

托盘装载优化设计系统的开发

宋卫生, 薛阳

(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 开发一款托盘装载优化设计系统,用以提高托盘装载方式设计的工作效率和准确性。**方法** 首先针对简单重叠式、正反交错式、纵横交错式和旋转交错式等 4 种典型的堆码形式,以表面利用率为优化目标进行优化算法的构建;在此基础上,分 3 个模块设计一套托盘装载优化设计系统。**结果** 对实例中尺寸数据进行优化,可得到重叠式及纵横交错式堆码和正反交错堆码的面积利用率均为 0.9,旋转交错堆码的面积利用率为 0.75,因此从堆码效率和堆码稳定性两方面进行综合分析,可得正反交错堆码为最优堆码方案。**结论** 该系统按典型的 4 种堆码方式分别给出了最优排列方案,便于设计人员兼顾考虑堆码效率和堆码的稳定性,使得堆码方案更加合理。

关键词: 托盘; 装载; 优化设计

中图分类号: U169.72 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)13-0205-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.13.028

Development of Pallet Loading Optimization Design System

SONG Wei-sheng, XUE Yang

(Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: A pallet loading optimization design system was developed to improve the efficiency and accuracy of pallet loading design. Firstly, the optimization algorithm was constructed for the four typical stacking forms of simple overlapping, positive and negative interleaving, crisscross, and rotary interleaving, with the surface utilization as the optimization objective. On this basis, a pallet loading optimization design system was designed. According to the optimization of the size data in the example, the area utilization ratio of overlapping and crisscross stacking, positive and negative interleaving stacking is 0.9, and the area utilization ratio of rotary interleaving stacking is 0.75. Therefore, from the comprehensive analysis of stacking efficiency and stacking stability, positive and negative interleaving stacking is the optimal stacking scheme. The system gives the optimal arrangement scheme according to four typical stacking modes, which is convenient for designers to consider the stacking efficiency and stability, and makes the stacking scheme more reasonable.

KEY WORDS: pallet; loading; optimization design

托盘作为一种重要的货物堆载工具,在现代物流中广泛使用,大大提高了货物的装卸效率和码垛的稳定性,托盘拥有量已逐渐成为一个国家物流现代化水平的衡量指标之一^[1]。为了提高托盘的面积利用率,降低运输物流成本,有关托盘装载优化设计被相继推出,如美国 CAPE Systems 软件公司开发的 CAPE

PACK 软件,美国 TOPS 公司研制的 TOPS PRO 软件, Lorenz Pan AG 公司开发的在线托盘装载优化系统, PalletStacking 公司开发的 PalletStacking 托盘装载优化软件, Koona 公司开发的 Quick Pallet Maker 软件,美国木制托盘和容器协会与美国弗吉尼亚理工大学托盘和容器研究实验室,美国农业部林产品实验室等

收稿日期: 2020-09-01

作者简介: 宋卫生(1980—),男,硕士,河南牧业经济学院副教授,主要研究方向为包装工程与仿真分析。

单位联合开发的 The Pallet Design System 等^[2]。以上软件功能先进,但是价格较为昂贵,同时,英文界面也不利于在国内的推广使用。目前,国内已有学者开始研究如何提高托盘表面利用率和仓储空间利用率。装载优化方面的研究大多停留在优化方法的研究^[3],国内较为成熟的优化软件有:北京达纬恒通信息技术有限公司开发的装箱大师,青岛科力特公司开发的集合包装设计软件,百适优化公司开发的 Smart PAC Pro 等。以上系统均能以面积利用率最高为目标快速给出优化方案,但是在堆垛稳定性方面没有体现。

文中旨在开发一款托盘装载优化设计系统,提高我国物流过程中托盘装载设计的科学性,综合考虑托盘表面利用率和堆码稳定性,降低设计人员的工作量,有效降低物流成本。托盘堆码方式一般有简单重叠式、正反交错式、纵横交错式和旋转交错式等 4 种形式^[4]。文中以此 4 种堆码方式为基础进行优化系统的模块开发。

