

内河及农业用船舶技术会议 论文集

第一分册
船体与船机



1963

中国造船工程学会

前 言

中国造船工程学会于1963年12月23日在武汉召开了全国性的“内河及农业用船舶技术会议”，历时七天胜利结束。会议在党的正确领导下，各有关单位的大力支持下，认真贯彻了党的百花齐放，百家争鸣的方针，从而取得了很大的成绩。

会议共收到85篇来自全国13个省市的学术论文，通过宣读和讨论，选拔出22篇比较成熟和有现实意义的论文成果。为使这些宝贵的科研成果和经验总结能够开花结果，推广应用，因此会议决定出版论文集，以达到为生产服务，为国民经济服务的目的。

本论文集分第一、第二两个分册编印，第一分册包括船体、船机两部分的论文14篇；第二分册为农用船部分，其中又分钢丝网水泥船和钢板农船两个方面的论文8篇。每篇论文都附有讨论意见和作者答复，以供读者对该文的全面了解。

本论文集的出版，由于编排人员限于水平，谬误之处，在所难免，懇請讀者批評指正。

中国造船工程学会

1965年8月

目 录

前 言

淺水急流船舶的阻力与推进·····	张文治 (1)
淺水急流船舶推进方式之探討·····	陈 瑄 陈尔安 (36)
設計噴水推进船的探討·····	季良民 (51)
从沅水三艘船舶的实船和船模試驗探討淺 水阻力的計算方法·····	周 熊 罗望月 (90)
我国內河淺水螺旋桨拖輪綫型設計的經驗总结·····	陈 瑄 (101)
沅水航道淺水急流船舶吃水与水深关系探討·····	陈 瑄 (111)
长江船舶操縱性能的介绍和探討·····	鲁祖荣 杨文郁 (121)
用最大位移法分析具有开口肋骨的敞口 船体的橫向強度·····	汪自克 (139)
关于小船穩性近似計算公式的探討·····	黄 勁 (147)
小型气冷式柴油机及其在小型船舶上的应用·····	溫保华 (151)
中小功率柴油机軸承負荷估算法·····	高文良 (160)
关于柴油机的缸套蝕穴和6KVD发动机 的技术改造·····	陆瑞松 周軼尘 李长汉 (184)
論发动机缸套弯曲強度校法和 6KVD 发动机 缸套断頸分析·····	周軼尘 (207)
利用壳鈹导热的簡易閉式冷却設計·····	王宗齡 (214)

浅水急流船舶的阻力与推进

張 文 治

提 要

我国各省山区河道在枯水季节不但水浅而且流速甚急。在此地区航行的船舶，与普通内河的船舶不同，称之为浅水急流船舶。

本文按照我国山区河道的水深分为四种：即0.5米、1米、1.5米、2米，并将每种水深、假定急流范围，即临界速度以下及以上二种。对每种河道，假定了自航船、驳船及推轮的尺度，算出了船及船队的阻力，得到了最适当的自航船及船队。

本文又对每种自航及推轮，用喷水、明轮、螺旋桨及螺旋桨加导流管四种推进方式，算出了各种推进效率，得到了浅水急流船舶最适当的推进方式。

前 言

我国河流密布，通航水道达40余万公里。如在运输上充分利用河流，则对我国社会主义经济建设将起巨大的作用。尤以在物产丰富的山区，水路运输更为迫切需要。但山区航道，坡度较高，水流较急，在枯水时期，河床甚浅，给船舶运输带来了一定的困难。

近年来，欧美各国对内河船舶，虽有很大的发展，但它们河道水流不急，在现有的通航河道、河床较深，如拿它们的船舶线型及推进图表普遍的抄用于我国，则将造成很大的损失。外国的河流在2米以下的航道，很少有轮船航行。我国的河流，特别在山区，水深只有1米至1米以下亦必须通航。因此，我国船舶需能航行于最浅水急流的区域。外国这种船舶的先例可资参考者很少，我国非自行研究不可。

在我国建设社会主义的伟大年代里，造船界必须本着以农业为基础，以工业为主导的方针，为了更好地促进城乡物资交流，大力支援农业，要特别注意浅水急流船舶，创造必要的船舶性能，以适应于具体环境。

本文所探讨的船舶，以机动船舶为主。

(一) 船在浅水急流航行时的阻力

1. 浅水急流的范围

航道的深浅没有一定界线。船舶由甲水区航行至乙水区，在额定功率下，出现阻力忽然增大，速度忽然降低的现象，如船的本身性能没有变化时，则乙水区必较甲水区为浅。如某一水区对排水量较大的船舶(即吃水较大的船)发生浅水影响。则对于排水量较小的船舶未必发生浅水影响。在一般情况下，如航道水深为船舶吃水的6倍以上时，则可认为不发生浅水影响。例如，吃水7米的沿海轮船，在海水深度超过42米，则航道适为深水航道，又如吃水1米的内河轮船，在河水深度2米左右航行，船舶阻力增加很大，则此航道为浅水河道。

我国内河有洪水及枯水季节之分，在洪水时期，一般河道水深可能达10米以上；在枯水时期，一般河道水浅，特别在其上游，可能在1米以下。我国河流绝大部分终年不冻，船舶在枯水季节亦照常航行。故船舶的设计，可按河流枯水时最浅的深度，决定船的吃水。在山地的内河，河床坡度很大，往往超过1/1000，故其流速亦甚大，有时超过5米/秒。在该地区航行的船舶，吃水必须很浅，速

度必須甚大，才能保證在重負荷下可逆流而上。但它的速度也不能過高，以避免達到臨界航速，使馬力急劇增加，在成本上無法維持。

船在淺水航行時，橫波及斜波隨之形成，船速愈大，斜波與航行方向的角度亦愈大，以至此角度為直角，即斜波與橫波相重疊。此時船的速度 V_c 為臨界速度。船舶到達這個速度，因產生巨大的橫波，船為之抬起，造成很大的縱傾(圖1)，由於橫波及縱傾，船舶再向前航行時，阻力驟然急增。船舶的臨界速度，接近於波浪臨界速度 c_b 。當船的速度超過 c_b 時，則橫波被打破，阻力反而減小，甚至小於深水的波浪阻力。波浪的臨界速度取決於水的深度 h ，即 $c_b = \sqrt{gh}$ 。船的臨界速度按照 Baker [1] 為 $V_c = \sqrt{5.3h}$ (V_c 為呎/時， h 為呎)，按照 Войтунский [2] 則 $V_c = 0.75\sqrt{gh}$ (V_c 為米/秒， h 為米， g 為米/秒²)，在不同水深時，將得到不同的臨界速度。超過此臨界速度則船舶的阻力驟增。為了船舶在極淺的水道中航行，我們假定： $h = 0.5$ 米； 0.75 米； 1 米； 1.5 米； 2 米，其相當的臨界速度如附表 1，在以上的水深中，我們選擇船的最大速度如附表 1 的第 5 項所示。

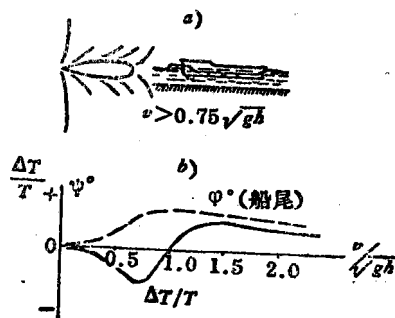


圖 1

a——船在淺水航行時的興波圖形；
b——內河船在淺水中航行時，其下沉度 $\Delta T/T$ 的縱傾角 φ 的改變

此最大航速的選擇，系根據 Baker 及 Войтунский 的臨界速度而定，即預計船舶在不同水深中，用此表內的最大航速，阻力不致特別增大。附表 1 的第 6 項淺水急流速度的選定，系根據船的最大航速，即比最大航速小 0.5 公里/時，這樣，船舶可以 0.5 公里/時，的速度逆流而上。本文淺水急流的範圍就是按照水的深度，在其臨界下水流的最高速度。實際的淺水急流可能正在其臨界流速範圍

圍，也可在其臨界流速以上。

根據湖南省的情況 [3]，山區小河支流，流速在灘險地段約為 2~3.5 米/秒，在山區大河干流，灘險地段河水流速一般在 1.5~3 米/秒；根據貴州省山區河道流速一般為 3 米/秒，急灘上達 4~5 米/秒。必須要注意山區河道流速最大者為灘險地段，而灘險地段，河水較深，一般在 2 米以上，故本文淺水急流範圍的劃定，雖非絕對正確的或是公認的，但基本上符合我國山區河流的實際情況，使以後船舶的阻力及推進計算，可以用此範圍作為根據。如水流速度很急，在每種水深中，大於附表 1 中選擇的最大航速時，則船舶需用較灘設備或備有超臨速的馬力。不然，船舶不能逆水而上。如此地區灘險過多，流速過大，則船舶必須有超臨界速度或其航道根本不適宜於船舶運輸，非採用公路或鐵路運輸不可，或採用特种船舶如水翼船及氣墊船。

