

船舶专业系列教材

总主编 刘玉君

船舶建造工艺学

Technology of Ship Production



刘玉君 汪骥 编著

 大连理工大学出版社

船舶专业系列教材

船舶建造工艺学

刘玉君 汪 骥 编著

邢金有 主审

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

船舶建造工艺学 / 刘玉君, 汪骥编著. — 大连 :
大连理工大学出版社, 2011. 11

船舶专业系列教材

ISBN 978-7-5611-6612-3

I. ①船… II. ①刘… ②汪… III. ①造船—工艺学
—高等学校—教材 IV. ①U671

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 229094 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连力佳印务有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:16.75 字数:407千字
2011年11月第1版 2011年11月第1次印刷

责任编辑:汪会武

责任校对:杨柏林

封面设计:波朗

ISBN 978-7-5611-6612-3

定 价:32.00 元

前 言

科技实力和创新能力是船舶工业国际竞争力的决定性因素。在以信息技术为代表的高新技术的带动下,世界船舶科技迅猛发展。船舶工业成为高新技术应用的重要领域,现代造船技术从模式到工艺都发生了质的变化。在新的造船形势下,要实现我国船舶工业的整体技术实力和水平的提高,必然需要越来越多的新型造船技术人才。

船舶建造是一项复杂的系统工程,涉及很多专业技术。“船舶建造工艺学”是一门综合性极强的交叉学科,内涵十分丰富,包括船舶结构、船舶制图、船舶原理、工程数学、工程材料、材料加工以及相关设备与设施、数控技术、船舶焊接技术、控制变形及精度控制技术、计算机辅助制造、人机工程、材料防腐、造船管理等诸多应用技术。

为了适应新型造船技术人才培养的需要,编著者在大连理工大学教学改革教材出版基金的资助下编写了本书。

本书叙述了船舶建造中的船体建造、舾装和涂装等技术内容,重点是以现代造船工艺流程为主线,讨论了船体建造工艺的实际技术。第1章介绍了船舶建造工艺的内容和任务、主要工艺流程和造船模式的发展;第2章介绍了船体放样和号料;第3章介绍了船体钢料加工的主要内容;第4章介绍了船舶分(总)段装焊;第5章介绍了船舶总装;第6章介绍了船舶舾装和涂装技术;第7章介绍了船舶下水;第8章介绍了船舶建造方案和精度管理;第9章介绍了现代造船模式和船舶建造工艺的新发展。

本书在内容叙述中采用了大量实践素材,易于增加感性认识,加强对知识的理解。此外,每章中设有知识点扩展内容,有利于扩大知识面,了解船舶建造中的新工艺、新技术。

本书由大连理工大学船舶工程学院刘玉君、汪骥编著,具体分工如下:刘玉君编写第2章、第3章、第6章和第8章;汪骥编写第1章、第4章、第5章、第7章和第9章。刘玉君、邓燕萍、汪骥对全书进行了统稿。本书由大连理工大学船舶工程学院邢金有教授主审,并提出了宝贵意见。同时本书的出版得到了大连理工大学教务处、运载工程与力学学部以及船舶工程学院的大力资助,在此一并表示感谢。

本书是在多年试用讲义的基础上重新编写而成,编著者尽可能引用、整理国内外的新资料和科研成果,以帮助读者增加对船体建造工艺的认识,力求做到概念清楚、重点突出、联系实际。但由于篇幅和编著者水平、见识所限,书中不够完善、疏漏之处在所难免,恳请有关高校、同行专家和广大读者给予批评指正并提出宝贵意见,以便改进提高。

