

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

第六讲：阻力的近似估算方法

（2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

第六讲：阻力的近似估算方法

- 1 根据船模系列试验资料估算阻力
- 2 根据母型船数据估算

South China University of Technology

- 确定船舶阻力最准确的方法是通过**船模试验**，这也是目前应用最为广泛的方法。
- 但在船舶设计初期（如方案设计阶段），船舶的主尺度和船型系数已经确定，但型线尚未确定，此时还不能通过模型试验方法确定船模阻力，只能用**近似方法**对船舶阻力进行估算。

所有的近似估算方法都是把船舶阻力（或功率）表达为**船型系数与速度之间的函数**。至于函数的表达形式，在早期通常以**图谱**形式来表达，随着计算机应用的发展，近期多采用**回归曲线**的形式，更简单的是直接列出计算公式的简易估算法。

华南理工大学
South China University of Technology

1 根据船模系列试验资料估算阻力

应用模型系列试验图谱估算法就是根据模型系列试验资料，直接给出阻力图谱（表），在此图谱（表）的基础上对设计船的阻力进行估算。在实际使用过程中，应针对设计船舶的类型，选择相应的图谱进行估算。

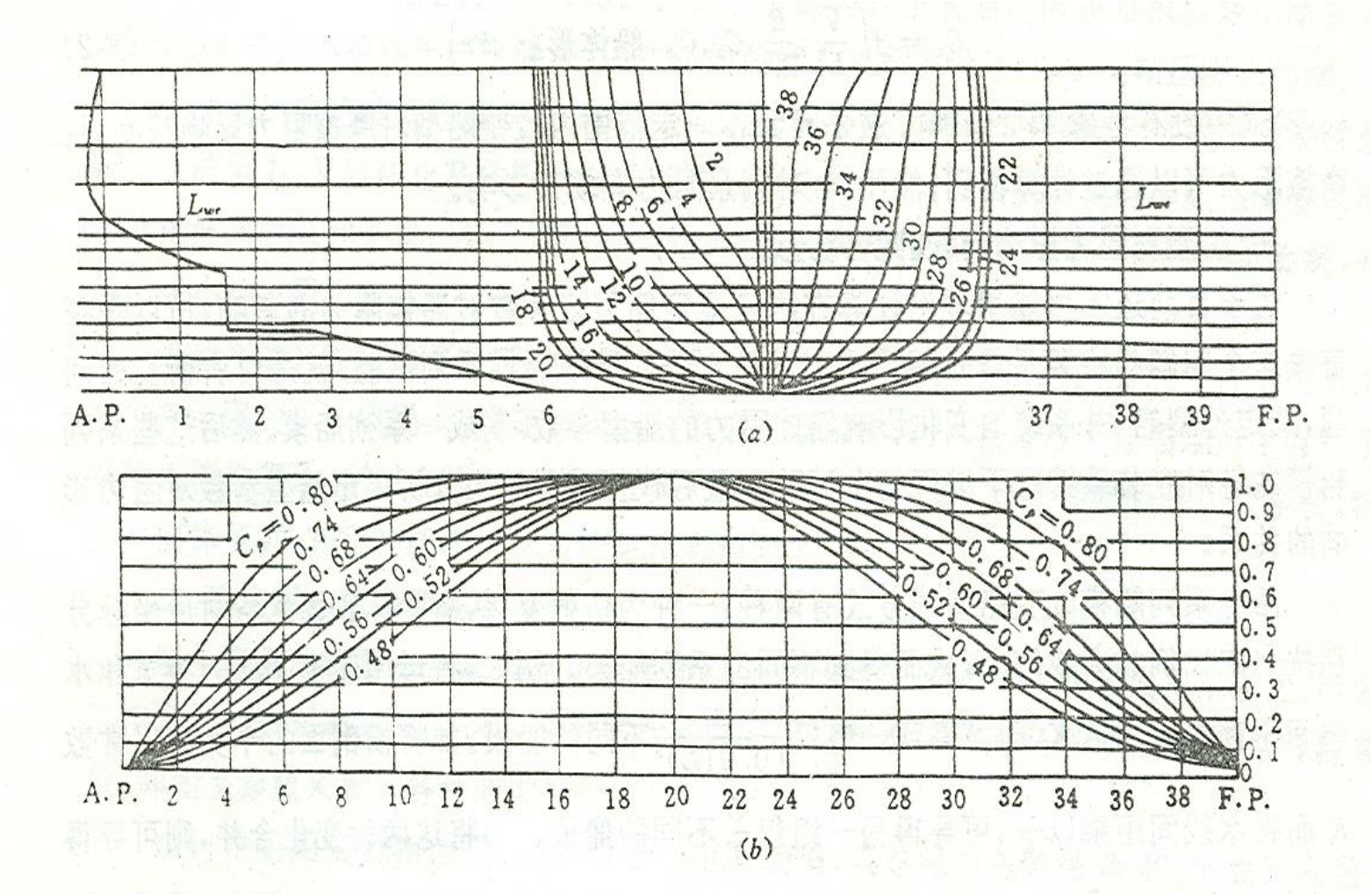
常用的模型系列试验图谱包括：泰勒（Taylor）系列图谱、系列60图谱（又称陶德（Todd）系列）、瑞典的SSPA系列图谱、英国的BSRA运输船系列图谱等，本书中重点介绍泰勒系列图谱，其他图谱可参照相应手册。

