

基于 MATLAB 的某货轮配积载方案设计与分析

陈礼风

(海南热带海洋学院, 海南省三亚市, 572022; 1003664975@qq.com)

摘 要: 本论文以某货轮为研究对象, 聚焦其配积载方案设计。通过深入剖析船舶配积载的稳性、强度、吃水差等基本原则, 基于 MATLAB 工具平台, 创新性运用比例内插法、变率内插法等计算方法, 致力于实现货物的科学合理配置。在保障船舶满足安全适航标准的基础上, 对货物布局进行优化, 从而有效提升船舶的运营效率, 并显著降低运输成本。文中对具体计算过程进行了详尽阐述, 并对不同配积载方案展开对比分析, 为船舶实际运营提供了切实可行的科学指导与决策依据。

关键词: 船舶运输; 货轮配积载; MATLAB; 比例内插; 变率内插

引言

船舶配积载是船舶运输作业中的核心环节, 直接关系到船舶的航行安全、稳定性和运营经济性。合理的配积载方案能够确保船舶在复杂的海洋环境中保持良好的浮态和稳性, 有效预防因货物分布不均引发的船舶倾斜、沉没等灾难性事故, 同时最大化船舶的载货能力, 提高运输效率。随着全球航运业的蓬勃发展, 船舶大型化、货物多样化趋势日益显著, 传统的手工配积载计算方式已难以满足现代航运需求。MATLAB[1] 作为一款功能强大的科学计算软件, 为船舶配积载方案的精确设计与深入分析提供了强有力的技术支撑。本研究以某具体货轮为对象, 深入探索基于 MATLAB[2]的配积载方案[3]优化路径, 具有重要的理论价值和现实指导意义。

1 某货轮基本参数与配积载要求

1.1 货轮基本参数

该货轮的主要参数如下: 总长 200 米, 型宽 32 米, 型深 18 米, 满载排水量为 50000 吨, 空载排水量为 15000 吨, 夏季满载吃水 10.5 米, 夏季淡水满载吃水 11.0 米。货舱数量为 5 个, 各货舱的容积和重心位置等参数见下表 1:

表 1 某货轮各货舱参数

货舱编号	容积 (立方米)	空载重心纵向位置 (米)	空载重心垂向位置 (米)	满载重心纵向位置 (米)	满载重心垂向位置 (米)
1 号货舱	8000	12	6	18	9
2 号货舱	10000	15	7	22	10
3 号货舱	12000	18	8	25	11
4 号货舱	10000	20	9	28	12
5 号货舱	8000	22	10	30	13

此外, 船舶主机功率为 12000 千瓦, 航速可达 20 节。

1.2 配积载要求

基于本次运输的货物特性和运输合同约定[4]，配积载需满足如下要求：

1. 货物种类丰富多样，涵盖钢材（重货，约占总货量的 40%）、集装箱货物（中等重量和体积，约占总货量的 30%）、散货（如粮食等，约占总货量的 30%）。钢材每件重量大、重心低；集装箱货物标准化程度高，重心相对集中；散货密度适中，流动性较强。
2. 严格确保船舶在满载及各种航行工况下的稳性符合国际海事组织（IMO）相关标准，稳性高度（GM 值）必须维持在 0.5 米至 1.5 米的安全阈值范围内。
3. 切实保障船舶的纵向强度，避免因货物分布不合理而产生过大的弯矩和剪力，防止船舶结构受损。
4. 精心规划货物的装卸顺序，以契合港口作业流程，最大程度减少船舶在港停留时间，提高船舶周转效率。

1.3 配积载步骤

由于船舶的不同，各航次的货载也不同，因此，船舶配积载图的编制程序也有繁有简，不尽相同。

1. 船舶配积载是一项关系到船舶安全及货运质量等的繁重、复杂、细致的工作，因此，船上负责货运工作的大副，必须进行周密的调查研究，熟悉包括船舶、货物、港口、航线等的有关情况和资料，充分作好准备工作；
2. 核对“装货清单”所列货运任务与船舶的装载能力是否相适应；
3. 船舶各货舱应配货物的重量，可根据满足纵强度、稳性和吃水差的要求，在实践中总结出各货舱装货量的百分比与航次货运量相乘求得。按照这个数值往各舱配货，就可以减少盲目性；
4. 向舱内配置货物，拟订初配方案；
5. 全面检查初配方案是否满足在各种状态(包括离始发港，航行途中，到达终点港)下的稳性、纵强度、吃水差要求，如果不符合要求，则对配积载方案进行调整，直到满足要求为止。
6. 从上述散货船舶配积载过程来看，船舶稳性、强度、吃水差的计算与校核是配积载过程中很重要的环节。

