

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.01.019

张博强, 燕金浩, 吴兰, 等. 自动化立体仓库在粮食仓储中的应用前景[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 146-152.

ZHANG B Q, YAN J H, WU L, et al. Automated three-dimensional warehouse in the field of grain storage application prospects[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 146-152.

自动化立体仓库在粮食 仓储中的应用前景

张博强¹, 燕金浩¹, 吴兰¹, 韩志强², 孙朋¹

(1. 河南工业大学 机电工程学院, 河南 郑州 456001;
2. 中山市粮食储备经营管理有限公司, 广东 中山 528400)

摘要: 由于粮食产品的特殊性, 粮食储存仓库的发展中, 高新技术覆盖率较低。传统粮仓正在面临着土地资源有限、人工成本增加、卫生指标较差等问题。伴随着信息技术和物联网的发展, 自动化立体仓库(简称“立库”)以无人化、信息化、密集化、高速化、无缝对接等优点在工业方面得到广泛的应用。在粮食仓储领域, 以机械电子、自动化、控制、物流为基础的成品粮立体仓库有望解决粮食仓储之难题, 以新技术带动传统粮食仓储行业确保国家粮食安全。

关键词: 立体仓库; 成品粮; 自动化; 仓储

中图分类号: TS205; TP29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2024)01-0146-07

Automated Three-dimensional Warehouse in the Field of Grain Storage Application Prospects

ZHANG Bo-qiang¹, YAN Jin-hao¹, WU Lan¹, HAN Zhi-qiang², SUN Peng¹

(1. School of Electromechanical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 456001, China; 2. Zhongshan Grain Reserve Management Co., Ltd, Zhongshan, Guangdong 528400, China)

Abstract: The development of grain storage warehouses has low high-tech coverage because of the special features of grain products. Traditional grain warehouses are facing problems including limited land resources, increased labor costs, and poorer health indicators. Accompanied by the development of information technology and the Internet of Things, automated three-dimensional warehouses have been widely used in industry with the advantages of unmanned, informationized, intensive, high-speed and seamless. In the field of grain warehousing, the finished grain three-dimensional warehouse based on mechatronics, automation, control and logistics is expected to solve the problem of grain warehousing. The traditional grain storage industry will be driven by new technology to ensure national food security.

Key words: three-dimensional warehouse; processed grain; automatization; warehouse

收稿日期: 2023-07-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1504616); 河南省科技研发计划联合基金(222103810086); 河南省超硬磨料磨削装备重点实验室开放课题(JDKFJJ2022011)

Supported by: National Natural Science Foundation of China (No.U1504616); Science and Technology Research and Development Program Joint Fund of Henan Province (No. 222103810086); Key Laboratory of Superabrasive Grinding Equipment Open Subject of Henan Province (No. JDKFJJ2022011)

作者简介: 张博强, 男, 1979年出生, 博士, 高级工程师, 研究方向为智能粮食仓储物流与装备。E-mail: zhangboqiang@haut.edu.cn

粮食作为人民生活的必需品，关系着十四亿人民的生计。保障粮食安全是重中之重，其中粮食仓储是粮食安全的重要一环，2022年，我国粮食总产量为6.68亿t^[1]，储备粮种类丰富，数量众多，主要用于调节粮食市场、救灾备荒等事件，确保国民对于粮食及时供应，维持社会稳定。随着国外发展速度加快和国际关系日益紧张，国内社会城镇化速度加快和人口快速增长，人民对于粮食需求以前所未有的速度增长，我国粮食仓储面临着确保国内粮食的长期供应的压力。

我国粮食仓储运用高新技术覆盖率、市场化、智能化程度不高。近些年来，以物联网、大数据、5G网络等为代表的信息技术引领我们步入信息数字时代，粮食企业要突破传统观念，改变传统粮仓；找准粮食产业新定位，提升粮仓安全性，进一步满足国家对粮食储存的要求。保障粮食储存的经济与效益达到最优，保证粮食行业快速发展转变为高质量发展。党的二十大报告^[2]中重点指出“乡村振兴战略”规划，规划明确提出要将前沿科技运用到支撑粮食安全中的战略^[3]。采用新技术，新思路来攻克仓储核心技术，促进科技产品转化，为粮食仓储发展提供不竭的动力^[4]。

