

8200DWT成品油轮船型设计

刘江¹ 费国华²

1. 中国船级社实业有限公司重庆分公司 重庆 400000

2. 中船澄西船舶修造有限公司 江苏 无锡 214000

摘要: 随着全球经济联系的日益紧密,各种成品油的中转仓储需要越来越多的中型成品油船。我国经济较为发达的东部沿海地区以及靠近我国的日本、韩国、东南亚地区对这种中型成品油船的需求更是旺盛。船型中等的8200DWT成品油轮显然有着很大的发展前景。因此,研究8200DWT成品油轮有很大的现实意义。

关键词: 成品油轮; 船型设计; 总布置设计; 型线设计

引言: 本文在深入分析任务书和调研的基础上,主要从8200DWT成品油轮的船型设计、主要性能的校核、总布置和型线设计等方面,通过绘图与计算,得出有关的经济技术指标,进行比较鉴别,确定出一个能够满足设计任务书要求的方案和技术依据。

1 8200DWT 成品油船船型设计

1.1 船舶主要要素的确定

本设计根据8200DWT成品油船总体设计任务书要求,查阅类似船型的主要要素并进行对比分析,认为该船既要满足油船的总布置要求,又要充分考虑油船的舱容以及船舶快速性的要求,这是设计过程应重点解决的问题。

1.2 母型船资料

通过调研,搜集相关船型资料,得到了一艘比较有代表性的7000DWT成品油轮,决定以它作为母型船资料。

7000DWT成品油轮

总长	115.00m
两柱间长	109.00m
型宽	17.60m
型深	8.70m
吃水	6.80m
排水量	10120t
载重量	7000t
主机/功率	G8300ZC30/2206KW
设计航速	11.5kn
续航力	4000n.miles
船员	17P
货舱总容积	~8190m ³
空船重量分类	
W_h	1439.86t
W_f	713.78t
W_m	307.66t

该船为球首球尾、单机单桨、尾机型、单甲板、双壳成品油船,用于成品油(闪点 < 60℃)运输。航行性能优良,是一艘优秀的母型船。

1.3 本船的航区及用途

本船航行于中国近海及日韩、东南亚航线,用于运载成品油(闪点 < 60℃)。

1.4 本船船型及功率航速初定

根据母型船及现有船型资料,本船采用球首球尾,单机单桨,尾机型,设单甲板、双壳、双层底,划10个货油舱。

根据航速要求及母型船资料,航速初定为13kn,主机功率初定为3500Kw。

1.5 初步选择设计船的主要要素

船舶的主要要素L、B、D、T、C_b受到航道、码头和建造修理条件,各项技术性能,船东的要求和设计者所采取的技术措施,货源、运价、造价、油价等经济因素的影响。各主要要素之间相互联系,相互制约,因此选择主要要素,必须对各种因素进行综合分析,找出主要影响因素。

设计船初选主要要素时,首先要立足设计任务书中对尺度的限制条件,再结合母型船,并按照以下相关公式^[1]加以计算后确定。

1.5.1 母型船载重量的计算

$$\Delta_0 = 10120t, L_w = 2461.3t$$

$$D_{w0} = \Delta_0 - L_w = 7658.7t$$

1.5.2 利用载重量系数法粗估排水量

$$\frac{D_{w0}}{\Delta_0} = \frac{D_w}{\Delta}$$

$$\Rightarrow \frac{D_w \cdot \Delta_0}{D_{w0}} = \frac{10120 \times 8500}{7658.7} = 11231.7t$$

1.5.3 船长L的选取与快速性、经济性等关系较大,

利用母型船数据换算求得新船船长L

$$L = L_0 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{\frac{1}{3}} = 109 \times \left(\frac{11708.3}{10120} \right)^{\frac{1}{3}} = 112.86$$

1.5.4 求得型宽B

$$B = B_0 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{\frac{1}{3}} = 17.6 \times \left(\frac{11708.3}{10120} \right)^{\frac{1}{3}} = 18.2$$

1.5.5 求得吃水d

$$d = d_0 \left(\frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^{\frac{1}{3}} = 6.8 \times \left(\frac{11708.3}{10120} \right)^{\frac{1}{3}} = 7.04$$

