

中小包装食用油自动化立体库与平面仓库的对比分析

蒋守业¹, 王武晨¹, 张永远², 李振兴¹, 彭小磊³, 叶强⁴

(1. 国粮武汉科学研究设计院有限公司, 武汉 430079; 2. 上海奥优工程设备有限公司, 上海 200135;

3. 迈安德集团有限公司, 江苏 扬州 225000; 4. 江苏高科物流科技股份有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要:旨在为仓储物流行业及油脂加工厂中仓库设计提供借鉴,以库容量10万箱中小包装食用油(5 L小包装、10 L中包装成品油各5万箱)仓库为研究案例,系统分析了两种仓库(平面仓库和自动化立体库)的主要特点,从占地面积、生产成本、建设投资、运营费用等方面对两种仓库的技术方案进行了比较,并对两种仓库进行了经济分析。结果表明:自动化立体库相较于平面仓库能减少66.4%的占地面积,每年能够节约运营成本近50万元;自动化立体库的增量投资收益率为19.01%,增量投资回收期为5.26年,费用现值相比平面仓库低114万元。针对多品种、多拣选、年吞吐量、产品可追溯性高、衔接工厂MES/ERP系统且持续运营在6年以上的仓库,使用自动化立体库能够显著降低项目总持有成本,降低工人劳动强度,提高发货效率,改进客户体验。

关键词:自动化立体库;平面仓库;中小包装食用油

中图分类号:TS206.6; TS228 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)01-0140-05

Comparative analysis of automatic three – dimensional warehouse and flat warehouse for medium and small packaged edible oil

JIANG Shouye¹, WANG Wuchen¹, ZHANG Yongyuan²,
LI Zhenxing¹, PENG Xiaolei³, YE Qiang⁴

(1. China Grain Wuhan Science Research and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430079, China;

2. Shanghai Aoyou Engineering Equipment Co., Ltd., Shanghai 200135, China;

3. Myande Group Co., Ltd., Yangzhou 225000, Jiangsu, China; 4. Jiangsu Gaoko Logistics Science and Technology Co., Ltd., Suzhou 215000, Jiangsu, China)

Abstract: In order to provide reference for the warehouse logistics industry and the warehouse design in oil processing plant, warehouse with a storage capacity of 100 000 boxes (each 50 000 boxes of 5 L small packaged oil and 10 L medium packaged oil) was used as a research case, the main features of two types of warehouse (automatic three – dimensional warehouse and flat warehouse) were systematically analyzed, the technical schemes of the two warehouses were compared through warehouse floor space, production costs, construction investment, operation costs and other aspects, their economic analysis was also conducted. The results showed that compared with flat warehouse, automatic three – dimensional warehouse could reduce 66.4% of the floor space, and save operation costs nearly 500 000 yuan per year. The incremental investment return rate of automatic three – dimensional warehouse was 19.01%, the incremental investment payback period was 5.26 years, and the cost present value was 1.14 million yuan lower than flat warehouse. For multi – species, multi – picking, large annual throughput, high product traceability, connecting factory MES/ERP system, and continuous operation in more than 6 years of warehouses, the use of automatic three – dimensional warehouse can significantly reduce the total cost

of ownership of the project and the intensity of labor, improve delivery efficiency and customer experience.

Key words: automatic three – dimensional warehouse; flat warehouse; medium and small packaged edible oil

收稿日期:2022-09-15;修回日期:2023-09-18

作者简介:蒋守业(1982),男,高级工程师,主要从事粮油食品(油料油脂、油脂化工、油料蛋白)加工厂建设项目咨询、工程设计、工艺设备研究开发等系统性技术管理和项目管理相关工作(E-mail) cofco307@163.com。

随着社会的发展,劳动力的相对短缺和人力成本的大幅提高,劳务用工已经成为劳动密集型企业发展的主要瓶颈。同时,为满足企业差异化市场竞争战略的需要,仓库吞吐的货物种类(SKU)越来越多,工厂进出物料的配货作业流程也越来越复杂。因此,生产自动化、管理信息化和智能化发展,正在逐渐代替传统的人工作业模式,以提高仓储系统的运转效率,促进全厂数字化转型。

