

小型高速艇推进性能的估算法

[日] 大隅三彦 木原和之

内 容 提 要

本文作者分析了大量实船的试航资料后推荐一种估算推进功率的简易方法。运用该法，高速艇的设计人员只需确定 2 个设计参数，如设计水线长和排水量就能够很方便地确定艇的推进功率。

表 1 按航速分类

分类	通称	$V_s/\sqrt{L_{WL}}$	航行中支持艇的力	实船例
低速型	排水艇	3 以下	水的浮力	普通船舶，客船，渔船，作业船等
中速型	半滑行艇	3 ~ 6	大部分为水的浮力 小部分为水的运动升力	客船，交通船，作业船，监视船，渔船，军用船，度假船 (leisure boat) 等
高速型	滑行艇	6 ~ 9	大部分为水的运动升力 小部分为水的浮力	同上
超高速型	全滑行艇	9 以上	水的运动升力	监视船，赛艇，度假船等

一、绪 言

在初步设计阶段估算推进性能的最重要的工作是确定主机功率。这其中，对于大型高速船的推进性能的确定，往往采用一方面广泛收集估算船体阻力的资料以及螺旋桨设计资料，另一方面借助船模水池试验的方法来进行的。而对于小型高速艇，由于船型多变，性能各异，为了完成在给定设计条件下的最优设计，就必须反复估算推进性能后才能确定主尺度。此时就要求推进性能的估算方法必须是简易且精度高的。为此目的，本文作者以航速及船的主尺度为变化参数进行了一系列组合计算，同时整理了众多的实船试航资料总结出既简便又具有实用精度的推进性能估算法。

二、小型高速艇的分类

小型高速艇，按速长比 $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 可分为低速型(排水艇)，中速型(半滑行艇)，高速型(滑行艇)及超高速型(全滑行艇)等 4 种。由于这些艇的型线图、浮心位置、横剖面面积曲线等的差异很大，因此必须应用适应各自的估算方法来估算其推进性能。

三、推进性能估算法的适用范围

所用对象，艇的水线长为 5~55 m。

3.1 主尺度

主尺度值用下列各式表示，括弧内值表示实船主尺度的偏离范围。

$L_{WL} \leq 25$ m 时，

$$B_{WL} = 0.80 + 0.176L_{WL} \quad (\pm 10\%)$$

$$d_{BL} = 0.11 + 0.039L_{WL} \quad (\pm 12\%)$$

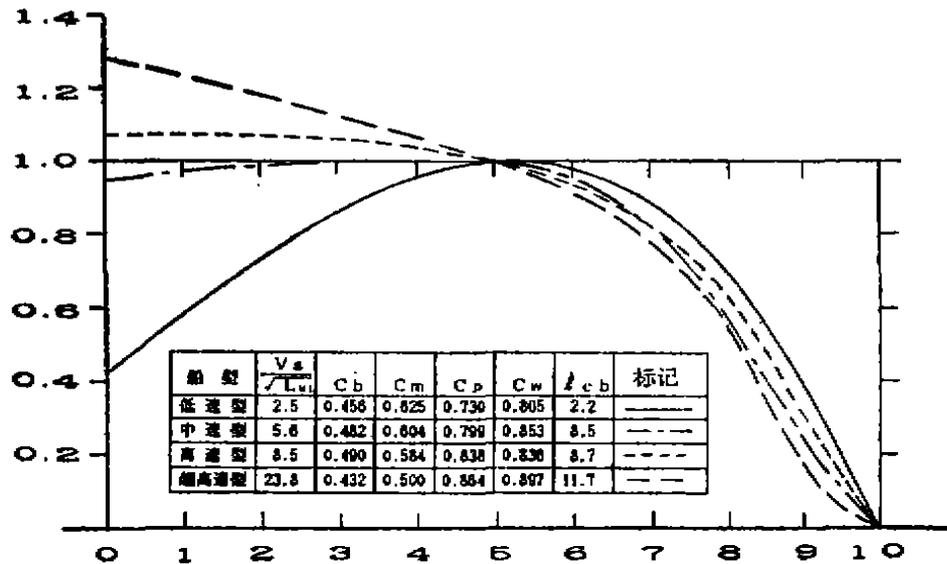


图 1 横剖面面积曲线

$L_{WL} > 25\text{m}$ 时.

$$B_{WL} = 2.6 + 0.104 L_{WL} \quad (\pm 10\%)$$

$$d_{BL} = 0.43 + 0.0262 L_{WL} \quad (\pm 12\%)$$

式中 L_{WL} : 静止时艇的水线长(m);

B_{WL} : 船中部(水线长的中点)处对应于 d_{BL} 的水线宽(m);

d_{BL} : 船中部(水线长的中点)处的相当型吃水(m).

