

自动化立体仓库 规划设计、仿真与绩效评估

编著◎马向国 姜旭 胡贵彦

主审◎刘昌祺

色专著

自动化立体仓库规划设计、 仿真与绩效评估

编著 马向国 姜 旭 胡贵彦

主审 刘昌祺

中国财富出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

自动化立体仓库规划设计、仿真与绩效评估/马向国, 姜旭, 胡贵彦编著. —北京:
中国财富出版社, 2017.3
ISBN 978-7-5047-6419-5

I. ①自… II. ①马…②姜…③胡… III. ①自动化技术—应用—立体仓库—仓库管理 IV. ①F715.6-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 048037 号

策划编辑 颜学静

责任编辑 禹冰

责任印制 方朋远

责任校对 杨小静

责任发行 敬东

出版发行 中国财富出版社

社址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼

邮政编码 100070

电话 010-52227588 转 2048/2028 (发行部)

010-52227588 转 307 (总编室)

010-68589540 (读者服务部)

010-52227588 转 305 (质检部)

网址 <http://www.cfpress.com.cn>

经销 新华书店

印刷 北京京都六环印刷厂

书号 ISBN 978-7-5047-6419-5/F·2726

开本 787mm×1092mm 1/16

版次 2017 年 6 月第 1 版

印张 19.5

印次 2017 年 6 月第 1 次印刷

字数 450 千字

定价 148.00 元

版权所有·侵权必究·印装差错·负责调换

内容提要

本书是为了适应现代物流业发展需要，力求从自动化立体仓库构造与布局、设施与设备、评估与仿真、人工智能以及应用案例的各个方面进行比较全面的介绍，既强调自动化立体仓库规划运营的方法和技术，又立足于自动化立体仓库实际建设问题的解决，并给出了自动化立体仓库技术发展的最新案例。主要内容包括：自动化立体仓库概论、自动化立体仓库的构成及物流作业流程、自动化立体仓库的布置与规划、自动化立体仓库的规划设计、自动化立体仓库的物流设备与设施、自动化立体仓库的密集储存、自动化立体仓库的进出库系统和自动识别技术、自动化立体仓库管理系统、自动化立体仓库的低碳环保设计及评价体系、基于 Flexsim 软件的自动化立体仓库仿真、自动化立体冷库设计、自动化立体仓库的绩效评估。

本书适合于物流管理、物流工程、物流设备工程、交通运输工程、管理科学与工程、系统工程等专业的本科生或研究生作为系统仿真相关课程学习的教材或教参，也可供其他领域的学生、学者及科技人员参考使用。随书附有仿真案例模型。

前 言

自动化立体仓库(AS/RS)是物流仓储中的热门概念,其在我国的兴起充分说明了这种仓储设备的强大优势。利用立体仓库设备可实现仓库高层合理化、存取自动化、操作简便化;自动化立体仓库是当前技术水平较高的形式。自动化立体仓库是由立体货架、有轨巷道堆垛机、出入库托盘输送机系统、尺寸检测条码阅读系统、通信系统、自动控制系统、计算机监控系统、计算机管理系统以及其他,如电线电缆桥架配电柜、托盘、调节平台、钢结构平台等辅助设备组成的复杂的自动化系统。运用一流的集成化物流理念,采用先进的控制、总线、通信和信息技术,通过以上设备的协调动作进行出入库作业。因此,对自动化立体仓库的设施与设备、规划布局、系统构造以及低碳环保与绩效评估等的研究,是物流系统工程技术人员及管理人士的必修课。

全书从实用角度出发,理论联系实际,图文并茂,首先介绍了自动化立体仓库的概念、构造与布局设计;其次介绍了自动化立体仓库的设备和相关技术;再次介绍了自动化立体仓库的绩效评估及仿真建模,紧接着介绍了自动化立体仓库的典型案例和计算;最后介绍了人工智能在自动化立体仓库系统中的应用。通过上述理论和实践知识可以充分培养学生综合了解、设计、优化和管理自动化立体仓库的能力,对学生理论联系实际的能力具有很好的指导作用。

本书由马向国、姜旭、胡贵彦编写,刘昌祺教授主审,并提出了许多宝贵的修改意见。此外,本书在编写过程中还得到了北京物资学院物流学院领导、同事的热情支持,得到了陕西科技大学机械学院相关教师的帮助,在此一并表示感谢。同时感谢物流工程专业研究生詹晓辉、葛莉莉、王丽、吕耀、蒋荣芬、苏辉辉在本书编写过程中给予的协助。

