

华南理工大学 South China University of Technology

华南理工大学 | 土木与交通学院
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING & TRANSPORTATION
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

船舶阻力

第五讲：船型对阻力的影响

（4学时）

焦甲龙 主讲

船舶与海洋工程系

2023年10月

华南理工大学 South China University of Technology

目录

第五讲：船型对阻力的影响

- 1 船型对阻力影响的基本概念
- 2 船体主尺度的影响
- 3 主要船型系数的影响
- 4 横剖面面积曲线形状的影响
- 5 满载水线面形状的影响
- 6 艏艉端形状的影响

South China University of Technology

船舶设计中的一个重要步骤是确定**船型参数**，就是确定表征船体水下部分的一些特征参数的数值和几何形状。但应该指出，船舶设计是一个必须考虑各种因素的综合性问题，船型参数的选择应顾及**总体布置、工艺结构、快速性、耐波性、稳性、航区和经济性**等诸多方面既有联系又有矛盾的各种要求。

华南理工大学
South China University of Technology

1 船型对阻力影响的基本概念

一、船型、航速与阻力性能之间的关系

1.优良船型的含义

船型对船舶阻力性能的影响是与船舶航速密切联系的。在不同航速范围内，船型参数对阻力的影响不仅程度上不同，甚至还有本质上的差别。因此，所谓阻力性能优良的船型，是对某一定航速范围而言。换句话说，优良的船型将随航速而异。低速时阻力性能优良的船型，在高速时航速可能反而不佳。由此可以推断：对于不同航速范围内的船舶来说，影响船体阻力的主要船型参数应该是不同的。为此，在船舶设计过程中考虑船型参数选择的出发点也不应完全相同。



华南理工大学
South China University of Technology

2.船舶分类及其主要阻力成分

目前研究一般**水面排水型船舶**的阻力问题，较普遍的方法是按照**佛汝德数**将各类船舶分为低速船（Fr＜0.20）、中速船（0.20≤Fr＜0.30）、高速船（Fr≥0.30）。

一般民用船大多属于中、低速船范围，军舰则属于高速船范围。各类船舶的速度范围不同，其主要阻力成分也各不一样，所以在船型设计时所考虑的侧重面也各不相同。





低速船



Fr<0.20，航速较低，兴波阻力很小，其**总阻力中摩擦阻力与粘压阻力占主要成分**，因此设计时主要考虑减小摩擦阻力和粘压阻力。摩擦阻力主要决定于船体的湿面积，因而这类船的**形状比较肥短**，其目的是为了获得较小的船体湿表面积以减小摩擦阻力。但这类船的**尾部易于产生旋涡**，因此必须**注意去流段的设计**，以防止粘压阻力的增大。

华南理工大学
South China University of Technology

中速船



0.20<Fr<0.30，航速较低速船有所增大，兴波阻力成分随之增大，设计时既要考虑减小兴波阻力，又要防止其它阻力成分的增长。一方面要恰当地选择船型参数以**造成首尾波系的有利干扰**；另一方面，**船型适当地趋于瘦削**，可避免产生大量旋涡，有利于减小粘压阻力。

华南理工大学
South China University of Technology

高速船



0.30<Fr，兴波阻力占比比较大（可达50%以上），设计时应力**求减小兴波阻力**。一般说来，高速船兴起的波浪长度都比较长，首尾波系在船尾产生有利干扰的可能性很小，所以在设计时致力于减小船首波系的波高，因而这类船都**比较瘦长，特别是前体更甚**，目的就在于尽可能减小兴波阻力。

South China University of Technology

二、确定影响阻力的船型参数

由船舶阻力相似定律知，对于一定的船型，其总阻力系数是Re数和Fr数的函数，若考虑船型变化，则总阻力系数表达式可写为：

$$C_t = f(\mathrm{Re}, Fr, \text{船型系数})$$

船型参数包括三个方面：**主尺度比，船型系数，船体形状。**

华南理工大学
South China University of Technology

1.主尺度比：*L/B*、*B/T*（该两比值确定后， *L/T* 随之而定，故L/T不作独立参数）。

2.船型系数：方形系数C_b、棱形系数C_p、中横剖面系数C_m、排水体积长度系数∇/L^3（或排水量长度系数$\Delta/(0.01L)^3$、或长度排水体积系数$L/\nabla^{1/3}$）。

该6个参数并非完全独立，存在如下关系：

$$C_p = C_b / C_m$$

$$\frac{\nabla}{L^3} = \frac{C_p A_m L}{L^3} = \frac{C_p (C_m BT)}{L^2} = C_p C_m \Big/ \left[\left(\frac{L}{B} \right)^2 \frac{B}{T} \right]$$

上述6个参数中，可取4个做独立参数。

（1）由于∇/L^3代表了船体的排水体积和船长之间的关系，较之L/B更能表示船体的肥瘦程度，因而一般选取∇/L^3所独立参数。

（2）至于船型系数，除C_m外，根据所讨论的船舶，可在C_b、C_p之间选取一个作为讨论参数。

华南理工大学
South China University of Technology

3. 船体形状：

包括三个方面：横剖面面积曲线形状、满载水线面形状、首尾形状。

（1）横剖面面积曲线形状：

浮心纵向位置x_c、平行中体长度L_p、曲线两端形状

（2）满载水线面的形状：

满载水线面的面积、满载水线平行中段、满载水线首尾端形状、满载水线首端半进角等。

（3）首尾形状：

首尾横剖面形状、纵剖面形状

华南理工大学
South China University of Technology

由上述诸方面的各项参数、特征一定时，船的形状可以基本确定，故总阻力系数表达式可写为：

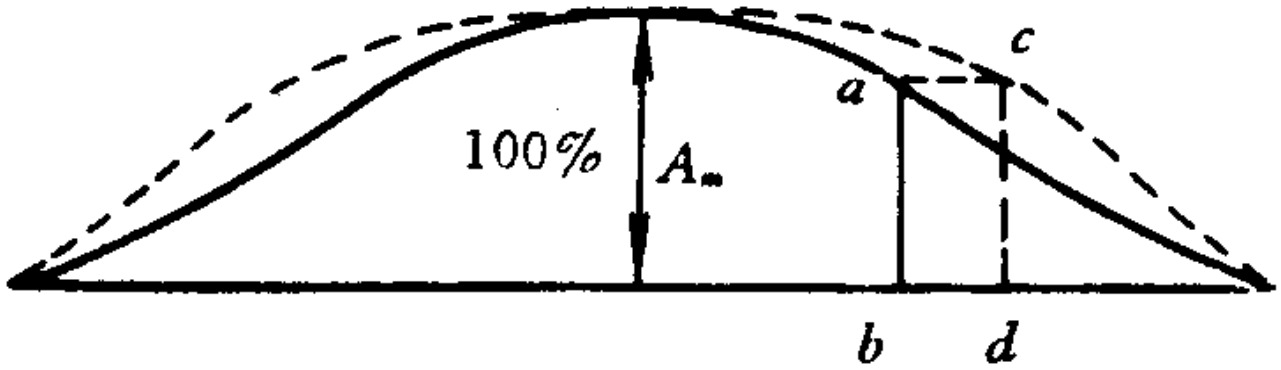
$$C_t = f(\frac{\nabla}{L^3}, \frac{B}{T}, C_p, C_m, Fr, \text{船体形状})$$

华南理工大学
South China University of Technology

三、船型对阻力影响问题的研究方法

船模系列试验：对所研究的问题，选定母型船，并系统地变化影响船体阻力的船型参数，制成一系列船模，在对应的装载情况下拖曳试验，根据实验结果分析船型参数对阻力影响的关系。

派生系列船模改变船型：仿射变化、改变线型特征。



华南理工大学
South China University of Technology

仿射变化

所谓仿射变化，即将船体表面上各对应坐标按同一比例放大或缩小，从而得到不同的系列船模。

新船表面上任一点之坐标（x_1，y_1，z_1）与母型船表面上对应坐标（x，y，z）之间恒保持下列关系：

$$x_1=mx, \qquad y_1=ny, \qquad z_1=pz$$

m，n，p由新船与母型船主尺度比例所确定的。

华南理工大学
South China University of Technology

船体表面的无因次坐标方程在仿射变化前后没有改变.

船体表面方程$y=y(x, z)$,其无因次方程为$\eta=\eta(\xi, \zeta)$

$\xi=x/L$ ， $\eta=y/(0.5B)$， $\zeta=z/T$

新船表面上各点之无因次坐标为（ξ_1,η_1，ζ_1）

$\xi_1=x_1/L_1$ ， $\eta_1=y_1/(0.5B_1)$， $\zeta_1=z_1/T_1$

对应点将有：$\xi_1=\xi$ ， $\eta_1=\eta$， $\zeta_1=\zeta$

我们称无因次坐标方程不变为线型特征不变。

华南理工大学
South China University of Technology

改变线型特征

改变线型特征意味着改变船体的无因次方程$\eta=\eta(\xi,\ \zeta)$，改变了各种船型系数，如，C_m，C_b，C_p等等。

对阻力影响最大者为排水体积纵向分布情况，其次为线型及首尾特征形状。

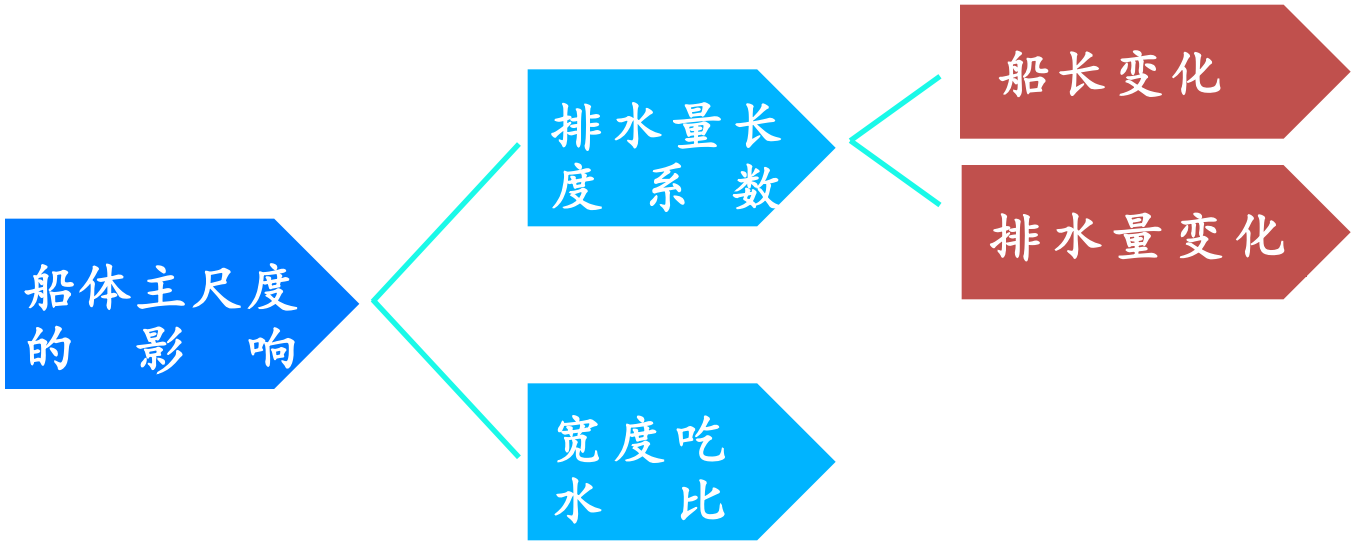
船体排水体积纵向分布可用横剖面面积曲线来表示。

横剖面面积曲线可用棱形系数C_p，平行中体长度L_p及位置,浮心纵向位置x_b等参数大体上予以限定，而且还可以进一步说明两端形状。

型线及首尾端形状除水线进水角可用数值表示外，其余仅概略地说明其形状。

South China University of Technology

2 船体主尺度的影响



$$C_t = f(\frac{\nabla}{L^3}, \frac{B}{T}, C_p, C_m, Fr, \text{船体形状})$$

华南理工大学 South China University of Technology

一、排水量长度系数 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 对阻力的影响

排水量长度系数 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 又称为修长系数，表征船舶的瘦长程度。

该系数大，意味着在同样的长度范围内分布有更多的排水量，或者把较多的排水量分配在较短的船长范围内，**船体短而肥**；该系数小，则船体瘦长。

该系数包含排水量Δ和船长 L 两个变量。讨论其对船舶阻力的影响，包括以下两个方面：

1）**排水量Δ一定**，讨论船舯横剖面系数C_m、棱形系数C_p和B/T均保持不变时，船长L变化对船舶阻力的影响。

2）**船长L一定**，讨论C_m、C_p和B/T均保持不变时，排水量Δ变化对船舶阻力的影响。

华南理工大学 South China University of Technology

船长变化

Δ 一定，$\dfrac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 对阻力的影响

对摩擦阻力的影响

- 湿面积可按$S=C_s\sqrt{\nabla L}$估算，在C_m、C_p和B/T不变时，C_s近似为常数，因此，可认为排水量一定时，S与$L^{1/2}$成正比关系。
- 船长L增大时，湿面积增加。而一般说来，船长增大时，Re增大所引起的摩擦阻力系数减小是极微的，因此，增大船长将使船体摩擦阻力会增大。

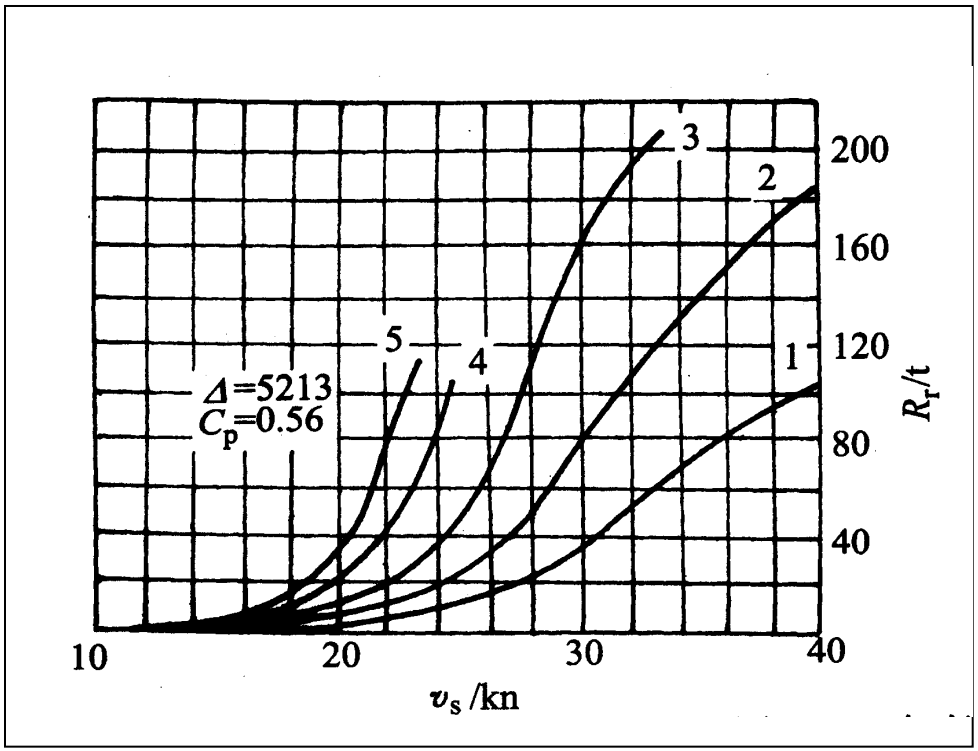
对剩余阻力的影响

- 在排水量Δ一定时、L增大，则B、T同时减小，因而L/B增大，所以船型变得瘦长。这样将使粘压阻力和兴波阻力均下降，即剩余阻力下降。
- 船长和剩余阻力变化关系的泰勒试验结果如下图表所示。

对总阻力的影响

- Δ一定时、L增大使R_r、R_f产生完全相反的影响，因而对总阻力的影响取决于R_r、R_f两者增减的数值而定。

华南理工大学 South China University of Technology



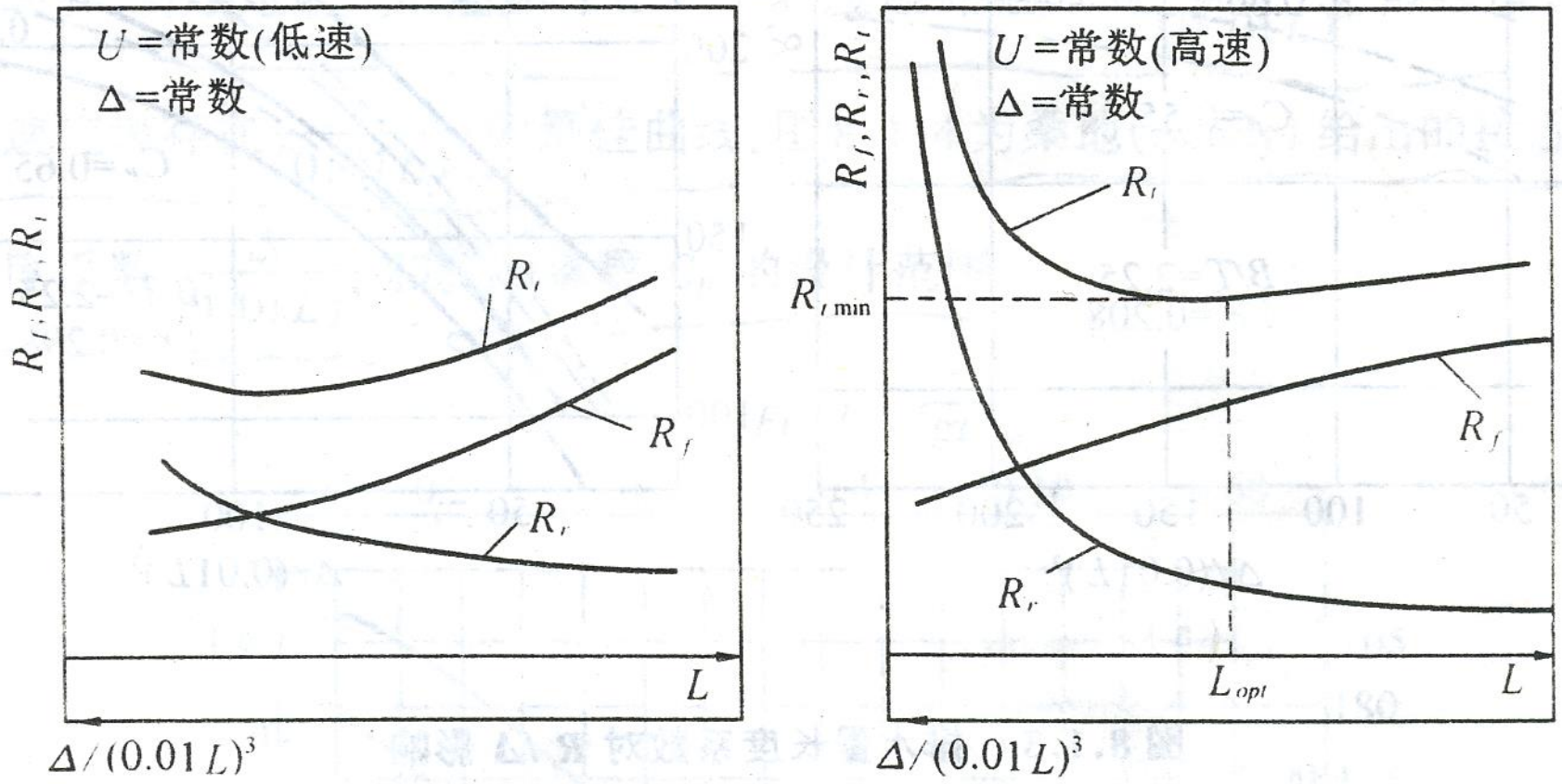
船长与剩余阻力的关系曲线
（泰勒试验结果）

No	*L*	*B*	*T*	A_m
1	169.1	13.0	4.45	53.60
2	142.7	14.16	4.85	63.54
3	121.9	15.32	5.24	74.32
4	103.7	16.6	5.68	87.33
5	93.02	17.52	6.00	97.45

