

公差造船浅说

汤义良 编



上海科学技术出版社

1071
T-5

公差造船浅说

汤义良 编

上海科学技术出版社

公差造船浅说

汤义良 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷六厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3 字数 61,000

1979 年 8 月第 1 版 1979 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—10,000

书号: 15119·1998 定价: 0.31 元

目 录

绪言	1
第1章 公差造船原理	4
§ 1-1 生产误差	4
§ 1-2 正态分布简介	6
§ 1-3 随机性误差分布	10
§ 1-4 均值和标准差实例计算	15
§ 1-5 正态曲线画法	17
§ 1-6 实际次数和理论次数比较	20
§ 1-7 χ^2 适度测验	21
§ 1-8 生产概率计算	24
§ 1-9 按实测误差计算公差	27
§ 1-10 公差制订准则	29
第2章 公差造船方法	38
§ 2-1 精度控制	38
§ 2-2 精度构造	43
§ 2-3 概率论和数理统计学中的若干定义与定理	45
§ 2-4 误差累积方程式的推导和求解	47
§ 2-5 误差累积方程式的实例求解	56
§ 2-6 精度计划	65
§ 2-7 公差造船实施	71
附录	73
参考文献	87

绪 言

1889年发明焊接技术后，造船上的铆接工艺逐渐被焊接工艺所取代，使造船的速度起了一次飞跃，但建造的方法仍是一只一只零件的分散安装，即所谓板板装配的造船工艺。1941年的前后各国造船业陆续采用了分段装配的建造方法，即所谓块块装配的造船工艺。这种分段装配的工艺到50年代更趋完善，使造船的速度起了又一次飞跃。

然而焊接技术在分段装配的造船工艺中带来了大量的热，引起严重的船体变形，同时又产生了为消除焊接变形的火工矫正作业，这种焊接和火工的热变形，人们在造船的初期是不易掌握和控制的；另一方面在造船生产的每道工序中，不论是手工作业还是机械自动作业，均有一定的施工误差，即任何人操作，任何设备加工总是有一定的精确度，所以在采用焊接技术的分段装配的造船工艺中，始终存在着施工变形和施工误差这两个需要解决的问题。60年代以前，各国造船业都不得不在造船的生产中，对零件、分段采取加放工艺余量和控制建造公差（又称技术标准）的方法，作为解决船体的施工变形和施工误差的工艺手段。这里，余量是用来弥补船体因施工变形而出现的尺寸不足，公差是用来控制生产的每道工序的质量要求。余量和公差两者相辅相成地保障了分段装配的顺利进行。

从造船生产的实践中可知，实行过高的公差和过少的余量，或实行过低的公差和过多的余量，各有缺点，都将影响造

船业的发展,尤其在建造成批的大量船舶,或建造大型船舶时,显得更突出。

过高的公差和过少的余量,在生产上较难达到要求,需要较高的技术熟练程度的人员和精密度高的生产设备;尽管加工的零件与制造的分段精度较高,但是生产周期长,工程进度慢,产品报废率高,因而也相应地提高了生产成本。

而过低的公差和过多的余量,在生产上容易达到要求,分段制造的生产周期短,对人员的技术熟练程度与设备精密度的要求也不高,这就必然影响产品的精度。由于每道工序精度差,则在以后的工序中皆要产生大量返工修正作业,而这种返工修正作业的工时要占整个消耗工时的30~40%;由于加工的精度差,导致装配的焊缝精度差,造成焊接的材料和工时增加到2~3倍;由于装配焊接的精度差,使船体变形严重,精度差值难以控制在一定的范围内,这对于实现扩大机械、管系、电气、舾装的预制预装新工艺是困难的。另外过多的余量必然要浪费钢材,按统计:钢材浪费的数量达每一艘船舶载重量的0.3~0.5%。

60年代初期,世界各国的造船业,先后着手研究、探索最佳的余量和公差制,以期创造出更经济的造船方法。在进行造船设计时,为了保证船舶的安全航行与船舶的营运要求,常以丰富的生产实践为基础和先进的科学理论作辅导,制订出适合自己国家的造船规范。同样,在进行造船生产时,为获得产量高、成本低、质量好、周期短的造船效果,也可以用丰富的施工实践为基础和辅以统计概率的精度管理原理和方法,制订出适合自己的最佳的工艺余量和建造公差。亦即提出造船生产中一系列工序的最合理的公差和最恰当的余量以控制掌握零件分段的尺寸精度。因此,与其说造船规范是造船设计

