

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

船舶是一种集高新技术于一身的大型机电产品，事实上大型船舶就是一座水上城市。大型船舶建造是一个复杂的生产过程，现代造船工程是典型的依赖高科技的系统工程。造船体制 (System) 和技术 (Technology) 统称为造船“模式”。为了适应工业和科技的进步、适应市场竞争以及提高生产效率和改善作业环境，就必须优化和创新造船模式。英国、瑞典、挪威、美国和日本等世界主要造船国家进行了卓有成效的研究和实践。在我国，船舶工业的体制调整、船厂生产组织变动和技术改造、造船技术的持续进步等，也是为了寻求适合国情的造船模式。

自 18 世纪世界生产力从“以农业为中心”转变为“以工业为中心”的 200 多年来，由制造者主导市场，并随之相匹配的生产模式不断优化，其基本特征是“分工精细”、“规模效益”和“层次管理”。通过投入巨额资金，运用标准化和系列化的方法，采用专用设备形成大批量生产能力，占领市场，赢得竞争。第二次世界大战后半世纪的经济的发展，使社会物质财富日益丰富，人类生活水平普遍提高，形成了以用户为主导的市场，但市场的变化无常，有时某个因素的细微变动，就可能导致市场需求的突变。制造者要在市场中赢得竞争，惟有主动地改变原有的生产模式以适应变化万千的市场需求。

半个多世纪以来，科技的飞速进步，促进了制造业的生产方式由劳动力密集型转变为设备密集型和信息密集型，并进而向知识密集型方向发展。随着经济全球化进程的加快和科技的高速发展，一个国家要占有一定份额的市场，不但要对“制造技术”进行新的评估和研究，更重要的是切实有效地快速发展制造技术，使之保持或达到国际先进水平。因此，美国率先提出“先进制造技术”(AMT—Advanced Manufacturing Technology) 得到了世界发达国家和发展中国家的积极响应。主要工业化国家正在运用极大的智力和财力，各自或联合研究与开发先进制造技术 (AMT)，改进和突破现有的生产模式，以期提高市场份额。

研究并付诸实践的 AMT 理论和方法主要有：成组技术 (GT)、准时生产 (JIT)、制造资源计划 (MRP II)、柔性制造系统 (FMS)、计算机辅助集成制造系统 (CIMS)、全面质量管理 (TQC)、智能制造系统 (IMS)、精益生产 (LP)、分形公司 (FC)、单项计算机辅助 (CAD、CAM、CAPP)、并行工程 (CE)、再造工程 (Reengineering)、企业重构 (Restructure)、后大量生产 (Post-Mass Production)、敏捷制造 (AM)、生物制造系统 (BMS)、大规模定制生产 (Mass Customization) 和全球制造系统 (GM)。

造船业是按订单生产的，长期以来处于供过于求的状态。船舶市场是以用户为主导的，竞争激烈，因而改进和突破现有生产模式已成为造船企业兴衰存亡的关键。世界上不少船

厂多因传统生产模式向现代模式转化的滞缓，生产效率低下，致使不能获得订单或获得订单却没有经济效益而倒闭。

20 世纪 80 年代世界船舶市场萧条后，美国、日本和欧洲诸国的那些能继续生存并发展的船厂，大多都已建立了以 GT 理论为指导的现代造船模式，并正在向现代造船模式的高级阶段——壳舾涂一体化 IHOP 的‘艺术化造船状态’(State-of-the-Art)发展。其中，领先的船厂还以 AMT 理论为指导，联合研究和开发以敏捷(Agile)为特征的 21 世纪的造船模式。最近，美、日等国船厂分别新建了现代造船车间和一体化的造船系统，为实现动态的造船联盟，从根本上改变现有船舶生产模式，开展了有关虚拟造船的研究。

中国船舶工业于 20 世纪 70 年代初期就开始以对外“援助”和“贸易”形式建造出口船舶，逐年以较高的速度增长。至 1997 年，船厂的出口产值占总产值的 67% 达 132 亿元。中国船舶工业总公司 CSSC 的 8 个大型船厂，1997 年出口船产值占总产值 75% 如表 1-1 所示。1997 年度造船产量创历史最高纪录，达 229 万综合吨，占世界船舶市场份额的 5%，仅次于日本和韩国。

表 1-1 1997 年度 CSSC 8 家骨干船厂出口船产值所占份额

船厂	A	B	C	D	E	F	G	H	合计
出口产值(亿元)	18	18	6	14	16	15	9	5	101
总产值(亿元)	21	23	7	17	21	27	10	9	135
出口/总产值(%)	86	78	86	82	76	56	90	56	75

上述数据表明中国船舶工业已进入了国际船舶市场，并占有一定的份额，已成为我国机电产品出口的重要支柱。尽管如此，因我国船厂尚未摆脱劳动力密集状态，生产效率和管理技术水平方面与世界级船厂尚有一定的差距。

如今人类社会已进入知识经济时代，知识经济的支柱是高技术产业，它们主要由信息、生命、海洋、空间、新材料、新能源等科学技术所构成。钢铁工业、造船业和汽车制造业曾经是工业经济的主要支柱产业。作为典型的传统工业——造船，进入知识经济时代后也必定会继续存在，问题是存在的形式和内容将发生巨大的变化。知识经济时代的船舶产品和造船业的生产模式将注入许多高新技术。当前，作为交通工具的国际汽车工业、航空工业和轨道交通工业对应的制造业，已经引进了许多柔性、智能和信息方面的科学成果，正在创建全新的生产模式。

船舶工业具有产业先导性和整体相关性等特点。英国、荷兰、日本、韩国、挪威、瑞典、西班牙、美国等曾把造船作为优先发展产业，以带动整个国民经济的发展。因为船舶工业的发展必然对钢铁、机械、化工、电子等工业部门提出比陆用产品更高的技术要求。船舶工业又为水运交通、农业、渔业、海洋开发、对外贸易和海军建设提供所需的船舶，即复杂先进的大型机电装备。同时，作为船舶工业本身也只有注入高科技的成分，使产品升级，使生产模式升华，才可能获得生存和发展。

随着科技发展速度加快和经济全球化进程加速，世界将形成以信息、技术和管理的计算机集成为特征，以社会生产要素与世界船舶市场需求相结合的虚拟造船系统。以人为核心，以计算机为中介的人—机—体的智能制造模式将替代现有造船模式，未来的造船模式将充分体现柔性、智能、敏捷、艺术化和全球化。