船舶主尺度

由图可知：随着L的增加，剩余阻力R_r下降相当明显。

华南理工大学
South China University of Technology



(a)　　(b)

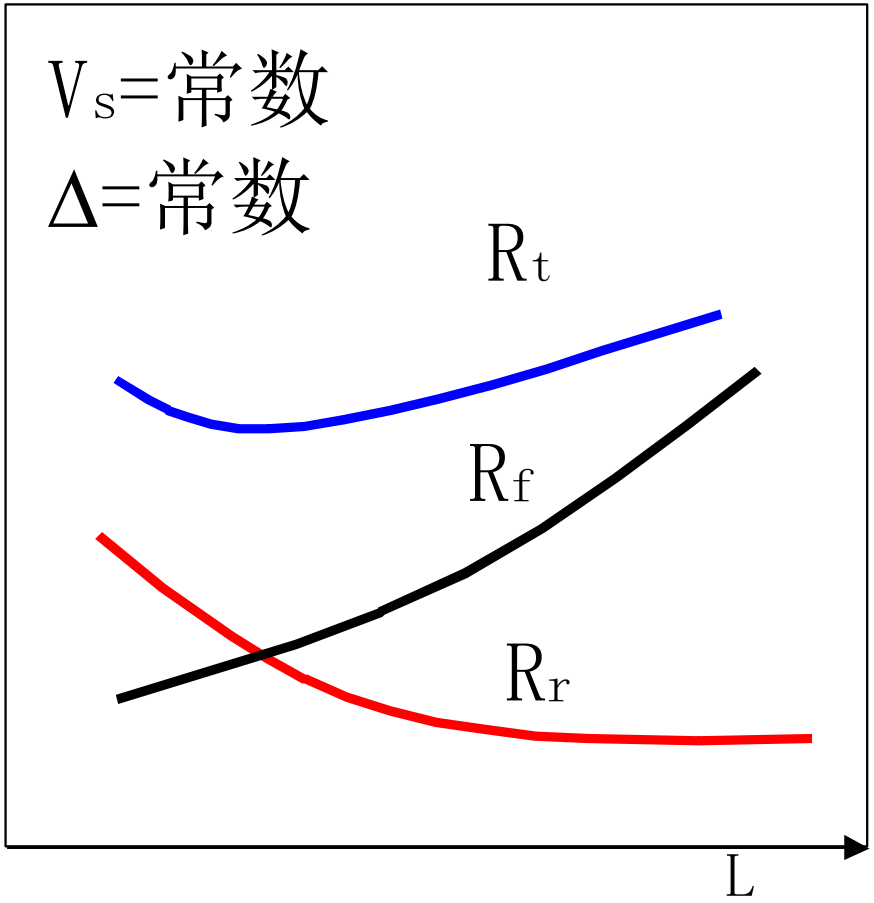
排水量长度系数对阻力影响的示意图

(a) 低速船情况(当 Δ = 常数);(b) 高速船情况(当 Δ = 常数)

华南理工大学
South China University of Technology

①对低速船

摩擦阻力占总阻力的主要成分，可达总阻力的70%以上。而剩余阻力R_r所占比例较小，因此当排水量一定时，增长L时，剩余阻力R_r的减小值不大，因此总阻力几乎无甚下降。如果L过大时，总阻力反而增大。



在实用上，低速船的船长尽量取得小些，船型均短而肥，这不仅从阻力观点，而且从增大舱容，降低造价等均有利。

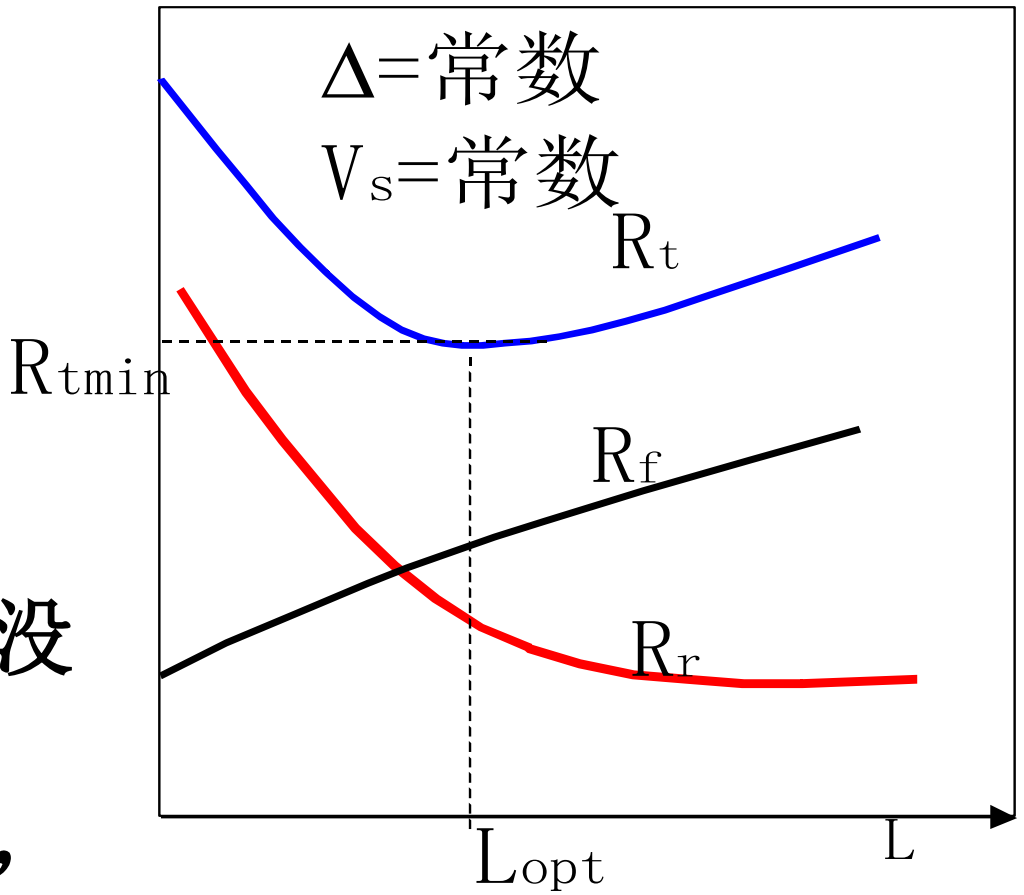
South China University of Technology

②对高速船

当航速V一定时：

增加船长，剩余阻力下降值大于摩擦阻力的增加值。总阻力的减小相当显著。

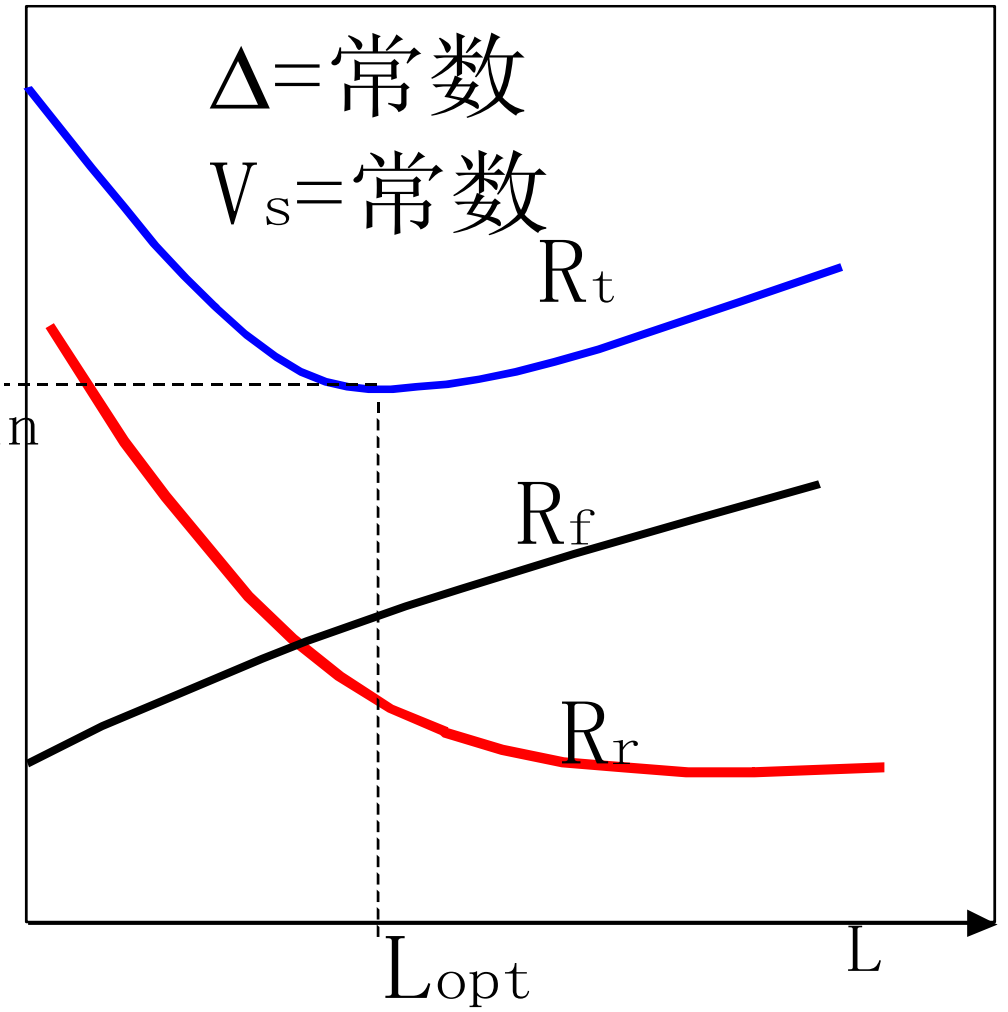
当船长增加到一定程度后，剩余阻力R_r并没有更多的减小，而摩擦阻力R_f则随之不断增加，致使总阻力反而变大。总阻力最低点的最佳船长L_{opt}。



华南理工大学
South China University of Technology

在一定航速情况下，最佳船长附近的一定范围内，其阻力并无多大差异，应选用阻力不过高的最短船长，以降低造价。

因此，高速船的船型特点是：船型显得比较瘦长，L/B值较大。



华南理工大学
South China University of Technology

确定船长L必须考虑的几个方面：

1）**总布置要求**：满足船舶使用要求，使舱室布置符合要求；

2）**阻力性能**：尽量选择对应于船体阻力性能良好的船长；

3）**操纵性能**：船长与操纵性关系密切，船长过长，则船舶回转性变差，所以要考虑船舶在港口、航内的操纵性问题；

4）**经济性**：在最佳船长附近范围的总阻力差别不大时，应选用阻力变化不大的最短船长，以降低船体造价。

此外，船体长度也可以按照经验公式进行估算，然后再用阻力理论校验作最后确定。

华南理工大学
South China University of Technology

确定船长的经验公式

1）巴士久宁公式：$$L_{disp} = 0.305 \times C \cdot (\frac{V_s}{V_s + 2})^2 \cdot \nabla^{1/3}$$

（其中L_{disp}为排水长度（m)；V_s为试航速度（kn），∇为排水体积（m^3），C为常数。对于V_s=11.0kn~16.5kn的单桨船，取C=23.5；对于V_s =15.5kn~18.5kn的双桨船，取C =24，对于 V_s≥20kn的高速客船，取C =26.0。）

该公式适用于Δ=1600~42000t的各类民用船舶。

2）艾亚公式：$$\frac{L}{\Delta^{1/3}} = 3.344 + 10.225Fr$$

（其中L为垂线间长(m)，Δ为排水量(t)）

该公式一般适用于L_{bp}=120~140m的商船。

3）诺吉德公式：$$\frac{L}{\nabla^{1/3}} = 2.3 \cdot V_s^{1/3}$$

华南理工大学 South China University of Technology

排水量变化

L 一定，$\dfrac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 对阻力的影响

对摩擦阻力的影响

- 船长一定时，R_f/Δ 随 S/Δ而变；并且：

$$\frac{R_f}{\Delta} \propto \frac{S}{\Delta} \propto \frac{\sqrt{\nabla L}}{\Delta} \propto \frac{1}{\sqrt{\Delta}}$$

可知，排水量增大（即：$\dfrac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 增加）时，单位排水量摩擦阻力R_f/Δ将减小。

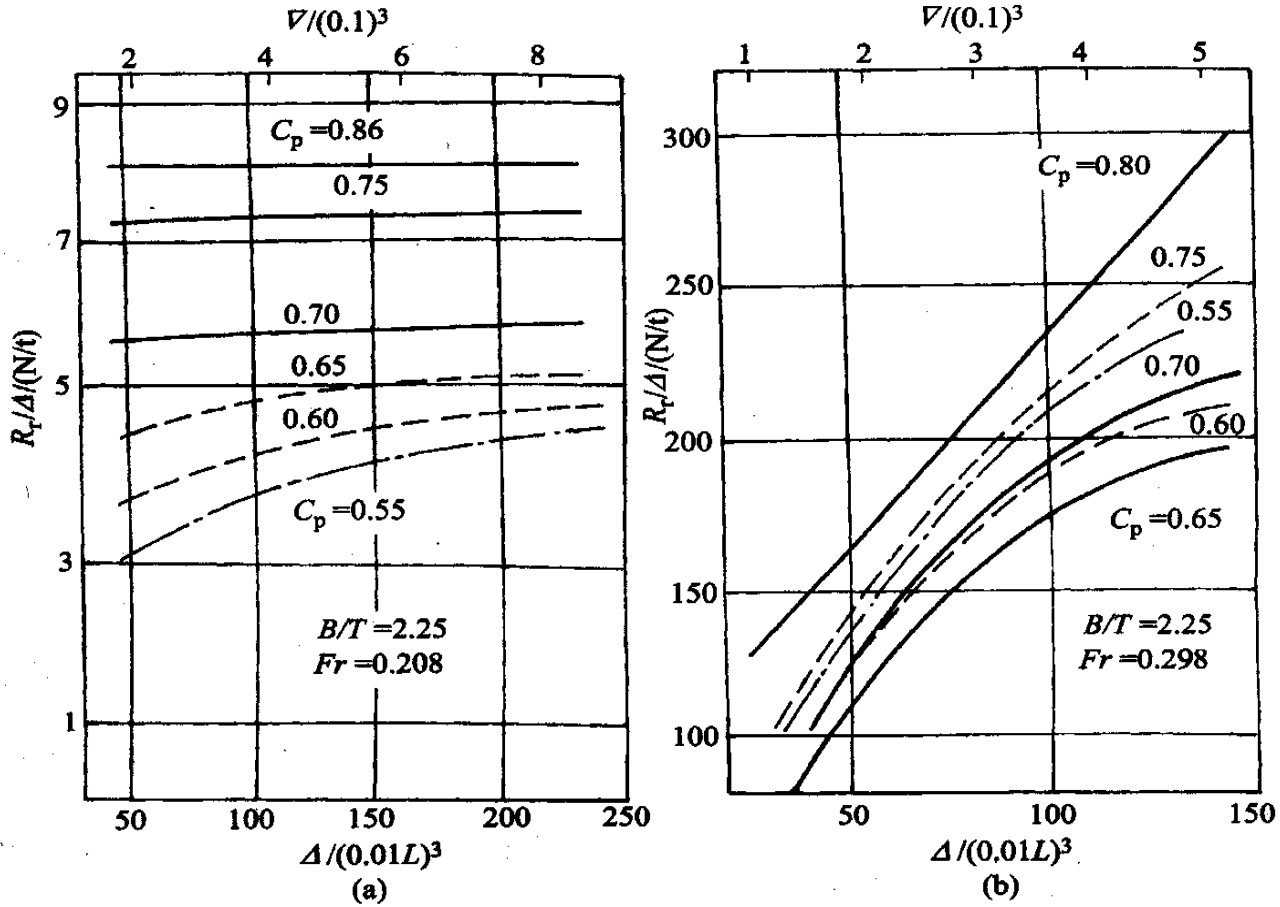
对剩余阻力的影响

- 船长L不变时，增大排水量△是由同时增大B和T实现的，因此船型较肥，兴波阻力和粘压阻力都同时增大，剩余阻力也随之必然增大。
- 泰勒系列船模资料（如下图）得到的较低速度和较高速度的单位排水量剩余阻力R_r/Δ随 $\dfrac{\Delta}{(0.01L)^3}$变化曲线。

对总阻力的影响

- $\dfrac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 对R_f/Δ的影响同样取决于摩擦阻力和剩余阻力在总阻力中的比重。

