

〈十二〉 双 体 船 设 计

双体船由于具有宽阔的甲板面积和良好的稳性,近二、三十年来受到人们的重视,在内河船设计中也得到了广泛的应用。国内已造的双体船性能见表12-1。

双体船的优点:

①甲板面积大

同样排水量情况下,双体船有效甲板面积较单体船大50%,反之相同甲板面积之双体船长度较单体船可缩短25~30%,并可减少排水量。对于客船、渡船、游览船、工程船等需要有足够舱室面积及工作面积的船舶,双体船有突出的优越性。

②稳性好

双体船有两个分得较开的片体,使水线面的横向惯性矩大大增加,所以复原力矩很大,稳性好,抗风力强。允许旅客集中一舷或单边提携重物以及在甲板高处堆放货物。大风时期可较其它船种更易维持正常交通和工作。

③操纵性好

在满足同样使用要求下,双体船船长较单体船短,水下侧面积小,加上两桨距、舵间距较大,使船能获得很好的操纵性能。实船证明双体船还具有良好的航向稳定性。

④推进效率高

由于双体船桨叶往往置于有利的尾部伴流中,附体阻力较一般双桨单体船低15~20%。两桨间的相互干扰由于船体间距的拉开而有所减少。双体船的每个片体可视为单桨船,可以获得较高的推进效率。

双体船的缺点:

⑤载重量系数低

双体船的自重较大,其载重量系数较单体船低。

⑥结构复杂

双体船的二个片体靠连接桥来连接,连接桥的受力情况较复杂,为保证连接桥有足够的强度,船体与它连接部位的结构须加强,计算也较复杂。

⑦横摇加速度较大

双体船的横摇周期短,一般在4~6秒。在横摇时舷边将产生较大的横摇加速度,可达0.25g。这样大的舷边加速度对旅客是不舒适的,对舷边作业也带来不便。

⑧造价稍高

双体船的钢材消耗量较同等排水量及用途的单体船多。加上主、辅机分别布置在两个片体内,增加了管系和电缆长度。根据实船建造情况,造价相对提高一些。

12.1 船型及主尺度系数选择

12.1.1 有利的速度范围

由于双体船有两个船身,浸湿面积较同长度同排水量的单体船约增加40%,导致摩擦阻力的增加。显然对于摩擦阻力是总阻力主要成分的低速船($F_n \leq 0.3$)来说,采用双体船型在阻力性能上是不利的。但对于 $F_n > 0.3$ 的中高速排水型船舶来说,其兴波阻力是总阻力的主要部分,此时采用双体船型则是有利的。因为两个瘦长的片体大大减少了兴波阻力,以致于可以抵消摩擦阻力及双体间波系干扰引起的阻力增加,使总阻力仍然较单体船为低。一般认为,双体船有利的速度范围在 $F_n = 0.3 \sim 0.75$

本章由江苏省船舶设计研究所朱碧虎高级工程师编写。

表 12-1 国内双体船建造一览表

船名	沅水 沅水	前哨 8*、9*	东方红 117	黄河 渡	松花江 渡	团结号	广州 渡	200客位 双体客轮	浙江内江 双体客船	青洲线 双体客船	新龙号
航区	沅水	长江A级	川江	黄河	松花江	长江	珠江	松花江 B级	钱塘江 B级	长江A级	长江A级
建造年	1969	1970	1970	1966	1967	1969	1970	1983	1980	1978	1983
设计单位	长江船舶 设计院	长江船舶 设计院	长江船舶 设计院		长江船舶 设计院	长江船舶 设计院		黑龙江 水规院	浙江船舶 设计院	长江船舶 设计院	江苏省船 研所
建造厂	常德船厂	东沟船厂	青山船厂	威海船厂	哈尔滨船 厂	湖北船厂	广州船厂		杭州义 桥船厂		镇江船厂
总长 (m)	30	50.84	39.42	26.97	23.05	26.9	26.9	30.5	31.16	46.0	50
两柱间长 (m)		44.00	36.00	24.85		24.0	24.0				44
水线长L (m)	27.5	45.0	37.35	25.0	22.0	24.4	24.4	28.0	28.8	41.0	45
总宽 (m)	7.5	17.2	15.0	14.4	12.0	10.4	10.4	9.6	10	11.8	12.6
片体宽b (m)	3.0	5.2	5.0	5.2	4.0	3.2	3.2	3.1	3.2	4.0	4.2
型深 (m)	1.4	4.1	3.6	1.7	1.2	2.8	2.8	1.7	2.6	3.0	3.3
吃水 (m)	0.6	2.8	2.4	0.9	0.8	1.8	1.8	1.10	1.6	1.7	2.1
C_B	0.605	0.543	0.532	0.668	0.73	0.576	0.576	0.590	0.58	0.592	0.625
C_P	0.623	0.59	0.578	0.693		0.606		0.652	0.62	0.624	0.657
C_M	0.971	0.92	0.92	0.964		0.950		0.906	0.935	0.95	0.951
C_W	0.721					0.754			0.760	0.758	0.800
浮心纵向 位置(m)	-0.226	-1.32						-0.63	-0.72	-0.46	-0.46
满载排水 量(t)	59.8	712	460	160.7	98	159.2	~160	112.8	166	330	503
空船重 (t)		511	320					71.61	115	269.1	353
空船重心 高度(m)								1.73	2.60	3.33	
载货量 (t)		20	40	汽车五列	汽车四列			8			50
载客量 (人)	230	1500	755	120		450	1600	228	380	524	1000
船员人数		56				19		13	12	22	29
片体中心 距K(m)	4.5	12	10	9.2	8.0	7.2	7.2	6.5	6.8	7.8	8.4
K/L	0.1635	0.2665	0.268	0.368	0.364	0.295	0.295	0.232	0.236	0.19	0.187
K/b	1.5	2.31	2	1.77	2	2.25	2.25	2.1	2.125	1.95	2.00
主机型号	6135Z	6NVD	6260	6160	4135	6160A	6135	6135	6135	6160	6160
主机功率 (kW)	2×176	2×309	2×294	2×99	2×59	2×99	2×88	2×132	2×110	2×136	2×184
主机转速 (r/min)		450				750		1500	1500	750	1000
齿轮箱						2HC180		ZF120	ZF120	2HC180	3HC250
减速比						1.97		2.814	2.86	1.97	2.89
推进器	喷水推进					关刀型 4-35		MAU5-60	B3-38.8	B4	经验叶型 3-35
螺旋桨直 径(m)						1.2		0.96	1.06	1.24	1.58
螺距 (m)						1.666		0.82	0.76	1.06	0.99
航速 (km/h)	19	22	24	15.5	14	20.7		18.5	18.6	19	19
F_n	0.321	0.291	0.348	0.275	0.265	0.372		0.319	0.307	0.263	0.251

续表 12-1 国内双体船建造一览表

船名	丁型双体渡轮	25米双体车渡	30米双体车渡	32米双体渡轮	甲型双体渡轮	500客内河双体船	乙型双体交通船	浙江沿海双体客轮	浙江沿海双体推轮	八闽线双体客船	1000客双体客船
航区	黄河	黑龙江	嫩江松花江	黄河	黄河	闽江下游B级	I类海区	宁波至普陀山		长江A级	长江
建造年	1983	1979	1981	1981	1979	1981	1984	1983		1986	1987
设计单位	山东黄河航运局	黑龙江水规院	黑龙江水规院	河南省航运局	山东黄河航运局	马尾船厂	708所	708所四室	浙江船舶设计室	江苏省船研所	
建造厂						马尾船厂	上海东海船厂	润州船厂	象山船厂	镇江船厂	江洲造船厂
总长(m)	14.63	25.3	30.0	33.16	38.9	33.90	55.3	45.25	23.3	50	31.6
两柱间长(m)						31.00				44	
水线长L(m)	13.0	24.5	27.7	32	36	32.20	52	40	22.0	45	
总宽(m)	9.4	12	14	15	19	11.60	12.3	12.6	9.0	12.6	11
片体宽b(m)	3.2	4	4.5	5.6	6.4	4	4.1	3.6	3.0	4.2	
型深(m)	1.5	1.2	1.36	1.4	2.0	2.6	4.6	4.4	2.9	3.3	
吃水(m)	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1	1.3	2.8	2.9	2.0	2.2	
C_B	0.553	0.76	0.72	0.663	0.688	0.523	0.533	0.531	0.604	0.633	
C_P	0.563	0.817	0.809	0.684	0.704	0.564	0.596	0.619	0.621	0.670	
C_M	0.983	0.912	0.957	0.957	0.972	0.928	0.895	0.859	0.972	0.945	
C_W	0.778	0.957	0.97	0.822	0.844	0.714	0.712	0.720	0.746		
浮心纵向位置(m)	-0.1			-0.688	0.01	-0.511	-0.472			-0.4	
满载排水量(t)	37.9	118	144	191	355	175	655	463	165	530	283
空船重(t)			84	110.16			551	391		390	
空船重心高度(m)				1.528							
载货量(t)	解放2辆 15	解放5辆 40	解放10辆 60	解放12辆 80	解放16辆 160		60			40	
载客量(人)						500		559	—	920	1000
船员人数	2	4	4	10	16			20	20	32	
片体中心距K(m)	6.2	8	9.5	9.4	12.6	7.6	8.2	9	6	8.4	
K/L	0.477	0.327	0.343	0.294	0.35	0.236	0.158	0.225	0.273	0.187	
K/b	1.94	2	2.11	1.68	1.97	1.9	2	2.5	2	2	
主机型号	295	6135	6135	6135	6160	12V135	8300	6160A	6160A	6200Z	
主机功率(kW)	2×18.4	2×110	2×110	2×110	2×184	2×146		2×184	2×136	2×243	199
主机转速(r/min)	2000	1500	1500	1500	1000	1500		1000	750	600	
齿轮箱	ZF—40	3ZF120B	3ZF120B	2ZF120B	2HC250	3ZF240				750	
减速比		2.85	2.85			2.92		4.1	2	1.97	
推进器	B3—50	G3	G3	B4—55	B4—55	MAU4—55		B4—40	B4—48	B4—40	
螺旋桨直径(m)	0.60	0.77	0.82	0.80	1.04	1.05		1.634	1.24	1.70	
螺距(m)	0.41	0.7	1.09	0.67	1.02	0.905		1.85	1.0	1.258	
航速(km/h)	12	15	14	16	14	22.2	30	19.5	15.5	20.5	
F_n	0.295	0.269	0.236	0.251	0.207	0.347	0.369	0.273	0.293	0.271	

之间。但实际建造的内河双体船，其速度范围集中在 $Fn=0.25\sim0.35$ 之间。这主要是汽车渡船、短程客渡船主要考虑的是稳性、广阔的甲板面积以及操纵性，快速性已不是主要考核性能之缘故。

12.1.2 船型

常用对称型，一般多以泰勒型线为母型派

生出来，所以阻力计算时可采用泰勒——盖脱勒法。由于泰勒标准船型的母型为一巡洋舰，其阻力性能甚佳，且施工方便，因此内河双体船采用较多。图12-1为泰勒标准系列的 η 型线图；图12-2为泰勒标准系列的横剖面面积曲线；表12-2为泰勒标准系列的横剖面面积曲线坐标值（各站面积/最大面积）。

