
大连理工大学本科毕业设计（论文）

10000DWT 成品油船方案设计 General Design of a 10000DWT Product Oil Tanker

学 院（系）： 运载工程与力学学部

专 业： 船舶与海洋工程（船舶工程）

学 生 姓 名： 杨波

学 号： 200942005

指 导 教 师： 王运龙 王世连 杨飏

评 阅 教 师：

完 成 日 期： 2013 年 6 月

大连理工大学

Dalian University of Technology

摘 要

本毕业设计题目为 10000DWT 成品油船方案设计，本设计船航行于我国近海区域。设计者从设计任务书出发，并从船舶的适用性角度考虑，保证其能够较好地完成设计任务书中规定的使用任务。本次设计共包括以下六个方面的内容：

主要要素确定。根据设计任务书的要求，确定船舶的主尺度等主要要素，设计者通过对五套主尺度方案进行比较，确定出了最优的设计方案。

型线设计。设计船水线以下部分采用“ $1-C_p$ ”法进行设计，水线以上部分采用自行设计法并注意与水下部分相配合来进行设计。

总布置设计。按照规范要求并以 12000DWT 的成品油船为母型船进行总布置设计，注意结构的合理性，并适当考虑船员的舒适性。

静水力曲线及完整稳性计算。在满足使用精度的前提下，采用梯形法作为基本数值积分方法计算得到静水力曲线、稳性横截曲线、进水角曲线、货油舱和压载舱等舱室的舱容要素曲线。根据以上计算结果，校核船舶满载出港、满载到港、压载出港和压载到港四种载况下的浮态、初稳性以及完整稳性。

螺旋桨设计。螺旋桨设计采用 MAU4 叶桨系列图谱进行设计，设计过程中，设计者在注意提高快速性的同时，考虑螺旋桨与型线设计部分尾部型线以及总布置机舱轴系距基线高度相配合。

船体结构设计。按照中国船级社《国内航行海船建造规范》（2006）的规定，对设计船进行货油舱区的结构设计，并绘制典型横剖面结构图，包括强肋位剖面和普通肋位剖面。

设计船的载重量为 10000t，垂线间长为 120.00m，型宽为 20.40m，设计吃水为 7.40m，型深为 10.80m，采用 MAN-B&W 7S35MC 型主机（额定功率为 4440kW，额定转速为 173rpm），设计航速 14kn。

关键词：成品油船；主尺度；型线设计；螺旋桨设计；结构设计

General Design of a 10000DWT Coastal Product Oil Carrier

Abstract

The subject of this graduation design is a general design of a 10000DWT coastal product oil carrier, which sails round in the offshore area of China. Starting from the design plan, Designer guarantee the ship to meet the requirements listed in the design assignment. The design process can be divided into six major parts as follows:

Principal Dimensions Design. According to the requirements of the specification, the principal dimensions can be determined by empirical functions. Through comparing five preliminary plans of principal dimensions, the designer selects the superior one.

Lines Design. The lines of the ship below the waterline is designed by using the method of " $1 - C_p$ ", meanwhile the part over the waterline which corresponds to the under-water part is designed by the method of "Self-design".

General Arrangement Design. According to the requirements of the relative rules, the general arrangement is carried out referring to the parent ship, the 12000DWT coastal product oil carrier. Attention is paid on the reasonability of the structure and due regard is paid on the comfort of the crew.

Calculation of Hydrostatics and Stability. In the calculation of hydrostatic and stability the trapezoidal method is used as a basic method of numerical integration. The designer obtains the respective curves of hydrostatics, transverse stability, flooding angle and storage capacity. The four stowage performances, flotation and intact stability are checked based on the mentioned curves.

Screw Propeller Design. The Screw propeller design is conducted by using the chart of MAU 4-blade propeller. Attention is paid on the coordination with the stern linear and the shafting in the engine room as well as the rapidity.

Structure Design. The hull structure is designed according to Rules for Construction of Sea-going Ships Engaged on Domestic Voyages (2006), which contains the calculation of cargo compartment, drawing the typical transverse section plan.

The ship will have deadweight of 10000t, a length of 120.00m, a molded breadth of 20.50m and a molded depth of 10.00m and will be powered by a MAN-B&W 6 S35ME-B.

Key Words: Product Oil Carrier; Principal Dimensions; Lines Design; Screw Propeller Design; Structure Design

目录

| | |
|----------------------------------|-------|
| 摘 要..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| 第一章 设计任务书..... | - 1 - |
| 1.1 用途及航区: | - 1 - |
| 1.2 船级: | - 1 - |
| 1.3 船型: | - 1 - |
| 1.4 航速: | - 1 - |
| 1.5 续航力: | - 1 - |
| 1.6 船员数: | - 1 - |
| 1.7 动力装置: | - 1 - |
| 第二章 收集资料..... | - 2 - |
| 2.1 现代油船特点: | - 2 - |
| 2.1.1 船型与主尺度 | - 2 - |
| 2.1.2 分舱特点 | - 2 - |
| 2.1.3 油船货油区的结构形式 | - 2 - |
| 2.1.4 油船安全性 | - 2 - |
| 2.2 母型船资料: | - 3 - |
| 2.2.1 母型船的主要要素 | - 3 - |
| 2.2.2 母型船的航速、续航力、自持力及螺旋桨参数 | - 3 - |
| 第三章 确定主尺度与排水量..... | - 3 - |
| 3.1 排水量估算: | - 3 - |
| 3.1.1:载重量系数 | - 3 - |
| 3.1.2 排水量 | - 4 - |
| 3.2 选择船舶主尺度以及方型系数考虑的主要因素 | - 4 - |
| 3.2.1 选择船长考虑的主要因素:..... | - 4 - |
| 1). 船长对阻力的影响..... | - 4 - |
| 2). 使用条件及建造条件的限制..... | - 4 - |
| 3). 船长对操纵性、耐波性、抗沉性的影响..... | - 4 - |
| 4). 船长对重量及造价的影响..... | - 4 - |
| 3.2.2 选择型宽考虑的主要因素 | - 4 - |
| 3.2.3 选择型深考虑的主要因素 | - 5 - |
| 3.2.4 选择吃水考虑的主要因素 | - 5 - |
| 3.2.5 选择方形系数考虑的主要因素 | - 5 - |
| 3.3 初步拟定主尺度和方型系数 | - 5 - |
| 3.3.1 统计法 | - 5 - |
| 3.3.2 根据主尺度比法: | - 6 - |
| 3.3.3 按母型船比例换算 | - 6 - |
| 3.3.4 三种方案比较 | - 6 - |
| 3.4 重力与浮力平衡 | - 7 - |
| 3.4.1 主机选择: | - 7 - |
| 3.4.2 空船重量估算 | - 8 - |

| | |
|----------------------------|------|
| 1). 钢料重量估算: | 8 - |
| 2). 舾装重量估算: | 8 - |
| 3.4.3 重力浮力平衡方法: | 8 - |
| 3.5 性能校核: | 9 - |
| 3.5.1 稳性校核 | 9 - |
| 3.5.2 航速校核 | 11 - |
| 1) 总的推进系数的估算 | 11 - |
| 3.5.3 干舷校核 | 13 - |
| 3.5.4 容量校核 | 13 - |
| 3.5.4.1 载货量 W_c 估算 | 13 - |
| a. 主机燃料油 (重油) | 13 - |
| b. 轻柴油 | 14 - |
| c. 滑油重量 | 14 - |
| d. 船员生活用水 | 14 - |
| e. 食品 | 14 - |
| f. 人员及行李 | 14 - |
| g. 备品 | 14 - |
| 3.5.4.2 舱容计算 | 14 - |
| 3.6 经济性分析 | 15 - |
| 第四章 型线设计 | 17 - |
| 4.1 绘制母型船横剖面面积曲线: | 17 - |
| 4.2 改造母型船横剖面面积曲线 | 18 - |
| 4.2.1 母型船的相关参数 | 18 - |
| 4.2.2 改造母型船横剖面面积曲线 | 18 - |
| 4.3 型线图的绘制 | 19 - |
| 1) 选定绘图比例, 绘制设计船格子线 | 19 - |
| 2) 绘制辅助水线半宽图. | 19 - |
| 3) 绘制横剖面图 | 19 - |
| 4) 绘制理论水线半宽图 | 20 - |
| 5) 绘制纵剖线图 | 20 - |
| 6) 三面投影光顺配合. | 20 - |
| 7) 绘制甲板中心线及甲板边线 | 20 - |
| 8) 绘制型线图的水上部分 | 20 - |
| 9) 绘制平边线与平底线 | 20 - |
| 10) 制定型值表, 注字、标尺寸. | 21 - |
| 第五章 总布置设计 | 22 - |
| 5.1 概述 | 22 - |
| 5.2 总布置设计原则 | 22 - |
| 5.3 肋骨间距的划分 | 22 - |
| 5.4 双层底舱高度与双壳体间距的确定 | 22 - |
| 5.5 主船体内部船舱的布置 | 23 - |
| 5.5.1 总体划分 | 23 - |

| | | |
|--------------------------------|----|---|
| 5.5.1.1 水密舱壁的总数 | 23 | - |
| 5.5.1.2 机舱的位置及长度 | 23 | - |
| 1) 尾机型有以下优点: | 23 | - |
| 2) 同时采用尾机型也有缺点, 如: | 23 | - |
| 5.5.1.3 首、尾尖舱长度的确定 | 23 | - |
| 5.5.1.4 货油舱区及其他舱室的划分 | 23 | - |
| 5.5.2 内部舱室划分 | 24 | - |
| 5.5.2.1 尾尖舱区 | 24 | - |
| 5.5.2.2 机舱区 | 24 | - |
| 5.5.3 主甲板布置 | 24 | - |
| 5.6 上层建筑布置 | 24 | - |
| 5.6.1 尾楼甲板 (船尾~#35 肋位之间) | 25 | - |
| 5.6.1.2 艇甲板 | 25 | - |
| 5.6.1.3 船员甲板 | 25 | - |
| 5.6.1.4 船长甲板 | 25 | - |
| 5.6.1.5 驾驶甲板 | 25 | - |
| 5.6.1.6 罗经甲板 | 25 | - |
| 5.7 舾装设备 | 25 | - |
| 5.7.1 锚泊设备 | 25 | - |
| 5.7.2 系泊设备 | 26 | - |
| 5.7.3 舵设备 | 26 | - |
| 5.7.4 救生设备 | 26 | - |
| 5.7.5 消防设备 | 26 | - |
| 5.7.6 货油舱舱口和舱口盖 | 26 | - |
| 5.7.7 吊车 | 26 | - |
| 5.8 总布置图的绘制 | 26 | - |
| 5.9 舱容校核 | 26 | - |
| 1). 货油舱容积校核 | 26 | - |
| 2). 压载水舱容积校核 | 27 | - |
| 第六章 静水力和装载稳性的计算 | 28 | - |
| 6.1 静水力曲线的绘制 | 28 | - |
| 6.2 邦戎曲线的计算与绘制 | 30 | - |
| 6.3 装载稳性计算 | 32 | - |
| 6.3.1 稳性横截曲线的绘制 | 32 | - |
| 6.3.3 舱容要素曲线的绘制 | 34 | - |
| 6.3.4 装载稳性校核概述 | 38 | - |
| 6.3.5 满载出港稳性校核 | 40 | - |
| 6.3.6 满载到港稳性校核 | 43 | - |
| 6.3.7 压载出港稳性校核 | 46 | - |
| 6.3.8 压载到港稳性校核 | 49 | - |
| 6.3.9 稳性校核汇总 | 52 | - |
| 第七章 螺旋桨图谱设计 | 53 | - |

| | |
|----------------------|------|
| 7.1 船体主要参数..... | 53 - |
| 7.2 主机参数..... | 53 - |
| 7.3 推进因子的决定..... | 53 - |
| 7.4 可以达到最大航速的计算..... | 54 - |
| 7.5 空泡校核..... | 55 - |
| 7.6 强度效核..... | 56 - |
| 7.7 螺距修正..... | 58 - |
| 7.9 敞水性征曲线之确定..... | 59 - |
| 7.10 系柱特性计算..... | 60 - |
| 7.11 航行特性计算..... | 60 - |
| 7.12 螺旋桨设计总结..... | 61 - |
| 7.13 间隙设计及校核..... | 62 - |
| 第八章 结构设计..... | 63 - |
| 8.1 概述..... | 63 - |
| 8.1.1 骨材标准间距的要求..... | 63 - |
| 8.1.2 确定骨材标准间距..... | 63 - |
| 8.2 货油舱基本结构计算..... | 63 - |
| 8.2.1 外板..... | 63 - |
| 8.2.2 甲板..... | 65 - |
| 8.2.3 双层底结构..... | 66 - |
| 8.2.4 双壳结构..... | 67 - |
| 8.2.5 甲板骨架..... | 68 - |
| 8.2.6 垂直槽型油密纵舱壁..... | 70 - |
| 8.3 强度校核..... | 71 - |
| 8.4 典型横剖面图的绘制..... | 72 - |
| 参 考 文 献..... | 73 - |
| 附录 A 附录内容名称..... | 74 - |
| 致 谢..... | 75 - |

第一章 设计任务书

1.1 用途及航区：

本船用于运载闪点小于 60°C 的轻柴油，货油比重为 0.8t/m^3 。本船航行于我国近海区域。

1.2 船级：

本船入 CCS 船级。

1.3 船型：

本船为单机、单桨、单甲板、尾机型，具有球首和球尾线型。

1.4 航速：

要求设计航速不小于 14 节。

1.5 续航力：

本船续航力约为 4000 海里。

1.6 船员数：

本船船员数为 18 人。

1.7 动力装置：

主机机型选用 MAN B&W

第二章 收集资料

2.1 现代油船特点：

2.1.1 船型与主尺度

- (1).一般为单层连续甲板、尾机型、设首楼和尾甲板室船型。
- (2).从型深来看，由最小干舷型发展成富裕干舷型。
- (3).1973 年国际防止船舶造成污染公约及其 1978 年议定书规定万吨的原油船、成品油船都必须设专用压载水舱及双层壳。
- (4).主尺度比发生变化，趋势为：船长型深比变小，船长船宽比变小，船宽吃水比变大。
- (5).船长与型深的比值 (L/D) 一般为 10.0~13.0。
- (6).船长与型宽的比值 (L/B) 一般为 5.0~6.8。
- (7).型宽与型深的比值 (B/D) 一般为 2.2~3.0。
- (8).型深与吃水的比值 (D/d) 一般为 1.3~1.7。

2.1.2 分舱特点

除机舱外，油船还设置货油舱、货油泵舱、专用压载水舱、污油兼货油舱和隔离空舱等几个主要隔舱。

- (1).货油舱：位于货油泵舱前首尖舱后。《73/78 防污公约》规定了货油舱长度，以保证任何一侧舷侧破损和船底破损造成的假设泄油量是有限的。
- (2).货油泵舱：用来布置货油泵、压载泵、扫舱泵设备的舱室。其在船上的位置，要从轮机人员的操作管理方便、节省泵系统的重量及对油船总纵强度的影响等方面考虑。
- (3).专用压载水舱：保证压载时船中吃水不小于 $d_m = 2 + 0.02L_{pp} m$ ，在首尾垂线处的吃水差不得大于 $0.015L_{pp} m$ ，尾垂线处的吃水必须保证螺旋桨全部没水。
- (4).污油舱兼货油舱：一般为 2%~3% 货油舱容积。
- (5).隔离空舱：货油舱前后两端应设有隔离舱，以便与机舱、居住舱室等隔离。泵舱、压载舱、燃油舱可兼作隔离空舱。

2.1.3 油船货油区的结构形式

- (1).货油区为纵骨架式，首尾两端为横骨架式。
- (2).单壳型、双层底型和双壳型，本船为双壳双层底型。

2.1.4 油船安全性

- (1).一般为尾机型，设有步桥和隔离舱。
- (2).起居室和厨房等不能直接设在货油区甲板上。
- (3).设专用吸烟室。
- (4).防爆设备：锚机和系泊机械要求为气动或防爆式。
- (5).货泵舱通风口离主甲板及生活区至少为 3m。
- (7).救生艇要求为封闭式。

- (8).甲板层的窗及面向货油区的窗为固定式。
- (9).任何机器处所均应以隔离空舱、货泵舱、燃油舱或固定压载舱同货油舱和污水水舱隔开。
- (10).通往起居处所、服务处所和控制站的入口不得面向货物区域。

2.2 母型船资料：

2.2.1 母型船的主要要素

| | |
|---------|---------------------|
| 总长 m | $L_{OA} = 134.85$ |
| 设计水线长 m | $L_{WL} = 129.00$ |
| 垂线间长 m | $L_{PP} = 126.00$ |
| 型宽 m | $B = 22.00$ |
| 型深 m | $D = 10.60$ |
| 设计吃水 m | $d = 7.46$ |
| 排水量 t | $\Delta = 16304.00$ |
| 空船重量 t | $LW = 4304.00$ |
| 钢料重量 t | $W_h = 2905.00$ |
| 舾装重量 t | $W_f = 790.00$ |
| 机电重量 t | $W_m = 609.00$ |

2.2.2 母型船的航速、续航力、自持力及螺旋桨参数

航速和续航力：母型船燃油的装载量为燃料油 508.00t，轻柴油 71.00t，满足船舶在满载状态且达到服务航速（ $V=13.5\text{Kn}$ ）时的续航力为 6000 海里。

自持力：母型船淡水储备量为 226.00t，饮用水储备量为 47.00t，食品和粮食的储备量满足 24 船员 20 天自持能力。

螺旋桨：螺旋桨设计时考虑了主机功率储备 10%，母型船在设计吃水（ $d=7.457\text{m}$ ），船壳清洁无污底情况下，处于风力小于蒲氏风级三级的平静深水水域条件下主机达到额定转速时的服务航速约为 13.5kn。

母型船选用 MAU 型 5 叶螺旋桨：螺旋桨直径为 4016mm，盘面比为 0.5727，螺距比为 0.706，螺旋桨材料为 Cu3 镍铝青铜。

第三章 确定主尺度与排水量

3.1 排水量估算：

3.1.1:载重量系数

η_{DW} 随 Δ 变化有相对稳定的范围，用载重量系数法初估排水量

| | |
|------------|--------|
| DW_0 | 12000t |
| Δ_0 | 16304t |

| | |
|-------------|-------|
| η_{DW} | 0.736 |
|-------------|-------|

根据统计公式（708 研究所常用的载重量系数估算公式）：

$$\eta_{DW} = 0.7337K(DW/1000)^{0.0551} \quad (3.1)$$

其中，K 值根据双壳体实船数据修正后，得建议值 10000t~50000t(中部中纵面上无纵舱壁) $K=1-1.02$ ，本设计船 K 取 1.00，所以根据公式（3.1）得到： $\eta_{DW} = 0.7337$

由统计资料可知中小型油 船的载重量系数在 0.60~0.75 之间，由于货油比非常小，本设计船所取的载重量系数较小。

综上，选取 $\eta_{DW}=0.725$ 。

3.1.2 排水量

$$\Delta_1 = \frac{DW_1}{\eta_{DW}} \quad (3.2)$$

得到 $\Delta_1 = 13793t$

3.2 选择船舶主尺度以及方型系数考虑的主要因素

船舶主要要素受到一系列因素的制约，航道、码头泊位等对主尺度有限制，船舶的各项技术性能对主要要素有各种要求，货源、运费、造价和油价等经济因素也对设计船主要要素有影响。选择设计船主要要素时，必须首先对影响主要要素的各种因素进行研究和综合分析。

3.2.1 选择船长考虑的主要因素：

1).船长对阻力的影响

本船的航速为 14kn，而其垂线间长初步估计在 120m 左右，估算其傅汝德数 F_n 大于 0.18 属于中速船型，在排水量不变的情况下，随着船长的变化，对应一定航速可以得到总阻力最低的船长 L_{opt} ，同时也可以找到使总阻力开始显著增加的最短船长（称临界船长）。现代油船的 L/B 大约在 5.5~7.5 之间，所以选择主尺度时，应尽量在此范围内。

2).使用条件及建造条件的限制

由于本船的航区为我国沿海区域，且本船的总排水量仅为 13000t 左右，船长在 120m 左右，船坞及船台对船长限制较小，航线各港的码头的泊位长度基本也能符合要求，所以对于使用条件及建造条件限制可以作为次要因素考虑。

3).船长对操纵性、耐波性、抗沉性的影响

本设计船航区为我国沿海区域，需要较好的航向稳定性，适当增加船长有利。船长主要影响船的纵摇和升沉，增大船长对耐波性有利。增加船长对改善抗沉性有利。

4).船长对重量及造价的影响

船长增长对钢料重量影响很大，船的造价也会增加，出于对经济性的考虑，本船应在满足要求的情况下尽量使船长减小，但也不应太小，同时应考虑到中船长与阻力的关系。

3.2.2 选择型宽考虑的主要因素

由于航速较高,排水量相对较小,选择船宽时应主要考虑稳性及耐波性的要求,其次应考虑船宽对阻力的影响。同时,现代油船的 L/B 大约在 5.5~7.5 之间,选择船宽时应保证在此范围内。对于稳性而言,调整船宽是最有效的措施,而且在保证稳性下限值的前提下,尽可能较小 B ,以增大横摇周期,使横摇尽量和缓。

3.2.3 选择型深考虑的主要因素

本船为成品油船,其货油密度为 $0.8t/m^3$,属于富裕干舷船型。增加型深是提高舱容最有效的措施,但同时,型深的增加对大倾角稳性和初稳性的影响是相互矛盾的,其对大倾角稳性一般是有利的,而对初稳性是不利的。现代油船的 L/D 大约在 10.0~12.0 之间,设计时应在该范围内。

3.2.4 选择吃水考虑的主要因素

航道及水深要求对吃水有很大的限制,对于本设计船,航行于为我国沿海航区,经设计者搜集的全国各港口水深资料,各大港水深均在 9m 以上,所以对于国内各大海港来说,水深对于本船来说限制不大。同时应考虑现代油船的 B/d 大约在 3.0~3.5 之间。

选用大一些的吃水对提高螺旋桨工作性能和降低阻力有利。同时增加吃水,可加大螺旋桨的埋水深度,还能在纵摇时减少螺旋桨出水的可能性,对耐波性也有好处。

3.2.5 选择方形系数考虑的主要因素

方形系数是调节重力与浮力平衡的一个常用因素,对于本设计船来说,由于是液货船,其对于总布置影响方面可作为次要影响因素来考虑,参照母型船即可。根据母型船 $C_{B0} = 0.761$,本设计船方形系数可以暂用此值。

3.3 初步拟定主尺度和方型系数

本设计船为载重型船舶

3.3.1 统计法

基本公式:

$$L_{pp} = 5.7DW^{\frac{1}{3}} \quad (3.3)$$

$$B = 0.91DW^{\frac{1}{3}} \quad (3.4)$$

$$D = 1.29DW^{0.25} - 2.5 \quad (3.5)$$

$$d = 0.78DW^{0.25} \quad (3.6)$$

其中, DW 为载重量,本船为 10000t。以上公式 (3.3)、(3.4)、(3.5) 和 (3.6) 来自 2007 年陈可越的《船舶设计实用手册》。从而可得到:

$$L_{pp} = 5.7DW^{\frac{1}{3}} = 122.8m$$

$$B = 0.91DW^{\frac{1}{3}} = 19.61m$$

$$D = 1.29DW^{0.25} - 2.5 = 10.4m$$

$$d = 0.78DW^{0.25} = 7.8m$$

$$C_B = \frac{\Delta}{\gamma k L B d} = 0.7008m$$

3.3.2 根据主尺度比法:

基本公式:

$$L = \sqrt[3]{\frac{\Delta K_1^2 K_2}{k\gamma C_B}} \quad (3.7)$$

$$B = \frac{L}{K_1} \quad (3.8)$$

$$d = \frac{B}{K_2} \quad (3.9)$$

$$D = D_0 \frac{d}{d_0} \quad (3.10)$$

其中, 母型船 $K_1 = \frac{L}{B} = 5.73$; $K_2 = B/d = 2.95$ 。这里取 K_1 为 6.02, 取 K_2 为 2.69, 取 C_B 等于母型方型系数既 0.761。以上公式取自《船舶设计原理》从而可得到

| | |
|---|--------|
| L | 119.5m |
| B | 19.85m |
| d | 7.38m |
| D | 10.48m |

3.3.3 按母型船比例换算

基本公式:

$$L = L_0 \left\{ \frac{\Delta}{\Delta_0} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (3.11)$$

$$B = B_0 \left\{ \frac{\Delta}{\Delta_0} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (3.12)$$

$$d = d_0 \left\{ \frac{\Delta}{\Delta_0} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (3.13)$$

$$D = D_0 \left[\frac{d}{d_0} \right] \quad (3.14)$$

$$C_B = \frac{\Delta}{\gamma k l B d} \quad (3.15)$$

其中, 母型船为 12000t 成品油船公式 (3.11)、(3.12)、(3.13) (3.14) 和(3.15)取自王世连《船舶设计原理》从而可得到:

| | |
|-------|---------|
| L | 119.16m |
| B | 20.81m |
| d | 7.05m |
| D | 10.02m |
| C_B | 0.762 |

3.3.4 三种方案比较

三种方案比较

| 比较参数 | 母型换算法 | 经验公式法 | 主尺度比法 |
|--------------|--------|--------|-------|
| L_{PP} (m) | 119.16 | 122.80 | 119.5 |
| B (m) | 20.81 | 19.61 | 19.85 |
| d (m) | 7.05 | 7.80 | 7.38 |
| D (m) | 10.02 | 10.40 | 10.48 |

| | | | |
|------------|-------|-------|-------|
| C_B | 0.762 | 0.719 | 0.761 |
| L_{pp}/B | 5.73 | 6.26 | 6.02 |
| L_{pp}/D | 11.89 | 11.81 | 11.40 |
| B/d | 2.95 | 2.51 | 2.79 |

根据现代油船统计资料 L/D 在 10.0~12.0 之间, L/B 在 5.5~7.5 之间, B/d 在 3.0~3.5 之间为普通浅吃水。

本船为中小型成品油船, 航速要求在 14kn, 所以本设计船在航速方面要求是比较高的, 故 L/D 和 L/B 应尽量大一些。以上三种方案中, L/D 和 L/B 比较接近, 且都在统计范围内, 所以本船的 L/D 和 L/B 取值在现代成品油船统计范围内即可。

普通浅吃水大多数针对大型油船, 考虑到本船载重量仅为 10000t, 垂线间长小于 150m, 设计吃水仅为 7m 左右, 本船不属于大型油船, 故本船的 B/d 可以略小于现代油船 B/d 统计值。

对于方形系数来说, 根据赛维尔雷夫分析大量资料后得出估算临界方形系数值的关系式为

$$C_{bk} = 1.216 - 2.4F_n \quad (3.16)$$

方形系数统计资料计算各方案临界方形系数结果

| 项目 | 母型换算法 | 经验公式法 | 主尺度比法 |
|----------|-------|-------|-------|
| C_{bk} | 0.759 | 0.719 | 0.758 |

只有第二种方法符合要求。

根据上述现代油船的统计资料, 综合第一、二、三号方案, 设计船舶主要要素的初步拟定为:

| | |
|----------|-------|
| L_{pp} | 120m |
| B | B |
| D | D |
| d | d |
| C_B | C_B |

3.4 重力与浮力平衡

3.4.1 主机选择:

为了便于估算空船重量以及进行性能校核, 需要先进行主机选型。

用海军部系数法估算主机功率, 母型船海军部系数为:

$$C = \frac{\Delta_0^{\frac{2}{3}} v_0^3}{BHP_0} \quad (3.17)$$

其中, 代入相关数据求得母型船海军部系数为 $C=355$ 。将上式中排水量和航速替换成设计船数据, 从而得到设计船主机功率:

$$BPH = \frac{13793^{\frac{2}{3}} * 14^3}{355} = 4446KW$$

设计船要求的服务速度不小于 14kn, 因此取 $V=14kn$ 。得到设计船的 $BHP=4446kW$ 。

查阅 MAN-B&W 公司的相关主机型号资料，初步选取的主机型号为 MAN-B&W 7S35MC，其主要指标见下表

选用主机参数

| 项目 | 单位 | 数值 |
|---------|-------|------|
| 主机最大功率 | kW | 4440 |
| 主机额定转速 | r/min | 173 |
| 单位燃油消耗率 | g/kWh | 178 |

3.4.2 空船重量估算

1). 钢料重量估算:

采用立方模数法估算钢料重量:

$$W_h = C_h LBD \left(\frac{L}{D}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{2} C_b\right) \quad (3.18)$$

其中，根据母型船的钢料重量 $W_{h0} = 2905t$ ，得到设计船钢料重量

$$W_h = \frac{W_{h0} LBD \left(\frac{L}{D}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{2} C_b\right)}{L_0 B_0 D_0 \left(\frac{L_0}{D_0}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{2} C_{b0}\right)} = 2515t$$

2). 舾装重量估算:

舾装重量的估算采用平方模数法:

$$W_f = C_f L(B + D) \quad (3.19)$$

其中，根据母型船的舾装重量 $W_{f0} = 790t$ ，得到舾装重量

$$W_f = \frac{W_{f0} L(B + D)}{L_0 (B_0 + D_0)} = 720t$$

3). 机电设备重量估算

采用经验公式:

$$W_m = C_m (BHP/0.7355)^{0.5} \quad (3.20)$$

其中，BHP—主机功率 (kW);

C_m —机电设备重量系数。对于中速主机 $C_m 5 \sim 6$; 对于低速主机，BHP 在 10000kW 以下时 $C_m 8 \sim 9$ 。根据本船主机型号，取本船 $C_m 8$ 。公式 (3.30) 取自 2001 年顾敏童的《船舶设计原理》一书。

代入相关数据得到: $W_m = 622t$

综上，本船空船重量为: $LW = W_h + W_f + W_m = 3857t$

本船排水量为:

$$LW + DW = 13857t \quad (3.21)$$

3.4.3 重力浮力平衡方法:

采用诺曼系数法进行重力浮力平衡，规定重力与浮力允许相差 5t。保持载重量 DW 和主尺度不变，通过改变方形系数进行重力和浮力平衡。因为只改变方形系数，引起的排水量和主机功率变化不大，可忽略舾装重量和机电设备重量的变化，但是对钢料重量的影响较大，不可忽略。

1). 求诺曼系数 N:

$$N = \frac{\Delta}{\Delta - [W_h + \frac{2}{3}(W_f + W_m)]} \quad (3.22)$$

载重量增量 δDW_1 :

$$\delta DW_1 = DW - DW_1 = DW - (\Delta_1 - LW_1) \quad (3.23)$$

排水量增量:

$$\delta \Delta_1 = N \times \delta DW_1 \quad (3.24)$$

代入浮性微分方程:

$$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = \frac{\delta L}{L} + \frac{\delta B}{B} + \frac{\delta d}{d} + \frac{\delta C_b}{C_b} \quad (3.25)$$

在式(3.25)中, 因为认为船舶主尺度不变, 所以上式前三项可忽略。得到方形系数的变化:

$$\delta C_b = \frac{\delta \Delta}{\Delta} \times C_b \quad (3.26)$$

改变后的方形系数:

$$C_{b1} = C_b + \delta C_b \quad (3.27)$$

方形系数改变对钢料重量变化的影响[4]:

$$W_{h1} = W_h \times \frac{1+0.5 \times C_{b1}}{1+0.5 \times C_b} \quad (3.28)$$

诺曼系数法平衡重力与浮力

| 诺曼系数法 | 第一次 | 第二次 |
|---------------------------|------------|----------|
| 诺曼系数 N | 1.324 | 1.3235 |
| 载重量增量 δDW (t) | 30.4 | -13 |
| 排水量增量 $\delta \Delta$ (t) | 40.25 | -17.2 |
| 方形系数变化 δC_b | 2.175 E-03 | -9.3E-04 |
| 修改后方形系数 C_b | 0.745 | 0.744 |
| 方形系数对钢料影响 (t) | 2488 | 2487 |
| 修改后排水量 Δ (t) | 13838 | 13821 |
| 修改后的空船重量 LW (t) | 3825 | 3825 |
| 修改后的载重量 DW (t) | 10013 | 9996 |
| 修改后的重力浮力之差 (t) | 13 | -4 |

经过三次平衡后得到 $|\delta \Delta| < 5t$ 满足设计要求, 从而重力和浮力得到平衡, 得到新的排水量和方形系数分别为: $\Delta = 13821t$, $C_b = 0.744$

3.5 性能校核:

一般包括稳性校核、航速校核、干舷校核和容量校核.

