

高等学校试用教材

船体建造工艺学

(船舶设计与制造专业等用)

王勇毅 毛勋铭 高万盈 冯汉初 编

人民交通出版社

高等学校试用教材

船体建造工艺学

(船舶设计与制造等专业用)

王勇毅 毛勋铭 高万盈 冯汉初 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书由两部分组成,第一部分(第一章)简要地概述了造船工艺的内容和发展趋势、船厂总平面布置。第二部分(第二~第五章)系统阐述船体建造工艺过程,主要阐明其工艺原理和对工艺过程作综合分析。在内容编排上贯彻普通工艺和国内外新工艺相结合的原则,且着重于阐明工艺原理和对工艺过程作综合分析。

书中大部分章节均附有思考题和练习,供读者学习时加深对课文的理解。

本书系高等学校试用教材,也可供造船技术工作者参考。

高等学校试用教材

船体建造工艺学

(船舶设计与制造等专业用)

王勇毅 毛勋铭 高万盈 冯汉初 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092_{毫米} 印张: 15.75 字数: 394 千

1980年12月 第1版

1980年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,500册 定价: 1.65 元

前 言

本书是根据高等院校船舶设计与制造等专业《船体建造工艺学教学大纲》(初稿)编写的试用教材。

本书尽量做到由浅入深,从易到难,在普通工艺基础上引出新工艺,做到既照顾目前船体建造工艺的现实性,又考虑到较长期工艺发展的可能性。在内容编写上比较偏重工艺原理和工艺分析,注意引导学生全面综合分析和处理问题。

全书由两部分组成,第一部分(第一章)简要地概述造船工艺的内容和发展趋势,船厂总平面布置,以达到对造船工艺有概貌性的了解。第二部分(第二章~第五章)系统阐述船体建造工艺过程,主要阐明其工艺原理和对工艺过程作综合分析,以达到较深入地了解船体建造工艺的目的。

本书所用的单位制,依然以公制为主,对国际单位制均在公制后用括号作了注明。同时为了便于读者了解公制和国际单位制的换算关系,特用附录列出本书所用计量单位的公制与国际单位制换算表。

本书由武汉水运工程学院造船工艺教研室王勇毅担任主编。王勇毅编写第一、第四和第五章;高万盈编写第二章;冯汉初编写第三章。毛勋铭对全书进行修改校订,陈凤兰对第二章进行部分修改。全书的插图是由何家祥、吕新华、徐兆康和王呈方等绘制的。

本书承上海交通大学船舶工程系李传曦、朱崇贤两同志审阅,并提出了极其宝贵的意见,对此深表感谢。

本书在编写过程中,还得到侯国枢、夏炳仁、孔祥鼎、宋权贤等同志的协助和支持,在此一并表示谢意。

由于我们水平有限和时间仓促,本书的缺点在所难免,欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 造船工艺概论	1
第一节 造船工艺的任务和内容	1
第二节 造船工艺的发展概况	9
第三节 船厂总布置	14
第二章 船体放样与号料	25
第一节 船体型线放样	25
第二节 首柱放样和展开	37
第三节 船体构件的展开	43
第四节 船体型线的数学光顺	52
第五节 船体外板的数学展开	70
第六节 图形处理系统	75
第七节 样板和号料	88
第三章 船体钢料加工	100
第一节 船体钢材预处理	101
第二节 船体构件的边缘加工	109
第三节 船体型钢构件的成形加工	123
第四节 板材成形加工	136
第五节 爆炸成形	149
第六节 船体加工车间合理化	152
第四章 船体装配	163
第一节 船体结构预装配焊接工艺	163
第二节 船体分段制造的生产线	181
第三节 船台装配	190
第四节 船舶建造方案及船体分段的划分	202
第五节 船体建造公差	209
第五章 船舶下水	219
第一节 船舶下水的主要方法和设施	220
第二节 纵向涂油滑道下水过程的分析	228
第三节 纵向涂油滑道下水设施和工艺措施	232
附 录	246

第一章 造船工艺概论

第一节 造船工艺的任务和内容

造船工艺是在综合采用先进技术和现代科学管理的条件下研究船舶建造过程及其方法的一门应用科学。随着这门学科不断地发展,造船生产水平将进一步提高。

造船工艺通常指船体建造工艺和舾装工艺两部分(不包括船机制造工艺)。根据船舶产品的类型、批量和船厂的生产条件,其主要任务为:

(1)分析研究造船方法,制定船舶建造方案并据此拟编船体放样和号料、船体加工、船体装焊(包括船体结构预装配焊接和船台装配焊接)、船舶舾装、造船公差与技术测量、船舶下水等工艺规程。

(2)分析研究和编制造船生产中使用的各种工艺计划文件,例如:总工艺进度表、工艺项目明细表、工艺线路表以及设备和材料定货单等。

(3)分析研究造船生产过程中完成各道工序所必需的工艺操作,制定合理的操作程序,并依此设计和选择相应的工艺装备和设施,不断提高船舶建造的机械化、自动化水平。

(4)研究制定各项施工精度标准及其相应的技术测量方法。

(5)研究新的造船方法,建立最佳造船生产的工艺系统。例如,研究船厂最佳工艺流程的布置方案,改进造船生产的工艺布局,拟定先进的流水生产线的设计方案等。

(6)最大限度地应用现代科学技术成果,不断地革新造船工艺及设备。

总之,造船工艺的主要任务,一方面是根据现有技术条件,为造船生产制定合理的工艺措施;另一方面是研究和发展新工艺、新技术,不断提高造船工艺水平。

船舶是复杂的水上建筑物,除了由数以万计的船体构件组成的壳体外,还配置有各种机器设备和设施,以满足船舶航行、停泊、工作和生活的需要。通常,我们把从加工制作船体构件到把它们组装成船体的工艺过程,称之为船体建造工艺。把各种机器设备和设施安装到船上去(包括部分舾装件的制造)的工艺过程,称为舾装工艺。由此可见,造船工艺是由船体建造工艺、舾装工艺、船舶下水和试航交货等环节组成。其中船体建造工艺和舾装工艺是造船工艺的两项主要内容。