2. 船舶在淺水急流航行時的阻力計算方法

在淺水急流中，船的航行阻力的計算，資本主義國家，除由船模試驗池試驗結果按 Froude 方法進行計算以外，沒有完整的公式計算。蘇聯關於船舶淺水阻力方面，在理論上及在試驗上作的工作較多，茲介紹加爾波夫法 [2]。他的方法主要是摩擦阻力及剩餘阻力的求法，不以船的航行速度為根據，但在摩擦阻力計算時以船的速度加上另一後水速度為根據，在剩餘阻力計算時以船在深水航行的速度為根據。船在淺水中航行，由於船底與河底間水向後流的速度的增加 Δu ，其摩擦阻力亦因而增加。船在淺水船速為 V_h 時，總阻力 R_h 由兩部分組成：摩擦阻力 R_f ，即相當於速度為 $V_h + \Delta u$ 的摩擦阻力；及剩餘阻力 R_r ，即相當於深水波浪速度 V_∞ 的深水剩餘阻力。用式表示：

$$R_h(V_h) = R_f(V_h + \Delta u) + R_r(V_\infty) \quad (1)$$

由流體力學可知，波浪在深水及淺水的移動速度分別為：

$$V_\infty = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (2)$$

$$V_h + \Delta u = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tan h \frac{gh}{V_\infty^2}} \quad (3)$$

式中：

λ 為波長。

$$\text{令 } \alpha = \frac{V_\infty}{\sqrt{gh}}; \quad \beta = \frac{\Delta u}{V_\infty}.$$

由公式(2)及(3)

$$V_{\infty} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = \frac{V_h + \beta V_{\infty}}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2}}};$$

$$V_{\infty} \left(1 - \frac{\beta}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2}}} \right) = \frac{V_h}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2}}};$$

$$\therefore V_{\infty} = \frac{V_h}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2} - \beta}} \quad (4)$$

船在浅水中的速度，利用公式(4)：

$$V_h + \Delta u = V_h + \frac{\Delta u}{V_{\infty}} \cdot V_{\infty}$$

$$= V_h + \frac{\Delta u}{V_{\infty}} \cdot \frac{V_h}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2} - \beta}}$$

$$= V_h \left(1 + \frac{\beta}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2} - \beta}} \right) \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{V_{\infty}}{\sqrt{gh}} = \frac{V_h}{\sqrt{gh}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2} - \beta}}$$

$$\text{使 } \frac{V_h}{\sqrt{gh}} = \alpha_0, \text{ 则 } \alpha = \alpha_0 \frac{1}{\sqrt{\tan h \frac{1}{\alpha^2} - \beta}}$$

船在深水中的速度：

$$V_{\infty} = \alpha \sqrt{gh} = \alpha \frac{V_h}{\alpha_0} = V \cdot \frac{\alpha}{\alpha_0}$$

$$\text{上式 } V = V_{h_0}$$

这样，公式(1)可写为：

$$R = R_f \left[V \left(1 + \beta \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) \right] + R_r \left(V \cdot \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) \quad (6)$$

船在浅水中航行的速度 V ，吃水 T 及水深 h 规定后即可算出 $\alpha_0 = \left(\frac{V}{\sqrt{gh}} \right)$ 。加尔波夫利用实验资料制成图2([2]的附录Ⅲ)，分别以 $\frac{h}{T}$ 和 α_0 为纵

横坐标。在不同的 $\frac{h}{T}$ 及 α_0 ，可查出相当的 α 及 β

值，这样就可算出 $V \left(1 + \beta \frac{\alpha}{\alpha_0} \right)$ ，即为计算摩擦

阻力时所用的速度及 $V \frac{\alpha}{\alpha_0}$ ，即为计算剩余阻力时

在深水中所用的速度。附表2为船的航速在临界速度以下及临界速度以上的各种数值。应用附表2可

查出 $\left[V \left(1 + \beta \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) \right]^2$ 及 $\left(V \frac{\alpha}{\alpha_0} \right)^2$ ，再利用摩擦

阻力 R_f 及剩余阻力 R_r 公式，以得出总阻力 R 。

$$R_f = \frac{\rho}{2} \Omega \zeta_f \left[V \left(1 + \beta \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) \right]^2 \quad (7)$$

$$R_r = \frac{\rho}{2} \Omega \zeta_r \left(V \frac{\alpha}{\alpha_0} \right)^2 \quad (8)$$

$$R = R_f + R_r = \frac{\rho}{2} \Omega \zeta_f \left[V \left(1 + \beta \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) \right]^2 + \frac{\rho}{2} \Omega \zeta_r \left(V \frac{\alpha}{\alpha_0} \right)^2 \quad (9)$$

式中：

ρ ——水的密度 $= \frac{1000}{9.81} = 102 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 \cdot \text{米}^{-4}$ ；

Ω ——船舶的湿面积，米²；

ζ_f ——摩擦阻力系数([2]表4查出)；

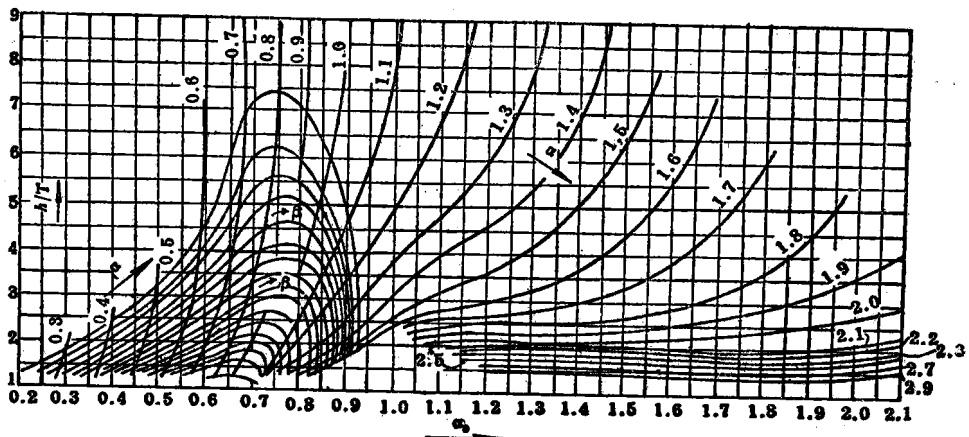


图2 计算船舶航行在浅水中阻力用的 A. B. 卡尔波夫图

ζ_r ——剩余阻力系数, 由图 3(参考[2]图 102

(a), 此图 $\frac{h}{T}=25$, $\frac{b}{B}=20$, 可认为是

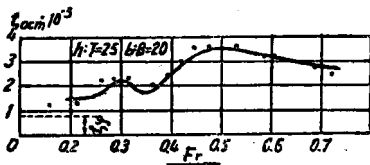
深水的剩余阻力系数)查出;

h ——水深;

T ——船的吃水;

b ——河宽;

B ——船宽。



$h/T=25, b/B=20$

圖 3 剩余阻力系数圖

在船舶尺度規定后, 用以上阻力計算方法及阻力系数而得船舶阻力, 符合我国浅水急流的木帆船拖鈎阻力試驗結果[3]。当然, 准确的阻力計算, 应利用船模試驗及国际方法以求得每船的阻力。但船模試驗非进行很大的技术工作不可, 此文不过一般船舶阻力的初步論証, 用加尔波夫的計算方法是可行的。

3. 在不同水深时, 各种浅水急流船舶的阻力 R 及有效功率 EHP

欲知各种船舶的阻力, 須將船舶尺度規定下来。浅水急流的船舶尺度主要視其吃水的大小而定。我国各省山区的駁船多为木质, 現在亦正在采用鋼絲网水泥船, 将来可能采用鋼质。它們的材料不同, 可能稍稍影响其船体重量及阻力, 本文計算是通用的, 不限于船的材料, 各山区一般駁船的各种比例如下: $\frac{L}{B}=5.6\sim6.6$; $\frac{B}{T}=4.5\sim8$ 。西德莱茵河的駁船 $\frac{L}{B}=6\sim7$; $\frac{B}{T}=3\sim4$ 。本文駁船 $\frac{L}{B}=6$ 。

拖輪則寬度增大, 本文采用 $\frac{L}{B}=4$ (西德的拖輪 $\frac{L}{B}=4\sim5$)。在不同水的深度下, 本文举出三种船舶:

自航船、駁船及拖輪, 为了减少計算, 駁船的尺度与自航船相同, 以上三种船舶的具体尺度皆列于附表 3。关于以上表內的各种船舶, 系采用最近鋼板船結構, 自重較輕, 如按一般內河船的结构情况, 空船重量可能偏低。

其阻力則按附表 2 的临界速度以下及临界速度以上的二种航速計算, 結果分別列于附表 3。关于表內雷諾数 Re 的粘性系数 $\nu=1.31\times 10^{-6}$ 在水的温度为 10°C 时。选用 10°C 是因为我国南方山区河水温度在冬季約为 10°C , 同时在冬季水最枯, 其他季节节水較深, 船舶如能航行于冬季枯水季节, 則其他季节自可暢通无疑。

(1) 在水的深度为 0.5 米时。

附表 3. I 表示航速在临界速度以下, $V=5.5$ 公里/时 $=1.53$ 米/秒(見附表 2)自航船及駁船的阻力皆为 17.16 公斤, 推輪为 18.81 公斤。但自航船因有机噐、地軸、車叶以及所裝的油、水, 故其載貨量較同样的駁船少裝 0.5 吨, 即自航船的載貨量为 3.5 吨, 駁船的載貨量为 4 吨, 在此速度时自航船每載貨吨的阻力为 4.89 公斤, 而駁船則为 4.28 公斤。自航船的有效功率为 0.349 馬力, 設推进效率为 0.3, 則自航船的軸功率为 $0.349/0.3=1.16$ 馬力, 我国目前尚无此小功率柴油機, 可用舷外机。

附表 3. II 表示航速在临界速度以上, $V=9.16$ 公里/时 $=2.54$ 米/秒(見附表 2), 自航船及駁船的阻力皆为 67 公斤, 为 $V=1.53$ 米/秒时的阻力 3.92 倍。每載貨吨阻力, 自航船为 19.2 公斤, 駁船为 16.75 公斤。自航船的有效功率为 2.27 馬力, 設推进效率为 0.3, 則其軸功率为 $2.27/0.3=7.56$ 馬力。

在临界速度以下的自航船每小时的吨公里为 $3.5\times 5.5=19.25$, 在临界速度以上則为 $3.5\times 9.16=32.05$, 其吨公里比为 $32.05/19.25=1.67$, 但其阻力比則为 3.92, 即功率超越的倍数大, 营运率超越的倍数小。因此, 船舶航速超过临界速度則显然不如不超过时为经济。設載重 5 吨的汽車在山区公路行駛每小时速度为 30 公里, 則营运率为 $5\times 30=150$ 吨公里, 此营运率与超临界自航船的比为 $\frac{150}{32.05}=4.67$ 。汽車的实际功率約 60 馬力。此功率与超临界自航船的比为 $60/7.56=7.95$, 汽車功率的超越倍数远較其营运率超越倍数为大。由此可見, 山区水运运输远較汽車运输为经济。

为了增加船的載重量, 如不按照一般浅水自航船的 $\frac{L}{B}$ 及 $\frac{B}{T}$ 的比, 將船加寬加长, 即將它加大, 看它的阻力情形。設船的尺度为 24 米 (L) $\times$ 4 米 (B) $\times$ 0.6 米 (D) $\times$ 0.3 米 (T), $\sigma=0.65$, $\Delta=24\times 4$

$0.3 \times 0.65 = 18.72$, 設自航船的船體及機器、油、水等重量為 4.22 噸, 則載貨量 $W_D = 14.5$ 噸。

在臨界速度以下:

$$Re = \frac{1.53 \times 24}{1.32 \times 10^{-6}} = 2.8 \times 10^{-7}$$

由[2]表 4 $\zeta_f = 2.57 \times 10^{-3}$

$$Fr = \frac{1.53}{\sqrt{9.81 \times 24}} = 0.10$$

由圖 3 $\zeta_r = 1.2 \times 10^{-3}$

$$\Omega = 24(1.36 \times 0.3 + 1.13 \times 0.65 \times 41) = 80.5 \text{ 米}^3$$

$$R = \frac{\rho}{2} \Omega [\zeta_f \times \text{附表 2(14)} + \zeta_r \times \text{附表 2(15)}]$$

$$= 51 \times 80.5 [2.57 \times 10^{-3} \times 3.44 + 1.2 \times 10^{-3} \times 4.15] = 56.3 \text{ 公斤}$$

$$EHP = \frac{56.3 \times 1.53}{75} = 1.15 \text{ 馬力}$$

$$\frac{R}{W_D} = \frac{56.3}{14.5} = 3.92 \text{ 公斤/噸}$$

在臨界速度以上:

$$Re = \frac{2.54 \times 24}{1.31 \times 10^{-6}} = 4.66 \times 10^7$$

$$\zeta_f = 2.39 \times 10^{-3}$$

$$Fr = \frac{2.54}{\sqrt{9.8 \times 24}} = 0.1658$$

$$\zeta_r = 1.6 \times 10^{-3}$$

$$R' = 51 \times 80.5 (2.39 \times 10^{-3} \times 6.47 + 1.6 \times 10^{-3} \times 25.8) = 233 \text{ 公斤}$$

$$(EHP)' = \frac{233 \times 2.54}{75} = 7.9 \text{ 馬力}$$

$$\frac{R'}{W_D} = \frac{233}{14.5} = 16.07 \text{ 公斤/噸}$$

由以上計算結果, 可知用不按比例的較大船舶, 每載貨噸的阻力在不超过臨速時, 減 $\frac{4.89 - 3.92}{4.89} =$

19.9%, 在臨速以上時, 減少 $\frac{19.2 - 16.07}{19.2} = 16.4$

%。因此, 在淺水急流地區, 利用較大船舶, 在經濟上是優越的。但它不按 $\frac{L}{B}$ 及 $\frac{B}{T}$ 的正常比例, 使吃

水太淺, 船的深度很小, 如加大其深度則因吃水限制, 裝貨量小, 勢必造成容積太大, 反而浪費。如

船的深度不增加, 則它的 $\frac{B}{T}$ 的比例太大, 船的縱強度不夠。由以上論證, 淺水急流客輪以其深度較大, 在可能範圍內以用較大型的為佳, 貨輪亦可用

較大型的, 駁船則以深度太小, 應用較小型的為宜。

(2) 在水的深度為 0.75 米時。

附表 3. III 表示航速在臨界速度以上, $V = 1.945$ 米/秒時, 自航船及駁船的阻力皆為 62.95 公斤, 推輪的阻力為 61.15 公斤。每載貨噸阻力: 自航船為 4.85 公斤, 駁船為 4.2 公斤, 與 (1) 的航速在 1.53 米/秒以下的每載貨噸阻力大致相同(自航船為 4.89 公斤, 駁船為 4.28 公斤)。換言之, 在水深增加 $\frac{0.75 - 0.5}{0.5} = 50\%$, 航速增加 $\frac{1.945 - 1.53}{1.53} = 27.1\%$, 船的載貨噸: 自航船增 $\frac{13 - 3.5}{3.5} = 2.71$

倍, 駁船增 $\frac{15 - 4}{4} = 2.75$ 倍時, 每載貨噸阻力沒有增加, 從此可以看出深水航行較淺水航行的優越性。

附表 3. IV 表示航速在臨界速度以上, $V = 3.12$ 米/秒時, 自航船及駁船的阻力皆為 321.6 公斤, 推輪為 301.9 公斤, 每載貨噸的阻力, 自航船為 24.75 公斤, 較航速 $V = 1.53$ 米/秒時大 $\frac{24.75 - 4.85}{4.85} = 4.11$ 倍, 駁船為 21.4 公斤, 較航速 $V = 1.53$ 米/秒時大 $\frac{21.4 - 4.20}{4.20} = 4.1$ 倍。其營運率的增加為

$$\frac{1.945 - 1.53}{1.53} = 27.1\%, \text{ 則在 } 0.75 \text{ 米水深時, 採用}$$

超臨速的自航船(客輪或貨輪)不如不超过臨速為經濟。如第 (1) 節所述汽車的營運率為 150 噸公里/時, 自航船則為 $13 \times 11.22 = 146$ 噸公里/時, 即汽車與船的營運率之比为 $\frac{150}{146} = 1.028$, 自航船的有效功

率為 13.38 馬力, 設其推進效率為 0.3, 則軸功率為 44.6 馬力, 即汽車與船的功率比为 $\frac{60}{44.6} = 1.35$ 。

由此可以看出, 汽車與船的營運率在大致相同的情況下, 其功率則多費 35%, 故在超臨速的情況下, 航運亦為優越。

如第 (1) 節所述, 自航船航速在臨界速度以上或以下可採用較大型的, 即在水深為 0.75 米時, 可用 30 米(L) × 5 米(B) × 1 米(D) × 0.5 米(T), 以減少單位載貨量的阻力。但船太小時在河流窄狹彎曲很多的地区操縱不便, 又以縱強度關係材料必須加大, 且在山区貨源不多的地方, 造成停泊等貨的現象, 故駁船仍用 18 × 3 × 1 × 0.5 米為宜。