3.5.1 稳性校核

稳性校核包括初稳性和大角稳性校核, 在主要尺度确定时通常只作初稳性校核, 因为在初稳性校核之后, 按照初稳性高度的大小, 根据母型船的大倾角稳性情况, 一般可以判断出设计船的大倾角稳性如何。

初稳性校核的内容是估算初稳性高度, 并检查其是否符合设计船所要求的数值。

初稳性高度的估算按初稳性方程式进行。

$$\overline{GM} = Z_b + \gamma - Z_g - \delta h \quad (3.29)$$

式中 \overline{GM} 为所核算状态下的初稳性高度；

Z_b 为相应吃水下的浮心高度；

γ 为相应吃水下的横稳心半径；

Z_g 为所核算状态下的重心高度；

Δh 为自由液面对初稳性高度修正值，一般可直接取自母型船或按实际况估算。

浮心垂向坐标 Z_b 和横稳心半径 γ 可按照近似公式估算：

$$Z_b = \alpha_1 d \quad (3.30)$$

$$\gamma = \alpha_2 \frac{B^2}{d} \quad (3.31)$$

$$\alpha_1 = 0.5 \left(\frac{C_w}{C_b} \right)^{0.437} \quad (3.32)$$

其中， α_1 由薛安国公式得到；

C_w 水线面系数取 $C_w = \frac{1+2C_b}{3} = 0.831$ ；

α_2 由诺曼公式得到取 $\alpha_2 = \frac{0.008+0.0745 C_w^2}{C_b}$ 。

代入相关数据得到： $Z_b = 0.524 \times 7.4 = 3.88\text{m}$

代入相关数据得到： $\gamma = 4.39$

重心高度： $Z_g = \chi D$

其中， χ 在空船时取为 0.60~0.66，满载时取为 0.55~0.59。本设计船空船时取 0.64，满载时取 0.58。代入相关数据得到

空船时：6.91m

满载时：6.26m

从而得到初稳性高度空船时： $\overline{GM} = Z_b + \gamma - Z_g - \delta h = 1.36\text{m}$

满载时： $\overline{GM} = Z_b + \gamma - Z_g - \delta h = 2.00\text{m}$

初稳性高度下限值：

我国《海船法定检验技术规则》(2006)对油船的最低初稳性高度规定： $\overline{GM} \geq 0.15\text{m}$

初稳性上限值：

设计中在保证初稳性下限的条件下力求使船舶的横摇缓和，为使横摇和缓，避免摇晃幅度过大，希望不发生谐摇，即对调谐因子要求：

$$\Lambda = \frac{T_\theta}{T_w} \geq 1.3 \quad (3.33)$$

式中横摇自摇周期：

$$T_\theta = 0.58f \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_g^2}{\overline{GM}}} \quad (3.34)$$

其中， f 为修正系数。 $B/d > 2.5$ 时， $f \approx 1 + 0.07(\frac{B}{d} - 2.5)$ ；代入相关数据的 $f=1.014$ 。

从而得到空船时： $T_\theta = 10.65\text{s}$

满载时： $T_\theta = 8.50\text{s}$

波浪周期：

$$T_w \approx 0.8\sqrt{\lambda} \quad (3.35)$$

其中， λ 为波长，我国沿海为 60~70m，取 70m。代入相关数据得到： $T_w = 6.69\text{s}$

从而得到空船时: $\Lambda = \frac{T_\theta}{T_w} = 1.59$

满载时: $\Lambda = \frac{T_\theta}{T_w} = 1.27$

稳性校核的最终计算及校核结果见下表:

初稳性计算及校核结果

| 项目 | 空船 | 满载 |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| 系数 χ | 0.64 | 0.58 |
| 重心高度 $Z_G(\text{m})$ | 6.91 | 6.26 |
| 初稳性高度 $\overline{GM}(\text{m})$ | 1.36>0.15 | 2.01>0.15 |
| 横摇周期 $T_\theta(\text{s})$ | 10.65 | 8.51 |
| 调谐因数 Λ | 1.59>1.30 | 1.27>1.30 |

根据上表可见, 初步确定的设计船的主要要素满足规范对于初稳性的要求。

3.5.2 航速校核

航速校核的目的是校验在选定的主要尺度及系数下, 当主机功率为 3996kw (储备功率为 10%), 航速能否达到任务书的要求, 即航速为 14kn。

有效功率的估算, 采用兰普法 (兰泼-凯勒法)。计算结果及步骤列于下表中。表中船中剖面系数 C_m 暂取为 0.989, 浮心位置 X_b 取为船中前 2% L_{pp} 处。

由于 MAU4 叶桨具有良好的阻力性能和水动力性能, 而且图谱较齐全, 因此本船采用 MAU4 叶桨图谱进行设计计算, 储备功率取 10%, 轴系效率本设计船为尾机型取 $\eta_s = 0.98$ 。

1) 总的推进系数的估算

总的推进系数:

$$\eta_D = \eta_H \eta_o \eta_R \eta_s \quad (3.36)$$

其中:

η_D 为总的推进系数;

η_H 为船身效率;

η_o 为螺旋桨敞水效率;

η_s 为轴系传送效率。

推进系数估算参数

| | |
|----------------------------------|-------|
| BHP (hp) | 5433 |
| 伴流分数 $\omega = 0.7C_p - 0.18$ | 0.347 |
| 推力减额分数 $t = 0.5C_p - 0.12$ | 0.256 |
| 相对旋转效率 η_R | 1.00 |
| 船身效率 $\eta_H = (1-t)/(1-\omega)$ | 1.14 |
| C_b | 0.744 |
| C_p | 0.753 |
| 转速 N (r/min) | 173 |

按 $\sqrt{B_p} - \delta$ 法估算螺旋桨推进效率

| 项目 | 数值 |
|--------------------------------|-------|
| 航速 $V(\text{kn})$ | 14 |
| $V_A = (1-\omega)V(\text{kn})$ | 9.145 |
| $P_D(\text{hp})$ | 5324 |
| $B_p = NP_D^{0.5} / V_A^{2.5}$ | 49.96 |
| $\sqrt{B_p}$ | 7.068 |
| MAU4-40(查图) η_0 | 0.54 |
| MAU4-55(查图) η_0 | 0.52 |
| MAU4-70(查图) η_0 | 0.50 |
| 总推进系数 η_D | 0.59 |

THP= η_D * BHP=2357KW 计算有效功率曲线

航速校核主要参数

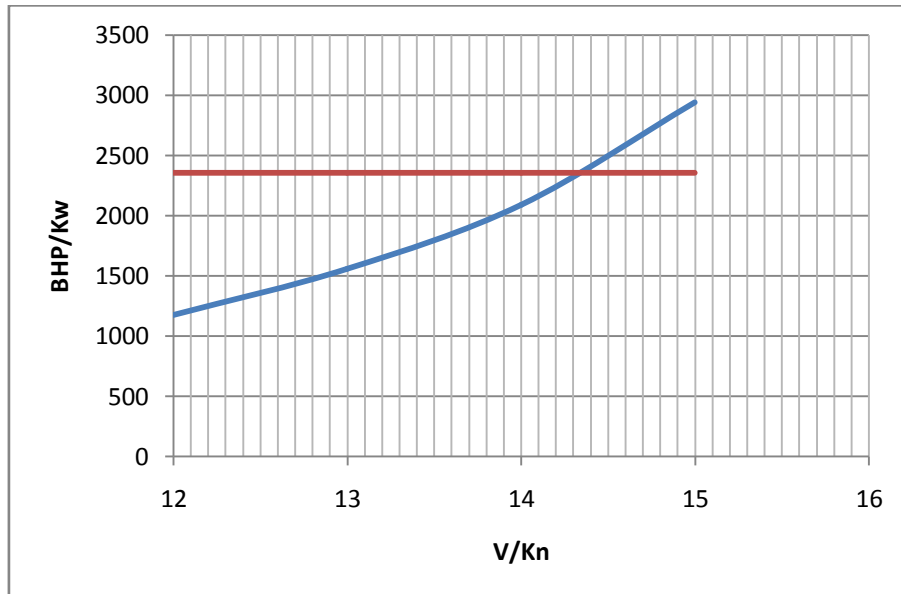
| | | | |
|--|------------------|---|--------|
| Lpp (m) | 120.00 | Δ (t) | 13821 |
| Ld (m) | 121.2 | CM | 0.989 |
| B (m) | 20.2 | CP | 0.753 |
| d (m) | 7.40 | C_{pd} | 0.745 |
| D (m) | 10.8 | B/d | 2.73 |
| 排水体积 (m ³) | 13350 | Ld/B | 6 |
| C_b | 0.744 | XB=2%Lpp (m) | 2.4 |
| C_{bd} | 0.737 | S (m ²) | 3336.7 |
| 0.5pS (kg · s ² /m ²) | 174344.1 | ρ (kg · s ² /m ⁴) | 104.5 |
| $C_{Rt}=(B*d*C_m/S)\zeta_r$ | 0.0443 ζ_r | | |

兰普法（兰泼-凯勒法）估算设计船有效功率曲线

| 序号 | 项目 | 数值 | | | |
|----|--|--------|--------|--------|--------|
| 1 | Vn (kn) | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2 | Vs (m/s) | 6.173 | 6.687 | 7.202 | 7.717 |
| 3 | $V_s / \sqrt{C_{pd} L_d}$ | 0.6507 | 0.7049 | 0.7592 | 0.8134 |
| 4 | $\xi_r \times 10^3$ (查A组图谱) | 19.3 | 21.5 | 27 | 37 |
| 5 | L_d / B 修正 | 8.00% | 8.00% | 8.00% | 8.00% |
| 6 | 修正后的 $\xi_r \times 10^3$ | 20.84 | 23.22 | 29.16 | 39.96 |
| 7 | $C_{Rt} \times 10^3$ | 0.924 | 1.029 | 1.292 | 1.770 |
| 8 | $V_s \times L_d$ | 748.2 | 810.6 | 872.9 | 935.3 |
| 9 | $R_e = (8) / (1.18831 \times 10^{-6}) (\text{kg})$ | 62964 | 68211 | 7.35E | 7.87E |
| | | 0414 | 0448.2 | +08 | +08 |
| 10 | $C_{Fs} \times 10^3$ (ITTC1957) | 1.586 | 1.570 | 1.556 | 1.542 |
| 11 | 粗糙度补贴系数 (I 型油船) | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 12 | $(C_{Fs} + C_A) \times 10^3 = (10) + (11)$ | 1.956 | 1.940 | 1.926 | 1.912 |

| | | | | | |
|----|--|--------|--------|--------|--------|
| 13 | $C_{it} \times 10^3 = (7) + (12)$ | 2.880 | 2.969 | 3.218 | 3.683 |
| 14 | $V_s^2 (\text{m}^2 / \text{s}^2)$ | 38.10 | 44.72 | 51.86 | 59.55 |
| 15 | $0.5 \rho V_s^2 S (\text{kg})$ | 66442 | 77977 | 90435 | 10381 |
| | | 59.8 | 77.089 | 76 | 656 |
| 16 | $R_{it} = (13) \times (15) \times 10^{-3} (\text{kg})$ | 19134 | 23152. | 29100 | 38235 |
| | | .0 | 6 | .2 | .0 |
| 17 | B/d 修正 = $(B/d - 2.4) \times 5\%$ | 0.016 | 0.0165 | 0.016 | 0.016 |
| | | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 18 | $R_t = (16) \times (1 + (17)) (\text{kg})$ | 19449 | 23534. | 29580 | 38865 |
| | | .4 | 3 | .0 | .3 |
| 19 | $V_s / 75 (\text{m/s})$ | 0.0823 | 0.0891 | 0.0960 | 0.1028 |
| | | 0 | 6 | 2 | 9 |
| 20 | $EHP = (18) \times (19) \times 0.736$ (kW) | 1178. | 1544.5 | 2090. | 2943. |
| | | 3 | 6 | 1 | |

由上表在各个航速下所需主机功率可以得到如下有效功率曲线，如下图：



设计航速的校核

根据有效功率曲线可得当主机发出常用持续功率时，设计船航速约为 14.2kn，大于设计航速 14kn，满足设计任务书要求。

3.5.3 干舷校核

干舷属于富裕干舷，故这项暂不作校核。

3.5.4 容量校核

3.5.4.1 载货量 W_c 估算

a. 主机燃料油（重油）

$$W_o = g_0 * P_s * \left(\frac{R}{V_s} + 3 \times 24 \right) * 10^{-3} \quad (3.37)$$

其中，本船主机的常用持续功率为 3996kW，相当于服务状态下的功率，取服务航速为 14kn，续航力为 4000n mile，正常航行中主机烧重油，单位耗油量为 178g/kWh，另加 3 天燃油储备。通过计算得到： $W_o = 253t$ 现取为 255t。

b.轻柴油

发电机型号未知，根据母型船估算柴油机耗油量为 46t。

c.滑油重量

按主机燃油总量的 2.5%计

$$W_l = 255 \times 0.025 = 6.4t \quad (3.38)$$

现取为 6.5t。

d.船员生活用水

本船船员为 18 人，自持力为 20 天($\frac{4000}{14 \times 24} \approx 12$)，每人每天用水按 110kg 计，则生活用水总量为 $18 \times 110 \times 20 \times 10^{-3} = 39.6t$

现取为 40t。

e.食品

每人每天食品消耗按 5kg 计算，食品重为 $18 \times 5 \times 20 \times 10^{-3} = 1.8t$

现取为 2.5t。

f.人员及行李

每人体重按 70kg 计，每人的行李按 40kg 计，则人员及行李总重量为 $18 \times (70 + 40) \times 10^{-3} = 1.98t$

现取为 2t。

g.备品

备品的统计数字一般为(0.5%—1%)LW，本船取 35t。

综上 a~g 估算所得，以上油水等重量总和为 387t。

已知总载重量为 $DW = 10000t$ ，则载货量： $W_c = DW - 387 = 9613t$

3.5.4.2 舱容计算

《船舶与海上设施法定检验规范》(国内，2004)第十七篇“防止船舶造成污染的结构与设备”中新增有关新建油船双壳双底等规定： $600t \leq DW \leq 5000t$ 油船，至少应设双层底结构，其高度 $h_d = B/15$ ，但不得小于 0.76m； $DW \geq 5000t$ 油船，必须设双壳双底结构。整个货油舱长度范围应由压载舱、非货油和燃油处加以保护。双层壳宽度不得小于 $b = 0.5 + DW/20000$ 或 2m 取小者，但不得小于 1m。

按新规定，本船货油区结构必须采用双壳双底结构。对双层壳宽度 b 及双层底高度 h_d 选择如下： $b = 0.5 + \frac{DW}{20000} = 1m$ ，本船双层壳宽取为： $b=1$ ； $h_d = \frac{B}{15} = 1.33m$ ，本船双层底高取为： $h_d = 1.35m$ 。

对双壳双底型油船容积校核要分项检验，即分别对货油舱容积和专用压载舱舱容进行检验。

$$V_{tk} \geq V_{cn} \text{ 及 } V_D - V_{tk} \geq V_{bn}$$

式中 V_{tk} 货油舱能提供的容积， m^3 ； V_D 货油区能提供的总容积， m^3 ；

V_{cn} 货油所需容积， m^3 ； V_{bn} 压载舱所需容积， m^3 。

本船货油区能提供的总容积：

$$V_D = K_v L_c B D C_{md} \quad (3.39)$$

$$K_v = 0.6596 + 0.6747C_b - 0.3022K_c$$

$$C_{md} = 1 - d / D(1 - C_m)$$

式中, C_m 船中剖面积系, 取 0.989;

L_c 货油区长度, 设计船为 $L_c = 85\text{m}$;

K_c 货油区长度利用系数, 本设计船取 $K_c = \frac{L_c}{L_{pp}} = 0.708$, 现代大型油船 K_c 一般范围为 0.70 - 0.79。

则 $K_v = 0.948$; $C_{md} = 0.9925$

本船能提供的总容积 V_D 计算得 $V_D = 17447\text{m}^3$ 。

本船货油舱能提供的容积 V_{tk} 按下式计算:

$$V_{tk} = K_\alpha L_c (B - 2b)(D - h_d) \quad (3.40)$$

$$K_\alpha = (0.25C_b + 0.702)(0.018 \times b + 0.950)$$

式中, C_b 方形系数;

b 双层壳宽度, m;

h_d 双层底高度, m。

本船货油舱能提供的容积 V_{tk} 计算得 $K_\alpha = 0.8596$; $V_{tk} = 12567\text{m}^3$

本船专用压载水舱 (即双层壳之间) 所能提供的容积为 $V_D - V_{tk} = 4880\text{m}^3$

本船货油所需容积 V_{cn} 为

$$V_{cn} = \frac{W_c}{\gamma_c} k \quad (3.40)$$

式中 W_c 货油量, 本设计船为 W_c 为 9613t;

γ_c 货油密度, 本设计船为 $\gamma_c = 0.8\text{t/m}^3$;

k 考虑货油膨胀及舱内舱容系数, 本设计船取 $k = 1.04$ 。

$$V_{cn} = \frac{9613}{0.8} \times 1.04 = 12497\text{m}^3$$

据统计, 大型油船压载水舱容积为 (30%~40%) DW, 本船的 V_{bn} 为 $V_{bn} = 3500\text{m}^3$ 经计算可知 $V_{tk} > V_{cn}$, $(V_D - V_{tk}) > V_{bn}$, $V_D > (V_{cn} + V_{bn})$ 。

其中, 这里计算的压载水容积是货油区的, 全船的压载水舱还包括首、尾压载水舱, 由于此时已满足压载水容积要求, 那么全船的压载水容积自然满足要求。综上所述, 舱容满足所要求。

通过容积校核后, 本船主要尺度及方形系数确定如下:

| | |
|--------------------|-------|
| $L_{pp}(\text{m})$ | 120 |
| $B(\text{m})$ | 20.2 |
| $D(\text{m})$ | 10.8 |
| $d(\text{m})$ | 7.4 |
| C_b | 0.744 |
| $\Delta(\text{t})$ | 13821 |

3.6 经济性分析

本设计船垂线间长为 120m, 在相近载重量的成品油船中属于较短的船舶。由于船长对钢料重量的影响在各种因素中为最大, 故选择较短的船长可以较多的减少钢料的消耗。

对于方形系数来说, 对船舶剩余阻力有较大的影响, 本船的傅汝德数 $F_n = 0.210$,

根据赛维尔雷夫临界方形系数估算公式可以得到临界方形系数 $C_{bk} = 1.216 - 2.4F_n = 0.712$ ，本船的方形系数 $C_b = 0.744$ ，表面上本船的方形系数超过了临界方形系数，但是通过对林勃赖特资料分析之后，可以看出在傅汝德数小于 0.222 时，当方形系数变大时，剩余阻力缓慢地变化。虽然本船的方形系数略大于临界方形系数，但阻力方面牺牲较少，而在使用和建造价格等方面，选择较大的方形系数，可以获取较大的舱容，有利于舱室的布置，同时造价也更低。因此，本设计船在经济上和技术性能上是比较平衡的。

对于主机的选择，选取的主机型号为 MAN-B&W 6S35M，其额定功率为 4440kW，而估算船舶所需的主机额定功率为 3870kW，两者相差较小，所以在主机的使用上也没有太多浪费。

综上所述，本船的经济性应该满足条件。

第四章 型线设计

由于母型船存在平行中体，因此采用 $1 - C_p$ 法进行型线设计。

设计船的主要要素：

| | |
|--------------|-------|
| L_{pp} (m) | 120 |
| B (m) | 20.2 |
| D (m) | 10.8 |
| d (m) | 7.4 |
| C_b | 0.744 |
| $\Delta(t)$ | 13821 |
| C_p | 0.752 |
| C_m | 0.989 |
| X_B (m) | 2.4 |

4.1 绘制母型船横剖面面积曲线：

按照 12000t 母型船的型值表，绘出母型船设计水线下的横剖面如图 4.1。得到母型船各站横剖面面积如表 4.1。

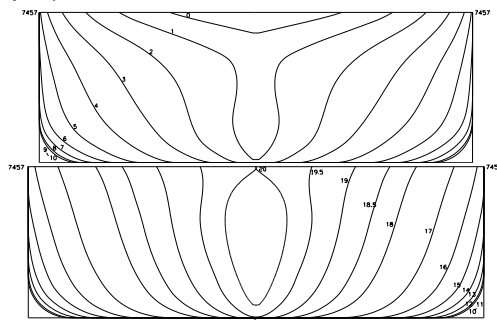


图 4.1 母型船横剖面

表 4.1 母型船各站横剖面面积

| 站号 | 面积(m ²) | 站号 | 面积(m ²) | 站号 | 面积(m ²) |
|----|---------------------|----|---------------------|------|---------------------|
| -1 | 1.132 | 8 | 161.926 | 17 | 121.145 |
| 0 | 4.821 | 9 | 162.325 | 18 | 92.585 |
| 1 | 28.727 | 10 | 162.330 | 18.5 | 74.566 |
| 2 | 66.911 | 11 | 162.329 | 19 | 53.919 |
| 3 | 99.359 | 12 | 161.999 | 19.5 | 32.803 |
| 4 | 126.416 | 13 | 160.941 | 20 | 14.114 |
| 5 | 146.180 | 14 | 158.684 | 21 | 8.121 |
| 6 | 156.658 | 15 | 153.346 | | |
| 7 | 160.491 | 16 | 141.216 | | |

将母型船各站面积无因次化，画出母型船横剖面面积无因次曲线如图 4.2。

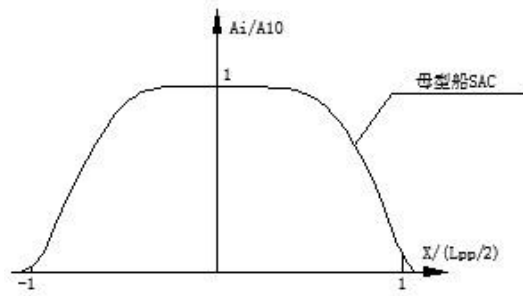


图 4.2 母型船无因次化 SAC

4.2 改造母型船横剖面面积曲线

由于本设计船与母型船排水量相差不大，且母型船有平行中体。设计船由于是方形系数较大的成品油船，在平行中体设计方面与母型船类似。本船的型线设计用 $1 - C_p$ 法可以满足精度要求。

4.2.1 母型船的相关参数

母型船无因次化的横剖面面积曲线的面积就是母型船棱形系数二倍 $2C_{p0}$ ，分别建立面域，可以得到母型船前体与后体的棱形系数 C_{pf0} 和 C_{pa0} 。建立面域，量取得得：母型船前体棱形系数 $C_{pf0} = 0.8015$ ，母型船后体棱形系数 $C_{pa0} = 0.7359$ ，母型船棱形系数 $C_{p0} = 0.769$ ，浮心纵向位置 $X_b = 1.567\%L_{pp} = 1.975\text{m}$ 。

4.2.2 改造母型船横剖面面积曲线

根据经验公式计算设计船 C_{pf} 和 C_{pa} ：

$$C_{pf} = C_p + K \frac{X_b}{L_{pp}} \quad (4.1) \quad C_{pa} = C_p - K \frac{X_b}{L_{pp}} \quad (4.2)$$

式中， X_b 船中前为正、船中后为负。

因此，面积曲线前、后体棱形系数变化量：

$$\delta C_{pf} = C_{pf} - C_{pf0} \quad (4.3) \quad \delta C_{pa} = C_{pa} - C_{pa0} \quad (4.4)$$

按“ $1 - C_p$ ”法求母型船横剖面面积曲线各站移动距离 δx 的表达式如下式：

$$\delta x_f = (1 - x) \frac{\delta C_{pf}}{1 - C_{pf}} \quad (4.5) \quad \delta x_a = -(1 + x) \frac{\delta C_{pa}}{1 - C_{pa}} \quad (4.6)$$

根据“ $1 - C_p$ ”法原理，各辅助站距理论站移动距离为 $\frac{L_{pp}}{2} \delta x$ ，由此得到变化后的设计船横剖面面积曲线。

改变 K 值，每改变一个 K 值，画出设计船的 SAC 曲线，做面域，量取面积及形心，即为设计船的 $2C_p$ 和 $\frac{X_b}{L_{pp}/2}$ ，几次调整后， X_p 和 X_b 均达到设计要求。其中， K 值以 2.25 为初值。表 4.2 即为 K 值、 C_p 和 X_b 的变化关系。

表 4.2 K 值， C_p 和 X_b 的变化关系

| K | 2.25 | 2.2 | 2.15 | 2.1 | 2.085 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $X_b/(L_{pp}/2)$ | 0.0427 | 0.0419 | 0.0410 | 0.0402 | 0.0400 |
| C_p | 0.752 | 0.752 | 0.752 | 0.752 | 0.752 |

由公式可以明显看出，改变 K 值其实就是调整设计船的浮心纵向位置 $\frac{X_b}{L_{pp}}$ ，相当于“迁移法”，此方法利用 CAD 可以很快的得到设计船的无因次 SAC，且此法中 C_p 自然满足要求。