1 重叠式及纵横交错式堆码优化模块

以 L_B 为纸箱长度, W_B 为纸箱宽度, L_T 为托盘长度, W_T 为托盘宽度。

1.1 优化排列方式 1

第 1 种优化排列方式为:按纸箱长对托盘长,纸箱宽对托盘宽排列。在托盘装载时,我国铁道部规定托盘上的货物宽度超出范围小于 0.04 m,长度超出范围小于 0.05 m。国外有些航运公司规定托盘上的货物超出范围为 0.0254 ~ 0.026 m^[5]。文中采用了我国铁道部规定的标准。在托盘上进行重叠式堆码的示意图 1^[6]。用 $L_T+0.05 \times 2$ 除以 L_B 得出托盘长度方向排列的货物数量 a ,然后用 $W_T+0.04 \times 2$ 除以 W_B 得到托盘宽度方向排列的货物数量 b , $a \times b$ 即为单层堆载数量。

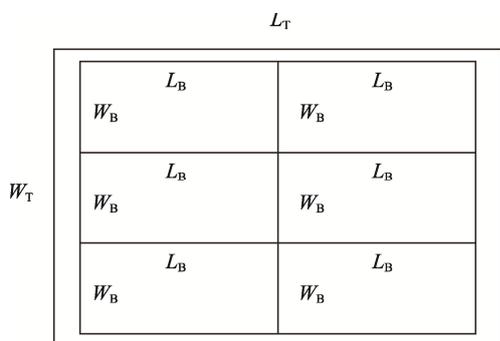


图 1 L_B 对 L_T , W_B 对 W_T 的重叠式堆码示意
Fig.1 Schematic diagram of overlapping stacking of L_B to L_T and W_B to W_T

1.2 优化排列方式 2

第 2 种优化排列方式为:按纸箱宽对托盘长,纸

箱长对托盘宽排列。

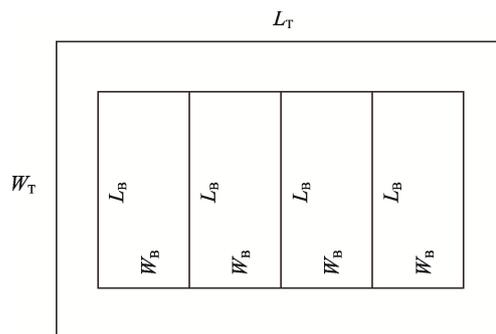


图 2 W_B 对 L_T , L_B 对 W_T 的重叠式堆码示意
Fig.2 Schematic diagram of overlapping stacking of W_B to L_T and L_B to W_T

用 $L_T+0.04 \times 2$ 除以 W_B 得出托盘长度方向排列的货物数量 c ,然后用 $W_T+0.05 \times 2$ 除以 L_B 得出托盘宽度方向排列的货物数量 d , $c \times d$ 即为单层堆载数量。

比较 $a \times b$ 与 $c \times d$ 的值,如果 $a \times b > c \times d$,则选用按纸箱长对托盘长、纸箱宽对托盘宽排列;如果 $a \times b < c \times d$,则选用按纸箱宽对托盘长、纸箱长对托盘宽排列;如果 $a \times b = c \times d$,则选用纵横交错堆码,提高堆码的稳定性^[7]。具体流程见图 3。

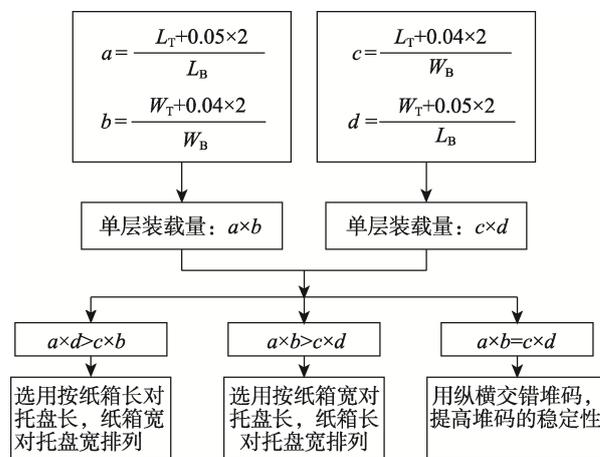


图 3 重叠式及纵横交错式堆码优化流程
Fig.3 Overlapping and crisscross stacking optimization process