3.2 船型

船型为有折角无断级的折角型且设有轴支架。按表 1 的分类, 各类船型的横剖面面积曲线的实例示于图 1。此外还将以往推进性能好的小型高速艇的实船资料, 即方形系数 C_b , 棱形系数 C_p , 水线面系数 C_w , 中剖面系数 C_m 以及浮心纵向位置 l_{cb} 与 $V_s / \sqrt{L_{WL}}$ 的关系示于图 2, 由于各 $V_s / \sqrt{L_{WL}}$ 的最小阻力航行纵倾角值差异较大, 所以在确定船型时, 艇体后半部的船底部的平均纵剖线的斜度的选定要特别留意。根据实船资料类推的 $V_s / \sqrt{L_{WL}}$ 与适宜的航行纵倾角的关系示于图 3, 以作参考。

四、推进性能估算法

4.1 航速、主机功率、主机转速之间相互关系的估算法

与一般的大型船舶一样, 由带附体的有效功率 EHP_a 与推进系数 η , 利用下式可以求得主机功率 BHP 。

$$BHP = EHP_a / \eta \quad (4.1)$$

4.1.1 带附体的有效功率的估算

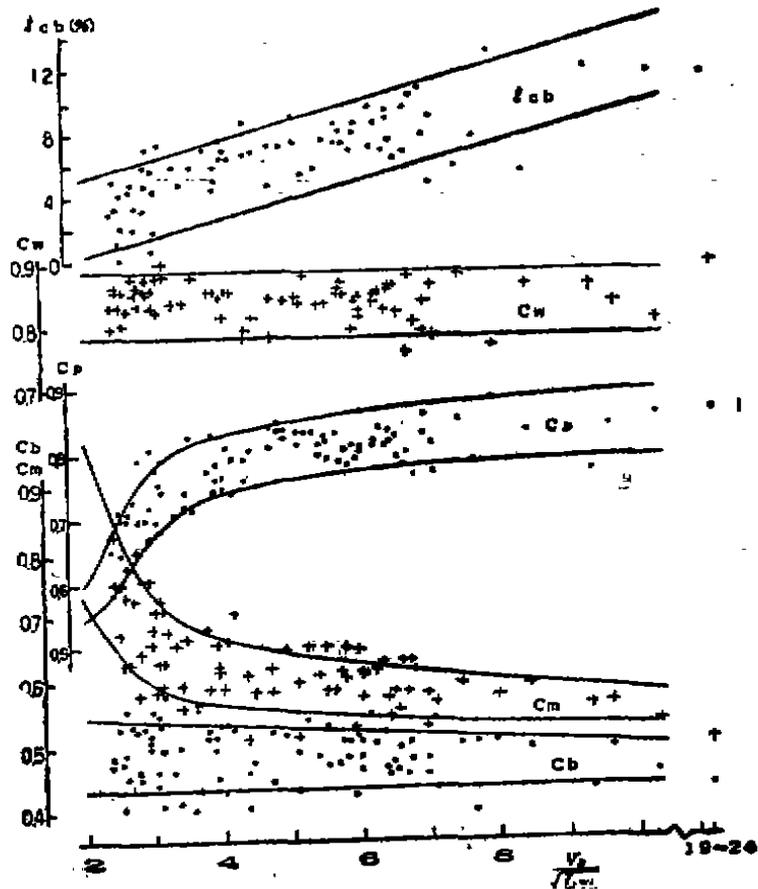
带附体的有效功率 EHP_a 可以用裸体有效功率 EHP_n , 空气与附体的阻力系数 α , 呆木阻力系数 γ 和船长修正系数 β 来表示如下:

$$EHP_a = (1 + \alpha) \cdot \beta \cdot \gamma EHP_n \quad (4.2)$$

因此必须简单而精确地估算这些分量, 下面将分别说明之。

(1) 裸体有效功率 EHP_n

以往对于高速艇的船体阻力并不像大型船舶那样分成摩擦阻力和剩余阻力, 而是常用每排水吨的阻力来表示。本文也用类似的方法表



$$C_b = \frac{\nabla}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot d_{BL}}$$