最终得到新辅助站的位置如下表 4.3。

图 4.3 新辅助站的位置

| 站号 | 距仲 | 偏移量 | 辅助站位置 | 无因次横剖面面积 |
|------|--------|---------|---------|----------|
| -1.0 | -1.048 | -0.0046 | -1.0523 | 0.007 |
| 0.0 | -1.000 | 0.0000 | -1.0000 | 0.030 |
| 1.0 | -0.900 | 0.0097 | -0.8903 | 0.177 |
| 2.0 | -0.800 | 0.0195 | -0.7805 | 0.412 |
| 3.0 | -0.700 | 0.0292 | -0.6708 | 0.612 |
| 4.0 | -0.600 | 0.0389 | -0.5611 | 0.779 |
| 5.0 | -0.500 | 0.0487 | -0.4513 | 0.901 |
| 6.0 | -0.400 | 0.0584 | -0.3416 | 0.965 |
| 7.0 | -0.300 | 0.0681 | -0.2319 | 0.989 |
| 8.0 | -0.200 | 0.0779 | -0.1221 | 0.998 |
| 9.0 | -0.100 | 0.0876 | -0.0124 | 1.000 |
| 10.0 | 0.000 | 0.0973 | 0.0973 | 1.000 |
| 11.0 | 0.100 | -0.0377 | 0.0623 | 1.000 |
| 12.0 | 0.200 | -0.0335 | 0.1665 | 0.998 |
| 13.0 | 0.300 | -0.0293 | 0.2707 | 0.991 |
| 14.0 | 0.400 | -0.0252 | 0.3748 | 0.978 |
| 15.0 | 0.500 | -0.0210 | 0.4790 | 0.945 |
| 16.0 | 0.600 | -0.0168 | 0.5832 | 0.870 |
| 17.0 | 0.700 | -0.0126 | 0.6874 | 0.746 |
| 18.0 | 0.800 | -0.0084 | 0.7916 | 0.570 |
| 18.5 | 0.850 | -0.0063 | 0.8437 | 0.459 |
| 19.0 | 0.900 | -0.0042 | 0.8958 | 0.332 |
| 19.5 | 0.950 | -0.0021 | 0.9479 | 0.202 |
| 20.0 | 1.000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.087 |
| 21.0 | 1.023 | 0.0009 | 1.0236 | 0.050 |
| 首端点 | 1.061 | 0.0026 | 1.0638 | 0.000 |

4.3 型线图的绘制

1) 选定绘图比例，绘制设计船格子线

绘制侧视图（包括首尾轮廓线、甲板边线、甲板中心线等）。

2) 绘制辅助水线半宽图。

在 Excel 中，将母型船的型值表中型深以下部分的型值按比例转化成设计船的型值。将距仲距离这一栏数据换成有因次的辅助站位置即可。画出的是非理论站非理论吃水的型线。插值出整数站处各非整数吃水的半宽值。

3) 绘制横剖面图

由上一步得到的整数站下非整数吃水的半宽值，绘制出横剖线图，画出整数站，插值出各整数吃水下各站的半宽值。

同时，根据横剖线图校核设计船的 C_b 和 X_b 。

由横剖线图利用 CAD 查询面域功能得到设计船各站的横剖面面积，无因次化后画出设计船无因此 SAC 如图 4.3，根据设计船无因此 SAC 可以得到 C_p 与 X_b 值：

$$C_m = \frac{A_m}{B \times d} \quad (4.7) \quad C_b = C_m \times C_p \quad (4.8)$$

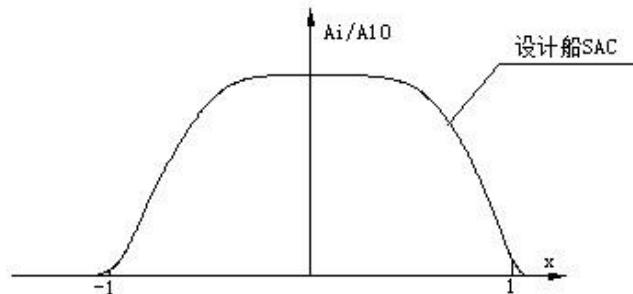


图 4.3 设计船无因次化 SAC

调整后设计值和初步设计值比较见表 4.4

表 4.4 校核 C_b 与 X_b

| 设计理论值 | | 实际计算值 | | 误差 |
|--------------|------|-------|-------|--------|
| C_p | 0.75 | C_p | 0.75 | -0.08% |
| C_m | 0.99 | C_m | 0.99 | 0.00% |
| C_b | 0.74 | C_b | 0.74 | -0.12% |
| x_b/L_{pp} | 2% | x_b | 2.02% | 0.80% |

4) 绘制理论水线半宽图

根据量取的在各整数吃水下各站的半宽值，重新画到水线图上，得到理论水线。

5) 绘制纵剖线图

在半宽水线图上画出 2000、4000、6000、8000 纵剖线，每条纵剖线与各条水线都有相应的交点，将这些交点投射到纵剖线图上的相应水线位置，连接这些交点便得到了纵剖线图。

6) 三面投影光顺配合。

先光顺横剖线图，再光顺半宽水线图和纵剖线图。

7) 绘制甲板中心线及甲板边线

首先确定首舷弧、尾舷弧及梁拱曲线；为施工方便，把甲板中心线定为折线；由甲板中心线及梁拱曲线画出甲板边线。

8) 绘制型线图的水上部分

对于设计水线以上部分型线的设计采用自行设计法，由于选取的母型船与设计船吨位上比较相近，可以进行比例变换再加上相应的三向光顺配合画出设计船水上部分的型线。

9) 绘制平边线与平底线

在横剖线视图中，找出每站与最大半宽线的相切点的高度值，在纵剖图中连接各点即得到平边线。同理，找出各站与基线的相切点的半宽值，在半宽水线图中连接各点即得到平底线。

10) 制定型值表，注字、标尺寸。
完整型线图见附图 1。

第五章 总布置设计

按照设计任务书的要求，本船为钢质、单机、单桨、单甲板、尾机型，具有球首和球尾线型。参考母型船的总布置情况，并按照《国内航行海船法定检验技术规则》（2006）和 CCS《国内航行海船建造规范》（2006）等规范要求对设计船进行总布置设计。

5.1 概述

总布置设计是船舶设计中的一项非常重要的任务，它不但对船的使用效能、航行性能、安全性能以及结构工艺性能等有直接的影响，而且是后续设计和计算的主要依据。

总布置设计的主要工作包括：

区划船舶主体和上层建筑，勾画船舶设计水线以上的外部造型；
调整船舶的浮态（纵倾调整）；
布置船舶舱室和设备；
协调各部分通道和出入口楼梯。

5.2 总布置设计原则

布置时，应最大限度地提高船舶的使用性能；
布置时，应考虑对船舶航海性能、结构性能和安全性能的影响；
布置时，注意结构的合理性，以提高船舶强度；
布置时，注意便于建造、修理、检查、保养以及设备的更换；
在布置住舱和工作舱时，注意考虑工作需要和方便，又力求缩小差别；
在经济和实用的前提下，适当注意造型美观大方。

5.3 肋骨间距的划分

《钢质海船入级与建造规范》规定，肋骨标准间距 S_b 按下式计算：

$$S_b = 0.0016L_{pp} + 0.5 \quad (5.1)$$

且 $S_b \leq 0.7m$ 。式中， L_{pp} 为垂线间长，以 m 计。

本船垂线间长 $L_{pp} = 120m$ ，经过计算得到： $S_b = 0.692m$

因此实际选取肋位 $S_b = 700mm$ 。规范还规定首尾尖舱内，肋骨或舷侧纵骨的标准间距肋骨间距 S_b 应为按上式计算所得值或 0.6m 的较小者；船端 $0.05L_{pp}$ 区域范围内，上层建筑及甲板室的甲板纵骨或横梁的标准间距 S_b 应为按上式计算所得值或 0.6m 中的较小值。因此，首尾尖舱的肋位选取为： $S_b = 600m$ 。

按我国民用船舶习惯，肋位号码从尾部编起，以舵杆中心线为 0 号，向首编排，0 号以后肋骨号注以负号。

5.4 双层底舱高度与双壳体间距的确定

根据《国际防污染公约》的要求，凡载重量 5000t 以上的油船，应设双层底舱和双壳体。双壳体间距 W 应不小于 $W = 0.5 + \frac{DW}{20000} = 1.0m$ 或 $W=2.0m$ 取小者。所以本船双壳体间距应不小于 1.0m，实取 $W=1.0m$ 。双层底舱的高度 h 应不小于 $h=B/15m$ 或 $h=2m$ ，取小者，本船型宽 $b=20.2m$ ，因而双层底舱高度 h 应不小于

1.346m, 实取为 $h=1.35\text{m}$ 。

5.5 主船体内部船舱的布置

5.5.1 总体划分

5.5.1.1 水密舱壁的总数

水密舱壁将船体划分为首尖舱、货油舱、货油泵舱、机舱和尾尖舱。按照《钢制海船入级与建造规范》(2009)中规定, 本船垂线船长为 $L_{pp} = 120\text{m}$, 为尾机型, 故设计船水密舱壁数应不少于 6 个。

5.5.1.2 机舱的位置及长度

1) 尾机型有以下优点:

可以改善货舱与舱口的合理布置

可以保持船体纵向构件的连续性

可以缩短轴系长度用以增加货舱容积

可以减少轴系重量和功率在轴系上的损失

有利于货油系统的布置, 使轴隧不通过货油舱, 有利于防火和对安全性的保证

2) 同时采用尾机型也有缺点, 如:

容易造成船的重心前移, 引起纵倾调整的困难; 但是可以通过对货油舱以及油水舱的合理划分及布置、型线设计的合理配合等方面予以解决。

驾驶视野变差; 但可以通过提高尾楼高度或在首部设瞭望台等措施加以解决。

综上所述, 本设计船选用尾机型是有利的, 缺点都可以克服。

参照同一型号主机的母型船, 由于母型船机舱长度为 17.50m , 且设计船主机较母型船主机小, 利用公式:

$$l_m = l_{m1} + c \quad (4.2)$$

其中, $c=10\sim 12\text{m}$, 本设计船 $l_{m1} = 4.809\text{m}$, 所以本船机舱长度约为 $14.8\text{m}\sim 16.8\text{m}$ 。

因此机舱长度初步取为 14.7m 。

5.5.1.3 首、尾尖舱长度的确定

按照《船舶与海上设施法定检验规则》中规定:

货船的防撞舱壁距首垂线的距离应不小于 $0.05L_{pp}$ 或 10m (取小者), 除经主管机关允许外, 不大于 $0.08L_{pp}$ 或 $0.05L_{pp}$ 加 3m (取大者)。对于具有球鼻首的船舶, 防撞舱壁距首垂线的距离应从下列各点之一来量取, 取最小者: a. 此类延伸的长度中点; b. 首垂线前方距离 $0.015L_{pp}$ 处; 首垂线前方距离 3m 处。经计算可得: 防撞舱壁距首垂线的距离为 $4.2\sim 7.8\text{m}$, 选取为 5.4m 。

尾尖舱长度一般取 $0.035L_{pp} \sim 0.045L_{pp}$, 计算得: $4.2\sim 5.4\text{m}$ 。考虑到肋位的配合, 参考母型船, 选取为 4.938m 。

5.5.1.4 货油舱区及其他舱室的划分

参考母型船货油舱区长度为 86.70m , 设计船载重量较小故取 85.4m , 并将货油舱区划分为五对货油舱和六对压载水舱。

参考母型船布置, 以舵杆中心线处为 0 号肋位; 船尾 $\sim \#3$ 为尾尖舱, $\#3 \sim \#9$ 为淡水舱, 肋骨间距为 600mm ; $\#9 \sim \#30$ 为机舱, $\#30 \sim \#40$ 为货油泵舱, $\#30 \sim \#40$ 为空舱 (中, 底), $\#40 \sim \#43$ 为空舱, $\#43 \sim \#45$ 为污水水舱, $\#45 \sim \#164$ 为货油舱区, $\#165 \sim \#171$ 为压载水舱, 肋骨间距为 600mm ; $\#171 \sim$ 船首为首尖舱,

肋骨间距为 600mm。

5.5.2 内部舱室划分

5.5.2.1 尾尖舱区

船尾～#3 设有尾压载水舱(左、右)和舵机舱(中); #3～#9 设有淡水舱(左、右)和尾轴冷却水舱(中)。

5.5.2.2 机舱区

机舱区设有双层底, 双层底内#9～#10 设有污水井, #10～#14 设有舱底水舱, #14～#15 设有空舱, #15～#22 设有燃油溢油舱(右), #15～#22 设有主机滑油循环舱(中), #15～#20 设有主辅机污油舱(左), #21～#29 设有轻柴油舱, 内含#25～#29 的油渣舱(右), #28～#29 的污水井(左、右), #29～#39 设有空舱(中), #29～#39 设有 NO.1 燃料油舱(左、右)。

机舱内设有 2 层平台: 5m 平台和 8m 平台。

5.0m 平台: #24～#30 设有 NO.2 燃料油舱(左、右)。

8m 平台: #9～#13 设有锅炉给水舱(右), #11～#25 左侧分别设有尾

管滑油重力柜、气缸油日用柜、主辅机滑油沉淀舱、主辅机滑油储存舱、电工间和机修间, #17～#30 右侧分别设有主辅机锅炉柴油日用舱、主辅机锅炉柴油沉淀舱、分油机室、主机和锅炉燃料油日用舱和燃料油沉淀舱, #25～#30 设有监视室, #24～#30 设有 NO.2 燃料油舱(左), #30～#40 设有货油泵舱(中), #30～#40 设有 NO.1 燃料油舱(左、右)。

货油舱区

共有 5 对货油舱, 舷侧设压载水舱。

具体划分为: #43～#46 设有污水水舱(左、右);

#46～#66 设有 NO.5 货油舱(左、右);

#43～#66 相应的双层底内及舷侧设 NO.6 压载水舱(左、右);

#66～#91 设有 NO.4 货油舱(左、右), 相应的双层底内及舷侧设 NO.5 压载水舱(左、右);

#91～#116 设有 NO.3 货油舱(左、右), 相应的双层底内及舷侧设 NO.4 压载水舱(左、右);

#116～#141 设有 NO.2 货油舱(左、右), 相应的双层底内及舷侧设 NO.3 压载水舱(左、右);

#141～#163 设有 NO.1 货油舱(左、右), #141～#163 双层底内及舷侧设 NO.2 压载水舱(左、右)。

#165～#170 设有第一压载舱(左、右), 中间为应急消防泵舱、锚链舱。

首尖舱区

#170～船首为首尖舱兼首压载水舱。

5.5.3 主甲板布置

主甲板尾部布置有: 冷藏室、鱼库、肉库、蔬菜库、干品库、粮食库、健身室、泡沫及消防控制室、空调机室、货油泵舱室、钳工室、船员室(2 间)、洗衣间、烘衣间、祈祷室、舵机舱、物料架(左、右)、海关仓库、电弄和管弄等。

主甲板首部布置有: 液压锚机控制室兼液压锚机泵站、缆索具舱、锚链舱、灯具间、油漆间、CO₂室和贮藏室等。

5.6 上层建筑布置

首楼甲板上布置有锚系设备,尾楼甲板尾部设有液压系泊绞车、带缆桩和导缆孔等系泊设备,由尾楼至首楼甲板之间设有步行天桥,方便人员走动和进行设备维修。尾楼甲板以上设有五层甲板室,每层甲板之间的高度为 2.60m,分别为艇甲板、船员甲板、驾驶甲板和罗经甲板。具体划分情况如下:

5.6.1 尾楼甲板(船尾~#35 肋位之间)

尾楼至首楼设有步行天桥,天桥宽度 1.20m,扶栏高 1.05m。

设有货油控制室、机匠室、大厨室、水手室、餐厅、厨房、应急发电机室、二氧化碳室、蓄电池室、吸烟室、厕所、贮藏室、配电间、电弄、管弄和通往上下层甲板的楼梯等。尾部设有液压系泊绞车二台和带缆桩、导缆孔等系泊设备。

5.6.1.2 艇甲板

设有船员室(3 间)、医务室、救生器材室、消防器材室、电弄、管弄和通往上下层甲板的楼梯。艇的两舷各设有一艘 18 人耐火全封闭机动玻璃钢救生艇,甲板尾部两侧设有两部物料吊车和导缆桩。

艇甲板布置有救生艇。

5.6.1.3 船员甲板

设有大副室、大管轮室、水手长、引水员室、会议室、贮藏室、电弄、管弄和通往上下层甲板的楼梯等。

5.6.1.4 船长甲板

设有船长室、轮机长室、船东室、贮藏室、电弄、管弄和通往上下层甲板的楼梯等。

5.6.1.5 驾驶甲板

设有驾驶室、组合电台室、蓄电池室、充放电室、海图室、电弄、管弄和通往上下层甲板的楼梯等。

5.6.1.6 罗经甲板

设有后桅、雷达、声光信号设备、磁罗经和汽笛等设备。具体布置详见总布置图。

5.7 舾装设备

舾装设备按《钢质海船入级建造规范》(2009 第 2 分册)舾装的要求选取。本船舾装数:

$$N = \Delta^{2/3} + 2Bh + \frac{A}{10} \quad (5.3)$$

式中, Δ 夏季载重线下的型排水量, t; 13821

B 船宽, m; 20.2

h 从夏季载重水线到最上层舱室顶部的有效高度, m; 19.095

A 船长 L_{pp} 范围内夏季载重水线以上的船体部分和上层建筑以及各层宽度大于 B/4 的甲板室的侧投影面积(单位 m^2)。 796

经过计算得出 $N=1427$ 。

5.7.1 锚泊设备

锚的型式为普通无杆锚,首锚 2 只,备锚 1 只,锚重 4050kg。

锚链

锚链选为 AM3 有挡锚链、 $\phi 50mm$ 且总长 522.5m。

起锚机

选用卧式单侧式电动液压起锚机 2 台。

掣链器

采用螺旋掣链器一对位于锚机和导链滚轮之间，底座处甲板加强。

5.7.2 系泊设备

系船索和拖索：系船索 4 根，每根长 180m，破断负荷为 284kN。拖索 1 根，长度为 200m，破断负荷为 785.5kN。

系泊属具：系缆桩、导缆孔和导缆滚轮采用国家有关标准。

5.7.3 舵设备

采用流线型半悬挂平衡舵 1 只，摆缸式舵机 1 台，功率 25kW，最大转舵角度为 $\pm 35^\circ$ 。

5.7.4 救生设备

本船在艇甲板后部左右舷各一艘 18 人耐火型全封闭机动玻璃钢救生艇，左舷一艘兼做救助艇，在首楼甲板上配置 10 人抛投式气胀救生筏两只，全船配置救生圈 18 只，救生衣 18 件（居住舱按船员人数配齐 18 件）。

5.7.5 消防设备

本船主要采用水灭火系统、CO₂ 灭火和甲板泡沫灭火系统。CO₂ 灭火主要用于机舱和货油泵舱，货油舱区域灭火采用固定式甲板泡沫灭火系统（货油舱区域共设 5 个泡沫灭火栓，配 5 具泡沫枪）。其他消防用品，如手提式灭火器、水龙带和水枪和消防员装备等均按“规范”要求配置。

5.7.6 货油舱舱口和舱口盖

每个货油舱上设有一个直径为 1000mm 的货油舱舱盖，形式为转动式钢质油密舱盖。舱口围板高度为 1125mm。

5.7.7 吊车

在艇甲板尾部两侧各设有一部起吊重量为 10kN 的杂物吊，最大回转半径为 6m，最小回转半径为 1.5m，起吊高度为 15m。在船舫 91 肋位处设有一工作负载 5t，回转半径 10.5m 的软管吊，用以吊运输油管道。

5.8 总布置图的绘制

完整总布置图见附图 2。

5.9 舱容校核

1). 货油舱容积校核

找到货油区的位置，根据 Auto CAD 中面域特性，先计算出各水线下的水线面面积，利用数值积分，求出货油区的总容积为 18973m³。由于其中包括双层底及双层壳的容积，已知货油区大致水线形状，估算出货油舱容积，这样求出扣除双层底和双层壳后的货油区容积为 15360m³，其大于该设计船货油区所需容积 12499m³。因而满足货油舱舱容要求。

2). 压载水舱容积校核

将以上计算得到的两个体积相减得到 $V_{bn1} = 3613$ ，这是货油区里的压载水舱容积，再加上首尾压载水舱 $V_{bn2} = 415\text{m}^3$ ，总 $V_{bn} = 4028\text{m}^3$ ，本设计船压载水舱所需容积为 $V_{bn} = 4000\text{m}^3$ ，因而满足压载水舱舱容要求。

第六章 静水力和装载稳性的计算

6.1 静水力曲线的绘制

静水力曲线全面表达了船舶在静止正浮状态下浮性和稳性要素随吃水而变化的规律。图中一般应包括下列曲线：

浮性特性曲线

型排水体积 ∇ 曲线

总排水体积 ∇_k 曲线

总排水量 Δ_k 曲线

浮心纵向座标 Δ_k 曲线

浮心垂向座标 Z_B 曲线

水线面面积 A_w 曲线

漂心纵向座标 X_F 曲线

每厘米吃水吨数 TPC 曲线

稳性特性曲线

横稳心半径 \overline{BM} 曲线

纵稳心半径 \overline{BM}_L 曲线

每厘米纵倾力矩 MTC 曲线

船型系数曲线

水线面系数 C_{wp} 曲线

中横剖面系数 C_M 曲线

方形系数 C_B 曲线

棱形系数 C_p 曲线

静水力曲线的计算都是应用数值积分进行的，通常采用梯形法比较方便。

其中水线面面积 A_w 、漂心位置 X_F 、对 OX 轴的惯性矩 I_T 和对 OY 轴的惯性矩 I_L 的数值可以利用 Auto CAD 中的面域特性直接从型线图上读出。

型排水体积 ∇ 的积分式：

$$\nabla = \int_0^d A_w dz \quad 6.1$$

总排水体积 ∇_k ：

$$\nabla_k = k\nabla \quad 6.2$$

其中， k 为附体系数，本设计船取 $k=1.01$ 。

总排水量 Δ_k ：

$$\Delta_k = \rho \nabla_k \quad 6.3$$

其中， ρ 为海水密度，本设计船取 $\rho = 1.025\text{t/m}^3$ 。

浮心纵向坐标 X_b ：

$$X_b = \frac{M_{yoz}}{\nabla} = \frac{\int_0^d X_F A_w dz}{\int_0^d A_w dz} \quad 6.4$$

浮心垂向坐标 Z_b ：

$$Z_b = \frac{M_{xoy}}{\nabla} = \frac{\int_0^d z A_w dz}{\int_0^d A_w dz} \quad 6.5$$

每厘米吃水吨数 TPC：

$$TPC = \frac{\omega A_w}{100} \quad 6.6$$

横稳心半径 \overline{BM} :

$$\overline{BM} = \frac{I_T}{\nabla} \quad 6.7$$

纵稳心半径 \overline{BM}_L :

$$\overline{BM}_L = \frac{I_{LF}}{\nabla} \quad 6.8$$

其中, $I_{LF} = I_L - A_w * x_F^2$ 。

每厘米纵倾力矩 MTC:

$$MTC = \frac{\Delta_k * \overline{BM}_L}{100 * L} \quad 6.9$$

水线面系数 C_{wp} :

$$C_{wp} = \frac{A_w}{LB} \quad 6.10$$

方形系数 C_B

$$C_B = \frac{\nabla}{LBd} \quad 6.11$$

船中横剖面系数 C_m :

$$C_m = \frac{A_m}{Bd} \quad 6.12$$

棱形系数 C_p :

$$C_p = \frac{\nabla}{LA_M} \quad 6.13$$

以上得到的静水力数据用 cad 建立面域量取, 计算数据见表 6.1 和 6.2。

表 6.1 静水力计算结果 (1)

| 吃水 (mm) | $A_w(\text{m}^2)$ | $X_F(\text{m})$ | $\nabla (\text{m}^3)$ | $\nabla_k(\text{m}^3)$ | $\Delta_k(\text{t})$ | $X_B(\text{m})$ | $Z_B(\text{m})$ | $TPC(\text{t/cm})$ |
|---------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 0 | 1123.84 | 3.45 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.52 |
| 500 | 1463.75 | 3.74 | 646.90 | 653.37 | 669.70 | 3.61 | 0.28 | 15.00 |
| 1000 | 1596.27 | 3.49 | 1411.90 | 1426.02 | 1461.67 | 3.61 | 0.54 | 16.36 |
| 1500 | 1678.25 | 3.33 | 2230.53 | 2252.84 | 2309.16 | 3.54 | 0.80 | 17.20 |
| 2000 | 1729.75 | 3.29 | 3082.53 | 3113.36 | 3191.19 | 3.47 | 1.07 | 17.73 |
| 3000 | 1792.62 | 3.41 | 4843.72 | 4892.15 | 5014.46 | 3.43 | 1.59 | 18.37 |
| 4000 | 1835.77 | 3.33 | 6657.91 | 6724.49 | 6892.60 | 3.41 | 2.11 | 18.82 |
| 5000 | 1886.57 | 2.89 | 8519.08 | 8604.27 | 8819.38 | 3.35 | 2.64 | 19.34 |
| 6000 | 1967.47 | 1.48 | 10446.10 | 10550.56 | 10814.33 | 3.13 | 3.17 | 20.17 |
| 7000 | 2077.38 | -1.10 | 12468.53 | 12593.21 | 12908.04 | 2.65 | 3.71 | 21.29 |
| 7400 | 2124.52 | -1.91 | 13308.91 | 13442.00 | 13778.05 | 2.38 | 3.93 | 21.78 |
| 7500 | 2135.01 | -2.05 | 13521.88 | 13657.10 | 13998.53 | 2.32 | 3.99 | 21.88 |
| 8000 | 2179.26 | -2.59 | 14600.45 | 14746.46 | 15115.12 | 1.97 | 4.26 | 22.34 |
| 9000 | 2248.96 | -2.92 | 16814.56 | 16982.71 | 17407.27 | 1.35 | 4.82 | 23.05 |
| 10000 | 2300.36 | -2.76 | 19089.22 | 19280.11 | 19762.12 | 0.85 | 5.38 | 23.58 |

表 6.2 静水力计算结果 (2)

| 吃水 (mm) | $\overline{BM}(\text{m})$ | $\overline{BM}_L(\text{m})$ | $MTC(\text{t}\cdot\text{m/cm})$ | C_{wp} | C_B | C_M | C_P |
|---------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------|-------|-------|-------|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.464 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 500 | 48.64 | 1482.28 | 82.72 | 0.604 | 0.534 | 0.893 | 0.598 |
| 1000 | 27.03 | 786.29 | 95.77 | 0.659 | 0.582 | 0.926 | 0.629 |
| 1500 | 19.14 | 541.38 | 104.18 | 0.692 | 0.613 | 0.946 | 0.648 |
| 2000 | 14.77 | 413.80 | 110.04 | 0.714 | 0.636 | 0.959 | 0.663 |
| 3000 | 10.08 | 282.80 | 118.17 | 0.740 | 0.666 | 0.973 | 0.685 |
| 4000 | 7.66 | 216.04 | 124.09 | 0.757 | 0.687 | 0.980 | 0.701 |

| | | | | | | | |
|-------|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 5000 | 6.27 | 179.52 | 131.94 | 0.778 | 0.703 | 0.984 | 0.715 |
| 6000 | 5.41 | 162.65 | 146.58 | 0.812 | 0.718 | 0.986 | 0.728 |
| 7000 | 4.84 | 158.33 | 170.31 | 0.857 | 0.735 | 0.988 | 0.743 |
| 7400 | 4.67 | 158.28 | 181.74 | 0.876 | 0.742 | 0.989 | 0.750 |
| 7500 | 4.63 | 157.95 | 184.26 | 0.881 | 0.744 | 0.989 | 0.752 |
| 8000 | 4.42 | 154.69 | 194.85 | 0.899 | 0.753 | 0.990 | 0.761 |
| 9000 | 4.05 | 145.93 | 211.69 | 0.928 | 0.771 | 0.991 | 0.778 |
| 10000 | 3.71 | 135.99 | 223.96 | 0.949 | 0.788 | 0.992 | 0.794 |