泰勒系列图谱估算法

该系列图谱的母型船是一艘双桨、U型横剖面的巡洋舰，故该系列模型试验图谱可用于军舰的阻力估算，也可用于航速较高的民用双桨船阻力估算。

华南理工大学
South China University of Technology

泰勒系列图谱估算法



（a）母型船的型线图　　（b）标准船模的横剖面面积曲线

华南理工大学
South China University of Technology

1、泰勒—盖特勒法给出的图谱形式和参考范围

1）剩余阻力系数图谱

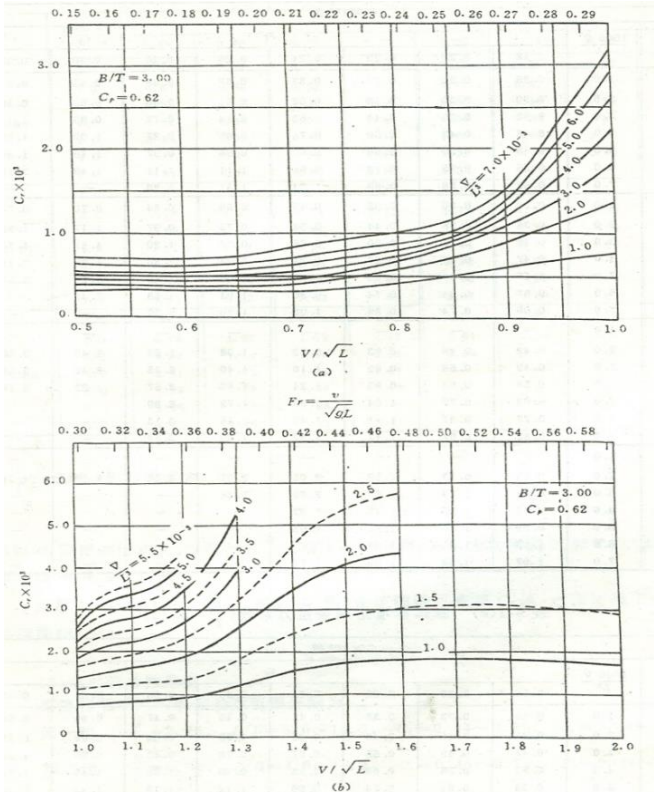
函数关系为

$$C_r = f_1\left(\frac{B}{T}, C_p, \frac{\nabla}{L^3}, F_r\right)$$

显然，根据设计船的$\frac{B}{T}$、$\frac{\nabla}{L^3}$、C_P和F_r值，可以由所给的图谱很方便地求得Cr值。

当 $\frac{B}{T}$、C_P一定时，该函数关系式可表达为：

$$C_r = f_2\left(\frac{\nabla}{L^3}, F_r\right)$$



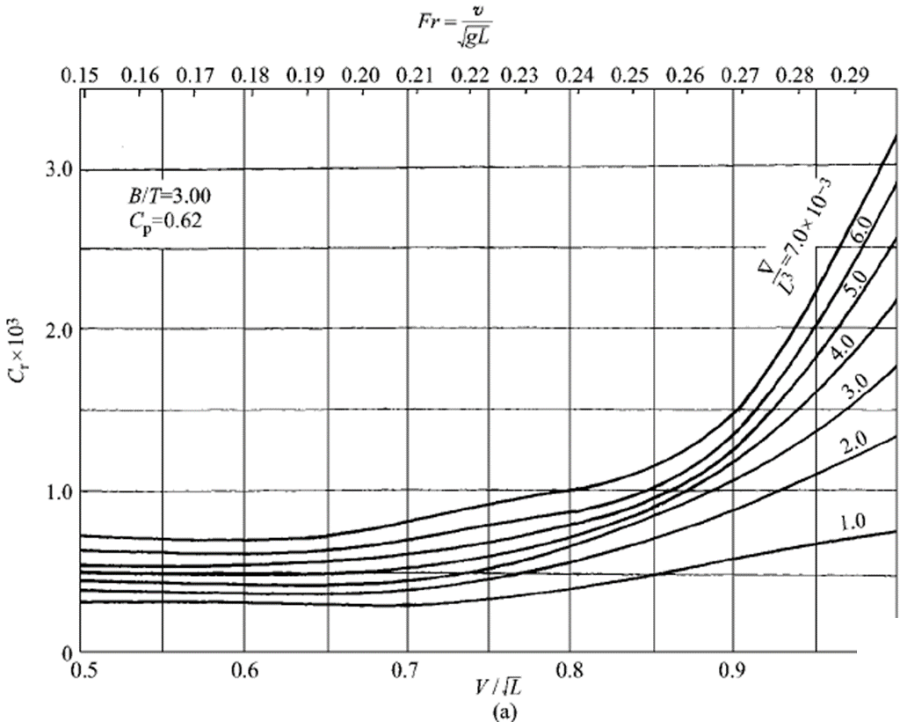
所以，给出的图谱形式为：对每一组$\frac{B}{T}$，以每一棱形系数C_P给出一张图谱，图中以不同排水体积系数$\frac{\nabla}{L^3}$为参数，作出剩余阻力系数C_r与F_r（或$\frac{V}{\sqrt{L}}$）的关系曲线。

