

文章编号:1000-4696(2007)02-0144-06

# 三维 CAD 技术在船舶设计中的应用

苏文荣, 陈锦晨, 郑斌华

(沪东中华造船(集团)有限公司, 上海 200129)

**摘 要:**信息化是当今世界制造业发展的重要战略措施,而产品数字化设计是信息化的基础和源头。现详细分析了国内外三维 CAD 技术的发展现状,简述了自主知识产权的船舶三维设计系统开发的指导思想,介绍了自主开发的三维设计系统的主要功能和特点。该船舶三维设计系统开发和推广应用的成功,打破了国外三维设计系统在我国船舶设计上的垄断,为我国造船数字化工程的发展奠定了技术基础。

**关键词:** 信息化;船舶设计;三维 CAD;自主知识产权

**中图分类号:** U664.21 **文献标识码:** A

## Application of 3D CAD Technology in Ship Design

SU Wen-rong, CHEN Jin-chen, ZHENG Bin-hua

(Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co., Ltd., Shanghai 200129, China)

**Abstract:** Informationization is an important strategic measure for the world's manufacturing industry development at present and design digitalization of products is the basis and source of the informationization. The present state of 3D CAD technology development at home and abroad is analyzed in detail. The idea of developing Chinese 3D Ship design system with independent copyright is briefly described and its main functions and features is also introduced. The achievement of its development and application breaks the monopoly of foreign 3D ship design system in China and lays a technical basis of shipbuilding digitalization in China.

**Key words:** informationization; ship design; 3D CAD; independent copyright

## 1 概 述

### 1.1 国际水平、现状及发展趋势

信息化是当今世界制造业科技发展的主要趋势,制造业信息化技术集成了电子信息、自动控制、现代管理、先进制造等多项高新技术,能够同时调控物流、资金流、信息流和知识流,从而有效地提高劳动生产率,改善产品质量,降低生产成本,加快企业对市场的响应速度,大幅度增强企业的竞争力。目前各国都在加快推进制造业信息化,以保持自己在世界分工的有利位置。我国制造业也必须牢牢把握这个趋势,站在世界科技发展前沿,加快信息化建设进程,推动制造业发展。

信息化的基础和源头是产品数字化设计,同时,数字化的 CAD 技术是提高产品开发能力的重要手段。从 20 世纪 60 年代起,先进国家就开始利用计算机技术进行产品设计,经过 40 多年的发展,计算机辅助设计技术日渐成熟,已成为产品开发不可缺少的工具,成为适应当今产品多元化市场需求的重要手段。

目前 CAD 产品和服务提供商可以划分为 3 类<sup>[1]</sup>——整体解决方案提供商、专业软件提供商、CAD 组件开发商。最近 10 年,随着 CAD 产业的日渐成熟,CAD 厂商出现了两种相反的发展趋势,即大厂商向产品生

收稿日期:2007-07-31

作者简介:苏文荣(1945-),男,浙江象山人,教授级高级工程师,主要从事船舶计算机开发应用研究。

命周期集成方向发展,为客户提供大而全的整体解决方案,而中小厂商则向专业化分工方向发展、只专注于自己所擅长的专业产品开发。

对于前一种发展趋势,大厂商往往通过收购或者研发的方式快速地丰富自己的产品线,主要为大客户提供高端服务,并由此形成了国际上 CAD 产品几大谱系,如 IBM/Dassault/CATIA、PTC/CADDS5、EDS/Unigraphics、UGS/UG-II 等。对于后一种发展趋势,中小厂商可以分为两类:CAD 组件开发商和专业软件提供商。CAD 组件开发商只专业地开发一、二种 CAD 组件他们的客户是其他的 CAD 厂商。专业软件提供商专注于 CAD/CAM/CAE 专业软件的开发,他们的产品客户主要是中小企业,同时,他们的产品也可能被纳入到大厂商的整体解决方案中。

由于船舶工业是单品种少批量的项目型制造业。其涉及的专业面广、产品结构复杂、配套企业多、物流复杂。世界先进造船国家均将造船业列为“最适宜于信息技术应用的理想领域”。美国、日本、韩国、欧洲等先进造船国家在发展信息化建设中,首先是开发了造船 CAD/CAM 系统,其中在造船界应用较广的 CAD 系统有西班牙 Foran 系统、瑞典的 Triban 系统、荷兰的 NUPAS 系统等计算机辅助的船舶设计系统。