1.5.6 方形系数 C_b 的选取与快速性、经济性的影响较大,运用公式求得

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{gl}} = \frac{13 \times 0.5144}{\sqrt{9.8 \times 112.86}} = 0.201$$

C——系数,可取1.08

考虑到 C_b 计算值和母型船 C_{b0} 相差很小,所以取 $C_b = C_{b0} = 0.75$

1.5.7 型深可根据比例相似求得

$$D = \frac{D_0 d}{d_0} = \frac{8.7 \times 7.04}{6.8} = 9.0m$$

1.6 排水量的校核

空船重量一般包含钢材、舾装、机电设备重量。主要要素初步定下以后,可利用公式进行估算,也可以根据母型船的空船重量进行分项对比分析,这里采用后者。

1.6.1 由浮性方程计算排水量

满载排水量 $\Delta = \omega \nabla = \omega k L B T C_b$

式中: ω ——水的重量密度(t/m^3),海水为1.025

∇ ——满装载情况下的型排水体积(m^3)

k ——附体体积系数,通常为1.004-1.01。

L, B, T, C_b ——分别为船长,型宽,吃水,方形系数。本船取 $k=1.01$

$$\Delta = 1.025 \times 1.01 \times 112.86 \times 18.2 \times 7.04 \times 0.75 = 11227.7t$$

1.6.2 由母型分析法得到排水量^[1]

设计船总重 $M = L_w + D_w$, D_w 为8200t,此处应估算设计船空船重量 L_w

(1) 设计船与母型船大体上几何相似的,这里采用立方模数法估算 W_h

$$C_{h2} = \frac{W_{h0}}{L_0 B_0 D_0} = \frac{1439.86}{109 \times 17.6 \times 6.8} = 1.1104$$

则新船

$$W_h = L B D C_{h2} = 112.86 \times 18.2 \times 7.04 \times 0.1104 = 1596.44t$$

(2) 同样,立方模数法估算 W_o

$$C_{h2} = \frac{W_{o0}}{L_0 B_0 D_0} = \frac{713.78}{109 \times 17.6 \times 6.8} = 0.0547$$

则新船

$$W_o = L B D C_{o2} = 112.86 \times 18.2 \times 7.04 \times 0.0547 = 791t$$

(3) 按主机功率估算 W_m

$$C_m = \frac{W_{m0}}{(P_{D0} / 0.7355)^{0.5}} = \frac{307.66}{(2206 \div 0.7355)^{0.5}} = 5.62$$

则新船

$$W_m = 5.62 \times \left(\frac{3500}{0.7355} \right)^{0.5} = 387.69t$$

(4) 设计船总重计算

$$\Delta_2 = L_w + D_w = 1596.44 + 791 + 387.69 + 8500 = 11275.13t$$

1.6.3 排水量的校核

计算所得设计船总重与由浮性方程得到的排水量相差不大,认为新船排水量符合要求。

$$\Delta_2 > \Delta_1$$

$$\frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\Delta_1} \times 100\% = \frac{11275.13 - 11227.7}{11227.7} = 0.42\% < 0.5\%$$

1.7 舱容校核

对于货船,核算舱容时主要考虑货舱容积的平衡。

载货量

$$W_c = D_w - \sum W_i$$

1.7.1 计算新船 $\sum W_i$

(1) 船员及行李:船员每人按75公斤计算,行李按每人45公斤计算,船员取17人。

$$W_1 = 17 \times (75 + 45) = 2.04t$$

(2) 淡水和食品总储备量:每人每天定量按52公斤计算。

$$W_2 = 30 \times 17 \times 52 = 26.52t$$

(3) 燃油储备量根据主机功率、续航力、航速、油耗等计算,辅机油耗取主机油耗的15%。

$$W_3 = g_0 p_1 k \cdot 10^{-3} = 0.2 \times 3500 \times 30 \times 1.1 \times 10^{-3} \times 24 = 554.4t$$

辅机油量取主机的15%

$$W_4 = 554.4 \times 15\% = 83.16t$$

润滑油取燃油储备总量的3%

$$W_5 = (554.4 + 83.16) \times 3\% = 19.13t$$

备品和供应品取空船的1%—2%,母型船为36.92t,本船比母型船略大,取 W_6 为40t。

则新船的载货量

$$W_c = D_w - \sum w_i = 8500 - 2.04 - 26.52 - 554.4 - 83.16 - 19.13 - 40 = 7774.75$$