(3) 在水的深度为 1 米时。

附表 3.V 表示在临界速度以下, $V=2.222$ 米/秒时, 自航船及駁船的阻力皆为 133.9 公斤, 推輪的阻力为 99.3 公斤。每載貨吨的阻力, 自航船为 4.06 公斤, 駁船为 3.72 公斤, 較(1)、(2)节的稍小。但它們的速度較(1)节所述大 $\frac{2.222-1.53}{1.53}=45.2\%$, 較第(2)节所述大 $\frac{2.222-1.945}{1.945}=14.25\%$ 。

附表 3.VI 表示在临界速度以上, $V=3.61$ 米/秒时, 自航船及駁船的阻力皆为 736.7 公斤, 推輪的阻力为 505.3 公斤。每載貨吨阻力, 自航船为 22.3 公斤, 駁船为 20.45 公斤。較临界速度以下的航速增加 $\frac{3.61-2.222}{2.222}=62.4\%$, 每載貨吨阻力, 自航船增加 $\frac{22.3-4.06}{4.06}=4.5$ 倍, 駁船增加 $\frac{20.45-3.72}{3.72}=4.5$ 倍, 因此, 超临速的航速是不經濟的。在超临速航行时, 自航船的营运率为 $33 \times 13 = 429$ 吨公里/时, 汽車为 150 吨公里/时, 則自航船較汽車的营运率大 $\frac{429-150}{150}=1.86$ 倍。自航船的功率为 35.5 馬力, 設其推进效率为 0.35, 則軸功率为 $\frac{35.5}{0.35}=100.7$ 馬力, 即自航船的馬力較汽車大 $\frac{100.7-60}{60}=68\%$, 因此, 自航船仍較汽車为优越。

(4) 在水的深度为 1.5 米时。

附表 3.VII 表示在临界速度以下, $V=2.778$ 米/秒时, 自航船及駁船的阻力皆为 345.8 公斤, 推輪为 196.8 公斤。每載貨吨的阻力: 自航船为 4.77 公斤, 駁船为 4.32 公斤。

附表 3.VIII 表示在临界速度以上 $V=4.40$ 米/秒时, 自航船及駁船的阻力皆为 2317 公斤, 推輪的阻力为 1458 公斤。每載貨吨的阻力, 自航船为 32 公斤, 駁船为 29.2 公斤, 与在水深为 1 米时相比, 超临速增加了 $\frac{4.40-3.61}{3.61}=21.9\%$, 自航船的每吨阻力增加了 $\frac{32-4.77}{4.77}=5.71$ 倍, 即营运率增加

远不及阻力增加为大。由此可以断定, 在較深的浅水中, 航速在超临速时是不利的。在此情形下自航船及拖輪阻力的增加(較航速在临界速度以下时)更

为显著, 即自航船增加 $\frac{2317-345.8}{345.8}=5.14$ 倍(在

水深 1 米时为 2.48 倍), 推輪增加 $\frac{1458-196.8}{196.8}$

$=6.42$ 倍。由以上种种情况看来, 在水深較大的浅水中, 船舶不应超过临界速度航行。如与汽車比, 自航船的有效功率为 136 馬力, 設推进效率为 0.38, 則軸功率为 $\frac{136}{0.38}=358$ 馬力, 即較汽車增加

$\frac{358-60}{60}=4.96$ 倍, 船的营运率为 $73 \times 15.84 = 1156$

吨公里/时, 即較汽車增加 $\frac{1156 \times 150}{150} = 6.7$ 倍,

所以船在超临速航行时, 仍較汽車运输有利。

(5) 在水的深度为 2 米时。

附表 3.IX 表示在临界速度下, $V=3.195$ 米/秒时自航船及駁船的总阻力皆为 758 公斤, 推輪为 521 公斤。每載貨吨的阻力, 自航船为 5.33 公斤, 駁船为 4.89 公斤, 自航船較第(4)节大 $\frac{5.33-4.77}{4.77}$

$=14.04\%$, 但其航速則大 $\frac{3.195-2.778}{2.778}=15\%$,

这表明船在較深的浅水中航行, 是比較有利的, 但較以上的为小。

附表 3.X 表示在临界速度以上, $V=5.08$ 米/秒时, 自航船及駁船的阻力皆为 4050 公斤, 推輪为 3117 公斤。每載貨吨的阻力, 自航船为 28.5 公斤, 駁船为 26.1 公斤, 与航速在临界速度以下比較, 自航船的速度(及推輪)增加了 $\frac{5.08-3.195}{3.195} = 26.75$

$\%$, 但其阻力增加了 $\frac{5340-758}{758}=6.03$ 倍, 推輪的

阻力增加了 $\frac{3212-521}{521}=5.15$ 倍。与水深为 1.5 米比

較, 自航船超临速增加了 $\frac{5.08-4.40}{4.40}=15.45\%$,

但其阻力增加了 $\frac{5340-2317}{2317}=1.315$ 倍, 以上的数

据說明了在較深的浅水中, 航速超过临界速度是不經濟的, 第(4)节中也論証了此点。但与汽車比較, 自航船的功率为 362 馬力, 設其推进效率为 0.4,

則軸功率为 $\frac{362}{0.4}=905$ 馬力, 即其功率較汽車大

$\frac{905-60}{60}=14.06$ 倍, 船的营运率为 $142 \times 18.3 =$

2600 吨公里/时, 即較汽車大 $\frac{2600-150}{150} = 16.35$

倍。所以与上几节論証相同，船在超临界航行时在各种水的深度下，皆較汽車有利。

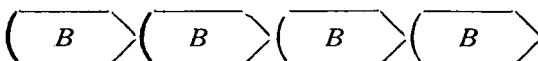
(6) 在水的深度 2 米以上时。

我国内河干綫水的深度一般在 2 米以上，水流不急，已有大批船舶航行，船的速度皆在临界速度以下，阻力較小，一切符合浅水船舶的規律，本文不予論証。

4. 船队阻力及有效功率

在浅水急流地区，为了解决大批貨物运输，如用自航船，数量必須甚多，机器的数目增多，管理费用增大，故河流如有条件(即河面較寬，弯曲較少)則以用船队运输为宜。按現代的船队运输，如河流条件許可，則駁船数量愈多愈經濟，頂推則較拖帶为优越。本文所述的河流，多数指在山区，属于河的上游部分，河面較窄，弯曲較多。故船队最多限于 4~6 只駁船。本文采取頂推方法。

如何使編队阻力最小，則視駁船的形状而异。由[2]表 26 及表 27 可以看出，单行纵編队則以楔形(即平常舢的尖形)为佳，即：



如双行或多行纵編队則以滑板型为佳(即舢艀甲板

平面是方的，其側面是斜的)，即：

B	B
B	B

图上 B 代表駁船。美国及西德最近皆用大型船队，所以它們的駁船皆为滑板型[4]、[5]，由第(3)节可以看出，河水愈浅則駁船尺度愈小，同时此駁船队不限止于上游航行。故船队将包括多数駁船，即駁船型也采取滑板型。至于駁船最佳的具体綫型，則是另一个研究課題，不在此論文范围内。

以下是四种編队方法，如附表 4，即：推輪 T 頂推一个駁船 B ；頂推 2 个单行駁船；頂推 3 个駁船；頂推 4 个駁船。因駁船編队的数目不同，船队的总阻力系数 K ($K = \frac{R_t}{\Sigma R}$ R_t = 总阻力即推輪阻力

及几个駁船阻力之和)亦不同。附表 4 系根据[2]表 26 的深水船队阻力系数及[2]表 27 的浅水阻力系数，用外插法推出。

附表 5 表示在不同水深及航速时，各船队的总阻力 R_t 及有效功率(EHP) i_o 。表內推輪阻力 R_r 、駁船阻力 R_B 及自航船的阻力分別由附表 3 查出。