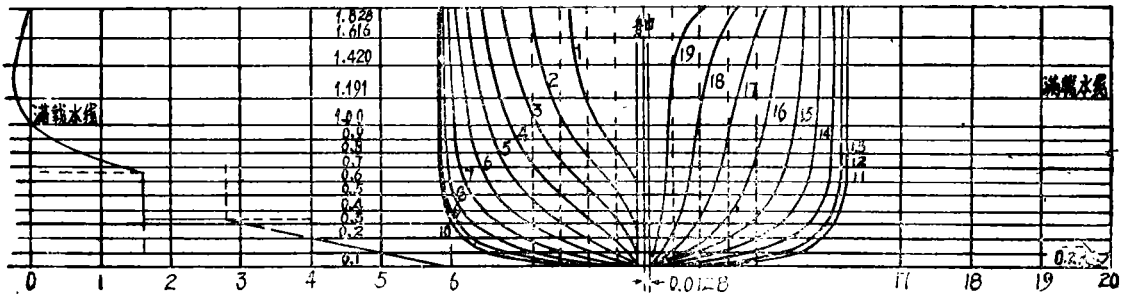


图 12-1 泰勒标准系列的母型船模($C_P=0.555$)

表 12-2 泰勒标准系列的横剖面面积曲线坐标值（各站面积/最大面积）

站 号	棱 形 系 数 C_P								
	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.74	0.80	0.86
首垂线	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.9	0.021	0.022	0.023	0.026	0.029	0.032	0.041	0.054	0.071
19.8	0.031	0.034	0.036	0.038	0.043	0.049	0.063	0.082	0.113
19.7	0.037	0.040	0.044	0.048	0.053	0.061	0.078	0.107	0.152
19.5	0.042	0.046	0.051	0.056	0.063	0.073	0.093	0.133	0.190
19	0.066	0.078	0.092	0.107	0.128	0.152	0.206	0.298	0.423
18	0.126	0.152	0.181	0.221	0.264	0.316	0.423	0.564	0.751
17	0.211	0.257	0.307	0.364	0.426	0.499	0.625	0.766	0.913
16	0.323	0.382	0.446	0.514	0.587	0.668	0.784	0.892	0.977
15	0.450	0.517	0.587	0.658	0.731	0.803	0.893	0.959	0.995
14	0.586	0.655	0.722	0.786	0.846	0.901	0.957	0.988	0.999
13	0.724	0.784	0.838	0.886	0.928	0.961	0.987	0.998	1.000
12	0.853	0.893	0.929	0.955	0.976	0.990	0.998	1.000	1.000
11	0.955	0.971	0.983	0.992	0.997	0.999	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	0.964	0.974	0.981	0.991	0.996	0.999	1.000	1.000	1.000
8	0.870	0.903	0.932	0.957	0.976	0.988	0.998	1.000	1.000
7	0.745	0.797	0.846	0.891	0.928	0.958	0.987	0.998	1.000
6	0.604	0.669	0.731	0.793	0.848	0.898	0.957	0.992	1.000
5	0.460	0.528	0.596	0.667	0.737	0.804	0.895	0.963	0.999
4	0.322	0.385	0.450	0.522	0.595	0.671	0.789	0.898	0.987
3	0.200	0.251	0.304	0.368	0.433	0.506	0.631	0.773	0.920
2	0.103	0.136	0.173	0.217	0.265	0.322	0.428	0.567	0.745
1.5	0.065	0.090	0.115	0.149	0.185	0.231	0.315	0.436	0.599
1	0.034	0.050	0.066	0.087	0.112	0.142	0.201	0.290	0.414
0.5	0.012	0.018	0.027	0.037	0.048	0.060	0.092	0.140	0.208
尾垂线	0	0	0	0	0	0	0	0	0

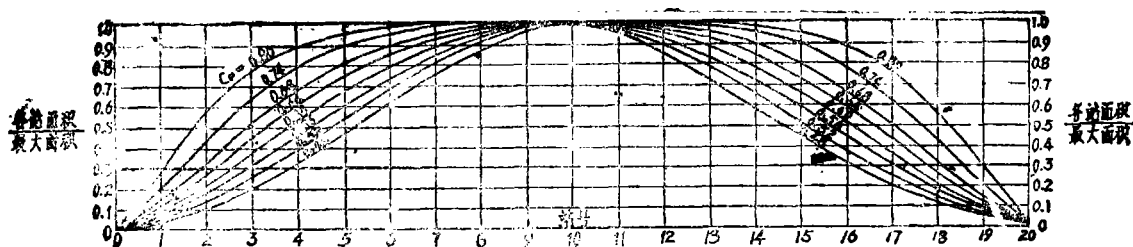


图 12-2 泰勒标准系列的横剖面面积曲线

12.1.3 间距船长比 K/L

K/L 值是衡量双体船干扰阻力的主要参数。双体船兴波阻力的干扰主要是两片体中间首、尾波的干扰以及首波的反射干扰。在一定的傅氏数下有可能找到一个产生负干扰的 K/L 值的范围,使总阻力小于 2 倍的片体阻力。但这样的 K 值往往很大,实际上很少采用。 K/L 值的选择在考虑舱室布置对总宽要求的前提下,使片体间波系干扰不太大即可。此值一般在 0.2~0.4 之间。若采用净间距船长比 $(B-2b)/L$ 则以 0.07~0.15 为宜。

12.1.4 间距片体宽度比 K/b

当 $K/b < 2$ 时,干扰阻力随 K/b 的减小而增加较快。一般取 K/b 在 1.75~3 之间,而 $K/b = 2$ 被认为是一种典型的比值,采用较多。

12.1.5 方形系数 C_B

片体的 C_B 值一般在 0.45~0.65 之间。由于 b/d 对阻力的影响大于 C_B 对阻力的影响,因此适当增大 C_B ,减小 b ,降低 b/d ,增大 K/b 值,对降低总阻力是有利的。

12.1.6 浅形系数 C_P

一般选取 C_P 在 0.55~0.68 之间。由于 C_P 的选取与波系干扰有直接关系,为了获得最小的波系干扰,文献[12-1]推荐按下式选取,

当 $0.25 \leq F_n < 0.3$ 时,

$$C_P = 2(F_n + 0.0425) \pm 0.02 \quad (12.1)$$

当 $0.3 \leq F_n < 0.38$ 时,

$$C_P = 2(F_n - 0.0375) \pm 0.02 \quad (12.2)$$

12.1.7 片体纵向浮心位置 X_B

X_B 对双体船阻力的影响与单体船相似。随 F_n 的增大, X_B 应向舭后移动。在对双体船有利的速度范围内,一般认为 X_B 在舭后 1~5% L

范围内为佳。

12.2 阻力计算

双体船的阻力计算与单体船不同之处在于,除了计算两个片体本身的摩擦阻力、剩余阻力外,还要计算两个片体之间的波系干扰所产生的附加阻力。现分别介绍如下:

12.2.1 摩擦阻力

双体船摩擦阻力的计算与常规船型相同,可参阅本连载资料第九章 9.1.1 节的公式,只是浸湿面积的计算方法有所不同,可按门福德浸水面积公式估算[12-2],

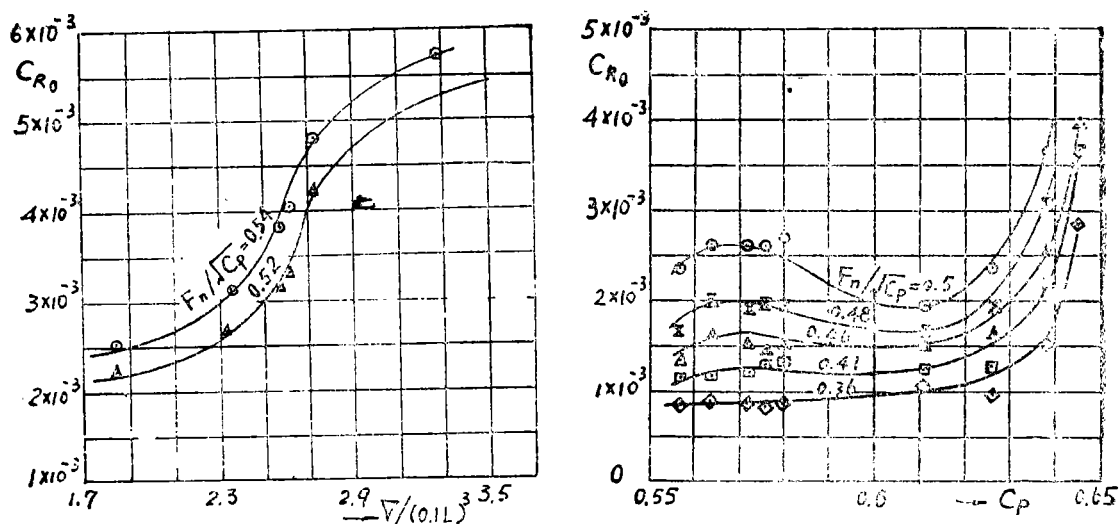
$$S = 2L(1.7d + b \cdot C_B) \quad (12.3)$$

12.2.2 剩余阻力计算

由于双体船的两个片体船型多采用泰勒型线派生,因此可采用泰勒—盖脱勒法来计算片体剩余阻力。此法的适用范围是: $b/d = 2.25 \sim 3.75$, $L/b = 4 \sim 15$, $C_B = 0.44 \sim 0.80$, $C_P = 0.5 \sim 0.80$ 。在这个范围内,片体剩余阻力系数 C_{R0} 可根据 b/d 查表 12-3、表 12-4、表 12-5 得到相邻两个 b/d 的 C_R 值,再按直线内插法求取中间值。原计算方法中还须作浸水面积偏离标准船模的修正,但此项修正很小,对总阻力的影响不大可予忽略。

对于 b/d 大于 3.75 的内河浅水双体船,建议用爱尔法计算片体阻力,可参阅本连载资料第九章 9.2.1 节。

当片体 b/d 小于 2.25,无法采用泰勒图谱时,可由图 12-3 近似估算 C_{R0} 。图 12-3 来源于文献[12-3],是中山大学水池统计了九艘双体船片体试验资料,通过分析得出的,可供近似估算 C_{R0} 使用。

图 12-3 估算 C_{R0} 的图谱表 12-3 $b/d = 2.25$ 时的剩余阻力系数 $C_D \times 10^3$

C_P	∇	F_n											
	$(0.1L)^{\frac{1}{2}}$	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.40
0.50	1	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.300	0.520	0.820	1.760
	3	0.300	0.300	0.320	0.340	0.395	0.470	0.520	0.560	0.760	1.330	3.290	
	5	0.420	0.420	0.430	0.460	0.550	0.660	0.725	0.800	1.150	2.100		
	7	0.530	0.530	0.540	0.595	0.725	0.900	1.045	1.090				
0.55	1	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.240	0.270	0.280	0.400	0.620	1.350
	3	0.340	0.325	0.325	0.330	0.320	0.445	0.550	0.700	0.890	1.180	1.850	
	5	0.410	0.410	0.445	0.450	0.520	0.610	0.770	0.980	1.280	1.730	2.890	
	7	0.555	0.555	0.555	0.580	0.660	0.800	1.000	1.225				
0.60	1	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.360	0.320	0.435	0.455	0.490	0.590	1.200
	3	0.310	0.340	0.340	0.358	0.420	0.550	0.820	1.310	1.510	1.550	1.860	
	5	0.450	0.530	0.450	0.590	0.580	0.740	1.150	1.910	2.310	2.480	2.820	
	7	0.550	0.555	0.565	0.635	0.730	0.920	1.410	2.400				
0.65	1	0.235	0.235	0.235	0.235	0.250	0.320	0.490	0.690	0.780	0.780	0.800	1.260
	3	0.340	0.340	0.340	0.385	0.535	0.750	1.120	1.970	2.430	2.450	2.500	
	5	0.460	0.460	0.460	0.550	0.720	0.960	1.530	2.430	3.900	4.050	4.200	
	7	0.570	0.575	0.585	0.720	0.875	1.120	1.950	2.940				
0.70	1	0.230	0.230	0.230	0.250	0.340	0.480	0.655	1.000	1.220	1.200	1.130	1.360
	3	0.350	0.360	0.380	0.480	0.740	1.030	1.520	2.590	3.600	3.730	3.590	
	5	0.460	0.475	0.535	0.690	0.960	1.300	2.040					
	7	0.590	0.600	0.695	0.855	1.160	1.590	2.120					
0.75	1	0.250	0.250	0.290	0.380	0.530	0.810	0.970	1.400	1.670	1.620	1.510	1.500
	3	0.355	0.400	0.510	0.770	1.170	1.600	2.050	3.100	4.840	5.290	5.040	
	5	0.485	0.540	0.690	1.020	1.440	1.850	2.700					
	7	0.620	0.660	0.835	1.180	1.640	—	—					
0.80	1	0.270	0.380	0.530	0.740	1.160	1.370	1.550	2.000	2.290	2.120	2.000	1.840
	3	0.385	0.560	0.745	1.250	1.930	2.660	3.330	4.000	6.240	6.830	6.700	
	5	0.520	0.640	0.940	1.560	2.340	3.200	—					
	7	0.640	0.770	1.100	1.800	2.650	—	—					