$$C_m = \frac{A_m}{B_{WL} \cdot d_{BL}}$$

$$C_P = \frac{\nabla}{A_m \cdot L_{WL}}$$

$$C_w = \frac{A_{WP}}{L_{WL} \cdot B_{WL}}$$

∇ : 排水体积(m³)
 A_m : 舢剖面面积(m²)
 A_{WP} : 水线面积(m²)
 L_{cb} : 浮心位置
 (对 L_{WL} 的百分数)
 (舢后为十)

图2 $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 与肥脊系数、浮心位置的关系

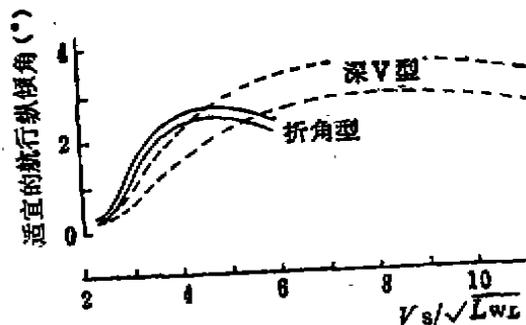


图3 $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 与适宜的航行纵倾角的关系

示之，即要建立一种直接从排水量估算有效功率的简易方法，如以往所用的 爱尔 (Ayre) 图谱，以 $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 为横坐标，用

$$C_2 = \Delta^{0.04} \cdot V_s^2 / 1.36 EHP_n \quad (4.3)$$

的形式来求 EHP_n ，此处有下列关系：

$$V_s \propto L_{WL}^{1/2} \propto (\Delta^{1/3})^{1/2} = \Delta^{1/6} \quad (4.4)$$

因此，从 $\Delta^{0.04} \cdot V_s^2 \propto \Delta^{0.04} (\Delta^{1/3})^2 = \Delta^{0.04} \cdot \Delta^{0.6} = \Delta^{1.14}$ 的关系式，则纵坐标可以取为裸体有效功率与排水量之比，即 $1.36 EHP_n / \Delta^{1.14}$ ，用实船的实测值修正后的 EHP_n 的估算曲线

示于图4，图中示出，对于低速型，以 C_P 作为参变量；对于高速型及超高速型则用 $L_{WL}/\Delta^{1/3}$ 作参变量，而中速型则成了与这些参变量无关系的1根曲线。也就是说， $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 在2.8以下的低速型，可根据参变量 C_P 读取， $V_s/\sqrt{L_{WL}}=2.8\sim6$ 的中速型，在1根曲线上读取， $V_s/\sqrt{L_{WL}}\geq 6$ 的高速型及超高速型可以根据参变量 $L_{WL}/\Delta^{1/3}$ 来读取，把这些读数顺利地联起来就可以求得各对应速度下的 EHP_n 。不过当 $V_s/\sqrt{L_{WL}}=2.6\sim3.2$ 之间，相当于“极端阻碍物”(last hump)，所以船体阻力值不稳定估算精度多少有点问题，设计时一

般都避开，使用上不方便。此外， $L_{WL}>25\text{ m}$ 的中速型及高速型，如3.1节中所示的主尺度，与 $L_{WL}\leq 25\text{ m}$ 的艇相比， B_{WL}/L_{WL} 较小，根据实船数据， EHP_n 要乘以长度修正系数 β 。

$$\beta = 1.12 - 0.0048 L_{WL} \quad L_{WL} > 25\text{ m} \quad (4.5)$$

$L_{WL} \leq 25\text{ m}$ 时，取 $\beta = 1$

(2) 空气及附体阻力系数 α

从12 m、15 m、21 m型艇的平均空气阻力与裸船体阻力比值来看，速度愈高其值愈大，约为1~3%。而舵、轴支架、海水进口等附体的水阻力与裸体阻力之比值，速度愈高，其