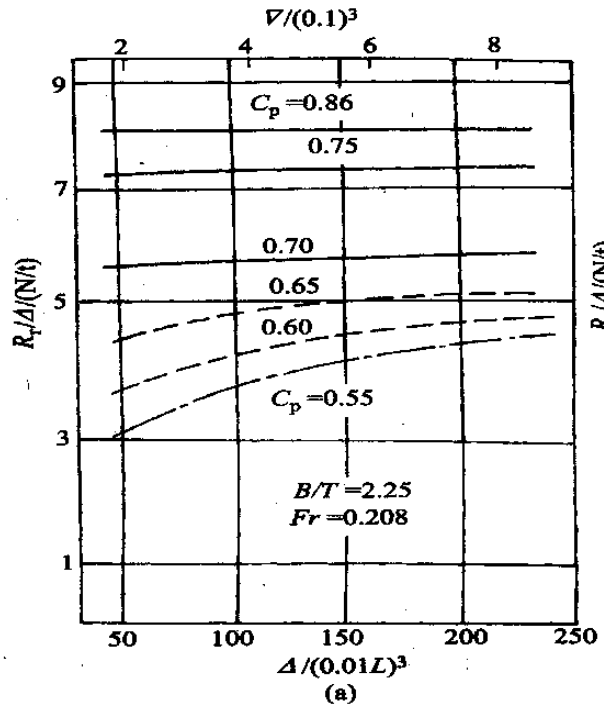
华南理工大学 South China University of Technology



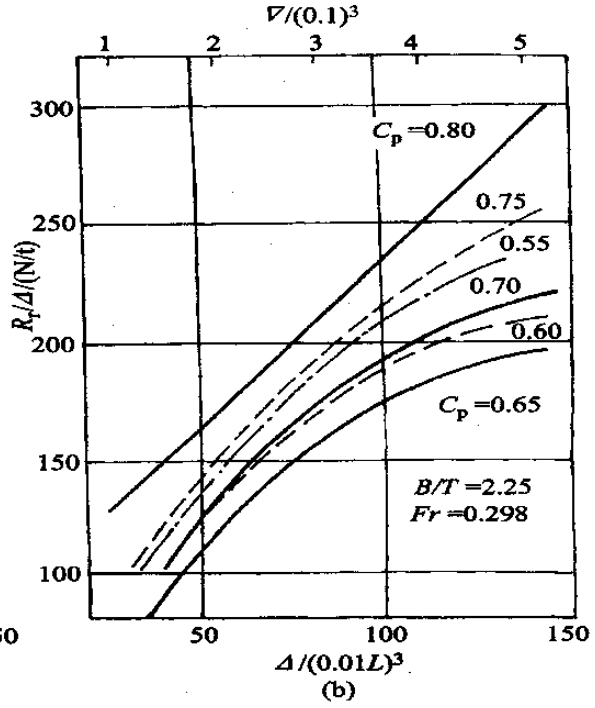
$(a)Fr = 0.208$ $(b)Fr = 0.298$

排水量长度系数对剩余阻力的影响

华南理工大学
South China University of Technology



$(a)Fr=0.208$



$(b)Fr=0.298$

排水量对阻力的影响

对于中、低速船，其相应的棱形系数C_p较大，随着$\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$增加，R_r/Δ几乎保持为常数，因此可以认为$\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$对R_r/Δ影响不大 。原因在于低速船的兴波阻力成分较小，尽管$\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$增大会引起船型的变化，但对R_r/Δ的影响并不明显。

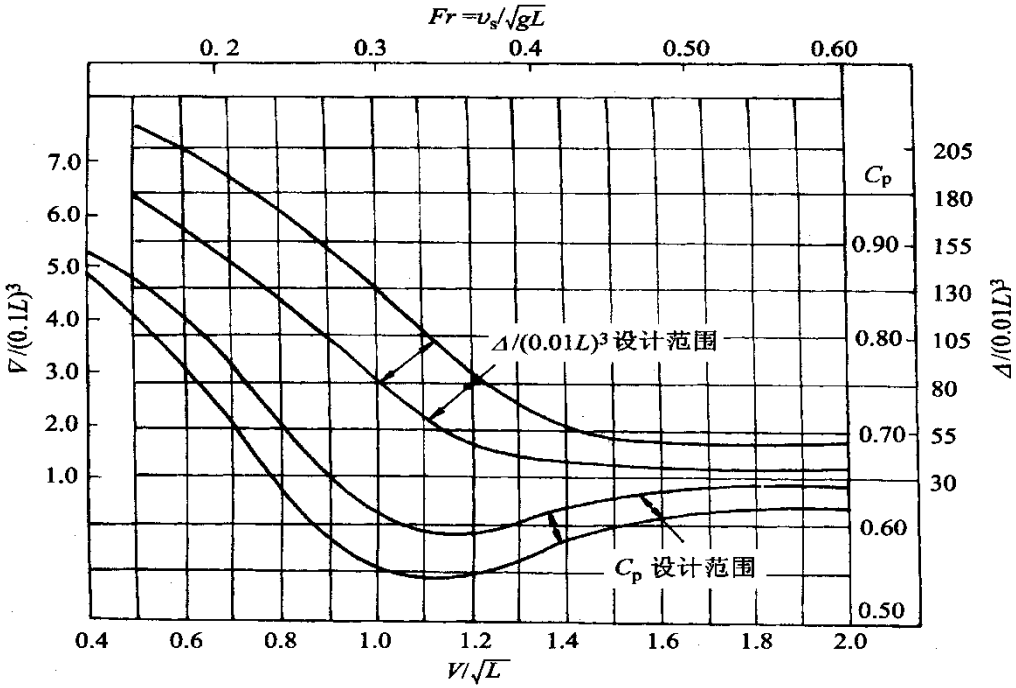
对于高速船，$\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$的影响相当敏感，随着该系数增大，R_r/Δ将有明显增加。原因在于，高速船的兴波阻力成分较大，增大$\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$意味着在相同的船长下，分布较多的排水量，船型变得丰满，所以兴波阻力明显增大。

华南理工大学 South China University of Technology

不同船舶 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 的选取

低、中速船的 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 宜取适当大一些，随着航速增大，降低 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 值对船舶阻力性能是有利的；高速船的 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 较低速船要小得多，所以高速船船型瘦长，低速船船型短而肥。

由于 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 的变化对船舶摩擦阻力和剩余阻力的影响相反，因此对于给定航速的船舶存在一个对应与最小阻力值的 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 最佳值。对应于不同航速应该存在 $\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 的最佳曲线。



$\frac{\Delta}{(0.01L)^3}$ 和C_p的设计范围

华南理工大学 South China University of Technology

二、宽度吃水比 *B/T* 对阻力的影响

B/T的几何意义是表征船体的**扁平程度**。

若船的排水量、长度和棱形系数保持不变，改变船宽（如乘*K*倍），并按其变化比例的倒数关系来改变吃水（如乘以*1/K* 倍），这样得到的一组船模可以分析研究B/T对阻力的影响。

华南理工大学
South China University of Technology

宽度吃水比B/T对阻力的影响

对摩擦阻力的影响

- 讨论B/T对摩擦阻力的影响，即讨论B/T变化对船体湿表面积的影响。
- 不同方形系数C_b所对应的宽度吃水比B/T与最小湿表面积S_{min}的关系曲线如图。其中虚线为湿表面积S_{min}增加不超过2%时B/T的上下限。
- 可见，当B/T在2.25～3.75的实用范围内变化时，湿表面积增加约2.5%。
- 所以，B/T变化对摩擦阻力的影响不大。

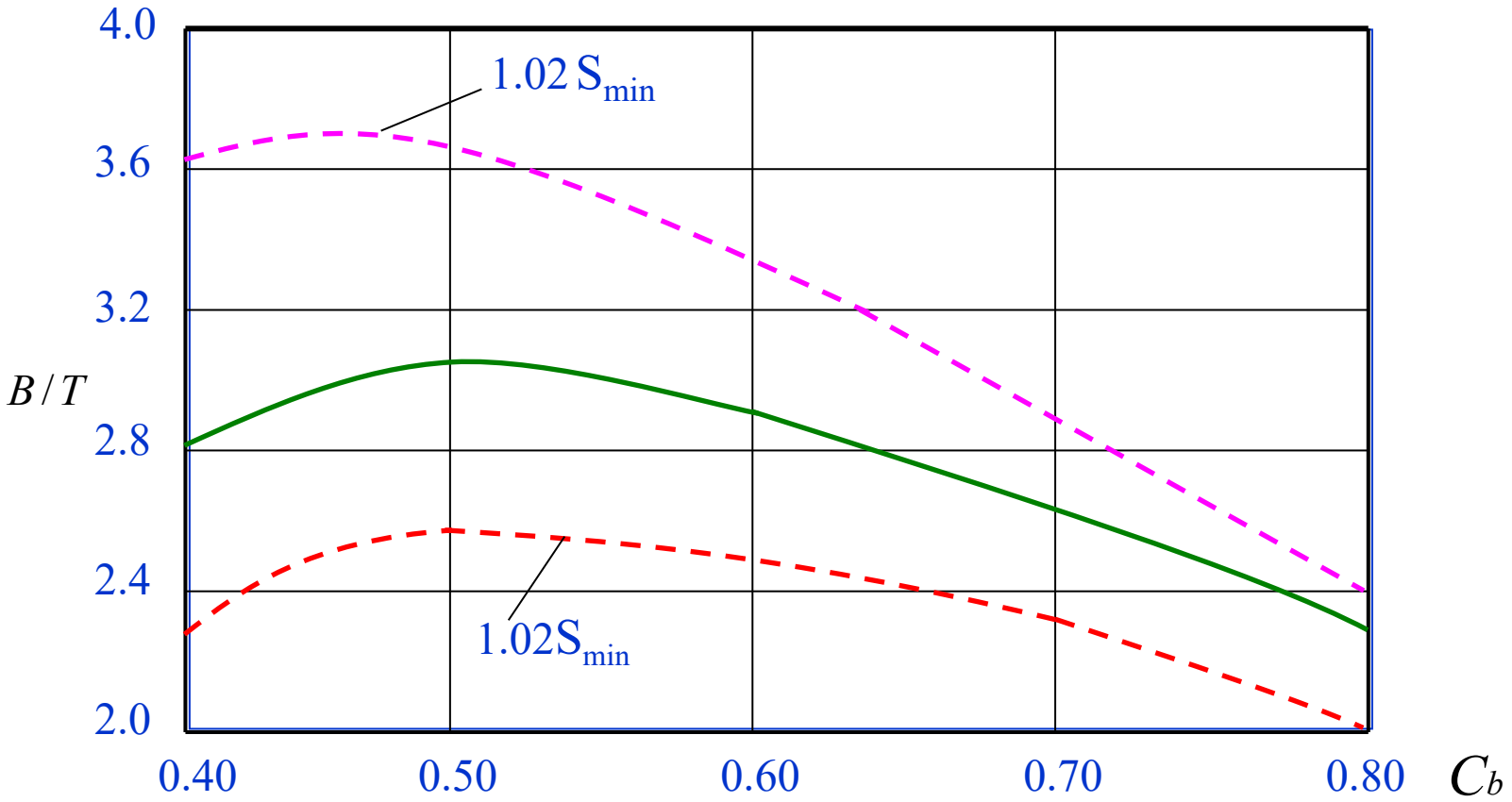
对剩余阻力的影响

- 船宽B增大，船行波的散波波高增大，吃水T增大，船行波的横波波高增大。下图为泰勒系列试验得到的不同棱型系数和同一棱型系数下B/T分别为2.25和3.75时R_r/Δ傅汝德数Fr（或速长比）的变化关系曲线。
- 可见，随着B/T减小，R_r趋于减小，但在有的速度范围内，B/T减小，R_r却反而增大。
- 这是由于不同速度下横波干扰所致。由于吃水T对横波的作用更大，故B/T小的船横波影响明显，阻力曲线上的波阻峰谷点更明显，在波阻峰谷点附近的阻力升降更甚。

对总阻力的影响

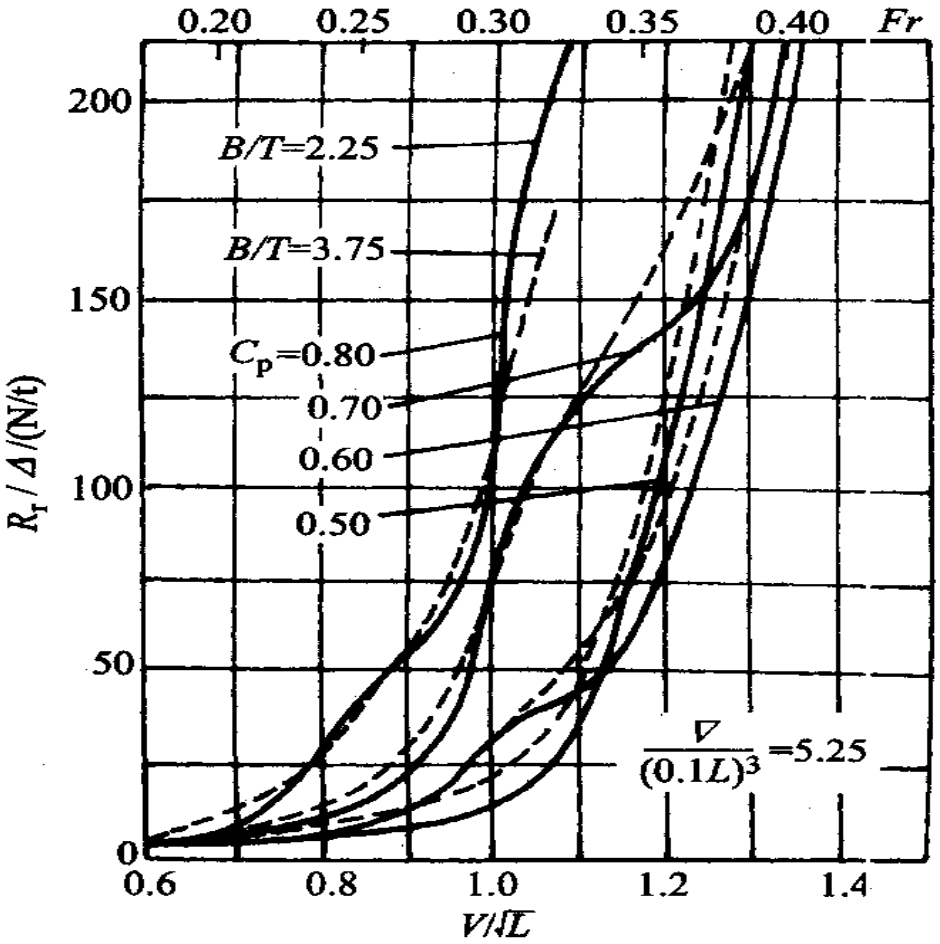
- 研究表明，B/T对总阻力的影响往往不大。一般根据试验统计资料可近似估算这种影响。对低、中速船而言，B/T在实用范围内增加0.1，船体阻力可能增加0.50%～0.75%，高速船的增加则要大一些。

华南理工大学
South China University of Technology



对应最小湿面积的*B/T*值

华南理工大学
South China University of Technology



*B/T*对$R_r/\triangle$的影响

华南理工大学
South China University of Technology

在船舶设计中，***B/T***的选择不仅仅依靠阻力性能，而是从船舶**稳性、总布置、航道水深限制**等各方面要求而确定的。

特别是近代货船和油船的设计趋势是适当地增大船宽***B***，以减小***L/B***值、增大***B/T***值，同时相应地使方形系数C_b值降低。这样不但能减小船舶阻力，而且可减轻船体结构重量和降低造价。同时，增大船宽可提高稳性，减小吃水可降低对航道和港口水深的限制。这种在排水量一定的前提下，选用较大的***B/T***值和较小方形系数C_b的措施，在不少设计中获得了成功。

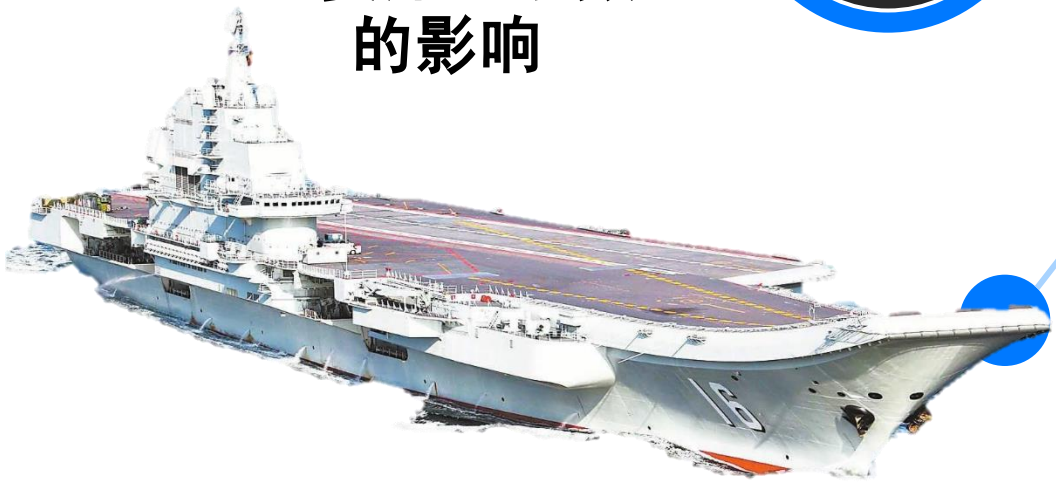


3 主要船型系数的影响

$$C_t = f(\frac{\nabla}{L^3}, \frac{B}{T}, C_p, C_m, Fr, 船体形状)$$

$$C_b = C_m \cdot C_p$$

主要船型系数的影响



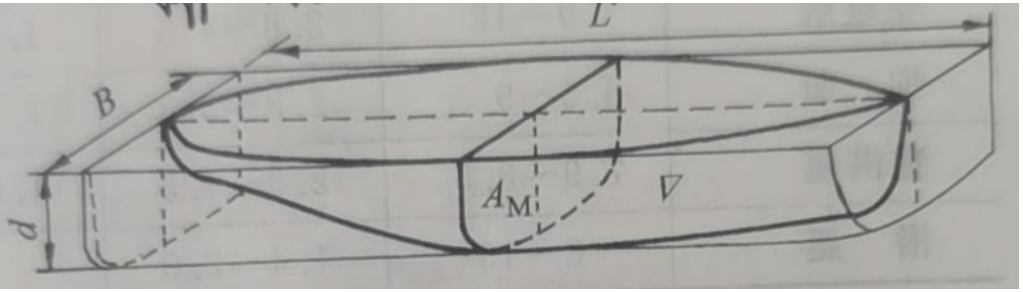
- 棱形系数的影响
- 方形系数的影响
- 中横剖面系数的影响

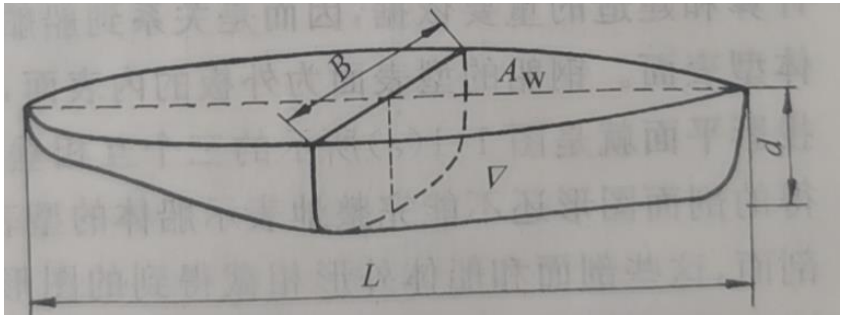
华南理工大学 South China University of Technology

