



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业论文

YR 货运公司集散中心问题分析与优化
Problem Analysis and Optimization of YR Freight
Company's Distribution Center

姓 名 刘轩彤

学 院 智能制造学院

专 业 物流管理

指导教师 薛立立

职 称 讲师

完成时间 2021.06.04

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

摘 要

伴随着电子商务与互联网的发展,跨区域贸易的需求使得物流集散中心的作用举足轻重。但现阶段的二三线城市的物流集散中心的作业效率尚未达到理想状态。考虑综合因素,科学地进行作业区的布局与运营规划,可有效提高其运作水平和作业效率。针对该问题,本文以 YR 货物运输有限公司为研究对象,对其实际情况进行调研,分析其存在的问题,运用 Flexsim 仿真分析对其进行优化以提高其作业效率与空间的有效利用率。

本文总结了国内外目前在优化、建模方面对 Flexsim 仿真分析的实际应用情况,阐述了仿真方法对集散中心等模型进行优化的重要性。叙述了集散中心的概念与作用、设施规划的意义、基于 5S 原则的设备选型与现场作业管理细节,结合研究对象实际情况,发现其存在的问题并找到对应的解决方法。在微观管理与宏观布局上双管齐下,运用 SLP 方法对集散中心进行布局优化并通过 Flexsim 仿真分析测试优化的有效性,增加设施设备扩展集散中心业务能力。通过对集散中心优化方法的研究进行总结,提炼出具有普适性的经验与启发,促进同类集散中心的发展与仿真软件在建模与优化方面的推广与实际应用。

关键词: 集散中心; 布局规划; SLP; 设备选型; Flexsim 仿真分析

ABSTRACT

With the development of e-commerce and the Internet, the demand of cross-regional trade makes the logistics distribution center play a pivotal role. However, the operating efficiency of logistics distribution centers in the second and third tier cities has not yet reached the ideal state. Taking comprehensive factors into consideration, scientific layout and operation planning of the operation area can effectively improve its operation level and efficiency. Aiming at this problem, this paper takes YR cargo Transportation Co.,Ltd. as the research object, conducts an investigation on its actual situation, analyzes its existing problems, and uses Flexsim simulated analysis to optimize it so as to improve its operating efficiency and effective utilization of space.

In this paper, the application of Flexsim simulated analysis in optimization and modeling at home and abroad is summarized, and the importance of simulation method in the optimization of distribution center model is expounded. The concept and function of the distribution center, the significance of the facility planning, the equipment selection based on the 5S principle and the details of the field operation management are described. Combined with the actual situation of the research object, the existing problems are found and the corresponding solutions are found. In micromanagement and the macro layout, SLP method was used to optimize the layout of the distribution center and Flexsim simulated analysis tests the effectiveness of the optimization, so as to increase the business capacity of the facilities and equipment wide distribution center. By summarizing the research on the optimization method of the distribution center, the author extracts the experience and inspiration of universality to promote the development of the same kind of distribution center and the promotion and practical application of simulation software in modeling and optimization.

Key words: Distribution center; layout optimization; SLP; equipment selection; Flexsim simulated analysis

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.2 与本课题有关的国内外研究.....	1
1.3 课题主要研究内容与方法.....	2
第二章 相关概念与理论基础.....	5
2.1 相关概念界定.....	5
2.2 理论基础.....	5
第三章 YR 货运集散中心现状.....	8
3.1 集散中心概述.....	8
3.2 集散中心整体布局及资源配置说明.....	8
3.3 集散中心作业流程.....	10
3.4 集散中心问题分析.....	11
第四章 基于 Flexsim 的 YR 货运公司集散中心整体优化.....	13
4.1 初始仿真模型.....	13
4.2 整体优化方案.....	14
4.3 优化仿真模型.....	22
4.4 优化前后对比分析.....	29
第五章 总结与展望.....	35
5.1 总结.....	35
5.2 不足与展望.....	35
参考文献.....	36
附录.....	37
致谢.....	41

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

随着社会经济的发展、人民消费水平的提升和科学技术的进步，物流成为国民经济与民生生活中的支柱产业。2020 年，为抗击疫情，输送救援物资的各种运输设备奔走在陆上，潜翔于水面或展翅于空中，另一方面，居家时间的增长与外出购物的不变使快递量增长至 8336000 万件，由此可见，物流业为社会经济发展提供了基础保障。与此同时，在物流企业市场竞争日益激烈、客户需求不断提高的背景下，物流企业内部的效率提升和成本节约对于竞争力的提升至关重要。

物流集散中心是物流运输通路与电子商务交易形成的重要一环，在供应链视角下，物流集散中心接收来自线下门店与线上电商的货物，并在集散中心内实现组配，进行运输，完成最后一公里—配送这一终端环节。为用户提供及时安全的运输是提高服务满意度、打造良好企业商誉的关键。

鉴于此，通过在河北省保定市对 YR 货运公司的集散中心的调研和实践，发现其在整体布局、资源利用和现场管理方面存在一些问题，通过仿真软件对模型进行仿真运行，结合所学知识和技能对这些问题进行分析并提出改善意见，可实现其运营效率和资源利用率的提升，最终达到优化该集散中心内部管理与作业问题的目的，获得的方案对同类型集散中心整体改善都具有实际借鉴意义。

1.2 与本课题有关的国内外研究

1.2.1 国内研究现状

通过研究与本文相关的学术文献，做出国内与其相关的以下总结：

李聪以南京邮政航空快递物流集散中心分拣系统为研究对象，利用 Flexsim 仿真软件对南京邮政航空快递物流集散中心分拣系统仿真分析，找出集散中心分拣系统现存问题和不足之处，针对出现的问题，提出改进建议和优化方案并验证了优化结果，形成了一套完整的系统建模、仿真、仿真分析方式，为实际生产中物流系统的规划提供一定的依据^[1]。

周晓杰以仓储系统的入库环节为研究对象，利用 Flexsim 建模进行了结果分析和优化，通过分析模型的运行数据结果，找出影响入库作业效率的原因，并给出仓储的优化方案^[7]。

王冉选择电商环境下企业内部的物流配送流程为研究对象，发现仓储中存在的布局混乱、物流基础设施落后、机械化程度低、员工工作强度不平衡等问题，运用 Flexsim 软件大致演示现状并建模仿真，优化改进系统模型^[2]。

初怡以 S 企业配送中心为例，借助 Flexsim 仿真软件对其配送中心的作业流程建

立仿真模型,在此基础上对配送中心设施设备数量及人员等进行实验后作出调整并改变作业流程^[9]。

李云以国内知名医药制造企业备品备件仓储系统为研究对象,经过对其仓储现状的调查研究,设计出一套以自动化立体货架为主体的备品备件仓库方案并基于 Flexsim 仿真软件对设计方案的可行性进行验证^[3]。

杨玮等人利用 Flexsim 软件仿真医药物流中心立体仓库的运作,缩短立体仓库出入库作业时间,优化运作过程人员与设备的组合^[8]。

张莹莹等人选择某医药物流中心为研究对象,利用 Flexsim 仿真平台对系统中医药拣选流程进行仿真,找出影响拣选效率的因素,并提出改进措施,来达到充分使用物流中心资源的目的^[5]。

张云帆等人对某企业的物流配送中心设施布局进行研究,运用 Flexsim 仿真软件对布局方案进行仿真建模,通过建立各功能区之间的逻辑流程并设定实体参数,运行模型后发现其瓶颈问题并进行优化分析,使配送中心资源得到充分利用,节约企业物流成本^[6]。

1.2.2 国外研究现状

在应用建模软件 Flexsim 辅助解决实际问题方面有: Pai Chai 大学^[11] (2020) 发现 Flexsim 软件在精益工厂布局与优化中的应用价值,为网络时代下的现代化工厂布局与作业流程研究提供了新视野。

在提供布局优化理论方面有: 1961 年美国籍工程师、“系统规划之父”理查德·缪瑟提出了系统布置设计 (SLP) 和系统搬运分析 (SHA) 理论, 其分析思路逻辑鲜明, 科学适用, 能够结合图表有效解决实际问题。

国外研究学者对设施布局设计问题进行了较为完善的研究,且主要针对于办公与工厂设施方面,但在物流集散中心规划布局方面的探索不多。

通过研究以上文献可以看出,国内外物流系统在仿真优化方面均有成熟应用。Flexsim 是一款比较成熟的离散事件物流仿真软件。其在物流领域的实际应用能力已得到广泛认可。

1.3 课题主要研究内容与方法

1.3.1 研究内容

本文选取保定市 YR 货运集散中心为研究对象,分析其总体布局和作业流程、工作分配与资源配置现状的基础上,利用 Flexsim 仿真软件对集散中心进行建模、仿真,通过分析仿真结果,找出现场管理与布局的不足之处,针对问题,提出了改进意见,并通过运行优化方案模型验证优化方案的有效性,达到提高集散中心作业效率与空间利用率的目的。

第一章阐明研究背景与研究意义,结合实际案例叙述分析思路与解决问题的主要方法。

第二章介绍相关理论知识,阐述运用到的技术方法与学科知识。以物流专业视角审视研究对象、技术方法与研究目的。

第三章分析研究对象的作业环境、现有布局情况和工作现状以及人员、设备等方面的情况,通过观察与分析提出集散中心现存的问题。

第四章针对发现的问题提出具有可行性的解决办法。根据基于 5S 原则的 slp 及设备选型的方法说明优化方案,并运用 Flexsim 软件进行仿真再现与优化验证。

第五章总结本文的研究内容,得出实用性强的经验,分析尚存的不足之处并对未来的研究做出预见性的展望。

1.3.2 研究方法

1. 调查法

调查法是有目的、有计划、有系统地搜集 YR 货运公司集散中心的现实状况。包括现场作业情况、集散中心整体布局情况与了解工作人员作业安排及设施设备配备与调度效率等实情,并对搜集到的大量材料进行分析、归纳。

2. 文献综合研究法

文献综合研究法是根据研究相关案例与知识理论的目的,通过调查文献来获得资料,从而全面、正确地了解掌握所要研究问题的一种方法。

3. 实验法

实验法是一种通过控制研究对象来发现与确认事物间的因果联系的科研方法,分析总结研究对象存在的问题,使用 Flexsim 建模软件对初始模型进行优化,验证优化方案的可行性。

1.3.3 论文思路

在 Flexsim 环境下,选取物流集散中心作为优化研究对象,具体以保定市 YR 货物运输公司集散中心为例。分析现状,运用 SLP 方法对其各分拣区进行重新布局,同时增加物流设施设备,扩展集散中心业务范围。实现总体上提高集散中心作业效率与面积利用率的效果。论文结构图如图 1-1 所示。

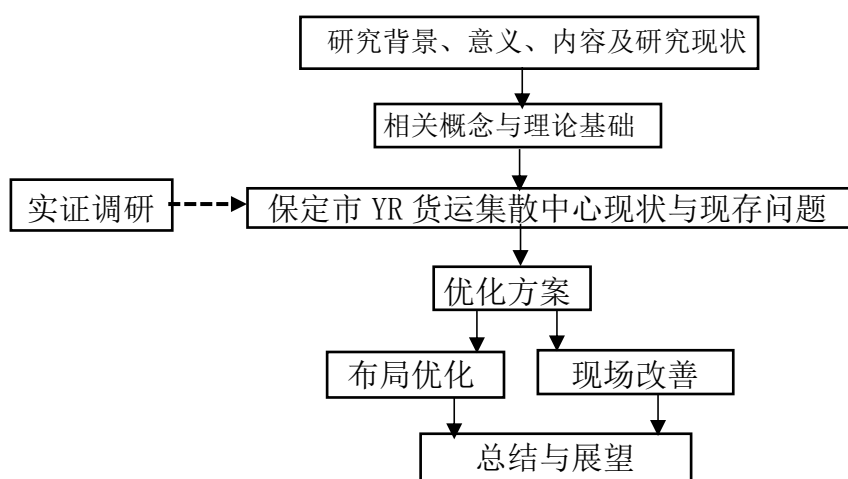


图 1-1 论文结构图

第二章 相关概念与理论基础

2.1 相关概念界定

2.1.1 集散中心

人群、货物、信息、资金、交通等集中和散发的中心区域或中心点。本文的研究对象为货物集散中心，货物集散中心是物流系统化中物流网络体系的集点，是物流基本功能表现的场所。