华南理工大学
South China University of Technology

泰勒——盖特勒系列剩余阻力系数图谱

（a）中低速部分（Fr＜0.30）

（b）高速部分（Fr≥0.30）



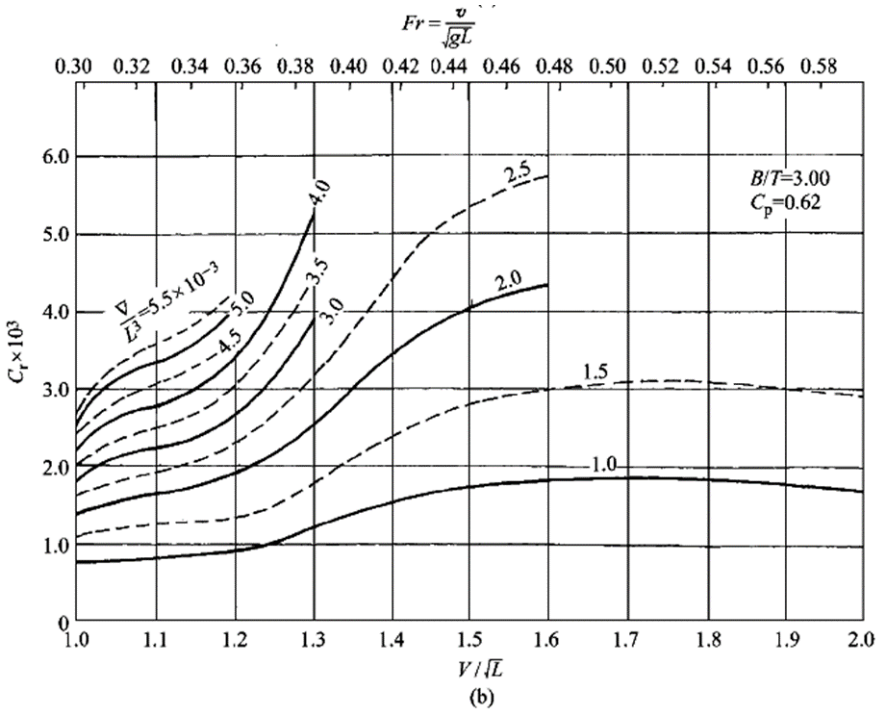


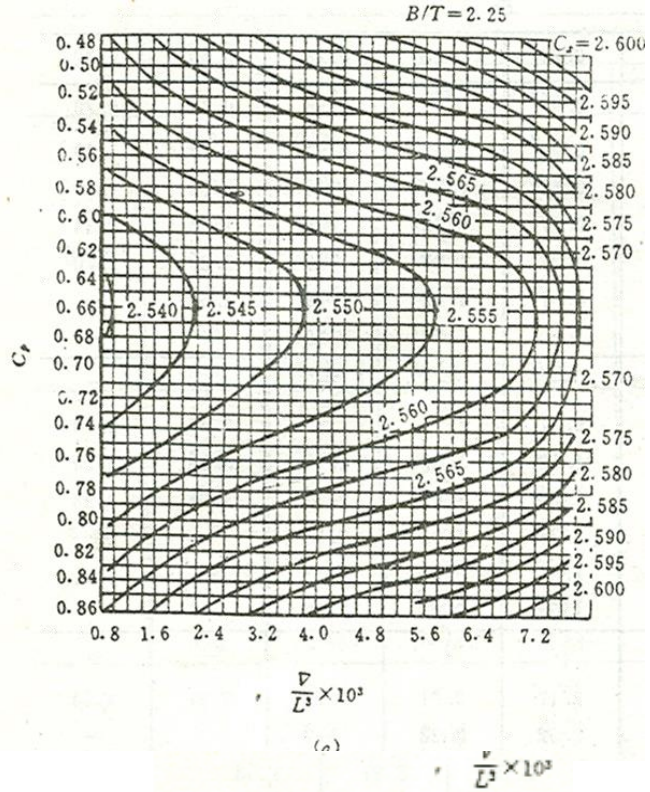
图 7-1　泰洛系列剩余阻力系数 C_r 图谱

(a) 中低速部分($Fr<0.3$)；(b) 高速部分($Fr\geqslant0.3$)

2）无量纲湿面积系数C_s图谱

函数关系为 $C_s = f_3\left(\frac{B}{T}, C_p, \frac{\nabla}{L^3}\right)$

$\frac{B}{T}$一定时，$C_s = f_4(C_p, \frac{\nabla}{L^3})$



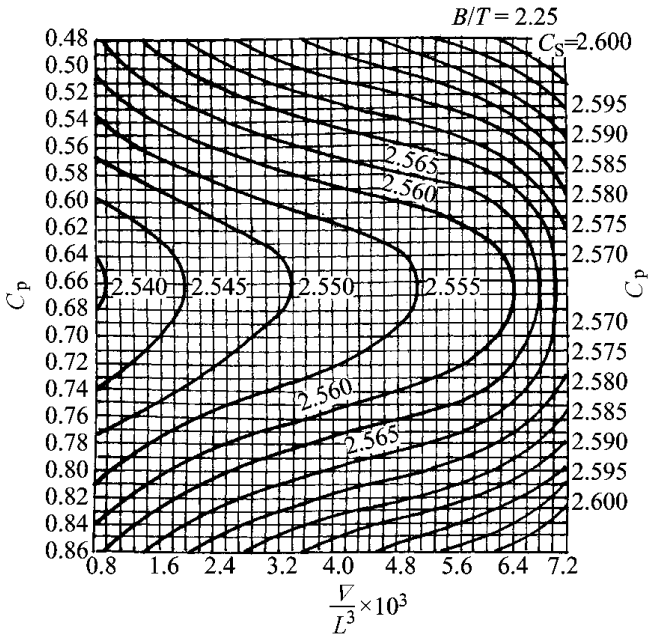
所以，Cs图谱的形式为，以每一组B/T值给出一张图谱，表示为在不同C_p和$\frac{\nabla}{L^3}$时的C_s等值曲线，如图所示。