本书得到了中国财富出版社的大力支持,在此也要特别感谢本书的责任编辑为本书的编辑工作付出的努力。

本书在编写的过程中,作者参考了大量的资料和文献,由于篇幅所限,没有全部列入参考文献,在此对这些资料的作者深表谢意。

由于编写时间仓促,加之作者水平和精力有限,许多内容未能完善和进一步深入,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。欢迎读者通过电子邮箱(mxg105@163.com)与作者进行更多的交流和探讨。

作 者

2017年1月10日

目 录

1 自动化立体仓库概论	(1)
1.1 自动化立体仓库的概念及发展历史	(1)
1.2 自动化立体仓库在现代化配送中心的作用	(3)
1.3 自动化立体仓库的类型和功能	(6)
1.4 自动化立体仓库国内外发展现状和发展趋势	(8)
2 自动化立体仓库的构成及物流作业流程	(11)
2.1 自动化立体仓库的构成及各功能区	(11)
2.2 自动化立体仓库的作业流程	(16)
2.3 进货作业	(17)
2.4 搬运作业	(21)
2.5 储存作业	(23)
2.6 存货管理	(26)
2.7 盘点作业	(29)
2.8 订单处理	(32)
2.9 拣货作业	(33)
2.10 补货作业	(37)
2.11 出货作业	(40)
3 自动化立体仓库的布置与规划	(43)
3.1 自动化立体仓库规划的基本要求	(43)
3.2 自动化立体仓库的规划原则	(48)
3.3 自动化立体仓库的规划步骤	(49)
3.4 自动化立体仓库的布局方式	(51)
3.5 自动化立体仓库的出/入库能力计算	(57)
3.6 自动化立体仓库的最佳参数选择	(60)
3.7 自动化立体仓库的系统尺寸	(61)



4 自动化立体仓库的规划设计	(67)
4.1 自动化立体仓库的战略分析、要求及总体设计	(67)
4.2 建筑要求、土建及公用工程设施	(71)
4.3 货架、托盘及堆垛机等主要设备的选型	(72)
4.4 自动化立体仓库的区域布置规划	(77)
4.5 总体运行成本计算设计实例	(86)
5 自动化立体仓库的物流设备与设施	(90)
5.1 存储设备	(90)
5.2 搬运设备	(100)
5.3 输送设备	(108)
5.4 其他物流相关设备	(118)
6 自动化立体仓库的密集储存	(123)
6.1 流动式货架	(123)
6.2 移动式货架及其密集式智能化仓库	(129)
6.3 后推式货架	(140)
6.4 滑板式货架	(142)
6.5 高密度重力式分拣自动机	(143)
6.6 密集储存和穿梭车	(152)
7 自动化立体仓库的进出库系统和自动识别技术	(156)
7.1 自动化立体仓库的进出库系统概述	(156)
7.2 进出货系统机械化和自动化	(159)
7.3 自动识别技术及其应用	(165)
8 自动化立体仓库管理系统	(176)
8.1 自动化立体仓库的信息管理系统	(176)
8.2 储位管理	(177)
8.3 储位编码与货物编号	(182)
8.4 储位指派方式	(184)
8.5 在库管理和出/入库管理系统	(185)
9 自动化立体仓库的低碳环保设计及评价体系	(191)
9.1 仓储系统低碳性评价的内涵和作用	(191)
9.2 仓储系统低碳性的评价体系	(192)
9.3 评价指标的提出	(193)



9.4 评价指标的具体含义和表达式	(196)
10 基于 Flexsim 软件的自动化立体仓库仿真	(205)
10.1 Flexsim 软件介绍	(205)
10.2 Flexsim 仿真环境及关键技术	(207)
10.3 Flexsim 建模的相关概念	(219)
10.4 Flexsim 仿真模型建立	(224)
10.5 某物流中心自动化立体仓库概况	(237)
11 自动化立体冷库设计	(255)
11.1 冷库概述	(255)
11.2 自动化立体冷库概述	(256)
11.3 自动化立体冷库的特殊技术要求	(262)
11.4 自动化立体冷库中电器设计	(264)
11.5 冷库设计实例	(266)
12 自动化立体仓库的绩效评估	(278)
12.1 自动化立体仓库的绩效评估概述	(278)
12.2 自动化立体仓库的绩效指标	(280)
12.3 自动化立体仓库的绩效评估实例——马尔可夫分析方法的应用	(283)
12.4 自动化立体仓库绩效评估的仿真分析	(294)
参考文献	(301)

