且随着作业周期的循环，会有规律地间歇出现。

(2)立库拣选和播撒人员的配置可确定为 6+12 人/层，人员效率不是目前系统的瓶颈，拣选人员利用率偏低，播撒人员的利用率较合理，部分时段较低，可以考虑对人工岗位进行更精准化的管理调度；

(3)播撒区的缓冲位是必须的，缓冲容量设为 35 即可满足需要；因在堆垛机的作业高峰期，堆垛机非常忙碌，且立库右侧两个入库口也不堪负荷，已经播满的容器无法及时入库，必须暂存，否则将影响后续的布空容器过程。如果空间有限，需要减少缓冲位，则会引起作业时间的拖长，如需确定定量关系还需进一步仿真分析。

(4)在进行工位播撒优化时，要尽量避免各工位播撒作业集中“赶拨”现象，即，不要使各个工位播撒的满盘容器在时间上集中达到满盘而产生入库需求高峰；集中满盘现象将对系统产生关键性的冲击，前期仿真结果表明，如果播撒的结束非常集中，则 24 小时内都无法完成当日的作业量。

(5)系统中托盘和空容器的周转也给堆垛机带来部分压力，可考虑通过在局部设立托盘容器缓冲的方式，将托盘容器周转任务从堆垛机的作业压力中剔除出来，这将有助于提高堆垛机作业高峰期时系统的整体效率。

4.5 本章小结

对 S 公司某机械零部件拣选库进行分析，首先介绍了两种常用的拆零拣选方式，即摘果式和播种式，对两种拣选方式进行了分析对比，确定了以播种式拆零

拣选作为机械零件部的主要拣选方式；其次对零件拣选过程进行仿真模拟，通过仿真结果的分析，得到拣选库内堆垛机、穿梭车、播撒人员及拣选人员的利用率，1号库内当多项作业并发时，堆垛机利用率过高，达到工作能力极限，导致任务无法及时完成，需要在播撒区添加缓冲位，在局部设立托盘容器缓冲位，缓解堆垛机的工作压力，避免作业时间过长；而播撒人员的利用率较为合理，拣选人员利用率相对较低，可通过对岗位更为精细的调度解决。

第五章 总结与展望

5.1 总结

论文来源于 S 公司某车间物流系统分析与优化设计项目的仓储物流系统仿真和优化问题研究。其研究目标是对该车间仓储物流系统进行优化。其核心是研究如何对生产过程的物流系统进行科学的规划、管理与控制。项目根据实际生产要求,优化装配车间的物料配送调度系统及拣选库的拣选作业系统,可以缩短企业生产周期,减少交货时间,降低企业生产成本,保证企业安全生产,最终增强企业竞争力。

S 公司某车间物流系统分析与优化设计项目中泵送装配区的主要目标是:得到泵送装配区各物料来源点所需 AGV 或叉车数量;压路机、搅拌设备、砂浆车装配区各物料来源点所需 AGV 或叉车数量;该车间 AGV 及叉车整体调度规划;南 1 门、南 3 门、北 1 门、北 3 门的吞吐分析;ABCDEFGH 各物流通道的拥塞分析;立库 1、立库 2 及外部仓库出货能力需求。零部件拣选库的主要目标是:得到 1 号库和 2 号库的关键设备利用效率和人员配置合理化。经过对系统深入的研究,获得以下的成果和结论:

(1)制定了泵送装配区初始配送调度表,并进行全面的配送方案设计与分析,利用 Quest 软件进行建模仿真,通过仿真结果分析确定了最终配送方案。求得泵送装配区所需 AGV、叉车数量,各门吞吐量等相关数据,使成本降至最低。

(2)利用 AutoMod 软件,进行零部件拣选库的建模、运行并获得统计数据。通过数据分析找出系统的瓶颈问题,提高堆垛机工作效率,优化拣选和播撒人员配置。

5.2 展望

本文对 S 公司某装配车间和某零部件拣选库进行了建模仿真,并对系统做了局部的优化。由于时间及条件所限,本研究存在以下有待进一步解决的问题:

(1)对于 S 公司某装配车间物流系统的优化,除了在现有条件下进行调度优化,还可以改变物流装备,使用非地面运输工具,可以减少通道占用率,提高配送及时性和灵活性;或者调整车间布局,增加物流通道的宽度,这都是一些可以考虑的解决方案。

