

# 配送中心拣货系统

## 优化与作业管理

### Order Picking Operations

Management and Optimization Methods  
in Distribution Center

王雄志 李晓春 钟雪灵◎著

在系统整理、总结与介绍国内外仓库配货作业运作研究成果和实地调研国内现代配送中心实际运作的基础上，提炼典型的配送中心配置模式，包括存储区和拣选作业区的划分、货架的摆放方式、通道设计、搬运设备配备等一系列因素。



中国经济出版社  
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

# 配送中心拣货系统 优化与作业管理

Order Picking Operations  
Management and Optimization Methods  
in Distribution Center

王雄志 李晓春 钟雪灵◎著

在系统整理、总结与介绍国内外仓库配货作业运作研究成

果和实地调研国内现代配送中心实际运作的基础上，提炼典型

的配送中心配置模式，包括存储区和拣选作业区的划分、货架

的摆放方式、通道设计、搬运设备配备等一系列因素。



中国经济出版社  
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

配送中心拣货系统优化与作业管理/王雄志, 李晓春, 钟雪灵著.

—北京: 中国经济出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 5136 - 3838 - 8

I. ①配… II. ①王… ②李… ③钟… III. ①物流配送中心—系统优化 ②物流配送中心—运营管理 IV. ①F253

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 126751 号



责任编辑 叶景忠

责任审读 贺 静

责任印制 马小宾

封面设计 华子图文

出版发行 中国经济出版社

印 刷 者 北京艾普海德印刷有限公司

经 销 者 各地新华书店

开 本 710mm × 1000mm 1/16

印 张 12

字 数 190 千字

版 次 2015 年 7 月第 1 版

印 次 2015 年 7 月第 1 次

定 价 38.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 [www.economyph.com](http://www.economyph.com) 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本版图书如存在印装质量问题, 请与本社发行中心联系调换 (联系电话: 010 - 68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010 - 68355416 010 - 68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390)

服务热线: 010 - 88386794

**本项研究受下列基金资助：**

- 华南农业大学国家重点学科“农业经济管理”学科建设经费资助
- 教育部人文社会科学研究项目基金资助（09YJC630088）
- 教育部人文社会科学研究项目基金资助（13YJC630239）
- 华南师范大学南海校区基金资助项目（NHZL09006）

## 序言 PREFACE

配送中心或现代仓储是现代物流系统中的重要环节。它的主要功能是接收物品、储存物品和按照顾客订单配发货物（Order Picking）等，其中后者是配送中心的基本功能。配货是配送中心最费力、最费时的作业活动。据国外的调查（Tompkins, 2004），配货作业所消耗的劳动和时间占配送中心全部劳动和时间消耗的比例高达 60%。配货作业运作方法的研究及应用对于提高配送中心的运作效率、降低劳动消耗具有很强的实际意义，特别是在客户订单的数量小型化、订货次数频繁的情况下实际意义更加显著。王雄志、李晓春和钟雪灵三位博士在系统整理、总结与介绍国内外仓库配货作业运作研究成果和实地调研国内现代配送中心实际运作的基础上，提炼典型的配送中心配置模式，包括存储区、拣选作业区的划分、货架的摆放方式、通道设计、搬运设备配备等一系列因素，加以分类，形成三种主要类型的运作问题：分区拣选问题、分区分拣系统优化、旋转系统配货拣选和作业排序优化问题，并逐个分析各问题的性质，建立配送中心配货作业优化运作模型，进而分析模型的特点，设计多项式精确算法或启发式算法，为运作方法的选择和应用提供可靠的依据。目前，他们取得丰硕的成果，分别在 *European Journal of Operational Research*、*Mathematical Problems in Engineering*、《系统工程理论与实践》和《管理工程学报》等 SCI/EI/CSSCI 各级期刊上发表论文十多篇，主持教育部人文社科基金和广东省自然科学基金等多项。

王雄志、李晓春和钟雪灵等科研成员的研究取材新颖，系统性强，研究和写作思路清晰，目前取得了丰硕的阶段性研究成果，为了促进研究成果迅速转化为现实的生产力，建议将其整理成书正式出版，以提供面向物

