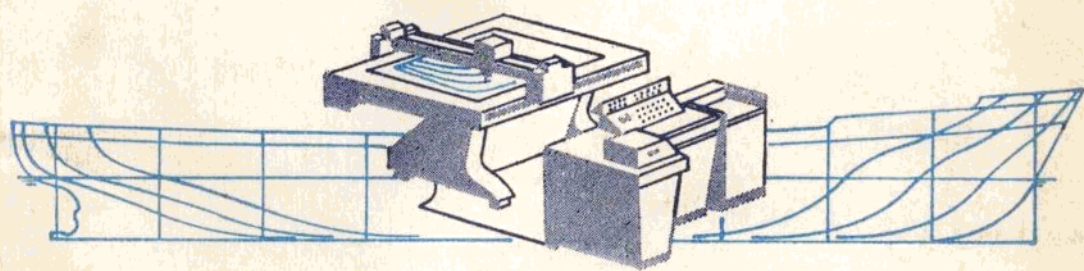


内部

数学船型设计

译文选



上海交通大学

一九七二年五月

用电子计算机作船舶线型设计是船舶设计自动化的一个重要方面，国外于六十年代已对这一课题作了较多的研究，并逐步用于实践。

遵循伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，我们选译了近几年来国外发表的有关的几篇文章，供从事这方面工作的同志参考。

由于我们对这方面业务还不熟悉，在翻译中难免有错误或不当之处，请同志们批评指正。

编 译 者

一九七二年五月

目 录

用数学方法进行船舶线型的初步设计	1
驱逐舰型船体的数学推导	20
船舶线型的数学表达	32
船型的数学作图、逼近和设计	50
普通船型的数学表达法	80
船体的保角变换函数表达法	118
根据完全数学定义的船体曲面用计算机进行 船舶建造和设计	138

用数学方法进行船舶线型的初步设计

本文叙述船体的数学表达法。船型可以用一些参数求得,而这些参数又与通常线型的设计参数相联系。某些定性的设计参数,如 U 或 V 型剖面可以列成数值式。这里提出的一种设计方法不需要比初步设计阶段具有更多的资料。一些研究的结果和变化介绍如下。

一 引 言

船型是一个较难确定的曲面,随后的很多计算是以它为依据的。开始我们想从通常的设计参数,如船长、船宽、吃水和肥瘦系数等获得船体曲面上每一个需要地方的座标。因此,我们需要在设计参数和线型之间建立一个极好的关系。但是,这种关系并不理想,它比参数有多得多的自由度,因而是数学上无法确定的问题。

为了解决以上这个问题,我们需要在以下两个方面进行选择:

(1) 限制线型图的可能性,即标准化。

(2) 引伸一些设计参数的数目到可以给出一个极好的关系。

由于船体(平行中体、船体斜率、脊线、船侧内倾等等)有许多自由度和许多可能性,必须找出一个折衷的办法。很早就有人企图用数学方法表达船体的形状。瑞典的造船工程师 Chapman 早在 1760 年就建议了剖面和水线都采用抛物线表示。D. W. Taylor 在 1915 年第一次采用了较实用的这种数学公式表示船体[1]*,他对 Taylor 标准系列船型的变化采用了五阶多项式,特别是在表达横剖面面积曲线和载重水线。剖面则是用抛物线或双曲线来表示。在 Taylor 之后 Weinblum [2, 3] 又致力于研究船体数学表达法,他的研究是本文的基础。在 1940 年, Benson [4] 又朝着这个方面继续工作,随后还有其他人 [5-16] 也从事这方面的研究。

依据以上各作者的经验,我们试图建立船型和设计参数之间的关系。(必须牢记,对光顺一艘已知船体或变化一艘母型,或开始从设计参数确定船型都与用在水动力计算的数学公式大不相同。)数学公式的要求之一是使计算船体的准确性要满足可靠的静水力计算和进一步的初步设计。

