

船体建造精度管理

主 编 高介祐

副主编 陆庆雄

中国船舶工业总公司船体建造精度管理指导组

一九八八年七月

· 内部发行 ·

船体建造精度管理

主 编 高介祜

副主编 陆庆雄

中国船舶工业总公司 船体建造精度管理指导组

1988年7月

内 容 提 要

本书向读者全面地介绍当代造船先进技术——船体建造精度管理的基本概念和有关实施方法。内容涉及这项技术的基本原理——数理统计与尺寸链理论,以及船体建造精度标准、检测技术、尺寸精度补偿与控制、尺寸精度超差处理、管理体制等诸方面。

本书可供船厂、造船科研设计院所工程技术人员自学用,也可作为培训船体建造精度管理人员的教材和高等院校造船专业的教学参考用书。

责任编辑 李义路

船体建造精度管理

主 编 高介祐

副主编 陆庆雄

中国船舶工业总公司船体建造精度管理指导组

中国船舶工业总公司船舶工艺研究所发行

(上海市1201信箱一室)

常熟市东张印刷厂印装

内部发行

开本787×1092 1/16 16印张

字数 384 千字 印数1~1250

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷

前 言

船体建造精度管理是当代造船的重大新技术之一,也是船厂现代化科学管理的重要内容。它主要是在船体建造过程中以加放尺寸精度补偿量取代余量,通过合理的建造公差,有效的工艺技术与管理技术,对船体零部件、结构进行尺寸精度控制,以提高建造质量,最大限度地减少装配作业的现场修整工作量,缩短船体建造周期,降低船体建造成本。

船体建造精度管理,早在1978年中国造船工程学会就组织我国有关厂、所、院、校开展了研究,并在一些船厂推行。这一努力现已取得很大成效。从起初只有少数船厂推行分段预修整上船台装配的尺寸精度控制,发展到现在在大部分船厂得到了普遍应用。个别船厂还对船体平行舢体部位分段,施行从放样开始就加放尺寸补偿量的建造全过程的尺寸精度控制,在出口船舶建造中,赢得了船东的赞誉。

船体建造精度管理在我国的研究推行,经历了一个曲折坎坷的发展过程,时进时退,一直未能较快地推向一个更高的水平。究其主要原因,在于人们对这门技术缺乏比较完整、准确、统一的认识。为了总结经验,统一认识,以便掀起一个新的推广、提高的热潮,船舶总公司在1985年成立了“船体建造精度管理指导组”,并当即着手组织编写《船体建造精度管理》教材,供今后举办研修班和继续开展这项工作使用。

本教材根据精度控制理论和船厂的实践经验,系统地叙述了船体建造精度管理的基本概念、数理统计方法、尺寸链理论、精度标准、检测技术、尺寸精度补偿、尺寸精度控制、超差处理、管理体系,以及提高方向等内容。它不仅可作为从事船体建造精度管理人员的培训教材,还可供从事船体建造工艺、生产设计、全面质量管理人员,以及船舶科研、设计、管理、教学等部门的有关人员参考。

本教材主编高介祐,副主编陆庆雄。全书共分十章。第一章由船舶工艺研究所高介祐编写;第二、三章由镇江船舶学院徐煜泉编写。以下各章主编写人员是:第四章中华船厂沈纯德、第五章上海船厂康汉元、第六章大连船厂邱福堂、第七章江南船厂孙嘉钧、第八章船舶工艺研究所陈洪昌、第九章沪东船厂陆庆雄、第十章大连工学院赵洪福。参加教材编写的还有:姚震华、胡毛宇、戴耀南、罗小龙、郑毓兰、张积贵、刘善德、陈国良、马小逸、唐汉帆、卫洪兴、童云龙、黄铭章、董守富、童荣鑫等同志。

本教材的编写在国内是首次尝试,国外也没有类似教材可供参考,加之受到各船厂推行船体建造精度管理的认识与实践深度的限制,以及主编水平不高,生产实际经验又不足,所以,在教材中难免有所疏漏、片面、错误之处,欢迎读者批评、指正。

本教材在编写过程中,曾得到各参与编写单位的领导和造船同行们的支持;郁文浩、李启光、秦志敏同志在编写中提出了不少宝贵意见;教材的出版,得到《造船技术》杂志编辑部的支持,在此,谨一并致以深切谢意。