在过去十年里，全国各地经济政策逐步向粮食产业有一定程度的倾斜，粮食相关产业得到较快的发展，粮食仓储环节不断进步。我国在每个省份都建有大型粮仓来保证人民粮食需求，但国内大型粮仓机械化、自动化水平较低，总体落后于欧美发达国家。大型现代化粮仓应实现较高的自动化和机械化程度、干净整齐的卫生标准。未来粮食仓储系统设备不断升级，既保证粮食储存的数量，又保证粮食储存的质量，因此，粮食仓储行业需要树立“粮食安全”意识，践行“乡村振兴”战略，建设智能化绿色化的大型现代化粮仓^[5]。

1 我国粮仓的现状

目前，根据是否加工处理，粮食可分为原粮和成品粮，相应的仓储分为原粮仓库和成品粮仓库。原粮是指没有经生产加工的粮食，如稻谷、麦子、苞米、黄豆、高粱米等。成品粮是指经过

生产加工的粮食，即大米、面粉、小麦、绿豆、面条等。粮食产品具有以下几种特点：（1）重量重。区别于其他产品，一包成品粮约重50kg，成垛堆放后的粮食重量可达千斤，对于粮食搬运难度较大。（2）仓储条件高。粮食作为人体每日必不可少的能量摄入，在仓储时，要保证较高的卫生标准，每一种粮食都有适宜的温度、湿度、通风量和卫生要求等条件。国内对于粮食的储备多是国家储粮和大型粮食企业代储，粮仓要根据粮食的特点进行针对性调整。

根据国内“四散化”（散装、散存、散卸、散运）的推进，原粮仓储以散粮为主，多存储在高大房式仓和立筒仓等大型仓库中，搭配可节省人力资源的机械化设备，如清粮机构、输送设备、平仓机、吸粮机、扒粮机等机械设施，通过设备搭接进行装卸货作业。其中立筒仓多为高耸的圆柱状，占用土地资源较少，能够进行较多的粮食储备，多用于城市空间等；高大房式仓为广阔的平房，会占据较多的土地资源，多用于农村或者欠发达地区。

成品粮在仓储过程中会根据仓储要求进行包装，所以也被称为包装粮。主要是以平房仓和楼房仓作为存储仓库，成品粮一般经包粮后，码垛机进行成垛堆积，放置在托盘上，采用机械叉车代替人工作业，将托盘码放在粮仓内规定位置。平房仓和楼房仓主要区别在于是否利用仓库上层空间，楼房仓通过加盖上层空间来加大储存面积，楼房仓的储存面积对于高大平房仓较大，占用土地资源较少，多用于城市内部粮食仓储。

2 我国粮仓面临的挑战

随着时代的发展，人民对于粮食要求不断提高，传统粮仓在实际应用过程中面临一些不足之处。

（1）传统粮仓人力资源需求较多。粮仓机械化设备不足，工人需在货物出入库过程中转移货物位置，在货物到货时清点数量。人工需求较多且工作繁琐、工人劳动强度相对较大。传统粮仓无法解决未来人力资源紧缺和昂贵等现实问题。

（2）传统粮仓储粮面积相对较少。不管是原

粮还是成品粮的仓储, 都需占用大量土地资源, 对于仓库上层空间利用不足, 使得储粮面积大大减少, 极大浪费了土地资源。随着人口逐年增加和土地资源日益紧张, 如何利用粮仓上层空间, 提升粮仓的空间利用率显然也是一个问题。

(3) 传统粮仓卫生条件难以保持。粮仓内部堆积错放会导致仓储环境混乱, 卫生条件难以保持, 粮食在仓储过程中会更容易出现霉变、虫害等问题, 粮食仓储的损坏率增多。当下, 人民生活水平正持续上升, 对于粮食卫生标准要求越来越高, 保持干净整齐的粮仓也成为必然。