其有优化资源配置提供货物运输的功能，通过集散中心这个运输中介也为电商及线下贸易搭建了商家与消费者之间的沟通桥梁。为构建良好的购销环境创造物质基础的同时也为用户的日常生活提供了优质的物流服务。

2.1.2 设施规划

设施规划是为新建或改建的制造系统或服务系统，综合考虑各种因素，作出分析、规划和设计，使资源合理配置，系统建成后能够有效运营达到各种预期目标的活动。

物流集散中心的设施规划应本着充分利用、功能齐全的原则，在保证各项工作正常运转的前提下，使得设施设备利用率达最大化，并提供齐全的作业功能。避免造成资源浪费的情况。

2.1.3 5S 现场管理法

现代企业管理模式，5S 即整理、整顿、清扫、清洁、素养，又被称为“五常法则”。日本 5S 的宣传口号为“安全始于整理，终于整理整顿”。其目的仅是为了确保作业空间的充足和安全。

在集散中心的日常工作中应做到功能与用具的明确分区，减少无用物资的占用，保持工作现场环境的清洁整顿，地面整洁不设路障。提高员工意识，共塑良好的工作空间。

2.2 理论基础

2.2.1 SLP

该理论由美国籍著名规划专家 Richard.Muther 提出，其以作业单位物流、非物流因素分析为主线，采用一套表达力极强的图例符号和简明表格，通过结构化、条理化的程序设计模式进行设施规划的方法。

本文主要应用此方法，依据各分拣区代表的各配送区之间的实际距离的远近规划分拣区布局，以减少作业人员的走动，提高作业效率。SLP 具体步骤如图 2-1 所示。

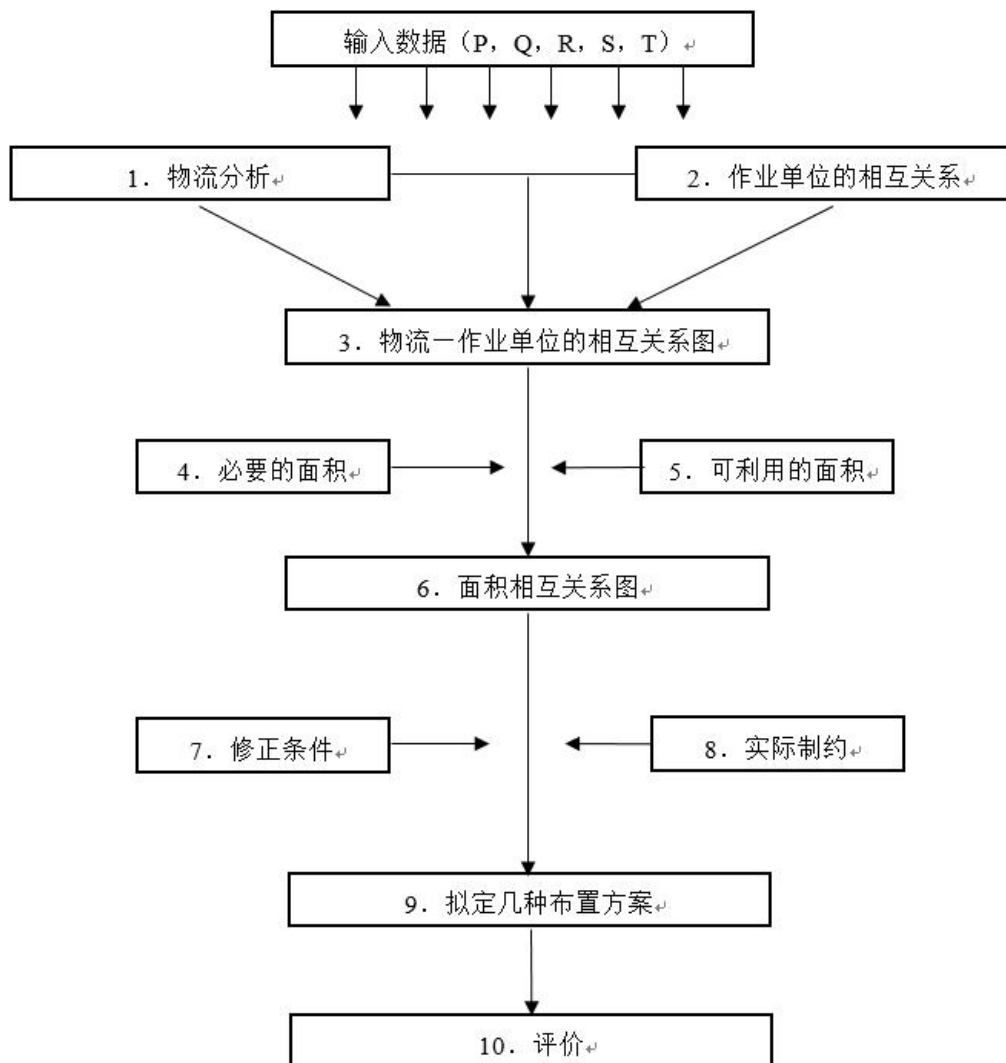


图 2-1 系统布置设计 SLP 程序模式图

2.2.2 物流动线设计

动线原是建筑与室内设计的用语之一，意指人或物在室内室外移动的点，连接起来就成为动线。集散中心的物流动线指代集散中心内部物资、设备的总体走向，是集散中心作业流程在空间上的表现。物流集散中心的基本物流动线形式主要有直线式（I 形）、锯齿形成 S 形、U 形、分流式及集中式。良好的动线设计有利于降低作业复杂性，提高物流作业效率。物流动线基本类型形态如图 2-2 所示。

各类型动线的适用场景：

直线式（I 形）动线：适用于出入口在场地的两侧，且作业流程简单、规模小、各入库产品均需通过场地全程的物流作业。

U 形动线：适用于出入口在场地的同侧，可以依据出库频率安排靠近进出口端的储区，可缩短拣货搬运距离。

锯齿形成 S 形动线：适用于存在多种流通加工等处理工序的物流作业。

分流式动线：适用于因批量拣取而分流的物流作业。

集中式动线：适用于因储区特性将订单分割在不同区域拣取后作集货的物流作业。

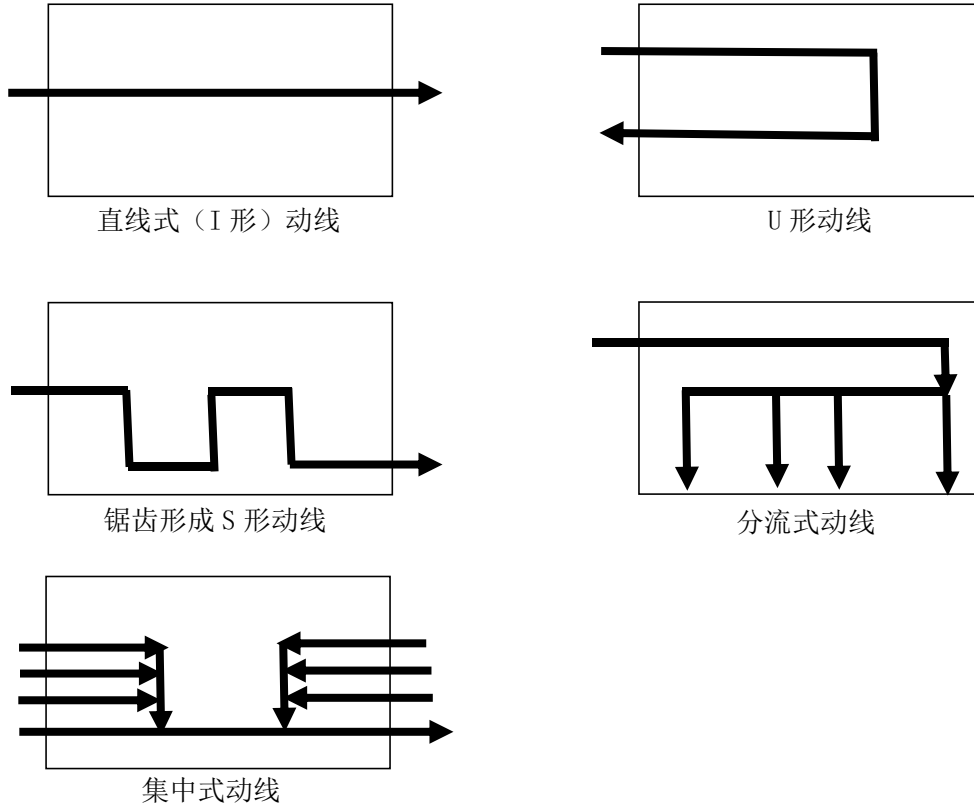


图 2-2 物流动线基本类型图

第三章 YR 货运集散中心现状

3.1 集散中心概述

保定市 YR 货运集散中心, 2019 年 02 月 25 日成立, 经营范围主要为普通货物道路运输。在河北省保定市满城区乐凯北大街国际保税物流中心设有集散中心, 该企业作为生产企业的第三方物流商, 服务范围覆盖整个保定市, 面向市区及各县的生产企业成品仓提供服务, 负责上门取货, 将货物运至集散中心后按货物所需送达的区域为分拣依据进行分拣, 然后根据客户所在地与订单时间进行二次分拣, 集货后向不同客户进行送货。

集散中心作为连接供货商与消费者的中介, YR 货运公司集散中心与其上下游的关系如图 3-1 所示:

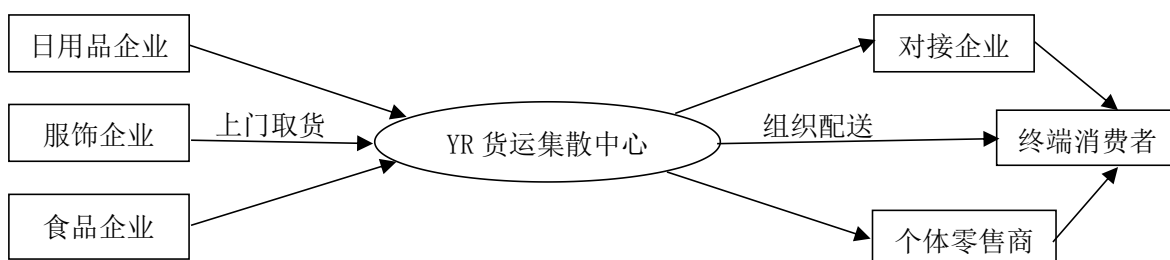


图 3-1 集散中心与其上下游的关系

保定市 YR 货运集散中心平均每天出库量几千件至几吨不等, 波动量大。覆盖保定市区 5 个市辖区、4 个县级市及 18 个县。主要运营业务为运输, 即负责将从生产企业产品仓处取来的整批或零散的货物运到该集散中心, 并在接到订单时及时组货发车, 将指定货物及时送到指定客户手中。

3.2 集散中心整体布局及资源配置说明

保定市 YR 货运集散中心长 70 米, 宽 30 米, 高 7 米。其货物流动动线总体呈“U”型, 运有供货商待发货物的接货车随机挑选空闲收货月台进行卸货, 货物经卸货区, 由入库人员人工作业运至与货物发往目的地相符的对应分拣区, 待产生配送订单时, 由分拣员进行拣货并运至集货区进行集货。对应送货月台的运输车辆将货物运至消费者手中。现场整体布局如图 3-2 所示。