的依据，则无宁说造船精度是造船生产的指南。这就是现代化造船中采用所谓精度管理或称公差造船新工艺的基本思想。公差造船是现代化造船中一种有成效的造船方法，将使造船速度大幅度地增长而引起另一次飞跃。

由于各国造船的具体情况不同，对于这种新工艺有的叫公差造船，有的叫尺寸管理，有的叫真尺寸造船，有的叫品质管理、精度管理，有的叫质量管理、质量控制，有的叫无余量装配、正作造船等，名称虽不一，但其意义在本质上是是一致的。一般广义地说应叫质量管理，狭义地说应叫精度控制，总之，不论是叫公差造船还是叫精度管理，这种新工艺的精髓是不带余量，不是没有公差，而是具有必须的最小的余量和最合理的最大的公差，能够科学地掌握和控制零件与分段的几何尺寸精度，它是现代化造船生产管理的工艺技术。在名称没有统一之前，暂以公差造船或精度管理的名称命名。

第1章 公差造船原理

§1-1 生产误差

在造船生产中不论是放样、焊接或其他工序,不论是手工作业还是机械自动作业,将不可避免地产生图示尺寸与完工尺寸之间的偏差,即生产误差,或者说存在一定的精度。按照造船业的特点,造船的生产误差有草率性、规律性与随机性三类误差。

1. 草率性误差

人的粗心大意,思想上不重视、不认识,如看错尺寸、符号、不按施工要求规定操作,使用失修的设备加工等所产生的生产误差,叫做草率性误差。这种误差,在贯彻实行公差造船的新工艺中必须剔除和消灭。

2. 规律性误差

在一定的生产工艺条件下,存在着有一定的规律性的,并被人们所掌握的一种确定性关系的生产误差。例如用一定粗细的石笔进行样板号料,其误差是比样板尺寸大的正误差,其数值的大小与石笔的粗度有关。又如列板的拼装焊接成的整块板列的宽度尺寸,因为焊接的收缩将产生负误差的生产误差(即焊接后的整块板列的尺寸确定要小);而误差的大小则与板列数量、焊缝长度与施焊的规范大小有关,即在一定的焊接条件下,一定规格的板材经拼装焊接后,将产生确定数值的规律的负误差。这种有确定性关系的生产误差,叫做规律性误差,又称条件误差或系统误差。

所谓确定性的关系,就是规律性,犹如水在一定的条件下加热或冷却,要确定地形成蒸汽或冰块一样,它们是肯定的确认的事实,有其规律性。但在造船的生产过程中,由于船体形状复杂、工件尺度大、品种多、少量生产、手工作业多等不可控因素的存在,使造船的生产误差中出现的规律性误差很少,极大部分则是随机性误差。

3. 随机性误差

在造船的生产过程中,由于受到很多不可控因素偶然性的影响,即使在同一生产的工艺条件之下,每道工序,每台设备,总是要产生大小不定,正负不定的误差。这是一种有一定范围限制的偶然性的生产误差。例如同一个人在不同的时间内,在钢板的上面画一些直角线,检测这些直角线的误差是各不相同的;又如按照号料的线迹进行气割,不管是手工气割还是自动气割,不管任何人操作,都要产生大小不一、正负不一的误差;又如制造一个部件或分段,如果经过5道工序,假定每道工序的误差是 ± 2 毫米,由于各道工序组合累积的结果不同,最后的误差可能是 ± 2 毫米、 ± 4 毫米、 ± 6 毫米、 ± 8 毫米、 ± 10 毫米,有多种可能的取值误差。这种有偶然性的随机变化的误差,叫做相关关系的随机性误差或称偶然性误差。

所谓相关关系可作下述的比喻:旋一枚铜板时,出现正面或反面是不能肯定的,只能说或为正面或为反面;又如投掷一颗制造得很精确的六面骰子(骰子的六面分别刻有1~6标记),骰子向上的一面出现的标记,也是不能肯定的,只能说或为1、或为2、...、或为6。同样,在造船生产的工序中,由于不可控因素累积结果的偶然性影响,最后一道工序的误差也是不能肯定的,其中每一种可能的结果都有一定的出现机会,即有一定的可能程度,存在着一定的概率分布,这就是相关关系