## 第二节 造船技术的发展

### 一、世界造船技术的发展

传统的造船业面孔是“脏、乱、差”典型的劳动力密集型产业，一家大型船厂可拥有数万职工，年产数万吨船舶。目前先进的世界级现代化船厂，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先进的制造技术。20世纪50年代以前，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“区域”导向，使原来集中在船台和码头的装配、舾装、涂装作业能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，使原来的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，同时职工人数大幅度减少。80年代以来，电子计算机技术在造船CAD和CAM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的日臻完善，从而使得造船的社会技术的“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(IHOP)和CIMS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。

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”。此演变过程是技术与经济紧密结合的过程，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模式。其发展如同整个制造业一样，都是以“技术为中心”发展的。21世纪的造船模式将是敏捷制造模式，该模式的核心是“以人为中心”的智能化技术。

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变如表1-2所示。

表 1-2 造船模式的演变过程

发展阶段	传统船舶工业		现代船舶工业		未来船舶工业
生产模式	整体制造模式	分段制造模式	分道制造模式	集成制造模式	敏捷制造模式
特征技术	铆接技术	焊接技术	成组技术	信息技术	智能技术
工程状态	船体散装 码头舾装 全船涂装	分段建造 先行舾装 预先涂装	分道建造 区域舾装 区域涂装	船体建造 舾装和涂 装一体化	动态(虚拟)组合 建造过程仿真 全面模块化

续表

发展阶段	传统船舶工业		现代船舶工业		未来船舶工业
管理特性	以“系统”导向分解船舶工程 按“库存量”控制生产过程	以“系统/区域”导向分解船舶工程 按“系统”和“区域”的“库存量”控制生产过程	“中间产品”导向的分散专业化生产 按“区域/类型/阶段”的“库存量”控制生产过程	“中间产品”导向的分散专业化生产 按“区域/类型/阶段”的“流通量”控制生产过程	模块导向的分形生产组合的动态耦合 造船和船舶运营全过程的瞬态监控
船厂类型	劳动力密集 大型厂员工数万	劳动力密集 大型厂员工1万左右	设备密集 大型厂员工1千左右	信息密集 大型厂员工1千以下	知识密集 大型厂员工几百或1百左右
关键技术	人工放样技术 切割、成形、装配技术 管子加工技术 铸、锻、热处理和机加工技术 机电设备和系统的安装调试技术		造船 CAD/CAM 和 CIM 技术, NC 切割技术 型材、管件和分段的机械化制造技术 物资含“中间产品”采办和托盘集配技术 造船精度控制技术 编码和区域造船技术		船舶产品模型数据交换标准 船舶产品和制造过程一体化数据环境技术 分布式集成的虚拟制造技术 全方位的建模和仿真技术 并行工程和快速样件技术
船厂结构	全能型船厂, 能制造船体、船舶机械、各类舾装件 以学科专业组建技术和职能部门 按工种专业化组建生产车间和工段; 由监造师组织生产, 负责造船进度		总装型船厂具有船体制造、管件制造、涂装功能 “以中间产品”专业化生产为导向, 组建科室和车间 计算机辅助实时控制, 取消监造师		灵捷型船厂具有组装和调试能力 以军民船舶共用模块为基础, 组建科室和车间 计算机辅助共用数据库实时控制
厂际关系	由原材料、设备和器件生产厂向船厂提供物资		由原材料、设备、器件、舾装件、铸锻件、机械加工工厂向船厂供货, 甚至船舶涂装作业也组建专业公司, 为多家船厂服务		由原材料、设备、器件生产厂向模块生产厂提供物资 由共用模块生产厂向各家船厂供应各类船舶的各型模块

续表

发展阶段	传统船舶工业	现代船舶工业	未来船舶工业
生产组织和人员素质	单一工种生产班组和工段 单一专业的设计和工艺科  单一工种的生产工人 单一专业的科技人员	定场地、设备、人员和指标， 制造某“中间产品”的多工种的 生产单元 按区域的多专业的科室 复合工种的生产工人 多学科的科技人员	快速组合的生产 班组，擅长安装和调 试各类模块 高素质的生产工 人、科技人员，能持 续改进工作，并适应 灵活的动态组合
典型装备	由小型吊车为几座船台的 装配作业服务 实尺放样台 通用的剪切和压力加工设 备 通用的气割和小型焊接设 备 通用的机加工和铸锻设备	由大型起重设备辅助大型 船坞内的船体分段合拢和舾 装作业 计算机辅助数学放样替代 了放样台 钢材预处理流水线和按类 别相异的专用 NC 切割设备 型材、管件和平面分段加 工、装配、焊接流水线 涂装房和机器人 全厂的一体化的计算机集 成系统 IHOP 的综合车间	全厂、全国甚至全 球的计算机信息联 网基础设施 无纸化的、全数字 化的、高度自动化的 生产设备 具有预防功能的， 生产过程智能化的 实时监控和控制设 备 温度和空气新鲜 度可调的，防污染的 船坞和厂房

从表 1-2 所述造船模式演变过程可以看到，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投资相互有机结合所产生的综合效应。

## 二、我国造船工业的进步历程

在 20 世纪 50 年代我国仅能生产 5000 吨级以下的客货船和拖轮。自 1955 年起引进了前苏联的舰船的设计和建造技术，使我国原先以铆接技术为主导的“整体制造模式”稳步地发展为以焊接技术促导的“分段制造模式”。同时按照前苏联船舶工业模式建立了我国船舶工业的科研、设计、生产和教学体系，为我国船舶工业以后的发展奠定了基础。至 60 年代，我国自行设计和建造了小型舰船以及 15 000 吨级的货船。到 70 年代随着船舶大型化，受国际造船业蓬勃发展的影响，我国致力于封闭型的单项技术的研究，并能设计制造大型舰船、25000 吨级货船到 50000 吨级油轮等。

进入 20 世纪 80 年代，我国以外贸形式建造出口船舶。为使所建造的船舶符合国际规范的要求，与日本和欧洲的同行进行联合设计，骨干船厂与日本同行签署了技术合作协议，我国派遣了大批科技和管理人员赴日本船厂考察学习。

广州广船国际股份有限公司率先在我国研究并实施现代造船模式。1984 年广船与日本石川岛播磨重工业株式会社 (IHI) 签订了技术合作协议，日方派遣了 15 批共 40 位专家到

该厂进行技术指导，我方派出 15 批共 112 人赴 IHI 船厂研修。1985 年实施设计体制改革，1986 年完成生产管理体制改革，全面引进了日本的造船模式，包括组织体制、编码系统、区域舾装技术和托盘管理等。广船国际股份有限公司从事造船的职工由 6000 人减少到 2200 人，船舶产量由年建造万吨货船 1~2 艘提高到 8~9 艘，取得了显著的成效。