中国船舶工业总公司船体建造精度管理指导组

1988年7月

目 录

前言

第一章 概论	(1)
第一节 船体建造精度管理的含义	(1)
一、释义所涉及的名词术语(1) 二、减少现场修整作业量(3) 三、船体建造精度管理的含义(4)	
第二节 船体建造精度管理的发展过程	(5)
一、国外的发展过程(6) 二、国内的发展过程(8)	
第三节 船体建造精度管理的作用	(10)
一、保证船体建造质量(10) 二、节约工时缩短周期(11) 三、减少消耗降低成本(13)	
四、提高生产技术的综合水平(14) 五、促进科学管理(14)	
第四节 船体建造精度管理与船体生产设计、全面质量管理的关系	(15)
一、船体建造精度管理与船体生产设计的关系(15) 二、船体建造精度管理与全面质量管理的关系(16) 三、船体建造精度管理、船体生产设计、全面质量管理的相互关系(18)	
第二章 精度管理的数理统计方法	(19)
第一节 随机变量与误差	(19)
一、测试数据(19) 二、随机数据的概念(20)	
第二节 抽样方法	(20)
一、随机样本与统计量(20) 二、抽样误差(21)	
三、样本分布函数(22) 四、船体建造测试中运用抽样方法的注意点(23)	
第三节 分布律的统计图	(23)
一、统计直方图的作法(23) 二、直方图在船体建造尺寸精度控制中的分析作用(24)	
第四节 正态分布	(25)
一、正态分布曲线(25) 二、正态分布的定量性质(26) 三、正态分布的几种近似状态(29)	
四、几个常用统计量的概率分布(31) 五、统计特征量的估计(33)	
第五节 线性回归问题	(34)
一、一元线性回归的方法(34) 二、相关系数(36) 三、多元线性回归的数学模型(38)	
第六节 正交试验	(39)
一、正交表的结构(39) 二、正交表安排试验的方法(40)	
第七节 质量控制图表	(42)
一、设计 $\bar{X}$ -R控制图的原理(42) 二、设计 $\bar{X}$ -R控制图的步骤(43) 三、实例(44)	
第三章 尺寸链理论	(46)
第一节 船体建造中的结构尺寸基准	(46)
一、船体尺寸基准(46) 二、船体零部件的尺寸基准(47)	
三、船体分段的尺寸基准(48) 四、船台装配的尺寸基准(48)	
第二节 船体建造中的尺寸链	(49)
一、尺寸链的形成(49) 二、平面尺寸链与空间尺寸链(52) 三、尺寸误差的传递(52)	
第三节 尺寸链封闭环误差的计算方法	(54)

第四章 精度标准..... (66)

第一节 精度标准的分类与作用..... (66)

一、标准的分类(66) 二、标准的作用(66)

第二节 精度标准的制订原则与方法..... (67)

一、标准制订原则(67) 二、标准制订方法(69)

第三节 精度标准的内容..... (74)

第四节 精度标准的贯彻与修订..... (75)

一、标准的贯彻(75) 二、标准的修订(79)

第五节 船体特殊结构建造精度要求的实例..... (79)

一、“勘探三号”半潜式钻井平台(79) 二、12300吨级多用途集装箱船(80)
三、4500马力、6050马力、8000马力三用工作船(拖带、抛/起锚、供应货品)(81)
四、24 000吨级汽车滚装船(82)

第五章 检测技术..... (84)

第一节 检测技术的应用..... (84)

一、检测技术(84) 二、检测器具的鉴定与统一(84)
三、检测器具的使用技术要求(85) 四、激光经纬仪的应用(85)

第二节 常用的激光仪器..... (86)

一、激光经纬仪(86) 二、激光准直仪与五棱镜(87) 三、YJS3型激光水准仪(88)

第三节 倾斜船台上的检测技术..... (88)

一、激光经纬仪的应用(89) 二、辅助标杆法的原理(89) 三、辅助标杆法的应用(90)

第四节 分段预修整的检测方法..... (93)

一、底部分段(93) 二、横隔壁分段(97) 三、上层建筑桅屋分段(99) 四、甲板分段(100)
五、舷侧分段(101) 六、艏、艉及大型立体分段(102)

第五节 船台装配的检测方法..... (102)

一、船台装配的准备工作(102) 二、底部分段的船台定位(104) 三、底部分段“水平企口”线划制(105) 四、横隔壁分段的船台定位(107) 五、甲板分段的船台定位(107) 六、舷侧分段的船台定位(108) 七、船台上艏、艉立体分段接缝线的划制(109) 八、艏、艉立体分段的船台定位(110) 九、船长、型宽、船底挠度的检测(110) 十、水线、吃水标志的绘制(112)

第六章 尺寸精度的补偿..... (113)

第一节 尺寸精度补偿的含义与分类..... (113)

一、尺寸精度补偿的含义(113) 二、尺寸精度补偿的分类(113)

第二节 尺寸精度补偿的原则与方法..... (115)

一、尺寸精度补偿的原则(115) 二、尺寸精度补偿的加放方法(116)

第三节 补偿量的确定..... (118)

一、补偿量的求取(118) 二、非系统补偿量的确定(121)
三、系统补偿量的确定(124) 四、补偿量的完善(132)

第四节 补偿系统的计算与应用..... (133)

一、建立标准的接合端施工信息外存储模块(133) 二、建立接合端施工信息外存储模块(134)
三、接合端施工信息处理的实施与检测(134) 四、接合端施工信息处理结果的表示(135)