1 自动化立体仓库概论

1.1 自动化立体仓库的概念及发展历史

1.1.1 自动化立体仓库的概念

自动化立体仓库 (Automatic Storage & Retrieval System, AS/RS), 简称“立库”, 又称高层货架仓库、自动存取系统、自动仓储控制系统等。自动化立体仓库通常由高层货架、工位器具、自动存取设备、出/入库工作台、输送机系统、GV 系统 (自动导向小车)、自动控制系统、计算机管理系统等组成。一般而言, 输送机系统又被划分为自动化立体仓库的外围设备。自动化立体仓库的作业流程可简述为: 用高层立体货架储存货物, 计算机管理系统传达作业指令, 自动控制系统驱动 GV 系统、自动存储系统和输送机系统, 从而使得仓库内自动化设备按指令自动完成货物的存取作业, 并对库存的货物进行自动化管理的过程。在这一过程中, 物流与信息流紧密联系, 相互作用, 其状态变量均有时时更替的特性, 这是自动化立体仓库区别于传统仓库的标志之一, 也是物流配送中心现代化的标志之一。

自动化立体仓库的货架是用于承载货物的钢结构, 可以独立于建筑物之内, 也可以嵌在建筑内部。目前比较常见的货架是焊接式货架和组合式货架, 且呈现焊接式货架的市场占有比重渐少, 组合式货架的市场占有比重渐增的趋势。自动化立体仓库的工位器具, 顾名思义, 即用于承载货物的器具, 主要有托盘、货箱、抽屉等。自动化立体仓库中较为常见的自动存取设备是巷道堆垛机, 能完成搬运、提升、起重、堆垛等操作, 按服务运行方式的不同, 又可分为直道、弯道和转移车道三种基本形式。自动化立体仓库的出/入库工作台是在实际货物运转过程中衔接下道作业流程的缓冲点或中转区, 通常有三种设置方式, 即在货架的一侧端口、在货架的两侧端口和在货架的中间端口。自动化立体仓库的 GV 系统, 按作业方式的不同, 又可分为感应式导向小车和激光式导向小车。自动化立体仓库的自动控制系统具有驱动立库系统内各自动化设备的功能, 主要采用现场总线方式控制。自动化立体仓库的计算机管理系统 (即存储信息管理系统) 是立库的核心部分, 具有采集大型数据库系统构建典型的客户机/服务器体系的功能, 并可以与其他系统 (如企业的 ERP^① 系

① ERP: Enterprise Resource Plannins, 企业资源计划。



统等) 端口互联和集成。输送机系统是自动化立体仓库的主要外围设备, 与出/入库工作台的静态中转特性相比, 具有动态特性, 负责将货物运送到堆垛机或从堆垛机移走或将堆垛机送到另一个巷道上。常见的输送机有升降台、分配车、辊道输送机、皮带机等。

与普通仓库相比, 自动化立体仓库具有诸多优势, 主要集中在以下几个方面。

1. 提高空间的利用效率

自动化立体仓库能充分利用仓库内的横向与纵向空间, 实现高密度自动化存取, 单位面积存储量是普通仓库的 5~10 倍。以烟草行业为例: 传统单层托盘地面堆放为 2.2 箱/平方米, 3 层托盘货架存放为 3.0 箱/平方米, 而自动化立体库 (9 层货架) 存放达到 7.8 箱/平方米。此外, 土地利用率的提升, 使得仓库占地面积减少, 从而减少了基建土地投资成本, 节约了资源和提升了环境保护的力度。

2. 提高货物存储质量

在自动化立体仓库的出/入库作业及货物调度过程中, 立库结合巷道设置, 使用坐标化管理, 通过计算机管理系统, 对货物实现实时管控, 高效准确地盘点库存, 使物资流动更加快捷, 最终全方位地提高货物的仓储质量。另外, 自动化立体仓库相对密封化的管理方式为货物提供了较好的储存与养护条件。

