

船体型线建模研究

邹 劲 黄德波

(哈尔滨工程大学船舶与海洋工程系, 哈尔滨 150001)

摘 要 通过对船型数据结构的探讨, 定义了一个完整的船型数据库结构形式, 同时探讨了采用累加弦长方法表达船体表面, 并与普通 B 样条的船型表达进行了比较. 文中还对采用累加弦长进行空间曲线光顺的方法进行了尝试. 最后利用上述几何造型模型与空间曲线数学模型, 依据数据库理论进行船型软件系统建模工作. 用此系统进行了一系列的船型建模探索, 效果很好, 说明此方法具有实用性. 采用这种方法建立的船型建模法很容易发展成为整个船舶 CAD/CAM 集成系统.^①

关键词 船型建模; 数据结构; 累加弦长

分类号 662.9

A Study on the Ship Lines Plan Moulding

Zou Jing Huang Debo

(Dept. of Naval Arch. and Ocean Eng., Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract Ship form description is vital to hull form moulding in ship CAD. Traditional ship form description is treated with offsets. However, ship forms are so complex that it is usually hard to be described completely and definitely with a few tables or drawings. Which causes difficulties in ship design, manufacture and performance evaluation, and is not fit to the modern ship building practice. Through the investigation on the ship form data structure, the authors define a framework of complete ship form data base, and compare the effects of form descriptions using cumulated chord length spine with that using commonly used B-spline. In this paper, it is tried as well the method of space curve fairing with cumulated chord length spline. And by use of above geometry moulding model and the space curve formulation, based on the data base theory, a software system for mathematical ship form moulding is developed. By which, a series of ship form moulding is performed and investigated, the good results show the applicability of this method. The ship form moulding method developed in this paper can be extended reading, to form a basis of a complete ship CAD/CAM integrated system.

Key words ship form moulding; form data base constructure; cumulated chord length spline

^① 收稿日期: 1997-03-02
责任编辑: 徐若冰

0 引言

传统的船型描述是用型值表等方式来进行表达,但船体形状本身是相当复杂的,按不同的分类方法,可分为常规船型、折角船型、球艏船型、球艉船型、隧道船型、涡艉船型、方艉船型、双体船型等等。显而易见,在计算机辅助设计与制造中,用一个简单的型值表根本无法对复杂的船型进行全面而完整的表达。

较完整的船型数据结构是现代船型、结构、水动力性能研究、CAD/CAM 和生产管理等方面必不可少的,它对计算机网络、船型信息交换、多机联网设计、研究等将提供必要的条件。作者在研究中注重这种数据结构应具有的科学性、合理性与实用性,力求开发一种既实用又有扩展性的方法,并要求它是适合于网络的,界面友好的。

计算机辅助几何造型是用计算机及其图形系统描述物体形状,模拟物体处理过程的技术^[1]。本文采用几何造型技术并结合船舶设计特点,将船体作为一个实体,对船型进行三维描述方法进行探讨,预期为三维总体设计、性能设计与计算研究、结构设计等提供可靠的且无二义的船型数据。

1 船型描述的数据结构

定义一个完整的船型数据结构,是船型建模的关键。按以下原则,作者提出如下建模方法:定义所要描述的船体为多曲面组合体,坐标系如图1。将船体表面分为三个曲面,即A:艏封板,B:船侧表面,D:甲板,其中最难表达的是船侧表面。本文着重讨论曲面B的描述。

首先定义总纵剖面为四条多义线:艏柱线、艉柱线、甲板边线和船底线,这四条线是由直线、圆弧、样条函数曲线以及折线等组合而成,其中含有预定义的某些特征点,如球艏顶点,折角线顶点等,具体见附表。由此四条线构成了曲面的四条边,水线和站线构成曲面的基本网格。

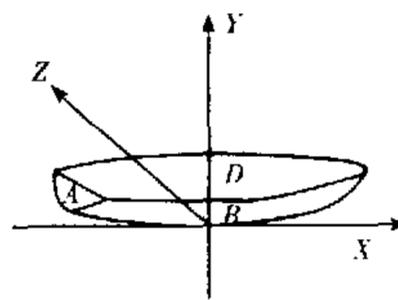


图1 坐标定义

由于型值表中的型值点可能既在水线上,又在横剖线上,或者既在纵剖线上又在水线上,若不加注意,在进行交互式设计时,可能会出现在一个图(例如水线图)上进行了修改,而在另一个图(例如横剖线图)上又忘了作相应修改等不对应的情况,重复了手工作图的弊病。在数据结构中,对同一个实体上的同一点描述不能同时出现在不同的多个地方,因此,有