第七章 尺寸精度的控制	(136)
第一节 尺寸精度控制的精度计划.....	(136)
一、尺寸精度控制的阶段划分(136) 二、精度计划(138)	
第二节 尺寸精度控制中的系统补偿量加放原则与实例.....	(140)
一、系统补偿量的加放原则(140) 二、系统补偿量的加放实例(140)	
第三节 余量加放及切除时机的选择原则与方法.....	(144)
一、零件加工余量的加放与切除(144) 二、部件装配余量的加放与切除(145)	
三、分段装配余量的加放与切除(145) 四、船台装配余量的加放与切除(148)	
第四节 尺寸精度控制的工艺技术准备.....	(149)
一、编写专用工艺文件(149) 二、分段的划分(150) 三、扩大部件与分段组装作业范围(151)	
四、应用框架法与板件组合法(151) 五、扩大通用件范围(153) 六、推广加大间隙焊接(153)	
第五节 放样、号料和加工尺寸精度控制.....	(154)
一、放样、号料的尺寸精度控制(154) 二、零件加工成形的精度控制(156)	
第六节 部件装配的尺寸精度控制.....	(160)
一、板列的尺寸精度控制(160) 二、“T”型材的尺寸精度控制(161)	
三、平面分段装配的尺寸精度控制(161) 四、焊接顺序与方法的控制(162)	
第七节 分段装配的尺寸精度控制.....	(164)
一、胎架精度的控制(164) 二、铺板定位与划线的控制(164) 三、构件安装的尺寸精度控制(165)	
四、内(外)底板铺装的尺寸精度控制(165) 五、分段焊接的尺寸精度控制(166)	
六、精度测量与反馈(167)	
第八节 船台装配的尺寸精度控制.....	(167)
一、船底反变形的预置要求(167) 二、分段定位的精度控制(168) 三、对温度变化的考虑(169)	
第八章 船体建造中的超差处理	(170)
第一节 超差原因分析及预防.....	(170)
一、超差的危害(170) 二、超差的原因(172) 三、超差的预防(175)	
第二节 超差处理方法.....	(175)
一、超差处理的必要性(175) 二、超差处理的原则(176) 三、超差处理的方法(176)	
四、超差处理的工艺规定(176) 五、超差处理的程序(182)	
第三节 超差处理方法和强度分析.....	(182)
一、增强焊牌的超差处理对结构强度的影响(182) 二、加填充条的超差处理对结构强度的影响(183) 三、角接头间隙超差处理方法对结构强度的影响(184)	
第九章 精度管理体制	(186)
第一节 船体建造精度管理体系.....	(186)
一、组织体系(186) 二、精度管理人员配备与素质(189) 三、产品精度保证体系(190)	
第二节 船体建造精度管理组织的职责和权限.....	(192)
一、职责和权限(192) 二、与各部门的关系(193)	
第三节 船体建造精度管理的工作内容.....	(194)
一、设计过程中的管理工作内容(194) 二、施工过程中的管理工作内容(195)	
三、辅助生产过程中的管理工作内容(205)	
第十章 提高船体建造精度管理水平的设想	(211)

第一节	工作目标与实施步骤.....	(211)
	一、工作目标(211) 二、实施步骤(211)	
第二节	亟待解决的几个问题.....	(212)
	一、健全精度管理体系(212) 二、控制热变形(212) 三、完善检测数据(212)	
	四、研究补偿量(212) 五、改进设计工艺(213) 六、推行“三结合”(213)	
附录 I	连续型随机变量的分布函数表.....	(214)
附录 II	船体建造精度标准($L \geq 90$ 米)(CB*3136—83).....	(222)
附录 III	中小型船舶船体建造精度(CB*3195—83).....	(235)

第一章 概 论

钢质船体的建造,是一个按所设计的船体型线图和结构图,经过放样、号料、加工、装配和焊接等一系列工序的生产过程。在船体建造过程中,钢料经预处理,随后加工成零件,再组装成部件、各类分段(平面、曲面、半立体与总段),并在组装好的基础上,上船台装配与焊接,直至形成整艘船体。船体建造有别于机械制造,它有如下施工特点:

- (1) 船体建造周期长、工序多,建造过程中的累积误差比较大;
- (2) 工件(作为船体零部件、结构的统称,下同)大,其形状尺寸所允许的误差,绝对值虽比机械制造中工件的误差大,但其相对值却很小;
- (3) 船体建造过程中的变形情况,要比机械制造复杂,要掌握由切割、冷热加工、焊接、矫形,以及吊运等所引起的弹塑性及热塑性变形的规律较困难;
- (4) 工件在制造过程中的手工作业量,要比机械制造大得多,且有相当一部分工件,是在高空、室外相互交叉,冷热加工相互交叉,各种工序相互交叉的施工环境中进行的,工件完工后的误差难以控制。

以上施工特点将充分表明,要在船体建造中使工件的几何形状、尺寸和位置都处于可控状态具有高度的复杂性。早在数十年以前,造船界就开始运用机械制造中关于“公差与配合”的概念与理论,来探索船体建造过程中控制工件几何形状、尺寸和位置的规律,使其达到满足相互配合的要求,以及配合后的尺寸大小可控制在预定的公差范围之内。通过长期的研究与实践,至今可以认为已取得相当大的成效。更为重要的是,如今已具备了完整的概念和理论基础,明确的工作内容和研究发展方向,并已逐步形成为一门学科,这门学科被定名为“船体建造精度管理”。

第一节 船体建造精度管理的含义

一、释义所涉及的名词术语

为便于阐述船体建造精度管理的概念及其含义,有必要弄清如下名词术语的意义:基本尺寸、实际尺寸、尺寸偏差、尺寸公差、尺寸精度、余量、补偿量、修整作业,以及修整量等。

1. 基本尺寸 指设计给定的尺寸。对机械制造来说,就是设计图纸上标明的公称尺寸。对船体建造,则是指船体经型线放样后,在工作图(施工图)上给定的尺寸。由于放样本身有误差,因而,对船体建造尚存在提高基本尺寸的准确度问题。

随着船体放样从实尺放样到比例放样,进而应用数学放样,及至电子计算机辅助船体设计与建造的发展,船体建造中的基本尺寸的准确度也将得到进一步提高。

基本尺寸是描绘船体工件几何形态的一种量值。它由尺寸、形状和位置三部分组成。但最终以长度、角度的量值示之(如图1-1所示)。在船体建造过程中,角度的量值通常用长度尺寸表示。为简化以后的叙述,长度的基本尺寸就作为统一表示船体工件几何形状、尺寸、位置大小的量值。