(4) 传统粮仓不易实现高层与基层的对接。粮仓内部货物数量需要工人对其统计, 了解仓内每个仓储位置的具体情况, 对仓库出入进行实时记录, 这样导致仓库信息化不够透明。只有在完成数量记录之后, 才能导出各种报表情况, 向高层进行对于仓库仓储情况的汇报。

传统粮仓显然并不能解决粮食行业面临的难题。近年来, 物联网、计算机与人工智能等新学科研究正推进了物流仓储行业的进步^[6], 成品粮立体仓库正在引领粮食仓储的新一轮技术革新。加快粮食立库的研发, 弥补传统粮仓的不足, 突破传统粮仓面临困境, 保障粮食质量, 粮仓发展提升迫在眉睫。

3 粮仓发展新趋势——立库

“立库”全称为自动化立体仓库(高层货架仓库或自动仓储系统), 主要分为货物运输仓储系统、自动控制系统、信息化管理系统三大系统。如下图 1 为自动化立体仓库, 近年来, 以物联网



图 1 自动化立体仓库^[7]

Fig.1 Automated three-dimensional warehouse^[7]

为基础的立库得到不断完善, 是一个在计算机管控下的机电一体化产品, 被许多领域结合利用, 广泛应用于仓储体系中。我国正积极利用立体仓库升级粮食仓储, 同时立体仓库系统逐步完善, 朝着更快速, 更便捷, 更智能的方向完成仓储, 对国内粮食领域的发展起着积极作用。

3.1 立库的组成

自动化立体仓库由以下部分组成: 高层货架、托盘(货箱)、巷道堆垛机、输送机系统、自动导向小车(AGV 系统)、自动控制系统^[8]。货架与托盘组成货物仓储系统, 堆垛机、输送机系统和导向小车组成货物存取输送系统, 与自动控制系统为立体仓库的三大基本系统。

在货物入库和出库时, 分为两种情况。入库时, 经包装机器提前进行包装, 放置在入库口处, 控制电脑进行指令发出, 自动控制系统接收到指令, 将堆放在托盘上的货物经输送机堆垛机运送到对应仓储位置, 至此完成入库操作; 出库时, 控制计算机网络发出指令, 自动控制系统完成识别操作, 检索到货物储存位置, 将货物经输送系统运送至出库口, 再经叉车运出仓库, 完成出库操作。

其中巷道堆垛机为立库系统的核心部分, 用于自动存取货物的设备。它可以使用可编程逻辑控制器来实现自动控制^[9], 安装多样定位的传感器, 检测货物位置, 设置具体的速度优化从而为货物快速、准确运输到货仓提供保障。堆垛机按结构形式分为单立柱和双立柱两种基本形式^[10], 如下图 2 所示。目前根据货物大小及货物仓储速度, 可以选择不同类型的巷道堆垛机^[11]。仓库吞吐量不大时, 使用多巷道堆垛机实现有关最优行程时间、最佳尺寸和设备特性的设计^[12]。仓库吞吐量较大时, 从任务提前调度、货位分配以及任务序列优化三方面提出的立库调度方法, 可以有效提升其调度效率。

自动化立体仓库利用可编程控制技术、传感器技术、电机拖动技术等高新技术实现仓储的自动化控制^[14], 通过程序编码控制来实现物料在传送带上运输, 传感器对物料进行识别, 堆垛机根

据指令完成物料存放和取出。系统硬件布局合理，减少了人工介入，实现真正的无人仓储管理。

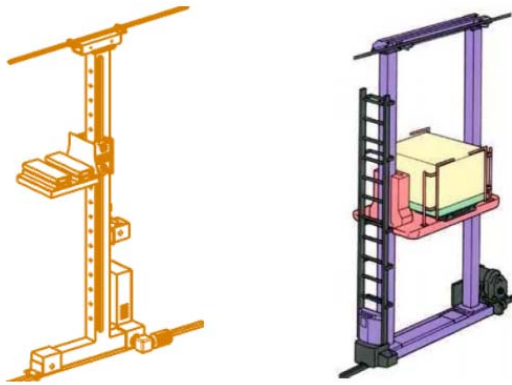


图 2 单立柱和双立柱巷道堆垛机^[13]

Fig.2 Single- and double-column lane stackers^[13]