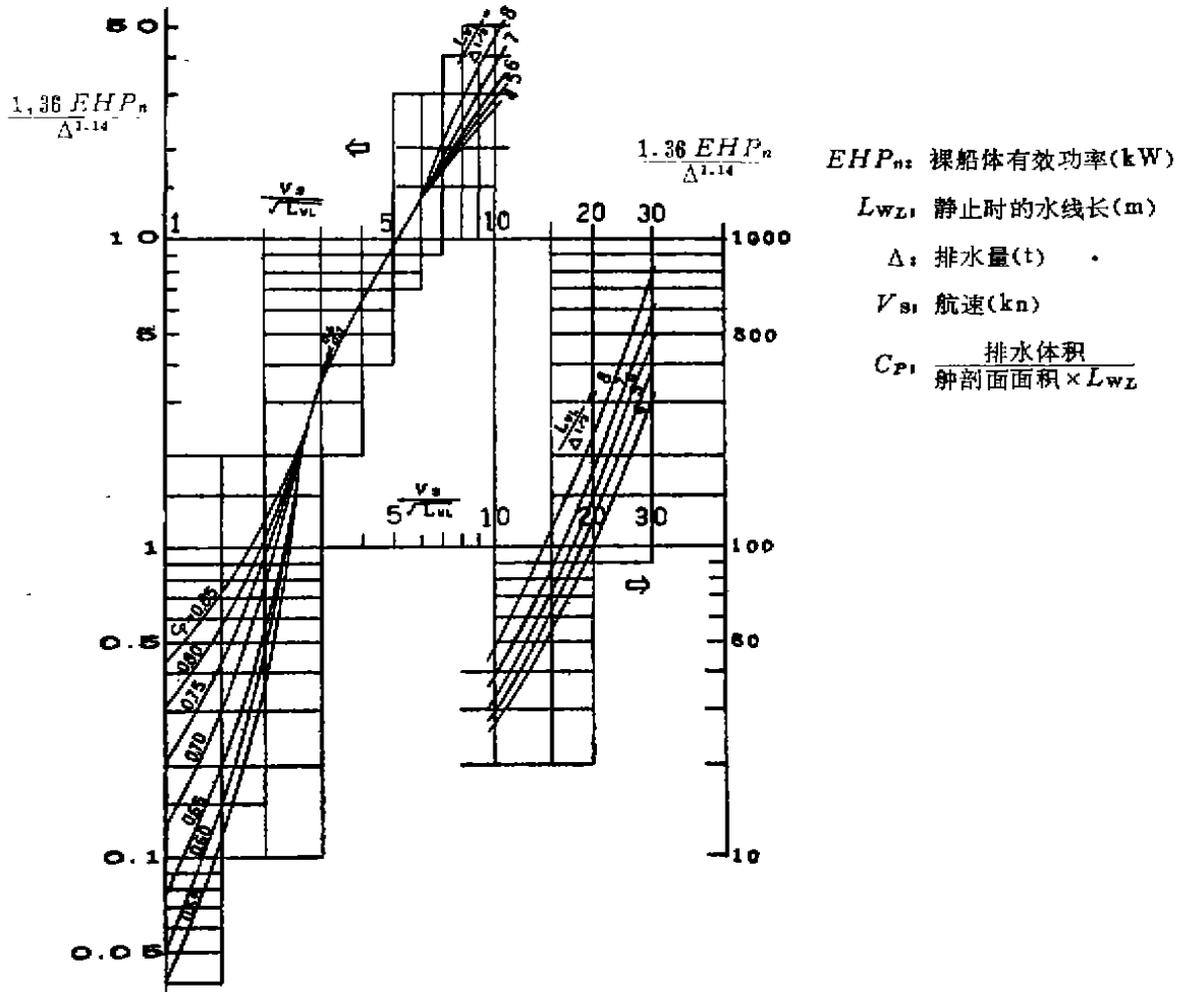


图4 EHP_n 的估算曲线

值愈小，每轴约为 5~10%。为简单起见，本文中设附体阻力及空气阻力无关，定为空气阻力为裸体阻力的 3%，附体阻力平均每轴都为 7%，即

$$\alpha = 0.03 + 0.07 \times \text{轴数}$$

(3) 呆木阻力系数 γ

呆木和舵龙骨等引起的裸体阻力的增量与其湿表面积成比例，简单地可表示为

$$\gamma = \frac{\text{含呆木和舵龙骨时的湿表面积}}{\text{不含呆木和舵龙骨时的湿表面积}} \quad (4.7)$$

4.1.2 自航要素和传动效率的估算

自航要素包括伴流因数 $1-w$ 、推力减额因数 $1-t$ 、船身效率 $\eta_h = (1-t)/(1-w)$ 、相对旋转效率 η_r 等值，从实船资料分析可定为以下值，传动效率 η_z 都取为 0.95。

