

国家自然科学基金项目·物流与供应链管理系列丛书

# 基于室内定位服务的 弹性物料搬运系统设计研究

戴 宾 著



科学出版社

国家自然科学基金项目·物流与供应链管理系列丛书

# 基于室内定位服务的 弹性物料搬运系统设计研究

戴 宾 著

国家自然科学基金资助项目（编号：71301122，71671133）

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

“大规模定制”“个性化需求”“工业 4.0”“电子商务”等都离不开弹性物料搬运系统,而室内定位服务系统可以显著地改善传统的自动化物流搬运系统的运营绩效和经济绩效。本书的主要贡献包括:第一,设计了一个基于室内定位服务的无轨弹性物料搬运系统;第二,提出一个方法体系来评价该弹性物料搬运系统的运营与经济绩效;第三,在考虑不确定感应的条件下,研究了室内定位系统的关键问题,即定位传感器的布局问题;第四,分析在不同应用环境下,定位传感器的布局设计。本书主要以个性化需求盛行的服装制造业以及快速发展的电子商务为背景来研究上述问题,提出工业界和学术界所关心的相关问题,并尝试回答一部分问题。

本书可作为相关专业的大学生和研究生的学习用书,也可作为部分企业管理与技术人员、学术研究人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

基于室内定位服务的弹性物料搬运系统设计研究 / 戴宾著. —北京: 科学出版社, 2016.12

ISBN 978-7-03-050587-3

I. ①基… II. ①戴… III. ①物料输送系统-系统设计-研究  
IV. ①TH165

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 271131 号

责任编辑: 徐 倩 / 责任校对: 赵桂芬  
责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 无极书装

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

**北京京华虎彩印刷有限公司** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016年12月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2016年12月第一次印刷 印张: 10 1/4

字数: 207 000

**定价: 60.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 作者简介

戴宾，湖南邵阳人，香港科技大学工业工程与物流管理方向博士、武汉大学经济与管理学院副教授，在供应链和物流管理、技术运营管理和环境运营管理等领域有所研究。目前主持国家自然科学基金项目 2 项（青年项目和面上项目各 1 项）、省部级项目 4 项。在 *IIE Transactions*、*International Journal of Production Economics*、*International Journal of Production Research*、*Robotics and Autonomous Systems*、*International Journal of Advanced Manufacturing Technology*、《系统工程理论与实践》、《中国管理科学》、《管理学报》等国内外重要期刊上发表论文 10 余篇。在 Springer 出版社出版专著章节 1 部。入选湖北省“楚天学者”计划和武汉大学经济与管理学院第一届“珞珈领秀人才”计划。获国际《工业工程师》杂志 Feature article 奖 1 项，中国管理学年会优秀论文奖 1 项。

# 前 言

本书选题来自国家自然科学基金项目“不确定感应条件下定位传感器布局问题研究”的应用推广。

进入 21 世纪以来，随着人们生活水平的提高，顾客的个性化需求变得日益普遍。因此，如何提高制造业的弹性、为制造商确定最优的弹性制造系统，以期减少企业与生产相关的成本和不确定性，优化企业的资源配置，满足市场上顾客的多样化需求，最终提升企业实力，获取竞争优势，成为企业面临的一个重要挑战。同时，随着计算机与互联网技术的日新月异，电子商务取得了蓬勃的发展，并已经成为广大消费者不可或缺的重要平台。电子商务旨在为客户提供高性价比的多样化产品，满足个性化需求。因此，企业生产需要适应这一趋势，从以往的标准化生产转化为弹性生产已经变得十分必要。随着科学技术的发展，人类社会对产品的功能与质量的要求越来越高，产品更新换代的周期越来越短，产品的复杂程度也随之增加，传统的大批量生产方式受到了挑战。这种挑战不仅对中小企业形成了威胁，而且也困扰着国有大中型企业。

但是，传统的弹性物料搬运系统在弹性、运营绩效、应对顾客大规模定制和个性化需要以及满足电子商务发展的需要方面，显示出不足。在企业的现实生产中，快速响应顾客需求是至关重要的，这不仅影响到企业面对竞争对手时的竞争力，而且影响到企业的生存，而现存的物料搬运系统往往无法满足这些需求。基于以上原因，开发一个新型弹性物料搬运系统以满足上述需求变得十分迫切。本书结合现实中顾客需求和企业生产的需要，开发出一种基于室内定位服务的弹性物料搬运系统，主要创新之处包括：①新型无轨弹性物料搬运系统的设计；②研究新系统的运营绩效和经济可行性分析；③研究系统运营中的定位服务系统的传感器布局策略；④研究现实中的热点应用问题。

本书的主要内容包括以下几个方面。

第一，从总体上介绍本书的研究背景、研究目的、研究意义，回顾了国内外关于弹性物料搬运系统的相关研究与不足，并简述本书的主要创新点和工作，最后对相关的研究内容进行综述。

