

doi: 10.7690/bgzdh.2021.09.015

基于装载约束的两栖兵力均衡装载

袁高尚, 黄炎焱

(南京理工大学自动化学院, 南京 210094)

摘要: 为解决登陆部队的两栖兵力投送问题, 提出一种运输母舰各分舱的均衡装载方法。根据母舰各分舱情况, 建立两栖兵力均衡装载模型, 利用运输母舰各舱室的装载方法计算各艘母舰的装载率, 得出登陆部队在各艘运输母舰的均衡装载方案, 通过设置一个旅编制大小的登陆部队案例应用进行验证。分析结果表明, 该均衡装载方法在装载约束条件下基本实现了两栖兵力的均衡装载。

关键词: 两栖兵力投送; 装载约束; 均衡装载

中图分类号: TJ83 **文献标志码:** A

Balanced Loading of Amphibious Forces Based on Loading Constraints

Yuan Gaoshang, Huang Yanyan

(School of Automation, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to solve the problem of the amphibious force projection of the landing force, a balanced loading method for the sub-cabins of the transport mother ship is proposed. According to the situation of each sub-cabin of the mother ship, a balanced loading model of amphibious forces is established, and the loading rate of each mother ship is calculated by using the loading method of each compartment of the carrier, and the balanced loading plan of the landing force on each carrier is obtained. And use the case application of a brigade-sized landing force for verification. The analysis results show that the balanced loading method basically realizes the balanced loading of amphibious forces under loading constraints conditions.

Keywords: amphibious force drop; loading constraints; balanced loading

0 引言

近年来, 我国新建了很多两栖运输母舰。为论证这些新型舰艇的装载能力, 需要模拟部队装载到运输母舰并形成各艘母舰的装载方案, 对于新型舰艇用于两栖登陆作战具有一定的参考价值。

两栖登陆兵力的运输主要依靠海上投送, 通常经由船坞装载两栖兵力到运输母舰上, 再由换乘载具不断摆渡登陆兵力冲滩上陆。两栖登陆兵力在装载到运输母舰的过程中需满足母舰各分舱的空间容量约束, 同时还要保证装载部队基本建制的完整性。两栖兵力投送采用的是运输母舰编队。为了提高编队的整体作战效能, 需要保证各艘母舰装载量的均衡性。

均衡装载是指在给定登陆部队规模大小和母舰数量的情况下, 实现各艘母舰装载量基本一致。国内相关的研究主要有: 张海飞等^[1]采用等车应用排队论方法对立体车库装进行建模; 农健恒^[2]针对同尺寸物品 3 维装箱问题设计了 3 维装箱的动态规划算法; Wang M 等^[3]利用动态规划解决存储位置分配

规划问题; 姚怡等^[4]研究了带剪切约束的单箱尺寸 2 维装箱问题。两栖舰船兵力投送方面的主要研究有江静婷等^[5]针对海战场环境下两栖舰艇兵力投送的复杂性、不确定性问题, 建立海战场环境影响评估指标体系; 吴航海^[6]通过对登陆作战上陆战斗阶段的特点与难点进行分析, 确定了登陆作战方案规划过程中所需用到的理论以及方法, 提出了登陆作战方案规划的总体框架并给出较为合理的登陆作战方案。

这些文献表明: 装载问题是离散的多约束规划问题, 需要继续研究探索。为此, 笔者针对两栖兵力装载的难点, 重点研究将一定规模的人员和装备分配装载到一定数量母舰上的两栖兵力均衡装载问题, 提出基于装载约束的运输母舰均衡装载方案, 构建两栖兵力均衡装载模型, 并通过仿真测试证明方法的可行性。

1 两栖兵力装载总体方法思路

总体研究思路如图 1 所示。

收稿日期: 2021-05-21; 修回日期: 2021-06-20

基金项目: 装备预研重点实验室基金(6142101200109)

