

运输船舶金属船体重量的估算方法

沪东造船厂 杜忠仁

提要: 本文对运输船舶金属结构船体重量估算方法进行了综合性的论述,并提出了三种较为简便可行的实用估算方法

关键词: 船舶 船体重量 估算方法

1 前言

对运输船舶来说,金属船体重量一般约占其空船重量的 3/4~4/5 左右。因此,在船舶的初步设计和报价设计中,金属船体重量估算正确与否,在很大程度上直接影响到船舶产品的空船重量和建造成本的控制。

由于船体是一个极为复杂的薄壁空间结构。所以,比较正确的金属船体重量,一般只能按照图纸对船体结构逐一进行详细计算后求得。

本文对运输船舶金属结构船体重量估算方法进行了综合性的论述,并提出了如下三种较为简便可行的实用估算方法:

(1) 基于船体中部单位长度内金属船体重量,连续主船体钢材重量的积分推算法;

(2) 基于干货船、散货船和油船实船资料,金属船体总重量的统计分析法;

(3) 基于应用统计分析法所得之回归方程,金属船体总重量的主尺度差值换算法。

上述估算方法可应用于船舶初步设计和合同设

计中。文中以某实船为例进行核算,所得结算表明,本文所提供的计算方法是简便、可行和有效的。

2 连续主船体钢材重量的积分推算法

众所周知,金属船体重量分布可以认为由如下两大类组成,即

(1) 连续主船体重量;

(2) 局部重量,诸如艏楼、艉楼、桥楼、桅屋、横舱壁和局部加强等。

在初步设计和合同设计阶段中,船体结构设计仅能完成中剖面图的设绘。此时,连续主船体钢材重量沿船长分布,可近似采用如图 1 所示之标准分布曲线。此分布曲线系为英国劳氏船级社研究报告^[1]中所推荐。

该分布曲线在各纵向站号上的坐标值为

$$\omega_i = a_i \cdot m, \quad \text{t/m}$$

式中:

m ——船体中部区域单位长度的钢材重量, t/m;