目前在粮油行业中,小型油脂加工企业多数采用平面仓库,通常情况下,仓库存储的中小包装食用油已经达到数十万箱、近百种SKU的规模量级。使用平面仓库,每天有数万箱产品出入库,且包装油入库、出库、盘库等环节均采用人工管理方式,由于流程烦琐,工作量大,货物种类、数量等信息不完善,经常出现账、卡、物不符的情况,导致库存管理水平低,成本高,已经不适应现代化企业管理的需要,迫切需要升级改造^[1]。

自动化立体库的基本特点是能提高空间利用率^[2],利用仓库的垂直空间,充分节约占地面积;仓库作业实现机械化和自动化,节省大量人力且降低货物的破损率;自动化立体库还可以提高生产与配送的效率和准确性^[3-4],更好地适应一些特殊的仓库环境,如黑暗、低温、有毒等环境。因此,广泛运用、推广自动化立体库,对实现包装成品油生产及销售数据的流转和无缝对接,提升粮油仓储物流现代化水平具有重要经济价值。本文以某公司10万箱库容规模的成品油仓库为例,从包装成品油仓储物流的项目特点出发,多角度、多维度对比分析平面仓库和自动化立体库,以期项目决策分析评价和技术方案设计提供借鉴。

1 平面仓库的概况

1.1 平面仓库作业特点

年周转量在10万t以下的相对小型的植物油厂中,中小包装成品油仓库多以平面仓库为主,运用托盘码放打包好的中小包装油,平放在地面上进行储存。进仓模式主要是人工操作叉车,将堆垛好的包装油又进仓库,出仓模式同样为人工操作叉车叉取货物完成装车。

1.2 平面仓库设计要点

平面仓库的设计较为简单,主要考虑门窗的位置、地面建筑形式和叉车通道等。按照GB 50016—2014(2018年版)《建筑设计防火规范》,此种仓库为丙类仓库,需设置排烟系统,若自然排烟无法满足要求,需加装机械排烟。由于主要靠叉车进出仓,仓库大门需要考虑宽度和高度,方便叉车进出。仓库

地面要充分考虑碾压、磨损、打滑等问题,防止因叉车碾压起灰和龟裂而导致安全问题的出现。

1.3 平面仓库占地面积

以华中地区某公司10万箱中小包装成品油仓库为例,其平面仓库码放方式如表1所示。

表1 10万箱中小包装成品油平面仓库码放方式

规格	包装箱尺寸/mm	托盘每层摆放箱数	层数	所需货位数	库存(箱)
5 L 小包装成品油	329 × 300 × 365	12	4	1 042	50 000
10 L 中包装成品油	385 × 205 × 440	12	3	1 389	50 000

仓库面积按公式(1)计算。

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{N_i A}{n_i K} \quad (1)$$

式中: S 为仓库的面积, m^2 ; N_i 为仓库内各种物料库存数量(箱); n_i 为摆放各类物料托盘的数量(箱); A 为托盘的占地面积, m^2 ; K 为仓库面积利用系数。参照GB 50475—2008《石油化工厂性仓库及堆场设计规范》第五章, K 取0.7。

通过公式(1)可计算出平面仓库的占地面积,结果见表2。由表2可知,在5 L小包装成品油50 000箱,10 L中包装成品油50 000箱的货物条件下,所需平面仓库面积为4 167 m^2 。

表2 平面仓库占地面积估算

项目	库存(箱)	托盘数量(箱)	托盘占地面积/ m^2	所需仓库面积/ m^2
5 L 小包装成品油	50 000	48	1.2	1 786
10 L 中包装成品油	50 000	36	1.2	2 381
合计	100 000			4 167

2 自动化立体库的概况

2.1 自动化立体库作业特点

相对于四向穿梭车+提升机式、子母车式的密集库,目前国内大型油脂灌装厂的自动化立体仓库一般采用巷道堆垛机式。运用托盘码放灌装码垛好的中小包装油,再通过叉车或者输送带在线将托盘送至进仓传送链条上。待进仓后,再由巷道堆垛机将托盘输送到货格内。货格由钢结构平台组成,其最高可达50 m,可以对货物进行高密度码放。出仓时同样是由巷道堆垛机将托盘从货格中取出,放至出库拣选货位,再由叉车叉取货物,完成装车。整个过程工人只需在入库区操作,既优化了工人的工作环境,又减少了巷道的宽度,提高了仓库的利用率。