3.2 立库的优势

自动化立体仓库的优越性主要体现在以下几个方面：

(1) 空间利用率高。最初提出立库时，其目的是提高仓库的空间利用率，充分利用土地资源。而立库高层货架的使用，使得高层空间得到充分利用，其空间利用为普通仓库的 2~5 倍，现如今空间利用率作为仓储系统合理性和先进性的重要指标，未来的粮食立库在货架材料加固条件下，能够适配高重量，实现粮食密集化储备。

(2) 存储节奏快。立库在存储、输送作业方面不仅速度快，精度高，并且整套系统利用控制系统发布指令，机器能够按照要求将货物准确快速放在指定位置，较高的机械化和自动化设备，大大提升了存储速率，使仓库内部的货物在较短时间完成出库与入库^[15]。立库的运用使得粮食在短时间内出入库频率加快，订单处理能力提升。

(3) 节省人力资源，减轻劳动强度。传统仓库需要大量人力搬运和转移货物，工人劳动强度较高，自动化立体仓库运输系统减少工人的来回搬运次数，自动巷道堆垛机取代人工存货和取货，减轻工人劳动强度，只需定时检修设备，使设备能够正常运行。机械化、自动化的发展使得粮食等大重量产品在仓储、运输、管理过程的可控化和简易化。

(4) 实时掌握仓库数据。通过计算机能够准

确掌握仓库的实时数据信息，能够让仓库管理者具体了解目前仓库中各生产资料的库存情况，实现对出入库产品的跟踪管理，精确掌握仓库内自动化设备运行情况，因此其信息可以做到共享，实现基层与高层对接。粮食立库对于传感器和计算机系统的大范围使用，实现粮仓的全覆盖，进一步使得仓库信息透明化和实时化^[16]。

3.3 立库的应用

我国一些先进企业也开始将目光投向自动化立体仓库项目，集中在生产制造、烟草、食品加工^[17]、医药流通^[18]、物流配送、智能工业等行业，并且在行业内已经得到广泛的应用。物流行业，京东物流中心发布三维移动机器人，建立首个货到人立库系统^[19]；烟草行业，国家烟草局在卷烟行业建立平立库合一的新模式，实现了结合工厂特色的新型仓库^[20]；电气行业，浙江天正电气智能园区结合人工智能、物流机器人、视觉识别建立托盘式立库区^[21]；啤酒行业，广州南沙珠江啤酒建立起第一家啤酒行业智能立体仓库，并且对其不断优化分析^[22]；汽车行业，江铃汽车新能源有限公司率先在涂装领域建立起立体仓库^[23]；大西洋焊接产业园物流系统使用立体仓库，使其焊接原料运输效率提升十倍以上，实现颠覆性的创新与改革^[24]；医药领域，医药流通企业完成对于厂区的自动化立体仓库的优化设计，建成现代化医药物流枢纽^[25]；轻工业领域，生活用纸工厂结合立体仓库系统，完成成品纸的接收、存储、发放、退库管理^[26]。立库已经成为现代化物流仓储行业最有潜力的方向。

近年来，随着我国愈发重视科研创新，立库也随之发展迅速。现代化仓储需求使立库快速的与各个领域结合，工科与科技的快速发展，推动其工业化、生产化、集成化、智能化^[27]。立库的发展势头不可阻挡，将“自动化立体仓库+粮食”的模式运用成品粮的仓储中，构建成品粮立库也成为粮仓升级改造的新趋势。

4 立库在成品粮领域的应用

针对传统粮仓无法满足现代化要求，将立库引入粮食仓储领域，成品粮立库是一种利用高层

货架来存储成品粮（袋装大米、袋装米粉）的新型仓储设施^[28]。对于成品粮来说，大多为成垛堆积，下边用托盘承载，其整体性较高，体积较大，重量较重，属于大型重载货物；同时没有货物料箱，容易在传输过程中出现倾斜；出入库作业频次较高、吞吐量大，要有较高的智能调度性能和订单处理能力，还应考虑粮食保质期问题。和传统粮仓相比，成品粮立体仓库可以做到 40 多米，同等单位面积存储量提高了 3~5 倍，同时立库运用自动化搬运设施，存储效率可以提升 40% 以上，工作效率可提高 3 倍。