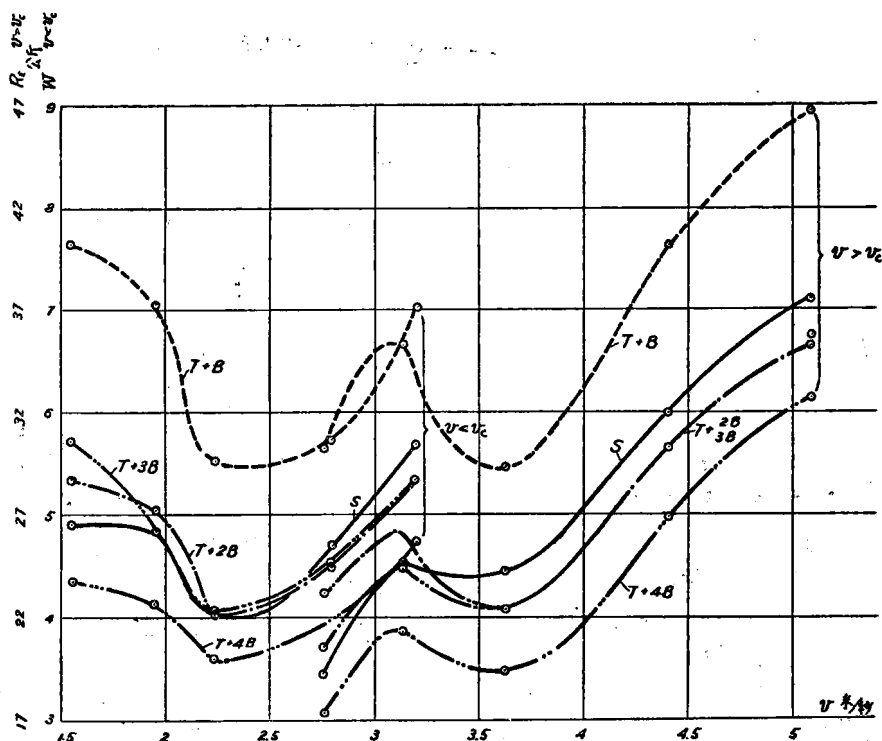


圖 4 不同航速时每吨載重量阻力的曲綫圖

将附表 5 的结果, 繪于图 4, 纵座标为航速 V , 横座标为每吨載重量的阻力。图 4 上曲綫分为两类: 一类为航速在临界速度以下 $V < V_c$; 一类为航速在临界速度以上 $V > V_c$ 。由以上两类曲綫, 皆可看出: 推輪頂推一駁船时, 单位載重量的阻力最大; 在水深 1.5 米以下时, 推輪頂推 2 駁或 3 駁, 单位載重量的阻力亦較自航船为大。在浅水急流中有 4 个駁船(或較多)的船队最为經濟, 其次为自航船。图 4 上曲綫最为奇特之处在 $V < V_c$ 时, R_t/W_D 有一个最低点, 即为在 $V=2.222$ 米/秒, 水深 1 米时。因此, 在水深 1 米的浅水急流处, 駁船队的速度采取每小时 8 公里, 駁船的尺寸为 24 米(L) $\times$ 4 米(B) $\times$ 1.2 米(D) $\times$ 0.7 米(T)是最經濟的。

关于推輪, 附表 3 采用四种, 即在水深 0.5 米及 0.75 米时采用一种, 在水深 1、1.5、2 米时各采用了一种, 共四种。因船队以 4 駁最为經濟, 故每种推輪的功率, 以頂推 4 駁为根据, 又以超临界速不經濟, 此处只考虑临界速度以下的推輪。茲将各种推

輪頂推 4 駁时的初步資料列于附表 6。

(一) 船在浅水急流航行时的推进

关于船舶在浅水急流中的推进方法, 現可分为四种: 1. 螺旋桨; 2. 螺旋桨加导流管; 3. 噴水式; 4. 明輪。根据[6]的結論, 在水深 1 米以上的水流, 無論自航船或拖輪噴水推进較螺旋桨推进优越; 在速度不高的內河船舶, 螺旋桨加导流管推进可以增加效率。本节将另加明輪推进。为了进一步探索各种推进的优劣, 現在按上节各种船舶在不同的水深、航速、阻力等作具体深入的論証。

1. 噴水推进

(1) 噴水方法。

現在噴水船舶主要有两种推进方法, 一为噴水管口在水綫下, 如图 5; 一为噴水管口在水綫上(現已不用), 如图 6。

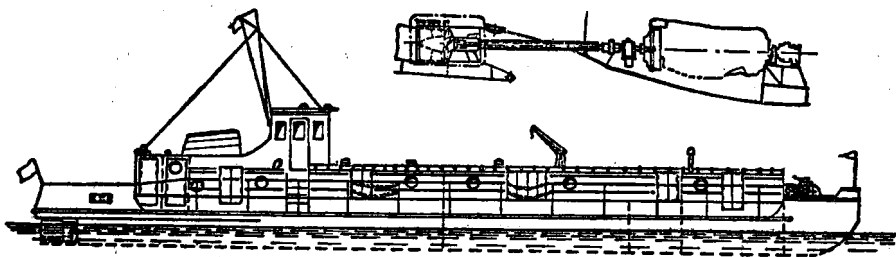


图 5 噴水管口在水綫以下的噴水船

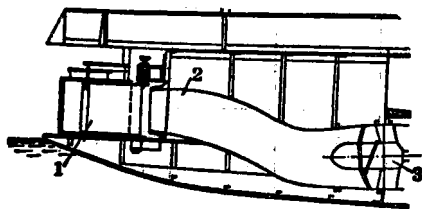


图 6 噴水管口在水綫以上的噴水船
(噴水船尾部分):

1—導向器; 2—噴管; 3—螺旋桨。

按照[6]的公式:

V ——航速(船的), 米/秒;

W ——噴水与噴口的相对速度, 米/秒;

V_w ——伴流速度, 米/秒;

V_j ——噴水的绝对速度 $= W - V_w - V$, 米/秒;

γ ——水的单位重量, 公斤/米³;

$\rho = \frac{\gamma}{g}$, 公斤·秒²·米⁻⁴;

S ——推力, 公斤;

η_j ——噴力推进效率;

η_P ——水泵效率;

F ——噴嘴切面面积, 米²;

Q ——出水噴嘴的流量, 公斤/秒;

M ——发动机的扭矩, 米·公斤;

ω ——发动机的轉速, 轉/秒;

z ——水由吸水管入噴水管的高度, 米;

按图 5:

$$\begin{aligned} \text{推力 } S &= \frac{\gamma F (W - V_w)}{g} (W - V_w - V) \\ &= \rho \cdot F (W - V_w) (W - V_w - V) \quad (10) \end{aligned}$$

水泵推进能量 $N = M \omega \eta_P$,

推力能量 $N_1 = S V$

$$\text{水噴出損失能量 } N_2 = \frac{\tau F(W - V_w)}{2g} \\ (W - V_w - V)^2$$

$$N = N_1 + N_2$$

$$M \cdot \omega \cdot \eta_P = SV + \frac{\tau F(W - V_w)}{2g}$$

$$(W - V_w - V)^2 = \frac{\tau F(W - V_w)}{2g}$$

$$[(W - V_w)^2 - V^2] \quad (11)$$

$$\eta_j = \frac{2}{1 + \frac{W - V_w}{V}} \quad (12)$$

按图 6:

$$\text{水泵推进能量 } N = M\omega\eta_P$$

$$\text{推力能量 } N_1 = SV$$

$$\text{水噴出損失能量 } N_2 = \frac{\tau F W}{2g} (W - V)^2$$

$$\text{水头能量 } N_3 = \tau F W z$$

$$N = N_1 + N_2 + N_3$$

$$\text{推力 } S = \frac{\tau F W}{g} (W - V) \\ = \rho \tau F W (W - V) \quad (13)$$

$$M\omega\eta_P = SV + \frac{\tau F W}{2g} (W - V)^2 + \tau F W z \\ = \frac{\tau F W}{2g} (W^2 - V^2 + 2gz) \quad (14)$$

$$\eta_j = \frac{2}{1 + \frac{W}{V}} \quad (15)$$

因伴流速度 V_w 在浅水中一般是正号的, 由公式(11)、(14)如 W 相同則噴管口在水綫下时所用的水泵推进能量較噴管口在水綫以上时所用的水泵推进能量为小, 故本节所采取的噴水方法为噴水管口在水綫下的。

(2) 噴水推进效率的計算方法。

为了比較船舶在各种浅水急流中推进的性能, 我們根据上节它們的各种速度 V 及阻力 R 用公式(10):

$$S = R = \rho \cdot F(W - V_w) (W - V_w - V) \text{ 以 } \\ \text{求出噴水速度 } W。$$

按吃水的深浅, 假定噴管的直径 D 以得到噴口面积 F , 伴流速度 $V_w = \psi V$, ψ 为伴流系数, 船在浅水中的伴流系数与在深水中不同, 可由图 7 查出。图 7 系根据 [7], 在 $\frac{h}{T} = 1.5$ 时, $\psi = 0.48$; 在用一個噴口时 ($\psi = 0.24$, 在用二个噴口时; $\psi =$