作者简介: 袁高尚(1995—), 男, 江苏人, 硕士, 从事系统仿真研究。E-mail: 15895898107@163.com。

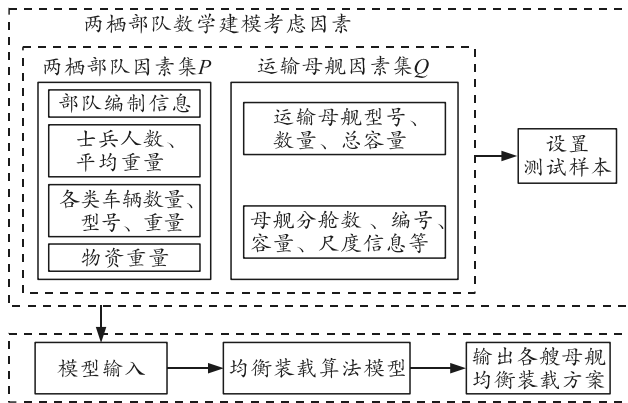


图 1 总体研究思路

两栖兵力均衡装载的目标即保证装载部队基本建制条件下各艘军舰装载量误差最小，装载过程中需要满足军舰各舱的长度和容量约束。首先确定待装载部队和运输军舰分别需要考虑的因素，然后根据装载目标和装载约束条件制定运输军舰各舱室的装载方案，接着利用测试样本对建立的均衡装载模型进行验证，通过输出的运输军舰各舱室均衡装载方案来计算各艘军舰装载率的误差大小是否在合理范围内，还要判断装载方案中军舰各分舱装载的人员、车辆、物资是否满足装载要求。

2 均衡装载建模

2.1 建模假设

为便于研究，对研究对象作以下假设：

- 1) 运输军舰自带的登陆艇及直升机不作考虑；
- 2) 两栖部队车辆的所属人员不作考虑且待装载车辆不超过 3 种；
- 3) 最小部队基本建制设为连级。

2.2 模型目标

本文中两栖兵力装载过程中，装载的主要目标是在满足装载约束下实现各艘军舰达到装载量的均衡性。

2.3 模型建立

假设第 n 艘军舰装载量为 $c_n(n=1,2,\dots)$ ，总容量为 $C_n(n=1,2,\dots)$ ，则装载目标为：

$$\min z = (\max(c_n) - \min(c_n)) (0 \leq c_n \leq C_n, n = 1, 2, \dots).$$

装载约束为：

1) 建制约束：装载过程中，人员、装备装入军舰各分舱还需满足最小基本建制要求(一般来说，连级建制可以)。

2) 长度约束：车辆长度加上间隔的和小于军舰分舱的长度，宽度也是。

假设舱内车辆的种类不超过 3 种，分别是 ar、t 和 af，按照列举顺序进行装载。记第 n 艘军舰车辆舱中被装载的第 i 个车辆的横坐标和纵坐标分别为 x_{n_i} 和 y_{n_i} ，车辆的长度和宽度分别为 l_{n_i} 和 w_{n_i} ，质量为 g_{n_i} ，车辆和车辆(包括车辆和舱壁)的间隔为 gap，车辆舱中装载的车辆总数为 $n1_n$ 。

车辆舱中被装载车辆的横坐标应该满足： $x_{n_i} + l_{n_i}/2 + \text{gap} \leq L_n$ ，其中 L_n 为第 n 艘军舰车辆舱的长度。

被装载车辆的纵坐标应该满足： $y_{n_i} + w_{n_i}/2 + \text{gap} \leq W_n$ ，其中 W_n 为第 n 艘军舰车辆舱的宽度。

为了方便车辆在舱内位置的坐标计算，默认每艘军舰上都是装载 ar 车辆的(事实上也是如此，ar 车辆的数量一般远大于军舰数量，且 ar 车辆按建制平均分配到各艘军舰车辆舱中)。计算第 n 艘军舰车辆舱中装载的 t 车辆坐标需要考虑已装载的 ar 车辆的坐标位置，af 车辆的坐标计算则需要考虑车辆舱内 t 车辆的坐标位置。

3) 质量约束：装载过程中已装载的人员、车辆、物资总重量应该满足军舰总容量的约束。其中士兵舱应该满足装载的部队人数小于士兵舱的容量，车辆舱应该满足装载的车辆小于车辆舱的空间大小，物资舱应该满足装载的物资质量小于物资舱的容量。设第 n 艘军舰上士兵舱中装载的第 i 个连的人数为 p_{n_i} ，士兵平均质量为 wp ，第 n 艘军舰士兵舱中装载的连的数量为 $n2_n$ 。士兵舱的容量为 cp_n ，则装入士兵舱的士兵总质量应满足 $\sum_{i=1}^{n2_n} p_{n_i} * wp \leq cp_n$ 。设第 n 艘军舰物资舱中装载的物资重量为 m_n ，物资舱的容量为 cm_n ，则应满足 $m_n \leq cm_n$ 。