编著者

2011年10月

目录

第 1 章 船舶建造概论	1
1.1 船舶建造工艺的内容和任务	1
1.1.1 船舶建造工艺的任务	1
1.1.2 造船工艺的内容和工艺流程	2
1.2 造船模式	5
1.2.1 造船模式的内涵	5
1.2.2 五种造船模式的有序发展	6
1.2.3 现代造船模式	8
1.3 我国造船业与国际上的差距	8
1.4 船舶建造的发展趋势	11
第 2 章 船体放样和号料	13
2.1 船体型线图的基本概念	13
2.1.1 三个基本投影面及型线的投影特征	16
2.1.2 型值与型值表	16
2.1.3 船体主要尺度	17
2.2 船体型线放样	17
2.2.1 理论型线放样	17
2.2.2 肋骨型线放样	22
2.2.3 尾轴出口处的型线放样	23
2.3 船体结构线放样	25
2.3.1 纵向构件放样	25
2.3.2 外板接缝线放样	26
2.4 船体构件展开	29
2.4.1 展开三要素	29
2.4.2 垂直准线法展开船体纵向构件	32
2.4.3 十字线法展开船体外板	34
2.4.4 测地线法展开船体外板	35
2.4.5 撑线法展开船体构件	38

2.5	样板和号料	40
2.5.1	样板和草图	41
2.5.2	号料	45
2.6	船体数学放样	47
2.6.1	船体数学放样概况	47
2.6.2	船体型线数学三向光顺	48
2.6.3	数学放样展开外板	49
2.6.4	船体结构的数学放样	51
第3章	船体钢料加工	52
3.1	钢材预处理	53
3.1.1	钢材矫正	53
3.1.2	钢材的表面清理	54
3.1.3	钢材预处理流水线	58
3.2	构件边缘加工	59
3.2.1	构件边缘切割	59
3.2.2	构件边缘焊接坡口加工	63
3.3	型材构件的成形加工	64
3.3.1	型材冷弯加工的弯曲原理简介	64
3.3.2	型材构件的冷弯成形	65
3.3.3	型材构件的热弯成形	68
3.3.4	型材弯曲控制成形的逆直线法	68
3.4	板材构件的成形加工	70
第4章	船舶分(总)段装焊	75
4.1	船体结构预装焊的常用工艺装备	75
4.1.1	平台的种类和用途	75
4.1.2	胎架	78
4.1.3	胎架基面和胎架型值的确定	81
4.2	船体部件装焊工艺	85
4.2.1	T型梁的装焊	85
4.2.2	船体板的拼接	85
4.2.3	肋骨框架的装焊	87
4.2.4	主机、辅机基座的装焊	88
4.3	船体分段装焊工艺	89
4.3.1	分段的类型	90
4.3.2	分段装焊工艺的基本内容	91
4.3.3	分段建造方法	91
4.3.4	分段建造精度要求和检验方法	94

4.4 船体典型分段装焊工艺	98
4.4.1 底部立体分段的装焊	98
4.4.2 甲板分段的装焊	103
4.4.3 舷侧分段的装焊	104
4.4.4 舱壁分段的装焊	105
4.4.5 边舱分段的装焊	107
4.5 船体总段建造方法	108
4.5.1 中部环形总段的装焊	109
4.5.2 首尾部总段的装焊	111
4.6 分段(总段)的吊运和翻身	115
4.6.1 防止分段(总段)失稳和变形的措施	116
4.6.2 分段(总段)重量及吊车许可负荷	117
4.6.3 吊运和翻身的方式	117
4.6.4 吊环规格、数量及安装位置的确定	118
4.7 密性试验	130
第5章 船舶总装	134
5.1 船舶总装设施——船台和船坞	134
5.1.1 船台	134
5.1.2 船坞	136
5.2 船台的工艺装备	136
5.2.1 倾斜船台的工艺装备	136
5.2.2 水平船台的工艺装备	139
5.3 船台装焊的准备工作	140
5.3.1 船台上的准备工作	140
5.3.2 船体上的准备工作	141
5.4 船舶总装方式	142
5.4.1 总段建造法	142
5.4.2 塔式建造法	142
5.4.3 岛式建造法	143
5.4.4 串联建造法	143
5.5 船台(船坞)总装工艺	144
5.5.1 船台装焊顺序	144
5.5.2 船台装焊工艺	144
5.6 船体快速搭载工艺	149
5.7 船体建造的焊接变形与预防	153
5.7.1 焊接变形产生的原因	153
5.7.2 船体焊接变形	154
5.7.3 控制船体焊接变形的原则与方法	155