附表 中纵剖面特征值表

| 序号 | 说 明 | 序号 | 说 明 |
|----|------------|----|---------------|
| 0 | 水线艏端点(有 R) | 20 | 方艉与甲板交点 |
| 1 | 站线与艏柱交点 | 21 | 艏封板下端点 |
| 2 | 球艏顶点 | 22 | 艏封板与水线交点(无 R) |
| 3 | 设计水线与艏交点 | 23 | 艉部与水线交点(有 R) |

| 序 号 | 说 明 | 序 号 | 说 明 |
|-----|---------------|-----|----------------|
| 4 | 甲板与艏交点 | 24 | 艏部与水线交点(无 R) |
| 5 | .X:X 折角线与艏交点 | 25 | 艏柱点 |
| 6 | 底与艏交点 | 27 | 球艏顶点 |
| 7 | 水线艏交点(无 R) | 28 | 球艏凹入点 |
| 8 | 艏部辅助点 | 29 | .X:X 折角线与艏交点 |
| 10 | .X:X 折角线与站线交点 | 30 | 艏与底交点 |
| 11 | 甲板边线与站线交点 | 31 | 艏部辅助点 |
| 12 | 艏部甲板外折角点 | 32 | 艏部与设计水线交点(无 R) |
| 13 | 艏部甲板外折角点 | 33 | 艏部与站线交点 |
| 14 | 艏部甲板内折角点(连续) | 34 | 巡洋舰艏与甲板交点 |
| 15 | 艏部甲板内折角点(连续) | 40 | 与底部连续龙骨线 |
| 16 | 艏部甲板内折角点(不连续) | 41 | 与底部不连续龙骨线 |
| 17 | 艏部甲板内折角点(不连续) | 42 | 底部有斜升龙骨线 |
| 18 | 甲板上辅助点 | 43 | 底部辅助点 |

必要对数据结构进行完整的定义。在几何造型理论中,形体在计算机内通常采用五层结构来定义,如果考虑形体的外壳,则为六层结构,如图 2 所示。并规定定义均在三维欧氏空间 R^3 中进行,依据此理论定义船型的数据结构如图 3 所示,这里分为三层数据结构,分别对应图 2 中的环表、边表和顶点表。采用这种结构,在交互式设计中,对任意一组线,一组点进行设计时,可直接根据对应的指针表、型值表进行修改,而不易发生矛盾。同时由于在环表中只规定了同一条曲线在指针表中的起始位置(Start, End),在指针表中的序号采用了实数,原则上在环表中的 Start, End 之间,在满足精度条件下,可插入任意多条记录,因此可在任意一条线的指针表中插入、删除与修

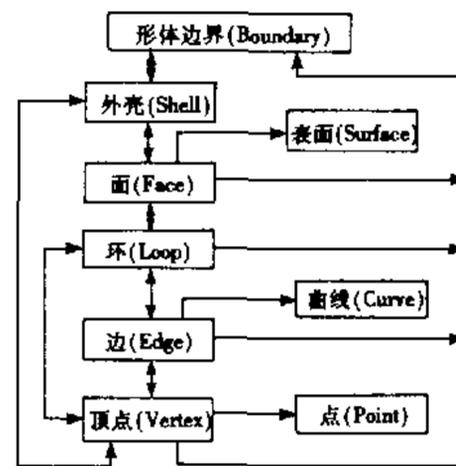


图 2 几何造型形体基本结构

改任意多个辅助点或型值,打破了传统型值表的规则二维数据表格形式,从而大大增强了对船型的表达能力。同时,多个指针表中点号可根据需要指为同一点,当修改型值表中的型值时,与之相应的型线图即自动予以跟踪。

2 空间曲面的数学描述

在对空间曲面进行描述时,可采用的函数形式是多种多样的,例如 B 样条块拼接、Bezier 曲面、三次样条曲面以及累加弦长曲面等^[2-4],在得到船体表面的数学描述后,设计人员就可