大连船舶工业公司通过对造船行业国际市场竞争状况分析，提出把市场压力转化为企业不断优化造船方法的动力，采取深化企业改革、转换经营机制等措施，促进了造船模式的发展。

根据成组技术的基本原理，建立现代造船模式的关键是实施中间产品专业化生产，为此，船舶总公司的科研设计院所与企业相结合，分别对管子加工、船体加工、船体装配和舾装件制造车间的现代化生产模式进行了探讨和研究。广船国际股份有限公司的管子加工车间成为 CSSC 实施现代化造船模式的典范。它能按质、按量、适时地向舾装提供管件托盘，从根本上解决了管子加工是造船短线的问题。该公司的船舶管系设计、制造和管理技术达到了国际水平，管件加工实现了自动化。

### 三、我国造船技术水平的评析

为了全面认识我国造船业整体技术水平(包括设计、制造和管理等方面的技术)采用国际通用的方法进行评析。该方法自 20 世纪 70 年代由英国 Appledore 国际公司开发和成功使用后,20 多年来得到了不断完善和世界公认,曾用于英国、美国、日本、加拿大、法国、丹麦、瑞典、德国、埃及和我国的众多船厂。该方法把整个造船过程分解为 7 个大类含 68 个要素 对每个要素标定 5 个等级。这样,就能用 340 个标准状态来测定每家船厂的技术水平,使厂际和international的造船技术水平既能从 68 个方面进行具体地对比,又能分类或整体进行综合对照。

7 大类包括从船体零件和舾装件制造,到试航交船的建造全过程的设计、编码、计划、控制、精度、效率及计算机应用等。5 个等级水平大致上反映了 20 世纪 50 年代到 90 年代的各个年代的先进造船水平。

在 1983 年,CSSC 科技人员采用上述方法,对我国 10 个大型船厂和国外 29 个船厂的造船技术水平进行了评估。我国的综合水平为 1.76 级,国外先进船厂的综合水平为 2.87 级,差距为 1.11 级 大致为 11 年。

近期 评估了我国 8 个船厂和 5 个日本船厂。我国的综合水平为 3.09 级,比 1983 年的水平提高了 1.33 级。日本的综合水平为 4.64 级 比我国水平高 1.55 级 差距为 15 年左右。与 1983 年测评相比,我国造船技术综合水平与国际先进水平的差距扩大了 4 年。

本次研究表明,我国在船舶生产组织和生产过程控制方面与国际先进水平的差距最大,为 1.78 级。其中,对各项工程完成状态和生产效率控制方面的差距是 2.1 级 即相差 20 年以上。具体地讲 我国在下列 4 个方面与国际先进水平差距甚大:

① 全面使用计算机辅助统计、控制和分析造船过程的工时消耗、生产成本和生产进度,能随时掌握实际状况,并提出分析结果,使生产处于实时可控状态;

按成组技术的“中间产品”专业化生产设置车间和班组,采用复合工种,按“中间产品”管理生产 明确班组生产人员的职责 并发挥其创新精神;

根据“中间产品”的标准生产日程,由计算机编制详实的模拟进度计划,在船舶合同

签署的同时，就能协调各方面的工作，并编制出切合实际的节点计划；

通过设置主流程和辅助流程，由计算机监控所有工位的输入、输出和生产过程，实现均衡的分道生产。

### 第三节 国外先进造船技术

#### 一、先进造船技术

具有舰船军用及先导行业特色的船舶工业，工业发达国家在投资及技术水平上一直保持着领先地位。

##### 1. 日本的领先成果

1997 年日本吴 (Kure) 船厂建成的分段制造车间由众多的高技术设备和控制系统组成，能全自动地制造包括超大型油轮 (VLCC) 的各型船舶分段。该厂在 1996 年建成了遍及全厂生产现场的计算机辅助精益生产日程计划系统 (Kure Lean Scheduling System)。该系统符合 AMT 理论，能即时地按照造船现场的实际状态编制、控制和调整造船的全过程的大、中、小日程计划。三菱重工业公司的船舶事业本部、长崎造船研究所和香烧船厂通过 10 年努力，于 1997 年应用了公司本部、研究试验部门和船舶建造工厂三位一体的 CIMS 系统。该计算机辅助系统包括：造船合同谈判，初期计划，船型试验，基本设计，详细设计，生产设计 施工要领 加工、装配自动化造船设备操作 全船合拢、舾装、下水 系泊试验 试航 物资管理和生产管理。

##### 2. 美国的创新研究

美国阿冯达尔 (Avondale) 船厂为适应军民船舶生产的需要进行全面的现代化，建设了船舶模块工厂 (Ship Module Factory) 面积为 3.0 万  $m^2$  设置了多单元的加工、装配和舾装生产线。美国正在执行船舶设计、建造和运行支持共有基础的研究和开发计划，通过实行全面的统一的“模块化”、“标准化”和“过程简化”途径，从根本上改变现有船舶生产模式。通过建立一体化的模块工厂，向各家船厂提供模块，船舶设备厂不必直接向船厂供货而直接供应船体模块。该计划的最终目标是使这种以模块化为核心的共有基础，适应所有的船舶 (Whole Ship) 而成为 21 世纪占主导地位的生产模式。为实现虚拟造船，美国开发了造船过程的仿真计算机系统，它把船厂所有的设施和人力资源模块化，把船舶建造任务的需求也模块化，通过对建造过程模拟，即能确定建造成本、工时和日程，从而能迅速地编制和调整计划，同时晓知其造成的影响。美国还在致力于新一代的双壳体船的设计和制造技术的并行开发：以标准化的零件建造 4~34 万吨级船舶除舾装外的全部船体结构；采用单道焊，即焊机行驶一次完成三块厚板的对接；采用长效涂层，其寿命超过船龄。他们以全新的概念，在更高层次上进行研究开发，用简化的方式实现高度自动化的船舶生产。

