

关于船体建造精度管理及精度拼板工艺

王滔,刘增荣

(华中科技大学 交通学院,湖北 武汉 430074)

提 要 本文论述了船舶建造精度管理与生产设计的关系,提出了精度拼板新工艺,并提供了这一工艺在实船生产中的应用情况。

主题词 船体建造工艺 精度管理 分段装配 生产设计

1 引言

船舶建造精度主要是指船体建造精度。船体建造从钢材下料到船体建造结束,工作量约占造船总工时的50%。其建造精度直接影响船舶建造的总周期,建造质量(精度)也将影响后道工序的质量,影响船舶的航运性能。

船体建造有别于机械制造,它工序多、制造复杂、工件大。钢料经预处理、零件加工、部件组装、分段组装和船台合拢成船体,其间要经过多工种的加工,包括切割、冷热加工、焊接、矫形以及吊运等。装配误差、加工误差和运输过程中的变形误差,以及期间产生弹塑变形与塑性变形的规律难以掌握和控制。如何保证船体零件、分段、整船的精度,一直是造船界所研究的课题,如今在理论、数据积累、经验估算方面都已取得了一些进展并应用于实践,可以认为已具备了完整的概念和理论基础,并已逐步形成一门学科——船体建造精度管理。

作者简介:王滔(1964—),男,硕士研究生。

2 船体建造精度管理与生产设计的关系

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,以最大限度地减少现场修整工作量,提高工作效率,降低造船成本,保证产品质量。

2.1 事先和事后精度管理

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。它主要研究在船体建造过程中如何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,缩短船舶建造周期,降低成本。

精度管理分事先精度管理和事后精度管理,如图1所示。

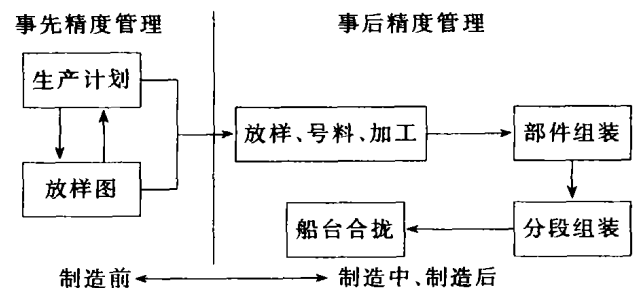


图1 事先精度管理和事后精度管理

表2 船体第9单元右端断面合成应力校核计算结果

工况	甲板(N/mm ²)	船底(N/mm ²)	许用应力(N/mm ²)
静水	15.014 8	11.227 3	70
迎浪	35.828 2	26.790 5	118
斜浪	73.9	41.3	157

4 总结

根据大量计算的结果发现,对于集装箱船,船体内的最大翘曲应力发生在船艏机舱与其相邻货舱相

交处的舱口角隅,或发生在船艏闭合部分与第一货舱相交处的舱口角隅。在这些部位,翘曲应力有相当的数值,翘曲应力与船体弯曲应力叠加,有可能使总应力超过许用范围,造成局部结构构件的屈曲或其他形式的破坏。

5 参考文献

- 1 陈伯真,胡毓仁.薄壁结构力学.上海:上海交通大学出版社,1998

2.2 船体生产设计

船体生产设计是船舶设计的组成部分,它是在详细设计包括放样的基础上,按工艺阶段区域和单元绘制记入工艺、技术要领和生产管理数据的工作图表,以及提供施工技术信息的一种设计过程。其内容如下:

- (1)分段建造方案,正造、反造还是侧造;
- (2)分段建造所选用的胎架;
- (3)零部件结构的加工、组装顺序;
- (4)零部件边缘余量、补偿量的加放要求,余量切除的工艺阶段与不留余量的部位;
- (5)零部件结构的加工,装配精度要求;
- (6)下料方法;
- (7)全船外板、内底板、平台板及各层甲板的板缝布置及其余量、补偿量的加放要求与余量的切除时机;
- (8)焊接工艺要求,包括焊接方式、焊缝坡口、装配间隙等;
- (9)吊环的布置;
- (10)接缝长度与工时定额等。