根据以上计算数据可以绘制出静水力曲线如附图三。

6.2 邦戎曲线的计算与绘制

可以根据型值表用梯形法进行积分,得到各站横剖面面积曲线和横剖面面积矩随吃水变化的曲线,即邦戎曲线。

在船舶设计、建造和使用过程中,经常需要知道船舶在纵倾状态下的排水量和浮心位置,这可以利用邦戎曲线图求出。

所以本次设计对邦戎曲线进行了求取,给船舶使用者提供一定的方便。

本次的求取并没有对所有 21 站进行邦戎曲线的求取,只进行了 0~21 站进行了求取。

本次求取是从基线到上甲板每隔一段高度做一个面域,然后量取面积并累加得到各水线下的面积。

-1~21 站,计算结果如下表 6.3 和 6.4

表 6.3 邦戎曲线计算表-各站不同吃水横剖面积 A

| 吃水 (mm) | 各站不同吃水横剖面面积 A (m ²) | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 500 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 1.18 | 2.36 | 3.93 | 6.85 | 6.85 | 7.82 | 8.51 | 8.90 | 9.02 |
| 1000 | 0.00 | 0.00 | 0.57 | 3.17 | 5.77 | 8.94 | 14.86 | 14.86 | 16.68 | 17.87 | 18.53 | 18.71 |
| 2000 | 0.00 | 0.00 | 2.17 | 8.18 | 14.03 | 20.71 | 32.65 | 32.65 | 35.81 | 37.62 | 38.53 | 38.75 |
| 3000 | 0.00 | 0.00 | 3.88 | 13.76 | 23.58 | 34.13 | 51.52 | 51.52 | 55.70 | 57.77 | 58.73 | 58.96 |
| 4000 | 0.00 | 0.00 | 5.24 | 19.86 | 34.26 | 48.72 | 70.86 | 70.86 | 75.78 | 77.98 | 78.93 | 79.16 |
| 5000 | 0.00 | 0.00 | 6.62 | 27.04 | 46.24 | 64.37 | 90.49 | 90.49 | 95.95 | 98.18 | 99.13 | 99.36 |
| 6000 | 0.00 | 0.00 | 9.67 | 36.43 | 60.06 | 81.27 | 110.38 | 110.38 | 116.14 | 118.38 | 119.33 | 119.56 |
| 7000 | 0.01 | 1.65 | 17.96 | 49.24 | 76.07 | 99.45 | 130.46 | 130.46 | 136.34 | 138.58 | 139.53 | 139.76 |
| 7400 | 0.97 | 4.34 | 22.62 | 55.21 | 82.98 | 107.00 | 138.52 | 138.52 | 144.42 | 146.66 | 147.61 | 147.84 |
| 8000 | 4.89 | 10.04 | 30.60 | 64.77 | 93.73 | 118.53 | 150.64 | 150.64 | 156.54 | 158.78 | 159.73 | 159.96 |
| 9000 | 15.78 | 22.42 | 45.61 | 81.84 | 112.33 | 138.14 | 170.84 | 170.84 | 176.74 | 178.98 | 179.93 | 180.16 |
| 10000 | 29.10 | 36.81 | 61.96 | 99.87 | 131.55 | 158.07 | 191.04 | 191.04 | 196.94 | 199.18 | 200.13 | 200.36 |
| 10800 | 40.54 | 49.09 | 75.60 | 114.81 | 147.33 | 174.17 | 207.20 | 207.20 | 213.10 | 215.34 | 216.29 | 216.52 |
| 梁拱 | 61.57 | 71.37 | 99.40 | 139.62 | 172.39 | 199.24 | 232.27 | 232.27 | 238.18 | 240.41 | 241.36 | 241.59 |

| 吃水 (mm) | 各站不同吃水横剖面面积 A (m2) | | | | | | | | | |
|---------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 18.5 | 19 |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 9.00 | 9.00 | 8.41 | 7.86 | 7.13 | 6.08 | 4.73 | 3.09 | 2.18 | 1.28 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1000 | 18.68 | 18.68 | 17.69 | 16.69 | 15.27 | 13.24 | 10.57 | 7.23 | 5.31 | 3.37 |
| 2000 | 38.71 | 38.89 | 37.20 | 35.49 | 32.84 | 28.88 | 23.57 | 16.80 | 12.80 | 8.61 |
| 3000 | 58.92 | 59.10 | 57.27 | 55.05 | 51.32 | 45.57 | 37.68 | 27.41 | 21.27 | 14.77 |
| 4000 | 79.11 | 79.30 | 77.48 | 75.01 | 70.38 | 62.97 | 52.57 | 38.76 | 30.45 | 21.55 |
| 5000 | 99.32 | 99.50 | 97.68 | 95.17 | 89.88 | 80.92 | 68.06 | 50.71 | 40.14 | 28.75 |
| 6000 | 119.5 | 119.7 | 117.8 | 115.3 | 109.8 | 99.39 | 84.09 | 63.21 | 50.35 | 36.25 |
| | 2 | 0 | 8 | 8 | 8 | | | | | |
| 7000 | 139.7 | 139.9 | 138.0 | 135.5 | 130.1 | 118.3 | 100.7 | 76.32 | 61.15 | 44.13 |
| | 2 | 0 | 8 | 7 | 0 | 6 | 1 | | | |
| 7400 | 147.8 | 147.9 | 146.1 | 143.6 | 138.1 | 126.0 | 107.5 | 81.79 | 65.68 | 47.48 |
| | 0 | 8 | 6 | 5 | 8 | 8 | 5 | | | |
| 8000 | 159.9 | 160.1 | 158.2 | 155.7 | 150.3 | 137.7 | 118.0 | 90.31 | 72.80 | 52.80 |
| | 2 | 0 | 8 | 7 | 0 | 9 | 1 | | | |
| 9000 | 180.1 | 180.3 | 178.4 | 175.9 | 170.5 | 157.5 | 136.0 | 105.3 | 85.59 | 62.74 |
| | 2 | 0 | 8 | 7 | 0 | 6 | 2 | 3 | | |
| 10000 | 200.3 | 200.5 | 198.6 | 196.1 | 190.7 | 177.5 | 154.6 | 121.3 | 99.56 | 74.18 |
| | 2 | 0 | 8 | 7 | 0 | 8 | 5 | 0 | | |
| 10800 | 216.4 | 216.6 | 214.8 | 212.3 | 206.8 | 193.7 | 169.9 | 134.7 | 111.5 | 84.38 |
| | 8 | 6 | 4 | 3 | 6 | 0 | 7 | 5 | 6 | |
| 梁拱 | 243.0 | 243.2 | 241.3 | 238.8 | 233.4 | 220.2 | 196.3 | 160.0 | 135.5 | 106.4 |
| | 2 | 0 | 8 | 8 | 0 | 4 | 8 | 4 | 7 | 0 |

表 6.4 邦戎曲线计算表-各站横剖面不同吃水对基线面积矩 My

| 吃水 (mm) | 各站横剖面不同吃水对基线面积矩 My (z) (m ³) | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 500 | 0.00 | 0.00 | 0.57 | 3.17 | 5.77 | 8.94 | 14.86 | 14.86 | 16.68 | 17.87 | 18.53 | 18.71 |
| 1000 | 0.00 | 0.00 | 2.74 | 11.35 | 19.80 | 29.65 | 47.50 | 47.50 | 52.49 | 55.49 | 57.05 | 57.46 |
| 2000 | 0.00 | 0.00 | 6.62 | 25.11 | 43.38 | 63.78 | 99.02 | 99.02 | 108.19 | 113.26 | 115.79 | 116.42 |
| 3000 | 0.00 | 0.00 | 11.86 | 44.97 | 77.64 | 112.50 | 169.88 | 169.88 | 183.97 | 191.24 | 194.72 | 195.58 |
| 4000 | 0.00 | 0.00 | 18.48 | 72.00 | 123.88 | 176.87 | 260.37 | 260.37 | 279.92 | 289.42 | 293.85 | 294.94 |
| 5000 | 0.00 | 0.00 | 28.15 | 108.43 | 183.94 | 258.14 | 370.76 | 370.76 | 396.06 | 407.79 | 413.18 | 414.50 |
| 6000 | 0.01 | 1.65 | 46.11 | 157.67 | 260.01 | 357.59 | 501.22 | 501.22 | 532.41 | 546.37 | 552.71 | 554.25 |
| 7000 | 0.99 | 5.99 | 68.73 | 212.88 | 342.99 | 464.58 | 639.74 | 639.74 | 676.83 | 693.03 | 700.32 | 702.09 |
| 7400 | 5.88 | 16.03 | 99.33 | 277.65 | 436.73 | 583.12 | 790.38 | 790.38 | 833.38 | 851.81 | 860.05 | 862.05 |
| 8000 | 21.66 | 38.45 | 144.94 | 359.49 | 549.06 | 721.26 | 961.22 | 961.22 | 1010.12 | 1030.78 | 1039.98 | 1042.21 |
| 9000 | 50.77 | 75.26 | 206.90 | 459.36 | 680.61 | 879.33 | 1152.26 | 1152.26 | 1207.07 | 1229.96 | 1240.11 | 1242.57 |
| 10000 | 91.31 | 124.35 | 282.50 | 574.17 | 827.95 | 1053.51 | 1359.46 | 1359.46 | 1420.17 | 1445.30 | 1456.40 | 1459.09 |
| 10800 | 152.88 | 195.71 | 381.90 | 713.80 | 1000.34 | 1252.75 | 1591.73 | 1591.73 | 1658.35 | 1685.70 | 1697.76 | 1700.68 |
| 梁拱 | 152.88 | 195.71 | 381.90 | 713.80 | 1000.34 | 1252.75 | 1591.73 | 1591.73 | 1658.35 | 1685.70 | 1697.76 | 1700.68 |

| 吃水 (mm) | 各站横剖面不同吃水对基线面积矩 My (z) (m ³) | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 18.5 | 19.0 | 19.5 | 20.0 | 21.0 |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 500 | 9.00 | 9.00 | 8.41 | 7.86 | 7.13 | 6.08 | 4.73 | 3.09 | 2.18 | 1.28 | 0.43 | 0.00 | 0.00 |
| 1000 | 27.67 | 27.67 | 26.10 | 24.55 | 22.39 | 19.33 | 15.30 | 10.32 | 7.49 | 4.65 | 1.97 | 0.16 | 0.00 |
| 2000 | 66.38 | 66.56 | 63.30 | 60.05 | 55.23 | 48.21 | 38.87 | 27.12 | 20.29 | 13.26 | 6.62 | 1.58 | 0.42 |
| 3000 | 125.30 | 125.66 | 120.57 | 115.10 | 106.55 | 93.79 | 76.55 | 54.52 | 41.56 | 28.04 | 15.15 | 4.99 | 1.95 |
| 4000 | 204.41 | 204.95 | 198.05 | 190.11 | 176.93 | 156.76 | 129.13 | 93.29 | 72.01 | 49.59 | 28.16 | 10.70 | 4.88 |
| 5000 | 303.73 | 304.45 | 295.73 | 285.28 | 266.81 | 237.68 | 197.19 | 144.00 | 112.15 | 78.33 | 45.99 | 18.86 | 9.31 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 6000 | 423.24 | 424.14 | 413.61 | 400.66 | 376.69 | 337.07 | 281.27 | 207.21 | 162.50 | 114.58 | 68.59 | 29.78 | 15.55 |
| 7000 | 562.96 | 564.04 | 551.68 | 536.23 | 506.79 | 455.43 | 381.98 | 283.52 | 223.65 | 158.72 | 95.78 | 42.55 | 22.57 |
| 7400 | 710.75 | 712.02 | 697.84 | 679.88 | 644.97 | 581.51 | 489.53 | 365.31 | 289.33 | 206.20 | 124.84 | 55.42 | 29.60 |
| 8000 | 870.67 | 872.11 | 856.12 | 835.66 | 795.26 | 719.30 | 607.54 | 455.62 | 362.13 | 258.99 | 156.95 | 68.39 | 36.62 |
| 9000 | 1050.78 | 1052.41 | 1034.60 | 1011.63 | 965.76 | 876.86 | 743.56 | 560.95 | 447.72 | 321.73 | 195.35 | 82.75 | 43.65 |
| 10000 | 1251.10 | 1252.90 | 1233.28 | 1207.81 | 1156.46 | 1054.44 | 898.21 | 682.26 | 547.28 | 395.92 | 241.81 | 100.31 | 50.96 |
| 10800 | 1467.57 | 1469.56 | 1448.11 | 1420.14 | 1363.32 | 1248.15 | 1068.19 | 817.01 | 658.84 | 480.30 | 296.04 | 121.92 | 59.37 |
| 梁拱 | 1710.59 | 1712.76 | 1689.49 | 1659.02 | 1596.71 | 1468.39 | 1264.56 | 977.04 | 794.41 | 586.70 | 369.22 | 156.59 | 75.54 |

根据计算结果绘制如下图 6.1 所示邦戎曲线：

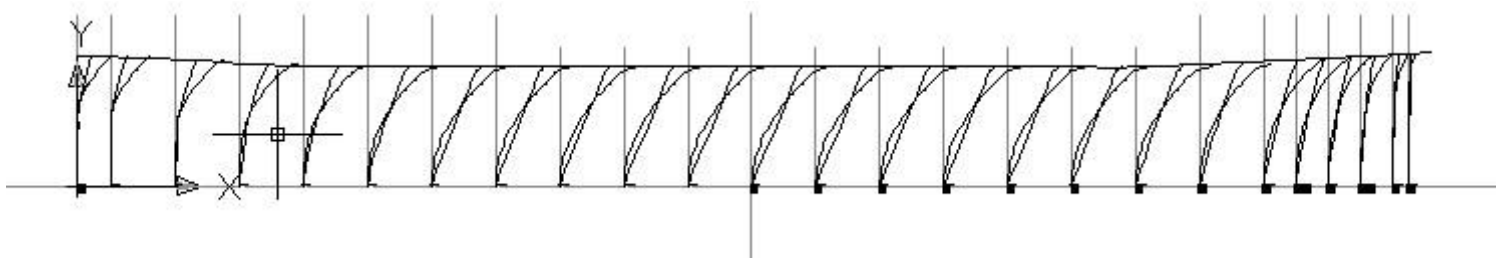


图 6.1 邦戎曲线图

6.3 装载稳性计算

6.3.1 稳性横截曲线的绘制

采用变排水量法绘制稳性横截曲线。实际计算过程采用乞贝雪夫法，与梯形法和辛普森法相比，乞贝雪夫法具有较高的精度，且其计算过程也比较简单。过程如下：

绘制乞氏横剖面图

按乞贝雪夫法取 9 个乞氏横剖面，船中以前的横剖面用实线画出，船中以后的横剖面用虚线画出，比例取与型线图一致，乞氏站相对位置如表 6.5 所示。

表 6.5 乞氏站相对位置

| 乞氏数 | 乞氏剖面位置（距船底边中点的距离，以底边半长 L 百分数表示） | | | | |
|-----|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| n | X_1/L | X_2/L | X_3/L | X_4/L | X_5/L |
| 9 | 0 | 0.1679 | 0.5288 | 0.6010 | 0.9116 |

根据乞氏站的相对位置在型线图上读取相应站的型值绘制出乞氏横剖面图如图 6.2。

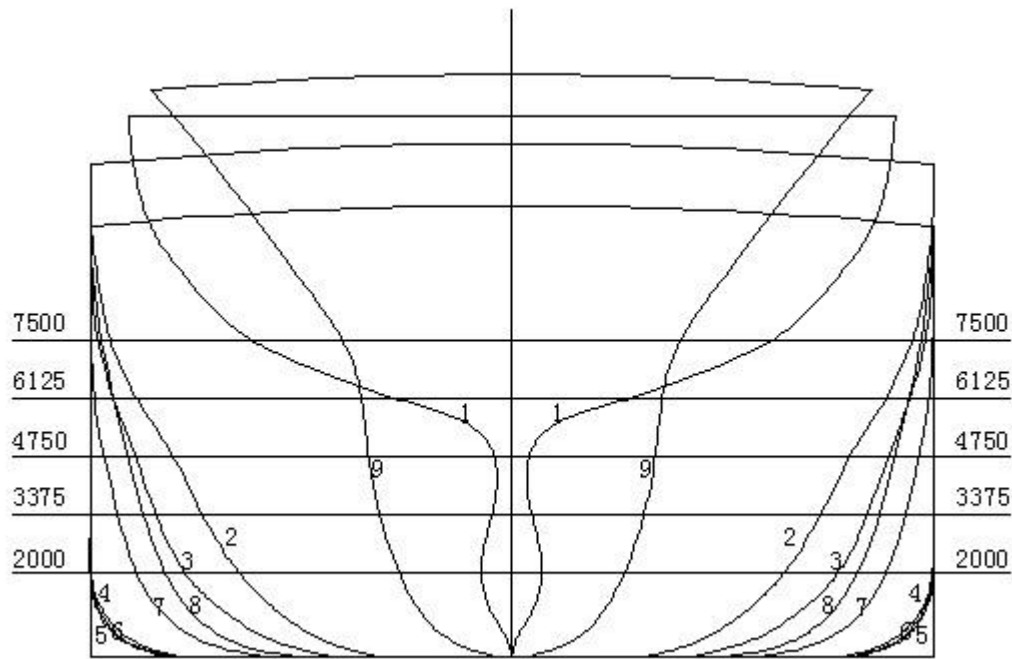


图 6.2 乞氏横剖面图

选择计算水线、旋转点、假定重心位置和横倾角间隔的大小

静水力曲线中，由空载排水量查到空载水线为 2300mm 左右，满载水线为 7400mm，因此取计算水线 2000WL、3375WL、4750WL、6125WL、7500WL。旋转点位置的选取，7500WL 时旋转点取在偏向出水一舷距中轴线 4763mm 处，2000WL 时旋转点取在偏向入水一舷距中轴线 4763mm 处，其他水线旋转点取在这两点的连线上。目的是希望计算所得的稳性横截曲线有较大的排水量范围，使船舶在各种装载情况下的排水量都能包括在内。

假定重心 S 位置一般取在基线上，即 $\overline{KS} = 0$ 。

横倾角间隔： $\delta\phi = 10^\circ$ ，算至 $\phi = 80^\circ$ ，倾斜角度取为右倾。

计算复原力臂。

分别计算各倾斜水线下的排水体积 ∇_ϕ 和浮心位置 $B_\phi(y_\phi, z_\phi)$ ，然后按下式计算假定重心高度 z_s 为零的复原力臂 l_s ：

$$L_s = y_\phi \cos\phi + z_\phi \sin\phi \quad (6.14)$$

计算结果汇总见表 6.6 和表 6.7。

表 6.6

| 横倾角 | 10 | | 20 | | 30 | | 40 | |
|------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| 水线 | 体积 $V(m^3)$ | $l_s(m)$ | 体积 $V(m^3)$ | $l_s(m)$ | 体积 $V(m^3)$ | $l_s(m)$ | 体积 $V(m^3)$ | $l_s(m)$ |
| 2000 | 1814.87 | 3.570234781 | 1413.77 | 5.734967 | 1414.29 | 6.493523 | 1582.90 | $l_s(m)$ |
| 3375 | 4736.09 | 2.019606201 | 4258.77 | 4.112643 | 4259.86 | 5.526151 | 4644.45 | 6.502901 |
| 4750 | 8095.65 | 1.572397719 | 8251.05 | 3.18584 | 8647.58 | 4.771976 | 9238.88 | 5.930055 |
| 6125 | 11593.727 | 1.509982839 | 12703.427 | 3.043905 | 13598.039 | 4.330335 | 13962.866 | 5.251675 |
| 7500 | 15388.391 | 1.534792023 | 16921.414 | 2.841531 | 17651.332 | 3.796885 | 17872.923 | 4.566138 |

表 6.7

| 横倾角 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|-----|----|----|----|----|
|-----|----|----|----|----|

| 水线 | 体积 $V(m^3)$ | ls(m) | 体积 $V(m^3)$ | ls(m) | 体积 $V(m^3)$ | ls(m) | 体积 $V(m^3)$ | ls(m) |
|------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| 2000 | 1929.77 | 7.003223678 | 2573.30 | 7.410656 | 3331.08 | 7.407028 | 4083.56 | 6.932121 |
| 3375 | 5235.14 | 7.195624673 | 5939.23 | 7.392958 | 6561.21 | 7.219789 | 7138.37 | 6.770177 |
| 4750 | 9729.77 | 6.528598116 | 10107.17 | 6.749178 | 10413.68 | 6.691904 | 10680.02 | 6.409898 |
| 6125 | 14066.823 | 5.894423955 | 14088.977 | 6.269324 | 14079.552 | 6.399172 | 14054.093 | 6.302951 |
| 7500 | 17857.96 | 5.215031527 | 17688.681 | 5.720766 | 17448.537 | 6.033766 | 17181.279 | 6.127303 |

做出稳心横截曲线如图 6.3

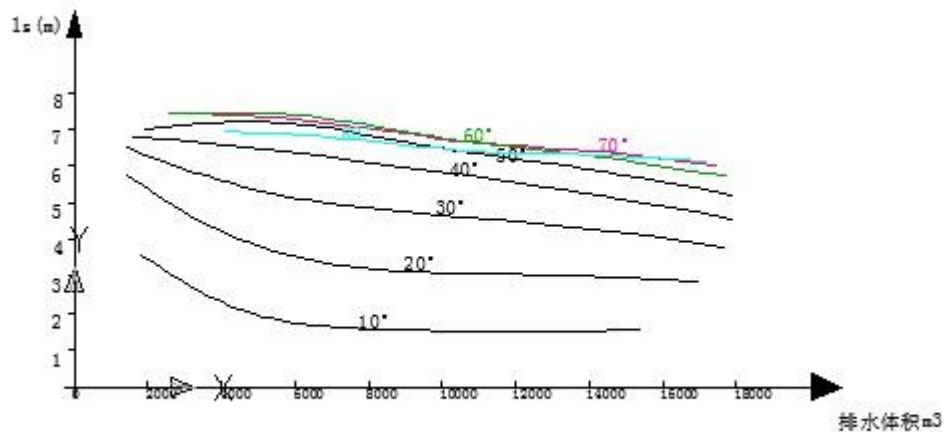


图 6.3 稳性横截曲线

6.3.3 舱容要素曲线的绘制

由于本船货舱和压载水舱以及各油水舱在营运过程中油水均可有变化从而导致船体重量重心也随之变化，为了便于在装载稳性计算中估算船舶重量重心，设计者计算并提供了各个货油舱、压载水舱、燃油舱和淡水舱的舱容要素曲线。本船货油区采用槽形舱壁，方便在生产中进行板材的加工。舱室结构系数，压载水舱：0.970；首、尾部货舱：0.990；中部货舱：0.992；淡水舱：0.980；燃油舱：0.95；滑油舱：0.97。燃油舱和货油舱膨胀系数取 0.97。

计算出各个装载液面下装载体积 V ，液面重心距离船中的距离 X_{vi} ，液面重心距离基线高度 Z_{vi} 。计算过程采用做面域量面积及形心的方法求取体积 V 、液面重心距离船中的距离 X_{vi} ，液面重心距离基线高度 Z_{vi} 。

以 NO.1 货油舱装载距基线 2m 高的货油时为例进行计算，计算过程见表 6.8。

表 6.8 NO.1 货油舱 $Z_i=2m$ 时 V_i ， Z_{vi} 及 X_{vi} 计算

| 序号 | 距舫 (m) | 横剖面积 (m^2) | 形心 Z (m) |
|----|--------|-------------------|------------|
| 0 | 37.80 | 9.86 | 1677.8 |
| 1 | 42.00 | 8.60 | 1678.3 |
| 2 | 48.00 | 6.37 | 1679.2 |
| 3 | 51.00 | 5.01 | 1680.0 |

4

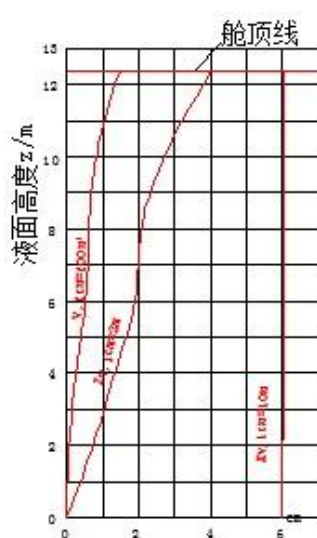
53.20

3.94

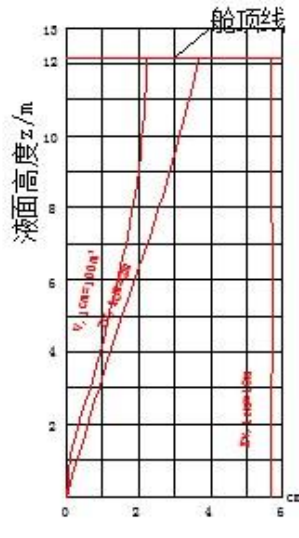
1681.2

然后以距舭为横坐标，各站的横剖面积为纵坐标，在 CAD 中做样条曲线，做面域，量取面积及横坐标方向形心，即为该吃水下的体积 V 和液面重心距离船中的距离 X_{vi} 。然后以距舭为横坐标，各站的横剖面积乘以形心 Z 为纵坐标，做面域，量取面积，此面积除以体积 V 即为液面重心距离基线高度 Z_{vi} 。上述测量出的体积 V 为毛容积，以此容积 V 乘以各舱对应的舱室结构系数才得到最终的净容积。

用上述方法绘制出各个液舱的舱容要素曲线见图 6.6 至 6.22。

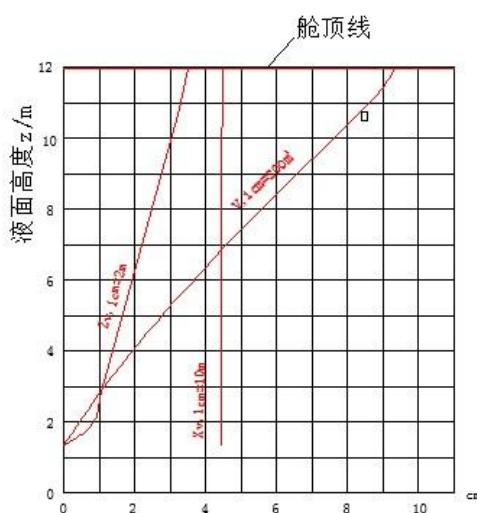


艏尖舱兼压载水舱(左、右)

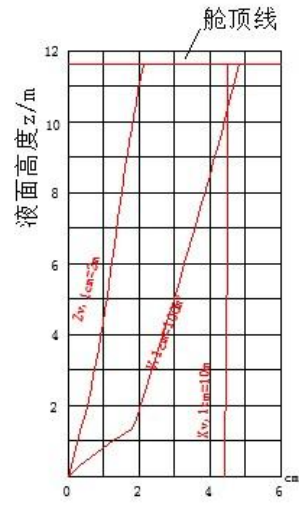


NO.1 压载水舱(左、右)

图 6.6 艏尖舱兼压载水舱(左、右) 图 6.7 NO.1 压载水舱(左、右)



NO.1 货油舱(左、右)



NO.2 压载水舱(左、右)

图 6.8 NO.1 货油舱(左、右) 图 6.9 NO.2 压载水舱(左、右)

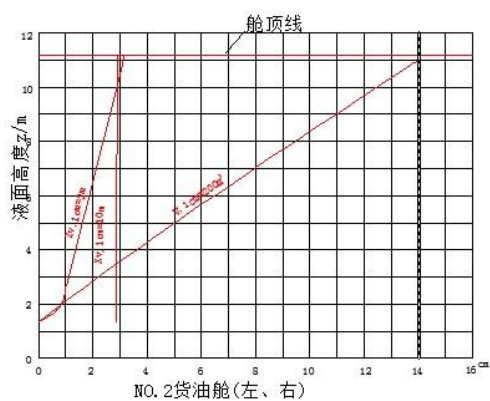


图 6.10 NO.2 货油舱(左、右)

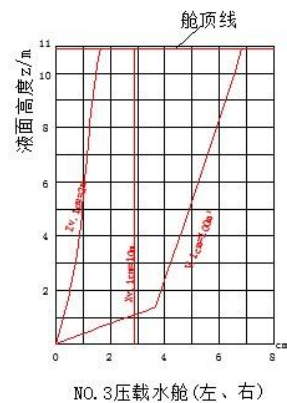


图 6.11 NO.3 压载水舱(左、右)

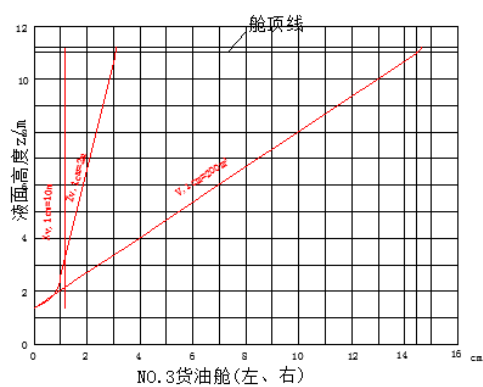


图 6.12 NO.3 货油舱(左、右)

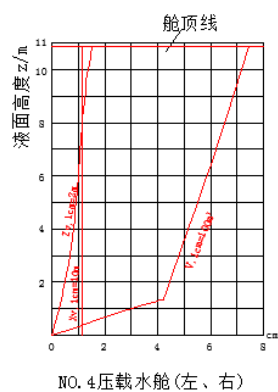


图 6.13 NO.4 压载水舱(左、右)

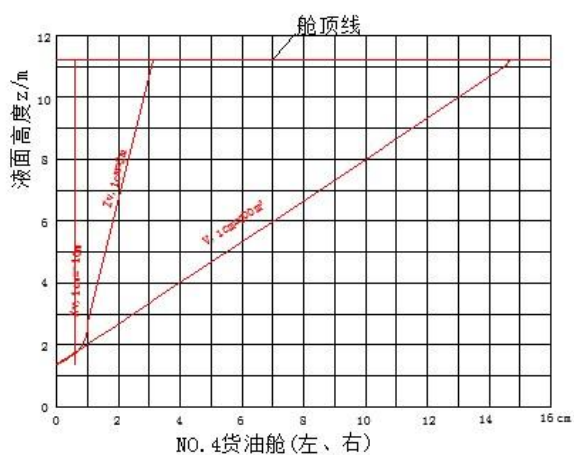


图 6.14 NO.4 货油舱(左、右)