计算机的使用提供了船体数学表达的许多可能性,并且也改变了数学表达式的性质。这是因为较简单的公式象多项式较稍复杂的分析公式易于处理,后者限于手工计算的工作量。

二 设计参数

为确定设计参数,我们首先要分析设计程序。图 1 是这个程序的图解表示。(采用的代号见术语目录)在此图中我们仅限于 CWL 以下的船体。

注: * [1] 内编号指文末参考文献的次序。

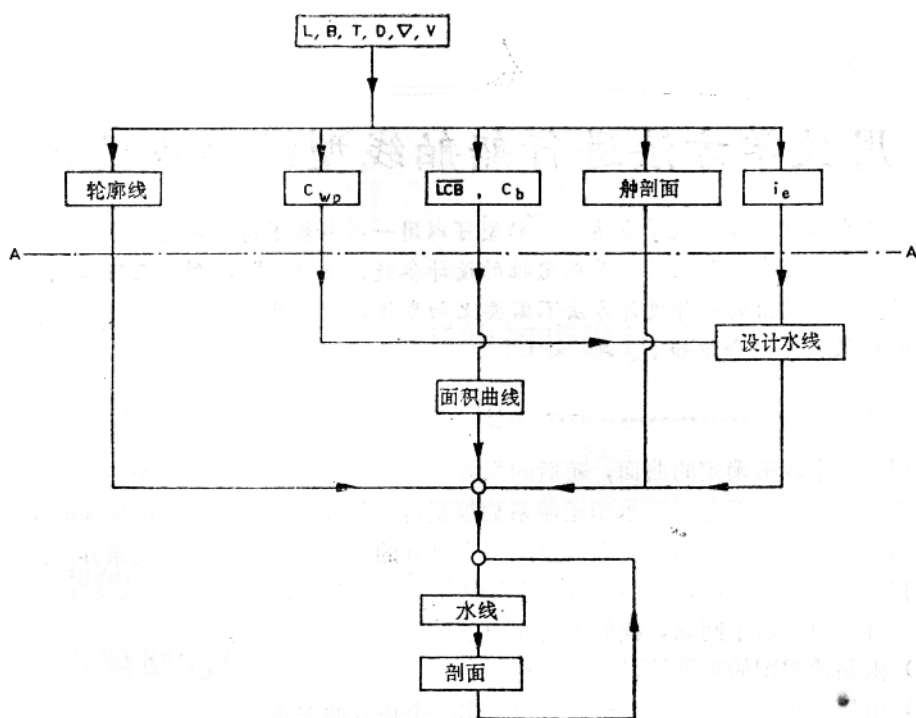


图 1 线型图设计程序框图

开始,从船主的要求,如载重量、航速、航程和吃水,可以求得主尺度 L_{pp} 、 B 、 T 、 D 和排水量 ∇ 。从这些要素可以选择舢和舨的轮廓线、舢剖面系数 C_m 、肥瘦系数 C_b 和浮心位置 LCB 。由稳性的考虑确定 CWL 的面积系数 C_{wp} ；由阻力的考虑确定首进角 i_e 。然后可以绘制舢剖面、设计水线和横剖面面积曲线。我们现在不涉及这些设计参数的最佳选择,但假设对已定的设计这些参数是已知的。

然后开始一个迭代的程序:绘制水线和横剖面,每次检查它们是否拟合轮廓线、舢剖面和横剖面面积曲线。绘制纵剖面和斜剖面也是一个任务,但不是重要的,因为它们仅作为检查看得见的某些区域的准确性和形状。

控制迭代程序有四个因素:轮廓线、舢剖面、横剖面面积曲线和设计水线。要执行数值计算,这些因素就必须以数值形式给出。下述程序我们将仅固定横剖面面积曲线的 C_b 和 LCB 以及设计水线的 C_{wp} 和 i_e 等因素。因而设计参数规定为:

- (1) 轮廓线
- (2) 舢剖面
- (3) 肥瘦系数 C_b
- (4) 浮心位置 LCB
- (5) CWL 的水线面积系数 C_{wp}
- (6) CWL 的进流体半进角 i_e 。

轮廓线和舢剖面可以由足够数目的点来表示。

在图 1 中 $A-A$ 线以下所列的程序现在可以由其它方法替代, 这种方法较适于数值处理。

三 设计方法

为了用数学表达船体我们将两向弯曲的和单向弯曲的曲面或两向平直的平面区分开来。这种情况简略地表明在图 2 中。

前体和后体是类似的。因此我们可以将它们分别考虑。为了简化起见作了一些限制:

- (1) 龙骨平行于设计水线;
- (2) 具有平行中体, 因而水线

在艏部是直的;

- (3) 在进流体和去流体没有折角线或脊线。

对于进流体和去流体的三次曲面, 我们首先考察水平润线, 即各条水线, 因为它们的曲率和曲率的变化是很小的。我们只要找出每条水线的一些特征参数, 用一个好的数学表达式就能确定一条水线。然后, 我们观察一艘正常船体的水线参数将如何随距船底距离的函数变化。这些函数我们称之为“吃水函数”。

再后, 我们试图找出一个好的数学公式和一些恰当的参数来描述这些函数。这些参数我们称之为“形状参数”。

最后我们将这些形状参数和设计参数联系起来, 并寻找一种方法用量的形状参数来表示通常 U 或 V 型的质的指标。于是设计方法为:

设计参数 $\rightarrow$ 形状参数 $\rightarrow$ 吃水函数 $\rightarrow$ 水线

我们还要分别考虑船体的水下和水上部分。在以后的叙述中我们局限于水下部分。将来我们也要规定至甲板的区域, 还必须提供此区域表达式的说明。例如考虑船体水上部分就会影响到水下部分的选择。尽管延伸水下部分至甲板没有大困难, 但本文最终设计程序仅限于处理水下部分。

四 代号和座标系统

采用的代号汇总在术语目录中。取的座标系统表明在图 2 中。原点是取在艏剖面的龙骨点。因为对称, 我们可以在两向取 y 为正值。由于我们分别考察前体和后体, x 在两向也可以取为正值。

在设计程序中我们常分别使用前体和后体的代号, 这就必须与相似的总船体的代号区别开来。在术语目录中使用了前体, 因为后体可用相似的方法处理。

半艘船体的浮心 LCB_f 采用无因次形式表示——浮心距艏的距离除以首垂线至艏的距离 L_{ppf} 。每半条水线的重心位置 $\overline{CG}_{wlf}$ 也采用无因次形式表示——重心距艏的距离除以半条水线从艏至艉的长度 L_{wlf} 。

水线进流体和去流体标准化座标 $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ 规定如下:

$$\hat{x} = (x - L_{ppf}) / (L_{wlf} - L_{ppf})$$

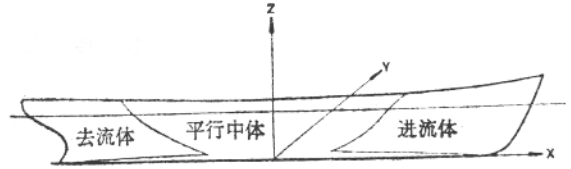


图 2 船体区域

$$\hat{y} = \hat{y} / (B/2)$$

式中 $\hat{L}_{pf}$ 为半条水线直线部分至舦的长度。

$x-y$ 坐标的原点是在进流体或去流体转变到平行中体之处。在 $x=1$ 是舦或艨。在 $x=0$ 处, 水线宽度 $y=1$ 。我们用这样的坐标系统来描述水线的公式。这些坐标表示的代号用括号 ($\wedge$) 指明。