3. 提高生产效率

自动化立体仓库可以准确地实现货物入库、出库、再入库, 货物盘点、清仓核资、库存显示, 并及时自动将托盘送入生产线、将成品送到出库区, 这保障了立库具有对货物的快速出/入库能力。这一特性是普通仓库望尘莫及的。

现代存取设备的使用, 不仅可以提高货物的存取速率, 而且降低了因人为因素造成的货物损耗概率, 从而保障了货物存储的安全性。随着经济的飞速发展, 某些特殊工业环境对货物的存储环境有着特殊的附加要求, 如低光、低温、耐热等。自动化巷道堆垛机以及其他自动化设备的使用, 满足了特殊存储环境的要求。综合而言, 自动化立体仓库系统为最大化地提升生产效率提供了保障。

4. 利于构建先进的物流系统, 提高企业生产管理水平

在物流成本中, 仓储物流成本所占比重较大, 是第三方利润源中不容忽视的黄金地段。自动化立体仓库扩充了传统仓库的单一存储职能, 对物资进行高效的运作管理 (主要是计算机管理系统和自动化物料搬运设备的使用), 使得货物由“静态存储”向“动态存储”转变, 并形成了集约化的信息流, 是生产各环节的纽带, 是企业物流系统中不可或缺的一部分, 为管理决策提供必要的精准化依据。

然而, 自动化立体仓库不可避免地存在一些不足之处。与普通仓库相比, 自动化立体仓库的最大缺点是前期投入较大 (包括人力、物力、财力), 设备维修费用较高。但就长远利益以及综合效益而言, 自动化立体仓库具有后发优势和理性经济价值。



1.1.2 自动化立体仓库的发展历史

“存储”的概念由来已久，可以追溯到人类社会早期。然而，“仓储”这一专有名词的出现，却经历了漫长的历史演变过程。“自动化立体仓库”作为仓储的较高发展阶段，其研制与发展和物流业的迅速崛起息息相关。自动化立体仓库从产生到现在大致经历了五个阶段，即人工仓储阶段、机械化仓储阶段、自动化仓储阶段、集成化仓储阶段和智能自动化仓储阶段。

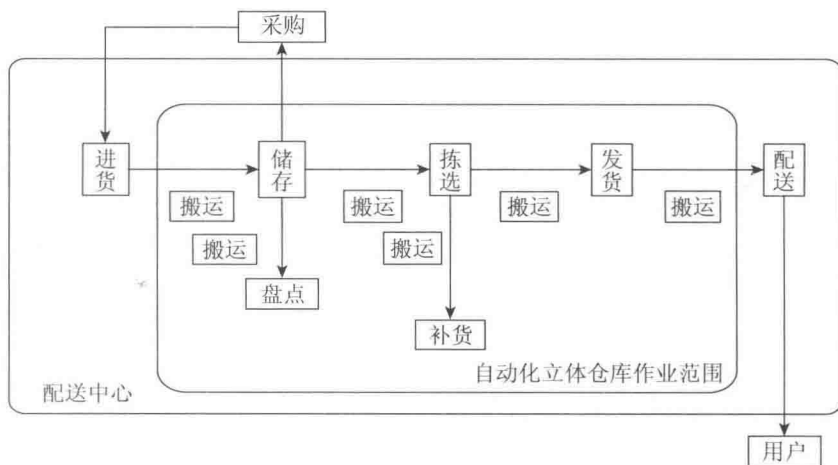
20世纪50年代初，美国出现了采用桥式堆垛起重机的立体仓库；50年代末60年代初出现了司机操作的巷道式堆垛起重机立体仓库；1963年美国率先在高架仓库中采用计算机控制技术，建立了第一座计算机控制的立体仓库。此后，自动化立体仓库在欧美等工业化发达国家得到迅速发展，并形成了专门的学科。60年代中期，日本开始兴建立体仓库，并且发展速度迅猛，成为当今世界上拥有自动化立体仓库最多的国家之一。70年代以来，发达国家大力推广商品物流自动化、标准化、信息化，发展城市商品集中配送中心，纷纷建立大型自动化仓库。进入80年代，自动化立体仓库在世界范围内迅速发展，使用范围涉及几乎所有行业。