##### 3. 欧、亚、美均致力于灵捷造船模式的开发

(1) 美国为创建 21 世纪虚拟企业，研究先进的灵捷制造模式，正在开发研究：

① 一体化的产品和制造过程数据环境：使分散在全国各地的企业能即时地相互合作，形成虚拟企业，以有竞争力的报价快速回签用户；

② 全美造船信息基础设施：一个船厂范围的电子信息网络，通过细化操作达到降低船舶造价和缩短建造周期的目的；

使用 ISO—STEP 标准：进行船舶产品模型数据的交换；

数字化的产品模型技术：使供应商能向船厂提供电子形式产品数据，加快设计速度；

一体化的船舶信息技术系统：使船厂和船东能连续监视船舶的运营性能。

(2) 欧共体的“海事虚拟企业联络工程”也已启动，在开展类同美国的研究开发。

一体化的船舶产品、制造和管理数据：能迅捷地在通信基础设计上实现船用设备和装置的自动化订货、交货、票证开发和款项支付；

从投标、概念设计、计划评估、稳性与装载分析 直至施工设计、营运和维修的船舶全寿期的船体数据管理、监视和传输系统。

(3) 日本造船协会正在建立虚拟造船企业 为全日本的船厂共用 向他们提供设计、生产和物资采办。在一个公共信息交换数据库的网络上，紧密地联系船厂和供应商。

## 二、工业发达国家造船技术的发展

### 1. 美国

由美国麻省理工学院 16 位教授组成的“工业生产率委员会”于 1989 年发表研究报告《美国制造业的衰退及对策——夺回生产优势》。该报告产生了巨大的影响：重振了美国的制造业，导致 1995 年美国取代日本再次成为世界上最具竞争力的国家。该报告称：“美国工业的衰退已经威胁到美国的未来，因为政治权力和军事实力最终都取决于经济活力，而经济活力的决定性指标则是生产率的增长速度。”

美国全国造船研究组织 (ONSRP-Organization of the National Shipbuilding Research Program) 由政府、海军和企业联合投资 分 10 个专业组对造船模式进行研究。从 20 世纪 70 年代起，至今已经完成研究报告 400 多份。目前该研究组织全部归属美国海军管辖，整项工作分为 3 个层次 即管理层、实施层和研究层 如图 1-1 所示。为使每项研究确能实施，所有研究项目都由美国海军与主导船厂 (Lead yard 签订合同。10 个专业研究组是：舾装和生产、设计制造一体化、标准、表面处理和涂装、焊接、柔性自动化生产、设施和环境、人力资源创新、工业工程、教育和培训。

美国造船界开展了提高船舶生产率的研究，通过对日本船厂的考察，认为日本石川岛重工业公司 (IHI) 具有较高的船舶生产率，因而决定与 IHI 公司合作，以阿冯达尔 (Avondal) 船厂和国营钢铁公司船厂等为主导船厂与日方合作开展了“先进的造船体制和技术”(AS-SAT—Advanced Shipbuilding Systems And Technology) 研究。该项研究以成组技术 (GT-Group Technology) 理论为指导，通过对造船的人力、信息和工作的合理组织，而实现生产的现代化。研究的主要内容为：

总体计划建造策略、质量控制循环活动、造船标准纲要、建造合同技术谈判、船厂的组织和管理人员培训以及安全卫生等。

造船工程分解“中间产品”导向的工程分解结构包括船体分道建造、区域舾装、区域涂装和管件族制造。

设计、计划和技术 壳舾涂一体化生产过程的计划和管理、区域舾装设计和管理、中间产品导向的物资采办、区域涂装设计和计划、管件族制造的设计和计划、生产过程分析与精

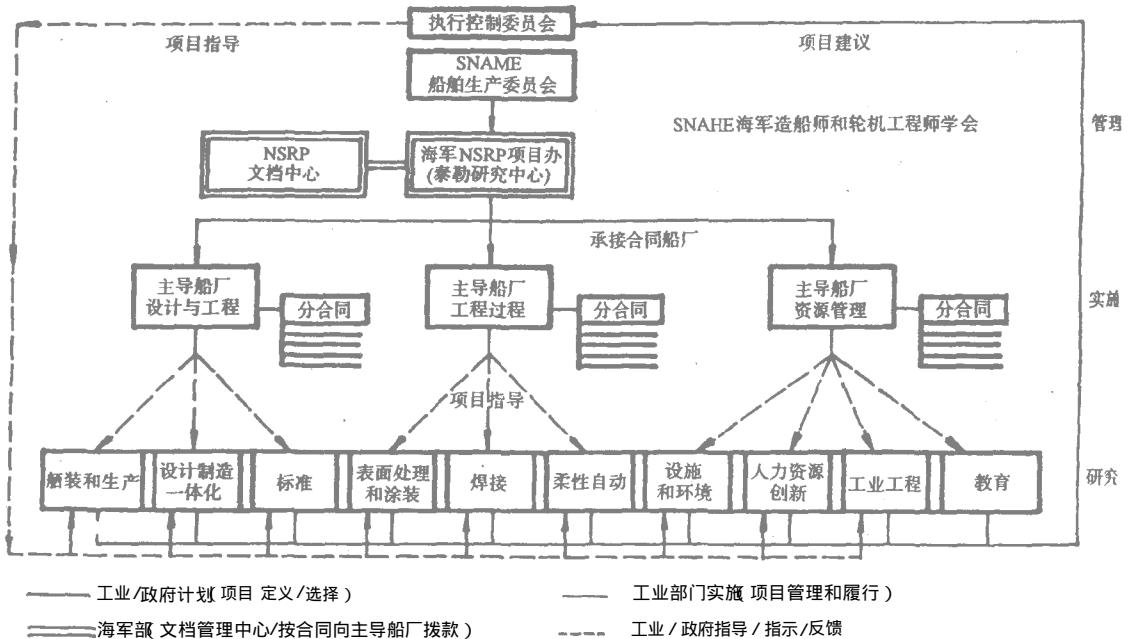


图 1-1 美国全国造船研究组织和运行图

度控制和加热技术等。

ASSAT 的研究，实质上就是现代造船理论和模式的研究，因为现代造船模式就是当代先进的造船体制 Systems 和造船技术 Technology 的总称。

#### (1) 美国的造船工业

美国船舶工业以军舰建造为主，全国有 400 多家船厂，而其中 6 大船厂承担了海军 80% 舰艇的建造任务，拥有全国造船职工总数的 90%。这 6 家大型船厂是纽波特纽斯、通用、利顿、巴什、阿冯达尔和国家钢铁等造船公司。

美国船厂为美国海军建造了世界上最先进的舰艇，有核动力潜艇 101 艘、核动力航空母舰 6 艘、核动力巡洋舰 7 艘、常规动力的航母、巡洋舰、驱逐舰共 64 艘。

纽波特纽斯 Newport News 造船厂是美国最大的船厂，有 110 年历史，该厂自称是“全球最先进的造船企业”。该厂制造世界最先进的船舶产品：核动力船舶 70 余艘（含航母和潜艇）、核反应堆装置 150 多座，以及双壳体成品油船、远洋豪华客轮等。