综上所述，均衡装载过程中的装载目标及约束条件总结如下：

$$\min z = (\max(c_n) - \min(c_n)) (0 \leq c_n \leq C_n, n = 1, 2, \dots), \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{n_i} + l_{n_i}/2 + \text{gap} \leq L_n, \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{n_i} + w_{n_i}/2 + \text{gap} \leq W_n, \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{n2_n} p_{n_i} * wp \leq cp_n, \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} m_n \leq cm_n, \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \left\{ \begin{array}{l} c_n = \sum_{i=1}^{n1_n} g_{n_i} + \sum_{i=1}^{n2_n} p_{n_i} * wp + m_n \leq C_n, \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{n_i}, y_{n_i}, l_{n_i}, w_{n_i}, \text{gap}, L_n, W_n, n2_n, p_{n_i}, wp, cp_n, \\ m_n, cm_n, n1_n, g_{n_i}, c_n, C_n \geq 0, \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} i, n = 1, 2, 3, \dots \end{array} \right.$$

两栖部队装备和人员的均衡装载规划，事实上就是离散的带标识装备和人员围绕母舰各个舱容展开的装载分配。考虑母舰不同的舱室往往是按照各自设计的功能划分，而母舰待装载的车辆、人员和物资均可按照自身相应的功能装载两栖部队里面的车辆、人员和物资。各舱室装载流程各异，但装载的方法思路基本一致。

2.4 模型求解

均衡装载的目标在于满足部队基本建制要求和母舰各分舱容量、空间约束的基础上，使得各艘母舰上装载量的差距达到最小。

为了实现均衡装载目标，装载方法的基本思路是根据母舰各分舱情况(主要有士兵舱、车辆舱和物资舱)，对人员、物资、车辆等分别进行装载。装载时，以连为基本建制单位，然后遍历登陆部队每个营里面的每个连，根据部队各营连的兵种情况按照母舰分舱进行装载，通过遍历同一营下面每个连(基本建制)，按母舰编号顺序进行装载，保证了各艘母舰装载率上的误差最小和装载部队的基本建制性。在装载车辆时还要额外计算车辆在母舰车辆舱内的坐标，最后计算各艘母舰的装载率情况。装载过程中需要注意待装载部队数量和母舰各分舱容量、空间的逻辑边界判断。由于母舰各舱装载的目标不同，需要对各分舱装载分别进行讨论。

2.4.1 车辆舱装载方法

母舰车辆舱装载两栖部队的车辆，车辆类型最多不超过 3 种。根据先装后出的原则，规定装载顺序依次为 ar、t 和 af。

为了便于计算车辆在车辆舱中的坐标，假设在 2 维平面下，在母舰的俯视角度下将龙骨视为一条线段并将俯视角度的舱底视为矩形，规定所用单位均为米，龙骨线段所在直线为行，其垂直方向为列，装载车辆一一列的装进车辆舱。如图 2 所示，由于 3 维空间的 z 轴不会对气垫艇的装载位置坐标产生影响；因此，以该线段所在的直线为 x 轴方向，建立平面直角坐标系。

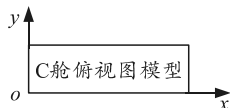


图 2 车辆舱直角坐标系

记第 n 艘母舰车辆舱一行能装载车辆数量即车辆舱的行数为 row_n ，车辆舱的宽度为 W_n ，车辆之间的间隔为 gap ，ar 车辆的宽度为 w_{ar} ，t 车辆的宽

度为 w_t ，af 车辆的宽度为 w_{af} ，则第 n 艘母舰车辆舱行数为：

$$row_n = \lceil W_n / (\max(w_{ar}, w_t, w_{af}) + gap) \rceil \tag{8}$$

在计算母舰车辆舱装载的车辆坐标时，与该车辆处于车辆舱第几列第几行有关，为了方便计算，引入运输母舰车辆舱的行计数即当前车辆处于母舰中的行数，记第 n 艘母舰车辆舱的行计数为 r_n 。

1) 车辆舱 ar 车辆装载方法。

记第 n 艘母舰车辆舱装载的第 i 个 ar 车辆的横坐标和纵坐标分别为 x_{nar_i} 和 y_{nar_i} ，ar 车辆的长度和宽度分别为 l_{ar} 和 w_{ar} ，车辆之间的间隔(2 个车辆之间的 x 轴所在直线的距离和 y 轴所在直线的距离)为 gap ，此时第 n 艘母舰车辆舱的行计数为 r_n 。

