

在线开放课程 《船舶设计原理》

第二章 船舶重量重心

2.8 重力与浮力的平衡方法

华中科技大学 船舶与海洋工程学院



2.8 重力与浮力的平衡方法

一、问题的提出

船舶在静水中的平衡条件要求

$$LW(\mathbf{x}) + DW(\mathbf{x}) = \Delta(\mathbf{x})$$

$$\text{式中, } \mathbf{x} = [L \quad B \quad D \quad d \quad C_B \quad C_W \quad C_P]^T$$

船舶表征向量

然而，根据初选主尺度要素估算出来的**船舶排水量**和**船舶重量**，一般是不会相等的，即浮力和重力不平衡。
因此，需要通过**调整**来实现平衡。

2.8 重力与浮力的平衡方法

一、问题的提出

一般而言，**假设**重量的估算是正确的。

因为，即使重量的估算存在误差，但至少目前没有依据随意地修改重量估算的结果。

因此，我们可以通过**调整主尺度**来**调整浮力**，逐步实现重力和浮力的平衡。

那么，应该**调整多少浮力**是合适的，这是需要考虑的一个问题。

2.8 重力与浮力的平衡方法

一、问题的提出

例如

任务书要求的**载重量**

初估的**空船重量**

依据主尺度初估的**排水量**

(1)	$DW=17,500\text{吨}$	+	$LW=6,500\text{吨}$	>	$\Delta=23,500\text{吨}$	总重量多500吨
			+ $X\text{吨}$		+ 500吨	排水量: 增加500吨 空船重量: 增加X吨
(2)	$DW=17,500\text{吨}$	+	$LW=6,500\text{吨}+X\text{吨}$	>	$\Delta=24,000\text{吨}$	但是, 仍然不平衡

由此可见：**排水量**的增量应大于500吨。但是大多少合理呢？
为了回答上述问题，人们引入了**诺曼系数(Normand)**的概念。

2.8 重力与浮力的平衡方法

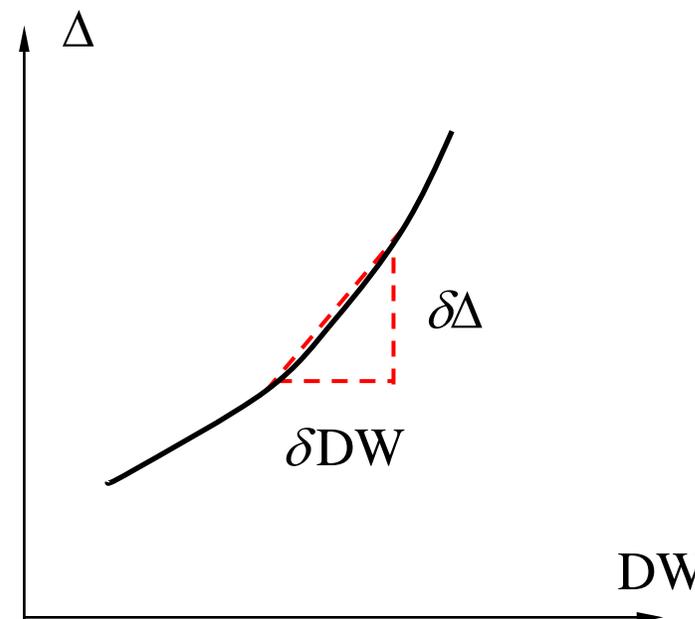
二、诺曼系数

诺曼系数定义为排水量变化与载重量变化的比值，即

$$N = \frac{\delta\Delta}{\delta DW}$$

式中， N 为诺曼系数
 $\delta\Delta$ 为排水量的变化
 δDW 为载重量的变化

诺曼系数可以理解为排水量随载重量变化曲线的斜率。



2.8 重力与浮力的平衡方法

二、诺曼系数

船舶在静水中的平衡条件要求

$$\Delta = LW + DW = W_H + W_O + W_M + DW$$

则排水量 (Δ) 的变化为

$$\delta\Delta = \frac{\partial W_H}{\partial \Delta} \delta\Delta + \frac{\partial W_O}{\partial \Delta} \delta\Delta + \frac{\partial W_M}{\partial \Delta} \delta\Delta + \delta DW$$

2.8 重力与浮力的平衡方法

二、诺曼系数

假设

$$W_H = C_H \Delta^\alpha$$

则有

$$\frac{\partial W_H}{\partial \Delta} = C_H (\alpha \Delta^{\alpha-1}) = \alpha \frac{C_H \Delta^\alpha}{\Delta} = \alpha \frac{W_H}{\Delta}$$

$$W_O = C_O \Delta^\beta$$

$$\frac{\partial W_O}{\partial \Delta} = C_O (\beta \Delta^{\beta-1}) = \beta \frac{C_O \Delta^\beta}{\Delta} = \beta \frac{W_O}{\Delta}$$

$$W_M = C_M \Delta^\gamma$$

$$\frac{\partial W_M}{\partial \Delta} = C_M (\gamma \Delta^{\gamma-1}) = \gamma \frac{C_M \Delta^\gamma}{\Delta} = \gamma \frac{W_M}{\Delta}$$

