

# CATIA V5 在船壳曲面设计中的应用

杨小波, 柳存根

(上海交通大学 船舶与海洋工程学院, 上海 200030)

**提 要** 主要研究CATIA V5 软件中曲面设计模块在船壳曲面设计中的应用, 通过使用CATIA V5 软件进行破冰船“雪龙”号船壳曲面的三维建模来检验此软件在船壳设计中的适用性, 同时比较同类型的三维建模软件, 探索船体型线的三向光顺和船壳曲面三维建模的一些方法。

**主题词** 船壳板 曲面 型线光顺 实用程序

## 1 引言

船壳曲面设计是指在概念设计、初步设计和生产设计中, 从线型设计到曲面模型建立的设计过程。设计者一般从线型设计开始生成线框模型, 再将光顺好的线框模型转化为曲面模型, 在这个过程中要求软件不仅要在线框模型设计中有很好的三向光顺和插值功能, 还要比较容易地将线框模型转化为曲面模型。船壳曲面设计过程是一个综合考虑各方面因素, 从而得到满足要求的曲面的过程。一个好的设计软件, 在缩短设计周期、提高设计效率中, 可以起到很重要的作用。由于船壳曲面设计包括从线型模型到曲面模型的生成, 在不断优化设计的过程中, 船壳曲面模型可能会有较多的工程更改, 因此, 作为一个优秀的船壳曲面设计软件, 必须有以下一些功能。

(1) 型线三向光顺。型线的三向光顺, 对一个以型线为基础生成船壳曲面的三维设计工具来说, 是一个基本要求。三向光顺是指, 在船壳曲面设计中, 如果光顺一条曲线如横剖线, 则另一条与之相交的水线或纵剖线, 必须自动改变到通过相同的控制型值点, 这样反复光顺, 直到所有的型线都光顺。

(2) 方便的插值功能。在线型比较复杂的地方, 可以按照设计者的意图很方便地插一些型线, 并且通过改变这些型线的形状, 以控制所生成曲面的形状。这就要求设计软件, 在三维线框模型中有很好的插值和修改功能来控制复杂曲面的生成。

(3) 由型线模型简单准确地生成曲面模型。作

为船壳曲面设计人员, 以往都是在平面上设计型线图, 或者是设计出三维的线框模型, 但是, 这还不能够直观地观察船壳曲面的光顺情况或估计出船壳的性能。另外, 我们由曲面才能方便地得出肋位线信息或曲面上任意一点在空间的坐标。这些都需要我们, 由型线模型很快地生成准确的曲面模型。

(4) 强大方便的修改功能。由于船壳曲面设计是一个不断优化的过程, 在不同的设计阶段可能对船壳曲面的数据进行改动, 或者使用以前的母型船的三维数据进行新船设计。这就要求我们能够很方便地修改模型, 修改过程中软件的交互性要好, 所作每次更改都能立即体现出来, 使设计者可以马上判断更改是否恰当。另外, 我们还要保证设计过程中的更改, 在当前船壳曲面的所有数据中都保持一致, 即软件的关联性要好。

CATIA V5 基于Windows 操作系统上的三维设计软件, 在机械、汽车和航空等行业里应用很广, 在船舶行业应用得还不是很多, 但它也有针对造船的专用模块, 像船体结构、管系、电气和风管设计等, 具有很强的三维造型功能。

本文主要研究, CATIA V5 软件在实现船壳曲面设计时的方便性和对船壳曲面设计的适用性, 重点讨论型线的三向光顺问题和由型线模型怎样转化为曲面模型的问题。同时, 也比较一下同类型软件的特点。

## 2 文件的数据组织形式

在CATIA V5 软件中, 数据是用目录树来组织的。这里的目录树的结构, 跟Windows 资源管理器中目录树的结构形式基本相同, 设计中所作的每个几何元素或几何特征, 都在目录树上自动生成, 这些元素都用与其意义相符的名字来直观地表示。例如, 我们作一个点时, 在目录树的当前文件夹(CATIA 中曲面设计模块中是OpenBody) 里就会自动生成Point1 (Point 后面的数字是根据这个模型中以前作了多少个点来依次往后面编号), 我们也可以改变这

