

我国船舶建造工艺技术的现状与展望

中国造船工程学会造船工艺学术委员会 李维博 徐学光

自从有了船舶,就伴随着有了船舶制造工艺,没有先进的船舶制造工艺,就不能保证现代船舶的建造质量。建国 50 多年来,我国的大中型骨干船厂的船舶制造工艺在引进国外先进技术的基础上,结合修、造船的生产实践,经过总结、改进,不断创新,基本上达到了国际 80 年代中期的水平。

1. 发展历程回顾

1.1 五十年代实现了分段造船

1949 年到 1952 年,多数船厂建造驳船、小型机动船或小型炮艇时,所依据的施工图纸比较简单,没有工艺文件,主要靠造船工人的操作经验和主管人员的现场指挥。

1953 年和 1959 年,中苏两次签订协定,苏联有偿转让多种类型舰艇在中国的船厂装配建造。这两次较大规模的技术引进,不仅使中国在短短几年中,迅速地掌握了现代舰艇的建造工艺,还通过这些建造工艺的传播,推动了民用船舶建造工艺的发展。例如焊接工艺普遍代替了传统的铆接工艺,船体分段和总段建造法取代了整船散装法;船厂进行了技术改造,配备了船台和码头的起重运输设备,提高了造船机械化水平;改进了工艺流程,制订了成套的工艺文件;培育了工艺专业人员,初步形成了一支工艺队伍。自 1959 年起,江南造船厂与上海电器科学研究所等单位就开始进行细丝 CO_2 气保护焊工艺及设备的试验研究工作。

50 年代末,“大跃进”对造船工艺的发展有较大冲击,必要的工艺文件和工艺规程被当作烦琐哲学和“管、卡、压”而予以废除,结果影响了工艺技术的发展,降低了产品的质量。

1.2 六十年代开展了工艺科研

1961 年以后,随着国防建设和交通运输

的发展,我国的船舶工业在没有外来技术援助的情况下,依靠自力更生、艰苦奋斗的精神,走上了自主发展的道路。为使船舶制造工艺适应船舶工业的发展,领导部门强调树立“质量第一”的思想,重视船舶制造工艺的研究和发展,先在全国布设了 9 个工艺基点,在形成工艺研究网络的基础上,决定建立造船工艺、生产、教育的技术体系。1964 年 1 月,在上海正式成立造船工艺研究所,由我国著名造船专家王荣琰任所长,专门从事船体建造、机电安装、焊接切割、防腐涂装工艺、计算机软件开发应用等船舶制造工艺及其装备的研制。各船厂都设有工艺科,车间设有工艺组,配备工艺技术人员,负责工艺路线的制订、工艺文件的编制以及工艺设备的设计制造。上海交通大学、武汉水运工程学院和上海船舶制造学校等院校开设造船工艺课程。造船工艺研究所除对造船新工艺进行开发研究外,还在推广工艺研究成果方面发挥了骨干作用。起步伊始,就取得了一批诸如聚氨酯泡沫塑料喷射成型工艺、玻璃钢成型工艺、3000 吨级船舶平面分段流水线、船舶码头试车工艺和遥控除锈机等一批紧密结合船舶生产的研究成果,为以后研制 MK-46 鱼雷发射管、潜艇用玻璃钢气瓶等产品打下了扎实的技术基础。10 年动乱期间,虽然造船工艺的研究和发展受到很大干扰,造船质量曾一度下降,但是,广大工艺科研人员、领导干部和工人,冲破重重阻力,克服困难,与造船院校师生相结合,解决了不少工艺技术问题,仍取得了一些科研成果,第一批计算机应用软件——船体数学放样、外板展开等也开始在生产中得到应用。江南造船厂会同上海交大、第九设计院、钢研院等单位组成的试验小组对潜艇大环缝

