

装备防护

基于启发式算法的弹药托架集装优化研究

李良春¹, 张晶², 刘仲权¹, 关继成³, 孙宁国³

(1.军械技术研究所, 石家庄 050003;

2.陆军重庆军事代表局, 重庆 400060; 3.72790 部队, 济南 250308)

摘要: **目的** 为减少部队弹药保障单位的储备数量和勤务时间, 加快弹药保障反应速度, 以托架为基础, 对集装弹药进行装载优化, 实现快速高效的弹药单元化保障目标, 增强部队弹药机动保障、直达保障能力。**方法** 建立弹药托架装载优化模型, 提出基于启发式算法的求解思路, 并给出算法步骤。**结果** 通过算例验证了优化模型的有效性, 以 12 种待装弹药为例, 利用算法使托架的平均空间利用率达到 60.25%, 平均面积利用率达到 89.94%。**结论** 为解决弹药装载优化问题提供了一种技术方法, 并发现标准托架与箱装弹药在设计时没有考虑互相匹配的问题, 在将来托架和箱装弹药的设计中应加以考虑。

关键词: 弹药保障; 装载; 优化; 启发式

中图分类号: U294.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0209-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.039

Optimization of Ammunition Bracket Loading Based on Heuristic Algorithm

LI Liang-chun¹, ZHANG Jing², LIU Zhong-quan¹, GUAN Ji-cheng³, SUN Ning-guo³

(1.Ordnance Technology Institute, Shijiazhuang 050003, China;

2.Chongqing Military Representatives Bureau of Army, Chongqing 400060,China;

3.Unit 72790 of PLA, Jinan 250308, China)

ABSTRACT: The work aims to optimize the loading of ammunition in containers based on the bracket to achieve the goal of rapid and efficient ammunition unit support and enhance the ammunition mobile support and direct support capability, for the purpose of reducing the reserve number of troops ammunition support units and service time and speeding up the ammunition support reaction speed. The optimization mode of ammunition bracket loading was established. The solving idea and algorithm steps were put forward based on the heuristic algorithm. As a result, through the example, the effectiveness of the optimization model was proved. Taking the 12 kinds of ammunition to be loaded as an example, the average space utilization rate of the bracket was 60.25% and the average area utilization rate was 89.94% with the algorithm. It provides a technical method to solve the problem of ammunition loading optimization and finds that the standard brackets and boxed ammunition are not considered to match each other during the design. This factor should be considered for such design in the future.

KEY WORDS: ammunition support; loading; optimization; heuristic

弹药托架装载是指以托架为装载工具将不同种类的箱装弹药进行集合包装, 以满足作战单元的弹药需求, 是实现弹药保障集装化和信息化的前提。由于弹药的数量、包装尺寸因弹药种类的不同而不同, 因此弹药托架集装优化问题的本质则是带有约束条件的装箱问题, 属于 NP 问题^[1]。

1 问题描述

1.1 托架及装载优化指标

托架是继托盘、集装箱以后发展起来的一种新型集装工具, 是一个有一定宽度和长度的大型装载平

收稿日期: 2017-09-04

作者简介: 李良春(1967—), 男, 博士, 军械技术研究所高级工程师, 主要研究方向为装备供应保障。

台,用来装载一定量的货物以便单元化存储、集装化运输、信息化管理^[2]。信息化条件下的局部战争时间短、强度大、消耗多,需要大量的弹药供应保障,弹药保障任务就显得更加艰巨。20世纪末自卸车辆的应用已较为普遍,弹药托架装载应运而生。作为新型的装载方式,它是目前为止军事装备物资保障最先进的集装技术之一^[3]。

