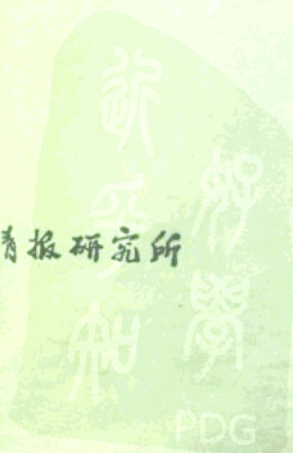


螺旋桨译文集

交通部上海船舶运输科学研究所

上海科学技术情报研究所



螺旋桨译文集

交通部上海船舶运输科学研究所

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 5 字数: 124,000

1973年9月第1版 1973年9月第1次印刷

印数: 1-8,000

代号: 151634-1 元

(只限



内 容 提 要

为了适应我国造船事业的发展,我们收集了有关船舶推进方面最近发表的九篇国外文献,涉及的范围包括有特种推进器(同轴正反转螺旋桨、导管和艏部推进器)、伴流的估算方法、船舶马力估算等诸方面的问题。供从事船舶研究、设计和制造等部门参考。

由于水平有限,错误难免,望读者批评指正。

交通部上海船舶运输科学研究所

一九七三年七月



目 录

船用螺旋桨模型系列试验的比较.....	1
决定中小型船伴流系数的方法.....	6
从船模水池试验推算实船伴流系数的图表.....	18
高速单桨定期货船的阻力和推进.....	21
动量理论在同轴正反转螺旋桨设计中的应用.....	41
K_V 导管推进器系列	52
船舶低、中速时使用船艏侧向推力装置的效果.....	58
小船功率估算法及其应用.....	62
MAU 型五叶螺旋桨系列扩展设计图谱	75

船用螺旋桨模型系列试验的比较

螺旋桨的敞水试验至少有50种系列,其中46种已有资料发表^[1~17],它们是由英国、美国、德国、荷兰、瑞典以及日本的船舶研究机构测试的。因为所选用的设计细节,测量和计算方法各不相同,即使基本参数实际相同时,各系列之间也会产生某些效率和转速上的差异。这些参数是:

(1) 推力负荷系数

$$C_T = T / (\rho V_A^2 / 2) (\pi D^2 / 4) \\ = \frac{8}{\pi} T / \rho D^2 V_A^2 = \frac{8}{\pi} (K_2)$$

或马力负荷系数

$$1,000 (K_2) / 75 \eta_0 \\ = 1,000 P_D / \rho D^2 V_A^3 = (P_D)_3$$

(2) 进速系数 $J = V_A / nD$

(3) 螺距比 H/D

(4) 盘面比 A_D / A_0 (A_D = 展开叶面积)

(5) 叶数 Z

(6) 叶轮廓, 叶厚度比

(7) 叶剖面横切面和曲率

所采用的符号都和国际水池会议(ITTTC)新的标准相一致,只有名义压力面螺距选用 H 代替 P , 因为 P 已表示功率, 单位为马力 (P_D 相当于机器马力 WPS)。这些系列不仅研究了具有高效率的自航海轮螺旋桨的负荷, 就是对于效率仅达25%的重负荷内河船与拖轮螺旋桨也必须进行研究。

一组可以作为系列试验的模型, 除了要有精确的相同参数外, 至少还要有四种不同的螺距比, 以便画成曲线进行研究。我们所采用的各种螺旋桨的设计数据综合汇总于表1作为船舶设计的标准中等负荷螺旋桨现在习惯采用瓦格宁根系列 B4.55^[18, 19], 即四叶, 盘面比 A_D/A 为0.55, 不对称翼型, 近根

部为机翼型, 外部为圆背型。但是至今还不清楚瓦格宁根系列的其他叶数和盘面比在那个范围内较好或较坏, 也很少知道它和其它新的国际系列作过有价值的比较。

虽然很早以前也作过这种比较^[20~22], 但只限于少数老的系列, 而且以过多的细节代替了全貌。那时大概还没有像文献[6]176页上那样的图表表达方式, 因此在相同负荷时并不能证实有很大的效率差别。仅少数系列的两个新的部分比较得出, 在其他参数相同时, 翼剖面形状具有不可忽略的影响, $\Delta \eta_0 = 6\%$ ^[9], 而六叶的效率相对于四叶和五叶也有些下降, $\Delta \eta_0 \approx 3\%$ ^[10]。这里都是在给定转速下比较最佳效率, 对于这种转速通常用一个最佳直径来表示。而用

$$(K_4) = K_T / J^4 = (K_2) / J^2 = T n^2 / \rho V_A^4$$

来表示名义负荷系数时, 其中只出现转速而没有直径。

仅仅比较最佳效率是有很大意义的。因为常常免不了有偏差, 即便是不大, 但对不同系列的效率毫无疑问要相应地变坏。不过人们常常忽略了以下事实, 即从 (K_4) 算得的直径并不是绝对地最佳值, 而只是在给定转速时的最佳值, 绝对的最佳直径是在很大螺距比时, 能达到70~80%的最高效率。但这样直径的螺旋桨在任何时候都难以安排到一条船上。

由于目前经常选用齿轮箱, 螺旋桨转速不是预先固定的, 因此这里所涉及到的广泛比较中并不采用 (K_4) 这个值。其次, 如果采用尽可能大的直径, 也即较小的推力负荷系数, 并用 $(K_2) = \frac{K_T}{J^2} = T / \rho D^2 V_A^2$ 这个值来判别最好可能的效率, 就可能得到一个比较