流工程或管理研究生及高年级本科生学习，同时也可供从事物流工程专业以及从事物流管理技术方向的研究人员参考。作为国内不多的配送管理研究专著，存在不足是难免的。因此，我们期待着社会和学界的关注、批评与呵护，同时希望此专著成为物流配送管理领域成长的台阶与标志。

王长平 教授

2014 年 9 月于暨南园

## 摘要

拣货作业是指按照订单的要求将用户所订的货品从储存位置取出、分类、集中、装箱的作业过程。为满足一个客户订单，拣货员需行走到货品存储区，查找待拣选货品并将其从存储位置中取出，整理拣好的货品，对拣货作业过程进行记录，包装货品准备配送。在配送中心所有在库活动中，拣货作业是劳动密集型程度最高且费时最多的一项活动。随着客户订单的多样化和客户服务质量要求的提高，拣货作业运作方法的研究及应用成为研究的热点之一，拣货作业的优化对有效提高配送中心的运作效率、降低劳动消耗具有较大的意义。

本书系统整理、总结了拣货作业运作相关的研究成果，分别研究了三种拣货系统中的拣货作业优化与排序问题：静态分区拣货系统（串行分区和并行分区）、动态分区拣货系统、旋转货架拣货系统以及存在订单属性的作业排序问题。首先，在静态分区拣货系统中，考虑拣货员拣货速度不同的情况，提出储位指派算法，通过对品项在各分区间储位的安排，以平衡各分区拣货员的作业量。继而分析了在作业繁忙期与空闲期拣货员的配置及储位的调整问题。其次，在静态分区拣货系统的基础上提出动态分区拣货策略，通过订单拣货顺序的优化及拣货员所在分区的动态分配，提出了“排序—动态分区—平衡”思想，设计启发式算法，使分区间等待时间减少，提高拣货效率。最后，对分区拣货系统中常见的另一种货架系统——旋转货架进行讨论，针对转货架系统配置下的拣货优化问题，分析其特点、建立数学规划模型，分别对拣取时间可忽略的情况及拣取时间不可忽

略的情况设计启发式算法求解。同时,根据配货订单的属性,提炼作业排序问题模型,分别提出带准备时间和强制工期的单机、平行机排序问题、带强制工期的双机开放车间排序问题等。此外,研究中根据不同的拣货作业规则和优化目标,对相关模型及算法进行模拟测试以证明其有效性,为方法选择与应用提供了依据。

## ABSTRACT

Order picking is to pick customer ordered items from storage locator and prepare for shipment. To fulfill an order, the picker walks to storage locations, finds the items, takes out from the locations, consolidates, packs, and prepares for the final shipment. Order picking is the most labor-intensive and costly in all the activities of the distribution center. With the increased customer demand diversity and high service expectations, the research and application of the order picking become one hot topic, in order to increase operation efficiency and decrease the labor workload.

Our work reviews the current research on the typical decision problems in design and control of order-picking processes as well as the scheduling problems. It mainly studies the problems in three kinds of order picking system: static zone order picking system (progressive zone order picking, synchronized zone order picking), dynamic zone order picking and carousels order picking system. For static zone order picking system, it proposes assignment heuristic algorithms to balance the pickers' workload in different zones by the item location arrangement; considering the order volume fluctuation in peak periods and slack periods, it introduces two heuristic algorithms respectively on historical data. Based on static zone order picking, it brings the dynamic zone order picking strategy by optimizing the picking schedule to share jobs among pickers in one picking lane, two heuristic algorithms are introduced to reduce the total picking time. For carousels system, in order to minimize the total picking time, it provides the heuristic algorithms to find the optimized picking schedule respectively

when picking time can be ignored and when picking time cannot be ignored. On basis of the order picking analysis, we conclude several scheduling problems, including Single machine scheduling with ready times and deadlines and Preemptive scheduling with deadlines on parallel machines, et al. Meanwhile, for different picking strategies and optimization objectives, simulated testing is taken to validate its performance and reliability of each algorithm, which provides a reference for the application and the choice of order picking methods.