术 语 目 录

B = 型宽	i_e, i_r = 进流体或去流体的半进角
B_{wl} = 在船舦的水线半宽	LCB = 浮心位置距舦距离除以 L_{pp}
C_m = 舦剖面面积系数	LCB_f, LCB_a = 前体或后体的浮心位置距舦距离除以 L_{ppf} 或 L_{ppa}
C_b = 肥瘦系数	L_{wl} = 从舦至艨的水线长度
C_{bf}, C_{ba} = 前体或后体的肥瘦系数	L_{wlf}, L_{wla} = 从舦至舦或舨的水线长度
C_{wl} = 水线面积系数	L_p = 在某段水线的平行中体的长度
C_{wlf}, C_{wla} = 水线从舦至舦或舨的水线面积系数	L_{pf}, L_{pa} = 水线的平行中体至舦的长度
C_{wp} = CWL 的水线面积系数	L_{pp} = 两垂线间长度
C_{wpf}, C_{wpa} = 从舦至舦或舨的 CWL 面积系数	L_{ppf}, L_{ppa} = 从舦至首垂线或尾垂线的距离
$\overline{CG}_{wl}$ = 水线重心距舦距离除以 L_{wl}	r_c, r_r = 进流体或去流体的曲率半径
$\overline{CG}_{wlf}, \overline{CG}_{wla}$ = 水线重心距舦距离除以 L_{wlf} 或 L_{wla}	T = 吃水
D = 船深	x, y, z = 直角的坐标
	$\hat{x}, \hat{y}$ = 水线的进流体或去流体的无因次坐标

五 水线表达式

一条水线的进流体和去流体可以用多项式表示

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^n \hat{c}_i (\hat{x})^{\hat{e}_{pi}} \quad (1)$$

选择进流体或去流体的参数必须满足设计参数, 但应保持足够数量的可能性。在文献中曾有许多建议。Taylor [1] 给出 n 值为 6。他采用的参数为:

- | | | |
|----|---|-------------|
| 在舦 | { | 1 宽度 |
| | | 2 一阶导数 (=0) |
| | | 3 曲率 |
| 在舦 | { | 4 宽度 |
| | | 5 进流体的半进角 |

总进流体 6 面积

Benson [4] 也给出了这些条件, 并且试图建立一个设计整个船体的系统。Watanabe [6] 注意到平行中体的长度, 还采用了对船舦的静力矩。Thieme [7] 加了一项平方根到公式

里, 因而他能够表达在水线或剖面的端部的一个圆弧。Sparks [5] 采用了两个剖面作为确定水线系数的条件。Williams [12] 对参数和公式作了不同的组合试验, 他斟酌了对舢的不同力矩和在舢的二阶导数。在他的文章中可以找到文献的概观; Kwik [15] 给出了更加详细的和广泛的叙述。

至于指数的选择似乎最好采用整数。阶应该尽可能地小, 因为这样在方程式里零点数目和拐点数目是最少的, 于是水线的“隆起”可以避免。因而也达到物理上满足一根样条的最佳理论上一致。

多数作者都希望有一张初步的粗略线型图来开始他们的程序。我们的目的是直接从设计参数设计一张初步的不太粗略的线型图。因此, 水线参数的选择要随着设计参数而定。

为了能够保持轮廓线、舢剖面、肥瘦系数和浮心位置不变, 我们选择下列的参数:

- (1) 从舢至舢的半条水线长度 L_{wl} 。
- (2) 从舢测量的水线直线部分的长度 L_{pf} 。
- (3) 在舢的水线宽度 B_{wl} 。
- (4) 在舢的水线宽度 ($=0$)。
- (5) 半条水线的面积系数 C_{wl} 。
- (6) 半条水线的重心位置 $\overline{CG}_{wl}$ 。

因为有平行中体, 我们还要取:

- (7) 在平行中体转变到进流体或去流体处的一阶导数 ($=0$)。
- (8) 在平行中体转变到进流体或去流体处的曲率 ($=0$)。

为了保持给定的 CWL 的进流角或去流角, 我们还要选择每条水线的:

- (9) 半进流角 i_e 或半去流角 i_r 。由于有圆弧, 进流角在距舢某些距离 e 处取。

确定光滑剖面时, 必须保持所有的水线用相同的公式。困难之一是, 所给出的后体在高于或接近于 CWL 的极丰满的水线与船体水下部分的较纤瘦的水线表达式之间的差异。对丰满水线的表达式, 另一个困难是要与首端或尾端垂直相交。根据 Thieme [7] 这两个困难可以斟酌一个平方根项来解决, 这一项可以与首端或尾端的圆弧连接起来。这样就形成了另一个参数:

(10) 在首端或尾端的曲率半径 r_e 或 r_r 。此最后参数包含在水线公式里采用的一项平方根内。图 3 表示半条水线的参数。

参数 (4)、(7) 和 (8) 都是固定不变的零值。其它参数可以用下式转换到 $x-y$ 坐标:

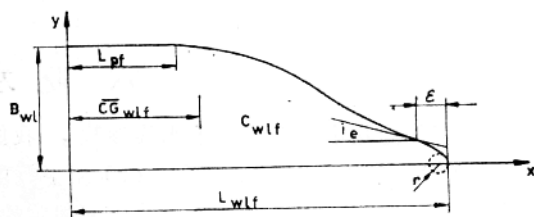


图 3 水线的参数

$$\begin{aligned}
 \hat{C}_{wl} &= (C_{wl} - \hat{L}_{pf}) / (1 - \hat{L}_{pf}) \\
 \hat{CG}_{wl} &= [C_{wl} \cdot \hat{CG}_{wl} - 0.5 \hat{L}_{pf}^2 - \hat{C}_{wl} \cdot \hat{L}_{pf} (1 - \hat{L}_{pf})] / [\hat{C}_{wl} (1 - \hat{L}_{pf})^2] \\
 \hat{r}_e &= (L_{wl} - L_{pf}) r_e / B_{wl}^2
 \end{aligned}$$

* 译者注: 原文为 $\overline{CG}_{wl}$, 有误。

$$\hat{i}_e = (L_{wlf} - L_{pf}) \cdot \hat{i}_e / B_{wl}$$

$$\hat{L}_{pf} = L_{pf} / L_{wlf}$$

在这些无因次座标中，长度和宽度通常是一，但直线部分 $\hat{L}_{pf}$ 是分开的。现在进流体的公式在无因次座标可以由方程式 (1) 给出，在式中 $n=8$ ，指数为 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6。因而公式可以写成：

$$\hat{y} = c_0 + c_1 \sqrt{1 - \hat{x}} + c_2 \hat{x} + c_3 \hat{x}^2 + c_4 \hat{x}^3 + \dots + c_7 \hat{x}^6$$

