维普资讯 http://www.cqvip.com

美国壳舾涂一体化和未来造船技术

·徐学光·

提 要 本文根据对美国有关造船组织和三家不同特点的典型船厂的实地考察，介绍了美国向国际船舶市场进军、努力实施壳舾涂一体化和研究开发21世纪的船舶设计制造技术的情况。

主题词 成组技术 壳舾涂一体化 船舶设计 造船 美国

1 前言

由中国船舶工业总公司生产经营局、船舶工艺研究所和广州广船国际股份有限公司的有关领导和科研人员，共计5人组成壳舾涂一体化技术考察团赴美进行考察。考察了壳舾涂一体化和21世纪的造船技术，美国20余位高层次的造船专家接待了考察团。

1995年10月22日至11月5日，该团在美国访问了6个单位，含3家具有不同特征的船厂。就应用成组技术建立现代船舶生产体制，研究和实现壳舾涂一体化，在西雅图访问了美国全国造船研究组织经理契里洛(L. D. Chirillo)先生，托德(Todd)太平洋造船公司和埃利特(Elliott)海湾设计集团；就新一代的壳舾涂一体化工程技术，即21世纪的造船技术的开发和应用，在霍博肯(Hoboken)和诺福克(Norfolk)访问了海事国际公司和大都会(Metro)机械公司。这些公司和船厂的高层领导和技术专家，共20余人热忱地接待了考察团。

2 美国造船工业和造船科技概貌

2.1 为争夺10%的造船份额，投资22亿美元

1993年10月，美国总统克林顿向国会提出了"振兴船舶工业，进军国际船舶市场计划"。同年，制订了"国家造船启动计划"，截至2000年，提供22亿美元的行动经费，以使美国占世界造船份额达到10%。其中，包括"造船技术(Maritech)发展计划"，旨在创造新的造船方法，参与世界范围的竞争。

2.2 强劲的美国造船业，一天产出3艘万吨船

从1884年承造军船的昆西船厂建成起，美国造船业已有111年的历史。

二战时期，美国曾雇用165万造船职工，建造了军用舰船1 768艘。1942至1944年的3年间，还建造了万吨级货船"自由轮"3 148艘。

战后，率先建造了核动力潜艇、航空母舰和超大型油船等高技术产品。1979年占世界商船产量的9.5%。

当前，美国拥有422家船厂，其中大型船厂19家；手持和在建的船舶中含核动力航母2艘和弹道导弹核潜艇等高科技产品，年产值达94亿美元。

2.3 美国全国造船研究组织已完成结合生产的研究400余项

美国的全国造船研究组织(Organization of NSRP)旨在提高美国船舶工业的生产率和国际竞争力。该组织包含如下三个部分：

2.3.1 管理部分

维普资讯 http://www.cqvip.com

由船舶生产委员会领导，在海军戴维·泰勒研究中心内设立全国造船研究组织办公室和文档中心。

2.3.2 研究部分

按舾装、设计制造一体化、标准、涂装、焊接、柔性自动化、设施和环境、人力资源、工业工程和教育等10个领域开展研究。

2.3.3 实施部分

每项研究必须结合主导船厂(Lead Yard)的实际，并付诸实践。从1971年起截至1994年，已完成419册研究报告。

2.4 美国率先提出壳舾涂一体化，并在创建最先进的21世纪造船技术

壳舾涂一体化(Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting 简称IHOP)是美国全国造船研究组织，以成组技术(Group Technology 简称GT)理论为指导，研究"先进的船舶生产体制和技术"(Advanced Shipbuilding Systems and Technology 简称ASSAT)时提出的船体建造、舾装和涂装三类不同性质的作业有机结合的高水平的造船技术。美国船厂正在努力实施该项技术。同时，以敏捷制造(Agile Manufacturing)思想为指导，美国正在研制新一代的壳舾涂一体化工程技术，以极为明显的技术突进，夺取竞争优势，有可能成为代表21世纪的船舶设计制造技术。

