


制 · 造 · 业 · 高 · 端 · 技 · 术 · 系 · 列

# 智慧仓库规划与设计： 自动化拆零拣选系统配置优化



李明 著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

制造业高端技术系列

# 智慧仓库规划与设计： 自动化拆零拣选系统配置优化

李明 著



机械工业出版社

本书在介绍国内外智慧仓库装备技术发展现状的基础上,对智慧拆零拣选技术的三种类型——人到货拣选、货到人拣选和自动化拣选的研究现状进行了详细介绍。重点针对一类新型阵列式自动拣选系统的配置优化方法进行深入阐述,介绍了综合运用聚类算法、贪婪算法、迭代算法等工具,通过对系统拣选品项的选择与通道配比、品项分配以及列品项货位分配的综合优化,有效提高系统的拣选效率,降低现场人员的劳动强度的方法。

本书适合仓储物流部门的技术人员、物流企业的经营管理人员参考,也可供高校物流专业的师生研究使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

智慧仓库规划与设计:自动化拆零拣选系统配置  
优化/李明著. —北京:机械工业出版社,2018.8

(制造业高端技术系列)

ISBN 978-7-111-60270-5

I. ①智… II. ①李… III. ①自动化技术-应用-仓库管理 IV. ①F715.6-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第134589号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍

责任校对:樊钟英 封面设计:马精明

责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·7.75印张·128千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60270-5

定价:59.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

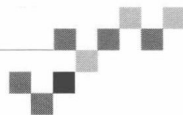
010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

# 序 1



随着电子商务和大规模定制化生产的快速发展,货物品种越来越多,订单批量越来越小,时效要求越来越高,仓库功能已经由传统的物料存储与保管为主,转变为以订单拣选和分拨作业为主。

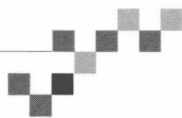
为应对仓库内越来越多的订单拣选任务,实现越来越快的订单履行效率,各类智慧拆零拣选技术在国内外得到广泛应用。例如我国商业烟草公司大量采用自动化通道拣选线实现了接近 30000 条/h 的卷烟分拣效率;在大型电商企业唯品会采用基于多层穿梭车系统的货到人拣选系统,实现每人每小时 300 ~ 500 订单行的拣选效率。由于智能装备一次性投入大,运营后期改动调整成本高,因此做好前期的规划与设计对智慧仓库至关重要。

本书系统地对人到货、货到人和自动化三类智能拆零拣选技术的研究现状进行了介绍,重点对自动化拆零拣选装备的配置优化进行了深入分析。由于本书作者在攻读博士期间参与了多项大型企业智能化物流系统集成项目,积累了丰富的现场实战经验,因此阅读本书可以了解当前国内外先进的智慧仓库技术,并且书中介绍各类优化方法对智能仓库的规划与设计具有较好的借鉴作用。

清华大学 蔡临宁

2018 年 8 月

## 序 2



随着中国特色社会主义进入新时代，我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。在当前体验经济的发展浪潮中，“线上+线下+物流”的“新零售”商业模式正在试图为消费者提供近乎完美的购物体验，而物流配送是体验中的重要一环，订单响应的时效性与准确性的要求正在逐渐逼近极限。传统的物流体系以人工辅以搬运装备作业为主，已经无法满足日益提高的服务标准，因此越来越多的企业在仓库和运输环节中，大量采用大数据、物联网、人工智能、自动化装备等智能技术应对挑战。大量新技术、新装备的应用与经验积累，为智慧物流体系的建立和研究奠定了丰富的实践基础。

物流科学是一门工程背景强且侧重于运用运筹优化理论知识解决实际问题的学科。在传统物流仓库规划与设计研究中，优化场景多以人为中心，通过货位的分区与布局优化、作业线路设计等方法提高人效、降低人工成本；随着智慧技术在仓库中的投入使用，优化场景转变为以智能装备为中心，通过设备布局与配比、品项分配和货位分配实现提高机效，充分发挥设备的使用价值。因此，优化场景的转换，为仓库规划与设计提供了大量更复杂、更深入的研究课题，也必将成为物流领域新的研究热点。