该厂拥有 12 座船坞，最大的船坞长 662 m，备有横跨船坞和平台的 900 t 龙门吊。环形模块车间 8 天能制造一个大型的总段模块。船体结构装焊车间面积 44 540 m<sup>2</sup>，设有全天候的自动生产设施。船体加工车间有切割和成形设备 50 多台，可加工厚度 3~150 mm、长度达 18 m 的钢板。模块舾装车间 11 150 m<sup>2</sup>，备有自动输送和液压定位设施，可全天候作业。铸造车间面积 2091 m<sup>2</sup>，最大铸件重达 65 900 kg。机械加工车间面积 27 890 m<sup>2</sup>，有 150 台机床，用以制造大型螺旋桨等各种船用设备。此外，还有噪声、震动、电气、机械等实验室和技术学校等。

该厂有研究、开发、设计、建造、修理和改装等完备的设施和能力。该厂自行开发三维计算机模拟系统，能模拟造船的每个方面的工作，使实际作业达到完全正确。三维立体模型包

括动力、推进、船体设计、噪音等。

为在 21 世纪继续领先于全球，该厂的创新 (Innovation) 中心在下述 10 个领域进行研究开发：

作战观念：设计和建造中确保航空母舰的战斗效能、飞行甲板的出击率和联合作战部队的需要；

系统工程：为实现整艘船舶按一体化的系统工程原理进行制造，研究“策略—任务—技术”；

全寿期成本：为确保准确的建造和维持成本之最有价值，而研究构成成本的所有方面；

自动化：通过自动化手段，在提高人的效能和安全的同时，降低舰船全寿期的成本，并实现舰队现代化；

战斗装置：为未来军舰的需要开发船舶和飞机的一体化装置的新技术；

⑥ 战斗信息：为保证广泛而完整的联合作战需要，研究船舶的插入信息 (inserts information) 技术；

⑦ 飞机启降装置：为未来舰船的飞机起飞和降落装置的设计和制造开发新的技术；

⑧ 动力装置：使用最新创造的核和非核的船舶动力装置技术；

⑨ 审批认可：研究集中认可审批方法，以减少上层建筑、船底龙骨和甲板室的设计工作；

⑩ 商业化：连续监测本企业的市场位置，以达到生产最佳的商品，具有最佳的销售业绩和最好的建造技术。

纽波特纽斯船厂执行美国全国造船研究计划，从 20 世纪 70 年代以来，研究开发并提出了 20 多份有价值的研究报告，主要内容涉及：设计制造一体化，船舶生产率，船舶工业先进技术和实施示范，船厂计算机辅助生产过程设计，区域导向的管理，船舶工业的激励机制，机器人，高强度钢大能量焊接，大尺寸厚度铸件电渣焊和先进的管子加工技术等。

纽波特纽斯是世界级的大型船厂，拥有 18 000 名职工，实行三班制生产。从该厂的产品、装备和科研的实际情况来看，与单纯建造民用船舶的世界级船厂有很大的区别，主要表现在以舰船战斗性能为最高目标，船厂具备强大的铸造和机械制造能力，同时也具有降低成本的意识。

## (2) 舰船的模块化设计建造

模块是标准化的整装单元。美国海军决策研究发展“可变有效载荷舰”(VPS) 是最具代表性的实例之一。它把传统的军舰分为船体和作战两大系统。VPS 的舰船能为模块化作战系统提供标准接口，并且使舰船作战系统能随需要而易于更换和改装。

VPS 的船体具有必要的强度、稳性、动力、载容量、电站、辅助机械、补给能力、适航性等，可装载可替换的作战系统。这样，VPS 就成为标准化的舰船，能高效地批量建造，而在作战系统选择方面又具有较大的灵活性。

VPS 的船体与舰上作战系统分别独立设计、建造、试验和采购。同时，作战系统作业有效载荷模块的制造和试验能在专用和岸基设施上进行，从而缩短了研制周期。

VPS 概念适合于 1500~30000 t 的巡洋舰、驱逐舰和护卫舰。它对海军最大的益处是：在最初军舰建造和服务后的现代化改装期间，便于获得最新式、最恰当的作战系统。研究设

计能适应预测 30 年寿命期科技发展的作战系统的模块及其接口,满足水面舰船 4 个主要使命——防空、反潜、对岸攻击、舰舰对抗。战斗系统中还配置了相应的导弹发射装置和水下抗干扰设备等。

VPS 的船体作为作战系统的平台,协调各种“模块”,能适应性能不同的模块快速装卸。DD963 驱逐舰采用 VPS 概念使得研制周期缩短了一年多,造船成本降低 10% 每艘舰节省 100 万美元。

### (3) 海狼级潜艇的模块化设计建造例)

美国纽波特纽斯船厂运用成组技术理论创建的现代造船技术,改革传统按照功能系统进行设计和制造的方法以“区域”即“中间产品”为导向运用模块化的方法设计和建造海狼级潜艇。

以模块化建造技术进行设计,不仅要考虑系统功能需要,更重要的是要考虑建造的需要。首先,根据结构和建造的逻辑顺序,把整艘潜艇划为 9 个分段,每个分段由零件、部件、组件和次模块构成,它们被称为中间产品。所谓“模块”是零件、部件、组件及次模块的组合形成的大型的船舶内部区段,如完整配备了局部区域系统和设备的双层甲板单元。而“次模块”是零件、部件及组件组合成的单一实体,如带有管道、附件和基座的液舱。

采用计算机辅助共用数据库的 100% 交互的三维实体模型,进行海狼级潜艇的设计和建造。由于该项技术的采用,造潜艇不再需要昂贵的全尺度实物模型。许多在建造时才能发现的问题,如碰撞、振动和通道的可用性等,都能快速和方便地用计算机模拟解决。

从研究、设计、建造、试验、鉴定直到海军使用维修、后勤保障等一系列费用的总和称为舰船全寿期费用。海狼级潜艇与 SSN637 级潜艇对比:海狼级潜艇研究、设计、建造费用占全寿期费用的 40% 维修操作和支持费用为 60%;SSN637 级潜艇订购费占全寿期总费用的 25% 服役期费用占 75%。模块化技术显著地降低了潜艇的维护运行费用和总费用。

### (4) 基础技术和支持系统的研究开发

苏联解体、冷战的结束和全球性经济竞争的加剧,导致美国国防预算的下降及舰队规模的减小。为了使有限的军费发挥最大的效用,长期而稳定地保持美国海军装备的稳定发展以及船舶建造的军民结合,从 1992 年起,开始执行船舶设计、建造和运行共有基础的研究开发称为 ATC(Afford-ability Through Commonality)计划。

所谓的共有基础(Commonality),主要是指船舶设计、建造和维修航行支持依靠统一的“模块化”、“标准化”和“过程简化”来实现,这将使造船模式发生新的变化。目前,由设备生产厂向各船厂提供不同类型的设备,当 ATC 计划实现后,将由一体化的模块工厂向各船厂提供统一标准的一体化模块。