全位置进行了双丝混合气体保护自动焊的试验研究并应用于实船生产。

1.3 七十年代取得了一批有影响成果

1970年后,由于发展远洋运输船队和开展对外贸易,交通运输和船舶工业部门投入大量人力、物力,进行工艺技术的研究开发,又取得可喜成果,主要概括为三点:一是由于大批新型舰艇和远洋船舶的建造,各船厂从20世纪70年代初期起进行了技术改造,扩大了造船规模和设施,扩建和新建了10座万吨级船台,100吨高架起重机和200吨龙门式起重机相继投入使用。二是应用了许多新工艺、新技术,如精度造船、数控切割、碳弧气刨、数控弯管、分段喷砂和无气喷漆等。1978年出版的《船体工艺手册》汇集了新中国成立以来的技术经验,对各厂应用新工艺、新技术起到很大的推动作用。三是电子计算机在船舶工业中的应用,在数学放样等方面又取得了突破性的进展。

在船体装配工艺方面的发展也有令人瞩目的进步:1970年,上海船厂在采取了一系列措施后,在3000吨船台上建成了万吨级远洋货船“风雷”号,后又在此船台上建造了数艘20000吨级的散货船。

1972~1974年,在建造13000吨举力“黄山”号浮箱式浮船坞时,采用了“浮箱抽换法水上合拢工艺”。该工艺是利用浮箱式浮船坞的部分浮箱来建造和承载坞墙分段,通过对浮箱加压、排水来调节、接拢坞墙,并用分批抽换浮箱的办法,完成浮船坞主体结构的合拢。

1976年10月,粉碎“四人帮”后,广大工人和科研人员,在党的领导下,认真总结经验教训,清理和肃清“左”的错误影响,解除了思想束缚,团结奋战,经过努力,很快取得了一批在行业中有较大影响的成果,如厂所结合研究成功的上层建筑整体吊装工艺、铝合金鱼雷壳体常温阳极氧化工艺、“某型军舰”隔舱壁成束电缆密封技术、JD型平面分段流水线、计算机辅助船舶报价系统、HCS船体建造集成系统、PCPS船舶管路程序集成系统和中文信息综合处理系统等。此外,

还编制了《船体除锈标准》、《船舶建造精度》等指导生产的造船技术标准文件。

1978年3月,全国科学大会召开,是年12月,十一届三中全会召开,特别是改革开放,有力地促进了船舶制造工艺科学技术的发展,科学的春天到来了!广大造船职工意气风发,面向经济建设主战场,重点开展了液化天然气船、液化石油气船、化学品船和成品油船等新型高附加值船舶建造工艺技术的攻关研究,并在南浦大桥、杨浦大桥、东方明珠电视塔和大量城市建设钢结构工程制造和监理领域发挥了造船工艺技术的优势。研制成功的WKQ系列微机控制切割机,目前已成为我国造船、化工、冶金等行业理想的切割设备;开发成功的钢管内壁涂塑工艺技术,已转让国内近20家厂家,被国家科委列为重点推广应用项目。还有一批产品,如微控肋骨冷弯机、玻璃钢缠绕机、系列接线端子板、微型回火防止器、U型坡口切割机、焊接参数监察仪、真空吊具、快速管接头、磷化处理液等,以及各类喷丸除锈设备和无气喷涂装置,在推广应用受到了用户的好评。

1.4 八十年代工艺水平有了显著提高

20世纪80年代至90年代初,随着国内外船舶需求的不断增长,要求船厂能提供更多大型船舶,从而也推动了焊接技术的发展,从1986年开始在中国船舶工业总公司高效焊接技术指导组的有组织、有计划、有步骤的指导与协调下大力推广应用高效焊接技术,重点推广应用铁粉焊条、下行焊条、重力焊条等高熔敷率焊条焊接,二氧化碳气体保护焊接,各种衬垫单面焊双面成型焊接,气电垂直自动焊接,RF法双丝单面埋弧自动焊接,熔咀电渣焊接等高效焊接新工艺、新技术、新装备,使各厂的造船产量不断增长,船台建造周期不断缩短,焊接质量提高,劳动条件改善,取得了显著的经济效益和社会效益。