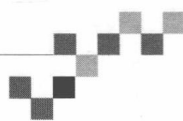
本书对智慧仓库内拆零拣选环节的新技术、新装备的研究现状进行了较为全面的介绍，在此基础上，以自动化拆零拣选设备为对象，研究了各类设备配置优化算法，采用现场实际订单数据，验证了算法应用效果。这些成果和方法是作者在长期的项目规划设计与设备开发调试过程中研究发现的，对自动化拆零拣选设备的应用和管理具有很强的借鉴作用，同时对仓库内其他智能装备的优化研究具有理论参考价值。

山东大学 吴耀华

2018年8月

# 前言

## FOREWORD



在全球产能过剩的大背景下，市场需求由低成本、标准化、大批量的产品，转向差异化、多元化、变化快的产品，导致物流服务面对的品项数量日趋庞大。在流通领域，电子商务的蓬勃发展减少了传统中间流通环节，为消费者提供了更优质的消费体验。但在物流过程中，以整托盘或整箱为单元的集中式作业逐渐被以产品基本包装为单元的碎片式作业所取代，增大了物流作业的复杂度。此外，随着新零售模式的兴起，即时化配送业务更是对订单的响应时间提出接近极限的要求。

智慧仓库是智慧物流系统的核心节点。它通过信息技术、自动化技术与数据技术深度融合，调度入库、存储、拣选、出库等各作业环节智慧仓库装备，优化配置库内人、设备、货物资源，实现库内作业高效化、运营数字化和决策智能化。智慧仓库具有灵活性、柔性化的特点，可以有效应对产业和消费升级对仓库提出的挑战。

订单拣选是指作业人员从库位上拣选货物来满足客户订单的作业过程，是仓库内劳动强度最大、投入成本最高的功能环节，同时也是决定客户最终体验的关键。随着电子商务及新零售的发展，配送中心的商品拣选日益呈现小批量、多品种、多批次、高时效的发展趋势，拆零拣选成为订单拣选中的主要作业内容。拆零拣选是指小于一箱数量货物的拣选，由于每个订单包含货物数量较少，但需要从成千上万种品项中快速拣选出货物的最小包装单位，且订单数量庞大，所以拆零拣选是影响配送中心作业成本和订单履行效率的重要因素。

本书对智慧仓库装备技术最新发展进行了全面介绍，重点对智慧拆零拣选技术的应用和研究进行阐述，详细分析人到货、货到人和自动化三类拣选技术的特点及研究现状。在此基础上，介绍了以医药配送中心中广泛采用的人工与自动化双分拣区模式为应用背景，以一类新型阵列式自动拣选系统为研究对象，通过对历史订单的数据分析，挖掘各类品项的库内活动特征，分析系统的拣选工作流程和人工补货工作流程，建立系统总节省人工成本模型和系统订单处理总时间模型，以系统总节省人工成本最大、订单处理总时间最小为目标，综合运用聚类算



法、贪婪算法、迭代算法等工具，对系统拣选品项的选择与通道配比、品项分配以及列品项货位分配进行综合优化，通过设备优化配置实现了拣选系统整体效益提升的方法。

当前，中国制造 2025 以及体验经济的发展为智慧物流提供了新的市场机遇，智慧物流领域应借助大数据、人工智能等数据技术的兴起与广泛应用，不断地寻求突破与创新，将数据技术与现有的自动化装备和信息技术有机融合，形成高效、准时、精益的智慧物流服务体系。

在本书编写过程中，本人博士生期间导师山东大学吴耀华教授、国内访问学者期间指导老师清华大学蔡临宁副教授提出了许多修改建议，在此致以衷心的感谢！

李明

2018 年 8 月于清华园

# 目 录



序 1	
序 2	
前言	
<b>第 1 章 绪论</b>	<b>1</b>
<b>1.1 智慧仓库</b>	<b>1</b>
1.1.1 智慧物流与智慧仓库	1
1.1.2 智慧仓库装备技术	3
1.1.3 智慧仓库规划与设计原则	6
<b>1.2 智慧拆零拣选系统简介</b>	<b>9</b>
<b>1.3 智慧拆零拣选系统研究现状</b>	<b>13</b>
1.3.1 人到货拆零拣选系统	13
1.3.2 货到人拆零拣选系统	18
1.3.3 自动化拆零拣选系统	29
<b>第 2 章 阵列式自动拣选系统</b>	<b>34</b>
<b>2.1 系统结构与布局</b>	<b>34</b>
2.1.1 阵列式自动拣选机结构	34
2.1.2 阵列式自动拣选系统布局	35
<b>2.2 系统人工成本分析</b>	<b>37</b>
2.2.1 配送中心仓库内作业流程	37
2.2.2 分拣区内人工成本分析	38
<b>2.3 订单处理总时间分析</b>	<b>40</b>
2.3.1 单机订单处理总时间	40
2.3.2 多机订单处理总时间	46
<b>2.4 小结</b>	<b>46</b>