第二，综述以往的相关研究，比较不同类型的物料搬运系统，结合大规模定制，提出基于定位服务的无轨弹性物料搬运系统的概念，以及构建系统的思路并进行系统设计。

第三，从运营绩效和经济可行性两方面，提出修正的成本作业法来估计无轨

弹性物料搬运系统的成本节约和收益增加,通过内部收益率模型评估系统的经济绩效,并通过灵敏性分析来比较不同情境下有轨弹性物料搬运系统和无轨弹性物料搬运系统的绩效差异。

第四,考虑到现实中的情况,从可靠性、覆盖率和精度三个方面研究弹性物料搬运系统中的定位传感器布局策略问题,以确定最优的布局策略。

第五,无轨弹性物料搬运系统离不开室内定位系统的支持,室内定位系统的关键之一为定位传感器的布局。在考虑不确定感应的条件下,鉴于定位传感器的方向性对定位传感器的布局策略进行研究。

第六,鉴于电子商务的发展,研究基于室内定位服务的弹性物料搬运系统在仓库中的应用,主要研究选择什么样的布局方法和布局策略,最后通过遗传算法比较不同布局策略的性能。

第七,对本书的相关研究进行总结,并展望今后可能的发展方向。

与现有的弹性物料搬运系统相比,本书提出的基于室内定位服务的无轨弹性物料搬运系统,在响应顾客需求、降低成本、提高生产率、减少库存、提高产品和服务质量,尤其是经济绩效方面,显示出了巨大的优势。本书在总结研究传统弹性物料搬运系统的优势及劣势,以及相关研究的基础上,提出新型的无轨弹性物料搬运系统设计方案,以修正的成本作业法等方法为基础估计新系统边际成本,以内部收益率等经济模型为基础评价系统可行性,以非线性规划与遗传算法等方法为基础评估系统布局策略的优劣。同时,本书在分析行业特点的基础上,深入研究了基于室内定位服务的无轨弹性物料搬运系统的应用问题。最后,结合热点,如传统制造业、采矿、电商配送中心、中国老年化问题、救灾、水下应用、军事领域等,本书探讨了室内定位服务在以上领域的应用问题。

本书以具体的实践为背景对弹性物料搬运系统的设计与评价进行系统阐释,提出学术界以及工业界应该关注、研究的相关问题。本书尝试回答其中的部分问题。

本书在写作和出版过程中得到了许多人的帮助和支持,科学出版社的徐倩女士一直非常关心本书的进展,在此向她表示衷心的感谢。同时,感谢科学出版社的其他编辑对本书出版给予的帮助。

最后要感谢我的合作导师香港科技大学工业工程及物流管理系的李家硕副教授、合作者澳门大学工商管理学院的付琦副教授,本书的部分内容取材于我们共同的研究成果;另外,尤其要感谢我的硕士研究生苏洋洋(整理第1章、第8章、第9章)、皮莹莹(整理第2章、第3章、第4章)、王晶晶(整理第5章、第6章、第7章),他们对材料的精心整理保证了本书的写作进程;同时也感谢国家自然科学基金对研究工作的资助。

戴 宾

2016年6月18日

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 弹性物料搬运系统 .....	1
1.2 研究目的与意义 .....	10
1.3 国内外研究现状 .....	13
1.4 本书主要创新点 .....	19
1.5 本书主体内容 .....	21
第 2 章 大规模定制环境下基于室内定位服务的弹性物料搬运系统的框架设计 .....	25
2.1 导言 .....	25
2.2 弹性物料搬运系统对比分析 .....	26
2.3 大规模定制环境下基于室内定位服务的弹性物料搬运系统的框架设计 .....	30
2.4 本章小结 .....	34
第 3 章 基于室内定位服务的弹性物料搬运系统的运营绩效分析 .....	35
3.1 导言 .....	35
3.2 物料搬运系统绩效指标综述 .....	36
3.3 弹性物料搬运系统的运营绩效指标 .....	37
3.4 Eton 系统概述 .....	41
3.5 蒙特卡罗实验和结果分析 .....	43
3.6 本章小结 .....	47
第 4 章 基于室内定位服务的弹性物料搬运系统的经济可行性分析 .....	48
4.1 导言 .....	48
4.2 无轨弹性物料搬运系统的成本估计 .....	50
4.3 投资决策模型 .....	60
4.4 结果和敏感性分析 .....	60
4.5 本章小结 .....	65
第 5 章 弹性物料搬运系统中定位传感器布局策略研究 .....	66
5.1 导言 .....	66
5.2 定位传感器布局方法与问题阐述 .....	68
5.3 布局策略优化研究 .....	75
5.4 布局策略对比研究 .....	86