一、造船工艺流程概述

1. 船体建造的主要工艺过程

船体建造工艺有船体放样和号料、加工、部件装配与焊接、分段装配与焊接以及船台装配与焊接等主要工艺过程。其工艺流程如图1-1所示。

(1)船体放样和号料 船体放样就是光顺船体的型线,修改设计图纸中因各种原因产生的误差;确定各种船体构件的实际形状和尺寸;提供后续工序必要的施工资料。船体号料是将放样中展开(摊平)的船体构件实际形状和尺寸划到原材料(钢板或型钢)上去,并标出后续工序所必需的简要标记、符号和数据。

最早采用的放样和号料方法是实尺放样和手工号料。实尺放样是在宽敞和采光良好的放样间地板上按1:1的比例进行全部放样工作。手工号料是用放样间制作的样棒、样板（或草图）和样箱在原材料上进行手工划线等作业。这种方法存在着辅助材料消耗大、劳动强度高、生产效率低等缺点。

从四十年代开始，出现了比例放样和投影号料。比例放样是在特制的放样台板上，按照1:10或1:5的比例进行全部放样作业。投影号料是把比例放样所制作的投影底图（或制成的底片）经过光学投影机放大，投影在钢板上，而得到船体构件展开后的实际形状和尺寸，并依此进行划线等作业。六十年代初，日本创造了静电粉末感光的电印号料法，使投影号料工艺实现了自动化。

六十年代初出现了数学放样，它是用数学方程定义船体型线或船体表面而建立数学模型，通过电子计算机的高速运算，完成所要做的放样工作。数学放样能提供有关船体建造的放样资料和切割、划线、弯肋骨等数控机床的控制信息。它不仅为船体放样工艺实现自动化创造了条件，而且为造船生产过程实现综合自动化开辟了道路。

（2）船体加工 其实质是船体构件的制作工艺。它由钢材预处理、构件的边缘加工和构件的成形加工组成。

自钢料堆场取出的钢材，由于在轧制时压延不均、冷却不均和搬运中的各种影响，会产生局部不平、翘曲或扭曲等变形。同时，钢材轧制时表面会产生一层紧密附着的氧化皮，在贮运中因受大气或雨水的侵袭，还会产生锈蚀。所以，在号料之前，要将钢材矫平、除锈（包括氧化皮）和涂防护底漆等，即称为钢材预处理。生产中把进行矫平、除锈、喷涂防护底漆和烘干的设备，按工艺流程的顺序用传送滚道连接成的自动流水生产线，称为钢材预处理自动流水生产线。

船体构件的边缘加工，就是用机械剪切或切割（气割或物理切割）的方法，按照号料（采用数控切割和光电跟踪切割时不必先号料）时在原材料上划出的船体构件的实际形状，进行切割得到船体构件。并根据焊接技术要求和装配焊接工艺过程的需要，对某些船体构件的边缘进行焊接坡口的加工。

船体构件经过边缘加工后，对那些具有弯曲、折角或折边等空间形状的船体构件，采用机械冷弯、热弯或水火成形等加工方法，把它们弯制或折曲成所要求的空间形状。这种加工过程，称为船体构件的成形加工。

（3）船体装配与焊接 其实质是把加工制成的船体构件组装连接成整个船体的工艺过程。

在现代造船工业中，船体装配与焊接一般都采用分段建造法。它是把船体划分成若干个局部结构（部件、分段或总段）。装配焊接时，首先在装配焊接车间（或装配焊接场地）内将船体构件组装焊接成部件、分段或总段，再把这些局部结构吊运到船台（或造船坞）上装配焊接成船体。

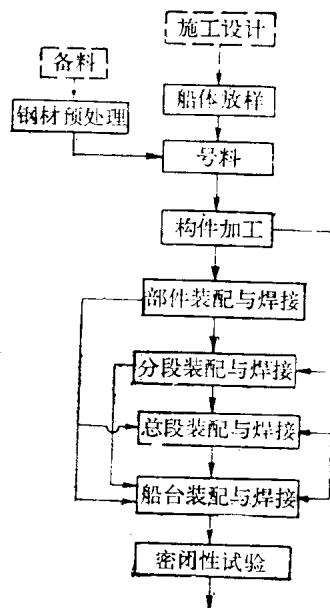
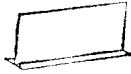
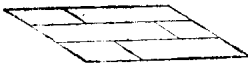
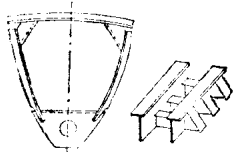
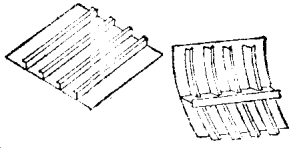
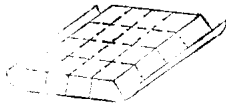