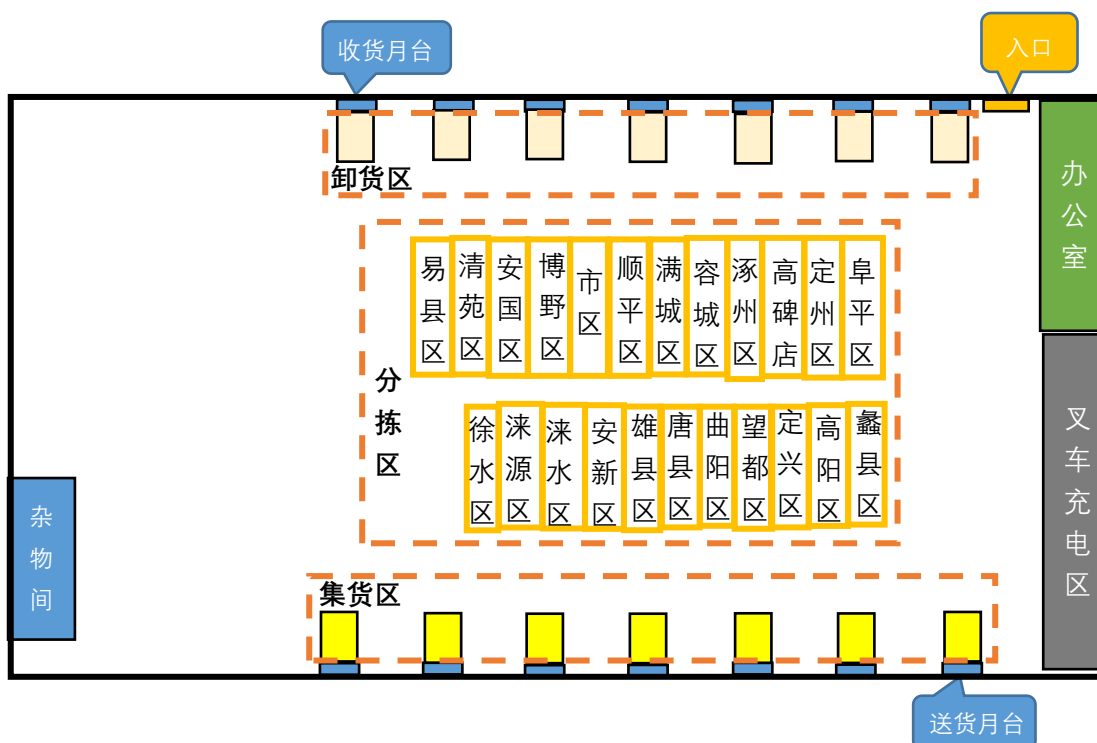


图 3-2 集散中心初始布局图

该集散中心各功能区职能说明如下：

收货月台：即接收货物的入口、集散中心的接货车停靠与卸货地点。集散中心的接货车到达集散中心后，根据当时情况选择（随机选择）空闲的收货月台，进行卸货。

卸货区：由人工对刚到达的接货车进行卸货，直接将货物置于地面，不进行分类管理，且一车卸完后统一进行入库作业。

分拣区：卸下的货物由人工（小件货徒手作业，大件货运用地牛或叉车）按照发货地址对应的分拣区进行入库，在出库之前各分拣区可视为暂存区。各分拣区呈狭长状，相互之间紧密相连，在拣货出库时由人工进行徒手拣货，并将货物送达至集货区进行组货装车。

集货区：对即将出库的各货物进行集货，每个集货区对应 3 或 4 个分拣区，按照运送地点和订单时间进行货物拼车，统筹后，由集散中心的运送车辆将货物运至购买者手中。

送货月台：集散中心的送货车出发的地点。

办公室：负责集散中心的业务接单，即发出接货或送货及其相关作业的单据与指令、负责作业人员的管理与调度、设施设备管理与维护，是整个集散中心业务运营与统筹管理的中心。

杂物间：放置清扫用具、作业护具及保管办公用品，按照 5S 原则，将有用的物品放置在指定地点。

叉车充电区：墙面上固定 8 台叉车充电桩，在叉车闲置时，为叉车停放区域。

根据各功能区的职能与其作用重要程度，集散中心各区域面积分配情况如表 3-1 所示：

表 3-1 集散中心面积分配情况表

单位：mm

区域名称	区域尺寸
办公室	4000×13000
杂物间	4000×6000
叉车充电区	4000×17000
卸货区	4000×2500×7（个）
集货区	4000×2500×7（个）
分拣区	4400×4400×23（个）

为配合现场作业，保定市 YR 货运集散中心，现有配送车辆 7 辆，分别设有 7 个进货月台和 7 个出货月台，设有 23 个分拣区，8 台电动叉车，库内作业人员共 20 人，托盘 25 个，资源配置情况如表 3-2 所示：

表 3-2 集散中心资源配置情况表

序号	作业资源配置	数量
1	卸货兼入库员	14 人
2	分拣员	6 人
3	运输车辆	7 辆
4	电动叉车及配套充电桩	8 套
5	托盘	25 个

3.3 集散中心作业流程

货物运输集散中心的库内作业流程包括如下五个部分：收货入库、拣货到各分拣区、按订单拣货、集货堆码、装车发运。简洁快速的作业流程和充分利用场地空间，是衡量当今物流集散中心作业效率的重要指标。五个作业流程中，分拣是整个物流集散中心的作业效率的关键影响环节。而研究对象的作业流程中存在二次拣货的问题，在后文会针对此问题进行详细描述。集散中心初始的作业流程如图 3-3 所示：

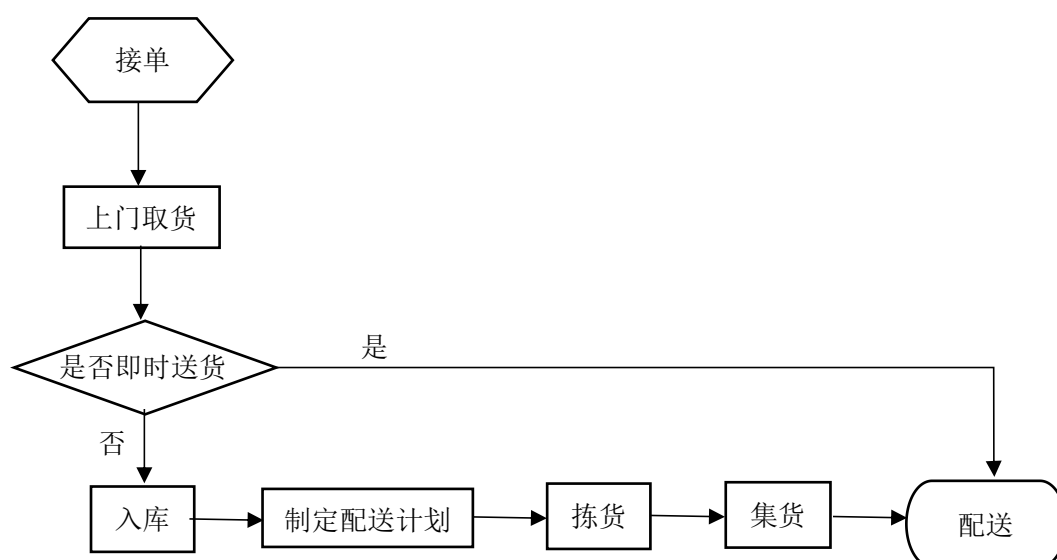


图 3-3 集散中心的作业流程图

3.4 集散中心问题分析

经过实地调研与现状分析，发现 YR 货运公司集散中心现存作业及管理问题，具体如下：

3.4.1 作业流程问题

1. 二次拣货

经过由人工将卸下的货运到与包装标签上运送目的地对应的各分拣区的第一次拣货后要进行二次的组货装车拣货，致使作业员重复作业而导致工作压力大。且各分拣区之间没有预留通道，不利于拣货作业的进行。

2. 收货缺少检验，存在暴力分拣现象

收货入库环节缺乏有效的验货工作，大件货与小件货同时卸货，无规则的卸货后造成货物堆积的空间与商品管理问题及后续拣货到各分拣区的作业压力。卸货区商品散乱，对待不同货物未进行分类保管，缺乏对特殊商品的针对性处理（例如：易碎品未能轻拿轻放），货物破损率高。

3.4.2 空间布局问题

1. 分拣区布局混乱

各分拣区布局无逻辑，分区未考虑作业效率，跨度大，走动距离较长，拣货作业效率低下。而拣货是集散中心作业的核心环节，由于分拣区布局不周致使整个集散中心的运行效率低下。

2. 面积利用率低，业务功能单一：集散中心空间呈长条状，各分拣区宽度有限且布局密集，未预留通道空间，在对提高物流作业效率与加强安全管理造成障碍的同时，还导致了大面积的闲置，空间利用率低。此外，其主要原因有该集散中心尚处于初步

发展阶段，市场扩展能力有限且企业知名度较低，此外，该集散中心主要以传统化的人工作业模式为主，缺少现代化运营意识，机械化程度低，作业效率低，业务处理能力不足、扩展能力差，由此导致业务功能单一的问题。

3.4.3 现场管理问题

通过实地调研，如图 3-4 所示，可以发现 YR 货运集散中心存在缺乏管理、现场作业松散的问题。现场管理方面的问题总结如下：



图 3-4 集散中心现场图

1. 现场管理不到位

作业质量监督缺失，忙闲不均时作业人员工作散漫，责任意识差。现场环境不整洁，地面有各种包装废弃物。

分拣员配备少，在出库量大时不能满足作业需求。分拣区空托盘回收不到位，形成作业路障。叉车资源未充分利用。

2. 安全隐患

小型货车进出库未作出固定停车位与通道，存在安全隐患，随意停车对工作造成妨碍。

3. 人员配备难题

吞吐量波动大，几吨至几件不等；忙闲不均。合理准确的配备库内作业人员数量成为难题。

综上所述，由于该集散中心存在业务单一、机械化水平低、现场管理存在漏洞等问题，使其后续发展动力不足，缺乏市场竞争力。

第四章 基于 Flexsim 的 YR 货运公司集散中心整体优化

4.1 初始仿真模型

由图 3-2 集散中心初始布局图及表 3-2 集散中心资源配置情况表，使用建模软件 Flexsim 对 YR 货运公司集散中心进行建模，构建模型所需实体如表 4-1 所示：

表 4-1 Flexsim 仿真实体与集散中心初始布局理论模型对应表

序号	仿真实体	对应理论模型	数量
1	操作员	卸货兼入库员	14
		分拣员	6
2	发生器	收货月台	7
3	吸收器	送货月台	7
4	合成器	集货区	7
5	暂存区	卸货区	7
		分拣区	23
		办公室	1
		杂物间	1
		叉车充电区	1
6	叉车	小货车装货区	1
		叉车	8

此外，为确保充分利用有限的工作人员，以及出于最大化还原现实的标准，应增加任务分配器来合理调度操作员。经过构建，得到初始模型如图 4-1 所示：

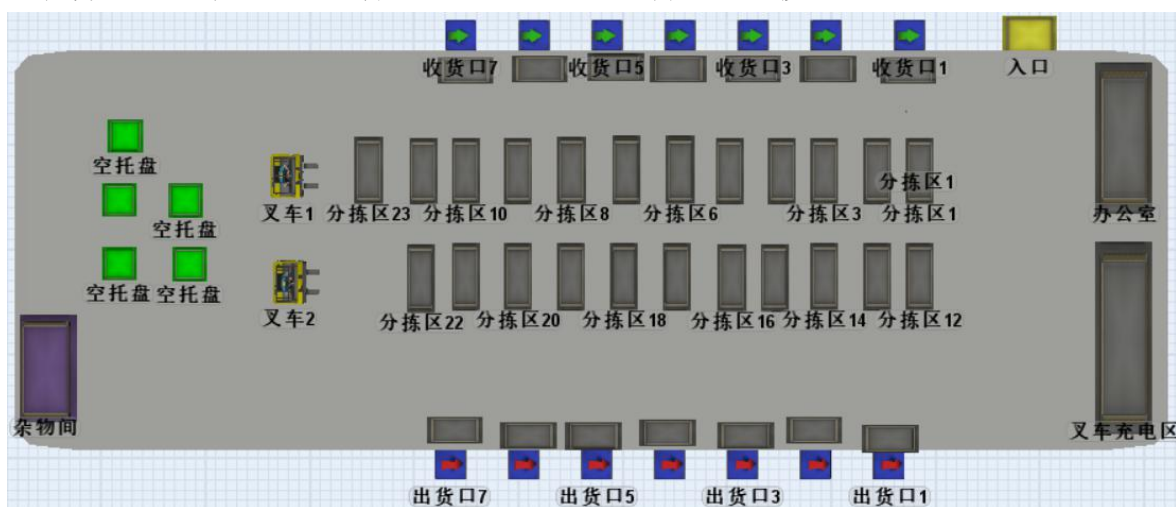


图 4-1 初始模型图

由初始模型图可知：集散中心东侧布局办公室及叉车充电区，经过一段间隙，布

局了两行紧密相连的分拣区，南北两侧分别排列了 7 个送货月台和 7 个收货月台。集散中心西侧布局杂物间，间隔一段距离无规则的分布若干空托盘和叉车。

集散中心面积大但空间未能充分利用的问题格外突出，本文将主要针对分拣区布局和提升集散中心面积利用率以及提高集散中心现代化、机械化运行程度展开优化。其中，运用 SLP 布局优化方法对分拣区重新进行分布规划^[12]，通过设备选型增加输送系统设备并扩展集散中心运营业务。根据所面向客户的实际需求扩展运营能力。提高企业的市场竞争力，为其后续的发展奠定牢靠的基础。