的随机性偶然误差,这就是研究公差造船实行精度管理,在理论上最基本的概念。

对于造船生产中的草率性误差可通过思想教育的方法解决;对于规律性误差须通过总结提高的方法逐步完善;对于随机性误差则须通过实际观察和概率统计的方法,掌握和控制造船生产中的相关关系的随机误差,这就是贯彻公差造船实行精度管理的主要内容。

§ 1-2 正态分布简介

1. 正态分布意义

由上可知造船生产中的随机性误差,是一个变量,而且它是一个连续型的正态分布,按照正态分布的理论,正态分布曲线由正态概率密度函数 y 给出:

$$y = \phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

式中变量 x 是随机变量 ξ 的取值,它可以是数轴上任何点。 a 和 σ^2 分别是随机变量 ξ 的均值和方差。 a 表示曲线最高点的横坐标,亦称正态分布的平均值,简称均值,曲线对 a 对称。 σ 表示是曲线的根方差,亦称标准偏差、标准差、工艺

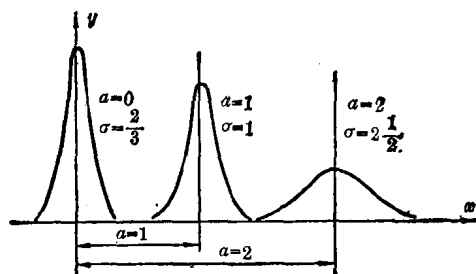


图 1-1 正态分布直观意义

准确度、离散度等名称。不同的均值 a 和根方差 σ 所呈现的正态概率曲线的坦陡程度与位置均不同,如图 1-1 所示。

正态曲线的位置,由均值 a 决定(图 1-2), a 值意味着多次测量的共同偏差,即平均值,也就是某一定生产工艺的条件误差或叫系统误差,也就是规律性误差。 a 值越小曲线对称轴越接近 y 轴,说明工艺上的正确度越高。反之, a 值越大则工艺上的正确度越低。

正态曲线的形状(即曲线的高矮胖瘦)由标准差 σ 决定(图 1-3), σ 值意味着工艺上的准确程度,它给出了生产上变化的信息大小, σ 值越大曲线越平坦,说明测量的数据越分

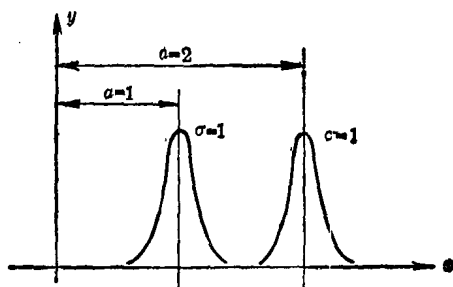


图 1-2 a 值意义

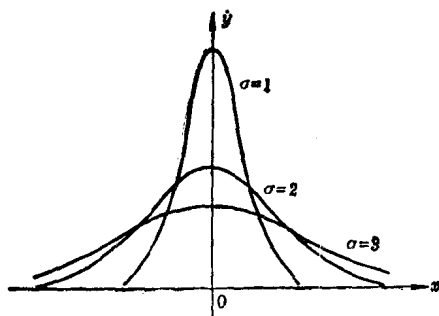


图 1-3 σ 值意义

散; σ 值越小曲线越陡削, 说明测量的数据越集中, 工艺上精密密度越高。用 N 表示正态分布, 则记号 $N(a, \sigma)$ 表示均值 a 和标准差 σ 的正态分布; $N(a, \sigma^2)$ 表示均值 a 和方差 σ^2 的正态分布; $N(0, 1)$ 叫做标准化正态分布, 即均值为零, 标准差为 1 的正态分布。所以均值 a 和标准差 σ 是决定和确立正态分布的两个特性参数, 是正态分布的关键尺度。

从高斯(Gauss)误差理论得知概率

$$P(a < x_i < b) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_a^b e^{-h^2(x-m)^2} dx$$

这里概率密度函数

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2(x-m)^2},$$

m 表示真值, 即均值 a ; h 表示观测精度,

$$h = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma}, \quad \text{即} \quad h^2 = \frac{1}{2\sigma^2}$$

与正态分布理论的概率密度函数

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

是一致的, 可以说正态分布理论就是误差理论, 因此只要求出均值 a 和标准差 σ , 就可确定正态分布曲线。换言之, 通过数理统计的方法, 在造船生产中的每一阶段、每一零件、每一部件、每一分段、每一船舶的制造, 对于它的均值 a 和标准差 σ 能够统计出来, 就可确定它们相应的随机误差。这是推行公差造船的第一步工作。它能真实地反映每个工厂在目前的技术条件和工艺状况下的生产误差, 判断某一道工序或某一台设备的精确度的情况(过高或过低), 进而可采取措施, 进行技术改造, 保证需要的精确度, 提高造船生产率。