图1-1 船体建造工艺流程图

这些局部结构的类型见表 1-1。从表中可以看出，部件是指由两个以上船体构件（即零件）组成的结构，如 T 型组合梁、列板、辅机基座等；分段是指由许多零、部件组成的一部分船体结构，如舱壁、一段舷侧结构、一段双层底等；总段是指由多个零、部件及分段组装成的一个船体环形立体段。

预装配船体结构分类表 表1-1

类别	名 称	示 图	结 构 实 例
部 件	T 型部件		强肋骨、强横梁、纵桁材、肋板、水平桁、竖桁等
	平面部件 (列板)		所有平面分段的列板如围壁、舱壁、平台甲板、防波板等
	立体部件		各种基座、肋骨框架、舱口端梁、加强结构等
分 段	平面分段和曲面分段		平面分段 平台、平甲板、舱壁、平直舷侧分段等 曲面分段 甲板、舷侧、单底分段等
	立体分段		双层底、轴隧、带纵舱壁的舷侧分段、球鼻首、边水舱分段等
总 段	总 段		沿船长方向划分船体而成的环形船体段，如船中总段、首、尾部总段，上层建筑总段等

2. 舾装工艺

舾装工艺的范围至今还未统一规定。通常都是将主船体和上层建筑结构制造之外的所有机械装置、营运设施、生活设施和各种属具的安装、油漆和绝缘作业等，统称为舾装工艺。

由此可知，舾装工艺的内容极为复杂。而且，从所应用的材料看，除各种钢材外，还有铝、铜等有色金属及其合金；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。因此，完成舾装工艺就需要有木工、铜工、钳工、电工、油漆工等多达数十个工种。所以合理组织舾装工艺的施工是提高工效、压缩造船周期、改善施工条件的关键之一。

本节对舾装工艺不可能逐项加以详述，只能对现代造船生产中的各种舾装方法作简要叙述。

过去的舾装作业都是在船体建造完成后，在船上逐件进行施工的。由于舾装作业工种多、内容杂、工作量大、工作空间集中（在同一个部位上要由几个工种安装几种舾装件），因而造成生产管理困难、生产负荷不易均衡、各工种相互干扰、高空作业量大、劳动条件

差、舢装周期长等缺点。

当前，舢装工艺的发展趋势是扩大预舢装，提高下水时舢装完工率（国外某些船厂下水时可达70%~80%，大型油轮可达90%）。尽量把码头舢装作业提前在船台进行，把船台舢装作业提前到车间内场去做，以扩大内场工作量，减少船上工作量，并可使船体建造与舢装工艺平行作业，从而克服逐件上船的老式舢装方法的那些缺点。

新的舢装法一般包括分（总）段舢装、单元舢装和船台预舢装。

（1）分（总）段舢装 当船体分（总）段装配焊接到一定程度时，或是在分（总）段装焊（指装配与焊接，以下同）完工后，就在其上装焊附属件、敷设管路或电缆、安装辅机及管系等。对于上层建筑，则先将各层上层建筑装配焊接成整体段（若上层建筑过长或受起重能力限制时，可将其沿船长方向划分成数段），然后完成整个上层建筑舢装件的安装。

这种舢装方法优点很多。例如双层底分段舢装（图1-2），在纵横骨架装配焊接结束以后，立即在底舱内铺设管系，并进行装焊作业。使舢装作业在作业空间、通风、采光等方面都得到很大的改善。又如对于甲板背面的舢装作业，在采用分段舢装后，可以取消高空作业和脚手架，既改善了施工条件，又减少了敷设和拆卸脚手架的辅助作业时间，使生产效率和施工质量都有很大的提高。

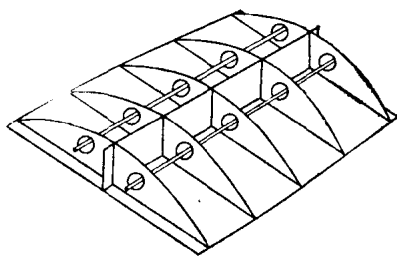


图1-2 双层底分段舢装

采用分（总）段舢装工艺，首先要求设计工作和设计图纸必须深细化。例如，分段划分时，应考虑到相邻分段舢装件的布置，减少嵌补工作量；应按舢装要求，及时提供分（总）段综合安装图，船体附属件装焊图，分（总）段舢装件清单，配套明细表和有关技术文件。同时，还应设置分（总）段舢装场，调整生产组织体制等。

（2）单元舢装 在车间内预先将某种机电设备及其管系、附属件等组装在一起，或将船内同一区域（即划成所谓“单元”）的设备、管系及舢装件等组装在一起，形成“舢装分段”，再吊至船台上安装。还可以将已组装好的“舢装分段”和相应的船体分段组合成整体后，再吊上船台与其它分段进行合拢。或将舢装分段在内场按舱室区域（如机舱、辅机舱、甲板面等）组合成大型单元、完成检验、油漆等全部工作后吊往船台安装。若单元尺度过大，吊运时可拆成几个部分，分别进行吊装。

卫生间、冷藏库、配电板、控制室等均适于采用单元舢装。

采用单元舢装，要求从设计阶段就给予充分重视，管道应尽量布置合理，减少管路迂回。设备的布置亦应便于形成单元。而且，划分的单元应与船体结构、施工阶段、起运能力、吊装顺序等相适应。设计图纸应深细化和准确，要提供舢装单元装配图，舢装件配套明细表和有关技术文件，图纸中的设计尺寸必须完整、正确。