3 90年代和21世纪的先进造船技术

3.1 综合革新船舶设计和制造的新一代壳舾涂一体化的马格安技术

3.1.1 新的双壳油船的国际规则，创造了1 500亿美元的市场。正在研究开发的马格安技术解决了困难的双壳结构的设计、制造、使用、维修和防环境污染等问题

美国海事国际公司主席说，于70年代，由他领导开发和建造了125 000 m^3双壳体的液化天然气船(LNG)，并培训了船员；于80年代，巨型油船发生海损事故严重污染海洋时，他即萌发了有关双壳体油船和经济高效地设计建造双壳体油船的构想；于1990年，美国政府制订了防止石油污染法令(OPA'90)，规定从1995年起分阶段禁止单壳体油船进入美国海域。随后，国际海事组织又制订了新的油船国际规则，凡5 000吨级以上的新建油船，一律要采用双壳体或相当于双壳体的结构。这样，从现在起至2010年，世界上将无可选择地有3 000艘油船需要更新，创造了1 500亿美元的市场，其中美国拥有351艘非双壳体油船，占市场份额的12%。

由于双壳体结构显然比单壳体复杂，当前应用传统的设计方法，由传统的船厂来建造双壳体油船，势必增大了设计和制造的困难度，提高了船舶成本。同时，在双壳油船使用和维护中，还存在有关稳性、应力、货油泄漏和局部严重腐蚀等问题。为了高效而经济地建造高质量的双壳体油船，美国潜心努力多年，完成了包括设计和制造的，新一代壳舾涂一体化的马格安(Marc Guardian)专利技术的研究和开发。

3.1.2 世界一流的船舶科研、设计、检测机构与大都会机械公司联手开发了马格安技术。特别高效的结构设计，只采用两种标准化元件

为了建造高品质营运、长寿命的，从4万载重吨至34.8万载重吨的双壳体油船，彻底改变传统油船需数千种不同零件构成船体的设计，只采用两种15.2 m(50 ft)长的标准化的元件。一种是宽度为2.14 m(7 ft)的由机器装焊单向扁钢的平面钢板；另一种是宽度为2.44 m(8 ft)的曲率半径为5.1 m的无加强材钢板。由单道焊接机器人把它们组装为除艏艉外的整个船体，包括隔舱壁、甲板和船壳。由弧形板构成的船体增强了对抗扭曲或变形的能力，并能大量吸收冲击能量，因此，使得2.44×15.2 m的范围内不需要任何加强材，而传统结构需要3根纵向桁材和3根横向肋板。简单结构不但减轻了船体重量，而且大量减少装焊作业量。

有权威性的世界一流水平美国海岸警卫队、美国船级社、里海大学、美国海军水面作战中心、瑞典船模试验池、美国海军泰勒研究中心

维普资讯 http://www.cqvip.com

等船舶科研、设计、检测机构，为马格安油船作了原油流出量统计、有限元和装运动力分析、单道焊技术的核准、结构疲劳分析、大型船模制作、计算机模拟船舶搁浅及失控试验、船舶流体力学性能分析和试验，以及高附着力的涂层的耐久性试验等。大都会机械公司对船体原件的加工、装配和焊接做了实尺的工艺性试验，包括元件的装焊和模块制造等。

3.1.3 马格安油船给船东创造了增加油船使用年限，降低造价和营运费，降低货油泄漏风险和维修方便等实际利益

马格安油船的所有结构都采用普通碳钢，消除了高强度钢易发生的结构疲劳。船体采用高品质长效涂层，具有特别长的寿命。压载舱的所有设备阀件和大多数管子都装在压载舱外面，因而压载舱内不需要任何架子，很容易入内检视和维修。采用弧形船体结构提高了船舶碰撞和触礁发生时的生存机会。极大部分焊接作业都采用全自动焊，品质得到可靠保证。采用复式推进系统、燃油系统和舵系统，缩短了机舱长度，增大了货油舱容积，提高了运油量和船舶航行安全。在不良气候下，提供了甲板下的来往通道。

3.1.4 马格安技术给船厂创造了提高船舶质量、缩短造船周期、增加船舶产量、增强市场竞争力、降低建造成本和对工人的需求等实际利益

马格安油船的建造，由于采用全自动设备制造元件，因此，元件公差很小，互换性好。由于大量采用全自动焊接和自动电泳浸涂长效涂料，从而大大地提高了船舶的质量。采用标准化的元件，可大大减少焊接作业量和脚手架，从而适合于模块化生产。模块化的产品可以分包给专业化生产的工厂大批量制造，加上简化的船台合拢作业和涂装作业，从而缩短了造船周期。采用自动化技术建造马格安油船，降低了对工人的技术水平和数量的需要，减少了施工工时和时间，使得该类模块的价格可远低于其他种类的船体模块或分段，从而降低了建造成本。马格安油船制造过程中减少了工人在脚手架上工作的时间，减少了工人在密闭舱内打磨和涂装的工作量，减少了工人处于溶剂发挥气体中的时间，因而提高了生产的安全性。综合以上的建造特点，自然就增强了船厂的竞争实力。