(1) 低速型

一般认为与航速无关，都取一定值： $1-w = 0.95$ ， $1-t = 0.90$ ， $\eta_h = 0.95$ ， $\eta_r = 1.01$ ， $\eta_h \cdot \eta_r \cdot \eta_z = 0.91$ 。

(2) 中速，高速型

因为自航要素是随航速而变化的，根据 21m 艇的自航试验结果，自航要素值 $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 的变化示于图 5。

(3) 超高速型

认为与航速无关，取定值为： $1-w = 1$ ， $1-t = 1$ ， $\eta_h = 1$ ， $\eta_r = 0.97$ ， $\eta_h \cdot \eta_r \cdot \eta_z = 0.92$ 。

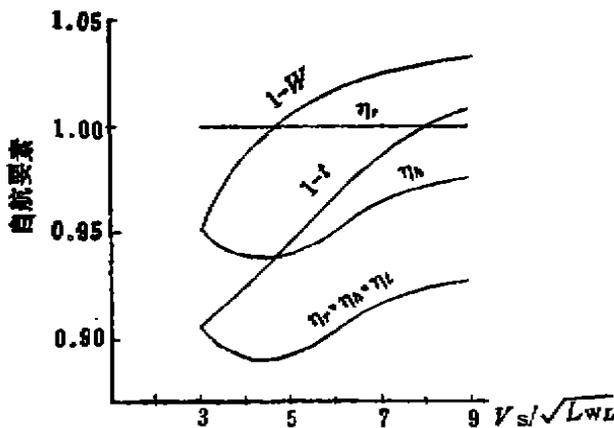


图 5 $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 与自航要素的关系

4.1.3 推进系数 η 及主机功率 BHP 的估算

为了估计推进性能必须根据估算出的有效功率及自航要素进行螺旋桨设计，求出螺旋桨的敞水效率，算出主机功率 BHP 。

进行螺旋桨设计时可以使用各类 B_P 图谱，然而对于高速艇而言，因为其螺旋桨伸张面比大，一般常用高恩(Gawn)的 B_P 图谱。

只是对于低速型艇则多用日本造船研究协会发表的系列螺旋桨图谱。

B_P 图谱是用 B_P 、 δ 以及螺距比 P_t 、螺旋桨效率 η_0 来表示某叶数 Z 和某展开面比 α_0 的这一系列螺旋桨的性能的图谱，其中螺旋桨直径以 $D(m)$ 、主机功率以 $BHP(kW)$ 、螺旋桨转速以 $N(r/min)$ 表示， B_P 及 δ 分别为

$$\left. \begin{aligned} B_P &= \frac{N \cdot (1.36 BHP \cdot \eta_r \cdot \eta_z)^{0.6}}{\{V_s(1-w)\}^{2.5}} \\ \delta &= \frac{N \cdot D}{V_s(1-w)} \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

当给定艇体阻力和设计航速 $V_s(kn)$ 时，则先假定主机功率 $BHP(kW)$ 、转速 $N_e(r/min)$ 、螺旋桨轴的减速比 GR 的适当值，根据 $N = N_e/GR$ 及上节中确定的 EHP_0 、 $1-w$ 、 $1-t$ 、 η_r 、 η_z ，计算出 B_P ，在 B_P 图谱上确定对应于该 B_P 值的最大的 η_0 ，及与此相应的 δ 、 P_t ，进而可以求得螺旋桨的直径 D ，螺距 P_t 和敞水效率 η_0 。然而假设几个 $BHP(kW)$ 值就可以选取满足自航条件：

$$EHP_0/\text{桨轴数} \leq BHP \cdot \eta \quad (4.9)$$

的最小的 BHP 值，其中

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_0 \cdot \eta_h \cdot \eta_r \cdot \eta_z \cdot \eta_a \\ &= (1-t)/(1-w) \end{aligned} \quad (4.10)$$

因为 α_0 对 η_0 的影响较大，因而一般利用柏利尔(Burill)空泡发生衡准线图来选取尽可能小的展开面比的螺旋桨。一般而言，直径 D 愈大， η_0 也大，因此常根据船型及螺旋桨轴容许的斜度而确定的最大的 D 来尽量降低 N ，上述计算过程也可重复多次计算来确定最小的 BHP 及其与此对应的 N_e 、 GR 、 D 、 P_t 、 α_0 。