5.7.4	船体焊接变形的矫正	156
第6章	船舶舾装和涂装	160
6.1	船舶舾装的内容和作业模式	160
6.1.1	船舶舾装的内容	160
6.1.2	船舶舾装的作业模式	161
6.2	船舶涂装	165
6.2.1	船舶涂装作业的方式	165
6.2.2	船体各部位对涂漆的要求	167
6.2.3	舾装件的涂装要求	168
6.2.4	船舶常用漆	169
6.2.5	船体阴极保护	171
6.3	船舶壳舾涂一体化	174
6.3.1	壳舾涂一体化造船的定义	174
6.3.2	壳舾涂一体化原则对船体分段划分的要求	176
6.3.3	壳舾涂一体化建造法的工艺流程	178
第7章	船舶下水	179
7.1	船舶下水方式的分类	179
7.2	船舶重力式下水	180
7.2.1	纵向下水	180
7.2.2	横向下水	182
7.2.3	重力式下水的主要工艺装备	182
7.3	船舶漂浮式下水	184
7.3.1	干船坞下水	184
7.3.2	浮船坞下水	186
7.4	船舶机械式下水	187
7.4.1	纵向船排滑道机械化下水	187
7.4.2	两支点纵向滑道机械化下水	188
7.4.3	楔形下水车滑道机械化下水	188
7.4.4	变坡度横移区纵向滑道机械化下水	189
7.4.5	高低轨横向滑道机械化下水	190
7.4.6	高低腿横向滑道机械化下水	190
7.4.7	梳式滑道机械化下水	191
7.4.8	升船机下水	192
7.5	船舶衬垫式下水	193
7.5.1	气囊下水	193
7.5.2	水垫下水	195

7.6 船舶下水方法的选择	195
7.7 船舶纵向下水过程的分析及计算	196
7.7.1 船舶纵向下水的四个阶段	196
7.7.2 传统静力学下水计算方法	197
7.7.3 船舶下水动力学问题的提出	203
7.8 下水过程中消除有关事故的工艺措施	204
第8章 船舶建造方案和精度管理	207
8.1 船舶建造方案的选择	207
8.1.1 影响船舶建造方案选择的因素	207
8.1.2 评价船舶建造方案先进性的指标	209
8.1.3 船体分段的划分	210
8.2 船舶建造的工艺准备	218
8.2.1 设计准备	218
8.2.2 工艺和计划准备	220
8.2.3 其他工艺准备	222
8.3 船舶建造精度管理	222
8.3.1 船体建造精度管理的一些基本概念	223
8.3.2 船体建造精度管理的特点	223
8.3.3 船体建造精度管理的发展阶段	224
8.3.4 船体建造精度管理的内容	224
第9章 现代造船模式和船舶建造工艺的新发展	227
9.1 现代造船模式	227
9.1.1 现代造船模式的定义和内涵	227
9.1.2 成组技术	228
9.1.3 现代造船模式的实践	230
9.2 船舶建造工艺的新发展	230
9.3 船舶柔性建造技术	231
9.3.1 柔性制造技术简介	231
9.3.2 船舶柔性建造技术	231
9.4 船舶敏捷建造技术	232
9.4.1 敏捷制造技术简介	232
9.4.2 船舶敏捷制造技术	232
9.5 计算机集成制造技术	233
9.5.1 计算机集成制造技术简介	233
9.5.2 造船 CIMS	234
9.6 船舶绿色制造技术	235
9.6.1 船舶绿色制造技术的内涵	235

