



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

本科生毕业论文

SH 物流园区快消品仓库拣选作业优化研究

Research on Optimization of Picking Operation of FMCG Warehouse
in SH Logistics Park

学 院	智能制造学院
专 业	物流管理
班 级	19 物流管理(春)2 班
学 号	19404070122
姓 名	吴玉曼
指导教师	杨华
职 称	副教授
完成时间	2023 年 06 月 02 日

天津中德应用技术大学

本科生毕业论文

SH 物流园区快消品仓库拣选作业优化研究

Research on Optimization of Picking Operation of FMCG Warehouse
in SH Logistics Park

学 院 智能制造学院
专 业 物流管理
班 级 19 物流管理(春)2 班
学 号 19404070122
姓 名 吴玉曼
指导教师 杨华
职 称 副教授
完成时间 2023 年 06 月 02 日

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计（论文）选题申报表

学 院	智能制造学院	报 人	姓 名	杨 华
专 业	物流管理		技术职务	副高
题目名称	SH 物流园区快消品仓库拣选作业优化研究			
题目类型	生产实践	题目来源	生产实际	
课题来源、背景及意义	<p>随着物流业的发展，物流配送中心已经成为物流系统的一个重要节点，对整个物流系统效率的提升有着重要的作用。作为物流配送中心核心环节之一，拣选作业效率的高低直接影响着整个物流园区的运作效率，拣选作业系统的合理规划和设计成为改善物流园区整体运作效率的关键因素。随着疫情的爆发、互联网企业的快速发展，使得中国的电子商务行业市场增长迅猛，电子商务行业迎来了新的发展高潮，其产品种类繁多、需求量大且周期较短。为了提高 SH 物流园区快消品仓库拣选作业效率，提出本课题研究。基于此，本课题研究对象即为拣选作业的优化。针对快消品仓库订单特点，在订单分批、拣选路径优化等方面进行分析研究，提出可供参考的意见及解决方案。</p>			
任务及要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析 SH 物流园区快消品仓库现有拣选作业运作模式； 2. 找出拣选作业问题并进行分析； 3. 针对问题，建立拣选作业优化改进对策。 			
工作条件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 现代物流实验室、专业教室可提供论文指导与写作场所。 2. 本校图书馆可提供本馆以及与国内各图书馆联网的书籍、期刊等文献资料的借阅及在线查询，知网文献的收集及分析。 			
知识与能力要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握仓储管理、建模等物流专业知识； 2. 具备一定调研、数据收集和分析研究的能力； 3. 学会运用专业软件进行研究，并对结果数据进行分析的能力。 			
系（教研室）审查意见： 同意				
负责人(签名)： <u>薛立立</u> 2022 年 9 月 23 日				



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

毕业设计（论文）任务书

题 目： SH 物流园区快消品仓库拣选作业
优化研究

学 院： 智能制造学院

专 业： 物流管理

学生姓名： 吴玉曼

学 号： 19404070122

起止日期： 2022 年 10 月 24 日~2023 年 06 月 02 日

指导教师： 杨华

任务书下达日期：2022 年 10 月 21 日

任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始前一周内填好并发给学生；

2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；

3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；

4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004年3月21日”或“2004-03-21”。

5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0号装配图纸1张；A2号电气控制原理图纸2张；实物样机1台；产品2件”等。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

随着经济的快速发展，尤其是新冠疫情的爆发，使得电子商务行业得到快速发展。新冠肺炎疫情改变了消费者与品牌的购买方式和互动方式，加快了实体产业数字化转型进程。快消品电商面对顾客群体广泛，销售的货物种类呈多样性且市场需求波动大，客户对企业服务水平要求高。为了满足订单波动量大、单张订单需求随机性强、消费习惯难以估量、下单时间不确定性强的特点，准时和快速配送已经成为电子商务企业提高自身竞争力和提高客户服务水平的重要焦点。快消品电商企业必须提高对订单的响应时间才能保证自身高效运作，并有效应对各种挑战。

本课题以 SH 物流园区快消品仓库为研究对象，阐述了 SH 物流园区快消品仓库依托电子商务平台进行拣选作业现状。针对拣选作业现存改进问题，综合考虑订单完成时效与提高客户服务，构建快消品仓库需求订单分批优化模型，提出拣选分批作业优化方案，为企业优化快消品仓库拣选作业提供参考和借鉴意义。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

（1）搜集整理国内外有关快消品仓库、订单分批、拣选作业优化研究现状相关资料；

（2）调研 SH 物流园区快消品仓库、电子商务平台的概况，分析 SH 物流园区快消品仓库拣选作业存在的问题；

（3）基于当下电商行业的发展现状，分析影响订单分批和拣选路径的因素，SH 物流园区快消品仓库现有拣选策略进行改进；

（4）建立订单分批优化模型，选择合适的算法，对优化问题进行求解。

（5）依据收集到的订单数据，对订单分配优化后作业能力提供进行验证。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

毕业论文 1 篇

4. 推荐参考资料：

[1]李珍萍,田宇璇等.无人仓系统订单分批问题及 K-max 聚类算法[J].计算机集成制造系统,2021,27(05):1506-1517.

[2]胡雨璠. KL 电商仓库拣选区货位优化和在线订单分批研究[D].华南理工大学,2021.

[3]魏庆琦,陈金迪.考虑完全拆分的拣选分批与拣选路径集成优化模型[J].数学的实践与认识,2020,50(06):16-25.

[4]秦馨,赵剑道.等基于聚类算法的订单分批策略研究[J].制造业自动化,2021,43(01):134-137.

[5]胡小建,韦超豪.基于 Canopy 和 k-means 算法的订单分批优化[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2017,40(03):414-419.

[6]马飞. 电商配送中心订单分批及拣选路径优化研究[D].昆明理工大学,2016.

[7]张丹露,孙小勇等.智能仓库中的多机器人协同路径规划方法[J].计算机集成制造系统,2018,24(02):410-418.

[8]李珍萍,付红叶等.基于 AGV 的智能仓库系统订单分批问题研究[J].运筹与管理,2020,29(09):1-9.

[9]Sebastian Henn;Gerhard Wascher.Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems[J]European Journal of Operational Research 222(2012)484-494.

所在专业审查意见：

同意

负责人： 薛立立

2022 年 10 月 21 日



天津中德应用技术大学

Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计（论文）开题报告

题 目：SH 物流园区快消品仓库拣选作业优化
研究

学 院： 智能制造学院

专 业： 物流管理

学生姓名： 吴玉曼

学 号： 19404070122

起止日期：2022年10月24日-2023年06月02日

指导教师： 杨华

开题日期： 2022年11月18日

一、 开题报告内容（课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等）

（一）课题的目的意义

1. 课题的目的

近年来，随着互联网的快速发展，网购已成为消费的主流，其中快消品的网购已成为大众网购消费的主流。快消品庞大的网购市场，促使物流企业将更多的资源和管理成本投入到快消品的仓储和配送服务中。由于快消品需求大、品种多样、消费速度快且对服务需求复杂，传统以仓储为主的仓储仓库已经无法满足快消品的仓储环境，结合快消品的特点，仓储、拣选与配送并存等新兴快消仓库更加贴合于电商对快消品仓储服务的要求。与此同时，快消仓复杂的仓储结构和作业模式也对拣选区货物空间的利用率和布局提出了更高的要求。因此，研究快消品仓库的选择具有重要意义。

SH 物流园区建有一快消品仓卖馆（S5），用于存储酒类、食品类、个护及家庭护理类商品以便在购物平台进行销售。仓卖馆存储的快消品具有品类多、批量小、客户响应时间要求高的特征。现有的“人到货”的拣选模式主要是拣选人员利用拣选容器，在仓库中行走将所需的货物拣选出来，带来了订单拣选次数多、拣货速度慢等问题，导致订单处理效率降低。随着 B2C 电子商务的快速发展使得消费者对于网络购物交付时限的要求越来越高，目前的拣选作业模式已不适用于 SH 物流园区快消品仓库。

因此，课题以 SH 物流园区快消品仓库为具体研究对象，重点研究该仓储拣选方面存在的问题，通过分析该快消品仓库的拣选作业现状，结合快消品仓库中货物的特性以及现存仓储人工拣选的运作问题，提出仓储拣选作业优化方案，从而提高快消品仓库的拣选作业效率，降低拣选成本，满足 SH 物流园区快消品仓库现在的发展需要。

2. 课题的意义

（1）优化 SH 物流园区快消品仓库分析思路

现有的文献主要是对快消品仓库拣选作业优化问题进行研究，有的学者主要研究订单分批等对快消品仓库拣选作业的影响，有的学者主要研究的拣选路径策略对拣选作业的影响。本课题主要针对 SH 物流园区快消品电商仓库的拣选作业现状，分析快消品仓库订单特点、客户需求特点等，找出该快消品仓库在拣选作业中存在的问题，提出拣选作业优化的措施及方法。本文在一定程度上，丰富了快消品仓库拣选的理论与方法。

（2）提高 SH 物流园区快消品仓库的拣选效率

针对 SH 物流园区快消品仓库仓储拣选作业中存在的问题，通过研究快消品仓库的需求特点，为了更高效更准确的完成拣选作业，以拣选时间最短为目标，考虑人工拣选与仓储货物的基本特征。通过对快消品仓储拣选作业优化研究，提高 SH 物流园区快消品仓库拣选优化的运作效率。本课题通过对 SH 物流园区快消品仓库进行研究，给该企业以及其他情况类似的电商企业的优化提供参考。因此本课题具有重要意义。

（二）国内外研究现状

1. 拣选作业管理研究

杜星锐（2020）^[1]以 Y 电商仓库为研究对象，分析目前存在的问题为出库作业效率低、物流时效不理想、订单延误等。

胡雨鋈（2021）^[2]以 KL 电商平台下的一个美妆个护品类的仓库，发现它有拣选效率低、延迟发货率高和订单错发率高的问题。

霍亚馨（2021）^[3]以 W 公司物流配送中心 3C 产品仓库作为研究对象，发现仓库因存储策略不合理导致配送中心作业距离远、仓储作业效率低的问题。

王辉（2018）^[4]以 S 公司 3 号配送中心为研究对象，发现该仓库存在货位管理不合理、货位盘点效率低的问题。

李蕊（2022）^[5]以 A 公司订单拣选作业为对象，发现订单出库效率低、物流时效不能达到理想状态，不合理的物品拣选路径会产生不合理的重复行走造成时间浪费。

马飞（2016）^[6]以电商企业为研究对象，发现消费订单有批量杂、批量小、频次高、周期短、退货率高的特点。

刘晓利（2020）^[7]以 B2C 电商配送中心为研究对象，发现现有拣选模式存在订单拣选次数多、拣货速度慢等问题，最终导致订单处理效率降低。

Henn S（2015）^[8]以电商仓库为研究对象，发现现有电商仓库存在订单分批混乱的情况。

2. 拣选路径优化研究

杜星锐（2020）^[1]以 Y 电商仓库为研究对象，以总拣选距离最小为目标建立了订单分批和拣选路径的组合优化数学模型，以提高拣选效率。

孙辉（2017）^[9]以 A 配送中心为研究对象，将拣选人员在拣选过程中的行走距离最短为目标，建立订单分批模型和拣选路径模型。

DeKoster（1998）^[10]等人以制造业仓库为研究对象，提出了两种基于路径选择的订单分批处理算法，一种种子算法和一种省时算法，基于两种路径选择策略进行订单排序。

杜星锐（2020）^[11]以电商企业为研究对象，以拣选人员行走总距离最小为目标，采取 S 型策略和重点策略相结合的方式对拣选路径进行优化。

魏庆琦（2020）^[12]以电商企业为研究对象，以考虑订单完成度、等待时间的种子算法完成订单分批优化，采用模拟退火算法对拣选路径进行优化。

张丹露（2022）^[13]以机器人智能仓库为研究对象，为了解决智能仓库多机器人拣选协同路径规划问题，提出一种交通规则和预约表下的基于改进 A*算法的动态加权地图。

季爱迅（2021）^[14]以 A 电商仓库为研究对象，采用蚁群算法对订单分批和拣选路径进行优化，有效减少拣选作业总时间和拣货人员行走距离。

3. 拣选订单分批研究

胡雨鋆（2021）^[2]以 KL 电商仓库为研究对象，以仓库的实际情况提出了建立以缩短拣选总时长与缩短客户响应时间为目标的在线订单分批模型。

E.V. Korobkov.（2015）^[15]对一般仓库为研究对象，分批问题可以通过两种主要方法来解决，即邻近订单分批(种子算法)和时间窗订单分批。

霍亚馨（2021）^[3]以 W 公司物流配送中心 3C 产品仓库作为研究对象,主要通过订单分批和拣选路径进行仓储拣选优化以提高仓库的仓储作业效率。

曾妮（2021）^[16]以 P 电商企业物流中心为研究对象，建立离线订单分批模型和基于最短路的改进“S”型拣选模型，以缩短拣选时间，平衡各分区的工作量。

周丽（2022）^[17]以分批拣选系统为研究对象，对串行订单不分批和订单固定时间窗分批拣选进行研究订单分批问题。

李珍萍（2020）^[18]以无人仓为研究对象，考虑工作人员拣取商品次数和 AGV 搬运货架次数，建立以订单拣选总成本最小化为目标的订单分批问题优化模型，采用 K-max 聚类算法进行订单分批优化。