### 1.2 CAD 技术在我国船舶行业中的应用

我国船舶工业的计算机应用历史始于 60 年代中期,是我国制造业应用计算机起步最早的行业之一。

20 世纪 60 年代到 70 年代,一些船厂和研究所研究开发了一些以数字计算为主要内容的简单程序,并在设计建造中予以应用。一些院所和学校在应用小型计算机进行大型船舶性能和结构分析方面,作了大量工作。

80 年代到 90 年代初,我国船舶工业开始较广泛地应用计算机技术。这期间,购买了一批国外的中型计算机,在国家有关部门支持下,由原中国船舶工业总公司(CSSC)统一组织实施了软件的开发。开发研制了以计算机辅助造船为主要内容的 CASIS(I、II、III),以计算机辅助柴油机设计为主要内容的 CADIS,以海洋工程研究设计为主要内容的 CAMIS 等,进一步提高了我国船舶工业 CAD/CAM 的认识和实践水平。

从 90 年代开始,仅依靠自行开发软件,已经不能满足工厂船舶生产的需要,逐渐走向外购与自行开发相结合的道路,软件开发由单个系统走向系统集成。这期间,我国一些大中型船厂和设计单位,相继建立了局域网,开展了企业级 CIMS 试点工作,取得了一些成果。同时,他们外购了瑞典的 TRIBON、美国的 CADDS5、法国的 CATIA 等一些国外的三维 CAD/CAM 系统,并在此基础上进行了大量的再次开发工作。这既能发挥原来设计系统的作用,又适当开展引进工作,大大减少了设计差错,提高了设计质量。通过软件的购买与自行开发及推广应用,我国船舶工业信息技术的应用水平进一步提高,并为建立船舶工程现代集成制造系统创造了条件。

我国造船工业引进的 Tribon 系统、CADDS5 系统、CATIA 系统均是国外主要造船 CAD/CAM 系统主流产品,其中 Tribon 系统在全世界有 240 多个用户,国内有 20 余家用户;CADDS5 系统在全世界有数十家用户,国内有 10 余家用户;CATIA 系统在全世界有 40 余家用户,国内有 3 家用户。另在欧洲有一些中、小型造船 CAD/CAM 系统,如 NUPAS 系统、FORAN 系统。这些系统在世界主要造船国家得到了广泛应用,市场销售额估计超过 10 亿美元以上。仅我国引进这些系统每年仅维护费用超过 500 万美元。由于造船业日趋兴旺,市场需求仍在不断扩大,系统功能也在不断改进,这些系统的 license 价格(特许价格)不断上升。某系统开始在我国内每个 license 价格平均不超过 1 万美元,目前已大幅度上升,维护费从每年 10%~12% 上升至每年 25%。由此可见,由于造船业的发展,开发一个具有自主知识产权的造船 CAD/CAM 系统对打破国外软件对我国造船设计软件的垄断具有重要意义。

### 1.3 三维 CAD 技术在我国船舶行业的开发和应用

90 年代初我国造船业引进了国外三维 CAD/CAM 系统,这些系统的引进对提高我国船舶设计效率和设计质量起到了积极作用。但随着应用的深化,也发现一些问题,这些系统仅以解决设计信息为主,不能满足中国造船工艺的特点,特别在 CAM 上还要作大量的二次开发。这些系统难以实现对管理系统的集成。为此,我国造船业相关院、所、企业在新世纪初相继对造船三维 CAD/CAM 系统进行研究开发。但一些系统的开发是在国外第三方图形平台基础上开发的,难以达到船舶设计各专业的集成和平行设计,更为重要的是这样的系统部分 license 版权在国外第三方公司,技术主动权仍不在开发者手中。沪东中华造船集团积 30 余年 CAD、CAM 开发应用的经验,在自行开发的三维图形平台基础上。研发造船 CAD/CAM 系统,目前已取得了

突破性进展。在完成船舶舾装三维设计系统基础上,又完成具有三维拓扑关系的船体建模设计软件,基本完成了一个具有独立自主知识产权的造船三维 CAD/CAM 设计系统的开发工作,并已在数十家船舶企业获得应用。