2 船舶配积载的基本原则

2.1 安全性原则

稳性保障：船舶在各种装载情况下必须具备足够的稳性，以抵抗风浪等外力作用。通过合理分布货物重量，确保船舶的重心高度适中，稳性高度（GM 值）满足安全要求。在计算配积载方案时，需充分考虑货物装卸过程中船舶稳性的变化，防止出现稳性不足或过大的情况。例如，在使用比例内插法计算货舱重心变化对船舶稳性的影响时，要确保计算结果符合稳性规范，避免因重心计算误差导致稳性事故。

强度保护：船舶结构的强度是保证航行安全的基础。配积载时应使货物重量在船舶纵向和横向合理分布，避免局部受力过大。对于大型重货，要分散布置，防止对船舶局部结构造成过大压力。在运用变率内插法计算船舶在不同吃水和装载状态下的弯矩和剪力时，要严格控制其在船舶结构允许的范围内，防止船舶结构损坏。

2.2 适航性原则

吃水限制满足：根据航线的水深条件，确保船舶在满载和航行过程中的吃水不超过航道和港口的限制。不同港口和航道的水深各异，船舶配积载时要准确计算吃水变化，避免搁浅事故。在计算过程中，需考虑海水密度变化、货物重量变化等因素对吃水的影响，运用精确的计算方法（如比例、变率内插法）来确定船舶在不同工况下的吃水深度。

货物固定与绑扎：为防止货物在航行过程中发生位移，所有货物必须妥善固定和绑扎。对于易滚动、滑动的货物，要采取特殊的绑扎措施，确保其在船舶摇摆、振动时保持稳定。这不仅关乎货物的安全，也对船舶的稳性和安全性有着重要影响。

2.3 高效性原则

载货量最大化：在满足船舶安全和适航要求的前提下，尽可能提高船舶的载货量，以提高运输效率和经济效益。通过合理安排货物在货舱内的布局，充分利用货舱空间，减少空间浪费。在优化配积载方案时，以载货量为目标函数之一，利用 MATLAB 的优化功能寻找最优解。

装卸便利性考虑：合理规划货物的装卸顺序和货舱分配，便于港口的装卸作业。优先装卸位于舱口附近、重量较大或装卸难度较高的货物，减少装卸时间和成本。在设计配积载方案时，要结合港口设备和作业流程，使货物装卸过程更加高效顺畅。

2.4 货物完整性原则

货物兼容性保障：避免将相互影响的货物装载在一起，防止货物发生化学反应、损坏或污染。例如，食品类货物不能与有毒有害物质混装，怕潮货物要远离潮湿源等。在配积载方案设计时，要对货物的性质进行详细分析，确保货物的完整性。

货物保护措施到位：对于易碎、易损货物，要采取适当的防护措施，如使用缓冲材料、合理安排堆码方式等。在运输过程中，要尽量减少货物的颠簸和碰撞，确保货物安全抵达目的地。

3 基于比例内插法的货舱重心计算

3.1 比例内插法原理

比例内插法[5]基于已知数据点之间的线性比例关系，用于估算未知点的数值。在船舶配积载中，对于货舱重心位置随货物装载比例的变化计算具有重要意义。

设已知两点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ，对于介于和之间的，其对应的值可通过式（1）计算：

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)(x - x_1)}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

3.2 货舱重心计算实例

以货轮的 1 号货舱为例，当装载货物占货舱容积的 40% 时，已知货舱空载重心纵向位置为 $x_1=12$ 米，满载重心纵向位置为 $x_2=18$ 米，对应的重心垂向位 $y_1=6$ 置米， $y_2=9$ 米。

根据比例内插法公式，计算此时货舱重心纵向位置 x （式 2）：

$$x = 12 + \frac{(18-12)(0.4)}{1-0} = 14.4 \text{（米）} \quad (2)$$

计算重心垂向位置 y （式 3）：

$$y = 6 + \frac{(9-6)(0.4)}{1-0} = 7.2 \text{（米）} \quad (3)$$

同样方法，可计算出其他货舱在不同装载比例下的重心位置，为后续配积载方案的设计提供基础数据。

4 变率内插法在船舶稳性计算中的应用

4.1 变率内插法原理

变率内插法考虑了数据点之间的变化率，能更精准地反映变量之间的非线性关系。在船舶稳性计算中，由于船舶稳性随吃水、重心位置等因素的变化呈现非线性特征，变率内插法可有效提高计算精度。