显然，根据设计船的$\frac{B}{T}$，C_p和$\frac{\nabla}{L^3}$值，由该图谱可查得C_s值，进而可按下式求得船体的湿面积

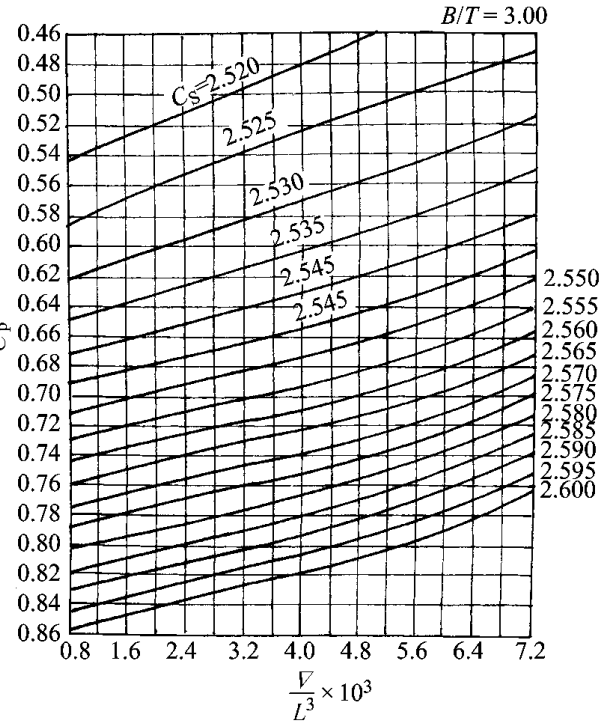
$$S = C_s\sqrt{\nabla L}$$

华南理工大学 South China University of Technology

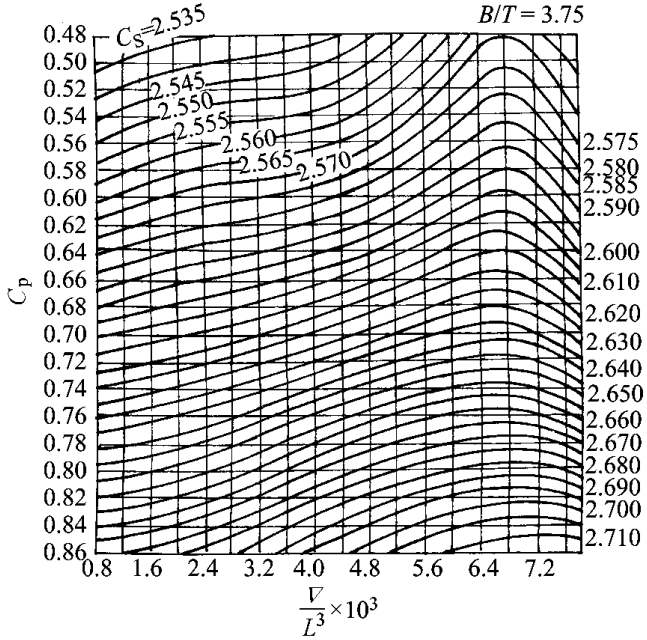
泰勒系列湿表面积系数Cs图谱



(a)



(b)



(c)

3) 适用的参数范围

泰勒标准系列的船型参数范围分别为：

第一组：

$$\frac{B}{T}=2.25 \quad \frac{L}{B}=5.0\sim 14.5 \quad C_b=0.44\sim 0.80 \quad C_p=0.48\sim 0.86$$

第二组：

$$\frac{B}{T}=3.00 \quad \frac{L}{B}=4.6\sim 15.1 \quad C_b=0.44\sim 0.74 \quad C_p=0.48\sim 0.80$$

第三组：

$$\frac{B}{T}=3.75 \quad \frac{L}{B}=4.0\sim 13.4 \quad C_b=0.44\sim 0.80 \quad C_p=0.48\sim 0.86$$

South China University of Technology

2. 泰勒—盖特勒系列阻力估算的具体步骤

（1）计算设计船的船型参数B/T、Cp、∇ / L^3和Fr。

（2）求湿面积系数Cs。

船体型线图

尚无型线图时，则可近似认为其湿面积与标准船型湿面积系数相等

（3）计算摩擦阻力系数C_f值。

按照桑海公式进行计算

换算补贴$\triangle C_f$一般取0.4×10^{-3},亦可根据设计者的经验选取。

（4）求剩余阻力系数Cr值。

根据设计船的B/T、Cp、∇ / L^3和Fr，可选择对应的Cr图谱，经各参数内插得到Cr值。

华南理工大学 South China University of Technology

应注意的是，如果设计船的湿面积S，已知时，则可求得其湿面积系数Cs，：

$$C_s' = \frac{S'}{\sqrt{\nabla \cdot L}}$$

其值如果与标准船型的湿面积系数Cs不同时，必须对所得的剩余阻力系数值Cr进行修正，修正后的剩余阻力系数Cr，为：

$$C_r' = C_r \cdot \frac{C_s}{C_s}$$

如果在计算时不知设计船的湿面积系数，则可假定Cs，$C_r = C_r$ ＝Cs，则有：

（5）计算总阻力Rt、有效功率Pe值。

总阻力系数：$C_t = C_r + C_f + \Delta C_f$

总阻力（N）：$R_t = C_t \cdot \frac{1}{2}\rho U^2 S'$

有效功率（KW）：$P_e = \frac{R_t \cdot U}{1000}$

对于不同航速，重复上述计算步骤，即可得到设计船的有效功率曲线，亦可采取列表计算。

华南理工大学 South China University of Technology

应用回归公式估算阻力

随着计算机的发展，许多图谱中，总结出了回归公式。

系列60的阻力回归公式是用线性回归分析法处理系列60的试验图谱得到的，其总阻力系数C_t表示为下列函数形式：

$$C_t = f\left(\frac{V_S}{\sqrt{L_{WL}}}, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, C_b, x_b\right)$$