9.6.2 船舶绿色制造技术的主要内容	236
9.7 船舶精益制造技术	238
9.7.1 产品价值链(Product Value Chain)分析	239
9.7.2 单件流水作业(One-Piece Flow)	239
9.7.3 拉动计划体系(Pull System)	240
9.7.4 JIT生产和无缺陷施工(Just in Time and Built-in Quality)	240
9.7.5 均衡生产和生产节拍(Level Production and Takt Time)	241
9.7.6 5S管理(5S Control)	242
9.7.7 精度管理(Precision Control)	242
9.7.8 全员工厂管理(Total Plant Control)	242
9.8 船舶超大型总段制造技术	243
9.8.1 船舶超大型总段制造技术简介	243
9.8.2 国内外技术现状	244
9.9 船舶平地建造技术	246
9.9.1 船舶平地建造技术简介	246
9.9.2 平地造船的下水过程	246
9.9.3 平地造船的拖移装备和摩擦介质	248
9.10 船舶虚拟建造技术	250
9.10.1 船舶虚拟建造的概念和应用	250
9.10.2 船舶虚拟建造的关键技术	251
参考文献	256

船舶建造概论

20 世纪 50 年代之前,以英国为代表的西欧造船界一直占据统治地位;进入 50 年代,日本造船业的崛起打破了西欧造船业一统天下的局面,1956 年日本商船下水量首次超过英国居世界第一;而从上个世纪 70 年代开始,韩国的造船业逐步发展起来,1999 年韩国承接新船接单超过日本。中国造船业在 20 世纪 80 年代以前一直是国内的航运船舶为主体,造船生产量小,甚至在劳氏船级统计中还没有中国制造的 100 吨以上商船的记录,在世界造船行业所占份额也不大。进入 20 世纪 90 年代后,中国积极地推进国有造船厂的设备加强和现代化,从国外引进技术和资金实现生产设备的大型化和合理化,提高了生产效率,中国造船业占世界份额快速提高。

进入 21 世纪以来,世界造船业竞争格局又有了巨大的变化,一个最大的特点就是我国造船业占国际市场份额的迅速上升。尤其是金融危机爆发后,中国船舶工业成功应对了金融危机带来的各项挑战,国际造船市场份额不降反增。根据统计数据,2010 年全国造船完工 6 560 万载重吨,新接订单 7 523 万载重吨,手持订单 19 590 万载重吨,分别占世界市场的 43.6%、54.8%、41.2%,居世界第一。

我们应该清醒地看到,当前我国造船业虽然在总量上已经成为世界第一,但是在科技水平和综合实力等方面与日韩等先进造船国家相比仍有不小的差距。我国虽然已经是造船大国,但还不是造船强国。与先进国家相比,我国造船业在自主创新能力、产品结构、生产效率和船舶建造工艺技术方面仍然有较大的发展空间。

1.1 船舶建造工艺的内容和任务

1.1.1 船舶建造工艺的任务

在新的造船形势下,船舶工业面临以下两方面的严峻挑战:

- (1) 国内外的造船市场会在建造周期、产品质量和价格等方面进行越来越激烈的竞争;
- (2) 为适应水上交通和海洋开发日益发展的需要,将出现高技术密集的新型运输船舶和各种新产品,要求造船业能迅速地适应发展需要,及时建造这些新产品。为此,造船业必须全力开发适应发展的现代制造工艺技术和科学管理技术,才能在迎接挑战中掌握主动权。

因此,船舶建造工艺的主要任务是:一方面应根据现有技术条件,为造船生产制订优良的工艺方案和工艺方法,以缩短周期、降低生产成本、提高质量和改善生产条件;另一方

面应大力研究开发新工艺、新技术,不断提高造船工艺水平,以适应社会经济不断发展的需要。

1.1.2 造船工艺的内容和工艺流程

造船工艺一般分为船体建造工艺、舾装工艺和涂装工艺。

船体建造工艺就是加工制作船体构件,再将它们组装焊接成中间产品(部件、分段、总段),然后吊运至船台上总装成船体的工艺过程。其作业内容一般包括船体放样、船体号料、船体加工、船体装配、船台总装和船舶下水等。