至此，螺旋桨的设计工作完成了。然而，原海军部门对于高速舰船常用 XY 图谱，海上保安厅也有很多用这种图谱来设计巡视艇的螺旋桨的例子。为了利用这些艇的实船资料，必须要会应用 XY 图谱。因此，小型高速艇的 XY 图谱的设计方法及其应用例一并示于附录中。

4.2 部分螺旋桨工作时的推进性能估算方法

小型高速艇多用双轴或三轴，低速航行，常有停止部分螺旋桨工作的航行状态。不工作螺旋桨的阻力的估算值与螺旋桨的伸张面积 a_a 有关

$$\text{自由转动螺旋桨 } FHP_P = 0.01 \cdot a_a \cdot D^2 \cdot V_s^3$$

非自由转动螺旋桨

$$EHP_P = 0.025 \cdot a_a \cdot (2.728 - 0.6875P_f) D^2 \cdot V_s^3 \quad (4.11)$$

因此，部分螺旋桨航行时的总有效功率 = (4.2) + (4.11)。以后的计算根据 4.1 节所述的估算法进行。

五、主机功率 BHP 的简易估算法

在初步设计阶段，首先必须求出满足艇要求的航速时的主机功率，此时，不要求主机与螺旋桨转速，只要求建立各排水量状态下航速 V_s 与主机功率 BHP 的关系。因而本文对从低速至超高速型的实船，进行整理，建立了估算 BHP 的估算资料。

5.1 使用 BHP 估算曲线的方法

将自低速至超高速型，实船资料作对比计算所得之 EHP_n/BHP 和 $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 的关系示于图 6。由图 6 可看出， EHP_n/BHP 值对于其平均线而言，在 $V_s/\sqrt{L_{WL}}=3$ 附近约有 $\pm 9\%$ 的波动，在其他地方约有 $\pm 6\sim 7\%$ 的偏差，这是因为受到 α 、 γ 及 η_0 等的影响。

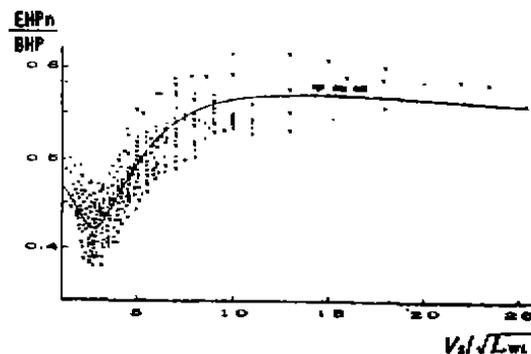


图 6. $V_s/\sqrt{L_{WL}}$ 与 EHP_n/BHP 的关系

应用图 4 的 EHP_n 估算曲线和图 6 的 EHP_n/BHP 的平均值所作成的 BHP 估算曲线示于图 7。根据该图，当给定艇长 L_{WL} 和排水量 Δ 时就可以求出 V_s 与 BHP 的关系。这时，所设计的艇的排水量可以参照参考文献[8]来估算。至于估算精度，根据图 7 估算的 BHP 和实船的 BHP 之比，可知，几乎各种船型都在 $\pm 10\%$ 的范围内，可以认为这在实用上是十分精确的。

5.2 利用近似公式来确定 BHP 的方法

利用图 7 所示的关系，对于中速型艇有下列近似关系：

$$BHP = \frac{1.07 \cdot \beta \cdot \Delta^{1.14} \cdot V_s^{1.611}}{L_{WL}^{0.306}} \quad (5.1)$$