# 目录 CONTENTS

## 1 绪 论

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1.1 问题的提出 .....         | 1  |
| 1.1.1 配送中心及拣货作业概述 ..... | 1  |
| 1.1.2 影响拣货作业效率的因素 ..... | 5  |
| 1.1.3 拣货作业系统的优化目标 ..... | 10 |
| 1.1.4 拣货作业优化方法概述 .....  | 11 |
| 1.2 研究意义 .....          | 14 |
| 1.2.1 理论意义 .....        | 14 |
| 1.2.2 现实意义 .....        | 15 |
| 1.3 研究框架及主要内容 .....     | 16 |

## 2 文献综述

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 2.1 国内外研究现状 .....            | 19 |
| 2.1.1 仓储布置规划 .....           | 20 |
| 2.1.2 自动存取机拣货作业方式的拣货问题 ..... | 21 |
| 2.1.3 人工拣货作业方式的拣货问题 .....    | 22 |
| 2.1.4 品项储位管理 .....           | 23 |
| 2.1.5 分批拣货及分区拣货问题 .....      | 25 |
| 2.1.6 拣货路径优化问题 .....         | 29 |
| 2.1.7 订单分类作业 .....           | 33 |
| 2.1.8 其他相关问题 .....           | 34 |

|                  |    |
|------------------|----|
| 2.2 作业排序问题 ..... | 34 |
| 2.3 总体评述 .....   | 35 |

### 3 静态分区拣货系统储位优化设计

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.1 引言 .....                | 37 |
| 3.2 相关研究 .....              | 39 |
| 3.3 储位分配策略模型 .....          | 42 |
| 3.3.1 订单拣货策略及相关假设 .....     | 42 |
| 3.3.2 模型建立 .....            | 44 |
| 3.4 储位分配策略算法设计 .....        | 45 |
| 3.4.1 基于品项拣选率的储位指派算法 .....  | 45 |
| 3.4.2 结合品项关联规则的储位指派算法 ..... | 47 |
| 3.5 算法性能测试及分析 .....         | 51 |
| 3.5.1 算法性能评估 .....          | 51 |
| 3.5.2 算例分析 .....            | 53 |
| 3.6 分区拣货系统储位调整策略 .....      | 59 |
| 3.6.1 繁忙期系统储位调整策略 .....     | 59 |
| 3.6.2 空闲期系统储位调整策略 .....     | 60 |
| 3.7 并行分区拣货系统优化设计 .....      | 63 |
| 3.7.1 并行分区拣货系统概述 .....      | 63 |
| 3.7.2 储位指派算法性能分析 .....      | 64 |
| 3.8 分区拣选作业成本分析与效益评估 .....   | 66 |
| 3.8.1 问题描述 .....            | 66 |
| 3.8.2 成本分析模型 .....          | 67 |
| 3.9 本章小结 .....              | 72 |

### 4 动态分区拣货系统优化设计

|                     |    |
|---------------------|----|
| 4.1 引言 .....        | 73 |
| 4.2 系统配置及相关研究 ..... | 73 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 4.2.1 拣货系统配置 .....                | 73         |
| 4.2.2 问题描述及相关研究综述 .....           | 74         |
| <b>4.3 动态分区拣货策略及模型建立 .....</b>    | <b>78</b>  |
| 4.3.1 拣货策略 .....                  | 78         |
| 4.3.2 模型建立 .....                  | 80         |
| <b>4.4 订单拣选顺序优化方法 .....</b>       | <b>82</b>  |
| 4.4.1 OSDZP 启发式算法 .....           | 83         |
| 4.4.2 协同进化动态分区算法 .....            | 85         |
| 4.4.3 算法性能评估 .....                | 92         |
| <b>4.5 本章小结 .....</b>             | <b>94</b>  |
| <br><b>5 旋转货架系统最优拣选作业计划</b>       |            |
| <b>5.1 引言 .....</b>               | <b>96</b>  |
| <b>5.2 问题描述及相关研究工作 .....</b>      | <b>98</b>  |
| 5.2.1 问题描述 .....                  | 98         |
| 5.2.2 相关研究综述 .....                | 99         |
| <b>5.3 拣取时间可忽略时的拣选优化算法 .....</b>  | <b>101</b> |
| 5.3.1 相关假设及参数 .....               | 101        |
| 5.3.2 优化目标 .....                  | 103        |
| 5.3.3 拣货路径优化算法设计 .....            | 103        |
| 5.3.4 算法性能评估 .....                | 116        |
| 5.3.5 算例分析 .....                  | 117        |
| <b>5.4 拣取时间不可忽略时的拣选优化算法 .....</b> | <b>118</b> |
| 5.4.1 优化目标 .....                  | 118        |
| 5.4.2 算法设计 .....                  | 119        |
| 5.4.3 算法性能评估 .....                | 126        |
| <b>5.5 本章小结 .....</b>             | <b>129</b> |
| <br><b>6 配货作业排序问题研究</b>           |            |
| <b>6.1 引言 .....</b>               | <b>130</b> |