华南理工大学
South China University of Technology

对于标准船长为122m的船，其总阻力系数C_{t122}的回归多项式可表示为：

$$C_{t122} = A_1 + A_2(\frac{L}{B}) + A_3(\frac{B}{T}) + A_4 C_b + A_5 x_b + A_6(\frac{L}{B})^2 + A_7(\frac{B}{T})^2$$

$$+ A_8(C_b)^2 + A_9(x_b)^2 + A_{10}(\frac{L}{B})(\frac{B}{T}) + A_{11}(\frac{L}{B})C_b + A_{12}(\frac{L}{B})x_b$$

$$+ A_{13}(\frac{B}{T})C_b + A_{14}(\frac{B}{T})x_b + A_{15}C_b x_b + A_{16} x_b (C_b)^2$$

式中：$C_t = 0.9492 \dfrac{R_t L_{bp}}{\Delta V_S^2}$

R_t为总阻力（N），Δ为排水量（t），V_S（kn）

华南理工大学 South China University of Technology

为了便于确定回归系数，将上式化为下列线性形式：

$$Y_{122} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8$$

$$+ a_9x_9 + a_{10}x_{10} + a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + a_{13}x_{13} + a_{14}x_{14} + a_{15}x_{15} + a_{16}x_{16}$$

式中：x_1=1，x_2=2(L/B-7)/3，x_3=2(B/T-3)

x_4=10(C_b-0.7)，x_5=(x_b-0.515)/2.995，$x_6 = x_2^2$

$$x_7 = x_3^2 \quad , \quad x_8 = x_4^2 \quad , \quad x_9 = x_5^2$$

x_{10}=x_2x_3，x_{11}=x_2x_4，x_{12}=x_2x_5，

x_{13}=x_3x_4，x_{14}=x_3x_5，x_{15}=x_4x_5，$x_{16} = x_5x_4^2$

$$Y_{122} = \frac{C_{t122} - 17.3505}{8.3375}$$

华南理工大学 South China University of Technology

船长为L的设计船的总阻力系数C_{tL}可通过对标准船长的总阻力系数加以修正得到：

$$C_{tL}=C_{t122}+SFC$$

SFC是船长为L时的摩擦阻力尺度作用的修正值，可按下式计算：

$$SFC=99.181C_S\frac{L}{\nabla^{1/3}}(C_{fL}-C_{f122})$$

其中湿面积系数的回归公式为：

$$C_S=3.432+0.305(\frac{L}{B})+0.443(\frac{B}{T})-0.643C_b$$

华南理工大学 South China University of Technology

C_f为桑海光滑平板的摩擦阻力系数，亦可按下式计算：

$$C_f = \frac{0.083}{(\lg \mathrm{Re} - 1.65)^2}$$

不同速长比时的有效功率为：

$$P_e = \frac{C_{tL} \cdot \Delta \cdot V_S^3}{1476.3L}(\mathbf{kW})$$

此回归方程适用的范围是：

0.60≤C_b≤0.675，$V_S/\sqrt{L_{WL}} = 1.0866 \sim 1.63$

0.675<C_b≤0.725，$V_S/\sqrt{L_{WL}} = 0.9055 \sim 1.63$

0.725<C_b≤0.775，$V_S/\sqrt{L_{WL}} = 0.9055 \sim 1.5394$

0.775<C_b≤0.80，$V_S/\sqrt{L_{WL}} = 0.9055 \sim 1.4489$

华南理工大学 South China University of Technology

2 根据母型船数据估算

如果设计船与母型船相似，且母型船的数据可靠，则可以通过设计船与母型船的某些线型特征，来确定设计船的阻力或有效功率。

常用的母型船数据估算法：

- 海军部系数法
- 引伸比较定律法
- 基尔斯修正母型船剩余阻力法

华南理工大学
South China University of Technology

一、海军部系数法

海军部系数法是母型船数据估算法中最简便常用的一种方法。其要求设计船与母型船在主尺度比、船型系数、型线形状以及相应速度比较接近。该方法的基础是假定设计船与母型船在Fr相等时，两船的海军部系数相等。

其出发点是，假定：

1）佛汝德数Fr相近时，可近似认为两船Cr相等；

2）船型、主尺度和速度接近，则认为雷诺数Re相近时，则Cf相等；

3）主尺度相近时，S与△的2/3次方成比例。

华南理工大学
South China University of Technology

两船的总阻力均可表述为：

$$R_t = R_f + R_r$$

$$= \frac{1}{2}\rho U^2 S(C_f + C_r) \propto \Delta^{\frac{2}{3}} \cdot U^2$$

有效功率表示为：　$P_e \propto \Delta^{2/3} \cdot U^3$

或　$$C_e = \frac{\Delta^{2/3} \cdot U^3}{P_e}$$

C_e　为海军部系数

Δ　为排水量（t）

P_e 为有效功率（kW）

U 为船舶航速（kn）

华南理工大学 South China University of Technology

海军部系数Ce反映的是船舶的阻力性能，当我们用主机功率P替换有效功率Pe，则海军部系数可表达为：

$$C = \frac{\Delta^{2/3} \cdot U^3}{P}$$

式子中的海军部系数C反映了船舶的快速性能，其中包含了阻力和推进两方面的内容。当主机功率P给定时，海军部系数C越大，则其快速性越好。

可见，对应不同的功率，将有不同含义的海军部系数。

华南理工大学
South China University of Technology

二、引伸比较定律法

当设计船与母型船的形状相近时，其尺度、阻力与排水量之间的关系为

$$\frac{L_1}{L_2}=\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)^{1/3} \qquad \frac{R_{t1}}{R_{t2}}=\frac{\Delta_1}{\Delta_2}$$

若两船傅汝德数差别不大，相应航速、有效功率与排水量之间的关系为

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}}=\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)^{1/6} \qquad \frac{P_{e1}}{P_{e2}}=\frac{R_{t1}U_1}{R_{t2}U_2}=\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)^{7/6}$$