2 正反交错堆码优化模块

正反交错式堆码奇、偶层的堆码图谱相差 180°,奇、偶层货物之间搭接性好,码垛稳定性高^[8],对长方形托盘和正方形托盘均适用,单层码放形式见图 4^[9]。由于长方形托盘长宽不同,从不同方向进行排列对于正反交错堆码方式有较大的影响^[10],因此后文把 2 个方向的排列形式分开进行分析与优化。

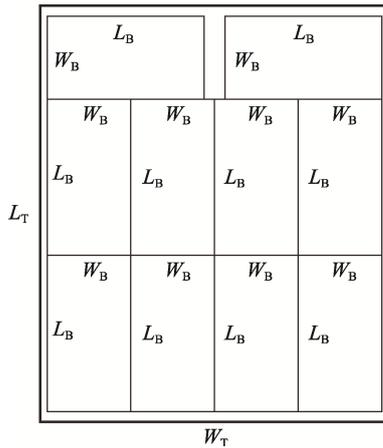


图 4 正反交错堆码示意
Fig.4 Schematic diagram of positive and negative interleaving stacking

2.1 正反交错优化排列方式 1

第 1 种优化排列方式为：从托盘长方向，按先排箱宽对托盘宽，再排箱长对托盘宽排列。由于货物长宽比的多样性，因此会出现横向排列箱体之前的缝隙大于或等于箱宽的情况，见图 5，导致无法正反交错堆码^[11-12]，因此这种情况需要排除。限定条件见式 (1)。

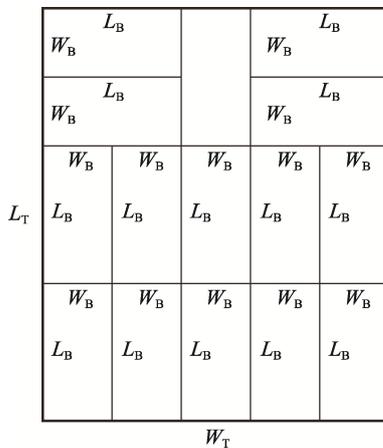


图 5 箱体缝隙大于或等于箱宽的示意
Fig.5 Schematic diagram of box gap greater than or equal to box width

$$\frac{(L_{W^B \rightarrow W^T} - L_{L^B \rightarrow W^T})}{N_{L^B \rightarrow W^T} - 1} < W_B \quad (1)$$

式中： $L_{W^B \rightarrow W^T}$ 为箱宽对托盘宽排列的总长； $L_{L^B \rightarrow W^T}$ 为箱长对托盘宽排列的总长； $N_{L^B \rightarrow W^T}$ 为箱宽对托盘宽排列的总数； W_B 为箱宽。

将箱长对托盘长的数量 n_1 从 1 开始增加，直到达到 $(L_T - W_B) / L_B$ ， n_1 的取值范围见式 (2)。

$$1 \leq n_1 \leq \frac{L_T + 0.05 + 0.04 - W_B}{L_B} \quad (2)$$

箱宽对托盘宽排列的数量 $N_{W^B \rightarrow W^T}$ 为：

$$N_{W^B \rightarrow W^T} = INT\left(\frac{W_T + 0.04 \times 2}{W_B}\right) \quad (3)$$

箱宽对托盘长排列的数量 $N_{W^B \rightarrow L^T}$ 为：

$$N_{W^B \rightarrow L^T} = INT\left(\frac{L_T + 0.05 + 0.04 - n_1 \times L_B}{W_B}\right) \quad (4)$$

箱长对托盘宽排列的数量 $N_{L^B \rightarrow W^T}$ 为：

$$N_{L^B \rightarrow W^T} = INT\left(\frac{W_T + 0.05 \times 2}{L_B}\right) \quad (5)$$

由此，单层堆码的数量为：

$$n_1 \times N_{W^B \rightarrow W^T} + N_{W^B \rightarrow L^T} \times N_{L^B \rightarrow W^T} \quad (6)$$