生产设计的上述内容多数与船体建造尺寸精度控制相关联。船体生产设计既是设计、工艺、管理融为一体的设计,又是指导现场施工的唯一依据,因此,船体建造精度管理所涉及的工艺技术要求,应通过船体生产设计予以贯彻,并随着船体建造精度管理的不断发展,工艺技术内容将更为丰富,更有赖于船体生产设计去进一步贯彻。

2.3 船体建造阶段的精度控制

一般说来,船体建造过程中的尺寸精度控制的时机若选择得与船体建造阶段划分一致时,将是较自然和协调的。船体建造阶段若划分为放样、号料、加工、部件组装、分段组装和船台合拢,精度控制也可按此四个阶段进行,即:

- (1)放样、号料和加工的精度控制;

(2)部件组装的精度控制,包括板架组装和 T 形梁的精度控制;

(3)分段组装的精度控制;

(4)船台合拢的精度控制。

分段是船体建造的基础,分段的制造精度将直接影响到船体的尺寸及形位精度,甚至影响到船体性能(包括结构强度等)。目前,分段建造误差的问题亟待解决,但由于涉及的因素太多而又不易达到目的,因此,实行精度拼板新工艺是个较好的办法。

3 精度拼板新工艺

从 20 世纪 40 年代,国外造船企业应用机械制造中的公差与配合来控制船体建造精度,到 90 年代应用先进的电子计算机技术、数理统计方法确定补偿量,经历了一个不断发展、完善与提高的过程。目前,以日本的船厂最为先进,其大多数船厂在平直分段能做到从下料开始不带余量而以补偿系统来控制其精度达到要求,个别船厂已向全船实行补偿系统转化。

20 世纪 60 年代中期,我国开始从国外引进船体建造精度管理的有关概念。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进行检测和划线的同时,应用了分段预修整(无余量)上船台装配的船体建造精度控制技术。1978 年到 1979 年,我国开始了推广和提高船体建造精度管理工作。80 年代,中国船舶工业总公司正式成立了船体建造精度管理指导组,旨在进一步组织推动船舶总公司系统内各船厂开展此项工作。进入 90 年代,船舶总公司系统单位内的部分船厂在 80 年代推广精度造船的基础上,不断巩固已取得的成绩,不断提高和加深应用范围,取得了很好的效益。上海船厂近年来,在实施船体建造精度管理中无余量分段制造数增加情况如表 1 所示。

表 1 上海船厂近年各船型无余量制造分段数统计

船型	2 万吨级船	2.1 万吨级船	3.5 万吨级船	伊朗船	运木船	3 万吨级船	1700TEU 船	4.8 万吨级船
无余量分段制造数	9	16	35	28	35	45	36	60
全船分段总数	130	94	164	108	87	109	123	134
百分比	7%	17%	21%	26%	40%	41%	29%	45%

经过多年船体建造精度管理工作的不断探索和实践,逐步形成了以无余量分段制造为中心,大力推广精度拼板的精度控制技术,使无余量分段制造工艺不断发展和成熟。

3.1 造船拼板工艺

拼板是船体建造过程中的一个重要工艺阶段,对于大中型拼板船舶,按现代造船方法,一般船舶平面分段的钢材量约占全船钢材量的50%以上,而大型的VLCC船则要达到70%左右。

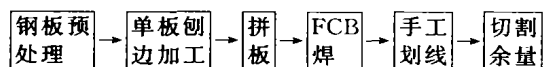
国外,采用数控切割号料和无余量拼板工艺已得到普遍采用,但国内各造船企业,大部分还停留在带余量拼板及手工号料的状态,这是我国造船技术发展的一个薄弱环节,与现代造船要求不相适应,因此,积极推行精度拼板新工艺,是实现造船技术不断更新,提高效率的一项重要工艺改进项目。