1981年4月12日,采用水上合拢和浮力顶升法工艺,完成了我国自行设计的半潜

式海上石油钻探船“勘探三号”的船体主结构的合拢。其中顶升最大重量为 4200 吨。

“水上合拢、浮力顶升法”工艺是利用水的浮力,通过对下浮体沉垫及辅助工装驳进行交替压、排水所产生的上升浮力,将平台逐步向上顶升,同时将 6 根立柱从平台由上而下逐节分段装焊,完成平面、立柱和沉垫的总装合拢。

解放后,船舶下水工艺也有了长足的进步:建国初期,上海各船厂利用老滑道及临时铺设的纵向或横向油脂滑道,完成批量建造的军用船舶下水。至 1954 年确定某型潜艇、某型猎潜艇依次由江南、求新造船厂承建,从此开始船台改建。以后国内各船厂按生产需要,经新建或改扩建,船台数量增多,船台规模增大。船台设施及水下操作也有如下演变:即滑道末端处的上端做成铰接式,能吊浮出水,涂浇油脂;以砂箱代替楞木,便于拆换墩木,继而改进为活络楞头;军舰在钢横梁上建造下水;首尾支架由原支承在滑板上,改用钢横梁承压;并有条件地发展成无首支架下水;在滑道下水段或滑道末端处,安装闸门,成为半坞式纵向船台滑道;船台上铺设主、副滑道,并列建造小型船舶;设置绞车拉物设施,适当增加船台长度,采取尾段串联造船方式;船台顶端设置变电所,发展成架空段,有诸多房间,供船台各工段使用。1986 年,首次以钢珠滑道代替油脂滑道成功进行船舶下水。

1982 年上海船厂引进了挪威 TTS 平面分段流水线,该流水线总长 193 米,设置定位焊接、切割、型材装焊等 12 个工位,引进了型材装焊机、24 头重力焊门架及二氧化碳气体保护焊机等设备,设计能力每工班生产 12 米×12 米平面分段 3 个。

1984 年 6 月,上海船厂在建造我国第一艘半潜式海上石油钻探船“勘探三号”中攻克了高压管的焊接技术。高压管线承受 700 公斤/厘米² 及 350 公斤/厘米² 压力,其关键是解决钨极氩弧焊焊接管坡口接头根部焊道背面焊缝成型和低氢焊条操作技术,焊工

技能要达到 6GK 级(国际上最高焊工考试等级)。

1985 年,沪东造船厂在生产线上采用船舶工艺研究所设计制造的双丝埋弧自动焊机进行了压力架 FCB(焊剂铜垫法)双丝单面埋弧自动焊接工艺,并获得中国船舶检验局(ZC)的认可,1986 年 1 月开始在 4200 吨散装货船的建造中获得推广应用。1988 年,沪东造船厂通过学习日本三井千叶船厂经验,自行设计研制焊剂垫装置,配置进口双丝埋弧自动焊机进行 RF 法焊接工艺试验研究,技术达到日本千叶船厂相当的水平,焊接效率提高 34 倍。该工艺相继在 8 艘 6 万吨级船舶大拼板中应用,共计焊接 14000 余米焊缝,并于 1991 年 12 月通过船舶总公司主持的技术鉴定。

1987 年,沪东造船厂与西安交通大学合作完成单面埋弧自动焊接终端裂纹的研究。该成果是以热弹性有限元程序计算出焊接温度场和焊接附近的热变形,进而计算出合适的定位焊缝布置和带缝弹性熄弧板尺寸,可有效地防止终端裂纹的产生。该方法适用于焊剂铜垫(FCB 法)双丝单面埋弧焊,并在焊接船体结构中的甲板、内底板、外板、隔舱板等拼板长接缝时防止终端裂纹。

1990 年起,江南造船厂相继建造了高强度钢液化石油气船(简称 LPG 船)和低温钢液化石油气船,其中 3000 米³ 全压式液化石油气船的液货舱罐采用屈服强度为 620MPa 强度钢,而 4200 米³ 液化石油气船的液货舱罐体因最低工作温度为 -104℃ 采用了 5% Ni 钢,这两种材料在我国海船建造史上均属首次使用,焊接接头的各项性能指标均符合设计要求。