4.2 整体优化方案

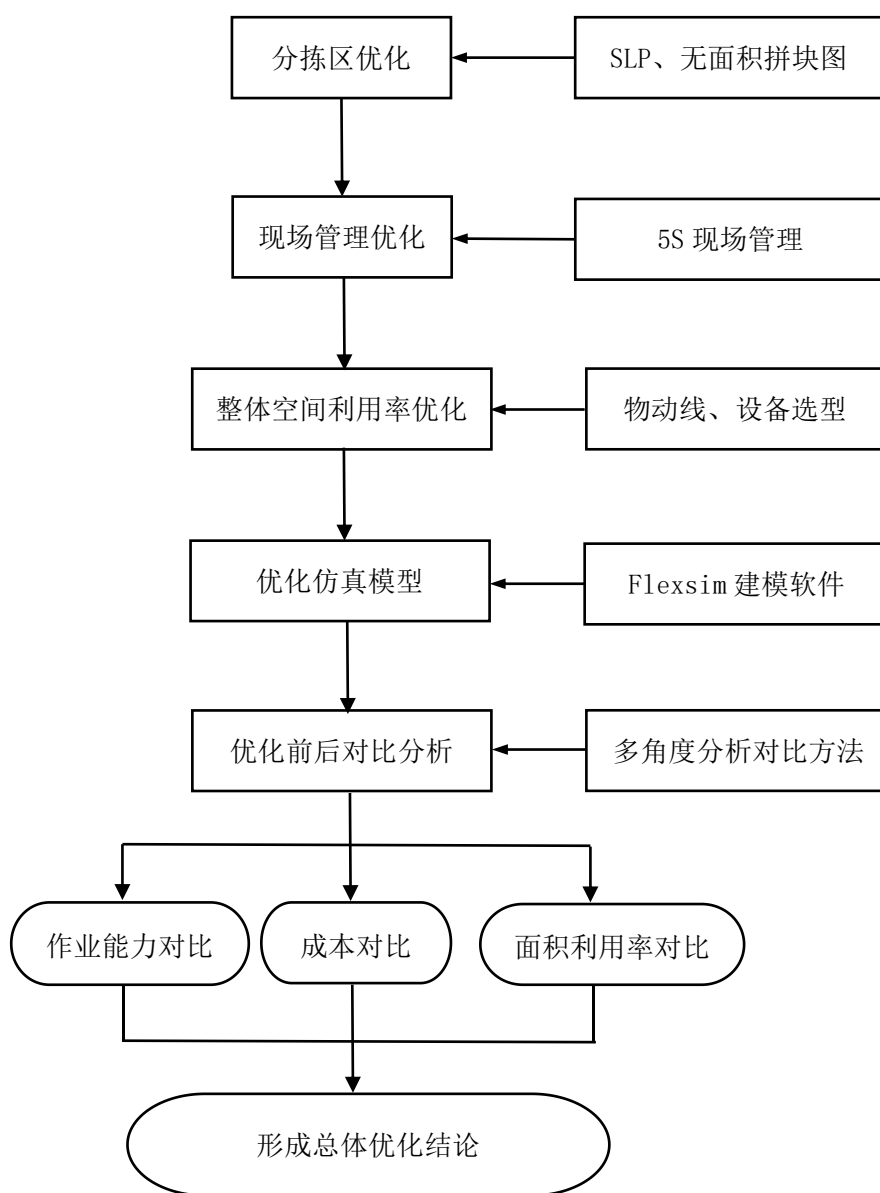


图 4-2 整体优化思路图

基于对 YR 集散中心的现状调研与问题分析，结合运用 SLP、5S 现场管理、物流线理论，借助 Flexsim 软件对其进行优化，整体优化思路与理论工具如图 4-2 所示。

4.2.1 分拣区优化

分拣作业在集散中心的整个工作流程中占据重要一环，其作业效率直接影响整体的运营效果。现有各分拣区之间没有联系，在布局时没有考虑物流因素及作业效率，本文应用 SLP 的布局方法对其进行优化。

由于该集散中心市场覆盖区域经济水平相当且交易货物为日常生活用品，各地需求广泛，故各分拣区之间不存在明显的物动量差额，且集散中心存在淡季与旺季之分，故此处基于物动量的分析参考价值不高，此外，物动量数值为不同作业分区之间货物的流动量，而各分拣区之间没有货物交叉流转现象。故，本文以运距为主要参考依据，重新规划各分拣区的布局。

首先，基于 SLP 方法列出运距从至表并对其进行排序（由于按照实际距离的远近规划配送路线，故表中数据为两地之间的实际距离），详见附表 1。

其次，基于实际距离，划分关系等级，由于欲将地理位置临近地区的需求商品在配送时同装一车，为降低拣货人员的作业压力，减少人员走动、提高拣货的作业效率，在分拣区的各分区规划上应按照实际运输距离的远近进行布局。即：实际距离较近的两个地区，其分拣区的位置也应靠近。以便提高物流作业效率。

以距离的远近为依据将上述数据划分为 A、E、I、O、U 五个级别，位置最近的两个分拣区互为 A 级，随着距离的增加等级依次递减，详见附表 2。

最后，做出无面积拼块图，得到规划后的分拣区布局。

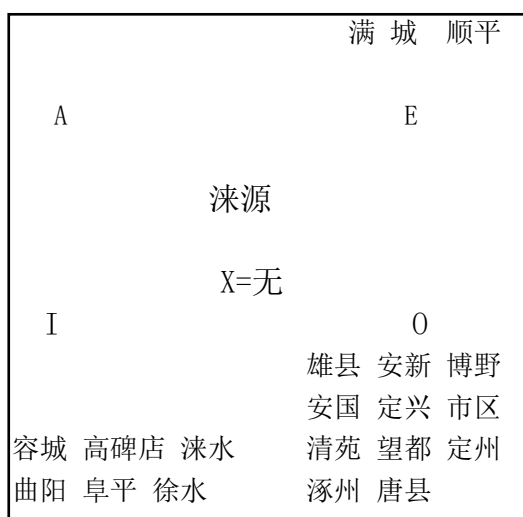


图 4-3 无面积拼块图

对每一个作业单位做一个同样大小的方块，称为无面积拼块。在拼块上，将作业单位名称写在正中央（各分拣区名称），“X=”写在名称下面（因本例中不存在互为 X

级的，故均为 X=无)，四个角分别放置 A、E、I、O 级关系的名称，U 级关系不用考虑。做成的拼块图如图 4-3 所示（以涑源块为例）。

完成全部拼块后，可以裁下来进行布置摆放，摆放时先找出关系最重要的，即 A 最多的，若 A 级数量相同，则比较 E 级的，将此块放置于中央位置。本例为市区位于中央。摆放规则为：A 级关系要边靠边放，E 级关系至少要角靠角。依次找到各个拼块的适合位置，得到优化后的分拣区规划表如表 4-2 所示。

表 4-2 优化后分拣区规划表

分拣区 1	分拣区 2	分拣区 3	分拣区 4	分拣区 5	分拣区 6	分拣区 7
雄县	容城	安新	高阳	蠡县	博野	安国
高碑店	定兴	徐水	市区	清苑	望都	定州
涿州	涑水	易县	满城	顺平	唐县	曲阳
				涑源		阜平

4.2.2 现场管理优化

现场管理是提高作业效率的核心辅助环节，良好的作业环境是现场作业安全性与工作有序进行的坚实保障。在此，以空托盘和废纸箱为例，说明优化思路与措施。

第一步：整理。整理即分辨工作环境中的有用之物和应废弃之物。在此，空托盘为应用设备，而废弃纸箱与散落的包装材料为废弃物。废弃物应及时处理，实用工具应放置到指定地点。

第二步：整顿。整顿即对工作环境中的实用用品进行标识与划分放置区域。在此，将废纸箱等废弃物放到场外，将空托盘放到大件货收货月台边的空托盘区。

第三步：清扫。清扫即打扫工作环境，使之整洁有序，现场安全无障碍。

第四步：清洁。清洁即保持良好的作业环境，维持干净卫生状况与安全环境。及时清理废弃物。

第五步：素养。素养即提高员工职业素养与责任修养，共同维护良好安全、有序的作业环境。杜绝暴力分拣、对现场脏乱差的情况视而不见的现象。

通过观察现场，需进行以下基于 5S 的现场管理优化：

1. 加强员工职业素养，收货时进行有效检验并轻拿轻放，在作业中考虑商品属性。对现场设备与各职能分区进行明确划分，提高责任意识与安全意识，共同维护良好、安全、高效的作业环境。

2. 提高员工 5S 作业意识，及时回收空托盘，保持作业环境的整顿与整洁，清除路障。

3. 合理规划拣货区，并规定确切的小货车停车位。给小货车通行以足够空间，停车位划线形成固定位置，避免对其他作业造成干扰。

4.2.3 空间布局及流程优化

基于上述 5S 理论下的现场优化，针对存在的二次拣货现象、各分拣区布局密集没有预留通道，排布紧凑不利于拣货作业进行、场地空闲空间面积大，面积利用率低、集散中心功能单一的问题，对现场布局进行优化，优化后的现场布局图如图 4-4 所示：



图 4-4 集散中心优化布局图

优化措施一：各收货月台口增加智能万向轮分拣传送带和 PVK 传送带，来货时小件货利用传送带进行输送，一方面减少作业人员装卸搬运工作，另一方面可以降低商品损耗，同时，对应相应的分拣区直线收货入库，能够减少人员走动与收货口的商品堆积。由此，机器代替了人工的第一次分拣作业，可降低人工成本。

优化措施二：各分拣区之间预留可通过至少一人，至多两人的行走通道。进货方向与拣货方向不一致，避免不同作业形成冲突。

优化措施三：在空余场地布局大型横梁货架，为小型供货商提供一般商品的储存业务，在收货时直接由地牛或电动叉车运至存储区，对于短期出库的大件货物，由叉车或地牛运至相应分拣区。存储区的大件货按出库量进行 ABC 管理。

优化后的模型场景增加了分拣传送带减少入库员的走动距离；响应集散中心上游客户的业务需求增加了存储区，扩展运营项目，创利增收；增加了异常处理区，对来货与待发货物进行检验，对不合格品及时处理，保证下游客户服务满意度。具体各功

能区职能介绍如下：

收货月台：即接收货物的入口、集散中心的接货车停靠与卸货地点。小件货接货车根据接到货的送货地点对应相应的收货月台（每个收货月台对应垂直方向上指向的分拣区）进行停车卸货，大件货到暂存区停车卸货。

传送带：首段为 PVK 传送带，当输送到环形智能化分拣传送带上时进行配送区域的识别，当识别到上了传送带的货物不是对应该条传送带垂直方向上的分拣区时，将货物转向另一条传送带，直至输送到正确的传送带上，进而将其送到对应的下货传送带上（该传送带构成的智能分拣系统构成详见表 4-18）。

分拣区：按照各配送区实际距离布局各分拣区，每列垂直方向上的传送带负责该列的货物进货（从各列分拣区的右侧入库）；拣货时，由人工使用地牛或周转箱从各列分拣区的另一侧进入，并进行拣货。