3.2 精度拼板新工艺

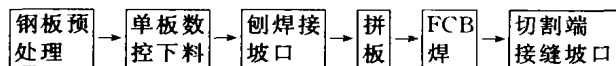
精度拼板工艺,是指船体平面板架的施工程序实施先单板切割下料后拼板焊接组装的无余量拼板工艺方法。具体地说,精度拼板的工艺流程就是用数控切割机进行号料切割,达到一次性单板无余量下料加工,然后再将无余量的单板进行组装成板架。由于精度拼板采用机械化、自动化的先进施工手段代替传统的手工操作方式,所以在高效率、高精度等方面有一定的优越性,并具有以下特点。

3.2.1 生产流程的改变

从图2新旧两种不同生产流程的比较可以看出,两者的根本区别在于号料和余量切割的时机不同。由于新工艺的号料和余量切割是在拼板之前,拼板是在无余量状态下进行,故其流程更能符合平面流水线的布局。



(a)旧的拼板工艺流程



(b)精度拼板工艺流程

图2 新旧拼板工艺流程比较

3.2.2 号料方法的改变

精度拼板工艺采用数控切割机号料的方法取代传统工艺拼板后手工划线和半自动化的方法,这是提高生产效率和施工精度的根本改变。

3.2.3 相关生产设计方式的改变

原先采用的生产设计平面板架图,一张施工图

纸上要表达流水线生产所需要的各项内容,包括板材的刨边加工、拼板、焊接、手工下料划线和构架安装等工作所需要的所有工位信息,其图形主要满足传统的生产方式要求和技术条件。而精度拼板工艺的实施,则将原先采用的整块板架的手工划线图,改变为单张钢板的数切零件图,并提供数控切割机的工作指令(数切磁盘),而为拼板工位提供的拼板图,仅仅是拼板本身所需的简单信息。

3.2.4 实施有效的精度控制手段

为避免各道工序产生的误差累积造成最终较大的精度偏差,最有效的方法就是推行精度控制技术,即按工位实施精度检测和按流程的信息跟踪手段,见图3。通过实施阶段性的精度控制和检测,不仅可以使下道工序了解上道工序施工的质量情况,而且可随时纠正偏差。

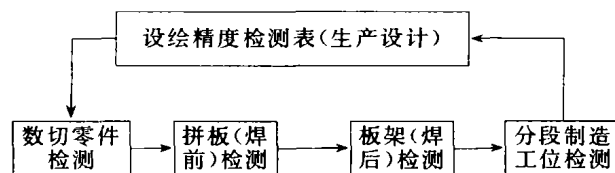


图3 精度拼板精度控制信息跟踪网络示意图

3.3 精度拼板在1700TEU中的应用

1999年始,上海船厂为“中远”建造的1700TEU船共计5艘(工厂编号为S176~S180),在每船124只分段中选取36只为无余量制造分段,其中精度拼板为26只,在实施过程中,由于生产形势的发展和船台搭载的要求,实际实施精度拼板的分段数量分别为:S176、S177各26只,S178为8只,S179为10只,S180为18只。通过对建造精度的有效控制,在1700TEU建造过程中,对提高生产效率、缩短造船周期起到了良好的作用,并取得了一定的经济效益,见表2。

4 进一步提高我国船体建造精度管理水平

船体建造精度管理,从国外发展历史到我国引进概念并应用以来的情况看,这项新工艺技术对于保证船体建造质量、缩短造船周期、提高生产效率等诸多方面都有不容置疑的优点,在造船发达国家已得到全面应用,在我国船厂也已被证明是切实可行的。今后在以下几方面应继续研究。

(1)从技术上加强精度管理的研究,对焊接收缩、热变形、吊装变形等影响建造精度的关键技术难

[下转第5页]