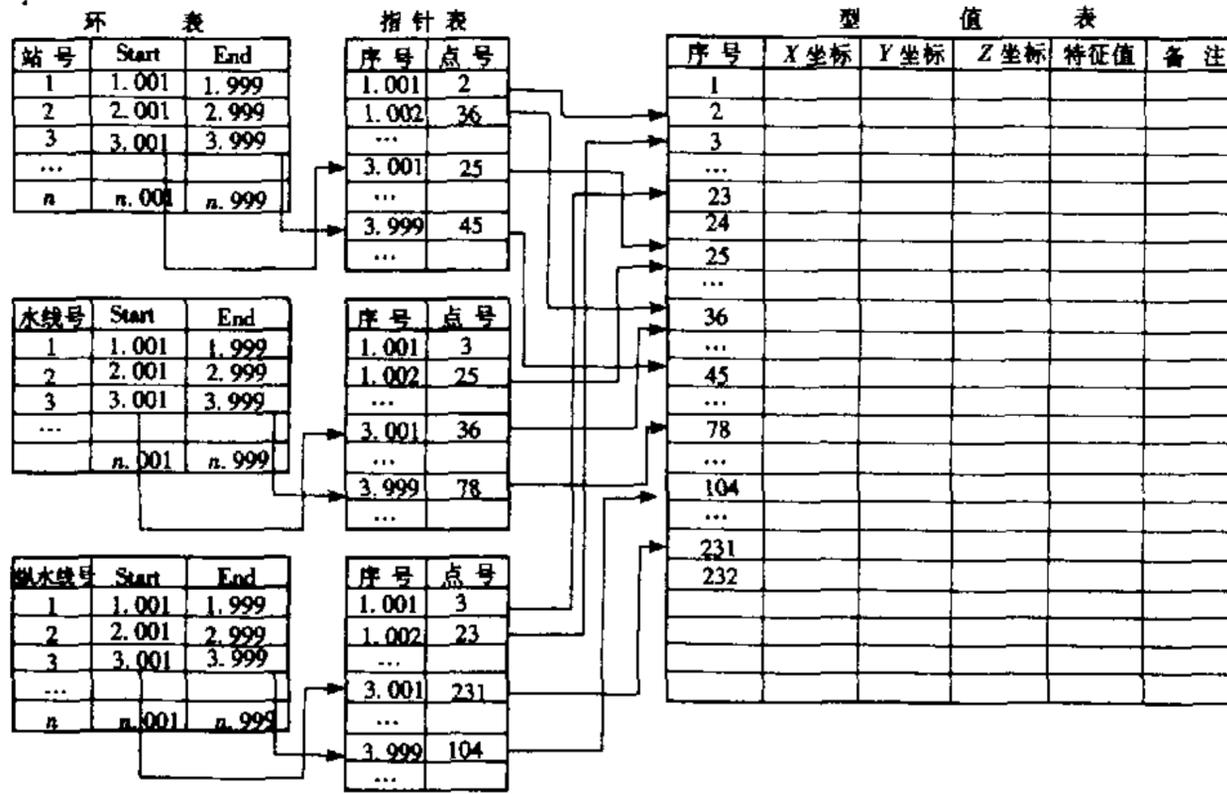


图 3 船型描述的数据结构

面的具体情况分别选用不同的函数. 对于 B 样条、Bezier 样条等方法, 已有大量文章介绍, 本文着重讨论的是累加弦长方法.

在直角坐标系中有 $n + 1$ 个型值点 $P_i(X_i, Y_i, Z_i) (i = 0, 1, \dots, n)$, 相邻两个型值点之间的弦长

$$L_i = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2 + (Z_i - Z_{i-1})^2} \quad (1)$$

构造三次参数样条函数, 取参数 t 的间隔为 $0 < t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t_n$, 其中

$$t_i = \sum_{j=1}^i L_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

定义 t 为每个节点的累加弦长, 对每个节点 t_i 分别以 X_i, Y_i 和 $Z_i (i = 0, 1, \dots, n)$ 为插值数据, 构造 $P(t) = \{X(t), Y(t), Z(t)\}$ 参数样条, 即为累加弦长三次参数样条曲线.

三次参数样条构造如下(以 $X(t)$ 为例)^[5]

(1) 插值条件: $X(t_i) = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$

(2) 连续条件: 在分点 t_i 处具有连续的一阶导数和二阶导数连续, 即

$$\begin{aligned} \dot{X}(t_i - 0) &= \dot{X}(t_i + 0) \\ \ddot{X}(t_i - 0) &= \ddot{X}(t_i + 0) \end{aligned} \quad (4)$$

(3) 边界条件: $\ddot{X}(t_1)\ddot{X}(t_n)$, 当不能确定时, 可先取为 0.