3.1.5 马格安技术还可用于各型货船、客船、军舰和其他双壳体结构物；用马格安技术武装的船厂正在建设中

任何产品从根本上来说具有仿生的特性。动物的躯体都有表皮、真皮和肌肉等多层结构。随着人们对船舶生存能力和环境保护意识不断增强，船舶广泛采用双壳体结构保护客员和货物，是符合仿生原理的。当前，美国和法国船级社已经提出散货船也要采用双壳体结构，双壳体船已成为发展的目标。国际散货船船东协会已提出了采用双壳体结构的建议。国际海事组织正在考虑对提高新船生存能力的立法。

马格安技术不但适用于油船，还适用于LNG、LPG、成品油船、化学品船、滚装船、集装箱船、散货船、客船、军舰和潜艇，以及其他双壳体结构物。

船厂经过现代化改造后，设备密集度增加。采用多型NC切割机、型材加工流水线、平面分段流水线和涂装设施等，以及许多设计、制造、管理的计算机软件系统。这些硬件和软件均不适合马格安元件和模块的高效生产。为了充分发挥马格安技术的效能，需要一整套完全不同于现有船厂的工艺装备和管理技术。因此，美国大都会机械公司已在宾夕法尼亚州购得65公顷土地，投入巨资，正在建设新的船厂，按马格安技术进行专业化生产。

3.1.6 马格安技术是一项受专利保护的专有技术，它将改变造船业的面貌

国际造船界认为，马格安技术将对造船业产生巨大的冲击。通过较为深入的考察，更认识到此项技术的巨大潜能，它将从根本上改变造船业的面貌，使造船作业实现高度自动化，成为高效、整洁、方便的大生产企业。美国海事国际公司主席说，当前，日本和韩国占有极大的造船

维普资讯 http://www.cqvip.com

份额，采用了大量的机械化设备。美国不能跟在他们后面走。美国要独创性地开发更先进的技术，才能超过他们，在竞争中取胜。

马格安技术受专利保护，任何国家的任何人要求考察马格安技术，都要与对方签署《保密和防泄密协议》。《协议》规定：考察者不得使用和泄露马格安技术的方法、计划、研究和开发的资料和信息，包括贸易信息、双方的谈判信息；保证考察方的雇员、代理、次承包商未经对方事先书面许可，不使用、泄露专有信息；但是，通过合法渠道所拥有的已由对方解密的信息不属此例。

3.2 保护环境、创造效益向世界造船业挑战的船舶外罩封闭系统

3.2.1 排除涂装污染环境和环境影响涂装的、提高涂装质量与效率，增加安全的凯庇装置

大面积的船体涂装作业伴随挥发性的有机溶剂成分污染空气。同时，环境温度、湿度和雨水又影响涂装作业的日程安排和涂层质量。传统的船台作业脚手架和高空作业车严重制约了涂装作业的效率和安全。为全面而彻底地解决这上述问题，大都会机械公司研究和开发了把整个船体都密封起来的，与环境相隔离的装置，即所谓的凯庇(Compliant All Position Enclosure)装置。该装置的有关信息也属于《保密和防泄密协议》控辖范围，故不评述。

3.2.2 凯庇装置的实际应用，改变了造船业的形象，取得了竞争实力和经济效益

作为国际首创，该船厂使用了凯庇装置后，使他的竞争力增强，更容易获得舰船的修理和改装业务，使他成为美国海军 LSD、LPD、LPH、DD、CG 等多型舰船的改装和修理基地。在所有船厂中，该厂第一家获得了美国海军的奖励。

大都会机械公司的船厂被公认为符合环境保护要求，十分注重于防止作业对空气、水和土地的污染。该厂是一座具有超前意识的"主导船厂"。1993 年，由美国环保局授予了"环境教育优秀奖"。

应用凯庇装置缩短了舰船占用船坞的时间和修造船周期。在美国干船坞的日费用为 5 000 至 2 万美元，再加上船舶服务费用每天是 1 万至 10 万美元。时间就是资金，由此，节约了大量的资金，降低了成本，创造了经济效益。同时，他们还认为，时间不只是资金，它大大超出了资金的功能。