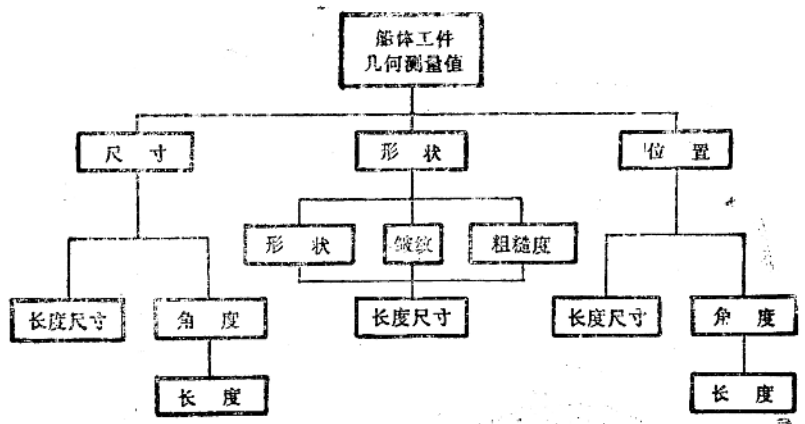


图1-1 船体工件几何测量值的分类

2. 实际尺寸 指工件完工后, 通过检测所得的尺寸。由于存在检测误差, 所以, 实际尺寸并非尺寸的真值。

3. 尺寸偏差(误差) 工件完工时的实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。偏差可为正、负或零值。船体建造中常见的偏差有:

偶然性偏差——测量一批同类型工件所出现的偏差, 有其一定的分布规律, 多数在一定数值范围内。它将作为控制尺寸偏差的依据;

规律性偏差——同一施工条件下, 工件制造时有规则地发生的偏差。有待事先采取尺寸补偿措施以消除这类偏差的发生;

草率性偏差——施工过程中由于疏忽所造成的偏差(如读数错误、看错装配符号等)。有待采取有效的管理措施予以防止。

4. 尺寸公差(公差) 指船体建造过程中, 工件尺寸允许的变动量。即最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值, 也是上偏差与下偏差的绝对值。作为船体建造公差, 既要满足船舶设计的性能要求, 又要满足建造过程中工件组装时的有效配合, 并用以控制船体建造各道工序完工的质量。船体建造公差可细分为功能公差、选择公差与规定公差, 分别根据有关规范、规则、合同、协议对船体结构提出的功能要求, 以及根据船厂长期积累的生产经验与现场实测的概率求取方法而制定。其中功能公差是确保船体建造质量的重要依据。

5. 尺寸精度(精度) 指尺寸的准确程度。例如, 船体建造中的加工精度, 就是指工件加工后的几何形状相对其基本尺寸的准确度。也就是说, 加工后所获得的尺寸、表面形状和表面位置相对于基本尺寸、表面形状和表面位置的符合程度。既要把尺寸控制在允许公差范围内, 又要把实际尺寸偏离基本尺寸为最小。在船体建造过程中, 精度尚表达船体工件在各工艺阶段有效配合的程度。一般说来, 精度取决于施工方法; 工艺过程实施机械化、自动化的程度; 工装、设备的类型与质量; 工人的技术水平; 管理水平, 以及检测工具与测量方法等等。因而, 船体建成后的尺寸精度可体现一所船厂的工艺、技术与管理的实际水平。而且, 也是评价船体建造质量的重要标志之一。船体建成后的尺寸精度, 含有图 1-2 所示的主要内容。所有这些方面的精度要求, 均有赖于在制造过程中的各工艺阶段, 对船体工件尺寸精度

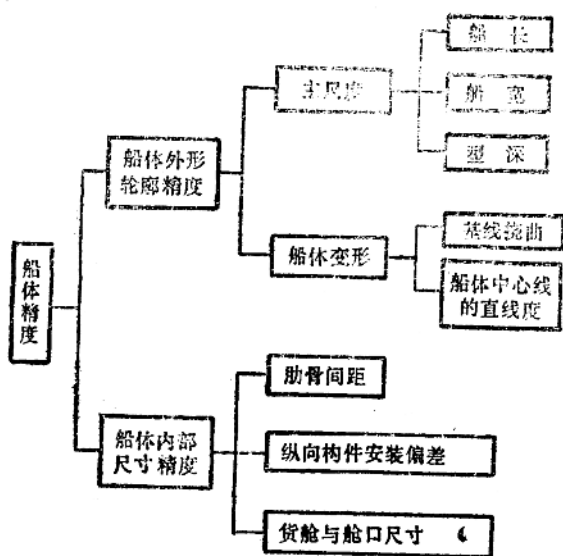


图1-2 船体建成后的精度要求

围。余量一般可分加工、焊接收缩与装配余量等三种。这些余量均考虑到船体加工时，气割表面硬化层的去除；零件经冷热加工产生的伸长与收缩；焊接时零部件、结构产生的热收缩变形，以及装配时补偿难以控制的尺寸累积偏差而预先对工件基本尺寸多加放的量值。

7. 补偿量 指相对工件基本尺寸多加放的量值。该值供后续生产工序累积的尺寸偏差，以及冷热加工产生的弹塑性变形与热塑性变形作抵偿。因而，这种加放量无需切除就可控制工件基本尺寸在所规定的公差范围以内。补偿量是人们通过不断生产实践，在总结归纳为可认识的规律性偏差基础上制订的。补偿量也可细分为加工、分段装配、船台装配，以及焊接变形等补偿。但是，若要分别确定各自的量值，则需要对工件进行大量的检测。根据我国现有生产条件，补偿量一般不加细分，常以系统补偿作为船体建造过程中各工艺阶段应加放补偿量的综合量。