造船业通常将主船体和上层建筑以外的机电装置、营运设备、生活设施、各种属具和舱室装饰等,统称为舾装工程。它不仅使用钢材,还使用铝、铜等有色金属及其合金,使用木材、工程塑料、水泥、陶瓷、橡胶和玻璃等种类繁多的非金属材料。舾装作业涉及装配工、焊工、木工、铜工、钳工、电工等多达数十个工种。所以船舶舾装按专业内容可分为机械舾装、电气舾装、管系舾装、船体铁舾装和木作等;若按舾装作业阶段可分为舾装件制作(采买)、舾装托盘、分段舾装、总段舾装和船内舾装等;若按区域舾装法可分为机舱舾装、甲板舾装、住舱舾装和电气舾装等。

涂装作业就是在船体内外表面和舾装件上,按照技术要求进行除锈和涂敷各种涂料,使金属表面与腐蚀介质隔开,达到防腐蚀处理的目的。它一般包括钢材预处理、分段涂装、总段涂装、船台涂装和码头涂装等制造级的生产作业系统。

现代造船方法以区域为基础,使船体建造、舾装和涂装三种不同类型的作业相互协调和有机结合,形成壳、舾、涂一体化建造技术,即区域造船法,并以此建立造船的生产工艺流程。按工艺特征归纳起来,大致可概括地表示成如图 1-1 所示的过程。

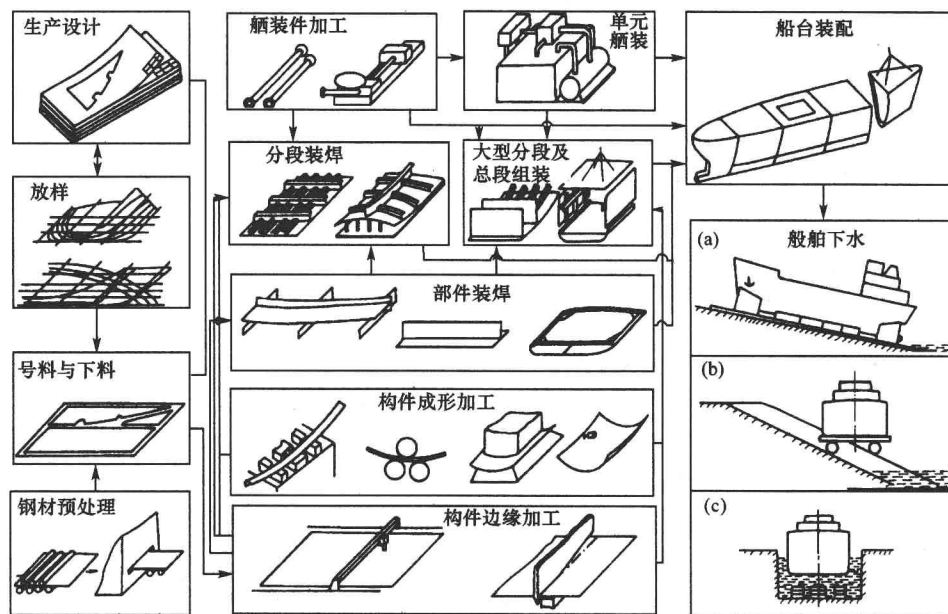


图 1-1 造船工艺流程示意图



1. 船体放样

放样是造船生产过程中的首道工序,虽然工作量与整个造船相比甚小,但却是相当复杂和精确的工作,否则将直接影响到以后各道工序乃至最终产品的质量。

手工放样始于 20 世纪 40 年代中期,主要工作内容为:船体线型光顺、绘制肋骨型线图、船体构件展开、绘制施工图及制作供施工用的样板和样箱、确定加放加工装配余量等。实尺放样是在放样台按 1:1 比例进行,而比例放样则是在放样桌上按一定缩小的比例进行,这两种都是传统的放样方法,手工操作,劳动强度大,精度差,且需要大面积的样台和花费大量材料制造样板和样箱,成本高,效益低,不利于造船向机械化和自动化方向发展。