（3）船台预舢装 在船台装配中，采用先完成舢装作业量大的船体段和上层建筑的建造方法，待这部分船体段和上层建筑形成后，就和船体建造作业平行地提前开展安装舢装件和吊装舢装单元等作业。这种提前开展舢装作业的方法，称为船台预舢装。其目的是为了缩短船台舢装周期，提高船台舢装完工率。

预舢装工艺是造船舢装作业的先进工艺，是船厂技术改造，改善生产管理的一项重要措施，它将随着造船技术的发展，不断扩大和完善。

表1-2列出了当前采用预舢装的主要内容，以供参考。

预 舢 装 项 目 表

表1-2

专 业	预 舢 装 内 容	预 舢 装 方 法		
		分(总)段舢装	上层建筑整体预装	单 元 舢 装
船 体 舢 装	1)各种基座安装	√	√	
	2)人孔安装	√		
	3)水密门、窗安装	√	√	
	4)扶梯、扶手安装	√	√	
	5)栏杆安装		√	
	6)救生消防设备座架安装		√	
	7)桅杆、吊杆及其附件组装			√
	8)烟囱及其附属设备组装			√
	9)通风筒安装			√
	10)舱口盖及其附件组装			√
	11)机舱棚及其附件组装			√
	12)带缆桩、导缆孔安装	√		
	13)锚穴及锚链筒等安装	√		
	14)舱室密性试验	√	√	
机 械 及 管 系 舢 装	1)主机组装、调整			√
	2)主发电机组及其附件组装	√		√
	3)减速齿轮箱及其附件组装			√
	4)辅机及其附件组装	√		√
	5)轴系及其附件组装			√
	6)箱柜及其附件组装	√		√
	7)锚设备及其附件组装			√
	8)起货设备及其附件组装			√
	9)舵设备及其附件组装			√
	10)箱柜座架及管子吊架安装	√	√	
	11)花铁板及格栅安装	√		√
	12)贯通件和固定件安装	√	√	
	13)管系安装	√	√	√
电 气 舢 装	1)各种电气设备及其附件的组装、调整	√	√	√
	2)配电盘的组装	√	√	√
	3)电讯天线架的组装			√
	4)电缆“马”及电缆导板的安装	√	√	
	5)电缆敷设	√	√	
	6)填料函等安装	√	√	
	7)控制室组装			√
木 作 绝 缘 舢 装	1)木作绝缘固定件安装	√	√	
	2)管系绝缘的敷设	√	√	√
	3)木房间或铁木混合房间的组装		√	√
	4)木围壁或铁木混合围壁的整体安装		√	
	5)室内木作绝缘安装		√	

3. 船舶下水

由于船舶的建造工作，绝大部分是在陆地上的船台或造船坞内进行的。所以，在船舶大部分竣工后，必须借助某些设备，经过一定的操作，把船移到水中去。这个工艺过程叫做船舶下水。

船舶下水有许多方法，大致可分为三类。在倾斜式船台上利用船舶本身重量的分力克服

斜面上的摩擦阻力，使船舶自行下滑到水中去，见图 1-3a)，称为重力式下水；将水引入造船坞内，让船舶自己漂浮起来，见图 1-3b)，称为漂浮下水；利用曳引滑道加小车、浮坞、升船机或水力平台等机械设备，将船移到水中去，见图 1-3c)，称为机械化下水。

4. 试验与试航

在船舶基本竣工后，要对船舶进行系泊试验和航行试验。其目的是：检查船舶各种机械装置及设备的工作状况；检查船舶的各种性能指标是否满足设计要求。

经试航合格后，即可将船舶交付使用部门参加营运。

综上所述，船舶制造的主要工艺流程，如图 1-4 所示。

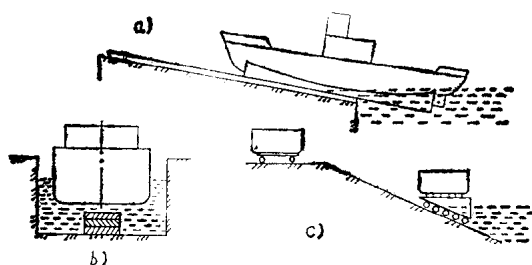


图 1-3 船舶下水方法

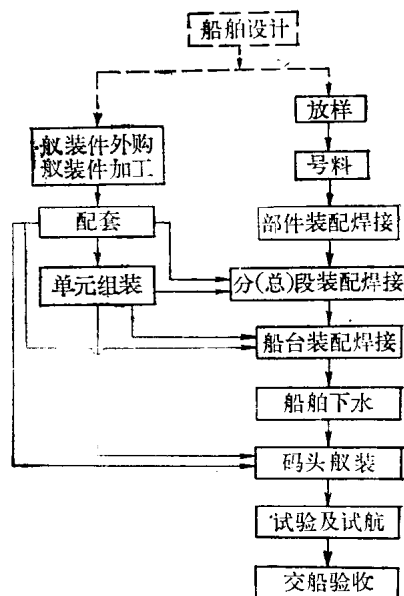


图 1-4 船舶制造的主要工艺流程

二、工艺计划文件的编制原则和意义

船舶建造是一个极为复杂的生产过程，要达到科学地组织造船生产，保证工程的进度，在造船生产准备阶段必须编制一定数量的工程进度管理文件，作为生产管理活动的依据。因此，工程进度管理文件是使船厂在现有设备和劳动力的条件下，充分发挥生产潜力，加强工序之间各项工作的配合和协调的重要手段。

