

在线开放课程 《船舶设计原理》

第二章 船舶重量重心

2.3 船体钢料重量估算

华中科技大学 船舶与海洋工程学院



2.3 船体钢料重量估算

民用船舶的船体钢料重量与空船重量之比

货船		油船		客货船	拖船	渔船	内河		
大型	中小型	大型	中小型				货船	客货船	拖船
0.61~0.68	0.51~0.59	0.68~0.78	0.54~0.63	0.47~0.56	0.38~0.52	0.39~0.46	0.41~0.52	0.43~0.51	0.30~0.36

在空船重量中，船体钢料重量所占比重较大。
同时，影响船体钢料重量的因素又较多。
因此，正确地分析各种影响因素，对准确估算船体钢料重量具有重要意义。

2.3 船体钢料重量估算

一、船体钢料重量的分类细目

船体钢料

首尾柱及轴承包

首柱
尾柱
轴承包
舵踵
.....

外板

平板龙骨
船底板
舷侧板
舳龙骨
外板上的覆板
.....

底板及舷侧构架

底部纵（横）向构件
舷侧纵（横）向构件
首尾尖舱结构
.....

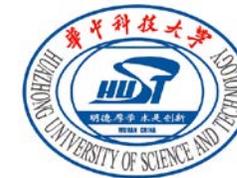
甲板结构

上甲板结构
主甲板结构
平台甲板结构
.....

舱壁及围壁

纵（横）向水密舱壁
部分舱壁及舱室圈壁
舱口围壁
围板
.....

第二章 船舶重量重心



2.3 船体钢料重量估算

一、船体钢料重量的分类细目

船体钢料

支柱

各层甲板下支柱
舱面机械及梯口加强支柱
.....

船体钢料杂项

轴隧及推力轴承室
钢质护舷材
舱柜内制荡板及顶盖
扶梯平台
污水阱
.....

底座

主机底座
辅机底座
锅炉底座
轴承底座
舱面机械底座
.....

上层建筑钢料

首楼
桥楼
尾楼
各层甲板室
舷墙
.....

焊接材料

焊料、垫料
.....

