第48卷第4期
2008年7月

大连理工大学学报
Journal of Dalian University of Technology

Vol. 48, No. 4
July 2008

文章编号：1000-8608(2008)04-0533-03

# 海洋结构物重量及重心位置精度控制研究

李艳君*，刘玉君

（大连理工大学 船舶工程学院，辽宁 大连 116024）

**摘要：** 以数理统计学为基础，运用尺寸链原理，推导了大型复杂海洋结构物重量及重心位置的精度控制计算公式，并给出了设计阶段重心计算的简化公式. 以该系列公式为基础，根据每月从车间及各专业返回的零部件的重量重心真实值，精度管理者可以计算整个结构的重量重心及其误差，并判断误差是否满足公差要求，进而决定下一步建造中结构零部件的容许误差. 因此运用该方法，精度管理者可直观地把握大型复杂海洋结构物的重量及重心位置随建造过程的变化情况.

**关键词：** 精度控制；重量及重心位置；公差分配

**中图分类号：** U671.4　　**文献标志码：** A

## 0 引　言

在大型复杂结构物的建造中，必须对产品建造的全过程进行精度控制. 刘玉君等[1]研究了船体建造精度控制中的尺寸链计算方法问题；Yasuhia[2]分析了影响船舶分段尺寸误差的主要因素；Storch 等[3]介绍了美国船厂全面质量管理系统中的精度控制系统. 在船舶、海洋平台等大型复杂海洋结构物的建造过程中，重量重心控制的目标，就是使完工后的产品重量重心能够满足公差要求. 在海洋产品制造业，过大的误差将使产品因不能满足使用要求而成废品，而过高的精度要求将会造成过高的精度控制费用和过高的废品率，从而导致成本过高. 在精度控制各项中，产品的重量及重心位置是保证产品功能得以实现，并最终影响经济效益的关键因素. 因此，有效地对海洋工程产品结构重量及重心位置实施精度控制是建造者的重要任务之一. 本文将以数理统计及尺寸链原理为基础，推导计算大型复杂结构物的重量及重心位置的精度控制方法.

## 1 大型复杂海洋结构物重量及重心位置精度控制

对于某一大型复杂结构，设计完工后的重量为 $W$，重心位置为 $X$. 如果该结构由 $n$ 个组件构成，组件重量 $W_i$、重心位置 $X_i$，则重量及重心位置函数为

$$W = \sum_{i=1}^{n} W_i \tag{1}$$

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i X_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{2}$$

### 1.1 误差传递——预估结构完工后的重量重心误差

结构设计完工后，根据以往生产经验及统计结果，可以计算出组件重量及重心位置的误差：$\delta_{W_i}^{+}$、$\delta_{W_i}^{-}$、$\delta_{X_i}^{+}$、$\delta_{X_i}^{-}$. 如果有非正态分布的误差，则按比例将其转化为正态分布[1].

现在计算该结构的重量极限上偏差 $\delta_W^{+}$、极限下偏差 $\delta_W^{-}$、偏差 $\delta_W$ 和重心位置极限上偏差 $\delta_X^{+}$、极限下偏差 $\delta_X^{-}$ 及偏差 $\delta_X$.

1.1.1　重量误差计算　根据尺寸链计算公式[1]，计算传递系数：$r_{W_i} = 1$.

然后根据极值法[1]计算 $\delta_{W_i}^{+}$ 及 $\delta_{W_i}^{-}$. 由于 $r_{W_i} = 1 > 0$，得到

$$\delta_W^{+} = \sum_{i=1}^{n} \delta_{W_i}^{+} \tag{3}$$

**收稿日期：** 2006-10-19；　**修回日期：** 2008-05-30.
**基金项目：** 船舶与海洋工程辽宁省高校重点实验室开放基金资助项目.
**作者简介：** 李艳君*(1971-)，女，讲师；刘玉君(1962-)，男，教授，博士生导师.

$$\delta_W^- = \sum_{i=1}^{n} \delta_{W_i}^- \tag{4}$$

$$\delta_W = \delta_W^+ - \delta_W^- = \sum_{i=1}^{n} \delta_{W_i}^+ - \sum_{i=1}^{n} \delta_{W_i}^- \tag{5}$$