在每个子区间 $[t_i, t_{i+1}]$ 上, 由牛顿插值公式有:

$$X(t) = x(t_i) + (t - t_i)X(t_i, t_{i+1}) + (t - t_i)(t - t_{i+1})X(t, t_i, t_{i+1}) \quad (5)$$

式中, $X(t_i, t_{i+1}) = [X(t_{i+1}) - X(t_i)] / (t_{i+1} - t_i)$

$$X(t, t_i, t_{i+1}) = [\ddot{X}(t) + \ddot{X}(t_i) + \ddot{X}(t_{i+1})] / 6 \quad (6)$$

因 $X(t)$ 是三次多项式, $\ddot{X}(t)$ 在 $[t_i, t_{i+1}]$ 上是一次多项式, 故

$$\ddot{X}(t) = \ddot{X}(t_i) + (t - t_i)\ddot{X}(t_i, t_{i+1}) \tag{7}$$

对式(5)求导,则有

$$\dot{X}(t) = X(t_i, t_{i+1}) + (2t - t_i - t_{i+1})\dot{X}(t, t_i, t_{i+1}) + (t - t_i)(t - t_{i+1})\ddot{X}(t_i, t_{i+1}) \tag{8}$$

利用连续条件,可得 $\dot{X}(t_i)$, 其中 $i = 2, 3 \dots n - 1$. 满足三对角线性方程组:

$$(t_i - t_{i-1})\ddot{X}(t_{i-1}) + 2(t_{i+1} - t_{i-1})\ddot{X}(t_i) + (t_{i+1} - t_i)\ddot{X}(t_{i+1}) = 6[X(t_i, t_{i+1}) - X(t_{i-1}, t_i)] \quad (i = 2, 3, \dots, n - 1) \tag{9}$$

利用边界条件即可全部求解. 由于弦长 t_i 作为参数轴上的节点, 其 $ABS(\Delta X_i / \Delta t_i)$, $ABS(\Delta Y_i / \Delta t_i)$, $ABS(\Delta Z_i / \Delta t_i)$ 都小于 1, 所以每个分量所属的 $[X, t]$, $[Y, t]$, $[Z, t]$ 平面上都能保证小挠度. 实践证明累加弦长三次参数样条, 对于解决大挠度、多值曲线具有很好的效果, 同时, 由于其只与相邻的三个节点有关, 所以同样能保证其对曲线局部特性的描述. 当将三次样条插值函数变成平滑函数或曲线拟合函数时, 对型线的三向光顺, 包括相当复杂的船型轮廓线, 如球艏、球艉、折角线、涡艉和双艉等均具有较好的效果.

3 型线建模系统的建立及应用示例

利用上述几何造型模型与曲线数学模型, 依据数据库理论进行船型系统软件建模工作. 作为船舶设计与制造这样一个复杂的过程, 并非个人就能够简单迅速地完成, 它是由多人协同工作, 齐心协力才能完成. 因此, 如何在设计过程中, 尽可能使数据信息无矛盾冲突、减少重复工作, 使工作并行地快速高质量地完成, 是现代船舶 CAD/CAM 所面临的主要问题之一. 在船舶 CAD/CAM 中, 采用分布式计算方法, 应用 Server/Client 结构的数据存储与管理方式, 将数据与程序分开, 有效合理地进行系统管理与进程调度, 每一个程序模块均可独立地使用、管理和升级, 同时其数据的管理又相对独立, 有效地保护系统的数据资源. 在某个模块运行中对系统的数据进行修改时, 系统自动通知相关模块或相关模块管理人员, 使相关模块能够及时进行处理, 使整个系统各司其职, 协同完成系统的各项任务. 其工作原理如图 4.