表 1 系列螺旋桨模型试验资料

文献	名称	直径 毫米	叶数 (z)	叶厚 (% D)	展弦比 (% D)	螺距比 (H/D)	盘面比 (A_D/A_0)	叶后 斜角	叶轮 廓形	试验 场合	结果 表示 方式	注	符 号
[1]	佛放德	244	3和4	7.4	9.2	0.8~1.4	0.4~0.6	15°	e	s	滑脱- η_0	叶后斜角无影响	e =椭圆的
[2]	台芳	407	3和4	5	20	0.6~2.0	0.38	0°	e	s	$B_p, \delta-\eta_0$	也有其它盘面比 A_D/A_0	s =对称的
[3]	香复仑	120	2,3,4	3~7	16.7	0.6~1.5	0.15~ 0.75	0°	e	s		各种各样的名称	u =不对称的
[4]	瓦格宁根	240	2~7	4~5	16.7和19	0.6~1.4	0.35~1.0	15°	u	s	$K_T-J-\eta_0$	标准系列 B	v =各种各样
[5]	高恩 1937	244	3	3.5	10	0.8~1.4	0.45~1.1	0°	e	s	$K_T-J-\eta_0$	1950年杜斯特用 B_p, δ 表达	
[6]	高恩 1953	508	3	6	20	0.4~2.0	0.2~1.1	0°	e	s	$(K_2)-\eta_0$	比较基础	K =圆背形
[7]	高恩/贝立尔	407	3	4.5	20	0.3~2.0	0.5~1.1	0°	s	TK	$K_T-J-\eta_0$	修正壁影响	T =机翼形
[8]	矢崎敦生	250	5	5	18	0.4~1.4	0.8	10°	u	s	$K_T-J-\eta_0$	日本; 也有其它盘面 比 A_D/A_0	L =凸透镜形
[9]	葛特堡格 1961	250	3和5	4~6	19	0.85~ 1.75	0.75~1.2	0°	s	K, S_u, K_v	$K_T-J-\eta_0$	47号报告; 未修正	
[10]	葛特堡格 1967		3,4,5	5	15~20	0.5~1.3	0.45~0.6	5°	u	s	$K_T-J-\eta_0$	60号报告; 葛特堡格标准 系列	s =拖曳水池
[11]	沃斯基公司	254	3	6	16.7	1.0~2.0	0.5~1.0	0°	s	K_v	$K_T-J-\eta_0$	未修正, 但有速度修正曲线	K_v =空泡水槽
[12]	纽卡斯特 1963	407	4	各式各样	20	0.6~1.6	0.59	10°	u	K_v	$K_T-J-\eta_0$	修正	
[13]	纽卡斯特 1967	407, 305	5和6	5	19	0.4~1.6	0.65	12.5°	u	K_v	$K_T-J-\eta_0$	修正	
[14]	奥布宁 1965	213, 254	3,4,5	4~6	16.7~20	0.5~1.2	0.5~0.86	0° 10°	v	L, S_u, K_v	$K_T-J-\eta_0$	不完全	
[15]	奥布宁 1968	213	4	4.5	16.7~30	0.85	0.4~0.7	10°	u	L, S_u, K_v	$K_T-J-\eta_0$	不完全	
[16]	矢崎敦生 1966	220, 250	3和4	5	30和34	0.4~1.0	0.35~0.7	0°	u	s	$K_T-J-\eta_0$	可变螺距螺旋桨	
[17]	埃索·维斯		4	~7	~30	-8°~+12°	0.45	0°	s	s	$(K_2)-\eta_0$	可变螺距螺旋桨, 冰区加强	

好的螺旋桨效率。人们也做了关于 (K_2) 最佳曲线的螺旋桨图谱^[18]。在 $(K_2) = \text{常数}$ 时任何一个较大的偏差都会出现一个低的效率。其中也给出了 (K_4) 的最佳曲线。在轻负荷即快速自航时这两种最佳曲线的区别是小的,但在重负荷即拖轮情况,按文献[17]所提供的数据约为5~7%。

现采用 (K_2) 即上述之参数 (1), 并不考虑转速和螺距比时比较最高可达到的效率。为此在比较时消去了参数 (2) 和 (3)。这时将 (4) 和 (5) 即盘面比和叶数作为参数来考虑, 于是能够使效率产生差异的仅仅是由于 (6) 和 (7), 即叶轮廓和厚度及剖面形状和曲率, 但是测量精确度以及可能的尺度效应也会有影响^[23]。由于通常印刷的模型试验的 K_T 和 η_0 关于 J 的图谱都很小, 因而需进行必要的换算, 这种缺点应尽可能通过绘制必要的大尺度的曲线 (η_0 对 K_2 或对 H/D) 来避免。

虽然新近已经用低压空泡水筒作螺旋桨系列试验^[7, 9, 11~15], 但只是用在大气压以及很高空泡数下进行测量。在这种情况下, 船后伴流场, 空泡, 振动以及很大螺旋桨时可能产生的尺度效应都会对敞水螺旋桨最佳比较值产生偏差。为了清楚地进行比较, 这些偏差在这里也不予考虑。

R. E. 佛汝德和 D. W. 台劳已经确定了盘面比对效率的影响。后来, 内河船的造船师们都认为重负荷的拖轮推进器应该有大的盘面比。事实上这样的螺旋桨一般在拖桩时 $J=0$ 有较大的推力值 $K_T = T/\rho n^2 D^4$, 但在拖航时 $J \approx 0.2$ 这种影响已不很明显了。这方面高恩在 1953 年^[6]用较大直径的三叶螺旋桨进行严格的试验已明确肯定了。在盘面比 A_D/A_0 在 0.2~1.1 相当大的范围内, 高恩发现效率总是随着叶面积增大而逐渐减小, 自航时影响更大。拖航时稍小。此外, 高恩认为, 台劳的 $B_p-\delta$ 图谱并不适

当, 因为所有参数中都包含有转速, 以致都乐于用 (K_2) 来表达。根据上述考虑, 选用 1953 年高恩系列作为比较基础。另外, 盘面比相等时可以认为叶数没有明显的影响。下面就利用高恩的三叶来和其他四叶, 五叶, 六叶螺旋桨进行比较。

图 1 绘出了大范围内 (K_2) 或推力负荷系数 C_T 的最佳效率, 具有椭圆形轮廓, 圆背型翼剖面的高恩系列在轻负荷时和相等盘面比的现代互格宁根系列 B4.55 相当一致。在重负荷时 B4.55 约高 3%。较好的是 1967 年新的葛特堡格系列^[110], 而好到几乎难以置信的则是同年的纽卡斯特系列^[131]。它相对高恩系列比, η_{opt}/η_0 太高了。所以不仅需要在封闭的旋环水筒内而且要在拖曳水池内对其测量进行独立的校核。

对于要用机器马力 P_D 代替螺旋桨推力的情况, 图 1 右边也标上了 B4.55 和葛特堡格 1967 (P_{D3}) 的刻度。

所有各种螺旋桨系列的最佳效率与高恩系列的区别用正负百分数列于表 2。一切数据都按原样录下, 其中有些已作过筒壁影响^[11~13], 最小剖面阻力^[9, 10]或尺度影响^[3]的特别修正, 有些则没有。对于超过或低于高恩 4% 以上的均用黑体字印出。按照叶数整理的主要结果如下:

(1) 按高恩所指出的增加盘面比将降低

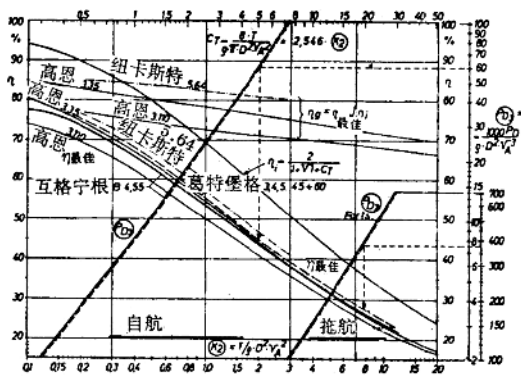


图 1 最佳螺旋桨效率

表 2 和 1953 年高恩系列比较结果

 $(K_2) = K_T/J^2 = 0.393 \cdot C_T$ C_T = 推力负荷系数

文献	名 称	叶数	A_D/A_0	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
				$\eta_{epi} \%$	$\%$	$\%$	$\%$	$\%$	$\%$	$\%$
[6]	高恩 1953	3	0.35 0.50 0.65 0.80 0.95 1.10	80.4 79.0 77.7 76.4 75.2 74.0	74.6 73.4 72.3 71.3 70.3 69.4	64.1 63.0 62.0 61.0 60.1 59.3	54.5 53.6 52.7 51.9 51.1 50.3	44.0 43.4 42.8 42.2 41.6 41.1	31.1 30.8 30.5 30.2 30.0 29.8	23.2 23.0 22.8 22.6 22.4 22.2
	±% 相对高恩			$\%$	$\%$	$\%$	$\%$	$\%$	$\%$	$\%$
[3]	香复仑	3	0.42 0.56 0.70		-5.0 -4.0 -3.0	-4.4 -3.4 -2.4	-6.0 -5.0 -4.0	-9.1 -8.2 -7.3	-8.1 -7.3 -6.5	-3.8 -3.4 -2.9
[4]	瓦格宁根	3	0.35 0.50 0.65 0.80	-0.9 -1.3 -0.8 -7.0	-0.5 -0.5 -0.4 -6.1	+0.1 -1.5 -2.4 -5.5	+1.0 -1.3 -5.2 -5.6	+3.4 -0.9 -7.5 -5.1	+6.1 -1.3 -8.4 -5.3	+8.6 ±0 -7.9 -5.3
[7]	高恩/贝立尔	3	0.65	-2.1	+0.8	+1.5	+2.7	+5.1		
[9]	葛特堡格 Nr. 47	3	0.75 0.90 1.05 1.20	-3.3 -6.6 -7.7 -8.1	-4.7 -6.2 -7.2 -7.3	-5.5 -5.8 -6.5 -6.5	-6.5 -6.5 -6.2 -6.0	-7.2 -6.1 -5.7 -5.9	-7.5 -5.8 -5.5 -6.5	-6.0 -4.7 -3.8 -5.4
[10]	葛特堡格 Nr. 60	3	0.45	-0.4	+1.0	+0.9	+0.7	+1.3	+2.6	±0
[11]	沃斯波公司	3	0.48 0.71 0.95	-1.2 -4.4 -6.0	±0 -1.3 -3.8	-0.9 +0.8 -1.1				
[8]	香复仑	4	0.37 0.56 0.75		-12.2 -4.5 -1.6	-6.1 -2.8 -0.2	-5.6 -3.9 -2.1	-3.9 -3.5 -3.6	-2.7 -3.9 -5.0	-5.0 -7.7 -10.3
[4]	瓦格宁根	4	0.40 0.55 0.70 0.85 1.00	-1.3 -1.4 -1.6 -3.9 -1.0	-0.2 +0.4 -0.9 -3.8 -1.2	+1.1 +0.5 -0.9 -1.1 -1.5	+0.7 +0.3 -1.2 -0.2 -0.5	+0.4 +1.1 -2.0 -0.7 -1.0	+3.0 +3.1 -2.7 -0.7 -0.5	+4.2 +4.0 -2.6 ±0 +0.9
[10]	葛特堡格 Nr. 60	4	0.47 0.53 0.60	-0.7 -0.4 -0.6	+2.2 +2.3 +1.5	+2.7 +3.0 +1.4	+2.4 +1.9 +0.8	+3.0 +1.9 +1.0	+6.9 +3.7 +1.7	+7.4 +7.3 +0.4
[12]	纽卡斯特 1963	4	0.587	+0.7	+3.3	+3.0	+4.9			
[17]	埃索维斯可变螺距	4	0.45	-11.7	-5.0	-3.5	-3.7	-3.7	-2.0	±0
[4]	瓦格宁根	5	0.45 0.60 0.75	-3.2 -4.0 -0.2	-2.0 -3.1 +1.1	-1.9 -0.5 +3.0	-2.1 +0.4 +2.9	-0.9 +0.4 +1.9	+1.0 +0.3 +2.1	+4.3 +0.9 +2.1
[8]	矢崎敦生	5	0.80	-5.0	-1.6	+0.7	+0.5	+0.5	+0.7	±0
[9]	葛特堡格 Nr. 47	5	0.75 0.90 1.05 1.20	+0.2 -0.1 -1.8 -3.0	+2.4 ±0 -1.5 -2.6	+2.4 -1.4 -1.5 -3.0	+2.2 -1.0 -2.4 -3.0	+1.0 -2.1 -3.2 -3.7	+1.7 -3.0 -3.4 -4.1	+1.8 -0.5 -3.4 -3.0
[10]	葛特堡格 Nr. 60	5	0.60	-1.0	+2.8	+3.9	+3.5	+3.8	+6.6	+5.2
[13]	纽卡斯特 1967	5	0.643	+2.5	+5.7	+8.1	+8.2	+9.0		
[13]	纽卡斯特 1967	6	0.65		+1.0	+6.1	+7.3	+9.3	+10.4	

效率的趋势, 只要根据表中竖向正负百分数的变化就可证实。不过有例外, 比如在较小(K_2)值时, 瓦格宁根的 3.80 对 3.65 及 5.75 对 5.60, 也许这是由于螺旋桨模型的不正确和测量误差所引起的。

(2) 三叶螺旋桨比高恩系列出现很大的负百分数, 即效率很差。四叶, 五叶平均比高恩的效率。而高恩系列本身又是三叶的, 因此叶数几乎不能作为单一的影响来说明。对唯一的六叶尚不能作出判断, 主要是由于它是属于上面值得怀疑的纽卡斯特系列。

(3) 香复仑系列都比高恩差, 由于采用仅 120 毫米小直径的模型。但这些负的百分数有一部分却并不比其它类似盘面比的系列差。也就是说, 尺度影响还不太清楚。

(4) 颇受欢迎的瓦格宁根系列^[4]的 3.65 特别是 3.80 显然效率太低, 相反, 四叶和五叶倒相当不错。B4.55 是很好的中等负荷螺旋桨, 特别是它也适合于较高的负荷。

(5) 旧的三叶葛特堡格系列是不好的(有点过时)。然而旧的五叶却较好(比较第 2 点)。新的葛特堡格三、四、五叶的系列全部都好乃至很好^[10], 所以它在瑞典被称为标准