秦馨（2021）^[19]基于“货到人”采用基于凝聚型聚类算法的订单分批策略，以最小化货物搬运次数为目标构建了订单分批问题的数学模型。

邹炜（2022）^[20]以“货到人”拣选仓库为研究对象，以最小化货架搬运总次数为目标建立订单分批数学模型，采用订单相似度和萤火虫算法的联合优化方法实现订单分批。

胡小建（2017）^[21]以电商企业为研究对象，根据订单的特征以及订单之间的关联性，采用 k-means 聚类算法进行聚类，得到有效的分批结果，降低分拣时间，提高订单分拣的效率。

Yang J（2021）^[22]以使用可移动货架的电商仓库为研究对象，以最小拣选时间为目标，建立订单分批模型，使用混合遗传算法进行求解。

4.货位优化研究

KJ Roodbergen（2012）^[23]研究了布局、拣选路径跟储位选择的关系，研究三者之间如何相互作用，发现货位优化仅和拣选订单的大小有关。

Pang（2017）^[24]等通过提取和分析客户订单中不同商品之间的关联度，提出了货位分配算法，以最小化入库作业和拣选作业的总路程为目标。

M Tu 和 MF Yang（2020）^[25]等人以电商仓库为研究对象，优化电商环境的仓储存储中的储位指派问题。

左娴（2019）^[26]以电商快消仓为研究对象，主要研究拣选区的货位优化问题，以提高货品配送服务质量。

Amorim-Lopes M（2020）^[27]以分销仓库为研究对象，优化存储分配策略，以提高提取性能。

现有的国内外研究对快消品仓库、订单分批、拣选路径以及货位优化的国内外研究现

状进行了总结。其中，对电商仓库的研究集中在电商仓库的发展、电商仓库拣选作业的研究现状这两个方面；对订单分批的研究是从订单分批的方式、订单分批优化的模型和算法几个方面来进行阐述的；对拣选路径的研究主要在拣选路径的策略、拣选路径优化的模型算法这几个方面；对货位优化的研究重点关注了商品关联度、时间窗等。

（三）课题主要研究内容

本课题以解决 SH 物流园区快消品仓库订单拣选存在的问题，提高拣选效率和客户响应程度，从而提高客户服务评价和市场竞争力的目的，对 SH 物流园区快消品仓库的订单拣选作业进行优化研究。本课题的研究内容主要包括：

（1）SH 物流园区快消品仓库的现状和存在问题

对 SH 物流园区快消品仓库进行调研，对快消品仓库的仓储及拣选作业现状进行分析，找出本仓库存在的影响拣选效率的问题及存在问题的原因分析。

（2）SH 物流园区快消品仓库拣选作业优化指标研究

收集 SH 物流园区快消品仓库实际布局、货物存储策略、货位编码、订单频次、商品种类与数量等各种数据，并对影响拣选作业效率数据进行统计分析。

（3）SH 物流园区快消品仓库拣选作业优化方法研究

以提高拣选作业效率和客户满意度为研究目标，对 SH 物流园区快消品仓库拣选作业进行优化研究，分别建立订单分批和拣选路径优化模型，并进行求解算法设计。

（4）对比和验证优化结果

对比优化前后方案，对优化前后的分批结果、拣选行走总距离、拣选效率等数据进行比较分析，以验证优化结果是否能真正有效提高订单拣选作业的效率。

（四）参考文献

- [1]杜星锐. Y 电商仓库拣选作业优化研究[D].北京:北京交通大学,2020.
- [2]胡雨璿. KL 电商仓库拣选区货位优化和在线订单分批研究[D].广州:华南理工大学,2021.
- [3]霍亚馨. W 公司物流配送中心仓储拣选优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2021.
- [4]王辉. S 公司配送中心仓储拣选作业优化研究[D].成都:电子科技大学,2018.
- [5]李蕊. A 公司仓储中心母婴产品拣选路径优化研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2022.
- [6]马飞. 电商配送中心订单分批及拣选路径优化研究[D].昆明:昆明理工大学,2016.
- [7]刘晓利.B2C 电商配送中心订单分批策略研究综述[J].现代商贸工业,2020,41(20):47-49.
- [8] Henn S. Order batching and sequencing for the minimization of the total tardiness in picker-to-part warehouses[J]. Flexible Services and Manufacturing Journal, 2015, 27(1): 86-114.
- [9]孙辉. A 电商企业配送中心拣选作业优化研究[D].厦门大学,2017.
- [10]DeKoster, R Van der Poort.Routing order pickers in a warehouse: A comparison

between optimal and heuristic solutions[J].IIE Transactions, 1998,30(5): 469-480.

[11]杜星锐. 电商仓库拣选作业优化研究[J].中国物流与采购,2020(04):49.

[12]魏庆琦,陈金迪.考虑完全拆分的拣选分批与拣选路径集成优化模型[J].数学的实践与认识,2020,50(06):16-25.

[13]张丹露,孙小勇等.智能仓库中的多机器人协同路径规划方法[J].计算机集成制造系统,2018,24(02):410-418.

[14]季爱迅. 电商企业配送中心订单拣选作业优化研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2021.

[15]E. V. Korobkov. Warehouse Order-Picking Process. Review[J]. Nauka i Obrazovanie, 2015, 0(3) : 153-183.

[16]曾妮. P 电商企业物流中心拣选作业优化研究[D].北京:北京交通大学,2021.

[17]周丽,张雪等.动态拣选系统下订单分批问题研究[J].机械设计与制造,2022(01):271-275.

[18]李珍萍,田宇璇等.无人仓系统订单分批问题及 K-max 聚类算法[J].计算机集成制造系统,2021,27(05)

[19]秦馨,赵剑道.等基于聚类算法的订单分批策略研究[J].制造业自动化,2021,43(01):134-137

[20]邹炜,赵洪鑫等.“货到人”订单分批拣选作业优化研究[J].物流科技,2022,45(11):27-33.

[21]胡小建,韦超豪.基于 Canopy 和 k-means 算法的订单分批优化[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2017,40(03):414-419.

[22]Yang J, Zhou L, et al. Hybrid genetic algorithm-based optimisation of the batch order picking in a dense mobile rack warehouse[J]. Plos one, 2021, 16(4): e0249543.

[23]Roodbergen K J . Storage Assignment for Order Picking in Multiple-Block Warehouses [J].Warehousing in the Global Supply Cham, 30(5),2012,139-155.

[24]Pang K W, Chan H L. Data mining-based algorithm for storage location assignment in a randomised warehouse[J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(14): 4035-4052.

[25]Tu M, Yang M F ,et al. Using a heuristic multi-objective genetic algorithm to solve the storage assignment problem for CPS-based pick-and-pass system[J], Enterprise Information Systems, 2020(23):1-22.

[26]左嫻. 电商快消仓拣选区货位分配问题研究[D].西安:长安大学,2019.

[27]Amorim-Lopes M, Guimarães L, et al. Improving picking performance at a large retailer warehouse by combining probabilistic simulation, optimization, and discrete-event simulation[J]. International Transactions in Operational Research, 2021, 28(2): 687-715.

二、进度及预期结果		
起止日期	主要内容	预期结果
(1) 2022. 10. 24- 2022. 10. 30 (2) 2022. 10. 30- 2022. 11. 11 (3) 2022. 11. 11- 2023. 3. 31 (4) 2023. 4. 3- 2023. 4. 14 (5) 2023. 4. 24- 2023. 5. 19 (6) 2023. 5. 29- 2023. 6. 2	(1) 撰写选题申报表和毕业设计任务书 (2) 撰写开题报告，制作开题答辩 PPT (3) 整理论文初稿并接受中期检查 (4) 对论文进行修改，完成修改初稿 (5) 对论文进行预查重和最终查重，及时修改，做出最后调整，确定最终的毕业论文 (6) 制作答辩 PPT，准备毕业答辩	(1) 完成选题申报表和毕业设计任务书 (2) 完成开题报告及开题答辩 (3) 完成论文中期检查 (4) 完成论文修改 (5) 完成毕业论文及论文查重 (6) 完成毕业答辩
完成课题的现有条件	1. 本校图书馆可提供本馆以及与国内各图书馆联网的书籍、期刊等文献资料的借阅及在线查阅，知网文献的收集及分析；论文研究撰写的场地。 2. 学院指导教师的研究工作室、现代物流实训教室、专业教室可提供论文指导场所；物流专业实验室，如与教学配套的物流系统规划和设计仿真软件、物流及供应链分析的建模仿真软件、运筹学和统计学等数学模型的分析软件等系统软件可满足论文分析研究所需的工具。 3. 学院的共享空间可满足论文学术讨论、指导的场地。	
指导教师意见	同意开题 <div style="text-align: right;">指导教师： <u>杨华</u> <u>2022</u> 年 <u>11</u> 月 <u>18</u> 日</div>	
开题答辩小组意见	同意开题 <div style="text-align: right;">组 长： <u>张扬</u> <u>2023</u> 年 <u>11</u> 月 <u>18</u> 日</div>	

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

近年来，随着互联网的快速发展，大众消费的主流已悄然变成网购，其中快消品是大众网购消费的主要产品。如何更好地平衡物流成本与服务水平，是当前快消品电商企业亟需解决的问题。SH 物流园区快消品仓库为了应对订单波动量大、单张订单需求随机性强的特点，现有的“人到货”的拣选模式主要是拣选人员利用拣选容器，货物品种的繁多会导致拣选次数多拣选复杂，从而拣选效率降低，因此目前的 SH 物流园区快消品仓库的拣选作业方式需要改进。

首先，对 SH 物流园区快消品仓库概况、仓库布局、存储货物特点、拣选作业流程及拣选作业效率影响因素分析，找出仓库拣选作业问题为拣选效率低及物流时效不能达到理想状态。

其次，对仓库到达的 n 个订单进行以巷道相似度最大的原则进行订单聚类分批。以 27 个订单为例，根据订单巷道相似系数降序排列，找出最大系数，合并订单，不断迭代得到分批结果。对订单分批后的结果，以仓库原有的穿越式路径为例，计算出拣选行走距离。对比返回式和中点回转式路径策略，并计算各策略下的行走距离，找出最优路径策略。

最后，在基于 27 个订单分批批次的结果上，以拣选行走距离最小为目标函数建立模型并设置约束条件，采用遗传算法求解并为其设立参数，分批次进行拣选路径优化求解，与拣选路径策略中选出的最短行走路径对比，找出最短行走路径，以达到优化的目的。

关键词：快消品仓库；聚类分析；遗传算法；订单分批；拣选路径优化

ABSTRACT

In recent years, with the rapid development of the Internet, the mainstream of mass consumption has quietly changed to online shopping, among which fast-moving consumer goods are the main products of mass online consumption. How to better balance the logistics cost and service level is an urgent problem for the current FMCG (Fast-moving Consumer Goods) e-commerce enterprises. In order to cope with the characteristics of large order fluctuations and strong randomness of individual orders, the existing "person-to-person arrival" selection mode mainly refers to the selection of containers by the picker. The wide variety of goods will lead to multiple times of selection and complex selection, thus reducing the efficiency of selection. Therefore, the current SH logistics Park FMCG warehouse's selection mode needs to be improved.

First of all, after a brief overview of the FMCG warehouse in SH Logistics Park, warehouse layout, characteristics of stored goods, selection process and factors affecting the efficiency of selection, it is found that the problems of warehouse selection are low efficiency and logistics timeliness cannot reach the ideal state.

Secondly, the n orders arriving at the warehouse are grouped according to the principle of maximum roadway similarity. Taking 27 orders as an example, according to the order roadway similarity coefficient in descending order, find the maximum coefficient, merge orders, and constantly iterate to get batch results. Taking the original crossing path of the warehouse as an example, the picking travel distance is calculated for the result of order batch. The optimal path strategy is found by comparing the return path strategy and the midpoint rotation path strategy, and calculating the travel distance under each strategy.

Finally, based on the batch results of 27 orders, a model was established with the minimum picking travel distance as the objective function and constraint conditions were set. Genetic algorithm was adopted to solve the problem and parameters were set for it. The optimal solution of the picking path was carried out in batches.