注: 计算双体船阻力时, 此处的 ∇ 应为单片体的排水体积, 相当于全船排水体积的一半。

表 12-4 $b/d = 3.0$ 时的剩余阻力系数 $C_R \times 10^3$

C_P	∇	F_n											
	$(0.1L)^3$	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.40
0.50	1	0.250	0.250	0.250	0.250	0.295	0.365	0.380	0.385	0.500	0.710	1.000	1.820
	3	0.350	0.350	0.355	0.375	0.540	0.700	0.760	0.800	0.990	1.500	2.500	
	5	0.475	0.475	0.480	0.530	0.710	0.910	0.960	1.040	1.450			
	7	0.605	0.605	0.638	0.750	1.060	1.375	1.380	1.460				
0.55	1	0.280	0.280	0.290	0.300	0.360	0.480	0.535	0.558	0.600	0.700	0.860	1.550
	3	0.400	0.400	0.400	0.420	0.540	0.690	0.800	0.875	1.030	1.350	2.040	
	5	0.500	0.500	0.500	0.550	0.660	0.770	0.885	1.060	1.400	1.900		
	7	0.630	0.635	0.660	0.760	0.940	1.070	1.140	1.300				
0.60	1	0.300	0.300	0.300	0.320	0.400	0.510	0.600	0.680	0.720	0.770	0.860	1.410
	3	0.425	0.425	0.430	0.450	0.560	0.750	1.020	1.380	1.690	1.850	2.270	
	5	0.545	0.545	0.550	0.595	0.700	0.870	1.160	1.800	2.460	2.800	3.360	
	7	0.655	0.655	0.685	0.820	0.960	1.080	1.940	2.200				
0.65	1	0.340	0.340	0.340	0.355	0.380	0.470	0.650	0.840	0.920	0.970	0.980	1.370
	3	0.445	0.445	0.450	0.540	0.695	0.890	1.335	2.000	2.660	2.850	3.000	
	5	0.560	0.565	0.580	0.710	0.870	1.050	1.600	2.850	4.000	4.420	4.700	
	7	0.715	0.720	0.760	0.900	1.040	1.210	1.960	3.500				
0.70	3	0.480	0.485	0.515	0.690	0.960	1.220	1.720	2.720	3.800	4.070	4.150	
	5	0.600	0.620	0.680	0.800	1.180	1.500	2.200					
	7	0.725	0.780	0.885	1.050	1.320	1.700	2.570					
0.75	3	0.500	0.540	0.640	0.920	1.380	1.900	2.240	3.440	5.050	5.500		
	5	0.620	0.690	0.835	1.140	1.700	2.380	3.220					
	7	0.740	0.860	1.020	1.270	1.860	2.630	3.460					
0.80	3	0.540	0.750	0.980	1.350	2.010	3.140						
	5	0.670	0.870	1.135	1.520	2.320	3.540						
	7	0.780	0.960	1.200	1.610	2.500	—						

表 12-5 $b/d = 3.75$ 时的剩余阻力系数 $C_R \times 10^3$

C_P	∇	F_n											
	$(0.1L)^3$	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.40
0.50	1	0.330	0.335	0.335	0.340	0.390	0.460	0.480	0.455	0.500	0.700	0.960	1.880
	3	0.460	0.460	0.460	0.510	0.610	0.740	0.820	0.860	1.010	1.540	2.480	
	5	0.580	0.580	0.585	0.660	0.750	1.080	1.160	1.260	1.700	2.700	4.380	
	7	0.725	0.740	0.755	0.840	1.100	1.430	1.560	1.690				
0.55	1	0.375	0.375	0.375	0.375	0.400	0.450	0.465	0.440	0.500	0.590	0.680	1.500
	3	0.500	0.500	0.500	0.540	0.620	0.710	0.800	0.940	1.100	1.380	2.020	
	5	0.640	0.640	0.640	0.710	0.800	0.920	1.070	1.330	1.650	2.260	3.350	
	7	0.780	0.780	0.800	0.880	1.040	1.160	1.260	1.550				
0.60	1	0.420	0.420	0.420	0.420	0.430	0.475	0.535	0.600	0.680	0.740	0.800	1.360
	3	0.540	0.550	0.550	0.570	0.610	0.755	1.000	1.330	1.660	1.930	2.310	
	5	0.675	0.680	0.700	0.755	0.840	0.940	1.300	1.910	2.450	2.920	3.520	
	7	0.820	0.830	0.860	0.950	1.050	1.200	1.560	2.320				
0.65	1	0.440	0.450	0.450	0.455	0.500	0.540	0.640	0.800	0.950	1.000	1.020	1.330
	3	0.570	0.580	0.580	0.645	0.740	0.890	1.310	2.080	2.600	2.920	3.200	
	5	0.715	0.720	0.758	0.845	0.970	1.160	1.750	2.860	3.850	4.380	4.840	
	7	0.850	0.860	0.900	1.045	1.160	1.450	2.050	3.450				
0.70	3	0.640	0.650	0.660	0.780	0.995	1.260	1.720	2.880	3.700	4.190	4.320	
	5	0.760	0.770	0.800	0.960	1.200	1.565	2.300					
	7	0.900	0.900	0.960	1.160	1.435	1.795	2.600					
0.75	3	0.690	0.690	0.760	0.980	1.350	1.870	2.380	3.620	4.900	5.510		
	5	0.820	0.830	0.910	1.155	1.600	2.180	3.060					
	7	0.940	0.950	1.040	1.340	1.800	2.390	3.300					
0.80	3	0.720	0.770	0.970	1.380	2.060	2.940	3.460					
	5	0.840	0.890	1.100	1.540	2.280	3.360						
	7	0.952	1.040	1.270	1.720	2.600							

12.2.3 波系干扰阻力

双体船两片体兴起的波浪在两片体间会发生干扰,产生附加阻力。这种干扰随片体间距、船型系数和傅氏数的不同而异,也有与单体船相类似的“峰”、“谷”效应。波系干扰阻力一般根据理论计算和船模试验数据换算而得,尚无精确的公式可以计算。

当不具备船模阻力试验资料时,此项附加阻力可应用船模系列试验资料来近似估算。目前有二种方法:一种是在总阻力系数的基础上再增加一定的百分比;另一种是在剩余阻力系数的基础上再增加一定的百分比。现分别介绍如下:

●总阻力系数增量法^[12-2]

这种方法是先按单体船计算出片体的总阻力系数 C_{T0} ,再加上波系干扰阻力分量得出双体船的总阻力系数:

$$C_T = C_{T0} (1 + k_0) \quad (12.4)$$

波系干扰阻力增量系数 k_0 可查图12-4得到。图12-4来源于文献[12-1],是用一特定的 $C_p = 0.645$ 的船模通过系列试验得到的,对于其它的 C_p 不同的船型不能直接采用。当设计船的 C_p 与系列试验船模的 C_p 不同时,可通过傅氏数的

转换间接从图12-4中查出 k_0 值。图中横坐标

$$F_n^\circ = Fn + 0.5(0.645 - C_p) \quad (12.5)$$

此处 F_n° 称为相当傅氏数, Fn 为设计船的傅氏数; C_p 为设计船的棱形系数。

●剩余阻力系数增量法^[12-3]

这种方法是先按单体船计算出片体的剩余阻力系数 C_{R0} ,然后加上干扰阻力分量 k_R ,于是双体船的总阻力系数可表达为:

$$C_T = C_F + \Delta C_F + C_{R0} (1 + k_R) \quad (12.6)$$

此处的干扰阻力增量系数 k_R 可查图12-5得到。图12-5来源于文献[12-3],是根据中山大学水池对五条尺度比与船型系数不同的船模所做的系列试验资料,通过回归分析法求得的干扰附加阻力系数的平均值 \bar{k}_R 。从图12-5查得的 \bar{k}_R 平均值还须经图12-6对 C_p 修正后方能得到设计船的 k_R 值:

$$k_R = \bar{k}_R + \Delta k_R \quad (12.7)$$

此处的修正值 Δk_R 可根据设计船的 C_p 在图12-6中查得。这二个图的适用范围: $L/b = 8 \sim 13$; $b/d = 1.48 \sim 3.08$; $C_B = 0.46 \sim 0.58$; $C_P = 0.55 \sim 0.65$; $K/b = 1.6 \sim 3.0$; $\nabla / (0.1L)^3 = 1.84 \sim 2.72$; $K/L = 0.108 \sim 0.497$; $Fn = 0.2 \sim 0.48$ 。