2.2 正反交错优化排列方式 2

第 2 种优化排列方式为：从托盘宽方向，按先排箱宽对托盘宽，再排箱长对托盘宽。

同图 5 的原因一样，图 6 也无法进行正反交错堆码，因此这种情况也需要排除。限定条件见式 (7)。

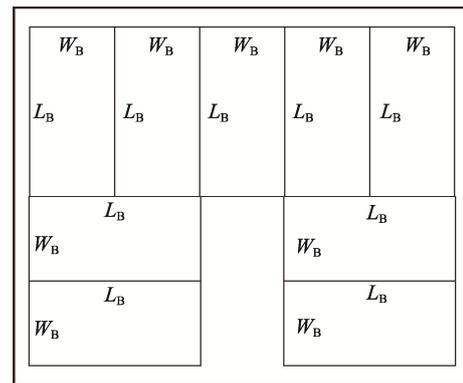


图 6 箱体缝隙大于或等于箱宽的示意
Fig.6 Schematic diagram of box gap greater than or equal to box width

$$\frac{(L_{W^B \rightarrow L^T} - L_{L^B \rightarrow L^T})}{N_{L^B \rightarrow L^T} - 1} < W_B \quad (7)$$

将箱宽对托盘宽的数量 n_2 从 1 开始增加，直到达到 $(W_T - L_B) / W_B$ 这个数量， n_2 的取值范围见式 (8)。

$$1 \leq n_2 \leq \frac{W_T + 0.05 + 0.04 - L_B}{W_B} \quad (8)$$

箱长对托盘长排列的数量 $N_{L^B \rightarrow L^T}$ 为：

$$N_{L^B \rightarrow L^T} = INT\left(\frac{L_T + 0.05 \times 2}{L_B}\right) \quad (9)$$

箱宽对托盘长排列的数量 $N_{W^B \rightarrow L^T}$ 为：

$$N_{W^B \rightarrow L^T} = INT\left(\frac{W_T + 0.05 + 0.04 - n_2 \times W_B}{L_B}\right) \quad (10)$$

箱长对托盘宽排列的数量 $N_{L^B \rightarrow W^T}$ 为：

$$N_{L^B \rightarrow W^T} = INT\left(\frac{L_T + 0.04 \times 2}{W_B}\right) \quad (11)$$

由此，单层堆码的数量为：

$$n_2 \times N_{L^B \rightarrow L^T} + N_{W^B \rightarrow L^T} \times N_{L^B \rightarrow W^T} \quad (12)$$

以上 2 种排列方式均可得到一系列的排列组合方式, 每种方式具有不同的单层排列数量, 托盘的表面利用率也不同, 因此从以上 2 种方式中取排列数量最多者, 也就是表面利用率最大的方案为最优结果。正反交错堆码方式优化的流程图见图 7。

3 旋转交错堆码优化模块

如果旋转交错相邻 2 层之间按旋转关系排列, 则上下 2 层之间仍为简单的重叠堆码, 并没有交错, 达不到增强堆码稳定性的作用, 因此旋转交错层间关系应该是镜像关系, 而非旋转关系^[13]。这种堆码方式不仅适用于正方形托盘, 而且适用于长方形托盘^[14]。堆码形式见图 8。

图 8 中 x 为箱长对托盘长的数量 $N_{L^B \rightarrow L^T}$; y 为箱

宽对托盘宽的数量 $N_{W^B \rightarrow W^T}$ 。 x 从 1 逐渐递增, 直到箱长对托盘长最大可排列的数量减 1。每取 1 个 x 值, 要让 y 从 1 逐渐递增, 直到箱宽对托盘宽最大可排列的数量减 1。 w 为当 x 为某个数值时, 剩余的托盘长度范围内可容纳的箱宽对托盘长的数量。

$$w = INT\left(\frac{L_T - L_B \times x}{W_B}\right) \quad (13)$$

z 为当 y 为某个数值时, 剩余的托盘宽度范围内可容纳的箱长对托盘宽的数量。

$$z = INT\left(\frac{W_T - W_B \times y}{L_B}\right) \quad (14)$$

在单层排列过程中, 一些箱体尺寸会出现在中心处交叉重叠的现象, 见图 9, 为了避免图 9a 这种现象的出现, 需要设定限定条件对这些排列方式进行排除, 第 1 种限定条件见式 (15) 和式 (16)。