1963年，我国研制了第一台桥式堆垛起重机（由机械部北京起重运输机械研究所负责）。1973年，我国研制了第一座由计算机控制的自动化立体仓库（高13m左右，由机械部起重所负责），该库于1980年正式投入运行。2000年叉车产业体系开始成熟，托盘制造与应用开始普及，现代工业货架系统在仓储业得到广泛认同，自动化立体仓库技术在各行各业开始得到应用，尤其是汽车、食品、医药、烟草等行业更为突出。但与美国、德国、日本等发达的工业化国家相比，在自动化立体仓库这一领域，我国的发展速度比较缓慢，仍处于模仿、跟随阶段，自主研制开发尚未形成主力。

1.2 自动化立体仓库在现代化配送中心的作用

自动化立体仓库是现代化配送中心的灵魂，具有重要战略地位。某现代化物流配送中心的基本组成系统包括：旋转式自动化仓库、T-1000型托盘式自动化仓库、自动化仓库、堆垛机、输送线（含分类输送线）等。

自动化立体仓库的作业流程贯穿着现代化配送中心“供—产”活动的整个环节（见下图）是现代化配送中心的虚拟管家与实际主要运营者。



自动化立体仓库在配送中心示意图

自动化立体仓库在配送中心各作业流程中的作用如下。

1. 进货作业

所谓进货作业就是从货车上将货物卸下、拆零，检查其数量、质量，并将相关信息书面化的过程。具体来说，进货作业包含：前期信息处理（主要包含：外部采购计划的信息反馈和进货目标计划的分析）、货车到达、卸货、拆装、标记及分类货品、后期信息处理（主要包含：检查单据和传票等文件、在进货单上记录进货、货品验收检查、进货的正确记录、指派后续入库的位置）。

在进货作业阶段，自动化立体仓库发挥作用的大小与其自身的设备系数有关。一般而言，设备的自动化、信息化、智能化水平越高，其发挥的作用也就越大，且集中表现在立库的计算机管理系统的信息处理及传输能力、自动化设备的信息感应及终端信息显示能力方面，并在货物单据信息核对及货物快速入库方面发挥其优越性。

2. 存储作业

存储作业的主要任务在于妥善保存货物，并对在库品进行核查，善用空间，对存货进行科学管理。具体来讲，存储作业包括：销售信息的反馈、现有库存水平核查、补货（主要包含：销售预测、订购和保管的成本、库存控制）、订购。

在存储作业阶段，自动化立体仓库的信息化水平将直接影响立库作业效率，两者成正相关。通过自动化立体仓库的信息化系统，配送中心可以对库存实现实时管控，这样便于在较短的时间内作出有关“订购货物”的决策。另外，中央计算机管理系统在自动化立体仓库的应用，促进信息流的传递与反馈，实现管理一体化、决策智能化。

3. 盘点作业

“水流的货物，铁打的配送中心”，配送中心的货物永远处于流动之中，形成内部物流。为了有效地掌握货品数量和质量，必须定期对各储存场所进行清点作业。具体来讲，盘点作业包括：准备工作、确定盘点时间和方法、培养盘点人才、清理存储现场、开始盘点作业、差异分析、盈亏处理。



如果该配送中心是配有自动化立体仓库的现代化配送中心，且立库的信息化、自动化程度较高，那么在盘点作业阶段，立库将发挥重大作用。由于在货物运作过程中，自动化立体仓库的信息系统储存了关于货物的时时状态，并配有中央计算机管理系统，因此，立库通过条码阅读系统可实现对货物的盘点，并将盘点结果与计算机管理系统内的信息进行核对，最终显示或输出差异分析（在存在差异的情况下），进行盈亏处理。

4. 订单处理作业

从接到用户订单开始到拣选货品为止的作业过程，均属于订单处理作业。具体来讲，订单处理作业包括：有关用户和订单的资料确认，存货查询和单据处理等内容。

在订单处理作业阶段，传统的仓储模式采用人工处理方式，这样非常不经济。自动化立体仓库的信息系统是配送中心物流系统的重要组成部分，在订单处理过程中，可以进行货物信息的主动反馈并生成计算机处理订单的结果报告。

5. 拣选作业

根据用户订单，配送中心将不同种类、数量的商品集中起来的过程，就是拣选作业。具体来讲，拣选作业包含：发货日程的信息反馈、决定拣选方式、输出拣货清单、安排拣货路线、分配人员、拣货、货品集中。