一、棱形系数C_p对船舶阻力的影响

棱形系数C_p表征**船舶排水量沿船长方向的分布情况**，其值大小表示**船体首、尾端的肥瘦程度**。C_p小者，排水量集中于船中部，首、尾端瘦削；反之则排水量沿船长方向分布均匀，首、尾端丰满。

$$C_p = \nabla / L \cdot A_m$$





华南理工大学
South China University of Technology

1）棱形系数对摩擦阻力的影响

当∇、L一定时，C_p的变化对船体湿表面积的影响很小，通常认为可不考虑C_p对摩擦阻力的影响。

2）棱形系数对剩余阻力的影响

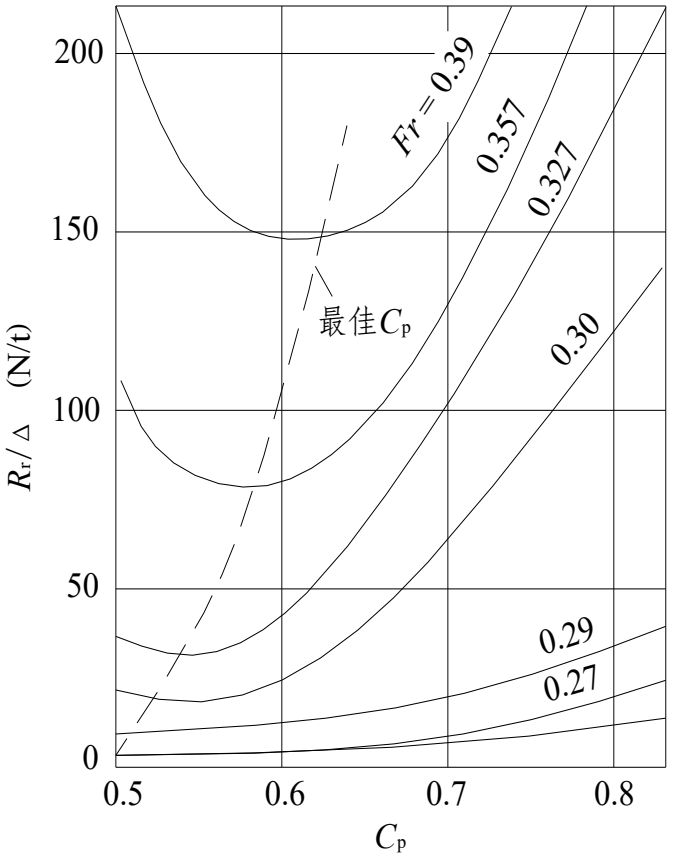
C_p对剩余阻力的**影响较大**。

如右图，C_p对R_r/Δ的影响**与航速关系密切。**

低速时，当**Fr<0.2**，C_p小者，R_r也小，但C_p对R_r的影响极小。

中等速度时，**0.2<Fr<0.3**，C_p小者，R_r也小，C_p对R_r的影响显著。

高速时，**Fr>0.3**，取适当大的C_p值，R_r反而减小，而取过小的C_p是不利的。



C_p对R_r/Δ的影响

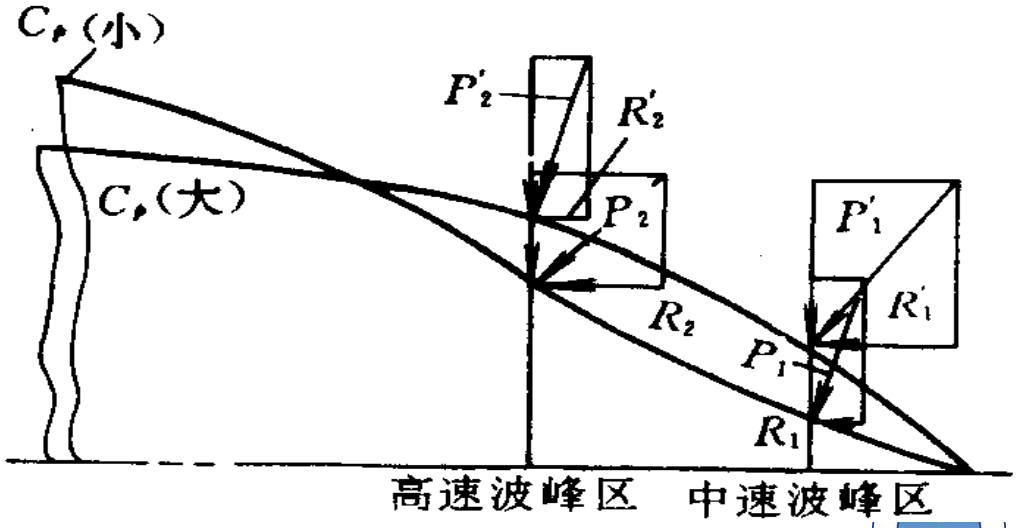
华南理工大学
South China University of Technology

由于C_p的大小表征船体首尾端的肥瘦情况不同，因此它对R_r的影响主要**与不同航速时的兴波情况**有关。

低速时，由于船舶兴波阻力较小，因而C_p对R_r的影响较小。

中速时，C_p小者，首尾尖瘦，对减小兴波有利；C_p小者，水压力在船舶运动方向上的分量也较小，R_r亦小。

高速时，取适当大的C_p，其R_r反而较小。同时，取适当大的C_p，有利于减小水压力在船舶运动方向上的分量，使得剩余阻力下降

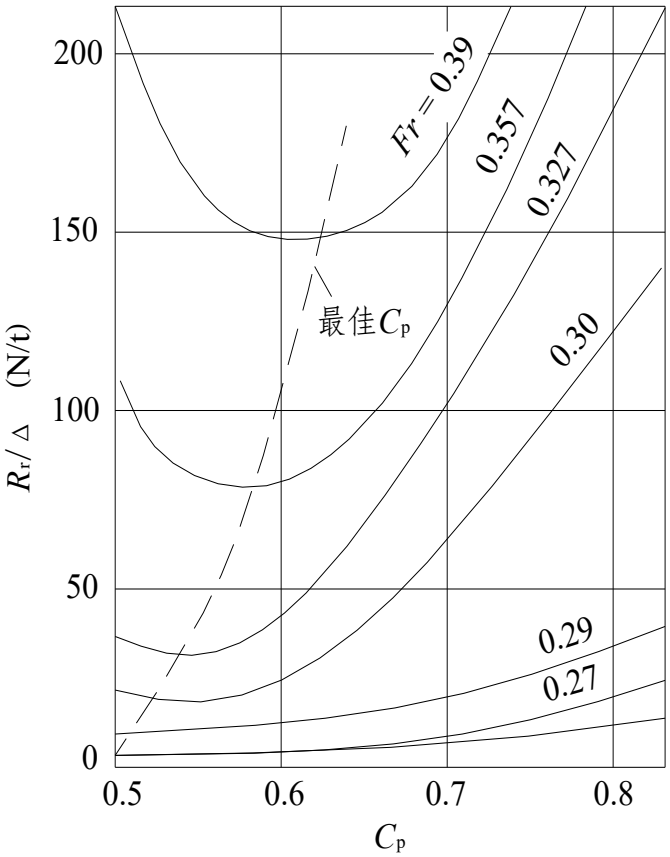


华南理工大学
South China University of Technology

3) 最佳棱形系数曲线

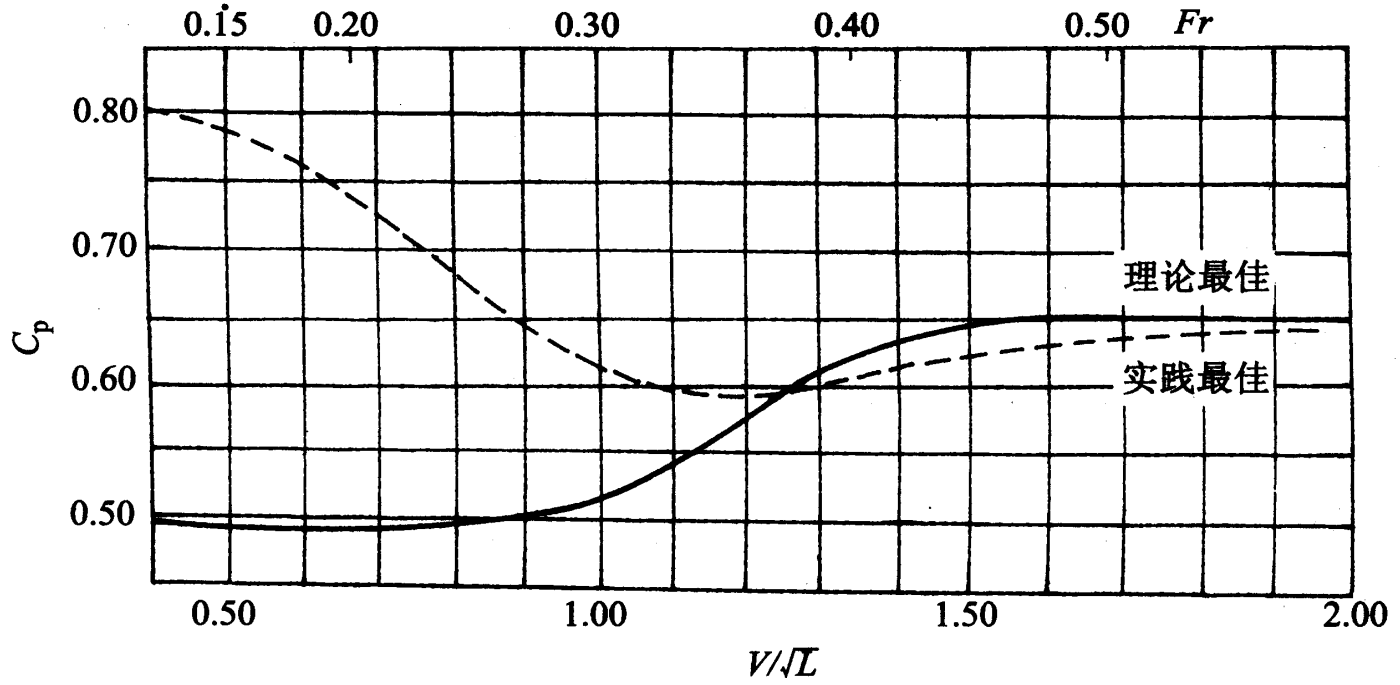
根据泰勒系列资料绘制的不同航速时单位排水量剩余阻力R_r／Δ随C_p变化关系曲线如图。

如果将不同航速下对应R_r／Δ最小值的点连接起来，可以得到理论上的C_p最佳曲线，如图中**虚线**所示。



C_p对R_r/Δ的影响

华南理工大学
South China University of Technology



最佳棱形系数曲线

在实际船舶设计中，棱形系数C_p的选择不仅要考虑船舶**快速性，还要考虑使用性和经济性**。对于低速船，实际棱形系数C_p值比最佳C_p值大，船型丰满；对于高速船，实际C_p值比理论最佳C_p值小，船型瘦削。

华南理工大学
South China University of Technology

4) 经验公式确定棱形系数

1）**楚思德（Troost）公式**

$$\frac{V_S}{L_{bp}} = 1.85 - 1.6C_P$$

该公式是1955年，楚思德基于荷兰船模试验水池20多年里对许多单桨船模试验的结果给出的。

2）**贝克（Baker）公式**

$$C_P = 1.02 - \frac{V_S}{10\Delta^{1/6}}$$

按照贝克公式得到的C_p为**极限值**，其意义表示若棱形系数超过此值或速度大于上述对应关系时，船舶阻力会迅速增大。

3）**直接利用设计资料**

船舶实际棱形系数既可按照前述最佳棱形系数范围曲线选取，也可由下述公式计算：

Fr＜0.24：　　$C_p = 1.015\text{-}1.46\mathbf{Fr}$;

Fr=0.24～0.30：　$C_p = 0.325\mathbf{Fr}^{-1/2}$

华南理工大学 South China University of Technology

二、中横剖面系数C_m对船舶阻力的影响

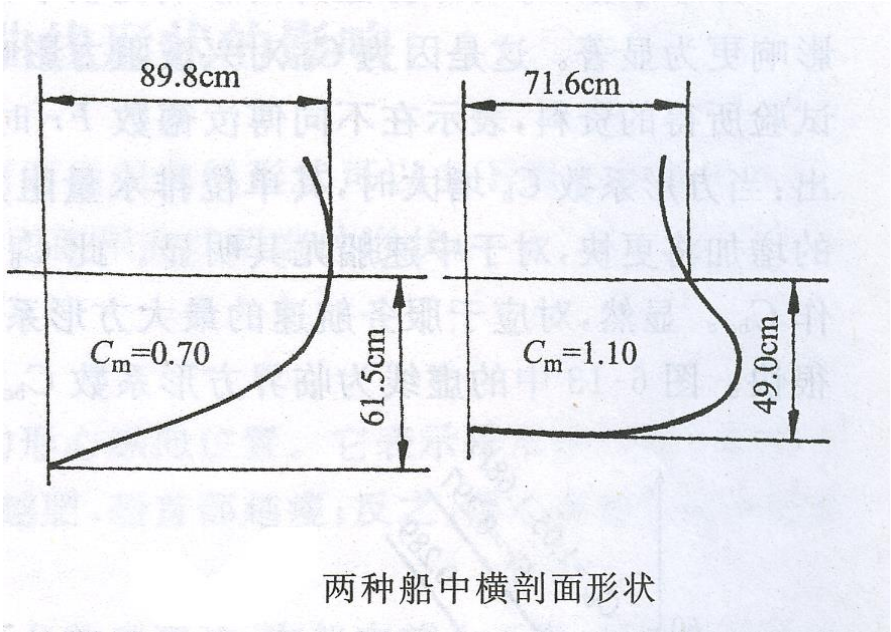
中横剖面系数C_m表征船中横剖面的丰满程度。

1、C_m对阻力影响

根据泰勒实验结果知：C_m在0.70～1.10之间变化，对船舶湿表面积和摩擦阻力影响不大，对剩余阻力影响也不大。

如图，对两种极端横剖面，在航速**Fr**＝0.25～0.35时，实验测得的总阻力差值在2%以内。

因此，通过实验结果认为，**C_m对阻力的影响并不大。**



两种船中横剖面形状

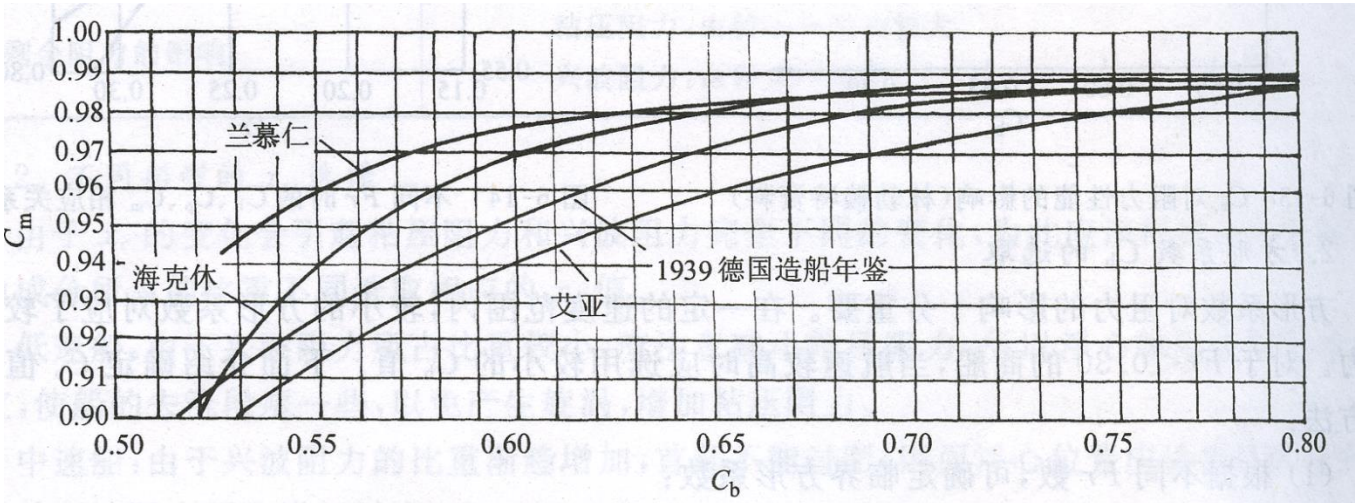
华南理工大学
South China University of Technology

2、C_m值的选取 （取决于C_b）

对于中低速船：C_m取大为好。

C_b一定，C_m大 →C_p小 → 使船首尾较瘦削 → R_w小。

对于高速船： C_m的选取主要**考虑线型的光顺**。一般要求C_m随C_b减小而下降。采用过大的C_m时，型线图的曲率变化很大，不易光顺。高速船在C_b给定时，如能满足线型光顺的要求，C_m的选择应尽量使C_p接近最佳值，以利于阻力性能。