工程进度管理文件一般由综合计划和生产作业计划组成。通常由生产计划(或生产调度)部门依据工艺部门提供的工艺计划文件，综合平衡工厂劳动力、生产设备和国家计划编制而成。它是一种严格地按日历编制的生产进度计划。因此，各个产品的工艺计划文件乃是编制工程进度管理文件的主要基础。

工艺计划文件一般是由工艺部门按产品编制而成的。它包括总工艺进度表、工艺项目明细表、工艺线路定额表、设备定货清单，材料定货清单以及材料消耗定额等技术文件。由于工艺计划文件是按照各个产品分别编制的，因此，它是一种按工艺阶段编制的没有具体日历的工艺计划文件。

1. 工艺项目明细表的编制

船舶建造时，为便于组织生产和编制计划，需要将船舶建筑工程划分成若干较小的计划统计单位，称为工艺阶段和工艺项目。必须指出，因为船舶建造过程中的工艺阶段，工程量仍然较大，不能作为报验完工的计划统计单位，所以船厂的计划统计单位一般是以工艺项目为准的。

工艺阶段是指在造船生产总周期中的一定时间内所完成的一部分船舶建筑工程。它既有

时间概念，又有工程概念。工艺项目是在一个工艺阶段内开工并完工，且由一个工段（或车间）完成的一部分建筑工程。每一个工艺阶段是由若干个工艺项目组成的。

划分工艺阶段和工艺项目的工作，应在施工图纸配套完整，建造批量和总建造周期基本确定，设备和制件的外购、外协件或自制件的范围已经明确，原则工艺说明书已经编制的情况下才能进行。因此，一般把它安排在船舶施工设计进行到一定阶段后开始的。

划分工艺阶段的基本原则如下：

- (1) 应与造船工艺路线和船舶建造的总顺序相适应。
- (2) 应便于车间合理组织生产，并保证各工艺阶段内的各项工作能平行地进行。
- (3) 为便于安排计划，工艺阶段的延续周期原则上应为一个月或是它的倍数。
- (4) 成批建造时，工艺阶段在时间上应与造船的生产节奏相符合。

划分工艺项目的基本原则如下：

(1) 工艺项目内的工作应属同类性质（如加工、焊接、油漆……），并在一个工段（或车间）内完成，以利作业计划的安排。

(2) 工艺项目应与施工顺序相结合，不能同时施工的工作不宜编在同一工艺项目内。

(3) 安装工作和零件制作不宜划在同一工艺项目内。

(4) 工艺项目的施工时间不宜太长，其周期一般在 5~20 天之间，不应跨月，以便掌握进度和进行计划统计工作。若必须跨月时，可将其分拆为两个项目。

(5) 工艺项目应尽可能结合报验项目划分，一个工艺项目内应避免多个报验单，同时也要避免一张报验单跨入两个工艺项目。

(6) 工艺项目的划分应注意空间和时间的配合，应使各车间工段每月上、中、下旬的工作量尽量均衡。同时，要使船上空间能合理利用，既不会空着无人作业，也不会挤在一起而相互干扰。

(7) 零件制造的工艺项目，尽可能根据其结构特点、加工方法、材料种类等归类划分。标准件可划在同一项目内，以提高生产效率和产品质量。

(8) 考虑到可能遗漏或临时增加的工艺项目，可在每一个工艺阶段内设若干个空白的工艺项目。

工艺项目明细表的格式可参照表1-3。

工 艺 项 目 明 细 表

表1-3

工艺项目编号	工艺项目名称	工作内容	施工图号	执行车间	工 种 工 时						备 注
					放样	号料	加工	装配	…	合计	

2.总工艺进度表的编制

总工艺进度表是工厂编制作业计划，掌握和协调生产进度的指导性文件。该表通常包括船舶各项工艺（或工艺项目）的名称、执行车间、总劳动量和建造进度等。根据需要，总工艺进度表可分为概要工艺进度表和全船工艺进度表两种。概要工艺进度表仅列出对建造进度起决定性影响的主导工艺，供船厂管理部门掌握和协调生产进度用。全船工艺进度表（通常称为总工艺进度表），应列出全船主要工艺，供船厂组织生产、控制进度用。

总工艺进度表的编制，首先将全船的主要工艺划分成若干工艺阶段，然后根据各个工序、工位所需要的劳动量、周期以及各阶段之间的衔接，推算出总的周期，并依此绘制一张包含全船主要工艺的进度表。它无日历概念，是用假想日期（月份）进行编排的。

根据生产中出现的具体情况，在船舶建造过程中可对总工艺进度表加以修订。

表1-4是概要工艺进度表的示例，供参考。

		概要工艺进度表							
		建造月份							
序号	主导工艺名称	1	2	3	4	5	6	7	8
1	船体放样、号料、加工								
2	全船铸锻件制作								
3	船体分段建造								
4	船台装配焊接								
5	试水								
6	轴系捅孔								
7	电缆敷设								
8	主、辅机安装								
9	下水								
10	系泊试验								
11	试航								
12	交船								

应用统筹法安排作业计划，可以避免施工中出现前后工序脱节、窝工等待、忙闲不均等现象。而且，它把制订的作业计划，综合绘制成反映工艺全过程的箭头图（图1-5），通常称它为“统筹图”。图中清晰地表示出工序内容，所需作业时间和工序间的衔接。这种图直观概括，便于掌握情况、指挥生产和控制生产进度，给生产管理带来很大的方便。同时，便于领导统筹兼顾，合理使用人力、物力，促进各工种、各车间的配合和协作。