假设设计船与母型船的推进系数相同时，两船的主机功率之比为

$$\frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)^{7/6}$$

式中L1、△1、U1、Pe1、P1分别为设计船的船长、排水量、航速、有效功率、主机功率；下标2则表示母型船的相应量。

华南理工大学
South China University of Technology

在船舶设计中，当有相近的母型船资料时，应用引伸比较定律法可以在给定船舶排水量时，利用母型船的功率—航速关系曲线，

1）先计算出设计船在航速U_1时母型船的对应航速

$$U_2=U_1（\triangle_2/\triangle_1）^{1/6},$$

2）然后在母型船的功率—航速关系曲线上查得

U_2所对应的功率P_2

3）则设计船在航速为U_1时的功率：

$$P_1= P_2 （\triangle_1/\triangle_2）^{7/6}$$

华南理工大学
South China University of Technology

三、基尔斯修正母型船剩余阻力法

当设计船与母型船不相似，或相似程度较低时，即使在相同的Fr下，其剩余阻力系数也不相同，此时可以采用对母型船的剩余阻力系数进行修正的方法，得到设计船的剩余阻力系数；

再按照相当平板摩擦阻力计算公式得到其摩擦阻力系数，完成对设计船的总阻力或有效功率的估算。

其中比较有代表性的是基尔斯修正母型船剩余阻力法。

华南理工大学
South China University of Technology

定义： 基尔斯修正母型船剩余阻力法是基尔斯根据泰勒标准系列船型阻力图谱，以Cp＝0.65 、$L/\sqrt[3]{\Delta}$ =8.0和B/T＝3.0的标准参数船剩余阻力系数作为基准，分别给出Cp、$L/\sqrt[3]{\Delta}$ 或B/T变化对船舶剩余阻力系数影响的修正曲线，通过应用这些曲线实现对母型船剩余阻力系数的修正，进而得到设计船剩余阻力系数的方法。

华南理工大学
South China University of Technology

当设计船与母型船的 C_P 、 $L/\sqrt[3]{\Delta}$ 、B/T 不同时，分别以泰勒标准系列船型（$C_P=0.65$ $L/\sqrt[3]{\Delta}=8.0$ $B/T=3.0$ ）的剩余阻力系数为基准，对设计船和母型船的剩余阻力系数分别求取其修正系数k_1、k_2、k_3和k_1'、k_2'、k_3'，则设计船的剩余阻力系数为：