托架装载在包装集装环节具有经济高效、操作简便、灵活机动等特点,不仅能与自卸车辆相结合,还应用了射频识别技术和定位技术,使弹药保障更加迅速、准确,从而更快地适应信息化作战^[4],也正因如此,弹药托架装载在外军得到了广泛应用。我军弹药供应保障可以根据基本作战单位的弹药需求,通过托架集装将箱装弹药包装为成套的弹药标准包,配合射频识别技术和北斗定位技术的使用,开创出满足我军弹药保障精确化需求的供应模式,缩短保障时间,提高保障效率,实现弹药精确保障。

目前,我军现有的弹药装载托架,其底部尺寸为20英尺(1英尺=0.3048 m)国际标准集装箱的底部尺寸,具体规格:长度6058 mm,宽度2438 mm,限高2512 mm,载质量10 t,限质量20 t。

托架是以标准集装箱底板作为基础的一种大型装载平台,与托盘相比,托架通常装载较多种类别的集装弹药,而托盘通常只用来装载单一类别的弹药,与集装箱相比,托架装载体积限制更小。托架按照装载要求装载优化完毕后,可用托架空间利用率 α_j 和面积利用率 β_j 来评价优化成功率。

2 模型建立^[5]

设空间坐标系中原点位于集装工具的LBB(Left-Bottom-Back)点, x 轴代表集装托架的长度方向, y 轴代表宽度方向, z 轴代表高度方向,见图1。

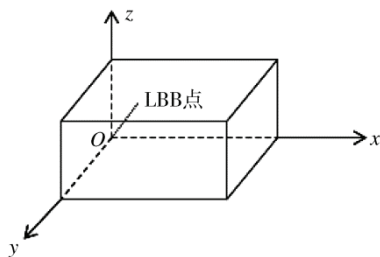


图1 坐标系
Fig.1 Coordinate system

优化的目的是提高集合包装程度,即充分利用托架的装载空间和底部面积,用数量较少的托架完成对目标弹药的集装,以免造成装载空间资源浪费,以更少的运输次数来供应更多弹药,提高部队弹药供应保障效率。

2.1 符号及变量说明

n 为待集装弹药总数量; m 为可选用的托架个数; l_i, w_i, h_i 分别为待集装弹药的长、宽、高, $i=1,2,\dots,n$; L_j, W_j, H_j 分别为托架的长、宽、限高, $j=1,2,\dots,m$; x_i, y_i, z_i 分别为已集装弹药的参考点(LBB点)坐标; $l_{xi}, l_{yi}, w_{xi}, w_{yi}$ 分别为0—1变量,用来表示弹药的摆放方式,如:若 $l_{xi}=1$,则表明弹药 i 的长边与 x 轴平行,否则 $l_{xi}=0$,显然有 $l_{xi}+l_{yi}=1, w_{xi}+w_{yi}=1, l_{yi}=w_{xi}, l_{xi}=w_{yi}$; X_{ij} 为0—1变量,若弹药 i 集装在托架 j 内,则 $X_{ij}=1$,否则 $X_{ij}=0$; Y_j 为0—1变量,若已有弹药装入托架 j ,则 $Y_j=1$,否则 $Y_j=0$; M 为一个非常大的数; α_j 为第 j 个托架的空间利用率, $\forall j \in [1,m]$; β_j 为第 j 个托架的面积利用率, $\forall j \in [1,m]$; g_i 为第 i 种弹药的质量, $\forall i \in [1,n]$; G_j 为第 j 个托架的限质量, $\forall j \in [1,m]$; $a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}, d_{ik}, e_{ik}, f_{ik}$ 分别为0—1变量,表示托架中弹药 i 与弹药 k 的位置关系, $a_{ik}=1$ 表示弹药 k 处于弹药 i 右面,相应的 $b_{ik}, c_{ik}, d_{ik}, e_{ik}, f_{ik}$ 分别表示弹药 k 是否处于弹药 i 的左面、前面、后面、上面和下面。

2.2 模型的建立^[6-10]

