

数字化船型设计方法

王 栋, 荣焕宗

(中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海 200011)

摘 要: 从数字化设计观点阐述了船型设计方法, 包括船体线框模型和船体曲面模型设计方法. 其中, 船体曲面模型设计方法又可以分为船体直接曲面模型和船体线框曲面模型设计方法. 分析了各种方法的优缺点.

关键词: 船舶; 船型设计方法; 数字化建模; 几何模型; 线框模型; 曲面模型

中图分类号: U662.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8354(2008)02-0013-03

Digital design method for ship form

WANG Dong, RONG Huan-zhong

(MARIC-Marine Design & Research Institute of China, Shanghai 200011, China)

Abstract: The design methods for ship form are described from the viewpoint of digital design. They include the wire frame and surface model methods. Thereinto, the design method of the surface model can be divided into the design method of the direct surface model and wire frame surface model. The merits and defects of different methods are analyzed.

Key words: ship; design method for ship form; digital modeling; geometric model; wire frame model; surface model

0 前言

舰船数字化设计的核心是数字化建模, 它将设计师头脑中构思的舰船模型转换成用图形、符号或算法表示的形式, 最后形成计算机内部数据模型. 目前主要的数字化建模方法有几何建模、特征建模、推理智能建模、面向装配建模和集成建模等. 对船型设计来说, 数字化建模主要是指建立船体几何模型. 几何模型经历了线框模型(1960年代中期)、曲面模型(1970年代中期)和实体模型(1970年代后期)等阶段, 现在它已成为 CAD/CAM 系统的核心模块之一^[1].

NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)指节点矢量有非均匀的间距, 采用有理分式和具有局部支撑的基函数, 称为非均匀有理 B 样条. NURBS 曲线曲面理论和方法已相当成熟, 用计算机实现了算法, 并将它引入实体模型的边界表示法中, 使自由曲面模型和实体模型两种建模方法真正统一, 成为自由曲面实体模型. 为了利用线框、曲面和实体模型的各自特点, 现在大多数 CAD/CAM 系统都包括这三种几何模型.

几何外形设计可以分成两类^[2]: 第一类原来就没有描述外形的型值点, 只要设计出的外形满足一定的性能和美观要求, 例如汽车、船舶等外形设计, 自由度比较大, 这类外形设计称为自由型曲线曲面设计; 第二类已有描述外形的型值点, 它们由测量或计算得到, 如船体放样, 要用数学方法表示该外形. NURBS 曲线曲面的用控制多边形或控制网格来控制外形的方法, 特别适用于第一类外形设计, 易于生成满足一定的性能要求、光顺和美观的几何外形. 第二类外形设计, 也可用 NURBS 曲线曲面进行设计, 既可用点点通过的插值方法表示它们, 此时必须根据外形的型值点用反算算法求出控制多边形/控制网格, 也可用拟合方法逼近它们, 因而比较复杂.

1 船型设计方法

创建船体几何模型是舰船设计的核心, 它是舰船水动力计算、总布置、结构、轮机、舾装和电气等的设计基础, 船体几何模型的质量直接影响舰船设计的质量.

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-07-09

作者简介: 王栋(1980-), 男, 工程师, 主要从事船舶 CAD 研究.

传统的船型设计方法有母型船改造法、系列船型法和参数法等^[3]。

数字化船型设计方法有船体线框模型设计方法和船体曲面模型设计方法等。其中,船体曲面模型设计方法是以曲面模型为核心混合线框模型和实体模型的设计方法。船型设计属于几何外形设计,它又可以分为两类设计方法。对应于第一类是船体直接曲面模型设计方法,对应于第二类是船体线框曲面模型设计方法。

2 船体线框模型设计方法

船体线框模型设计方法是以 NURBS 曲线为基础,用 NURBS 曲线表示船体三族剖面线:横剖面线、水线、纵剖面线,以及船体边界曲线:平边线、平底线、首尾轮廓线、折角线、艤封板线和首切线等。利用 NURBS 曲线的特点和曲率图,修改和光顺这些曲线,生成三向光顺的船体线框模型。

用船体线框模型设计方法设计船型的步骤如下:

