

弹药柜装载堆码仿真设计与优化

晏军¹, 玉奴斯·唐阿塔尔², 赵战成³, 蔡仁⁴

(1.新疆人工影响天气办公室, 乌鲁木齐 830002; 2.新疆气象局应急与减灾处, 乌鲁木齐 830002;
3.新疆巴州气象局, 库尔勒 841000; 4.乌鲁木齐市气象局, 乌鲁木齐 830002)

摘要: **目的** 为了提高弹药存储柜的最大装载空间利用率和箱装弹药的集合包装能力。**方法** 通过 SketchUp pro 软件, 对 2 种弹药分别进行集装堆码建模设计, 并提出一种基于遗传算法的优解思路。**结果** 根据弹药类型和储备需求设计了 10 种堆码方案, 经过比较分析发现, 炮弹侧装堆码方案可堆码存储弹药 56 箱, 分别占承重总量和存储空间的 98%和 79.05%; 火箭弹平装堆码方案可堆码存储弹药 24 箱, 约占承重总量和存储空间的 19.2%和 79.68%; 以炮弹为主的方案中平装堆码方案可堆码炮弹 48 箱、火箭弹 4 箱, 约占承重总量和存储空间总量的 87.2%和 69.27%; 以火箭弹为主的方案可堆码火箭弹 22 箱、炮弹 8 箱, 约占承重总量和存储空间的 28.4%和 60.81%, 上述堆码方案在弹药柜利用率和弹药存取方面均优于其他方案。**结论** 方案有效地提高了箱装弹药在弹药存储柜中的集装储备能力。

关键词: 弹药堆码; 方案设计; 建模; 遗传算法

中图分类号: TB391.9; TB498 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)09-0083-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.09.014

Design and Optimization of Ammunition Loading and Stacking Simulation

YAN Jun¹, YUNUSI·Tang-a-ta-er², ZHAO Zhan-cheng³, CAI Ren⁴

(1.Xinjiang Weather Modification Office, Urumqi 830002, China;

2.Xinjiang Meteorological Department of Emergency Response and Disaster Mitigation, Urumqi 830002, China;

3.Bazhou Meteorological Bureau, Korla 841000, China;

4.Urumqi Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China)

ABSTRACT: The paper aims to improve the maximum loading space utilization ratio of ammunition storage cabinet and the assembly packaging capacity of cartridge ammunition. Through Sketch up Pro software, two kinds of ammunition were modeled and designed respectively, and an optimal solution based on genetic algorithm was proposed. According to ammunition type and storage requirement, 10 stacking schemes were designed. Through comparative analysis, it was found that 56 cartridges of ammunition could be stacked and stored in the side-loading scheme, accounting for 98% and 79.05% of the total load-bearing capacity and storage space respectively; 24 cartridges could be stacked and stored in the rocket flat-loading scheme, accounting for 19.2% and 79.68% of the total load-bearing capacity and storage space. In the main scheme, the paperback stacking scheme can stack 48 cartridges and 4 rockets, accounting for 87.2% and 69.27% of the total load-bearing capacity and storage space. In the side-loading scheme, 22 cartridges and 8 cartridges can be stacked, accounting for 28.4% and 60.81% of the total load-bearing capacity and storage space. The above-mentioned stacking scheme was superior to other scheme in cartridge utilization ratio and ammunition access. The scheme effectively improves

收稿日期: 2019-01-16

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201306047)

作者简介: 晏军(1978—), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为大气科学及人工影响天气。

通信作者: 蔡仁(1979—), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为天气、气候及人工影响天气。

the storage capacity of cartridge ammunition in ammunition storage cabinet.