为了全面改进舰船产品及其生产过程,该计划对舰船的推进系统、电气系统、辅助系统,反渗透模块(淡水装置)区域/模块化的暖气、通风和空调系统、操舵装置、标准监测和控制系统,战斗系统安装和一体化,成本预测,开展了以模块导向的大规模应用先进技术的研究开发。

以一体化动力装置 IPS(Integrated Power Systems)为例。该装置的开发是在研究了适应各类战舰、两栖舰和军辅船 IPS 装置的基础上进行的。开发的 IPS 是一个统一电力发动机和管理系统,适用于海军的所有水面战舰和非战斗船舶,应用了永磁材料和固态电子学的先进技术,IPS 采用了永磁发动机,直流区域配电,在具有标准监测和控制装置(SMCCS)的

操作系统运行。

为了加快获得舰船及武器系统所需电子及机械备件，提高资源利用率和降低生产成本，美国执行了快速获得制造备件的 AMP 计划。目前，已完成研究开发的小型机械零件加工系统，其制造环节无需图纸而采用电子数据交换，每年能处理 15 000 个机械零件的加工订单。

美国海军马岛造船厂设置了一套加工核潜艇零件的车削/铣削单元，使海军不需要储备潜艇零件能在 15~30 min 内生产出所需的备件。

此外，美国海军还建成了潜艇关键紧固件柔性制造单元，印刷电路装配制造系统和快速制造市场难以采购的备件的生产系统。上述都是应用先进制造技术的快速反应系统，并曾经为实战的“沙漠风暴行动”快速提供战场所需零部件。

为降低武器装备成本和削减国防预算的条件下更好地提高武器装备供给，1985 年美国国防部制订了“计算机辅助后勤支持”（CALS—Computer-aided Acquisition and Logistic Support）计划。该项计划是由国防部和工业界联合研究，把计算机集成制造（CMT 技术扩展到产品支持领域，以提高生产率。CALS 计划的中心任务是生存、存取、维护和传播与武器系统有关的技术资料，包括工程图、技术手册、后勤支援分析数据等。其第一阶段（1995 年前）的重点是利用现有技术实现自动的技术资料集成，第二阶段（1995 年后）利用高度发展的技术标准实现集成系统。CALS 计划大大促进了军工承包商将现有的技术文件由周密型生产方式转变为自动化和集成化的生产方式，从而获得制造行业的新的竞争能力。

美国海军为实施 CALS 计划的主要项目有工程数据管理信息和控制。它是以电子方式产生的提供武器系统操作、安装和维护的技术信息、生产管理和技术数据，用数据形式传递各种信息，以便能快速获取制造的零件等。

#### （5）超前设计和制造技术的开发

在成组技术、精良生产、并行工程和敏捷制造等先进制造技术理论指导下，美国联合世界上权威的船舶设计、科研、检验、教学和生产单位以虚拟企业的形式开发了新一代的舰船设计和制造技术。未来的舰船先进生产模式至少应该包括“人员”、“环境”和“产品”三个方面的高水准。

全员的高素质：为达到企业生产安全和高效，应该快速测评全体员工的心理和生理状态。此项测评由一套计算机系统完成，它能把每个人的实际正常能力作为标准，测定是否适合进入其工作岗位。此项技术已在美国个别船厂应用，并取得实效。

② 精良的作业环境：传统造船业环境十分恶劣，制约了工作的开展。新的方法是把整个舰体都密封起来，使其与环境相隔离，操作人员在一个温度、湿度和空气新鲜度均可调控的密闭环境中作业；同时，它使用可快速搭拆、与船体贴近、可方便地提供能源的金属脚手架。这样使船舶的建造工期得到有效的控制，生产效率得到提高，环境得到保护，并大大增强了船厂竞争力。

在更高层次上生产适应船东、船厂的绿色产品：从船舶市场预测看，双壳体船可能成为 21 世纪舰船的主要结构形式。传统的船舶设计和制造技术是根据单体结构发展形成的，用传统的设计方法和制造技术来设计、制造双壳体船舶将会增大设计和制造的难度及工作量，提高船舶成本。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

种形状和尺寸的标准化部件；三块厚度在 20 mm 左右的钢板的焊接缝，焊接装置只需行走一次便完成全部焊接作业；通过自动浸涂方式使船壳油漆涂层达 3 mm 该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；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 只要一台钢板弧度成型压力机即可 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、触礁产生的能量的能力，可更好地防止海损事故。这一全新的船舶设计和制造技术研究开发工作已经完成，该类船舶正在新建。一旦这种船舶问世，将会对美国造船业产生巨大的冲击。

## 2. 日本

日本 7 大造船公司属于 6 大企业集团，每个造船公司都是跨行业多种经营，包括商业、矿业、建筑、食品、化工、石油、钢铁、汽车、电车、橡胶、机械、铁道、储运和有色金属等 造船和海洋工程业务比重是其他业务的 20% 左右。它们在一个大银行支持下，在金融上相互支援，具有强大的竞争实力，能保持对市场快速反应和稳定地占有相应市场份额。日本的 6 个企业集团是三井、三菱、住友、芙蓉、三和和第一劝业银行 这 6 大企业集团之间在国内进行适度竞争的同时与北美和西欧展开激烈竞争。日本的 7 大造船公司是三菱、石川岛播磨、日立、三井、川崎、日本钢管和住友 它们拥有 20 多家船厂，占全国 630 家船厂总数的 3.5%，而造船能力和产量占全国的 50% 以上。

### (1) 在船舶工业中成功应用成组技术

日本造船专家认为，为了不断提高生产率和产品质量，船厂的生产车间必须具有根据成组技术原理组织生产和运用统计学方法管理生产的能力，应用成组技术在虚拟的生产流水线上制造多品种、变批量的产品。成组技术已渗入日本船舶工业，在提高生产率方面起到了重大作用。

船舶是船厂的最终产品，用工业工程方法把它分解为零件和部件（部件、分段、总段、舾装单元）以及特定的任务（如涂装、调试、试航）并称之为“中间产品”。把所有“中间产品”委托给厂内专业的高效的生产组织制造。这种先进的造船方法称为“中间产品”导向型方法，各个生产组织都按专业化制造某特定的“中间产品”按“中间产品”调集人员、物资和信息，造船就基本上成为一个装配过程。因此，造船的某项任务一定是由预先固定的某些人，在某特定场地用某特定设备完成。“中间产品”的确立依据是“船上区域/作业类型/施工阶段”，它使船上的区域与工厂的区域和生产组织得以互相对应。

同时，船厂总的管理部门由传统的一级分为两级，即在厂部和各生产处室之间增加了“生产管理部”。这种组织体制使厂长（工场长）不必过问日常的经营和生产活动，有更多时间和精力去策划船厂的长期计划和进行业绩评估，以使船厂发展壮大。