a_i ——纵向站号 i 处金属船体重量系数。

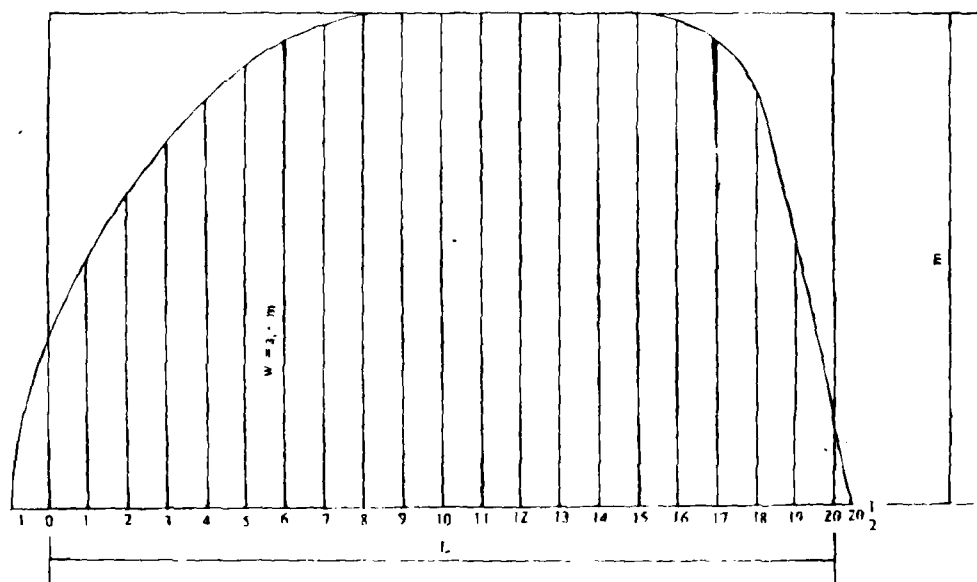


图 1 连续主船体钢材重量标准分布曲线

表 1 重量系数 a_i 值

站号	方形系数 C_b						
	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
-1	0	0	0	0	0	0	0
0	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
1	0.475	0.488	0.492	0.494	0.496	0.497	0.500
2	0.593	0.612	0.620	0.623	0.625	0.628	0.636
3	0.691	0.716	0.725	0.725	0.725	0.731	0.740
4	0.772	0.800	0.811	0.813	0.814	0.818	0.830
5	0.835	0.870	0.880	0.882	0.882	0.888	0.902
6	0.893	0.923	0.936	0.936	0.937	0.943	0.955
7	0.942	0.965	0.974	0.975	0.976	0.980	0.985
8	0.977	0.990	0.995	0.998	0.998	1.000	1.000
9	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	0.980	0.987	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
12	0.950	0.965	0.987	1.000	1.000	1.000	1.000
13	0.910	0.929	0.964	0.996	1.000	1.000	1.000
14	0.861	0.886	0.928	0.975	1.000	1.000	1.000
15	0.798	0.827	0.873	0.933	0.988	1.000	1.000
16	0.714	0.743	0.797	0.866	0.942	0.994	1.000
17	0.604	0.638	0.688	0.763	0.856	0.945	1.000
18	0.464	0.495	0.543	0.613	0.708	0.823	0.940
19	0.303	0.325	0.354	0.398	0.463	0.553	0.710
19 $\frac{1}{2}$	0.222	0.232	0.247	0.269	0.308	0.372	0.474
20	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
20 $\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0	0	0

按文献[1],金属船体重系数仅取决于给定船舶的方型系数。在不同方型系数时,系数 a_i 量值如表 1 所列。

由图 1 可知,连续主船体钢材重量曲线所覆盖之面积,实际上代表连续主船体钢材的总重量 \bar{W} 。显然,总重量 \bar{W} 可应用积分法求得,即

$$\bar{W} = \int_{-0.05L}^{1.025L} a_i dx = \int_{-0.05L}^{1.025L} a_i \cdot m \cdot dx, t \quad (1)$$

由表 1 可知,对给定方型系数之船舶,标准分布曲线在各纵向站号上的 a_i 均为给定值。因此,此时连续主船体钢材重量 \bar{W} 仅为

船舶垂线间长 L 和船体中部区域单位长度内钢材重量 m 两者乘积的函数。即

$$\bar{W} = \alpha \cdot L \cdot m, \quad t \quad (2)$$

式中:

α ——连续主船体钢材重量分布曲线面积系数,其量值可按下式求得,即

$$\alpha = \frac{\bar{W}}{L \cdot m} \quad (3)$$

在不同方型系数 C_b 时,连续主船体钢材重量分布曲线的面积系数如表 2 所列。

表 2 面积系数 α_i 量值

C_b	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
α	0.760	0.780	0.803	0.822	0.843	0.863	0.883

为了直观起见,图 2 给出了以 C_b 为横坐标、 α 为纵坐标之关系。

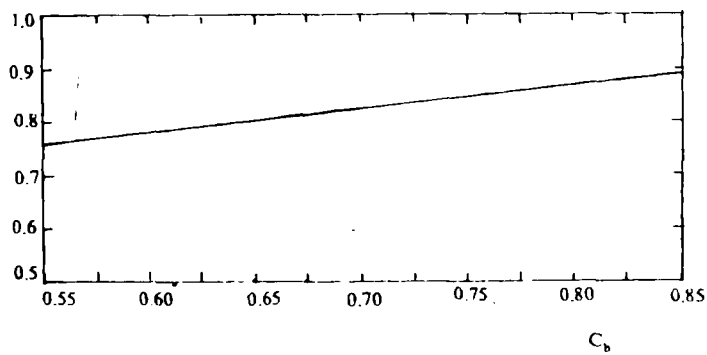
应该指出,船体中部区域单位长度内连续主船体重量 m ,应按中剖面图用列表法逐一计算求得。在计算中,通常可将中剖面图中之船体构件分成纵、横两大类分别进行。

3 金属船体总重量的统计分析法

尽管运输船舶金属船体总重量是一个极为复杂的多因素问题,并且它与各因素之间并无明显的函数关系,但是,由文献[2~5]可知,只要合理选取相关参数,对一定尺度范围内的干货船、散货船和油船,其金属船体总重量还是可以求得较为满意的回归方程式。

金属船体总重量系包括主船体、艏楼、艉楼、甲板室、桅屋、舷樯、天桥、货舱口围板、主辅机基座、烟囱、机舱棚、泵舱棚、舵结构等项目。

作者对表 3 所列的 15 型干货船,表 4 所列的 17 型散货船,以及表 5 所列的 27 型油船的金属船体总重量进行了数理统计和回归分析,结果如下:

图 2 $\alpha-C_b$ 关系

干货船金属船体总重量为:

$$NS = 5.79KL^3B(C_b + 0.7) \times 10^{-4} + 317, \quad t \quad (3)$$

或 $NS = 5.79Z \times 10^{-4} + 317, \quad t \quad (4)$

散货船金属船体总重量为:

$$NS = 3.90KL^2B(C_b + 0.7) \times 10^{-4} + 1200, \quad t \quad (5)$$

或 $NS = 3.90Z \times 10^{-4} + 1200, \quad t \quad (6)$

油船金属船体总重量为:

$$NS = 3.53KL^2B(C_b + 0.7) \times 10^{-4} + 1791, \quad t \quad (7)$$

或

$$NS = 3.53Z \times 10^{-4} + 1791, \quad t \quad (8)$$

式中:

NS —金属船体总重量, t ;

$$K = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}};$$

L —船舶垂线间长, m ;

B —船舶型宽, m ;

C_b —方型系数;

$$Z = KL^2B(C_b + 0.7).$$

由表3可知, 15型干货船的载重量在3000~

18000吨之间, 垂线间长 L 在 92~157 米之间, 垂线

间长与型深之比 $L/D = 10.507 \sim 12.266$, 吃水与型

表3 15型干货船的主尺度、主尺度比和金属船体总重量

序号	船型	主尺度 (m)					L/D	B/D	d/D	NS(t)
		L	B	D	d	C_b				
1	3.0DC	92.00	13.80	7.70	5.50	0.702	11.948	1.792	0.714	980
2	4.9DC	94.00	15.00	8.00	6.50	0.722	11.750	1.875	0.813	1080
3	7.3DC	115.00	16.50	9.60	7.45	0.705	11.979	1.719	0.776	1807
4	7.6DC	113.00	16.00	9.45	7.38	0.753	11.958	1.693	0.781	1689
5	8.1DC	116.00	16.60	10.00	7.80	0.722	11.600	1.660	0.780	1780
6	8.6DC	120.00	17.20	10.40	8.02	0.700	11.538	1.654	0.771	1984
7	9.6DC	123.00	17.70	10.70	8.28	0.715	11.495	1.654	0.774	2223
8	9.9DC	125.40	17.70	10.70	8.23	0.719	11.720	1.654	0.769	2272
9	10.0DC	127.00	19.50	11.25	8.68	0.685	11.289	1.733	0.772	2778
10	11.0DC	145.00	21.80	13.80	9.00	0.588	10.507	1.580	0.652	3303
11	12.6DC	137.45	18.90	11.735	8.55	0.744	11.713	1.611	0.729	2858
12	13.5DC	157.00	22.80	12.80	9.65	0.569	12.266	1.781	0.754	4030
13	14.8DC	138.00	22.00	12.35	9.06	0.712	11.174	1.781	0.734	3330
14	15.4DC	140.00	20.80	12.75	9.23	0.759	10.980	1.631	0.724	3310
15	18.0DC	140.00	22.86	13.00	9.61	0.773	10.769	1.758	0.739	3657

表4 17型散货船的主尺度、主尺度比和金属船体总重量

序号	船型	主尺度 (m)					L/D	B/D	d/D	NS(t)
		L	B	D	d	C_b				
1	25BC	170	23.2	13.7	9.83	0.818	12.41	1.69	0.72	4910
2	25BC	168	22.86	13.7	10.15	0.809	12.26	1.67	0.74	4924
3	25BC	168	23.2	13.95	9.90	0.805	12.04	1.66	0.71	4555
4	25BC	170	23.2	14.2	9.82	0.816	11.97	1.63	0.69	4681
5	26BC	168	23.2	13.95	10.04	0.806	12.04	1.66	0.72	4560
6	26BC	164.6	22.86	14.7	10.87	0.805	11.20	1.56	0.74	4656
7	27BC	168	22.56	14.1	10.54	0.813	11.91	1.60	0.75	4688
8	33BC	174	25.6	14.9	10.99	0.818	11.68	1.72	0.74	5591
9	33BC	174	25.6	14.9	10.66	0.816	11.68	1.72	0.72	5430
10	34BC	170	27.0	14.8	10.94	0.811	11.49	1.82	0.74	5348
11	36BC	178	28.4	15.6	11.21	0.785	11.41	1.82	0.72	6379
12	42BC	180	32.2	16.25	11.465	0.813	11.08	1.98	0.71	6900
13	45BC	183	29.5	17.0	11.98	0.828	10.76	1.74	0.70	7267
14	55BC	213	32.2	17.9	11.85	0.794	11.90	1.80	0.66	9129
15	60BC	218	32.2	18.3	12.2	0.837	11.91	1.76	0.67	10190
16	77BC	249	32.16	18.59	13.61	0.838	13.39	1.73	0.73	12907
17	110BC	249	39.6	22.4	15.60	0.832	11.12	1.77	0.70	16639