#### 1.4 三维 CAD 技术在我国造船工业上应用前景

世界船舶工业之所以百年不衰,其主要原因是对世界贸易现状及发展而言,船舶是必不可少的运载工具,特别是随着世界经济全球化,船舶的需求量将与日俱增。船舶工业也是国防安全及国民经济发展的战略性新兴产业。21 世纪是开发海洋的时代,海洋的开发利用离不开强大的船舶工业作后盾。因此,不论造船重点几次转移,从欧洲转移至东亚,但造船产量却不断上升,造船技术也不断发展。美国虽不造民船,但军用船舶在技术和数量一直保持绝对优势。因此,由于国防和经济发展的需求日益增长,船舶工业将持续发展,促进了船舶新型号开发和船舶设计、制造的技术的发展,进而需要更高水平和更多数量的船舶 CAD/CAM 的系统。目前船舶 CAD/CAM 系统,不论是主流的 CADD5、CATIA,还是专业的 TRIBON、FORAN 系统没有一个系统能全面满足造船设计/制造的技术发展的需要。所以不论美国海军的军品或韩国民船制造均是多个系统同时应用,以弥补各系统不足。因此,开发一个能满足船舶工业需求或有一定特点的船舶 CAD/CAM 系统仍是非常必要的。

## 2 三维船舶设计系统介绍

在中央的关心支持下,在要使我国成为第一造船大国的目标鼓舞下,我国船舶工业正迅猛发展,全国大、小船舶企业超过 500 余家,然而,2000 年初利用船舶三维 CAD/CAM 系统的企业仅有 10 余家,其应用前景相当可观。为此,我公司决定利用 30 余年积累的技术,开发具有自主知识产权的三维船舶设计软件。

### 2.1 系统设计指导思想

- 本系统的开发是在长时间应用、消化、吸收国外先进造船设计软件的基础上进行的。多年来我们分析了 TRIBON 系统、CADD5 系统、CATIA 系统的特点,在本项目研究中力求做到尽可能吸收各系统的优点,如吸收 TRIBON 三维船体结构拓扑关系技术,CADD5 系统的参数化设计思想和 CATIA 系统、CADD5 系统的三维交互实体建模实时显示技术等思想,使本项目研究达到一定的先进性。

- 近 10 年来,我国造船企业引进了国外各类三维设计系统,在技术上这些系统各有特点,有些系统贴近造船实际但数据开放度差,有些系统在通用 CAD 系统基础上应用到造船,在应用中需要做大量二次开发工作,与造船应用有一定差距。软件商出于商业利益在技术上较为封锁,要满足我国船舶制造集成的需要有一定困难,加之国防的保密需要,在本项目研究中我们积 30 余年 CAD/CAM 开发成果和经验,在 OPENGL 基础上开发具有独立版权的图形处理平台和应用软件,使本项目研究开发、应用不受第三方的制约,有利于我国船舶设计、制造集成系统的研究开发。

- 现代船舶制造模式,按区域/阶段/类型进行专业化生产,传统的设计技术已不能满足以中间产品为导向组织生产的需要,为适应现代造船模式的需要,本项目开发要体现船舶并行协同的设计思想,所生成的图纸、加工制造信息能满足“壳、舾、涂一体化”和“设计、生产、管理一体化”的现代船舶制造技术。

- 国外一些先进的设计软件,经过了几十年的开发应用逐步成为一个成熟的软件。本项目研究虽然有 30 余年的经验积累,但系统开发仅有 5 年时间,因此,我们必须吸收国外软件的优点,在满足以现代船舶制造的实际设计应用为重点的基础上,进行研究开发。对一些国外软件在应用中存在的问题,尽可能加以克服,以体现本系统的特点和先进性。

- 本系统的开发采用面向对象方法。面向对象方法是一种运用对象、类、继承、封装、聚合、消息传送和多态性等概念来构造系统的软件开发方法。它具有抽象、继承、封装和多态性四大特征。因此,面向对象程序设计具有许多优点:由于面向对象编程的可重用性,可以在应用程序中大量采用成熟的类库,从而缩短了开发时间,使得开发时间短,效率高,可靠性高,所开发的程序更强;继承和封装使得应用程序的修改带来的影响更加局部化,使得应用程序更易于维护、更新和升级。这些优点对本系统的功能扩展和性能优化带来了极大方便。

### 2.2 系统目标

系统能满足船体结构、机装、电装、居装、甲装等专业设计的三维全数字化舰船产品模型软硬平台。通过三维模型对舰船产品进行性能、结构强度分析、工艺合理性和制造可行性分析,这将是整个舰船数字化制造