民用船的 C_m 与对应的 C_b 曲线

华南理工大学 South China University of Technology

三、方形系数C_b对船舶阻力的影响

方形系数C_b表征船体水下部分的肥瘦程度。

商船：从经济性考虑，着眼点是装载量，因此Δ、L确定后，即要决定C_b。

高速船：考虑如何减少兴波阻力，故先着眼于C_p。

因此，从实用意义看，方形系数对阻力影响的讨论，主要针对中低速民用船而言。

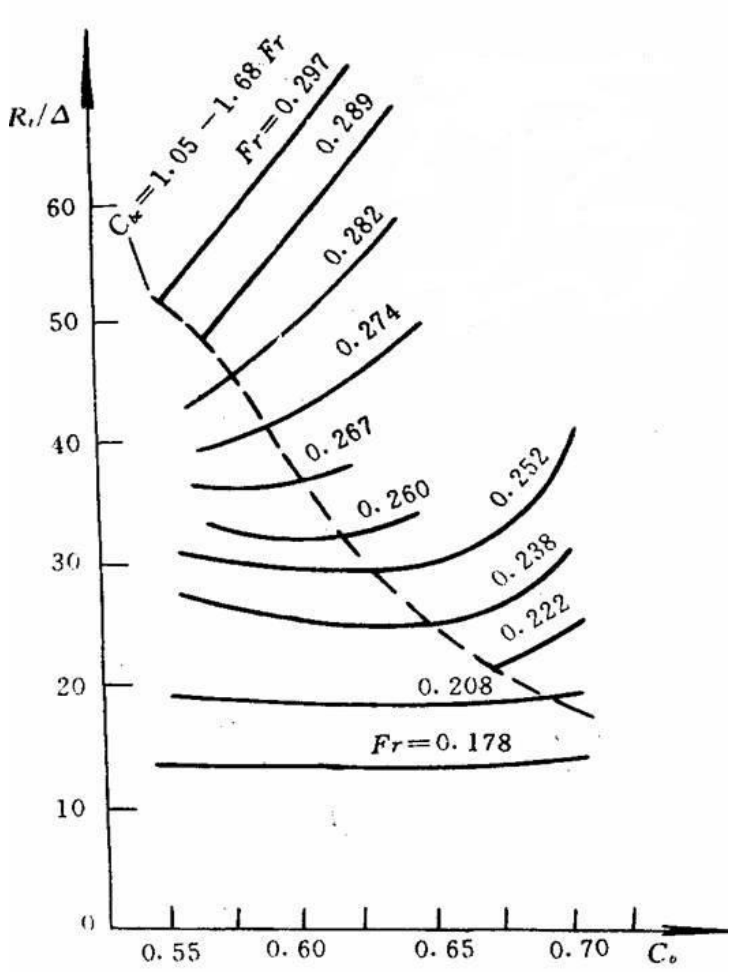
华南理工大学
South China University of Technology

1.方形系数对阻力的影响

由图可见，低速时(**Fr**＜0.208），R_t/Δ随C_b变化甚微；中速时,从某一C_b值开始, R_t/Δ随C_b增加显著。此C_b值称为该**Fr**时的临界方形系数，记为C_{bc}。将R_t/Δ开始发生显著变化的点连接起来，得到**临界方形系数C_{bc}**曲线，如图中虚线所示。

即理论上讲，对应于服务航速的最大方形系数C_b应小于临界方形系数C_{bc}，否则会使船舶阻力增加很快。

（**虚线为临界C_{bc}对Fr的曲线**）



C_b 对阻力性能的影响（林勃赖特资料）

华南理工大学
South China University of Technology

2.方形系数的选取

方形系数***Cb***对船舶阻力的影响十分重要。在一定的速度范围内，较小的方形系数对应了较低的船舶阻力。对于**Fr**＜0.30的商船，当航速较高时应选用较小的***Cb***值。

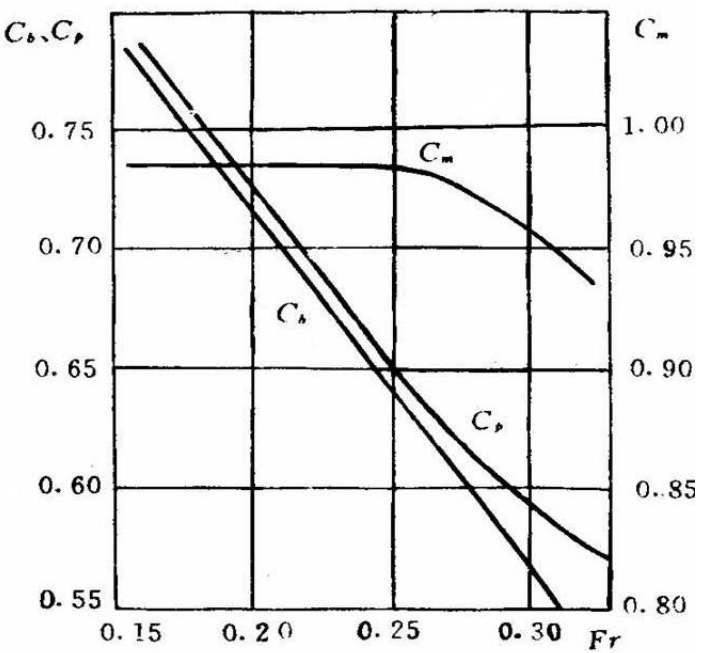
确定C_b的方法

1）根据不同**Fr**数，确定临界方形系数：

C_{bc}＝1.05-1.68**Fr** (对于服务速度）；

C_{bc}＝1.08-1.68**Fr** (对于试航速度）。

2）根据C_p、C_m、 C_b三者关系确定，如右图。



不同 Fr 时的 C_b、C_p、C_m 相应关系

在阻力增加不大的前提下，应尽量取较大的方形系数C_b。

华南理工大学 South China University of Technology

4 横剖面面积曲线形状的影响

$$C_t = f(\frac{\nabla}{L^3}, \frac{B}{T}, C_p, C_m, Fr, 船体形状)$$

横剖面面积曲线两端形状的影响

平行中体的影响

浮心纵向位置的影响

横剖面面积曲线形状的影响

华南理工大学
South China University of Technology

船舶横剖面面积曲线的形状对摩擦阻力的影响较小，但与剩余阻力的关系密切。由兴波阻力与粘压阻力的成因可知，从减小阻力的角度，船舶横剖面面积曲线的曲度不宜突变，前后肩不宜显著隆起。

如果船的排水量、长度以及棱形系数一定，船舶横剖面面积曲线形状对阻力的影响可以用：

①浮心纵向位置

②平行中体长度和位置

③横剖面面积曲线两端形状

对阻力的影响来表征。

华南理工大学
South China University of Technology

一、浮心纵向位置 X_c 的影响

浮心纵向位置：即船体排水体积形心的纵向位置。

在棱形系数C_p一定的条件下，它表示排水体积对于船中分布不对称的程度。

其与船舶横剖面面积曲线下的面积形心纵向位置相同。

浮心离船舯越后，表示船尾部越肥，船首部越瘦；反之，浮心离船舯越前，则表示尾部越瘦，首部越肥。

华南理工大学 South China University of Technology

1.浮心纵向位置X_c对阻力的影响

X_c对船体湿表面积影响不大，因此对摩擦阻力影响很小，但是对剩余阻力影响较大。

浮心位置变化	X_c：由船中之前→船中之后
船体形状改变	船型：首部肥、尾部瘦→首部瘦、尾部肥
剩余阻力的影响	粘压阻力：由较小→变为较大 兴波阻力：由较大→减小

浮心纵向位置实质上反映的是船舶前、后体形状的相应变化。而**船前体形状对船舶兴波阻力**影响较大，**后体形状对粘压阻力**的影响较大，因而浮心纵向位置对船舶剩余阻力的影响较大。

华南理工大学 South China University of Technology

2.不同船型的X_c选取

由于X_c的变化会引起粘压阻力和兴波阻力完全不同的变化，因此应该根据各类船舶的各阻力成分所占的比重不同选取相应的X_c值。

低速船：R_w 小、R_{pv}大 —X_c在舯前为宜—去流段瘦长，避免产生旋涡增加R_{pv}

中速船：R_w增加 —首部不宜过肥 — X_c适当移向中部—使R_w不致过大

高速船：C_b小，船型瘦削—R_{pv} 小 、R_w大 — X_c在舯后为宜—首部尖瘦，减小R_w

华南理工大学
South China University of Technology

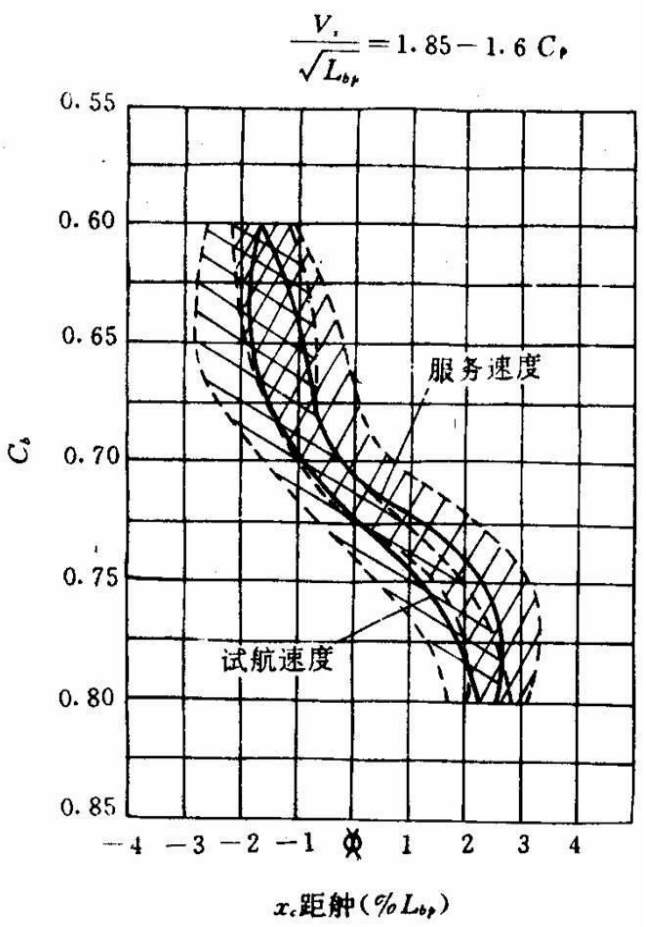
3.最佳浮心纵向位置曲线

对应于某给定速度的船舶，存在着对应最小阻力的最佳浮心纵向位置。一般根据航速来确定最佳棱形系数C_p，因此，最佳浮心纵向位置曲线通常表示为随棱形系数C_p变化的关系曲线。

X_c在最佳位置偏移0.5%L_{bp}，阻力增加不超过1%

对于**Fr** ＞ 0.45的高速船，X_c对阻力影响敏感，一般在舯后2~4% L_{bp}

在进行船舶设计时，浮心纵向位置的选择除了要考虑阻力性能外，还要顾及对推进方面的影响，以及船舶在各种装载情况下的重心位置。



系列 60 的最佳浮心位置

华南理工大学 South China University of Technology

二、平行中体长度和位置的影响

平行中体：指在船体中部附近与船中横剖面完全相同的一段船体。带有平行中体的船体沿船长大致分为三部分：进流段、平行中体和去流段。

采用平行中体的好处：

- 可以简化施工，降低造价；
- 可以增加舱容，提高载重能力。进而提高船舶的经济性和实用性；
- 有时对阻力性能产生有利影响。



华南理工大学
South China University of Technology

1、平行中体对阻力影响

排水体积 ▽一定时，适当设置平行中体，会有两面性：

有利一面：首尾尖瘦 — 减小R_w、R_{pv}

不利一面：形成“前肩”、“后肩”— 产生肩波、旋涡

对中低速船：

设平行中体 ，但不宜过长，对阻力有利

对高速船：

肩波、旋涡严重—不宜设平行中体

随着航速的增高，设置平行中体对阻力性能的有利因素将下降。

华南理工大学
South China University of Technology

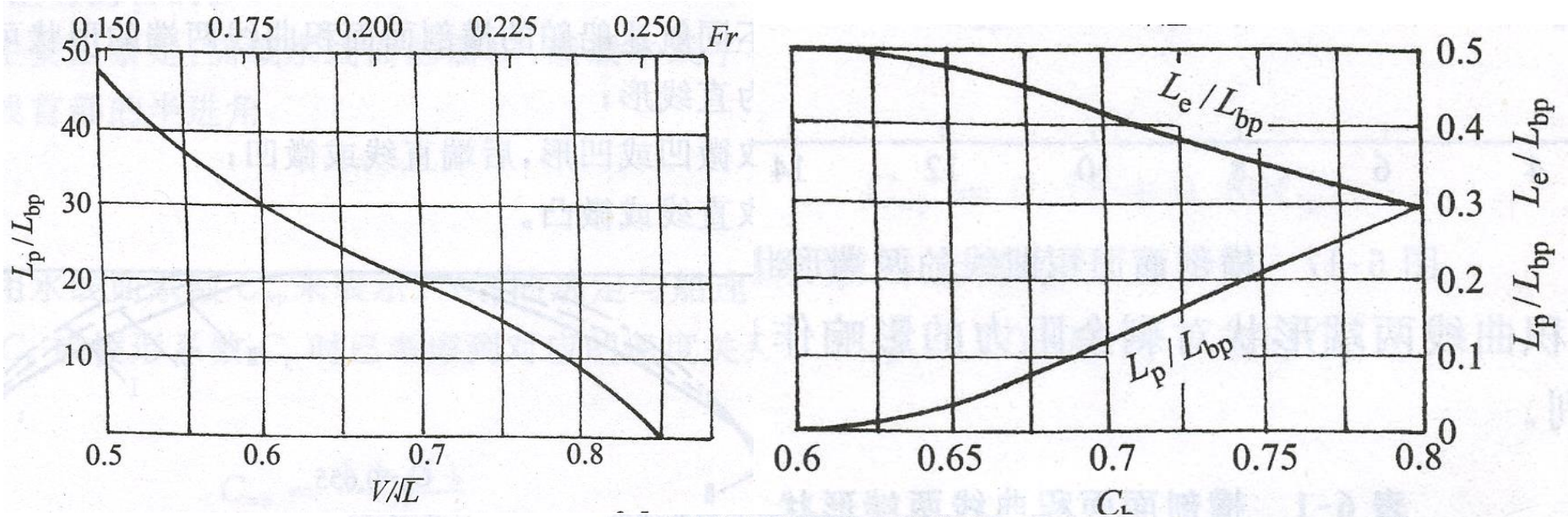
2、确定平行中体长度和位置

低速船：为减小R_{pv}，要保证去流段有足够长度，故平行中体的中心宜在船舯之前，进流段较短。

随着航速增大，R_w增加，应避免前肩波系与船首波系发生不良干扰，要保证进流段的长度，平行中体中心将后移接近船中央处。

结 论：最佳平行中体长度主要与航速有关

华南理工大学
South China University of Technology



平行中体长度和位置的确定

(a) L_p/L_{bp}与$\frac{V}{\sqrt{L}}$的关系；(b) 系列 60 的 L_p 和 L_e 值

Fr>0.253, 不宜设置平行中体

进流段长度 ⟹ 平行中体位置

华南理工大学
South China University of Technology

也可以直接根据最短进流段和最短去流段要求而确定：

避免前肩波系干扰的最短进流段要求为：

$$L_e = 0.257V_s^2 \qquad (\frac{L_e}{L})_{\min} = 9.474Fr^2$$

避免严重旋涡的最短去流段要求为：

$$L_r = 4.08\sqrt{A_m} \qquad (\frac{L_r}{L})_{\min} = 4.08\frac{B}{L}\sqrt{C_m\frac{T}{B}}$$

可见，最佳平行中体长度和位置除了与航速有关外，还与船舶的L/B、B/T、C_m等有一定的关系。

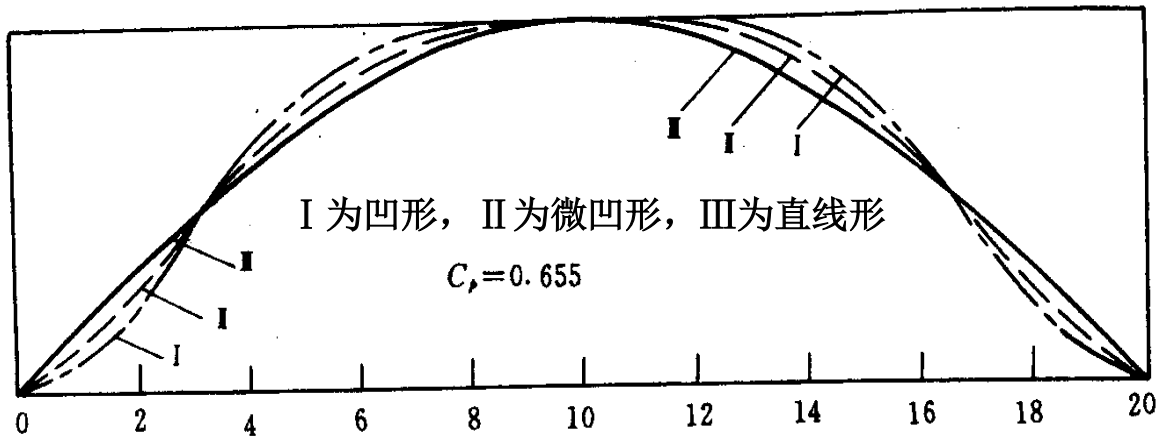
华南理工大学 South China University of Technology

三、横剖面面积曲线两端形状的影响

在排水体积、棱形系数、平行中体长度、浮心纵向位置等确定以后，船舶的横剖面面积曲线形状亦基本确定，但其两端形状还可有所变化。通常有三种形状, 如图。

选择依据：首端—取决于不同速度时R_w大小及波峰水压力的水平分力大小

尾端—减小R_{pv}为考虑出发点，不宜使后体压力梯度过大



不同航速船舶的横剖面面积曲线两端的形状可概括为：

低速船：两端宜为直线形

中速船：首 — 宜微凹或凹

尾 — 宜直线或微凹

高速船：宜直线或微凸

华南理工大学 South China University of Technology

贝克对于横剖面面积曲线两端形状对R_r的影响研究结论如下：

序号	C_p	Fr	横剖面面积曲线两端形状	情况说明
1	>0.785		两端均用直线形	前肩曲度尽量小
2	0.75~0.78	<0.182 >0.182	两端均用直线形 前端微凹，后端直线形	据爱末生试验 C_p=0.7~0.78时前肩曲度尽量小，船首下部切去使船首倾斜，对阻力有利
3	0.70~0.75	<0.238 >0.238	前端微凹，后端直线形 前后端均微凹	当Fr>0.209时，后端形状稍变对阻力影响不大
4	0.65~0.70	0.164~0.253 >0.268	首前端以凹形为佳，决不能用直线形，后端为直线或微凹 前端为直线，后端直线或微凹均可	
5	<0.65	0.224~0.253 0.283~0.313 =0.358 =0.537	前后端均宜用微凹 两端均应用直线形 前端为直线，后端微凸 前后端均微凸	此时后端对阻力影响较微