最后根据概率法计算 $\delta_{W_i}^+$、$\delta_{W_i}^-$（采用中间偏差“$e$”法），得到

$$e_{W_i} = \frac{1}{2}(\delta_{W_i}^- + \delta_{W_i}^+) \tag{6}$$

$$\delta_W^+ = \sum_{i=1}^{n} e_{W_i} + \frac{1}{2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\delta_{W_i}^+ - \delta_{W_i}^-)^2} \tag{7}$$

$$\delta_W^- = \sum_{i=1}^{n} e_{W_i} - \frac{1}{2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\delta_{W_i}^+ - \delta_{W_i}^-)^2} \tag{8}$$

$$\delta_W = \delta_W^+ - \delta_W^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\delta_{W_i}^+ - \delta_{W_i}^-)^2} \tag{9}$$

式中 $e_{W_i}$ 表示重量的中间误差.

1.1.2 计算重心位置误差 首先计算传递系数

$$r_{W_i} = \frac{\partial X}{\partial W_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(W_i X_i) - W_i X_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} W_i\right)^2} \tag{10}$$

$$r_{X_i} = \frac{\partial X}{\partial X_i} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{11}$$

然后根据概率法计算 $\delta_X^+$、$\delta_X^-$. 由于 $r_{W_i} > 0$ 且 $r_{X_i} > 0$，有

$$\delta_X^+ = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \delta_{X_i}^+}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{12}$$

$$\delta_X^- = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \delta_{X_i}^-}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{13}$$

$$\delta_X = \delta_X^+ - \delta_X^- = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i(\delta_{X_i}^+ - \delta_{X_i}^-)}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{14}$$

最后根据概率法计算 $\delta_{X_i}^+$、$\delta_{X_i}^-$（中间偏差“$e$”法），推导出

$$\begin{aligned} e_{W_i} &= \frac{1}{2}(\delta_{W_i}^- + \delta_{W_i}^+) \\ e_{X_i} &= \frac{1}{2}(\delta_{X_i}^- + \delta_{X_i}^+) \end{aligned} \tag{15}$$

$$\delta_X^+ = \sum_{i=1}^{n}(r_{W_i} e_{W_i} + r_{X_i} e_{X_i}) + \frac{1}{2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(r_{W_i}^2 \delta_{W_i}^2 + r_{X_i}^2 \delta_{X_i}^2)} \tag{16}$$

$$\delta_X^- = \sum_{i=1}^{n}(r_{W_i} e_{W_i} + r_{X_i} e_{X_i}) - \frac{1}{2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(r_{W_i}^2 \delta_{W_i}^2 + r_{X_i}^2 \delta_{X_i}^2)} \tag{17}$$

$$\delta_X = \delta_X^+ - \delta_X^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(r_{W_i}^2 \delta_{W_i}^2 + r_{X_i}^2 \delta_{X_i}^2)} \tag{18}$$

在实践中，估算重心位置误差有一定困难. 因此，在设计阶段，可假设重心位置为定值，没有偏差. 则式(18) 简化为

$$\delta_X = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(r_{W_i}^2 \delta_{W_i}^2)} \tag{19}$$

## 1.2 公差分配

公差分配意味着根据复杂结构限定的公差，确定组件的加工容许误差，将公差平均分配，即 $\delta_1 = \delta_2 = \cdots = \delta_n = \delta$. 根据极值法公式有

$$\delta = \frac{\delta_Y}{\sum_{i=1}^{n} |r_i|}$$

因此

$$\delta_{W_i} = \frac{\delta_W}{n} \tag{20}$$

$$\delta_{X_i} = \frac{\delta_X}{\sum_{i=1}^{n}(r_{W_i} + r_{X_i})} \tag{21}$$

根据概率思想，得到

$$\delta_{W_i} = \sqrt{\frac{\delta_W^2}{n}} \tag{22}$$

$$\delta_{X_i} = \sqrt{\frac{\delta_X^2 - r_{W_i}^2 \delta_{W_i}^2}{\sum_{i=1}^{n} r_{X_i}^2}} \tag{23}$$

也可按精度等级相同来分配公差.

## 1.3 重量重心控制过程

首先在建造开工前预估重量重心误差.