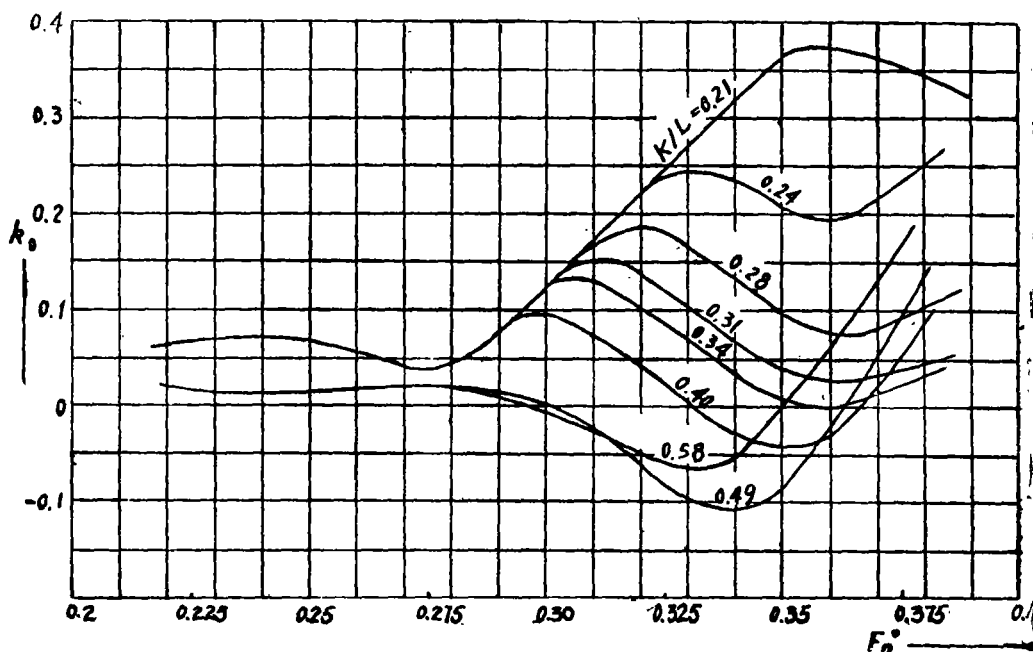


图 12-4 $C_p = 0.645$ 双体船的干扰阻力系数

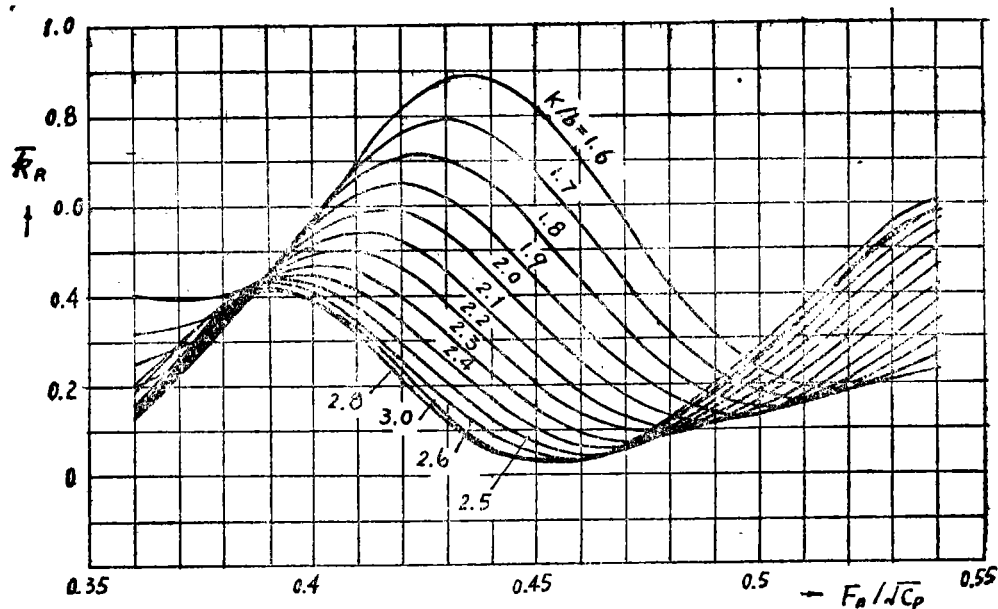


图 12-5 查干扰附加阻力平均值 \bar{k}_R 的图谱

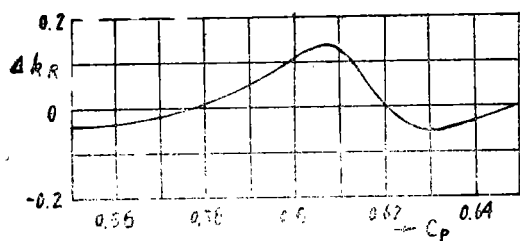


图12-6 修正值 Δk_R

12.2.4 阻力计算实例

现以“前哨 9 号”双体客轮^[12-21]为例演算如下:

●设计参数

$$L = 45\text{m} \quad B = 17.2\text{m} \quad b = 5.2\text{m}$$

$$d = 2.8\text{m} \quad C_B = 0.543 \quad C_P = 0.59$$

$$\text{片体} \nabla = 356\text{m}^3 \quad \text{总排水量} \Delta = 712\text{t}$$

●辅助计算

$$K = B - b = 12\text{m} \quad K/b = 2.3$$

$$K/L = 0.267 \quad L/b = 8.65$$

$$b/d = 1.86 \quad \nabla/(0.1L)^3 = 3.92$$

$$\text{湿面积} S = 2 \times 45(1.7 \times 2.8 + 5.2 \times 0.543) = 682\text{m}^2$$

●列表计算(表12-6)

12.3 结构设计

12.3.1 结构重量资料

双体船的船体钢料重量系数 C_H :

$$C_H = W_H / (L \cdot 2b \cdot D) \quad (12.8)$$

文献[12-2]推荐 C_H 的范围如下:

$$\text{长江双体船} \quad C_H = 0.150 \sim 0.185 (\text{t/m}^3)$$

$$\text{内河双体船} \quad C_H = 0.130 \sim 0.155 (\text{t/m}^3)$$

$$\text{沿海双体船} \quad C_H = 0.175 \sim 0.205 (\text{t/m}^3)$$

表 12-7 列出几艘国内已造双体船的结构重量指标, 仅供设计估算时参考。

12.3.2 片体结构

双体船的两个片体相当于比较瘦长的单体船, 其构件可按规范设计。所不同之处是要考虑中间连接桥与片体连接处的结构, 以使片体内结构能更好地承受连接桥传过来的各种应力, 这样就必须对片体内侧的结构作适当加强。对内河小船来说, 适当加大片体内侧横梁与肋骨间的连接肘板, 并加强舷侧扶强材, 使连接纵横材成一体, 在保证焊接和装配质量的条件下可较好地满足强度要求。图 12-7 是沅水双体喷水客轮的横剖面结构图。

表 12-6 双体船阻力计算表

序	计算内容	单位	公式或提示	计 算 结 果			
①	V	km/h	设计假定	20	22	24	25
②	v	m/s	①/3.6	5.556	6.111	6.667	7.222
③	Rn		②/21	0.265	0.291	0.317	0.344
④	Rn		② $\times 3.95 \times 10^{-7}$	2.19×10^{-8}	2.41×10^{-8}	2.63×10^{-8}	2.85×10^{-8}
⑤	C_F		公式(9.3)	1.97×10^{-3}	1.34×10^{-3}	1.82×10^{-3}	1.80×10^{-3}
⑥	$C_F + \Delta C_F$		⑤ $+ 0.4 \times 10^{-3}$	2.27×10^{-3}	2.24×10^{-3}	2.22×10^{-3}	2.20×10^{-3}
⑦	$F_n/C_F^{0.5}$		③/0.763	0.345	0.379	0.413	0.448
⑧	CR_0		查图 12-3	0.83×10^{-3}	1.03×10^{-3}	1.23×10^{-3}	1.43×10^{-3}
⑨	CT_0		⑧ $+ ⑧$	3.12×10^{-3}	3.27×10^{-3}	3.45×10^{-3}	3.63×10^{-3}
⑩	F_n^*		③ $+ 0.0275$	0.293	0.319	0.345	0.372
⑪	k_0		查图 12-4	0.09	0.21	0.15	0.14
⑫	CT		⑨ $\times (1 + ⑪)$	3.33×10^{-3}	3.92×10^{-3}	3.97×10^{-3}	4.14×10^{-3}
⑬	$0.5\rho v^2 S$	N	$0.5 \times 1000 \times 6.12 \times 10^2$	1.926×10^3	12734×10^3	15157×10^3	17786×10^3
⑭	R	N	⑫ $\times ⑫$	35573	49917	60173	73634
⑮	裸体 P_E	kW	⑭ $\times ⑫ \times 10^{-3}$	103	305	401	532
⑯	实际 P_E	kW	$1.2 \times ⑮$	333	366	481	633

注: 1. 本船 $b/d = 1.06 \sim 2.35$, 不能在泰勒—盖脱勒型阻力系数表, 故采用查图 12-3 的方法得到片体剩余阻力系数;
 2. 此处 R 是不含附体阻力的深水裸体阻力, 实际总阻力应增加 15~20%;
 3. 本船干舷阻力采用文献 [12-1] 推荐的方法计算。

表 12-7 几艘国内已造双体船的结构重量指标

船 名	船 级	$L \cdot b \cdot D (m^3)$	$W_H(t)$	$J_0(t)$	W_H/J_0	$C_H(t/m^3)$
申崇线 1500 客双体船	长江 A 级	$45 \times 10.4 \times 4.1$	315	511	0.616	0.161
新龙号双体客船	长江 A 级	$45 \times 8.4 \times 3.3$	220	353	0.623	0.176
东方红 117 轮	长江 B 级	$37.35 \times 10 \times 3.6$	175	320	0.547	0.130
浙江内江双体客轮	长江 B 级	$28.8 \times 6.4 \times 2.6$	99	115	0.860	0.207
浙江沿海双体客轮	海上Ⅲ类	$40 \times 7.2 \times 4.4$	347	391	0.887	0.274
乙型双体交通船 [12-4]	海上Ⅲ类	$52 \times 8.2 \times 4.6$	297	551	0.539	0.151

12.3.3 连接桥设计

连接两片体的中间结构称为连接桥, 此部分构件不仅要承受横向弯矩和扭矩, 而且还要承受波浪对它的强烈拍击, 尤其是在首部半长度范围内更是如此。

连接桥的结构一般为板和梁的组合。对于具有多层建筑的船舶, 往往将主强力甲板及上一层甲板(上甲板)考虑作为参加总强度的强力构件, 并与两甲板层间的强力横舱壁一起组

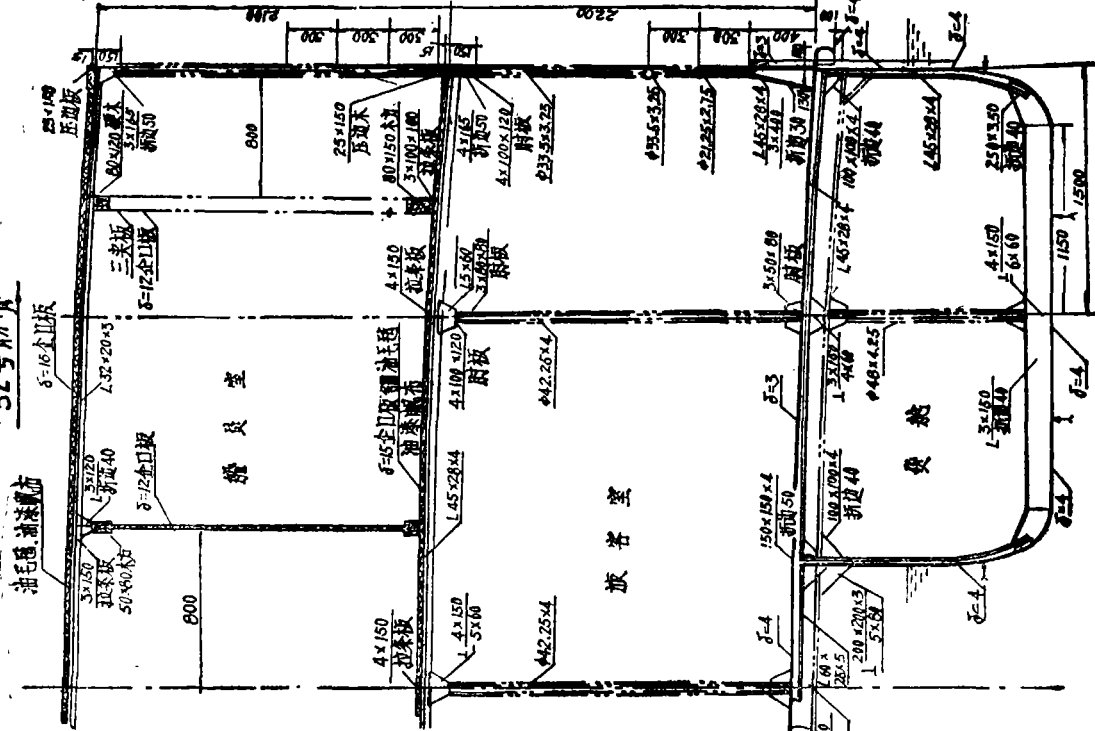
成箱形结构, 以承受扭矩及横向弯矩。对于无上层甲板或上层甲板长度小于船长 40% 的双体船, 必须对单层甲板的连接桥强度予以足够的重视。