2.3 船体钢料重量估算

二、船体钢料重量的影响因素

(1) 主尺度对船体钢料重量的影响

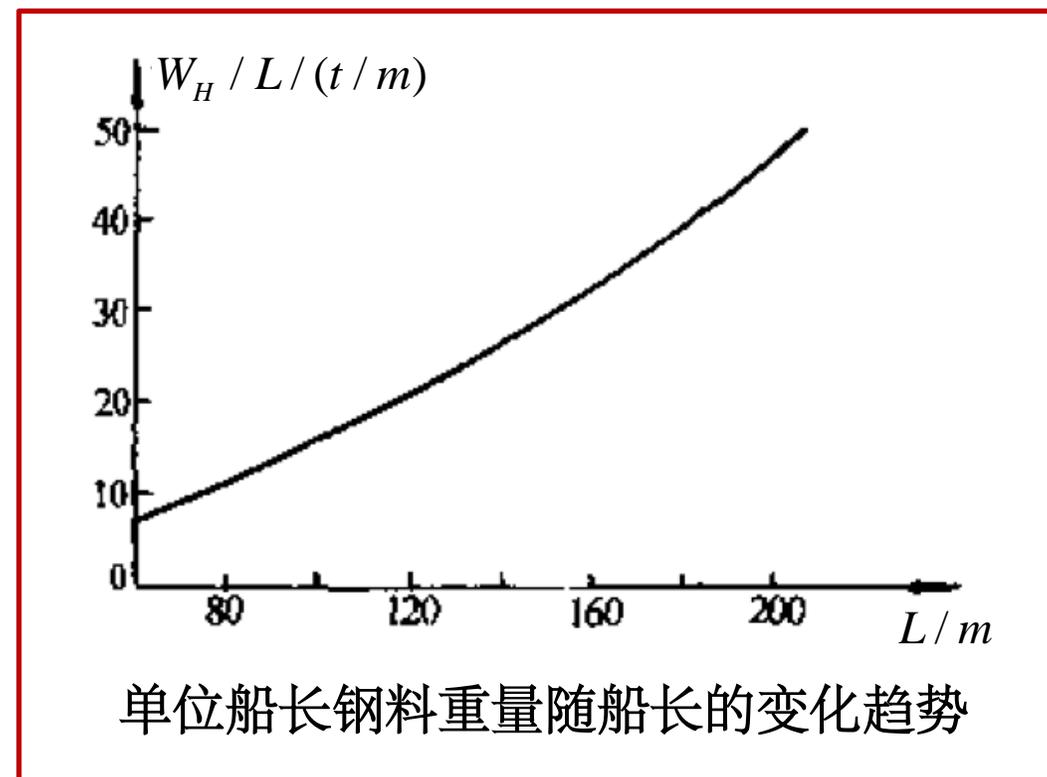
船长 (L) 对船体钢料重量的影响最大。

船宽 (B) 与船体钢料重量有密切关系，但其综合影响程度小于船长。

型深 (D) 对舷侧和舱壁等结构构件有影响。

吃水 (d) 对局部强度有一定的影响，但其影响程度甚微。

方形系数 (C_B) 对船体钢料重量的影响很小。



2.3 船体钢料重量估算

二、船体钢料重量的影响因素

(2) 布置特征对船体钢料重量的影响

甲板层数 主要取决于使用要求和布置特点。

舱壁数 除了规范和法规中关于舱壁最小数目规定外，实际的舱壁数目还要考虑使用要求、分舱与破舱稳性以及结构强度。

上层建筑和甲板室 它们的长度、宽度、高度、层数等主要根据所需布置地位和驾驶室高度而定。对**船体钢料重量**的影响，小船比大船要大些，且不同的船舶类型（如客船与货船）有很大差别。

布置决定的结构形式 如货舱区是单壳体结构还是双壳体结构，双层底的范围和双层底高度等等。

2.3 船体钢料重量估算

二、船体钢料重量的影响因素

(3) 使用要求对船体钢料重量的影响

使用年限 原则上讲，船舶要求的使用年限长，则钢板的耐腐蚀余量就要多。
例如，对于小型船舶来说，该因素对**船体钢料重量**的影响是较大的。

航行区域 船舶的航行区域不同以及规范不同，对**船体钢料重量**也有影响。
例如，航行于冰区的船舶，船体某些部位结构要加强；
又如，不同船级社的规范对结构强度的要求也有区别。

船体结构局部加强 船体结构局部加强产生的材料附加量。船舶的不同使用要求以及特殊的大型设备常要求船体结构作局部加强，同样对**船体钢料重量**有影响。
例如，散货船使用抓斗卸货而内底板无覆盖层时，则内底板需增加厚度。

2.3 船体钢料重量估算

二、船体钢料重量的影响因素

(4) 其他因素对船体钢料重量的影响

结构材料 船体结构的材料不同，会对**船体钢料重量**有不同程度的影响。

例如：普通钢、高强度钢，铝合金，等。

船体特殊形状 船首尾的形状特征对**船体钢料重量**也有影响。

例如：是否采用球首、球尾、尾鳍，单桨船还是双桨船，双桨船中是常规尾型还是双尾、双尾鳍，等。

建造加工因素 特别是在小型船舶建造中，为了更加合理加工，常会增加材料。此时，钢板的厚度等尺寸已不再由强度条件所决定了。

例如：焊接、避免校平，等。

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

在初步拟定了船舶的主尺度，并对船舶的布置特征有了初步设想，而其他设计尚未开展的情况下，可以根据母型船的重量资料，采用**等比换算法**和**统计公式法**，对**船体钢料重量**进行粗略估算。

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

(1) 等比换算法

平方模数法 假设船体钢料重量 (W_H) 比例于主船体结构的面积。

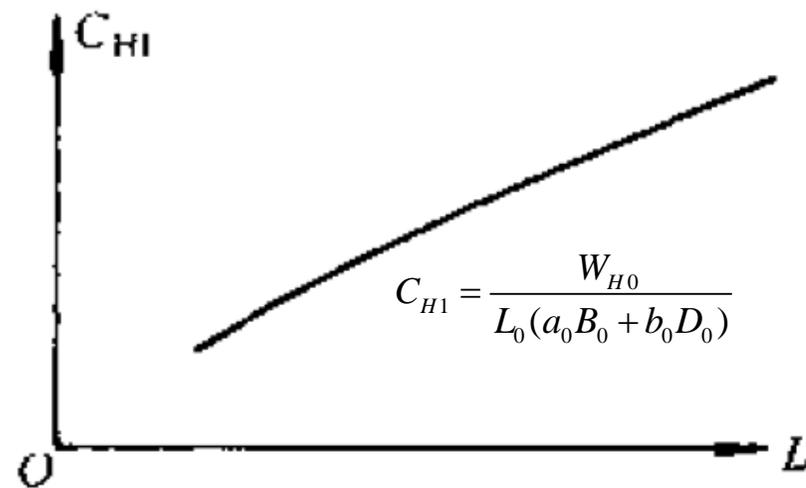
$$\frac{W_H}{W_{H0}} = \frac{L(aB + bD)}{L_0(a_0B_0 + b_0D_0)}$$