结合成品粮的特点，成品粮立体仓库发展建设应考虑以下几部分技术要求：（1）良好的储备环境控制及安全监护技术。为确保成品粮的质量和安 全，仓房应控制温度、湿度、通风等因素和提供全天候安全监控系统，使用温湿度传感器和通风设施监测和调节储存环境；配备视频或红外监控设备、火警报警系统等监控系统保障粮食安全。（2）高效的自动化堆垛和智能输送系统。成品粮立体仓库需要输送设备和智能堆垛机器，将粮食从入库到出库进行快速和准确的运输，提高工作效率、减少人工错误，并节省人力成本。（3）完善的信息化管理技术。信息化管理系统用于实时监测和管理库存、仓位、入库、出库等信息，提供粮食储备情况的可视化展示，同时可以与自动化堆垛技术集成，实现智能堆垛和存放位置的自动化管理。

目前，成品粮自动化立体仓库作为一种前沿的仓储方式进行研究并且试点使用，取得了不少成果。在粮食行业，一些知名粮食企业也开始着手建立自己的自动化立体仓库，利群集团建立智慧物流园区，包括温控成品粮仓库、冷链物流等智慧物流，拥有国内首家“自动立库+环形穿梭车+3D 视觉识读拆垛机器人”的自动化无人作业系统，形成强大的粮食产业链体系（如图 3）；河南工业大学武照云^[28]教授等人运用可编程控制的四向穿梭车，以运用到自动化立体仓库中，改善了成品粮的自动化搬运技术，并运用到立体仓库系统中，使其在粮食领域尽快完成落地。成品粮

自动化立体仓库的研究将推动国内对于传统粮仓的改造升级，将立库运用到粮仓的改造，建设无人粮仓已成为必然^[29]。



图 3 利群智慧物流园成品粮立库^[30]

Fig.3 Liqun intelligent logistics park finished grain vault^[30]

5 结论

信息时代的到来使得发展日新月异，成为拉动经济快速发展的重要引擎。传统粮仓主要面临两大问题：一是仓库占地面积较大，二是人工成本较高，阻碍其发展。新时代下成品粮立库以信息化、绿色、空间利用率等为原则，通过各处传感元件的数据^[31]，提高信息快速交互，掌握粮仓内部具体仓储信息，提升粮食仓储效率，增大土地资源的空间利用率，将粮食仓储变为动态自动化仓储。在粮食领域大力发展立库，改善国内粮食仓储落后现状，夯实藏粮于库的基础。以自动化立体仓库为代表的现代化仓储可以解决粮食仓库面临的难题，以新技术带动传统产业，为粮食仓储赋能，确保国家粮食安全。

参考文献：

- [1] 国家粮食和物资储备局. 保障粮食安全 端牢中国饭碗—国家粮食和物资储备局介绍国家粮食安全保障情况[EB/OL]. http://www.lswz.gov.cn/html/mtsy2023/2023-05/12/content_274693.shtml.
National Food and Strategic Reserves Administration. Guaranteeing food security to hold China's rice bowl - State Bureau of Grain and Material Reserves introduces the situation of national food security guarantee[EB/OL]. http://www.lswz.gov.cn/html/mtsy2023/2023-05/12/content_274693.shtml.
- [2] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗—在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL]. 人民日报. <http://cpc.people.com.cn/n1/2022/10/26/c64094-32551700.html>.