1.7.2 新船所需舱容计算

新船所需舱容应考虑轻质油,密度取 $0.71t/m^3$, k_c 取0.97。

$$V = \frac{W_c}{\rho k_c} = \frac{7774.75}{0.71 \times 0.97} = 11289m^3$$

考虑到满载时调整纵倾的可能性,货舱容积应有一

定得裕度, 故取 $V=11500m^3$ 。

1.7.3 油船货油区提供容积估算

油船货油区估算可根据经验公式进行。

货油舱提供容积 $V_{TK} = K_1K_2K_3LBDC_b$

式中: $K_1 = (-76.615D_w^{-1.514} + 75.4) \times 10^{-2} = 0.754$

$K_2 = -1.42C_b + 2.378 = -1.42 \times 0.75 + 2.378 = 1.313$

$K_3 = 1.05$

则

$$V_{TK} = K_1K_2K_3LBDC_b = 0.754 \times 1.313 \times 1.05 \times 112.86 \times 18.2 \times 7.04 \times 0.75 = 11274m^3$$

1.7.4 主尺度的调整

综合以上计算结果发现 V_{TK} 略小于 V , 再结合排水量的校核, 决定增加新船吃水到7.15m, 这样就可以在船舶的舱容和排水量上留有一定得裕度而对船舶的各项性能改变不大。

1.8 估算航速

在母型船和新设计船几何上大体相似, C_b 相等的时候, 可以采用海军系数法进行航速的估算。

$$C_e = \frac{v^3 \Delta^{\frac{2}{3}}}{P_E} \Rightarrow \frac{v_0^3 \Delta_0^{\frac{2}{3}}}{P_{E0}} = \frac{v^3 \Delta^{\frac{2}{3}}}{P_E}$$

$$\Rightarrow \frac{11.5^3 \times 10120^{\frac{2}{3}}}{2206} = \frac{v^3 \times 11231.7^{\frac{2}{3}}}{3500}$$

$$\Rightarrow v = 13.1kn$$

估算航速满足要求。

1.9 稳性校核

稳性涉及到初稳性和大倾角稳性, 因为本船为一艘近海货船, 航速不高, 所遇的海况比较稳定, 本文仅考虑初稳性的影响。

1.9.1 水线面系数的计算

$$C_w = \frac{(1+2C_b)}{3} = \frac{(1+2 \times 0.75)}{3} = 0.83$$

1.9.2 初稳性高度的计算

由公式 $GM = KB + BM - KG$ 计算, 由于 $KB \propto d$, $BM \propto B^2/d$, $KG \propto D$ 。因此, 近似估算GM的一般形式为:

$$GM = a_1d + a_2 \frac{B^2}{d} - a_3D$$

①该船为U型剖面, 所以:

$$a_1 = \frac{C_w}{C_w + C_b} = \frac{0.83}{0.75 + 0.83} = 0.525$$

②该船为普通形状水线, 所以:

$$a_2 = \frac{C_w^2}{11.4C_b} = \frac{0.83^2}{11.4 \times 0.75} = 0.0814$$

③母型船的重心高度为5.41m, 所以:

$$a_3 = \frac{KG_0}{D_0} = \frac{5.41}{8.7} = 0.622$$

④初稳性高

$$GM = a_1d + a_2 \frac{B^2}{d} - a_3D = 0.525 \times 7.15 + 0.0814 \times \frac{18.2^2}{7.15} - 0.622 \times 9 = 1.93m$$

当初稳性高大于等于0.15m时符合要求。

1.10 横摇周期估算

CCS规范的要求, 横摇周期可根据下面公式进行计算。

$$T_\theta = 0.58f \sqrt{\frac{B^2 + 4KG^2}{GM_0}}$$

因为

$$B/d = 18.2/7.15 = 2.55 > 2.5$$

此时

$$f \approx 1 + 0.07 \left(\frac{B}{d} - 2.5 \right) = 1.0035$$

所以

$$T_\theta = 0.58f \sqrt{\frac{B^2 + 4KG^2}{GM_0}} = 0.58 \times 1.0035 \sqrt{\frac{18.2^2 + 4 \times 5.68^2}{1.95}} = 8.94s$$