则被装载的第 i 个 ar 车辆的横坐标为：

$$x_{nar_i} = \left(\left[\frac{(i-1)}{row_n} \right] + 1/2 \right) * l_{ar} + \left(\left[\frac{(i-1)}{row_n} \right] + 1 \right) * gap \quad (r_n, l_{ar}, gap > 0, i = 1, 2, \dots) \tag{9}$$

纵坐标为：

$$y_{nar_i} = \left((2r_n - 1) / 2 \right) * \max(w_{ar}, w_t, w_{af}) + r_n * gap \quad (r_n, w_{ar}, w_t, w_{af}, gap > 0, r_n = 1, 2, \dots, row_n) \tag{10}$$

计算完 ar 车辆坐标，还需要设置 ar 车辆固有属性，使得每个被装载的 ar 车辆都有编制、型号、长、宽、高、质量这些固有属性的数值。

图 3 为装备舱中 ar 车辆的装载流程。首先读入待装载部队的 ar 车辆信息，确定各艘母舰车辆舱的行数；然后判断待装载车辆类型、数量是否符合条件，是否满足车辆舱长度约束；接着按照母舰编号顺序开始装载，读取当前母舰车辆舱行计数并计算 ar 车辆坐标，计算完坐标设置 ar 车辆的固有属性，把车辆舱行计数加一，再判断 ar 车辆是否装满车辆舱的一列，如果装满，需要将车辆舱行计数置为 1；最后判断 ar 车辆是否装完。

2) 车辆舱 t 车辆装载方法。

装载 t 车辆时，车辆舱已经预先装有了 ar 车辆。记第 n 艘母舰车辆舱装载的第 i 个 t 车辆的横坐标和纵坐标分别为 x_{nt_i} 和 y_{nt_i} ，t 车辆的长度和宽度分别为 l_t 和 w_t ，t 车辆之间的间隔(2 个 t 车辆之间的 x 轴所在直线的距离和 y 轴所在直线的距离)为 gap ，第 n 艘母舰车辆舱装载的 ar 车辆的数量为 nar_n ，此时第 n 艘母舰车辆舱的行计数为 r_n 。