系列。曲线也画在图 1 上。

(6) 日本^[8], 英国^[11], 和德国^[17]的螺旋桨都还不错, 但在绝对最大效率(K_2)=0.1 附近不佳, 可能是由于这儿难于计值。曾介绍了一种尽管是考虑了冰区加强并有较粗的毂径^[17], 但仍然是值得注意的好推进器。

(7) 早先在纽卡斯特空泡水筒做的三叶和四叶的试验^[7, 12], 已经获得了相当好的效率。最近在同样水筒做的五叶、六叶则更好, 其结果令人怀疑。

可以认为近十年来由于应用了高度发展的环流理论, 螺旋桨性能已有了一些明显的改进^[10], 但这里所研究的一般概况还是远远不够的。现在应借助电子计算机用环流理论系统地探讨一开始所列举的各有关参数以及它们与螺距和剖面曲率修正的各种组合的影响。对此, 刚刚有了一个开端^[25], 通过直径为 20 吋 = 508 毫米模型用大的高恩仪器进行了新的试验和校核, 并已证实, 对于船舶螺旋桨推进器已有了最终良好的表达方式。

(参考文献略)

译自《Schiff und Hafen》1969, No. 5

决定中小型船伴流系数的方法

以船长 $L=70\sim 150$ 米, 载重量 20,000 吨以下的中小型船为对象, 分析讨论其伴流系数的结果, 确认与以垂直棱形系数为基础的北岛氏图表所得数值相一致。所以, 根据该图表, 在最近新造船的范围内, 进行更合适的修正, 得到下列简单而精确的伴流系数关系式:

$$w_M = w_{M0} \cdot 1.082 (5C_v - 3.31) \left(0.437 + 0.25 \frac{B}{T} \right) \left(0.518 + 1.38 \frac{E}{T} \right)$$

这里, 对于各个 $D_p/L(\%)$, w_{M0} 取以下数值:

$$D_p/L = 4.0 \sim 3.7 \quad w_{M0} = 0.53 - 0.06 \frac{D_p}{L}$$

$$D_p/L = 3.7 \sim 3.3 \quad w_{M0} = 0.641 - 0.09 \frac{D_p}{L}$$

$$D_p/L = 3.3 \sim 2.8 \quad w_{M0} = 0.76 - 0.126 \frac{D_p}{L}$$

另外, 实船满载状态和试航状态的伴流系数由下式决定:

$$L < 100 \text{ 米} \quad w_{sh} = w_M; w_{st} = 0.95 \cdot w_M$$

$$L > 100 \text{ 米} \quad w_{sh} = 1 - (1 - w_M) \left(0.92 + 0.08 \frac{L}{100} \right)$$

$$w_{st} = 1 - (1 - 0.95w_M) \left(0.92 + 0.08 \frac{L}{100} \right)$$

绪 言

作为螺旋桨设计的重要因素的船速和伴流系数, 决定得是否恰当, 对于螺旋桨的性能特别是转速变化具有很大影响。若决定的伴流系数值过小, 则螺旋桨达不到设计转速而显得重, 经验指出这往往是给于机器带来不好的影响以及引起种种麻烦的原因。

决定伴流系数的方法, 对于普通船舶, 以前虽有泰勒^[1,2]、拉米仑^[1,2]、泰尔否^[1,3]、谢纳^[1,3]、瓦卡尔特^[2,4]、哈波特^[5]、北岛氏^[6]等; 对于大型油船、大型肥船有日立造船所^[7], 日立造船造机工课^[7]和植竹氏^[7]等; 对于渔船有日立造船佐藤氏^[8,9]以及本文作者^[9]等发表了计算式和图表, 但未发表决定中小型船

伴流系数的方法。

这里, 把船长 $L=70\sim 150$ 米、载重量为 20,000 吨以下的中小型船为对象, 对其试航结果和航海实际记录进行分析。因为由北岛氏图表决定的值与实际非常一致, 所以基于该图表, 在最近建造的船型范围内进行进一步合适的修正。得到了中小型船上最合适的伴流系数表达式以及随推进器直径变化的决定伴流系数增减率的方法。

中小型船伴流系数的比较和研讨

1. 伴流系数的比较

伴流系数值随船体形状, 推进器的大小及其安装位置等而变化。欲求得正确的值是

困难的,直到现在发表了绪言中所叙述的许多计算式子和图表。而实际上这些方法参差不一,不能断言都是完善的。

这里,为了明确其特点,把过去几十年来,在日立造船向岛工场和其他地方建造的 $L=70\sim 150$ 米,载重量20,000吨以下的中小型船为对象,用泰勒、拉米仑、泰尔否、瓦卡尔特、北岛氏发表的式子和图表所得的数值,与试航结果和航运实测结果的分析数值加以比较,认为大概情况如下。

为省略数值的细节,举例于表1、表2。符号说明如下:

- L ——船长(米)
- B ——船宽(米)
- D ——船深(米)
- T ——满载吃水(米)
- l ——浮心纵向位置,表示为离舯的距离 $L\%$,即 $l(\%)=0$ 表示位于舯,正值表示位于舯后,负值表示位于舯前。

- E ——推进器中心离基线高度(米)
- D_p ——推进器直径(米)
- d ——推进器毂径(米)
- C_o ——方形系数
- C_p ——棱形系数
- C_w ——水线面面积系数
- C_v ——垂向棱形系数
- w_m ——据北岛氏图表所得的船模伴流系数
- w_{Mo} ——标准船模($C_v=0.867$)在满载状态下的伴流系数
- w_M ——船模在满载状态下的伴流系数
- w_{Mt} ——船模在试航状态下的伴流系数
- w_{sh} ——实船在满载状态下推算的伴流系数
- w_{st} ——实船在试航状态下推算的伴流系数
- w_s ——实船试航分析伴流系数。

表1 总吨位4,950吨货船之伴流系数

船体(米)	$L=112.5$ $B=16.7$ $T=7.3$ $E=2.5$		
系 数	$C_o=0.734$ $C_p=0.741$ $C_v=0.865$ $E/T=0.343$		
船 名	Q	R	增加率
推进器直径 D_p (米)	4.60	3.90	3.60
泰 洛	0.318		
拉米仑	0.311		
泰尔否	0.257	0.266	0.273 1:1.035:1.086 1:1.05
瓦卡尔特	0.310	0.357	0.373 1:1.15:1.22 1:1.059
北 岛	0.277	0.327	0.355 1:1.18:1.285 1:1.089
试航分析	0.283	0.331	0.360 1:1.17:1.28 1:1.089
航海实测满载状态		0.340	0.380 1:1.118
航海实测轻载状态		0.327	0.363 1:1.110