- XI J P. Holding high the great banner of socialism with Chinese characteristics and unitedly striving for building a modern socialist country in all aspects-Report at the 20th National Congress of the Communist Party of China [EB/OL]. People's Daily. <http://cpc.people.com.cn/n1/2022/1026/c64094-32551700.html>.
- [3] 曾子杰, 凌兵. 持续构建粮食产业链 全面融入乡村振兴战略努力提升农业供给侧结构性改革和高质量发展水平[J]. 上海农村经济, 2022(11): 11-13.
- ZHENG Z, LING B. Continuously building the grain industry chain and comprehensively integrating into the rural revitalization strategy in an effort to enhance the structural reform of the agricultural supply side and the level of high-quality development[J]. Shanghai Rural Economy, 2022(11): 11-13.
- [4] 孙源. 现代仓储管理现状及科学储粮发展分析[J]. 中国市场, 2020(35): 165-166.
- SUN Y. Analysis of the current situation of modern warehouse management and the development of scientific grain storage[J]. Chinese Market, 2020(35): 165-166.
- [5] ZHANG X. Construction of sustainable digital factory for automated warehouse based on integration of ERP and WMS[J]. Sustainability, 2023, 15(2): 1022-1022.
- [6] SERENA F, GJULIO A, ALESSANDRO P, et al. Investigating different manual picking workstations for robotized and automated warehouse systems: Trade-offs between ergonomics and productivity aspects[J]. Computers & Industrial Engineering, 2023, 185.
- [7] 王晶, 马笑. 应用 3DMAX 展示自动化立体仓库[J]. 物流技术与应用, 2010, 15(1): 88-91.
- WANG J, MA X. Application of 3DMAX to show automated three-dimensional warehouse[J]. Logistics Technology And Applications, 2010, 15(1): 88-91.
- [8] 张洁. 基于 FlexSim 的自动化仓库物流节拍的仿真研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(8): 180-182.
- ZHANG J. Research on simulation of logistics beat in automated warehouse based on FlexSim[J]. Automation Applications, 2023, 64(8): 180-182.
- [9] 张海滨. 大型立体车库监控系统设计与作业路径优化研究[D]. 兰州交通大学, 2020.
- ZHANG H. Research on monitoring system design and operation path optimization of large-scale stereo garage[D]. Lanzhou Jiaotong University, 2020.
- [10] 邹哲峰, 张杨. 自动化立体库在钣金件加工中的应用[J]. 科技创新导报, 2020, 17(5): 58-59.
- ZOU Z, ZHANG Y. Application of automated three-dimensional warehouse in sheet metal parts processing[J]. Science and Innovation Herald, 2020, 17(5): 58-59.
- [11] LI D, DING L, CHEN Y. Speed optimization design of stacker in automatic stereoscopic warehouse based on PLC [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1678(1).
- [12] SINGBAL V, ADIL G K. A flexible approach to designing a single crane, multi-aisle automated storage/ retrieval system considering storage policies, transport equipment and demand skew[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2019, 32(11).
- [13] 李西刚. 自动化立体仓库中堆垛机结构设计与控制技术研究[D]. 沈阳理工大学, 2013.
- LI X. Research on structural design and control technology of stacker cranes in automated three-dimensional warehouse[D]. Shenyang Ligong University, 2013.
- [14] 胥远兴. 基于西门子 PLC 的自动化立体仓库系统设计与仿真[J]. 微处理机, 2023, 44(2): 56-60.
- XV Y. Design and simulation of automated storage and retrieval systems based on siemens PLC[J]. Microprocessor, 2023, 44(2): 56-60.
- [15] 马永敬, 孔维荣, 周娇娇, 等. 典型立体仓储系统优势对比分析[J]. 价值工程, 2019, 38(36): 166-169.
- MA Y, KONG W, ZHOU J et al. Comparative analysis of typical storage systems' advantages[J]. Value Engineering, 2019, 38(36): 166-169.
- [16] YUAN Y, ZHEN L, WANG X, et al. Quantum behaved particle swarm optimization of inbound process in an automated warehouse[J]. Journal of the Operational Research Society, 2023, 74(10): 2199-2214.
- [17] 阮忠璠. 厦门 Y 食品公司自动化立体仓库管理优化研究[D]. 华侨大学, 2021.
- RUAN Z. Research on the optimization of automated three-dimensional warehouse management in Xiamen Y Foods Company[D]. Huaqiao University, 2021.
- [18] 韩晓丽, 李勇超, 袁媛. 医药物流的自动化立体仓库布局规划设计研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(8): 48-50.
- HAN X, LI Y, YUAN Y. Research on the layout planning and design of automated stereo warehouse for pharmaceutical logistics[J]. Modern Industrial Economy And Informatization, 2022, 12(8): 48-50.
- [19] 京东物流. 京东物流发布三维移动机器人货到人立库系统 [J]. 物流技术与应用, 2021, 26(10): 113.
- JINGDONG. Jing dong Logistics released three-dimensional mobile robot goods to people standing warehouse system[J]. Logistics Technology And Applications, 2021, 26(10): 113.
- [20] 王晓娟. 卷烟企业平立库合一的物流新方式分析[J]. 物流技术与应用, 2017, 22(3): 114-116.
- WANG X. Analysis of the new way of logistics of cigarette enterprises with one flat and vertical warehouse[J]. Logistics Technology And Applications, 2017, 22(3): 114-116.
- [21] 方初富. 浙江天正电气基于复杂订单需求下的智慧物流系统解决方案[J]. 物流技术与应用, 2023, 28(3): 86-88+91-93.
- FANG C. Zhejiang Tianzheng Electric based on the complex order demand under the intelligent logistics system solutions [J]. Logistics Technology And Applications, 2023, 28(3): 86-88+91-93.