$$W_H = \frac{W_{H0}}{L_0(a_0B_0 + b_0D_0)} L(aB + bD)$$

令

$$C_{H1} = \frac{W_{H0}}{L_0(a_0B_0 + b_0D_0)}$$

$$W_H = C_{H1} L(aB + bD)$$



平方模数法系数随船长的变化趋势

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

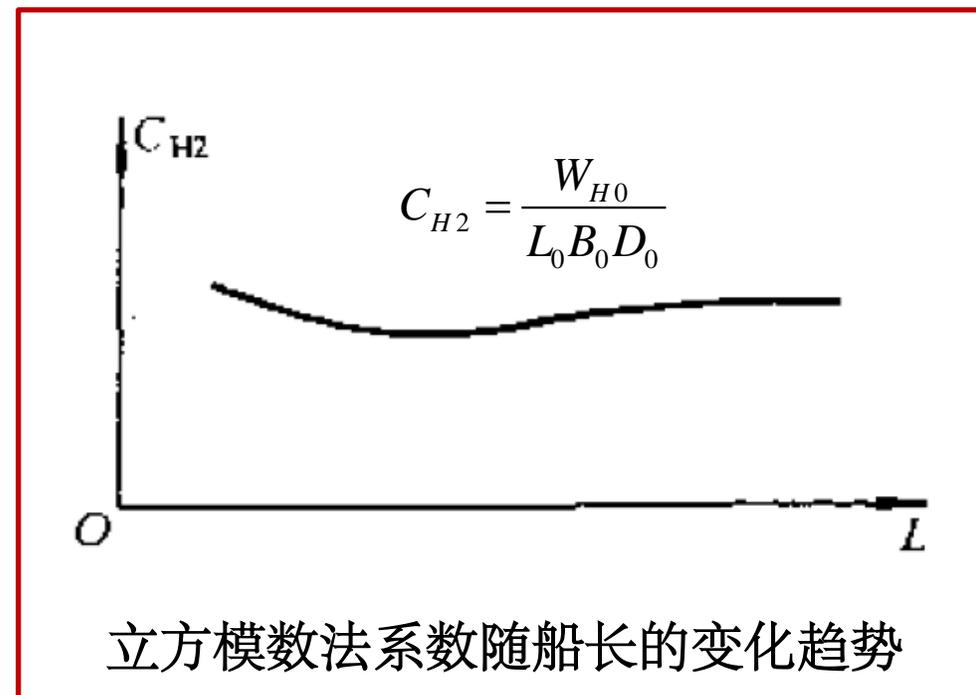
(1) 等比换算法

立方模数法 假设船体钢料重量 (W_H) 比例于船的内部总体积。

$$\frac{W_H}{W_{H0}} = \frac{LBD}{L_0B_0D_0}$$
$$W_H = \frac{W_{H0}}{L_0B_0D_0} LBD$$

令

$$C_{H2} = \frac{W_{H0}}{L_0B_0D_0}$$
$$W_H = C_{H2}LBD$$



2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

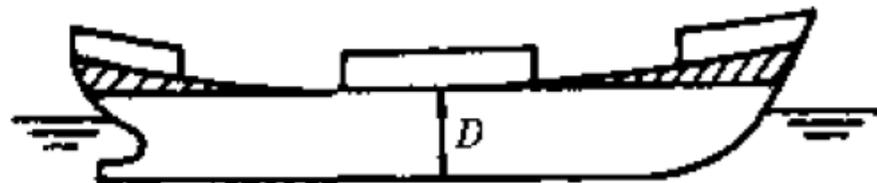
(1) 等比换算法

立方模数法

为了计及上层建筑和舷弧对船体钢料重量 (W_H) 的影响, 立方模数法中的型深也可以用相当型深 (D_1) 来代替。

$$D_1 = D + \frac{S}{L} + \frac{\sum l_i h_i}{L}$$

式中, S 为舷弧升高部分的面积, 如图所示的阴影部分面积;
 l_i, h_i 为各上层建筑 (包括甲板室) 的长度与高度。



第二章 船舶重量重心

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

(1) 等比换算法

指数法

假设主尺度要素对船体钢料重量 (W_H) 的影响程度不同。

$$\frac{W_H}{W_{H0}} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^\alpha \left(\frac{B}{B_0}\right)^\beta \left(\frac{D}{D_0}\right)^\gamma \left(\frac{d}{d_0}\right)^\sigma \left(\frac{C_B}{C_{B0}}\right)^\tau$$