$$Cr = k \cdot Cr'$$

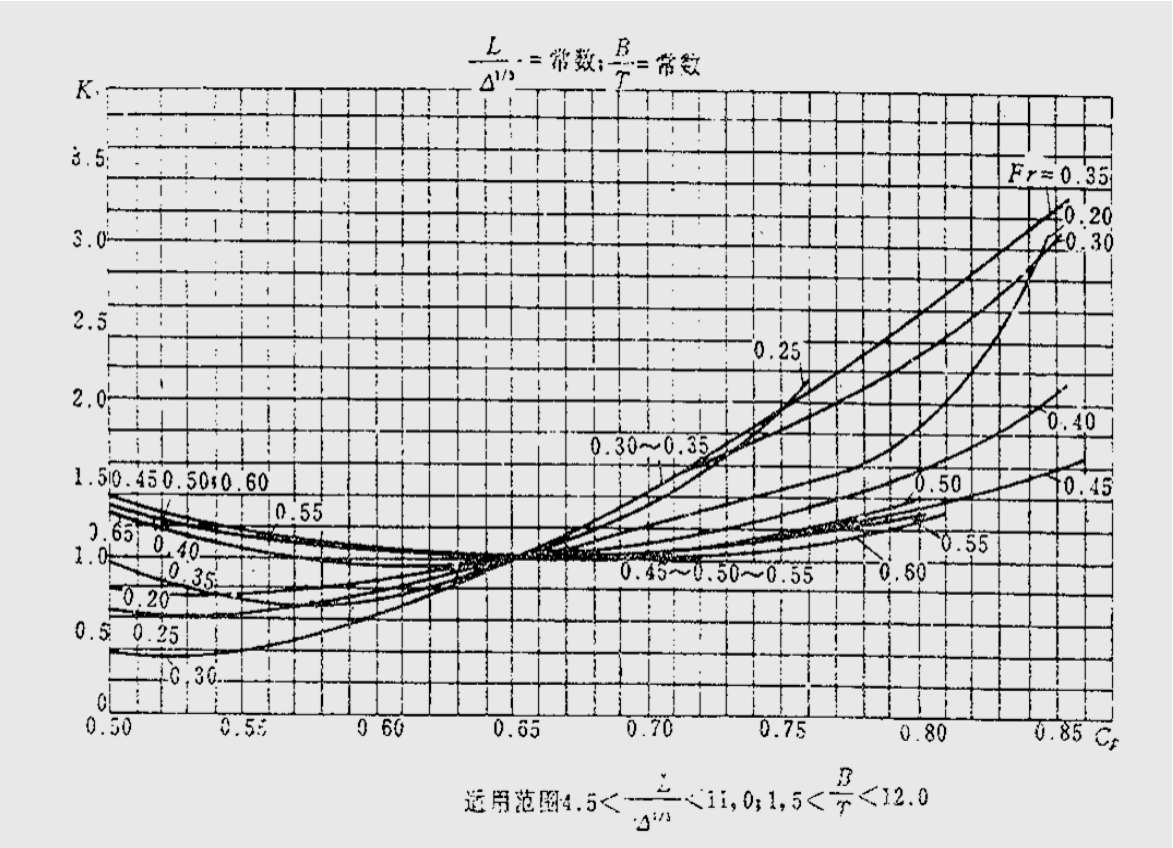
式中Cr’ 为母型船的剩余阻力系数，k为剩余阻力修正系数，并且：

$$k = \frac{k_1}{k_1'} \cdot \frac{k_2}{k_2'} \cdot \frac{k_3}{k_3'}$$

应用该方法得到的近似估算结果精确性取决于设计船与母型船的近似程度。

华南理工大学
South China University of Technology

$$k_1 = \frac{C_r}{C_{r0}(C_P = 0.65)} = f_1(Fr, C_P)$$



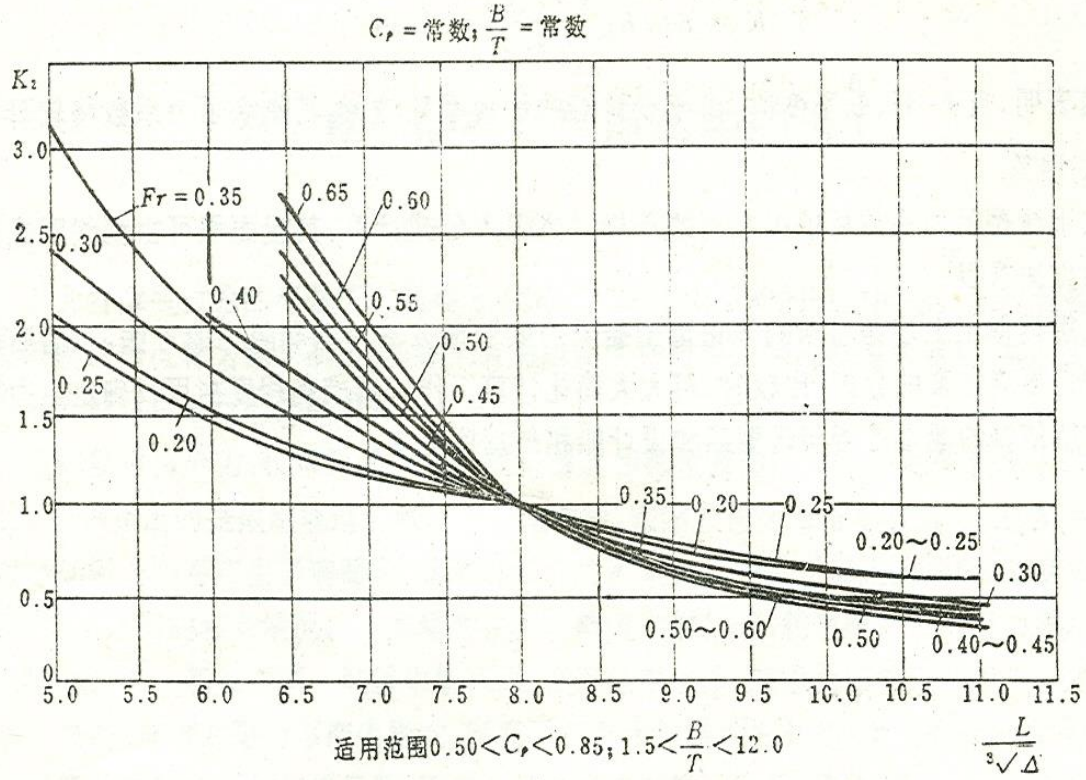
前提条件

$L/\sqrt[3]{\Delta}$ =8. 0 ， **B/T =3.0**

图1　基尔斯剩余阻力修正系数K_1曲线

华南理工大学
South China University of Technology

$$k_2 = \frac{C_r}{C_{r0}\left(L/\sqrt[3]{\Delta} = 8.0\right)} = f_2\left(Fr, L/\sqrt[3]{\Delta}\right)$$