|            |                          |     |
|------------|--------------------------|-----|
| 6.2        | 带准备时间和强制工期的单机排序 .....    | 131 |
| 6.2.1      | 问题描述 .....               | 131 |
| 6.2.2      | 算法设计 .....               | 133 |
| 6.2.3      | 算例 .....                 | 135 |
| 6.3        | 带强制工期的可中断平行机排序 .....     | 136 |
| 6.3.1      | 问题描述 .....               | 136 |
| 6.3.2      | 强制工期相等的情形 .....          | 143 |
| 6.4        | 极小化最大提前完工时间的两平行机排序 ..... | 146 |
| 6.4.1      | 问题描述 .....               | 146 |
| 6.4.2      | 加工时间相等的特殊情形 .....        | 149 |
| 6.5        | 本章小结 .....               | 150 |
| 7 总结与展望    |                          |     |
| 7.1        | 工作总结 .....               | 152 |
| 7.2        | 创新之处 .....               | 153 |
| 7.3        | 后续工作展望 .....             | 154 |
| 参考文献 ..... |                          | 156 |
| 索引 .....   |                          | 173 |
| 后记 .....   |                          | 176 |

# 1 绪 论

## 1.1 问题的提出

### 1.1.1 配送中心及拣货作业概述

配送中心是以组织配送性销售或供应、执行实物配送为主要职能的流通型节点。日本《市场用语词典》对配送中心的解释是<sup>①</sup>：“一种物流节点，它不以贮藏仓库的这种单一的形式出现，而是发挥配送职能的流通仓库。也称作基地、据点或流通中心。配送中心的目的是降低运输成本、减少销售机会的损失，为此建立设施、设备并开展经营、管理工作。”

《物流手册》对配送中心的定义是：“配送中心是从供应者手中接受多种大量的货物，进行倒装、分类、保管、流通加工和情报处理等作业，然后按照众多需要者的订货要求备齐货物，以令人满意的服务水平进行配送的设施。”

王之泰在《物流学》对配送中心定义：“配送中心是从事货物配备（集货、加工、分货、拣选、配货）和组织对用户的送货，以高水平实现销售或供应的现代流通设施。”

从这些定义可以看出，与传统的仓库不同，配送中心把商流、物流、信息流、资金流融为一体，成为产销企业之间的中介，承担货品从出厂到最终用户过程中的全部业务、劳务及其他相关服务，通过先进的管理、技术和现代化信息网络，对商品的采购、进货、储存、拣货、理货、配送等进行科学、统一、规范的管理，为商品的流通节约了成本。随着商品流通

---

<sup>①</sup> 刘凯. 现代物流技术基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2004: 172.

量的急剧增加, 订单的小型化趋势及商品的多元化趋势以及顾客的需求变化, 新的贸易形式的出现, 竞争的压力和追求高额利润的动力, 迫使厂商不断寻求降低自己物流成本的方法。因此, 配送中心运作也在不断地推陈出新, 例如快速响应 (QR)、有效顾客响应 (ECR)、即时配送 (Just-In-Time Delivery)、增加顾客满意度等新内容, Tompkins 等 (2003) 指出配送中心新业务, 如订单拣选、直接转运、空间利用和增值服务等都可使订单的处理和作业更有效。

作为一种新兴的经营管理形态, 配送中心按设立者分类, 常见的有:

(1) 制造商型。制造商型配送中心是以制造商为主体的配送中心。这种配送中心的货品是由自己生产制造, 用以降低流通费用、提高售后服务质量和及时地将预先配齐的成组元器件运送到规定的加工或装配工位。

(2) 批发商型。批发商型配送中心是由批发商或代理商所建立, 以批发商为主体的配送中心。这种配送中心的货品来自各个制造商, 它所进行的一项重要的活动是对货品进行汇总和再销售, 而它的全部进货和出货都是社会配送的, 社会化程度高。

(3) 零售商型。零售商型配送中心是由零售商向上整合所成立, 以零售业为主体的配送中心。零售商发展到一定规模后, 就可以考虑建立自己的配送中心, 为专业货品零售店、超级市场、百货商店、建材商场等服务, 其社会化程度介于前两者之间。

(4) 专业物流配送中心。专业物流配送中心是以第三方物流企业 (包括传统的仓储企业和运输企业) 为主体的配送中心。这种配送中心有很强的运输配送能力, 地理位置优越, 可迅速地将到达的货品配送给用户。它为制造商或供应商提供物流服务, 而配送中心的货品仍属于制造商或供应商所有, 配送中心只是提供仓储管理和运输配送服务, 这种配送中心的现代化程度往往较高。

不同的配送中心存在不同的配置情况, 例如, 在配送中心中若大多数的拣选作业量集中在少数几种货品上, 可以设置一个前置密集拣货区, 存放一些流动频繁的货品。这一前置区所占库存的比例较小 [以品项 (Items) 种数和其库存分配量衡量], 由于面积空间较小, 可以减少行走距离, 提高拣货效率; 配送中心还可根据品项的特点设置不同的区域: 一种是需要配送中心储存的货品; 另一种是直接转运型货品, 此类货品只是在配送

中心做短暂停留,经过分拣、配货后就直接送货。在配送中心常可看到为满足进出货作业而规划的临时储区、为货品中长期储存而设立的保管区、为完成分拣作业而设立的分拣作业区等。伴随着货品进出配送中心,图 1.1 列出的 11 项活动反映了大多数配送中心常见的作业活动。主要包括收货、检验和质量控制、重新包装、上架、存储、拣货、延迟、整理、装箱和发货、直接转运、补货等 (Tompkins 等, 2003)。将上述 11 项活动进行归并划分,收货功能包括收货、重新包装和上架;订单拣选功能包括订单拣选、包装和整理;发货功能包括包装发货。

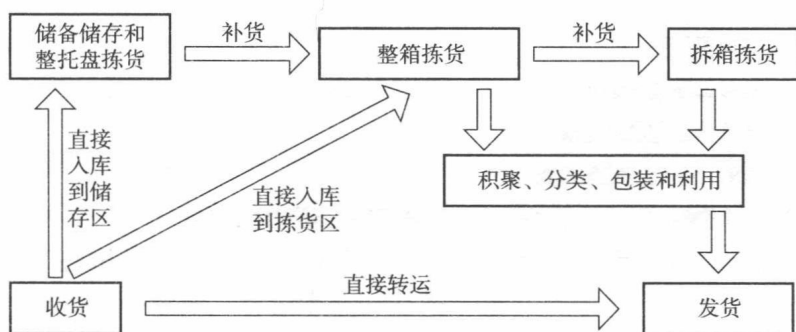


图 1.1 典型配送中心功能区与作业流程

其中,拣货作业是指将用户所订的货品从储位中取出,按用户分类集中、处理放置。配送中心内拣货系统的一般流程如图 1.2 所示,它包括两种拣货方式,下面部分流程为按单拣货作业流程,上面部分为批量拣货作业(拣货后需进行分货作业)流程。在配送中心的各项作业中,拣货作业是其中十分重要的一个环节,是货品从供应商流向顾客的重要一环。如何在无拣选错误率的情况下,将正确的货品、正确的数量在正确的时间及时配送给顾客,是拣货作业最终的目的及功能<sup>①</sup>。



图 1.2 典型配送中心拣货作业流程

① 王转,程国全. 配送中心系统规划 [M]. 北京:中国物资出版社,2003:148.