1) 依照设计船的船型参数,通过传统的母型船改造法、系列船型法或参数法,生成设计船的船型型值。

2) 根据船体型值生成用 NURBS 曲线表示的船体边界曲线:利用曲率图,检查曲线的光顺性,交互修改或自动光顺这些曲线,直至曲线光顺为止。

3) 以上述曲线为边界,根据船体型值点生成用 NURBS 曲线表示的横剖面线和水线,反复交互修改这两族曲线,直至它们光顺。然后再根据船体型值点生成用 NURBS 曲线表示的纵剖面线,反复交互修改这三族剖面线,直至它们都光顺,即三向光顺为止。也可用自动船体数学放样方法^[4],对船体线框模型进行三向光顺。

4) 根据三向光顺的横剖面线、水线和纵剖面线,生成型值表、船体型线图 and 肋骨型线图等。

这类船型设计软件有:中国船舶及海洋工程设计研究院 NUBLINE、SLINE、上海造船工艺研究所 HCS 和武汉理工大学的长江大中型客船 CAD 系统等。

3 船体曲面模型设计方法

船体曲面模型设计方法是以曲面模型为核心混合线框模型和实体模型的数字化船型设计方法。它可以分为两类:船体直接曲面模型和船体线框曲面模型设计方法。

3.1 船体直接曲面模型设计方法

船体直接曲面模型设计方法以 NURBS 曲面为基础,不必先创建船体线框模型,直接生成由多块

NURBS 曲面片光滑拼接成的船体曲面模型。一般也包括母型船改造法和参数法生成船型。

用该方法直接生成 NURBS 曲面为船体曲面模型,只需要很少的曲面片,往往只要几块曲面片就可以很好表示主船体曲面,它可以包含平边线、平底线、折角线、切点线、球首、球尾和艤封板等特征。图 1 给出的例子是由 4 个曲面片组成的船体曲面,即主船体、前舷墙、后舷墙和艤封板。图 2 给出了该船体曲面的控制网格。1 块曲面片就能很好表示如此复杂的主船体曲面,应归功于 NURBS 曲线曲面的优良特性。



图 1 船体曲面

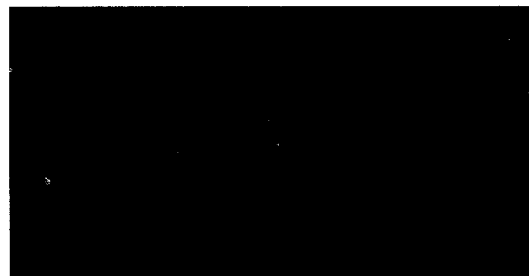


图 2 船体曲面的控制网格

用船体直接曲面模型设计方法设计船型的步骤:

1) 根据设计船的船型,选取与此相似的船体曲面模板,主要是曲面拓扑相似,即是否有平边线、平底线、折角线、切点线、球首、球尾和艤封板等。

2) 依照设计船的船型参数,通过母型船改造法,用船体曲面模板生成初步的设计船的船体 NURBS 曲面及其控制网格。

3) 利用检查曲面光顺性的工具,渲染、高斯曲率云图或等照度线,检查曲面的光顺性,交互修改或自动光顺船体曲面的控制网格,直至船体曲面光顺。

4) 必要时,再用母型船改造法变换船体曲面,并交互修改船体曲面的控制网格,直至船体曲面光顺。

5) 根据光顺的船体 NURBS 曲面,生成型值表、船体型线图和肋骨型线图等。

6) 如果给定船体型值,可利用船体型值先在不同

的横剖面上生成标记点,然后交互修改船体曲面的控制网格,使其生成的横剖面尽量接近这些标记点。

7) 如果曲面模板与设计船体曲面的拓扑不完全相似,可利用 NURBS 的重节点和重顶点技术生成诸如平底线、平底线、折角线、切点线、球首、球尾和艉封板等特征。

这类船型设计软件有:美国 FasiShip、澳大利亚 Maxsurf 和加拿大 AutoShip 等,瑞典 Tribon M3 也有此功能。它们的优点是,直接生成 NURBS 曲面为船体曲面模型,只需要很少的曲面片。NURBS 曲面理论上保证了横剖面、水线和纵剖面三向光顺,生成的 NURBS 船体曲面甚至不需要放样,可直接用于生产。缺点是,不符合传统的设计船舶型线的习惯,船舶设计师上手慢,要求设计师具有较多的 NURBS 曲线曲面知识和技巧,需要较强的 NURBS 方面的培训。但是,设计师一旦掌握了这些知识和技巧后,就能较快地生成光顺的船体 NURBS 曲面,一般比用船体线框曲面模型设计方法的速度快。