Key Words: FMCG warehouse; Cluster analysis; Genetic algorithms; Order in batches; Order-picking optimization

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的及意义	1
1.2.1 研究目的	1
1.2.2 研究意义	2
1.3 国内外研究现状	2
1.3.1 拣选作业管理研究	2
1.3.2 拣选路径优化研究	3
1.3.3 拣选订单分批研究	3
1.4 研究内容	4
第 2 章 SH 物流园区快消品仓库拣选作业现状	6
2.1 仓库概况	6
2.2 仓库布局及拣选作业流程	6
2.2.1 仓库布局	6
2.2.2 存储货物特点分析	8
2.2.3 拣选作业流程分析	9
2.3 仓库拣选作业效率影响因素	9
2.3.1 订单分批策略	9
2.3.2 拣选策略	10
2.3.3 拣选路径策略	10
2.4 仓库拣选作业问题	11
2.4.1 订单拣选效率低	11
2.4.2 物流时效不能达到理想状态	11
第 3 章 基于订单分批的快消品仓库拣选路径策略研究	13
3.1 问题描述	13
3.2 订单分批优化	14
3.2.1 订单巷道数及品项数统计	14
3.2.3 订单分批计算	15
3.3 基于订单分批的拣选路径策略对比	17
3.3.1 三种拣选路径策略	18
3.3.2 拣选距离计算	19

3.3.3 拣选路径策略距离对比	21
第4章 快消品仓库拣选作业路径优化	26
4.1 拣选作业路径优化问题背景	26
4.2 拣选作业路径优化模型	26
4.2.1 拣选作业路径优化模型假设	26
4.2.2 拣选路径优化目标函数与约束条件	26
4.3 仓库拣选作业路径优化求解算法	28
4.3.1 遗传算法参数设置	28
4.3.2 计算行走总路径	29
第5章 结论与展望	32
5.1 结论	32
5.2 展望	32
参考文献	33
致 谢	35
附 录	36
附录 1: 订单巷道相似度系数表	36
附录 2: 快消品仓库订单数据	40
附录 3: MATLAB 遗传算法主程序代码	41

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

随着电子商务行业快速发展，改变了消费者与品牌的购买方式和互动方式，加快了实体产业数字化转型进程。如何更好地平衡物流成本与服务水平，是当前快消品电商企业亟需解决的问题。SH 物流园区快消品仓库面向客户需求波动大，客户对企业服务水平要求高。为了应对订单波动量大、单张订单需求随机性强、消费习惯难以估量、下单时间不确定性强的特点，因此对 SH 物流园区快消品仓库的拣选作业提出了更高的要求。

影响拣选效率的要素主要体现在拣选策略、订单分批和拣选路径规划。因此本文以 SH 物流园区快消品仓库为研究对象，阐述了 SH 物流园区快消品仓库的拣选作业现状，在现有物流设备配置条件下，分析快消品仓库订单特点，为订单选择更有效的分批方式，以拣选总成本最小为目标优化拣选路径，对在品种多批量大的快消品仓库中快速拣选出订单所需商品进行研究。

1.2 研究目的及意义

1.2.1 研究目的

近年来，随着互联网的快速发展，大众消费的主流已悄然变成网购，其中快消品是大众网购消费的主要产品。由于快消品需求大、使用周期短且对物流时效要求高，传统的存储型仓库已经无法满足快消品客户需求，而仓储、拣选与配送并存的快消品仓库更符合电商企业对快消品服务的要求。

SH 物流园区建有一快消品仓卖馆，用于存储烟酒类、食品类、个护及家庭护理类商品以便在购物平台进行销售。仓卖馆存储的快消品具有品类多、批量小、客户响应时间要求高的特征。现有的“人到货”的拣选模式主要是拣选人员利用拣选容器，货物品种的繁多会导致拣选次数多拣选复杂，从而拣选效率降低。随着 B2C 电商的快速发展，消费者对于购买商品的物流时效要求愈来愈高，目前 SH 物流园区快消品仓库的拣选作业需要改进。

因此，以 SH 物流园区快消品仓库为具体研究对象，重点研究该仓储拣选方面存在的问题，通过分析该快消品仓库的拣选作业现状，结合快消品仓库中货物的特性以及现存仓储人工拣选的运作问题，提出仓储拣选作业优化方案，从而提高快消品仓库的拣选作业效率，降低拣选成本，满足 SH 物流园区快消品仓库现在的发展需要。

1.2.2 研究意义

1. 为促进拣选作业优化理论与应用实践结合提供案例

现有的文献主要是对快消品仓库拣选作业优化问题进行研究，有的学者主要研究订单分批等对快消品仓库拣选作业的影响，有的学者主要研究的拣选路径策略对拣选作业的影响。主要针对 SH 物流园区快消品电商仓库的拣选作业现状，分析快消品仓库订单特点、客户需求特点等，找出该快消品仓库在拣选作业中存在的问题，提出拣选作业优化的措施及方法。

2. 为 SH 物流园区快消品仓库改进拣选作业提供对策

针对 SH 物流园区快消品仓库仓储拣选作业中存在的问题，通过研究快消品仓库的需求特点，为了更高效更准确的完成拣选作业，以拣选时间最短为目标，考虑人工拣选与仓储货物的基本特征。通过对快消品仓储拣选作业优化研究，提高 SH 物流园区快消品仓库拣选优化的运作效率。通过对 SH 物流园区快消品仓库进行研究，给该企业以及其他情况类似的电商企业的优化提供参考，因此具有重要意义。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 拣选作业管理研究

杜星锐（2020）以 Y 电商仓库为研究对象，分析目前存在出库作业效率低、物流时效不理想、订单延误等问题，通过优化订单分批和拣选路径以减少拣选行走路径^[1]。

胡雨莹（2021）以 KL 电商平台下的美妆个护品类的仓库，发现它有拣选效率低、延迟发货率高和订单错发率高的问题，通过货位优化和订单分批处理，降低了订单响应时间、拣选总路程和每批订单的平均拣选时间^[2]。

霍亚馨（2021）以 W 公司物流配送中心 3C 产品仓库作为研究对象，发现仓库因存储策略不合理导致配送中心作业距离远、仓储作业效率低的问题，通过 EIQ 分析对待拣选货物进行分类并为其重新选择合理地存储策略和拣选策略^[3]。

王辉（2018）以主营 IT 产品的 S 公司 3 号配送中心为研究对象，发现该仓库存在货位管理不合理、货位盘点效率低的问题，通过优化货位分配和订单分批以到达缩短拣货路径，降低每批次平均拣货时间^[4]。

李蕊（2022）以 A 公司母婴产品订单拣选作业为对象，发现订单出库效率低、物流时效不能达到理想状态，不合理的物品拣选路径会产生不合理的重复行走造成时间浪费，对先到先得的分批方式及拣选路径策略进行优化^[5]。

马飞（2016）以京东电商平台为研究对象，发现消费订单有批量杂、批量小、频次高、周期短、退货率高的特点，优化从拣选作业入手，对订单进行聚类分批以求降低拣选作业成本^[6]。

刘晓利（2020）以 B2C 电商配送中心为研究对象，发现现有拣选模式订单处理效率较低，通过分析各类分批策略以提高将订单出库速度^[7]。

Henn S（2015）以电商仓库为研究对象，发现现有电商仓库存在订单分批混乱的情况，通过优化订单分批以达到提高拣选作业效率的目的^[8]。

1.3.2 拣选路径优化研究

孙辉（2017）以 A 配送中心为研究对象，将拣选人员在拣选过程中的行走距离最短为目标，建立订单分批模型和拣选路径模型，使得仓库在不增加运营成本的情况提高拣选效率^[9]。

DeKoster（1998）等人以制造业仓库为研究对象，提出了两种基于路径选择的订单分批处理算法，同时基于两种路径选择策略进行订单排序，以提高订单出库效率^[10]。

杜星锐（2020）以电商企业为研究对象，以拣选人员行走总距离最小为目标，采取 S 型策略和重点策略相结合的方式对拣选路径进行优化，加快订单出库速度^[11]。

魏庆琦（2020）以电商企业为研究对象，以考虑订单完成度、等待时间的种子算法完成订单分批优化，运用模拟退火算法对路径进行优化，降低总服务时间，提高订单完成度^[12]。

张丹露（2022）以机器人智能仓库为研究对象，利用算法减少拣选路径，以提高系统效率^[13]。

季爱迅（2021）以 A 电商仓库为研究对象，结合订单特点，采用蚁群算法对订单分批和拣选路径进行优化，有效减少拣选作业总时间和拣货人员行走距离^[14]。

1.3.3 拣选订单分批研究

胡雨莹（2021）以 KL 美妆电商仓库为研究对象，以仓库的实际情况提出了建立以缩短拣选总时长与缩短客户响应时间为目标的在线订单分批模型，降低了订单响应时间，降低了拣选总路程和每批订单的平均拣选时间^[2]。

E. V. Korobkov.（2015）对一般的存储仓库为研究对象，分批问题可以通过两种主要方法来解决，即邻近订单分批(种子算法)和时间窗订单分批，以提高订单出库效率，降低平均订单拣选时间^[15]。

霍亚馨（2021）以 W 公司物流配送中心 3C 产品仓库作为研究对象,主要通过订单分批和拣选路径进行仓储拣选优化以提高仓库的仓储作业效率^[3]。

曾妮（2021）以 P 电商企业物流中心为研究对象，建立离线订单分批模型和基于最短路的改进“S”型拣选模型，从订单分类管理、订单分批和拣选路径优化三方面进行优化处理，以缩短拣选时间，平衡各分区的工作量^[16]。

周丽（2022）以分批拣选系统为研究对象，对串行订单不分批和订单固定时间窗分批拣选进行研究订单分批问题，优化后通过与其他模型比较，对比分析发现优化后的分

批方式更适用于现有仓库^[17]。

李珍萍（2020）以无人仓仓库为研究对象，为了减少订单拣选总成本，建立订单聚类分批优化模型^[18]。

秦馨（2021）构建订单聚类分批模型，比较优化前后的订单分批策略在拣选作业中的效果，发现优化后的策略能减少货物搬运次数^[19]。

邹炜（2022）以“货到人”拣选仓库为研究对象，以最小搬运总次数为目标建立订单分批模型，采用萤火虫算法实现订单分批，最终将优化结果与优化前按单拣选相比较，发现订单拣选作业优化效果显著^[20]。

胡小建（2017）以电商企业为研究对象，采用聚类算法进行订单分批，得到有效的分批结果，提高订单在库拣选的效率^[21]。

Yang J（2021）以使用可移动货架的电商仓库为研究对象，以最小拣选时间为目标，建立订单分批模型，使用混合遗传算法进行求解，以降低订单拣选作业时间，提高拣选效率^[22]。

现有的国内外研究对快消品仓库、订单分批、拣选路径以及货位优化的国内外研究现状进行了总结。其中，对电商仓库的研究集中在电商仓库的发展、电商仓库拣选作业的研究现状；对订单分批的研究是从订单分批的方式、订单分批优化的模型和算法来进行阐述；对拣选路径的研究主要在拣选路径的策略、拣选路径优化的模型算法；对货位优化的研究重点关注了商品关联度、时间窗等。

1.4 研究内容

以解决 SH 物流园区快消品仓库订单拣选存在的问题，提高拣选效率和物流时效，从而达到较少拣选行走距离，提高拣选效率的目的。对 SH 物流园区快消品仓库的订单拣选作业进行优化研究。

1. 绪论

对研究背景、研究目的及研究意义进行阐述，分类整理了有关拣选作业优化的现状，确定后续优化方向。

2. SH 物流园区快消品仓库拣选作业现状

简要概述仓库基本情况、仓库布局及仓库拣选作业现状，分析影响仓库拣选作业效率的因素，找出 SH 物流园区快消品仓库的拣选作业存在的问题。

3. 基于订单分批的快消品仓库拣选路径策略研究

提出仓库拣选路径优化的改进思路，描述仓库的要优化问题，对订单分批进行优化，将分批后的结果用穿越式、返回式、中点回转式路径策略进行对比，选出最短行走路径的拣选路径策略。

4. SH 物流园区快消品仓库拣选作业路径优化

将订单分批后的结果，进行拣选路径优化。为路径优化建立模型，将优化后的结果与最短拣选路径策略进行对比，选出最优方法，以验证优化结果是否能真正有效提高订单拣选作业的效率。

5. 总结与展望

总结研究所得出的结论，并对论文的不足进行阐述。

第 2 章 SH 物流园区快消品仓库拣选作业现状

2.1 仓库概况

SH 物流园区始建于 2012 年 5 月，共有 8 个存储仓库。SH 物流园区地理位置优越，交通发达便利，处于 SH 立交枢纽地带。在 T 市中心物流市场选址规划中，是 T 市就打物流市场发展区互通板块的主要企业。SH 物流园区在快消品仓库中对当地快消品进行展览、推广和销售，推动当地经济的发展。

