

水弹性分析前处理系统的研究与设计

顾耀林 吴龙周 (中国船舶科学研究中心 无锡 214082)

摘要:本文介绍的前处理系统包括三维湿表面网格的自动生成和图形用户界面两部分。它不但可完成型值表各站型线的等弧长插值拟合,而且还能够在沿船长方向的任意位置上进行站的加密和插值,从而自动生成三维湿表面网格。而且设计了一套完整的图形用户界面。此界面用 Unix 平台的 Motif、C 和 GL 编制,友好灵活,方便易用。

关键词:三维插值 湿表面网格 图形用户界面 计算机图形学

船舶力学的三维水弹性力学分析中,必须对船体的水下湿表面部分进行网格划分。这项工作以前一直由人工来完成,耗时多、精度不高且灵活性差。改变一种网格划分方案必然导致成倍工作量的产生。所以,三维水弹性力学的计算早就期待着计算机能完成三维湿表面网格的自动生成。本项研究就是基于这一需求而开始的。船体湿表面网格自动生成的需求归结起来是二点,一是沿每一条型值线的等弧长插值,二是沿船长方向站的加密插值,合起来就构成了船体的三维网格生成,其要点和难点也全在于此处。本文将重点介绍插值算法的选择依据、插值实现的技巧和湿表面网格自动生成算法设计的关键技术及其数据结构。同时,为了真正做到把控制交给用户的界面设计原则,本文还将简要介绍插值交互输入界面,三维网格动画显示界面和网格数据浏览界面的设计及实现原理。

一、型值线的等弧长分割

船舶型值表是描述船体外形的一组表格数据。它同时又是研究船舶力学性能的重要依据。船舶型值表中每一站的数据构成了一条船体外形的二维曲线,即型值线。三维水弹性力学计算对型线的要求是进行等弧长分割,这样可以保证相邻湿表面网格的面积基本相等。

一条型线的水下部分,往往只有有限个结点组成(一般小于 20),光靠原有的数据点要完成等弧长划分几乎是不可能的。所以必须对型线进行插值。插值的基本要求是在保持原有型线外形不变的前提下将数据点加密。我们在众多优秀的插值算法中选用阿克玛(Akima)方法,就是因为用阿克玛算法产生的曲线不仅通过原有的数据点,而且很光滑,完全符合等弧长分割的要求。

Akima 的方法是优秀的,不幸的是插值中常常会出现不尽如人意的地方,少数插值点的函数值无法计算出来。经仔细分析型线的特征后发现,问题原来出在近水面处的型线段上,特别是位于船艏部位的型线,近水面处几乎与 Y 轴平行。这就使得区间 $[x_k, x_{k+1}]$ 上端点处的导数 g_k 和 g_{k+1} 无法求出(见图 1)。症结查出,只须在调用 Akima 前将型线的 X、Y 坐标值互换,插值后再再次交换,就能得到满意的结果了。每条型线的插值点个数不是均等的,而是由程序自动生成的。一般在 300~400 点之间,可以满足等弧长均分的需求。型线的等弧长分割算法可简单表示如下:

- S1: 交互输入等弧长分段数
- S2: 型线第一结点 x 坐标值为零时 goto S4
- S3: 新增结点 $(0, y_0)$, 并在区间 $[0, x_0]$ 上插值细化
- S4: 结点坐标互换后 Akima 插值,插值后结点坐标再互换
- S5: 计算总弧长及分段弧长
- S6: 弧长等分处理计算



图 1 船体中部型线导致 Akima 算法失效

二、加密站和三维网格的自动生成

沿船长方向的站的加密,实际是一个三维插值问题。这里有二种方法可供选择。一是参照原型值表中各站水线的结点值,利用 Akima 插出对应水线上的结点值,形成新的加密站型值数据,然后再用上面介绍的型线插值等弧长分割的方法处理。二是利用已经等弧长均分后的各型线的新结点,进行沿船长方向任意位置上的 Akima 插值,求出加密站的对应点的函数值。事实证明,上述两种方法最后的效果是一样的,均可得到符合船体曲面形状的加密站型值线,我们实际使用的是第二种方法。

以单对称船舶(即船体左右两半部分对称的船舶)为例,整船湿表面网格的自动生成分三个阶段完成。第一阶段是半船的网格生成(不含艏艉),第二阶段是艏艉网格的封接及插值,第三阶段是半船网格到全船的镜像映照。

用 ndp 表示结点指针, npp 表示网格面元指针, ncut 表示等弧长分段数, ninst 表示加密站数,则半船的网格自动生成算法可表示如下:

```

ndp = 0;
for(i = 0; i < ninst + 2; i++)
{
    for(j = 0; j <= ncut; j++)
    {
        ndp++;
        记录结点三维坐标信息;
    }
}

ndp = 0;
npp = 0;
for(i = 0; i < ninst; i++)
{
    for(j = 0; j <= ncut; j++)
    {
        npp++;
        记录网格面元信息;
        ndp++;
    }
}