2. 正态分布参数

以造船中的随机性误差作为正态分布母体记为 $N(a, \sigma)$, 则随机抽取某些船的产品作为样本记为 $N(\bar{x}, S)$ 。为了通过样本的个体了解正态母体的总体, 下面介绍几个常用的重要特征参数:

均值 $\bar{x}$ ——即算术平均值。

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \cdots + x_n) / n = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (1-1)$$

式中的 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 为一批构件实测尺寸, n 为数量。

极差 R ——即误差范围值, 是数据中最大值与最小值之差。

$$R = \max\{x_1, x_2, \cdots, x_n\} - \min\{x_1, x_2, \cdots, x_n\} \quad (1-2)$$

标准差 S ——即根方差、偏差。

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_n - \bar{x})^2 / n} \\ &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \end{aligned}$$

考虑到概率论中的无偏估计, 在 n 较小时, 样本方差数学期望, 并不正好等于母体的方差, 而是等于母体方差乘以因子 $n-1/n$, 所以样本的标准差

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1-3)$$

正态分布概率密度函数

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (1-4)$$

由于标准化正态分布 $N(0, 1)$, 即 $a=0, \sigma=1$, 所以标准化正态分布函数 y 值, 代入式 1-4, 则

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (1-5)$$

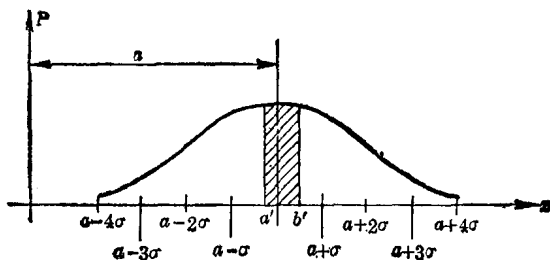


图 1-4 正态分布概率

随机误差的样本 x 值落入任意区间 (a, b) 的概率记作 P ($a < x < b$)，它的几何表示如图 1-4 所示，是以这个区间 ($x = a' \sim x = b'$) 为界的分布曲线下的面积 (图中阴影部分)。其他任意区间的概率 P 经计算后得：

落在 $a \pm \sigma$ 的区间概率

$$P = 68.3\%$$

落在 $a \pm 2\sigma$ 的区间概率

$$P = 95.4\%$$

落在 $a \pm 3\sigma$ 的区间概率

$$P = 99.7\%$$

§ 1-3 随机性误差分布

造船生产中的错综复杂因素，使生产误差在大多数情况下呈现出随机性。把近代概率论与数理统计学中的正态分布理论应用在统计质量控制上，证明造船生产中的随机性误差与机械制造发生的误差一样，都是遵循着正态分布的规律的；即使总体不合乎正态分布，而它的样本特征如平均值和方差则都是接近于正态分布的。这就为研究公差造船奠定了理论基础。

1. 实船资料数据的整理与分析

现将某厂连续建造的 28 艘船舶的一些原始数据汇集在表 1-1 中, 表中的数值单位为毫米。

表 1-1 原始数据

产 品 编 号	总 长 误 差	型 宽 误 差	艏 高 误 差	艉 高 误 差	船 底 挠 度		
					#28 基 线	#37 基 线	#49 基 线
造 750	-34	-4	+31	-10	-5.5	-7	-10
造 751	-5	-23	+28	+10	-3	+3	-6
造 752	-17	+3	+8	+2	+2	+1	-4
造 775	+11	+7	+23	+15	-5	-1	-6
造 776	-15	-11	+25	-6	-6	+1	-7
造 777	-13	-14	+15	+8	-6	+2	-11
造 778	-6	+12	+4	+28	±0	+5	-1
造 794	-16	-2	+22	+4	-3	±0	-2
造 795	-47	-11	+21	+9	-12	-3	±0
造 796	-17	+7	+28	+15	+13	+4	±0
造 797	+10	-15	-7	-29	-1	+2	-12
造 798	-27	-5	+33	-11	-3	-9	-14
造 799	-28	+2	+7	-2	+6	+2	-6
造 852	-7	-5	+13	+6.5	-1	+1	±0
造 863	-48	+6	+40	+3	±0	-5	-6
造 864	-30	+10	+40	+30	-5	±0	±0
造 865	-5	-10	+14	±0	-5	-8	-14
造 866	+11	±0	+24	-5	-10	-4	-2
造 867	-25	+5	+20	+12.5	+1	+3	-7
造 868	-2	+22	+47	+10.5	+2	+11	+7
造 869	-10	+2	+21	-5	-5	+1	+5
造 870	-22	+15	+15	+12	+7	-2	-12
造 871	+5	+25	+14	+23	+2	+2	+5
造 872	-29	-15	+20	+2	-3	-12	-2
造 873	-34	-22	+10	-12	±0	+1	-5
造 874	-13	-2	+48	+27	-5	-4	-5
造 875	-8	+15	+20	+11	+5	-8	-1
造 877	-45	-2	+32	+4	±0	+3	+10