SH 物流园区快消品仓卖馆用于存储烟酒类、食品类、个护及家庭护理类商品以便在购物平台进行销售，其经营辐射范围主要为华北地区。随着线上电商的快速发展，SH 物流园区快消品仓库的销售渠道从单一线下销售拓展至多个平台线上渠道销往全国。同时 SH 物流园区利用网络平台结合电商直播，将线上展示与线下体验完美结合，利用仓储直销的优势，让消费者在体验中获得更多的优惠，为商家提供了一条全新的销售渠道。

SH 物流园区快消品仓库由于快消品有种类繁多、出入库频率高、存储周期短的特点，且仓库接收到的订单数量相对比较平稳，但在促销活动期间，订单会有爆发式增长，因此快消品仓库需要较高的拣选能力来响应订单。

2.2 仓库布局及拣选作业流程

2.2.1 仓库布局

快消品仓库存放区域主要为拣选区。拣选区负责货物的拣选、核验、打包及出库工作。拣选区以出入库频率高摆放在出入口的原则整箱单深存储，拣选区为双区整箱存储。

SH 物流园区快消品仓库为单层仓库，一侧进行货物的入库操作，对面一侧进行货物的出库作业。快消品仓库平面图如图 2-1 所示。

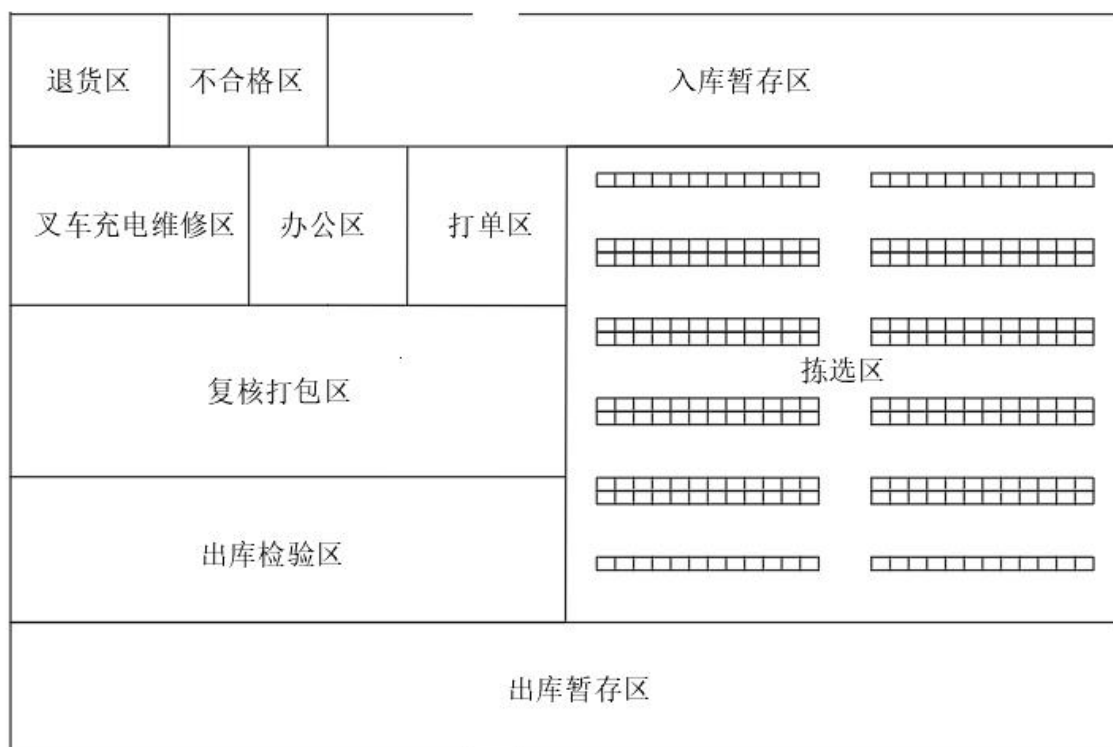


图 2-1 快消品仓库平面布局图

入库暂存区：主要功能为卸货、收货盘点、入库暂时存放等。

退货区：用以存放线上商城和线下销售退换的商品。

不合格区：在入库暂存区完成退货商品和新入库货物的质检后，主要存储残损货物和不合格货物以待后续废弃处理。

叉车充电维修区：该区域主要负责存储高架区平衡重式叉车的维修、保养以及充电。

办公区：仓库办公及管理人員的工作区域。

打单区：在仓库系统接收到客户订单后，打印出待拣选客户的商品，供拣选人员进行拣选。

拣选区：主要负责以整箱为存储单位货物的存储，拣选人员在此区域按照客户订单对该区域商品进行拣选。

复核打包区：主要负责对拣选完的商品进行复核，如果拣选商品与客户订单一致，则对订单进行打包处理；如果不合格，则重新拣选。

出库检验区：对打包结束后的包装箱核对客户姓名及地址，以保证发货商品的准确性。

出库暂存区：主要负责车辆停靠、货物的出库和交接工作。

2.2.2 存储货物特点分析

SH 物流园区快消品仓库用以存储、展览、推广及销售烟酒类、食品类、个人护理及家庭护理类商品，每个商品品类下都有具体的产品细分。

以 SH 物流园区快消品仓库为研究对象，发现仓库中存储商品具有以下特性：

1. 存储 SKU 多，且同一品类品牌众多

SH 物流园区快消品仓库中存储的商品均为使用寿命短，易被重复使用的日用品。仓库中存储的每个品类下有较多的品类细分，产品细分表如表 2-1 所示。由于快消品大多为视觉型产品，消费者很容易受外观、品牌、售卖氛围的影响而购买，并且消费者对于快消品品牌的忠诚度并不高，故而 SH 物流园区快消品仓库为赢得市场，存储的快消品品类多品牌多。

表 2-1 SH 物流园区快消品仓库存储商品示例

品类	细分	品牌
烟酒	酒类	杏花村、泸州老窖、雪花、青岛、哈尔滨等
	烟类	南京、中华、玉溪、中南海等
食品	饮料	康师傅、蒙牛、农夫山泉、汇源、达利园等
	咖啡	雀巢、摩可纳、麦馨、隅田川、麦斯威尔等
	巧克力	德芙、歌帝梵、卜珂、诺梵、好时、费列罗等
	饼干	三只松鼠、奥利奥、好丽友、良品铺子等
	肉类加工品	良品铺子、有友、双汇、盐津铺子等
个人护理	口腔护理类	狮王、云南白药、蒲地蓝等
	护发品	潘婷、沙宣、欧莱雅、卡诗、施华蔻等
	个人清洁品	蓝月亮、威猛先生、花王、超能等
	化妆品	兰蔻、olay、资生堂、HBN 等
	鞋护理品	GOTO、F2、ECCO、小林康夫等
	剃须产品	飞利浦、博朗、吉列、飞科等
	纸类	维达、洁柔、清风、心相印等
	卫生巾	苏菲、护舒宝、高洁丝、花王、ABC 等
	尿不湿	花王、帮宝适、雀氏、安儿乐等
	家庭护理	织物清洁品
餐具清洁剂		雕牌、白猫、立白、花王、威猛先生等
地板清洁剂		花王、绿伞、老管家、AXE、妙管家等
洁厕剂		威猛先生、绿伞、小林制药等
空气清新剂		Glade、西兰、凯达、碧芳菲、风倍清等
	杀虫剂	雷达、超威、榄菊、拜耳等

2. 订单需求量小、商品在货位分布分散

消费者购买的 SH 物流园区快消品仓库中同一产品拥有多种品牌，商品呈现出同质化严重的问题。同时快消品的保质期短，使用寿命短，因此消费者所购买的商品呈现出订单需求量小的特征。商品按销售量多少决定出入口的原则摆放，消费者易受促销活动的影响，产生冲动型消费，出现大量囤货的行为，订单商品分布比较分散。

2.2.3 拣选作业流程分析

SH 物流园区快消品仓库通过仓储管理系统（WMS）接收到客户订单，由制单员将订单打印并按订单到达先后顺序将订单分批，将分批完的订单交给拣选员。拣选员接收订单后，根据订单信息寻找货位并核对信息，如果拣选商品符合订单需求，则将商品下架放入对应的拣选框；如果待拣选的商品存在缺货情况，则通知补货员尽快补货。一个批次拣选完成后拣选员将拣选后的商品送至复核区。复核打包区的操作员根据订单核对拣选商品，核对无问题则对易碎商品进行包装打包；若有问题，则反馈给仓管员进行重新拣选。将复核打包完成后的商品搬运至出库检验区，同时出库员打印一式三份的出库单核对地址和物流单号，正确无误后，放置在出库暂存区等待出库指令。具体如图 2-2 所示。

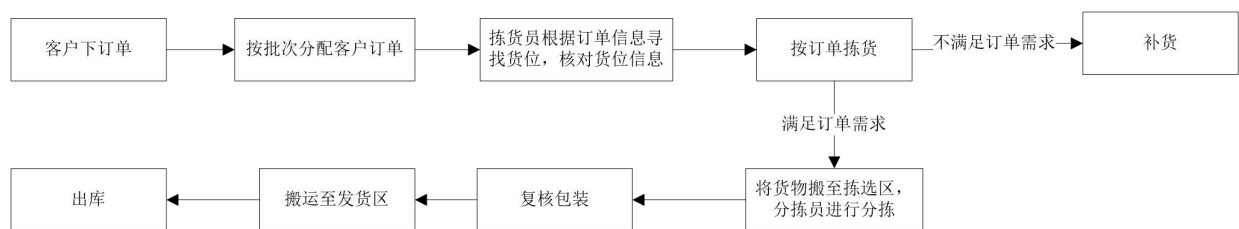


图 2-2 快消品仓库拣选作业流程

2.3 仓库拣选作业效率影响因素

拣选作业主要存在于拣选区，主要负责根据订单将待拣选商品拣选放进相应拣选框。仓库的拣选作业需要仓库管理员根据不同的情况制定不同的策略，而影响 SH 物流园区快消品仓库的拣选效率的影响因素主要有拣选策略、订单分批策略、拣选路径策略。

2.3.1 订单分批策略

SH 物流园区快消品仓库目前采用的订单分批策略主要是固定时间窗批次策略。快消品仓库将十分钟设为一个时间窗，将这时间窗内达到的商品分为一批，随即分发给拣

选人员，拣货员接收到批次订单后推着分拣车进入拣选区进行拣选作业，寻找货位，找到后核对货位信息。

固定时间窗这种分批方式处理流程简单，适用于 SH 物流园区快消品仓库这种日常接收到的订单多为所含品项少且数量少的情况，但是若遇上促销活动，仓库订单波动量大，拣选人员的劳动量骤增，订单分批后商品分散在各个巷道，影响订单的出库效率。

2.3.2 拣选策略

目前 SH 物流园区快消品仓库采用的拣选策略为播种式和摘果式择优选择的方式。

当仓库收到的订单数量较多时，仓库将采用播种式拣选策略。即将仓库将收到的多个订单按订单分批方式将其分为一批进行拣选，拣选结束后再逐个按订单进行分货，每次可处理多份订单。但此种方法必须等到订单积累到一定的数量才可以进行处理，并且订单有一定的延迟。在大促期间，仓库会收到数量庞大且物流时效要求高的订单，播种式拣选策略对拣选人员的要求也较高。

而在深夜或无促销期间的淡季，仓库收到的订单以单件形似出现，仓库则会采用摘果式拣选策略。但摘果式拣选策略的拣选动作多，行走距离长，拣选订单平均耗时长，易造成拣选人员的疲劳。

2.3.3 拣选路径策略

SH 物流园区快消品仓库的拣选路径策略为穿越型路径策略（如图 2-3 所示），拣选人员进入一个通道只能有一个行走方向，不能回头，每个拣选人员从每个含有这批待选物品的通道任何一端进入拣选，拣选过程途径整个巷道，拣选完穿越回到终点。这种拣选路径方式会出现重复或迂回的拣货路线，导致行走时间成本较大。快消品的订单多在夜晚到达，大量低效率的行走易导致拣选人员的疲劳，降低拣选人员的效率。

采用的穿越式路径策略缺乏合理的路径规划来对拣选人员的拣选作业进行指导，存在不能保证仓库在规定时间内完成发货任务的问题。若遇上电商大促或线上活动，仓库内的拣选效率还得不到提升，将会对后续订单处理产生影响，造成订单大量滞留积压问题。