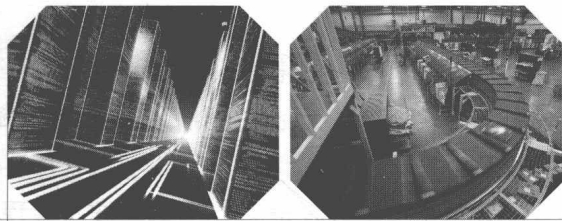


<b>第3章 拣选品项选择与通道配比优化</b> .....	<b>48</b>
3.1 分拣区人工成本模型 .....	48
3.2 通道配比优化问题 .....	50
3.3 自动化分拣品项选择优化问题 .....	52
3.3.1 连续空间最优品项选择法 .....	53
3.3.2 离散空间品项选择法 .....	54
3.4 实例分析 .....	55
3.5 小结 .....	60
<b>第4章 串行合流下单机品项分配优化</b> .....	<b>61</b>
4.1 品项分配模型 .....	61
4.2 品项间相关性分析 .....	62
4.2.1 基于拣选次数的品项相似系数 .....	62
4.2.2 基于拣选量的品项相似系数 .....	63
4.2.3 改进品项相似系数 .....	63
4.3 品项聚类算法 .....	64
4.3.1 单品项单通道 .....	65
4.3.2 品项分配通道数为变量 .....	66
4.4 实例分析 .....	67
4.5 小结 .....	75
<b>第5章 并行合流下单机列品项货位分配优化</b> .....	<b>76</b>
5.1 列品项货位分配模型建立 .....	76
5.1.1 拣货区工作时序 .....	77
5.1.2 订单处理总时间模型简化 .....	78
5.1.3 列品项与货位分配 .....	79
5.2 列品项货位分配模型求解 .....	81
5.3 实例分析 .....	84
5.4 小结 .....	88
<b>第6章 串行合流下系统配置综合优化</b> .....	<b>89</b>
6.1 综合优化建模 .....	89



<b>6.2 模型求解方法</b> .....	<b>91</b>
6.2.1 转为单目标优化问题 .....	91
6.2.2 启发式迭代算法 .....	92
6.2.3 配置方案改进策略 .....	93
<b>6.3 实例分析</b> .....	<b>98</b>
<b>6.4 小结</b> .....	<b>103</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>104</b>
<b>后记</b> .....	<b>112</b>

# 第 1 章



## 绪 论

### 1.1 智慧仓库

#### 1.1.1 智慧物流与智慧仓库

在全球产能过剩的大背景下，市场需求由低成本、标准化、大批量的产品，转向差异化、多元化、快变化的产品，用户需求驱动生产制造，C2M（Customer to Manufacturer）模式正在逐步兴起，物流服务面对的品项（Stock Keeping Unit, SKU）数量日趋“海量”化。例如，在我国医药或图书物流中心，SKU 数量都在 1 万个左右，而在电子商务物流配送中心，SKU 数量可能会达到数百万甚至数千万个。

在流通领域，电子商务的蓬勃发展减少了传统中间流通环节，为消费者提供了更优质的消费体验。在传统商业模式中，物流主要以整托盘或整箱为单元的大批量仓储和运输；而电子商务兴起后，小包装、多频次的快递包裹需求日益增多，订单结构“碎片”化特征日趋显著。国家统计局公布的数据显示，2017 年全国网上零售额达到 7.18 万亿元人民币，同比增长 32.2%，快递业务量 400.6 亿件，同比增长 28%。据阿里研究院预测，到 2020 年，我国网络零售额将超过 10 万亿元人民币，在社会消费品零售总额的占比将超过 20%，未来五年左右全年包裹量有望超过 1000 亿件。

