

研究报告：64-022

双体船阻力的模型試驗和 理論計算

蔣 慰 昌

中国人民解放军总字 908 部队

1964.7.

双体船阻力的模型試驗和理論計算

提 要

本文中以一艘 $\varphi = 0.645$ 海洋双体船为对象，通过兴波阻力計算及模型試驗研究，对双体船的阻力問題作了較詳細的探討。双体船的兴波阻力是由自身兴波阻力和干扰阻力两部份組成的，主要是船型形状、佛氏数和間距船长比的函数。研究表明在 $Fr=0.30 \sim 0.36$ 範圍內，有可能出現負的干扰阻力，而在 $Fr=0.36 \sim 0.50$ 範圍內則干扰阻力都是正的。

文中对間距的影响作了較廣泛的試驗和計算，发現在产生負干扰阻力的区域內，最佳間距隨着速度的增加而減小。

最后並和一艘等长度，等吃水和等排水量的单体船的阻力作了比較。

一、引 言

双体船由于具有較大的甲板面积和穩性等方面优点，故对其应用引起了很大的兴趣，但是有关双体船的流体动力性能的研究成果，迄今发表的还不多，故对其認識还是不夠的。双体船的阻力通常被认为要比一般的单体船高，在低速区域，当摩擦阻力起主要作用的时候，双体船的浸水面积較大，必然会导致总阻力的增加；但当兴波阻力逐漸起主要作用时，因为組成双体船的各个单体的本身寬度較狹，同时两个船体之間又有可能产生有利的干扰，因此，完全有可能抵去摩擦阻力方面的增加从而使总阻力比单体船为低。

以往文献中討論双体船阻力問題时大都局限于数学船型，本文中選擇一艘稜形系数 $\varphi = 0.645$ 的海洋双体船（实际船型）主要討論下列三个問題：

(1) 以普通船型組成的双体船是否会产生負的干扰阻力；如果可能的話，进而討論双船体的間距和航速等因素对干扰阻力的关系。

(2) 双体船与等排水量的单体船比較，在何种速度下可以得到較低的阻力。

(3) 用兴波阻力理論計算得出的双体船阻力和实验結果的符合程度。研究的模型的主要尺度和系数如下：

长度 $L = 2.25$ 米

寬度（各个单体） $B = 0.275$ 米

吃水 $T = 0.165$ 米

排水体积 $\nabla = 0.0625$ 米³

方形系数 $\delta = 0.611$

舯截面系数 $\beta = 0.950$

稜形系数 $\varphi = 0.645$

水綫面系数 $C = 0.806$

长 寬 比 $L/B = 8.18$

寬度吃水比 $B/T = 1.67$

橫截面如图1所示。

二 回 顧

海佛洛克 (T.H. Havelock) [1] 于1936年提出了两个物体在运动时相互間产生的干扰兴波阻力的計算方法。1951年日本运输技术研究所横尾幸一和田崎亮 [2] 利用海佛洛克公式对水綫为 co 型的理論船型进行了計算。发现当間距长度比 $K/L = 0.25 \sim 0.28$ 时将产生負的干扰阻力，並做了模型試驗。但由于試驗的双体船模型其綫型是不对称的，故阻力較单体船为高。为此該两氏于1953年又提出了双体船阻力第二部分报告 [3]，这次採用的是对称式綫型，結果証明双船体之間倘有适当的間隔，在某一速度范圍內阻力較单体船（等排水量）为低的现实性，但所研究的对象仍然是比較簡單的理論船型。1955年爱葛斯 (K. Eggers) [4] 对双体船在不同的航道情况下的阻力性能作了較广泛的研究，並用实验結果和理論計算进行分析比較。但对双体船在深水中的阻力，爱葛斯仅討論了两种航速时情况。爱葛斯认为在佛氏数 $Fr = 0.5$ 时不論在何种間距組合时，干扰阻力总是正的，而在佛氏数 $= 0.316$ 时，則当 $K/L > 0.4$ （理論計算結果为当 $K/L > 0.25$ ）則出現負的干扰。爱葛斯研究的船型亦是理論船型，水綫形状呈抛物綫型，稜形系数为 0.667 。