(2)对于零部件拣选库的仿真优化中,整个方案是以“提升库作业效率不影响整个播撒”为基本前提假设,但实际操作中会考虑到提升库的作业效率。

参考文献

- [1] 倪志伟.现代物流技术[M].中国物资出版社,2006.
- [2] 李永生,郑文岭.仓储与配送管理[M].机械工业出版社,2003.
- [3] 唐凤范.基于生产制造业需求的仓储物流管理研究——以北海出口加工区为例[学位论文].南宁,广西大学,2010.
- [4] 王占中,郑家彬,许洪国等.制造业物流缓存区布局优化.西南交通大学学报 2010,45(3).
- [5] 程波.建筑金属结构产品制造业物流管理系统的体系结构及系统设计[学位论文].重庆,重庆大学, 2005.
- [6] 李容.基于 MRP 与 JIT 相结合的制造业物流管理信息系统及优化模型研究[学位论文].重庆,重庆大学,2004.
- [7] 李立伟,蒋国瑞.RFID 在制造业物流管理信息系统的应用.商场现代化 2007(17).
- [8] Jeffrey L. Funk.Just-in-time manufacturing and logistical complexity: a contingency model. International Journal of Operations & Production Management,1995,15(5):60-71.
- [9] 简炜.物流过程的建模和优化方法研究[学位论文].杭州,浙江大学,2004.
- [10] 曹国安.我国汽车制造业供应链物流一体化研究[学位论文].重庆,重庆交通大学,2007.
- [11] 马东彦,张莉娟.基于 Petri 网的供应链系统建模.宁夏工程技术,2005,4(3):232-235.
- [12] 崔政东,刘晋.基于广义随机 Petri 网的供应链建模与分析.系统工程理论与实践,2005,25(12):18-24.
- [13] Hans Voordijk. Obstacles and preconditions for logistics and manufacturing improvements in Africa-a case study.International Journal of Operations & Production Management,1999,19(3):293-307.
- [14] Bart Vos. Redesigning international manufacturing and logistics structures. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 1997,22(7):377-394.
- [15] Rohit Bhatnagar,S.Viswanathan.Re-engineering global supply chains. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,2000,30(1):13-34.

- [16] 袁丽娟.作业成本法在制造业物流成本管理中的应用研究[学位论文].武汉,武汉理工大学,2006.
- [17] 王薇.华中物流仓库管理系统的研究与开发[学位论文].武汉,武汉理工大学,2004.
- [18] 沙洪洲,郭果敢.马尔可夫链用于仓储建模与仿真.计算机仿真,2005,22(4):61-63.
- [19] 张汉江,肖伟,罗端红等.辅助自动化立体仓库设计的可视化物流仿真.系统工程,2006,24(3):15-19.
- [20] 李霄峰,徐立云,邵惠鹤.基于 COM 技术的物流系统的建模与仿真方法.计算机工程,2000,26(11):71-72.
- [21] 赵家俊,于宝琴.现代物流配送管理[M].北京:北京大学出版社,2004,16-17.
- [22] 李占欣.企业物流库存管理系统的研究与开发[学位论文].四川,四川大学,2003.
- [23] Dassault Systemes Delmia Quest D5R12 应用说明,2004,5.

致 谢

在撰写论文的过程中,我得到了身边很多老师和同学的帮助。在论文即将完成之际,我要向三年来对我谆谆教导的老师们,以及对我悉心关怀的同学们表示最诚挚的感谢。

感谢卢山老师,翁迅老师,苏志远老师,在我研究生三年的学习时间里对我的指导和鼓励。几位老师严谨的治学精神和认真负责的工作态度为我树立了良好的学习榜样,成为督促我努力向上的动力,在几位老师的帮助下,我的论文得以顺利完成,再次向几位老师表示衷心的感谢。

其次要感谢北京格瑞纳电子产品有限公司的陈永刚先生,在格瑞纳实习期间,陈先生传授了我许多知识,使我的科研水平快速进步,为人处事更为成熟,也感谢曾经一起工作过的同事们对我关怀和照顾。

同时,我要感谢我的同学,感谢他们在这三年里对我的支持和帮助。感谢夏可金、涂聃娜、袁方、胡根焯、刘宽、李思、杨建和、陈亮、马越、张林浩、张弛、李旭龙、张成泽同学,谢谢他们在我最需要帮助的时候对我的关心和鼓舞。

感谢我的父母,正因为有他们长期以来的支持和鼓励,我才能够克服一切困难,勇敢的向前进,毕业后我会更加努力,报答他们的养育之恩。

最后,衷心的感谢百忙之中审阅我硕士学位论文的各位专家!

郭斐

2012年05月08日于北京邮电大学