在拣货作业中，配送中心的内部布局特别是仓储部分的货架与拣选设备的行走路线和自动化立体仓库的信息化水平，与拣货作业效率成正相关。在特定拣货路线上行走的拣货设备将显示拣货清单（一般设备上会备有显示器，供操作员提取信息），并通过激光扫描技术交互信息，核实货物信息，这样的集货方式将提高集货效率，减少人工集货误差。

6. 补货作业

从保管区将货物送到另一个拣货区的作业过程就是补货作业。具体来讲，补货作业主要包括：用户订单信息的反馈、核查拣货区存货、补货（开始补货、将空托盘由保管区送到拣货区进行装货、重新建立库存档、将新托盘归位）。

自动化立体仓库，顾名思义，是具有自动化水平的立体库。仓库实现自动化，将在托盘的运作过程中发挥巨大的作用。另外，在补货作业阶段，作业效率的高低与相关信息的及时反馈和处理息息相关，而这正是自动化立体仓库的计算机管理系统及其他智能设备的用武之地。

7. 发货作业

由拣取分类完成的货品经过发货检验，装入容器，做好标记。根据车辆趟次把商品运到发货准备区，待装车配送。这一过程叫作发货作业。具体来讲，发货作业包括：贴标签、分货、发货检查、捆包和装包、发货检查、运到发货准备区、发货日期的确定、堆放、传票处理、装车、发货、发货情况记录。

在有关检查、货物的部分位移以及有关货物的信息处理等方面，自动化立体仓库的自动化系统、信息化系统都有用武之地，发挥得当，将会极大地提高配送中心货物流通效率。



8. 配送作业

所谓配送中心就是利用配送车辆把用户订购的物品从制造厂、生产基地、批发商、经销商或物流中心，送到用户手中的工作。具体细分，配送作业包括：路线规划、车辆调度、货物跟踪等。

自动化立体仓库的信息系统将为该部分的方案规划提供基础性的决策依据。

综合而言，在配送中心特别是现代化配送中心，自动化立体仓库的实用功效受诸多因素的影响，如：员工的操作能力、配送中心的整体内部布局、配送中心的整体经济运行现状及未来发展前景、配送中心的柔性运作能力、自动化立体仓库的自动化水平、自动化立体仓库的智能化水平、自动化立体仓库的信息化水平、配送中心物流系统与自动化立体仓库信息系统的外部端口衔接水平、自动化设备发展水平等。仓库是配送中心的内部基本货区，是必要的基础性设施，其作用不言而喻。自动化立体仓库在现代化配送中心的作用也是毋庸置疑的，然而具体成效将是诸多内外部因素非线性综合作用的结果，具有巨大的挖掘空间。

1.3 自动化立体仓库的类型和功能

1.3.1 自动化立体仓库的类型

1. 按仓库的建筑形式分类

(1) 整体式：这类仓库的货架嵌在建筑物内部，屋梁、屋壁是自动化立体仓库的组成部分。这类仓库重量轻，整体性好，抗震好。目前国内没有严格意义上的整体式立体仓库，比较常见的是一些准库架合一形式，如红河卷烟厂包装材料库、石家庄站高 24m 的南库场库、西安航空发动机仓库等。

(2) 分离式：这是一种传统的仓库类型，仓库与货物存储设施（如货架）相对独立、完全分离，货架在建筑物内独立安装。这类仓库常见于原有建筑物的改造，如厂房、仓库等场所。

2. 按货架构造分类

(1) 单元货格式：这类仓库与单元货架式仓库相似。其巷道占存储区面积的 $1/3$ 左右。货物先放在托盘或集装箱内，再装入单元货架的货位上。

(2) 贯通式：这类仓库将个体货架合并在一起，使每一层、同一列的货物互相贯通，形成能一次存放多货物单元的通道，而在另一端由出库起重机取货。这类仓库由于最大限度地消除了巷道，从而增加了存储空间。根据货物单元在通道内的移动方式，贯通式仓库又可细分为重力式货架仓库和穿梭小车式货架仓库。

(3) 水平旋转式：这类仓库可以在水平面内沿环形路线来回运行。每组货架由若干独立的货柜组成，用一台链式传送机将这些货柜串连起来。每个货柜下方有支撑滚轮，上部有导向滚轮。传送机运转时，货柜便相应运动。这类仓库适用于小件物品的拣选作业。