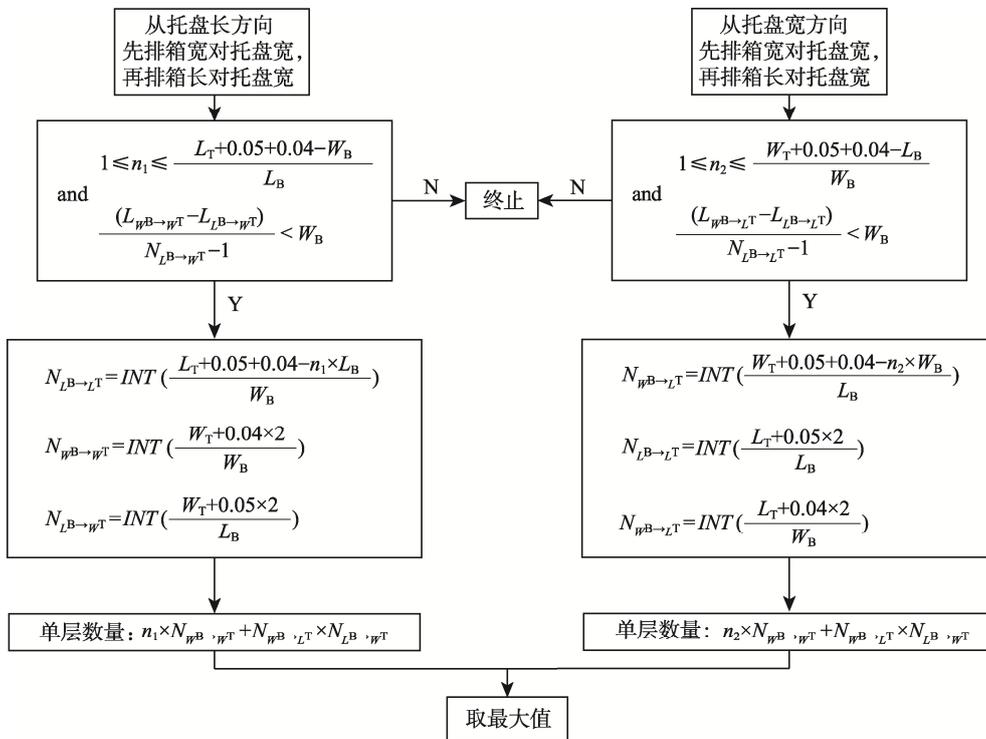


图 7 正反交错堆码优化流程

Fig.7 Optimization process of positive and negative interleaving stacking

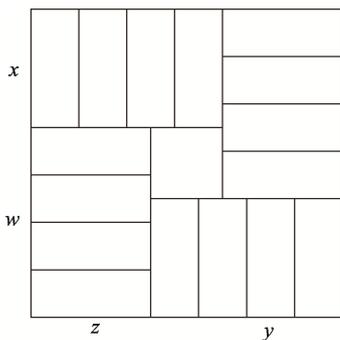


图 8 旋转交错堆码示意

Fig.8 Schematic diagram of rotary interleaving stacking

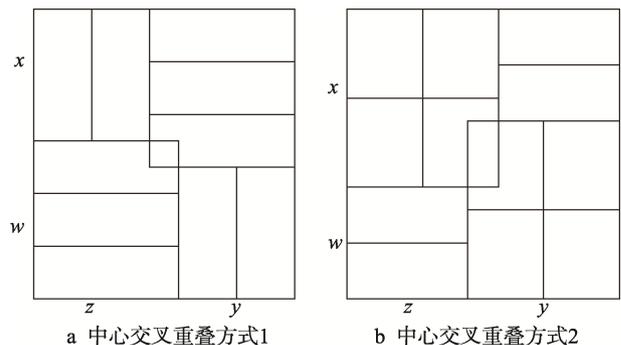


图 9 中心交叉重叠的情况

Fig.9 Situation of overlapping centers

$$L_T \geq 2 \times x \times L_B \quad (15)$$

$$z \times L_B \leq y \times W_B \quad (16)$$

单层排列数量为：

$$2 \times (x \times y + w \times z) \quad (17)$$

避免出现图 9b 所示现象的第 2 种限定条件，见式 (18) 和式 (19)。

$$L_T \leq 2 \times x \times L_B \quad (18)$$

$$z \times L_B \geq y \times W_B \quad (19)$$

单层排列数量仍为式 (17) 所示的计算方法。

以上 2 种限定条件均可得到一系列的排列组合方式，每种方式具有不同的单层排列数量，托盘的表面利用率也不同，因此从以上 2 种方式中取排列数量最多者，也就是表面利用率最大的方案为最优结果^[15]。旋转交错堆码方式优化的流程见图 10。

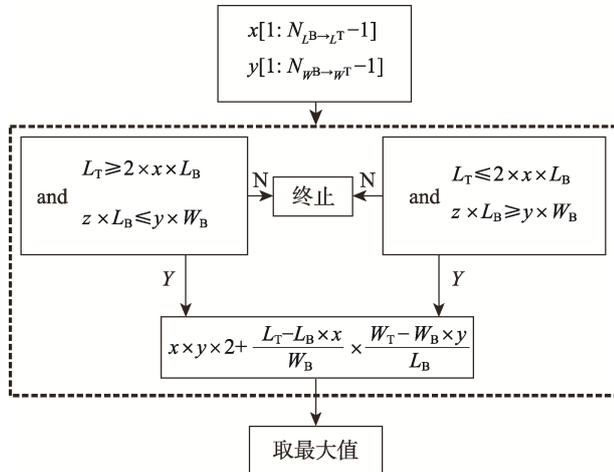