船体建造阶段应用的统筹图有主船体船台装配统筹图，船体建造统筹图等。

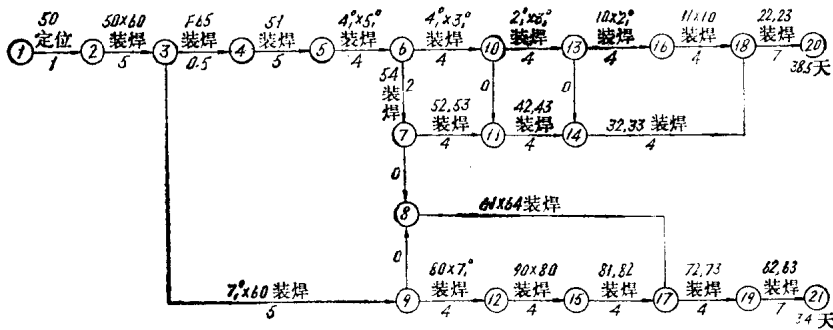


图1-5 某船主船体船台装配统筹图

图1-5是某船主船体船台装配统筹图。图中箭杆上部的数字50、60、4₁等是分段代号，50×60、2₁×3₁等表示两个分段对接；箭杆下部的数字表示工作天数。图中①→②→③→④→⑤→⑥→⑩→⑬→⑯→⑳的生产流程所需要的工作时间最长，是决定这个工艺周期的线路，称为“主要矛盾线”。其余各条线路，是根据施工中工序衔接关系的要求和可能性，实行平行作业和交叉作业而配置的线路。这些线路配置得当，对扩大施工面，缩短“主要矛

盾线”（即缩短造船周期）是极为有利的。在箭头和箭尾圆圈内的号码表示工序编号，例如：①—②表示50号分段定位工序，③—⑨代表71号分段与60号分段对接的装配焊接工序。所需工作时间为零的工序（⑦—⑨，⑩—⑪等），称为虚工序，它是为了把工序的衔接关系表达确切而虚设的工序。例如，⑩—⑪表示只有⑦—⑪和⑥—⑩两道工序都完成后⑪—⑭工序才能开工，而⑩—⑬工序只要⑥—⑩工序完成后就能开工。⑦—⑧和⑨—⑧表示只有⑥—⑦和③—⑨两道工序都完成后⑧—⑰工序才能开工，而⑦—⑪工序只要⑥—⑦工序完成后就能开工，⑨—⑫工序只要③—⑨工序完成后就能开工。

这种统筹图，既清晰地表达了施工进度和建造周期，又清晰地表达了船台装配顺序，是安排作业计划和进行生产管理的好方法。

第二节 造船工艺的发展概况

四十年代初期船体建造由铆接发展为焊接，这在造船史上是一次重大的技术革命。它几乎全面改革了造船工艺过程，更新了施工设备，使造船生产效率显著提高，并缩短了造船周期。

随着舢装件的标准化、系列化，便产生了船舶配套工业。当代造船工业的特点是：将船用机电设备及各种舢装件转交专业配套厂生产，使造船厂从“大而全”的万能厂向专业化总装厂发展。同时，由于采用焊接造船而创造了分段造船法，它为实现船体建造过程机械化创造了条件，使造船工业朝近代大生产迈进。

电子计算机和数控技术的发展及其在造船中的应用，为造船工艺实现机械化、自动化开辟了道路，并正在逐步形成从设计、施工到管理的大型造船集成系统，为整个造船生产过程实现机械化、自动化创造条件。

一、造船方法的发展

在采用焊接的初期，由于工艺技术和船厂起重条件的限制，它与铆接造船相比，在造船方法上并无多大变化，船体建造仍然沿用零、部件直接上船台装焊成船体的方法，称为整体建造法。而且，舢装方法也是待船体建造基本完成后，再在船上进行安装的。舢装作业场所主要是舢装码头。这种造船方法，在施工条件、劳动强度、生产安全性、建造周期等方面都没有得到明显的改善。

由于焊接技术的进步，焊接接头可靠性的提高，船厂起重条件的改善和工艺水平的提高，便产生了分段造船法。它把原来在船台上完成的大部分船体装配焊接工作转到车间（或场地）内的平台或胎架上进行，因而造船厂设置了专门的船体装配焊接车间（或场地）。船体装配焊接被划分成船体结构预装配焊接和船台装配焊接两大部分。船体在船台上采用了从船体中部开始，分别向首、尾和向上逐个地吊装分段（或总段）的建造顺序。

分段建造法克服了整体建造法所存在的缺点，还为采用自动焊接技术、流水作业和提高产品质量创造了条件。但是，这时期造船方法的发展，主要是船体建造方法的改革，舢装方法却没有多大变化。

近年来，由于船舶标准化工作的发展，造船技术的进步，配套条件的改善，使造船方法朝预舢装工艺飞速发展，产生了船台预舢装，分段舢装和单元舢装等新的舢装方法。

为了适应开展预舢装工艺和尽量减少船台装配焊接工作量的需要，在船台（或造船坞）

旁建立了分段总装场，把几个分段组装成大型分段，以增大船台吊装的分段尺寸和重量，减少船台装焊工作量。为了实现提前舾装，创造了先形成机舱船体段和上层建筑的船台建造顺序，以便在船台装配阶段中实行船体建造与舾装平行作业。在建造尾机型船时所使用的提前制造船体尾段的串联建造法，既有效地提高了船台利用率，也便于实行船台预舾装。