集货区：对即将出库的各货物进行集货，按照运送地点与送货订单的时间需求进行货物拼车，统筹后，由集散中心的运送车辆将货物运至购买者手中。

存储区：接收来自门店供货商和电商的货物，为其提供仓储服务，到应当发货时提供配送服务。在扩展运营业务的同时提高客户服务满意度。

叉车充电区：墙面上固定 8 台叉车充电桩，在叉车闲置时，为叉车停放区域。

暂存区：接收来自门店供货商和电商的大件货，在这里等待运至分拣区或运至存储区的中转。

小货车装货区：对于配送少数量、周边临近区域或有特殊要求货物的小货车进行划线停车，固定位置，减少作业冲突与安全隐患。

异常处理区：对集货过程中、发货前的货物进行检验，针对存在质量或包装等问题的货物进行定制化的异常处理，最大化降低货物损失。

送货月台：集散中心的送货车出发的地点。

办公室：负责集散中心的业务接单，即发出接货或送货及其相关作业的单据与指令、负责作业人员的管理与调度、设施设备管理与维护，是整个集散中心业务运营与统筹管理的中心。

杂物间：放置清扫用具、作业护具及保管办公用品，按照 5S 原则，将有用的物品放置在指定地点。

优化后各区域面积分配情况如表 4-3 所示：

表 4-3 集散中心优化后面积分配情况表

单位：mm

区域名称	区域尺寸
办公室	4000×13000
杂物间	4000×3000
地牛存放区	4000×14000
叉车充电区	7000×1500
集货区	4000×2300×7（个）
分拣区	19200×42800
小货车装货区	2500×6000
异常处理区	2500×5000
存储区	18000×22000
暂存区	4000×2200×2（个）
传送带	650×7200×7（段）+650×38000
空托盘区	1100×1100

优化后的场景模式描述：

在小件货进出库方面，送货车在与分拣区对应的收货月台卸货，将小件货物直接卸在传送带上，每个传送带库内的一端处配有一名入库员负责对应一列上各分拣区的入库工作；如所卸货物与垂直方向上的分拣区不在一条直线上，智能万向轮传送带会根据货物包装上的条码进行识别并将其移送至对应地点分拣区的传送带道^[13]。

实行配送计划时，集货区的员工在接到订单后，从各列分拣区的另一侧进入并完成拣货工作。优化后场景如图 4-5 所示：

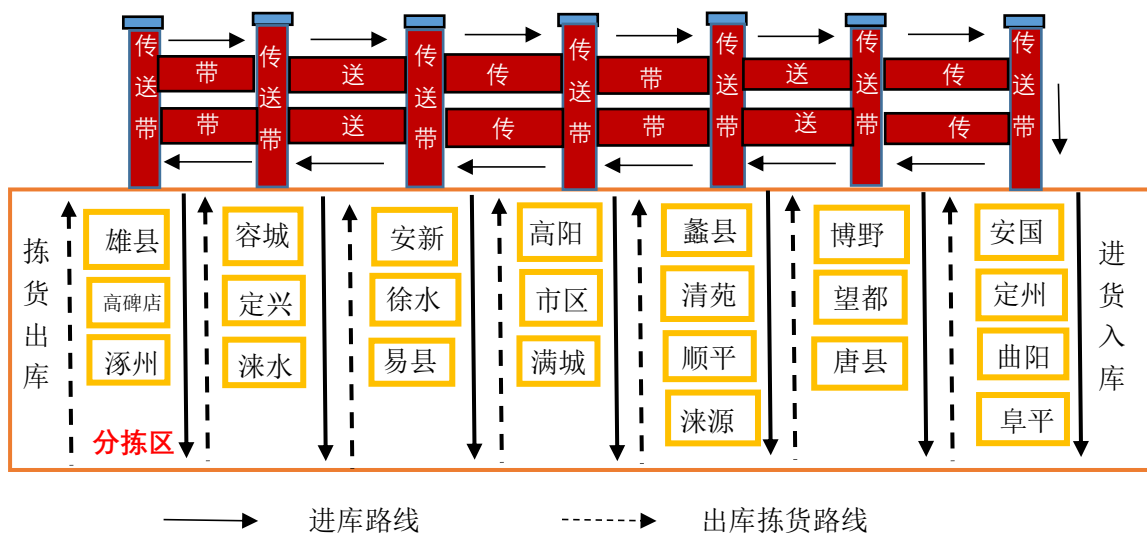


图 4-5 小件货进出库作业路线图

在大件货或上架储存货进出库作业方面，当有大件货或上架储存货进库时，由对应月台的入库员联系叉车，直接由叉车组织运输与上架工作。且叉车在运行时只可在叉车道内行驶且单向循环。优化后场景如图 4-6 所示：

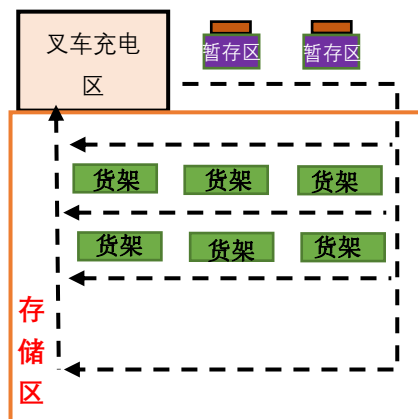


图 4-6 叉车运行单向循环路线图

综上优化描述，运有供货商待发货物的接货车按照货物大小与所需业务进行选择收货月台并进行卸货。小件货及只需暂存周转的货物需在有传送带对接的收货月台卸货。大件货及需要存储业务的货物需在对接暂存区的收货月台卸货。

如是小件货及只需暂存周转的货物，则货物直接卸到传送带上，经过传送带的智能化分拣，每个货物找到与之对应的分拣出口，入库员仅需在对应分拣区等待货到人，将货取下，放置到指定分拣区（每个传送带出口垂直方向上对应的 3 或 4 个分拣区即为传出货物的对应分拣区范围），而此时进行集货的分拣员也由之前在 23 个分拣区内进行拣货优化为在垂直方向上的 3 或 4 个分拣区范围内进行拣货。

如是大件货及需要存储业务的货物，则货物卸到暂存区，组托后由叉车直接进行入库作业。在接到配送通知时，小件货经拣货及核实无问题后到集货区等待配送，大件货由叉车运至对应的集货区进行检验后，等待装车配送。若待出库货物在检验中出现问题则运至异常处理区进行调换与通报。优化后的集散中心的作业流程如图 4-7 所示：

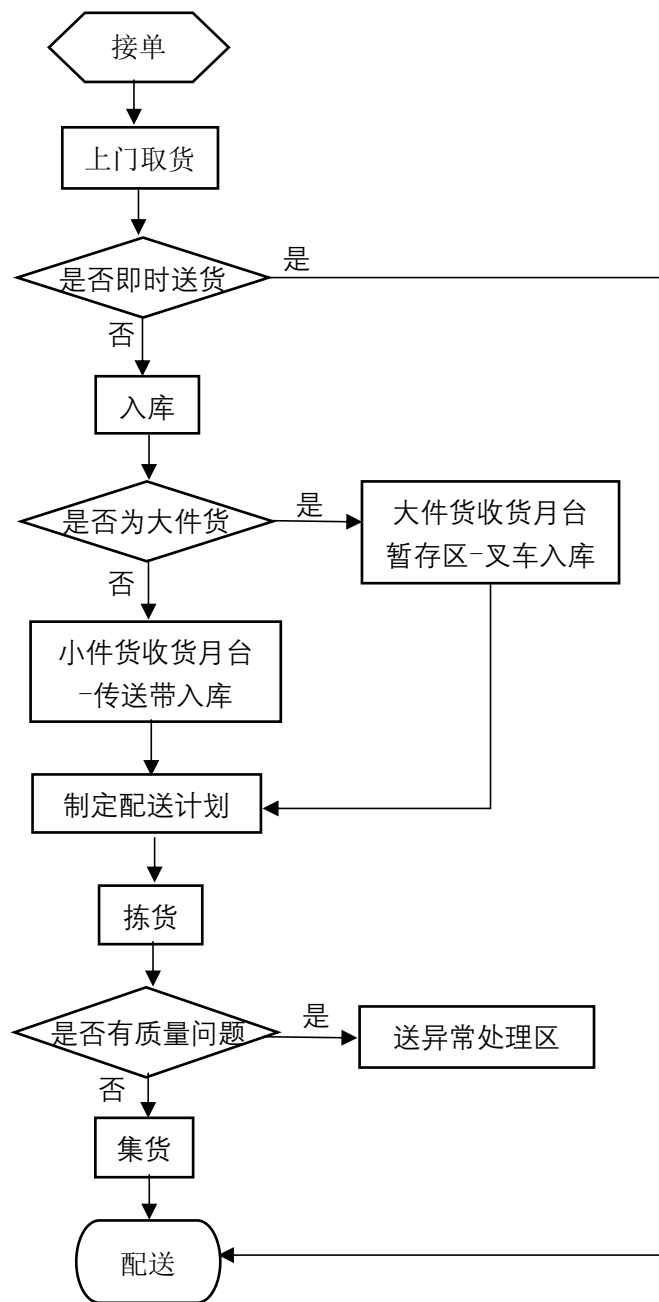


图 4-7 优化后集散中心作业流程图

由图 4-4 集散中心优化布局图和图 4-7 优化后的集散中心作业流程，优化后的模型场景需要库内作业员 16 人，配送运输车辆 7 辆，电动叉车及其配套充电桩 8 套，托盘 30 个，地牛 8 个，传送带 8 段，横梁式货架 15 个。其作业资源配置情况如表 4-4 所示：

表 4-4 优化后的作业资源配置表

序号	作业资源配置	数量	备注
1	入库员	9	小件货区 7 人，大件货区 2 人
2	分拣员	7	大、小件货区统一调配
3	运输车辆	7	分别对应各送货月台
4	电动叉车及配套充电桩	8	协助库内人工作业
5	托盘	30	放置在大件货入口的空托盘区
6	地牛	8	协助库内人工作业
7	货架	15	6 层 6 列，列宽 1.3 米，层高 0.8 米，可放置 36 个标准托盘货物的横梁式货架 15 个
8	传送带	8	7 段 7.2 米长的 PVK 传送带及 1 段 38 米长的半自动分拣传送带

4.3 优化仿真模型

由图 4-4 集散中心优化布局图及表 4-4 优化后的作业资源配置表，使用建模软件 Flexsim 对 YR 货运公司集散中心进行建模，构建模型所需实体如表 4-5 所示：

表 4-5 Flexsim 仿真实体与集散中心初始布局理论模型对应表

序号	仿真实体	对应理论模型	数量
1	操作员	入库员	9
		分拣员	7
2	发生器	收货月台	7
3	吸收器	送货月台	7
4	合成器	集货区	7
5	货架	货架	15
6	叉车	叉车（高位叉车）	8
7	传送带	传送带	8
8	暂存区	分拣区	23
		办公室	1
		杂物间	1
		叉车充电区	1
		地牛存放区	1
		小货车装货区	1
		异常处理区	1



图 4-9 优化后 PVK 传送带参数设置图

(2) 智能化传送带设置

设置智能化分拣传送带速度为 0.5 米每秒，调节传送带长度为 38 米，总体呈环状。注意传送带出入口方向及其距离设置，确保连线逻辑顺序正确。

优化后模型场景中的入库分拣工作由传送系统自动完成，实现了由“人-货”到“货-人”的转变，小件货由收货月台上普通 PVK 传送带，当流到智能化分拣传送带环节时，智能化分拣传送带会根据货物包装上的电子标签识别货物对应的分拣区，并将其传送到在其分拣区垂直方向上的 PVK 传送带上。