集成系统的基础。系统包含两部分功能,船舶产品三维数字化图形平台是为船舶设计系统提供独立自主版权的具有三维建模技术的二维、三维图形和数据处理的技术基础。船舶设计系统的开发旨在建立具有独立自主版权的“船舶设计系统”,将为我国船舶设计提供三维设计手段。

### 2.3 主要功能

三维船舶设计系统能获得船舶产品所需的设计、制造、管理的相关信息,达到船舶制造数字化信息集成(系统功能见图 1)。

设计系统具有如下功能:

#### 1) 图形平台

图形平台是在 Windows 操作系统下,基于 OpenGL 图形库进行开发的 CAD 基础平台。实现基本图形对象的生成、显示、操作、管理、优化、输出、模型构造等功能。为应用程序提供图形对象、操作命令、开发接口。具体实现中既考虑到造船行业的特色又具有一定的通用性,可适用于大规模集成化制造行业的 CAD 软件开发。图形平台还可进行封装做成 CAD 图形显示组件嵌入管理等软件中,为实现其他软件和设计软件的集成提供了便利。

#### 2) 数据管理

由于船舶设计中各专业在设计建模过程中产生大量的复杂的数据需要处理,本系统并不采用标准的数据库来保存整个数据,而是采用一种统一的格式,将各种不同的数据保存在不同的文件中。同时提供一个管理工具对其进行管理,其目的是要减少中间环节,加快数据的存取速度。这种文件格式是一种自主格式的索引数据文件。在此文件格式基础上,对各类数据都各提供一套函数接口,这套接口负责处理指定类别数据的数据存取,应用程序就通过这套接口存取所需的数据。

#### 3) 通用设计

在舰船设计过程中,有些功能多个专业都需要用到,作为基本功能提供给各专业共同使用;另外一些功能与专业无关,作为独立于各系统之外的处理功能。这些功能都属于通用设计的范畴。具有实体部件设计、参数部件设计;二维背景图、模型、图册、标准模型库管理;模型实体显示;模型消隐;图纸管理;图纸处理;干涉检查;DXF 文件输入/输出等功能,能输出 IGES 格式,同其他 CAD 系统进行交换。

#### 4) 船体结构设计系统(见图 2)

船体结构设计系统是涉及船舶技术设计、详细设计、生产设计全过程的三维建模系统。系统进行船体型线定义、结构布置、板材和型材零部件定义、建立具有拓扑关系的三维船体结构模型。该模型具有船体结构的几何、物理、工艺等属性。从模型中可分解全船结构的板材和型材零件,建立产品结构树,生成满足生产所需的各类安装制造图册和生产管理表册。并具有对其他设计系统生成的图纸、电子文件中二维视图的处理功能。

#### 5) 船体生产信息系统

船体生产信息系统进行船体的生产准备工作,生成船体生产所需要的各种下料信息、加工信息、装配信息以及生产管理信息。船体生产信息系统满足工厂船体生产设计的需要,取代样台人工船体放样工作,取消了 1:1 实尺船体样台。船体生产信息系统由外板、结构零件、套料及切割文件、材料管理、生产用表等主要部分组成。本系统和 Tribon、CATIA、CADDSS 等系统具有接口,可利用这些系统建立模型后,把相关信息导入本系统进行生产信息处理。