0.30, 在用三个噴口时); ρ 在淡水为 102 公斤秒²米⁻⁴。关于推力縮減系数, 因其公式沒有压力影响, 故未考虑。

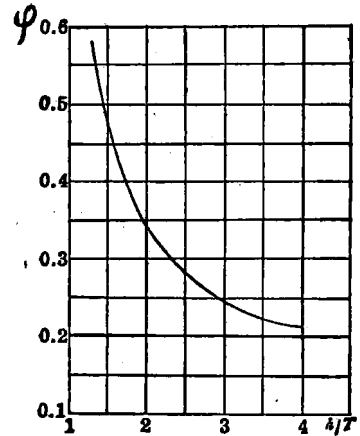


圖 7 在不同 h/T 时的伴流系数值

噴水速度 W 得出后代入公式(12):

$$\eta_j = \frac{2}{1 + \frac{W - V_w}{V}} \text{ 以求出噴水推进效率 } \eta_{j0}$$

再由[8]求出車叶水泵的效率 η_p , 一般为 0.7 左右。总的噴水推进效率为 $\eta = \eta_j \cdot \eta_p$ 。为了便于列表計算, 我們可将公式(10)化为公式:

$$\frac{R}{\rho F} = (W - \psi V)(W - \psi V - V) \\ = W^2 - (1 + 2\psi)VW + \psi(1 + \psi)V^2, \\ W^2 - (1 + 2\psi)VW - \left[\frac{R}{\rho F} - \psi(1 + \psi)V^2 \right] = 0 \\ W = \frac{(1 + 2\psi)V + \sqrt{(1 + 2\psi)^2 V^2 + 4 \left[\frac{R}{\rho F} - \psi(1 + \psi)V^2 \right]}}{2} \\ = \frac{V}{2} \left\{ (1 + 2\psi) + \sqrt{(1 + 2\psi)^2 + 4 \left[\frac{R}{\rho F V} - \psi(1 + \psi) \right]} \right\} \quad (16)$$

式(12)的分母部分可写为:

$$\frac{W - V_w}{V} = \frac{1}{2} \left\{ (1 + 2\psi) + \sqrt{(1 + 2\psi)^2 + 4 \left[\frac{R}{\rho F V} - \psi(1 + \psi) \right]} \right\} - \psi \quad (17)$$

关于詳細的水泵及导流圈計算, 請参考 [8]; 詳細的噴水車叶联合計算請参考 [9]。

(3) 各种浅水急流船舶的喷水推进效率。

按照公式(12)、(16)、(17)，上节所述各种船舶在不同的深度，速度及阻力上，以算出不同的喷水推进效率。附表7表示计算结果。

附表7. I 表示在水深0.5米时，自航船航速在临速以下，用3种不同的喷口直径即0.3、0.4、0.5米，其效率为0.312、0.435、0.481。即直径愈大(面积愈大)效率亦愈大。但由于船的吃水只有0.3米，如采用大的喷口直径，船体的构造及机器的布置皆将发生问题，故最大只能采用0.4米直径。

附表7. I 亦表示自航船航速在超临速时及推轮顶推4驳，航速在临速以下时的各种情况。自航船在超临速航行时，推进效率减低很多，推轮在顶推4驳时，效率减低更多，完全符合[8]的论证，即阻力(或推力)愈小时推进效率愈大，阻力愈大时，推进效率愈小。以上情况表明自航船每载货吨的阻力较推轮的增加远不及其效率的增加，故在0.5米水深及临界速度以下航行时，自航船是较推轮为有利的。自航船在超临速时，因推进效率低，除客轮外，是不宜采用的。

附表7. II 表示在水深0.75米时，自航船航速在临界速度以下及在临界速度以上的喷水速度及推进效率。在临速以下，自航船的喷水速度较在0.5米水深时大为增加，它的推进效率亦较低，但仍可使用；在临界以上，则效率太差除必要的客轮外，不宜采用。

附表7. II 亦表示推轮(顶推4驳)的推进效率，因船队的阻力太大，推轮本身太小，不能安装较大的喷管，故其推进效率更低。故在0.75米时，自航船较推轮为有利的。自航船在超临速航行时，推进效率亦太低，货轮是不宜采用此航速的。

附表7. III 表示在水深1米时，自航船及推轮的航行推进效率。它们的速度较在0.5、0.75米水深时增加，其推进效率渐渐降低。自航船在超临速航行时，推进效率太低，如它只有一个喷水管则不宜使用。推轮顶推4驳在低临速航行时，推进效率亦太低，不宜使用。

附表7. IV 及附表7. V 表示在水深1.5及2米时，船舶推进效率更大为降低，如船上只有一个喷水管，则除自航船在低临速行时，可勉强用喷水推进外，其他均不宜使用。

(4) 各种浅水急流船舶用一个以上喷管时的推进效率。

由公式(10):

$S = \rho F(W - V_w)(W - V_w - V)$ ，如推力 S 、速度 V 、 V_w 不变，则喷管面积愈大，喷水速度 W 愈小。由公式(12)喷水推进效率:

$$\eta_j = \frac{2}{1 + \frac{W - V_w}{V}}$$

W 愈小则效率愈大。如一个喷管的面积为 F ，用二个喷管则面积 F 加大一倍，如用三个喷管则面积加大二倍，这样 W 就相应减少， η_j 相应增大，由于船的尺度限制及结构情况，船舶不能用很多数目的喷管。如喷管的直径与船的吃水相等，则船体结构及机器安装方面已带来很多困难。如用一个以上的喷管则困难更大。同时如用喷水管时，管径与吃水相同，占去一大部分排水量，减少了载货量。所以货轮不宜采取一个以上的喷水管。

附表8表示用二个喷管的自航客轮及用二个和三个喷管的推轮，在各种水深时的喷水速度及推进效率。由此表上可以看出，用二个喷管的自航船较用一个喷管的自航船，推进效率在低临速时可以增加16.8~54.7%，在超临速时可以增加16.7~41.4%。用二个喷管的推轮较用一个喷管的推轮推进效率在低临速时增加11.8~48.6%，用三个喷管的推进效率更可以增至55.3%。图8的曲线系由附表8的结果绘出。

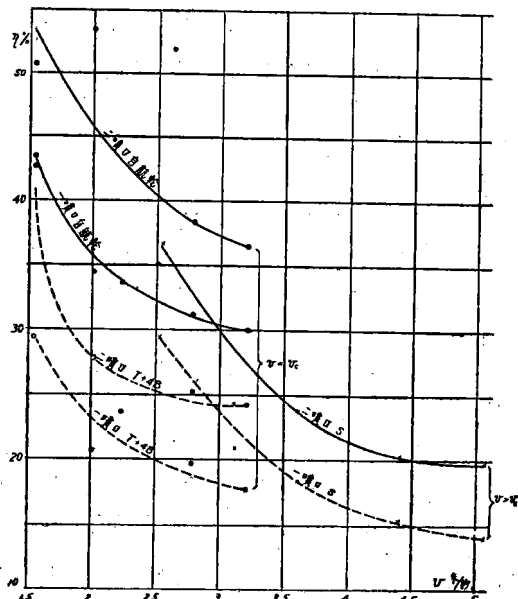


图8 不同航速时喷水推进效率曲线图

2. 明輪推进

(1) 明輪推进方法

明輪推进为最老方式，現在海輪中已不应用，主要原因，明輪本身很大，易受波浪损坏且其推进效率在深水中亦較螺旋桨为低。在內河船舶推进中，虽亦为螺旋桨所代替，但在較浅的河流中，明輪推进仍是有效的推进方法。特別表现在拖輪或推輪中。明輪推进方法有两种：一为旁明輪，即明輪置于船中部的两旁；一为尾明輪，即明輪置于船的尾部。按[10]在很浅的河流如 Lualaba 的上游名为刚果(Congo)河者，最低水位在0.5米以下，寬20米以下，并在80公里內弯曲很多，現在最适宜的工具为尾明輪(图9)，用两个不相联結的明輪置于船的尾部推进。

总 长: 29.9 米
寬: 7.6 米
最大吃水: 0.65 米
功 率: 200 馬力

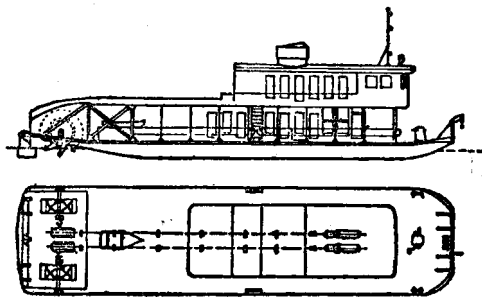


圖 9 尾明輪推輪

(2) 明輪推进计算方法。

最近数十年来各国对明輪推进的科学研究工作进行很少，因此，明輪的计算方法尚无統一标准可与螺旋桨推进的相比。图10表示明輪的示意构造

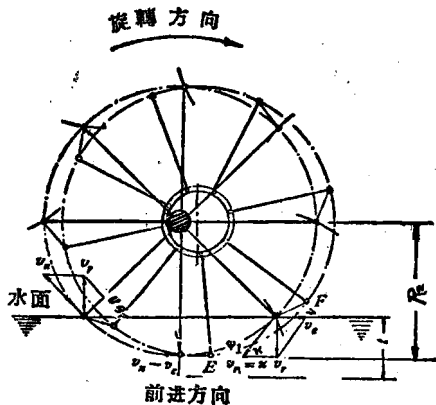


圖 10 明輪示意图

及速度分析。

R_s ——括板中心至偏心輪中心的半径，米；

t ——水面至最低括板边的距离，米，由[11]