$\alpha, \beta, \gamma, \sigma, \tau$ 主尺度对船体钢料重量的影响指数

船型	影响指数				
	α	β	γ	σ	τ
小型货船	1.25	0.75	0.75	0	0.50
散货船	1.878	0.695	-0.189	0.158	0.197
油船 (2万~7万吨)	1.83	0.75		0	0.393
集装箱船	1.759	0.712	0.43	0	0
常规客船	1.45	0.945	0.66	0	0

$$W_H = \frac{W_{H0}}{L_0^\alpha B_0^\beta D_0^\gamma d_0^\sigma C_{B0}^\tau} L^\alpha B^\beta D^\gamma d^\sigma C_B^\tau$$

令

$$C_{H3} = \frac{W_{H0}}{L_0^\alpha B_0^\beta D_0^\gamma d_0^\sigma C_{B0}^\tau}$$

$$W_H = C_{H3} L^\alpha B^\beta D^\gamma d^\sigma C_B^\tau$$

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

(1) 等比换算法

从理论上讲，指数法更符合**主尺度与船体钢料重量** (W_H) 之间的关系。适用性的关键是所选用的指数值是否符合**母型船和设计船的主尺度与船体钢料重量** (W_H) 之间的规律。

特别地，

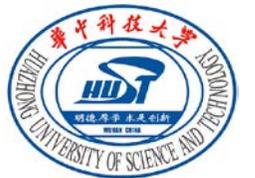
指数法

$$W_H = C_{H3} L^\alpha B^\beta D^\gamma d^\sigma C_B^\tau$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 1$$
$$\sigma = \tau = 0$$

立方模数法

$$W_H = C_{H2} LBD$$



第二章 船舶重量重心

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

(2) 统计公式法

对于一些常规船型（**油船、散货船、集装箱船**等），其结构形式相差不大、布置特点比较稳定，并有大量实船的**船体钢料重量**（ W_H ）数据。

用这些实船数据，人们已开展了大量的统计分析研究工作，得到了不少关于**船体钢料重量**的统计公式，可在设计的初始阶段参考使用。

下面，分别针对油船、散货船、集装箱船，各介绍一个统计公式。

未加特别说明时，公式中的**船长**（ L ）通常是指**垂线间长**（ L_{PP} ）；**船体钢料重量**估算结果的单位为吨（t）。

需要反复强调的是，一是，注意统计公式的适用范围；二是，各个变量的单位；三是，有相近母型船的数据时，应用该数据来评估统计公式的准确性。

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

(2) 统计公式法

油船



$$W_H = KL^{1.724} B^{0.386} \left(\frac{d}{D} \right)^{0.0282} C_B^{0.0032}$$

式中, $K = 0.261 \sim 0.273$ (仅有双层底时)

$K = 0.276 \sim 0.345$ (双底双壳时)

对于**空船重量** (LW) > 100,000吨的油船, K 值应取较大值。

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

(2) 统计公式法

散货船



对于**空船重量** (LW) 为10,000吨~50,000吨的散货船

$$W_H = 3.90KL^2B(C_B + 0.7) \times 10^{-4} + 1200$$

式中, $K = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2}$

2.3 船体钢料重量估算

三、船体钢料重量的粗略估算

(2) 统计公式法

集装箱船



对于**空船重量**（ LW ）为7,000吨~20,000吨的集装箱船

$$W_H = 111 \left(\frac{LBD}{1,000} \right)^{0.9} \left(0.675 + \frac{C_B}{2} \right) \left[0.939 + 0.00585 \left(\frac{L}{D} - 0.83 \right)^{1.8} \right]$$

当**空船重量** < 7,000吨时，估算结果可能偏大；
当**空船重量** > 20,000吨时，估算结果可能偏小。

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

随着设计工作的深入，当具备了一定的设计资料后，可以进行较为详尽的**分项估算**，以进一步提高估算结果的准确性。

对于每个分项，仍然可以采用**等比换算法**、**统计公式法**进行估算。

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

案例1

例如，当有详细的**分项重量**资料后，就可以将船体构件分成若干组，如外板、内底板、船底结构、船侧结构、甲板、舱壁等等，然后**参照**表中所给的形式，**利用**母型船数据**逐项进行等比换算**。最后汇总相加，得到**船体钢料重量**。