边界条件的数学公式现在是：

$$(1) \hat{x}=0; \quad \hat{y}=1$$

$$(2) \hat{x}=0; \quad \frac{d\hat{y}}{d\hat{x}}=0$$

$$(3) \hat{x}=0; \quad \frac{d^2\hat{y}}{d\hat{x}^2}=0$$

$$(4) \hat{x}=1; \quad \hat{y}=0$$

$$(5) \hat{C}_{wlf} = \int_0^1 \hat{y} d\hat{x}$$

$$(6) \hat{C}_{Gwlf} \cdot \hat{C}_{wlf} = \int_0^1 \hat{x} \hat{y} d\hat{x}$$

$$(7) \hat{x}=1-e; \quad \frac{d\hat{y}}{d\hat{x}} = \hat{i}_e$$

$$(8) \hat{r}_e = 0.5 c_1^2$$

系数 c_1 可以与在 $\hat{x}=1$ 的曲率半径直接联系起来，如在条件 (8) 中所列公式。

使用这些条件，很容易求解八个系数。表达式的准确度通常为水线宽度很小的百分比，它对初步设计是足够的。

六 吃水函数

考察作为吃水函数的八个水线参数，我们仅须注意面积系数 $C_{wlf}(z)$ 、重心位置 $\overline{CG}_{wlf}(z)$ 、进流角 $i(z)$ 、半径 $r(z)$ 和平行中体长度 $L_{pf}(z)$ ，因为每条水线的长度是由已知的轮廓线规定的，宽度是由船剖面规定的，而在船艏处的曲率和在船艉处的宽度通常是零。这最后两个条件是可能很容易改变的，但它们不会影响问题的性质。必须牢记，不管怎样每个数学公式是这系统的自由度的一个约束。

现在我们对吃水函数和形状参数提出某些建议。很大部分是对已有的一般船舶的吃水函数的分析结果。Williams [12] 已经对他的水线参数提出了某些吃水函数，但他仅使用它们去检查光顺。下述是 Williams 研究的引伸的吃水函数的数学公式。图 4(a) 和 4(b) 给出一组吃水函数的例题。

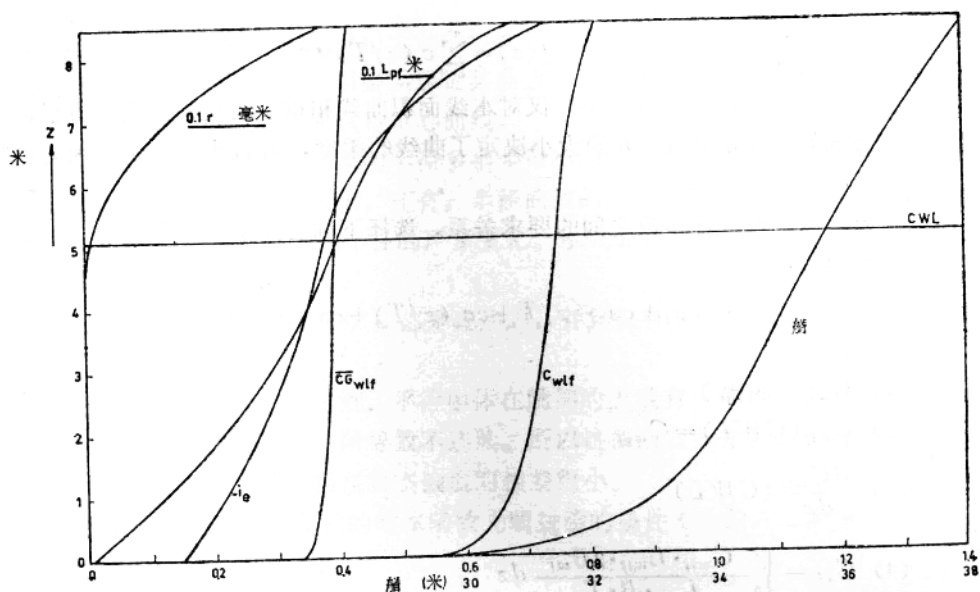


图 4(a) 前体的吃水函数

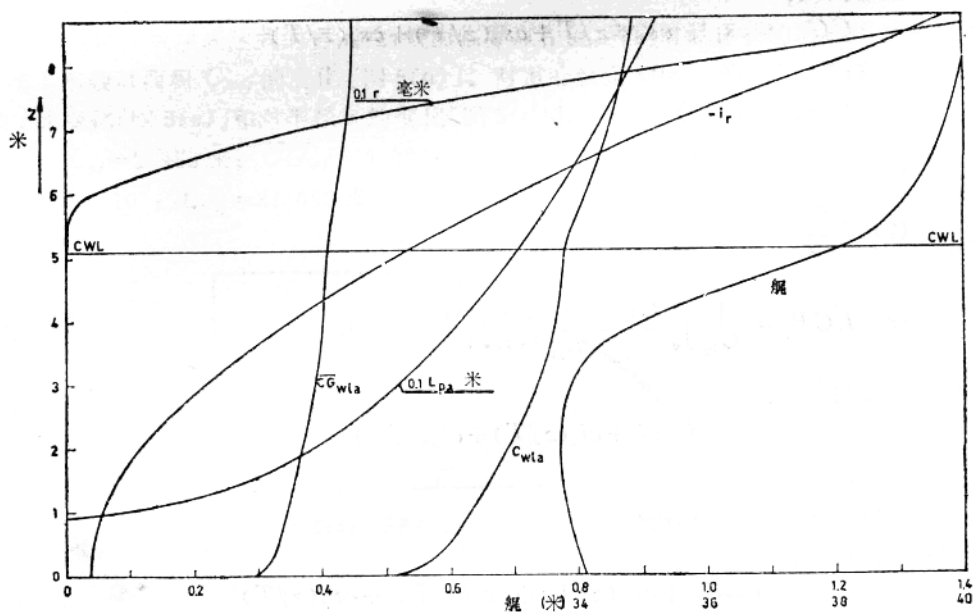


图 4(b) 后体的吃水函数

测定平行中体的长度是不准确的，但这个长度仅有很小的影响。可以看出，特别在后体，轮廓线对吃水函数是有影响的。虽然水线面积系数与水线的长度有关，但与到垂线的长度是无关的，艉轮廓线曲率的改变导致横剖面面积曲线的曲率和重心改变。这些仅发生在丰满的巡洋舰艉。