---

5.5	本章小结	90
<b>第 6 章</b>	<b>定位传感器布局方向对定位传感器布局策略的影响研究</b>	<b>93</b>
6.1	导言	93
6.2	布局方法和问题陈述	95
6.3	布局优化研究: 数值实验	104
6.4	本章小结	112
<b>第 7 章</b>	<b>仓库弹性物料搬运系统中的定位传感器布局策略研究</b>	<b>115</b>
7.1	导言	115
7.2	布局方法和问题陈述	117
7.3	规则布局策略	122
7.4	布局优化算法研究	127
7.5	本章小结	134
<b>第 8 章</b>	<b>基于定位服务的弹性物料搬运系统的应用展望</b>	<b>135</b>
8.1	导言	135
8.2	应用领域展望	136
8.3	应用设计分析	142
8.4	本章小结	144
<b>第 9 章</b>	<b>总结与展望</b>	<b>145</b>
	<b>参考文献</b>	<b>149</b>



# 第1章 绪 论

## 1.1 弹性物料搬运系统

本书主要研究基于室内定位服务的弹性物料搬运系统的设计、评价、运营等问题，目的是提高制造业和服务业的弹性和服务质量，以期减少企业与生产服务相关的成本和不确定性，优化企业的资源配置，满足市场上顾客的多样化需求，最终提升企业实力，获取竞争优势。进入 21 世纪以来，尤其是近十年，随着人们生活水平的提高，顾客的个性化需求变得日益普遍。同时，随着计算机与互联网技术的日新月异，电子商务取得了蓬勃的发展，并已经成为广大消费者不可或缺的一个重要平台。电子商务旨在为客户提供高性价比的多样化产品，满足个性化需求，因此，企业生产需要适应这一趋势，从以往的标准化生产转化为弹性生产已经变得十分必要。随着科学技术的进步与发展，人类社会对产品的性能与质量的要求越来越高，产品更新换代的速度越来越快，产品的复杂程度也越来越高，传统的大批量生产方式受到了极大的挑战。这种挑战不仅对中小企业形成了威胁，同时也困扰着国有大中型企业。这是因为，在大批量生产方式中，柔性与生产率之间是相互矛盾的。我们知道，只有品种单一、批量大、设备专用性高、工艺稳定、效率高的生产，才能构成规模经济效益；反之，多品种、小批量、设备专用性低、加工形式相似、工艺不稳定的生产，生产效率必然会受到影响。为了提高企业柔性 with 生产效率，同时在保证产品和服务质量的前提下，缩短产品生产周期，降低生产成本，最终使得中小批量生产能与大批量生产相媲美，实现规模经济效益，弹性制造系统（flexible manufacturing system, FMS）便应运而生（Fulkerson, 1997）。

弹性制造系统是一种在计算机系统的统一控制和管理下，用传输装置和自动装卸装置将加工设备连接起来的自动化制造系统，适用于中小批量和多品种零部件的高效率加工（Paraschidis et al., 1994）。弹性制造系统是因工业上可预期或不可预期的变更而允许弹性且可自动化生产的工程制造系统。其主要是以机械加工或制造产业为主，应用生产范围十分广泛，包括工艺和一些自动化的工作，这些系统可以达到不同程度的弹性，完全与该系统的组件有关。该系统常应用于大量生产多样化的产品。弹性制造系统主要的特色在于生产过程中若更换产品形态，并不需要频繁更换生产设备，只要利用计算机化的工业控制系统修正即可达成，

以响应市场需求快速变化的要求，以及分布式生产和大规模定制生产的要求（Bock and Rosenberg, 2000）。

1954 年美国麻省理工学院诞生了第一台数字控制铣床，在其后进行了 20 年左右的探索，到了 20 世纪 70 年代初，弹性自动化最终进入了生产实用阶段。几十年来，从单台数控机床到加工中心、弹性制造单元、弹性制造系统和计算机集成制造系统，促使弹性自动化得到了迅速的发展。通过近几十年的努力和实践，弹性制造系统（FMS）已日臻完善，已经进入了实用化阶段，并形成高科技产业。随着科学技术的巨大进步以及生产组织和管理方式的不断更替与创新，弹性制造系统作为一种新型生产手段也在不断引入新技术、不断向更高层次发展来适应个性化和快速变化的客户需求。

弹性制造系统将计算机、控制论、微电子技术和系统工程等复杂的技术进行有机地结合，使其既具有机械加工高自动化和高效率的特性，又具有非常高的弹性以应对不同需求。具体而言，弹性制造系统具有如下特点：