深之比 $d/D=0.569\sim0.773$, 型宽与型深之比 $B/D=1.580\sim1.875$, 方型系数 $C_b=0.569\sim0.733$ 。

由表 4 可知, 17 型散货船的载重量在 25000~11000 吨之间, $L=164.6\sim249$ 米, $L/D=10.76\sim13.39$, $d/D=0.66\sim0.75$, $B/D=1.56\sim1.98$, $C_b=0.785\sim0.838$ 。

由表 5 可知, 27 型油船的载重量在 29000~33500 吨之间, $L=162\sim325$ 米, $L/D=10.096\sim12.908$, $d/D=0.634\sim0.784$, $B/D=1.643\sim2$ 。

383, $C_b=0.798\sim0.856$ 。

因此, 表 3~5 中所给出的大量实船, 可以认为它们在现有实船中具有广泛的代表性。

在公式(4)、(6)、(8)中, 金属船体总重量 NS 和综合相关变量 Z 之间的相关系数分别为 0.994, 0.990, 0.995。

表 3~5 中的干货船、散货船和油船, 在按公式(4)、(6)、(8)计算后, 其误差平均值分别为 0.6%, 2.0% 和 0.1%, 标准差分别为 4.5%, 4.0% 和 5.10%。

表 5 27 型油船的主尺度、主尺度比和金属船体总重量

序号	船型	主尺度 (m)					L/D	B/D	d/D	NS (t)
		L	B	D	d	C_b				
1	29.0 油船	165.00	27.20	14.20	10.00	0.805	11.620	1.915	0.704	5123
2	30.0 油船	162.00	26.00	14.60	10.90	0.820	11.096	1.781	0.747	5050
3	30.4 油船	162.00	26.00	14.60	11.02	0.821	11.096	1.781	0.755	5050
4	34.3 油船	165.00	28.00	15.90	10.95	0.823	10.377	1.761	0.689	6050
5	34.6 油船	170.00	27.00	14.80	10.94	0.813	11.486	1.824	0.739	5500
6	34.8 油船	170.00	27.00	15.40	10.93	0.827	11.039	1.753	0.710	5478
7	36.0 油船	175.00	28.20	15.00	10.00	0.809	11.677	1.880	0.733	6110
8	38.3 油船	174.00	29.00	16.10	11.59	0.823	10.808	1.801	0.720	6229
9	59.9 油船	194.00	38.40	18.60	11.79	0.798	10.430	2.065	0.634	9500
10	60.5 油船	205.00	32.20	19.30	12.80	0.856	10.622	1.668	0.663	9650
11	62.5 油船	218.00	32.20	18.30	12.50	0.840	11.913	1.760	0.683	10650
12	63.0 油船	217.00	32.20	19.60	12.75	0.832	11.071	1.643	0.651	10857
13	64.6 油船	213.00	32.20	18.00	12.80	0.852	11.833	1.789	0.711	9850
14	67.0 油船	205.00	35.50	17.50	13.00	0.825	11.714	2.029	0.743	10253
15	69.7 油船	217.00	37.80	18.80	12.20	0.812	11.543	2.011	0.649	10900
16	79.0 油船	230.14	35.97	17.83	13.46	0.817	12.908	2.017	0.755	11274
17	82.2 油船	220.00	44.00	18.90	12.17	0.809	11.640	2.328	0.644	12370
18	98.0 油船	244.00	38.94	20.90	14.69	0.821	11.675	1.863	0.703	15400
19	102.2 油船	240.00	39.00	22.10	15.35	0.852	10.860	1.765	0.695	13900
20	117.0 油船	246.00	39.40	22.40	16.84	0.820	10.982	1.759	0.752	16258
21	181.9 油船	287.00	49.50	25.00	17.80	0.805	11.480	1.980	0.712	24200
22	183.6 油船	300.00	47.50	24.10	18.00	0.821	12.448	1.971	0.747	27000
23	336.1 油船	309.98	48.77	25.30	19.63	0.847	12.252	1.928	0.776	27300
24	227.8 油船	310.00	54.00	26.40	19.00	0.800	11.742	2.045	0.720	30100
25	272.5 油船	318.00	56.00	26.40	20.55	0.827	12.045	2.121	0.778	33000
26	284.3 油船	329.18	51.82	27.74	21.75	0.854	11.867	2.383	0.784	34500
27	335.3 油船	325.00	65.00	31.50	21.90	0.815	10.317	2.063	0.695	45100