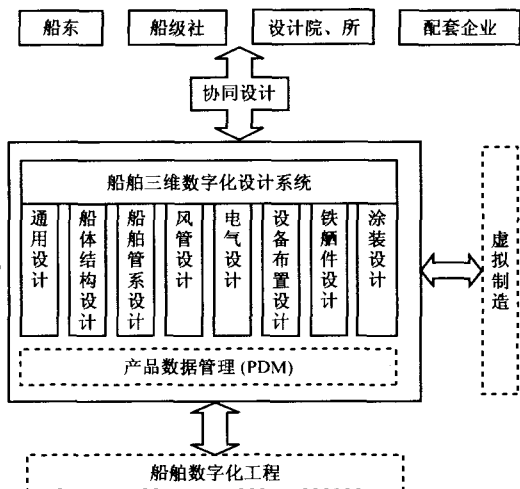


图 1 三维船舶设计系统功能图

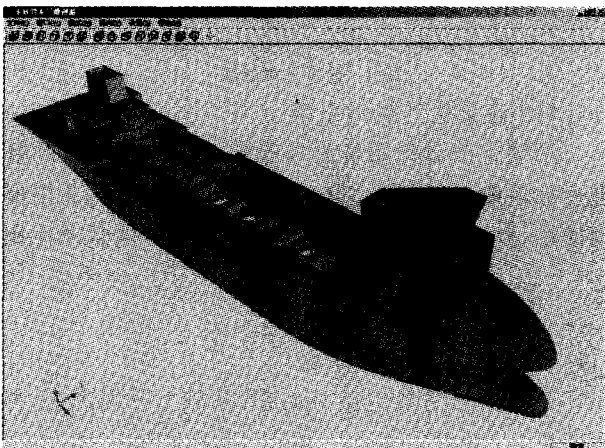


图 2 船体三维建模

### 6) 管系设计系统(见图 3)

管系设计系统是以船舶管系设计以及其他行业的管路设计为对象进行开发的,提供交互管系布置界面,建立三维管系模型,具有很强的实用性,系统涵盖了管路设计的全过程,有管系原理设计、设备布置、管路布置、零件分割、安装图、零件图到有关托盘表、管附件表等生产管理信息生成等功能。还具有 Tribon、CADDSS 等系统管系模型导入接口。

### 7) 风管设计系统

风管设计系统是一套面向船舶通风管系的三维设计系统,针对通风管系的特点、风管规格多变、接头形式多样,利用参数化的设计方法,进行个性化的风管布置、接头生成和拼接,建立方风管和螺旋风管的三维实体模型。

### 8) 船舶电气设计系统

电气设计系统的开发贯穿于电气详细设计和电气生产设计整个过程,采用交互设计的操作界面,实现电气三维模型设计,改变目前电气生产设计的手工状态。本系统主要完成电气系统图设计、电气设备布置、主干电缆走向布置、主干电缆表册编制、电缆导架安装图、电缆开孔图、中小型电气设备基座安装图、电缆支承件制造图册、照明灯架制造图册以及托盘管理表、材料定额表等内容。

### 9) 设备布置设计系统

设备布置设计系统处理船舶设计各专业对各类设备进行交互布置,可生成机舱设备布置、甲板布置等三维模型,作管系、风管、电缆布置背景应用,并产生相应各专业的生产安装信息。

### 10) 铁舾件设计系统(见图 4)

船舶铁舾件设计系统是处理船舶设计各个专业对各类设备、管子、风管、电缆等的定位固定和船舶各舱室畅通行走的辅助装置和设备,如:管子支架、电缆导架、风管吊架、基座、窗、梯、护栏等铁舾装件的三维建模设计和生成相应的生产信息,以及铁舾件在船舶设计三维建模的定位所需信息。本系统是船舶设计各专业所需的基本设计系统。