随着新零售时代的到来，线上服务、线下体验和现代物流实现深度融合，对订单履行的时效性提出“即时化”的要求。例如国内一些新生的生鲜食品类企业为客户提供即时配送服务，承诺在下单后 2 小时甚至更短的时间内完成订单配



送业务。

产业和消费市场升级带来的海量化的 SKU、碎片化订单结构、即时化的响应时窗，给物流系统规划与设计带来了巨大的挑战。传统的物流信息化技术（例如仓库管理系统）和物流自动化技术（例如自动化立体仓库）在 20 世纪即已经开始应用，物流信息化技术解决了过程信息数字化问题，实现了信息的高效传递；物流自动化技术解决了作业机械化的问题，实现了人工作业强度的降低。以上传统物流技术已无法满足新商业模式对物流系统提出的更高要求。

进入 21 世纪，以物联网、大数据、云计算和人工智能为代表的数据技术的日趋完善及成功的商业化应用，为智慧物流的产生和发展提供了技术基础。智慧物流是基于信息技术、自动化技术、数据技术，实现了物流系统的状态感知、智慧分析、精准执行，以最合理的成本满足物流服务需求的现代物流体系。智慧物流具有灵活性、柔性化的特点，可以有效应对海量化的 SKU、碎片化订单结构、即时化的响应时窗所带来的传统物流体系运营成本增加和效率无法满足等问题。

智慧仓库是智慧物流系统的核心节点。它通过信息技术、自动化技术与数据技术深度融合，调度入库、存储、拣选、出库等各作业环节智慧仓库装备，优化配置库内人、设备、货物资源，实现库内作业高效化、运营数字化和决策智能化。

具体来说，智慧仓库一般包含针对人、设备、货物三个仓内要素的智慧管控模块。下面具体说明：

**针对人的智慧管控模块：**人员信息采集，进行入仓预置、角色划分、权限设置，构建人力资源数据库；人员作业优化调度，记录人员行为轨迹，对人员工作强度分析，通过智能算法实现人员工作量均衡分配；对人员进行数据化绩效考核，构建智慧人员培训体系，挖掘人员各方面技能知识的缺失情况，设置个性化的网络培训课程和考试纲目体系。

**针对设备的智慧管控模块：**设备基础信息建立，包含设备台账信息、故障类型、配件耗材需求等信息，构建设备资源数据库；设备合理选型与配置，设备运行监控和优化调度，故障实时报警；记录设备运行数据日志和维护计划，构建智慧化的设备日常保养和巡查点检、故障时的设备检修维护。

**针对货物的智慧管控模块：**货物基础信息建立，包含类型、效期、外形尺寸和重量等信息，构建货物资源数据库；对货物在库内收货、上架、存储、拣选和发货全流程管理和追踪；优化仓库布局和储位分配，分析仓库空间利用率。

## 1.1.2 智慧仓库装备技术

相比传统仓库，智慧仓库的一个显著特征是在系统执行层应用了各类智慧装备技术，包括自动导引运输车、无人叉车、货架穿梭车、智能穿戴设备等，主要用于仓内收货、上架、存储、拣选、集货、发货各工艺环节，可有效提升仓内的操作效率，降低物流成本。

### 1. 收货上架环节智慧技术

#### (1) 自然导航无人叉车

托盘搬运作业是将整托盘货物从运输车辆上搬运至收货区等待质检入库。传统自动化解决方案采用激光或惯性导航的无人叉车实现托盘搬运作业。这些无人叉车通常只能在某个固定的区域内，人为地设置好反光板、磁钉等标记物或反射器，不能随意地变化工作环境，存在很大的局限性。基于 SLAM (Simultaneous localization and mapping, 同时定位与地图创建) 技术实现无人叉车的自然导航，不需要安装标记或反射器，只需让装有环境感知传感器的无人叉车在未知环境中从某一位置出发，根据其移动过程中内部与外部传感器获取的感知信息进行自定位，同时逐渐建立一个连续的环境地图，然后在此地图的基础上可以实现无人叉车的精确定位与路径规划，完成导航任务<sup>[1]</sup>。自然导航无人叉车具有安装时间短、投入成本低、自由创建新路径等特点，是下一代智能无人叉车的发展方向。