综上所述，造船方法的发展可以概括为表1-5所示的三个阶段。

造船方法的发展过程			表1-5
工艺名称	第一阶段	第二阶段	第三阶段
船体建造方法	零、部件→船台装配	零、部件→分段装焊→船台装焊	零、部件→分段装焊→ 大型分(总)段组装 →船台装焊 舾装→完整段
舾装方法	舾装件→ 船台舾装 码头舾装	舾装件→ 船台舾装(扩大) 码头舾装	舾装件→ 分段舾装 单元舾装 → 船台舾装 码头舾装

近年来，为了适应平面分段机械化生产线的需要，平面分段的装配方式也有很大的发展，其典型的例子如图 1-6 所示。图中一种装配方式是主向构件先装法，见图 1-6 ①，即在已拼好的列板上全部装焊主向构件后再装交叉构件。另一种装配方式是箱形框架组装法，见图1-6②、③、④，即将主向构件和交叉构件先装焊成井字形的箱形框架，然后再装焊到已拼焊好的列板上。这种方法对焊接变形较易控制，可减少矫正工作量。其中图 1-6②

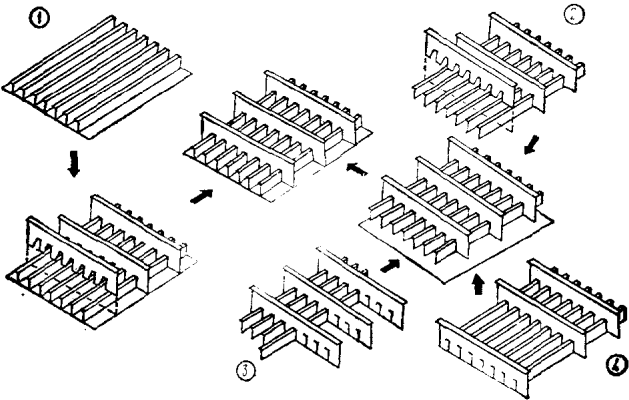


图1-6 平面分段的装配方式
①主向构件先装法；②交叉构件嵌入法；
③主向构件插入法；④交叉构件套入法

是将交叉构件嵌入主向构件，随后装焊型材开口补板，故称为交叉构件嵌入法；图 1-6③ 是将主向构件插入交叉构件的型材开口内，它不用装焊型材开口补板，故称为主向构件插入法；图 1-6 ④则是采取交叉构件套入主向构件的方法，称为交叉构件套入法。它取消了插入纵向构件所需的场地，节省作业面积，而且交叉构件数目远少于主向构件，使插入工作量大大减少。

二、船体建造工艺过程的机械化

焊接造船和分段建造法，为工艺过程机械化创造了十分有利的条件。此后，根据工艺操作的特点，研制出了各种机械化工艺装备，从而使船体建造的某些工艺过程从繁重的手工劳动过渡到机械化操作。

在采取分段造船后，由于各种保养底漆的研制成功，使钢材的除锈（氧化皮），涂底漆等工序有可能用机械化生产流水线的方式来代替过去上船除锈的繁重手工劳动（保养底漆的

有效期能够使钢材从原材料至分段形成过程中起防蚀和保护作用)。因此,近年来,国内外许多造船厂把矫平、预热、抛丸除锈、喷漆和烘干等工序所采用的机械化设备用传送滚道连接起来,组成钢材预处理自动流水线(图1-7)。

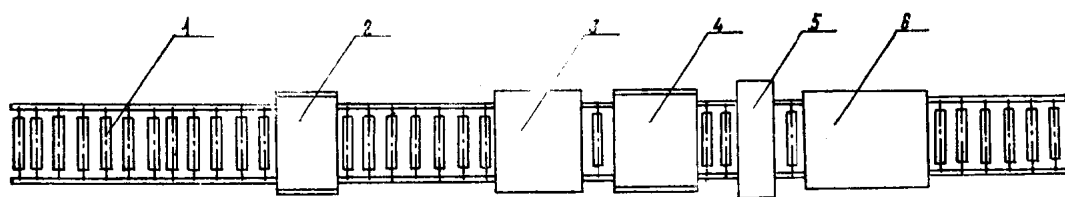


图1-7 钢材预处理自动流水线示意图

1-传送滚道; 2-钢板矫平机; 3-预热装置; 4-抛丸除锈机; 5-喷漆装置; 6-烘干装置

自六十年代初研制成功电印号料装置以来,大大减轻了手工号料的繁重劳动,实现了号料过程的自动化。

船体加工方面虽然原来就有一些加工设备,例如,船体构件的边缘加工有压力剪切机、龙门剪床、刨边机、半自动气割机和靠模自动气割机等;成形加工设备有三辊弯板机、压力机和折边机等。但是,因其机构设计较陈旧,加工范围受限制,致使许多加工作业仍然依靠手工作业,而且有些设备的操作劳动强度大,不能适应船体构件加工发展的要求。