3.3 为达到作业安全和生产高效，快速测定雇员的心理、生理状态的诺瓦审检装置

3.3.1 用 10 min 时间测定对雇员的跟踪、定位和配置能力，即能确定他能否高效而安全地投入工作

影响生产安全和工作效率的因素包括精神的和身体的两方面，例如体内的酒精和毒品的含量、疲劳、患病、情绪抵触、药物反应、受压迫感、发怒等。诺瓦审检(Nova Scan)装置像一套电子游戏机。公司的每个雇员，都要经过 2 星期的专门培训，学习使用诺瓦审检装置。学会用左手和右手操纵按钮，来控制电视屏幕出现的图像和人物的运动。第一是审检被测者的跟踪目标的敏捷程度；第二是测试快速辨别方向的能力；第三是测定船舶载荷的平衡配置技能。把每个人在培训期间的成绩，由计算机记录和存储起来，绘制成图表，作为本人能否高效而安全地工作的衡准。然后，每天上岗前，花 10 min 时间测一下，达到本身的标准就上岗。当上述能力较大地偏离标准时，就要有管理人员找其谈话，分析原因，并允许再测一次。再测仍然不合格，就不允许上岗工作。所有的测试都由计算机记录储存，全厂计算机联网。此外，还可以在工作中进行抽查。

3.3.2 大都会机械公司的船厂实际应用了诺瓦审检装置，并取得了实效

该厂全面采用这套系统已经 1 年，生产效率提高，安全事故明显减少。同时，诺瓦审检装置对全公司的从业人员来说是有挑战性的，要求他们时时处于良好的心理和生理状态。这套测试方法是简单的，同时，也是十分科学的，比较传统抽取人体的生物化学物质检查方法有更

维普资讯 http://www.cqvip.com

多的优越性。

4 成组技术与壳舾涂一体化

4.1 现代造船理论的技术权威 L. D. 契里洛先生

4.1.1 契里洛先生致力于现代造船理论研究已 25 年，指导过分属不同国家的若干船厂建立现代生产体制，亦为我国研究造船成组技术提供过专著

L. D. 契里洛(Chirillo)先生从 1971 年美国全国造船组织形成起，即管理该组织，他把以 GT 原理为指导的现代造船理论应用于美国、加拿大、英国和西班牙的船厂。他组织撰写了一系列现代造船理论专著。当前，他接受美国政府委托，正在帮助托德太平洋造船公司转变传统生产体制，采用现代造船方法。由于他为造船业的生产效率提高作出了贡献，于 1981 年和 1985 年荣获美国的肯尼迪奖和苏伯格(Solberg)奖。我国造船成组技术课题组于 1986 年与他建立联系，他向我们提供了大量的有关现代造船成组理论的专著。

4.1.2 契里洛先生认为，日本先进造船技术源于美国；成组技术对公司所有工作进行合乎逻辑的安排；当前世界上没有一家船厂真正地实现了壳舾涂一体化；设计的未来发展是并行工程

契里洛先生有关造船成组技术和壳舾涂一体化问题的观点是：

(1)二战期间，美国决策战后由日本承担商船建造任务，因此，在轰炸日本时，保存所有的船厂设施。战后，美国政府委派以埃尔默·汉纳(Elmer Hann)为首的专家团赴日本，传授以 GT 原理为指导的现代造船方法。契里洛先生向我们提供了汉纳给他的论及日本造船工业信函和日本 IHI 主席 H 进藤(Shinto)的语录："现代造船方法始于汉纳先生来到日本。"

(2)为了多品种，少批量生产获取大批量生产效益，合乎逻辑的有序设定，公司面临的所有工作，被称为成组技术。国际一流水平的船厂有序设定工作采用"产品导向的工程分析"(PWBS)。PWBS 包括船体分道建造法、区域舾装法、区域涂装法。所谓区域是包含一个"族"的产品，如零件、部件、组件、分段或采用特定形式服务的作业。

(3)造船生产的效益主要来自于壳舾涂不同的生产流程的最佳协调，同时使工人能作出创造性的贡献。办法是通过运用托盘系统，把设计工作、物资工作和生产作业结合起来。要求在产品设计之前，就制定工作计划。设计部门按中间产品(Interim Product)编制托盘表。物资按托盘表配套齐全适时供给。生产者把信息和物资转换为中间产品。这种像一个大型交响乐队一样的有序的工作状态，被称为壳舾涂一体化。真正的高水平的 IHOP，实际上包括日本在内，世界上还没有一家船厂真正地都做到家了，而仍然是一个共同的努力方向。

(4)设计的未来发展是"并行工程"(Concurrent Engineering)。

影响产品成本的 75%是概念设计阶段的工作。而构成产品成本的 90%是产品的制造。因此，极其强烈地吸引人们，要在产品设计的同时，完成产品制造过程的设计。这就是并行工程和设计制造一体化。作为一名船体零件的设计师，必须熟知所设计的零件的制造精度控制、切割、加工成形、装配和焊接等。