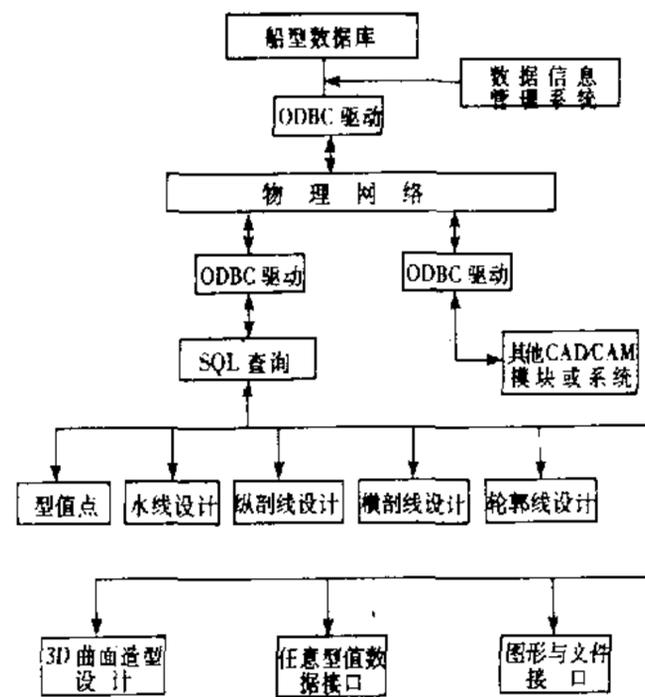


图 4 船舶型线建模系统框图

依据上述理论, 在局域网络 Windows - NT 上建立了一个计算机辅助船型建模系统, 船型数据采用 SQL Server 数据库, 以开放式数据库互连(ODBC)技术^[5]作为通用数据接口, 各功能模块无论是在微机上, 还是在工作站上, 只要遵循 ODBC 规范, 并获得使用权后, 均可自由地接入系统, 具备了良好的伸缩性和扩展性. 船型建模系统分为三级: 第一级为数据库管理与系统调度系统, 采用 SQL Server^[6]进行, 保证系统数据的稳定可靠; 第二级为型线的二维输入与编辑, 鉴

4 结 论

通过对船体型线建模方法与体系的研究,建立了基于几何造型理论的三维船体型线系统.实践表明:采用上述数据结构建立的数学模型能够有效地表示船体的各种特征;采用开放性数据库互连技术(ODBC),使数据与程序相对独立,有利于程序与数据的管理;采用 Server/Client 结构形式能够在计算机网络中建立一种相互协同、分工合作的工作关系,对减少数据冲突、提高效率将起着重要的作用.

在曲面描述方面,采用了累加弦长方法,对曲面进行描述,能够达到二阶导数光滑连接的目的,同时具有很好的局部性,是描述船体的较好的方法.

船型建模,是建立船舶 CAD/CAM 系统的基础,采用这种方法建立的线型模型很容易扩展成为整个船舶 CAD/CAM 集成系统,从而为开发船舶 CAD/CAM 集成系统打下了坚实的基础.

参 考 文 献

- 1 孙家广,陈玉健,辜凯宁.计算机辅助几何造型技术.北京:清华大学出版社,1990
- 2 Hees M V. Towards practical knowledge - based design modelling. PRAD, 1995, 2: 1300 ~ 1312
- 3 Lee K Y, Suh S W, Shin D W et al. Development of a computerized ship design system. PRAD, 1995, 2: 1337 ~ 1349
- 4 周超骏. 计算机辅助船体线型设计. 上海: 上海交通大学出版社, 1992
- 5 Que Corporation. ODBC 2.0 使用大全. 北京: 清华大学出版社, 1995
- 6 Microsoft. Microsoft SQL Server for Windows NT 技术手册. 北京: 学苑出版社, 1995
- 7 上海机械学院. FORTRAN 应用程序库. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1984
- 8 Catley D, Koch T. The impact of new technologies on computer - aided ship design. PRAD, 1995, 2: 1324 ~ 1337

4 结 论

通过对船体型线建模方法与体系的研究,建立了基于几何造型理论的三维船体型线系统.实践表明:采用上述数据结构建立的数学模型能够有效地表示船体的各种特征;采用开放性数据库互连技术(ODBC),使数据与程序相对独立,有利于程序与数据的管理;采用 Server/Client 结构形式能够在计算机网络中建立一种相互协同、分工合作的工作关系,对减少数据冲突、提高效率将起着重要的作用.

在曲面描述方面,采用了累加弦长方法,对曲面进行描述,能够达到二阶导数光滑连接的目的,同时具有很好的局部性,是描述船体的较好的方法.

船型建模,是建立船舶 CAD/CAM 系统的基础,采用这种方法建立的线型模型很容易扩展成为整个船舶 CAD/CAM 集成系统,从而为开发船舶 CAD/CAM 集成系统打下了坚实的基础.

参 考 文 献

- 1 孙家广,陈玉健,辜凯宁.计算机辅助几何造型技术.北京:清华大学出版社,1990
- 2 Hees M V. Towards practical knowledge - based design modelling. PRAD, 1995, 2: 1300 ~ 1312
- 3 Lee K Y, Suh S W, Shin D W et al. Development of a computerized ship design system. PRAD, 1995, 2: 1337 ~ 1349
- 4 周超骏. 计算机辅助船体线型设计. 上海: 上海交通大学出版社, 1992
- 5 Que Corporation. ODBC 2.0 使用大全. 北京: 清华大学出版社, 1995
- 6 Microsoft. Microsoft SQL Server for Windows NT 技术手册. 北京: 学苑出版社, 1995
- 7 上海机械学院. FORTRAN 应用程序库. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1984
- 8 Catley D, Koch T. The impact of new technologies on computer - aided ship design. PRAD, 1995, 2: 1324 ~ 1337