设已知三点 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 和 (x_3, y_3) ，对于介于 x_1 和 x_3 之间的 x ，其对应的 y 值计算如式（4）：

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)(x - x_1)}{x_2 - x_1} + \frac{(y_3 - y_2)(x - x_2)(x - x_1)}{(x_3 - x_2)(x_3 - x_1)} \quad (4)$$

4.2 船舶稳性计算实例

计算船舶在不同吃水情况下的稳性高度（GM 值）。已知船舶空载吃水 $d_1=3$ 米时，GM 值为 $GM_1=0.3$ 米；满载吃水 $d_2=10.5$ 米时，GM 值为 $GM_2=1.2$ 米；半载吃水 $d_3=6.5$ 米时，GM 值为 $GM_3=0.8$ 米。

当船舶吃水 5 米时，计算 GM 值（式 5）：

$$GM = 0.3 + \frac{(1.2-0.3)(5-3)}{10.5-3} + \frac{(0.8-1.2)(5-6.5)(5-3)}{(6.5-10.5)(6.5-3)} = 0.52 \text{ (米)} \quad (5)$$

通过变率内插法，可以更精确地计算船舶在各种吃水状态下的稳性，确保船舶在航行过程中的安全性。

5 基于 MATLAB 的配积载方案优化

5.1 建立数学模型

以船舶稳性、纵向强度和载货量为优化目标，构建多目标优化数学模型。设为表示第种货物在各货舱装载量的变量向量，目标函数可表示见式（6）（7）（8）：

$$f1(x) = \sum_{i=1}^n mixi \text{ (载货量最大化)} \quad (6)$$

$$f2(x) = GM(x) \text{ (稳性高度在安全范围内)} \quad (7)$$

$$f3(x) = M(x) \text{ (纵向弯矩在允许范围内)} \quad (8)$$

约束条件涵盖货舱容积限制、船舶重心位置限制、稳性要求等多方面因素。例如，各货舱装载货物的体积不能超过其容积，船舶的总重心位置需满足稳性要求，纵向弯矩要小于船舶允许的最大值等。

5.2 MATLAB 编程实现

借助 MATLAB 的优化工具箱，编写程序求解上述多目标优化问题。首先，输入船舶的基本参数、货舱参数、货物参数等数据。然后，依据比例内插法和变率内插法编写计算货舱重心、船舶稳性等相关函数。设定优化算法的参数，如迭代次数、收敛精度等，调用优化函数进行计算。

5.3 不同方案对比分析

通过 MATLAB 计算，获取多种配积载方案。对不同方案进行全面对比分析，主要考量以下因素：

载货量：对比各方案下船舶能够装载的货物总重量，优先选择载货量较大的方案，以提升运输效率和经济效益。

稳性：深入分析各方案下船舶的稳性高度（GM 值），确保 GM 值处于安全范围且接近理想值，保障船舶在航行中的安全性。

纵向强度：精确计算船舶在各方案下的纵向弯矩，保证弯矩不超出船舶结构允许的最大值，防止船舶结构遭受损坏。

装卸便利性：评估货物在各货舱的分布是否便于装卸作业，减少装卸时间和成本，提高船舶周转效率。

6 算法设计

由于船舶配积载时的货物都是件散货，形状不同、规则不同、约束不同。因此不能采用类似于集装箱的优化方法，而更适合采用启发式算法。本项目根据各类散货的特点结合人工经验将所有散货划分为十大类：热卷、冷卷、线材、钢管、立式卷、热板、冷板、镀锡板、宽厚板、板坯。综合这些大类的特点可以将算法分为卷、板、线材、钢管、宽厚板五大类算法，并结合各子类进行一定的调整。

算法的核心思想如下：将船舱划分为多个区域，每个区域可以看作是一个地面积是梯形、截面为八边形的空间。将货物按规则分类以后，依次垂直于船型方向按排放入船舱，各排的层数或层高由货物本身的约束

决定。此方法的优点是不去精确计算各件材料具体的摆放位置，而提供一组货物的摆放结果，这样既能关注于整船货物的配积载限制和平衡，又能给现场操作提供调整的余地。

6.1 算法流程

- 1.获取计算的目标区域，得到该区域的各类数据，如舱底、舱口、货舱的数据；
- 2.统计该区域内的货物，按配积载类别进行分类统计；
- 3.循环计算各配积载类别的货物，针对各类货物调用相应的货物算法，每次计算完毕以后，在对已占用的区域空间进行统计，并提供结果数据给下一次计算使用。
- 4.计算完所有类别的货物，对所有的 Area 进行统计，将结果作为 Section 区域的摆放结果。