4.2 "沉睡的巨人"——托德太平洋造船公司正在快速实现现代造船体制

4.2.1 在世界船舶市场萧条中坚韧生存，顺应美国造船业向世界市场进军而快速崛起

托德太平洋造船公司建于 1916 年，是一家股票上市的私营公司。该公司拥有美国太平洋沿岸西雅图、旧金山、洛杉矶等地的 20 多家船厂，建造了驱逐舰、巡洋舰、护卫舰、战斗舰、攻击型登陆舰、货船、客船、自卸船、集装箱船、化学品船、挖泥船、渡船和海洋平台拖船等。

80 年代中期，正值世界船舶市场萧条，加上当时的公司领导思想保守，未接受现代造船体制，致使该公司除保存唯一一家船厂作为根

维普资讯 http://www.cqvip.com

子外，关闭了所有的船厂。在严酷的市场环境中，闻名于世的造船巨人托德太平洋造船公司沉睡了。近10年来，作为一家私营企业十分艰辛地维持着500到1 000人的技术力量。

当前，托德船厂拥有700名职工，其中工人600名。在美国决策向世界船舶市场进军后，政府派契里洛先生协助托德船厂转变传统造船体制，建立现代造船体制，采用GT的方法。有关工作是半年前才开始的，在考察中，我们感觉到，6个月来，他们已经取得了如下明显的转变：

(1)考察中对方一再强调最重要的转变是人的思想观念的转变，认定必须建立以GT为指导的现代造船体制。尤其是工会方面，10年前与公司对立，反对造船组织的改变，反对复合工种。现在工会与公司保持一致。共同使船厂向现代化推进，认识到建立现代体制的必要。

(2)结合巨型渡船贾姆博(Jumbo) I型的新船设计和建造合同，快速推进中间产品导向的造船方法。在设计之前制订了详细的建造方案，把整艘船划分为100多个模块，要求预舾装率达到85%。按周编制建造进度图表，以图示的形式，十分形象地描述了区域造船的生产过程。在图纸上标有编码和生产所需的技术信息与管理信息。全厂有63名设计人员，每人拥有一台计算机。

(3)建立了精度控制系统，精度控制表格由工人自己填写，然后，把数据输入计算机，待大量数据积累后，作数据统计处理，保证产品精度。

(4)采用物流量控制的生产管理。原来的大型仓库已经全部撤空，另外设了一个面积只有原来1/6的较小仓库，存储少量物资。钢材由铁路输入改为公路，按生产流程的需要每天进料3～4批。

(5)重新调整和布置了管子加工车间设备，使之适应按GT的"管件族制造法"流水生产。

(6)拆除一些旧的建筑，试图理顺生产流程。

(7)1994年度，由美国政府投资160万美元，该厂承担了《现代化造船方法与信息系统相结合》的科研课题。

4.2.2 值得仿效的拼板工具、胎架卡夹、船台墩木和管道接头

托德船厂的设备还是比较先进，他们拥有等离子切割机、大型喷丸房和分段涂装烘干房等。该公司1983年就把CM-T3-566型焊接机器人用于舰艇部件的焊接。同时，该厂由于长期从事军品建造，所以产品质量也很高。船体零部件平直，变形小，接缝整齐，能及时补漆，很少有锈蚀现象。此外，我们见到许多值得我们仿效的，能提高工作效率的工夹具和器件：

(1)用特殊的"拼板夹具"替代板缝端头弧板的定位焊；

(2)用胎架"卡夹马"替代胎架支柱与基座的焊接；

(3)"螺旋式船台墩木"能方便和精确地调整墩木的高度；

(4)"快速接头"能有效地连接气、液管道，防止漏气和漏液；

(5)普遍使用"机械化工作平台"，能深入到分段内部。

4.2.3 一个业务范围广的，高效地为造船工业提供最佳服务的设计集团

在西雅图的埃利特海湾设计集团公司，承接工程可行性分析、船舶和装置系统设计、海事工程、计算机放样和零件管理，以及船厂技术改造等业务。他们拥有600种船型的设计资料，已设计了数百艘船舶，如汽车渡船、拖船、驳船、试验船、消防船、渔船、电站船、客货船、集装箱船和海岸警卫队的船舶等，从概念设计到施工设计。船模水动力性能试验由瑞典的水池与他们合作。该公司每一名设计人员拥有一台计算机和一架电话。除了搞新船设计外，还承接船舶改装和修理的设计工作。该公司拥有一幢楼房，只有25名设计人员，而业务范围遍及美国各地，工作效率很高，经济效益好，除去设计成本和较高的设计师工资外，每年至少赢利400多万美