此时，需要考虑最后一个 ar 车辆在运输母舰车辆舱装载的行数以及 ar 车辆和 t 车辆的长度大小问题，记最后一个 ar 车辆在母舰车辆舱所处的行数即

ar 车辆行计数为 rar_n 。为了简化问题，假设 ar 车辆的行计数为 1，t 车辆长度大于 ar 车辆。

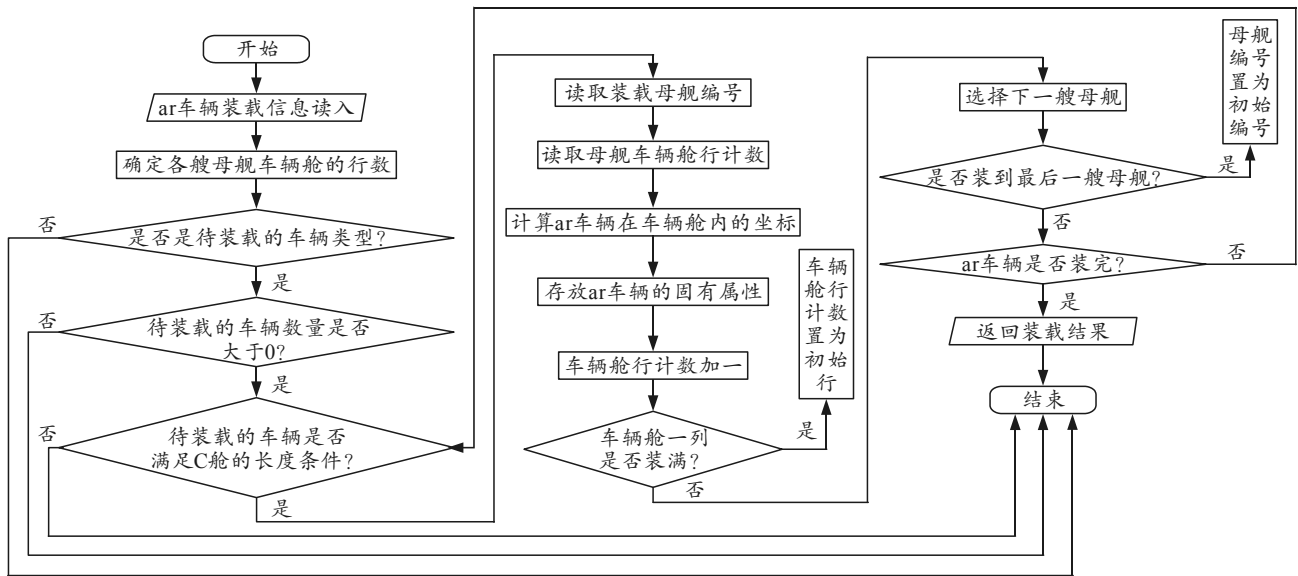


图 3 车辆舱 ar 车辆装载流程

则被装载的 t 车辆的横坐标为：

$$x_{nt_i} = [\text{nar}_n / \text{row}_n] * (l_{ar} + \text{gap}) + [(i + \text{rar}_n - 2) / \text{row}_n + 1/2] l_t + [(i + \text{rar}_n - 2) / \text{row}_n + 1] * \text{gap}(\text{nar}_n, \text{row}_n, l_{ar}, l_t, \text{gap} > 0, \text{rar}_n = 1, 2, \dots, \text{row}_n, i = 1, 2, \dots) \quad (11)$$

纵坐标为：

$$y_{nt_i} = ((2r_n - 1) / 2) * \max(w_{ar}, w_t, w_{af}) + r_n * \text{gap}(r_n, w_{ar}, w_t, w_{af}, \text{gap} > 0, r_n = 1, 2, \dots, \text{row}_n) \quad (12)$$

计算完 t 车辆坐标，还需要设置 t 车辆固有属性，使得每个被装载的 t 车辆都有编制、型号、长、宽、高、质量这些固有属性的数值。装载流程和 ar 车辆基本一致，装载时需要注意去除车辆舱中已装载的 ar 车辆空间。

3) 车辆舱 af 车辆的装载方法。

装载 af 车辆时，车辆舱已经预先装有了 ar 车辆，可能装有 t 车辆。记第 n 艘母舰车辆舱装载的第 i 个 af 车辆的横坐标和纵坐标分别为 x_{naf_i} 和 y_{naf_i} ，af 车辆的长度和宽度分别为 l_{af} 和 w_{af} ，af 车辆之间的间隔(2 个 af 车辆之间的 x 轴所在直线的距离和 y 轴所在直线的距离)为 gap，第 n 艘母舰车辆舱装载的 ar 车辆的数量为 nar_n ，装载的 t 车辆的数量为 nt_n ，此时第 n 艘母舰车辆舱的行计数为 r_n 。

在计算 af 车辆坐标时，需要考虑车辆舱有无装载 t 车辆，如果装载了，计算 af 车辆坐标需要考虑最后一个 t 车辆在母舰车辆舱所处的行数即 t 车辆行计数记为 rt_n 。同样，这时也需要比较 t 车辆和 af 车辆的长度，默认 t 车辆长度大于等于 ar 车辆长度，

否则需要讨论的情况过于复杂。如果车辆舱没有装载 t 车辆，计算 af 车辆的坐标需要考虑最后一个 ar 车辆在母舰车辆舱所处的行数即 ar 车辆行计数记为 rar_n 。

为了简化问题，假设车辆舱装载了 t 车辆，并且在 ar 车辆的行计数为 1 的条件下，t 车辆的行计数为 1 或者装载的 af 车辆数量加上 t 车辆的行计数装满行的列数小于 1。

则被装载的 af 车辆的横坐标为：

$$x_{naf_i} = [\text{nar}_n / \text{row}_n] * (l_{ar} + \text{gap}) + [nt_n / \text{row}_n] * (l_t + \text{gap}) + [(i + rt_n - 2) / \text{row}_n + 1/2] l_{af} + [(i + rt_n - 2) / \text{row}_n + 1] * \text{gap}(\text{nar}_n, \text{row}_n, l_{ar}, nt_n, rt_n, l_t, l_{af}, \text{gap} > 0, rt_n = 1, 2, \dots, \text{row}_n, i = 1, 2, \dots) \quad (13)$$

纵坐标为：

$$y_{naf_i} = ((2r_n - 1) / 2) * \max(w_{ar}, w_t, w_{af}) + r_n * \text{gap}(r_n, w_{ar}, w_t, w_{af}, \text{gap} > 0, r_n = 1, 2, \dots, \text{row}_n) \quad (14)$$

计算完 af 车辆坐标，还需要设置 af 车辆固有属性，使得每个被装载的 af 车辆都有编制、型号、长、宽、高、质量这些固有属性的数值。af 车辆装载流程和 ar 车辆基本一致，装载时需要注意去除车辆舱中已装载的 ar 车辆和 t 车辆所占的空间。