6.2 货物基类算法原则

为了更方便的构建货物算法，并便于今后新货物算法的增加，我们将货物摆放的通用规则提炼出来构建了货物基类算法。基类算法的核心是将某一类货物的数据进行加权平均，得出该小类货物的一个标准货物数据，然后在船舱内进行摆放，摆放规则是垂直于船行方向按排摆放，一排可以按规则堆放多层，最后得到总排数和总长，具体流程图见图 1。

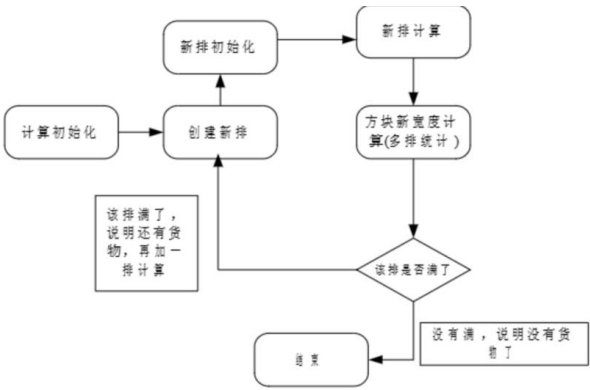


图 1 流程图

6.3 系统构架与设计

针对系统的复杂功能以及少数专业人士使用的特点，为外轮配积载设计了 C/S 的构架模式（如图 2），国轮设计了 B/S 的架构模式。系统将从运管机服务器中获取配积载所需的货物信息、船舶信息等，然后将所有配积载工作的数据保存在运输部服务器中，并将最终生成的装船计划和配积载图上传到运管机服务器中。

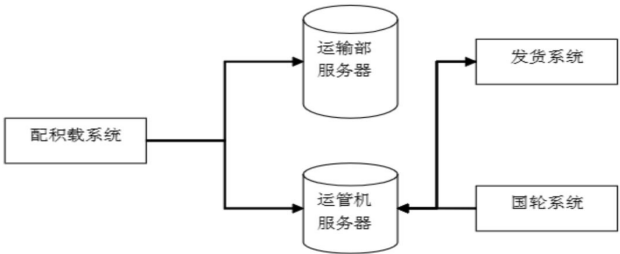


图 2 C/S 架构模式

在配积载系统具体开发中采用了 Delphi+Oracle 的组合; Delphi 适用于开发复杂界面功能的 Win32 程序, 符合船舶配积载对界面功能强大的要求; 而 Oracle 作为业内领先的数据库解决方案能够稳定安全的处理船舶配积载所涉及的几百万条的数据。

在国轮系统和发货系统的开发中, 考虑到使用地点在码头等多个地方, 因此采用 Java 进行开发, 并嵌入到运管机系统中以方便理货员等人使用。

7 结论

本论文针对某货轮的配积载问题, 深入阐述船舶配积载基本原则, 结合 MATLAB 软件, 运用比例内插和变率内插方法进行详细方案设计与分析。通过货舱重心计算、船舶稳性计算以及多目标优化模型的构建与求解, 获得多种配积载方案, 并对其进行全面对比评估。研究结果表明, MATLAB 在船舶配积载方案设计中优势显著, 可有效提升船舶运营的安全性和经济性。合理运用比例内插和变率内插方法, 能精确计算船舶相关参数, 为配积载方案提供可靠数据支持。在实际船舶运营中, 应综合考虑货物特性、航线条件等因素, 灵活选取最优配积载方案, 确保船舶安全、高效完成运输任务。未来研究可进一步探讨动态因素对船舶配积载的影响, 持续优化配积载方案。

参考文献

- [1] 陈秋臻. 浅谈 Matlab 及在船舶与海洋工程学习中的应用 [J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7(1): 107-108.
DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2017.01.44.
- [2] 朱刚, 黄杰雄, 温小飞. 基于 MATLAB 的船舶能效设计指数辅助计算系统开发 [J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(16): 77-78.
- [3] 陆向东. 船舶配积载技术研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [4] 沈玉如. 船舶货运 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1998, 8.
- [5] 戴冉, 王越. 航海专业数学 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2010, 1.