自动化立体库示意图如图1所示。

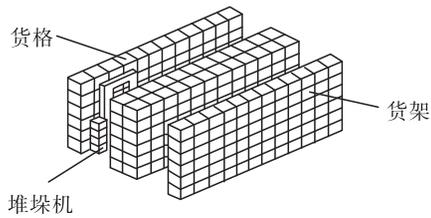


图1 自动化立体库示意图

2.2 自动化立体库设计参数确定

2.2.1 货架尺寸和行列层数

本文假定使用 1 200 mm × 1 000 mm 标准托盘, 货物单元如图 2 所示。

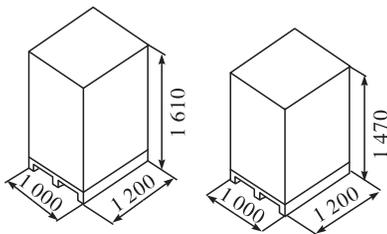


图2 货物单元示意图

两种包装的食用油均使用相同的货架托盘, 所以货格长度与深度都可采用相同的尺寸, 本文假定采用双货位货格, 则货格的长度按式(2)计算。

$$w = a \times n + 100 \times (n + 1) \quad (2)$$

式中: w 为货格长度, mm; a 为货物单元长度, mm; n 为单个货格中货物单元的数量(箱)。此处 a 取 1 000 mm, n 取 2。

由公式(2)可计算出货格长度为 2 300 mm。货格宽度通常比货物单元的宽度少 100 mm, 根据图 2, 此处取 1 100 mm。

由于物料有中包装和小包装 2 种, 对应的货物单元也有 2 种高度(图 2)。但通常为了通用性, 将高度较高的货物单元作为参照, 来设计货格的高度。依据 GB 5008—2017《自动喷水灭火系统设计规范》的要求, 对于仓库净空高度大于 12 m 的仓层仓库, 每间隔 3 m 就需要设置消防喷头, 因此每层货架均设置消防喷头。同时依据消防喷头喷洒抛物线、喷头自身结构等因素, 喷头距离货物高度至少 150 mm。综合考虑货物单元高度、安全操作空间、横梁、消防等因素, 为便于对比分析, 本文假定货格的高度为 2 175 mm, 货格示意图如图 3 所示。

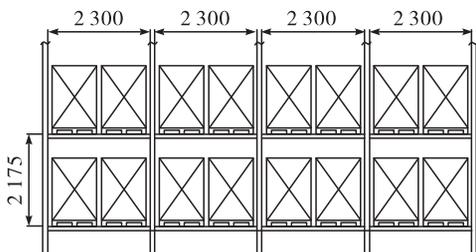


图3 货格示意图

经初步统计, 目前国内立体库普遍的货架层数是 8、9、11、12 层, 在考虑物料属性、成本、占地面积、安全性等因素后, 为便于对比分析, 本文假定货架层数为 8 层, 货架列数为 52 列, 货架行数为 6 行。

依照公式(3)进行库容验算。

$$V = L \times R \times F \quad (3)$$

式中: V 为实际总容量(即实际货位数); L 为货架列数(列); R 为货架行数(行); F 为货架层数(层)。

经上述公式计算可得实际货位数为 2 496, 大于需求量的 2 431(见表 1), 即此设计满足需求。

2.2.2 巷道宽度和堆垛机数量

巷道宽度通常比货物单元宽 200 ~ 500 mm, 此处取 1 500 mm(见图 4)。

按照每个巷道配备一台堆垛机, 即两排货架共用一台堆垛机。自动化立体库中所需的堆垛机数量为 3 台。

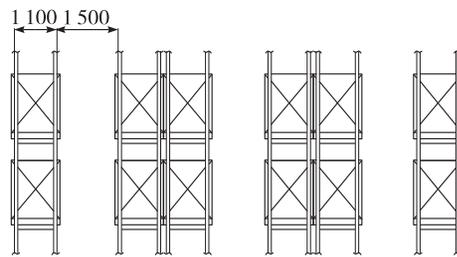


图4 货架示意图

2.2.3 货架整体尺寸

根据以上数据, 设计货架参数如表 3 所示。

表3 货架参数

项目	长度	宽度	高度
货格	2.3	1.1	2.175
货架	60	14	19

2.3 自动化立体库占地面积计算

运用公式(4)及表 3 中的参数, 可以初步估算出所需的仓库面积。

$$S = WD/K \quad (4)$$

式中: S 为仓库面积, m^2 ; W 为货架整体宽度, m; D 为货架整体长度, m; K 为库容有效面积利用系数。参照 GB 50475—2008《石油化工全厂性仓库及堆场设计规范》第五章, 考虑进出库端(输送线、叉车作业面、拣选区等功能区)所占的建筑面积, K 取 0.6。