由此可知,无论是干货船、散货船还是油船,其金属船体总重量 NS 与相关变量 Z 之间均呈现良好的线性相关趋势,从而证实回归方程(3)~(8)具有良好的可信度和可靠度。

4 船舶主尺度差值换算法

船舶主尺度差值换算法,又称母型船换算法。该方法应建立在由金属船体重量统计分析法所求得的回归方程之上。

应用该方法的前提条件是:选择合适的母型船,并且母型船必须具有正确、完整的金属船体重量数据。

当母型船和计算船舶的主尺度为给定值时,可分别令母型船的垂线间长为 L_0 ,型宽为 B_0 ,方型系数为 C_{b0} ,计算系数为 K_0 ,计算船舶的垂线长为 L ,型宽为 B ,方型系数为 C_b ,计算系数为 K 。

此时,不难按公式(3)、(5)、(7)求得计算船舶与母型实船在金属船体总重量上之差值为 ΔNS ,即:

干货船

$$\Delta NS = 5.79[KL^2B(C_b + 0.7) - K_0L_0^2B_0(C_{b0} + 0.7)] \times 10^{-4}, \text{ t} \quad (9)$$

散货船

$$\Delta NS = 3.90[KL^2B(C_b + 0.7) - K_0L_0^2B_0(C_{b0} + 0.7)] \times 10^{-4}, \text{ t} \quad (10)$$

油船

$$\Delta NS = 3.53[KL^2B(C_b + 0.7) - K_0L_0^2B_0(C_{b0} + 0.7)] \times 10^{-4}, \text{ t} \quad (11)$$

按主尺度差值换算法所求得的计算船舶金属船体总重量为:

$$NS = NS_0 + \Delta NS$$

式中:

NS —计算船舶金属船体总重量;

NS_0 —母型实船金属船体总重量;

ΔNS —由公式(10)或(11)或(12)所求得金属船体总重量之差值。

5 计算实例

已知某散货船主尺度为: $L \times B \times D \times d \times C_b = 180\text{m} \times 32.2\text{m} \times 16.25\text{m} \times 11.465\text{m} \times 0.813$, 母型船主尺度为: $L \times B \times D \times d \times C_b = 178\text{m} \times 28.4\text{m} \times 15.6\text{m} \times 11.21\text{m} \times 0.785$, 该母型船的金属船体总

重量为 6379 吨,试求该船的金属船体总重量。

5.1 按连续船体钢材重量的积分推算法

计算船舶连续船体重量为:

$$\begin{aligned} \bar{W} &= a \cdot L \cdot m \\ &= 0.868 \times 180 \times 37.95 \\ &= 59.29\text{t} \end{aligned}$$

式中:

$$\begin{aligned} a &= 0.868 \\ m &= 37.95\text{t/m} \end{aligned}$$

计算所得之连续船体重量与实际重量之比约为 1.01。

5.2 按金属船体总重量统计分析法

计算船舶金属船体总重量为:

$$\begin{aligned} NS &= 3.90KL^2B(C_b + 0.7) \times 10^{-4} + 1200 \\ &= 7011\text{t} \end{aligned}$$

所求得之金属船体总重量与实际重量之比约为 1.02。

5.3 按主尺度差值换算法

计算船舶的金属船体总重量为:

$$\begin{aligned} NS &= NS_0 + \Delta NS \\ &= 6379 + 913 \\ &= 7292\text{t} \end{aligned}$$

式中:

$$\begin{aligned} NS_0 &= 6379\text{t}; \\ \Delta NS &= 3.90[KL^2B(C_b + 0.7) - K_0L_0^2B_0(C_{b0} + 0.7)] \times 10^{-4} \\ &= 913\text{t}. \end{aligned}$$

所求得之金属船体总重量与实际重量之比约为 1.06

6 结 论

计算结果证实,本文所提出的金属船体重量估算方法,在船舶初步设计和报价设计中应该是简便、可行和有效的。

参考文献

- 1 LLOYD'S Register of Shipping. Distribution of Light Weight for Still Water Bending Moment Calculations-Cargo Ship. SR64/15, 1964. 2
- 2 刘寅东等. 苏伊士运河油船方案设计的经验公式. 船舶工程, 1991(3)
- 3 杜忠仁. 干货船金属船体重量的统计分析. 造船技术, 1992(8)
- 4 杜忠仁. 散货船金属船体重量的统计分析. 造船技术, 1991(11)
- 5 杜忠仁. 油船金属船体重量的统计分析. 造船技术, 1993(5)