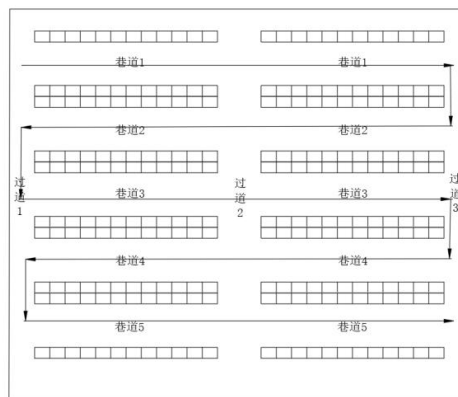


图 2-3 穿越式拣选路径策略

2.4 仓库拣选作业问题

随着电子商务的发展，SH 物流园区快消品仓库的销售渠道从线下销售拓展至天猫、淘宝、抖音、京东等线上渠道。同时 SH 物流园区利用网络平台结合电商直播，将线上展示与线下体验完美结合，利用仓储直销的优势，让消费者在体验中获得更多的优惠，为商家提供了一条全新的销售渠道。上述变化导致订单类型逐渐向小批量、高频次、多品种发展，但仓库的现有的拣选作业效率还需改进。

商品有需求量小、品种多样、商品位置分散的特点，为了降低拣选时间，提高拣选效率，SH 物流园区快消品仓库采用固定时间窗分批策略、穿越式拣选路径策略、出入库频率高的商品放置在出入口的原则进行订单拣选，但仍然发现还存在问题。

2.4.1 订单拣选效率低

由于 SH 物流园区快消品仓库通过线上与线下相结合的模式，面向更多的客户，销售的货物种类有酒类、食品、个人护理及家庭护理类商品，商品品牌越来越多样化。客户下单的随机性导致订单到仓的不稳定性高。例如快消品仓库白天接收到的订单较少，订单主要集中在晚上六点之后。双十一和 618 期间经常出现食品类爆仓现象，酒类产品的爆仓多发生于春节和中秋节附近。

促销期间带来的将是订单量的猛增，订单拣选效率的降低，造成了订单的积压，影响后续出库流程，物流时效难以保证。在电商大促期间，受平台起售时间的限制，多数订单多为晚上八点之后，为保证订单的 24 小时的物流时效，拣选人员需要较高的拣选速度来完成商品拣选。在现在的拣选路径策略下，每拣选一次订单就要行走很长的距离，而夜晚拣选易造成拣选人员疲劳，拣选效率低，不能保证订单的出库效率。

2.4.2 物流时效不能达到理想状态

在当前电商高速发展的经济环境下，物流时效越短，客户从下单到收到商品的时间越短，客户对该商品乃至该企业的粘性就越高。目前 SH 物流园区快消品仓库的经营范

围是华北地区，为拓展业务将公司经营范围拓展至全国，物流时效也从原本的 48 小时提升至 24 小时达。通过订单数据可以得知，SH 物流园区接收到的订单多为品项少且数量少的小订单。订单的拣选平均时间长，不同订单之间拣选差异大，仓库存在着客户流失的风险。

在电商大促期间，仓库夜间接收到的订单较多。同时还需分配人员去支援存储区上架和退货区质检，仓库没有多余的人员协助拣选区。夜间仓库拣选工人加班拣选的效率较低，而仓库中积压了较多物流时效要求高的订单。目前的仓库拣选作业速度较慢，没有合理的拣选方式和最佳拣选路径，都会造成无法应付的物流时效难以保证、发货慢等问题，易导致顾客流失，市场竞争力下降。

第 3 章 基于订单分批的快消品仓库拣选路径策略研究

3.1 问题描述

SH 物流园区快消品仓库中有 27 个订单先后到达，先对 27 个订单以巷道相似度最大的聚类算法进行订单分批，将分批后的批次订单分别使用三种不同的拣选路径策略（穿越式、返回式、中点回转式）进行对比，找出拣选行走距离最短的拣选路径策略，以达到提高拣选效率的目的。

SH 物流园区快消品仓库的拣选作业均为人工拣选，每个拣选人员配备一辆有九个拣选框的拣选手推车。在每次拣选过程中，每个拣选人员会拿到一个批次共计九个订单（一个拣选手推车有九个拣选框，手推车如图 3-1 所示）。拣选人员需要将同一批次中的多个商品拣选出来，同一订单中的商品会被放置在同一拣选框中。在拣选工作完成后，会交由复核打包区检验核对订单商品是否有遗漏并进行打包处理。

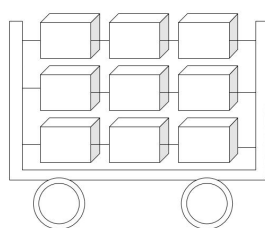


图 3-1 拣选手推车示意图

已知条件：

(1) 拣选区划分为 A 区和 B 区。两个区各有 10 排 12 列 3 层货架。过道 2 左侧为 A 区，右侧为 B 区，两区的货架排列方式相同。

(2) 由于忽略影响拣选时效的订单的拣选等待时间，因此为了验证优化结果的真实性，收集随机到达的 27 个订单数据，订单数据详情见附录 1。

(3) 单个订单不可被分割，只可被分配给一个批次。

(4) 每个拣选人员一批次只能拣选九个订单。

(5) 三种拣选路径策略（穿越式、返回式、中点回转式）可选择

3.2 订单分批优化

3.2.1 订单巷道数及品项数统计

SH 物流园区快消品仓库为双区型仓库，形状结构似长方形，仓库共有 5 个拣选巷道，AB 两区各有 12 列存储货位。现有 27 个待拣选订单，订单数据如附录 1 所示。27 个待拣选订单分布的巷道数如表 3-1 所示。27 个待拣选订单中每订单的品项数统计如表 3-2 所示，订单分布如图 3-2 所示。

表 3-1 订单分布巷道统计

订单号	订单 1	订单 2	订单 3	订单 4	订单 5	订单 6	订单 7	订单 8	订单 9
分布巷道号	2	2	2	5	1、2	4	4	1、2、5	4
订单号	订单 10	订单 11	订单 12	订单 13	订单 14	订单 15	订单 16	订单 17	订单 18
分布巷道号	1	5	1	4	1、2、3、5	3	1	4	2
订单号	订单 19	订单 20	订单 21	订单 22	订单 23	订单 24	订单 25	订单 26	订单 27
分布巷道号	1、2、3	2	4	3	4	2、5	2、5	4	3、4、5

表 3-2 27 个待拣选订单品项统计

订单号	订单 1	订单 2	订单 3	订单 4	订单 5	订单 6	订单 7	订单 8	订单 9
品项数	1	2	1	1	3	1	1	4	1
订单号	订单 10	订单 11	订单 12	订单 13	订单 14	订单 15	订单 16	订单 17	订单 18
品项数	1	1	1	1	5	1	1	1	2
订单号	订单 19	订单 20	订单 21	订单 22	订单 23	订单 24	订单 25	订单 26	订单 27
品项数	5	1	1	1	1	3	2	1	6

一批。按订单相似度按最大系数分批，看做形成一个新的订单。订单合并一次后的相似系数表，如表 3-3 所示。

表 3-3 合并第一次的订单巷道相似度系数表

订单	1、2、3、18、20	4、11	5	6、7、9、13	8	10、12、16
1、2、3、18、20	-					
4、11	0/2	-				
5	1/2	0/2	-			
6、7、9、13	0/2	0/2	0/2	-		
8	1/3	1/3	2/3	0/3	-	
10、12、16	0/2	0/2	1/2	0/2	1/3	-
14	1/4	1/4	1/2	0/5	3/4	1/4
15	0/2	0/2	0/3	0/2	0/4	0/2
17、21、23、26	0/2	0/2	0/3	1	0/4	0/2
19	1/3	0/4	2/3	0/4	2/4	1/3
22	0/2	0/2	0/3	0/2	0/4	0/2
24、25	1/2	1/2	1/3	0/3	2/3	0/3
27	0/4	1/3	0/5	1/3	1/5	0/4

续表 3-3

订单	14	15	17、21、23、26	19	22	24、25	27
1、2、3、18、20							
4、11							
5							
6、7、9、13							
8							
10、12、16							
14	-						
15	1/4	-					
17、21、23、26	0/5	0/2	-				
19	3/4	1/3	0/4	-			
22	1/4	1	0/2	1/3	-		
24、25	2/4	0/3	0/3	1/4	0/3	-	
27	2/5	1/3	1/3	1/5	1/3	1/4	-

按上述方法，继续将表格中的巷道相似度进行排序，其中在剩余订单相似度中 15 及 22 的系数最高，因此将 {15, 22} 的巷道相似度视作一个新订单，紧接着 {5、8、14、19} 巷道相似度最高。可得到如表 3-4 所示的合并两次后的巷道相似度系数。

表 3-4 合并两次的订单巷道相似度系数表

订单	1、2、3、18、20	4、11	5、8、14、19	6、7、9、13
1、2、3、18、20	-			
4、11	0/2	-		
5、8、14、19	1/2	0/2	-	
6、7、9、13	0/2	0/2	0/2	-
10、12、16	0/2	0/2	1/2	0/2
15、22	0/2	0/2	0/3	0/2
24、25	1/2	1/2	1/3	0/3
27	0/4	1/3	0/5	1/3

续表 3-4

订单	10、12、16	15、22	17、21、23、26	24、25	27
1、2、3、18、20					
4、11					
5、8、14、19					
6、7、9、13					
10、12、16	-				
15、22	0/2	-			
24、25	0/3	0/3	0/3	-	
27	0/4	1/3	1/3	1/4	-

以此类推，可以得到新的分批结果 {1、2、3、5、8、14、18、19、20}、{6、7、9、13、17、21、23、26、27}、{4、10、11、12、15、16、22、24、25}。

3.3 基于订单分批的拣选路径策略对比

每批次订单中的商品只会在一个路径上拣选完成。在建立优化模型前就假设过一个订单不可分割加入两个批次，因此就在用算法进行优化时，将每个订单中的商品都放进同一批次进行拣选。以拣选总距离最小为目标，对 27 个订单进行分批后，对每个订单进行路径规划。以下将采用三种拣选策略进行总行走距离对比，以求得最佳拣选路径策略。

3.3.1 三种拣选路径策略

1. 穿越式拣选路径策略

穿越式路径为拣选人员从通道一端进入拣选通道，拣选人员同时拣选巷道两侧货架上的待拣选商品，最后从通道的另一端出去；如果拣选商品位于多条巷道，那么拣选人员将会走遍包含商品的通道。穿越式拣选路径如图 3-3 所示。

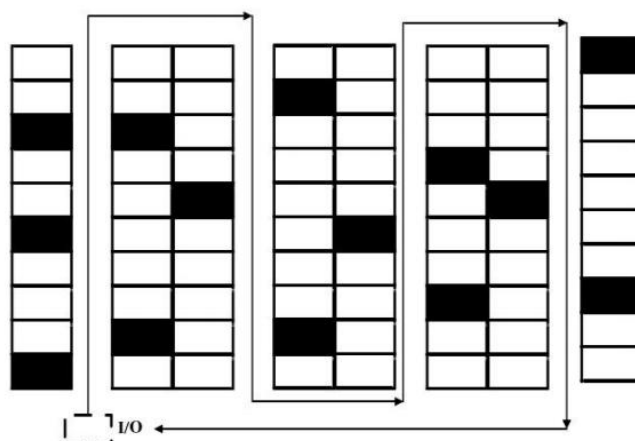


图 3-3 穿越式拣选路径示意图

2. 返回式拣选路径策略

拣选人员从起点出发，进入有待拣选货物的巷道，则沿着巷道拣选，当巷道中一侧的商品全部拣选完成后，沿着巷道原路返回拣选另一侧商品，直至这一巷道商品全部拣选完成，接着进入下一巷道继续拣选。没有拣选订单的巷道可以直接略过。返回式拣选路径如图 3-4 所示。

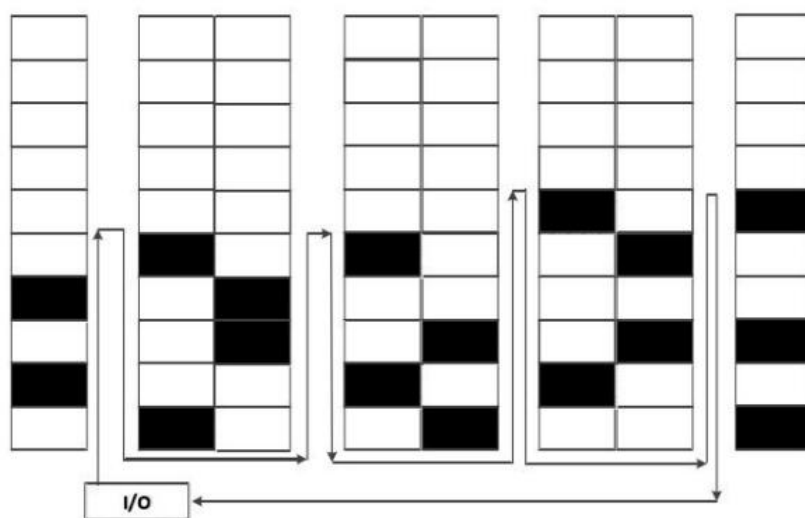


图 3-4 返回式拣选路径示意图

3. 中点回转式拣选路径策略

拣选人员从起点出发，进入巷道一拣选一侧货物，如若巷道一没有商品拣选则去下一巷道，拣选完毕后回转返回。若遇上一巷道有待拣选货物，而所在巷道区没有待拣选商品，则沿过道前往下一巷道进行拣选。以此类推采用相同方法拣选货物，直至所有批次订单全部拣选完成。中点回转式拣选路径如图 3-5 所示。