#### (2) 智能拆垛机械手

拆垛作业是将转运托盘上码放的货物一箱箱搬运到输送线上。传统自动化解决方案是采用工业机器人手臂抓取或吸取完成，由于工业机器人手臂作业控制依据的是计算机系统数据库中存储的箱型尺寸和码垛规则，而不在现场识别作业对象，因此只能实现从同一托盘中取出相同规格的箱子，当面临成千上万种货物箱型时数据库的维护是一个非常繁重的任务。电商公司收到的同一托盘上的货物箱型大小不一，且码垛无固定规则，传统工业机器人手臂难以操作。智能拆垛机械手借助 3D 视觉和深度学习算法，实现工业机器人手臂作业的自我训练、自我校正，无须箱型和垛型的数据库维护。工业机器人通过 3D 深度摄像头识别顶层货物轮廓，当首次拾起一个箱子时，它就建立起了一个关于箱子外形的模型，并基于这个模型加快对下一个箱子的识别。

### 2. 存储环节智慧技术

在传统集中式作业过程中，同一品规的货物以托盘为单元大批量进出仓库，存储环节最常用的自动化解决方案是自动化立体仓库 (Automated Storage and Re-



trieval System, AS/RS), 货物以托盘为单位存储在高位货架上, 通过堆垛机完成托盘出入库作业。而在碎片式作业过程中, 为便于后期海量品项、成千上万订单行的拆零拣选, 货物更多以料箱方式进行存储, 借助智能调度算法指挥小车群体完成货物出入库作业。

### (1) KIVA 机器人系统

KIVA 机器人系统由成百上千个举升搬运货架单元的机器小车组成<sup>[2]</sup>。货物开箱后放置在货架单元上, 通过货架单元底部的条码将货物与货架单元信息绑定, 仓库地面布置条码网格, 机器小车应用两台摄像机分别读取地面条码和货架单元底部的条码, 在编码器、加速计和陀螺仪等传感器的配合下完成货物搬运导航。此外, 机器小车不支持移动与转向同步, 转向时需要固定在原地位置进行。该系统的核心是控制小车的集中式多智能体调度算法<sup>[3]</sup>。

### (2) 自动穿梭车仓库系统 (Autonomous Vehicles Storage and Retrieval System, AVS/RS)

KIVA 机器人系统受货架单元的高度限制, 仅能实现货物在平面空间上的存储, 而自动穿梭车仓库系统则采用立体料箱式货架, 实现了货物在仓库内立体空间的存储。入库前, 货物经开箱后存入料箱, 通过货架巷道前端的提升机将料箱送至某一层, 然后由该层内的穿梭小车将货物存放至指定的货格内。当货物出库时, 通过穿梭车与提升机的配合实现完成<sup>[4,5]</sup>。该系统的核心是通过货位分配优化算法和小车调度算法的设计, 均衡各巷道之间以及单个巷道内各层之间的任务量, 提高设备间并行工作时间, 发挥设备的最大工作效率。

### (3) 细胞单元系统

KIVA 机器人系统中的自动导引小车实现地面搬运, 自动穿梭车仓库系统中的穿梭车实现货架轨道上的搬运, 新型细胞单元系统则是以上两种技术的融合。当细胞单元小车在货架或提升机上时, 按照传统自动穿梭车的工作方式在轨道上运动; 当离开货架到达地面时, 可以切换至自动导引小车的工作方式在地面运行。在地面上的导航方式不同于 KIVA 机器人系统, 采用的是基于无线传感网测距、激光测距仪测量和推测航行法的传感器融合技术, 无线传感网实现信息通信以及全局定位, 而激光测距仪测量和推测航行法实现位置跟踪和定位精度校正, 相比 KIVA 机器人系统地面标签配合惯性导航的方式更加灵活<sup>[6]</sup>。细胞单元系统将立体货架存储空间与地面平面存储空间无缝链接在一起, 代表了可扩展、高柔性化的小车群体技术的未来发展方向。