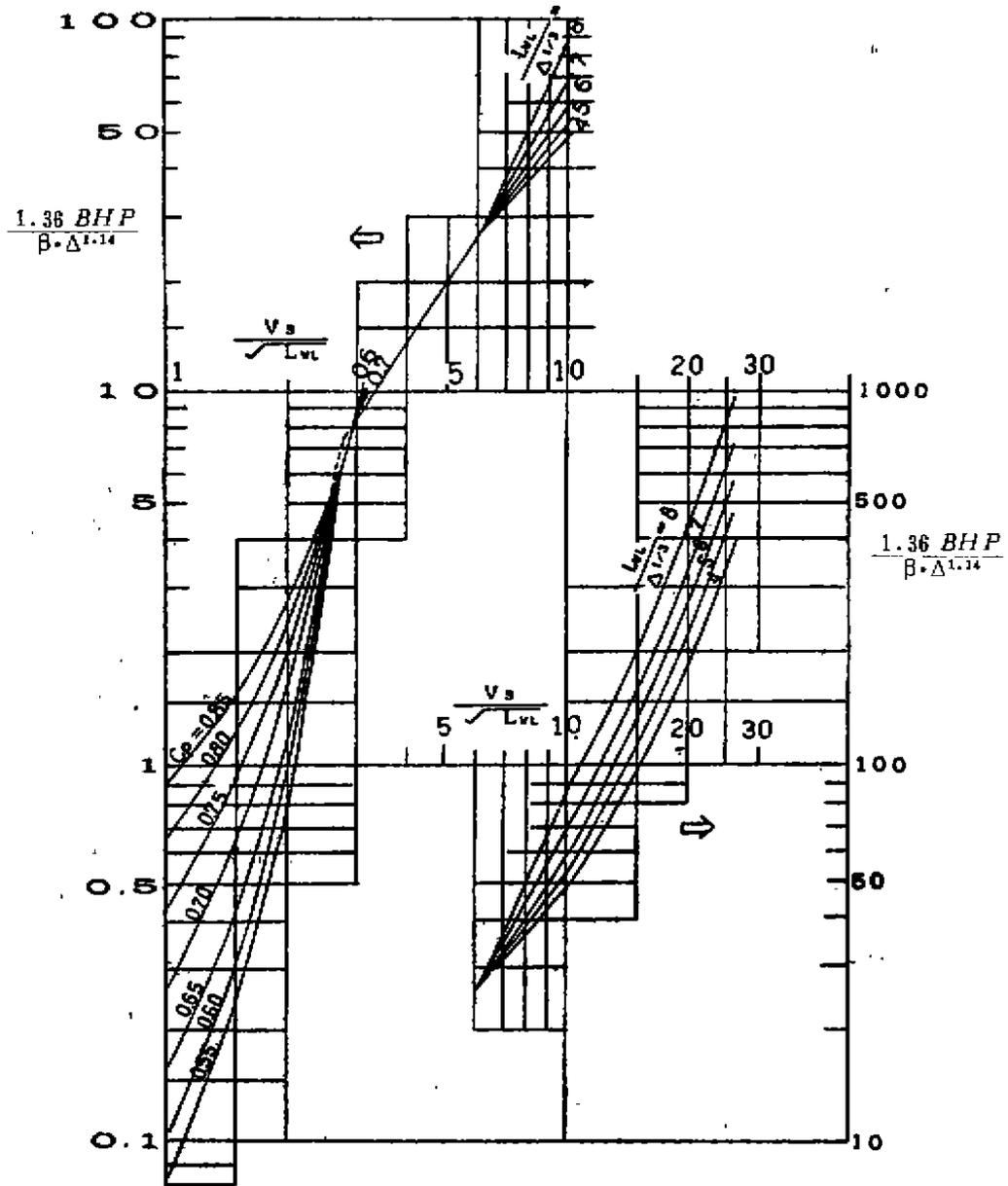
$$V_s = \frac{L_{WL}^{0.5} \left(\frac{1.36 BHP}{\beta \cdot \Delta} \right)^{0.621}}{1.259 \cdot \Delta^{0.708}} \quad (5.2)$$

其中：

$$\beta = 1.12 - 0.0048 L_{WL} \leq 1$$

但是对于低速型，高速型，超高速型艇，如中速型那样的简单公式并不成立。

* 为节省篇幅，本译文中已将附录删除——编者。



BHP: 主机功率(kW)
LWL: 静止时的水线长(m)
 Δ : 排水量(t)
V: 航速(kn)
 $C_p = \frac{\text{排水体积}}{\text{船剖面面积} \times LWL}$
 $\beta = 1.12 - 0.0048 \cdot LWL$
 图 7 BHP 的估算曲线

参考文献(略)

[潘裕瑾译自“小型高速艇の推进

性能の推定法”,《西部造船会会报》,
 1983年3月,第75号,p.36~51.
 周渝江校]