KEY WORDS: ammunition stacking; scheme design; modeling; genetic algorithm

近年来,随着包装、货运和仓储等行业的发展与兴起,虽然人民的生活得到了许多便利,但如何有效地提升货物存储空间的利用率,成为了这些行业有待解决的首要问题,同时也受到了众多学者的研究和关注。在民用领域,多集中于货运仓储、货场^[1-3]和公路^[4-6]、铁路^[7-9]、水路^[10-11]、航空^[12-13]等交通运输方面;在军事领域,研究则多集中于弹药包装箱的结构设计和仓储堆码^[14-15]等方面。目前主要通过计算和三维建模等技术手段,对货物承载体的内部结构和堆码方案进行优化设计,从而达到有效提升货物承载体空间利用率的目的。由于人工影响天气行业(简称:人影)所使用的作业火器和弹药多为半军半民的火工产品,虽没有军事领域方面那么高的要求,但也具有一定的特殊性。长期以来,由于受到行业特殊性等因素的制约和影响,因此在人影火器装备和弹药包装、储运等方面的相关研究较为薄弱。综上,文中拟针对在有限的存储空间内,将如何近一步提升弹药柜的储备能力作为研究对象,通过对箱装弹药进行堆码仿真设计,从而有效地将弹药存储柜的空间利用率最大化^[16-17]。

1 弹药堆码原理及需求分析

弹药堆码是根据物品的种类、包装尺寸及存储空间等特点,对存储弹药按照区域、位置、方向、形状、大小和高度等进行合理划分、优化组合和整齐堆放。

目前,新疆15个地区、78个县(市)开展了人工增水、防雹作业,拥有人影作业站点1500余个,年均发射增雨炮弹近8万余发、火箭弹3万余枚。按照作业火器和作业性质的不同,整个作业期间,作业点需储备人影炮弹300~800余发,火箭弹30~60余枚,且逐年呈现出上升的趋势。为了解决和满足基层业务的需求,新疆人工影响天气办公室自主研发了一种专门用于存储和集装人影作业弹药的弹药存储柜,该弹药存储柜有大、小2种规格,均符合国家公布的GB 10409—2001 防盗保险柜技术标准和《人影弹药储运管理》等相关技术标准和规定。由于前人已对相关技术方面进行了研究,在此就不再做过多阐述。

2 模型建立

2.1 优化条件设定

在建立优化数学模型前,为了便于表述,对弹药存储柜及箱装弹药结构做出以下设定。

1) 在空间坐标系中,将弹药存储柜右下角设为原点 O ,存储柜的长(L)、宽(W)、高(H)分别位

于 Ox (横轴)、 Oy (纵轴)、 Oz (数轴)坐标轴上(见图1)。

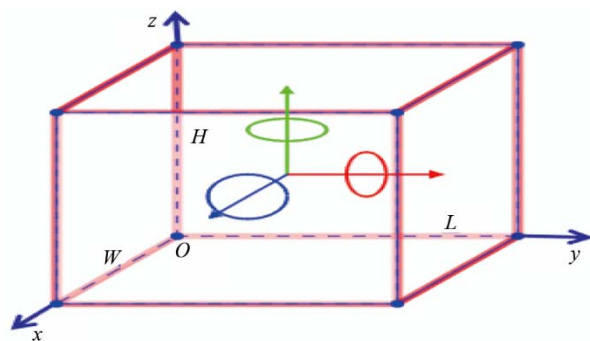


图1 空间坐标系
Fig.1 Space coordinate system

2) 弹药包装箱和弹药存储柜均为大小不同的长方体结构,且小长方体能在大长方体中以各种方式任意摆放。

3) 弹药箱装入存储柜时,必须紧贴弹药柜的 LH 、 WH 和 LW 面,分别采用平放、侧放和立放3种方案进行堆码设计。其整体结构可用坐标式(1)进行表示。

$$L_a \sim L_b \frac{H_e - H_f}{W_c - W_d} \quad (1)$$

式中: L_a 、 W_c 、 H_e 分别为行、列、高的起点; L_b 、 W_d 、 H_f 分别为终点。

4) 装载空间限制。装载弹药总体积需小于弹药存储柜所能承受的装载空间体积。

5) 承载力限制。堆码弹药的总质量需小于存储柜所能承受的额定载质量;堆码弹药的高度及弹药之间所受到的压力需在安全范围内。

在满足上述条件后进行集装堆码,首先通过优化函数表达式对其进行空间使用率和承重率最大化处理。

$$F(\alpha)_{\max} = \alpha \sum_{i=1}^n k_i g_i / G + (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n (k_i l_i w_i h_i) / (LWH) \quad (2)$$

式中: $F(\alpha)$ 为优化后的目标函数; K_i 为第 i 类弹药箱的总数量; g_i 和 G 分别表示 i 类单个弹药包装质量和弹药柜最大承受质量; α 为 $[0,1]$ 区间的变量。当 $\alpha=1$ 时,弹药柜的承重率最高;当 $\alpha=1$ 时,弹药柜的存储空间利用率最大。