## 3. 拣选环节智慧技术

订单拣选方式分为人工拣选和自动化拣选两种类型。

### (1) AR 辅助拣选技术

传统的人工拣选解决方案采用手持 RF (Radio Frequency, 无线射频) 拣选、电子标签拣选 (Pick to Light) 或语言拣选 (Voice Directed Picking) 方式。拣货人员根据货架上的指示灯或者手持 RF 以及穿戴设备中的提示, 拣取货架中的货物。传统的人工拣选方式虽然作业准确率提高, 但是要求拣货人员熟悉库房的布局。通过虚拟增强现实技术 (Augmented Reality, AR) 将真实世界和虚拟世界的信息进行“无缝”集成, 通过 AR 眼镜自动识别库房环境, 定位待拣货物位置, 并自动规划拣选路径, 建立线路导航, 指引作业人员以最短的时间到达目标拣选货位, 通过 AR 眼镜自动扫描货物条码, 指导作业人员准确获取商品, 解放双手, 可大幅提高拣选作业效率<sup>[7]</sup>。

### (2) 阵列式自动拣选技术

传统的自动化拣选设备是以 A 字架系统为代表的通道式拣选机, 同一品项货物被整齐叠放在立式通道内, 借助通道底部的弹射机构将货物拣选至输送线上, 由于拣选通道沿输送线平行排列, 单一货物品项分拣占地面积大, 且设备成本较高, 主要适用于拣选量大且集中于有限品项的配送中心, 当面对拣选量大且涉及品项多的订单处理任务时, 常因空间布局和设备成本限制而无法使用。为此阵列式自动拣选机设计研发并得到成功应用。阵列式自动拣选系统 (Matrix Automated Order Picking System, MAOPS) 是一类由大量水平倾斜式拣选通道在空间中排列组合而成的新型自动化拆零拣选系统。所有拣选通道以一定倾角在设备上安装, 通道底部装有流利条, 货物放置在流利条上, 在重力作用下滑向通道前端。在每个拣选通道的前端装有一个弹出机构, 弹出机构每动作一次, 都会将通道最前端的单件货物拣出, 拣出货物沿挡板下滑至输送线上, 通道内剩余货物在重力作用下不断补充到弹出机构上, 保证货物拣选的连续性。通道宽度可在一定范围内调整, 以适应不同的货物尺寸, 但每个通道内仅放相同品项的货物, 拣选量大的货物可同时存储在多个拣选通道内。相同长度输送线对应的拣选通道数量约是 A 字架系统的 5~7 倍, 而设备成本仅为 A 字架系统的 1/10~1/5。

### (3) Delta 机械手拣选技术

阵列式拣选技术主要适用于包装标准的盒装品拣选, 无法满足袋装、瓶装等其他货物包装类型的拣选需求。瑞典 Reymond Clavel 教授在 20 世纪 80 年代提出 Delta 并联机器人, 其机械手的驱动电动机被设计在机架上, 从动臂可以做成轻杆, 因此末端可以获得很高的速度和加速度, 特别适合轻型货物的高速分拣操作<sup>[8]</sup>。基于摄像机和计算机来模拟人的视觉功能, Delta 机械手能够实现动态拣



选，并且机械手可以根据产品的不同尺寸和种类更换拾取器，因而适用的包装类型可以多种多样。此外，为了保证抓取的准确性，Delta 机械手需要借助人工智能技术训练同种商品在不同姿态下的识别准确率。

#### 4. 集货发货环节智慧技术

在发货区内根据送货线路不同划分不同区块，集货分拣作业是将拣选完成的订单放置在对应送货线路的区块内。传统的自动化解决方案多采用基于斜轮分流器、滑块分拣机或交叉带机的自动化分拣线，分拣线仅能解决订单按照送货线路分类集中，但无法实现订单按照送货线路的固定顺序排列，只有等到装车发货时，由发货人员根据送货线路由远及近的客户顺序，将相应的订单货物依次挑出，装入车厢内，这严重影响装车效率。

智能发货分拣系统采用自动穿梭车技术，拣选完成的订单存储在立体货架内，穿梭车的存取货叉可根据箱型尺寸进行货叉间距调整，因而可以适用于不同尺寸的货物和不同类型的包装。当接到发货装车指令，订单货物会根据送货线路由远及近的客户顺序依次从货架中取出，通过输送线送至装车区域，若配合伸缩带机，可实现直接装车，减少了中间二次搬运环节，可大幅改善装车效率。此外，由于订单在发货区货架内进行立体存储，相比传统发货区的地面平面存储方式，空间利用率得到显著提高。