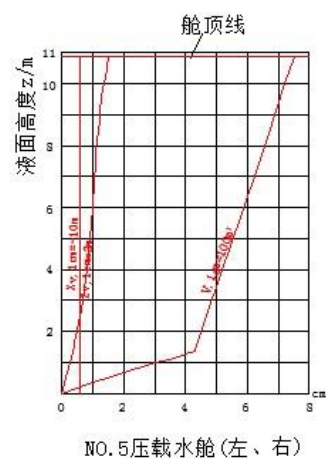


图 6.15 NO.5 压载水舱(左、右)

右)

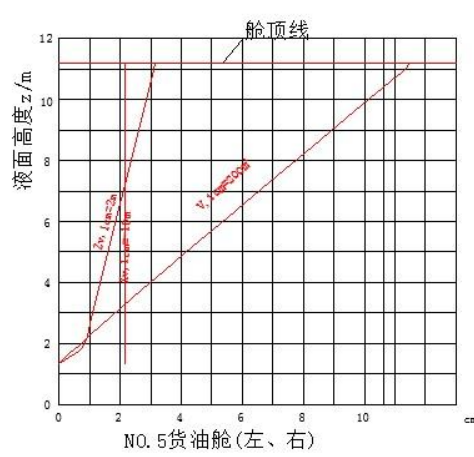


图 6.16 NO.5 货油舱(左、右)

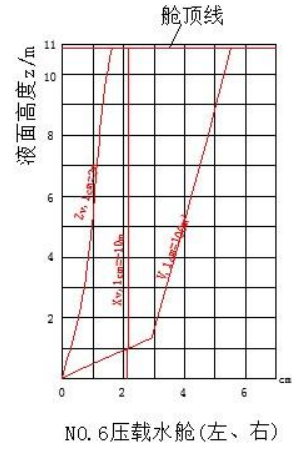


图 6.17 NO.6 压载水舱(左、右)

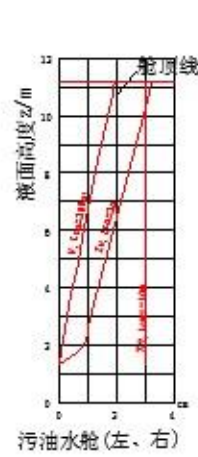


图 6.18 污水水舱(左、右)

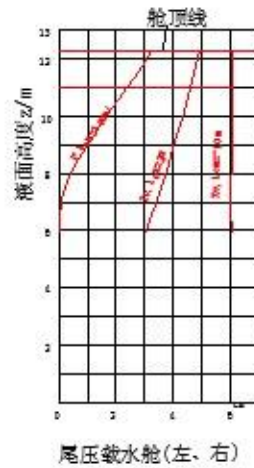


图 6.19 尾压载水舱(左、右)

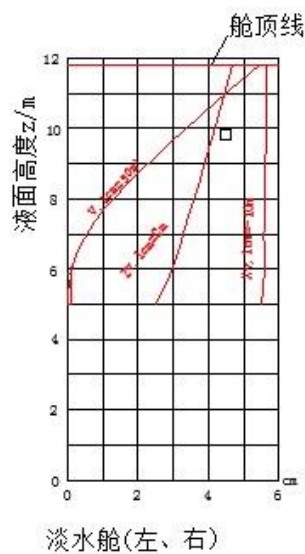


图 6.20 淡水舱(左、右)

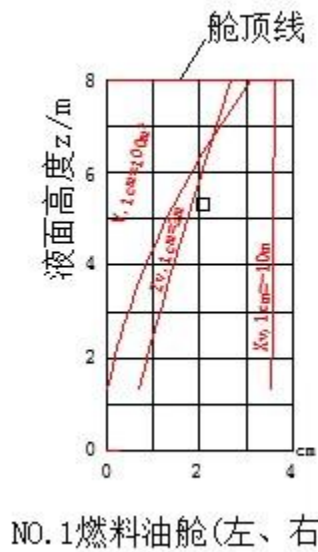


图 6.21 NO.1 燃料油舱(左、右)

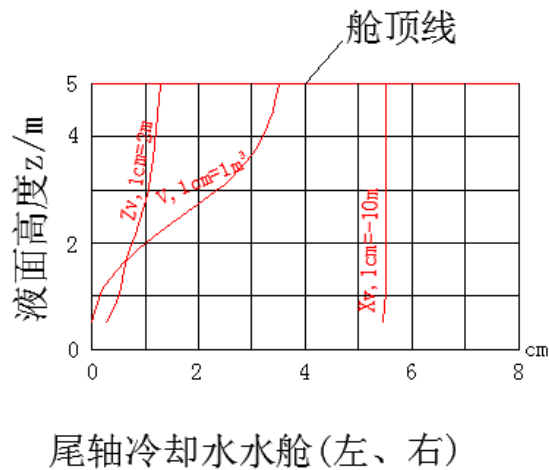


图 6.22 尾轴冷却水舱(左、右)

6.3.4 装载稳性校核概述

进行装载稳性校核计算需要考虑四种特殊载况：满载出港、满载到港、压载出港和压载到港，保证船舶在四种载况下稳性数据满足规范要求。本次设计对四种特殊载况均进行了校核。

具体计算过程如下：

船舶在所校核的装载状况下，稳性衡准数 K 应符合下式要求：

$$K = \frac{l_q}{l_f} \geq 1 \quad (6.18)$$

其中， l_q —最小倾覆力臂(m)；

l_f —风压倾侧力臂(m)。

风压倾侧力臂 l_f (m)按下式计算:

$$l_f = \frac{p A_f Z}{9810 \Delta} \quad (6.19)$$

其中, p —单位计算风压, 查表选取(Pa);

A_f —船舶吃水线以上受风面积, 为船舶正浮时实际水线以上船舶各部分在船舶纵中剖面上的侧投影面积 (m²);

Z —计算风力作用力臂, 船舶正浮时受风面积中心至水线的垂向距离 (m);

Δ —所核算装载情况下船舶排水量(t)。

横摇角 ϕ_0 (°)按下式计算:

$$\phi_0 = 15.28 C_1 C_4 \sqrt{\frac{C_2}{C_3}} \quad (6.20)$$

式中, C_1 为系数, 由横摇自摇周期及航区查图得; 其中自摇周期 T_ϕ 按下式计算:

$$T_\phi = 0.58 f \sqrt{\frac{B^2 + 4 \overline{KG}^2}{GM_0}} \quad (6.21)$$

式中: \overline{GM}_0 为所核算装载情况下未计及自由液面修正的船舶初稳性高(m); B 为型宽 (m); d 为所核算装载情况下的型吃水 (m); \overline{KG} 为所核算装载情况下船舶重心至基线的垂向高度 (m); f 为系数, 按船舶的 $\frac{B}{d}$ 值有下表查得:

表 6.9 f 与的 $\frac{B}{d}$ 关系

| B/d | 2.5 及以下 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 及以上 |
|-----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| f | 1.00 | 1.03 | 1.07 | 1.10 | 1.14 | 1.17 | 1.21 | 1.24 | 1.27 | 1.30 |

C_2 为系数, 主要与波浪的有效波倾角系数有关, 按下式计算:

$$C_2 = 0.13 + 0.6 \frac{\overline{KG}}{d} \quad (6.22)$$

计算 C_2 时, 当 $C_2 > 1.0$ 时取 $C_2 = 1.0$, 当 $C_2 < 0.68$ 时, 取 $C_2 = 0.68$ 。

C_3 为系数, 主要与船舶的宽度吃水比 $\frac{B}{d}$ 值查表得:

表 6.10 C_3 与 $\frac{B}{d}$ 的关系

| B/d | 2.5 及以下 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 及以上 |
|-----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| C3 | 0.011 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.023 |
| | | 3 | 5 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | |

C_4 为系数, 按船舶类型及舦龙骨尺寸查表得。

最小倾覆力臂 l_q

根据动稳性曲线作图得 (见稳性曲线图)。

规范要求初稳性高和静稳性曲线满足下列要求:

初稳性高度应不小于 0.15m;

横倾角等于 30°处的复原力臂应不小于 0.2m, 如果船体进水角小于 30°, 则进水角处的复原力臂应不小于 0.2m;

船舶最大复原力臂所对应的横倾角应不小于 30°;

复原力臂曲线的消失角不小于 55°;

当船舶的船宽和型深比 B/D 大于 2 时, 最大复原力臂所对应的横倾角较规定值减少按下式计算所得的 $\Delta\theta$ 值:

$$\Delta\theta = 20 \left[\frac{B}{D} - 2 \right] (K - 1) \quad (6.23)$$

由于对于本船 $B/D=1.87$, 不需要修正。

大倾角自由液面修正采用简化的办法, 具体方法如下:

只画出液体舱的某一平均剖面;

用作图法求出等面积 30° 倾斜液面下的面积形心位置;

量出此倾斜液面下面积形心的横向移动距离 y ;

假定 y 即为该舱液体在 30° 倾角时体积形心的横向移动距离。若舱内液体体积为 V_y , 密度为 ω , 则横倾 30° 时自由液面修正值为 $\delta l_{30} = \omega V_y / \Delta$;

$0^\circ \sim 30^\circ$ 的 δl 按线性变化选取, 即 $\delta l_{10} = \delta l_{30} / 3$, $\delta l_{20} = 2\delta l_{30} / 3$, 大于 30° 的 δl 均取为 δl_{30} 。

6.3.5 满载出港稳性校核

满载出港重量重心计算

设计船满载出港时, 空船的重量的估算来自主尺度设计时的估算。

空船重心的估算, 垂向坐标和纵向坐标均来自 12000t 母型船比例换算的以及统计公式计算的结果。

满载时, 淡水、燃油、货油以及滑油数据均来自前面所绘制的舱容要素曲线, 而人员及行李和食品及备品相关数据来自总布置图以及相关规范的估算。

满载出港的状态是:

淡水备足 100%, 为 40t, 装载在尾部淡水舱中。

燃油舱备足 100%, 为 255t, 主要是主机燃油, 装载在燃油舱 1 中。

轻柴油备足 100%, 为 46t, 装载在尾部轻柴油舱中。

货油装载 9613t, 分别装载在货油舱 1~5 中。货油在每个货油舱的装载量首先是根据货油舱的容积与货油的膨胀系数相乘来得到一个限制容积, 然后用每个货油舱的限制容积得到此货油舱能够装载货油的百分比, 然后再用这一百分比乘以装载的货油总量, 除以货油密度, 得到本货油舱装载货油的体积, 最后在舱容要素表中查取相关货油重心纵向坐标和垂向坐标。

人员行李, 18 船员及行李, 按 2t 计算。

食品备足 100%, 为 2.5t, 装载在食品库中。

备品备足 100%, 为 35t, 装载在上甲板的物料架中。

滑油备足 100%, 为 6.5t, 装载在 8m 平台的主辅机滑油储存舱中。

本设计船在满载出港时, 不加首尾压载水以调整浮态。

表 6.11 满载出港重量重心计算表

| 序号 | 项目 | 重量 | 纵向 | | 垂向 | |
|----|------|------|--------|-----------|------|----------|
| | | | 距船中 | | 距基线 | |
| | | | 力臂 | 力矩 | 力臂 | 力矩 |
| | | (t) | (m) | (t.m) | (m) | (t.m) |
| 1 | 空船 | 3824 | -8.10 | -30974.40 | 6.24 | 23861.76 |
| 2 | 货油 | 9613 | 8.30 | 79787.90 | 5.98 | 57449.82 |
| 3 | 燃油 1 | 255 | -36.81 | -9386.55 | 4.83 | 1231.65 |

| | | | | | | |
|----|----------|-------|--------|----------|-------|----------|
| 4 | 柴油 | 46 | -43.40 | -1996.40 | 0.68 | 31.28 |
| 5 | 滑油 | 6.5 | -48.30 | -313.95 | 9.20 | 59.80 |
| 6 | 生活用水 | 40 | -56.30 | -2252.00 | 6.31 | 252.40 |
| 7 | 压载水 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 人员及行李 | 2 | -42.24 | -84.47 | 15.88 | 31.75 |
| 9 | 食品 | 2.5 | -52.54 | -131.35 | 11.38 | 28.45 |
| 10 | 备品 | 35 | -61.20 | -2142.00 | 11.70 | 409.50 |
| 11 | Σ | 13824 | | 32506.78 | | 83356.42 |
| 12 | | | Xg= | 2.351 | Zg= | 6.030 |

满载出港浮态及初稳性的计算

表 6.12 满载出港浮态及初稳性计算表

| 项目 | 单位 | 符号及公式 | 满载出港 |
|---------|-------|--------------|----------|
| 排水量 | t | Δ | 13824.00 |
| 平均吃水 | m | d | 7.400 |
| 重心纵向坐标 | m | xG | 2.351 |
| 浮心纵向坐标 | m | xB | 2.380 |
| 重心竖向坐标 | m | zG | 6.030 |
| 纵稳心距基线高 | m | zML | 158.200 |
| 纵向初稳心高 | m | $GML=zML-zG$ | 152.170 |
| 每厘米纵倾力矩 | t · m | MTC | 175.300 |
| 漂心纵向坐标 | m | xF | -1.896 |
| 纵倾力臂 | m | xG-xB | -0.029 |
| 纵倾力矩 | t · m | MT | -400.896 |
| 纵倾值 | m | dd | -0.023 |
| 首吃水增量 | m | ddF | -0.012 |
| 尾吃水增量 | m | ddA | 0.011 |
| 首吃水 | m | dF | 7.388 |
| 尾吃水 | m | dA | 7.411 |
| 横稳心距基线高 | m | zM | 8.616 |
| 未修正初稳心高 | m | GM0 | 2.586 |
| 自由液面修正值 | m | dGM | -0.24567 |
| 实际初稳心高 | m | GM | 2.340 |
| 横摇自摇周期 | s | T | 8.60 |

静稳性臂与动稳性臂计算

表 6.13

| | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|---------|------|--------|------|------|------|------|
| 排水体积 V (m ³) | 1335 | 重心高度 Zg | 6.03 | 进水角 | 39.0 | | | |
| | 3.3 | (m) | 0 | (°) | 8 | | | |
| 横倾角 φ (°) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| ls(m) | 1.514 | 3.0259 | 4.35 | 5.3478 | 6.00 | 6.35 | 6.45 | 6.32 |
| | 8 | | 57 | | 01 | 70 | 47 | 12 |
| sin φ | 0.173 | 0.342 | 0.5 | 0.6428 | 0.76 | 0.86 | 0.93 | 0.98 |
| | 6 | | | | 6 | 6 | 97 | 48 |
| l(m) | 0.47 | 0.97 | 1.34 | 1.47 | 1.38 | 1.14 | 0.79 | 0.39 |
| 自由液面修正 | 0.035 | 0.0716 | 0.10 | 0.1075 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| (m) | 8 | | 75 | | 75 | 75 | 75 | 75 |
| 修正后静稳性臂 | 0.433 | 0.8934 | 1.23 | 1.3666 | 1.27 | 1.03 | 0.68 | 0.27 |

| | | | | | | | | |
|----------|-------|--------|------|--------|------|------|------|------|
| (m) | 2 | | 56 | | 66 | 06 | 46 | 96 |
| 动稳性臂 (m) | 0.037 | 0.1535 | 0.34 | 0.5724 | 0.80 | 1.00 | 1.15 | 1.24 |
| | 3 | | 21 | | 58 | 90 | 98 | 45 |

根据满载出港时的排水体积为 13353.3m³，可在进水角曲线上查到进水角为 39.08°，从而可绘制静稳性和动稳性曲线如图 6.23 和图 6.24。

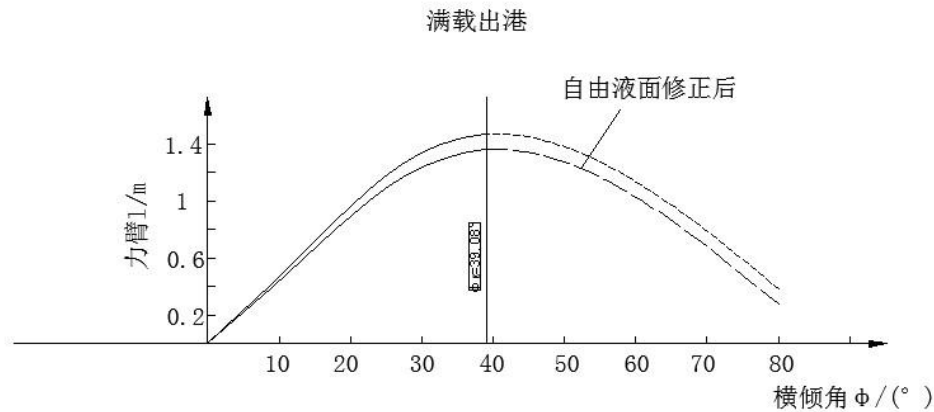


图 6.23 满载出港静稳性曲线

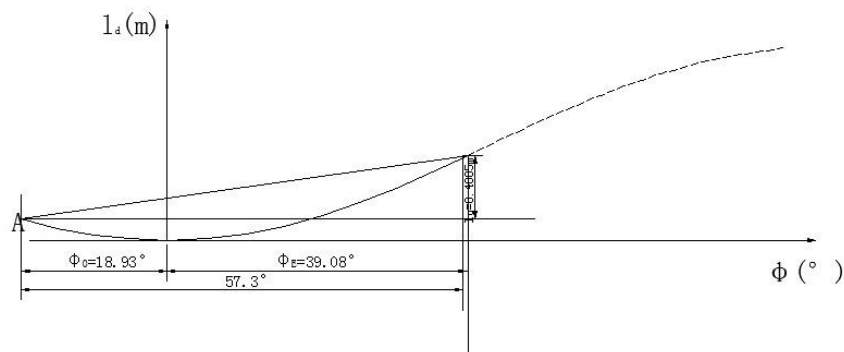


图 6.24 满载出港动稳性曲线

稳性校核

横摇角 ϕ (°)

根据横摇角计算公式：

C_1 由横摇周期及沿海行区查图得 $C_1 = 0.242$ ，满载出港自摇周期 $T_\phi = 8.60s$ ；

$C_2 = 0.13 + \frac{0.6KG}{d} = 0.619$ ，取为 0.68；

C_3 根据 B/d 值查表得 $C_3 = 0.012$ ；

C_4 根据船舶类型及舦龙骨尺寸 $\frac{A_b}{LB} = 1.09\%$ ， C_4 取为 0.68。

计算得到 $\phi_0 = 15.28C_1C_4\sqrt{\frac{C_2}{C_3}} = 18.93$ 。

风压倾侧力臂 l_f (m)

根据总布置图，水线以上受风面积 $A_f = 946.2m^2$ 。

参考总布置图计算风力作用力臂 $Z = 6.59m$ 。

P 单位计算风压，查规范根据沿海航区得 727Pa。

所校核状态下船舶排水量 $\Delta = 13824\text{t}$ 。

计算得到 $l_f = \frac{pA_f Z}{9810\Delta} = 0.0335\text{m}$ 。

最小倾覆力臂 $l_q = 408$ 。

根据横摇角及动稳性曲线作图得：

$l_q = 0.408\text{m}$

所以稳性衡准数 $K = \frac{l_q}{l_f} = \frac{0.408}{0.0335} = 12.19 > 1$ 。

6.3.6 满载到港稳性校核

满载到港重量重心计算

设计船满载到港时，空船的重量的估算来自主尺度设计时的估算。

空船重心的估算，垂向坐标和纵向坐标均来自 12000t 母型船比例换算的以及统计公式计算的结果。满载到港时，淡水、锅炉水、燃油、货油以及滑油数据均来自前面所绘制的舱容要素曲线，而人员及行李和食品及备品相关数据来自总布置图以及相关规范的估算。满载到港的状态是：

淡水剩余 10%，为 4t，装载在尾部淡水舱中。

燃油 1 剩余 10%，为 25.5t，主要是主机燃油，装载在燃油舱中。

轻柴油剩余 10%，为 4.6t，装载在尾部轻柴油舱中。

货油装载 9613t，分别装载在货油舱 1~5 中。货油在每个货油舱的装载量首先是根据货油舱的容积与货油的膨胀系数相乘来得到一个限制容积，然后用每个货油舱的限制容积得到此货油舱能够装载货油的百分比，然后再用这一百分比乘以装载的货油总量，除以货油密度，得到本货油舱装载货油的体积，最后在舱容要素表中查取相关货油重心纵向坐标和垂向坐标。

人员行李，18 船员及行李，按 2t 计算。

食品剩余 10%，为 0.25t，装载在食品库中。

备品剩余 10%，为 3.5t，装载在上甲板的物料架中。

滑油剩余 10%，为 0.65t，装载在 5m 平台的主辅机滑油储存舱中。

本设计船在满载到港时，加尾压载水以调整浮态。

表 6.14 满载到港重量重心计算表

| 序号 | 项目 | 重量 | 纵向 | | 垂向 | |
|----|-------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 距船中 | | 距基线 | |
| | | | 力臂 | 力矩 | 力臂 | 力矩 |
| | | (t) | (m) | (t.m) | (m) | (t.m) |
| 1 | 空船 | 3824 | -8.10 | -30974.40 | 6.24 | 23861.76 |
| 2 | 货油 | 9613 | 8.3 | 79691.77 | 5.970587557 | 57395.25819 |
| 3 | 燃油 1 | 25.5 | -35.6 | -907.8 | 1.7 | 43.35 |
| 4 | 柴油 | 4.6 | -43.3 | -199.18 | 0.068 | 0.3128 |
| 5 | 滑油 | 0.65 | -48.3 | -31.395 | 8.05 | 5.2325 |
| 6 | 生活用水 | 4 | -55.91 | -223.64 | 6 | 24 |
| 7 | 压载水 | 256.25 | -60.13 | -15408.3125 | 8.706 | 2230.9125 |
| 8 | 人员及行李 | 2 | -42.24 | -84.47 | 15.88 | 31.75 |
| 9 | 食品 | 0.25 | -52.54 | -13.135 | 11.38 | 2.845 |
| 10 | 备品 | 3.5 | -61.2 | -214.2 | 11.5 | 40.25 |

| | | | | |
|----|----------|----------|-------------|--------------|
| 11 | Σ | 13733.75 | 31635.23691 | 83635.6751 |
| 12 | | $X_g=$ | 2.303 | $Z_g=$ 6.090 |

表 6.15 满载到港浮态及初稳性的计算

| 项目 | 单位 | 符号及公式 | 满载到港 |
|---------|-------|--------------|-----------|
| 排水量 | t | Δ | 13730.60 |
| 平均吃水 | m | d | 7.378 |
| 重心纵向坐标 | m | xG | 2.303 |
| 浮心纵向坐标 | m | xB | 2.399 |
| 重心竖向坐标 | m | zG | 6.090 |
| 纵稳心距基线高 | m | zML | 158.300 |
| 纵向初稳心高 | m | $GML=zML-zG$ | 152.210 |
| 每厘米纵倾力矩 | t · m | MTC | 174.161 |
| 漂心纵向坐标 | m | xF | -1.875 |
| 纵倾力臂 | m | $xG-xB$ | -0.096 |
| 纵倾力矩 | t · m | MT | -1311.728 |
| 纵倾值 | m | dd | -0.075 |
| 首吃水增量 | m | ddF | -0.039 |
| 尾吃水增量 | m | ddA | 0.036 |
| 首吃水 | m | dF | 7.339 |
| 尾吃水 | m | dA | 7.414 |
| 横稳心距基线高 | m | zM | 8.597 |
| 未修正初稳心高 | m | GM0 | 2.507 |
| 自由液面修正值 | m | dGM | -0.2947 |
| 实际初稳心高 | m | GM | 2.213 |
| 横摇自摇周期 | s | T | 8.76 |

静稳性臂与动稳性臂计算

表 6.16 静稳性臂及动稳性臂计算(满载到港)

| | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|-------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 排水体积 V(m ³) | 13263.08 | 重心高度 Zg (m) | 6.090 | 进水角 (°) | 39.35 | | | |
| 横倾角 φ (°) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| ls(m) | 1.5142 | 3.0288 | 4.3648 | 5.3618 | 6.0130 | 6.3672 | 6.4611 | 6.3231 |
| sin φ | 0.1736 | 0.342 | 0.5 | 0.6428 | 0.766 | 0.866 | 0.9397 | 0.9848 |
| l(m) | 0.457 | 0.947 | 1.321 | 1.448 | 1.349 | 1.095 | 0.74 | 0.327 |
| 自由液面修正 (m) | 0.0427 | 0.0853 | 0.1280 | 0.1280 | 0.1280 | 0.1280 | 0.1280 | 0.1280 |
| 修正后静稳性臂 (m) | 0.4143 | 0.8617 | 1.1930 | 1.3200 | 1.2210 | 0.9670 | 0.6120 | 0.1990 |
| 动稳性 | 0.0356 | 0.1473 | 0.3293 | 0.5518 | 0.7764 | 0.9691 | 1.1081 | 1.1793 |

根据满载到港时的排水体积为 13263.08m³，可在进水角曲线上查到进水角为 39.35°，从而可绘制静稳性和动稳性曲线如图 6.25 和图 6.26。

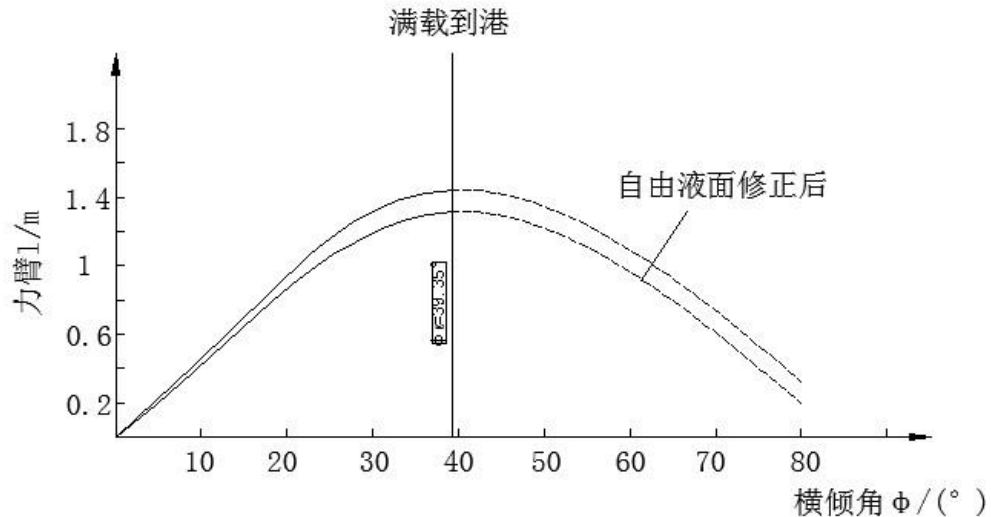


图 6.25 满载到港静稳性曲线

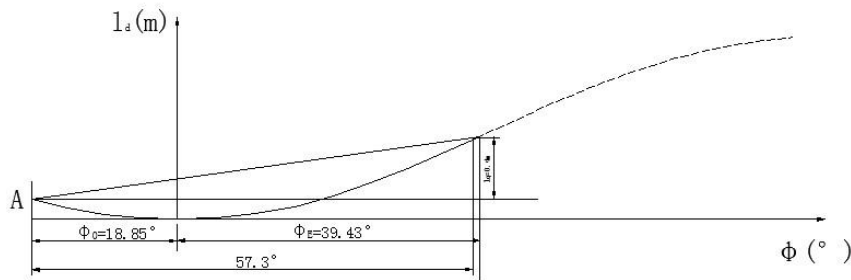


图 6.26 满载到港动稳性曲线

稳性校核

横摇角 ϕ (°)

根据横摇角计算公式：

C_1 由横摇周期及沿海行区查图得 $C_1 = 0.241$ ，满载港自摇周期 $T_\phi = 8.76s$ ；

$C_2 = 0.13 + \frac{0.6KG}{d} = 0.625$ ，取为 0.68；

C_3 根据 B/d 值查表得 $C_3 = 0.012$ ；

c_4 根据船舶类型及舦龙骨尺寸 $\frac{A_b}{LB} = 1.09\%$ ， C_4 取为 0.68。

计算得到 $\phi_0 = 15.28C_1C_4\sqrt{\frac{C_2}{C_3}} = 18.85^\circ$ 。

风压倾侧力臂 l_f (m)

根据总布置图，水线以上受风面积 $A_f = 961.4m^2$ 。

参考总布置图计算风力作用力臂 $Z=6.60m$ 。

P 单位计算风压，查规范根据沿海航区得 727Pa。

所校核状态下船舶排水量 $\Delta = 13730.6t$ 。

计算得到 $l_f = \frac{PA_fZ}{9810\Delta} = 0.0342m$ 。

最小倾覆力臂 l_q 。

根据横摇角及动稳性曲线作图得：

$l_q = 0.4m$

$$\text{所以稳性衡准数 } K = \frac{l_a}{l_f} = \frac{0.4}{0.0324} = 11.68 > 1。$$

6.3.7 压载出港稳性校核

压载出港重量重心计算

设计船压载出港时，空船的重量的估算来自主尺度设计时的估算。

空船重心的估算，垂向坐标和纵向坐标均来自 12000t 母型船比例换算的以及统计公式计算的结果。压载出港时，淡水、锅炉水、燃油、货油以及滑油数据均来自前面所绘制的舱容要素曲线，而人员及行李和食品及备品相关数据来自总布置图以及相关规范的估算。