3 设计与实现

3.1 空间处理方法

弹药集装存储堆码最主要的影响因素就是空间有限性,所以首先应确定三维空间的处理方法,以确

保存存储空间内各弹药箱之间的完整性。三空间分割法是当弹药箱装入第 1 批货物后, 集装箱的剩余空间被分割成 3 个子空间, 其余待装弹药箱只能在 3 个子空间内进行堆码和摆放。当任意一个子空间再次装入一批待装弹药箱后, 继续分割成 3 个子空间, 一直循环往复直至进行空间合并或无法再装入整箱弹药为止。随着弹药箱的增多, 弹药柜空间被分成为若干个子空间, 这将导致搜索效率下降和堆码存储空间变小, 导致许多子空间使用率大幅度降低, 因此需要进行空间合并处理以降低无效空间数量。按照从下到上, 由内向外的顺序进行合并和优化, 确保了堆码弹药的稳定性和合理性^[18-19]。

3.2 遗传算法实现

遗传算法是一种模拟生物遗传进化而生成的优化概率搜索算法, 其主要步骤依次为确定编码方法、设计遗传算子、选取控制参数、确定适应度函数和确定终止原则等。

3.2.1 编码方法

在遗传算法中二进制编码最为常用, 其使用 0 和 1 这 2 种二进制编码符号进行编码, 具有操作简单、编码方便、易读取等优点。

3.2.2 遗传算子

遗传算子主要有选择、交换和突变等 3 种。遗传算子的操作都是随机进行的, 因此个体最优解的迁移规则也具有一定的不确定性因素。将 n 设为群体大小, m 为被选概率。在计算出各个体概率后进行选择。通过每次产生的 $[0, 1]$ 之间的随机数来确定被选个体, 进行后期的交叉操作。

3.2.3 选取控制参数

在运行遗传算子操作求解时, 需对种群大小、交叉概率和变异概率等 3 个参数进行人为指定。

1) 种群的大小。种群大小指个体的数量多少。值越小运算速度越快, 但受破坏的可能性会越大, 反之运算就会越慢, 受破坏的可能性就会越小。

2) 交叉的概率。交叉操作是新生体生成的主要方法, 如果取值较大, 会对优良个体产生不良影响从而无法得出最优方案, 反之就会出现局部优化不良的弊端。

3) 变异的概率。变异操作也是群体产生新个体的一种方法。如果取值较大, 虽能提高产生新个体的速度, 但极有可能破坏现有的优化个体, 降低其自适应性和全局优化性, 反之则会降低其产生新个体的能力。

3.2.4 确定适应函数

遗传算法是通过适宜度函数值大小来评价解的

好坏, 值越大质量越好, 反之越差。在评价解的好坏时还需注意空间利用率、载重利用率和重心等因素。

1) 空间利用率函数。

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^m l_i w_i h_i}{V} \times 100\% \quad (0 < \eta < 1) \quad (3)$$

式中: l_i , w_i , h_i 为第 i 个货物的长、宽、高; V 为集装箱总体积。

2) 载重利用率。

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^m G_i}{G} \times 100\% \quad (0 < \omega < 1) \quad (4)$$

式中: G_i 为第 i 个货物质量; G 为集装箱限重。结合处理多目标优化的加权系数法和惩罚函数法, 定义系统的适宜度函数为:

$$P = k_1 \eta + k_2 \omega + k_3 \chi \quad (5)$$

式中: k_1 , k_2 , k_3 分别为空间使用率、载重利用率、重心高度的权重系数。

3) 重心检查函数。

$$\chi = \frac{\frac{H_k G_k + H_1 G_1}{W_k + W_1}}{H_k} \times 100\% \quad (0 < \chi < 1) \quad (6)$$

式中: H_k 为弹药柜重心高度; G_k 为弹药柜质量; H_1 为弹药箱总体重心高度; G_1 为弹药箱总质量。利用加权系数法和惩罚函数法将 $P = k_1 \eta + k_2 \omega + k_3 \chi$ 定义系统的适宜度函数, 其中 k_1 , k_2 , k_3 分别为空间利用率、载重利用率和重心权重系数。