可得

$$\delta \Delta = \alpha \frac{W_H}{\Delta} \delta \Delta + \beta \frac{W_O}{\Delta} \delta \Delta + \gamma \frac{W_M}{\Delta} \delta \Delta + \delta DW$$



$$\delta \Delta = \frac{1}{1 - \left[\alpha \frac{W_H}{\Delta} + \beta \frac{W_O}{\Delta} + \gamma \frac{W_M}{\Delta} \right]} \delta DW$$



$$N = \frac{\delta \Delta}{\delta DW} = \frac{1}{1 - \left[\alpha \frac{W_H}{\Delta} + \beta \frac{W_O}{\Delta} + \gamma \frac{W_M}{\Delta} \right]}$$

2.8 重力与浮力的平衡方法

二、诺曼系数

$$N = \frac{1}{1 - \left[\alpha \frac{W_H}{\Delta} + \beta \frac{W_O}{\Delta} + \gamma \frac{W_M}{\Delta} \right]}$$

诺曼系数 N 具有下列性质

- 诺曼系数 $N > 1$;
- 诺曼系数 N 的大小与空船重量占排水量的比例大小有关;
- 诺曼系数 N 的数值依赖于空船重量的各项分量与排水量的关系;
- 当 $\alpha = \beta = \gamma = 1$ 时, 诺曼系数与载重量系数互为倒数。

$$N = \frac{1}{1 - \left[\frac{W_H}{\Delta} + \frac{W_O}{\Delta} + \frac{W_M}{\Delta} \right]} = \frac{1}{1 - (C_H + C_O + C_M)} = \frac{1}{\eta_{DW}}$$

2.8 重力与浮力的平衡方法

二、诺曼系数

$$N = \frac{1}{1 - \left[\alpha \frac{W_H}{\Delta} + \beta \frac{W_O}{\Delta} + \gamma \frac{W_M}{\Delta} \right]}$$

显然，为调整排水量而**修改主尺度要素**时，则**空船重量**也将会发生改变，**诺曼系数** N 也将随之变化。

在**主尺度要素**中，船长影响最大，船宽次之，吃水和方形系数则影响最小。

- 如果通过调整**船长**或**船宽**来改变排水量，则空船重量变化就大，诺曼系数 N 应有较大的值；
- 如果通过调整**吃水**或**方形系数**来改变排水量，则对空船重量的影响很小，诺曼系数 N 应有较小的值。

2.8 重力与浮力的平衡方法

二、诺曼系数

$$N = \frac{1}{1 - \left[\alpha \frac{W_H}{\Delta} + \beta \frac{W_O}{\Delta} + \gamma \frac{W_M}{\Delta} \right]}$$

以下数据可供参考

	α	β	γ
修改 船长 时	1.2~1.5	0.5~0.8	0.2~0.3
修改 船宽 时	1.0	0.7	0.2
修改 吃水 或 方形系数 时	0.4	0	0

2.8 重力与浮力的平衡方法

三、迭代步骤

船舶的**排水量**与**空船重量**和船舶的**主尺度要素**必然存在着客观关系。

然而，这种关系是复杂的、隐性的、非线性的，无法建立起显式的函数表达式来进行直接求解。只能通过逐步近似的方法来实现平衡条件的要求。

事实上，各项重量与排水量之间的关系难以确切掌握。
诺曼系数法，为重力与浮力的平衡迭代过程提供了一种快速收敛的办法。

2.8 重力与浮力的平衡方法

三、迭代步骤

在**初步选取**了一组主尺度要素以后，**先估算**出各部分重量，**再考虑**平衡条件的要求选择船舶的吃水、方形系数和排水量等参数。

然后，进一步考虑各种其他因素和要求来调整主尺度，通过逐步近似的方法实现重力与浮力的平衡。最后，得到一组满足平衡条件的主尺度要素。

- 粗估船舶排水量的第一次近似值。
- 在此基础上，结合考虑一些因素，初步选择一组主尺度要素。该组主尺度要素应当满足粗估的排水量要求。
- 根据初定的主尺度要素，估算各项重量，进而得到船舶重量。
- 将得到的船舶重量与船舶排水量进行比较。

2.8 重力与浮力的平衡方法



一般而言，根据初选主尺度要素估算出来的船舶排水量和船舶重量是不会相等的。因而，需要不断地调整来实现平衡。

由于问题的复杂性，这种调整绝不是简单的加减法。

为此，引入**诺曼系数**，为重力与浮力的平衡迭代过程提供了一种快速收敛的办法。