12.3.4 双体船各种受力状态及其负荷的确定

(1) 纵总弯曲

双体船每一片体所受纵总弯曲力矩可与一般单体船一样, 由于片体的 D/b 较大, 长度 L 相对较短, 故一般无须进行纵总强度校核。

32号肋骨



(2) 横向弯曲

船舶处于横波中,在横摇瞬间,一片体处于波峰,另一片体处于波谷,此时连接桥所受的横向弯矩为最大。

按史葛特(Scott)的建议,双体船的横向弯曲载荷可视为半脱水状态(图 12-8),即处于波谷的一片体由于浮力的减少,假设有一半片体的重量悬挂于连接桥的端部来考虑:

$M_{max} = \frac{1}{2} \text{片体重} \times \text{片体中心至校验处的距离}$
目前在双体船的横向强度计算中所受的弯曲力

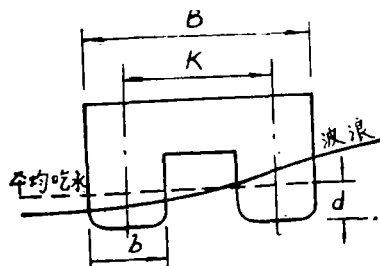
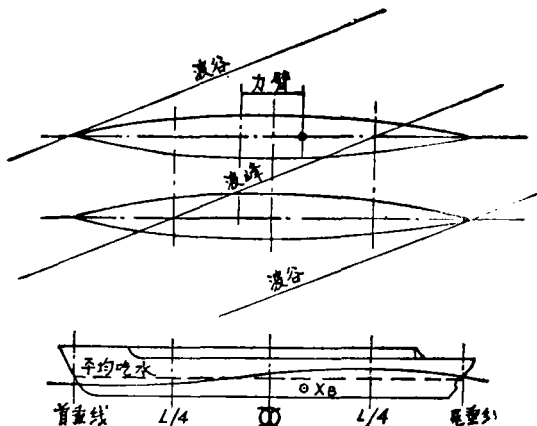


图 12-8 半脱水波浪状态



矩一般多按此方法来计算。对内河船来讲,根据已建造船舶的使用实践,按半脱水状态校验连接桥的强度是安全可靠的。

(3) 处于斜浪时的扭转

① 按史葛特的建议

史葛特通过分析认为,双体船处于如图 12-9 所示的坦谷波上会得出最大的扭矩。图示情况下,波峰通过一片体中前 $L/4$ 处及另一片体中后 $L/4$ 处。波谷处于一片体的首部及另

一片体的尾部。此时每一片体的纵向浮心位置向波峰方向移动 $4\%L$ 的距离,两片体浮心的纵向距离为 $2 \times 4\%L$ 。则连接桥所受的扭矩:

$$M_n = 0.04L\Delta \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad (12.9)$$

此处 Δ 要换算成 kN 为单位。一般在双体船强度计算中均按此扭矩值进行强度校核。

② 伏罗洛夫方法

当船斜置波浪时,研究表明下述二种情况对连接桥最为不利:

■ 如图 12-10 所示,一片体的首处于波峰,尾处于波谷。另一片体则相反。此时连接桥所受的扭矩最大,横倾力矩也接近于最大值;

■ 如图 12-11 所示,一片体的舭处于波峰,首尾两端处于波谷。另一片体则相反。此时连接桥两端所受不同符号的弯曲力矩达最大值,作用于片体舭剖面的扭矩接近最大值。

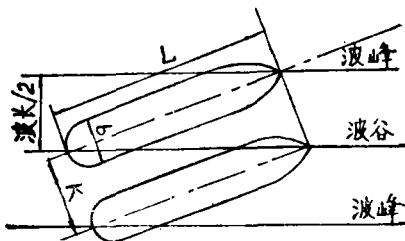


图 12-10 扭矩最大的波浪位置

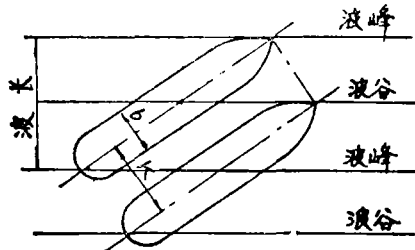


图 12-11 弯矩最大的波浪位置

作用于每一片体的纵倾力矩,亦即连接桥所受的最大扭矩:

$$M_1 = 98\zeta_1 hbL^2 \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (12.10)$$

作用于一片体的横倾力矩,亦即作用于连接桥横梁一端的集中弯矩:

$$M_2 = 98\zeta_2 hb^2L \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (12.11)$$

作用于每一片体的纵向弯矩:

$$M_3 = 98\zeta_3 hbL^2 \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (12.12)$$

作用于每一片体舭截面的扭转力矩:

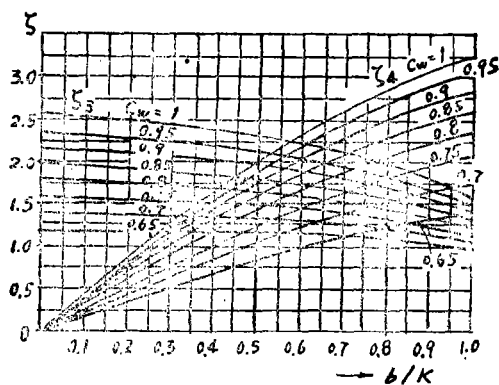
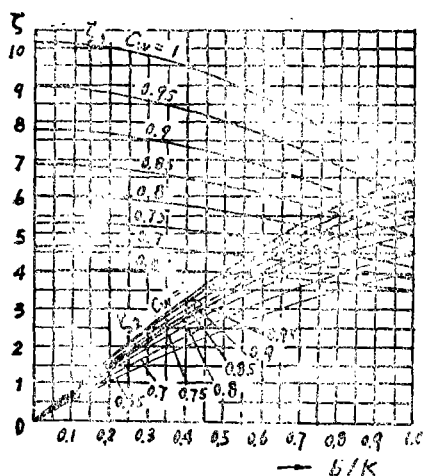


图 12-12 系数 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ 的确定

$$M_4 = 98\zeta_4 hb^2 L \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (12.13)$$

上述四个公式中的系数 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ 可按 b/K 和 C_w 在图 12-12 中查得。

上述 M_1, M_2, M_3, M_4 为作用于片体的纵倾、横倾、弯曲和扭转力矩。这些力矩通过连接桥的反作用力而得以平衡，故此力矩数值即为波浪通过片体作用于连接桥的力矩值。经比较计算表明，上述公式的计算结果与试验资料的差异不超过 10%。中国船舶及海洋工程设计研究院设计的沿海乙型双体交通船按伏罗洛夫方法确定连接桥在斜浪中受到的扭矩被证实是合理的〔12-4〕。

与史葛特的计算方法相比较，伏罗洛夫方法在理论上更严密些也较合理些，而史葛特法偏于保守。经计算比较，按公式 (12.9) 算得的扭矩值远大于按 (12.10) 式算得的扭矩值。由于人们对于连接桥强度的极度重视以及考虑可能遇到的意外情况，故往往按史葛特法计算扭矩，使连接桥强度偏于安全。

(4) 波浪冲击

波浪对连接桥的拍击作为局部强度来考虑。按史葛特的建议，波浪对连接桥的拍击压力可取 0.048MPa 来计算。对内河船来说，波浪拍击不是主要的，一般不予考虑。即认为在满足弯曲及扭转强度时，亦可保证受波浪冲击的局部强度。

12.3.5 结构强度计算

(1) 横向弯曲计算

双体船在受横向弯曲力矩作用时，可以将连接桥看做一相当梁，取连接桥的纵剖面为计算剖面。计入计算剖面的构件，除连接桥横梁、强横梁、主甲板板以及强力横舱壁、横舱壁上的水平扶强材外，还包括沿船长方向长度超过 40% L 的上甲板板。但考虑可能失稳，故上甲板板作为抗横弯曲构件时，按横舱壁的附连翼板宽度来计入，计入宽度取 0.5 倍的上甲板计算长度，这样考虑是偏于安全的。

据“双体船横舱壁光弹性试验”的结果表明，横舱壁的高度与双体间距之比小于 1 时，则可按直梁弯曲计算应力（即应力沿垂向呈线性分布）。故双体船连接桥受横向弯曲力矩时可做为相当梁的直梁弯曲来计算。

(2) 扭转计算

连接桥结构受扭时，可认为外力扭矩 M_n 主要由主甲板、横舱壁及上甲板围成的薄壁箱形梁结构和主甲板下的连接桥横梁这两部分所承受。假定片体为刚性，连接桥结构为片体间的两端固定梁。横向扭转时，两片体横向相对扭转一个 φ 角度。这时连接桥横梁两端产生相对位移，该位移沿纵向两端大，中间小，呈线性变化。而薄壁箱形结构则作纯扭转。由扭矩平衡条件得：

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (12.14)$$

式中： M_{n1} ——由主甲板下连接桥横梁承受的扭矩， $\text{N} \cdot \text{m}$ ；

Mn_2 ——由薄壁箱形结构承受的扭矩,
N·m。

根据变形协调条件可求得片体相对转角:

$$\varphi = \frac{Mn}{\sum \frac{12EI_i}{l_i^3} (x_i - x_0)^2 + \sum \frac{C}{l}} \quad (12.15)$$

此处: I_i ——各连接桥横梁的惯矩, m^4 ;

l_i ——各连接桥横梁的长度, m ;

x_0 ——扭转中心距尾端的距离, m ;

x_i ——各横梁距尾端的距离, m ;

l ——薄壁箱形结构的长度, m : 为简化计算, 可取横梁的平均长度来代替 [12-5]。

C_i ——各个薄壁箱形结构的抗扭刚度, $N \cdot m^2$, 可按下式计算:

$$C = \frac{4GSn^2}{\int \frac{ds}{t}} \quad (12.16)$$

此处: Sn ——每一个箱形结构壁的厚度中心线所围成的面积, m^2 ;

$\int \frac{ds}{t}$ ——每个箱形结构周界(厚度中心线)各部分长度除以此处壁厚的积分和。

由(12.15)式求得转角 φ 后, 各部分的扭矩及应力易于求得。其中每个薄壁箱形结构分担的扭矩可按式(12.17)计算,

$$Mn = \varphi \cdot C_i / l \quad (12.17)$$

而各连接桥横梁分担的扭矩可按式(12.18)计算:

$$Mn = \varphi \cdot 12EI_i (x_0 - x_i)^2 / l_i^3 \quad (12.18)$$

(3) 稳定性校核

对双体船连接桥的构件除进行强度校核外尚须进行稳定性校核。计算方法参见有关结构设计手册。

12.3.6 结构强度计算实例

“前哨9号”是由长江船舶设计院设计的1500客位双体客轮, 航行于长江下游上海至崇明岛航线, 其片体构件按《长江钢船建造规范》A级航区设计。本例对该船中间体连接桥和上甲板部份进行强度校核和稳定性校核。

计算方法是先分别计算弯曲、扭转产生的应力, 然后加以迭加。而后对危险断面验算其强度和稳定性是否在许用应力范围之内。

(1) 主要尺度

总长 50.835m 水线长 L 45m

片体宽 b 5.2m 片体中心距 K 12m

总宽 B 17.2m 型深 4.1m

吃水 d 2.8m 排水量 Δ 712t

肋距: 0~12°为0.5m; 12~72°为0.55m;