3.2.5 计算终止准则

根据弹药装载的实际需求和程序运行的时间, 人为地将系统中最大迭代次数设置为 20 次, 作为程序运算终止准则^[20-21]。

4 箱装弹药堆码方案设计

人影弹药存储柜目前分为大小不同的 2 种规格, 均为长方体结构。大弹药存储柜尺寸为 1730 mm×1050 mm×1850 mm, 最大承载质量为 2000 kg。

根据弹药柜整体结构特点, 将选用方垛堆码模式 (见图 2), 堆码时需紧贴存储柜内侧的一边由下向上逐层叠加, 直至无法再继续装入整箱包装弹药为止。由于在堆码存储过程中弹药箱会受到搬运、装载和码垛时产生的冲击力和静态压力, 因此在方案设计时, 其包装规格、耐压强度和码垛高度等要素均符合 GJB 1444—1992《弹药包装通用规范》^[22]、GB 4857.3—1992《包装 运输包装件 静载荷堆码试验方法》^[23]及 GJB 5658—2006《化学防爆弹药包装、装卸、贮存、运输技术要求》^[24]等相关规定, 将弹药箱码垛高度严格控制在 2 m 内。应用 SketchUp 软件对

当前人影行业所使用的 2 种弹药类型（炮弹和火箭弹）进行堆码优化仿真。

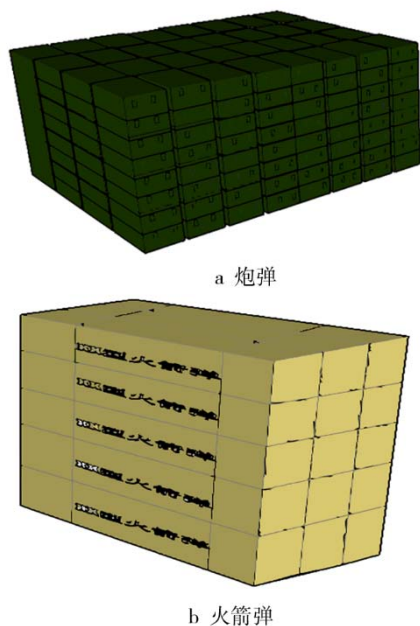


图 2 2 种弹药类型包装箱方垛堆码模式示意
Fig.2 Illustration of stacking modes for two types of ammunition packing boxes

4.1 炮弹包装箱堆码方案

炮弹包装箱是尺寸为 450 mm×430 mm×230 mm 的小长方体，其外部为抗压能力较强的木质包装箱，

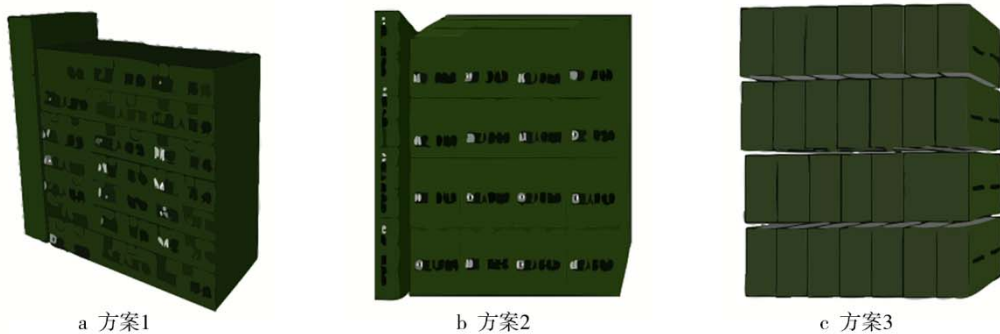


图 3 炮弹包装箱堆码示意
Fig.3 Schematic diagram of shell packing box stacking

4.2 火箭弹包装箱堆码方案

火箭弹包装箱是尺寸为 1405 mm×465 mm×160 mm 的大长方体，其外部包装为质量轻、平面受力强的 5 层 AB 型瓦楞包装纸箱，其内部包装为质量轻、抗压好、吸振能力强的泡沫塑料防护减振层，每个包装箱可容纳 3 枚火箭弹，质量为 16 kg。