本船横摇周期 $8.94s > (5 \sim 6s)$, 符合要求。

2 8200DWT 成品油船总布置设计

2.1 总布置设计的内容及要求

总布置设计是船舶总体设计的重要内容之一, 它不但对船的使用效率和航行性能有十分重要的影响, 而且是其他各项设计和计算的主要依据。总布置设计的具体工作包括以下内容: 区划船舶主体和设置上层建筑; 调整船舶的浮态, 以及各部分重量沿船长方向的分布, 并控制重量的垂向分布, 协调稳性和摇摆性能对重心高度的不同要求; 布置船舶舱室和设备; 规划各通道和出入梯口。

总布置设计中, 在注意船舶布置特殊要求的同时, 应遵循下列的基本原则: 最大限度地满足和提高船的使用效率, 这是考虑问题的基本出发点; 保证船舶具有良好的航行性能; 注意船体结构的合理性和工艺性; 满足法规和规范的要求等^[2]。

2.2 本船总布置设计的方法

成品油船由于要运载不同种类的油品, 货油舱常需要划分较多的舱室。本船结合实际情况并参考母型船划分10个货油舱。本船设置单层连续甲板, 在货油区设置了一道连续纵舱壁, 设置了艏楼和尾楼, 并在主甲板上设置了步桥。在上层建筑和甲板室的形式、工作舱室的设置和分布、生活舱室的区划和布置、船舶各种设备的布置等方面更多的参考了母型船资料。下面是本船部分设计的具体计算过程。

2.2.1 船舶肋骨间距的划分

船长范围内划分肋位, 确定肋骨间距, 这是进行总布置设计前首先要做的工作。

规范^[3]规定标准肋骨间距

$$S_b = 0.0016L_s + 0.5(m)$$

式中: L_s ——垂线间长, 但不小于水线长的96%, 且不必大于水线长的97%。

根据规范的要求及本船的具体情况, 本船的具体肋位划分如下:

从尾到后隔离空舱后端

$$-5^\# \text{---} 30^\# \quad S=650\text{mm}$$

从后隔离空舱后端到前隔离空舱前段

$$30^\# \text{---} 149^\# \quad S=700\text{mm}$$

从前隔离空舱前端到首

$$149^\# \text{---} \text{首} \quad S=650\text{mm}$$

2.2.2 双层底高度的选择

规范要求油船双层底高度不小于

$$h = \frac{B}{15} = \frac{18.2}{15} = 1.21\text{m}$$

最小值 $h=1\text{m}$

本船为了尽可能增大货油舱的容积, 双层底高度取1.21m。

2.2.3 边舱内壳与舷侧壳板垂直距离

规范要求边舱内壳与舷侧壳板垂直距离 W 不小于

$$W = 0.5 + \frac{D_w}{20000} = 0.925$$

结合母型船资料和本船实际情况, 本船取 $W=1\text{m}$ 。

2.3 进行总布置图的绘制

3 8200DWT 成品油船型线设计

3.1 型线设绘的要求

型线设计是船舶总体设计的一项重要内容。初步设计阶段的型线设计通常是在船舶主尺度(L 、 B 、 D 、 d 、 C_b)确定后与总布置设计配合进行的, 但在设计方案构思和选择主尺度时, 就要对船体型线有所考虑, 并在型线设计中加以体现和检验。正式的型线图是性能计算、结构设计、各种布置和建造放样的依据。

型线的设计应注意以下的要求:

第一. 保证良好的航海性能

第二. 考虑总布置要求

第三. 考虑船体结构的合理性和工艺性

第四. 外观造型

在本船上尤其需要注意的是总布置要求和外观造型。

3.2 新船浮心纵向位置计算

将新船满载出港时的重量分成空船、船员及行李、

货物和油水等几部分, 由以上几部分计算新设计船的浮心纵向位置。

空船的浮心纵向位置可由母型船资料换算求得, 由母型船资料得到母型船空船浮心纵向位置为舯后7.37m。

$$\chi_{B_{空}} = C_L \cdot L$$

$$\Rightarrow \frac{-7.37}{109} = \frac{\chi_{B_{空}}}{112.86} \Rightarrow \chi_{B_{空}} = -7.631\text{m}$$