美国政府和海军发表的研究报告称，“从 20 世纪 50 年代起，日本已将成组技术应用于造船，使成组技术适应了本国国情，并使成组技术的潜力得到了最充分的挖掘，这从日本船厂的加工、装配和安装作业中得到证实”。

### (2) 现代化的造船企业

日本一直在致力于全自动的无人化工厂的研究和开发，这就意味着广泛使用各种类型的机器人。三菱重工长崎研究所成功地开发了智能型自动焊接装备，这种焊接装备能适应

船体部件装配、分段装配和全船合拢的各种焊接作业。它是利用导电嘴与母材间的距离与有关距离比较来控制焊嘴高度同时根据导电嘴与母材间距离变化图形实现对焊缝跟踪的控制。机器人具有重复和记忆 15 道焊缝动作的能力。该先进焊接装置已在船体立体分段的对接接头上应用。

日本钢管公司津船厂于 1995 年使用了控制多台焊接设备的机器人,利用高速旋转电弧焊接工艺和多功能传感器能自动检测焊缝形状、部件端部和焊接头具有高效、高质量、高燃弧率的特点。该设备适用于多品种、少批量的船体部件流水线生产。

传统的造船业被认为是肮脏、困难、危险的行业。在建立现代造船模式中,日本船厂不但体现了现代模式的基本特征(流通控制、复合工种、分道流程、壳舾涂一体化)和根本标志(高新技术产品、高生产率、高经济效益)而且消除了造船厂原有的环境脏乱、作业困难、操作危险的形象。新的造船方法,采用大量的专用装备替代人的体力劳动,作业场地和作业内容的固定可使大量设备的风、水、电管道设置在地下或空中。“中间产品”的合理界定使得高空作业地上做,朝天作业俯位做,水上作业陆地做,外场作业内场做,狭小空间作业敞开做,从而免除了作业的困难和危险,使船厂具有整洁的环境。造船企业使用具有方便与安全特点的机器人,使得自动化装备的应用不断扩大,甚至使得许多妇女承担了日本船厂的现场作业。

### 3. 西班牙

西班牙也是造船大国,能建造航空母舰、潜艇和超大型油轮等高技术产品。早在 20 世纪 70 年代,该国的个别船厂就开始引进日本的造船技术,使船厂的生产率获得提高。1990 年初从美国引进了“造船成组技术”理论举办了由公司最高领导、工厂的厂长、处室、车间主任参加的高级研修班改变了观念同年 4 月制定了《1990~1992 年全面进步计划》该计划的主要内容是按成组技术确定“中间产品”重建生产组织。

通过上述计划的实施,目前该国的造船技术已处于造船 CAD/CAM/CIM 的前沿。其船舶的基本设计、船体结构设计、舾装工程设计、全船和区域的综合布置设计、三维立体模型的共用数据库和各车间的生产信息等实现了计算机化,制造过程达到了标准化和模块化;自动化和半自动焊接技术几乎覆盖所有焊接作业;供应商能适时地向船厂提供合格的船用配套设备和器材。现在西班牙船厂都能根据本厂的造船设施,按成组技术理论组织以“中间产品”专业化为导向的生产体制,各家船厂之间的技术差距明显缩小。当前,西班牙正在致力于为地区间的公司联合开展工作,内容包括市场、技术、采购、生产和分包合同等。此外,该国还在筹划地中海沿海国家在造船方面的联合工作。

## 第四节 现代造船模式的基本特征

### 一、先进制造技术 (AMT)

“先进制造技术”(AMT—Advanced Manufacturing Technology)包括以下三个方面的技术:

主体技术:包括面向制造的设计技术和制造工艺技术,前者含产品、工艺过程和工厂设计、快速样件成型技术、并行工程等。后者含材料生产工艺、加工工艺、连接和装配、测试、

检验、包装、环保和维修等。

支持技术 包括信息技术、标准、设备、传感器和控制技术。

基础技术 包括管理、用户供应商交互作用、培训、教育、技术获取和利用等。

AMT 是促进科技经济发展的基础，AMT 的基本内容是制造体制、计算机辅助设计与制造 (CAD/CAPP/CAM)、工艺和装备、教育和培训、技术推广与扩展等。

AMT 还是硬件、软件、智力和支持网络 技术与社会 的综合与统一。因此在研究开发和应用中，应注意实施组织和管理体制的简化和合理化。

进入 20 世纪 80 年代，企业战略决策由传统的以“标准化”为核心转变为满足用户需要为核心 企业的一切生产活动以 T、Q、C、S 为目标，以赢得市场竞争：

T-Time to market 即商品以最短时间上市；

Q-Quality 即运用完整和可靠的质量保证体系，把最完美的产品送到用户手中；

C-Cost 指产品全寿期的费用最低，包括研究、设计、制造成本以及运行和维护费用；

S-Service 即最佳的售前和售后服务，包括不断改善产品性能的服务，即通过零部件、模块或版本的更新，使产品升值的服务，从而形成企业与用户间的长期依存关系。

21 世纪的主导生产模式以轮图表示，如图 1-2。

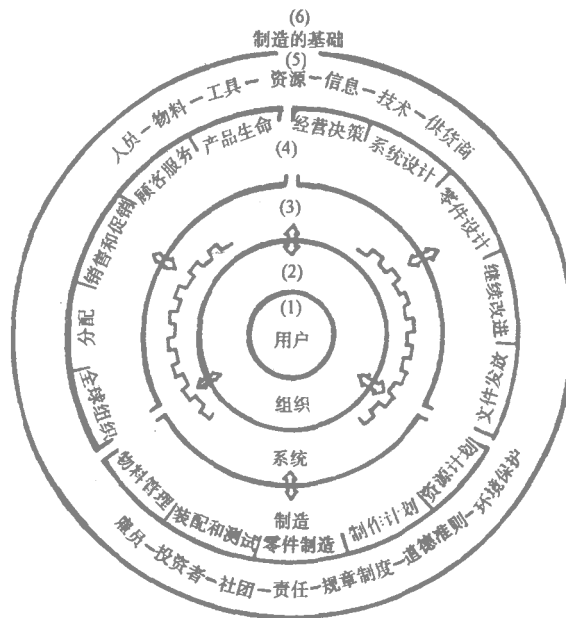


图 1-2 21 世纪的主导生产模式

轮图的核心是“用户”即企业的一切活动以用户为中心。

第二层指明“人”、“组织”和“协同工作”的重要性 为完成“用户”提出的任务目标 必须确保广泛的协调和合作。

第三层是企业内全体员工系统集成，即在一体化的氛围中实现知识共享。

第四层指出从“产品/工艺设计”、“产品制造”到“为用户服务”三大功能活动的 15 个关键过程都必须并行、交叉地进行。

第五层指明企业的资源为人员、物资、设备、信息、技术和供货商，还指出企业应对雇员、投资者、社团、公德、环境等承担责任。

轮图的最外层是市场、竞争对手和自然资源等，它是企业所需的外界环境，即制造的基础条件。

## 二、现代造船模式的基本特征

造船是一个复杂的工艺过程，涉及到多种专业技术，长期以来各专业工程无论在时间上还是空间上都是相互交叉覆盖，甚至相互影响。而现代造船模式要求把造船工艺过程分解为船体分道制造、区域舾装与区域涂装三大工艺流程，在设计和建造过程中对船舶舾装与涂装进行统筹安排。在优化设计和完善管理的前提下，通过以“中间产品”为导向，实现空间分道、时间有序、责任明确、相互协作，在低耗优质的原则下，快节奏地实现生产局部与整体同步。这就是现代化的壳舾涂一体化造船模式。

研究现代化的造船模式，在总体上要研究如何达到壳舾涂的一体化作业；在局部上，在各专业范畴则要深入研究区域设计和建造技术。

造船成组技术是以船舶的“中间产品”为导向的建造技术，替代传统的以工种专业化为导向的组组生产原则。建立“中间产品”专业化生产体系的关键是：船厂以成组的设备平面布置，即分道作业线，替代传统的机群式的平面布置；生产管理以短循环期的流通量控制替代长循环期的库存量控制，以优化的、即船体建造、舾装、涂装一体化的作业排序，替代生产调度概略式的作业排序。通过这些变革，使得以“分道生产”为特征的区域建造体制替代长期应用的以船舶（最终产品）为主线的工种建造体制。从而，使单艘和小批量生产能转而采用大批量生产的方法，达到近乎大批量生产的效率。研究和实践表明，在传统船厂向现代化船厂发展的过程中，只要应用成组技术原理和方法，建立能持续地自我完善的生产系统，随着信息的畅通和人员素质的不断改善，即使不搬动设备，即采用虚拟的成组工艺流程，也能使船厂生产效率获得较大幅度的提高。

现代生产模式就是成组技术的生产模式，它的四项基本特征是流通量控制管理、设备成组布置、短循环期和优化作业排序：

- 周期批量的流通控制（生产管理）；
- 车间设备成组布置（生产流程）；
- 作业采用 $\leq 2$ 星期的短循环生产周期（生产计划）；
- 优化的投产顺序计划（作业排序）。

此 4 项特征正好与传统生产模式的库存量控制、机群式布置、长循环生产周期、随机的投产顺序相对立。

对于造船来说，上述特征为：

- 由单一工种转化为混合和复合工种（生产组织）；
- ② 由库存量控制转化为流通量控制（生产管理）；
- 组建分道建造流程（生产空间）；
- 实现壳舾涂一体化作业排序（生产时间）。

并且将这 4 项基本特征作为缩短造船周期、建立现代造船模式的 4 项行动方针。

标志现代造船模式本质是其所制造的产品能充分满足用户需要，即制造先进船舶产品，

同时它的生产率和经济效益也应是先进的。

### 三、现代造船模式的形成与发展

1942 年,德国海军击沉盟国船舰速度快于盟国生产船舰的速度。然而,到了 1943 年,美国船厂的船舶生产速度超过了被击沉船舰的速度。取得这个巨大成功是由于美国造船业引进了 GT 的概念,按船舶区域和作业类型的相似性组织生产。与原来的造船方法比较,自由轮的建造速度加快了 1/3 建造成本降低了 1/4。当时美国造船从业人员 165 万,1941~1944 年建造自由轮 3 148 艘,保障了战时的制海权和海上对欧亚战场的物资运输。

现代造船模式以成组技术 GT 理论为指导。GT 提出的初期,是用于工业过程管理的十分有效的分类与编码方法,它对造船领域的卓越贡献,不只是用创新的方法使材料、零件、部件和模块等保持各自正确的工艺流程,更重要的是它做到了理解造船过程和怎样提高船舶工业的生产率。GT 为使多品种、变批量生产获取批量生产效益,对企业营运工作作出了合理的安排。GT 是一个全面控制概念,使制造业的经验全部纳入系统化和综合性,强调了企业各部分工作一体化的重要性,因此,它被学者称为工业领域的系统工程。

现代造船模式是一个完整生产体系 目标是贯彻以“中间产品”为导向的建造策略 其主要由如下 11 项技术组成:

(1) 质量控制循环活动:造船企业中的每个人都置身于各自业务的“计划—实施—校核—改进—再计划”的无限循环和提高之中。

(2) 船舶建造标准化:为达到有效的控制,实现一切与船舶生产有关的活动的全面标准化,包括产品设计、加工、装配、安装、检验和各项管理工作的标准化。

(3) 建造合同技术谈判:为避免船舶设计修改引起的生产混乱和成本增加,合同谈判须明确设计标准、建造标准、造船方法、质量指标、分段划分、精度控制焊缝和工艺通道等。

(4) 产品导向工程分解:按船上区域、作业类型和施工阶段的相似性,将全船逐级分解为各类“中间产品”直至市场采购的物资按“中间产品”的专业化生产组建整个生产系统。

(5) 船体分道建造技术:按船体零件、部件、分段和总段的工艺过程的相似性组建各类生产线,达到均衡生产和生产资源的高效使用。同时,采用建造精度控制、校正和成形技术,使船体零部件和分段达到规定尺寸,且节省工时。

(6) 区域舾装技术:在船舶产品设计前即制订建造策略,最大限度地舾装作业提前在施工条件较好的车间内完成,开展单元舾装和分段舾装,采用各类模块,严格按区域划清各个舾装阶段。建立计算机辅助的“物资采办系统”,确保舾装所需的物资准时抵达船厂;同时建立厂内的“托盘集配系统”把物资和“中间产品”准时送抵制造更高一级“中间产品”的现场。

(7) 区域涂装技术:在设计阶段就严格规定涂装的区域和阶段,即原材料涂装、部件涂装、分段涂装和船上涂装,使涂装成为贯穿所有制造级的作业过程,从而提高涂装质量,并消除不同作业的相互干扰。

(8) 管件族制造技术:把具有相似工艺过程的管子集聚为族,按“族”组织流水线生产,使下一个循环期所需的各族管件在本循环期完成,并以“托盘”形成集配,适时地提供给各个舾装现场。

(9) 壳舾涂一体化 在上述船体、舾装、涂装和管件加工等 4 项技术实施并完善的基础