相对基本尺寸而言，补偿量也是余量。在国外不严加区分，而统称余量。在尺寸精度控制中均是作为防止施工中产生尺寸偏差的一种对策。

8. 修整作业 船体建造过程中，工件的实际尺寸超出所规定的允许公差范围；在相互配合时，满足不了配合的公差要求，配合后的实际尺寸又大于基本尺寸所允许的公差范围，而在工件相互配合前、配合中，以及配合后，对工件尺寸进行接边的划线、切割、批锬、焊补，对工件几何形状进行矫正、顶压、定位，以及对工件位置进行二次定位、测量、划线、切割、装配、矫正，均称为船体建造中的修整作业。修整作业可分两类：一类是现场修整，对工件尺寸的修整是在工件现场配合时就地进行；另一类是预修整，乃是在工件相互配合前对工件尺寸进行的修整。

9. 修整量 完成上述修整作业的工作量，常用所占船体建造工时的比值表示。也可用现场修割率，即用工件在相互配合时修割长度所占配合总长度的比率表示。

的全面控制。

6. 余量 指相对工件基本尺寸多加放的量值。该值使后续的生产工序所积累的尺寸偏差，以及冷热加工所产生的弹塑性变形与热塑性变形的伸长、收缩作部分抵偿，剩余的部分，则应选择适当时机，在船体建造到某一阶段，为使工件的实际尺寸能控制在它的规定公差范围内作必要的切除。这就是说，余量是在尚未认识产生尺寸偏差规律性的条件下，为后续工序用以控制工件尺寸精度的一种对策。在某些场合，为在现场安装工件的方便，留有必要的余量，并就地加以切除。这种从工艺上需要所加放的余量，将不属于尺寸精度控制的讨论范围。

二、减少现场修整作业量

根据船体建造的施工特点, 船体建造的尺寸精度控制有其应有的复杂性。因而, 在施工过程中, 修整作业是难以避免的。从船体建造尺寸精度控制的需来看, 在各工艺阶段采取预修整是确保尺寸精度控制的一种工艺措施。既是预修整, 那么一般作业条件就较为优越。而现场修整则不然, 尽管这种修整也是尺寸精度控制的一种需要, 但作业量大, 耗时多, 周期又长。为说明船体建造尺寸精度影响现场修整量的大小, 这里, 将举例两则。

其一, 列举某一船体分段在制造中, 各种作业投入劳动量的比值, 见表1-1。

分析表明, 气割、定位焊、批锬和大多数辅助作业的劳动量均与部件、船体分段的精度有关。船体制造劳动量的55~60%又与工件尺寸精度直接相关, 由于工件尺寸精度不高而引起的现场修整劳动量将占船体分段制造全部劳动量的20~22%。

表1-1 分段制造中各作业投入劳动量的比值

作业名称	劳动量比值(%)
装 配	30
焊 接	31
划线和检验	3.5
气 割	4.8
定 位 焊	5.6
批 锬	7.6
(风动作业)	
矫 正	5.3
密 性 试 验	0.4
辅 助 作 业	11.3

表1-2 船台装配中各作业, 包括现场修整投入劳动量的比值

作业名称	船体作业比值(%)	现场修整比值(%)
装 配	40 (70)	28.0
焊 接	30 (4)	1.2
检 验	5 (50)	1.5
批 锬	6 (50)	3.0
切割、气割和矫正	8 (80)	6.4
其他作业	11 (0)	0
总 计	100	40.1

注: 括号内是指现场修整作业中的劳动量比值。

其二, 列举整艘船体在船台装配中各种作业, 包括现场修整作业投入劳动量的比值, 见表1-2。

分析表明, 船台的现场修整量占船台整个船体建造工作量的40%。

必须指出, 不论是船体分段制造, 还是船台装配, 现场修整作业不但均占船体作业劳动量的很大比值, 而且都是手工操作。同时, 分段制造或船台装配一般都在空间位置或高空作业, 施工环境极为恶劣。为此, 提高船体工件的尺寸精度与减少现场修整作业就成为船体建造中令人关注的研究课题。

减少现场修整作业的主要途径, 在于实施船体建造尺寸精度的控制与管理, 提高船体工件的制造精度。

三、船体建造精度管理的含义

所谓船体建造精度管理, 就是以船体建造精度标准为基本准则, 通过科学的管理方法与先进的工艺技术手段, 对船体建造进行全过程的尺寸精度分析与控制, 以达到最大限度减少现场修整工作量, 提高工作效率, 降低建造成本, 保证产品质量。

船体建造精度管理的理论基础是数理统计、尺寸链理论; 技术核心是尺寸补偿量的加放, 使之以补偿量取代余量; 管理内容是健全精度保证体系、建立精度管理制度、完善精度检测手段与方法、提出精度控制目标、确定精度计划、制订预防尺寸偏差的工艺技术措施等。有关这些内容均有着相互密切的内在联系, 并作为一个整体表达了船体建造精度管理的完整

概念。

必须指出,随着科学技术的发展,以及在生产实践中不断认识尺寸偏差发生的规律,船体建造精度管理的水平将随之而提高。它将体现在如下四个方面。

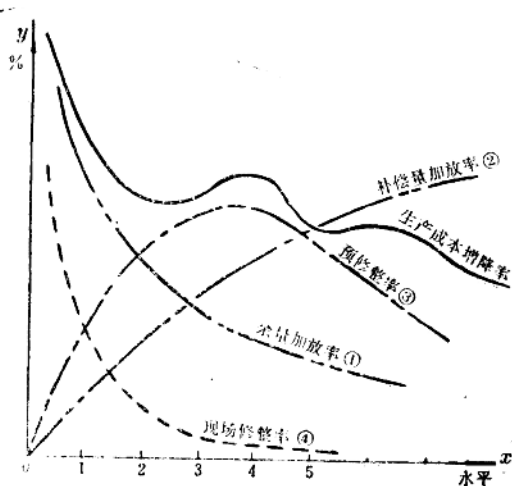


图1-3 船体建造精度管理的评价指标与精度管理水平的关系

(1) 全船余量的加放率 y ——船体工件的装配接边留余量与不留余量的比率。它将呈双曲线关系 $xy = k, (k > 0)$, 随船体建造精度管理水平等级 x 的提高而降低(如图1-3所示)。