2.4.2 士兵舱装载方法

图 4 为士兵舱装载方法流程。首先读入各部队的信息和各艘母舰信息，然后判断各艘母舰士兵舱容量是否符合条件，接着按照母舰编号开始装载，最后判断部队是否装完。

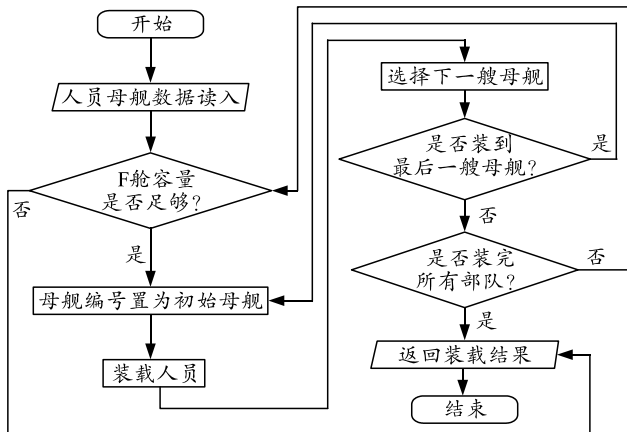


图 4 士兵舱装载流程

2.4.3 物资舱装载方法

物资舱装载流程和士兵舱装载流程基本一致，区别在于要读入物资信息和各艘母舰信息，判断各艘母舰物资舱容量是否符合条件。

3 样例分析

3.1 设置测试样本

假设某登陆作战旅部队编制作为待装载的测试部队，选取某型号舰船作为运输母舰。部队编制设置装甲营、陆战营、炮兵营、两栖战车营等 6 个营。装甲营、炮兵营、两栖战车营包括营属部队及下辖 3 个连，3 个陆战营每个营下辖 5 个连。

装甲营车辆设为 t 型坦克，长宽高分别设为 5、4、5 m，质量设为 40 t，操作人员设为 3 人，营属部队设有 8 辆 t 型坦克，下辖 3 个连均是 12 辆 t 型坦克；炮兵营车辆设为 ar 式火炮，长宽高分别设为 4、5、5 m，质量设为 50 t，操作人员设为 5 人；两栖战车营车辆设为 af 式突击战车，长宽高分别设为 3、2、3 m，质量设为 30 t，操作人员设为 3 人，营属部队设有 12 辆 af 式突击战车，下辖 3 个连均是 15 辆 af 式突击战车；陆战营两栖连及 3 个陆战连均设为 125 人，高射机枪连设为 90 人，人员的平均体重设为 0.07 t。设物资总质量为 300 t。

运输母舰类型设为“atd”，直升机舱的长宽高分别为 40、8、7 m，直升机的型号设为“heli”，长宽高设为 8、5、6 m，质量为 20 t，操作人数为 5 人，最大容量 100 t。气垫艇舱的长宽高分别为 18、12、8 m，气垫艇的型号设为“hove”，长宽高分别为 7、5、6 m，质量为 40 t，操作人数为 6 人，最大容量为 200 t。车辆舱的长宽高分别设为 60、18、9 m，车辆之间的间隔设为 1 m；物资舱的容量设为 500 t，士兵舱的容量设为 200 人，母舰总容量设为

1 500 t，最大速度设为 30 n mile/h，母舰数量设为 10 艘，每艘母舰自带直升机、气垫艇的数量都设为 4。

3.2 测试结果

笔者基于 VS2017 编译环境及 C++编程语言编写了均衡装载方法程序，输入测试样本的数据后，经过均衡装载方法程序计算得到各艘母舰的各分舱装载信息。测试样本中设置母舰的数量为 10，程序运行后会生成 10 艘母舰的型号和 ID，基本格式为“atd-n” (n=1,2...10)。如图 5 所示，选取其中一艘母舰例如“atd-1”，可以查看这艘母舰的装载率、最大速度和当前最大速度分别为 47.17%、30 n mile/h 和 22.93 n mile/h。