通过公式(4)可计算出自动化立体库的占地面积为 1 400 m^2 。

3 两种仓库技术方案对比分析

3.1 主要特性

平面仓库与巷道堆垛机式自动化立体库的主要

特性比较见表4。

表4 平面仓库与自动化立体库的主要特性比较

项目	自动化立体库	平面仓库
占地面积/m ²	1 400	4 167
货位数	2 496	2 431
叉车数量(台)	3	8
配电容量/kW	200	60 + 15
先进性	高,先进先出容易实现	低
可靠性	高,人为干预少	中
安全性	高	中

注:平面仓库为平堆单层托盘式码放;叉车数量为入库、出库和装车发货的总量;平面仓库的配电容量为叉车加辅助用电设备

受制于包装成品油货物的特性,平面仓库内货物一般平面单层码放,导致平面仓库的空间利用率不高,而自动化立体库充分利用了上部立体空间,占地面积要少很多。根据本文相关假定条件,由表4可知,自动化立体库比平面仓库节约了66.4%的占地面积。

3.2 存取方式

在植物油厂中,平面仓库主要是存放成箱的包装油,一般采用堆叠的方式存放,上层货物的托盘直接压在下层货物上,容易造成外包装破损,而且在叉车出入库以及搬运过程中也有一定概率造成外包装破损,给工厂造成损失。而自动化立体库大多都是AGV/RGV或巷道堆垛机搬运,对外包装基本没有损伤,而且每垛货物均为单独存放,之间没有接触,所以不存在货物之间的碰撞损伤,故无论从货物搬运过程,还是从货物存放过程,货物在自动化立体库中的破损率相较于平面仓库要低。

3.3 管理模式

自动化立体库采用智能可视化管理,可以实时查看货物情况,方便快捷地对仓库货物进行盘点,而且出入库时可自动地先进先出,避免了某一货物长期存放的情况。而平面仓库则需要人工核对,不仅增加工作量而且可能存在人为误差^[5],工作效率低。

3.4 人工成本

平面仓库与自动化立体库的人工比较见表5。

传统的平面仓库需要人工操作叉车对货物进行出库与入库,导致人员较多,工作量较大,而自动化立体库运用智能信息软件,对出入库进行分析,对货物进行自动存取,人工成本低,工作强度小,更易于管理。由表5可知,在相同工作量的情况下,自动化立体库较平面仓库可节省5台叉车,同时每天可以

减少14人的工作量。按照每位操作工每年9万元计算,自动化立体库相较于平面仓库,每年可节省46.7%(126万元)的人工成本。

表5 平面仓库与自动化立体库的人工比较

工作内容	立体库		平面库		备注
	叉车(台)	操作工	叉车(台)	操作工	
码垛					2班制
入库			4	4人/班	2班制
出库					平库下架与装车同时进行
装车	3	6人/班	4	8人/班	2班制
维修人员		1人/班		1人/班	2班制
库管		1人/班		2人/班	2班制
合计	3	16人/d	8	30人/d	

3.5 一次性建设投资和生产运营成本

平面仓库与自动化立体库的一次性建设投资和生

产运营成本比较分析见表6。

表6 平面仓库与自动化立体库的一次性建设投资和生

产运营成本比较

项目	自动化立体库	平面仓库
固定资产费用/万元		
建筑投资	330	500
设备及安装投资	670	175
土地	42	125
合计	1 042	800
生产运营费用/(万元/年)		
人工	144	270
设备能耗	131	49
系统维护	18	5
其他	5	20
合计	298	344

注:土地费用、人工费用及电费价格分别按300元/m²、9万元/(年·人)、0.75元/(kW·h)计算

4 两种仓库的经济分析

4.1 增量投资收益率

增量投资收益率是指增量投资所带来的经营成本的节约额与增量投资之比,可以较好地反映自动化立体库的增量投资而带来的收益率。运用公式(5)计算增量投资收益率。

$$R_{2-1} = \frac{C_1 - C_2}{I_2 - I_1} \times 100\% \quad (5)$$

式中: R_{2-1} 为增量投资收益率; I_1 为投资额较小的方案的投资额,万元; I_2 为投资额较大的方案的的投资额,万元; C_1 为投资额较小的方案的经营成本,万元; C_2 为投资额较大的方案的经营成本,万元。此处 I_1 取800万元, I_2 取1 042万元, C_1 取344万元, C_2 取298万元。