4.2.1 平装堆码方案

方案 1（见图 4a，平装堆码示意）是将火箭弹包装箱沿着弹药柜的内侧平行装入，并对其进行集装和堆码，结果显示可堆码 22 件箱装火箭弹（即 2×1×11

内部为密封防潮的圆柱型塑料密封筒，每个包装弹药箱可容纳 20 发炮弹，质量为 35 kg。炮弹包装箱堆码示意图 3。

方案 1（见图 3a，平装堆码示意）是按照弹药柜的内部空间结构，将弹药包装箱紧贴柜体一侧，将弹药箱平行装入柜内并进行堆码叠加，直至无法继续装入整箱弹药为止。结果表明，弹药柜可容纳 42 箱弹药（即 2×3×7 堆码排列方式），但柜体另一侧的剩余空间还可容纳 8 箱弹药（即 2×1×4 的堆码排列方式，包装箱需立放），共计可集装堆码 50 箱弹药，装载弹药约占柜体承重和存储空间的 87.5%和 70.48%。

方案 2（见图 3b，侧装堆码示意）是将弹药箱紧贴柜体一侧，侧着将弹药箱装入柜内进行堆码叠加，结果显示弹药柜可容纳 48 箱弹药（即 3×4×4 堆码排列方式），柜体另一侧的剩余空间还可容纳 8 箱弹药（即 2×1×4 堆码排列方式，包装箱需立放），共计可容纳箱装弹药 56 箱。分别占承重和存储空间的 98%和 79.05%。

方案 3（见图 3c，立装堆码示意）是将弹药箱紧贴柜体一侧，立着将弹药箱装入柜内进行堆码叠加，结果显示弹药柜在容纳 56 箱弹药（即 2×7×4 堆码排列方式）后，剩余空间已无法装入整箱弹药。在装载总量和空间利用率等方面，虽然该方案与侧放堆码方案相同（98%和 79.05%），但在装载高度、重心稳定性和存取弹药的便捷性等方面都略逊于侧放堆码模式。

堆码排列方式），柜体另一侧的剩余空间显示还可堆码 2 件箱装火箭弹（即 2×1×1 堆码排列方式，弹药箱需立放），可集装堆码弹药共计 24 箱，分别占承重总量和存储空间总量的 19.2%和 79.68%。

4.2.2 侧装堆码方案

方案 2（见图 4b，侧装堆码示意）是将火箭弹箱按照先前设定的条件，侧着装入弹药柜内进行堆码和叠加。结果表明，弹药柜可堆码 18 件箱装火箭弹（即 3×6×1 堆码排列方式），最边上的剩余空间可容纳 2 件箱装火箭弹（即 2×1×1 堆码排列方式，弹药箱需立放）。由于摆放高度较低，最上部空间还可堆码 4 件

箱装火箭弹 (即 $2 \times 1 \times 2$ 堆码排列方式, 弹药箱需平放), 可集装堆码弹药共计 24 箱, 约占承重总量和存储空间总量的 19.2% 和 79.68%。

4.2.3 立装堆码方案

火箭弹包装箱堆码示意图 4。方案 3 (见图 4c, 立装堆码示意) 是将弹药箱立着放入弹药柜内进行堆码排列。结果显示, 弹药柜可堆码 20 件箱装火箭弹 (即 $2 \times 10 \times 1$ 堆码排列方式), 其装载堆码数量共计为 20 箱, 约占承重和存储空间总量的 16% 和 79.37%。

4.3 混装弹药箱堆码方案

混装弹药方案主要分为以炮弹为主火箭弹为辅和以火箭弹为主炮弹为辅等 2 种。由于在最大限度地堆码某一种弹药箱后, 所剩空间较小, 无法再次装入整箱弹药, 因此该方案 (立放) 不适用于混装堆码, 平装和侧装等 2 种堆码模式较为适合。

4.3.1 以炮弹为主的堆码模式

1) 平装。该方案 (见图 5a, 炮弹平装堆码示意) 是以炮弹为主, 将弹药箱按照堆码要求平行装入弹药柜一侧堆码, 当剩余空间不足以再装入炮弹包装箱后停止堆码, 并根据剩余空间的体积, 进行火箭弹包装箱的装载和排列。结果表明, 弹药柜可堆码 42 件箱装炮弹 (即 $2 \times 3 \times 7$ 堆码排列方式), 边上剩余空间可堆码 4 件箱装火箭弹 (即 $2 \times 2 \times 1$ 堆码排列方式, 火箭弹箱需立放), 约占承重和存储空间总量的 76.7% 和