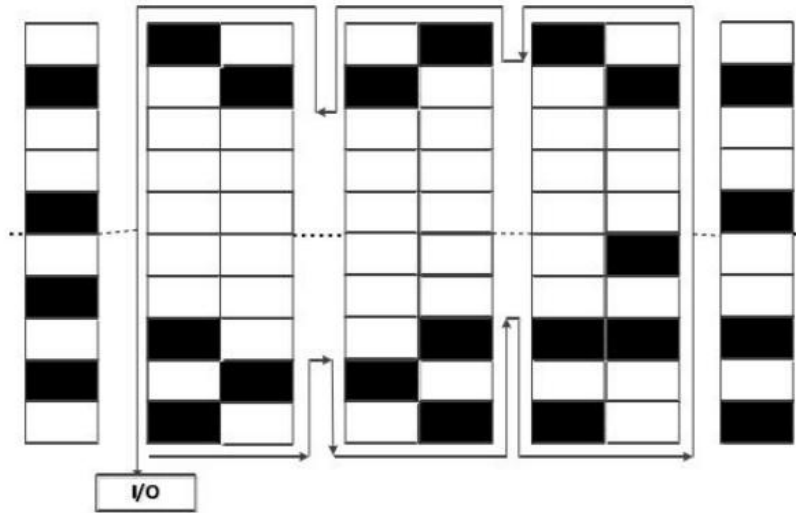


图 3-5 中点回转式拣选路径示意图

3.3.2 拣选距离计算

1. 距离计算过程

每条巷道左右两侧从最前端往后顺延货位编号为 1,2,3,⋯,24，每列货架从最底部至顶端编号 1,2,3，每个货格的编码规则为[巷道号-左右号-层号-列号]，左侧巷道用数字 0 代替，右侧巷道用数字 1 代替。譬如[m-0-p-q]表示待拣选的商品在巷道 m 的左侧第 p 层第 q 列的货位上。

建立二维坐标系，设置好每个货位的坐标 (x_l, y_l) ，把 n 个订单中所有的商品的坐标值标出，限制每个对应的待拣选商品只能拜访一次，并且拣选完一个批次后回到起始点。

在计算两个货位之间的距离时，在前文中已得知过道和巷道的宽度均为 2m，拣选补货区的货架长度为 0.7m，宽度为 0.5m，A、B 两区一排货架各有 12 列，因此巷道的长度为 10.4m。假设现有两个待拣选订单，编号分别为 $[x_1, y_1, z_1, m_1]$ 、 $[x_2, y_2, z_2, m_2]$ ，在过道中行走的距离 $S_1 = |0-1| \times 2$ ，在拣选时需要更换巷道时，此时的行走距离需要加上两排货架，即 $S_2 = |x_1 - x_2| \times (2 + 2 \times 0.5) = 3|x_1 - x_2|$ 。

接着计算两个拣选位之间的距离，不考虑拣选人员在货架列方向垂直拿取货物的位移。如果两个待拣选商品位于同一巷道中的同一侧货架上，即行走的距离 $S_3 = |m_1 - m_2 - 1| \times$

巷道行走距离 $S_2 = \text{穿越巷道数} \times (\text{巷道宽} + \text{两排货架宽度}) = 4 \times (2 + 2 \times 0.5) = 12\text{m}$

货位行走距离 $S_3 = \text{货位长度} \times \text{跨越货格数} = 0.7 \times 24 \times 4 = 67.2\text{m}$

拣选行走距离 = 过道中行走的 S_1 + 巷道行走距离 S_2 + 货位行走距离

$$S_3 = 8 + 12 + 67.2 = 87.2\text{m}$$

计算以下拣选路径均采用此方法。

因此，第二批订单为订单 6、7、9、13、17、21、23、26、27，行走距离 = $200 + 50 \times 2 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 24 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 24 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 14 \times 2 = 8480\text{mm} = 84.8\text{m}$ 。

第三批订单为订单 4、10、11、12、15、16、22、24、25，行走距离 = $70 \times 24 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 24 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 24 + 200 + 50 \times 2 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 24 + 200 = 8120\text{mm} = 81.2\text{m}$ 。

综上所述，穿越式路径第一批订单的拣选行走距离为 87.2m，第二批订单的拣选行走距离为 84.8m，第三批的总走距离为 81.2m。因为第一批的订单分布比较集中，而第二三批次中的拣选商品分布比较分散，所以拣选距离较长。因此，穿越式路径适用于订单相对集中的巷道中，不适用于订单分散于多个巷道的情况。

3.3.3 拣选路径策略距离对比

1. 返回式拣选路径策略

第一批订单为 {1、2、3、5、8、14、18、19、20}，第二批订单为 {6、7、9、13、17、21、23、26、27}，第三批订单为 {4、10、11、12、15、16、22、24、25}。如图 3-7 所示为返回式拣选路径策略。（绿为第一批订单，紫色为第二批订单，黄色为第三批订单，以下均相同）

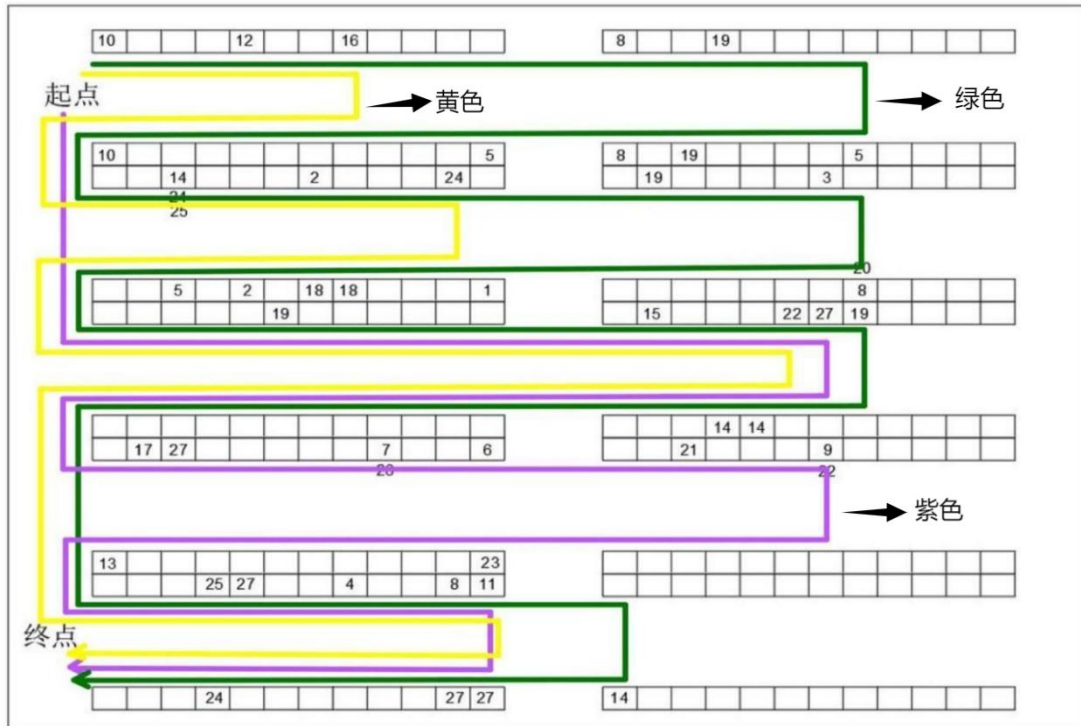


图 3-7 返回式路径策略下三批订单拣选行走路线

第一批返回式订单的拣选行走距离= $(70 \times 20 + 200) \times 2 + 50 \times 2 + (70 \times 20 + 200) \times 2 + 50 \times 2 + (70 \times 20 + 200) \times 2 + 50 \times 2 + 200 + 50 \times 2 + (70 \times 13 + 200) \times 2 = 12980\text{mm} = 129.8\text{m}$ 。

第二批返回式订单的拣选行走距离= $200 + 50 \times 2 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 19 + 200 + 70 \times 19 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 19 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 12 \times 2 = 7070\text{mm} = 70.7\text{m}$ 。

第三批返回式订单的拣选行走距离= $70 \times 8 \times 2 + 50 \times 2 + 70 \times 11 \times 2 + 50 \times 2 + 200 + (70 \times 18 + 200) \times 2 + 200 + 50 \times 2 + 200 + 50 \times 2 + 200 + 50 \times 2 + 70 \times 12 \times 2 = 7560\text{mm} = 75.6\text{m}$ 。

综上所述，经计算，第一批订单的拣选路径为 129.8m，第二批订单的拣选路径为 70.7m，第三批订单的总拣选行走距离为 75.6m。返回式路径策略相较于穿越式路径造成了较多的重复和迂回路线，因此在每批订单拣选时行走路线都较长。

2. 中点回转式拣选路径策略

这种方法不但采用了返回式，而且在进入通道和退出时都采用了穿越式路径策略。如图 3-8 所示为中点回转式拣选路径策略（绿为第一批订单，紫色为第二批订单，黄色为第三批订单，以下均相同）。

续表 3-5

距离 (m)	第一批次	第二批次	第三批次	总距离
中点回转式路径	102.4	65.2	50	217.6

由表 4-1 可以看出，穿越式路径总行走距离为 253.2m，返回式路径策略总距离为 250.5m，中点回转式路径策略的拣选距离为 217.6m。由于第一批次分布比较分散，遍及的巷道较多，使用穿越式路径的优势较明显。而中点回转式路径策略在第二批次和第三批次的行走距离明显少于其他两种拣选路径策略，拣选行走总距离优于现有的穿越式路径策略。

为使上述表格中的数据更为直观清晰，下面将以图表形式（如图 3-9 所示）对优化前后的数据进行对比。

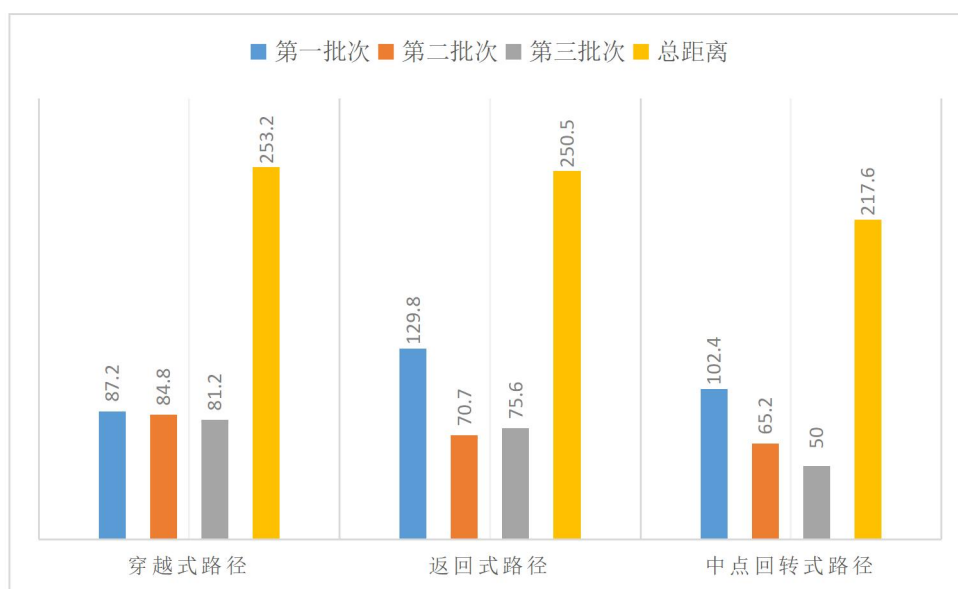


图 3-9 三种拣选路径策略的三批订单拣选行走路径

由上述图表可看出，在第一批次中，穿越式路径策略拣选行走距离最少；在第二和第三批中，返回式路径策略和中点回转式路径策略行走距离都相较穿越式路径行走的距离少。

因此，要想缩短拣选行走总距离，应该使待拣选商品尽可能集中分布在巷道的两端。如果待拣选商品集中分布在某一巷道的两侧货架，那么拣选人员在巷道中返回行走的距离就越短，采用中点回转式策略可以使就拣选总行走距离最小。鉴于 SH 物流园区快消品仓库的订单分布较分散，选择返回式拣选路径策略只会造成大量的重复和迂回路线，而穿越式路径会走遍整条巷道，总走成本大，所以 SH 物流园区快消品仓库在三种拣选路径策略中更适用于中点回转式路径策略，而非原先采用的穿越式路径策略。虽然