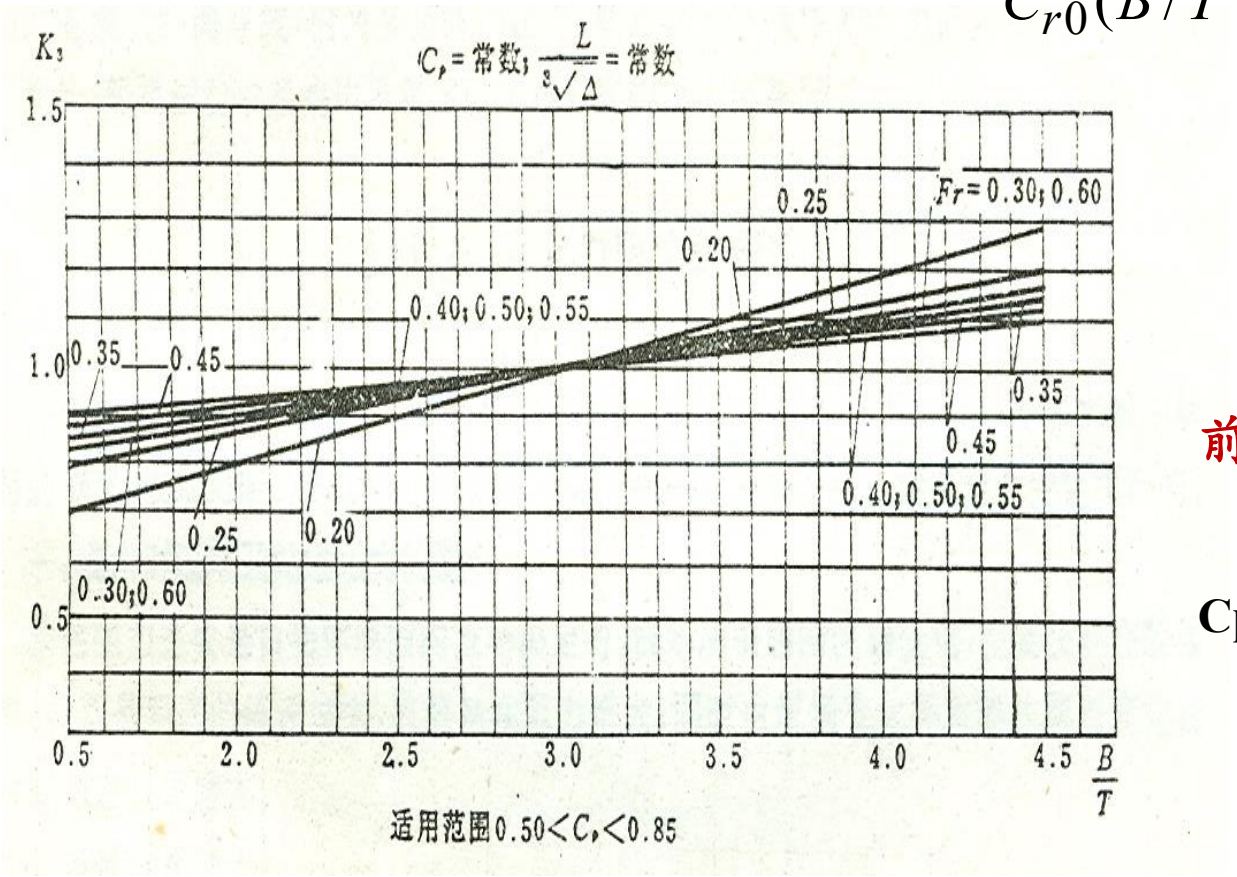
前提条件

Cp＝0.65， B/T =3.0

图2　基尔斯剩余阻力修正系数K2曲线

华南理工大学
South China University of Technology

$$k_3 = \frac{C_r}{C_{r0}(B/T = 3.0)} = f_3\left(F_r, B/T\right)$$



前提条件

Cp＝0.65，$L/\sqrt[3]{\Delta}$ =8.0

图3　基尔斯剩余阻力修正系数K3曲线

华南理工大学
South China University of Technology

练习题

（1）某客货船安装有轴功率（SHP）为 2200 马力的主机，航速为 28 公里/小时试按海军系数公式估算：
1）排水量不变而航速达到 30 公里/小时时，主机轴功率应增加多少？
2）航速不变，排水量增加 20%，主机轴功率应增加多少？

2706马力---506马力　　2486马力---286马力

（2）母型船：L=115m，B=15.6m，T=5.5m ，Cp=0.735， ∇=7104m^3 ， △= 7325 吨，航速 12 节时的有效功率 为 900 kW，主机功率为 1500kw。现欲设计一新船，L=112m，△=6850 吨，试用海军系数法求该新船在航速 11 节时的有效功率和主机功率。

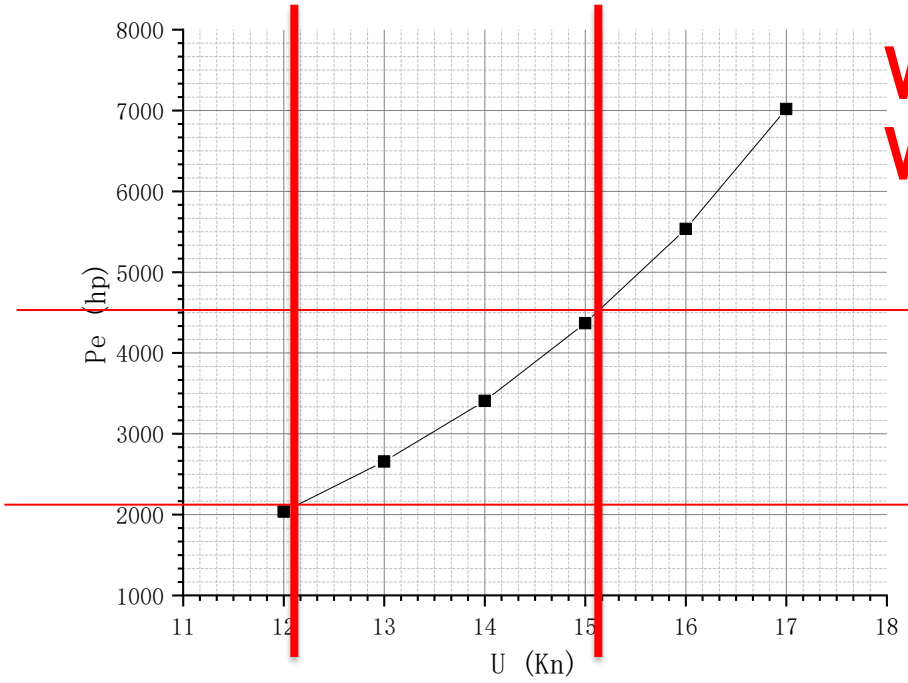
662.716Kw、1104.527Kw

华南理工大学 South China University of Technology

练习题

（3）母型船：某多用途远洋货船，设计水线长LWL=144.20 米、 B=21.80 米、T=8.90 米、方形系数CB=0.743、排水量Δ=20800 吨，有效马力曲线如下表，现欲设计一新船，L=140m，△=19500吨，试用引伸比较定律求该船V1=12kn和V2=15kn时需要的有效马力？

航速	V/kn	12	13	14	15	16	17
有效功率P_E/hp	满载	2036	2655	3406	4368	5533	7017



V01=12. 13kn—2116hp

V02=15. 16kn—4554. 4hp

Pe1=1962. 5hp

Pe2=4224. 07hp

华南理工大学 South China University of Technology

End

South China University of Technology