60.69%。

2) 侧装。该方案是以炮弹为主, 将弹药箱侧着装入弹药柜。按照弹药存储柜的尺寸将箱装弹药侧着装入柜内进行堆码叠加, 结果显示弹药柜可堆码 48 件箱装炮弹 (即 $3 \times 4 \times 4$ 堆码排列方式), 柜体另一侧的剩余空间还可堆码 4 件箱装火箭弹 (即 $2 \times 2 \times 1$ 堆码排列方式, 弹箱需立放), 约占承重和存储空间总量的 87.2% 和 69.27%。

4.3.2 以火箭弹为主的堆码模式

1) 平装。该方案 (见图 5b, 火箭弹平装堆码示意) 是以火箭弹为主, 先将火箭弹箱平放装入弹药柜内, 然后按照弹药存储柜的剩余空间将箱装炮弹进行堆码。结果表明, 弹药柜可堆码 22 件箱装火箭弹 (即 $2 \times 1 \times 11$ 堆码排列方式), 最边上的剩余空间可堆码 8 件箱装炮弹 (即 $2 \times 1 \times 4$ 堆码排列方式, 炮弹箱需立放堆码), 约占承重总量和存储空间总量的 31.5% 和 74.15%。

2) 侧装。该方案是先将箱装火箭弹按照堆码要求进行侧放堆码, 直至堆码空间无法容纳整箱弹药为止。结果表明, 弹药柜可堆码 18 件箱装火箭弹 (即 $3 \times 1 \times 6$ 堆码排列方式), 最边上的剩余空间还可堆码 8 件箱装炮弹 (即 $2 \times 1 \times 4$ 堆码排列方式, 炮弹箱需立放), 约占承重总量和存储空间总量的 28.4% 和 60.81%。