中点回转式拣选路径策略对比穿越式路径策略拣选距离短，但拣选作业路径还有进一步优化空间。

第 4 章 快消品仓库拣选作业路径优化

4.1 拣选作业路径优化问题背景

已知 27 个订单分批批次，分别为{1、2、3、5、8、14、18、19、20}、{6、7、9、13、17、21、23、26、27}、{4、10、11、12、15、16、22、24、25}。每批订单均有两个订单与其他订单位于同一货位。第一批次货物品项占 12 个货位，第二批次占 10 个货位，第三批次占 20 个货位，且货物分布在不同巷道。

一个拣选人员从起点出发，需要在有 3 条过道 5 条巷道的拣选区内拣选 27 个订单中所有品项，每个品项有且仅拣选一次，最后返回终点，找出最短拣选行走路径。

4.2 拣选作业路径优化模型

4.2.1 拣选作业路径优化模型假设

以下为某批次订单拣选作业优化模型的假设：

- (1) 订单中所需要的商品拣选区货架不存在缺货情况和不存在加急插队订单；
- (2) 一个订单中的所有商品的总体积和总质量不会超过一个拣选框的体积和承重；
- (3) 一个订单只可以在一个批次中进行拣选；
- (4) 每个订单至少有一件商品；
- (5) 拣选人员已知每个货架的存储货位编码及对应商品；
- (6) 每个待拣选商品都有唯一的拣选货位；

(7) 将订单按聚类方法分拣选批次，随机选择一个批次中的某一个订单作为起始点，将已经访问过的订单节点设置为无穷大。

4.2.2 拣选路径优化目标函数与约束条件

本节的重点主要是建立在现有订单分批的基础上拣选路径优化的优化数学模型，假设现在 SH 物流园区快消品仓库有 n 个订单，在不考虑订单中每件商品拣选时间的情况下，拣选所行走的距离和拣选时间呈正相关，因此，拣选总时长最小即拣选距离最短。一个批次的订单由一位拣选人员进行拣选，即拣选作业的优化模型为：

$$f = \min \sum_{b=1}^B \sum_{a=1}^A \left(\sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^M S_{pq} \right) y_{ac} \quad (4-1)$$

$$\sum_{a=1}^A k_{ab} V_a \leq W \quad (4-2)$$

$$\sum_{b=1}^B k_{ab} = 1 \quad (4-3)$$

$$\sum_{c=1}^C N_{cb} = 1 \quad (4-4)$$

$$\sum_{c=1}^C y_{ac} = 1 \quad (4-5)$$

$$k_{ab} = \begin{cases} 1, & a \in b \\ 0, & a \notin b \end{cases} \quad (4-6)$$

$$N_{cb} = \begin{cases} 1, & c \in b \\ 0, & c \notin b \end{cases} \quad (4-7)$$

上述约束条件中

$a=1,2,3,\dots,A$ 为订单

$b=1,2,3,\dots,B$ 为批次

$c=1,2,3,\dots,C$ 为路径

B : 总订单分批量

M : 待拣选订单中货物品种数

C : 总拣选路径数量

V_a : 订单 a 中的货物总体积

W : 拣选容器的最大体积容量

$p(p=1,2,3,\dots,Z), q(q=1,2,3,\dots,Z)$ 为订单 a 中的货物品种

s_{pq} : 在拣选的某批次中, p 拣选结束后拣选 q 所需要行走的路程

k_{ab} : 决策变量, 决定订单 a 是否在 b 批次中进行拣选

N_{cb} : 决策变量, 决定路径 c 是否在 b 批次拣选中产生

y_{ac} : 决策变量, 决定订单 a 是否在路径 c 中拣选

在上述模型中, (4-1) 式表示为以拣选行走总距离最小为目标的拣选路径的优化目标函数。(4-2) 表示在任意批次中, 订单中所有待拣选的商品的总体积不会超过拣选框的体积容量限制。(4-3) 表示一个订单只能存在于一个批次中, 订单不可拆分。(4-4) 表示一条拣选路径只能应用于一个拣选批次。(4-5) 表示一个订单只能在一个拣选路径中拣选出来。(4-6) 为决策变量, 决定订单 a 是否在 b 批次中进行拣选, 若是则等于 1, 不是则为 0。(4-7) 为决策变量, 决定路径 c 是否在 b 批次拣选中产生, 若是则等于 1, 不是则为 0。

4.3 仓库拣选作业路径优化求解算法

遗传算法 (Genetic algorithms, GA) 是随机搜索算法, 具有迭代过程, 可以以随机的方式有效地解决问题。遗传算法是人工智能领域的核心算法之一, 模拟了生物界的优胜劣汰原则。遗传算法有很好的全局优化能力和适应性, 非常适用于 SH 物流园区快消品仓库拣选作业的优化。随着需要解决的问题的范围越大, 操作就越发困难。因此, 通过对遗传算法设定初始种群和设计遗传算子, 从而实现了优化计算并得到最优解。

遗传算法求解步骤:

- (1) 输入每个订单中的商品品名和数量, 找出所有待拣选商品的存放位置
- (2) 设置遗传算法所需重要参数
- (3) 以最短路径为目的进行拣选任务
- (4) 计算出路径策略下拣选行走距离

遗传算法将在 MATLAB 环境下进行研究分析 (程序代码见附录 2)。

4.3.1 遗传算法参数设置

设置种群数量为 100, 变异算子 $p_m=0.1$, 设置约束一批次拣选 M 个订单, 拣选人员没有行走距离上限, 迭代次数设置为 2000。

1. 编码及初始化种群

编码是遗传算法寻优的前提和基础。编码的设计跟订单拣选顺序也有关, 例如订单号编码 {9 6 3 8 5 2 7 4 1} 表示为订单号拣选顺序为 9→6→3→8→5→2→7→4→1。因此第一步先将聚类后的订单及订单中的商品的货位编码输入至变量中。

种群规模是人为设定的, 一般取值设定在 50-100。在设计种群规模时, 考虑订单数量和编码数量, 将订单分批的种群设置为 50。

2. 适应度函数

根据订单分批模型, 将适应度函数设定为:
$$g(x)=1/\min \sum_{b=1}^B \sum_{a=1}^A (\sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^M s_{pq}) y_{ab}$$

3. 选择策略

在 SH 物流园区快消品仓库拣选路径优化中, 优化的目标函数一直取非负数, 因此可以用目标函数作为适应度。

4. 交叉及变异算子

交叉算子采用的是两点交叉, 具体交叉过程如表 4-1 所示。

表 4-1 两点交叉

父代 1	1	2	3	4	5	6	7	8
父代 2	a	b	c	d	e	f	g	h
子代 1	1	b	c	d	e	6	7	8
子代 2	a	2	3	4	5	f	g	h

对于以上算法，将遗传算法最大迭代次数设为 500 进行求解。

4.3.2 计算行走总路径

拣选完毕结束后，计算拣选行走总路径。如果距离减少，则迭代结束，否则继续迭代优化。

根据 MATLAB 程序运行优化后的结果显示如图 4-1、4-2、4-3 所示，每批次订单中的商品只会在一个路径上拣选完成。在建立优化模型前就假设过一个订单不可分割加入两个批次，因此就在用遗传算法进行优化时，将每个订单中的商品都放进同一批次进行拣选。以拣选总距离最小为目标，采用订单聚类优化的分批结果，对每批次订单进行路径规划。

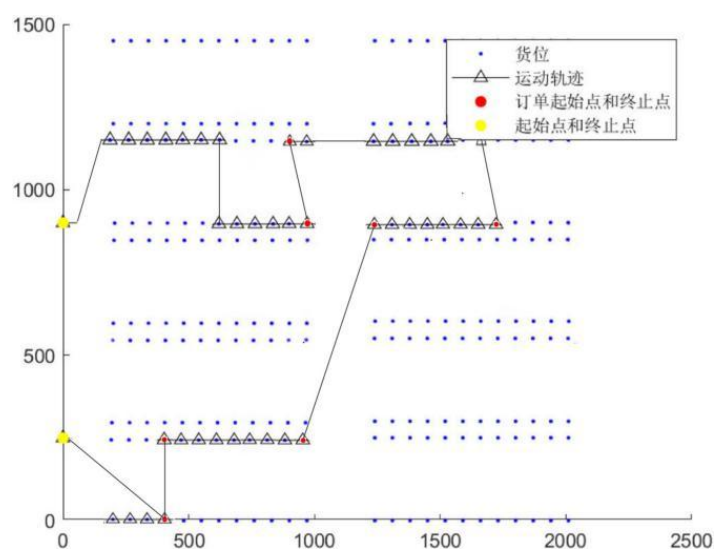


图 4-1 遗传算法下第一批行走路径

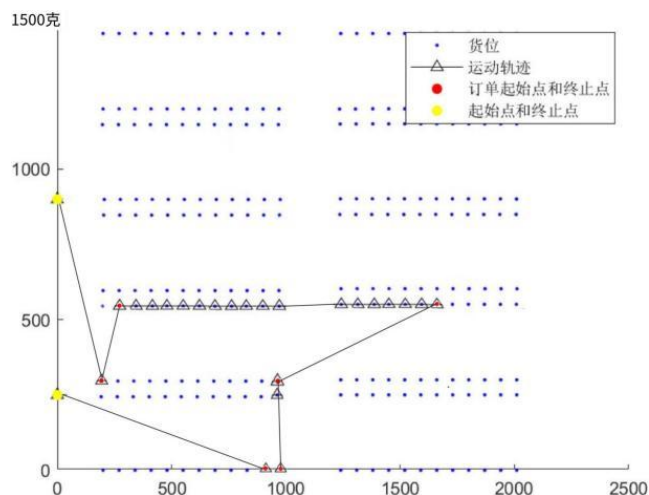


图 4-2 遗传算法下第二批行走路径

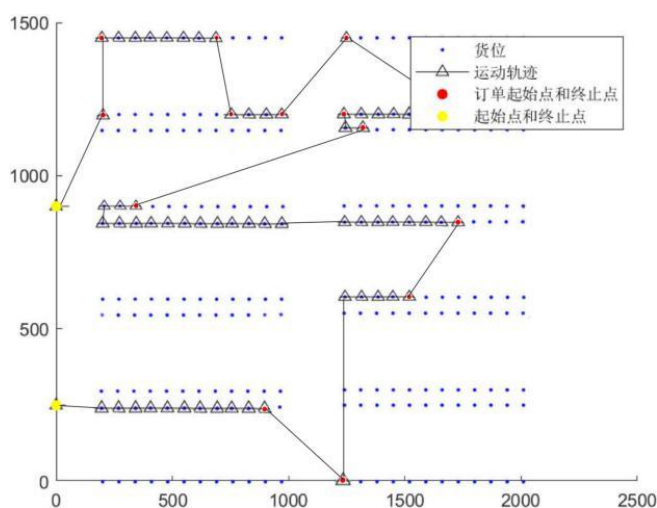


图 4-3 遗传算法下第三批行走路径

根据遗传算法的计算逻辑，需要将每个批次的最短路径求出来，最后将所有批次最短路径加起来，就可以得到目标函数最短拣选路径值。

经过遗传算法的计算，最终将三批次总行走距离收敛至 $1.88 \times 10^4 - 1.9 \times 10^4$ cm 之间，经过 500 次迭代，最终的计算结果为 1.882×10^4 cm 即 188.2m。

表 4-2 拣选行走距离对比

距离 (m)	第 1 批次	第 2 批次	第 3 批次	总距离
穿越式路径 (原先)	87.2	84.8	81.2	253.2
返回式路径	129.8	70.7	75.6	250.5
中点回转式路径	102.4	65.2	50	217.6
遗传算法	54.1	48	66.1	188.2

由表 4-2 可看出，经过遗传算法优化后，每批次的拣选行走距离都明显小于优化前。经过求和计算，三种拣选策略中最短拣选距离为 217.6m，使用遗传算法优化后的总行走距离为 188.2m。

每批次的拣选距离在经过优化后都有效的相对减少了，除了第三批次的行走距离相较于中点回转式较高之外，其余两个批次的行走距离优化比例都稳定在 20%-35%之间，优化效果比较明显。在拣选行走总距离上，经过优化后，行走总距离相比拣选策略优化后的距离缩短 13.5%左右，由此可以证明经遗传算法优化后的方案可以作为快消品仓库的拣选作业备选方案。