(2) 全船补偿量的加放率 y ——船体工件的装配接边中加放补偿量与不加放补偿量的比率。它将呈抛物线关系 $y^2 = 2kx (k > 0)$ 随船体建造精度管理水平等级 x 的提高而增加(如图1-3所示)。

(3) 全船预修整率——船体工件装配接边留余量中能作预修整处理的比率。在精度管理的初始状态,它将随船体建造精度管理水平等级的提高而增

加,但到一定程度后,又随全船余量加放率的降低而减少(如图1-3所示)。

(4) 现场修整率 y 也呈双曲线关系 $xy = k (k > 0)$, 随船体建造精度管理水平等级 x 的提高而减少(如图1-3所示)。

船体建造精度管理水平等级的提高,在很大程度上取决于船厂的生产技术与管理水平、生产条件、设备状况、工人的技术素质、精度管理工作内容的深化,以及建造船舶类型与等级等一系列因素,精度管理水平的提高还将受到经济合理性的限制。从图1-3所示的生产成本增降率曲线可清楚地看出,如若把精度管理水平划分为若干等级,在0-2等级区间里,生产成本降低得十分明显;2-3区间将降到最低点;在此基础上再向3-4区间提高,这是由于随精度控制要求的提高,需要更新设备,提高管理、技术素质等引起生产成本的增长;可是随着人们对船体建造中的变形规律逐步认识和掌握,技术熟练程度与生产率的提高,在促使提高精度管理水平的情况下,又将重新降低生产成本。因而,成本增降率曲线将呈一条起伏式的波浪曲线。曲线变化的总趋势是,随精度管理水平的提高,生产成本总将不断下降。关键在于如何突破生产成本处于低谷时进一步提高它的水平问题。这有待于经过一个统一思想认识与技术熟练的过程。由此可见,脱离船厂生产实际,不求逐步而盲目追求过高水平的船体建造精度管理是不现实的。

第二节 船体建造精度管理的发展过程

船体建造精度管理的推行,不论在国内,还是在国外,都经历了一个漫长的发展过程。人们对它的理解也经历了一个较长的认识过程。

一、国外的发展过程

公差与配合, 以及质量管理活动, 均是机械制造中用以控制工件尺寸精度的一种手段。把机械制造中用以控制精度的有关概念与手段逐步引入到造船行业, 就形成了如今船体建造精度管理的独自内容。

早在40年代初期, 当工业界掀起质量管理活动时, 就探索公差与配合在造船中的应用问题。开始, 人们按工序建立公差作为加强造船质量的技术措施。直到50年代初, 造船中的公差使用, 才逐步建立在有一定理论分析和生产实践的经验基础上, 但尚未完全达到建造过程中上、下道工序能有效配合的水平。为确保船体建成后的几何形态及其在建造过程中工件的尺寸精度, 仍然有赖于对工件装配接边广泛加放余量, 待工件在安装时就地加以切除。

50年代末, 在船体建造精度管理的发展过程中, 出现两大突破性技术。一是在苏联, 成功地应用了船体建造预修整技术。应用经纬仪检测技术对万吨级油船船体分段采取预修整措施, 使其按净尺寸上船台装配, 实现了船台装配的尺寸精度控制, 从而有效地减少船台装配的现场修整作业。二是在日本, 开始接受了质量管理的新思想, 那就是统计质量管理方法与群众性质量管理活动相结合的思想, 随后又很快地发展形成造船质量管理的完整体系, 从而从管理上可按公差标准对船体工件在建造过程中进行有效的精度控制。

60年代, 预修整技术与质量管理技术, 在船体建造中进一步得到发展和运用。随着造船数控技术的发展, 船体放样、绘图、切割, 以及加工精度的不断提高, 又为船体建造精度管理技术的发展开创了条件。在造船界已出现运用数理统计方法与尺寸链理论探索船体建造公差及其合理分配问题。有些国家还探索造船生产中的最佳余量和公差标准, 以便创造更为经济的船体建造方法。随后, 精度管理的研究范围, 又从船体结构领域扩大到管系互换性安装与机械设备安装等领域。

70年代, 在苏联、日本、英国、民主德国等一些造船发达国家, 进一步开展最佳公差、合理化尺寸管理, 以及有关零部件加工与热塑性变形的关系等方面的研究, 以便掌握一定的变形规律, 通过加放补偿余量来控制工件制造的尺寸精度。尽管从理论上探讨了计算热塑性变形的有关公式, 但是由于船体结构热塑性变形极为复杂, 而且受到一些不稳定因素的影响, 加之计算公式的复杂而降低了它的实用性。因此仍以通过长期生产实践, 累积经验, 用经验数值或公式来解决热变形的补偿量问题。这种做法又将推动船体建造精度管理水平的进一步发展。如日本船厂的精度管理内容已包括:

- (1) 研究、制订和修改精度标准;
- (2) 确定和分配公差;
- (3) 探讨和确定施工工艺;
- (4) 研究图纸内容, 决定结构设计;
- (5) 设计和选择工、胎具;
- (6) 研究、制订和修改施工标准文件;
- (7) 改进设备等。

上述内容中, 有一部分已表达在生产设计中。同时, 在实施中, 又按“计划→实施→检查→处理”的管理循环进行。即在施工前, 编订精度计划; 施工中, 利用管理图表, 随时了解实际施工与精度计划的一致性; 施工后, 依据精度标准检查, 随时掌握、分析影响精度的各

种不良因素,分析工艺过程,提出改进意见。精度计划的编制是,根据工作图确定装配顺序,分析尺寸偏差的累积过程,从中确定各工序的精度;然后根据尺寸允许偏差值决定施工要领(加放余量或补偿量等),再考虑切割率、垫板率,并把它分配给各工序,使工序精度的平均值接近其计划值。这种精度计划实际上是从精度角度所作的工程分析。通过这种分析就可事先提出并处理好精度应控制在所允许的范围问题。因此,对船体平行舢体的平直分段均按精度计划从分段制造到船台装配,进行有效的精度控制。可是,对纵横向曲度大的分段,以及艏、艉总段大接头仍留有余量,而到船台装配时就地切除。

80年代,船体建造精度管理的水平又有了新的发展,其标志为,日本的石川岛播磨重工吴船厂成功地应用电子计算机技术开发了补偿系统。该系统是以大量的现场实测数据,运用数理统计方法,掌握热收缩变形规律,使之能预先为零部件、分段给定一个可靠的补偿量与船台装配的调整量,以满足构件、分段、船台装焊所产生的热收缩变形量。该厂在开发补偿系统的同时,还建立了一个船体零部件热收缩补偿量的子系统,并把它充实到公司原有的船型信息集成系统(IHICS)中去,以方便生产设计和制图工作。

为开发该系统,该厂曾进行了如下三方面的研究:

- (1) 分析热收缩现象,包括对产生热收缩的因素进行分析,并把热收缩量加以数式化,表格化;
- (2) 根据不同的施工方法加放补偿量,并使之模式化;
- (3) 统筹考虑以上(1)、(2)两方面的研究,以便建立一个处理系统,并与船型信息集成系统(IHICS)相连接,形成完整的船型补偿系统。

据称,全船百分之百的分段可通过补偿系统加放工件的尺寸补偿量与船台装配的调整量,使船体结构从其设计到补偿量的加放完全实现了计算机辅助处理。可以说,这是船体建造精度管理在现阶段发展的新水平,新动向。

从40年代到80年代,船体建造精度管理在国外经历了一个不断发展、完善与提高的过程。从其工艺技术方面,归结起来,可分为以下三个发展阶段。

- (1) 分段上船台前进行预修整,以适应船台装配的尺寸精度要求(俗称分段无余量上船台装配);
- (2) 平直分段进行建造全过程的尺寸精度控制,与曲面分段预修整上船台相结合;
- (3) 对全船所有分段进行建造全过程的尺寸精度控制。

这三个发展阶段,实质上反映了船体建造精度管理所采用的三种工艺方法。目前,进入第二阶段的船厂已很普遍,仅个别船厂开始在向第三阶段过渡。

尽管船体建造精度管理已在外国达到较为先进的水平,但是,根据日本造船学会钢船工作法委员会对日本各船厂的调查,尚认为今后在开展船体建造精度管理中,要进一步重视如下两方面的问题:

- 第一,减少现场修整率,这是各厂普遍反映的问题;
- 第二,提高分段的制造精度,以及加强预防变形的措施(薄板)。

为减少现场修整率和预防变形,今后将遵循如图1-4所示的方针。这一方针应被看作是一个整体,通过更新设备、完善施工方法以及持续开展管理活动等,必将对进一步减少现场修整、预防变形产生更为有利的影响。与此同时,也更进一步完善船体建造精度管理。

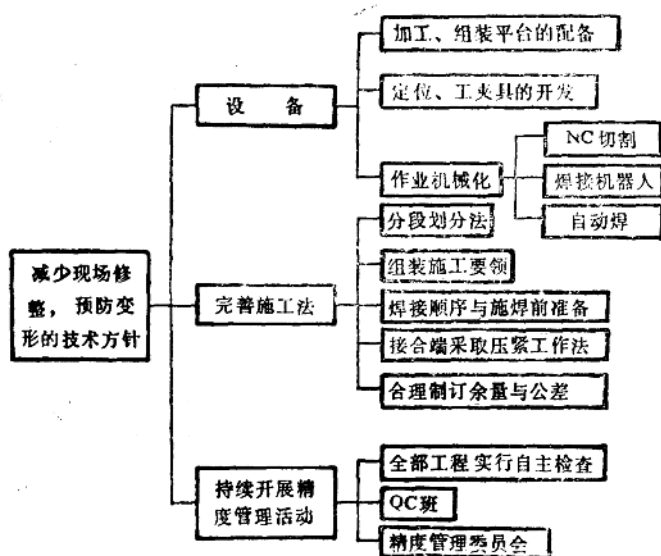


图1-4 减少现场修整、预防变形、实施船体建造精度管理的技術方针

二、国内的发展过程

60年代中期,我国已开始从国外引入船体建造精度管理的有关概念,但当时由于对此概念缺乏完整的认识,忽视了这项技术有其丰富的管理内容,而片面强调它的有关工艺技术部分,因而误认为它仅以严密的船体建造公差为基础,就可使船体零部件、结构达到无余量配合,并且草率地把它命名为“公差造船”。这样定名后,曾引起国内造船界的浓厚兴趣。同时,在深入探讨与实践中,由于各自理解的不同,也一直围绕着“公差造船”的概念、含义和工作内容进行着热烈的学术争鸣。直到最近,才统一了认识,把“公差造船”正名为“船体建造精度管理”,英译名为:“*Precision Controls for Hull Construction*”。