表 2.64 客輪 $t=0.527 R_s$ ，拖輪 $t=0.64 R_s$ ；

V_c ——进入明輪水的速度，米/秒；如 V 为航行速度，則

$$V_c = V(1 - \psi_r); \quad (18)$$

ψ_r ——伴流系数，在旁明輪由图11查出，因水流在船中部是向后流的，故此数常为負号。在尾明輪 ψ 可由图7查出，但因尾明輪位置在船尾以后，不正在船尾。因此，此处伴流系数可采用0.24或零；

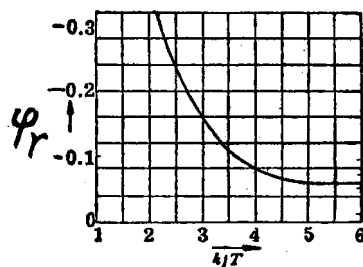


图 11 旁明輪的伴流系数

S_w ——平常滑数；

n ——明輪每秒轉数；

D ——明輪直径；

u ——輪边轉速，米/秒。

$$\frac{V_c}{n\pi D} = \frac{V_c}{u} = 1 - S_w, \quad S_w = \frac{u - V_c}{u}$$

客輪: $S_w = 0.22 \sim 0.30$,

推輪: $S_w = 0.35 \sim 0.45$,

客輪: $n = 0.75 \sim 1 \text{ 秒}^{-1} (45 \sim 60 \text{ 分}^{-1})$,

拖輪: $n = 0.543 \sim 0.634 \text{ 秒}^{-1} (32 \sim 38 \text{ 分}^{-1})$;

η_i ——明輪理想效率, $\eta_i = \frac{V_c}{u}$;

η_r ——明輪測出效率。

計算明輪方法:

(a) 按船的尺度，假設几个不同的 R_s 值，求出 t 值；

(b) 由已知的水的深度 h ，算出 $\frac{h}{t}$ 值；

(c) 按旁明輪或尾明輪分別由图11查出伴流系数 ψ_r ；

(d) 由拟定的航速，利用公式(18)求出 V_c ；

(e) 用弗氏系数 $Fr = \frac{V_c}{\sqrt{gR_s}}$ ，利用图12查出

出推力系数 r_s ；

(f) 由公式 $r_s = \frac{S}{\tau R_s}$ ， τ 为每立方米水的重量=1000 公斤，求出推力 S ，如 $2S$ 与算出的船的阻力 R 相等，则假定的 R_s 即可适用，如不相等则重新假定 R_s ；以至最后相等时为止，因旁明轮及尾明轮水流压力变动不大，故未考虑推力减额；

(g) 由图 12 查出扭矩系数 r_M ，由公式 $r_M = \frac{M}{\tau R_s}$ ，求出扭矩 M ；

(h) 由图12 查出转数系数 r_n ，再由公式 $r_n = \sqrt{\frac{R_s}{g}}$ ，求出 n ，明轮效率亦由图 12 查出。

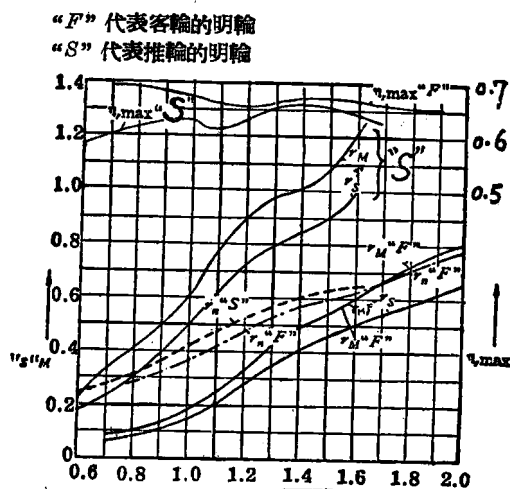


图 12 8个明轮的试验数值

由以上结果，利用公式 $N_w = \frac{2\pi \cdot M \cdot n \cdot 2}{75}$

求出明轮的轴功率 N_w ，再用公式 $N_e = \frac{2 \cdot S \cdot V_c}{75}$

求出明轮的有效推进功率 N_e ，式中的乘 2 系为两个明轮之故，最后求出明轮推进效率 $\eta = \frac{N_e}{N_w}$ 。

(3) 各种浅水急流船舶的明轮推进效率。

利用以上计算方法，在每种水深时，及低临速、超临速航行时，列表计算自航轮及推轮顶推 4 个驳船时各种推进性能。在数个假定的明轮直径中，按其中的一个 R_s 计算出来的推力 S 等于或接近于第一节相同情形下的阻力的一半，即 $\frac{R}{2}$ (因每

船有左右两个明轮)，则此 R_s 为可采用的，并将其 S 值下划一横线以表示之(附表 9)。

将以上各表的推进效率，绘成图13，由此图可看出在低临速情况下，自航轮及推轮在水深 1 米以上旁明轮的推进效率大于尾明轮，推轮在水深 1 米以下，尾明轮的推进效率大于旁明轮，在水深 1 米以上，旁明轮推进效率大于尾明轮。在超临速情况下，自航轮的尾明轮的推进效率则永远大于旁明轮。以上的结论未必完全正确，因伴流系数的假定关系很大，因此，正确的结论则非作实验不可。

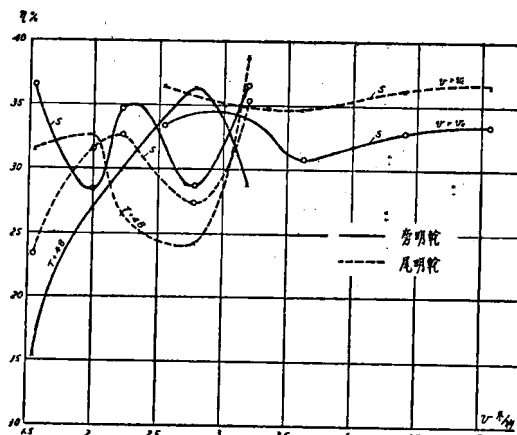


图 13 明轮推进效率曲线图

3. 螺旋桨(车叶)推进及螺旋桨加导流管推进

螺旋桨推进系现代轮船最普通的推进方法，螺旋桨加导流管推进系拖轮最普通的推进方法。以上两种推进的计算方法很多，但皆按图谱查出结果。本文的推进计算，以第一节的水深、船型、速度等为依据，各种情形下的阻力 R 皆已算出，故如推力减小系数 δ 定出，则车叶推力 S 可得到。即：

螺旋桨推进 $S = \frac{R}{1-\delta}$ ；螺旋桨加导流管推进

$S = S_{螺旋桨} + S_{导流管} = \frac{R}{1-\delta}$ ；按 [13]，单车叶

$\delta = 0.70\psi$ ；双车叶 $\delta = 0.70\psi + 0.05$ ， ψ 为伴流系数，单车叶 $\psi = 0.48$ ，双车叶 $\psi = 0.24$ ，3 车叶 $\psi = 0.3$ ；按吃水的大小假定车叶直径 D ，按附表 6 假定主机的转数 n ，则可求出推力系数 K_s 及速度系数 λ 。

$$K_s = \frac{S}{\rho D^4 n^2}, \quad \lambda = \frac{V_c}{nD}$$

式中 ρ ——水的密度=102公斤秒²米⁻³;

V_e ——水的进入速度= $V(1-\psi)$, 米/秒;

D ——車叶直径, 米;

n ——轉数, 秒⁻¹。

計算車叶推进时, 利用以上二个系数 K_s 及 λ , 由[13]图 140 的 K_s 曲綫中, 先查出螺距直径比 H_0/D , 然后查出在 H_0/D 值的 η 曲綫与 λ 相交的推进效率 η 。此图为 4 瓣車叶 B4.55 型, 叶片面积比 $F_0/F=0.55$ 。当然亦可利用[13]图 139 B 4.40 型, 图 146 B 3.35 型, 图 147 B 3.50 型, 求出几个 H_0/D 及 η 值, 最后选用最大的 η 的 H_0/D 值。因由 4 个图谱查出的 η 值差别不大, 故为简化計算, 本文只采用图 140。