综上所述，智慧仓库装备技术发展有两个显著特点：一是基于数据挖掘、人工智能算法和自动感知识别技术机器人的快速融入；二是人机间的友好高效协作。对于拆垛、拣选等抓取类作业，配备 3D 机器视觉和人工智能算法的机械手可以逐渐应对各类外形重量的商品；对于卸车、入库、出库、集货等搬运类作业，配备各类导航设备和调度算法的自动导引小车机器人可以协同完成。机器人的融入，使得传统仓储物流系统由刚性变为柔性，而人工智能则使得物流作业更加高效和精准。与此同时，受商品多样性和高额建设成本的限制，全部采用机器人作业的无人仓仅会出现在个别行业或企业内部，并不具备一般适用性，因此在更多应用场景中会采用人机协作模式。例如在订单拣选环节中，KIVA 机器人系统或自动穿梭车仓库系统将待拣选货物物料箱送至拣选台，由人工来完成拣选作业，人工拣选效率的提高依赖于拣选工位的设计，需要增加人机界面的友好性，让人工作的更愉快、更舒适，把工位做得更加人性化、智能化，可有效避免差错。

### 1.1.3 智慧仓库规划与设计原则

20 世纪五六十年代，仓库的作用主要是物料的存储与保管。随着 20 世纪 70

年代准时制（Just in Time, JIT）生产模式的快速兴起，小尺寸订单变得越来越多，库存变得越来越少，库存的减少使得对订单分拣活动的需求越来越大，仓库中设置专门的功能空间用于订单分拣作业。存储与保管为主要职能的仓库转换为集货物存储与订单分拣为一体的配送中心。20世纪90年代开始，延迟生产、大规模定制、供应链整合和物流全球化快速发展，仓库内部涌现出大量的越库作业和增值服务活动。配送中心演化变为物流中心，即在传统仓储与订单分拣功能基础上，增加了定制加工贴标和包装、装配、国际运输准备、越库作业等过程<sup>[9]</sup>。

### 1. 基本工艺流程

尽管仓库的类型与功能存在差异，但是仓库内部的主要工艺流程都基本相同。仓库的基本工艺流程如图1-1所示。

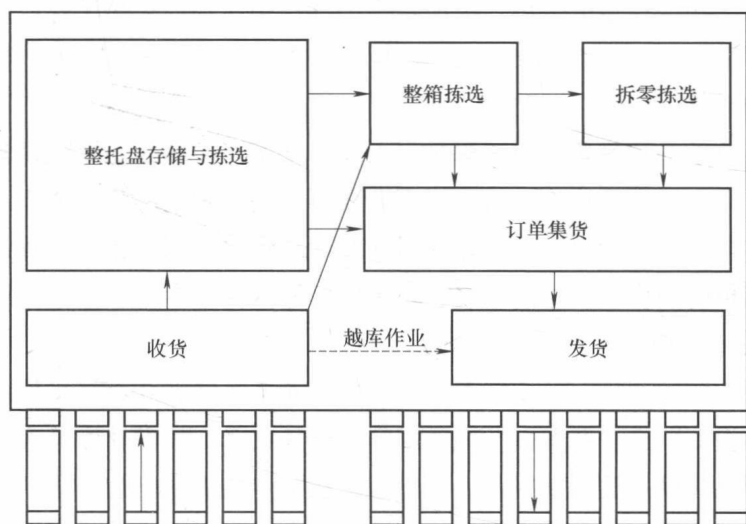


图 1-1 仓库的基本工艺流程图<sup>[9]</sup>

1) 收货与上架：对来货进行入库前卸货和接收；对货物数量和质量进行验收；将货物进行上架作业，搬运货物，并将其放置于指定存储位置。部分仓库具有越库流程，将入库的货物直接从收货区搬运至发货区，即一收货就开始履行订单。

2) 存储：存储是货物在等待出库指令前的存储过程。

3) 订单拣选：订单拣选是根据客户的订货需求，将货物从库内存储区或分拣区取出的过程，是仓库提供客户的一项最主要服务。根据拣选货物单元类型不同，通常把订单拣选作业分为托盘拣选作业、整箱拣选作业和拆零拣选作业。

4) 集货、发货：集货包括订单合流或订单分拣，订单合流将订单拆分至各个分区拣选的货物合并至单个订单或订单组，订单分拣是将批次拣选订单组货物