1961年美国密契尔 (W.H. Michel) [5] 发表了史蒂文斯工学院 (Stevens Institute of Technology) 双体船模型試驗結果。这次研究的船型是稜形系数为 0.573 的实际船型，可惜的是試驗時間

距的变化的范围还不够(仅有 $K/B = 2.0、2.25、2.75$ 和 ∞ 四种情况),以至于未能得出有利的干扰区域,实验得到的干扰阻力都是正的。密契尔曾用泰勒(D.W. Taylor)图谱和等排水量的单体船作了计算比较,证明双体船在中速区域(自佛氏数 $= 0.30 \sim 0.35$ 一直至发生滑行现象以前)其阻力较单体船低。

本文弥补了双体船阻力研究中的不足之处,对一般实际船型进行了较广泛的计算和试验,文中通过理论计算论证了在某些速度范围内有产生有利干扰的可能性,对模型进行了改变九种间距的阻力试验,着重研究间距的改变对阻力的影响,找出了产生有利干扰时的最佳间距,并和理论计算比较,说明薄船理论在定性方面具有一定的符合性。最后和一艘等排水量的单体船模型试验结果作了分析比较,指出双体船虽然其浸水面积较大,但在超过某一佛氏数后阻力仍可较单体船低。

三、理 論 計 算

設 R_0 = 双体船两个单体的自身兴波阻力

R_1 = 双体船两个单体之间的干扰兴波阻力

R_w = 双体船兴波阻力($= R_0 + R_1$)

R_f = 双体船摩擦阻力

R = 双体船总阻力($= R_0 + R_1 + R_f$)

R_{∞} = 当间距为 ∞ 时的双体船总阻力

由密契尔(J.H. Michell)-海佛洛克薄船理论,对于以等速 $\bullet$ 前进的双体船:

$$R_0 = \frac{2\rho g^2}{\pi v^2} \int_0^{\infty} (I^2 + J^2) \cosh^2 U dU$$

$$R_1 = \frac{2\rho g^2}{\pi v^2} \int_0^\infty (I^2 + J^2) \cos(k_0 b \sinh U \cosh U) \cosh^2 U \, dU \quad (2)$$

$$\therefore R_{\omega} = R_0 + R_1$$

$$= \frac{2\rho g^2}{\pi v^2} \left(\int_0^\infty (I^2 + J^2) \cosh^2 U \, dU \right. \\ \left. + \int_0^\infty (I^2 + J^2) \cos(k_0 b \sinh U \cosh U) \cosh^2 U \, dU \right) \quad (3)$$

式中 $\left. \begin{matrix} I \\ J \end{matrix} \right\} = \iint 2 \left(\frac{\partial y}{\partial \alpha} \right) e^{k_0 z \cosh^2 U} \cos \left\{ k_0 x \cosh U \right\} \sin \left\{ k_0 y \cosh U \right\} d\alpha \, dz$

$y = f(\alpha, z)$ 为船体方程

$k_0 =$ 速率常数 $= g/v^2$

$b =$ 双体船两个单体中心线之间的横向距离
(简称为间距)