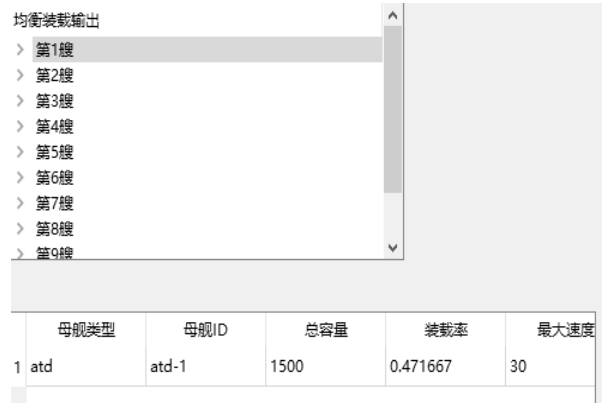


图 5 “atd-1”基本信息

如图 6 所示，查看所有母舰的装载率，发现“atd-10”母舰装载率最低，为 43.09%，“atd-1”装载率最大，为 47.17%，误差值较为合理。修改测试样本后多次测试，母舰装载率的误差值均在合理范围内，基本实现了各艘母舰装载量的均衡性。

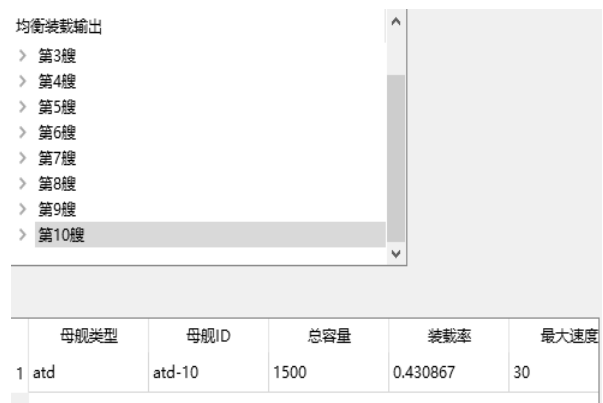


图 6 “atd-10”基本信息

然后选取母舰的车辆舱(C 舱)，可以查看车辆舱的长、宽、高、车辆间隔大小(单位为 m)。以“atd-3”为例，其车辆舱基本信息如图 7 所示。

	长	宽	高	间隔
1	60	18	9	1

图 7 “atd-3”车辆舱基本信息

查看车辆舱,可以看到车辆舱装载了 3 辆火炮、1 辆战车、1 辆坦克。查看火炮、战车、坦克可以看到它们所属的编制信息、长宽高重、操作人数、舱内坐标等信息如图 8—10 所示。

编号	类型	所属旅	所属营	所属
1	火炮1营—营属... ar式	1旅	火炮1营	火炮1营—
2	火炮1营—1连a... ar式	1旅	火炮1营	火炮1营—
3	火炮1营—2连a... ar式	1旅	火炮1营	火炮1营—
4	装甲1营—坦克... t	1旅	装甲1营	装甲1营—
5	两栖战车1营—... af式步兵战车7	1旅	两栖战车1营	两栖战车1

图 8 “atd-3”车辆舱内车辆基本信息

所属连	长	宽	高	重
1 火炮1营—营属...	4	5	5	50
2 火炮1营—1连	4	5	5	50
3 火炮1营—2连	4	5	5	50
4 装甲1营—坦克...	5	4	5	40
5 两栖战车1营—...	3	2	3	30

图 9 “atd-3”车辆舱内车辆基本信息

高	重	操作人员数	横坐标x	纵坐标y
1	50	5	3	3.5
2	50	5	3	9.5
3	50	5	3	15.5
4	40	3	8.5	3.5
5	30	3	7.5	9.5

图 10 “atd-3”车辆舱内车辆基本信息

选取母舰的物资舱(D舱),可以查看物资舱的长、宽、高、容量及目前物资装载量。以“atd-6”为例,其物资舱基本信息如图 11 所示。

长	宽	高	容量	当前容量	
1	10	11	12	500	30

图 11 “atd-6”物资舱基本信息

选取母舰的士兵舱(F舱),可以查看士兵舱的长、宽、高、容量和目前装载的士兵数量。如图 12,以“atd-2”母舰为例,士兵舱装载了 250 人。查看士兵舱发现主要由陆战一营的陆战一连和陆战三营的陆战一连构成,2 个连各 125 人如图 13 所示,满足了连级最小部队建制的约束。

长	宽	高	容量	当前容量	
1	13	14	15	500	250

图 12 “atd-2”士兵舱基本信息

所属旅	所属营	所属连	体重(单位: 吨)
123	1旅	陆战1营	陆战1营—陆战... 0.07
124	1旅	陆战1营	陆战1营—陆战... 0.07
125	1旅	陆战1营	陆战1营—陆战... 0.07
126	1旅	陆战3营	陆战3营—陆战... 0.07
127	1旅	陆战3营	陆战3营—陆战... 0.07