压载出港状态：

淡水备足 100%，为 40t，装载在尾部淡水舱中。

燃油舱备足 100%，为 255t，主要是主机燃油，装载在燃油舱 1 中。

轻柴油备足 100%，为 46t，装载在尾部轻柴油舱中。

压载水 4004.675t，分别装载在压载水舱 1~6（左、右）和首、尾压载水舱中。压载水在每个压载水舱的装载量首先是根据压载水舱的容积与货油的膨胀系数相乘来得到一个限制容积，然后用每个压载水舱的限制容积得到此压载水舱能够装载压载水的百分比，然后再用这一百分比乘以装载的压载水总量，除以压载水密度，得到本压载水舱装载压载水的体积，最后在舱容要素表中查取相关压载水重心纵向坐标和垂向坐标。

人员行李，18 船员及行李，按 2t 计算。

食品备足 100%，为 2.5t，装载在食品库中。

备品备足 100%，为 35t，装载在上甲板的物料架中。

滑油备足 100%，为 6.5t，装载在 8m 平台的主辅机滑油储存舱中。

本设计船在满载出港时，不加首尾压载水以调整浮态。

表 6.17 压载出港重量重心计算

| 序号 | 项目 | 重量 | 纵向 | | 垂向 | |
|----|-------|----------|--------|-------------|-------|-------------|
| | | | 距船中 | | 距基线 | |
| | | | 力臂 | 力矩 | 力臂 | 力矩 |
| | | (t) | (m) | (t.m) | (m) | (t.m) |
| 1 | 空船 | 3824 | -8.10 | -30974.40 | 6.24 | 23861.76 |
| 2 | 货油 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 燃油 1 | 255 | -36.81 | -9386.55 | 4.83 | 1231.65 |
| 4 | 柴油 | 46 | -43.40 | -1996.40 | 0.68 | 31.28 |
| 5 | 滑油 | 6.5 | -48.30 | -313.95 | 9.20 | 59.80 |
| 6 | 生活用水 | 40 | -56.30 | -2252.00 | 6.31 | 252.40 |
| 7 | 压载水 | 4004.675 | 15.00 | 60070.13 | 4.24 | 16969.54 |
| 8 | 人员及行李 | 2 | -42.24 | -84.47 | 15.88 | 31.75 |
| 9 | 食品 | 2.5 | -52.54 | -131.35 | 11.38 | 28.45 |
| 10 | 备品 | 35 | -61.20 | -2142.00 | 11.70 | 409.50 |
| 11 | Σ | 8215.675 | | 12789.00441 | | 42876.13903 |
| 12 | | | Xg= | 1.557 | Zg= | 5.219 |

压载出港浮态及初稳性的计算
表 6.18 压载出港浮态及初稳性计算表

| 项目 | 单位 | 符号及公式 | 压载出港 |
|---------|-------|--------------|------------|
| 排水量 | t | Δ | 8215.68 |
| 平均吃水 | m | d | 4.690 |
| 重心纵向坐标 | m | xG | 1.557 |
| 浮心纵向坐标 | m | xB | 3.347 |
| 重心竖向坐标 | m | zG | 5.219 |
| 纵稳心距基线高 | m | zML | 179.519 |
| 纵向初稳心高 | m | $GML=zML-zG$ | 174.300 |
| 每厘米纵倾力矩 | t · m | MTC | 119.333 |
| 漂心纵向坐标 | m | xF | 1.477 |
| 纵倾力臂 | m | $xG-xB$ | -1.790 |
| 纵倾力矩 | t · m | MT | -14705.574 |
| 纵倾值 | m | dd | -1.232 |
| 首吃水增量 | m | ddF | -0.601 |
| 尾吃水增量 | m | ddA | 0.631 |
| 首吃水 | m | dF | 4.089 |
| 尾吃水 | m | dA | 5.321 |
| 横稳心距基线高 | m | zM | 8.740 |
| 未修正初稳心高 | m | GM0 | 3.521 |
| 自由液面修正值 | m | dGM | -0.017 |
| 实际初稳心高 | m | GM | 3.504 |
| 横摇自摇周期 | s | T | 7.13 |

静稳性臂与动稳性臂计算

表 6.19 静稳性臂及动稳性臂计算(压载出港)

| | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|-------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 排水体积 V (m ³) | 7935.93 | 重心高度 Zg (m) | 5.219 | 进水角 (°) | 57.84 | | | |
| 横倾角 φ (°) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| ls(m) | 1.578 | 3.217 | 4.850 | 6.104 | 6.859 | 7.124 | 7.042 | 6.691 |
| sin φ | 0.174 | 0.342 | 0.500 | 0.643 | 0.766 | 0.866 | 0.940 | 0.985 |
| l(m) | 0.521 | 1.135 | 1.806 | 2.191 | 2.195 | 1.851 | 1.321 | 0.695 |
| 自由液面修正 (m) | 0.004 | 0.008 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 修正后静稳性臂 (m) | 0.517 | 1.127 | 1.794 | 2.179 | 2.183 | 1.839 | 1.309 | 0.683 |
| 动稳性 | 0.044 | 0.186 | 0.443 | 0.795 | 1.181 | 1.536 | 1.813 | 1.988 |

根据压载出港时的排水体积为 8215.68m³, 可在进水角曲线上查到进水角为 57.84°, 从而可绘制静稳性和动稳性曲线如图 6.27 和图 5.28。

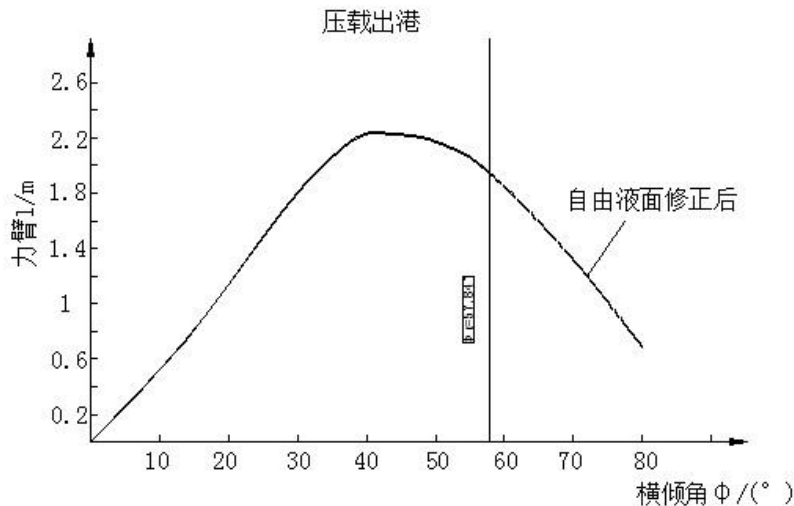


图 6.27 压载出港静稳性曲线

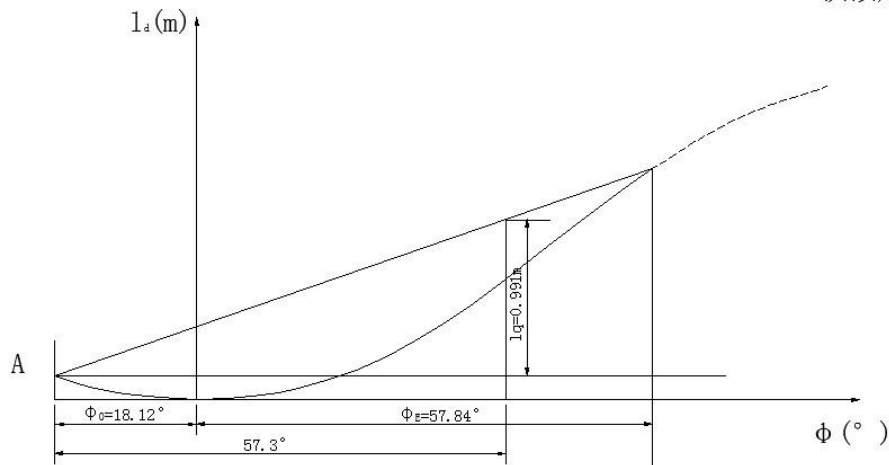


图 6.28 压载出港动稳性曲线

稳性校核

横摇角 ϕ (°)

根据横摇角计算公式:

C_1 由横摇周期及沿海行区查图得 $C_1 = 0.259$, 满载港自摇周期 $T_\phi = 7.13s$;

$C_2 = 0.13 + \frac{0.6KG}{d} = 0.798$;

C_3 根据 B/d 值查表得 $C_3 = 0.0176$;

c_4 根据船舶类型及舦龙骨尺寸 $\frac{A_b}{LB} = 1.09\%$, C_4 取为 0.68。

计算得到 $\phi_0 = 15.28C_1C_4\sqrt{\frac{C_2}{C_3}} = 18.12^\circ$ 。

风压倾侧力臂 l_f (m)

根据总布置图, 水线以上受风面积 $A_f = 1292m^2$ 。

参考总布置图计算风力作用力臂 $Z=7.25m$ 。

P 单位计算风压, 查规范根据沿海航区得 $736Pa$ 。

所校核状态下船舶排水量 $\Delta = 8215.68t$ 。

计算得到 $l_f = \frac{pA_fZ}{9810\Delta} = 0.0856m$ 。

最小倾覆力臂 l_q 。

根据横摇角及动稳性曲线作图得：

$$l_q = 0.991\text{m}$$

$$\text{所以稳性衡准数 } K = \frac{l_q}{l_f} = \frac{0.991}{0.0856} = 11.58 > 1。$$

6.3.8 压载到港稳性校核

压载到港重量重心计算

设计船压载到港时，空船的重量的估算来自主尺度设计时的估算。

空船重心的估算，垂向坐标和纵向坐标均来自 12000t 母型船比例换算的以及统计公式计算的结果。压载到港时，淡水、燃油、货油以及滑油数据均来自前面所绘制的舱容要素曲线，而人员及行李和食品及备品相关数据来自总布置图以及相关规范的估算。压载到港的状态是：

淡水剩余 10%，为 4t，装载在尾部淡水舱中。

燃油 1 剩余 10%，为 25.5t，主要是主机燃油，装载在燃油舱中。

轻柴油剩余 10%，为 4.6t，装载在尾部轻柴油舱中。

压载水 4139t，分别装载在压载水舱 1~6（左、右）和首、尾压载水

舱中，在每个压载水舱的装载量首先是根据压载水舱的容积与货油的膨胀系数相乘来得到一个限制容积，然后用每个压载水舱的限制容积得到此压载水舱能够装载压载水的百分比，然后再用这一百分比乘以装载的压载水总量，除以压载水密度，得到本压载水舱装载压载水的体积，最后在舱容要素表中查取相关压载水重心纵向坐标和垂向坐标。

人员行李，18 船员及行李，按 2t 计算。

食品剩余 10%，为 0.25t，装载在食品库中。

备品剩余 10%，为 3.5t，装载在上甲板的物料架中。

滑油剩余 10%，为 0.65t，装载在 5m 平台的主辅机滑油储存舱中。

本设计船在满载到港时，加尾压载水以调整浮态。

压载水 4004.675t，分别装载在压载水舱 1~6（左、右）和首、尾压载水

舱中，在每个压载水舱的装载量首先是根据压载水舱的容积与货油的膨胀系数相乘来得到一个限制容积，然后用每个压载水舱的限制容积得到此压载水舱能够装载压载水的百分比，然后再用这一百分比乘以装载的压载水总量，除以压载水密度，得到本压载水舱装载压载水的体积，最后在舱容要素表中查取相关压载水重心纵向坐标和垂向坐标。

表 6.20 压载到港重量重心计算表

| 序号 | 项目 | 重量 | 纵向 | | 垂向 | |
|----|------|------|--------|-----------|-------|----------|
| | | | 距船中 | | 距基线 | |
| | | | 力臂 | 力矩 | 力臂 | 力矩 |
| | | (t) | (m) | (t.m) | (m) | (t.m) |
| 1 | 空船 | 3824 | -8.10 | -30974.40 | 6.24 | 23861.76 |
| 2 | 货油 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 燃油 1 | 25.5 | -35.6 | -907.8 | 1.7 | 43.35 |
| 4 | 柴油 | 4.6 | -43.3 | -199.18 | 0.068 | 0.3128 |
| 5 | 滑油 | 0.65 | -48.3 | -31.395 | 8.05 | 5.2325 |
| 6 | 生活用水 | 4 | -55.91 | -223.64 | 6 | 24 |

| | | | | | | |
|----|----------|----------|--------|----------|-------|----------|
| 7 | 压载水 | 4004.675 | 15.00 | 60070.13 | 4.24 | 16969.54 |
| 8 | 人员及行李 | 2 | -42.24 | -84.47 | 15.88 | 31.75 |
| 9 | 食品 | 0.25 | -52.54 | -13.135 | 11.38 | 2.845 |
| 10 | 备品 | 0.35 | -61.2 | -21.42 | 11.5 | 4.025 |
| 11 | Σ | 7866.025 | | 27614.68 | | 40942.82 |
| 12 | | | Xg= | 3.511 | Zg= | 5.205 |

表 6.21 压载到港浮态及初稳性计算表

| 项目 | 单位 | 符号及公式 | 压载到港 |
|---------|-------|--------------|---------|
| 排水量 | t | Δ | 7866.03 |
| 平均吃水 | m | d | 4.509 |
| 重心纵向坐标 | m | xG | 3.511 |
| 浮心纵向坐标 | m | xB | 3.391 |
| 重心竖向坐标 | m | zG | 5.205 |
| 纵稳心距基线高 | m | zML | 194.531 |
| 纵向初稳心高 | m | $GML=zML-zG$ | 189.326 |
| 每厘米纵倾力矩 | t · m | MTC | 124.104 |
| 漂心纵向坐标 | m | xF | 3.347 |
| 纵倾力臂 | m | xG-xB | 0.120 |
| 纵倾力矩 | t · m | MT | 941.190 |
| 纵倾值 | m | dd | 0.076 |
| 首吃水增量 | m | ddF | 0.036 |
| 尾吃水增量 | m | ddA | -0.040 |
| 首吃水 | m | dF | 4.545 |
| 尾吃水 | m | dA | 4.469 |
| 横稳心距基线高 | m | zM | 9.243 |
| 未修正初稳心高 | m | GM0 | 4.038 |
| 自由液面修正值 | m | dGM | -0.001 |
| 实际初稳心高 | m | GM | 4.037 |
| 横摇自摇周期 | s | T | 6.65 |

静稳性臂与动稳性臂计算

表 6.22 静稳性臂及动稳性臂计算(压载到港)

| | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|-------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 排水体积 V (m ³) | 7598.19 | 重心高度 Zg (m) | 5.205 | 进水角 (°) | 59.32 | | | |
| 横倾角 φ (°) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| ls(m) | 1.592 | 3.257 | 4.891 | 6.149 | 6.919 | 7.180 | 7.091 | 6.727 |
| sin φ | 0.174 | 0.342 | 0.500 | 0.643 | 0.766 | 0.866 | 0.940 | 0.985 |
| l(m) | 0.535 | 1.175 | 1.846 | 2.235 | 2.255 | 1.907 | 1.369 | 0.731 |
| 自由液面修正 (m) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 修正后静稳性臂 (m) | 0.535 | 1.175 | 1.846 | 2.235 | 2.255 | 1.907 | 1.369 | 0.731 |
| 动稳性 | 0.046 | 0.193 | 0.459 | 0.821 | 1.217 | 1.585 | 1.873 | 2.056 |

根据压载到港时的排水体积为 7598.19m³，可在进水角曲线上查到进水角为 59.32°，从而可绘制静稳性和动稳性曲线如图 6.29 和图 6.30。

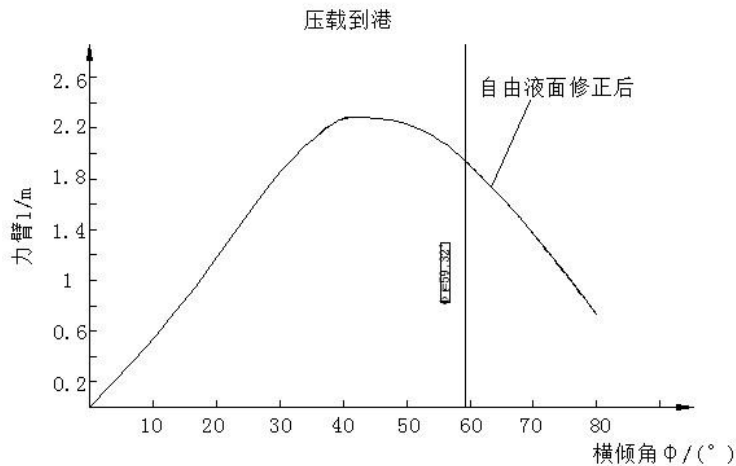


图 6.29 压载到港静稳性曲线

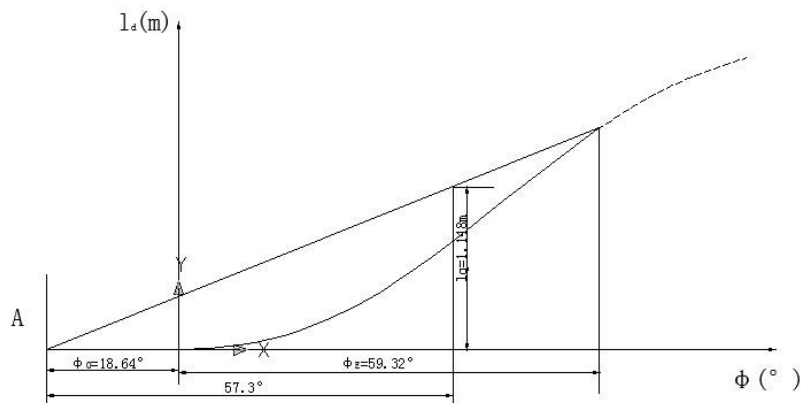


图 6.30 压载到港动稳性曲线

稳性校核

横摇角 ϕ (°)

根据横摇角计算公式:

C_1 由横摇周期及沿海行区查图得 $C_1 = 0.265$, 满载港自摇周期 $T_\phi = 6.65s$;

$$C_2 = 0.13 + \frac{0.6KG}{d} = 0.823;$$

C_3 根据 B/d 值查表得 $C_3 = 0.01796$;

c_4 根据船舶类型及舦龙骨尺寸 $\frac{A_b}{LB} = 1.09\%$, C_4 取为 0.68。

$$\text{计算得到 } \phi_0 = 15.28 C_1 C_4 \sqrt{\frac{C_2}{C_3}} = 18.64^\circ.$$

风压倾侧力臂 l_f (m)

根据总布置图, 水线以上受风面积 $A_f = 1319.4m^2$ 。

参考总布置图计算风力作用力臂 $Z = 7.314m$ 。

P 单位计算风压, 查规范根据沿海航区得 $736Pa$ 。

所校核状态下船舶排水量 $\Delta = 7866.03t$ 。

$$\text{计算得到 } l_f = \frac{p A_f Z}{9810 \Delta} = 0.092m.$$

最小倾覆力臂 l_q 。

根据横摇角及动稳性曲线作图得:

$$l_q = 1.148m$$

所以稳性衡准数 $K = \frac{l_g}{l_f} = \frac{1.148}{0.092} = 12.47 > 1$ 。

6.3.9 稳性校核汇总

本设计船为成品油船，设计者校核了四种典型的装载形式：满载出港、满载到港、压载出港和压载到港。对于四种装载状态，设计船的稳性都满足规范要求。综合以上四种载况的稳性进行汇总如表 6.23。

表 6.23 稳性汇总

| 各种载况 | 稳性衡准数 K | 初稳性高度 (m) | 30 度处复原力臂 (m) | 最大复原力臂对应角 φ_{\max} (°) | 稳性消失角 (°) | 进水角 (°) |
|------|---------|-------------|---------------|--------------------------------|-----------|---------|
| 满载出港 | 12.19>1 | 2.44>0.15 | 1.236>0.2 | 40.66>30 | >80° | 39.08 |
| 满载到港 | 11.68>1 | 2.312>0.15 | 1.193>0.2 | 41.00>30 | >80° | 39.35 |
| 压载出港 | 11.58>1 | 2.900>0.15 | 1.794>0.2 | 41.48>30 | >80° | 57.84 |
| 压载到港 | 12.47>1 | 2.7365>0.15 | 1.846>0.2 | 42.26>30 | >80° | 59.32 |
| 校核结果 | 满足要求 | 满足要求 | 满足要求 | 满足要求 | 满足要求 | |

注：由于本设计船的船宽型深比 $B/D=1.96$ 小于 2，所以在校核最大复原力臂对应的横倾角时不需要修正。

综上，从表 6.23 中可以看出，本船的稳性是符合设计规范要求的

第七章 螺旋桨图谱设计

7.1 船体主要参数

船型：单桨、球首、球尾、流线型挂舵、近海航区成品油船。

| | |
|------------|--------|
| 航速(kn) | 14 |
| 设计水线长(m) | 123.14 |
| 垂线间长(m) | 120 |
| 型宽(m) | 20.2 |
| 型深(m) | 10.8 |
| 设计吃水(m) | 7.4 |
| 方形系数 | 0.744 |
| 排水量(t) | 13645 |
| 桨轴中心距基线(m) | 2.345 |

由兰普法（兰泼-凯勒法）估算设计船有效功率曲线如表 7.1 所示。

表 7.1 有效马力随航速变化表

| | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 航速(Kn) | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 有效马力 Kw | 1178.26 | 1556.99 | 2090.65 | 2943.12 |

有效功率曲线图 7.1

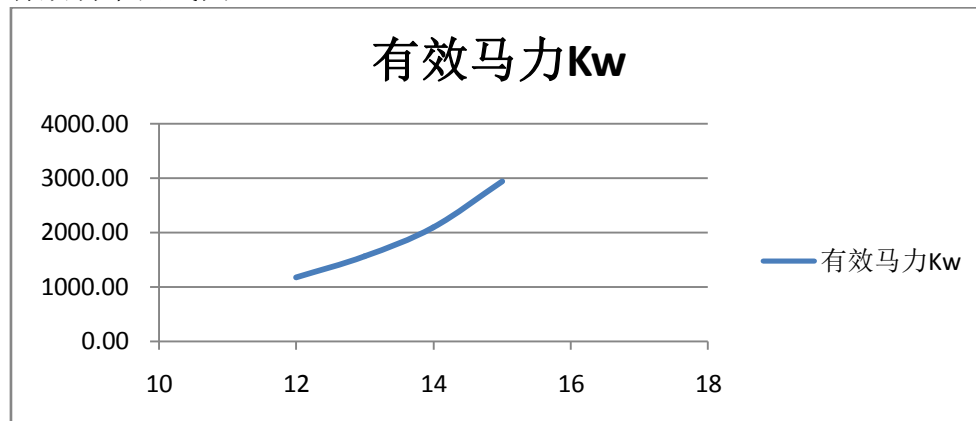


图 7.1

7.2 主机参数

| | |
|------------|----------------|
| 型号 | MAN-B&W 6S35MC |
| 最大持续功率(kw) | 4440 |
| 转速 | 173r/min |
| 旋向 | 右旋 |

7.3 推进因子的决定

| | |
|--------|----------------|
| 伴流分数 | $\omega=0.347$ |
| 推力减额分数 | $t=0.256$ |

| | |
|-----------------|---|
| 取相对旋转效率 船身效率 | $\eta_R=1.0$ $\eta_H=(1-t)/(1-w)=1.1394$ |
|-----------------|---|

7.4 可以达到最大航速的计算

采用 MAU 4 叶桨图谱进行计算。

取功率储备 10%，轴系效率：

$$\eta_s=0.98$$

螺旋桨敞水收到马力：

$$P_D=5433 * 0.98 * 1 = 5324.378 \text{ (hp)}$$

根据 MAU4-40, MAU4-55, MAU4-70 的 $\sqrt{B_p} - \delta$ 图谱列表 3 计算。

表 7.2 按 $\sqrt{B_p} - \delta$ 图谱设计的计算表

| 项目 | 单位 | 数值 | | | |
|----------------------------------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 假定航速 | kn | 12 | 13 | 14 | 15 |
| $V_A=(1-w)V$ | kn | 7.836 | 8.489 | 9.142 | 9.795 |
| $BP=N \cdot P_D^{0.5}/V_A^{2.5}$ | | 73.442 | 60.123 | 49.955 | 42.041 |
| \sqrt{BP} | | 8.570 | 7.754 | 7.068 | 6.484 |
| δ | | 94.4027 | 87.5953 | 80.9399 | 75.463 |
| P/D | | 0.58812 | 0.60599 | 0.62535 | 0.6406 |
| MAU4-40 η_0 | | 0.48378 | 0.51141 | 0.54 | 0.56039 |
| PTE=PD* η_H | hp | 2934.7867 | 3102.4004 | 3275.8378 | 3399.5310 |
| η_0 | | 03 | 04 | 18 | 27 |
| δ | | 93.8916 | 85.5867 | 78.8374 | 73.486 |
| P/D | | 0.6144 | 0.64512 | 0.672 | 0.69074 |
| MAU4-55 η_0 | | 0.46631 | 0.4936 | 0.51735 | 0.54269 |
| PTE=PD* η_H | hp | 2828.8072 | 2994.3584 | 3138.4346 | 3292.1563 |
| η_0 | | 83 | 2 | 2 | 43 |
| δ | | 93.0773 | 85.5474 | 78.5029 | 72.8443 |
| P/D | | 0.62233 | 0.65253 | 0.67702 | 0.70579 |
| MAU4-70 η_0 | | 0.45343 | 0.47648 | 0.50093 | 0.52204 |
| PTE=PD* η_H | hp | 2750.6724 | 2890.5022 | 3038.8248 | 3166.8858 |
| η_0 | | 85 | 28 | 85 | 78 |

根据表 7.2 中的计算结果并对坐标进行适当的比例放大

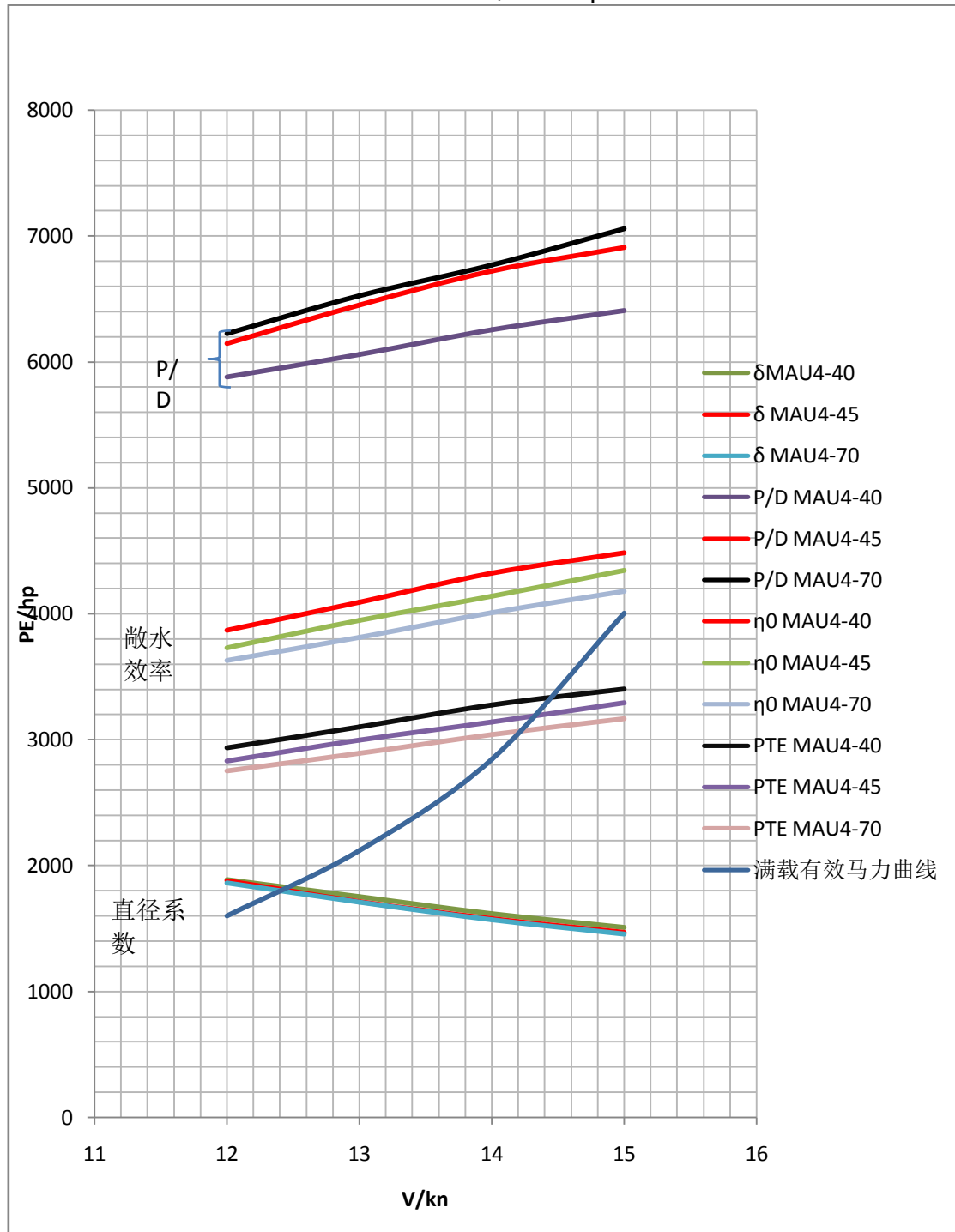
可绘制 PTE、 δ 、P/D、及 η_0 对的曲线，如图 7.2。

从 PTE-f(V) 曲线与船体满载有效马力曲线之交点，可获得不同盘面比所对应的设计航速及螺旋桨最佳要素 P/D、D 及 η_0 ，如表四所列。

表 7.4 按 MAU4 叶桨图谱设计计算结果图设计计算的最佳要素

| MAU | Vmax/kn | P/D | δ | D/m | η_0 |
|------|---------|-------|----------|-------|----------|
| 4-40 | 14.48 | 0.634 | 78.500 | 4.290 | 0.55 |
| 4-55 | 14.32 | 0.680 | 77.500 | 4.189 | 0.527 |
| 4-70 | 14.21 | 0.683 | 77.400 | 4.151 | 0.505 |