70年代初,大连造船厂与大连工学院实行厂校合作,在我国最早从事船体建造精度管理的研究工作,在400吨级与350吨级方驳制造中,从放样开始到船体装配进行试点。经过将近2年的试验,摸索了船体构件受热输入影响的变形规律,终于在1974年,在批量建造的第三艘24000吨级油船的平行舭体分段上,实现了分段预修整上船台装配的船体建造精度控制。这项技术首次取得成功,曾对我国船厂产生极大的影响。当时正好处在激光经纬仪在造船中应用的推广热潮中,它为分段预修整提供了较为理想的检测与划线工具。因而,从1975年开始,上海地区的中华造船厂、上海船厂、沪东造船厂、江南造船厂,以及广州地区的广州造船厂相继在推广激光经纬仪的同时,应用了分段预修整上船台装配的船体建造精度控制技术。随后,分段预修整上船台装配的范围不断扩大,船体建造变形规律的分析、研究也逐步深入。但是,也正由于应用船体建造精度控制技术中,对管理技术内容的忽视,曾有一段时间,使得这项技术水平的进一步提高,处于十分缓慢的状态。

1978年,为在我国掀起推广和提高船体建造精度管理的热潮,中国造船工程学会在成立工艺、材料学术委员会之际,于天津举行了“公差造船”专题学术讨论会。会议针对“公差造

船”概念开展了热烈的讨论。为澄清对其概念理解上的混乱，曾建议将其更名为精度管理，但也有主张沿用习惯名称的。尽管对确定学名的问题未曾取得统一认识，但一致认为，利用激光经纬仪划线，实施分段预修整上船台装配的船体建造精度控制技术必须大力推广。沪东造船厂曾在会上就“公差造船”的基本原理、实施方法，从精度控制、精度构造、精度计划，以及求解误差积累方程式等各个方面，应用数理统计方法与尺寸链理论阐述了这项技术的实质和内容。可是，对有关管理方面的技术内容也未提及。为充分利用造船行业厂所院校的技术力量，协调一致地对船体建造精度管理开展研究和组织推广，中国造船工程学会工艺、材料学术委员会正式成立以上海船舶工艺研究所为组长单位的协调机构。会后，沪东、江南、上海、求新等船厂都相继成立研究这项技术的专门班子。大连造船厂在分段预修整上船台装配的基础上，达到了稳定应用的程度。

1979年，中国造船工程学会工艺、材料学术委员会在南京召开第二次“公差造船”学术讨论会。会上，有更多船厂介绍了分段预修整上船台装配进行船体建造精度控制的经验，同时，也有一些厂所，结合拼板、焊接在流水作业的生产条件下，从理论上论证了精度、合格率、余量三者的关系，与实施尺寸精度控制的有效性。会议还明确，及早组织编制船体建造精度标准，对推动船体建造精度管理具有的必要性和重要性。

通过1978与1979年的两次学术活动，沪东造船厂与江南造船厂分别在25000吨级散货船，16000吨级煤船的平行舭体分段，积极开展从内场放样开始加放补偿量对建造全过程的各道工序进行尺寸精度控制。在取得一定成效与经验的基础上，曾将沪东造船厂的经验以框图表格形式在上海地区巡回展览与交流。随后，中国造船工程学会“公差造船”科研协调组又进一步组织上海地区的协调组成员赴广州地区宣讲，并展出沪东造船厂的经验，有力地推动了这两个地区的船厂推广、提高船体建造精度管理的工作。

1981年，中国造船工程学会工艺、材料学术委员会在广州再次组织有关“公差造船”的学术讨论。这次会议交流的技术内容更为深化。会上，沪东造船厂发表的《船体建造精度控制》与中国船舶工业总公司上海船舶工艺研究所代表协调组提出的《船长大于90米的船体建造精度标准》初稿，被评为高质量的学术论文，并于同年在上海举行的国际海事技术会议上发表，展示了我国开展船体建造精度管理的新水平。

1982年，沪东造船厂通过积累的实测数据，改进工艺，已使船体平行舭体分段建造全过程的尺寸精度控制趋于成熟，并把这项技术扩大应用到缓曲分段。80年代初期，国内船厂尽管在掌握船体建造精度管理上的深浅程度不一，然而都在承造大量出口船舶，确保建造质量与缩短造船周期方面发挥了明显的效用。但是，也有一些船厂把船体建造精度管理的技术内容视之为常规工艺，管理方面的内容又没有得到应有的加强，并相继解散了原有的船体建造精度管理工作班子。同时，在此期间，对该项工作的推广与协调也由中国造船工程学会工艺、材料学术委员会转变为行政主管部门。从行政角度，虽加强了领导工作，可是，船厂都已没有专门的工作班子，因此使这项工作一度处于难以深入展开的地步。

1984年8月，中国船舶工业总公司技术部及时召开了船体建造精度管理工作会议，在总结以往经验教训的基础上，一致认为，应重新组织起来，研究推广这项先进技术。同年10月，正式成立中国船舶工业总公司船体建造精度管理指导组，负责组织、推动、指导总公司系统各船厂开展船体建造精度管理的工作。

从回顾船体建造精度管理工作发展的曲折历程，应该看到，由于对这项技术的概念及其