表2 总吨位3,400吨货船之伴流系数

船体(米)	$L=98$ $B=15$ $T=6.42$ $E=2.0$		
系 数	$C_o=0.732$ $C_p=0.741$ $C_v=0.864$ $E/T=0.312$		
推进器直径 D_p (米)	H	I	J
	3.25	3.10	3.00
泰 洛	0.316		
拉米仑	0.309		
泰尔否	0.263	0.269	0.274 1:1.022:1.08 1:1.02
瓦卡尔特	0.291	0.299	0.304 1:1.028:1.043 1:1.017
北 岛	0.331	0.349	0.365 1:1.055:1.104 1:1.046
试航分析	0.350	0.369	0.388 1:1.053:1.11 1:1.071

(1) 推进器直径变小时,伴流系数变大。但在只包含 C_o 为变数的泰勒、拉米仑的式子中并不体现这一变化;

(2) 在泰尔否式子中,虽含有 D_p 这一变数,但与分析结果不一致。另外,随推进器直

表3 中小型船主尺度,各系数以及伴流系数

船名	L×B×D (米)	Y (米)	C _b	C _w	C _v	L ₁ (%)	直径 D _p (米)	推进器 直径 D _p (米)	B (米)	D _p /L ₁ (%)	B/L	B/T	E/T	修正 系数 K	北岛 w _{no} 对于 C _b	北岛 w _m 对于 C _b	瓦尔 卡特 W	试航 分析 w _a
A	74.5×11.6×5.9	5.27	0.723	0.844	0.857	-1.15	2.15	0.400	1.60	2.39	0.537	2.20	0.304	0.923	0.362	0.378	0.294	0.378
B	80×12.4×6.4	5.50	0.740	0.870	0.851	-1.21	2.55	0.505	1.70	3.19	0.632	2.26	0.309	0.926	0.357	0.330	0.281	0.317
C	80×12.4×6.4	5.50	0.740	0.870	0.851	-1.21	2.60	0.510	1.70	3.25	0.638	2.26	0.309	0.920	0.350	0.325	0.276	0.314
D	80×12.7×6.55	5.60	0.741	0.871	0.851	-1.00	2.54	0.510	1.70	3.18	0.638	2.27	0.304	0.928	0.360	0.340	0.280	0.336
E	84×12.8×6.65	5.66	0.742	0.871	0.852	-1.19	2.70	0.540	1.90	3.22	0.643	2.26	0.336	0.977	0.361	0.331	0.324	0.311
F	85×13.0×6.5	5.83	0.710	0.796	0.892	-0.56	2.65	0.540	2.40	3.12	0.653	2.23	0.412	1.155	0.313	0.414	0.514	0.471
G	98×15.2×7.7	6.63	0.734	0.806	0.847	-1.204	3.20	0.615	2.10	3.27	0.628	2.29	0.317	0.954	0.339	0.317	0.282	0.338
H	98×15.0×7.7	6.42	0.722	0.847	0.864	-0.408	3.25	0.610	2.00	3.32	0.622	2.34	0.312	0.978	0.330	0.338	0.291	0.350
I	98×15.0×7.7	6.42	0.732	0.847	0.864	-0.408	3.10	0.590	2.00	3.16	0.602	2.34	0.312	0.982	0.346	0.355	0.299	0.369
J	98×15.0×7.7	6.42	0.732	0.847	0.864	-0.408	3.00	0.580	2.00	3.06	0.592	2.34	0.312	0.983	0.362	0.371	0.304	0.388
K	98×15.0×7.7	6.42	0.732	0.847	0.864	-0.408	3.40	0.630	2.20	3.47	0.694	2.34	0.343	0.973	0.316	0.324	0.285	0.298
L	98×15.2×8.1	6.57	0.733	0.865	0.850	-1.215	3.05	0.590	2.10	3.11	0.602	2.32	0.320	0.962	0.354	0.337	0.299	0.345
M	102×16.0×9.0	5.95	0.754	0.845	0.892	-0.99	3.40	0.700	2.47	3.33	0.646	2.69	0.415	1.280	0.369	0.390	0.475	0.485
N	105×17.4×8.8	5.55	0.682	0.814	0.838	+0.01	3.80	0.760	2.35	3.62	0.724	2.66	0.424	1.473	0.240	0.275	0.379	0.387
O	109×17.2×8.6	6.89	0.746	0.850	0.878	-1.10	3.50	0.660	2.40	3.21	0.606	2.50	0.348	1.070	0.367	0.374	0.377	0.378
P	109×16.0×9.0	6.95	0.740	0.869	0.852	-1.165	3.90	0.970	2.50	3.58	0.890	2.31	0.360	1.000	0.320	0.310	0.311	0.294
Q	112.5×16.7×9.1	7.30	0.734	0.849	0.865	-0.444	3.90	0.940	2.50	3.47	0.836	2.29	0.343	0.990	0.325	0.330	0.327	0.331
R	112.5×16.7×9.1	7.30	0.734	0.849	0.865	-0.444	3.60	0.880	2.50	3.20	0.782	2.29	0.343	0.996	0.350	0.358	0.378	0.360
S	129×20.0×11.1	8.30	0.737	0.864	0.854	-1.21	4.85	0.920	3.05	3.76	0.706	2.41	0.368	1.078	0.300	0.290	0.319	0.300
T	132×21.8×12.0	8.95	0.750	0.875	0.857	-1.26	5.00	1.225	3.20	3.79	0.929	2.44	0.358	1.094	0.317	0.290	0.327	0.301
U	139×21.4×12.0	9.00	0.738	0.858	0.860	-0.65	4.95	0.940	3.20	3.56	0.647	2.38	0.366	1.064	0.317	0.311	0.338	0.357
V	140×21.8×11.6	8.85	0.747	0.870	0.859	-1.25	5.00	0.950	3.20	3.57	0.678	2.47	0.362	1.085	0.332	0.309	0.360	0.322
W	143×21.4×12.3	9.00	0.750	0.875	0.857	-1.32	4.95	0.940	3.30	3.46	0.658	2.38	0.367	1.070	0.348	0.316	0.337	0.314
X	146×22.6×12.9	9.18	0.757	0.840	0.902	-1.35	5.10	0.970	3.50	3.49	0.665	2.46	0.382	1.122	0.357	0.388	0.442	0.375
Y	152×22.8×13.6	8.80	0.789	0.866	0.920	-1.296	5.10	0.990	3.25	3.96	0.652	2.59	0.370	1.129	0.430	0.440	0.468	0.450
LA	130×20.8×12.5	8.54	0.640	0.770	0.832	+0.516	5.00	0.950	3.20	3.85	0.731	2.44	0.375	1.160	0.190	0.257	0.300	0.285
LB	140×20.8×12.0	8.40	0.651	0.756	0.861	+0.671	4.95	0.940	3.20	3.54	0.671	2.48	0.381	1.208	0.212	0.314	0.339	0.321
LC	142.5×20×12.3	9.29	0.644	0.781	0.825	+0.583	5.90	1.420	3.70	4.14	1.000	2.16	0.399	1.060	0.188	0.237	0.251	0.266
LD	146×22×13.35	9.45	0.577	0.719	0.803	+1.80	5.90	1.050	3.65	4.04	0.720	2.33	0.396	1.190	0.137	0.206	0.245	0.212