3) 相对于上述 2 种堆码方案, 由于立放堆码方

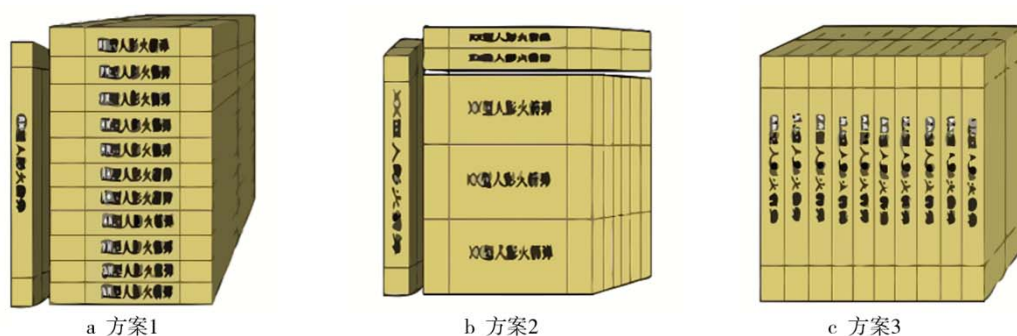


图 4 火箭弹包装箱堆码示意

Fig.4 Schematic diagram of rocket cartridge packing box stacking

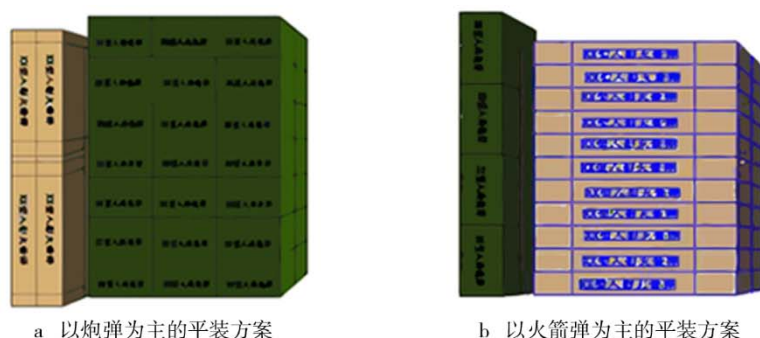


图 5 混合弹药箱堆码示意

Fig.5 Schematic diagram of stacking of mixed ammunition boxes

案重心高度较高,且不利于存取弹药,因而在此不做表述。

通过对以上 10 种堆码方案的对比可以看出,弹

药柜堆码方案设计是弹药集装储备的关键,也是直接关系到弹药储备数量和保障能力等方面的重要因素(见表 1)。

表 1 箱装弹药集装堆码情况
Tab.1 Container ammunition loading and stacking

弹药种类	堆码方式	装载数量/箱	占载重比例%	占存储空间比例/%
炮弹	平放	50	87.5	70.48
	侧放	56	98	79.05
	立放	56	98	79.05
火箭弹	平放	24	19.2	79.68
	侧放	24	19.2	79.68
	立放	20	16	66.35
混装(炮弹为主火箭弹为辅)	平放	42(炮)+4(火)	76.7	60.69
	侧放	48(炮)+4(火)	87.2	69.27
混装(火箭弹为主炮弹为辅)	平放	22(火)+8(炮)	31.5	74.15
	侧放	18(火)+8(炮)	28.4	60.81

5 结语

通过对当前人影弹药包装箱和弹药存储柜的特点分析,设计出了 10 种堆码优化方案。结果表明,文中设计的几种优化存储方案都有着较高的装载率,能够满足当前基层各作业点的实际用弹量需求。通过对比和分析,最终确定出以炮弹包装箱侧装方案和火箭弹包装箱平装方案为最优方案,这 2 种方案对提升基层弹药集装存储能力和供应保障能力等方面有着较好的参考价值和指导意义。

参考文献:

- [1] 姚茜. 集装箱码头堆场箱位分配与场桥调度协同优化研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.
YAO Qian. Research on Cooperative Optimization of Container Location Allocation and Bridge Dispatching in Container Terminal Yard[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017.
- [2] 邱建东, 蒋兆远, 汤旻安. 基于 BD-PSO 的航空货运站集装立体库任务分配优化研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2015, 36(3): 234—237.
QIU Jian-dong, JIANG Zhao-yuan, TANG Min-an. Research on Task Allocation Optimization of Air Cargo Terminal Three-dimensional Storage Based on BD-PSO[J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition), 2015, 36(3): 234—237.
- [3] 刘莹. 基于三维虚拟视觉的物流仓储空间货物摆放仿真[J]. 物流技术, 2014, 33(7): 292—294.
LIU Ying. Logistics Storage Space Cargo Placement Simulation Based on 3D Virtual Vision[J]. Logistics Technology, 2014, 33(7): 292—294.
- [4] 张宝华, 刘振宇, 严凤斌, 等. 箱装弹药汽车装载算法[J]. 物流技术, 2016, 35(6): 168—170.
ZHANG Bao-hua, LIU Zhen-yu, YAN Feng-bin, et al. Car Loading Algorithm for Cartridge-loaded Ammunition[J]. Logistics Technology, 2016, 35(6): 168—170.
- [5] 张春和, 吕亚飞, 何健, 等. 军用车辆器材基数组套包装与集装化储运研究[J]. 包装工程, 2016, 37(3): 71—75.
ZHANG Chun-he, LYU Ya-fei, HE Jian, et al. Set-forming Packaging of Military Vehicle Equipment and Containerized Storage and Transportation[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(3): 71—75.
- [6] 吴倩倩. 物流配送中心车货匹配与路径优化研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.
WU Qian-qian. Research on Vehicle-freight Matching and Route Optimization in Logistics Distribution Center[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017.
- [7] 唐书军. 集装单元化在铁路货运中的应用研究[D]. 上海: 华东交通大学, 2017.
TANG Shu-jun. Research on the Application of Unitization in Railway Freight Transportation[D]. Shanghai: East China Jiaotong University, 2017.
- [8] 安迪. 铁路货运量影响因素分析及对策研究[J]. 铁道货运, 2014, 32(10): 41—46.
AN Di. Analysis of Influencing Factors of Railway Freight Volume and Countermeasures[J]. Railway Freight, 2014, 32(10): 41—46.
- [9] 李云涛. 小件货物铁路集装箱化运输的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
LI Yun-tao. Research on Containerized Transportation of Small Goods by Railway[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [10] 祝慧灵. 集装箱船舶与堆场协调作业优化模型与算法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2018.
ZHU Hui-ling. Research on Optimization Model and Algorithm of Coordinated Operation Between