图 10 旋转交错堆码优化流程

Fig.10 Optimization process of rotary interleaving stacking

4 软件运行实例

采用系统对实际算例进行演示。所采用算例的基本情况：包装件长度为 400 mm，宽度为 300 mm，选用 1200 mm×1000 mm 的标准托盘。在优化系统中的计算与优化过程如下所述。

4.1 信息输入

首先在图 11 所示的输入窗口中选择堆码方式，共有 3 个选项，分别为“重叠式及纵横交错式堆码”“正反交错堆码”和“旋转交错堆码”。文中所开发优化系统为了兼顾托盘表面利用率和堆垛稳定性，所以需要使用者分别选择以上堆码方式，得出各自的表面利用率，然后综合考虑托盘表面利用率和堆垛稳定性，得出最优堆码方案。接下来，输入或选择托盘尺寸，如果不选用标准托盘，则需要自定义托盘尺寸，在输入框中，分别输入托盘的长度和宽度；如果选用标准托盘，可以在选择标准托盘尺寸选项选择相应的托盘

尺寸，上方的自定义托盘尺寸无需输入数据，算例中为 1200 mm×1000 mm 的标准托盘，所以只需要选择标准托盘尺寸选项中的 1200 mm×1000 mm 即可。最后输入纸箱的长度为 450 mm，宽度为 200 mm，并进行数据提交。



图 11 参数输入界面
Fig.11 Parameter input interface

4.2 结果输出

当堆码方式选择“重叠式及纵横交错式堆码”，输出结果显示为“长对长、宽对宽排列最佳，单层排列的数量为 12，纸箱长对托盘长排列的数量为 2，纸箱宽对托盘宽排列的数量为 6，面积利用率为 0.9”。

当堆码方式选择“正反交错堆码”，输出结果显示为“该排列方式一层共排 12 箱，先按箱长对托盘长排列 5 列，2 行，然后按箱宽对托盘长排列 2 列，1 行；面积利用率为 0.9，按箱长对托盘宽排列的箱子间隙为 100”。