华南理工大学
South China University of Technology

5 满载水线面形状的影响

当设计船体线型时，在横剖面面积曲线确定后，最重要的问题之一就是确定满载水线的形状。

由于满载水线面的兴波影响大于其它水线面，因而有了合适的横剖面面积曲线，还需有适宜的满载水线，才能达到降低船舶阻力的目的。

表征满载水线形状的主要因素：

- 满载水线面的面积
- 满载水线平行中段的长度
- 满载水线艏艉端的形状
- 满载水线艏端半进角

华南理工大学
South China University of Technology

一、满载水线面面积对阻力的影响

满载水线面面积可以用水线面系数C_{wp}表示。C_{wp}的选定与船速有关，**速度大者，C_{wp}应小**。由于在选取方形系数C_b或棱形系数C_p时已考虑到对应的速度关系，故C_{wp}可以用C_b或C_p的关系来表示：

1） $C_{wp}=(1+2C_b)/3$；

2）系列60船型的近似公式：

$$C_{wp}=0.18+0.86\,C_p$$

3）根据船模试验统计资料，水线面系数C_{wp}的选择范围为：$C_{wp}=(0.97\sim1.01)\,C_p$

华南理工大学 South China University of Technology

二、满载水线平行中段长度对阻力的影响

满载水线面面积确定后，应考虑满载水线平行中段长度。实际上，各个水线面都可以有平行中段，但自满载水线面至龙骨基线的各水线面的平行中段长度逐渐减小。

通常中低速船的满载水线平行中段长度约为平行中体长度L_p的1.5～2.0倍。



三、满载水线艏艉端形状对船舶阻力的影响

满载水线两端形状共三种：凸形、直线形、凹形。

1、满载水线艏端形状对兴波阻力影响较大，其形状选择与船速密切相关：

（1）**低速**：可呈凸形，其凸出的程度随航速提高而减小，直至**Fr＝0.20**时，可呈直线形；

（2）**中速**：呈凹形，可以减小波浪高压区沿水平方向的分力，从而减小兴波阻力。

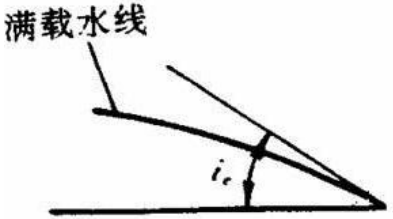
（3）**高速**：可呈直线形或微凸形，随着航速的提高，波浪高压区后移，水线前端宜采用直线或微凸形，有利于减小水压力的水平分力。

2、满载水线艉端形状主要影响粘压阻力。

其重要性较之首端形状要小。一般为了保证线型光顺，不易发生旋涡，减小粘压阻力，常采用直线形。

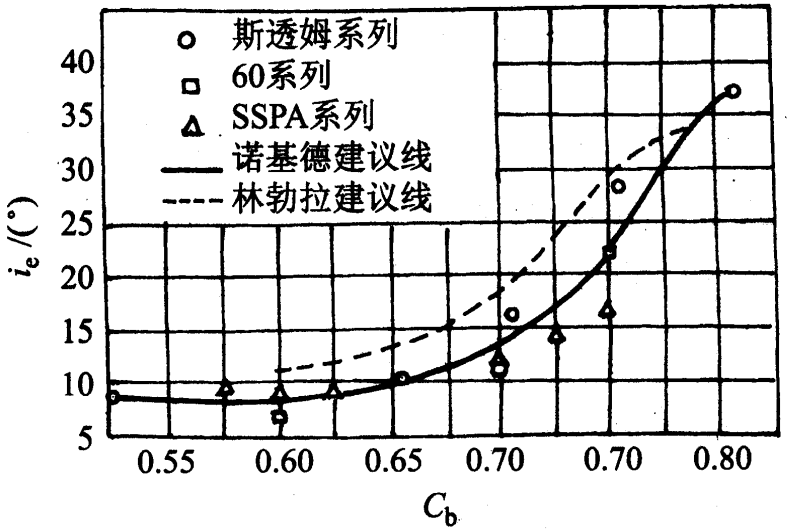
华南理工大学 South China University of Technology

四、满载水线艏端半进角



水线半进角i_e：水线在船艏水平面上与船纵中剖面的夹角（不计艏柱具体形状），如右图。

一般来说，i_e的大小随航速的增加而减小。



半进角 i_e 与方形系数 C_b 的关系

航速不同的船的水线半进角：

- 低速船约为30°，甚至可达40°左右；
- 中速船约为15°～25 °；
- 高速船约为 6°～12 ° 。

华南理工大学 South China University of Technology

该表为贝克根据船模试验结果所建议的中低速船的满载水线首端形状和半进角i_e值。

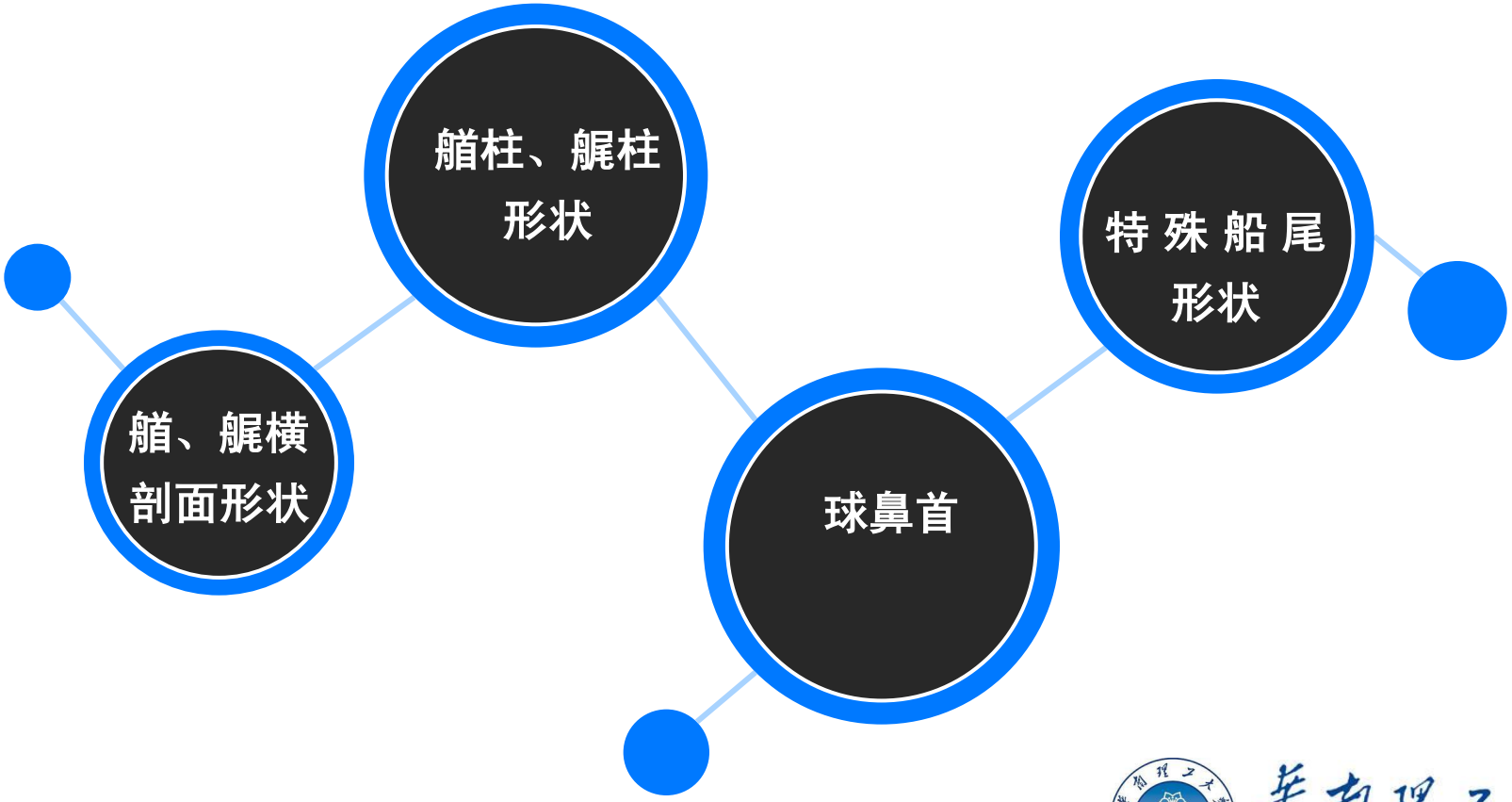
表 6 2　满载水线首端形状和半进角

序号	C_p	Fr	满载水线首端形状	半进角 i_e
1	>0.78		首端形状可较丰满，或可稍凸起	30°左右
2	0.75～0.78	<0.182	首端形状可较丰满，或可稍凸起	26°～28°
3	0.70～0.75	$v_s=1.974\sqrt{L_c}$	可用直线或微凹	12°左右
		$v_s>1.974\sqrt{L_c}$	可用直线或微凹	较小
		$v_s<1.974\sqrt{L_c}$	首端形状可较丰满，或为直线	不宜过小
4	0.65～0.70	0.194～0.238	首端可用直线或用较小的半进角而成微凹	12°～18°
5	0.60～0.65	>0.283	首端尽可能尖削呈凹形	尽可能小

华南理工大学
South China University of Technology

6 艏艉端形状的影响

$$C_t = f(\frac{\nabla}{L^3}, \frac{B}{T}, C_p, C_m, Fr, \text{船体形状})$$



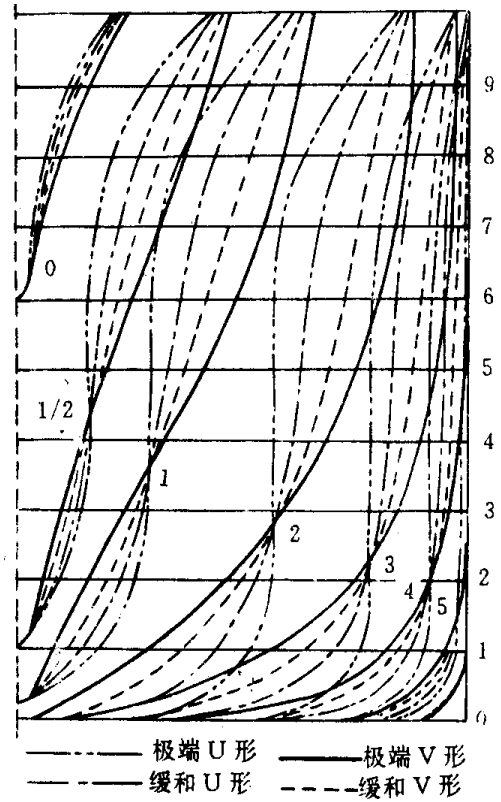
华南理工大学
South China University of Technology

一、艏、艉横剖面形状

船的横剖面形状，特别是首尾附近的横剖面形状不仅对船的阻力性能有影响，而且对船的推进性能和耐波性能有一定影响，所以在选择横剖面形状时要综合考虑。

1. 横剖面形状的形式

横剖面形状通常有两种形式，即*U*形和*V*形。按程度不同又可分为极端*U*形、极端*V*形和缓和*U*形、缓和*V*形（又称中*U*形和中*V*形），如图所示。



*U*形特点：

面积沿垂向分布比较均匀，满载水线处较窄与凹形水线相配合

*V*形特点：

面积集中在上部，满载水线处较宽,与凸形或直线形水线相配合

华南理工大学 South China University of Technology

2.横剖面形状对阻力的影响及选择

横剖面形状的变化对摩擦阻力影响较小，对剩余阻力的影响较大，对于不同速度的船舶，应兼顾阻力、推进和耐波等方面的要求来选择首尾横剖面形状。

1）艏部横剖面形状对阻力的影响

低速：取*V*形较佳，其湿面积较U形略小，可减小R_f；*V*形可使水下部分较瘦，易于使水流沿纵剖线方向流动，减少舭部旋涡，对阻力性能有利。

中高速：取U形为佳，可使较多排水体积分布于满载水线以下，首部满载水线尖瘦，可减小R_w。

高速快艇：避免采用极端U形，否则舭部曲率半径过小易产生旋涡，对阻力性能不利。更高速快艇宜取*V*形，主要考虑提高水动力特性和改善耐波性。

华南理工大学
South China University of Technology

2）艉部横剖面形状对阻力的影响

阻力角度：

*V*形— S面积略小 — R_f 略小；

与较宽的满载水线相配合—水下部分较瘦削—纵剖线平顺 — 不易发生分离；

水线宽 — 便于双桨布置；

推进角度：

*U*形 — 伴流均匀—螺旋桨效率高、船体振动小

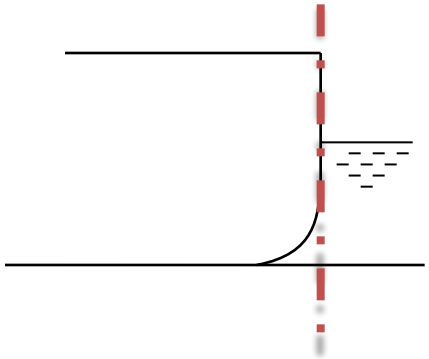
在实船设计中有时将尾部*V*形横剖面做适当改进，使之在接近推进器处逐渐改为U形，以兼顾两种剖面形状的优点。

华南理工大学
South China University of Technology

二、船艏柱、艉柱形状

1.船艏柱形状

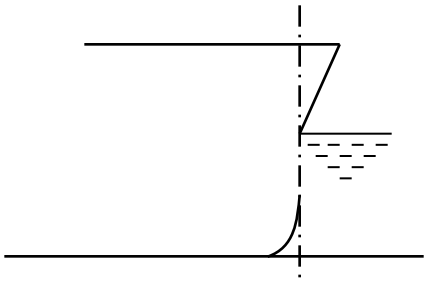
船艏柱：船舶最前端部分，由龙骨线到船体的顶部。



垂直式船艏：是把整个首柱做成垂直形式。当航行过程中产生尾倾时，首柱将向后倾倒，目前一般不采用这种首柱形式。



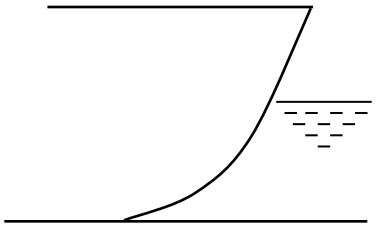
华南理工大学
South China University of Technology



斜直式船艏：这种船艏可使满载水线以上的艏部变瘦削，前肩缓和，有利于减小船舶在波浪中的纵摇和升沉运动。同时还可延长甲板长度、增加甲板面积，有利于甲板机械布置，同时也比较美观，目前采用这种首柱形式的船舶较多。



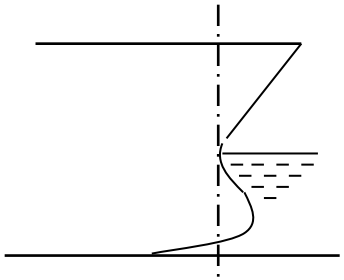
华南理工大学
South China University of Technology



倾斜式船艏：整个艏柱为前倾形式。这种艏柱形式可使满载水线以上部分的水线较瘦削，同样具有减小船舶纵摇运动的作用，还可降低波浪中的阻力增值，增加甲板面积，改善淹湿性和美观等优点。但是需注意：若满载水线以下切去过多，缩短了水下部分的水线长度，则对阻力性能不利。



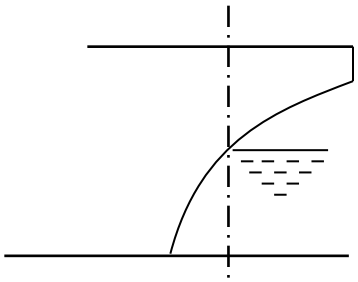
华南理工大学
South China University of Technology



球鼻船艏：满载水线以下的船艏处加装一个球形突出体。在不同船舶上安装球鼻艏可以减小兴波阻力、破波阻力和舭涡阻力。对民船而言，安装球鼻船艏的目的是减小兴波阻力，实践表明，设计优良的球鼻艏最多可降阻20%；而对于水面舰船而言安装球鼻艏的主要目的是为安装声纳提供空间，以保证声纳的工作环境。



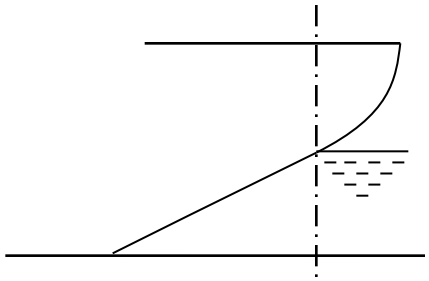




飞剪式船艏：艏柱侧形呈凹形曲线向前伸出在设计水线之前，具有一较大的悬伸部，大大增加船首甲板面积。



华南理工大学
South China University of Technology



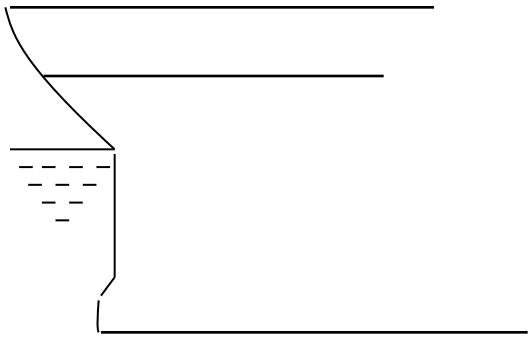
破冰型船艏：设计水线以下的首柱侧形与基线之间夹角小于45度，用于破冰船。



華南理工大學
South China University of Technology

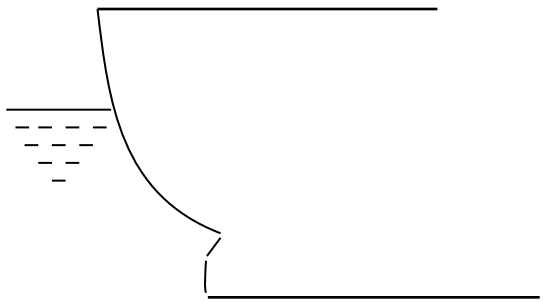
二、船艏柱、艉柱形状

2.船艉柱形状



椭圆形船艉：特点是艉柱取垂直形式，因其艉部甲板呈椭圆形而得名。以往民用船都采用这种结构简单的船艉形式，目前已被巡洋舰型艉代替。

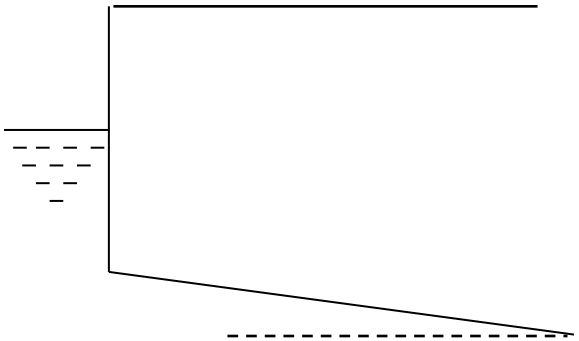




巡洋舰型船艉：特点是将满载水线附近的尾部水线长度做适当延长。这相当于增加了水线长度，有利于减小兴波阻力和粘压阻力。船尾甲板面积增加，有利于增加初稳性，便于布置和保护舵机等，同时对螺旋桨和舵的起到保护作用，可提高推进效率。船尾舱容增加，可减小艉倾和艉部拍击现象。缺点是构造较为复杂且尾垂线处的船体应力将加大，故目前大都将满载水线以上的船尾部作成斜直平面，便于施工。