72~80°为0.5m

(2) 横向弯曲应力计算

校验剖面及剖面结构图如图12-13所示。校验剖面的最大弯矩按一片体半脱水状态计算,

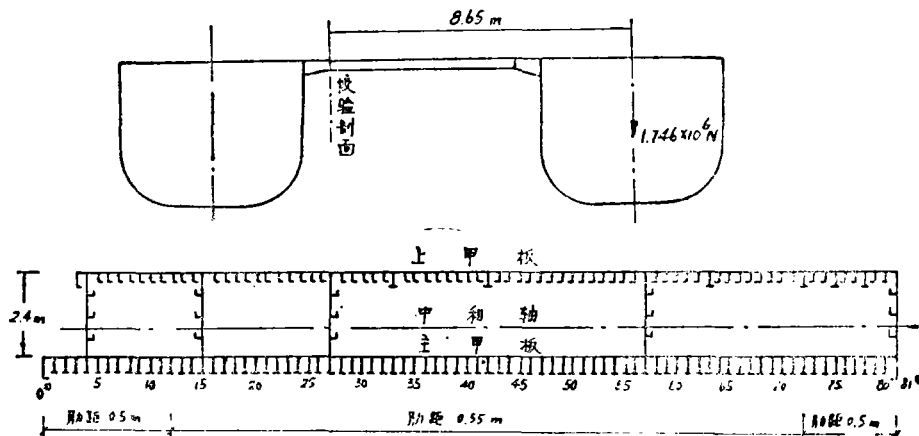


图12-13 校验剖面及剖面结构图

表 12-8 剖面惯性矩计算表

构件名称	构件尺寸 (m)	数量	剖面积 (m ²)	距主甲板 (m)	对主甲板 静力矩 (m ³)	对主甲板 惯性矩 (m ⁴)	自身惯性矩 (m ⁴)
I	I	II	IV	V	VI	VII	VIII
0号、81号端梁	$L \frac{10 \times 300}{80}$						
腹板	0.01 × 0.3	2	6 × 10 ⁻⁸	-0.15	-9 × 10 ⁻⁴	1.35 × 10 ⁻⁴	4.5 × 10 ⁻⁵
面板	0.01 × 0.08	2	1.6 × 10 ⁻³	-0.305	-4.88 × 10 ⁻⁴	1.49 × 10 ⁻⁴	—
连接桥横梁	$\perp \frac{7 \times 250}{10 \times 80}$						
腹板	0.007 × 0.25	80	0.14	-0.125	-0.0175	2.19 × 10 ⁻³	7.29 × 10 ⁻⁴
面板	0.01 × 0.08	80	0.064	-0.255	-0.0163	4.16 × 10 ⁻³	—
主甲板板	0.006 × 43.5	1	0.261	0	0	0	—
横隔壁	0.005 × 2.4	5	0.06	1.2	0.072	0.0864	0.0288
隔壁扶强材	L75 × 50 × 5	17	9.19 × 10 ⁻³	1.2	0.011	0.0132	—
上甲板板	0.005 × 42 × 0.5*	1	0.105	2.4	0.252	0.6048	—
上甲板横梁	L75 × 50 × 5	67	0.041	2.36	0.0968	0.2284	—
上甲板强梁	$\perp \frac{6 \times 200}{8 \times 80}$						
腹板	0.006 × 0.2	6	7.2 × 10 ⁻³	2.3	0.01656	0.0381	2.4 × 10 ⁻⁵
面板	0.008 × 0.08	6	3.84 × 10 ⁻³	2.196	8.43 × 10 ⁻³	0.0185	—
总和			0.699	0.603	0.4216	1.0256	

*注: 0.5为上甲板板的折减系数

$$M = 0.5 \times 3.492 \times 10^6 \times 8.65$$

$$= 15.1 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

剖面惯性矩计算按表12-8进行。

从表 12-8 可算出剖面中和轴至主甲板距离 e ;

$$e = \Sigma \text{VI} / \Sigma \text{IV} = 0.4216 / 0.699 = 0.603 \text{ m}$$

剖面对中和轴之惯性矩;

$$I = \Sigma (\text{VII} + \text{VIII}) - \Sigma \text{IV} \times e^2$$

$$= 1.0256 - 0.699 \times 0.603^2 = 0.771 \text{ m}^4$$

横向弯曲正应力按下式计算:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (\text{MPa}) \quad (12.19)$$

式中: M ——弯矩, MN·m;本船 $M = 15.1 \text{ MN} \cdot \text{m}$ y ——各构件面积形心至中和轴距离, m; I ——剖面对中和轴之惯性矩, m⁴;本船算得 $I = 0.771 \text{ m}^4$

① 0°、81°端梁面板弯曲正应力

$$\sigma = 15.1 \times (0.305 + 0.603) / 0.771$$

$$= 17.77 \text{ MPa}$$

② 主甲板下普通横梁面板弯曲正应力

$$\sigma = 15.1 \times (0.255 + 0.603) / 0.771$$

$$= 16.79 \text{ MPa}$$

③ 主甲板板弯曲正应力

$$\sigma = 15.1 \times 0.603 / 0.771 = 11.80 \text{ MPa}$$

④ 上甲板板弯曲正应力

$$\sigma = 15.1 \times (2.4 - 0.603) / 0.771$$

$$= 35.17 \text{ MPa}$$

横隔壁承受的弯曲剪应力按下式计算:

$$\tau = 1.18 Q / A \quad (\text{MPa}) \quad (12.20)$$

式中: Q ——剪力, MN; 本船 $Q = 1.746 \text{ MN}$
($\frac{1}{2}$ 片体排水重量)

A ——横隔壁剖面面积之和, m^2 ;

本船 $A = 0.06 \text{m}^2$

代入得: $\tau = 1.18 \times 1.746 / 0.06$

$= 34.30 \text{MPa}$

(3) 扭转应力计算

① 计算扭矩 按公式(12.9)

$$M_n = 0.04 \times 45 \times 6.984 \times 10^6$$

$$= 12.57 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{m} = 12.57 \text{MN} \cdot \text{m}$$

② 主甲板横梁截面要素计算(表12-9)

表 12-9 主甲板横梁截面要素

	0号、81号梁	1~11, 73~80号横梁	12~72号横梁
剖面形状及尺寸 (mm)	$\begin{bmatrix} 6 \times 500 \\ 10 \times 250 \\ 10 \times 80 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 \times 500 \\ 7 \times 250 \\ 10 \times 80 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 \times 550 \\ 7 \times 250 \\ 10 \times 80 \end{bmatrix}$
惯性矩 $I(\text{m}^4)$	7.47×10^{-8}	5.77×10^{-8}	5.94×10^{-8}
剖面面积 $A(\text{m}^2)$	5.3×10^{-3}	5.55×10^{-3}	5.85×10^{-3}
剖面模数 $W(\text{m}^3)$	5.62×10^{-4}	7.44×10^{-4}	8.07×10^{-4}
最小剖面模数 $W_1(\text{m}^3)$	4.27×10^{-4}	3.19×10^{-4}	3.22×10^{-4}

③ 求扭转中心 x_0

扭转中心 x_0 的一般表达式为:

$$x_0 = \frac{\sum I_i x_i / l_i^3}{\sum I_i / l_i^3} \quad (12.21)$$

为了简化计算,可取 $l_i = l = 6.8 \text{m}$ 。于是可在公式(12.21)中消去 l 简化成如下形式:

$$x_0 = \frac{\sum I_i x_i}{\sum I_i} \quad (12.22)$$

此处 x_0 为扭转中心距尾端的距离(m); x 为各横梁距尾端的距离(m); 具体计算可采用表格法求和(表12-10)。本例算得

$$x_0 = \frac{\sum I_i x_i}{\sum I_i} = \frac{0.1057}{4.87 \times 10^{-3}}$$

$$= 21.70 \text{m (距尾端)}$$

说明扭转中心在40°与41°肋骨之间。

④ 求薄壁箱形结构的抗扭刚度 ΣC_i

本船上层建筑可简化成如图 12-14 的薄壁箱形结构,它由四个箱形结构所组成,各个箱形结构的抗扭刚度按(12.16)式计算如下:

$$C_1 = \frac{4GS_n^2}{\int \frac{ds}{t}} = \frac{4 \times 8 \times 10^{10} \times (2.4 \times 5.65)^2}{2 \times \frac{2.4}{0.005} + \frac{5.65}{0.006} + \frac{5.65}{0.005}} = 1.94 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$C_2 = \frac{4GS_n^2}{\int \frac{ds}{t}} = \frac{4 \times 8 \times 10^{10} \times (2.4 \times 6.6)^2}{2 \times \frac{2.4}{0.005} + \frac{6.6}{0.006} + \frac{6.6}{0.005}} = 2.38 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$C_3 = \frac{4GS_n^2}{\int \frac{ds}{t}} = \frac{4 \times 8 \times 10^{10} \times (2.4 \times 16.5)^2}{2 \times \frac{2.4}{0.005} + \frac{16.5}{0.006} + \frac{16.5}{0.005}} = 7.16 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$C_4 = \frac{4GS_n^2}{\int \frac{ds}{t}} = \frac{4 \times 8 \times 10^{10} \times (2.4 \times 12.75)^2}{2 \times \frac{2.4}{0.005} + \frac{12.75}{0.006} + \frac{12.75}{0.005}} = 5.32 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$\Sigma C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 16.8 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{m}^2$$

⑤ 求相对转角 φ

片体相对转角 φ 按公式(12.15)计算。本船取各横梁长度相等,即 $l_i = l = 6.8 \text{m}$,于是(12.15)式可简化成:

$$\varphi = \frac{M_n}{\frac{12E}{l^3} \sum I_i (x_i - x_0)^2 + \frac{1}{l} \Sigma C_i} \quad (12.23)$$

其中分母 $\sum I_i (x_i - x_0)^2$ 一项可先按表12-10逐项积分得到 $\sum I_i x_i^2$ 值,然后通过移轴公式得到:

$$\begin{aligned} \sum I_i (x_i - x_0)^2 &= \sum I_i x_i^2 - x_0^2 \cdot \sum I_i \\ &= 3.109 - 21.7^2 \times 4.87 \times 10^{-3} \\ &= 0.816 \text{m}^6 \end{aligned}$$