2. 关于人员的设置

由于传送带抵消了第一次人工搬运与分拣作业，实现了“人到货”至“货到人”的转变，优化后场景中的入库员只需将传送带运至对应分拣区的货物取下，并放置到相应分拣区即可。

同时，对分拣区进行重新布局，并划分成与收货月台一一对应的部分，缩小了各分拣员的拣选范围，其仅需在相应范围内的 3 或 4 个分拣区寻找货物即可。

如此可达到增加库内工作人员作业效率、减少人工作业压力与缩短行走距离的目标。使物流动线真正实现“U”型，在订单量大的旺季可提高货物的流通周转效率。

(1) 入库员设置变化

具体设置如下述图表所示：



图 4-10 优化前入库员作业参数设置图

初始入库员装载与卸载作业动作分解如下所示：

表 4-6 Flexsim 仿真实体-初始入库员装载作业动作分解表

动作	时间 (s)
找到入库目标	1
弯腰	1
抓取	1
抬升	1
转身	1

表 4-7 Flexsim 仿真实体-初始入库员卸载作业动作分解表

动作	时间 (s)
弯腰	1
放置	1



图 4-11 优化后入库员作业参数设置图

优化后入库员装载与卸载作业动作分解如下：

表 4-8 Flexsim 仿真实体-优化后入库员装载作业动作分解表

动作	时间 (s)
抓取	1
转身	1

表 4-9 Flexsim 仿真实体-优化后入库员卸载作业动作分解表

动作	时间 (s)
弯腰	1
放置	1

(2) 分拣员设置变化

具体设置如下述图表所示：



图 4-12 优化前分拣员作业参数设置图

优化前分拣员装载与卸载作业动作分解如下：

表 4-10 Flexsim 仿真实体-优化前分拣员装载作业动作分解表

动作	时间 (s)
寻找相应拣货区	23

表 4-11 Flexsim 仿真实体-优化前分拣员卸载作业动作分解表

动作	时间 (s)
弯腰	1
抓取	1



图 4-13 优化后分拣员作业参数设置图

优化后分拣员装载与卸载作业动作分解如下：

表 4-12 Flexsim 仿真实体-优化后分拣员装载作业动作分解表

动作	时间 (s)
寻找相应拣货区	3

表 4-13 Flexsim 仿真实体-优化后分拣员卸载作业动作分解表

动作	时间 (s)
弯腰	1
抓取	1

4.4 优化前后对比分析

4.4.1 运行图对比

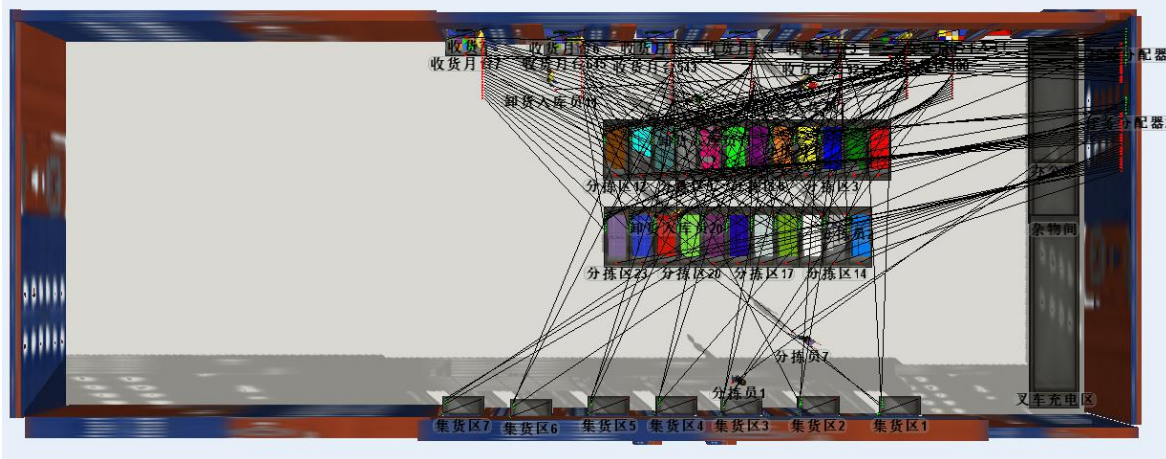


图 4-14 优化前模型场景运行图

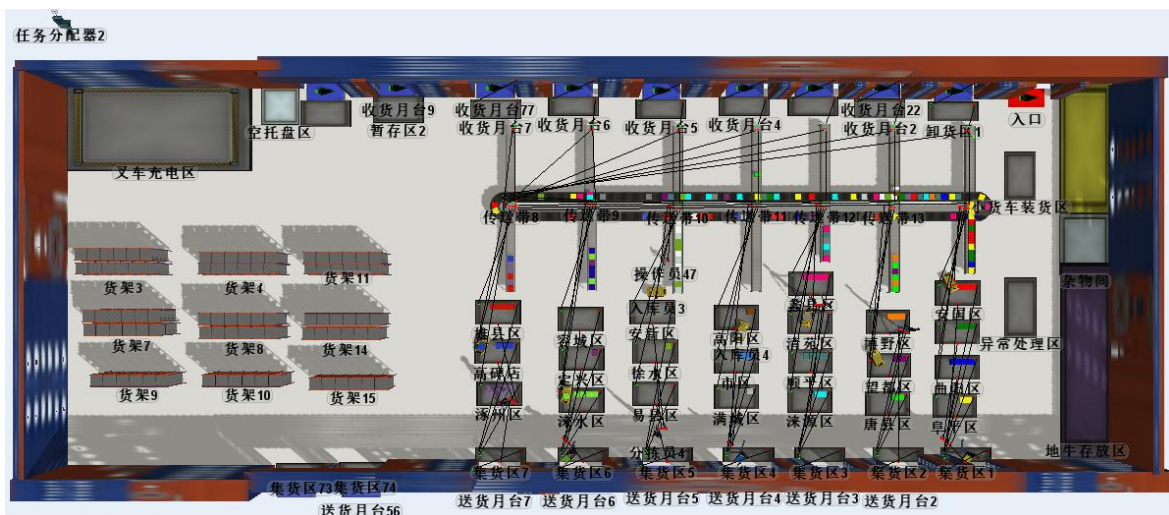


图 4-15 优化后模型场景运行图

物动线是在进行现场布局与作业流程优化时要考虑的重要指标。通过对比优化前后的模型运行图可知：优化前的现场作业动线混乱无序，存在交叉情况，影响现场作业效率与管理。而优化后的场景动线清晰有序，整体呈“I”型，其作业效率有大幅提升。

4.4.2 运行效果数据对比

1. 限时进行压力测试

该仿真模型效果测验方法为，在一定时间限制内（14400 秒）对优化前后两个模型场景进行压力测试。相同时间内，处理货物量越大即作业效率越高。同时，比较各作业人员的工作效率。模型场景优化前后送货月台输出量对比情况如下：

表 4-14 Flexsim-仿真模型场景优化前后送货月台输出量对比表

实体名称	优化前输出	优化后输出
送货月台 1	314	724
送货月台 2	226	718
送货月台 3	297	716
送货月台 4	247	691
送货月台 5	234	740
送货月台 6	248	728
送货月台 7	263	698

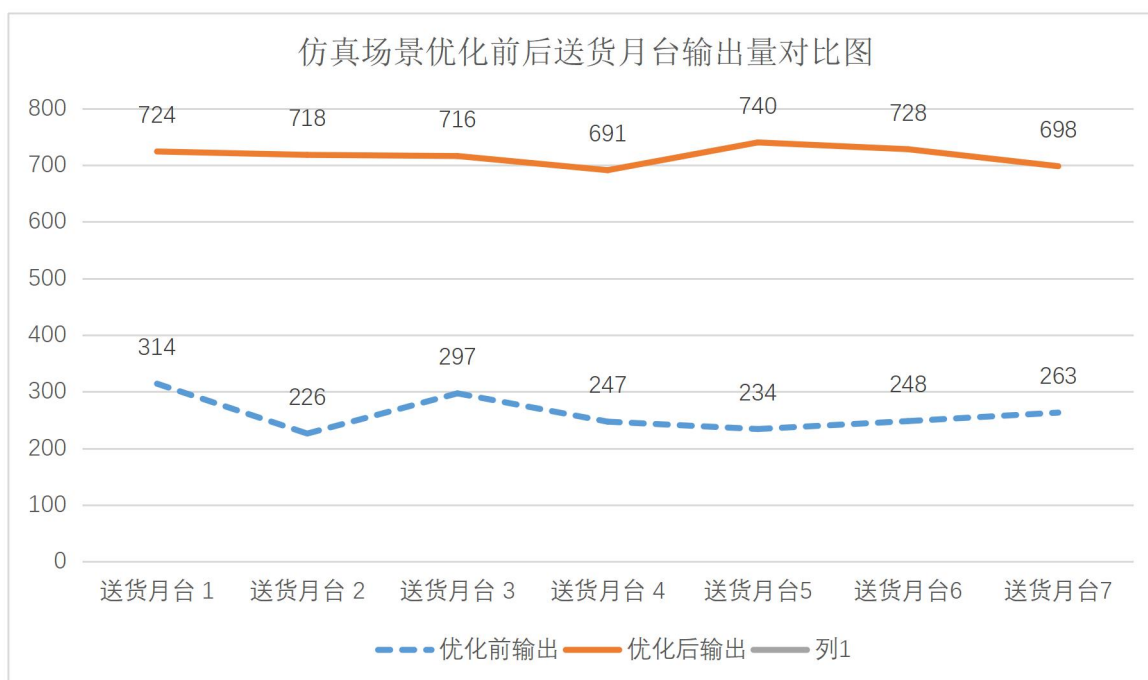


图 4-16 Flexsim-仿真模型场景优化前后送货月台输出量对比图

通过对优化前后模型场景进行限时运行压力测试可知：

优化后的场景订单处理能力更强，送货量更大，即物流作业效率更高。整个集散中心的配送运营能力增强。模型场景优化前后分拣员输出量对比情况如下：

表 4-15 Flexsim-仿真模型场景优化前后分拣员输出量对比表

实体名称	优化前输出	优化后输出
分拣员 1	288	724
分拣员 2	287	718
分拣员 3	98	716
分拣员 4	290	692
分拣员 5	290	741
分拣员 6	290	728
分拣员 7	286	699

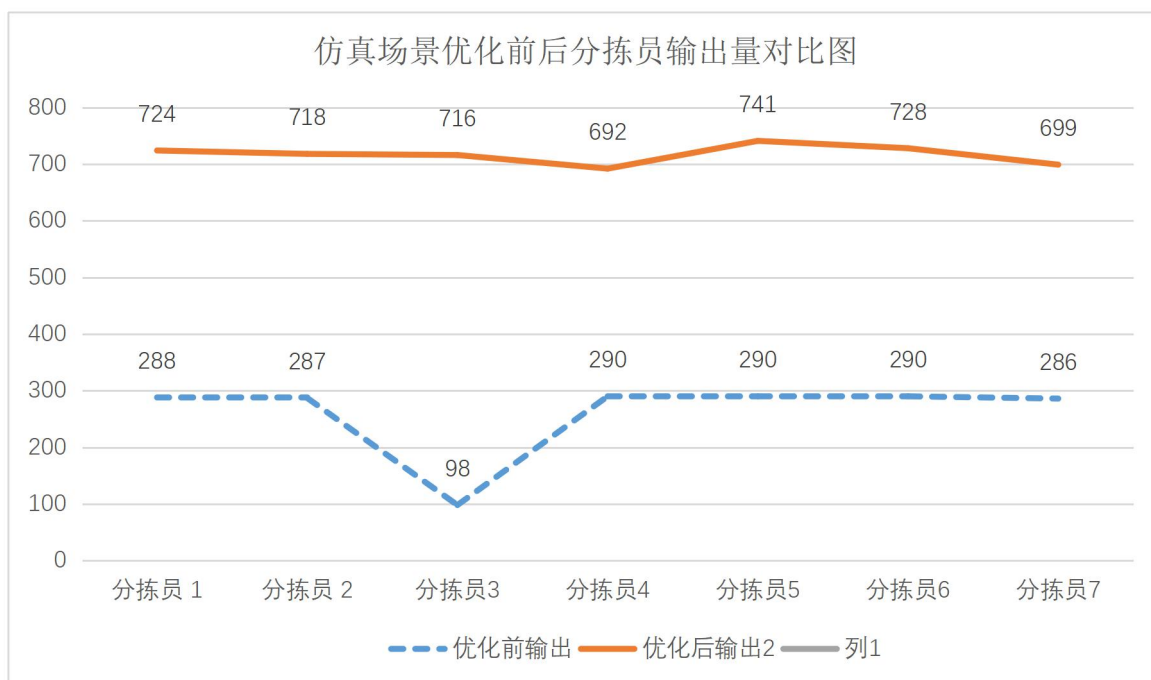


图 4-17 Flexsim-仿真模型场景优化前后分拣员输出量对比图

优化前后的场景在劳动强度上没有明显增加。通过对优化前后模型场景进行限时运行压力测试,优化后场景中的分拣员作业效率有大幅提升。通过增加传送分拣系统,可实现减少人工作业,提高集散中心运营效率,增加业务处理能力,获取更高利润的目标。

2. 作业能力测试

对优化前后两个场景的发生器按照相同入库数量进行进货入库设置,比对不同场景对相同订单的处理能力,在货物处理数量相同的情况下,所用时间越短即作业效率越高。

统一设置发生器为分批到货,共 23 批货物,每批到达数量为 15,如图 4-18 设置所示:



图 4-18 统一的发生器设置图

分别运行优化前和优化后的模型，得到如下结果，如图 4-19、图 4-20 所示：



图 4-19 优化前的模型运行时间

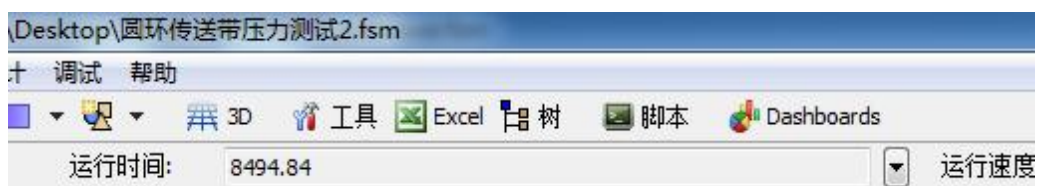


图 4-20 优化后的模型运行时间

通过运行结果可知：在订单量相同的情况下，优化前的模型需 18612.35 秒完成作业，而优化后的模型仅需要 8489.84 秒完成作业。

增加传送带分拣系统切实实现了分担人工作业，减少人员走动，缩小人工作业范围，进而提高集散中心作业效率，达到提高作业速度，缩短作业时间的目标。

3. 预算测试

优化模型中增加了 7 段 7.2 米长的直线型 PVK 传送带和一段 38 米长的环形智能化分拣传送带，分拣线方案如图 4-21 所示。

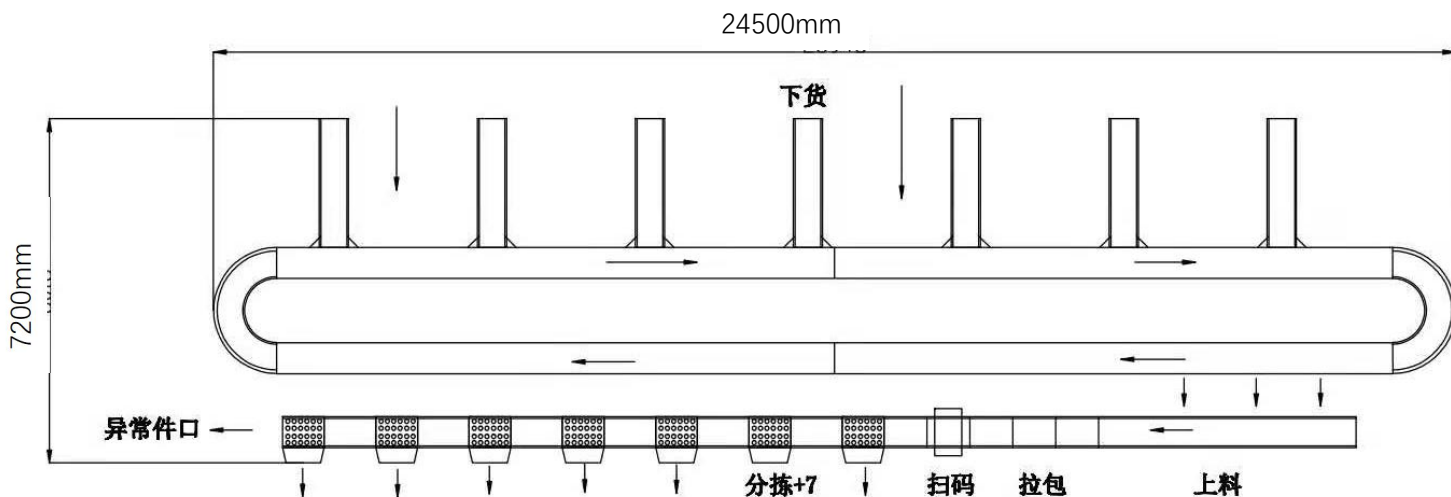


图 4-21 分拣线方案图

经过市场调研，优化模型中的分拣系统从购置设备到运行调试（包括控制、识别系统等）和运费等，共计成本 20 余万元。具体价格项目如表 4-16 所示：

表 4-16 场景优化分拣系统造价表

序号	名称	型号规格	单位	数量	单价（元）	小计（元）
1	下货皮带机	总长 7200*内宽 650	条	7	1152	8064
2	环形直线皮带机	总长 24000*内宽 650	条	1	3840	3840
3	上料输送机	总长 6000*内宽 650	条	1	7000	7000
4	拉包输送机	总长 1000*内宽 650	条	4	5500	22000
5	缓存输送机	总长 1000*内宽 650	条	7	4500	31500
6	摆轮分拣机	总长 800*内宽 650	条	7	15000	105000
7	自动扫码	扫码模块、工控电脑、软件系统	套	1	6700	6700
8	运输安装	包装运输、安装调试	项	1	20000	20000
合计						204104

另外，每月需支付维护成本 4500 元。

节省人工开支核算：

通过优化作业场景，集散中心人工数量由初始的 20 人减少为 16 人，每人每月工资为 4500 元，抵消分拣系统维护成本后，一个月减少人工开支 13500 元。

经计算分拣传送带购置成本与人工减少费用，优化模型中的分拣系统成本 16 个月内能收回并节省人工开支 1 万余元。在未来长期的使用过程中可以达到减少开支的作用。

4. 面积利用率测算

初始面积利用率= $(52+24+68+140+445.38+52.8) / 2100 \times 100\% \approx 37\%$

优化后的模型场景增加了传送设备及适用于提供仓储业务的存储区域，在扩展业务项目的同时还增加了异常处理区和小货车装车区。

优化后面积利用= $(52+12+56+10.5+64.4+821.76+15+12.5+396+17.6+63.375+1.21) / 2100 \times 100\% \approx 72\%$

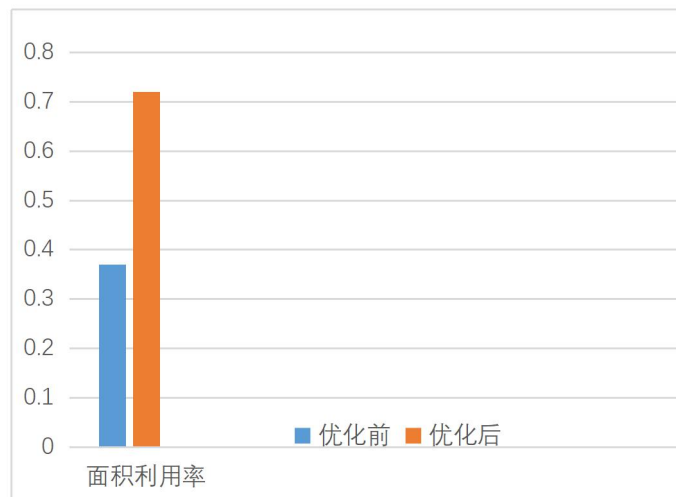


图 4-22 优化前后的模型面积利用率对比图

第五章 总结与展望

5.1 总结

集散中心的作业分区与设施布局对其整体运营效率有着至关重要的影响，空间利用率对于集散中心提高服务质量与扩展业务能力也意义重大。本文以保定 YR 货运公司的集散中心为研究对象，应用系统仿真再现了研究对象的现场情况，根据实际作业环节及作业设施设备布局存在的各种问题提出具有可行性的解决方案并基于 Flexsim 软件进行模拟仿真，得出根据本文所提优化方法得到的优化方案能够实现集散中心作业的优化，进而总结出一套能够解决实际问题的作业方案。

运用 5S 原则加强现场管理，优化作业流程与工作场地作业环境，同时，通过重新规划分拣区使其按照各配送地之间的实际距离进行布局；通过增加半自动化的分拣系统省去了第一次人工分拣作业；增加小货车装货区使作业场地安全性提高；增加异常处理区提高服务质量；增加存储区，扩展集散中心运营项目，提高收入与客户服务满意度，逐步实现一站式服务；集散中心面积利用率提高 35%；分拣效率极大的增强，小件区分拣单日作业量达到 4000-5000 件每小时；由此降低作业人员工作量，减少人工数量，降低人工成本，提高分拣作业效率与场地的空间、面积利用率。

5.2 不足与展望

本文主要研究的是保定 YR 货运公司的集散中心，实质是研究分拣区规划与提高面积利用率。因受时间、资源的可行性影响，本文的研究还有诸多不足之处。

首先，未综合考虑集散中心内各作业分区的联系、布局，有一定局限性。其次，受文章篇幅及实际情况的复杂程度影响制约，未规划各作业分区的理想布局面积。

未来，集散中心的作用将愈加凸显，而集散中心的作业区布局以及智能化设备将在工作中占据举足轻重的地位，本文针对保定 YR 货物运输集散中心的研究，将来应针对面对更广阔的市场的集散中心做出更加细致全面的布局规划与作业流程的完善与优化。

参考文献

- [1] 李聪. 南京邮政航空快递物流集散中心分拣系统建模与仿真分析[D]. 中国民航大学, 2020.
- [2] 王冉. S 电商企业物流配送流程优化研究[D]. 济南大学, 2019.
- [3] 李云. 基于 Flexsim 的 Q 公司备品备件仓库的方案设计及验证[D]. 山东大学, 2018.
- [4] 伊俊敏, 等. 物流工程 (第四版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [5] 张莹莹, 鲜英子, 余可祺, 黄薇. 基于 Flexsim 的医药物流中心作业流程优化研究[J]. 物流工程与管理, 2020, 42 (08) :74-76+50.
- [6] 张云帆, 李莉, 阿丽米热木·阿合买提江. 基于 Flexsim 的物流配送中心设施布置优化与仿真[J]. 物流科技, 2020, 43 (08) :61-63.
- [7] 周晓杰. Flexsim 仿真软件在物流仓储中的应用[J]. 无线互联科技, 2020, 17 (16) :77-78.
- [8] 杨玮, 罗洋洋, 杨甜, 等. 基于 Flexsim 对医药物流中心立体仓库优化[J]. 包装工程, 2017 (7) : 210-215.
- [9] 初怡. 基于 Flexsim 的企业配送中心作业流程优化[J]. 中国物流与采购, 2020 (18) :64-67.
- [10] 张阳, 马如意, 刘聪雨, 李翠娥, 姜泽昊. 快递集散中心分拣作业优化研究[J]. 工业工程与管理, 2018, 23 (06) :95-100+124.
- [11] Multimedia; Study Findings from Pai Chai University Provide New Insights into Multimedia (Application of Flexsim Software for Developing Cyber Learning Factory for Smart Factory Education and Training) [J]. Technology News Focus, 2020,
- [12] Han,Qing Tian. Research on Simulation of Modern Storage System with Flexsim[J].Advanced Materials Research,2017,98(94):1477-1480.
- [13] Xu D W, Yang L P, Ren S. Analysis and Design of Logistics Warehousing Management Information System Based on RFID[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014,644-650;6200-6203.