目标函数:

$$\min p_0 \sum_{j=1}^m Y_j + p_1 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^m \alpha_j}{\sum_{j=1}^m Y_j} \right) + p_2 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^m \beta_j}{\sum_{j=1}^m Y_j} \right),$$

$$p_0, p_1, p_2 \geq 0$$

该目标函数是一个多目标优化函数, p_0, p_1, p_2 分别表示3个子目标 $\sum_{j=1}^m Y_j, \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^m \alpha_j}{\sum_{j=1}^m Y_j} \right)$ 和 $\left(1 - \frac{\sum_{j=1}^m \beta_j}{\sum_{j=1}^m Y_j} \right)$ 的权重,其具体数值可根据不同的实际情况作相应调整。

约束条件:

1) 任意2种弹药在空间上无重叠且被装入同一托架时,其约束为:

$$x_i + l_i \cdot l_{xi} + w_i \cdot (1 - l_{xi}) \leq x_k + (1 - a_{ik}) \cdot M, \forall i, k, i < k \quad (1)$$

$$x_k + l_k \cdot l_{xk} + w_k \cdot (1 - l_{xk}) \leq x_i + (1 - b_{ik}) \cdot M, \forall i, k, i < k \quad (2)$$

$$y_i + w_i \cdot l_{yi} + l_i \cdot (1 - l_{yi}) \leq y_k + (1 - c_{ik}) \cdot M, \forall i, k, i < k \quad (3)$$

$$y_k + w_k \cdot l_{yk} + l_k \cdot (1 - l_{yk}) \leq y_i + (1 - d_{ik}) \cdot M, \forall i, k, i < k \quad (4)$$

$$z_i + h_i \leq z_k + (1 - e_{ik}) \cdot M, \forall i, k, i < k \quad (5)$$

$$z_k + h_k \leq z_i + (1 - f_{ik}) \cdot M, \forall i, k, i < k \quad (6)$$

$$a_{ik} + b_{ik} + c_{ik} + d_{ik} + e_{ik} + f_{ik} \geq X_{ij} + X_{kj} - 1, \forall i, j, k, i < k \quad (7)$$

2) 所有弹药只能装载1次:

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \quad (8)$$

3) 装载弹药体积应小于托架体积:

$$x_i + l_i \cdot l_{xi} + w_i \cdot w_{xi} \leq L_j + (1 - X_{ij}) \cdot M \quad (9)$$

$$y_i + w_i \cdot w_{yi} + l_i \cdot l_{yi} \leq w_j + (1 - X_{ij}) \cdot M \quad (10)$$

$$z_i + h_i \leq H_j + (1 - X_{ij}) \cdot M \quad (11)$$

4) 若某托架装入一种弹药则该托架视为已被使用:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} < M \cdot Y_j \quad (12)$$

$$X_{ij}, Y_j, l_{xi}, l_{yi}, w_{xi}, w_{yi}, a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}, d_{ik}, e_{ik}, f_{ik} = 0, 1 \quad (13)$$

5) 托架的空间利用率:

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij} \cdot l_i \cdot w_i \cdot h_i}{L_j \cdot W_j \cdot H_j} \quad (14)$$

6) 托架的面积利用率:

$$\beta_j = \frac{\sum_{k \in C_j} l_k \cdot w_k}{L_j \cdot W_j}, C_j = \{i | z_i = 0 \text{ 且 } X_{ij} = 1\} \quad (15)$$

7) 装载弹药总质量不可超过托架限定质量:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \cdot g_i \leq G_j \quad (16)$$

3 基于启发式算法的模型求解 错误! 未找到引用源。

3.1 启发式算法

启发式算法是求解复杂优化问题的一种常用手段,其本质是舍弃一些通用概念,在算法中加入问题所涉及到的相关知识以提高算法的求解速度。启发式算法的建立创造性强,无需较多纯数学理论,在现阶段应用非常广泛。将启发式算法应用与弹药托架装载优化,可充分发挥算法灵活简便,计算速度快,求解成功率高的特点^[11-13]。