随着电子计算机技术和造船技术的发展,放样已由手工放样发展到数学放样。现在已经能对全船的线型和结构实行计算机光顺和放样,还可以用人机对话的方式修改线型和结构布置,实现图形显示和自动绘图,且能把所得数据自动存储在数据库中,供下道工序如数控绘图、数控号料、数控切割等使用,从根本上取消了手工放样。

2. 船体号料

号料是放样的后道工序,是将放样展开后的船体构件外形,依据草图、样棒、样板、样箱、样板图或投影图、数控纸带等,将其复制到钢板或型钢上,并标注加工装配符号、施工信息等,供后续工序使用。

目前大多数船厂,普遍都已经采用数控号料,此外,数控切割机附带号料装置已成为常事,用得较多的是在数控切割机上装上冲标点机构或画线喷头,能在切割同时进行自动号料。此外,套料也属于号料范畴,目前一般都是借助大型计算机进行交互式自动图形套料。

3. 船体钢料加工

船体钢料加工是将预处理后的钢材经过号料后,用机械、工具加工成设计所要求的规格和形状。一般来说,船体钢料加工按照加工特性可分为冷加工和热加工两大类;按照构件的形状又可分为边缘加工(含刨、切割、剪切、冲裁等)和成形加工(包括辊、压、折弯、矫形等)。

(1) 钢材预处理

钢材表面一般带有氧化皮、铁锈、局部凹凸不平、翘曲或扭曲等缺陷,需要对钢材进行矫平、除锈、涂防护底漆和烘干等作业,这些作业统称为钢材预处理。

(2) 钢料切割

在现代船厂中,船用钢板的切割,已从手工切割、光电跟踪切割为主转为以数控切割为主。切割技术的发展,除采用新的方法外,还通过数控、计算机以及机器人转向自动化乃至无人化方向发展。就切割技术而言,有机械剪切、气体火焰切割、等离子切割、激光切割和水射流切割等。

(3) 船体构件边缘加工

船体构件边缘加工一般包含三种加工作业:第一,运用机械剪切或化学、物理切割方法,按施工信息从原材料上切割得到船体构件;第二,根据焊接和装焊技术要求,对构件进行坡口加工;第三,根据设计要求,用砂轮对某些构件的自由边和人孔进行磨光加工,从而得到满足不同技术要求的船体构件。

(4) 船体构件成形加工

船体构件经过边缘加工后,对一些具有弯曲、折角或折边等空间形状的构件,还要使用弯曲加工方法,把它们弯制或折曲成所要求的空间形状。船体构件成形加工就是将边缘加工后的零件(平板、型材等)加工成构件所要求的实际形状。大体上,弯板作业量约占船体钢材加工工作量的10%~18%,而型材弯制约占9%~16%。

①板材成形加工:船用板材线型复杂,其加工一直是造船业最困难的工作。通常对于一般单曲率或者曲率不大的板材零件采用常规的冷加工设备(弯板机、液压机等),而对于复杂线型外板(双曲板),仍需要凭借热加工或水火弯板工艺来加以解决。板材加工机械化和自动化技术一直是目前船体建造中的重要研究内容。

②型材成形加工:一般船厂多采用液压型材弯曲机对型材进行弯曲成形,近年来,数控肋骨冷弯技术及设备不断发展,并且朝人工智能和微机控制方向发展。

4. 船体装配

船体装配就是将加工合格的船体零件组合成部件、分段、总段,直至整个船体的工艺过程。由于数学放样和各种数控加工技术、设备的使用,船体构件加工精度不断提高,使得船体装配作业的机械化和自动化程度不断提高。据统计,装配焊接占船舶建造总劳动量的12%~18%,因此,提高装焊作业的机械化和自动化水平,不仅可以减轻工人劳动强度,还可以有效地缩短周期和提高质量。