华南理工大学
South China University of Technology



方艉：特点是将船艉端作成刀切似的平直状，其各水线面的尾部形状接近于方形，或呈弧形方角。对于常规船型而言，大多船舶采用巡洋舰型船尾，水面舰船大多采用巡洋舰艉和方艉。**Fr＞0.4**的高速水面舰船多采用方尾，特别是快艇和驱逐舰均采用方尾，故方尾也称为驱逐舰式船尾。



华南理工大学
South China University of Technology

三、球鼻船艏对阻力的影响

试验结果表明：对于高速、中速、低速三类运输船舶，如果安装适当的球鼻首都能起到减小船体阻力的作用。

1、球鼻首减阻机理

（1）减小兴波阻力

若大小和位置选择适当，则在一定速度范围内，球鼻艏产生的波系与船体波系可发生有利干扰，合成波高降低，兴波阻力减小

（2）减小舭涡阻力

对于Fr=0.2以下的肥大型船，加装球鼻艏后，使水流径向对称流动，减少首部舭涡，降低阻力和减小埋首。

（3）减小破波阻力

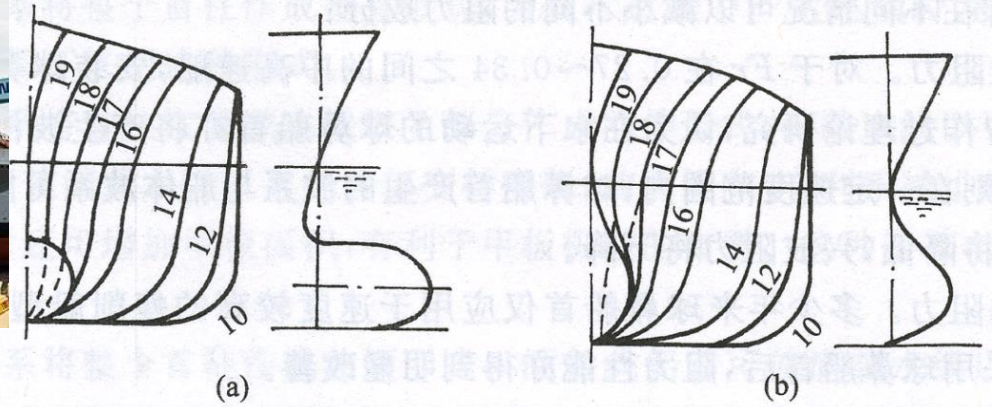
对于低速肥大型船，加装球鼻艏，可使首部船体前伸，该处横剖面面积曲线的坡度和艏部水线进角减小，改善船首柱压力分布，减小了破波阻力。

华南理工大学
South China University of Technology

2、球鼻首的形式







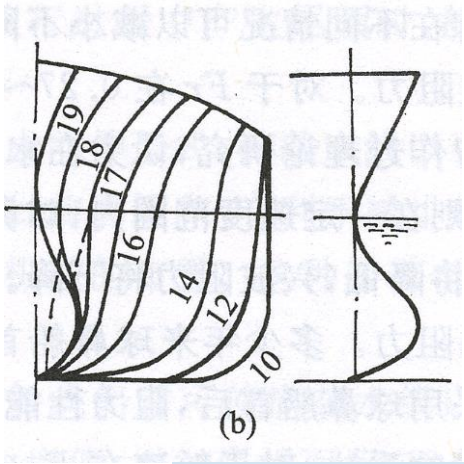
球首形状

(a) 撞角形；(b) 水滴形；(c) 梨形；(d) S-V 形





华南理工大学
South China University of Technology



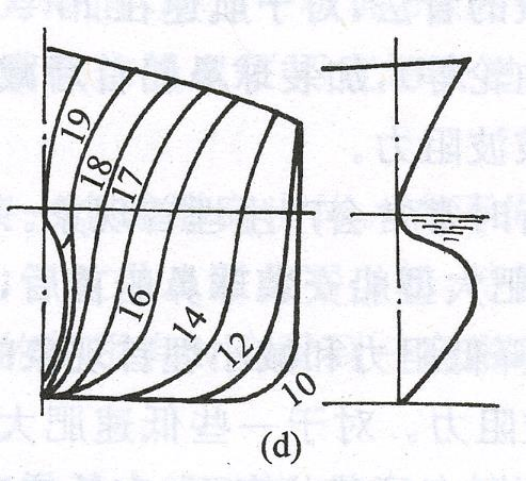
水滴型球鼻首：出现最早，应用较广。其横剖面形状是上部小、下部大，成水滴形，故而得名。在船型较瘦、航速较高的船上常采用此型球鼻首。



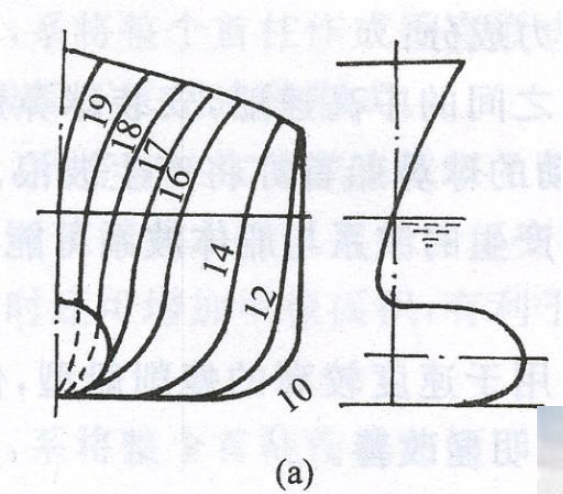
South China University of Technology



***S*－*V*型球鼻首**：球鼻的纵剖面呈*S*形，横剖面呈*V*形，故而得名。适用性较广，不但适用于高速和中低速船，而且在满载和压载状态下一般都能起到减阻作用。



华南理工大学
South China University of Technology



撞角型球鼻首：其前端较尖，呈尖角状，其横剖面形状大致呈椭圆形。一般说来，低速肥大型船若采用此种球鼻船首，在满载和压载状态下航行可望获得良好的减阻效果。



此外，还有梨型、圆柱体型以及椭球体型球鼻等。其特点是球鼻前端呈球面，而球鼻本身的形状是圆柱体或椭球体。

3、球鼻的几何参数

球鼻的几何特征形状可以用下面几个参数表示：

(1) 相对突出长度 l_b/L_{bp}。这里 l_b 是球鼻最前端至首柱的距离，L_{bp} 是船的两柱间长。

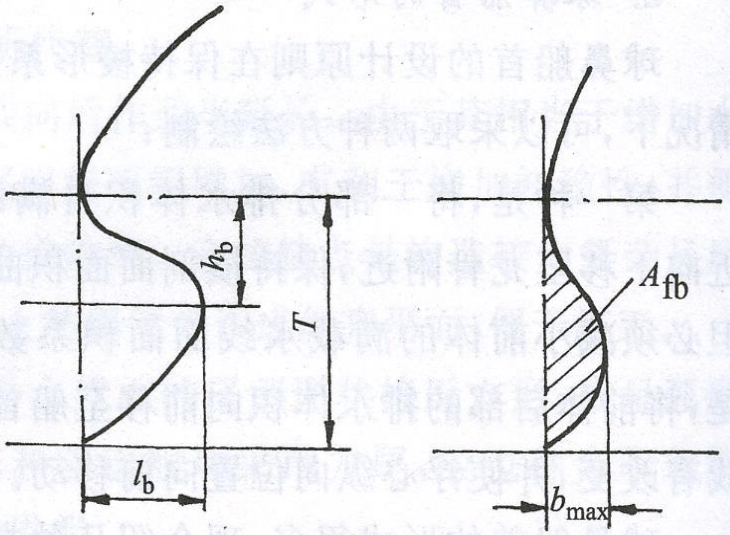
(2) 相对浸深 h_b/T。这里 h_b 是球鼻中心或球鼻最前点或者最大宽度处距静水面的距离，T 为船的吃水。

(3) 最大宽度比 b_{max}/B。b_{max} 是首柱处球鼻横剖面的最大宽度，B 为船宽。

(4) 球鼻面积比 A_{fb}/A_m。这里 A_{fb} 是首柱处球鼻横剖面面积，A_m 是船中横剖面的面积。

(5) 相对排水体积比 δ/∇。这里 δ 是球鼻所增加的排水体积，∇ 为船体排水体积。

上述参数可由图 6-24 说明之。这些参数基本上表示了球鼻的几何形状特征。研究球鼻船首对船体阻力的影响，主要是研究这些几何参数变化对阻力的影响。



球鼻船首的几何参数

华南理工大学
South China University of Technology

4、球鼻艏的效果与几何参数的选择

球鼻形状及参数等和船体之间必须有一个恰当的配合。所以，在具体设计时通常按照下述进行：一方面根据母型船的船型特征和航速合理选择球鼻的几何参数；另一方面对具体产品可设计几种方案，通过船模试验来进行选择和做出进一步改进。

1）选用球鼻艏的“界限速度”

对于给定方形系数C_b的船舶，采用球鼻首减阻的效果直接与航速有关。一般来说，只有当航速大于某一值时，球鼻首才会显示其减阻作用，该航速称为**“界限速度”**。中、低速船所对应的“界限速度”的佛汝德数［Fr］$_b$，可用下述公式估算：

中速货船：　　［Fr］$_b$=0.644-0.641 C_b；

低速肥大型船：［Fr］$_b$=0.582-0.493 C_b

一般先判定设计航速时的Fr数是否大于［Fr］$_b$，再决定是否选用球鼻型船首。

华南理工大学 South China University of Technology

2）确定球鼻的几何参数范围

三种货船采用球鼻船首的参数

球首参数 \ 船型	低速丰满船（$C_b \geqslant 0.80, Fr \leqslant 0.22$）	中速货船（$C_b = 0.67$，$Fr = 0.22 \sim 0.26$）	高速货船（$C_b = 0.55 \sim 0.58$，$Fr = 0.27 \sim 0.38$）
δ/∇	$= 0.002 \sim 0.005$	< 0.014	
	设计航速超过界限速度越大，在使用允许情况下选用大些的 δ/∇ 值有利。对尺度较小的低速丰满船，取 δ/∇ 值小些好，反之应取大些		
A_{fb}/A_m	$= 0.15 \sim 0.12$	$\leqslant 0.11$	$= 0.06 \sim 0.09$
	此项与 δ/∇ 有密切关系。对中、高速船，较大的 A_{fb}/A_m 值在速度较高时阻力收益大，但在压载状态时将引起阻力恶化		
l_p	圆柱形球首：球首中心应在首柱前 $(1.0 \sim 1.5)\%L$；S-V 形和水滴形：$l_b/b_{max} = 1.0 \sim 1.4$	$= (3 \sim 3.5)\%L$（L——船长）	$= (2.5 \sim 5)\%L$
h_b/T	水滴形 $= 0.70 \sim 0.65$ S-V 形 $= 0.55 \sim 0.65$	S-V 形 $= 0.40 \sim 0.50$	水滴形 $= 0.75$ S-V 形 $= 0.35 \sim 0.40$ 圆柱形 $= 0.65 \sim 0.70$
	此项与球首形式有关。过大的浸深在低速时效果不明显		

South China University of Technology

四、特殊船尾形状对阻力的影响

1、方尾

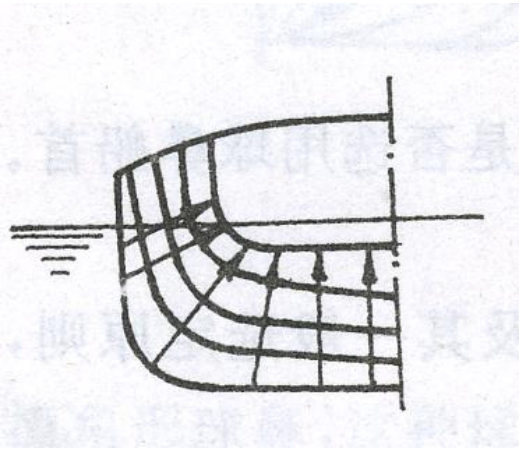
方尾几乎是水面高速舰艇普遍采取的船尾形式。

方尾的优点：

1）船尾部的纵剖线坡度缓和近于直线，可使水流大致沿纵剖线方向流动，减少高速水流的扭转和弯曲程度，进而减少能量损失，改善阻力性能；

2）尾部容积大，可减小船舶航行时的尾倾；





华南理工大学
South China University of Technology

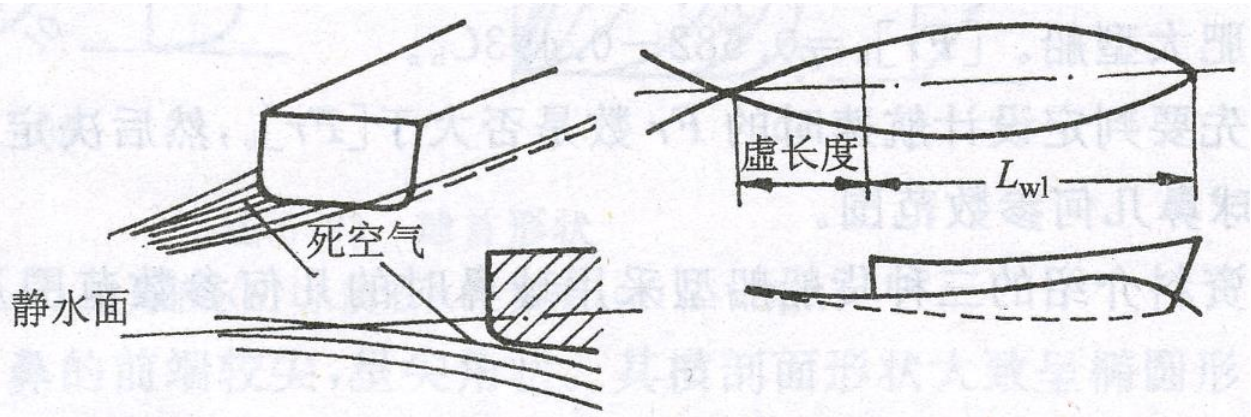
3）尾部水线丰满，可使船的水线面系数增大，有利于提高船舶横稳性；

4）尾部水线较宽，可更有效地遮盖螺旋桨；

5）尾部甲板面积大，有利于舵机、深水炸弹、水雷的布置等；

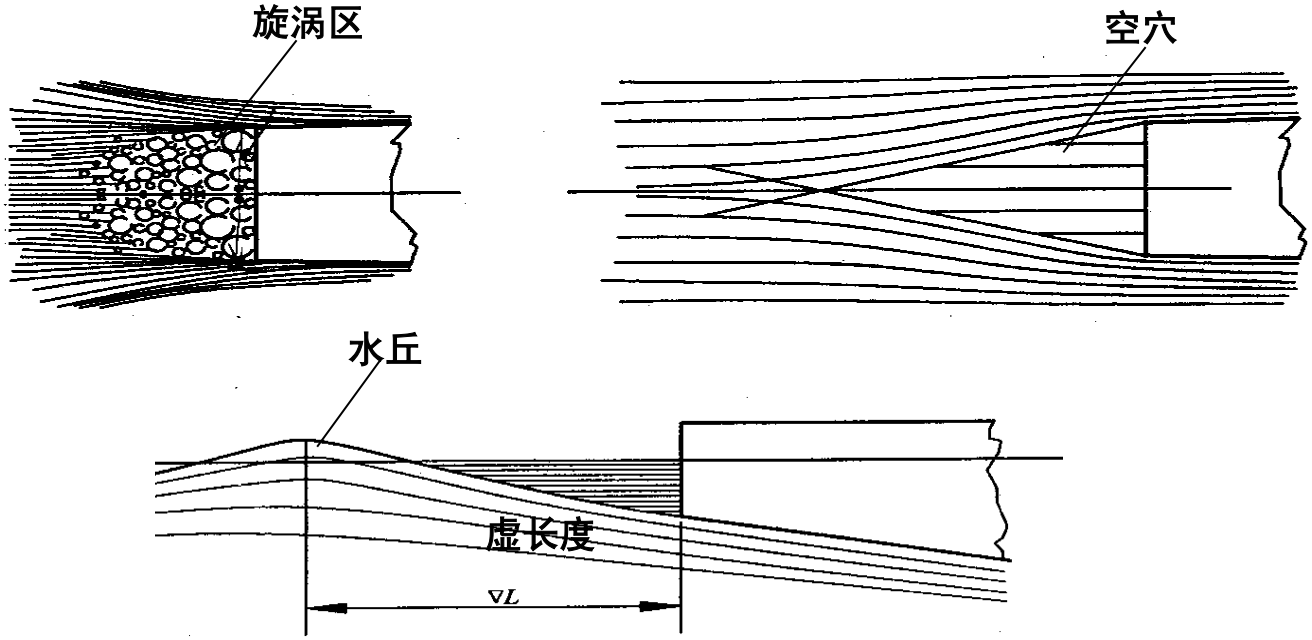
6）高速水流沿着方尾边缘一直延伸到尾后相当距离处，其作用相当于增加了船体的有效长度（虚长度作用），从而有利于减小剩余阻力；