(4) 垂直旋转货架式：与水平旋转货架式仓库相似，只是把水平面内的旋转改为垂直面内的旋转。这类仓库适用于存放长卷状货物，如地板革、地毯、电缆卷、胶片卷等。

3. 按货物存取形式分类

(1) 单元货架式：这类仓库在日常应用中较为常见。首先将货物放在托盘或集装箱内，然后装入货位上。

(2) 移动货架式：这类仓库的货架可以在轨道上移动，是电动式货架的一种，由控制装置控制货架合拢和分离。作业时货架分开，在巷道中可进行作业；不作业时货架合拢，只留一条作业巷道，提高了存储空间的利用率。

(3) 拣选货架式：这类仓库的核心部分在于分拣机构，具体分拣方式包括两类：巷道内分拣和巷道外分拣。“巷道内分拣”又可形象表述为“人到货前拣选”，即拣选员乘拣选式堆垛机到货格前，进行分拣作业；“巷道外分拣”又可形象表述为“货到人处拣选”，即将存有所需货物的托盘或货箱由堆垛机送至拣选区，拣选员进行分拣作业。

4. 按设计导轨配置分类

(1) 直线轨道式：堆垛机行走路线完全是直线，在自动化立体仓库的一侧端口实现入库作业，另一侧端口实现出库作业，常与分离式自动化立体仓库配合构建，一般用于大规模生产从一端到另一端的连续作业情况。

(2) U形导轨式：堆垛机行走路线是直线和圆弧，出/入库作业都在同一侧端口进行。一般而言，采用U形物流线路最实惠，在管理和经济方面都有优点。特别是出/入库场和时间带受到限制时，这是最有效的形式。

(3) 横移导轨式：通过横移接轨方式把 n 条平行的导轨连接起来，可以减少堆垛机数量。这样的设计结构经济性好，可集中管理。

值得说明的是，还有一些常见的分类方式，如按单方向装载单元数分类（含：单装载单元式、双装载单元式、多装载单元式）；按使用环境分类（含：一般自动化式、低温（冷藏/冷冻）自动化式、高温自动化式、防爆自动化式、其他特殊式）；按用途分类（含：原材料仓库、零部件仓库、工序间仓库、成品仓库、流通仓库）；按出/入库工作台布置方式分类（含：单侧出/入库式、两端出/入库式、中间出/入库式）；按出/入库工作台配置高度分类（含：同一层出/入库式、非同一层出/入库式）等。由于这些分类方式通俗易懂，故在此不再展开论述。

1.3.2 自动化立体仓库的功能

1. 收货

从货物卸载、经查验进入自动系统的接货设备开始，自动化立体仓库将货物信息输入计算机，构成管理信息流，由自动控制系统进行货物入库的自动操作。

2. 存货

计算机控制系统向自动化系统传输货物入库方案（含：货物数量、库存位置、运



输路线等), 自动化设备进行存货作业。

3. 盘点

计算机控制系统采用先进技术(如:红外线通信技术、条码技术等),利用仓库的自动化系统,收集库存信息,并与系统内的货物信息进行核对,及时更新数据信息,保证对库存的实时监控。

4. 取货

计算机控制系统向自动化系统传输指令(含:货物品规、货物坐标、取货数量、取货原则等),自动化设备进行取货作业。

5. 发货

计算机控制系统向自动化系统传输发货指令(含:货物品规、货物坐标、配货原则、配货数量、发货区域等),自动化立体仓库的货物传输设备进行货物传输。

6. 信息处理

区别于前五项仓库的基本功能,这是自动化立体仓库的特色核心功能,在整个仓库运行中具有纽带地位。现代自动化立体仓库普遍采用扫描技术、条码技术、射频数据通信和数据采集等,使得数据的采集、处理和交换可以及时地在搬运工具和中央计算机系统之间传输与反馈,从而提高仓储的柔性化和自动化管理运作水平。

信息处理的高效运行,使得自动化立体仓库系统成为物流信息系统的核心组成部分。

1.4 自动化立体仓库国内外发展现状和发展趋势

1.4.1 自动化立体仓库国内外发展现状

随着现代工业生产和科学技术的发展,计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing Systems)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing Systems)、工厂自动化(Factory Automation)、物联网(The Internet of Things)、人工智能(Artificial Intelligence)、专家系统(Expert System)和智能储运系统(Intelligent Transportation System)等,为自动化立体仓库的跨越式发展提供了机遇。