船体装配一般包含部件装配(如各种焊接T型梁、肋骨框架、尾柱和舵等)、分段装配(如平面分段、曲面分段、半立体分段、立体分段和总段等)和船台装配(在船台上或船坞内将分段、大型立体分段和总段组装成整个船体)。

5. 船舶下水

当船舶在船台上(或船坞内)建造到预定工程量时,需要依靠专门设备和操作方法,将船舶移到水中去,这项作业称为船舶下水。船舶下水有许多方法,大致可分为三种:

在倾斜船台滑道上,船舶利用自身重量产生的分力克服滑道与船舶间的摩擦力,使船舶自行下滑到水中去,称为重力式下水。

利用引曳滑道与下水车(升船机等)相配合,将船舶牵引到水中去,称为牵引式下水。

将水引入造船坞内,让船舶自己漂浮起来,然后开启坞门,将船舶拖曳出去,称为漂浮式下水。

6. 船舶试验

船舶试验有系泊试验、倾斜试验和航行试验,共分两个试验阶段。

系泊试验是船舶基本竣工、船厂取得船东和验船机构的同意后,将船舶系在码头上进行的试验。其任务是根据设计图纸和试验规程,对船舶的主机、辅机、各种设备系统等进行试验,以检查船舶的完整性和可靠性。然后将船舶置于静水区域,进行倾斜试验,以测定完工船舶的重心位置。这两项试验构成船舶试验的第一阶段。

航行试验是对新建的船舶作一次综合性的全面考核,有轻载试航和满载试航两种,属于船舶试验的第二阶段,由船厂会同船东和验船机构一起进行。

试验前应按船舶类型决定在海上或在江河中进行试航。船舶出航前,应备齐燃料、救生、生活必需品、试验仪器、仪表和专用测试器具等。试航过程中应测定主机、辅机、各种

设备系统、通信导航仪器的各项技术指标,测定船舶各项航行性能指标,以检查是否满足设计要求。

7. 交船与验收

船舶试验结束后,船厂应立即组织实施排除试验中发现的缺陷的各项作业,同时对船舶及船上一切装备,按照图纸、说明书和技术文件逐项向船东交验。例如,逐个舱室的移交,备品的清点移交,主机、辅机、各种设备系统和通信导航仪器的动车移交等。

当上述工作结束后,即可签署交船验收文件,并由验船机构发给合格证书,船东便可安排该船参加营运。

综上所述,目前总装造船的主要工艺流程,如图 1-2 所示。

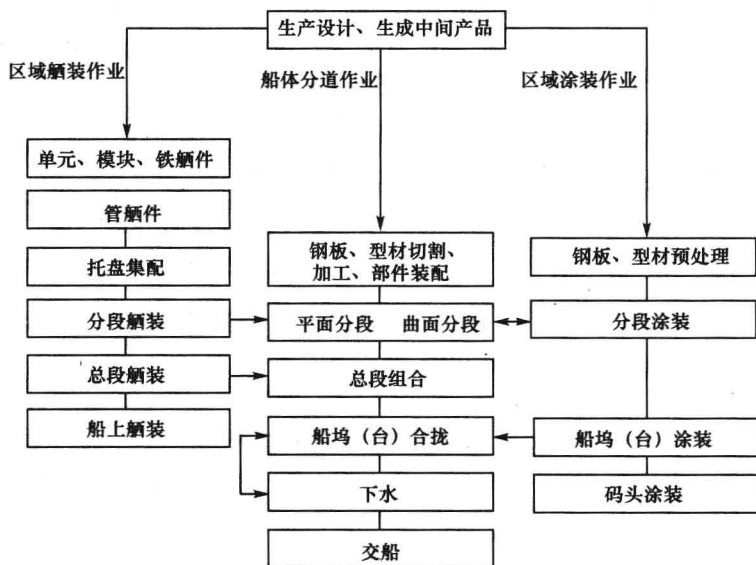


图 1-2 总装造船的主要工艺流程

1.2 造船模式

1.2.1 造船模式的内涵

模式是事物的标准形式或标准样式,是对事物基本特征的描述。对于复杂的造船工程,由于不同的船厂具有不同的技术水平和生产条件,即使它们造船的基本特征相同,但具体采用的造船方法也不尽相同。例如,同样是采用分段建造法的船厂,但其船台装配方式和分段制造方法,却会因船厂条件不同而有所不同。因此,造船模式并不反映具体的造船方法。