$g =$ 重力加速度

公式的详细推导见参考文献[1][4][6]，此处不再重复。在推演过程中曾作了如下的假定：

(1) 液体是不可压缩的，且是连续均匀的。

(2) 液体没有粘性，运动是无旋的。

(3) 船在航行时所形成的波是微波，边界条件线性。

(4) 船体可用等价的源汇分布代替，该源汇系分布在 $y = 0$ 的中央平面上。

坐标轴原点设置在船体中心线离艏端 $L/2$ 未受扰动的水表面处，

运动方向为 X 方向，而 Z 轴垂直向上，y 方向为船体的宽度方向。

在船舶的自身兴波阻力 R_0 计算公式(1)中的被积函数 $(I^2 + J^2) \cos h^2 U$ 是船型形状和佛氏数的函数，其数值总是正的。而干扰阻力 R_1 的表达式(2)中的被积函数除去 $(I^2 + J^2) \cos h^2 U$ 一项外，尚须乘上 $\cos(k_0 k \sin h U \cos h U)$ 项，该项是个激烈振荡函数，在 +1 与 -1 之间激烈变动，故在某些场合之下有出现负值的可能性，图 2 中给出了本船在模型速度 $v = 1.4$ 米/秒 ($Fr = 0.3$) 和 $v = 1.6$ 米/秒 ($Fr = 0.34$) 时的被积函数 $(I^2 + J^2) \cos h^2 U$ 曲线。在 $v = 1.4$ 米/秒时正处于阻力曲线的峰点，而 $v = 1.6$ 米/秒对应于谷点，两条曲线变化的情况是迥异的，而 $\cos(k_0 k \sin h U \cos h U)$ 的变化情况大致如图 3 所示，图中的阴影部份代表 $\cos$ 函数出现负值时的情况。 R_1 相当于两条曲线的纵坐标相乘后的面积，因此，可能是正，也可能是负。

当两船的间距 K 为零时， $\cos$ 项 = 1

$$\therefore R_1 = \int_0^{\infty} (I^2 + J^2) \cos h^2 U dU = R_0$$

$$\text{即 } R_1/R_0 = 1$$

$$\text{此时 } R_{\omega} = R_0 + R_1 = 2R_0$$

即双体船的兴波阻力是自身兴波阻力的两倍，这时的兴波阻力最大。

当间距逐渐增加， $\cos$ 项的振荡愈益厉害，等到间距变为无穷大时，干扰阻力 $R_1 = 0$ (即 $R_1/R_0 = 0$)，此时 $R_{\omega} = R_0$ ，亦即双体船的兴波阻力等于自身兴波阻力。

当固定间距而改变航速时，则航速愈小， K_0 愈大， $\cos$ 项的振荡愈为激烈，但因航速在变化，故 $(I^2 + J^2) \cos h^2 U$ 项亦在变化。

式(2)又可改写为

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{2\rho g^2}{\pi v^2} \int_0^\infty (I^2 + J^2) \cos\left(\frac{g}{v^2} k \sinh U \cosh U\right) \cosh^2 U \, dU \\
 &= \frac{2\rho g^2}{\pi v^2} \int_0^\infty (I^2 + J^2) \cos\left(\frac{gL}{v^2} \frac{K}{L} \sinh U \cosh U\right) \cosh^2 U \, dU \\
 &= \frac{2\rho g^2}{\pi v^2} \int_0^\infty (I^2 + J^2) \cos\left(\frac{1}{Fr^2} \frac{K}{L} \sinh U \cosh U\right) \cosh^2 U \, dU \quad (4)
 \end{aligned}$$

故干扰阻力 R_1 应为船型形状，佛氏数和间距船长比 $\left(\frac{K}{L}\right)$ 的函数。

现以本船为例，藉电子计算机将式(1)和式(2)进行计算，在进行计算的时候，将船体沿长度方向分为20个站，吃水方向等分为3部份，共分成60小块进行数值积分，因为 I^2 和 J^2 项当 $U = 2.0$ 以上已很微小，可以忽略不计，故积分参数 U 的变限近似地取 $0 \sim 0.2$ ，步长为 0.025 。

共计算了十三个航速时的自身阻力 R 和在每个速度时改变十七个间距时的干扰阻力 R_1 变化情况。

表1

兴波阻力计算中选用的速度

速度 v (米/秒)	1.00	1.20	1.40	1.60	1.55	1.60	1.65	1.70	1.80	1.90	2.00	2.20	2.40
佛氏数 Fr	0.213	0.256	0.298	0.320	0.331	0.341	0.352	0.362	0.384	0.405	0.426	0.468	0.511