1.5 九十年代致力于造船转型

1990 年,中国船舶工业总公司针对建造出口船严重脱期,导致违约罚款的被动局面,召开了“第一次缩短造船周期”会议,要求全行业千方百计缩短造船周期,重点在贯彻全系统、全过程、全方位的“超前准备”。同时,中国船舶工业总公司组织了 71 人组

成的专家组和课题组,应用现代造船理论,研究了“缩短造船周期的对策”,1992年完成研究报告。报告提出缩短造船周期的根本对策是建立现代造船模式;并提出了建立现代造船模式的基本原则:

- 以船舶“中间产品”专业化生产的建造策略,替代“工种”专业化;
- 以“流通量”生产管理,替代“库存量”管理;
- 以“复合,混合”工种组织,替代“单一”工种组织;
- 以“空间分道,时间有序”的壳舾涂一体化的作业排序,替代“概略”的生产计划。

1991~1994年,我国派遣了800人赴日本学习先进的造船技术,平均每天有10余人在日本船厂学习。广州造船厂早在1985年就在全国率先引进日本的造船模式,而后,参照《造船成组技术》理论不断改进,至1994年,从事造船的职工由6000人减少到2200人,船舶产量由年建造万吨级货船1~2艘。提高到4~5艘。按成组技术原理新建的现代化管子车间,能按质、按量、准时地向舾装提供管件托盘,既提高了管件本身的生产率,又从根本上解决了管子加工是造船短线的被动局面。

1995年,船舶总公司召开了“第二次缩短造船周期”会议,会议主题由强调“超前准备”,转移到以空前的行政力度部署实施现代造船模式。会上,“生产设计、成组技术指导组”作了《勤学、务实,转变生产体制,再创造船辉煌》的报告,认为:我国造船生产效率和效益亟待提高,同时提出了各厂转变造船体制的措施,主要是建立符合成组技术原理按中间产品导向的生产班组和组织机构,实现造船全过程的生产设计,编制一体化的造船计划,运用编码系统和托盘集配技术等。

船厂建立现代造船模式大多先着重于组织机构的调整,如采用事业部建制,并以大区域作壳舾涂的作业划分调集生产资源。同时,船舶总公司成立了由72名专家组成的课题组,由国家科委立项,开展了“现代造

船模式研究”。1999年完成了48万字的研究报告,提出了5种造船模式有序演绎的理论,把现代造船模式分为“分道制造模式”和“集成制造模式”两类。前者,达到了船体分道建造、区域舾装、区域涂装和管件族制造,实现了船厂的“设备密集”,职工人数呈数量级的减少。后者,达到了壳舾涂一体化的流通量控制的准时生产,实现了船厂的“信息密集”,主要是依靠成组技术和信息技术的充分应用。

当前,中国船舶工业集团公司和中国船舶重工集团公司为增强竞争实力,在国家支持下,正在通过技术改造提高造船生产力,包括大型船坞的新建和扩建,现代化造船装备和计算机软件的引进,电子信息网络的建立等。同时,正在致力于造船全过程的“中间产品专业化生产”。

2. 展望

2.1 向全自动化方向发展

据称智能化设备可以降低造船成本50%~75%。在日本,NC切割机器人,从火焰到等离子,并向激光切割发展,已经成为船厂的基本技术。装配焊接智能化设备,从船体零部件制造,到平面分段的纵向构件的装焊、外场焊接、坞内船底仰焊,正致力于三向曲板的单面焊智能化设备的研究,以将纵横构件装焊到曲形外板上,目标是实现船体建造的全自动。采用线加热机器人自动加工复杂曲面的船壳板的热弹塑理论,已能求得钢板目标曲度所必须的加热过程指令。线加热的自动钢板弯曲成形机的开发是造船技术的又一巨大进步。由于双壳的船体结构大量使用,使得涂装环境恶化,因此,涂装智能化设备正在研制中。日本专家认为随着智能化设备的广泛应用,船厂将成为没有灰尘、没有危险和没有疲劳的真正现代化工厂。