造船模式是造船体制和技术的总称,它整体地、动态地表达了船舶制造业的存在形式

和活动方式。分析造船业的过去和现在,探索它的未来,造船模式呈现出有序的发展。

1.2.2 五种造船模式的有序发展

随着科学技术的进步和船舶需求量的增长,造船模式是不断发展和变革的,但在一段时期内,又是相对稳定不变的。

传统的造船业是劳动力密集型产业,一家大型船厂拥有数万名职工,年产数万吨船舶。世界级的现代化船厂,年产船舶能力达百万吨以上,而职工总数仅有千人左右。生产效率发生如此悬殊的变化,根本原因是适时地引进当时的先进制造技术。20世纪50年代前,主要应用“铆接技术”,使古老的木船建造发展为以钢船建造为主体的近代造船。到了60年代,“焊接技术”普遍地替代铆接技术,使“系统”导向的古代造船方法转变为以“区域”导向,使原来集中在船台和码头的装配、舾装、涂装作业,扩展到车间和平台更大的作业面上进行。70年代起,随着船舶大型化,在新船厂的建设 and 老船厂的现代化改造中,引进并全面深入地研究了“成组技术”,通过不同类型的建造过程的相似性分析,实现了以船舶区域、作业类型和施工阶段分类,按“中间产品”的概念组织造船的流水和虚拟流水生产。由此,大量的机械化装备替代了繁重的体力劳动,使原来劳动力密集的造船业发生了质的变化,成为现代的“设备密集型”产业,职工总数呈数量级的减少。造船中的社会技术(组织技术)的“分散”专业化机制得到了实际的发挥,显著地提高了生产率。80年代以来,电子计算机技术在造船CAD(Computer-aided Design)和CAM(Computer-aided Manufacturing)方面的应用不断扩大和深入,造船精度控制技术和船舶工程管理技术日臻完善,使得造船社会技术的“集成”机制充分发挥作用,正向着“空间分道、时间有序”的壳舾涂一体化状态,即造船业的CIMS(Computer Integrated Integrated Manufacture System)方向发展,进而成为“信息密集型”产业,即现代化造船模式的高级状态。

当前,欧美和亚洲的造船技术先进的国家,正以两种不同的技术路线发展造船技术。其一是“模拟技术”路线,在现有造船设备密集的基础上,进一步采用计算机技术、机器人技术和人工智能技术。其二是“创新技术”路线,通过数字化的理念,简化船舶的设计、制造和运行,以精确和敏捷为特征,努力研究新一代的造船模式。

半个世纪以来,铆接技术、焊接技术、成组技术和信息技术逐一促进和主导了造船模式的发展,依次形成了船舶的“整体制造模式”、“分段制造模式”、“分道制造模式”和“集成制造模式”。此演绎过程是技术与经济紧密结合的创新过程,每一种模式的形成都是由于引进了某项新的主导技术,建立了一种新的生产函数,使生产要素和生产条件的新组合引入生产体系。其发展如同整个制造业一样,都是以“技术为中心”发展的,造船业的发展与整个工业界的科技水平的提高密切相关,它实质上是软技术研究开发和硬技术设备设施投资相互有机结合所产生的综合效应。全球造船模式的转化,充分体现了技术的趋同性,即不随地域影响而趋于相同,显示了造船技术的发展规律。

上述有序发展的5种造船模式,在主导技术、工程状态、管理特性、船厂类型、关键技术、船厂结构、厂际关系、生产组织、人员素质和典型装备等方面的演绎见表1-1。