当堆码方式选择“旋转交错堆码”，输出结果显示为“该排列方式一层共排 10 箱；箱长对托盘长数量 x 为 2，箱宽对托盘长数量 w 为 1，箱宽对托盘宽数量 y 为 2，箱长对托盘宽数量 z 为 1，面积利用率为 0.75”。

从以上信息可以综合得出“重叠式堆码”和“正反交错堆码”托盘表面利用率最高，“正反交错堆码”堆垛稳定性也好，因此选用“正反交错堆码”。

4.3 结果分析

对于“正反交错堆码”，单层排列数量为 12 的情形有 2 种，一种为系统输出结果，见图 12a，还有一种情况见图 12b。图 12b 所示堆码方式按箱长对托盘宽排列的箱子间隙为 300 mm，超过了箱宽 200 mm，因此在优化过程中就被排除了，在输出结果中不显示。

对于“旋转交错堆码”，系统输出最优的单层排列数量为 10，见图 13a。图 13b 的单层排列数量为 14，托盘横向的超出尺寸符合我国铁道部的规定范围，但是中间部分出现了交错重叠，因此在优化过程中也被排除了，在输出结果中不显示。

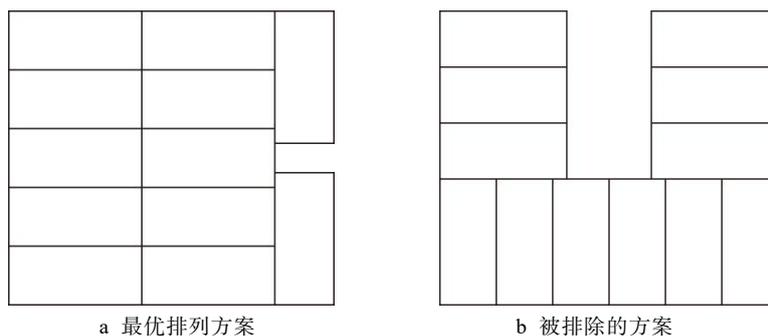


图 12 单层排列为 12 箱的 2 种情形
Fig.12 Two cases of single layer arrangement of 12 cases

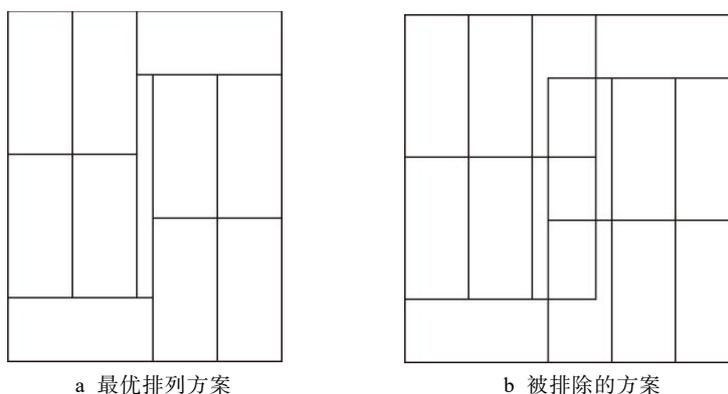


图 13 2 种旋转交错堆码排列方式
Fig.13 Two kinds of rotary interleaving stacking arrangement

从以上算例可以看出,系统在优化过程中能够有效排除不符合要求的排列方式,并给出符合要求的最优排列方式,通过对 4 种典型排列方式最优排列方案的单层堆码层数和堆垛稳定性进行比较,可以得到最优的堆码方案。

5 结语

以典型的 4 种堆码形式为基础,以表面利用率最大化为目标,研究了长方体货物或包装箱的装载优化方式。该系统可以大大减少堆码方式设计过程中的计算量和分析比较时间,大大提高工作效率,具有一定的实用价值。该系统还存在不足之处:对于非长方体形状的货物或包装箱无法进行有效的堆码方式优化;文中仅仅基于典型的 4 种堆码方式进行了优化,不能包含所有的堆码方式,因此最优方案不一定是表面利用率最高的方案。在考虑堆码方便性和稳定性的前提下,需要对其他堆码方式的优化算法进行研究。

参考文献:

[1] 甄永健. 托盘结构及装载模式 CAD 软件的研制[D]. 西安: 西安理工大学, 2000: 16—20.
ZHEN Yong-jian. Development of CAD Software for

Pallet Structure and Loading Mode[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2000: 16—20.
[2] 陈淑荣, 曹国荣, 郑宣. 基于托盘标准尺寸的瓦楞纸箱尺寸设计方法研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2014, 6(1): 56—59.
CHEN Shu-rong, CAO Guo-rong, ZHANG Xuan. Research on Size Design of Corrugated Box Based on Standard Pallet Dimension[J]. China Printing and Packaging Study, 2014, 6(1): 56—59.
[3] 莫森. 基于物流包装尺寸标准化的集合包装优化系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008: 32—34.
MO Sen. Research on Optimization System of Collective Packaging Based on Logistics Packaging Size Standardization[D]. Chongqing: Chongqing University, 2008: 32—34.
[4] 王祎楼. 基于货物组合的三维装箱启发式算法[J]. 物流工程与管理, 2018, 40(12): 79—81.
WANG Yi-lou. Heuristic Algorithm for 3D Packing Based on Cargo Combination[J]. Logistics Engineering and Management, 2018, 40(12): 79—81.
[5] 张琴, 许莉钧, 张丽. 瓦楞纸箱尺寸的优化设计[J]. 包装工程, 2012, 33(7): 58—61.
ZHANG Qin, XU Li-jun, ZHANG Li. Optimal Design of Corrugated Box Size[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(7): 58—61.
[6] 许鑫, 王宗彦. 瓦楞纸箱尺寸优化设计[J]. 机械管

- 理开发, 2009, 24(2): 56—57.
XU Xin, WANG Zong-yan. Optimal Design of Corrugated Box Size[J]. Mechanical Management Development, 2009, 24(2): 56—57.
- [7] 赵雪翔. 非标准托盘尺寸优化算法研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015: 37—41.
ZHAO Xue-xiang. Research on Optimization Algorithm of Nonstandard Pallet Size[D]. Nanning: Guangxi University, 2015: 37—41.
- [8] 宋卫生. 瓦楞纸箱尺寸设计优化系统的开发[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 93—99.
SONG Wei-sheng. Development of Optimizing System for the Size Designing of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 93—99.
- [9] 孟唯娟. 托盘装载优化系统的研究与开发[D]. 天津: 天津科技大学, 2010: 21—25.
MENG Wei-juan. Research and Development of Pallet Loading Optimization System[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2010: 21—25.
- [10] 卢成松. 瓦楞纸箱与托盘装载模式的优化研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2012: 17—21.
LU Cheng-song. Optimization of Loading Mode of Corrugated Box and Pallet[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2012: 17—21.
- [11] 吴艳芬. 基于剖析图法的瓦楞纸箱尺寸设计[J]. 北京印刷学院, 2016, 24(2): 26—30.
WU Yan-fen. Size Design of Corrugated Box Based on Analytic Drawing Method[J]. Beijing Printing Institute, 2016, 24(2): 26—30.
- [12] 王丰军. 瓦楞纸箱结构 CAD 系统的研制与开发[D]. 天津: 天津科技大学, 2002: 23—26.
WANG Feng-jun. Research and Development of Corrugated Box Structure CAD System[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2002: 23—26.
- [13] 王霜. 瓦楞纸箱 CAD 系统开发[D]. 成都: 四川大学, 2000: 18—22.
WANG Shuang. Development of Corrugated Box CAD System[D]. Chengdu: Sichuan University, 2000: 18—22.
- [14] 孙诚, 黄利强, 冯欣. 瓦楞纸箱用料优化系统[J]. 中国包装, 1996(6): 64—66.
SUN Cheng, HUANG Li-qiang, FENG Xin. Material Optimization System for Corrugated Box[J]. China Packaging, 1996(6): 64—66.
- [15] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 文化发展出版社, 2019: 320—330.
PENG Guo-xun. Logistics Transportation Packaging Design[M]. Beijing: Cultural Development Press, 2019: 320—330.