3.2 算法流程

文中模拟人工装载的实际操作过程,采用自下而上的方式完成弹药的装载,即先将托架底面铺满,而后再向上堆放弹药^[14-15]。具体过程是先以托架底面为目标平面,将弹药自下而上对目标平面依次填充,同时会生产若干新的目标平面,不断重复此过程即可得到最终的弹药装载方案。算法流程见图 2。

4 算例分析

某后方仓库有 12 种弹药等待装载,待装载箱装弹药的种类、数量、箱长、箱宽、箱高基本数据见表 1。

将上述 12 种弹药装入标准托架中,假设 p_0, p_1, p_2 权重值相同,采用启发式算法对优化装载模型进行求解,得到装载结果见表 2。

由上述结果可知,总共需要 4 个托架来完成装载。托架的平均空间利用率为 60.25%,平均面积利用率为 89.94%,优化结果令人满意,其中空间利用

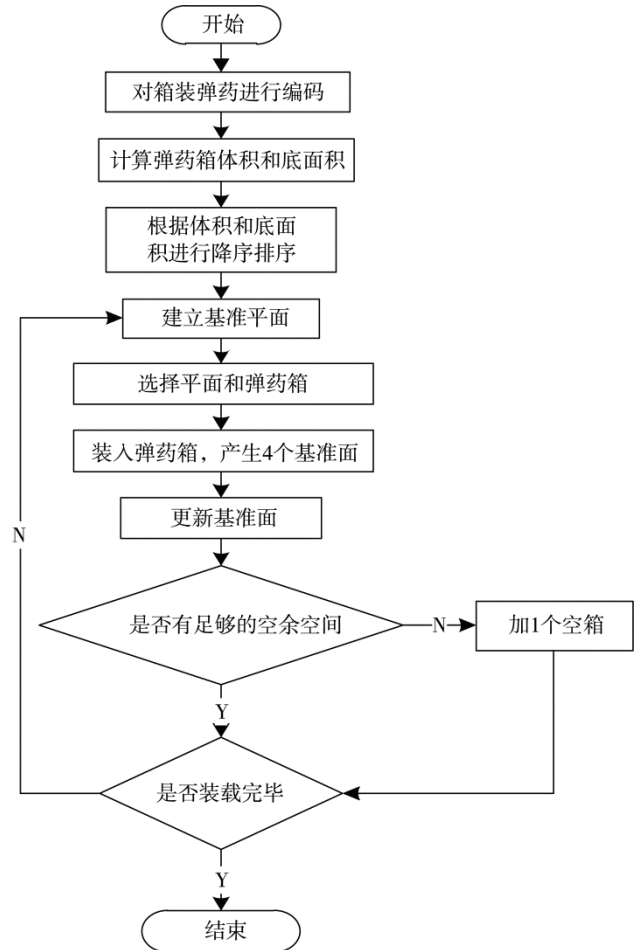


图 2 启发式算法流程
Fig. 2 Heuristic algorithm flow chart

表 1 弹药信息
Tab.1 Ammunition information

弹药种类	箱数	单箱质量/kg	箱长/mm	箱宽/mm	箱高/mm
A ₁	1	30.5	470	340	150
A ₂	5	24	470	340	150
A ₃	5	32	470	340	150
A ₄	10	35	470	340	150
A ₅	120	28	470	340	150
B	16	15	530	230	200
C	16	20	600	290	260
D	9	30	800	370	240
E	730	27	670	400	250
F	334	30	820	370	180
G	60	23	750	320	220
H	86	35	1160	350	400

率稍微偏低,这是因为标准托架与箱装弹药在设计时并没有考虑互相匹配的问题,因此建议在将来托架和箱装弹药的设计中要考虑周全。

表2 装载结果
Tab.2 Loading results

托架序号	弹药种类	装载数量/箱
1	H	86
	G	60
	C	16
	B	16
2	D	9
	E	360
	A ₁	1
	A ₂	5
	A ₃	5
	A ₄	10
3	A ₅	114
	E	370
4	A ₅	6
	F	334