维普资讯 http://www.cqvip.com

元，人均 16 万美元。

4.3 美国造船业的主导企业之一，阿冯达尔船厂

4.3.1 每年 17.5 万 t 的船体钢材加工能力；产值 5 亿美元；3 年内股票上涨 3 倍；手持合同至 2005 年

阿冯达尔船厂建于 1938 年，是美国 5 大私营船厂之一。该厂以建造驱逐舰、护卫舰、船坞型登陆舰、扫雷艇和各种军辅船为主，同时，建造 25 万吨级 VLCC 成品油船、液化汽船、集装箱船、气垫船、钻井平台和海上电站等多种民用产品。建厂以来共建造了各类舰船 1 200 多艘，成绩卓著，拥有数以百计的奖状和奖杯。

该厂建造设施的能力较强，作业大多在封闭的车间内进行。拥有长度为758m的船体车间4跨，年钢材加工能力达 17.5万 t。管子加工能力每月 1.2万m。该厂拥有 8.1万 tf 举力的大型浮坞和横向下水设施。舾装码头总长1 500m。

阿冯达尔船厂的职工总数为 6 200 人，1994 年该厂总销售额 4.8 亿美元，利润总额为 4 750 万美元，阿冯达尔船厂生产的前景极好，手持订单已到 2005 年。

该厂是股票上市公司，共 550 万股，其中职工股占 52%，社会股占 48%。1992 年每股为 4 美元，1993 年上升到 8 美元，1994 年为 10 美元，1995 年 10 月已超过 16 美元。3 年内上涨了 300%，可见，美国造船业的振兴势头之猛。在美国股民心目中，该厂大有发展前途。

4.3.2 40 多名日本专家在阿冯达尔传授现代造船技术 4 年；1994 年 7 月开始派大批人员赴西班牙学习商船建造技术

阿冯达尔船厂从 1979 年开始作为美国全国造船研究组织的主导船厂之一，从日本 IHI 公司引进现代造船体制和技术。从 1982 年起，日本 40 多名造船专家被请到该厂帮助该厂由工种专业化生产导向的体制转换为按中间产品专业化生产导向的体制。日本专家在该厂工作 34 年。该厂的体制转换工作结合 LSD 船坞型登陆舰和 T-Ao 18 万桶的舰队供油船的设计建造展开。引进技术包括：先进的计划编制技术；作业项目、单元和区域的设计技术；标准化的分道生产技术；线加热技术；精度控制技术；高度集成的机械和管子作业项目(Packging)；单元组装和重型舾装件的安装；区域化的后舾装(Post-outfitting)技术，以及支持建造系统的线型光顺和零件生成的 SPADES 系统、CADAM 绘图系统、COPICS 物资控制系统和 CIPREC 管理信息系统。这些技术促使造价降低和达到按时交船。LSD 登陆舰前 3 艘在未实施现代体制的洛克希德(Lockheed)船厂建造，每艘造价为 3 亿美元左右；而后 5 艘的建造任务被阿冯达尔船厂竞争接获，每艘造价降到了 1.5 亿美元。阿冯达尔船厂移植 IHI 公司技术的重点是在实施区域舾装、分道生产和模块建造。把一艘船分解为 100～200 个模块，每个模块的重量大于 100 t，组织流水生产，一个模块制造用 8～10 天时间，一天产出 4 个模块。最大的模块重量可达 360 t。

1994 年7 月起执行阿冯达尔船厂与西班牙的AESA公司的技术合作协议，包括商船设计、市场分析和民船生产技术，该合同使阿冯达尔船厂以更大的步伐迈向民船建造，使之成为具有世界竞争力的美国的主导船厂，学习西班牙造船的技术重点是提高钢结构的设计与制造能力。

〔上接第 31 页〕

体车间就一直把数学放样代替手工放样运用至今，加快了船舶的建造进度，缩短了造船周期。

5 结束语

数学放样和电子计算机在船体建造中的应用有着广泛的前景，是缩短造船周期的手段之一。我厂船体车间采用了计算机数学放样，并用在实船上，已取得了理想的效果，尝到了甜头。但因原客观条件影响，也产生了一些矛盾和问题，有待进一步协调解决。