限于船体的水下部分，我们可以用数学公式表示吃水函数，选择多项式：

$$f(z) = \sum_{i=1}^n c_i (z/T)^{c_i p_i}$$

我们取指数为整数, 并尽可能小。仅对水线面积曲线和重心曲线加一项平方根, 以得到其在靠近底部处的正确特征。 n 的大小决定了曲线的柔度, 并且也决定了必须形状参数的数目。

注意到形状参数和设计参数之间的要求关系, 选择下列公式:

(a) 面积曲线:

$$C_{wlf} = ca_1 + ca_2 \sqrt{z/T} + ca_3 (z/T) + ca_4 (z/T)^2$$

具有形状参数:

$$(1) C_{wlf} \text{ (底部)}$$

$$(2) C_{wlf}(CWL) = C_{wpf}$$

$$(3) \frac{dC_{wlf}}{dz}(CWL)$$

$$(4) C_{bf} = \int_0^T \frac{C_{wlf} \cdot L_{wlf} \cdot 2B_{wl}}{L_{ppf} \cdot B \cdot T} dz$$

(b) 重心曲线:

$$\overline{CG}_{wlf} = cs_1 + cs_2 \sqrt{z/T} + cs_3 (z/T) + cs_4 (z/T)^2$$

具有形状参数:

$$(5) \overline{CG}_{wlf} \text{ (底部)}$$

$$(6) \overline{CG}_{wlf}(CWL)$$

$$(7) \frac{d\overline{CG}_{wlf}}{dz}(CWL)$$

$$(8) \overline{LCB}_f = \frac{1}{C_{bf}} \int_0^T \frac{\overline{CG}_{wlf} \cdot C_{wlf} \cdot L_{wlf}^2 \cdot 2B_{wl}}{L_{ppf}^2 \cdot B \cdot T} dz$$

(c) 进流角曲线:

$$i = ci_1 + ci_2 (z/T) + ci_3 (z/T)^2$$

具有形状参数:

$$(9-11) i = i_j (j=1, 2, 3)$$

(d) 半径曲线:

$$r = cr_1 + cr_2 (z/T) + cr_3 (z/T)^2 + cr_4 (z/T)^3$$

具有形状参数:

$$(12-15) r = r_j (j=1, 2, 3, 4)$$

(e) 平行中体曲线:

$$L_{pf} = L_{pf}(\text{底部}) + \frac{1}{4} [L_{pf}(CWL) - L_{pf}(\text{底部})] \cdot [3(z/T) - 2(z/T)^3 + (z/T)^4]$$

具有形状参数:

$$(16) L_{pf} \text{ (底部)}$$

$$(17) L_{pf}(CWL)$$

据此, 每半艘船体我们都要导出十七个形状参数。选择形状参数要着重在作图水线和底部。后者虽然是不很重要的, 但必须规定其曲线的形式。

最重要的曲线是水线面积曲线和重心曲线。

在船体水下部分的首端和尾端的半径多半是很小的。仅在船体高到甲板和在后体时它们才是重要的, 这可从图 4 中看出。还有, 半径曲线的阶要取略大于进流角曲线, 以便表达有时发生在后体 CWL 附近的半径的严重变化。水线面积曲线和重心曲线的阶增加, 对上述的曲线的表达式并无改善。

平行中体曲线在底部和在 CWL 都是直线的, 并且仅有两个参数。此曲线的特征是足够的。

困难的是垂直边到艏部的过渡, 平行中体在艏部的上端有一折角。无论如何, 这样使得所有的横剖面在此高度时其一阶导数不连续。所以这条曲线要光顺延伸到底部。这样平行中体在艏部就不是不变的, 但与真实线型图相差很小。

同样的方法, 按照 CWL 处的吃水函数光顺过渡的条件 (一阶、二阶导数连续), 船体水上部分可以用数学表达。

七 参数的变化

为明瞭选择数学表达式的可能性, 找出临界点和值, 我们对最重要的参数作变化。在图 5 中作了水线对面积 C_{wl} 的变化 [图 5(a)]、对重心位置 $\overline{CG}_{wl}$ 的变化 [图 5(b)]、对进流角 i 的变化 [图 5(c)] 和对半径 r 的变化 [图 5(d)]。变化的水线具有下列的参数:

$$L_{pl}=2.955 \text{ 米}; \overline{CG}_{wl}=0.384; r_e=0.025 \text{ 米};$$

$$i_e=10^\circ; L_{wl}=34.652 \text{ 米}; B_{wl}=6.15 \text{ 米}; C_{wl}=0.721.$$

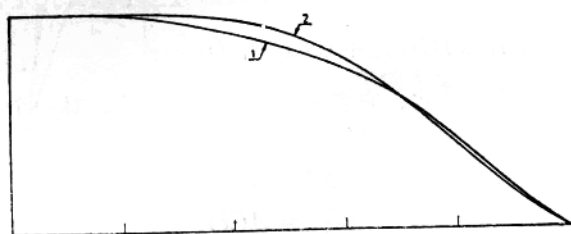


图 5(a) 面积的变化: $C_{wl1}=0.71$; $C_{wl2}=0.73$

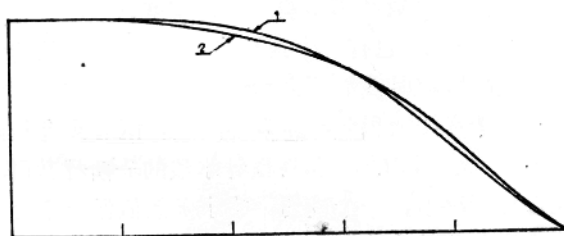


图 5(b) 重心位置的变化: $\overline{CG}_{wl1}=0.3815$; $\overline{CG}_{wl2}=0.3865$

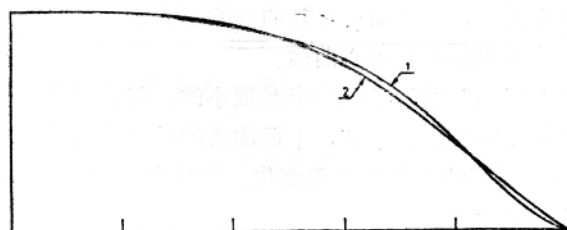


图 5(c) 进流角的变化: $i_1=0^\circ$; $i_2=13^\circ$

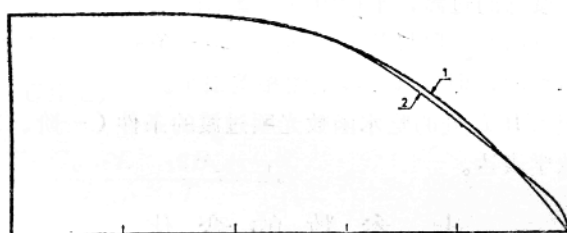


图 5(d) 半径的变化: $r_1=0$; $r_2=0.50$ 米

对一条丰满的水线, 半径的变化影响是较显著的。这水线有参数:

$$L_{pa}=4.99 \text{ 米}; \quad \overline{CG}_{wla}=0.408; \quad i_a=28^\circ;$$

$$L_{wla}=36.721 \text{ 米}; \quad B_{wl}=6.15 \text{ 米}; \quad C_{wla}=0.782$$

回忆一下 Weinblem、Benson 和 Thieme 所采用的另一水线公式是有益的:

$$\hat{y} = A(\hat{x})C_{wlf} + B(\hat{x})\overline{CG}_{wlf} + C(\hat{x})i + D(\hat{x})r$$

式中 A, B, C 和 D 是 $\hat{x}$ 的多项式, 它表示某一参数的影响。对一个变数求导, 例如对 C_{wlf} , 得:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial C_{wlf}} = A(\hat{x})$$

由图 5(a) 可以看出在 $\hat{x}=0.70$ 处 $A(\hat{x})$ 为零。每个变数在影响函数 A, B, C, D 中有一个或更多的零点。这表明在此点上变数并不影响水线的宽度。

每个变化的函数 A, B, C 和 D 也有一个或更多的极值, 参数的变化在这些点影响最大。当找出水线和吃水函数的限值时我们要密切注视这些点。

吃水函数的变化可以限于水线面积曲线和重心曲线, 两者具有相同的公式。在图 6 中水线面积[图 6(a)]、底部面积[图 6(b)] 和在设计水线的一阶导数[图 6(c)]是改变的。

再之, 我们看出在每种情况中, 一个或两个吃水函数值保持不变, 则在一个或更多的高度处有最大的变化。在底部值的变化可不改变曲线的特征, 它仅影响剖面过渡到底部的形式。

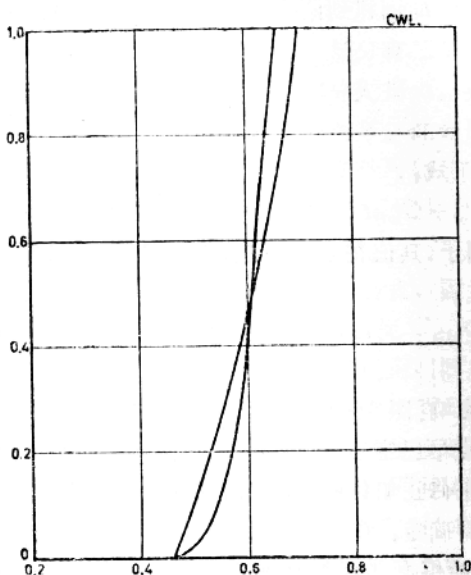


图 6(a) $C_{wl}(CWL)$ 的变化

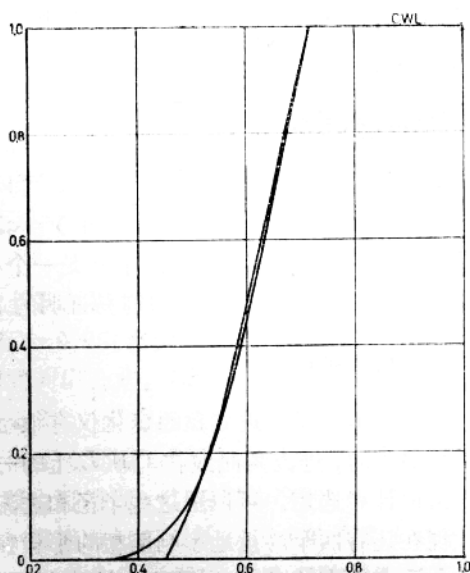


图 6(b) C_{wl} (底部) 的变化

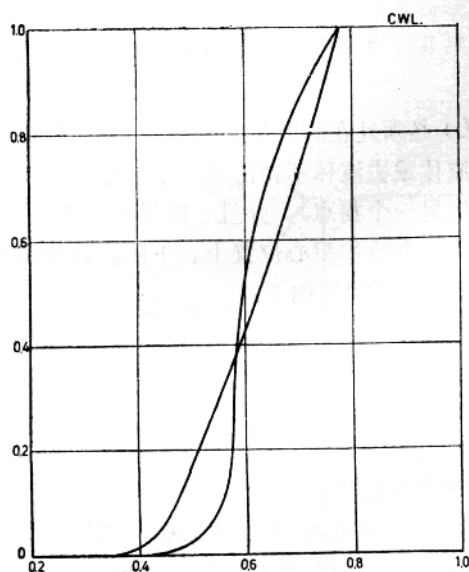


图 6(c) $dC_{wl}/dz (CWL)$ 的变化

八 形状参数的确定

我们现在要公式化设计参数和形状参数之间的关系。在第二节里整个船体给出了六个设计参数。在第六节里每半艘船体规定了十七个形状参数。某些形状参数可以直接从设计参数求得或者可以由设计者来决定。