計算車叶加导流管推进时, 利用以上二个系数 K_s 及 λ , 由[14]图 4a 的 K_s 曲綫中先查出螺距直径比 H_0/D , 然后查出在 H_0/D 值的 η 曲綫与 λ 相交的推进效率 η 。此图为 4 瓣車叶 B4.55 型在 7 号导流管中的敞水試驗結果。当然亦可利用图 7a、8a、12a、13a、17a、18a、19a 以选出最佳的 η 值, 但为了简化計算, 本文只采用[14]图 4a。

利用以上方法, 列表計算車叶推进效率及車叶加导流管推进效率。附表 10 表示計算的結果。

附表 10 表示水深 0.5 米、0.75 米、1 米及 2 米时的自航輪在低临速及超临速及推輪頂推 4 駁在低临速的車叶推进效率及車叶加导流管的推进效率, 由表上看車叶加导流管的推进效率皆較車叶的推进效率为高。超临速的自航船較低临速的自航船为高, 低临速的推輪(頂推 4 駁)較超临速或低临速的自航船的推进效率为低。同时, 由于水的深度增加, 車叶直径亦增加, 各个推进效率皆有所增加, 水愈深愈显著。另外, 由表上看, 在相同情况下, 車叶愈多, 推进效率愈大, 其原因为船的阻力太大, 而速度較小之故。

4. 各种推进器效率的比較

利用以上各种推进所計算出来的推进效率数值列于附表 11 內, 并用表內数值繪成曲綫图 14 及图 15。图 14 表示自航輪的各种推进效率, 图 15 表示推輪的各种推进效率。由图 14 可以看出:

(1) 在浅水区域內在低临速及超临速航行时, 双車叶加导流管的自航輪推进效率最高, 在水深約 1.0 米以下的河道中低临速航行时, 双噴口的自航噴水船次之。

(2) 自航輪在超临速航行时, 在水深 1.0 米至 2

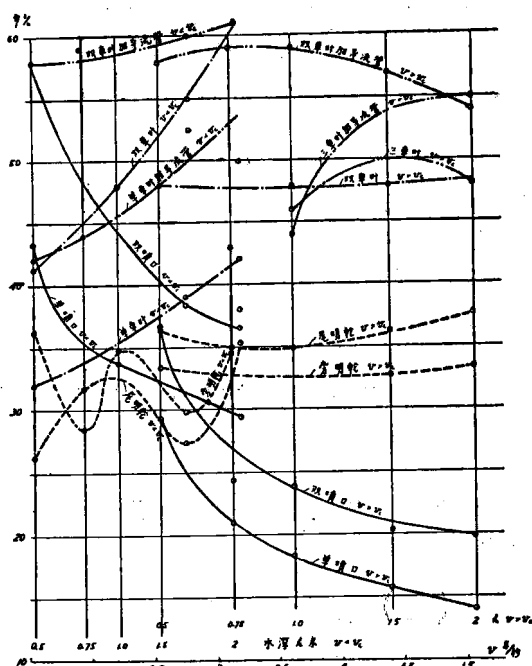


圖 14 自航輪各種推进效率比較

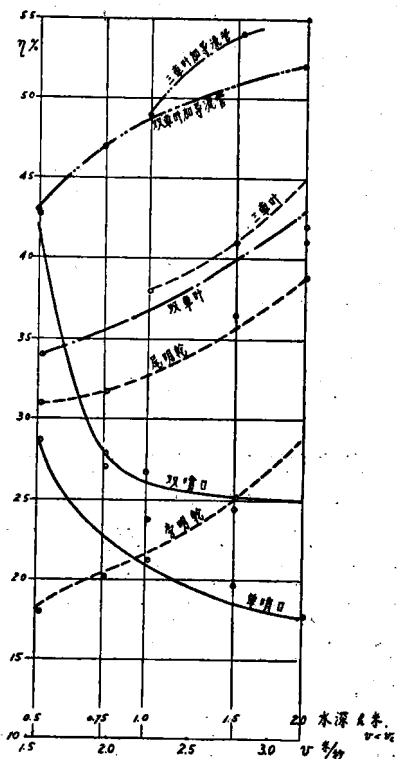


圖 15 推輪的各種推进效率比較

米以上, 双車叶加导流管的推进效率最佳, 推輪在水深1.0米以上, 三車叶加导流管的推进效率最佳。

5. 在浅水急流中各种船舶軸功率及主机的选定

附表6曾將推輪頂推4駁在各种水深及低臨速时的初步資料写出, 此表假定了推进效率, 并在已計算的各种推輪頂推4駁的有效功率基础上, 將軸功率算出, 并假定每船用一部主机而將柴油機型号定出。現已得到各种水深及航速的船舶最佳推进效率, 最适宜的推进器数目亦已得出, 按各种自航輪的有效功率及各种推輪頂推4駁时的有效功率, 我們可以算出它們的軸功率, 并可將主机台数及型号定出。

附表12即表示在浅水急流中各种船舶軸功率及主机选定結果。

(三) 結 論

关于浅水急流船舶阻力及推进, 尚未見世界各國有系統的文獻。

本文由許多假定的尺度、数值及系数而計算出来的結果不一定是完全理想的、正确的, 但各种数值基础一致, 互相約制, 也不致有很大錯誤, 由計算的結果发现很多新的事实: 如推輪(或拖輪)頂推(或拖拉)4个駁船以上始較自航貨駁在經濟上优越; 噴水船噴口愈多效率愈大; 噴水自航船(客輪或貨輪)在浅水急流中推进效率最高, 在水深0.6米至1米时尾明輪推輪推进效率最高等。茲將具体結論分两方面列述如下:

1. 关于浅水急流船舶阻力方面

(1) 無論自航船或推輪(单船)超臨速航行时的阻力較低臨速航行的約大2.5倍以上, 水愈深此倍数愈大, 故在較深的浅水中, 航速超过临界速度是不經濟的。

(2) 自航輪在超臨速航行时, 在經濟上仍較汽車运输为佳, 故浅水急流中可以采用。

(3) 推輪在水深1.5米以下低臨速航行时, 頂推4駁以上始較自航輪在經濟上为优越。由于山区航道弯曲較多, 駁船队以纵2横2为佳, 如河道許可用纵2以上更好。頂推的船队, 駁船型以滑板型艚艨为佳。

(4) 推輪頂推駁船在超臨速航行时, 阻力太大, 不宜采用(即不宜超臨速航行)。

(5) 在 $V < V_c$ 。每載貨吨的阻力有一个最低点,

即在水深1米时, 此时船队的速度采取每小时8公里是最經濟的。

2. 关于推进方面

(1) 自航輪在整个浅水急流范围低臨速及超臨速航行时, 双車叶加导流管效率最高; 自航輪在水深1.0米以下, 双噴口噴水船的效率亦高, 但較次于前者。

(2) 自航輪在超臨速航行时, 在整个浅水急流范围, 双車叶加导流管船效率最高。

(3) 推輪頂推4駁在低臨速航行时, 在水深約1米以下, 双車叶加导流管的效率最高, 次为尾明輪船; 在水深1至2米三車叶加导流管的效率最高, 次为双車叶的, 再次为尾明輪的推輪。

(4) 按照船的尺度, 噴口愈多, 車叶(及加导流管的)愈多, 則船的推进效率愈大, 其原因为浅水急流的船阻力极大, 速度較小, 多噴口或多車叶將阻力分开为数个, 这样它的推力减小, 螺距可减小在一般图谱之内, 效率亦增高。

(5) 本文在噴水推进效率計算中未計及管道阻力的損失, 在車叶推进計算中未計及空泡的影响, 計算結果可能不很准确, 但用于比較是可以的。

总之此結論系完全由理論推断而出, 是否真正如此, 則需由試驗池进行試驗, 更进一步需进行实船实地試驗, 才能得到最后的証明。

討 論 意 見

熊松明:

1. 关于比汽車优越問題。下水船舶消耗少, 肯定优越。上水船舶馬力消耗大得多, 而实际航速应扣去流速。因此在上下水計算吨公里/馬力时, 要考虑这些因素。

2. 关于自航輪較拖駁船队优越問題。要考虑到实际营用情况, 拖駁船队上滩上不去可以分駁过去, 自航輪过不去就麻煩了。

3. 根据我国山河情况, 雪橇船形在山区很少使用, 实际上大多用杓形。

4. 噴水推进效率, 噴口越多效率越高一句話是否可改为双机双噴口較一机一噴口, 大噴口較小噴口效率高更好。

吳秀恒:

1. 方案性比較中从噴水推进看, 只从推进效率来考虑, 而有效功率在各种不同情况的推力減額