（1）设备弹性好。弹性制造系统的刀具、夹具以及物料运输装置具有可调性，当市场需求发生变化或者产品设计改变时，系统可以迅速地进行调整以适应不同的生产要求。

（2）设备利用率高。弹性制造系统布局合理紧凑，柔性化的设备可以应对不同的加工需求，设备在利用率提高的同时可以减少 20% 的占地面积。

（3）在制品数量少。弹性制造系统的产品生产工序集中，大幅降低了生产过程的重置装载次数，这大大缩短生产准备时间以及生产周期，从而降低了在制品的库存。

（4）稳定生产的能力。当弹性制造系统中的某台设备发生故障时，该系统可以降级运转，自行调整路线，绕过发生故障的设备，从而保证整个生产系统运行的稳定性，避免故障对生产制造系统造成影响。

（5）稳定产品质量。弹性制造系统加工过程是全自动和智能化的，涉及很少的人力劳动，与传统的生产制造系统相比，该系统生产产品的加工精度更高，质量稳定性更好。

（6）运行弹性。当弹性制造系统的检验、维护等工作就绪后，后续的加工生产可以在无人看守的情况下自动进行，其监控系统还可以处理刀具磨损、物流搬运堵塞等运行过程中出现的一些不可预料的情形。

弹性制造系统的优势离不开它的四个核心子系统，具体如下：

（1）自动加工系统。该系统是指以成组技术为基础，把外形尺寸（形状差异不大）和质量大致相似、材料相同、工艺相似的零件，集中在某台或数台数控机床或专用机床等设备上进行生产的加工系统。弹性制造系统的加工设备一般由多台自动化程度很高的数控设备共同组成，主要包括加工中心、切削中心以及采用

计算机控制的其他种类机床，用于完成不同工序的加工。

(2) 物料搬运系统 (material handling system, MHS)。该系统是指由多种搬运装置构成，实现工件和加工刀具等的供给与传送的系统，是弹性制造系统的主要组成部分。该系统主要用于实现物料的存储和搬运，包括各种传送带、轨道、起吊设备和工业机器人等。

(3) 信息控制系统。该系统是指对加工和搬运过程中所需的各种信息进行收集、处理和反馈，并通过计算机或其他控制装置（液压和气压装置等）对机床或运输设备实行分级控制的系统。该系统主要用于处理弹性制造系统的各种信息，输出控制 CNC 机床和物料系统等自动操作所需的信息。

(4) 软件系统。该系统是保证弹性制造系统进行综合有效管理的必不可少的组成部分，确保弹性制造系统能够有效地适应中小批量及多品种生产的管理、控制及优化工作。该系统主要包括设计规划、生产过程分析、生产过程调度、系统管理以及监控等软件。

关于弹性制造系统在各方面的应用以满足大规模定制和个性化需求，国内外学者进行了大量的研究。随着各种各样个性化产品需求的增加，给传统制造业的生产计划和过程控制带来了巨大的挑战，因此对于大规模定制而言，弹性制造过程变得至关重要 (Tian et al., 2008; Terkaj et al., 2009a)。从大规模化定制的角度出发，目前有两种方法已经被广泛用来提高制造过程的弹性。一种方法是在一个产品簇中，利用共同的组件，设计标准化平台，来生产不同的产品以实现规模经济。因此，根据产品种类和生产流程之间的相似性，制造商可以构建能够快速响应产品设计改变的生产流程 (Colledani et al., 2008)。另一种方法是增加大规模定制弹性的方法是在制造过程中采用弹性制造系统。该系统包含现代信息和计算机技术 (ICT) 以及弹性制造工具，可以减少从产品设计到大规模定制生产的响应时间 (Terkaj et al., 2009b)。譬如，这种系统从接到定制鞋子的订单开始，到生产完成仅需要 5 天时间。该系统允许设计师在有限的成本内改变系统的计算机辅助设计 (CAD) 模块。劳动力和生产管理系统的弹性对于完成看似矛盾的大规模定制目标也是同等重要的。劳动力受教育程度较高，作出满足各种需求的决策将不会增加太多的成本。同样，对物料管理和物料搬运等活动进行有效的生产控制，对于实现大规模定制也是必不可少的。

综上所述，弹性制造系统对应对现代制造业中的个性化需求和实现大规模化定制至关重要 (Paraschidis et al., 1994)。作为弹性制造系统的关键部分，弹性物料搬运系统 (flexible MHS, FMHS) 在实施弹性制造的过程中起着战略性的作用 (Beamon, 1998)。根据 Tompkins 等 (2002) 的研究，总生产成本的 20%~50% 花费在物料搬运上。这使得物料搬运的主题变得愈发重要。除此之外，弹性制造系统的所有复杂性都转嫁到物料搬运系统上。因此，弹性物料搬运系统对