表2

兴波阻力计算中选用的间距

间距 K (米)	0.481	0.550	0.619	0.688	0.756	0.825	0.894	0.963	1.032	1.100	1.232	1.306	1.375	1.650	2.200	2.750	∞
间距宽度比 K/B	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0	3.25	3.5	3.75	4.0	4.5	4.75	5.0	6.0	8.0	10.0	∞
间距长度比 K/L	0.214	0.244	0.275	0.303	0.336	0.367	0.397	0.428	0.458	0.489	0.550	0.580	0.611	0.734	0.978	1.222	∞

计算结果如表3所示,图4选取了 $K/B = 2, 2.5, 3, 4$ 和 5 五种不同间距以表示 R_1/R 。随佛氏数变化的情况。

因为在低速时摩擦阻力在总阻力中佔主要成分,並为了可与模型試驗中得出的总阻力直接比较起見,故将兴波阻力计算结果,根据佛罗特假定加上摩擦阻力 R_f 轉化为总阻力 R 。但因兴体粗的摩擦阻力目前还没有适当的计算方法,只能沿用一般情况,因柏兰特-許立去丁(Frandtl-Schlichting)平板公式計算,显然,这样做是存在着問題的。

$$\therefore R = R_f + R_0 + R_1$$

$$\text{当 } K/B = \infty \text{ 时, } R_1 = 0, \therefore R_{\infty} = R_f + R_0. \quad \text{此时 } \frac{R}{R_{\infty}} = 1$$

在航速 $v = 1.4 \sim 1.8$ 米/秒时的 R/R_{∞} 曲线如图5所示。图中 $R/R_{\infty} < 1$ 部份,即表示 $R_1 < 0$,亦即此时产生有利干扰,对应于每一个航速都有一个最佳间距。图6中表示航速 $v = 2.0 \sim 2.4$ 米/秒时的 R/R_{∞} 变化情况,此时 R/R_{∞} 曲线成为单调下降,间距愈大, R/R_{∞} 愈小以 $R/R_{\infty} \rightarrow 1$ 作为极限。当航速 $v = 1.9$ 米/秒时, R/R_{∞} 基本上亦是随着间距的增大而减小,並且不发生負的干扰阻力。

表3 用密尔-海佛洛克薄船理论计算双体船干扰阻力之比

 R_1/R_0

$F_n \rightarrow$	0.213	0.256	0.299	0.320	0.331	0.341	0.352	0.384	0.405	0.426	0.468	0.511
$K/L=0.214$	-0.382	-0.060	+0.342	-0.121	-0.378	-0.480	-0.330	.398	+0.600	+0.665	+0.625	+0.504
0.244	-0.397	-0.135	+0.252	-0.180	-0.516	-0.526	-0.280	.480	+0.625	+0.635	+0.540	+0.405
0.275	-0.420	-0.151	+0.134	-0.380	-0.534	-0.444	-0.142	.532	+0.610	+0.582	+0.456	+0.326
0.306	-0.328	0	+0.024	-0.394	-0.460	-0.304	+0.008	.545	+0.566	+0.515	+0.380	+0.262
0.336	-0.060	+0.195	-0.052	-0.356	-0.354	-0.154	+0.123	.525	+0.509	+0.448	+0.318	+0.209
0.367	+0.158	+0.328	-0.092	-0.292	-0.246	-0.050	+0.200	.426	+0.450	+0.394	+0.264	+0.171
0.397	+0.240	+0.376	-0.105	-0.224	-0.156	+0.028	+0.240	.436	+0.394	+0.324	+0.221	+0.144
0.428	+0.210	+0.356	-0.102	-0.166	-0.088	+0.080	+0.254	.388	+0.336	+0.280	+0.186	+0.118
0.458	+0.163	+0.310	-0.090	-0.117	-0.037	+0.108	+0.250	.340	+0.290	+0.244	+0.159	+0.092
0.489	+0.110	+0.248	-0.080	-0.082	-0.007	+0.121	+0.238	.297	+0.255	+0.204	+0.138	+0.085
0.550	+0.035	+0.147	-0.050	-0.036	+0.025	+0.120	+0.198	.222	+0.181	+0.156	+0.110	+0.064
0.580	+0.010	+0.131	-0.040	-0.020	+0.035	+0.110	+0.176	.103	+0.158	+0.134	+0.080	+0.053
0.611	+0.001	+0.078	-0.030	-0.010	+0.033	+0.104	+0.156	.167	+0.145	+0.130	+0.070	+0.053
0.734	+0.001	+0.022	-0.020	-0.010	+0.027	+0.065	+0.090	.095	+0.083	+0.065	+0.030	+0.021
0.978	+0.001	0	-0.050	-0.005	+0.013	+0.014	+0.030	.030	+0.014	+0.050	+0.040	+0.040
1.222	0	0	-0.040	0	+0.007	+0.010	+0.002	.003	0	+0.030	+0.030	+0.010