- Container Ship and Yard[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2018.
- [11] 李尚富. 遗传算法在集装箱船舶配载中的应用[J]. 舰船科学技术, 2016, 38(20): 79—81.
LI Shang-fu. Application of Genetic Algorithms in Container Ship Stowage[J]. Ship Science and Technology, 2016, 38(20): 79—81.
- [12] 张丽霞. 航空货运飞机装载问题研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
ZHANG Li-xia. Study on the Loading Problem of Air Freight Aircraft[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [13] 白杨. 航空物流系统分析及优化[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
BAI Yang. Analysis and Optimization of Air Logistics System[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.
- [14] 张宝华, 刘振宇, 严凤斌. 一种箱装弹药堆码的算法研究[J]. 微计算机信息, 2012, 28(8): 97—98.
ZHANG Bao-hua, LIU Zhen-yu, YAN Feng-bin. An Algorithm for Stacking of Cartridge Ammunition[J]. Microcomputer Information, 2012, 28(8): 97—98.
- [15] 刘振宇, 张宝华, 严凤斌, 等. 箱装弹药堆码仿真设计与优化算法[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 42—44.
LIU Zhen-yu, ZHANG Bao-hua, YAN Feng-bin, et al. Simulation Design and Optimization Algorithm of Cased Ammunition Stowage[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 42—44.
- [16] 郑炜, 刘文兴, 杨喜兵, 等. 一种基于启发式算法的货物装载问题的研究[J]. 西北工业大学学报, 2016, 34(4): 708—713.
ZHENG Wei, LIU Wen-xing, YANG Xi-bing, et al. A Heuristic Algorithm-based Study of Cargo Loading Problem[J]. Journal of Northwest Polytechnic University, 2016, 34(4): 708—713.
- [17] 李广才, 孙诚, 黄利强. 硬质直方体集装箱装载系统的开发与优化[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 46—49.
LI Guang-cai, SUN Cheng, HUANG Li-qiang. Development and Optimization of Container Loading System for Hard Rectangular Product[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 46—49.
- [18] 王超, 金淳, 韩庆平. 三维装载与 CVRP 联合多目标优化问题的模型及算法[J]. 控制与决策, 2016, 31(5): 929—934.
WANG Chao, JIN Chun, HAN Qing-ping. Models and Algorithms for Multi-objective Optimization of Three-dimensional Loading Combined with CVRP[J]. Control and Decision-making, 2016, 31(5): 929—934.
- [19] 张梅娟, 吴铃, 顾婷婷, 等. 单一货物摆放无约束三维装箱优化方法[J]. 宁波工程学院学报, 2018, 30(1): 33—38.
ZHANG Mei-juan, WU Ling, GU Ting-ting, et al. Unconstrained Three-dimensional Packing Optimization Method for Single Cargo Placement[J]. Journal of Ningbo Institute of Engineering, 2018, 30(1): 33—38.
- [20] 高亚平. 集装箱船舶货物实配过程的遗传算法改进方法[J]. 舰船科学技术, 2018, 40(22): 181—183.
GAO Ya-ping. Improvement of Genetic Algorithm for Container Ship Cargo Matching Process[J]. Ship Science and Technology, 2018, 40(22): 181—183.
- [21] 宣兆龙, 王维, 李金明, 等. 弹药储运方舱内部结构设计[J]. 包装工程, 2015, 36(3): 152—155.
XUAN Zhao-long, WANG Wei, LI Jin-ming, et al. Design of Internal Structure of Ammunition Storage and Transportation Shelter[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 152—155.
- [22] GJB 1444—1992, 弹药包装通用规范[S].
GJB 1444—1992, General Specification for Ammunition Packaging[S].
- [23] GB 4857.3—1992, 包装 运输包装件 静载荷堆码试验方法[S].
GB 4857.3—1992, Packaging-complete, Filled Transport Packages-stacking Tests Using Static Load[S].
- [24] GJB 5658—2006, 化学防爆弹药包装、装卸、贮存、运输技术要求[S].
GJB 5658—2006, Technical Requirement for Packaging, Handling, Storage and Transportation of Chemical Riot Control Ammunition[S].