于运用弹性制造系统去满足高产品多样化的需求是至关重要的，如在服装制造领域的应用。

关于弹性物料搬运系统的研究引起了学术界广泛的关注。根据 Kim 和 Eom (1997) 的研究，弹性物料搬运系统主要分为以下几种类型：工业货车、传送带、自动导引车 (AGV)、吊车、工业机器人以及自动存储/检索系统 (AS/RS)。基于力/力矩感应的原理，Paraschidis 等 (1994) 开发了机器人系统用来处理物料搬运作业。物料处理机器人可以自动地完成生产线上一些繁冗的、乏味的以及不安全的作业，通过这种方式，物料搬运机器人可以提高生产线的效率，以及通过提供高质量的产品来增加客户满意度。自动导引车系统是一种完全不需要人力的自动化搬运系统，它可以在没有人力干预的情况下，在生产、物流、仓储和分销环境中安全地搬运各种产品，该系统的应用极大地降低了成本，同时提高了效率和效益 (Aldrich, 2015)。单位生产系统 (unit production system, UPS) 是一种自动化系统，在生产中极大地节省了时间，可以自动地记录产量，具有节省直接劳动力成本、提高空间利用率等优点 (Hill, 2015)。当产品种类多，而产量不大时，渐进式捆扎系统 (progressive bundling system, PBS) 是一种非常有效的系统，它对劳动力技术要求不高，而且在生产过程中可以控制产品质量，因而在服装行业得到了广泛应用。就市场占有率而言，瑞典的 Eton 系统在服装行业绝对是领头羊，该系统是一种基于 UPS 的典型弹性物料搬运系统，旨在消除人工搬运、最大限度地减少浮余动作，它能从根本上提高生产力，优化生产流程，并节省出更多的时间，用于产品增值 (Tait, 1996)。还有一种弹性物料搬运系统，即人工物料搬运系统，该系统在实际生产中仍然被广泛采用，如在电子制造业和服装业中的应用。人工物料搬运系统、工业货车以及吊车中涉及人力，因此这几类系统一般被归类为人力型物料搬运系统。工业机器人和自动存储/检索系统通常在一个固定场所作业，因此可以被归类为定点型物料搬运系统。其他的弹性物料搬运系统，如模块生产系统 (MPS)、快速反应系统、丰田生产模式等，都在不同的行业发挥了巨大作用。近年来，随着人工智能被应用于物料搬运领域，许多新型的物料搬运系统被开发了出来，其中包括 Dai 等 (2009) 设计的基于室内定位服务和无轨自动导引车的弹性物料搬运系统，该系统不仅拥有更好的经济绩效，而且可以大大地提高生产率，减少库存，满足大规模定制生产以及多样化产品生产的需求。

自从 20 世纪 60 年代自动化物料搬运系统提出后，就引起了学术界的广泛关注，其研究包括定量研究、定性研究以及两者相结合。物料搬运系统包括一系列的物料搬运设备和系统 (Tompkins et al., 2010)。物料搬运涉及在建筑物之间或建筑物和设备之间的短距离移动。它利用各种手动、半自动和自动化设备，包括在制造、仓储、分布、消费和处置过程中考虑保护、存储和控制物料。物料搬运通过处理、储存和控制物料，可用于创建时间和地点效用，不同于制造业，通过

改变物料的形状、形式和组成部分创造形态效用。物料搬运在制造业和物流材料处理中发挥着重要作用，贡献了超过 20% 的美国 GDP。在制造工厂、仓库和零售商店，几乎每一项实物贸易都通过输送机、叉车或其他类型的物料搬运设备进行搬运。物料搬运通常需要作为每个生产工人工作的一部分，在美国超过 650 000 人的工作是“物料搬运操作员”，其每年平均工资为 31 530 美元（2012 年 5 月）。这些操作员使用物料搬运设备在工业环境中运输各种货物，包括在建筑工地间运输建筑材料或运输货物到船上。物料搬运设备（系统）是指在同一场所范围内进行的、以改变物料的存放状态（即狭义的装卸）和空间位置（即狭义的搬运）的机器设备，其目的是提高企业的生产效率。不同类型的物料搬运设备一般可以分为四类：输送设备、定位设备、单位荷载生产设备和存储设备。

