



# 船舶三维模型参数化设计技术开发及应用

## Ship 3D parametric design technology development and application

中船重工船舶设计研究中心 强光新

本文介绍了船舶三维模型参数化设计中船型生成系统、船舶参数化分舱和稳性计算系统、船体结构参数化生成、有限元模型快速生成系统、船舶模型在各系统间无缝传递的实现等功能。给出了船舶三维模型参数化设计的应用案例，并展望其对我国数字化造船起到的推动作用及积极意义。

### 引言

三维参数化设计是提高产品设计质量和效率的重要手段，目前已在航空、航天、汽车工业等行业的研发设计全过程中得到广泛应用。由于船舶产品的相对复杂性，其三维参数化设计的应用程度相对落后。虽然目前国内各大造船企业均采用了如TRIBON、CADD5等软件来进行三维的生产设计，在提高设计质量上取得了显著的成效，然而这仅仅是在设计后期三维设计技术的基本应用。为减少重复劳动和保证设计的一致性和连贯性，船舶三维设计技术正在向详细设计拓展。

“船舶三维模型参数化设计技术应用开发研究”科研项目是国防科工委批准的国家重点科技攻关项目，旨在对现有三维设计系统进行消化、吸收的基础上，通过技术引进、自主开发、二次开发等手段，对三维设计系统进行整合，将船舶三维设计技术向详细设计拓展。通过一个多专业共用的参数化模型，实

现船舶设计的并行协同和众多设备、系统的集成和协调。不仅体现在布置上的一体化实现，更体现在船舶各种性能、系统功能的设计分析上的一体化实现。项目的研究框架如图1所示。

该项目从三维参数化船舶设计的模型结构体系、设计流程出发，通过对参数化总体模型、结构设计模型、结构分析模型的深入研究，实现了三维船舶设计模型在研发设计各阶段的数据传递，避免了重复建模，提高了设计效率。

### 三维参数化设计系统的整合

通过对国内外船舶设计软件进行分析、对比，依据各软件的应用范围、开放性及各国内各大设计单位、船厂的使用情况确定船舶研发设计各阶段的平台软件。采取引进国外商用软件和国内自主研发软件相结合的技术路线，充实船舶设计各阶段的技术力量。通过对引进软件的二次开发，完善商用软件的功能；通过完善各软件间的数据接口，使数据在设计流程中的传递更加流畅，保证模型数据文件在产品设计的全生命周期中的充分利用。以下分别介绍船舶三维参数化设计系统的构成。

#### 船型参数化生成及精光顺软件

以中船重工702研究所自主研发的HDS软件作为船型参数化生成及精光顺技术的依托软件，该软件不仅具有母型变换功能，

同时还具有球首、尾框的参数化修改功能及全船统一光顺的功能。软件的光顺系统对船体采用传统的网格描述，描述船体的数据都是三维相关的，采用双圆弧样条对二维线上的点进行拟合，以圆弧曲率为判断光顺的标准，三维线的光顺以三个正交投影面上的投影线都光顺为判断标准。

#### 船舶流体力学（CFD）分析软件的选取

在船舶线型生成后，通常会对船舶的快速性进行分析，确定快速性指标最准确的方法是通过船模实验，但这会花费大量的时间和人力、物力，不利于多方案的快速比较。因此，专用于船舶阻力及快速性分析的船舶流体力学