这类船型设计软件适用于新设计的船,因为新设计的船没有船体型值约束,设计师有较多的自由发挥的空间;不适用于船厂的已有船体型值的放样。

3.2 船体线框曲面模型设计方法

船体线框曲面模型设计方法以 NURBS 曲线为基础,先创建船体线框模型,然后用 NURBS 曲面片覆盖此线框模型,最后生成船体曲面模型。一般也包括母型船改造法和参数法。可以采用 B 样条插值曲面、用 NURBS 曲面表示的蒙皮曲面和孔斯 (Coons) 曲面方法覆盖线框模型,生成 NURBS 曲面片。瑞典 Tribon M3 和芬兰 NAPA 都采用双三次孔斯曲面方法覆盖线框模型,生成 NURBS 曲面片。但是两者是有区别的, NAPA 采用双三次 Bezier 孔斯类曲面片,曲面片的控制网格数是 4×4 , 不能表示较大的曲面片; Tribon M3 采用双三次 B 样条孔斯类曲面片,曲面片的控制网格数可以大于 4×4 , 如 10×10 等, 以表示较大的曲面片, 这样可用较少的曲面片表示船体曲面, 便于控制它。

以 Tribon M3 为例介绍用船体线框曲面模型设计方法设计船型的步骤如下:

- 1) 依照设计船的船型参数,通过母型船改造法,生成设计船的船型的型值。
- 2) 根据船体型值点,用第 2 节的船体线框模型设计方法,创建船体线框模型。生成的船体边界曲线和三族剖面线必须光顺,否则用曲面覆盖时会产生缝隙。
- 3) 创建曲面片边界网格,作为各个曲面片的边界。
- 4) 按曲面片边界网格逐个计算曲面片的控制网

格,最后,得到整个船体曲面的控制网格。

5) 利用检查曲面光顺性的工具:渲染、高斯曲率云图或等照度线,检查曲面的光顺性,交互修改或自动光顺船体曲面的控制网格,直至船体曲面光顺。

6) 根据光顺的船体 NURBS 曲面,生成型值表、船体型线图 and 肋骨型线图等。

根据船体线框模型建立的船体边界曲线和三族剖面线,创建曲面片边界网格和配置曲面片,生成各曲面片的边界。为了生成光顺的曲面片,仅利用上述边界线常常是不够的,还需在形状变化大的区域增加 3D 曲线,它们可根据船体线框模型插值得到。

由于船型的多样性,不同的船型有不同的曲面片边界网格/曲面片细分方案,根据其特征(如有平底线、折角线、球首、球尾、双尾鳍和方尾等)仔细划分成几块至几十块曲面片。曲面片之间的连接应保证一定的光顺性,如位置、切线或曲率连续。在保证准确表示船体曲面的前提下,尽量划分成较少的曲面片,便于修改和光顺船体曲面。在切线不连续的地方(切点线)和曲率不连续的地方(折角线),应细分曲面片,使 1 块曲面片内部切线/曲率连续。

这里给出了两个曲面片边界网格的例子。图 3 给出了由平底线、横剖面线、折角线、首轮廓线和 3D 曲线组成的船舶前体曲面片边界网格,图 4 给出了由平底线、横剖面线、水线、尾轮廓线、艉封板线和 3D 曲线组成的船舶后体曲面片边界网格。

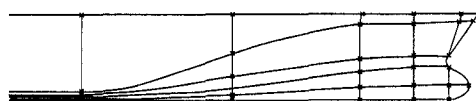


图 3 船舶前体曲面片边界

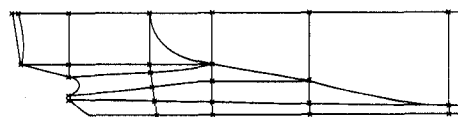


图 4 船舶后体曲面片边界

这类船型设计软件有:瑞典 Tribon M3、芬兰 NAPA 和上海船舶运输科学研究所 SDICAD 等。

5 结论

舰船数字化设计的核心是数字化建模,它的基础是数字化船型设计。数字化船型设计方法包括船体线框模型和船体曲面模型设计方法。其中,船体曲面模

(下转第 12 页)

为水动力位置倒数; T_r 为水动力旋转倒数; Y_r 为控制倒数; λ_{11} 为船沿 x 方向平移运动时在 x 方向的附加水质量; m 为船体质量; u_0 为航速。