为提高船体构件加工的机械化程度和减轻劳动强度,相继研制和采用了光电跟踪自动气割机,光电跟线气割机,高精度门式气割机,多向气割机,半自动多炬气割机以及数控气割机等自动机床。给这些气割机配置了能同时切割焊接坡口的装置后,又取消了构件直线边缘的二次加工(经剪切或切割后再送到刨边机上刨出焊接坡口)。尤其是出现了配置有划装配线的自动冲点装置的数控气割机后,使船体构件边缘加工基本上摆脱了手工作业。这些装置的出现和使用,决定了船体构件边缘加工必然从机械剪切向气割发展。在船体构件成形加工方面,根据成形加工的特点,研制了主动辊可作横向和竖向调节的三辊弯板机和四辊弯板机,压头可作横移和旋转的液压机以及四支点肋骨冷弯机等新型加工设备,提高了成形加工的机械化程度,使加工工艺进一步发展。应该指出,目前多柱塞式通用弯板机的研究,有可能使复杂曲度壳板的成形加工机械化成为现实。

装配与焊接是船体建造工艺中手工操作量最大、机械化程度最低的作业之一。一方面是由于体积大而形状复杂的船体结构还没有实现标准化、系列化,而造成多品种、少批量的现状,不利于实现船体装焊作业机械化;另一方面是船体构件的加工精度差,焊接和吊运中容易引起变形,造成现场修整工作量大,也给实现机械化带来很大的困难。即使这样,近年来,船体装配焊接作业的机械化程度,仍然有着较大的提高。

在部件装焊作业中出现的组合T型梁自动装焊机,已使T型部件装焊过程实现了机械化、自动化。列板的装配焊接,无论是采用单面自动焊或双面自动焊,都已实现了机械化,而且已纳入到平面分段机械化生产流水线中去了。

分段装焊作业中成功地建立了各种平面分段机械化生产流水线。在这种流水线上研制成功了列板装焊机组,焊接主向构件的门式角焊机、内部构件装焊机组和内部构件与列板的装焊机组等,并广泛地采用了机械化传送滚道、液压压紧装置、电磁平台、电磁吊、单面焊双面成型机组以及门式装焊机等。在其它类型分段的装配作业中,采用各种液压、电磁、风动的小型装配工具,也起到了减轻劳动强度和提高工效的作用。

船台装焊作业机械化程度更低。除了采用各种液压、电磁、风动的小型装配工具外，主要是使用全位置半自动气割机修整分段大接缝；使用横向自动焊机，垂直自动焊机，熔嘴电渣焊机等设备来焊接船体分段大接缝。

钢材、船体构件、部件和分（总）段的吊运，构件在加工中的送料、定位、出料；脚手架的敷设，船台摆墩等辅助作业，在船体建造中占相当大的工作量。根据某些船厂统计，一块钢板从进厂到焊接，消耗于运输上的时间在50%以上，如果没有机械化的运输手段，要建立机械化生产流水线实际上是不可能的。

近年来，各造船厂对辅助作业机械化非常重视。在钢料堆场和船体加工车间，利用电磁吊（或永磁吊）、真空吊、传送滚道等组成机械化运输线，解决钢料进库、钢材分类堆放，钢材出库到船体加工车间的运送等大部分辅助作业的机械化问题。利用小型电磁吊，传送滚道、限位器，转盘，翻落架和送料小车等机械设备组合成联动线，使某些加工设备的送料、进给、出料等辅助作业实现了机械化。

船体装焊车间根据生产中对运输的要求，分别配置桥式起重机，各种传送滚道，转盘和分段载运车等设备，用它们组成合理的运输线路，担任装焊过程中零、部件和分（总）段的运送、吊装和翻身等任务。同时，利用它们将相应的装配和焊接机械连接起来，组成部件装焊机械化生产线和平面分段装焊机械化生产线，使平面分段和某些船体部件实现了机械化生产。

从船体装焊车间到船台的分（总）段运输，船台上分（总）段的吊装，是采用分段载运平车或吊车来实现的。同时，在船台作业中发展了液压式自动调整船体纵横倾的船台小车，机械调整式墩木，兼作船台墩木的船底千斤顶，各种自行式（或固定式）可作升降的脚手架装置或作业台等辅助机械装置，大大提高了船台辅助作业的机械化程度，对减轻劳动强度，缩短造船周期，提高生产效率起了相当大的作用。

三、电子计算机和数控技术的应用

早在六十年代初，随着大型电子计算机的出现及计算数学的发展，初步研究成功了船体数学放样。原来要由船体型线图、船体结构图表示的船体复杂曲面，可以用数学式表示了；原来要在放样间用几何作图法光顺船体型线和展开构件等工作，也可以通过电子计算机来完成。当时的船体数学放样，虽然介入的人工因素较多，但已能够完成船体型线光顺，外板（首、尾外板除外）和纵向构件的数学展开，胎架尺寸的计算，加工样板尺寸计算等工作。由于数学放样的应用，为造船厂应用数控加工机床创造了条件。所以，从那时起造船厂开始采用了数控绘图机，数控气割机等数控设备。这一切使造船厂的生产过程开始跨进应用电子计算机和数控技术的新时代。

六十年代后半期到七十年代初，随着计算机外部设备（外存贮器和图形显示系统等）的发展，信息处理技术的进步，为造船数控集成系统的研究和发展创造了条件。许多国家的造船部门都在建立和发展自己的数控集成系统，并不断扩大和完善其功能。

这个时期除了发展生产管理，舾装设计及其生产等集成系统外，主要根据船舶设计到建造的各个环节，研制建立分系统（或称分程序），并把它们连接起来。这种作法既有利于程序的集成，又便于集成系统的扩充、发展和完善。与此同时，还比较重视数据库的设计和管理，建立了中央数据库和分数据库，作为各个分系统之间信息和数据传输的枢纽、工作时存取数据和信息的“仓库”，成为造船数控集成系统中数据和信息的处理中心。各国造船界对