```

艏艉网格封接及插值的算法要比半船网格的生成复杂得多,它不仅要考虑封接后的网格满足长宽比不得大于3的要求,而且在底部会出现三角形网格,另外新生的结点和网格不允许打乱原有结点和网格的次序。所以必须设计记录封接时新产生的结点和网格的缓冲数据结构,最后一起并入原有的结点序列和网格序列。算法如

下:

沿艏艉站等弧长结点自动生成中轴线结点→依次连结等弧长结点和中轴线结点→按长宽比小于3自动插值分割生成新结点→自动生成并记录封接网格和结点值→扩充原有结点和网格面元

半船网格到全船的镜像映照比较简单,只须将结点的某一维坐标取反,网格数加倍即成,在此不再赘述。

三、前处理系统的图形用户界面

湿表面网格的前处理是在一套标准的 GUI 界面上实现的,此界面用 Motif、C 和 GL 编制,操作简单,使用直观方便。它有四个界面组成,即数据动态输入界面,湿表面网格动态显示界面、湿表面数据浏览界面,和联机帮助界面。本文简要介绍前三个界面。

1. 数据动态输入界面

数据输入界面需输入等弧长分段数,加密站的站数及加密站沿船长方向的坐标值。因输入数据量不大。故适宜于做成可反复输入修改的动态输入界面,有滚动条相辅,上下拉动方便。只要用鼠标点中某一数据位置,即可反复输入修改。因为输入界面实际是网格自动生成算法的主控界面,故全部五个控制按钮均设置在此,这五个按钮的功能分别是接受输入,显示湿表面网格,联机帮助,显示湿表面网格数据,退出,输入界面见图2。

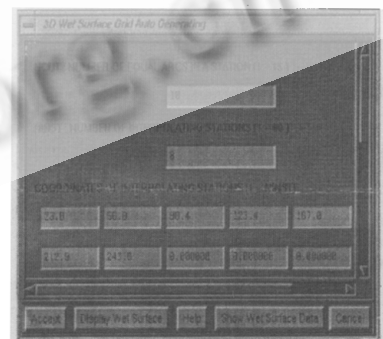


图2 三维网格自动生成输入界面

2. 湿表面网格动态显示界面

本界面用于显示算法自动生成的整船湿表面网格,为了方便用户从各个方向观察网格的形状,特别是底部、艏部和艉部,故设计成可用鼠标控制的平移、缩放、旋转的动态显示界面。获取鼠标位置并能旋转的关键动作由 GL 语句完成。瞬时捕捉到的三维湿表面网格图见图3。

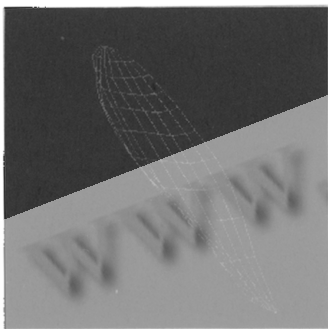


图3 船体湿表面网格图

3. 网格数据的动态浏览界面

自动生成的三维网格数据以文件形式存储, 为了方便用户即时查看, 需将数据以文本形式显示。我们设计

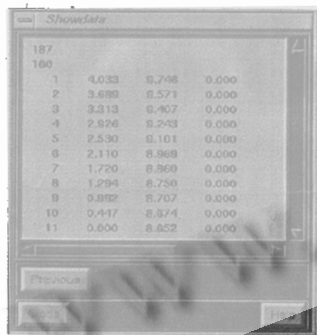


图4 网格数据浏览器

了一个数据动态显示浏览器来实现上述要求。其基本设

计思想是, 读取字符, 处理空格和换行符, 接着显示字符。该浏览器在显示窗内显示的数据格式与数据文件记录的格式完全一致, 用滚动条容易实现对全部网格数据的浏览, 操作方便。浏览界面见图4。

五、结语

水弹性前处理系统在 SGI 工作站的 Unix 平台上实现。不仅以其高效率高精度代替了以前的手工生成方式, 在输入数据结束后, 不到一秒钟就可以完成整船的三维湿表面网格的自动生成, 此其优点之一。

其二, 本系统借助于完善的 GUI 界面, 用户可立即查看三维网格实体和网格数据, 修改输入可得到不同的加密站和弧长分割方案, 并立即得到新方案生成的结点和网格数据。用于多方案计算比较, 实在是太方便了。

其三, 本系统源于二维的型值表, 完成了船体三维插值和网格生成。从而开辟了一条水弹性力学的二维计算和三维计算数据共享的通道, 意义重大。

最后, 本系统完全适用于船体水面以上部分的网格生成, 从此意义上讲, 有推广应用的价值。

参考文献

- [1] Arie Kaufman, "Volume Graphics", IEEE Computer Graphics, July, 1993
- [2] R. A. Drebin, L. Carpenter, "Volume Rendering", Computer Graphics, August, 1988
- [3] OSF/Motif Programmer's Reference
- [4] 徐士良, "C 常用算法程序集", 清华大学出版社, 1997

(来稿时间: 1999年4月)