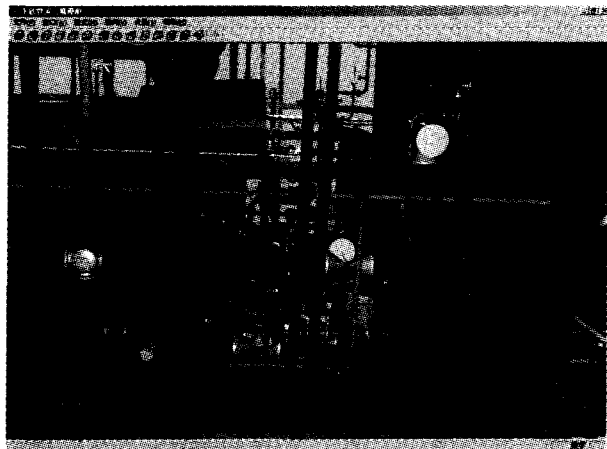


图 3 管系三维建模

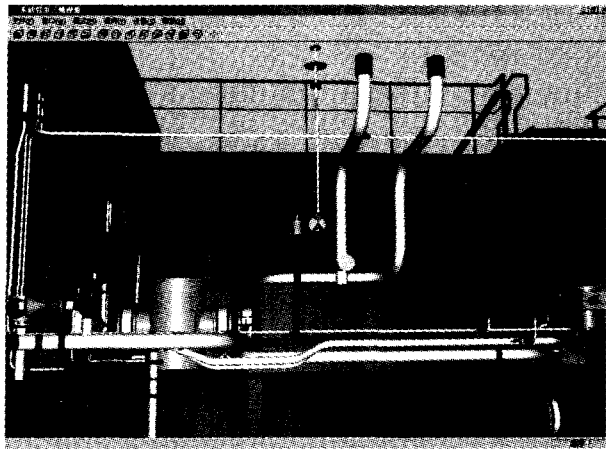


图 4 舾装三维建模

### 11) 涂装生产设计系统

涂装生产设计系统是在设定涂装原则工艺的基础上,导入船体模型,按照船体涂装的各个阶段和要求,进行涂装舱室的划分,自动计算涂装的面积,并根据涂装面积和涂装工艺信息生成涂装施工图纸和表册供现场使用,作为涂装生产管理的基础信息,供生产使用。

## 3 系统主要特点

### 3.1 自主知识产权的图形平台

系统图形平台是在 OpenGL 基础上开发的,这样,在此平台上的应用系统可不受第三方图形平台的变化而变化,对应用系统的稳定运行和维护带来很大方便。更为重要的是用户也不必由于第三方图形平台升级或变化而支付升级费用,可减少用户开支。同样,自行开发的图形平台可使应用软件的发展不受第三方软件

的技术控制,加之系统的开发采用面向对象的设计方法,使本设计系统的发展前景更为广阔。

### 3.2 船体和舾装模型建立较为完整的拓扑关系

系统能建立完整的具有拓扑关系的船体、舾装三维模型。船体模型中,任何一构件零件修改,其相接触的零件均能自动更新修改,如某型材规格或朝向发生变化,其通过的板材开孔能自动调整。同样舾装模型中,任何管子修改,处于同一管路号的一系列管子和管附件均能自动随之修正。这样大大减少了由于设计修改而引起的设计错误,提高了设计质量。

### 3.3 实体建模和参数化建模构造模型

系统开发时考虑到出图的完整性和满足船舶出图的特殊要求,采用了实体建模和参数化建模方式。参数化建模可大大减少舾装件建模的工作量,在参数化设计中采用了带有特征的连接信息和反算方法,可极大方便用户对铁舾件的设计和交互布置,且定位尺寸和参数能根据安装环境而自动修改。

### 3.4 各专业模型都可以进行干涉检查

系统所建立的船体结构、管系、风管、电缆、铁舾件等模型均以统一格式存放在同一数据库中。在设计建模中设计者可以对船体结构、管子、风管、电缆、铁舾件以各种组合形式进行干涉检查,查找碰撞情况,确保建模和设计质量。系统还能根据用户的需要进行整体或局部模型的干涉检查,可减少干涉检查时间。

### 3.5 实现零件加工的工艺仿真

系统在生成管子零件时,能根据不同型号的弯管机参数对生成的零件进行工艺检查。若仿真检查出不合某指定弯管机工艺要求的零件将自动报错。系统还可以对船体生成的板材零件套料板的数控切割指令进行仿真切割,以检验套料板和切割路径是否合理,可及时避免不必要的损失。

### 3.6 实现符合造船特点的三维模型的二维出图和生产制造信息

系统建立的三维模型,通过各种剖切能生成各专业所需的满足详细设计、生产设计的二维图纸。系统还能生成满足各专业所需要的设计、生产、管理的各种图册 80 余种。还可根据用户需要定制所需的表式。

### 3.7 建立和其他系统的数据接口

考虑一些用户已使用 Tribon、CADD5、CATIA 等三维设计系统,在本系统设置了与上述设计系统的接口,可把 Tribon、CATIA 系统建立的船舶、管系、管附件模型导入本系统,还可把 CADD5 船体模型导入本系统。这样,一则可弥补上述系统对生产信息生成的缺陷,二则可为用户节省软件运行费用,原购系统可照常使用而不浪费已购软件。

## 4 结 语

本系统自新世纪初投入大规模开发以来,得到了来自国家部委、集团总公司和我公司的大力支持和有志于开发自主版权造船软件的同仁们在精神上、技术上的鼎力相助,以及奋斗在造船一线的广大领导和技术人员的热情扶持和帮助,使本系统在边开发边应用中得以迅速发展,目前已完成了预期的开发目标。系统已在数十家船舶设计、制造单位和院校获得成功的应用,取得了数千万元的经济效益,打破了国外软件对我国造船设计软件的垄断地位。在此,对本系统开发过程中给予热情支持、帮助的各级领导、同仁们表示衷心的感谢和敬意。