输送设备。输送设备被用来把物料从一个地点移到另一个地点，如工作站之间、装货区和存储区之间等。对输送设备进一步进行分类包括传送带、吊车和工业货车。当物料在固定的几个点之间频繁地移动时，就会采用传送机。传送机因其搬运的产品（单个卸载或批量卸载）而不同；或因传送机的位置（在地板上、不在地板上或在空中，以及装载物是否会积累在传送机上）而不同。积累能力允许每个单元沿着传送机输送的物料间歇性移动，但是不允许所有单元同时移动，因为没有足够的积累能力。吊车用来输送在有限的区域内不同路径的物料，与传送机相比，吊车具有更大的灵活性，因为需要搬运的物料的形状和质量可能会不同。但是与工业货车相比，吊车的灵活性则显得不足，原因很简单，工业货车可以在更大的区域内搬运物料，而吊车只能在有限的区域内运行。许多吊车运用电车和轨道在水平范围内移动，用起重机在垂直范围内移动，如果要进行精确的定位，就需要专业的操作员。目前，大多数吊车包括臂式、桥式、龙门式和塔式起重机。工业货车是一种不允许在公路上行驶的卡车，它可以在不同的地点间来回搬运物料。工业货车的运动没有区域限制，如果是有起重能力的卡车，它还可以进行垂直空间内的物料搬运。工业货车依据其是否有车叉搬运托盘、是否能提供动力或需要人力起重和运行、是否允许操作员驾驶或要求操作员随行、是否有堆垛能力以及是否能在狭窄的通道内运行而不同。手推车是最简单的工业货车，不能用来运输和堆垛托盘，没有动力并且需要操作员随行。托盘搬运车不能用来堆垛托盘，其前轮安装在延伸到地板上的叉子的末端，用来清理地板上的物料，以备后续的搬运。平衡式装卸车（有时指叉车）可以用来运输和堆垛托盘，并且允许操作员驾驶。狭窄通道小车通常允许操作员站立在小车上以减少其转弯半径。转叉式堆高机的叉子在堆垛时旋转以减少小车在狭窄通道内转向的需要。捡取机在拣货的过程中，可以改变操作者的高度。自动导引车是一种工业货车，可以自动装卸而不需要人力操作。

定位设备。定位设备用来处理一个单一位置上的物料，它可以在一个工作场

所进行供料、导向、装货/卸货或其他的物料搬运操作,以便后续工序的搬运、加工、运输或存储处在一个正确的位置上。与人工搬运相比,当物料搬运的频率很高时,使用定位设备可以提高每个工人的生产率;当搬运的物体质量很重或很难去持有和人为的失误或注意力不集中可能损坏物料时,使用定位设备可以提高产品质量和限制对物料的损坏;当环境是有害的或者人力不可接近时,使用定位设备可以减少疲劳和对人体造成的伤害。在许多情况下,定位设备是按照人体工程学的要求设计的。通常定位设备包括举起/倾斜/转向、起重机、平衡器、机械手以及工业机器人。机械手像人体的肌肉一样,可以平衡所要搬运物体的重量,这样操作员相当于只举起了物体质量的很小一部分(1%),它可以弥补起重机和工业机器人的不足。因此,与起重机相比,机械手可以用来完成大范围的定位任务;与工业机器人相比,机械手很灵活,因为工业机器人需要很多的人工控制。它们可以手动驱动、电动或气动,在机械手末端的执行器可以配备机械触手、真空触手、机电触手或其他工具。

单位荷载生产设备。当在一次荷载中运输和存储时,单位荷载生产设备用来限制物料以保持它们的完整性。如果物料是一个部分或连锁部分,接着不需要任何设备就可以形成一个单位荷载。单位荷载设备包括托盘、侧滑、滑脱板、垃圾箱/篮子、纸箱和袋子等。例如,托盘通常是由木头、纸、塑料、橡胶或金属做成的平台;侧滑是一片厚厚的纸片、波纹纤维或者塑料,可以通过特殊的推/拉叉车抓起物料。

存储设备。存储设备的设计,及其在仓储设计中的使用,可以最小化搬运成本,使物料容易获得以及最大化空间利用率。如果物料直接堆垛在地板上,没有存储设备,一般而言,每种不同的物料在仓库中的堆垛只有半满;为了增加空间的利用率,货架可用于允许多个不同项目在不同的水平上占同一层的堆栈空间。货架存储优于地板堆积存储,是因为每种物料所需要的存储单元减少了。类似地,每种物料的单位存储深度影响空间的利用率,并且与每种物料所需要的存储空间成正比。当每种物料的单元数量很小时,可以用托盘来存储。单个纸箱可以选择从托盘装载或可以存储在轻型货架上,这是为了方便先进先出(FIFO)。自动存储/检索系统(AS/RS)是一个集成的计算机控制相结合的存储系统,它把存储媒介、运输设备、不同水平的自动化控制结合起来,以快速和准确地随机存储产品和物料。

另外,电子商务是弹性物料搬运系统的一个重要应用领域。在电子商务发展的背景下,企业的生存环境发生了巨大的变化,市场的不确定性,客户需求的多样化,以及产品的生命周期越来越短,使得市场竞争愈发激烈,弹性制造以及电商仓库的运营面临极大的挑战。在此背景下,越来越多的制造以及电商企业开始探寻提高生产效率和改善客户服务质量的途径。物料搬运系统作为弹性生产系统