表12-10 扭转中心和横梁抗扭刚度计算表

编号 <i>i</i>	I_1 (m ⁴)	x_1 (m)	$I_1 \cdot x_1$ (m ⁵)	$I_1 \cdot x_1^2$ (m ⁶)	肋号 <i>i</i>	I_1 (m ⁴)	x_1 (m)	$I_1 \cdot x_1$ (m ⁵)	$I_1 \cdot x_1^2$ (m ⁶)
0	7.47×10^{-5}	0	0	0	41	5.94×10^{-5}	21.95	1.30×10^{-3}	0.0286
1	5.77×10^{-5}	0.5	2.89×10^{-5}	1.44×10^{-5}	42	5.94×10^{-5}	22.5	1.34×10^{-3}	0.0311
2	5.77×10^{-5}	1	5.77×10^{-5}	5.77×10^{-5}	43	5.94×10^{-5}	23.05	1.37×10^{-3}	0.0316
3	5.77×10^{-5}	1.5	8.66×10^{-5}	1.30×10^{-4}	44	5.94×10^{-5}	23.6	1.40×10^{-3}	0.0331
4	5.77×10^{-5}	2	1.15×10^{-4}	2.31×10^{-4}	45	5.94×10^{-5}	24.15	1.43×10^{-3}	0.0346
5	5.77×10^{-5}	2.5	1.44×10^{-4}	3.61×10^{-4}	46	5.94×10^{-5}	24.7	1.47×10^{-3}	0.0362
6	5.77×10^{-5}	3	1.73×10^{-4}	5.19×10^{-4}	47	5.94×10^{-5}	25.25	1.50×10^{-3}	0.0379
7	5.77×10^{-5}	3.5	2.02×10^{-4}	7.07×10^{-4}	48	5.94×10^{-5}	25.8	1.53×10^{-3}	0.0395
8	5.77×10^{-5}	4	2.31×10^{-4}	9.23×10^{-4}	49	5.94×10^{-5}	26.35	1.57×10^{-3}	0.0412
9	5.77×10^{-5}	4.5	2.60×10^{-4}	1.17×10^{-3}	50	5.94×10^{-5}	26.9	1.60×10^{-3}	0.0430
10	5.77×10^{-5}	5	2.89×10^{-4}	1.44×10^{-3}	51	5.94×10^{-5}	27.45	1.63×10^{-3}	0.0448
11	5.77×10^{-5}	5.5	3.17×10^{-4}	1.75×10^{-3}	52	5.94×10^{-5}	28	1.66×10^{-3}	0.0466
12	5.94×10^{-5}	6	3.56×10^{-4}	2.14×10^{-3}	53	5.94×10^{-5}	28.55	1.70×10^{-3}	0.0484
13	5.94×10^{-5}	6.55	3.89×10^{-4}	2.55×10^{-3}	54	5.94×10^{-5}	29.1	1.73×10^{-3}	0.0503
14	5.94×10^{-5}	7.1	4.22×10^{-4}	2.99×10^{-3}	55	5.94×10^{-5}	29.65	1.76×10^{-3}	0.0522
15	5.94×10^{-5}	7.65	4.51×10^{-4}	3.48×10^{-3}	56	5.94×10^{-5}	30.2	1.79×10^{-3}	0.0542
16	5.94×10^{-5}	8.2	4.87×10^{-4}	3.99×10^{-3}	57	5.94×10^{-5}	30.75	1.83×10^{-3}	0.0562
17	5.94×10^{-5}	8.75	5.20×10^{-4}	4.55×10^{-3}	58	5.94×10^{-5}	31.3	1.86×10^{-3}	0.0582
18	5.94×10^{-5}	9.3	5.52×10^{-4}	5.14×10^{-3}	59	5.94×10^{-5}	31.85	1.89×10^{-3}	0.0603
19	5.94×10^{-5}	9.85	5.85×10^{-4}	5.76×10^{-3}	60	5.94×10^{-5}	32.4	1.92×10^{-3}	0.0624
20	5.94×10^{-5}	10.4	6.18×10^{-4}	6.42×10^{-3}	61	5.94×10^{-5}	32.95	1.96×10^{-3}	0.0645
21	5.94×10^{-5}	10.95	6.50×10^{-4}	7.12×10^{-3}	62	5.94×10^{-5}	33.5	1.99×10^{-3}	0.0667
22	5.94×10^{-5}	11.5	6.83×10^{-4}	7.86×10^{-3}	63	5.94×10^{-5}	34.05	2.02×10^{-3}	0.0689
23	5.94×10^{-5}	12.05	7.16×10^{-4}	8.63×10^{-3}	64	5.94×10^{-5}	34.6	2.06×10^{-3}	0.0711
24	5.94×10^{-5}	12.6	7.48×10^{-4}	9.43×10^{-3}	65	5.94×10^{-5}	35.15	2.09×10^{-3}	0.0734
25	5.94×10^{-5}	13.15	7.81×10^{-4}	0.0103	66	5.94×10^{-5}	35.7	2.12×10^{-3}	0.0757
26	5.94×10^{-5}	13.7	8.14×10^{-4}	0.0111	67	5.94×10^{-5}	36.25	2.15×10^{-3}	0.0781
27	5.94×10^{-5}	14.25	8.46×10^{-4}	0.0121	68	5.94×10^{-5}	36.8	2.19×10^{-3}	0.0804
28	5.94×10^{-5}	14.8	8.79×10^{-4}	0.0130	69	5.94×10^{-5}	37.35	2.22×10^{-3}	0.0829
29	5.94×10^{-5}	15.35	9.12×10^{-4}	0.0140	70	5.94×10^{-5}	37.9	2.25×10^{-3}	0.0853
30	5.94×10^{-5}	15.9	9.44×10^{-4}	0.0150	71	5.94×10^{-5}	38.45	2.23×10^{-3}	0.0878
31	5.94×10^{-5}	16.45	9.77×10^{-4}	0.0161	72	5.94×10^{-5}	39	2.32×10^{-3}	0.0903
32	5.94×10^{-5}	17	1.01×10^{-3}	0.0172	73	5.77×10^{-5}	39.5	2.28×10^{-3}	0.0909
33	5.94×10^{-5}	17.55	1.04×10^{-3}	0.0183	74	5.77×10^{-5}	40	2.31×10^{-3}	0.0823
34	5.94×10^{-5}	18.1	1.08×10^{-3}	0.0195	75	5.77×10^{-5}	40.5	2.34×10^{-3}	0.0946
35	5.94×10^{-5}	18.65	1.11×10^{-3}	0.0207	76	5.77×10^{-5}	41	2.37×10^{-3}	0.0979
36	5.94×10^{-5}	19.2	1.14×10^{-3}	0.0219	77	5.77×10^{-5}	41.5	2.39×10^{-3}	0.0994
37	5.94×10^{-5}	19.75	1.17×10^{-3}	0.0232	78	5.77×10^{-5}	42	2.42×10^{-3}	0.1013
38	5.94×10^{-5}	20.3	1.21×10^{-3}	0.0245	79	5.77×10^{-5}	42.5	2.45×10^{-3}	0.1042
39	5.94×10^{-5}	20.85	1.24×10^{-3}	0.0258	80	5.77×10^{-5}	43	2.48×10^{-3}	0.1067
40	5.94×10^{-5}	21.4	1.27×10^{-3}	0.0272	81	7.47×10^{-5}	43.5	3.25×10^{-3}	0.1414
Σ						4.87×10^{-3}	21.70	0.1057	3.109

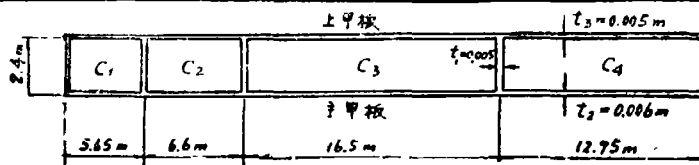


图12-14 薄壁箱形结构图

取 $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa}$, 将各数据代入(12.23)式, 得:

$$\varphi = \frac{12 \times 2.1 \times 10^{11}}{6.8^3} \times 0.816 + \frac{1}{6.8} \times 16.8 \times 10^{10} = 4.02 \times 10^{-4}$$

⑥ 连接桥横梁的反力、弯矩和扭转应力

连接桥横梁因扭转而引起的受力情况如图12-15所示。图中 δ_i 是扭转引起的垂直位移, 两端大, 中间小, 呈线性变化, 在扭转中心处 $\delta = 0$ 。我们假设片体对横梁为刚性固定, 横梁作弯曲变形, 则可建立下述关系式:

$$\delta_i = \text{tg} \varphi \cdot (x_i - x_0) \approx \varphi \cdot (x_i - x_0) \quad (12.24)$$

$$R_i = 12EI_i \delta_i / l_i^3 \quad (12.25)$$

$$M_i = 6EI_i \delta_i / l_i^2 \quad (12.26)$$

具体计算按表12-11进行。

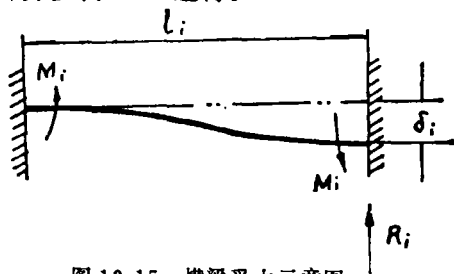


图 12-15 横梁受力示意图

表12-11 连接桥横梁中因扭转引起的应力计算表

		0号、81号端梁	80号普通横梁
位移 $\delta_i = \varphi \cdot (x_i - x_0)$	(m)	8.74×10^{-5}	8.56×10^{-5}
反力 $R_i = 12EI_i \delta_i / l_i^3$	(N)	5232	3958
弯矩 $M_i = 6EI_i \delta_i / l_i^2$	(N·m)	17790	13459
剖面模数 W	(m ³)	5.62×10^{-4}	7.44×10^{-4}
最小剖面模数 W_1	(m ³)	4.27×10^{-4}	3.19×10^{-4}
小翼板正应力 $\sigma_i = M_i / W_1$	(Pa)	41.66×10^6	42.19×10^6
主甲板正应力 $\sigma_i = M_i / W$	(Pa)	31.65×10^6	18.09×10^6
腹板断面积 A_i	(m ²)	3×10^{-3}	1.75×10^{-3}
切应力 $\tau_i = 1.18 R_i / A_i$	(Pa)	2.06×10^6	2.67×10^6

⑦ 薄壁箱形构件中的扭转剪应力计算

两端部的受力较大, 故取第四区域作为校验对象,

薄壁箱形结构分担的扭矩,

$$\begin{aligned} Mn_4 &= \varphi \cdot C_4 / l \\ &= 4.02 \times 10^{-4} \times 5.32 \times 10^{10} / 6.8 \\ &= 3.145 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

薄壁箱形结构壁厚中心线所围成的面积,

$$Sn_4 = 2.4 \times 12.75 = 30.6 \text{ m}^2$$

主甲板剪应力,

$$\begin{aligned} \tau_2 &= \frac{Mn_4}{2Sn_4 \cdot t_2} = \frac{3.145 \times 10^6}{2 \times 30.6 \times 0.006} \\ &= 8.56 \times 10^6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

上甲板剪应力,

$$\begin{aligned} \tau_3 &= \frac{Mn_4}{2Sn_4 \cdot t_3} = \frac{3.145 \times 10^6}{2 \times 30.6 \times 0.005} \\ &= 10.28 \times 10^6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

横隔壁剪应力,

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{Mn_4}{2Sn_4 \cdot t_1} = \frac{3.145 \times 10^6}{2 \times 30.6 \times 0.005} \\ &= 10.28 \times 10^6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

(4) 应力迭加与强度校核

相当应力按第三强度理论计算,

表12-12 应力迭加和强度校核(第四区域)

构件名称	弯曲应力(MPa)		扭转应力(MPa)		迭加应力(MPa)		相当应力 σ^* (MPa)	许用应力 [σ] (MPa)
	σ	τ	σ	τ	σ	τ		
81号端梁	17.77	34.30	41.66	2.06	59.43	36.36	93.92	18
80号横梁	16.79	34.30	42.19	2.67	58.98	36.97	94.58	188
主甲板	11.80	34.30	31.65	8.56	43.45	42.86	96.10	188
上甲板	35.17	34.30		10.28	35.17	44.58	95.85	188
横隔壁	35.17	34.30		10.28	35.17	44.58	95.85	188

注: 弯曲应力中, 取横隔壁的正应力与上甲板相同, 所有构件的剪应力与横隔壁相同, 这是偏于安全的。

$$\sigma^* = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (12.27)$$

$$\begin{aligned} \text{许用应力} [\sigma] &= 0.8\sigma_T = 0.8 \times 235 \text{ MPa} \\ &= 188 \text{ MPa} \end{aligned}$$