根据以上的计算分析，可归结为下列五点：

(1)在佛氏数等于 $0.29 \sim 0.36$ 范围内，倘有适当的间距， $R_1/R_0 < 0$ ，即产生负的干扰阻力，此时的兴波阻力小于间距为无穷大时的兴波阻力，最大的负干扰阻力约为自身阻力的 $30\% \sim 50\%$ 。

(2)在佛氏数等于 $0.36 \sim 0.51$ 范围内，干扰阻力都是正的， $R_1/R_0 > 0$ ，此时的兴波阻力大于间距为无穷大时的兴波阻力。

(3)在发生有利干扰的区域内，最佳间距随着航速的增大而逐渐减小。

(4)当间距船长比超过 0.75 ， $R_1/R_0 \rightarrow 0$ ，不论在何种航速时兴波阻力接近于间距为无穷大时的兴波阻力。

(5)双体船的干扰阻力是船型形状，佛氏数和间距船长比的函数，它们是相互影响的，只有当这三个因素取得协调的时候，才能得到较低的总阻力，故双体船的线型设计应与单体船有不同之处。

四 模型试验

模型试验是在 $K/B = 1.75、2.0、2.25、2.5、2.75、3.25、4.0、4.75$ 和 ∞ 等九种情况下进行的（间距为 ∞ 时的双体船的阻力相当于单船体拖曳时得到的阻力的两倍），速率范围为 $1.0 \sim 1.8$ 米/秒（对应的佛氏数为 $0.21 \sim 0.38$ ）。

船模为木质，在离艏垂线 $1/20L$ 处安装1毫米直径的激流丝，两个船体刚性连接，模型在拖曳时可以自由纵倾和下沉。

试验时池水温度 $8 \sim 9^\circ\text{C}$ 每次测量点在30点以上，试验结果如图7所示。

当 $v < 1.4$ 米/秒（ $Fr < 0.30$ ），间距对阻力的影响甚微，不论在何种间距时的总阻力基本相同，祇在间距最小的两种情况下（ $K/B = 1.75$ 和 2.0 ）阻力稍高，但也不过增加5%左右。

当 $v = 1.4 \sim 1.7$ 米/秒 ($Fr = 0.30 \sim 0.36$)； $K/B = 3.25 \sim 4.75$ 时出現負的干扰阻力，此时总阻力小于間距为无穷大时的总阻力。 K/B 愈大，总阻力愈小，但 $K/B = 4.75$ 时的阻力大于 $K/B = 4.0$ 时的阻力。同时亦可注意到在出現負干扰的区域内，最佳間距將随着速度的增高而减小。

当 $v = 1.7 \sim 1.8$ 米/秒 ($Fr = 0.36 \sim 0.385$)；总阻力总是大于間距为无穷大时的阻力，即不再发生負的干扰阻力。自 $K/B = 1.75 \sim 2.75$ 同样是間距愈小，阻力愈大。但当 $K/B = 3.25$ ，間距增大，阻力反而上升；但可以想像到当 K/B 到达某一数值后必然还会下降而渐近于間距为无穷大时的阻力。