的战略组成部分，不仅占用了显著的生产成本，同时决定着整个生产系统的运行情况，因此，优化物料搬运系统成为很多企业在激烈市场竞争中取得竞争优势的一个制胜点。著名电商企业亚马逊在成立之初投入了大量资金用于市场推广，树立品牌，但在1997年之后便开始将资金更多地转向物流仓储和技术研发，截至2011年年底这两项的费用占比依然是最高的，可见亚马逊对于物流仓储和IT技术的重视程度，也正是因为这样，才保持了亚马逊的竞争优势，同时也为后来的盈利打下了基础。由于电子商务的规模效应以及前期的大量资源积累，亚马逊历经8年亏损，终在2003年迎来首次全年盈利，并从此进入了快速发展期，各类业务不断涌向市场。据《2015年度中国电子商务市场数据监测报告》统计，2015年中国电子商务交易额达18.3万亿元人民币，同比增长36.5%，增幅上升5.1个百分点。其中，B2B电商交易额为13.9万亿元，同比增长39%。网络零售市场规模达3.8万亿元，同比增长35.7%。中国B2C网络零售市场（包括开放平台式与自营销售式，不含品牌电商），天猫排名第一，占57.4%的市场份额；京东名列第二，占23.4%的份额；唯品会位于第三，占3.2%的份额；位于4~10名的电商依次为：苏宁易购（3.0%）、国美在线（1.6%）、1号店（1.4%）、当当（1.3%）、亚马逊中国（1.2%）、聚美优品（0.8%）、易迅网（0.3%）。在美国，2013年移动端的电子商务交易额高达388.4亿美元（约合2425.6亿元人民币），相较2012年的248.1亿美元（约合1549.4亿元人民币）增长56.5%，预计到2017年移动商务交易额将高达1085.6亿美元。在欧洲，根据2014年欧洲电子运营调查报告显示：2014年意大利电子商务交易额同比增长18%，达到130亿欧元，约合164.7亿美元。由以上统计数据可见，电子商务的发展潮流已经势不可挡，但是在其发展过程中仍然面临各种挑战。

在电商超市领域，存在竞争以及成本降低的压力巨大，而物流成本占重要比重，同时也有较大改善空间，特别是在物流配送中心的成本改善方面。在配送中心领域，订单拣选作业效率直接影响到整个物流的效率和经营效益，但目前在我国配送中心，自动化物流技术主要应用于仓储、码垛和搬运等作业环节，而工作量大、流程复杂的订单分拣自动化水平不高，需要大量的人工作业，且工作时间长，劳动强度高，效率低，出错率较高。传统的“人到货”拣选的半自动化技术，由于其工作量大、灵活性差、拣选流程复杂以及作业效率低，已经无法满足现代配送中心的技术要求，成为制约配送服务水平提高和电商发展的一大瓶颈。在国内，电商企业也有各自的物料搬运系统，其根本目的是快速响应需求，增强企业自身的竞争优势。但是，在快速变化的市场环境中，企业如何改进服务质量，满足顾客多样化需求，应对竞争压力，是一个难点问题。

为解决这一问题，越来越多的电子商务企业采用自动化的分拣系统，如亚马逊的Kiva自动化系统、京东的亚洲一号，其中以亚马逊的Kiva自动化系统最具

代表,其本质是一种弹性物料搬运系统,采用“货到人”拣选模式的 Kiva 自动化系统。Kiva 自动化系统是一种新型的、由多个机器人组成的物料搬运系统,省去了人工长距离来回移动,作业效率得到大幅提高。传统的配送中心一般是半自动化的,其基本设备主要有自动化立体仓库、搬运设备、输送设备、包装拆分设备以及分拣设备。Kiva 自动化系统通过主控制台、Kiva 移动机器人、可移动货架、工作台来实现订单拣选、包装、输送、二次分拣以及出入库作业。配送中心的 Kiva 自动化系统包括以下组成部分。

(1) 主控制台。Kiva 自动化系统的核心是主控制台,它依托于复杂的计算机算法控制技术,其中排队论和路线规划理论是核心算法,而 Wi-Fi (无线网络技术)、RFID (无线射频技术)、Kiva MFS (巡航技术) 以及二维条码技术等是整个系统的支撑。通过主控制台下达指令,Kiva MFS 的服务器直接与每个驱动单元通过 Wi-Fi 网络来连接,其中 Kiva 移动机器人利用驱动单元的巡航技术来读取地面网格的视觉记号,从而实现从货物到人的自动化。Kiva MFS 控制系统决定了每个客户的订单应该如何分配给拣选人员的问题,相比传统的物流自动化设备,Kiva 自动化技术必须与 WMS (现代仓储系统) 相融合,对系统的集成有非常高的要求。