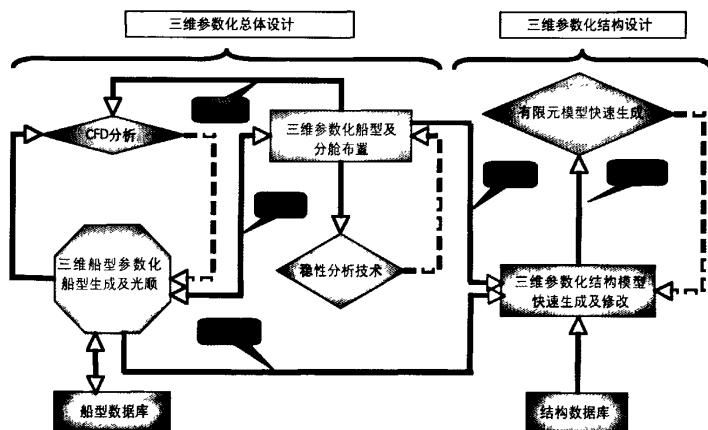


图1 项目研究的框架结构

分析软件（船舶 CFD 分析软件）随之产生。船舶 CFD 分析软件中 SHIPFLOW 和 FLUENT 是其中比较领先的软件。

### 参数化分舱布置及稳性计算软件的选取

船舶性能计算方面，芬兰 NAPA 公司开发的船舶设计软件包在国内外的应用都比较广泛，项目依托 NAPA 软件对设计船进行参数化分舱和稳性计算。

### 三维结构建模软件的选取

船舶行业中应用的 CAD 系统中各种建模方式的软件都有应用，包括以下几类：

- 1) 对于船型生成和性能计算方面的软件多采用线框建模和曲面建模混合的建模方式，如 NAPA，HDS 等。
- 2) 对于面向结构概念设计的软件多采用线框建模为主的建模方式，如 NapaSteel、Intelliship 等。
- 3) 对于面向结构生产设计的软件多采用实体建模为主的建模方式，如 TRIBON，CADD5，CATIA 等。
- 4) 有限元分析软件多采用线框建模和曲面建模的混合方式，如 ANSYS、PATRAN 等。

本项目研究的目的是实现船体结构的参数化建模，因此，从面向结构概念设计和面向结构生产设计的软件中进行选择。

### 有限元分析软件的选取

随着计算机技术的发展，对复杂结构进行有限元分析成为可能，对于船舶进行整体和局部的有限元分析成为校核船舶结构设计的常规手段。通用的有限元分析软件有美国 ANSYS 公司的 ANSYS，HKS 公司的 ABAQUS 软件，MSC 公司的 PATRAN/NASTRAN。国内几种软件都有应用，其中，PATRAN/NASTRAN 界面操作简单、开放性好，适合于工程应用。

## 三维参数化设计关键软件开发及二次开发

### HDS 系统的开发

HDS (Hull Design System) 系统由船型数据输入接口、母型船变换、船型局部参数化变换、船体型线光滑、船型数据输出接口等功能模块及系统综合管理模块构成。

系统的核心工作是对船型数据的分析和处理，即把与船型设计有关的操作（功能模块）集成起来，达到计算机辅助船型设计的目的。

### NAPA 系统的二次开发

基于对 NAPA 软件 NAPA-MANAGER 模块的二次开发，通过修改、增加宏程序的方式建立符合需求的模块，完成如下功

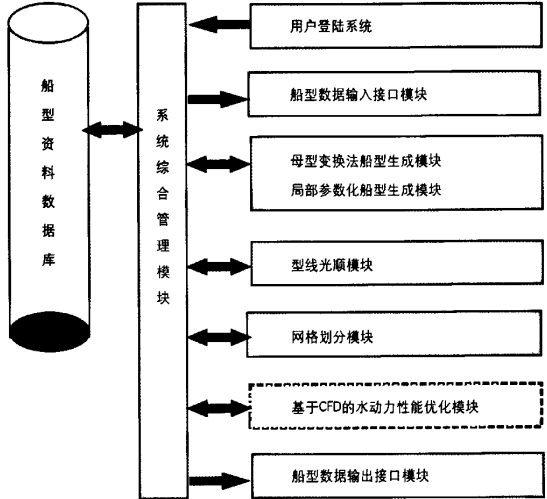


图 2 HDS 系统的框架结构

能：

- 1) 基于总体设计思想，集成总体设计的树状设计流程；
- 2) 甲板参数化定义；
- 3) 内壳参数化定义；
- 4) 分舱信息正确性的图形校正；
- 5) 软件使用统一命名规则。

### CADD5 系统的二次开发

模块数据库的开发是利用 CADD5 提供的二次开发语言 CVMAC 和 CVACT 进行的。CVMAC 有两个特点，一是直接调用 CADD5 的命令；另一个是直接提取实体的数据。CVACT 是专门做界面的软件包，可开发出非常完整的与 CADD5 系统一致的界面，实现对界面的操作以及保存界面的参数和调用 CVMAC 编写的程序。

菜单由 19 个功能按钮组成，共分为管理及输入模块、板架建模模块、通用建模模块、输出功能模块、辅助功能模块这五部分，各部分功能如下：

- 1) 管理及输入模块用于设计数据、总体几何参数和船舶基本设计信息管理；
- 2) 板架建模模块适用于设有中纵槽形舱壁和横向槽形舱壁的大型双底双壳油船的货舱区平直区域的船体结构三维建模；
- 3) 通用建模模块包括通用板架建模工具和通用加强筋工具，用于线型复杂区域快速建模；
- 4) 输出功能模块包括重量、重心计算及材料统计汇总，提取三维模型中的结构信息等功能模块；



5) 辅助模块有肋位标尺工具, 局部坐标系工具, 参数化开孔工具, 坐标显示工具。

## 船舶三维模型间数据的无缝传递

随着船舶设计中 CAD 技术应用越来越广, 各种各样的船用 CAD 软件应运而生, 这些 CAD 软件各有所长, 在不同的设计阶段发挥着各自不同的作用。

在船舶设计的过程中, 无论是总体设计还是结构设计都不可能在一个软件中完成所有的设计内容, 这就要求对设计流程中的各软件间的数据流动关系进行研究。在设计流程的各依托软件的应用中, 既要保证本系统内部数据畅通, 也要能和其他的 CAD 软件进行数据交换。