附录

附表 1 运距排序表

运距	起止点	运距	起止点	运距	起止点	运距	起止点
215	涑源-高阳	162	易县-博野	141.6	定兴-曲阳	127.2	清苑-阜平
207.2	涑州-阜平	161.8	涑州-曲阳	141.6	博野-阜平	125.2	定州-定兴
196.4	雄县-阜平	159.2	涑水-博野	140.2	安新-曲阳	124.6	容城-曲阳
192.9	高碑店-阜平	158.7	定州-涑州	138.7	涑州-望都	124.5	唐县-雄县
190.3	涑源-蠡县	156	徐水-阜平	138.6	易县-高阳	123	涑源-定州
187	定兴-阜平	155.3	高阳-阜平	138	涑州-望都	122.9	安新-定州
185.6	安新-阜平	154.9	涑源-雄县	137.6	涑源-望都	121.8	高碑店-雄县
182.8	易县-阜平	153.7	易县-蠡县	137.5	易县-曲阳	121.1	涑源-唐县
182.2	易县-安国	151.1	涑州-博野	136.5	定州-高碑店	120.7	涑源-顺平
180	涑水-阜平	151.1	雄县-曲阳	136	涑州-唐县	120.6	高碑店-蠡县
178.7	涑源-安国	150.9	涑水-蠡县	135.8	涑水-高阳	120.5	安国-容城
178.7	涑水-安国	149.4	涑源-清苑	135.3	安国-阜平	119	涑州-顺平
171.9	蠡县-阜平	149.3	安国-高碑店	134.7	涑水-曲阳	118.4	易县-雄县
171.3	涑州-安国	147.6	曲阳-高碑店	133.4	定州-雄县	117.3	定兴-博野
169.9	满城-阜平	146.9	涑源-定兴	132.5	安国-雄县	117.1	望都-阜平
169.4	定州-易县	144.4	涑源-安新	129.1	涑源-容城	116.4	望都-高碑店
167.4	涑源-市区	142.9	涑州-蠡县	128.9	高碑店-博野	116.1	涑水-雄县
166	涑源-博野	142.9	市区-阜平	127.8	涑州-高阳	116	高碑店-望都
165.9	涑水-定州	141.8	涑州-涑源	127.5	高碑店-涑源	115.6	涑源-徐水
115.4	满城-阜平	96.9	顺平-安新	75.4	唐县-阜平	57	涑州-易县
115.1	涑源-阜平	94.7	易县-顺平	75	安新-高碑店	56.1	安国-市区
114.3	涑源-涑水	94.2	涑源-满城	74.7	高阳-容城	55.6	望都-市区
113.9	唐县-安新	94.1	定州-高阳	74.2	定兴-满城	55	唐县-清苑
113.8	安国-徐水	93.9	定兴-高阳	74	徐水-涑水	53.7	唐县-蠡县
113.8	望都-雄县	93.1	徐水-博野	73.9	定兴-雄县	53.4	安国-望都
112.5	望都-易县	92.9	高碑店-阜平	73.2	清苑-安新	53.2	定州-博野
111.7	易县-唐县	92.7	蠡县-曲阳	73.2	高阳-雄县	52.9	定兴-容城
111.1	雄县-博野	92.5	易县-容城	73.1	满城-安新	52.1	徐水-顺平
110.7	徐水-曲阳	92.4	望都-高阳	72	顺平-蠡县	51.3	徐水-清苑
110	高阳-曲阳	91.8	易县-清苑	71.8	唐县-市区	50.4	高碑店-雄县
109.3	涑州-清苑	91.3	顺平-涑水	70.5	安国-顺平	49.8	徐水-雄县

运距	起止点	运距	起止点	运距	起止点	运距	起止点
108.7	涿州-满城	90.9	顺平-博野	70	满城-曲阳	48.1	曲阳-望都
108.6	定兴-蠡县	90.6	定州-满城	69.9	定州-蠡县	47.5	高碑店-徐水
108.5	望都-涑水	89.7	涑水-容城	69.9	满城-蠡县	47.1	高阳-博野
108.3	唐县-涑水	89	涑水-清苑	69.7	涿州-徐水	44.7	高阳-市区
107.8	安新-易县	88	望都-容城	69.7	高阳-徐水	44.5	望都-满城
107.5	定州-容城	87.9	满城-博野	69.3	雄县-市区	43.7	唐县-满城
107.5	雄县-蠡县	87.1	高碑店-清苑	68.5	定州-市区	43.5	定州-安国
107.4	雄县-顺平	85.8	高碑店-满城	68.3	安新-蠡县	43.5	容城-市区
107.1	涿州-雄县	84.9	徐水-唐县	68.2	安国-高阳	43.4	安新-市区
105.5	高碑店-高阳	84.9	徐水-蠡县	68	博野-市区	43.2	高碑店-易县
105	涑水-安新	84.8	唐县-高阳	67.9	徐水-顺平	42.7	安国-清苑
104.8	高碑店-顺平	84.4	易县-满城	67.5	高阳-顺平	42.5	定州-顺平
104.8	定兴-望都	83.7	清苑-雄县	67.4	涑源-市区	39.3	徐水-安新
103.5	涑源-曲阳	83.6	满城-雄县	66.4	安国-曲阳	39	望都-清苑
103.3	望都-安新	83.3	曲阳-阜平	64.7	易县-市区	38.6	清苑-高阳
102.9	定兴-顺平	82	涿州-容城	64.5	满城-高阳	37.7	顺平-清苑
101.2	定州-阜平	81.6	顺平-容城	63.4	定兴-安新	37.6	徐水-满城
101	定州-徐水	81.6	涑水-满城	63.4	望都-博野	36.8	徐水-定兴
100.3	容城-博野	80.7	徐水-望都	62	易县-博野	36	定州-高碑店
100	涿州-市区	80.3	清苑-曲阳	61	涿州-曲阳	35.7	清苑-蠡县
99.2	唐县-阜平	79.3	涑水-市区	59.8	高碑店-容城	34.8	高阳-安新
99.1	安国-安新	77.9	安新-博野	59.6	蠡县-市区	34	涿州-涑水
98.7	唐县-容城	77.8	易县-徐水	58.6	定州-清苑	33.9	清苑-满城
98	曲阳-市区	77.7	高碑店-市区	57.9	清苑-容城	32.2	高阳-蠡县
97.9	容城-蠡县	76.3	曲阳-博野	57.8	满城-容城	30.7	涿州-定兴
97.3	涿州-安新	75.7	安国-满城	57.4	涿州-易县	30.4	易县-定兴
97.3	顺平-阜平	75.4	定兴-清苑	57.4	安国-唐县	30	安国-蠡县
29.8	定州-唐县	26.7	定州-望都	23.4	满城-市区	17.6	顺平-望都
28.6	雄县-容城	26.6	顺平-满城	21.5	易县-涑水	16	定州-易县
27.2	清苑-阜平	26.3	顺平-唐县	21.2	涿州-高碑店	13.3	安国-博野
27.2	安新-雄县	25.6	定州-曲阳	19	涿州-顺平	13.3	蠡县-博野
26.8	徐水-市区	24	徐水-容城	17.7	涑水-高碑店	10.5	高碑店-定兴

附表 2 运距等级表

等级	起止点	等级	起止点	等级	起止点	等级	起止点
U	涑源-高阳	U	易县-博野	0	定兴-曲阳	I	清苑-阜平
U	涿州-阜平	U	涿州-曲阳	0	博野-阜平	I	定州-定兴
U	雄县-阜平	U	涑水-博野	0	安新-曲阳	I	容城-曲阳
U	高碑店-阜平	U	定州-涿州	0	涿州-望都	I	唐县-雄县
U	涑源-蠡县	U	徐水-阜平	0	易县-高阳	I	涑源-定州
U	定兴-阜平	U	高阳-阜平	0	涿州-望都	I	安新-定州
U	安新-阜平	U	涑源-雄县	0	涑源-望都	I	高碑店-雄县
U	易县-阜平	U	易县-蠡县	0	易县-曲阳	I	涑源-唐县
U	易县-安国	U	涿州-博野	0	定州-高碑店	I	涑源-顺平
U	涑水-阜平	U	雄县-曲阳	0	涿州-唐县	I	高碑店-蠡县
U	涑源-安国	0	涑水-蠡县	0	涑水-高阳	I	安国-容城
U	涑水-安国	0	涑源-清苑	0	安国-阜平	I	涿州-顺平
U	蠡县-阜平	0	安国-高碑店	0	涑水-曲阳	I	易县-雄县
U	涿州-安国	0	曲阳-高碑店	0	定州-雄县	I	定兴-博野
U	满城-阜平	0	涑源-定兴	0	安国-雄县	I	望都-阜平
U	定州-易县	0	涑源-安新	I	涑源-容城	I	望都-高碑店
U	涑源-市区	0	涿州-蠡县	I	高碑店-博野	I	涑水-雄县
U	涑源-博野	0	市区-阜平	I	涿州-高阳	I	高碑店-望都
U	涑水-定州	0	涿州-涑源	I	高碑店-涑源	I	涑源-徐水
I	满城-阜平	E	顺平-安新	E	唐县-阜平	E	涿州-易县
I	涑源-阜平	E	易县-顺平	E	安新-高碑店	E	安国-市区
I	涑源-涑水	E	涑源-满城	E	高阳-容城	E	望都-市区
I	唐县-安新	E	定州-高阳	E	定兴-满城	E	唐县-清苑
I	安国-徐水	E	定兴-高阳	E	徐水-涑水	E	唐县-蠡县
I	望都-雄县	E	徐水-博野	E	定兴-雄县	E	安国-望都
I	望都-易县	E	高碑店-阜平	E	清苑-安新	E	定州-博野
I	易县-唐县	E	蠡县-曲阳	E	高阳-雄县	E	定兴-容城
I	雄县-博野	E	易县-容城	E	满城-安新	E	徐水-顺平
I	徐水-曲阳	E	望都-高阳	E	顺平-蠡县	E	徐水-清苑
I	高阳-曲阳	E	易县-清苑	E	唐县-市区	E	高碑店-雄县
I	涿州-清苑	E	顺平-涑水	E	安国-顺平	A	徐水-雄县
I	涿州-满城	E	顺平-博野	E	满城-曲阳	A	曲阳-望都
I	定兴-蠡县	E	定州-满城	E	定州-蠡县	A	高碑店-徐水
I	望都-涑水	E	涑水-容城	E	满城-蠡县	A	高阳-博野
I	唐县-涑水	E	涑水-清苑	E	涿州-徐水	A	高阳-市区

等级	起止点	等级	起止点	等级	起止点	等级	起止点
I	安新-易县	E	望都-容城	E	高阳 - 徐水	A	望都-满城
I	定州-容城	E	满城-博野	E	雄县-市区	A	唐县-满城
I	雄县-蠡县	E	高碑店-清苑	E	定州-市区	A	定州-安国
I	雄县-顺平	E	高碑店-满城	E	安新-蠡县	A	容城-市区
I	涿州-雄县	E	徐水-唐县	E	安国-高阳	A	安新-市区
I	涞水-安新	E	唐县-高阳	E	徐水-顺平	A	安国-清苑
I	高碑店-高阳	E	徐水-蠡县	E	博野-市区	A	高碑店-易县
I	高碑店-顺平	E	易县-满城	E	高阳-顺平	A	定州-顺平
I	定兴-望都	E	清苑-雄县	E	涞源-市区	A	徐水-安新
I	涞源-曲阳	E	满城-雄县	E	安国-曲阳	A	望都-清苑
I	望都-安新	E	曲阳-阜平	E	易县-市区	A	清苑-高阳
I	定兴-顺平	E	涿州-容城	E	满城-高阳	A	顺平-清苑
I	定州-阜平	E	顺平-容城	E	定兴-安新	A	徐水-满城
I	定州-徐水	E	涞水-满城	E	望都-博野	A	徐水-定兴
I	容城-博野	E	徐水-望都	E	易县-博野	A	定州-高碑店
E	涿州-市区	E	清苑-曲阳	E	涿州-曲阳	A	清苑-蠡县
E	唐县-阜平	E	涞水-市区	E	高碑店-容城	A	高阳-安新
E	安国-安新	E	安新-博野	E	蠡县-市区	A	涿州-涞水
E	唐县-容城	E	易县-徐水	E	定州-清苑	A	清苑-满城
E	曲阳-市区	E	高碑店-市区	E	清苑-容城	A	高阳-蠡县
E	容城-蠡县	E	曲阳-博野	E	满城-容城	A	涿州-定兴
E	涿州-安新	E	安国-满城	E	涿州-易县	A	易县-定兴
E	顺平-阜平	E	定兴-清苑	E	安国-唐县	A	安国-蠡县
A	定州-唐县	A	定州-望都	A	满城-市区	A	顺平-望都
A	雄县-容城	A	顺平-满城	A	易县-涞水	A	定州-易县
A	清苑-阜平	A	顺平-唐县	A	涿州-高碑店	A	安国-博野
A	安新-雄县	A	定州-曲阳	A	涿州-顺平	A	蠡县-博野
A	徐水-市区	A	徐水-容城	A	涞水-高碑店	A	高碑店-定兴

致谢

美好的大学时光转瞬即逝，回顾这四年的成长，在收获学科知识的同时，也培养了一种更宏观的视野和处理问题时的严谨精神。善于发现生活中存在的问题并以自己所具备的学识与能力去解决它才是真正的有效学习。学以致用才能体会到学习带来的乐趣和自身创造的价值。

感谢天津中德应用技术大学在四年的学习中提供的实践机会与完善的教学课程，感谢既耐心又细心，时刻为我答疑解惑又时时指引我的薛立立老师，每次提问都耐心的悉数教授，学而不厌，诲人不倦。在薛老师的身上我看到了一个踏实勤奋、不畏辛苦的学习榜样，在未来的学习与工作中我会继续向薛老师看齐。感谢一直在我身后默默支持我的父母，感谢日常中一起学习、讨论的朋友，感谢所有快乐学习的经历和学有所获的充实感，让我成为更为完善的自己，我会勇往直前，继续努力！