近年来,发达国家的自动化立体仓库智能化水平不断提高,高新技术的应用十分普遍,如光电识别、条码技术、自动分拣、无线射频技术、定位追踪技术等。在自动化立体仓库的管理过程中,欧美发达国家不仅重视仓库的自动化与智能化,还特别强调对员工的培养,重视建立主动型、创新型的团队。

据《2013—2017年中国自动化立体仓库行业投资需求与发展前景分析报告》显示,2012年是中国自动化立体仓库取得较快发展的一年。2012年建设的具有较大规模的立体仓库在建项目有130多座。据不完全统计,截至2012年年底,我国已建成立体库系统1200余套,遍及制造、机场、医药、烟草、食品、军队、建材、家电、铁路、轨道交通、电力、石油化工、煤炭、纺织、批发、零售、果蔬、服装、图书出版、教育、



金融、馆藏等各个行业，自动化立体仓库的应用如雨后春笋。

随着我国物流行业的不断发展，对立体仓库的智能化需求越来越显著。中国物流技术协会数据显示，2012年中国自动化立体仓库市场规模为67亿元；“十二五”期间，中国自动化仓库市场将继续保持增长态势，2015年自动化立体仓库的市场规模超过320亿元。2012年商务部的《商务物流发展专项规划》，有一个指标就是自动化立体仓库总面积占仓库总面积的比重提高到40%。

近年来，我国自动化立体仓库的发展方向已由单一粗放型转向柔性智能型，80%新建的自动化立体仓库货架高度均超过20m，组合式仓储货架已成为高层仓储货架的主导结构，焊接式仓储货架的应用不断减少。特殊作业环境下的自动化立体仓库的建立向常规化方向发展。2013年，在河北定州，伊利集团建设投产了我国首个最大的自动化立体冷库，库内温度要求为 -25°C 。该库拥有5个货架系统（单个巷道货位数为14700个），单伸位与双伸位相结合的Rapid Store（高效堆垛机）出/入库系统以及库前托盘输送线。目前，在国内烟草物流配送中心的建设中，开始采用由自动化分拣和堆码、高位仓储货架和有轨巷道堆垛机组成的建库模式。这种模式仓储货架区面积的利用率高，自动化程度高，安全性好。

然而，与发达国家相比，在我国自动化立体仓库的发展及应用过程中，存在诸多不足。第一，企业思想认识问题。我国物流业发展尚未成熟，物流企业对先进物流设备缺乏科学认识和长远战略视角。由于自动化立体仓库的前期投资较大，企业对新型自动化设备缺乏信心，当然企业自身的运营实力也是一个现实的制约因素。因此，在尚未使用自动化立体仓库之前，企业很容易在思想上排除使用自动化立体仓库的可能性。第二，企业实际使用自动化立体仓库取得的效益问题。由于各方面的利益博弈，许多企业在当前阶段并不适合建筑自动化立体仓库，因而就存在为了自动化而自动化的建筑或改造动机。当自动化立体仓库筑成后，由于前期动力不足，加上其他因素（如：仓储技术安于现状、物流设备管理混乱等），使得自动化立体仓库并未发挥应有效益，甚至会成为企业的经营负担。第三，企业实际使用自动化立体仓库过程中配套的信息技术匮乏。以企业自身的物流信息系统为视点，分两个方面进行论证。其一，企业物流信息系统与企业信息系统的衔接问题。由于信息技术应用和普及程度不高，企业内部没有配套的信息接口，难以实现企业内部信息集成，供应链管理更是无从谈起。这样会造成企业信息系统繁杂，信息操作效率低下。其二，企业物流信息系统没有形成统一网络。在物流运作中缺乏对EDI（电子数据交换）、个人电脑、专家系统、人工智能、条码、扫描、通信等先进信息技术的应用，物流作业自动化水平低。这样会使自动化立体仓库的功效无法发挥，将失去其使用价值和意义。第四，基层员工再教育与设备保养维修问题。现阶段，我国企业已认识到对企业员工的入职教育的重要性，然而，仍有不足之处。许多企业只重视一次性教育培训，并未形成常规化管理，这一现象在中、小物流企业极为常见。另外，在对基层一线员工的用工及教育问题上，许多物流企业并未加以重视，从而使得机械操作人员和常规机械维修人员缺乏应有的工作技能和作业熟练程度。很大程度上阻碍了自动化设备的正常运作。由于缺乏长远