其中 $D=V \cdot (1-w) \cdot \delta / N$ 。V, δ 均为取得的最佳值，N=173

图 7.2 PTE、 δ 、P/D、及 η_0 对的曲线

7.5 空泡校核

按柏利尔空泡界限线中商船上界线，计算不发生空泡之最小展开面积比。

桨轴沉深 $hs = T - ZP = 5.055 \text{ m}$

$p_0 - p_v = p_a + \gamma \times hs - p_v = 15337.375 \text{ kgf/m}^2$

计算温度 $t = 15^\circ\text{C}$

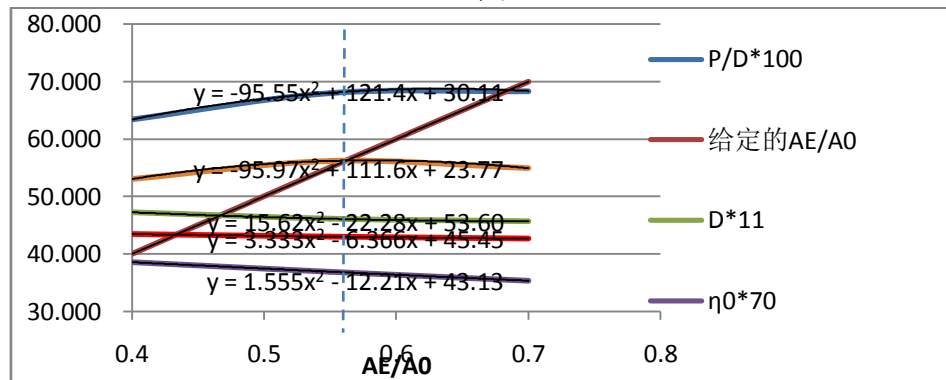
$p_v=174 \text{ kgf/m}^2$
 $P_D=7385.58 \text{ hp}$
 $\rho =104.63\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$

表 7.5 空泡校核计算结果

| 序号 | 项目 | 单位 | 数值 | | |
|----|---|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | MAU4-40 | MAU-55 | MAU-70 |
| 1 | V_{\max} | kn | 14.48 | 14.32 | 14.21 |
| 2 | $VA=0.5144V_{\max}(1-\omega)$ | m/s | 4.864 | 4.810 | 4.773 |
| 3 | $(0.7\pi ND/60)^2$ | (m/s) ² | 739.360 | 704.805 | 692.228 |
| 4 | $V0.7R^2=VA^2+(0.7\pi ND/60)^2$ | (m/s) ² | 763.017 | 727.942 | 715.012 |
| 5 | $\sigma \cdot 0.7R=(P_0-P_v)/0.5\rho \cdot V0.7R^2$ | | 0.384 | 0.403 | 0.410 |
| 6 | τ_c (查柏利尔空泡限界图) | | 0.16 | 0.163 | 0.167 |
| 7 | $T=P_D \cdot \eta_0 \cdot 75/VA$ | kgf | 45155.445 | 43750.558 | 42248.695 |
| 8 | $AP=T/0.5\rho \cdot V0.7R^2 \tau_c$ | m ² | 7.070 | 7.048 | 6.763 |
| 9 | $AE=AP/(1.067-0.229P/D)$ | m ² | 7.670 | 7.734 | 7.427 |
| 10 | $AE/A_0=4AE/\pi D^2$ | | 0.531 | 0.561 | 0.549 |

根据表五计算结果绘制图 7.3，可求得不发生空泡的最小盘面比以及所对应的最佳螺旋桨要素。

图 7.3



根据上图，可以得到以下螺旋桨最佳要素。

可求得不发生空泡的最小盘面比以及所对应的最佳螺旋桨要素

| | | |
|----------------|---------------------------|------------------|
| $AE/A_0=0.562$ | $P/D=0.6816$ | $D=4.18\text{m}$ |
| $\eta_0=0.525$ | $V_{\max}=14.31\text{kn}$ | $P=2.85$ |

7.6 强度效核

按 2001 年《规范》校核 $t_{0.25R}$ 及 $t_{0.6R}$ ，见表六，应不小于按下式计算之值：

| | | |
|---------------------|----------|-------|
| N_e (6036.7*0.98) | 5915.966 | H_p |
| $A_d= A_E/A_0$ | 0.562 | |

| | | |
|-----------------|-------|-------------------|
| P/D | 0.682 | |
| $\varepsilon =$ | 8 | ° |
| $N=n_e$ | 173 | r/min |
| Z= | 4 | |
| $b_{0.66R}$ | 1.327 | |
| $b_{0.25R}$ | 0.957 | |
| $b_{0.6R}$ | 1.315 | |
| G | 7.6 | g/cm ³ |

表 7.6 强度校核计算表

| 项 目 | 单 位 | 数值 | |
|---|--------|----------|---------|
| | | 0.25R | 0.6R |
| 弦长 b | m | 0.957 | 1.315 |
| K1 | 查表 7-2 | 634 | 207 |
| K2 | | 250 | 151 |
| K3 | | 1410 | 635 |
| K4 | | 4 | 34 |
| $A1=D/P(K1-K2D/P0.7)+K3D/P0.7-K4$ | | 2456.09 | 876.12 |
| $Y=A1N_e/(Zbne)$ | Kw | 21935.47 | 5693.80 |
| K5 | | 82 | 23 |
| K6 | | 34 | 12 |
| K7 | | 41 | 65 |
| K8 | | 380 | 330 |
| $A2=D/P(K5+K6\varepsilon) + K7\varepsilon + K8$ | | 1227.20 | 1024.53 |
| 材料系数 K (铝镍合金) | | 1.179 | 1.179 |
| $X=A2GAdne2D3/(1010Zb)$ | | 0.2992 | 0.1818 |
| $t=(Y/(K-X))0.5$ | mm | 157.903 | 75.563 |
| MAU 标准桨叶厚度 t' (书 P110) | mm | 159.885 | 91.124 |
| 校核结果 | | 满足要求 | 满足要求 |
| 实取桨叶厚度 | mm | 159.885 | 91.124 |

实际桨叶厚度按照 $t_{1.0R}=0.0035*4.18=16.63\text{mm}$ 与 $t_{0.25R}=159.885\text{mm}$ 连直线：如

表 7.7

| 距中心距离 | 厚度值 (mm) |
|-------|----------|
| 0.2 | 169.34 |
| 0.3 | 150.46 |
| 0.4 | 131.58 |
| 0.5 | 112.7 |
| 0.6 | 93.82 |
| 0.7 | 74.94 |
| 0.8 | 56.06 |
| 0.9 | 37.18 |
| 1.0 | 18.3 |

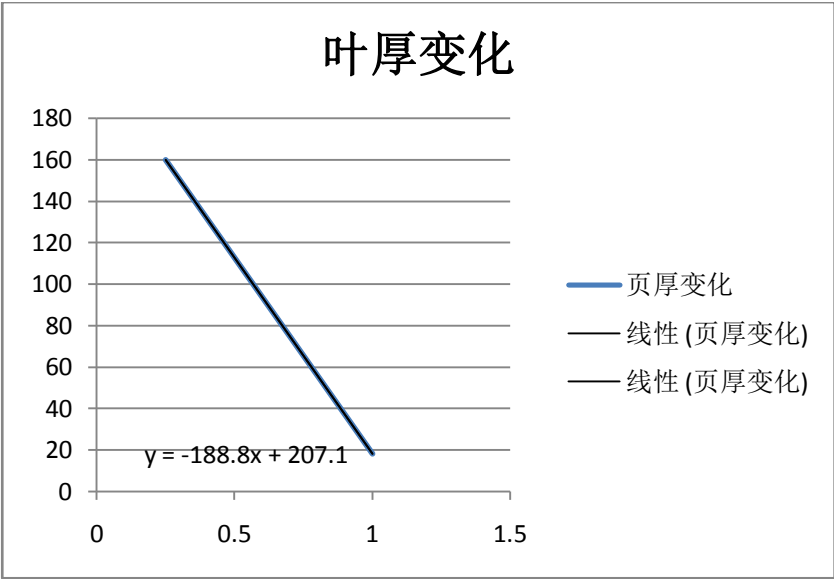


图 7.4 叶厚随半径变化

7.7 螺距修正

根据尾轴直径大小,决定毂径比 $dh/D=0.18$,此值与 MAU 桨标准毂径比相同,故对此项螺距无需修正。由于实际桨叶厚度等于于 MAU 桨标准厚度,故也无需因厚度差异进行螺距修正。

表 17.8 重量及惯性矩计算

| 数值计算 | | | | | | | | | |
|-------|------------|---------|---------------|-----------|-----------|---------|---------------------|-------------|-----------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| r/R | 面积系数 K_a | 弦长*最大厚度 | 切面面积 $S(m^2)$ | 辛氏系数 SM | (4) * (5) | r (R) | $r^2 \cdot r$ (R^2) | (6)*(7) (R) | (6) * (8) (R^2) |
| 0.2 | 0.6740 | 0.150 | 0.101 | 1 | 0.1008 | 0.2 | 0.04 | 0.02016 | 0.00403 |
| 0.3 | 0.6740 | 0.155 | 0.105 | 4 | 0.4183 | 0.3 | 0.09 | 0.12550 | 0.03765 |
| 0.4 | 0.6740 | 0.152 | 0.103 | 2 | 0.2050 | 0.4 | 0.16 | 0.08200 | 0.03280 |
| 0.5 | 0.6745 | 0.141 | 0.095 | 4 | 0.3807 | 0.5 | 0.25 | 0.19037 | 0.09518 |
| 0.6 | 0.6745 | 0.123 | 0.083 | 2 | 0.1665 | 0.6 | 0.36 | 0.09989 | 0.05994 |
| 0.7 | 0.6770 | 0.099 | 0.067 | 4 | 0.2684 | 0.7 | 0.49 | 0.18787 | 0.13151 |
| 0.8 | 0.6830 | 0.069 | 0.047 | 2 | 0.0944 | 0.8 | 0.64 | 0.07556 | 0.06044 |
| 0.9 | 0.6950 | 0.036 | 0.025 | 4 | 0.1010 | 0.9 | 0.81 | 0.09090 | 0.08181 |
| 1 | 0.7000 | 0.000 | 0.000 | 1 | 0.0000 | 1 | 1 | 0.00000 | 0.00000 |

求和

1.7352

0.87224

0.50336

计算结果表格：表 7.8 质量惯性矩

| | | |
|-------------|---------------------------------|----------------------|
| R=2.605m | $\gamma = 7448 \text{ kgf/m}^3$ | |
| 叶片重量 | 952.03 | kgf/m ³ |
| 桨叶总重 | 3808.12 | kgf |
| 每页片体积惯性矩 | 0.154 | m ⁵ |
| 每页片的质量惯性矩 | 117.2474686 | kgf*m*s ² |
| 4 个桨叶的质量惯性矩 | 468.9898742 | kgf*m*s ² |

7.9 敞水性征曲线之确定

MAU4-56.2, P/D=0.682 由 MAU4-55, P/D=0.682 与 MAU4-70, P/D=0.682 内插得到。表七为敞水性征曲线以及数据：

表 7.9 设计桨的敞水特性数据表

| MAU4-55 P/D=0.682 | | | | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| J | 0.000 | 0.100 | 0.200 | 0.300 | 0.400 | 0.500 | 0.600 | 0.700 |
| KT | 0.2961 | 0.2653 | 0.2330 | 0.1984 | 0.1603 | 0.1178 | 0.0711 | 0.0244 |
| 10KQ | 0.3116 | 0.2855 | 0.2586 | 0.2295 | 0.1971 | 0.1606 | 0.1185 | 0.0714 |
| η_o | 0.0000 | 0.1444 | 0.2802 | 0.4088 | 0.5279 | 0.6121 | 0.6192 | 0.4726 |
| MAU4-70 P/D=0.682 | | | | | | | | |
| KT | 0.3086 | 0.2731 | 0.2367 | 0.1990 | 0.1591 | 0.1166 | 0.0716 | 0.0278 |
| 10KQ | 0.3254 | 0.2965 | 0.2667 | 0.2349 | 0.2002 | 0.1614 | 0.1173 | 0.0660 |
| η_o | 0.0000 | 0.1291 | 0.2551 | 0.3741 | 0.4840 | 0.5659 | 0.5724 | 0.4291 |
| MAU4-56.2 P/D=0.682 | | | | | | | | |
| KT | 0.2971 | 0.2659 | 0.2333 | 0.1984 | 0.1602 | 0.1177 | 0.0711 | 0.0247 |
| 10KQ | 0.3127 | 0.2864 | 0.2593 | 0.2299 | 0.1974 | 0.1607 | 0.1184 | 0.0710 |
| η_o | 0.0000 | 0.1432 | 0.2782 | 0.4060 | 0.5244 | 0.6084 | 0.6154 | 0.4692 |

根据上表的数据，绘制敞水性征曲线

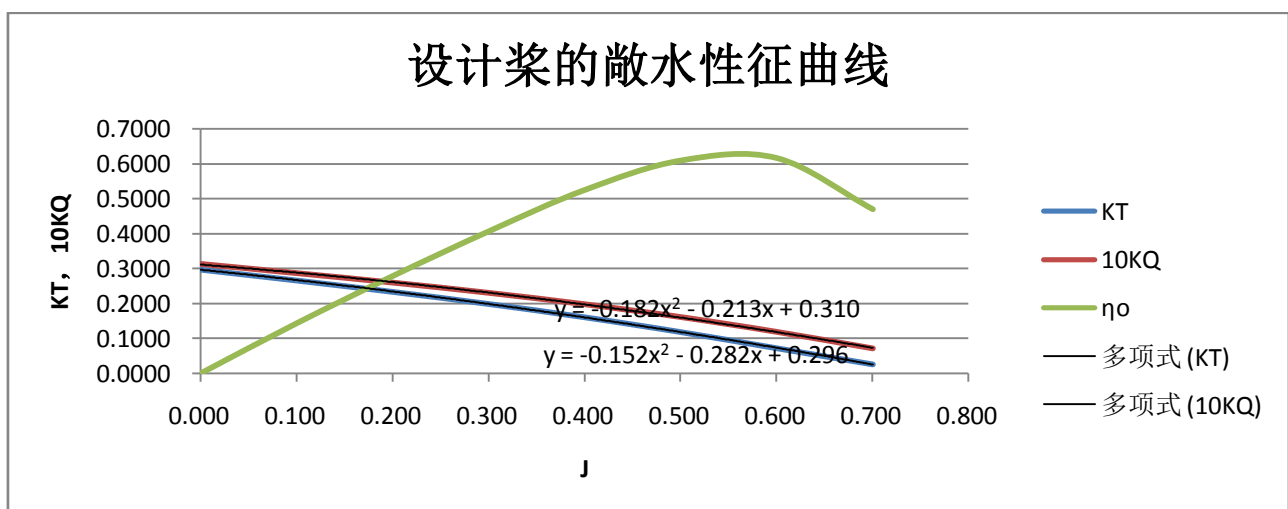


图 7.5 螺旋桨敞水性征曲线

7.10 系柱特性计算

| | | |
|---|-------------|--------------|
| 由上图得 $J=0$ 时 | $K_T=0.296$ | $K_Q=0.0310$ |
| 计算功率 | 5915.9758 | hp |
| 系柱推力减额分数 t_0 | 0.04 | |
| 主机转矩 $Q=P_D \cdot 60 \cdot 75/2/3.14/N$ | 24503.78401 | kgf*m |
| 系柱推力 $T=K_T/K_Q \cdot Q/D$ | 55974.07059 | kgf |
| 螺旋桨转速 $N=60 (T/\rho D^4 K_T)^{0.5}$ | 146r/min | 小于 173 |

7.11 航行特性计算

取转速为 173r/min, 163r/min, 153r/min 进行计算, 结果如表

表 7.9 航行特性计算表

| 项目 | 单位 | 数值 | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
| V | kn | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| VA=0.5144(1-ω)V | m/s | 4.031 | 4.367 | 4.703 | 5.039 | 5.374 | |
| N=173r/min | J=VA/nD | 0.33 | 0.36 | 0.39 | 0.42 | 0.45 | |
| | KT | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | |
| | KQ | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | |
| | PTE=KTρ n2D4(1-t)V/145.6 | hp | 3007.29 | 3067.19 | 3093.26 | 3084.54 | 3040.07 |
| | Ps=KQ2π nρ n2D5/75η Sη R | hp | 5972.54 | 5713.56 | 5446.84 | 5172.39 | 4890.21 |
| | -Ps | hp | -5972.54 | -5713.56 | -5446.84 | -5172.39 | -4890.21 |
| N=163r/min | J=VA/nD | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.47 | |
| | KT | 0.18 | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | |
| | KQ | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | |
| | PTE=KTρ n2D4(1-t)V/145.6 | hp | 2554.95 | 2585.17 | 2582.79 | 2546.86 | 2476.41 |
| | Ps=KQ2π nρ n2D5/75η Sη R | hp | 4836.71 | 4601.53 | 4359.07 | 4109.33 | 3852.30 |
| | -Ps | hp | -4836.71 | -4601.53 | -4359.07 | -4109.33 | -3852.30 |
| N=153r/min | J=VA/nD | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.47 | 0.50 | |
| | KT | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.12 | |
| | KQ | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | |
| | PTE=KTρ n2D4(1-t)V/145.6 | | 2134.83 | 2138.05 | 2109.91 | 2049.44 | 1955.70 |
| | Ps=KQ2π nρ n2D5/75η Sη R | | 3887.65 | 3673.01 | 3451.47 | 3223.01 | 2987.65 |
| | -Ps | | -3887.65 | -3673.01 | -3451.47 | -3223.01 | -2987.65 |

将上述计算结果绘制成航行特性曲线, 如

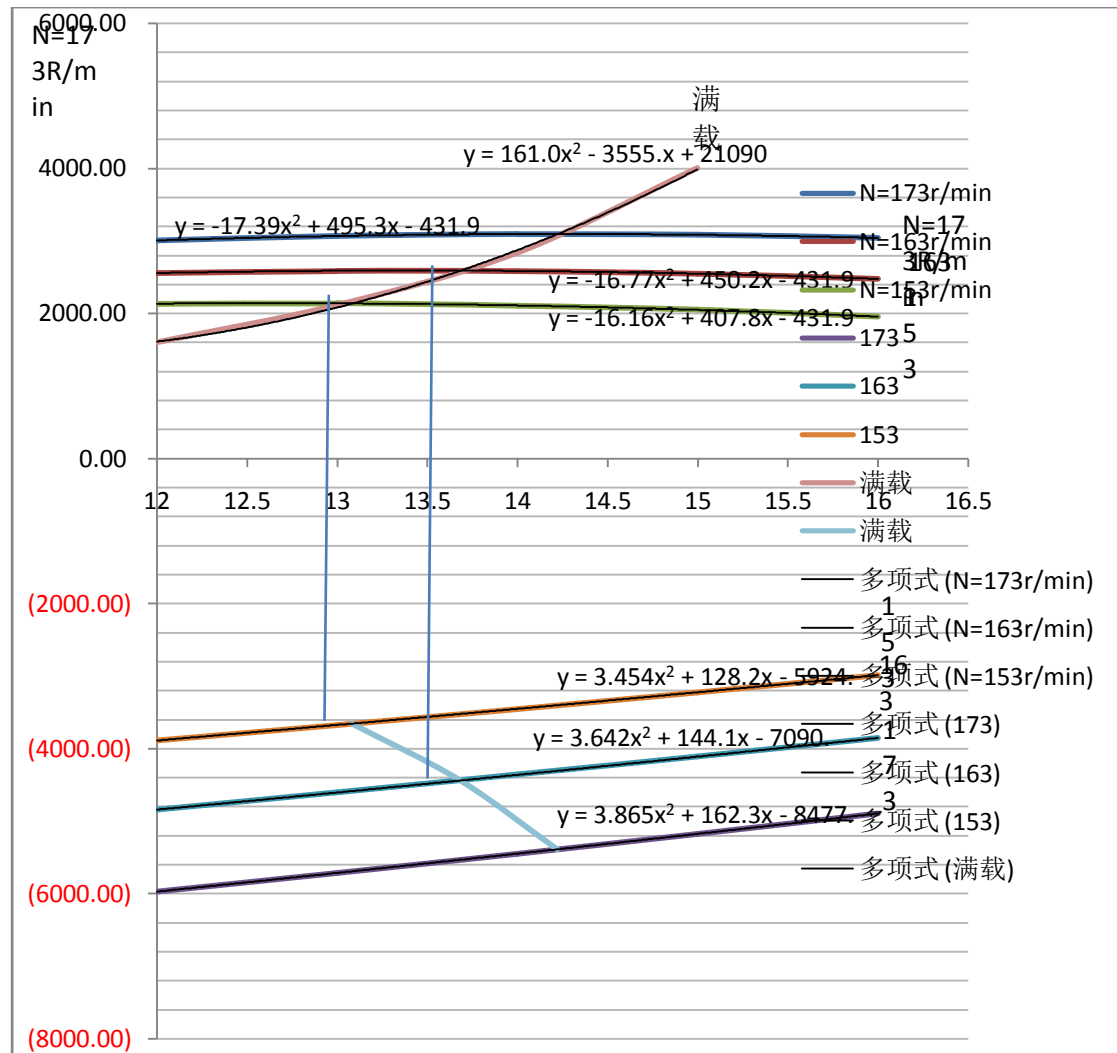


图 7.6: 航行特性曲线

满载航行， $N=173\text{r/min}$ 时，可达最大航速约为 $V=14.2\text{kn}$ ，主机马力为 5387.18hp，与设计要求基本一致。功率储备约 10%。

7.12 螺旋桨设计总结

| | | | |
|-------|-----------------|--------|----|
| 螺旋桨直径 | D= | 4.180 | m |
| 螺距比 | P/D= | 0.682 | |
| 螺距 | P= | 2.850 | m |
| 型式 | | MAU | |
| 叶数 | Z= | 4 | |
| 盘面比 | $A_d=$ | 0.562 | |
| 纵倾角 | $\varepsilon =$ | 8 | ° |
| 螺旋桨效率 | $\eta_0=$ | 0.525 | |
| 设计航速 | $V_{\max} =$ | 14.000 | kn |
| 毂径比 | $d_h/D=$ | 0.180 | |
| 旋向 | | 右旋 | |

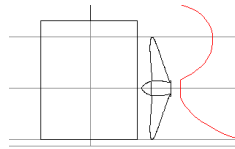
| | | |
|-----|-----------|------------|
| 材料 | 铝镍青铜 | |
| 重量 | 5768.120 | kgf |
| 惯性矩 | 59398.980 | kgf*cm*s^2 |

7.13 间隙设计及校核

采取书 P128 8-17 图所示的布置

$D=4.18\text{m}$
 $a=334\text{mm}$
 $b=835.9\text{mm}$
 $c=627\text{mm}$
 $e=380\text{mm}$
 $d_{0.7R}=878\text{mm}$
 $d_{0.7R'}=794\text{mm}$

根据 CCS 2001 年《钢质海船入级与建造规范》中的要求，进行校核后，间隙满足要求



第八章 结构设计

由于本设计船船长小于 150m，而 2006 年 4 月 1 日起实施的双壳油船共同结构规范（CSR）所要求的是船长在 150m 及以上双壳油船的结构规范，所以本次结构设计以及确定船体构件的尺寸所依据的规范为中国船级社（CCS）颁布的自 2006 年 12 月 1 日生效的《国内航行海船建造规范》[11]。

8.1 概述

本船用于运输闪点小于 60℃ 的原油，主要航行于国内无限制航区，为近海航区。船型为具有单层连续甲板、双层壳和双层底的钢质海船。

本船以货油舱为例进行了结构设计，货油舱区的甲板骨架、船底骨架和内底骨架均为纵骨架式结构。设一道中纵舱壁。中纵舱壁和货油舱横舱壁均为油/水密槽形舱壁，中纵舱壁及横舱壁均采用垂直槽形。

8.1.1 骨材标准间距的要求

肋骨、横梁和纵骨(船底、舷侧和甲板)的标准间距 S_b 应按下式计算(规范 1.2.8):

$$S_b = 0.0016L + 0.5m, \text{ 且 不大于 } 0.70m \quad (8.1)$$

其中，L—船长，本设计船取 120.00m。

本设计船垂线间长为 120.00m，计算得到 S_b 取 0.692m，但是由于本设计船型宽为 20.20m，型深为 10.80m，若按照 0.69m 间距来设置纵骨等骨架，其数量不会比 0.70m 多，而且后续的型材截面尺寸会降低，进而影响总体强度。

8.1.2 确定骨材标准间距

本设计船的船底和舷侧采用双底双壳结构形式，双层底高度为 1.350m，双层壳宽度为 1.00m。货油舱区肋骨间距为 700mm。

船中部货油区，设置四个普通肋位为一个强肋位。纵骨跨距和强横梁间距为 2.80m；船底、内底和甲板纵骨间距为 700mm。

舷侧和内壳纵骨间距为 700mm。

本船结构材料（板材）采用普通强度钢，屈服极限为 235N/mm²。

8.2 货油舱基本结构计算

8.2.1 外板

1) 船底板（规范 5.2.2）

根据 CCS 规范船中 0.4L 区域内的船底板厚度 t 应不小于：

$$t_1 = 0.052s(L_1 + 170)\sqrt{F_b} = 9.44 \quad (8.2)$$

$$t_2 = 4.9\sqrt{hw + 0.8d} = 10.89 \quad (8.3)$$

其中，s—纵骨间距，本设计船取 s=0.70m；

d—吃水，本设计船取 d=7.40m；

L_{pp} —船长，计算时取值不大于 190m，本设计船取 120.00m；

F_d —折减系数， $F_d \geq \sigma_d / [\sigma]$ ，且要求外板不小于 0.7，本设计船取 0.8(根据规范 2.2.5.7 估算)。

$$h_w = 0.2B^{0.66} + \{0.25 + \frac{0.82}{\sqrt{L}}\}C = 4.162 \quad (8.4)$$

其中, B—船宽, 本设计船取 $B=20.20\text{m}$;

L—船长, 本设计船取 $L=120.00\text{m}$;

C—系数(规范 2.2.3.1)。

$$C = 10.75 - \left\{ \frac{300-L}{100} \right\}^2 = 8.335 \quad (8.5)$$

综合考虑实取船底板板厚取 $t=11\text{mm}$ 。

2) 平板龙骨(规范 5.2.3)

在整个货油舱区域内, 平板龙骨得宽度 b 应不小于按下式计算所得之值:

$$b = 900 + 3.5L = 1320\text{mm} \quad (8.6)$$

其中, L—船长, 本设计船取 $L=120.00\text{m}$; 考虑板材型号取平板龙骨得宽度 $b=1800\text{mm}$, 且在整个船长内保持不变。

平板龙骨厚度当 $L \leq 190\text{m}$ 时应不小于 $t = t_0 + 2 = 13\text{mm}$ 。 t_0 为船底板厚度, 本设计船取 $t_0=11\text{mm}$ 。实取平板龙骨厚度 $t=13\text{mm}$ 。

3) 舭列板(规范 5.2.4)

船中部 $0.4L$ 区域内舭列板厚度与船底板厚度相同, 实取舭列板厚度 $t=11\text{mm}$ 。

4) 舷侧外板(规范 5.2.5)

舷侧为纵骨架式时, 船中 $0.4L$ 区域内的舷侧外板厚度 t 应不小于以下要求值。

距基线 $3/4D$ 以上舷侧外板厚度 t 应不小于下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 0.058s(L + 110)\sqrt{F_d} = 8.35\text{mm} \quad (8.7)$$

$$t_2 = 7.1s\sqrt{hw} = 10.14\text{mm} \quad (8.8)$$

其中, L—船长, 本设计船取 $L=120.00\text{m}$;