项目	等比换算式	项目	等比换算式
外板	$L^2(B+2D)$	平台甲板及其构架	$L^{1/2}B$
内底板	L^2B	主横舱壁	BD
底部构架	$Ld(B+2D)$	主纵舱壁	Ld 或 LD
上甲板及其构架	L^2B	舳龙骨	L
中间甲板及其构架	LB	船体铸锻件	$(LBD)^{1/3}$

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

案例2

又如，当设计船已有了典型横剖面结构图和总布置图以后，可将船体钢料重量 (W_H) 分为全船性钢料重量 (W'_H) 和其它结构重量两大部分，分别进行估算。

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

(1) 全船性钢料重量 (W'_H) 的估算

为此，引入**每米长度重量** (ω) 的概念。

$$\omega = \frac{\text{单元总重量}}{\text{单元长度}}$$

纵向构件 外板、连续甲板、连续纵舱壁、纵桁、纵骨等

横向构件 肋骨、横梁、肋板、肘板等。

一个**肋骨**间距（横骨架式船）

两个**强横框架**之间的距离（纵骨架式船）

据此，估算**全船性钢料重量** $W'_H = \omega L_{PP} C_B^{1/3}$

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

假设，**设计船**的全船性钢料重量 (W'_H) 与**母型船**的全船性钢料重量 (W'_{H0}) 之间，下列**等比换算**关系成立

$$\frac{W'_H}{W'_{H0}} = \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \frac{L_{PP}}{L_{PP0}} \cdot \frac{C_B^{1/3}}{C_{B0}^{1/3}}$$

则**设计船**的全船性钢料重量 (W'_H) 可估算为

$$W'_H = \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \frac{L_{PP}}{L_{PP0}} \cdot \frac{C_B^{1/3}}{C_{B0}^{1/3}} \cdot W'_{H0}$$

母型船的全船性钢料重量。已知

设计船的每米长度重量。可根据**设计船**的典型横剖面结构图和总布置图计算。

母型船的每米长度重量。可根据**母型船**的典型横剖面结构图和总布置图计算。

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

(2) 全船性钢料重量 (W'_H) 的局部修正

针对与母型船在结构方面的差异处，如舱口、舷弧、首尾特殊结构及局部加强等，应进行逐项修正。

(3) 其他结构重量的估算

对上层建筑、横舱壁、局部平台、轴支架、机座等进行重量估算。

(4) 最后，将各部分重量相加，可得设计船的船体钢料重量。

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

案例3

再如，当设计船已有了典型**横剖面结构图**和**总布置图**以后，对于常规船型，如果缺乏母型船资料，可采用**统计公式法估算船体钢料重量** (W_H)。

在计算出设计船的每米长度重量以后，可用下列统计公式，近似估算设计船的**全船性钢料重量** (W'_H)

$$W'_H = \begin{cases} \omega \cdot \frac{L}{1.174} & \text{丰满型船舶} \\ \omega \cdot \frac{L}{1.195} & \text{瘦长型船舶} \end{cases}$$

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

一般货船，上层建筑、甲板室，重量估算的统计公式

艏楼 (forecastle) 重量 $W_{fcl} = 1.8L^{0.82}[l \times b + 10(l + b)] \times 10^{-3}$

艉楼 (poop) 重量 $W_{pop} = (0.4L \times 10^{-3} + 0.084)[l \times b + 5(l + b)]$

甲板室 (deck room) 重量 $W_{DK} = \sum (0.4L \times 10^{-3} + 0.04)[l_i \times b_i + 5(l_i + b_i)]$

式中， l, b 为艏楼或艉楼的长度和平均宽度，单位均为米 (m)

l_i, b_i 为各层甲板室的长度和平均宽度，单位均为米 (m)

2.3 船体钢料重量估算

四、船体钢料重量的分项估算

主船体**内舱壁**的重量可根据**总布置**逐一估算。

每个**舱壁**的重量近似地可按**舱壁板**的重量乘上系数1.2~ 1.35得到，用以计及**骨架**的重量。

深舱取大值，一般**水密舱壁**和**局部舱壁**取小值。

在上述各项分项估算的基础上，也可得到设计船的**船体钢料重量** (W_H)。

2.3 船体钢料重量估算



船体钢料重量，在**空船重量**中所占比重较大。

因此，**船体钢料重量**的估算，对于决定设计船的**空船重量**、进而对**排水量**的影响都是显著的。

船体钢料重量，和**船舶主尺度**、**布置特征**、**使用要求**等诸多因素有不同程度的关联。

对船体钢料重量**粗略估算**时，主要采用等比换算法和统计公式法；对船体钢料重量**分项估算**时，有不同的分项方式。