6 结语

根据集装工具托架的装载特点及其构造,分析了弹药的具体装载要求,建立了托架成套组合装载不同种弹药的优化模型,提供了一种基于启发式算法的求解思路,利用算例证明了算法效果,为弹药成套组合装载优化提供了行之有效的分析方法。

参考文献:

- [1] 张立昂. 计算机和难解性—NP 完全性理论导论[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
ZHANG Li-ang. Computer and Intractability—An introduction to The Theory of NP Completeness[M]. Beijing: Science Press, 1990.
- [2] 彭彦平, 王晓敏. 物流与包装技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004
PENG Yan-ping, WANG Xiao-min. Logistics and Packaging Technology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2004.
- [3] 李良春, 于成果. 适应新军事变革, 大力发展通用弹药的集合包装[J]. 物流科技, 2007, 30(10): 8—10.
LI Liang-chun, YU Cheng-guo. Development of Ammunition Container Packaging for the New Military Reform[J]. Logistics Technology, 2007, 30(10): 8—10.
- [4] 葛涛, 古平, 高鲁. 多样化军事任务装备物资储备模式研究[J]. 军械工程学院学报, 2013, 25(3): 14—18.
GE Tao, GU Ping, GAO Lu. Research on Equipment

- Material Store Mode for Multi-Military Missions[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2013, 25(3): 14—18.
- [5] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
HAN Zhong-geng. Mathematical Modeling Methods and Application[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005.
- [6] 王建成, 宋华文, 陆凯. 弹药最优装载建模及其可视化仿真实现[J]. 指挥技术学院学报, 2000, 11(6): 39—43.
WANG Jian-cheng, SONG Hua-wen, LU Kai. Modeling and Visualization Simulation of Ammunition Optimal Loading[J]. Journal of Institute of Command and Technology, 2000, 11(6): 39—43.
- [7] 王长春, 阎永庆, 张月滨. 军用集装箱三维装载的优化方法[J]. 物流技术, 2007, 26(3): 122—124.
WANG Chang-chun, YAN Yong-qing, ZHANG Yue-bin. How to Optimize the 3D Load of Military Container[J]. Logistics Technology, 2007, 26(3): 122—124.
- [8] CHEN C S, LEE S M, SHEN Q S. An Analytical Model for the Container Loading Problem[J]. European Journal of Operational Research, 1995, 80(1): 68—76.
- [9] JIN Z, ITO T, OHNO K. The Three-Dimensional Bin Packing Problem and Its Practical Algorithm[J]. Jsme International Journal, 2003, 46(46): 60—66.
- [10] LI K, CHENG K H. A Heuristic Algorithms for On Line Packing in Three Dimensions[J]. Journal of Algorithms, 1992, 13(4): 819—828.
- [11] 唐慧丰, 于洪敏, 陈致明, 等. 弹药装载的构造型启发式算法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2005, 19(1): 29—32.
TANG Hui-feng, YU Hong-min, CHEN Zhi-ming, et al. Research on Constructive Heuristic Algorithm for Ammunition Loading[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2005, 19(1): 29—32.
- [12] 石新茹, 宋立新. 基于启发式算法的多元物资集装配载优化问题研究[J]. 物流技术, 2006(5): 40—42.
SHI Xin-ru, SONG Li-xin. On Multi-dimensional Material Container Loading Problem Based on Heuristic Algorithm[J]. Logistics Technology, 2006(5): 40—42.
- [13] GEORGE J A, ROBINSIN D F. A Heuristic for Packing Boxes into a Container[J]. Computer and Operational Research, 1980, 7(3): 147—156.
- [14] BISCHOFF E, DOWSLAND W B. An Application of the Micro to Product Design and Distribution[J]. Operational Research Society Journal, 1982, 33(3): 271—280.
- [15] SAGINAW D J, PERAKIS A N. A Decision Support System for Container Ship Stowage Planning[J]. Marine Technology, 1989, 26(1): 47—61.