- [22] 许辉杰, 陈振宇. 啤酒智能立库单双工位巷道的应用研究[J]. 中外酒业, 2021(17): 28-30.
 XV H, CHEN Z. Applied research on single and double station alleyway of beer intelligent standing warehouse[J]. Chinese And Foreign Wine, 2021(17): 28-30.
- [23] 卢一超. 浅谈立体仓库在涂装领域的应用与优势[J]. 汽车工艺与材料, 2021(5): 57-61.
 LU Y. Discuss the application and advantages of three-dimensional warehouse in the field of coating[J]. Automotive Processes and Materials, 2021(5): 57-61.
- [24] 张刚. AGV、RGV、立库在焊接材料行业的集成应用[J]. 物流技术与应用, 2018, 23(8): 124-128.
 ZHANG L. Integrated application of AGV RGV and AS/RS in welding material industry[J]. Logistics Technology And Applications, 2018, 23(8): 124-128.
- [25] 孙明伟, 卢会超, 汤颖佳, 等. 某大型医药配送中心自动化立体仓库系统的规划与设计[J]. 物流技术与应用, 2020, 25(10): 161-167.
 SUN M, LU H, TANG Y, et al. The planning and designing of automated high bay warehouse system in the large medicine distribution center[J]. Logistics Technology And Applications, 2020, 25(10): 161-167.
- [26] 董才翔. 智能立库在生活用纸工厂及其他纸类产品工厂中的应用[J]. 中华纸业, 2021, 42(11): 43-47.
 DONG C. Application of smart warehouse in tissue and other paper mills[J]. Zhonghua Paper, 2021, 42(11): 43-47.
- [27] 凌浩. 自动化立体仓库研究[J]. 科技与企业, 2013(23): 162-162.
 LING H. Automated stereo warehouse research[J]. Technology and Enterprise, 2013(23): 162-162.
- [28] 李丽, 武照云, 张毓兰, 等. 面向成品粮立体仓库的四向穿梭车研究与开发[J]. 科技创新与生产力, 2020(10): 75-77+81.
 LI L, WU Z, ZHANG Y, et al. Research and development of four-way shuttle for the stereo granary of processed grain[J]. STI and Productivity, 2020(10): 75-77+81.
- [29] 张博强. 智能粮食物流装备与专用车辆技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2023: 26-33.
 ZHANG B. Intelligent grain logistics equipment and specialized vehicle technology[M]. Wu Han: Huazhong University of Science and Technology Press, 2023: 26-33.
- [30] 徐瑞泽. 如何凭借供应链打破传统零售业困境“老字号”利群的实践探索[EB/OL]. 现代物流 MaterialFlow, 2022-09-30.
 XV R. How to break the dilemma of traditional retail industry with supply chain: the practical exploration of “old-fashioned” Liqun[EB/OL]. Modern Logistics MaterialFlow, 2022-09-30.
- [31] VONGBUNYONG S, ROENGRITRONNACHAI P, KONGSANIT S, et al. Multiple products management system with sensors array in automated storage and retrieval systems[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 297 (1). 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。