图 13 “atd-2”士兵舱士兵基本信息

3.3 结果分析

通过查看各艘母舰各分舱装载的人员、车辆、物资等信息,即从输出各艘母舰的装载方案来看,各艘母舰分舱的装载情况满足了母舰的容量、空间

约束条件, 各艘母舰装载率基本相同, 车辆舱车辆的坐标信息准确无误, 同时保证了最小部队基本编制的完整性, 达到了均衡装载的基本要求, 具有一定的参考价值。

4 结束语

笔者根据均衡装载要求建立了两栖部队均衡装载过程中的目标函数及条件约束, 设计了母舰各分舱的装载方法, 并编写程序测试输出均衡装载的结果。测试结果表明: 输出的各母舰均衡装载方案基本满足了均衡装载的要求, 同时保证了待装载部队基本建制的完整性, 对于两栖登陆作战具有一定的参考价值。笔者在计算车辆舱的车辆坐标时选取了 3 种车辆都存在的情况, 将来还需要进一步探索 3 种车辆坐标的影响因素。

(上接第 65 页)

2) 弹体圆柱部径向变形。

弹体圆柱部径向最大变形, 位于弹体上弹圆柱部处, 最大径向为-0.025 mm。图 2 为弹体圆柱部径向最大变形沿外侧的分布。

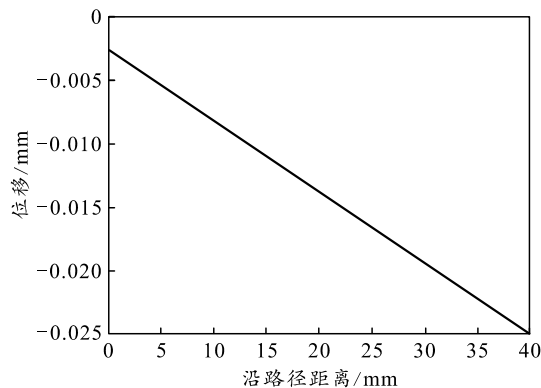


图 2 弹体圆柱部径向最大变形沿外侧的分布

6.2 结果分析

根据形状改变比能理论又称第四强度理论^[5], 如下式:

$$\sigma_{r4} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2}} \leq [\sigma] \quad (9)$$

该失效屈服准则等效应力为 Mises, 当有效应力超过弹体材料的屈服极限时, 将发生塑性变形。上述弹丸动态时间分析结果显示: 最大等效应力

参考文献:

[1] 张海飞, 李建国, 王小农. 单巷道自动化立体车库库位布局浅析[J/OL]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019: 1-7[2019-09-20].

[2] 农健恒. 同尺寸物品装箱的动态规划算法[D]. 南宁: 广西大学, 2014.

[3] WANG M, ZHANG R Q. A dynamic programming approach for storage location assignment planning problem[J]. Procedia CIRP, 2019, 83: 513-516.

[4] 姚怡, 崔耀东. 一种高效的同尺寸长方体的装箱算法[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(10): 192-194.

[5] 江静婷, 黄炎焱. 海战场环境对两栖舰艇兵力投送影响分析[J]. 南京理工大学学报, 2019, 43(3): 275-279.

[6] 吴航海. 两栖登陆作战方案的规划与评估分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.

Mises 为 9.397e+02 MPa, 此值小于 1 495 MPa, 可以看出: 在膛内发射过程中, 弹体零件只发生弹性变形, 未发生塑性, 弹体强度能满足发射强度。

7 结论

通过对弹丸发射过程中的力学数值仿真模型的建立和分析类型选择的阐述, 以及实例的仿真计算可见: 运用有限元方法, 实施动态隐式分析的弹丸零件分析, 可得到弹丸零件如弹体在强度与塑性应变的分布及大小, 动态隐式分析方案可满足弹丸强度设计需求。结果表明, 该方法可为类似弹丸发射强度研究工作提供理论参考。

参考文献:

[1] 魏惠之, 朱鹤松, 汪东晖, 等. 弹丸设计理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985: 126.

[2] 冯勇, 徐振钦, 赵岗. 某火炮弹丸发射强度仿真分析[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(6): 1441-1443.

[3] 蒋友谅. 非线性有限元法[M]. 北京: 北京工业学院出版社, 1988: 34-102.

[4] 董菲, Guen el Germain, Jean Lou Lebrun, 等. 有限元分析法确定 Johnson-Cook 本构方程材料参数[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(11): 1657-1660, 1667.

[5] 金康宁, 谢群丹, 刘宏, 等. 材料力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006: 175-176.