## 船舶三维参数化设计技术应用案例

船舶参数化设计流程的各个环节、软件接口、数据传递等方面是否运行可靠, 需要通过一艘船的研发设计进行实船验证。76000 吨成品油 / 原油船 (简称 PC760) 是在 72000 吨成品油 / 原油船的基础上优化开发出的巴拿马最大型油船, 其各项性能指标都比较优秀, 资料比较完备。应用该船作为项目船能够很好地验证项目研究成果。同时, 可以开展对其首尾线型进一步优化, 结构设计的参数化建模和满足 CSR 规范的升级开发等工作。

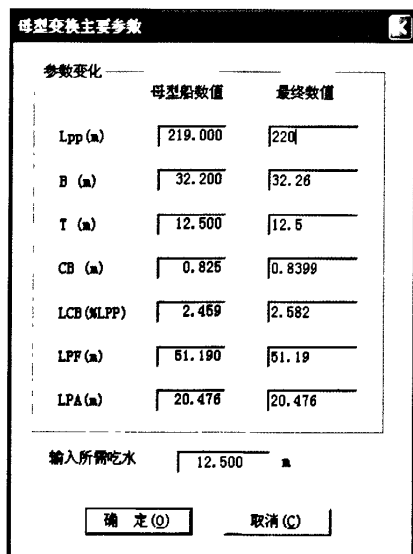


图3 母型变换参数对话框

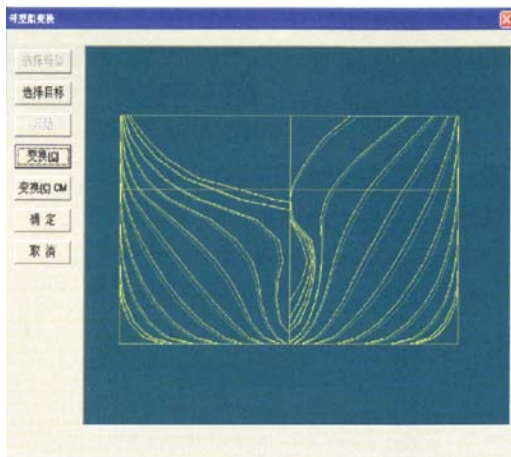


图4 母型船和目标船

### 母型变换

首先应用母型变换法从 PC720 得到 PC760 的初步型线。直接从数据库导入 PC720 的型线, 选取 HDS 的母型变换菜单, 启动母型变换法线型生成模块, 通过输入变换参数完成船型变换, 得到需要的 PC760 目标船初步型线。母型变换参数对话框、母型船和目标船的横剖线如图 3 和图 4 所示。

### 球首、尾框参数化优化变换

初步型线后的水动力性能优化包括首部型线和尾部型线。采用球首参数变换法生成新的首部型线, 利用母型变换法的思想, 通过选择合适的多项式来构造变换函数, 进而对球鼻首参数进行变换。尾部型线优化采用尾部参数变换法, 首先变换尾部轮廓线, 然后在尾部轮廓线变换的基础上对尾部一定区域的型线进行变换。变换前后的尾部型线如图 5 所示。

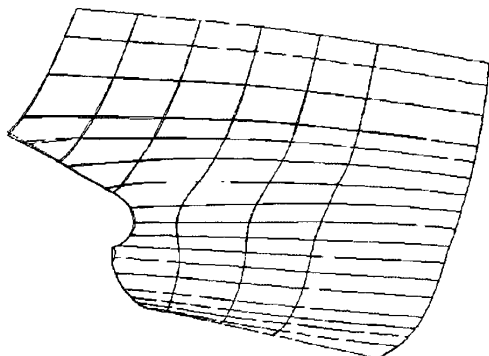


图5 尾框参数变换前后对比  
船型数据向 CFD 软件转换及快速性校核

HDS 系统可生成 SHF 格式的船型数据文件, 该船型数据



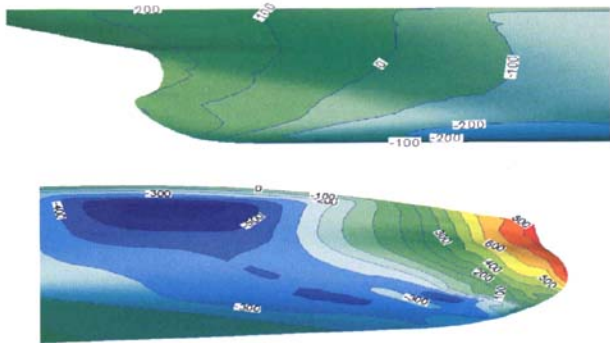


图6 船体表面压力分布

文件可直接被 SHIPFLOW3.0 读取。此外，HDS 系统可生成 Dat 格式的船型数据文件。Dat 格式文件是商用流体力学软件 Fluent6.0 前处理器 Gambit2.0 的船型数据文件输入格式之一，属于文本文件。