盟开展了一个预算为 500 万欧元的 OPTIPOD R&D 项目。该项目于 2000 年 1 月启动,于 2002 年底结束。来自欧洲 7 个国家的大约 14 家公司、大学以及研究机构共同探讨研究,项目是针对吊舱式推进系统进行的,包括整体性能、安全性、经济性、环保性和风险性等方面的分析和研究。此外,有人对 CRP Azipod 系统和常规推进系统进行了一次航行对比试验,结果发现在同样的速度条件下,CRP Azipod 系统功率消耗降低 10%~15%,全年燃料节约 12%,价值 100 万美元,而制造成本仅仅贵了 15 万美元,除了这些显著的经济效益之外,还得到一些其他数据:机械重量减少 6.5%, NO_x 、 SO_x 和 CO_2 排放均减少 12%,机动性能显著提高。可见,吊舱式电力推进系统的前景是比较乐观的。

除了从制造和运行效益上研究吊舱电力推进系统的前景之外,人们也在对其结构进行进一步的优化研究。目前的推进器只是推进电机、轴和桨的综合体,下一步就是要把变压器、变频器和滤波器也集成进来。永久励磁电机、超导电机和 AC 感应电机的发展,能力日益加强的 PWM 变频器,以及各种冷却技术和热交换技术的发展,无疑都为吊舱式电力推进提供了一个良好的发展空间和广阔的应用前景。

4 结束语

我国领海辽阔,海洋资源丰富,开采利用这些资源,推动经济的发展需要各种性能优良的经济性好的船舶,如勘探船、石油和天然气运输船等;中国加入世贸组织之后,与各国之间的贸易往来日益增多,竞争日益激烈,为了提高竞争实力,需要各类货船、集装箱船;旅游业是我国的一大经济支柱,经济舒适的大型客船必不可少,而这些都是吊舱式电力推进系统用武之地。因此,发展吊舱式电力推进船对我国经济发展有着积极的意义,应当引起我国造船界、航运界的有关人士重视。中国应该进一步加强相关技术的研究和开发,如永磁电机、超导电机的研制,争取早日掌握吊舱式电力推进系统技术,参与这一领域的国际竞争,在市场中占有一席之地。

5 参考文献

- 1 Anon. Popular pods still striving for perfection. Marine Propulsion International, 2001, (Oct/Nov): 26
- 2 聂延生,林叶锦,汪涌泉,等. 吊舱式电力推进系统的特点与应用. 世界海运, 2002, 25(1): 38

~~~~~

[上接第 22 页]

表 2 1700TEU 船精度检测及各船施工情况

| 船名             | 精度检测未超差率(%) |      |      | 前道加工期<br>(d) | 船台周期<br>(d) | 总周期<br>(d) | 提前交船<br>天数(d) |
|----------------|-------------|------|------|--------------|-------------|------------|---------------|
|                | 精度拼板宽度      | 分段宽度 | 分段长度 |              |             |            |               |
| S176<br>“瑞云河”号 | 80          | 82   | 85   | 110          | 163         | 405        | 10            |
| S177<br>“祥云河”号 | 69          | 78   | 78   | 121          | 169         | 443        | 34            |
| S178<br>“腾云河”号 | —           | 86   | 90   | 124          | 135         | 380        | 69            |
| S179<br>“飞云河”号 | —           | 88   | 92   | 183          | 145         | 464        | 85            |
| S180<br>“凌云河”号 | 89          | 88   | 91   | 94           | 141         | 342        | 118           |

点,应加强理论研究和经验数据的积累。

(2)扩大先进设备和先进工艺的应用,应对每道工序所涉及的设备精度的影响加以研究,努力开发或引进(等离子)数控切割机等高精度的造船设备,积极探索有利于精度管理的新工艺,尽可能地消除各道工序的累积误差,使精度控制工作贯穿于产品建造的全过程。

(3)在船体建造工位上的具体操作者是精度管

理工作的关键,要提高职工的重视程度,加强技术培训,提高人员素质。

(4)加强精度管理过程中的质量检验工作,经常性的每道工序的质量检验是精度造船工作的保证,有助于及早发现问题,改正缺陷,积累经验,及时改进。要做好质量的自检、互检和专检工作,通过船厂的质量保证体系的正常运作,不断改善精度管理工作。