注: 中前为正, 中后为负。

从总布置图上大概得到船员及行李、货物、油水的浮心纵向坐标, 以此估算新船的浮心纵向坐标。列表计算如下。

新船浮心纵向坐标

$$\chi_B = \left[2775.13 \times (-7.63) + 2.04 \times (-44.33) + 723.21 \times (-38.81) + 7774.75 \times 4.53 \right] \div 11275.13 = -1.25\text{m}$$

表1 新船重量分类表

项目	重量 (t)	纵向坐标 (m)
空船	2775.13	-7.631
船员及行李	2.04	-44.33
油水	723.21	-38.81
货物	7774.75	4.531
满载	11275.13	

3.3 母型船横剖面面积曲线的生成及浮心纵向坐标

由于母型船缺乏必要的资料, 我们根据母型船的横剖面图生成母型船横剖面面积曲线, 并根据横剖面面积曲线求得母型船浮心纵向坐标。方法是: 量取母型船各个站位的横剖面面积, 并以长度方向无因次化后为横坐标, 面积无因次化后为纵坐标画出母型船的横剖面面积曲线, 然后生成面域, 查询得到母型船浮心纵向坐标, 由母型船横剖面面积表画出母型船的横剖面面积曲线, 利用CAD面域查询得到母型船浮心纵向坐标为舯前1.89m。

3.4 新船横剖面面积曲线的生成

上文提到新设计 C_b 船的取与母型船一致的0.75。新设计船的横剖面形状不作修改, 取新设计船的中横剖面系数 $C_M = C_{M0} = 0.9767$ 。棱形系数 $C_p = C_{p0} = \frac{C_{b0}}{C_{M0}} = 0.768$ 。此时浮心纵向坐标位置不符合要求。

$$X_B = \frac{X_B}{L} = \frac{1.25}{112.86} = 1.11\%(\text{舯后})$$

$$X_{B0} = \frac{X_{B0}}{L_0} = \frac{1.89}{109} = 1.73\%(\text{舯前})$$

采用“迁移”法修改面积曲线, 可以保持 C_p 和 LP 不变来修改 X_B , 但平行中体的位置要发生变化, 修改时对面积曲线整体进行, 根据迁移法改造面积曲线图确定浮

心位置修改量为 $\overline{BB_0}$ 。

各站移动量

$$\delta x = cy$$

式中: y ——面积曲线在 x 处的竖坐标;

$$c = \frac{\overline{BB_0}}{\overline{KB_0}} = \frac{0.02845}{0.4404} = 0.0646$$

$$\overline{KB_0} = 0.3C_p + 0.21 = 0.4404$$

3.5 型线图的绘制

具体绘制型线图的过程是,在横剖面面积曲线图上,量出各站处新船与母型船横剖面面积相同的距离 δ_{x_i} 。然后在母型船的水线图上距对应站 δ_{x_i} 处量取各水线半宽 \mathcal{V}_{ij} ,再乘以 B/B_0 (型宽线性改造的比例值),即可得到新船各站半宽型值。

绘制型线图时,新船横剖面图的水线先按母型船比例划分,得到一个大概的新船横剖面图后把原水线擦去,重

新划分水线为0ml、715ml、1430ml、2860ml、4290ml、5720ml、7150ml,然后绘出新的水线图和纵剖线图。

结束语

本文对类似的成品油船市场进行了充分的调研,找到了多艘优秀的母型船资料,在对各方面有了充分的了解后结合我国的实际情况,采用优秀母型船改造法,进行了8200DWT成品油轮的船型设计以及主要性能的校核,完成了总布置的设计,并绘制了型线图、总布置图,在校核的过程中,进一步完善了设计思路与内容。所设计的8200DWT成品油船满足CCS《钢质海船入级规范》,是一艘符合营运要求的船舶。

参考文献

- [1]盛振邦,刘应中.船舶原理.上海交通大学出版社.2006年.
- [2]船舶设计实用手册.国防工业出版社.1998
- [3]国内航行海船法定检验技术规则2020