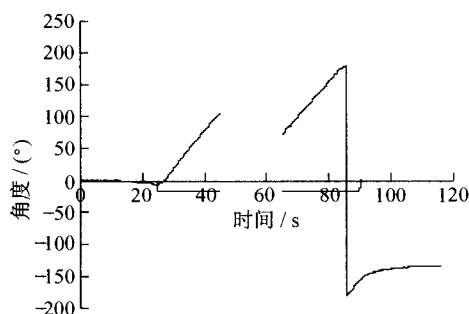


图7 干坞左舵 $\pm 15^\circ$ 航向稳定性试验

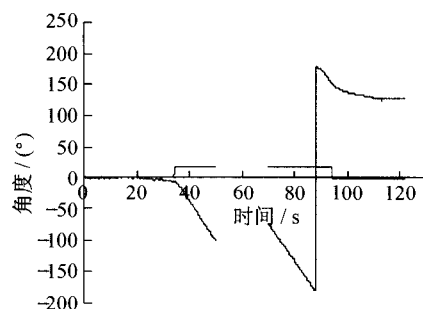


图8 干坞右舵 $\pm 15^\circ$ 航向稳定性试验

由式(4)~式(8)可知,对于直线稳定的船随着时间的增长,角速度将趋于定值,如把 $t \rightarrow \infty$ 时的 r 记作 r_c ,则有 $r_c = K\delta$ 。根据稳定性横准数判据,当 $C > 0$ 时,船具有直线稳定性,且 C 越大稳定性越好;当

$C < 0$ 时,船不具有直线稳定性。对于稳定性横准数 C ,其第一项总是正的,第二项中正负不定但数值很小,而 $(m + \lambda_{11})u_0$ 项是数值很大的正数,故 $[(m + \lambda_{11})u_0 - Y_r]$ 项总是正的,而 N_v 一般为负值,因而在湿坞时船发生尾纵倾,尾部侧投影面积增大,从而使得 $|N_r|$ 增大, $|Y_v|$ 增大, $|N_v|$ 减小,位置力臂 l_v 减小,阻尼力臂 l_r 增大,从而使得 C 增大,航向稳定性提高,所以湿坞状态下的航向稳定性更好,没必要进行湿坞状态下的航向稳定性试验^[6]。

4 试验总结

由以上的对比试验可知,湿坞状态下该船的航向稳定性和回转性均比干坞状态下有所提高而且转首性能也较好,满足船舶操纵性规范的要求,由此可以认为湿坞对该型船的操纵性能没有不利的影响。

参考文献:

- [1] 郝亚平. 船舶性能试验技术[M]. 北京:国防工业出版社,1988.
- [2] 盛振邦,刘应中. 船舶原理[M]. 上海:上海交通大学出版社,2004.
- [3] 吴秀恒. 船舶操纵性与耐波性[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [4] 野本謙作. 船の操縦性[J]. 日本:造船协会誌,1964,第423号:132-133.
- [5] 李殿璞. 船舶运动与建模[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1999.
- [6] 范尚雍. 船舶操纵性[M]. 武汉:湖北省科学技术出版社,2004.

(上接第15页)

型设计方法又可以分船体直接曲面模型和船体线框曲面模型设计方法。

1) 船体线框模型设计方法符合传统的设计船舶型线的思想和习惯,船舶设计师上手快;缺点是三向光顺费时费力,不能精确定义船体上三族曲线和特征线外的点和面,已不适合数字化建模的要求。

2) 船体线框曲面模型设计方法先设计船体线框模型,符合传统的设计船舶型线的习惯,船舶设计师上手快;缺点是,三向光顺和用 NURBS 曲面覆盖线框模型费时费力。

3) 船体直接曲面模型设计方法可直接生成光顺的 NURBS 曲面为船体曲面模型,只需要很少的曲面片。缺点是不符合传统的设计船舶型线的习惯,船舶

设计师上手慢,要求设计师具有较多的 NURBS 曲面知识和技巧,需要较强的 NURBS 方面的培训。但是,设计师一旦掌握了这些知识和技巧后,就能较快地生成光顺的船体 NURBS 曲面,一般比用船体线框曲面模型设计方法的速度快。

参考文献:

- [1] Lee, Kunwoo. CAD/CAM/CAE 系统原理[J]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [2] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [3] 曾隆杰. 船舶 CAD[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [4] 董光昌等. 船体数学放样一回弹法[M]. 北京:科学出版社,1978.