肥瘦系数和浮心位置

前体和后体的这些形状参数 C_{bf} 、 C_{ba} 、 $\overline{LCB}_f$ 和 $\overline{LCB}_a$ 必须分别求得。这可用 C_b 、 $\overline{LCB}$ 和一条标准曲线来绘制一张横剖面面积曲线。从此曲线我们可以求得参数 $\overline{LCB}_f$ 和 $\overline{LCB}_a$ 、 C_{bf} 和 C_{ba} 的数值。

平行中体长度

在底部的平行中体长度 L_{pf} (底部) 和 L_{pa} (底部) 也可以从横剖面面积曲线求得。载重水线的直线部分的长度 $L_{pf}(CWL)$ 和 $L_{pa}(CWL)$ 依赖选择的 CWL 面积。对这个形状参数值不苛求, 可以根据某些经验来选择。

CWL 面积系数

对分别确定前体和后体的水线面积系数很难规定一个标准。当肥瘦系数 C_{bf} 和 C_{ba} 以

及总面积系数 C_{wp} 已知, 设计者可自由分布 CWL 面积到两个半船体内。但它的选择对横剖面的形状 (U 或 V 型) 有很大影响。

底部面积系数

前面已经看出此参数的影响很小。可以从下式:

$$C_{wlf}(\text{底部}) = c[2C_{bf} - C_{wlf}(CWL)]$$

求得一个可能值中好的指标。式中 c 是一个权因子, 其值在 0.8 至 0.95 之间。(因为一条直的面积曲线 $c=1$, 这可以很容易证明的)。

进流角和半径

可以看出半径和进流角的变化仅有很小的影响[图 5(c) 和图 5(d)]。船体水下部分的半径是很小的, 进流角曲线在 CWL 上的一个点早已定了。对四个半径和剩余两个进流角可以由设计者选定。可以用这些半径和进流角来修正船体两端的剖面形状。

现在还有四个严重地影响船型的形状参数要确定: CWL 和底部的重心、面积曲线和重心曲线在 CWL 的一阶导数。设计者不大可能根据一般考虑或经验来选择它们, 因为它们有重大的影响, 并极大地依赖于前面所说的形状参数。所以现在提出在每种特定情况下求它们限值的方法。

CWL 和底部的重心位置

为了求得 $\overline{CG}_{wlf}(\text{底部})$ 和 $\overline{CG}_{wlf}(CWL)$ 必须处在的限值, 要规定一个准则, 即满足正常的水线。很明显, 条件是在水线的进流体或去流体不得出现多于一个拐点(指至约 0.95 船长为止, 在首端或尾端的半径处将给出另一个拐点), 并且一阶导数应该是负值, 整条水线的宽度是正值。当其它参数不变时这些准则给出重心位置上、下限。这些限值可以迭代求得。藉助一个权因子 k , 要求的重心位置可以规定如下:

$$\overline{CG}_{wlf} = k_1 + k(k_2 - k_1)$$

式中 k_1 为下限, k_2 为上限。

面积曲线在 CWL 处的一阶导数

要寻求面积曲线在 CWL 处的一阶导数的准则是比较困难的。

其第一个条件是面积曲线在底部和 CWL 之间没有负导数。据此准则可以求得 $(dC_{wlf}/dz)(CWL)$ 的上、下限, 因为当 $(dC_{wlf}/dz)(CWL)$ 取太大时其一阶导数在拐点处变成负值; 太小时在底部的半径会变成负值, 这样也导致一个局部的负的一阶导数。最低的下限为零。

无论如何, 仅采用此准则是不够的, 因为在这些限值的附近通常不能拟合船体的水上部分到水下部分。可能还有两个缺点:

- (1) 在 CWL 处的一阶导数取大了, 会使船体水上部分的面积曲线值变得大于一。
- (2) 面积曲线在 CWL 处的曲率引起船体水上部分的面积系数减小。

为了从这两个缺点求得 $(C_{wlf}/dz)(CWL)$ 的限值, 将面积曲线从 CWL 延伸至甲

板。其与水下部分光滑连接的条件是曲线在 CWL 处连续以及其一阶和二阶导数也连续。因此，我们对面积曲线的水上部分有三个条件。为求上限我们要分别考察前体和后体。

在前体的面积曲线水上部分无拐点。具有最小甲板面积无拐点的面积曲线要与水下部分相适应，则在甲板处曲率应等于零。此为面积曲线水上部分的第四个条件。这部分的公式现用三阶多项式来表示。四个条件可以解出四个系数，并可据此计算甲板面积。现在的准则是甲板面积系数不大于 0.95，因为大于 $C_{wlf}(\text{甲板})=0.95$ 时，一个好的水线不超出最大宽度几乎是不可能的[图 7(a)]。

在后体必须有另一个准则的公式，因为大多数面积曲线的水上部分有一拐点。 $(dC_{wla}/dz)(CWL)$ 的上限可由使 $C_{wla}(\text{甲板})=0.95$ (最大) 和 $(dC_{wla}/dz)(\text{甲板})=0$ 求得。根据必须满足的条件数目现用四阶多项式列出公式。 $(dC_{wla}/dz)(CWL)$ 的上限准则现为在甲板处面积曲线的曲率必须是负值或零，因为不然的话在甲板与 CWL 之间就有负的一阶导数，即各横剖面的宽度随高度的增高而减少[图 7(b)]。

对前体和后体的 $(dC_{wlf}/dz)(CWL)$ 下限也可得到一个相似的准则。这样参数值很小就有可能导致靠近 CWL 有极严重的曲率。这样引起在 CWL 以上的面积曲线的一阶导数变成负值。所以面积曲线的延伸要做成直的并垂直于甲板(一阶和二阶导数为零)，因而有最大的甲板面积。现在有了五个条件，所以水上部分的面积曲线用四阶多项式来表示。现在的准则是在 CWL 和甲板之间不出现负的一阶导数。这基本上足以检查计算出最大甲板面积是否不小于 CWL 的面积[图 7(c)]。