由表 12-12 可见各构件之相当应力均小于材料的许用应力, 所以可以认为本船连接桥在弯曲和扭转过程中有足够的强度。

(5) 稳定性校验

① 主甲板受压稳定性计算

假设甲板在横梁和船侧处为刚性自由支持, 则沿着支持周界长边受压的板的欧拉应力

$$\begin{aligned} \sigma_E &= 78.48 \left(\frac{100 \cdot t}{b} \right)^2 \\ &= 78.48 \left(\frac{100 \times 0.006}{0.55} \right)^2 \\ &= 93.40 \text{ MPa} \end{aligned}$$

剪切欧拉应力

$$\begin{aligned} \tau_E &= 104.97 \left(\frac{100 \cdot t}{b} \right)^2 \\ &= 104.97 \left(\frac{100 \times 0.006}{0.55} \right)^2 \\ &= 124.92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

此处 b 为板的宽度, 取 $b = \text{肋骨间距} = 0.55 \text{ m}$ 。本船主甲板 $\sigma = 43.45 \text{ MPa} < \sigma_E$; $\tau = 42.86 \text{ MPa} < \tau_E$ 所以不会失稳。

② 根据给定的欧拉应力值求主甲板横梁的惯性矩

$$I_{\min} = \frac{l^2 \cdot \sigma_E \cdot A}{\pi^2 \cdot E} \quad (12.28)$$

本船 $l = 6.8 \text{ m}$, $\sigma_E = 93.40 \text{ MPa} = 93.40 \times 10^6 \text{ Pa}$,

$$A = 5.55 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

代入得:

$$\begin{aligned} I_{\min} &= \frac{6.8^2 \times 93.40 \times 10^6 \times 5.55 \times 10^{-3}}{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}} \\ &= 1.16 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

本船连接桥普通横梁 $I = 5.77 \times 10^{-5} \text{ m}^4 > I_{\min}$, 则可保证主甲板的稳定性。

③ 0°、81°端梁受压稳定性计算

自由翼板受压的欧拉应力

$$\begin{aligned} \sigma_E &= 8.24 \left(\frac{100 \cdot t}{b} \right)^2 \\ &= 8.24 \left(\frac{100 \times 0.01}{0.08} \right)^2 \\ &= 1288 \text{ MPa} \end{aligned}$$

此处板宽 b 取折边宽度 0.08 m 。

立板受压的欧拉应力可视作两端刚性固定梁计算:

$$\begin{aligned} \sigma_E &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.5l)^2 \cdot A} \\ &= \frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11} \times 7.47 \times 10^{-5}}{0.25 \times 6.8^2 \times 5.3 \times 10^{-3}} \\ &= 2524 \text{ MPa} \end{aligned}$$

本船 0°、81°端梁 $\sigma = 59.43 \text{ MPa} < \sigma_E$

④ 普通横梁受压稳定性计算

自由翼板受压的欧拉应力

$$\begin{aligned} \sigma_E &= 8.24 \left(\frac{100 \cdot t}{b} \right)^2 \\ &= 8.24 \left(\frac{100 \times 0.01}{0.04} \right)^2 = 5150 \text{ MPa} \end{aligned}$$

此处 b 取面板一半的宽度计算。

立板受压的欧拉应力

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.5l)^2 \cdot A}$$

$$= \frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11} \times 5.77 \times 10^{-6}}{0.25 \times 6.8^2 \times 5.55 \times 10^{-3}}$$

$$= 1862 \text{ MPa}$$

本船普通横梁 $\sigma = 58.98 \text{ MPa} < \sigma_E$

⑤ 上甲板受压稳定性计算

$$\sigma_E = 78.48 \left(\frac{100 \times 0.005}{0.55} \right)^2 = 64.86 \text{ MPa}$$

$$\tau_E = 104.97 \left(\frac{100 \times 0.005}{0.55} \right)^2 = 86.75 \text{ MPa}$$

本船上甲板 $\sigma = 35.17 \text{ MPa} < \sigma_E$; $\tau = 44.58 \text{ MPa} < \tau_E$ 故不存在失稳的可能性。

12.4 方案设计实例^[12-2]

本例介绍申崇线双体客轮方案选择过程。

12.4.1 设计任务书的要点

(1) 本轮航行于长江下游上海市吴淞口至崇明岛、长兴岛之间,是四季通航的短途柴油机客轮。

(2) 要求在满载时,在主机发足额定功率、风力不超过蒲氏三级下,试航速率不低于 22km/h。

(3) 要求在东南风 8 级、阵风 9 级下航行时具有良好的摇摆性能。

(4) 要求一舱不沉。

(5) 要求载客座席 1500 名、载货 25 吨、续航力 150 小时。

(6) 主机为 2 台 6NVD36AU 柴油机,额定转速 500r/min,额定功率 315kW。

12.4.2 船型的选择

在设计该轮时,曾作过单体和双体两种船型在布置、主尺度及阻力性能方面的比较。由于双体船有甲板面积大、稳性好、操纵灵便等优点,对于该航区的短途客轮很适用。一艘 45 米长的双体船可以很舒适地布置 1500 名座席及 80m² 的货舱,而且还有宽敞的游步甲板。为了达到抗风 9 级的要求,双体船也是较理想的船型。鉴于双体船的优越性,设计单位和使用单

位一致同意该轮为双体船型。

12.4.3 重量及排水量的计算

(1) 载重量计算

旅客 1500 人 $\times 70 \text{ kg/每人} = 105 \text{ 吨}$

船员 54 人 $\times 120 \text{ kg/每人} = 6.48 \text{ 吨}$

主辅机燃油(满足 150 小时的续航力) 30 吨

主辅机滑油(满足 150 小时的续航力) 1.5 吨

淡水(满足一天的用量) 30 吨

粮菜、小卖品 3 吨

载货量 25 吨

合计 $DWT = 200.98 \text{ 吨}$

(2) 根据总布置要求预选尺度

水线长 $L = 45 \text{ m}$ 吃水 $d = 2.8 \text{ m}$

片体宽 $b = 5.2 \text{ m}$ 型深 $D = 4.1 \text{ m}$

总宽 $B = 17.2 \text{ m}$

(3) 船体重量计算

本船立方数 $N = L \cdot 2b \cdot D = 1918.8 \text{ m}^3$

钢材重量 $W_H = C_H \cdot N = 0.17 \times 1918.8$
 $= 326 \text{ t}$

木作舾装重量 $W_E = C_E \cdot N$

$= 0.052 \times 1918.8 = 100 \text{ t}$

机电重量 $W_M = 75 \text{ t}$

电焊、油漆重量 $W_1 = 0.03 \times W_H = 9.78 \text{ t}$

载重量 $DWT = 200.98 \text{ t}$

总计排水量 $\Delta = 711.76 \text{ t}$

12.4.4 主尺度选择

(1) 船长 L

航行于该航区的船舶,除了考虑快速性以及总布置的要求外,还必须注意到船舶纵摇的性能。该航区常出现的波浪长度为 30~40 米,根据现有船舶航行的经验,船员提出船舶长度不应小于 40 米才能跨两个波峰,避免严重的纵摇。原有的“沪航 10 号”船长为 43 米,纵摇性能良好。故综合总布置、阻力及纵摇性能的考虑,选用 $L = 45 \text{ 米}$ 。

(2) 片体船宽 b

双体船的设计,从阻力角度而言应尽可能地增大 L/b 值。对于普通的单体快速客货轮,此比值在 7.5~9.0 之间,为了保证必需的稳性,船宽不允许取得过小。对于双体船,则不存在

影响稳性的问题,因此船宽可以取得小一些,但应满足机舱布置和排水量的需要。本船取片体宽 $b=5.2\text{m}$, $L/b=8.65$ 。

(3) 吃水 d

本船由于航道的限制,设计吃水取 $d=2.8\text{m}$ 。

(4) 片体中心距 K

在兼顾总体布置的情况下应使间距不宜太小,避免片体间出现严重的波浪干扰。由于本船未做船模试验,只能根据现有资料进行计算分析,最后取 $K=12\text{m}$, $K/L=0.266$ 属于正常范围。实船航行观察与预期的结果相似,在片体间未见严重的波浪干扰。

(5) 方形系数和棱形系数

本船方形系数 $C_B=0.545$ 。本船设计傅氏数 $Fn=0.291$,若按公式(12.1)计算,波系干扰较小的 C_F 在 $0.647\sim 0.687$ 之间,这样与方形系数 $C_B=0.545$ 不能配合,故实际取 $C_F=0.59$ 。

(6) 主尺度及系数的总结

总长 $L_{CA}=50.835\text{m}$ 型深 $D=4.1\text{m}$

水线长 $L=45\text{m}$ 排水量 $\Delta=712\text{t}$

片体宽 $b=5.2\text{m}$ 方形系数 $C_B=0.545$

总宽 $B=17.2\text{m}$ 棱形系数 $C_P=0.59$

吃水 $d=2.8\text{m}$ 中剖面系数 $C_M=0.922$

符 号 表

K ——片体中心距, m

L ——船长,常指设计水线长, m

C_P ——棱形系数

Fn ——以设计水线长表征的傅氏数, $Fn=v/\sqrt{gL}$

v ——船速, m/s

b ——片体宽度, m

C_B ——方形系数

d ——吃水, m

X_B ——浮心距船中的位置, m , 艏前为+, 艏后为-

S ——浸湿面积, m^2

C_R ——双体船剩余阻力系数

∇ ——型排水体积, m^3

C_{Ro} ——片体剩余阻力系数

k_o ——干扰阻力占总阻力的分数

k_R ——干扰阻力占剩余阻力的分数

C_F ——摩擦阻力系数

C_T ——总阻力系数

ΔC_F ——粗糙度补贴系数,一般取为 0.4×10^{-3}

B ——双体船型宽, m

Δ ——排水量, t

C_{To} ——片体的总阻力系数

W_H ——船体钢料重, t

C_H ——船体钢料重量系数, t/m^3

Δ_0 ——空船重量, t

M ——弯矩, $\text{N}\cdot\text{m}$

M_n ——扭矩, $\text{N}\cdot\text{m}$

h ——波高, m

C_W ——水线面系数

φ ——相对转角, rad

E ——弹性模量, Pa , 钢取 $2.1\times 10^{11}\text{Pa}$

G ——剪切弹性模量, Pa , 钢取 $8\times 10^{10}\text{Pa}$

t ——板的厚度, m

s ——周界长度, m

δ ——横梁因扭转引起的垂直位移, m

l ——横梁的平均长度, m

x_o ——扭转中心距尾端距离, m

x_i ——各横梁距尾端距离, m

σ ——正应力, Pa

τ ——剪切应力, Pa

I ——剖面惯性矩, m^4

R ——支点反力, N

W ——剖面模数, m^3

σ_E ——受压时的欧拉应力, MPa

τ_E ——受剪时的欧拉应力, MPa

参 考 文 献

[12-1] 蒋慰昌: 双体船阻力的模型试验和理论计算,《中国造船》,1965年第3期

[12-2] 长江船舶设计院:《内河船舶设计手册》(船体分册),北京,人民交通出版社,1977年第1版

[12-3] 黄武林、张素荣: 双体船阻力的一种估算方法,《船舶工程》,1987年第1期

[12-4] 宋国华: 乙型双体交通船,《舰船科研与设计》1987年第1期

[12-5] 傅世瑶: 双体船连接桥恶劣工况中箱形结构长度的确定,《内河运输》1982年第3期

本刊编辑部新装电话机号码为: (0511)239493(直线)