在数据转换的基础上，将经母型变换后的 PC760 线型、经球首变换的线型和经球首、尾框变换的线型进行 CFD 评估和模型试验验证（图 6）。

#### 船型数据向 NAPA 传递参数化分舱和稳性计算

HDS 软件可输出 NAPA 软件可接收的三维 DXF 文件，直接完成船型数据从 HDS 到 NAPA 的传递。完成 PC760 线型从 HDS 到 NAPA 的数据转换、在 NAPA 中对 PC760 进行参数化分舱，并在此基础上进行静水力计算和稳性校核。其中参数化分舱的工作包括：

- 主尺度参数；
- 船型参数的导入与生成；
- 肋位表及分舱参数化定义；

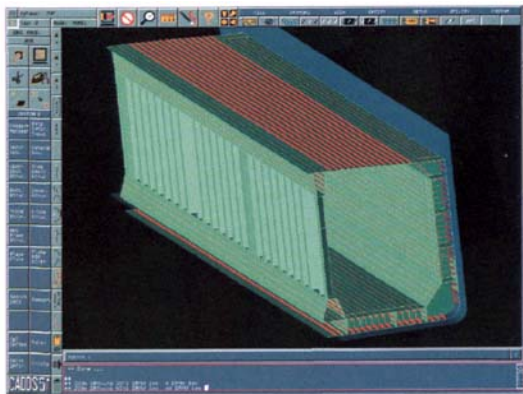


图 7 CADDS5 生成的货舱结构模型

- 内壳参数化定义；
- 分舱布置及生成；
- 参数化定义槽型舱壁。

#### 结构参数化建模

通过接口软件接收 HDS 生成的 PC760 线型和 NAPA 生成的参数化分舱数据到结构建模软件 CADDS5，应用 CADDS5 及其二次开发软件包对 PC760 进行货舱平体段参数化结构建模。

#### 课题船结构模型向有限元模型转换

通过在接口软件对从 CADDS5 所建立的结构模型中提取出的信息进行处理、修改、添加网格信息，输出成 PATRAN 命令流的格式文件，PATRAN 读取该文件实现数据的转换，在此基础上进行有限元计算。

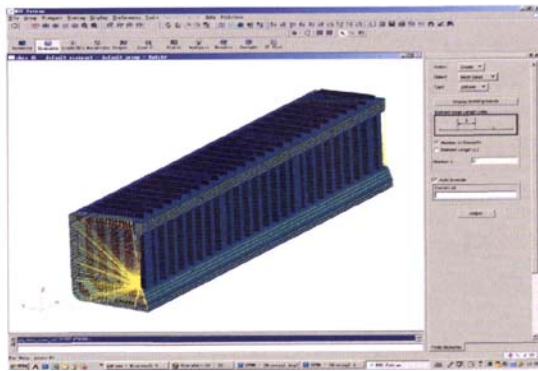


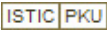
图 8 PATRAN 中货舱三舱段有限元模型

## 结 语

三维模型参数化设计的实船应用不仅能够提高我国船舶产品的研发设计效率、提升设计水平，同时能够提高产品的详细设计、生产设计效率，在整个设计过程中避免重复劳动，缩短设计周期。通过对传统设计方法和三维模型参数化设计方法的工时比较分析，成熟应用三维模型参数化设计能够提高船型方案研发设计效率近一倍，详细设计节约工时 3%~5%、生产设计节约工时 1%~2%；单船研发设计，一种方案节约工时 300%~400%，多方案比较效率提高更加明显。

三维模型参数化设计的推广应用，将极大提升我国船舶工业设计技术水平，为加大造船产量和高新技术产品承接建造提供必要的技术保障，为实现船舶工业的发展目标，成为世界造船大国和强国起到强有力的推动作用。

# 船舶三维模型参数化设计技术开发及应用

作者: [强兆新](#)  
作者单位: [中船重工船舶设计研究中心](#)  
刊名: [舰船科学技术](#)   
英文刊名: [SHIP SCIENCE AND TECHNOLOGY](#)  
年, 卷(期): 2009, 31(1)  
被引用次数: 0次

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jckxjs200901003.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jckxjs200901003.aspx)

授权使用: 天津大学(tjsg04), 授权号: 50c7cb72-5137-45b1-a1db-9e9d00dca660

下载时间: 2011年3月5日