对于一艘已经设计好的船舶，在未进入开工建造阶段时，可以按照建造工艺要求对结构分段或零部件划分，设计出每一个分段或零部件的重量重心，并按照数理统计结果，计算出该船舶完工后的重量重心误差.

假设将该船分为 6 个分段，为简化计算，只考虑重心的 $X$ 坐标. 数据如表 1.

表格中，$X_i$ 表示分段 $i$ 沿船宽方向的坐标；所有变量都服从正态分布. 根据概率法计算重量，得到如下结果：$\delta_W^+ = 417.87$ t；$\delta_W^- = -46.13$ t；$\delta_W = 464.00$ t.

表 1　船舶重量重心误差数据

Tab. 1　The data of a ship's weight and its error

| 编号 | $W_i$/t | $\delta^+_{W_i}$/t | $\delta^-_{W_i}$/t | $X_i$/m | $\delta^+_{X_i}$/m | $\delta^-_{X_i}$/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 305 | 98 | −30 | 14.12 | 0.09 | −0.08 |
| 2 | 2 871 | 120 | −39 | 14.26 | 0.11 | −0.07 |
| 3 | 1 998 | 90 | −28 | 13.23 | 0.08 | −0.09 |
| 4 | 2 443 | 102 | −36 | −14.30 | 0.07 | −0.08 |
| 5 | 3 054 | 151 | −43 | −13.79 | 0.05 | −0.06 |
| 6 | 2 762 | 120 | −41 | −14.15 | 0.06 | −0.04 |

然后计算重心位置，得到 $\delta_X^+ = 0.035\ 7$ m；$\delta_X^- = -0.048\ 0$ m；$\delta_X = 0.083\ 7$ m.

该算例比较简单. 对于大型复杂结构，零部件数量较大，而且分专业，因而需要借助计算机技术来实现精度控制.

随着工程进展，已完工的分段误差由统计计算变为确定的真实误差. 因而每个月重量控制领导者都需要根据最新测量结果计算结构整体误差. 如果计算的结构误差超过容许误差，那么重量控制领导者就需要采取质量控制措施，以保证最终的完工产品成为合格品.

## 2　结　论

在船舶、海洋平台等大型复杂海洋钢结构物的建造过程中，必须对产品建造的全过程严格地进行重量重心的精度控制. 本文以数理统计及尺寸链原理为基础，推导出计算大型复杂结构物的重量及重心位置的精度控制方法. 在工程建造过程中，重量控制领导者可以按阶段根据各部门各专业提供的最新重量结果，计算建造中的全船重量及重心位置；然后利用该方法，重新计算全船重量重心的公差分配，从而使建造者可以直观有效地解决全船重量及重心位置在建造中的精度控制问题. 为了保证产品精度，努力提高日常的精度管理水平及搜集数据是必不可少的.

## 参考文献：

[1] 刘玉君，李艳君. 船体建造精度控制中的尺寸链计算方法[J]. 中国造船，2004，**45**(2)：81-86

[2] YASUHIA Okumoto. Dimension error of assembled blocks [J]. **Journal of Ship Production**，2001，**17**(1)：8-15

[3] STORCH R L，ANUTARASOTI S，SUKAPANPOTHARAM S. Implementation of variation merging equations for production data collections in accuracy control：a case study [J]. **Journal of Ship Production**，1999，**15**(1)：21-31

# Research on accuracy management of weight and centre of gravity of marine structures

LI　Yan-jun*，　LIU　Yu-jun

( School of Naval Architecture，Dalian University of Technology，Dalian 116024，China )

**Abstract**：A mathematical method is deduced by which the weight and the centre of gravity of a complicated marine structure can be managed effectively，based on the mathematic theory of statistics and the principle of size chain. And the predigest expression calculating the centre of gravity was offered during design. Based on the expressions，every month the administrator of the accuracy of the structure will calculate the weight and the centre of gravity of hull production in accordance with the actual data of its parts from workshops and specialties，judge its errors in tolerances and decide tolerance distribution of its weight and center of gravity. Then the administrator visually grasps the accuracy management of its weight and centre of gravity with manufacturing.

**Key words**：accuracy management；weight and centre of gravity；tolerance distribution