2只平均

2只平均

2只平均

4只平均

3只平均

2只平均

3只平均

2只平均

4只平均

2只平均

2只平均

2只平均

径的增减率也比瓦卡尔特、北岛氏以及实船分析的结果为小；

(3) 按照基于 C_0 的瓦卡尔特图表所得的伴流系数，虽比较一致，但对于 E/T 小的船，给出的值小些，并且随推进器直径变化的增减率比北岛氏和实船分析的结果为小；

(4) 按北岛氏方法决定的值比其他任何方法来得接近实际，但对于 E/T 小的船以及 C_0 大的船，要考虑修正。随推进器直径的变化增减率也有比较好的结果。

2. 伴流系数的讨论

在表 3 上，表示了载重量在 20,000 吨以下的散装货船、木材运输船、特殊工作船、高中速船，一般货船的船体主尺度、各系数，试航分析值以及根据基本 C_0 和 C_0 的北岛氏图表和瓦卡尔特图表所得的伴流系数值。可见，根据基于北岛氏 C_0 的图表所得的数值具有最好的一致性。

(1) 据北岛氏图表的方法

北岛氏假定标准船型，用翼轮伴流仪测量推进器位置处的伴流，给出所求得的在各半径处伴流系数的平均值以及推进器盘面上的平均伴流系数图表。

若给出船体主尺度和推进器的大小尺寸，则按该图表所作的推算容易进行的。为了对付采用高速柴油机，致使 D_p/L 减小，扩充了推算范围，就图 1 修正使用之。

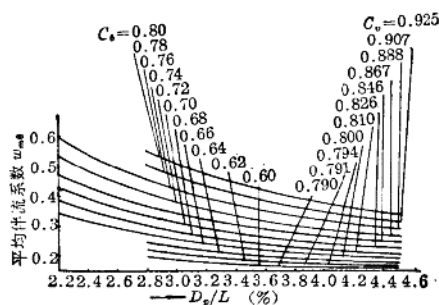


图 1 标准船型的平均伴流系数

另外，为了使用除标准船型以外任意船型的修正系数图表方便起见，将图 2~6 的形式，局部加以修正。

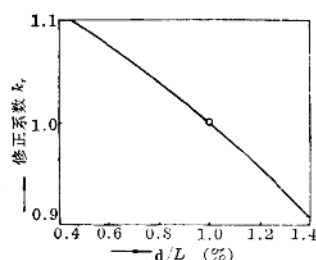


图 2 对推进器直径的修正

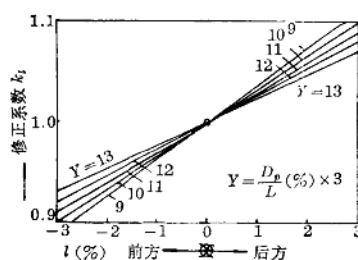


图 3 对纵向浮心位置的修正

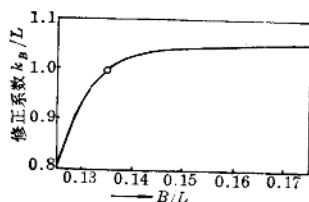


图 4 B/L 与标准值不同情况的修正

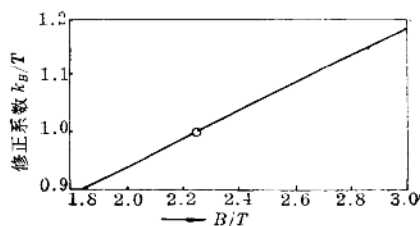


图 5 B/T 与标准值不同情况的修正

由这些图表，可按下式求得推进器盘面上的平均伴流系数：

$$w_m = w_{m0} \cdot k = w_{m0} \cdot k_r \cdot k_e \cdot k_{B/L} \cdot k_{B/T} \cdot k_{E/T}$$

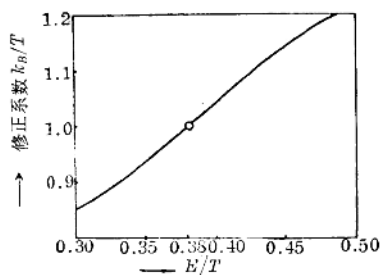


图6 E/T 与标准值不同情况的修正

(2) 垂向棱形系数 C_b 。大的船的伴流系数

北岛氏方法的标准船的 C_b 和 C_{b0} 的关系示于图7。因表3上的货船F号、特殊工作船M、N号，高中速船LA~LD号 C_b 小而 C_{b0} 大的船上出现大的伴流系数，必需多加注意并进行研究讨论。对于这类船，按北岛氏图表进行推算，认为仍应该基于 C_b 进行推算。

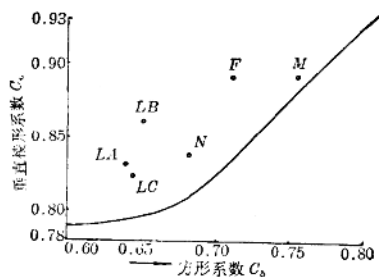


图7 标准船的 C_b 和 C_{b0} 的关系

(3) 与船体比较推进器直径显得小时的伴流系数

近年来，随着高增压柴油机的迅速发展，机器变得小而轻，在大船上采用高转速机器的倾向增大。因为在这些船上装了直径比过去要小的推进器，推进器的伴流系数相应变大，对转数而言出现变重的现象。

近来，载重量为10,000吨的油船-SA号和更换主机船SB号出现的这个现象非常显著，经分析讨论，其结果表示于表4。

表4 推进器直径小的船的伴流系数

船名	$L \times B \times D$ (米)	T (米)	C_b	C_{b0}	C_{b1}	l (%)
SA	128 × 19.4 × 9.15	6.70	0.792	0.863	0.918	-0.892
SB	130 × 17.1 × 7.56	7.56	0.763	—	—	—

船名	E	主机		推进器		北岛氏的试航分	
		马力	转/分	直径 D_p (米)	直径 d (米)	伴流系数 w_m	析值 w_s
SA	2.3	3,500	225	3.3	0.675	0.66	0.603
SB	2.18	2,400	240	3.0	0.71	0.61	0.575

SA号，SB号的船长为128~130米，但比起船的大小来，机器功率3,500和2,400马力显得小而机器转速225转/分和240转/分显得高，所以推进器直径3.3米和3.0米就显得非常小。