表 1-2 原始数据的整理

序号	总 长	型 宽	艏 高	艨 高	#28 基线	#37 基线	#49 基线
1	+11	+25	-7	-29	-12	-12	-14
2	+11	+22	+4	-12	-10	-9	-14
3	+10	+15	+7	-11	-6	-8	-12
4	+5	+15	+8	-10	-6	-8	-12
5	-2	+12	+10	-6	-5.5	-7	-11
6	-5	+10	+13	-5	-5	-5	-10
7	-5	+7	+14	-5	-5	-4	-7
8	-6	+7	+14	-2	-5	-4	-7
9	-7	+6	+15	± 0	-5	-3	-6
10	-8	+5	+15	+2	-5	-2	-6
11	-10	+3	+20	+2	-3	-1	-6
12	-13	+2	+20	+3	-3	± 0	-6
13	-13	+2	+20	+4	-3	± 0	-5
14	-15	± 0	+21	+4	-3	+1	-5
15	-16	-2	+21	+6.5	-1	+1	-4
16	-17	-2	+22	+8	-1	+1	-2
17	-17	-2	+23	+9	± 0	+1	-2
18	-22	-4	+24	+10	± 0	+1	-2
19	-25	-5	+25	+10.5	± 0	+2	-1
20	-27	-5	+28	+11	± 0	+2	-1
21	-28	-10	+28	+12	+1	+2	± 0
22	-29	-11	+31	+12.5	+2	+2	± 0
23	-30	-11	+32	+15	+2	+3	± 0
24	-34	-14	+33	+15	+2	+3	± 0
25	-34	-15	+40	+23	+3	+3	+5
26	-45	-15	+40	+27	+5	+4	+5
27	-47	-22	+47	+28	+6	+5	+7
28	-48	-22	+48	+30	+7	+11	+10

粗看表 1-1 中的误差数值, 是不易看出它们的内在联系的, 如将表 1-1 中的误差数值按大小顺序排列进行变换 (表 1-2), 则可见船体总长误差的极大部是负误差, 艏高、艉高误差的极大部是正误差, 而型宽误差和基线误差则是大小、正负不一的波动误差。这些波动的误差数值有一定的范围, 而不是杂乱无章的。

为了弄清上述原始数据波动的规律性, 将类型相同、性质一致的测量点, 即以 *28、*37、*49 基线误差数据由表 1-2 变换成表 1-3 的型式。

表 1-3 频数分布表

序 号	分 组	频数 n	相对频数 n/N (频率)
1	-14.5 ÷ -11.5	6	0.071
2	-11.5 ÷ -8.5	4	0.048
3	-8.5 ÷ -5.5	11	0.131
4	-5.5 ÷ -2.5	17	0.203
5	-2.5 ÷ +0.5	19	0.226
6	+0.5 ÷ +3.5	17	0.203
7	+3.5 ÷ +6.5	6	0.071
8	+6.5 ÷ +9.5	2	0.024
9	+9.5 ÷ +12.5	2	0.024
	总 和	$N=84$	$1.001=1$

在变换成表 1-3 之前, 先须按基线测量点误差的大小、排列顺序 (参见表 1-2), 找出最大值与最小值 (+11, -14) 之后进行分组, 决定组距与组数。组距决定于极差 R , 即最大值与最小值之差。从表 1-2 中可知, $R = -14 - (+11) = -25$, 数据 N 等于 84。一般样本数较多时, 可分为 10~20 组; 样本数小于 50 时, 则分成 5~6 组。从表 1-2 中的数据考