F_d —折减系数, 本设计船取 0.8 ;

s —纵骨间距, 本设计船取 $s=0.70\text{m}$;

hw —如前所算, 本设计船取 $hw=4.162$ 。

距基线 $1/4D$ 以下舷侧外板厚度 t 应不小于下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 0.06s(L + 110)\sqrt{F_b} = 8.64\text{mm} \quad (8.9)$$

$$t_2 = 5.2s\sqrt{hw + 0.8d - 0.2D} = 10.24\text{mm} \quad (8.10)$$

其中, s —纵骨间距, 本设计船取 $s=0.70\text{m}$;

L—船长, 本设计船取 $L=120.00\text{m}$;

d —吃水, 本设计船取 $d=7.40\text{m}$;

hw —如前所算, 本设计船取 $hw=4.162$;

F_d —折减系数, 本设计船取 0.8 ;

D —型深, 本设计船取 $D=10.8\text{m}$ 。

距基线 $1/4D$ 以上, $3/4D$ 以下舷侧外板厚度应不小于下列两式计算所得之值:

$$t_1 = s[t_{11} + (t_{12} - t_{11})h] = 8.50\text{mm} \quad (8.11)$$

$$t_2 = s[t_{21} + (t_{22} - t_{21})h] = 10.19\text{mm} \quad (8.12)$$

$$\text{其中: } t_{11} = \frac{t_{1,z=0.25D}}{S_{z=0.25D}} = 12.34\text{mm};$$

$$t_{12} = \frac{t_{1,z=0.75D}}{S_{z=0.75D}} = 11.93\text{mm};$$

$$t_{21} = \frac{t_{2,z=0.25D}}{S_{z=0.25D}} = 14.64\text{mm};$$

$$t_{22} = \frac{t_{2,z=0.75D}}{S_{z=0.75D}} = 14.48\text{mm};$$

$$h = \frac{Z - 0.25D}{0.5D};$$

$S_{z=0.25D}$ — $0.25D$ 处的纵骨间距, 本设计船取 $S_{z=0.25D} = 0.70\text{m}$;

$S_{z=0.75D}$ —0.75D 处的纵骨间距, 本设计船取 $S_{z=0.75D} = 0.70\text{m}$;

$t_{1,z=0.25D}$ —0.25D 处 t_1 板的厚度, 本设计船取 $t_{1,z=0.25D} = 8.64\text{mm}$;

$t_{1,z=0.75D}$ —0.75D 处 t_1 板的厚度, 本设计船取 $t_{1,z=0.75D} = 8.35\text{mm}$;

$t_{2,z=0.25D}$ —0.25D 处 t_2 板的厚度, 本设计船取 $t_{2,z=0.25D} = 10.24\text{mm}$;

$t_{2,z=0.75D}$ —0.75D 处 t_2 板的厚度, 本设计船取 $t_{2,z=0.75D} = 10.14\text{mm}$ 。

S—计算点处的纵骨间距, 本设计船取 0.70m ;

D—型深, 本设计船取 $D=10.80\text{m}$;

Z—计算点至基线的距离。

据以上结果, 考虑结构强度要求舷侧外板厚度统一, 实取舷侧外板厚度为 $t=11\text{mm}$ 。

5) 舷顶列板 (规范 5.2.6)

舷顶列板宽度不小于 $0.1D=1.08\text{m}$, 实取 1.50m 。

在船中部 0.4L 区域内, 舷顶板厚度 t 应不小于按下列两式计算所得之值, 且应不小于相邻舷侧外板的厚度:

$$t_1 = 0.060s(L + 110)\sqrt{F_b} = 8.64\text{mm} \quad (8.13)$$

$$t_2 = 0.9s\sqrt{L + 75} = 8.80\text{mm} \quad (8.14)$$

其中, s —纵骨间距, 本设计船取 $s=0.70\text{m}$;

L —船长, 本设计船取 $L=120.00\text{m}$;

F_d —折减系数, 本设计船取 $F_d=0.8$ 。

考虑到舷顶列板厚度不能小于相邻外板厚度, 实取舷顶列板厚度 $t=10\text{mm}$ 。

6) 舭龙骨 (规范 2.3.8)

根据《规范》2.3.8, 舭龙骨应链接在一根连续的扁钢上, 舭龙骨和扁钢不能突然中断, 应逐渐减小, 且在端点处的船体内应有适当的内部支持。

由于缺少相关资料, 舭龙骨参考母型船设计为 $\perp \frac{14 \times 250}{14 \times 75}$, 扁钢采用 HP220×10 型球扁钢。

8.2.2 甲板

1) 强力甲板 (规范 5.3.2)

船中 0.4L 区域内甲板厚度应不小于按下列两式计算所得之值:

$$t_1 = 0.060s(L + 110)\sqrt{F_b} = 8.64\text{mm} \quad (8.15)$$

$$t_2 = 0.9s\sqrt{L + 75} = 8.80\text{mm} \quad (8.16)$$

其中, s —甲板纵骨间距, 本设计船取 $s=0.70\text{m}$;

L —船长, 本设计船取 $L=120\text{m}$;

F_b —折减系数, 本设计船取 $F_b = 0.8$ (规范 2.2.5.7)。

船中部强力甲板厚度应在船中部 0.4L 区域内保持相同, 并逐渐向端部甲板厚度过渡。

实取甲板厚度为 $t=9\text{mm}$ 。

2) 甲板边板 (规范 5.3.3)

在船中部 0.4L 区域内的甲板边板宽度应不小于 $b=6.8L+500=1316\text{mm}$, 实取甲板边板宽度 1500mm 。

强力甲板边板在端部的宽度应不小于船中部宽度的 65%, 即 $b'=0.65b=855.4\text{mm}$, 强力甲板边板厚度应不小于强力甲板厚度, 所以实取甲板边板厚度为 $t=11\text{mm}$ 。

8.2.3 双层底结构

1) 船底桁材 (规范 5.4.2)

本设计船设置箱型中桁材。中桁材高度 h_0 在任何情况下应不小于 700mm, 且不小于按下式计算所得之值:

$$h_0 = 25B + 42d + 300 = 1115.8\text{mm} \quad (8.17)$$

设计船双层底高度为 $h=1500\text{mm}$, 所以中桁材高度实取为 $h_0 = 1500\text{mm}$ 。

箱型中桁材 (规范 5.4.2.4) 的厚度应不小于按下式计算所得之值, 且不小于水密肋板的厚度 11mm:

$$t=0.008h_0 = 8.93\text{mm} \quad (8.18)$$

实取箱型中桁材厚度 $t=11\text{mm}$ 。

2) 旁桁材 (规范 5.4.2.6) 的厚度应不小于按下式计算所得之值:

$$t = 0.007h_0 + 1.0 = 8.81\text{mm}, \text{ 但不必大于 } 14\text{mm}$$

实取旁桁材厚度 $t=9\text{mm}$ 。

根据《规范》5.4.2.7, 对于船宽大于 20m 的船舶, 中纵剖面两侧至少应各设 2 道旁桁材 (包括扩底边舱处旁桁材在内)。

对于本设计船, 左右两侧在距中纵剖面 4.20m 处和底边舱斜板下各设一道旁桁材, 厚度取为 9mm。

3) 箱型中桁材及旁桁材两侧应该设置水平加强筋 (规范 5.12.2.5)。

水平加强筋惯性矩应满足下式:

$$I = 2.85l^2A = 3924.95\text{cm}^4$$

其中, l —加强筋跨距, 本设计船取 2.80m;

A —加强筋连同带板的横剖面积, 本设计船取 $A=175.66\text{cm}^2$ 。

选择 HP200×10, $I_x = 4431.32\text{cm}^4 > 3924.94\text{cm}^4$ 满足规范要求。

对于旁桁材来说, 因为旁桁材上要有开口, 所以选择与母型船相同的扁钢, 尺寸为 FB200×12, 其惯性矩满足规范要求。

4) 船底肋板 (规范 5.4.3)

根据《规范》2.6.11.1, 在机舱、锅炉座下及推力轴承座下应在每个肋位设置实肋板; 横舱壁以及支柱下应设置实肋板; 距首垂线 0.2L 以前区域应在每隔 1 个肋位上设置实肋板; 其余区域实肋板间距应不大于 3.60m。

本船货油舱区每隔 4 个肋位上设实肋板, 横舱壁所在肋位也设实肋板。

根据《规范》5.4.3.2, 实肋板标准间距一般不大于 $0.006L+3.2=3.92\text{m}$, 本船实肋板间距取 2.80m。

根据《规范》5.4.3.3, 实肋板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值, 但不必大于 14mm:

$$t=0.007h_0 + 1.0 = 8.81\text{mm}$$

本船实肋板厚度取 $t=9\text{mm}$ 。

根据《规范》5.4.3.5, 实肋板上船底纵骨与内底纵骨之间设置扶强材。

5) 水密肋板 (规范 2.6.6)

水密肋板厚较实肋板厚增加 2mm 但不必大于 15mm。

本船取水密肋板厚度 $t=11\text{mm}$, 在横向水密舱壁下及双层底内各舱分舱处肋位上均设置水密肋板, 且水密肋板上设置垂直加强筋。

6) 船底纵骨 (规范 5.4.5)

船底纵骨最大间距应不大于 1m, 本船取为 $s=0.70\text{m}$ 。

船底纵骨剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = 11.5sdl^2 = 467.03\text{cm}^3 \quad (8.19)$$

其中, s —纵骨间距, 本设计船取 0.70m ;

d —吃水, 本设计船吃水为 7.40m ;

l —纵骨跨距, 本设计船取 2.80m (以下相同)。

采用 HP260×12, 剖面模数 $W_x = 493\text{cm}^3 > 441.78\text{cm}^3$, 满足规范要求。

7) 内底板和内底纵骨 (规范 5.4.6)

内底板的厚度 t 应不小于按下式计算所得之值:

$$t_1 = \frac{s}{70} \times 10^3 = 10.00\text{mm} \quad (8.20)$$

$$t_2 = 4s\sqrt{h} + 2.5 = 11.04\text{mm} \quad (8.21)$$

其中, s —内底纵骨间距, 本设计船取 $s=0.70\text{m}$;

h —纵中剖面处内底板至舱顶的垂直距离取为 9.30m 。

所以实取内底板厚度 $t=12\text{mm}$ 。

根据《规范》5.4.6.2, 内底纵骨应与对应的船底纵骨位于同一垂直剖面内。

根据《规范》5.4.6.3, 内底纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$w = 8.4s(h + 1.2)l^2 = 484.04\text{cm}^3 \quad (8.22)$$

内底纵骨采用 HP260×12, 剖面模数 $W_x = 493\text{cm}^3 > 484.04\text{cm}^3$, 满足规范要求。

8) 底边舱斜板及斜板纵骨 (规范 5.4.7)

底边舱斜板的厚度应不小于按下式计算所得之值且尚应不小于相邻的内壳板和内底板的厚度:

$$t_1 = \frac{s}{70} \times 10^3 = 10\text{mm} \quad (8.23)$$

$$t_2 = 4s\sqrt{h} + 2.5 = 11.04\text{mm} \quad (8.24)$$

其中, s —斜板纵骨间距, 本设计船取 $s=0.70\text{m}$;

h —列板下缘至纵中剖面处舱顶水平面的垂直距离, 本设计船取 $h=9.30\text{m}$ 。

实取底边舱斜板厚度为 $t=12\text{mm}$ 。

斜板纵骨的剖面模数应不小于按下式计算所得之值, 且应不小于相邻内壳板纵骨的剖面模数:

$$w = 8.4s(h + 1.2)l^2 = 484.04\text{cm}^3 \quad (8.25)$$

其中, l —纵骨跨距, 本设计船取 2.80m ;

h —斜板纵骨至纵中剖面处舱顶的垂直距离, 本设计船取 $h=9.3\text{m}$;

s —斜板纵骨间距, 本设计船取 $s=0.70\text{m}$ 。

斜板纵骨采用 HP260×12, 剖面模数 $W_x = 493\text{cm}^3 > 484.04\text{cm}^3$, 满足规范要求。

8.2.4 双壳结构

根据《规范》5.5.2.1, 双壳内一般应为纵骨架式, 在舷侧板和内壳板上均设置纵骨。双壳内与货油舱横舱壁水平桁材同样高度处设置纵向连续的平台。在底边舱顶部高度处设平台。平台和货油舱横舱壁的水平桁材和纵舱壁的水平桁材应形成水平强框架结构。

根据《规范》5.5.2.2, 双壳内在货油舱横舱壁同一平面处设置横框架或横隔板。

本船双壳内设为纵骨架式, 在舷侧板和内壳板上均设置纵骨, 双壳内在 2.8m

和 7.0m 处设置纵向连续的平台。

1) 舷侧纵骨 (规范 5.5.3)

舷侧纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$w = 7.2s(h + 1.2)l^2 \quad (8.26)$$

其中, s —纵骨间距, 舷侧纵骨间距取为 0.70m ;

h —从舷侧计算纵骨至上甲板边线的垂直距离 m;

l —舷侧纵骨的跨距, 本设计船取 2.80m。

当 $h=8.50\text{m}$ 时, $W=383.3\text{cm}^3$ 。

当 $h=7.90\text{m}$ 时, $W=359.6\text{cm}^3$ 。

当 $h=6.50\text{m}$ 时, $W=304.3\text{cm}^3$ 。

当 $h=3.70\text{m}$ 时, $W=193.6\text{cm}^3$ 。

当 $h=2.40\text{m}$ 时, $W=142.2\text{cm}^3$ 。

当 $h=0.60\text{m}$ 时 $W=71.1\text{cm}^3$ 。

距离船底 4.00m 以下的舷侧肋骨采用 HP240×12, 剖面模数 $W_x = 390.83\text{cm}^3$ 的球扁钢, 距船底 4.00m 以上 7.00m 以下采用 HP220×12, 剖面模数 $W_x = 317.01\text{cm}^3$ 的球扁钢, 距底 7.00m 以上用 HP200×10, 剖面模数 $W_x = 229.52\text{cm}^3$ 的球扁钢, 均满足规范要求值。

内壳板及其纵骨 (规范 5.5.4)

内壳板厚度应不小于按下式计算所得之值:

$$t = 3.75s\sqrt{h} + 2.5 = 10.51\text{mm} \quad (8.27)$$

在距甲板 0.1D 范围内应不小于按下式计算所得之值:

$$T = 3.75s\sqrt{D} + 2.5 = 11.13\text{mm} \quad (8.28)$$

其中, s —纵骨间距, m;

h —板列下缘至纵中剖面处舱顶的垂直距离但不小于 0.4Dm;

D —型深, 本设计船取 10.4m。

在距船底 8.50m 以下, 内壳板厚度取为 $t=10\text{mm}$ 。

在距船底 8.50m 至强力甲板间, 内壳板厚度取为 $t=11\text{mm}$ 。

内壳板纵骨设置根据《规范》5.8.4.4 与舷侧纵骨设置间距相同, 其剖面模数 W 满足公式与舷侧纵骨相同, 由于内壳板厚度大于舷侧外板厚度, 且在设计舷侧纵骨时, 有冗余设计, 完全满足内壳板纵骨对于剖面模数的要求, 所以内壳板纵骨尺寸和垂向位置均与舷侧纵骨相同。

2) 平台 (规范 5.5.5)

根据《规范》5.5.5.1, 双壳内与货油舱横舱壁的水平桁材同一高度设置的非水密平台的厚度应满足最小厚度要求。货油舱区域 (包括边压载舱、货油舱区两端和货油舱间的隔离空舱) 内主要构件的腹板和面板以及外板、甲板、舱壁板和内壳板的最小厚度 t 应不小于按下式计算所得之值:

$$T = 6.5 + L/50 = 8.9\text{mm}, \text{取 } 9\text{mm}。 \quad (7.29)$$

其中, L —船长, 本船 $L=120.00\text{m}$ 。

参考母型船平台的设置, 本船在距基线 2.80m 和 7.00m 高度处各设一板厚为 9mm 的平台。

8.2.5 甲板骨架

1) 强横梁 (规范 5.6.1)

强横梁的剖面模数

在每个设有实肋板的平面内设置强横梁, 货油舱区强横梁间距为 2.80m。强横梁的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = CLS(l+1) = 6713.28 \text{ cm}^3 \quad (8.30)$$

其中, c —系数, 中间油舱 $C=1.8$;

S —强横梁间距, 本设计船取 2.80m;

L —船长, m。计算时取值应不小于 65m, 但不必大于 190m, 本设计船取 120.00m;

l —强横梁跨距, 此处取半型宽 10.1m。

强横梁的剖面惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值:

$$I = 7.5Wl = 508530.96 \text{ cm}^4 \quad (8.31)$$

2) T 型材设计

按照《毕业设计指导书》提供的设计公式进行 T 型材的各要素设计。

带板的有效面积 S_a 应不小于按下式计算所得之值:

$$S_a = 10fbt_p = 177.8 \text{ cm}^2 \quad (8.32)$$

其中, f —系数, 本设计船取 $f=0.3(l/b)^{\frac{2}{3}} = 0.706$;

b —主要构件所支承的面积的平均宽度, 这里指强横梁所支承甲板平均宽度, 即为强横梁间距, 本设计船取 $b=2.8\text{m}$;

l —主要构件的长度, 这里指强横梁跨度, 本设计船取 $l=10.1\text{m}$;

t_p —带板的平均厚度, 这里指强力甲板的平均厚度, 本设计船取 $t_p = 9\text{mm}$ 。

确定强横梁腹板高度 d :

$$d = 1.212\sqrt{W/e} \quad (8.33)$$

其中, W —强横梁要求的剖面模数, 本设计船取 $W=6713.28\text{cm}^3$; e —腹板厚度, 取与母型一致的腹板厚度, 本设计船取 $e=1.10\text{cm}$ 。

代入相关数据计算得 $d=94.7\text{cm}$, 实取 $d=100\text{cm}$ 。

根据要求腹板厚度 e 应不小于 $0.01d=10.8\text{mm}$, 本设计船取 $e=11\text{mm}$ 满足要求。

2) T 型材面板设计

T 型材面板横剖面面积由下式确定:

$$S = \frac{\alpha+1}{\alpha+2} * \frac{W}{d} = 43.48 \text{ cm}^3 \quad (8.34)$$

其中, α —本设计船取 $\alpha = \frac{ed}{S_a} = 0.59$;

S_a —带板面积, 即 a) 中的 A 值, 本设计船取 $S_a = 177.8\text{cm}^2$;

e, d —同公式 (8.34)。

取面板厚度为 $t=18\text{mm}$, 则面板宽度 $b=S/t=24.16\text{cm}$, 实取 $b=25\text{cm}, s=45\text{cm}^3$ 。

货舱区强横梁选取 $\perp \frac{11 \times 1000}{18 \times 240}$

其剖面模数:

$$W = \frac{d}{10} \left\{ S + \frac{f_s}{6} \left[1 + \frac{2(S_a - S)}{2S_a + f_s} \right] \right\} = 7569 \text{ cm}^3 > 6713 \text{ cm}^3 \quad (8.35)$$

其剖面惯性矩

$$I = \frac{d^2}{100} \left(\frac{f_s}{3} + \frac{S_a S - 0.25 f_s^2}{S_a + S + f_s} \right) = 511868 \text{ cm}^4 > 508530.96 \text{ cm}^4 \quad (8.36)$$

其中,

d —腹板高度, 本设计船取 1000mm;

S —面板横剖面积, 本设计船取 45cm^3 ;

S_a —带板剖面积, 本设计船取 177.8cm^2 ;

f_s —腹板剖面积, 本设计船取 110.00 cm^2 。

所以 T 型材满足设计规范要求。

3) 甲板纵骨 (规范 5.6.3)

甲板纵骨的剖面模数 W 应不小于按下式计算所得之值:

$$W = CSl^2 = 230.50\text{ cm}^3 \quad (8.37)$$

其中, S —纵骨间距, 本设计船取 0.70 m ;

l —纵骨跨距, 本设计船取 2.80 m ;

C —系数取下列的较大值 $C=0.35L$ 其中 L 为船长, 本船取 $C=42$ 。

甲板纵骨采用 HP240×10, 剖面模数 $W_x = 354.66\text{ cm}^3 > 230.50\text{ cm}^3$, 满足规范要求。

8.2.6 垂直槽型油密纵舱壁

本船应采用垂直槽形油密纵舱壁, 参考母型船设计船取槽形斜面部分与平面部分的夹角 $\alpha=72^\circ$, 槽形平面部分宽度 a 取为 0.70 m , 槽形斜面部分宽度 b 为 0.74 m , 槽形深度 dw 取为 0.70 m , 一个槽形宽度 s 取为 1.86 m 。

确定垂直槽型纵舱壁板的厚度 (规范 5.8.2)

纵舱壁板厚度 t 应不小于按下列各式计算所得之值:

$$t = 3.75s\sqrt{h} + 2.5 = 10.96\text{ mm} \quad (7.38)$$

$$t = 3.75s\sqrt{D} + 2.5 = 11.62\text{ mm} \quad (7.39)$$

其中, s —取槽形平面部分或斜面部分宽度之较大者, 本设计船取 0.74 m ;

h —板列下缘至纵中剖面处舱顶的垂直距离, 但不小于 $0.4D$, 本设计船取

9.30 m ;

D —型深, 本设计船取 10.80 m 。

实取厚度为 $t=12\text{ mm}$ 。

计算及检验槽型纵舱壁的剖面模数 W 及惯性矩 I

规范要求值:

$$W = 8.8s(h + 1.2)l^2 = 7036\text{ cm}^3 \quad (8.40)$$

$$I = 28S(h + 1.2)l^3 = 190302.6\text{ cm}^4 \quad (8.41)$$

其中, s —一个槽形宽度, 本设计船取 1.86 m ;

h —自槽条跨距中点至纵中剖面处舱顶的垂直距离, 本设计船取 4.75 m ; h 应不小于 2.50 m ;

l —槽条跨距, 本设计船取 8.50 m 。

实际槽型舱壁计算值:

$$W = d_w t \left(\alpha + \frac{b}{3} \right) = 7952\text{ cm}^3 > 7036\text{ cm}^3 \quad (8.42)$$

$$I = \frac{1}{20} d_w^2 t \left(\alpha + \frac{b}{3} \right) = 278320\text{ cm}^4 > 190302\text{ cm}^4 \quad (8.43)$$

其中, a —槽形平面部分宽度, 本设计船取 0.70 m ;

b —槽形斜面部分宽度, 本设计船取 0.74 m ;

dw —槽形深度, 本设计船取 700 mm ;

t —槽形舱壁板厚度, 本设计船取 12 mm ;

α —槽形斜面部分与平面部分的夹角 72° 。

根据以上计算, 槽型纵舱壁剖面模数和惯性矩满足规范要求。

顶凳和底凳 (规范 5.10.2)

由于本船选择了垂直槽型纵舱壁, 而且双层底内设有箱型中桁材, 底凳宽度

| | | | | | | | |
|------|------|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 中纵舱壁 | 底凳平板 | 12×740 | 89 | 2.93 | 260 | 762 | |
| | 底凳斜板 | 2×12×2100 | 504 | 1.97 | 990 | 2131 | 185 |
| | 槽型舱壁 | 2×12×7600 | 1824 | 5.60 | 10214 | 65980 | 8780 |
| | 顶凳平板 | 12*700 | 84 | 9.70 | 815 | 7904 | |
| | 顶凳侧板 | 2×10×1500 | 300 | 10.45 | 3135 | 32817 | 56 |
| Σ | | | 17070 | | 87041 | 673374 | 33503 |

综合表 8.1 的数据可以得出：

中剖面面积：

$$A = 17070 \text{ cm}^2 \quad (8.44)$$

静力距总和：

$$B = 87041 \text{ cm}^2 \text{ m} \quad (8.45)$$

中剖面中和轴距船底：

$$e = \frac{B}{A} = 5.099 \text{ m} \quad (8.46)$$

中剖面惯性：

$$I = 2.30 \times 10^9 \text{ cm}^4 \quad (8.47)$$

主甲板最顶端距中和轴：

$$Z = 10.8 - 5.099 = 5.701 \text{ m} \quad (8.48)$$

中剖面处最小剖面模数：

$$W_{\min} = \frac{I}{Z} = 40265 \text{ cm}^3 \text{ m} \quad (8.49)$$

根据（规范 2.2.5.1）要求，船中最小剖面模数 W_0 和惯性距 I_0 应不小于按下式计算所得之值：

$$W_0 = CL^2 B (C_b + 0.7) = 3.5 \times 10^6 \text{ cm}^3 \quad (8.50)$$

其中， C —系数，本设计船取 8.335； $C = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^2$ ；

C_B —方形系数，本设计船取 $C_B = 0.744$ ；

L —船长，本设计船取 120m；

B —船宽，本设计船取 20.20m。

船中剖面对水平中和轴惯性矩 I 应不小于按下式计算所得之值：

$$I_0 = 3W_0 L = 1.26 \times 10^9 \text{ cm}^4 \quad (8.51)$$

其中， W_0 —按规范 2.2.5.1 计算所得的船中最小剖面模数， cm^3 ；

L —船长，本设计船取 120m。

可见 $W_{\min} > W_0$ 且 $I > I_0$ ，均满足《规范》要求，因此结构设计满足要求。

8.4 典型横剖面图的绘制

货油舱区选取 87 肋位（普通肋位）和 90 肋位（强肋位）绘制典型横剖面图，具体见附图 6。

参 考 文 献

- [1] 王世连, 刘寅东. 船舶设计原理. 大连: 大连理工大学出版社, 2000.
- [2] 刘寅东, 谢新连. 船舶设计原理. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [3] 顾敏童. 船舶设计原理. 上海: 上海交通大学出版社, 2001.
- [4] 陈可越. 船舶设计实用手册. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [5] 李树范. 运输船舶可行性分析. 大连: 大连理工大学出版社, 1990.
- [6] 李树范. 技术经济和船型论证. 大连: 大连理工大学出版社, 1999.
- [7] 杨永祥, 管以锋. 船体制图. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [8] 杨星. 船舶结构与设备. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2007.
- [9] 金永兴, 伍生春. 船舶结构与设备. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [10] 盛振邦, 刘应中. 船舶原理. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.
- [11] 中国船级社. 国内航行海船建造规范. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [12] 陈铁云, 陈伯真. 船舶结构力学. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [13] 李树范, 纪卓尚, 刘寅东. 大型油船主尺度论证模型及决策方法. 中国造船工程学会船舶设计学术委员会年会论文集, 1998, 10:1-11.
- [14] 岳兴旺, 戴冉. 大型油船船舶尺度的相关性研究. 中国航海, 2005, 2(63):8-10.
- [15] 王文飞. 7000DWT 成品油船型线设计. 广东造船, 2007, 3(98):35-37.
- [16] 王小武. 55000DWT 原油/成品油船总布置设计. 广船科技, 2010, 3(109):15-19.
- [17] Tian Ran Lina, Jie Panb, Peter J. O'Sheaa and Chris K. Mechefskec. A study of vibration and vibration control of ship structures. Marine Structures, 2009(10). 22-4.
- [18] A. T. EL-Sayeda, M. Kamelb and M. Eissab. Vibration reduction of a pitch-roll ship model with longitudinal and transverse absorbers under multi excitations. Mathematical and Computer Modelling, 2010(11). 52-(9-10).

附录 A 附录内容名称

- 附图 1: 10000DWT 原油船型线图;
- 附图 2: 10000DWT 原油船总布置图;
- 附图 3: 10000DWT 原油船静水力曲线图;
- 附图 4: 10000DWT 原油船稳性横截曲线图;
- 附图 5: 10000DWT 原油船螺旋桨总图;
- 附图 6: 10000DWT 原油船典型横剖面图。

致 谢

毕业设计是对于大学四年来学过的基础知识和专业知识的回顾与总结，其内容覆盖了本科阶段所有的专业知识和部分的非专业知识。本次毕业设计共历时四个月，在这四个月中，本人积极学习和研究毕业设计涉及的相关知识，并且以此为基点拓展一些与本专业有关的知识。

在毕业设计的四个月过程中，本人受到了诸多老师的帮助与支持，借此机会，对以下老师表示感谢。

感谢王运龙（副教授）老师的帮助。王运龙老师在整个毕业设计的过程中组织我们的学习和讨论工作，付出了很多。此外，王老师对于本人的严格要求和对于本人的毕业设计的肯定，鼓励着本人，使本人在四个月的过程中一直积极认真一步一步踏踏实实地完成了设计工作。

感谢王世连（教授）老师的帮助。王世连老师对于本人毕设帮助主要是对于设计细节上的建议。王老师经验非常丰富，尤其是对于船体的设计，是这方面的专家。在设计过程中，老师不断对于本人细节上的指导，使本人的工作非常顺利而且高效。

感谢杨飏老师的辛勤监督，记得每次杨飏老师都提前到，与我们聊天关心我们的进度，认真为每次小组讨论做记录。

感谢组长赵红，以及其他组员从他们那里我不仅学到了很多专业的知识，还有认真的态度。