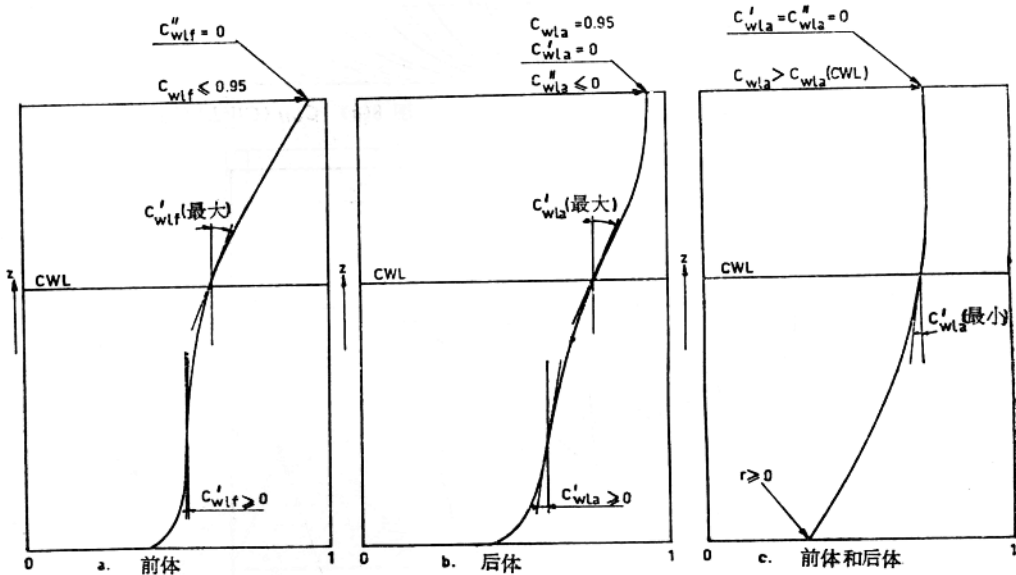


图 7 确定在作图水线的面积曲线的一阶导数的准则

重心曲线的一阶导数

形状参数 $(d\overline{CG}_{wlf}/dz)(CWL)$ 必须满足如上所述面积曲线相同的准则：在底部和

CWL 之间没有负的一阶导数。仅如此还不能得到船体好的表达式。考察一条水线的重心变化 [图 5(b)] 可以看出, 必须对在 $\hat{x}=0.35$ 和 $\hat{x}=0.75$ 的点特别注意, 因为在这些点处 $d\overline{CG}_{wlf}/dz$ (CWL) 的变化给出了剖面在靠近 CWL 处的斜率的最大变化。由于在 CWL 的平行中体长度已知, 很容易计算产生这些最大变化的长度。在这些地方的剖面应具有要求的特征, 这一条件比曲线上部各条件还要重要, 如在面积曲线所用的一样。

至于 $(d\overline{CG}_{wlf}/dz)$ (CWL) 的下限, 我们必须注意在 $\hat{x}(CWL)=0.35$ 处的剖面。剖面延伸至甲板一定不得超出宽度。这可采用如 (dC_{wlf}/dz) (CWL) 的上限所用的相似方法, 现在只应用到一个剖面。我们不再重复讲它。检查在 $\hat{x}(CWL)=0.75$ 处的剖面是否有负的一阶导数是很多余的。

为了确定 $(d\overline{CG}_{wlf}/dz)$ (CWL) 的上限, 可以列出两个准则: 在 $\hat{x}(CWL)=0.35$ 的剖面在 CWL 处必须有正的一阶导数。同时, 在 $\hat{x}(CWL)=0.75$ 的剖面在甲板下面不允许超出宽度。后一条件仅与前体有关系, 前体各剖面无拐点是允许的。准则的公式与面积曲线所采用的一样。

可以列出一个权因子来确定可以需要的形状参数值。在所有的情况下, 限值的确定可以采用迭代方法进行。

所讲的权因子的影响表明在图 8, 9 和 10 中。

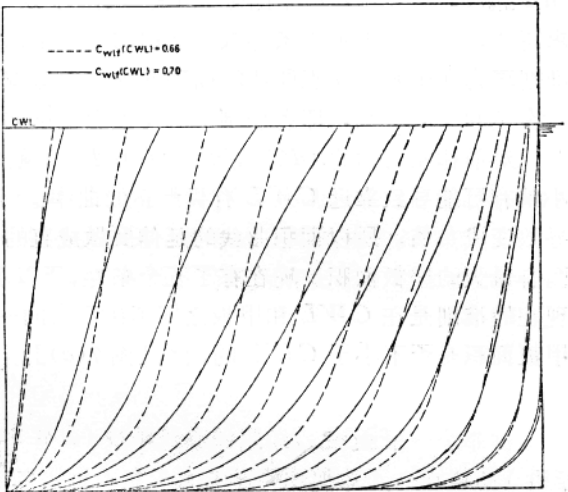


图 8(a) $C_{wlf}(CWL)$ 的变化

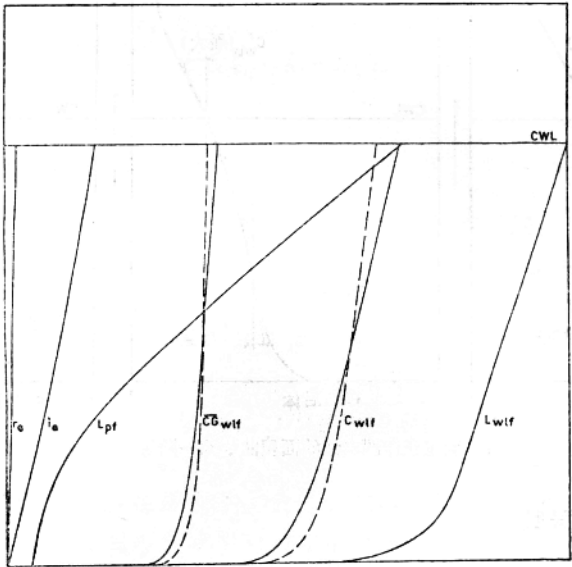


图 8(b) 吃水函数