现将 $v = 1.0 \sim 1.8$ 米/秒时的 R/R_∞ 比值列成表 4。

表 4 間距对 R/R_∞ 的影响

v (米/秒) →	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
$K/B = 1.75$	1.08	1.06	1.12	1.22	1.32	1.37	
2.0	1.06	1.04	1.12	1.21	1.23	1.20	1.23
2.25	1.05	1.03	1.11	1.19	1.13	1.11	1.10
2.5	1.03	1.03	1.11	1.16	1.08	1.04	1.06
2.75	1.01	1.05	1.10	1.11	1.03	1.00	1.04
3.25	1.00	1.04	1.08	1.04	0.95	0.97	1.09
4.	1.00	1.02	1.04	0.94	0.89	1.00	1.15
4.75	1.00	1.00	0.99	0.95	0.95	1.07	1.20

图 8 是实验结果的总结，图中阴影部份表示出现负干扰的区域 ($R < R_{\infty}$)，而有小点子的长方块表示增加阻力小于 10% ($R < 1.10 R_{\infty}$) 的区域，图中并绘出在各航速时的最佳间距曲线。

和兴波阻力理论计算相比较。在下列两方面是一致的：

(1) 在 $v = 1.4 \sim 1.7$ 米/秒 ($F_r = 0.30 \sim 0.36$) 范围内出现有利于干扰。

(2) 在发生负干扰时候的最佳间距随着速度的增加而减小。

但是从理论计算推导而得的最佳间距往往偏小， R/R_{∞} 的比值亦较实验的结果变化较大（当 $R/R_{\infty} > 1$ ，计算结果大于实验结果，当 $R/R_{\infty} < 1$ 则反之爱葛斯〔4〕的数学船型亦有同样现象，主要是因为：

(1) 兴波阻力公式是在一次近似薄船的条件下推导的，并且忽略了粘性的影响。

(2) 从理论计算得出的是兴波阻力，而在计算摩擦阻力的时候未计及间距的影响，实质上即使在同一速度时，对于不同的间距摩擦阻力是不相等的。两个船体愈靠近，船体之间的粘性阻力将愈大，因此，在间距小的时候实际总阻力大于计算的总阻力，故最佳间距应比理论计算求得的大。

五、和排水量相等的单体船的比较

以一艘长度、吃水和排水量完全相等，而宽度等于双体船各个单体宽度两倍的普通船型进行了试验比较，其船型与双体船的船型也是类似的，试验结果如图 9 所示。在低速时，单体船的浸水面积较小，而摩擦阻力占主要部分，故总阻力可较排水量相等的双体船降低 20% 左右。但当航速增高，由于双体船的宽度小，兴波阻力较小，故总阻力较单体

船低。单体船的阻力曲线与间距为 ∞ 的双体船相交于佛氏数0.35左右。在间距宽度比 $K/B = 3.25$ 、4.0和4.75时，因有负的干扰阻力发生，故相交点将提前一些。当 $K/B = 3.25$ ，曲线相交于佛氏数0.34处； $K/B = 4.75$ 时则在佛氏数0.34附近相切；当 $K/B = 4.0$ ，相交于佛氏数0.33处，但当佛氏数超过0.38，曲线又重新相交。