第 5 章 结论与展望

5.1 结论

在快消品企业的发展过程中，优化拣选一直是企业的关注重点和解决难点。拣选作业的瓶颈一定程度上限制了增长。目前，快消品的线上线下相结合的模式更加强调拣选的效率，因此需要对快消品的拣选作业进行深入研究。

(1) 简要概述 SH 物流园区快消品仓库的基本情况，分析仓库拣选作业效率的影响因素，找出仓库的拣选作业问题。

(2) 对仓库到达的 n 个订单进行以巷道相似度最大的原则进行订单聚类分批。以 27 个订单为例，根据订单巷道相似系数降序排列，找出最大系数，合并订单，不断迭代得到分批结果。对订单分批后的结果，以仓库原有的穿越式路径为例，计算出拣选行走距离。对比返回式和中点回转式路径策略，并计算各策略下的行走距离，找出最优路径策略。

(3) 在基于 27 个订单分批批次的结果上，以拣选行走距离最小为目标函数建立模型并设置约束条件，采用遗传算法求解并为其设立参数，分批次进行拣选路径优化求解，与拣选路径策略中选出的最短行走路径对比，找出最短行走路径，以达到优化的目的。

5.2 展望

在对快消品仓库拣选作业进行优化时，从在现有订单分批基础上进行路径优化作为切入点进行优化分析设计，并且得到了有效的结果。但由于在实际工作环境的复杂性，还有有待进一步的研究和修正：

(1) 在实际应用场景中，影响快消品仓库拣选效率的有很多因素，譬如仓库布局、商品储位。我们现在建立在不改变仓库布局，在现有设备基础上进行优化。无法确定是否商品储位和仓库布局对拣选效率有影响，后续可以考虑对储位进行优化和仓库布局的优化。

(2) 先对订单分批进行以巷道相似度最大进行订单聚类分批，接着采用遗传算法进行路径优化，优化算法还有禁忌算法、粒子群算法等，在接下来的研究中可以完善遗传算法的基础上考虑其他的改进优化算法。

(3) 在搜集数据上，只选取了随机到达的订单数据并且没有考虑订单商品的拣选时间，数据不够全面，不能代表真实的订单状态，后续可以考虑到促销期间订单的收集，从而使得优化更加严谨全面。

参考文献

- [1] 杜星锐. Y 电商仓库拣选作业优化研究[D].北京:北京交通大学,2020.
- [2] 胡雨璠. KL 电商仓库拣选区货位优化和在线订单分批研究[D].广州:华南理工大学,2021.
- [3] 霍亚馨. W 公司物流配送中心仓储拣选优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2021.
- [4] 王辉. S 公司配送中心仓储拣选作业优化研究[D].成都:电子科技大学,2018.
- [5] 李蕊. A 公司仓储中心母婴产品拣选路径优化研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2022.
- [6] 马飞. 电商配送中心订单分批及拣选路径优化研究[D].昆明:昆明理工大学,2016.
- [7] 刘晓利. B2C 电商配送中心订单分批策略研究综述[J].现代商贸工业,2020,41(20):47-49.
- [8] Henn S. Order batching and sequencing for the minimization of the total tardiness in picker-to-part warehouses[J]. Flexible Services and Manufacturing Journal, 2015, 27(1): 86-114.
- [9] 孙辉. A 电商企业配送中心拣选作业优化研究[D].厦门大学,2017.
- [10] DeKoster, R Van der Poort. Routing order pickers in a warehouse: A comparison between optimal and heuristic solutions[J]. IIE Transactions, 1998,30(5): 469-480.
- [11] 杜星锐. 电商仓库拣选作业优化研究[J].中国物流与采购,2020(04):49.
- [12] 魏庆琦,陈金迪. 考虑完全拆分的拣选分批与拣选路径集成优化模型[J].数学的实践与认识,2020,50(06):16-25.
- [13] 张丹露,孙小勇等. 智能仓库中的多机器人协同路径规划方法[J].计算机集成制造系统,2018,24(02):410-418.
- [14] 季爱迅. 电商企业配送中心订单拣选作业优化研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2021.
- [15] E. V. Korobkov. Warehouse Order-Picking Process. Review[J]. Nauka i Obrazovanie, 2015, 0(3) : 153-183.
- [16] 曾妮. P 电商企业物流中心拣选作业优化研究[D].北京:北京交通大学,2021.
- [17] 周丽,张雪等. 动态拣选系统下订单分批问题研究[J].机械设计与制造,2022(01):271-275.
- [18] 李珍萍,田宇璇等. 无人仓系统订单分批问题及 K-max 聚类算法[J].计算机集成制造系统,2021,27(05)
- [19] 秦馨,赵剑道. 等基于聚类算法的订单分批策略研究[J].制造业自动化,2021,43(01):134-137
- [20] 邹炜,赵洪鑫等. “货到人”订单分批拣选作业优化研究[J].物流科技,2022,45(11):27-33.
- [21] 胡小建,韦超豪. 基于 Canopy 和 k-means 算法的订单分批优化[J].合肥工业大学学

报(自然科学版),2017,40(03):414-419.

[22] Yang J, Zhou L, et al. Hybrid genetic algorithm-based optimisation of the batch order picking in a dense mobile rack warehouse[J]. Plos one, 2021, 16(4): e0249543.

致 谢

四年好长，日月交替要整整四轮春秋；四年好短，岁月倏逝转眼便人散杯空。19 年的我，满怀期待的重新推开了大学的门。从未想过，这么快我也要写下象征着大学生涯结束的致谢文。

将这四年的回忆缓慢地在脑海里铺陈，吉光片裘般的芳华时光，一旦落下帷幕便要长久封存。依稀记得刚踏进大学这扇门时，我们每天哭喊着课时繁重、作业多、时间漫长，殊不知，原来离别来的这么猝不及防。

感谢遇见的老师，为我们的专业答疑解惑，完善我们苍白的专业知识。感谢我的论文指导老师，即使在很多个深夜依旧选择放弃自己的休息时间，不厌其烦不辞辛苦的在繁重的教学中抽出宝贵时间为我的论文提出很多的修改意见。

感谢我的三位室友，我永远会记得疫情期间隆冬深夜家人离世时，我独自蹲在阳台哭泣，你们送给我的拥抱和大衣。在我手伤手术后，替我搓洗的衣物。大学四年转瞬即逝，我们也即将各奔东西，但能途径彼此最好的年华，见证对方的成长与改变是我的荣幸。

感谢我的父母，感谢在无数个自我怀疑的日子里，深夜的安慰和鼓励，让我走出自我否定的怪圈；父亲时时跟别人诉说着对我的亏欠，没能让我在富裕的家庭成长，可是自足的家庭环境，充满爱意的家庭氛围，让我坚定的做着自己，一直都让我觉得成长的过程很幸福。

四年的时光稍纵即逝，我们即将离去，那些甜蜜的点滴将凝结成青春最珍贵的回忆。

追风赶月莫停留，平芜尽处是春山。我怀着沉重的心情，作别这一程的风景。哪有那么多的生如夏花，或许我们都辜负了些许韶华，少年应有鸿鹄志，当骑骏马踏平川。往后的路途山高水长，少不了迷茫和彷徨，可才情是舟楫，绝境有桥索，青云志岂能囿于此时此刻。

再见，雅深路 2 号；再见，我的大学时光。寥寥数语，难述心意，感谢之词穷，总之，我们来日方长。

附 录

附录 1：订单巷道相似度系数表

表 1 订单巷道相似度系数表

订单	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-													
2	1	-												
3	1	1	-											
4	0/2	0/2	0/2	-										
5	1/2	1/2	1/2	0/2	-									
6	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	-								
7	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	-							
8	1/3	1/3	1/3	1/3	2/3	0/3	0/3	-						
9	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	1	1		-					
10	0/2	0/2	0/2	0/2	1/2	0/2	0/2	1/3	0/2	-				
11	0/2	0/2	0/2	1	0/3	0/2	0/2	1/3	0/2	0/2	-			
12	0/2	0/2	0/2	0/2	1/2	0/2	0/2	1/3	0/2	1	0/2	-		
13	0/2	0/2	0/2	0/2	0/3	1	1	0/4	1	0/2	0/2	0/2	-	

续表 1

订单	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15	-												
16	0/2	-											
17	0/2	0/2	-										
18	0/2	0/2	0/2	-									
19	1/3	1/3	0/4	1/3	-								
20	0/2	0/2	0/2	1	1/3	-							
21	0/2	0/2	1	0/2	0/4	0/2	-						
22	1	0/2	0/2	0/2	1/3	0/2	0/2	-					
23	0/2	0/2	1	0/2	0/4	0/2	1	0/2	-				

续表 1

订单	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
24	0/3	0/3	0/3	1/2	1/4	1/2	0/3	0/3	0/3	-			
25	0/3	0/3	0/3	1/2	1/4	1/2	0/3	0/3	0/3	1	-		
26	0/2	0/2	1	0/2	0/4	0/2	1	0/2	1	0/3	0/3	-	
27	1/3	0/4	1/3	0/4	1/5	0/4	1/3	1/3	1/3	1/4	1/4	1/3	-

附录 2：快消品仓库订单数据

表 2 订单数据

订单编号	货位编号：巷道号-左右号-层号-列号
1	2-1-2-12
2	2-1-3-5、2-0-1-7
3	2-0-2-19
4	5-0-3-8
5	1-1-3-12、2-1-3-3、1-1-2-20
6	4-0-2-12
7	4-0-3-9
8	2-1-1-20、1-0-3-13、1-1-2-13、5-0-3-11
9	4-0-2-19
10	1-0-1-1
11	5-1-2-12
12	1-0-1-5
13	4-1-1-1
14	5-1-2-13、3-1-2-16、3-1-1-17、1-1-2-1、2-0-2-3
15	3-0-3-14
16	1-0-3-8
17	4-0-2-2
18	2-1-1-8、2-1-2-17
19	1-0-1-16、1-1-2-15、2-0-2-14、3-0-2-6、3-0-2-20
20	2-1-3-20
21	4-0-1-15
22	3-0-3-18
23	4-1-2-12
24	2-0-1-3、5-1-1-4、2-0-3-11
25	5-0-2-4、2-0-2-3
26	4-0-2-10
27	4-0-2-3、5-1-3-12、5-1-1-11、5-0-1-5、4-0-2-19、3-0-2-19

附录 3: MATLAB 遗传算法主程序代码

% 问题: 找到精确解的概率较低 (但增加迭代次数后, 得到次优解的概率较大)

%编码: 自然数编码, 先随机选择一个待拣选商品点, 再根据距离依次选择下一个待拣选商品点, 直到所有商品都遍历到

%解码: 根据客户需求和拣选人员行驶距离进行分配批次

%选择: 锦标赛和轮盘赌%%轮盘赌的效果完全没有锦标赛的效果好

%交叉: 顺序交叉

%变异: 两个随机位置互换

% 该代码基于遗传算法求解 CVRP 问题完成拣选求解

tic;

clear;

clc;

close all;

%% 用 importdata 读取文件并计算各个点之间的距离

rng(1)

% 完成数据创建

[OrderDistance,PointPos,OrderIndsCom,DPath,OrderSelfDistance] =

GenerateData;

[row,~] = size(OrderDistance);

Weight = ones(row,1);

% OrderDistance = OrderDistance + OrderDistance';

row = row - 1;%待拣选商品点的数量

%% 参数设置

[N,D,volume,Dist,C0,C1,Iter,Pc,Pm] = constant(row);

GA = zeros(N,D+1);%GA 数组位置申请

Path = inf(N,2*D+2);%定义路径的数组, 前 2*D 存放具体路径, 2*D+1、2*D+2 分别为拣选人员及路径长度

%% 初始化

```

[GA,Path] =
initialization(Weight,OrderDistance,N,D,volume,Dist,C0,C1,GA,Path);

%% 迭代
[GA,Path,Gbest] =
iteration(N,D,volume,Dist,C0,C1,Iter,Pc,Pm,Weight,OrderDistance,GA,Path);

%% 命令行显示
[value,row] = min(Path(:,2*D+2));
[~,col] = find(Path(row,1:2*D)==1);
[~,k] = size(col);
OrderPath = cell(k-1,1);
for ii = 1:k-1
disp(['批次',num2str(ii),':',num2str(Path(row,col(ii):col(ii+1))-1)]);
OrderPath{ii} = Path(row,col(ii):col(ii+1))-1;
end

% DrawPath(OrderPath,PointPos,OrderIndsCom,DPath);

disp(['最短总路程: ',num2str(Path(row,2*D+2)+sum(OrderSelfDistance))]); %输入多个参数进行显示，除了用 num2str 显示数值，还需要将所有输入加上方括号！！

figure
plot(Gbest+sum(OrderSelfDistance));

toc;

```