7）此外，方尾船型还具有结构简单、回转性好等特点。



华南理工大学
South China University of Technology

低速时，方尾船的尾部水流不能沿着船底和两侧向后迅速脱离船体，因此在尾后形成大量的旋涡。



华南理工大学
South China University of Technology

当**Fr>0.45**的高速时，船尾部的水流具有足够的动能以克服粘性的影响迅速脱离船尾部。尾部的水流发生“突离”时，方尾后部不再出现旋涡，船侧和尾底的水流在船后的某个位置交汇，形成鸡尾状的水丘。在水丘和尾封板之间形成“空穴”。尾部水流的空穴长度称为“虚长度”。相当于在船体湿表面积不增加的情况下增加了设计水线长，对船舶阻力而言相当于在摩擦阻力不增大的前提下，减小了剩余阻力。

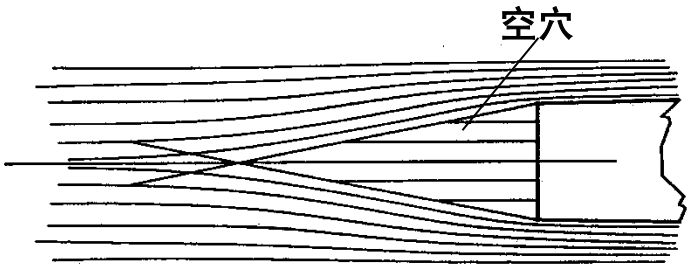


图 2－18　高速时的方尾尾流

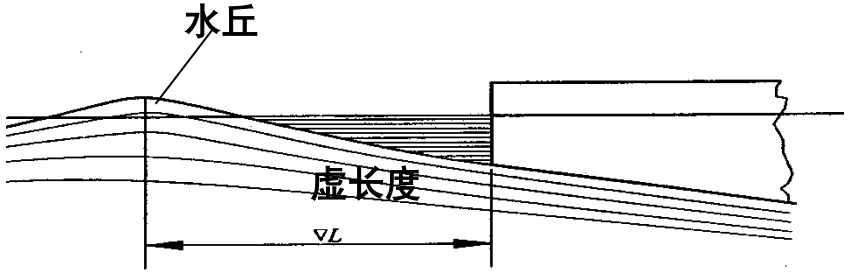


图 2－19　方尾船的虚长度

华南理工大学
South China University of Technology

方尾可以用尾板相对面积和相对宽度等参数来表示。

尾板相对面积A_t/A_m，是指尾封板处横剖面面积与船中横剖面面积之比。

相对宽度B_t/B_m，是指尾封板处设计水线宽与设计水线最大宽度之比。试验结果表明，该参数对船舶阻力性能的影响比A_t/A_m更敏感。其选择范围是：B_t/B_m=0.60~0.90，并且随着Fr增大而取较大者。

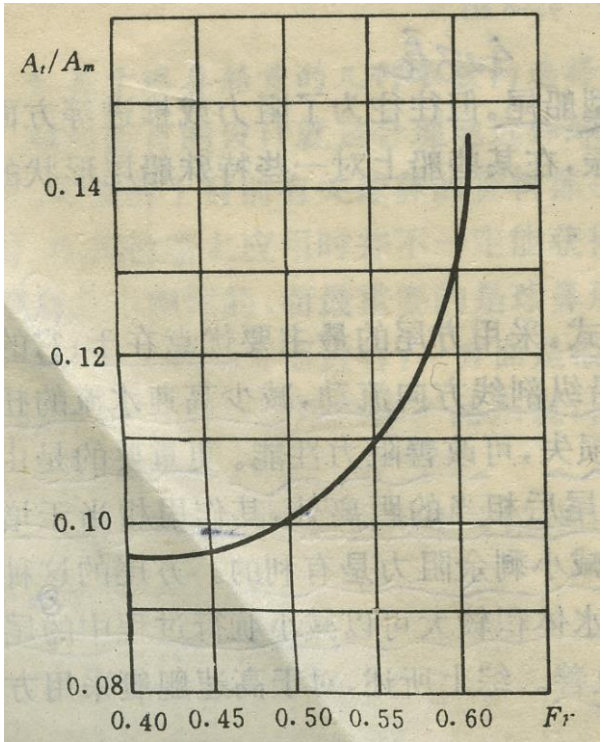


图 8-30　方尾尾板相对面积的选取

华南理工大学
South China University of Technology

2、球鼻型船尾

瑞典船模试验池将尾部分别设计成*V*型、*U*型和球尾形，如右图所示。

研究表明：船体尾部形状除与阻力性能有关外，更大程度与推进性能关系密切。

试验结果表明：*U*形尾的阻力较球形尾阻力约高**5%**，较*V*形尾高**7%**。

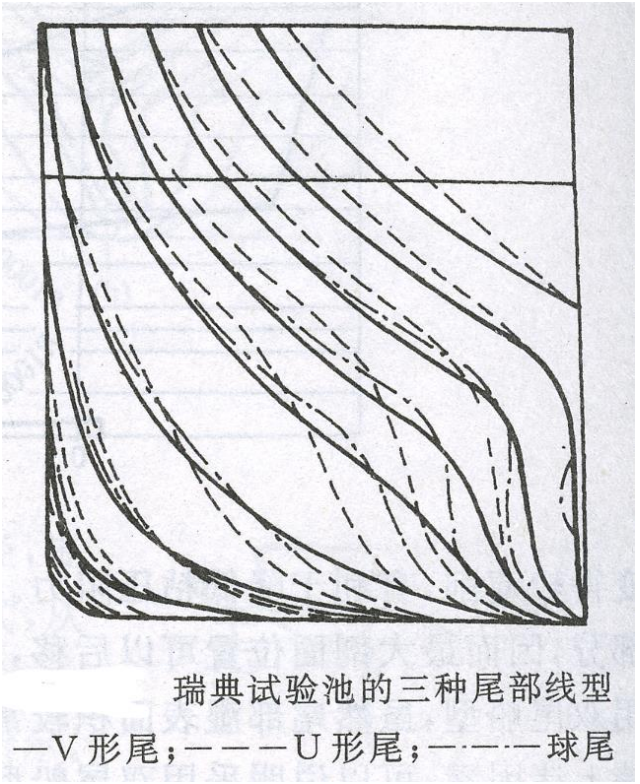
原因：*U*形尾部存在较严重的艉涡，球尾艉涡明显减弱，而*V*形尾部几乎无艉涡存在。

使用同样螺旋桨进行模型自航试验结果表明，在相同航速（V_s**=16kn**）时，球尾所需功率最低，较*V*形低**4%**。*U*型尾所需功率最高，较*V*形高**3%**。

同一桨模置于三种尾部的空泡性能试验结果证明：桨在*V*形尾后空泡情况最差，脉动压力幅值也较高。

结论：*V*形尾阻力性能最佳，但推进性能较差，伴流分布最不均匀，螺旋桨的空泡和激振都比较严重。综合各方面的因素考虑，认为球尾最佳，*U*形尾次之，*V*形尾最差。

。



瑞典试验池的三种尾部线型

—V 形尾；－－－U 形尾；—·—·—球尾

3、双尾和双尾鳍

为了克服常规双桨船推进效率较低的缺点，人们研究出了双尾和双尾鳍船型。

试验资料表明：采用这两种尾型的船舶可提高推进效率，但总阻力增加不大，甚至几乎无增加。

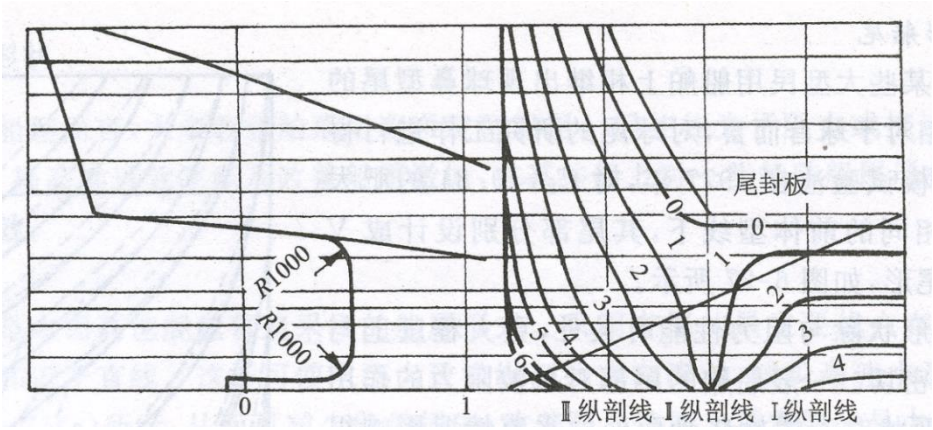


华南理工大学
South China University of Technology

1）双尾船型：

从阻力观点看：双尾船型相当于增大了长宽比，特别是后体变得较瘦削，有利于降低粘压阻力。同时，后体相当于“分解”成较为瘦削的三部分，最大剖面位置可以后移，增大了进流段，有利于改善船首的兴波情况。

从推进观点看：将螺旋桨置于两个尾体之后，所处的摩擦伴流较大，且又能得到充分的供水，因而获得较高的推进效率。推进试验结果表明：尾部设计成双尾后，伴流分数增大，推力减额下降，推进效率提高。

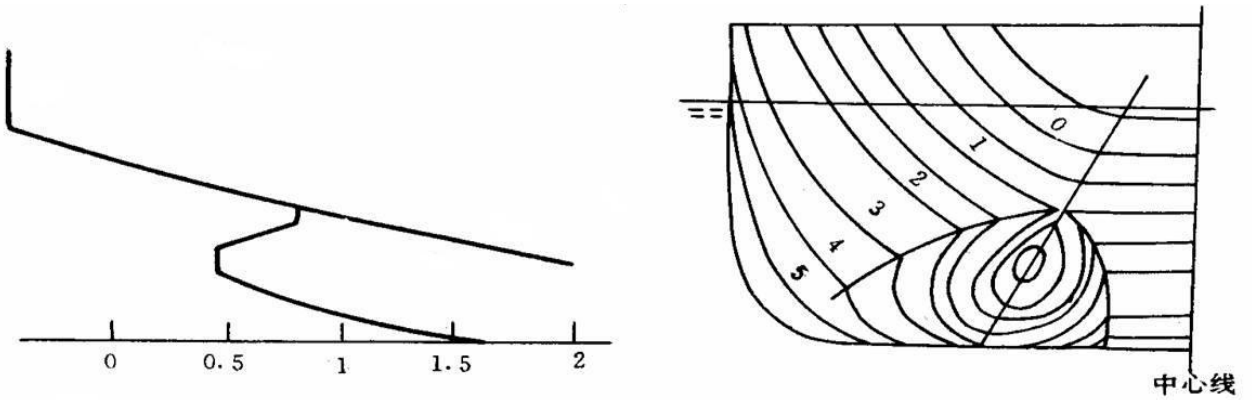




2）双尾鳍船型：

在双尾船型的基础上，可以将尾部设计成两个导流尾鳍，如图示。其优点是可针对螺旋桨的工作状态（内旋或外旋），将尾鳍的形状作出相应变化，达到进一步提高推进效率的目的。





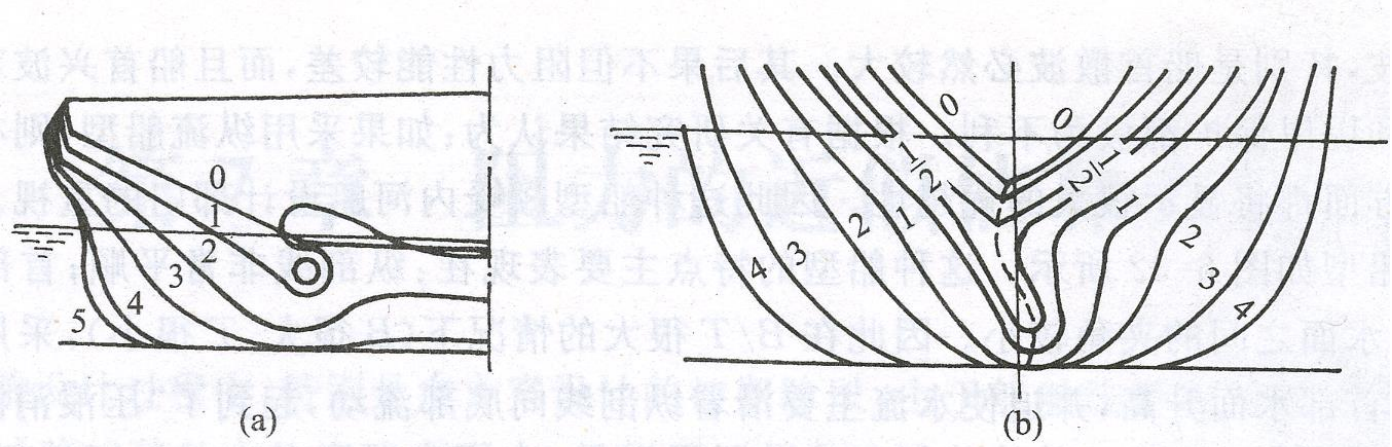
双尾鳍型线

华南理工大学
South China University of Technology

4、涡尾及不对称船尾

采用涡尾和不对称尾的目的都是为了提高螺旋桨的推进效率。

其主要功能是使水流流经船尾后，形成一股与螺旋桨旋向相反的旋转水流，并以螺旋面的形式流向螺旋桨。这样可以改善螺旋桨的周向诱导速度，提高推进效率。



涡尾及不对称尾

(a) 尾涡；(b) 不对称尾型

华南理工大学
South China University of Technology

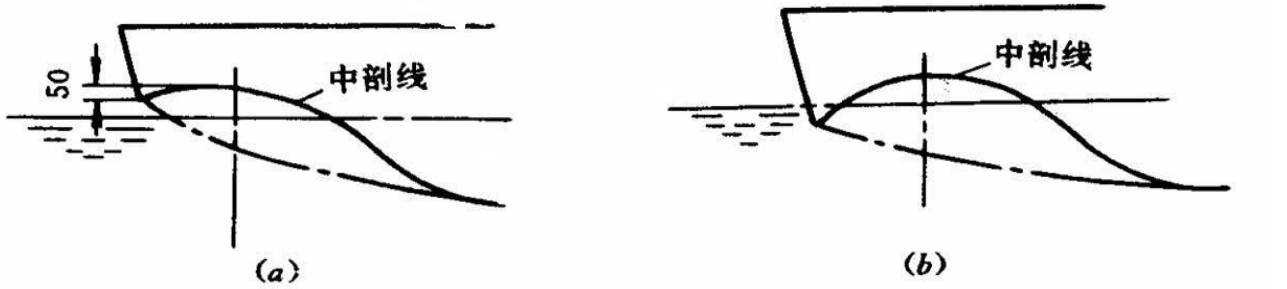
5、隧道型船尾

目的：在吃水受限时，增大螺旋桨增加直径提高推进效率

开式：顶线尾端在水线以上—阻力小—倒车性能不如闭式

闭式：顶线尾端在水线以下—阻力大—倒车性能好

注意：应使尾部隧道中螺旋桨供水顺畅，适当增加隧道长度，通常取开敞式较佳。



开式和闭式隧道

(a)开式隧道；(b)闭式隧道。

华南理工大学
South China University of Technology

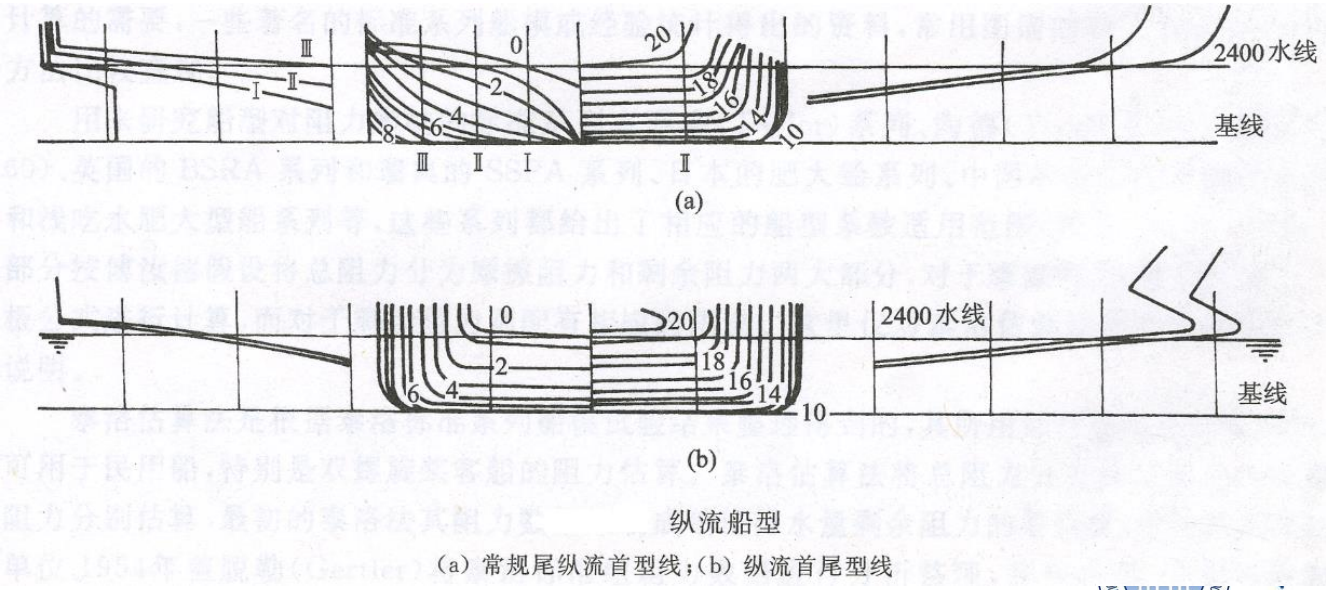
6、纵流船型

纵流船型是为了适应内河船舶吃水浅、船宽大的特点而开发的一种船型：

内河船，*B*/T、*L*/*T*大，*L*/*B*小，常规船首—兴波大、阻力大

特点：纵剖线平顺，首部在水线以上，与水面夹角较小，*B*/*T*大，水流沿纵剖线向船底流动，压浪消波、降阻。

纵流船型不但具有减阻和消波的作用，且由于其水线面较大，所以对稳性有力。主要缺点是首部过于平坦，在风浪中的拍击现象较为严重。



纵流船型

(a) 常规尾纵流首型线；(b) 纵流首尾型线

南理工大學
South China University of Technology

End

South China University of Technology