对1950年，1951年以前所造的船长 $L=120\sim132$ 米货船的调查来看，其主机功率都为2,600~5,600马力，转速为105~134转/分， D_p/L 为3.75~4.15%，而SA号 D_p/L (%) = 2.58，SB号 D_p/L (%) = 2.31，都非常小。为此，根据北岛氏图表所求得伴流系数，SA号的 $w_m=0.66$ ，SB号的 $w_m=0.61$ ，而试航分析结果，SA号的 $w_s=0.603$ ，SB号的 $w_s=0.575$ ，显得大多了。

若对这类船，据北岛氏图表求对上面的平均值 D_p/L (%) = 4.0时的伴流系数，SA号的 $w_m=0.424$ ，SB号的 $w_m=0.351$ ，可见由于推进器直径的减小，SA号的伴流系数增大1.56倍，SB号的伴流系数增大1.74倍。因此，当设计这类特殊船的推进器时，应该根据充分考虑了 D_p/L 和修正因素等船型要素的北岛氏图表来推算伴流系数。

决定伴流系数的新方法

通过比较和研讨，可知决定中小型船的伴流系数，按北岛氏图表决定的值与实船试航分析值最为一致。但用修改后的图表还是很不方便的，又因为在实际使用时，必须进行更

合适的修正以及根据船模和实船的关系 $1-w_s/1-w_m$ 进行修正。所以基于该图表,在最近新造的船型范围内,进行适当的修正。下面求一下仅仅引入船形和推进器要素的简单而精确的伴流系数关系式。

1. 对应于 D_p/L 的伴流系数

根据北岛氏图表,简单地求得对应于 D_p/L 伴流系数 w_{m0} 的变化,扩充其适用范围并用图 1 的形式表达之。根据最近建造的中小型船的实际情况,除了上述所提到的特殊船型外,从表 3 看到, D_p/L 大约均是 2.89~4.14。取 $D_p/L=2.8\sim 4.0$, 在这个范围内,

可认为 C_v 的平均值为 0.867, 其平均伴流系数可用下式近似表达:

$$(1) D_p/L=4.0\sim 3.7; C_v=0.867 (D_p/L; \text{用 \% 表示})$$

$$w_{m0}=0.53\sim 0.06 \frac{D_p}{L} \quad (1.1)$$

$$(2) D_p/L=3.7\sim 3.3; C_v=0.867$$

$$w_{m0}=0.641-0.09 \frac{D_p}{L} \quad (1.2)$$

$$(3) D_p/L=3.3\sim 2.8; C_v=0.867$$

$$w_{m0}=0.76-0.126 \frac{D_p}{L} \quad (1.3)$$

表 5 伴流系数的增减率

C_v	D_p/L (%)						平均
	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	
0.800	0.674	0.673	0.684	0.688	0.696	0.699	0.686
0.810	0.745	0.743	0.746	0.752	0.765	0.772	0.754
0.826	0.816	0.813	0.821	0.828	0.838	0.845	0.827
0.846	0.908	0.902	0.910	0.916	0.917	0.920	0.912
0.867	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.888	1.110	1.110	1.110	1.109	1.110	1.110	1.110
0.907	1.230	1.230	1.225	1.220	1.210	1.200	1.215
0.925	1.342	1.330	1.328	1.323	1.315	1.300	1.322

2. 对 C_v 的修正

由表 3 可见,最近建造的中小型船舶的实际成果,因其 C_v 在 0.80~0.92 的范围内,将 $C_v=0.867$ 假定为 1.0, 对于 $C_v=0.80\sim 0.92$ 的各 D_p/L 值,按图 1 可求得伴流系数的增减比例,并构成表 5。因为对于各个 D_p/L ,增减比例变化不大,可认为趋势大体一致,对各个 C_v ,取增减比例的平均值并示于图 8。

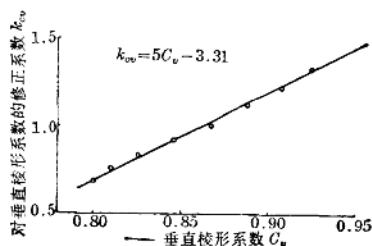


图 8

因而,根据图 8,对于各 C_v ,修正系数可用下式表达:

$$k_{cv}=5C_v-3.31 \quad (2)$$

3. 对推进器毂径的修正

在最近新造的中小型船中,各船的推进器毂径 d 与船长 L 之比 d/L (%),其中包括装配式推进器,由表 3 可见均在 0.53~1.0 的范围内。在此范围内,根据图 2,可用下式对 d/L 进行修正:

$$k_r=1.192-0.0192d/L \quad (3)$$

但是,最近的船几乎都采用整体式推进器, d/L 的平均值可取 0.696,修正系数可简单求得:

$$k_r=1.058 \quad (3.1)$$

4. 对纵向浮心位置的修正

船体的纵向浮心位置 l %。在舭前为负,

舫后为正。为了更容易地按北岛氏图表求算,可采用图3。据最近建造的中小型船的实际情况,各船的 $Y=D_p/L\%$ 之值为8.43~11.41,而这一范围内的修正是微小的。另外,大多数船的 Y 值接近10,所以就采用这个数值。修正系数 k_e 可用下式简单表达:

$$k_e=1.0+0.033l \quad (4)$$

除高中速船外,最近造的船的 $l\%$ 几乎都在舫前,若用其平均值 $l(\%)=-0.645$,则可由下式简单地求得修正系数:

$$k_e=0.979 \quad (4.1)$$

对于高中速船要用平均值 $l\%=+0.95$, k_e 则用下面数值:

$$k_e=1.03 \quad (4.2)$$

于是,高中速船比一般货船增加5%。

5. 对 B/L 的修正

根据图4可求得 B/L 与标准值不同情况下的修正系数。在最近造的中小型船中,短肥船型的 B/L 不等于标准值0.135,全都在0.14~0.165的范围内。这个范围内的修正系数可用下式简单表达之:

$$k_{B/L}=0.968+0.5\frac{B}{L} \quad (5)$$

然而,这个范围的修正系数与1.03~1.05相差不大,对于各船 B/L 的平均值0.153,可采用下面的数值:

$$k_{B/L}=1.045^* \quad (5.1)$$

6. 对 B/T 的修正

根据图5可求得 B/T 与标准值不同情况下的修正系数,用下式表示:

$$k_{B/T}=0.437+0.25\frac{B}{T} \quad (6)$$

在最近新造的中小型船中, B/T 一般在2.20~3.14范围内但多数 $B/T=2.25\sim 2.4$ 。

7. 对 E/T 的修正

E/T 与标准值不同情况下的修正系数,北岛氏用图6表示。但从表8所示的试航结果分析来看,推算的伴流系数有比试航分析的伴流系数小的趋势。因而对于 E/T 的修正,不用北岛氏图表而根据试航分析所得的

值来求得随 E/T 变化的修正系数,并采用如下数值:

(1) 试航时伴流系数的假定

以对应于 D_p/L 的伴流系数式(1.1)~(1.3)和修正系数 k_{ev} 的式(2)、 $k_r=1.058$ 的式(3.1)、 $k_e=0.979$ (高中速船 $k_e=1.03$)的式(4.1)(4.2)、 $k_{B/L}=1.045$ 的式(5.1)、 $k_{B/T}$ 的式(6),算得的数值为 w'_M ,乘以轻载试航状态的系数0.95(后面叙述),求得如表6所示的假定的试航伴流系数 w'_{Mt} 。

(2) $1-w'_{st}/1-w'_{Mt}$ 的关系

由后文的讨论,对于船长在100米以下的船,这个值等于1.0;对于100米以上的船,可由后面式(11)求得。于是便可求得如表6所示的假定的试航伴流系数 w'_{Mt} 。

(3) w_s/w'_{st} 的关系即修正系数 $k_{E/T}$

取推进器船后效率 $\eta_r=1.0$,并把分析试航结果所得的推进器伴流系数示于表6,再把该结果与上面所求得的 w'_{st} 之比即 w_s/w'_{st} ,以 E/T 为横坐标示于图9。这样就表示了对于 E/T 的修正系数 $k_{E/T}$,它的平均值可用下式表达:

$$k_{E/T}=0.518+1.38\frac{E}{T} \quad (7)$$

在图9中北岛氏对 E/T 的修正用虚线表示,但从实船试航结果分析来看,这个修正系数在 E/T 小的情况有过小的趋势。所以,对于 E/T 的修正,认为应该采用分析试航结果所得的式(7)。

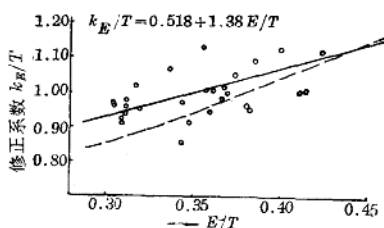


图 9

* 原文为 $k_{B/T}=1.045$ 系印刷之误——译者注

8. 伴流系数新的表达式

(1) 决定伴流系数 w_M 的新的表达式

据上述进行的讨论, 对于 D_p/L 伴流系数 w_M 的式子(1.1)~(1.3)以及各个修正系数的式子(2)~(7), 可求得如下新的伴流系数表达式:

$$\begin{aligned} w_M &= w_{M0} \cdot k_{cv} \cdot k_r \cdot k_e \cdot k_{B/L} \cdot k_{B/T} \cdot k_{E/T} \\ &= w_{M0} \cdot (5C_v - 3.31) \left(1.192 - 0.192 \frac{d}{L} \right) \\ &\quad (1.0 + 0.033l) \\ &\quad \times \left(0.968 + 0.5 \frac{B}{L} \right) \left(0.437 + 0.25 \frac{B}{T} \right) \\ &\quad \left(0.518 + 1.38 \frac{E}{T} \right) \quad (9) \end{aligned}$$

其中, 船型系数即使变了, k_r , k_e , $k_{B/L}$ 仍不变, 按照实际情况采用平均值: $k_r = 1.058$, $k_e = 0.979$ (高中速船为 1.03) $k_{B/L} = 1.045$, 则表达式可用下式简单表示:

$$\begin{aligned} w_M &= w_{M0} \cdot 1.082 (5C_v - 3.31) \\ &\quad \left(0.437 + 0.25 \frac{B}{T} \right) \left(0.518 + 1.38 \frac{E}{T} \right) \quad (10) \end{aligned}$$

对于高、中速船, 取公式(10)所得数值的 1.05 倍。

(2) $1 - w_s / 1 - w_{M1}$ 数值的讨论

上面所求的伴流系数是满载状态的伴流系数, 在大型船上, 满载状态的伴流系数变化是显著的, 报告指出^[10], 对于半载和轻载状态的伴流系数具有比满载状态伴流系数大的趋势, 而对中小型船, 在表 1 上给出。总吨位 4,950 吨的货船, 在 1/5 载货程度的试航情况下的伴流系数。满载状态为 0.340 和 0.380, 试航状态为 0.331 和 0.360, 对 18,000 吨载重量的散装货船, 满载状态为 0.397, 试航状态为 0.380, 试航状态的伴流系数约为满载状态伴流系数的 0.95 左右。

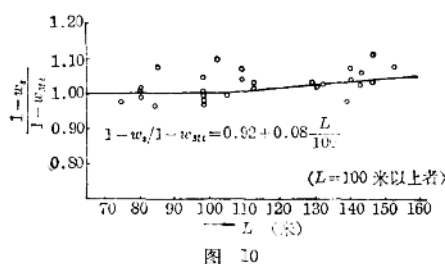
另外, 根据载重量 5,000 吨以上货船的水池试验资料。其转速变化与载货状态的关系^[11], 在 1/5 载货状态, 转速升高 3~5%。所以认为中小型船在 1/5 载货程度试航状态的伴流系数, 相当于在满载状态伴流系数 1.0

之下, 平均为 0.95 左右。

因此, 试航伴流系数的推算值 $w_{M1} = 0.95w_M$ 。再根据各条船的试航结果分析所得到的 w_s , 可求得关系式 $1 - w_s / 1 - w_{M1}$ 。

对 L 在 100 米以下的船, 常认为此平均值等于 1.0; 对 $L = 100 \sim 150$ 米的船, 此平均值大体上与 L 成比例地增大; 在 $L = 150$ 米时, 此平均值为 1.04。这些均可从水池试验资料得知, 对于 100 米以上的船, 图 10 的关系可用下式简单表达:

$$1 - w_s / 1 - w_{M1} = 0.92 + 0.08 \frac{L}{100} \quad (11)$$



(3) 实效伴流系数表达式

满载状态的实船伴流系数 w_{sh} 、试航状态的实船伴流系数, 可由式(9)和(10)的 w_M 如下推算:

对于 $L = 100$ 米以下的船

$$w_{sh} = w_M, \quad w_{st} = 0.95w_M \quad (12.1)$$

对于 $L = 100$ 米以上的船

$$\begin{aligned} w_{sh} &= 1 - (1 - w_M) \\ &\quad \cdot \left(0.92 + 0.08 \frac{L}{100} \right) \quad (12.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{st} &= 1 - (1 - 0.95w_M) \\ &\quad \cdot \left(0.92 + 0.08 \frac{L}{100} \right) \quad (12.3) \end{aligned}$$

(4) 与试航分析结果的比较和讨论

表 6 给出了分析实船试航结果所得的 w_s 和由式(12.1)和(12.3)所算得的实船试航伴流系数 w_{st} 的比较。除一、二个实例外, 数值几乎是一致的。与基于 C_v 和 C_e 的北岛氏图表和基于 C_v 的瓦卡尔特图表的数值比较,