2.2 研究全新概念的造船技术

为了高效、经济、优质地制造双壳体船舶,美国以并行工程理论为指导,研究和开发了新一代的船舶设计和制造技术。原来

由数千种零件构成的船体中部,只采用两种形状和尺寸标准化的组件,它们分别由全自动的压板机和 12 头装配焊接机器人制造。三块厚度在 20 毫米左右的钢板的焊接缝,全自动焊接装置只需行走一次便完成全部焊接作业。通过全自动浸涂获得的涂层有特别强的附着力和密度,使用寿命可超过船龄。船体和舾装都采用自动拼装焊接的模块化的建造方法。全船合拢不使用船台和船坞,而采用大型趸船。这样,船舶中部结构的钢材加工不再需要数控的号料切割设备、三芯辊、油压机、型材冷弯机等。船舶的主机和推进等系统采用复式结构,以增强船舶在海上的生存能力和货物装载量。波形结构的船体有较大的吸收碰撞和触礁产生的能量的能力,可更有效地防止海损事故。

在该项技术开发中,充分考虑“绿色制造”问题,尽最大努力减少造船对环境的影响。采用单道焊,使焊接产生的有毒气体骤减,并可在密闭的环境中施焊。采用无排放的浸涂技术消除了对水资源的污染。钢材利用率几乎达到 100%,不浪费资源等。

最近,美国又完成了船体曲板数控激光成形加工技术的研究开发。

德国应用自动化的激光焊接技术制造夹层状的船舶的非主体的甲板平台和上层建筑结构。

2.3 致力于造船虚拟企业的开发

舰船的敏捷制造是:为了充分利用分布在世界各地的各种资源,要以最快的速度,整合企业内部的优势和企业外部不同公司的优势,形成一个单一的经营、设计和生产实体;该实体就是虚拟企业。造船虚拟企业通过“虚拟企业服务系统”和“虚拟企业用户系统”建立起信息联络和过程管理。这两个系统为虚拟企业的各方创建了一个通用的计算机平台,和与虚拟企业沟通的站点。虚拟企业的信息管理包括电子化的技术数据和产品数据的交流和管理,使得使用者能实时地沟通和分享信息。一旦数据进入,就可

以多次使用,无需再次输入,并进行实时的修正和控制,确保信息的实时性和一致性。造船虚拟企业的过程管理包括相互对话、各种日程计划和作业流程,用于船舶建造规范、设计、建造和修理。

美国的电船公司、巴士铁工厂、国家钢铁和造船公司、托德太平洋船厂、纽波特纽斯船厂和英格尔斯船厂等主要造船企业,联合分包商、供应商和舰船使用、检验、研究部门,为整个美国造船业研究了一致的定义和控制方法。以船厂为中心,创造了一个一体化的联络组织,即建立一个计算机辅助后勤支持保障系统(CALS),此项目于 1997 年 10 月启动,至 2000 年 9 月完成。日本、韩国和欧洲的海事业,也都在致力于 CALS 技术的引进,以建立造船虚拟企业。

2.4 通过流程再造达到高质量快速造船

船舶制造是船舶工业中投入和产出最多的场所,是做大做强我国船舶工业,实现世界第一造船大国目标的主战场,基于工艺流程再造的快速造船是科技兴船战略的重要组成部分。流程的实质是工作的做法和结构。合理流程是我国造船与国际水平差距最大和最急需解决的问题。而我国正在着手这一领域的研究,可以预见,通过流程再造将有效缩短船舶建造周期,并提高船舶建造质量。

2.5 中国造船向自动化和信息化奋进

当前,中国造船业已完成信息化、装备自动化工程的初步设计,包括 CSSC 和 CSIC 两大造船集团的管理系统、产品设计系统、产品建造系统、网络和数据库支撑系统。该项工程的设计采取跨越式的“信息化”和“工业化”并举策略,它是在充分认识分道制造、集成制造和敏捷制造三者关系的前提下,纵观全局处理好它们的相互协同,以较短的时间,从全系统的高目标要求出发,设计造船的模式(体制)、造船装备(工业化)和造船集成(信息化)的配套发展。该项工程的实施将为中国船舶产量向世界第一奋进作出贡献。■