按照門穀(Mumford)浸水面積估算公式

$$\Omega = L(1.7T + B\delta)$$

則双体船的浸水面積 $\Omega_1 = 2L(1.7T + B\delta)$

等排水量单体船的浸水面積 $\Omega_2 = L(1.7T + 2B\delta)$

$$\therefore \frac{\Omega_1}{\Omega_2} = 2 \left(\frac{1.7T + B\delta}{1.7T + 2B\delta} \right) = 2 \left(\frac{1 + \frac{B\delta}{1.7T}}{1 + \frac{2B\delta}{1.7T}} \right)$$

$$\text{在本例中 } \frac{B\delta}{1.7T} = \frac{0.275 \times 0.611}{1.7 \times 0.165} = 0.6$$

$$\therefore \frac{\Omega_1}{\Omega_2} = 2 \times \frac{1.6}{2.2} = 1.45^*$$

亦即說明摩擦阻力必然要增加40%左右，故当 $Fr < 0.30$ ，如果以等排水量和等长度等吃水作为基础，双体船的阻力显然会大于单体船的阻力。

实际上这种比較基础是不很合理的，密契尔〔5〕曾以一艘海洋調查船为例作了方案論証，計算表明双体船如与等长度、等吃水的单体船相比，在同一排水量时其有效甲板面积約可增加50%；亦即双体船和同样效用的单体船比較，排水量較小，相同的单体船排水量約須增加

50%。在这种情况下，则即使在低速区域，双体船的阻力也不一定次于单体船。

本例中双体船和相同排水量单体船的剩余阻力如图 10 所示，在 $Fr < 0.32$ ，两者基本相同，但双体船的峰谷效应比较显著。如前所述，双体船的舰型设计，除考虑自身的兴波情况外，尚须考虑干扰效应，因此应与单体船的最佳设计有不同之点，以达到减低总阻力的目的。关于船型对干扰效应的关系，尚待今后作进一步探讨。

* 实际计算结果，浸水面积之比为 1.41 : 1

六 結 論

(1)影响双体船阻力性能的主要参数是船型形状、佛氏数和间距船长比。在某种场合下有出现负干扰阻力的可能性。对于本例中 $\lambda = 0.645$ 海洋双体船，在佛氏数等于 0.30 到 0.36 范围内，倘有适当的间距可产生有利干扰，此时的阻力小于间距为无穷大时的阻力。

(2)在出现负干扰阻力的区域内，最佳间距随着速度的增加而减小，本例中当 $Fr = 0.30$ ，最佳 $K/L = 0.58$ ；当 $Fr = 0.32$ ，最佳 $K/L = 0.54$ ；当 $Fr = 0.34$ ，最佳 $K/L = 0.48$ ；而当 $Fr = 0.36$ 时，最佳 $K/L = 0.40$ 。

(3)用密茨尔——海佛洛克薄船兴波阻力理论计算双体船阻力在定性方面具有一定的指导性意义。在决定出现负干扰的速度范围方面，和实验结果是一致的，但从理论计算求得的最佳间距较实验结果为大。

(4)双体船和等长度、等吃水和等排水量的单体船相比，当 $Fr > 0.35$ ，由于双体船的兴波阻力较小，故总阻力较低。但如从更合理的实用观点考虑，即便在 $Fr < 0.35$ 的区域，双体船的阻力亦可较单体船为低。

(5)双体船的线型不但须尽力使自身的兴波阻力降低，并且力求能产生有利的干扰阻力，故其线型设计与单体船是不完全相同的。关于双体船的主尺度和系数对阻力的影响留待今后继续深入研究。

附言：本模型试验工作是由总字914部队委托进行的，在理论计算方面曾得到华东计算技术研究所的大力协助。

主 要 符 号

L	长度
B	双体船各个单体的宽度
T	吃水
K	双体船两个单体中心线之间的横向距离(简称为间距)
K/B	间距宽度比
K/L	间距长度比
R_0	双体船两个单体的自身兴波阻力
R_1	双体船两个单体之间的干扰兴波阻力
R_w	双体船兴波阻力($= R_0 + R_1$)
R_f	双体船摩擦阻力
R	双体船总阻力($= R_w + R_f$)
R_{∞}	间距为 ∞ 时的双体船总阻力($= R_0 + R_f$)
v	航速
Fr	佛氏数($= v/\sqrt{gL}$)
K_0	速率常数($= g/v^2$)
U	兴波阻力计算式中的积分参数