采运用公式(5)计算出增量投资收益率为19.01%。

4.2 增量投资回收期

增量投资回收期是指项目效果基本相同时,互斥方案经营成本的节约额来补偿其增量投资的年限。用公式(6)计算增量投资回收期。

$$P_{i(2-1)} = \frac{I_2 - I_1}{C_1 - C_2} \quad (6)$$

式中: $P_{i(2-1)}$ 为增量投资回收期,年。

经公式(6)可计算出增量投资回收期为5.26年。此处应该重视和增加对自动化立体库带来的其他不能货币化的收益的考量。

4.3 费用现值

费用现值是将资金以基准收益率换算成设备投产初始时现值来分析比较的方法,对于一般的仓库来说,使用寿命多为8~12年,此处以10年为基准回收期,假设基准收益率为5%,运用公式(7)计算费用现值。

$$C_p = \sum_{t=0}^{10} E_t \times \frac{1}{(1+i_t)^t} \quad (7)$$

式中: C_p 为费用现值,万元; E_t 为现金流出量,万元; i_t 为基准收益率。

平面仓库与自动化立体库费用现值比较如表7所示。

表7 平面仓库与自动化立体库费用现值比较

时间/年	费用现值/万元	
	自动化立体库	平面仓库
0	1 042	800
1	284	327
2	270	312
3	257	297
4	245	283
5	233	270
6	222	257
7	212	244
8	202	233
9	192	222
10	183	211
合计	3 342	3 456

由表7可知,以10年的运营期为基准,自动化立体库的费用现值比平面仓库低114万元。

5 结束语

5.1 自动化立体库未来应用趋势

自动化立体库在中小包装食用油方面的应用是未来的发展方向。世界上现存最高的自动化立体库为50 m,国内最高为40 m。在包装食用油仓储领

域,近两年投入使用的货架典型案例基本在14~27 m,如中粮佳悦、道道全岳阳、益海泰兴、益海泉州等,这是国内供应商主要推广的立体库货架高度。相较于其他行业,自动化立体库在油脂行业中的应用还有着长足的发展空间。

对于自动化立体库来说,增加货架高度的增量投资所带来的超额收益是非常可观的。仅从定性分析来看,更高的货架高度意味着更大的存储密度,而堆垛机和WMS/WCS信息化系统的成本增加并不大,单位货物的仓储成本则会更低,投入产出效益会优于本文上述分析结论。本文主要侧重相同存储量下自动化立体库与平面仓库间的特点、优劣势的横向比较,而自动化立体库的不同设计技术方案的对比分析,以及增加高度所带来的消防、货架结构受力、出入库效率等方面的问题,是下一步需要研究的课题。

5.2 讨论

虽然平面仓库固定资产投资比自动化立体库低,但是自动化立体库相较平面库能节约66.4%的占地面积,每年能节约46.7%的人工成本。对于长期运营(大于6年)的工厂来说,使用自动化立体库能使其总体持有成本更低,能够降低企业整体的资金投入。在较好的经济效益的基础上,自动化立体库更能进一步支撑企业信息化、数字化系统建设,加快仓库货物周转速度,大幅提升企业物流仓库现代化管理水平。现代的粮油企业要求集约化、规模化生产,这无疑要求生产、仓储、物流甚至市场销售各个环节紧密相连,同时要求生产管理科学高效,设备/系统间自动协同,做到全面信息化、自动化、数字化,而建立自动化立体库则是能够提供强有力支撑的措施之一。

参考文献:

- [1] 刘小全,陈军,毕英明,等.中小包装食用油仓库智能仓储系统应用实践[J].粮食储藏,2018,47(5):20-26.
- [2] 中国仓储协会仓储设施与技术应用委员会.自动化立体仓库应用及发展展望[J].物流技术与应用,2013,18(4):106-108.
- [3] 陈忠阁,朱宝昌.有轨巷道堆垛起重机技术现状与发展趋势[J].物流技术,2000(6):13-14.
- [4] 鲜飞,朱志红,刘江涛,等.自动化立体仓库在现代制造企业中的应用与优势[J].电子工业专用设备,2015,44(4):46-50,53.
- [5] 金勇.国内石化仓储物流发展趋势与中化仓库物流解决方案[J].油气储运,2015(11):17-18.