(2) Kiva 移动机器人。在半自动化配送中心中,一般采用以车辆为主的搬运设备,如叉车、手推车、拖车。在 Kiva 自动化系统中,Kiva 移动机器人作为唯一的搬运设备,其行走速度可以达到 1.5 米/秒。在传统的配送中心,一天最多只能出库 70 万个品规的药品,但是自从引进 Kiva 自动化系统后,分拣人员不再需要来回移动寻找药品,更不需要记住每类药品摆放的位置,而是通过信息系统下达指令,由 Kiva 移动机器人快速将需要分拣的货架搬运至分拣人员面前,最快时可以达到一天出库 150 万个品规的药品,由此大大缩短了药品分拣的时间,提高了订单出库的速度。Kiva 移动机器人的结构比较简单,主要由六个系统组成,分别是:信息处理系统、搬运系统、顶升系统、定位检测系统、视觉系统、自动充电系统等。每个 Kiva 移动机器人上都装有一个信息处理系统,可以通过该系统来接收指令,然后对该指令进行处理,并控制机器人的行走方向路径选择以及检测障碍物和电池电量是否充足。顶升系统依靠 Kiva 移动机器人的螺旋升降装置,当 Kiva 移动机器人到达货架的底部时,通过螺旋升降机将货物举起来搬运离开地面。为了使 Kiva 移动机器人能够在搬运的过程中平稳搬运货架,在升降机旋转的过程中控制机器人底部的两个橡胶轮进行反向旋转。Kiva 移动机器人的前后都装有定位检测系统,能够运用红外线传感技术快速检测机器人周围的环境,识别是否有障碍物,一旦检测到周围有障碍物则自动停止,以避免碰撞。为了识别货架的信息和定位,在 Kiva 移动机器人的顶部中央位置和底部中央位置均装有一个摄像头,分别用来读取可移动货架底部的条形码,以及地上网格的视觉记号。Kiva



移动机器人是由电池驱动的，每充一次电，基本上可以工作 8 小时，一旦系统检测到电量降低，处理系统就会自动驱动机器人到固定的充电站自动充电，无需人工操作。

(3) 可移动货架。在配送中心内，Kiva 移动机器人必须和可移动货架一同使用，为了方便人工拣选，货架的高度按照人的平均身高进行设置。同时，为了使 Kiva 移动机器人能顺利搬运货架，在货架的底部设置了适合机器人作业高度的空间。

(4) 工作台。在整个 Kiva 自动化系统中，唯一需要人工操作的地方在于拣选工作台和补货工作台，但是拣货人员和补货人员都并不需要按照订单去寻找货物，也无需记住药品分类所摆放的位置，而是由 Kiva 移动机器人直接将订单中需要的药品所在的货架搬运到工作台，然后再进行订单的拣选或补货。工作人员只需站在工作台上，根据信号灯的提示进行药品的拣选或补货，并在完成后将信号灯熄灭即可，此时 Kiva 移动机器人将货架搬回至指定位置。

在配送中心运用 Kiva 自动化系统后，整个操作流程可以概括为：客户下达订单后，首先，主控制台接收新订单，并根据订单中不同的药品品规将其分配给最佳的 Kiva 移动机器人；其次，机器人接收到主控制台的指令后，根据系统规划的最短路径快速地找到相应的货架，并将货架搬运到对应的工作站台；再次，工作人员按照移动货架上的信号指示灯取出相应的药品后，按下按钮，向 Kiva 移动机器人和主控制台发送拣货任务完成的指令；与此同时，Kiva 移动机器人将自动判断其是否需要充电，如果需要充电，则机器人在工作人员完成拣货作业后自动进入最佳的充电区域；如果无需充电，则机器人通过自身的信息处理系统向主控制台发送任务完成、等待指令的信息；最后，主控制台根据新订单来判断该机器人上的移动货架是否需要补货。如果需要补货，则机器人将该移动货架搬运至补货工作台进行补货，然后再根据主控制台的指令按照新的规律将移动货架放置相应的位置；如果无需补货，则 Kiva 移动机器人根据主控制台的指令将可移动货架按照新的规律搬回相应的位置。

配送中心由于种类多、订单结构复杂，从而使得传统的“人到货”拣选的方式劳动强度大、效率极低，加剧了药品归类的困难。而 Kiva 自动化系统在配送中心领域的应用具有以下优势。

(1) Kiva 移动机器人代替了传统配送中心中的工作人员在众多静态货架间来回移动寻找货物，而是将需要分拣或补货的货架直接快速搬运至工作人员面前，这大大节约了订单处理和补货的作业时间，同时降低了工作人员的劳动强度。

(2) 整个 Kiva 系统采用的是可移动货架，不需要使用自动化穿梭车、立体仓库、堆垛机和输送带，也不需要每两个货架之间留有员工和货物的专门通道，因此节省了大量的空间，大大提升了仓库的存储能力，使得配送中心有限的面积