些元素的名字。为了使所设计模型结构清晰, 设计者要管理好目录树: 向目录树中添加文件夹, 再改变文件夹的名字, 以明确所作的每个几何元素的位置, 到时候更改设计时也可以不用在复杂的三维图中去寻找, 可以直接在树上找到所要修改的元素。树上的每个元素, 都和三维模型中一一对应。我们寻找一个元素时, 只需将鼠标放到目录树或三维模型中该元素上, 这时就会发现两者都变红显示。我们修改一个元素时, 可以双击目录树上的该元素, 也可以双击三维模型中的该元素, 这时就会出现定义该元素的对话框, 然后修改对话框中的参数就可以改变该元素。

目录树的结构层次。每一个文件夹就是一个工作对象, 当我们想将设计的东西放到某个文件夹下面时, 我们要将该文件夹定义为当前工作对象, 这时该文件夹名字下面显示一条白线, 以表明在此目录下工作, 这样, 所作的元素就会放到该文件夹下面。这里要注意的是, 如果要将元素在文件夹之间移动, 只需选中所要移动的元素用“改变文件夹”(Change OpenBody)的命令, 就能很方便地完成。

以一个几何元素或特征为基础作另外的几何特征时, 原来的元素或特征会被系统自动隐藏起来。三维模型上只显示新的特征, 但目录树上原来的元素还存在。这样就减少了显示状态三维模型中的数据量, 当然如果需要的话, 我们也可以在模型中显示该元素。

### 3 型线模型的建立

这里涉及具体的建模方法, 下面笔者通过南极科考船“雪龙”号船壳的三维建模实例来探讨一下怎样在 CATIA V5 中建立线框的三维模型。

“雪龙”号船壳三维建模, 是在该船的船壳曲面型线图纸和一张粗略的型值表(在型线图上量得的)的基础上进行的。由于型值表中的数据是粗略的, 所以还要对船壳型线进行光顺。下面是具体建模过程。以  $X$  正方向为船长方向,  $Y$  正方向为船宽方向,  $Z$  正方向为船高方向。只建  $XZ$  平面一边的一半船壳曲面, 然后对称为整艘船壳曲面。“雪龙”号船壳外面还有一些附体, 包括艏部的破冰凸起, 艉部的螺旋桨保护装置。这些可以在建好船壳曲面之后再单独加上。

#### 3.1 建立参考平面读入型值点

参考平面是表明每个站位所在的空间位置, 它们是沿着  $X$  方向按各站之间的距离排列的平面。在各参考平面上面分别作横剖面上的型值点, 然后由

这些点连成横剖线。在 CATIA 中有多种作点的方法, 用在平面上作型值点的方法的好处是, 在光顺型线时只需修改这些点在  $Y$ 、 $Z$  方向上的坐标即可。

在参考平面上作型值点, 可以一个点一个点地输入, 但这样做太麻烦, 笔者是通过 CATIA 中的“宏”来作点的。首先, 我们可以通过 CATIA 中的 Micro 命令栏中 Start Recording 打开, 随后在一个平面上作一个点, 接着就 Stop Recording, 这时可以查看作这个点的宏命令, 是用简单的 VBScript 语句写成的。然后在这些语句上作一些加工, 如加入读取 Excel 表的语句, 建立循环语句, 来使宏命令执行在不同的参考面上重复作点的操作。这样, 我们就在几分钟之内把所有的型值点作好了。作好的“宏”除了可以直接运行之外, 还可以化成界面上的一个命令按钮, 以方便使用。

#### 3.2 作出横剖线水线纵剖线和折角线

作横剖线时要注意一些特殊线如平边线、平底线。艏部和艉部在没有折角形状的情况下一般都用一根样条曲线(在 CATIA 中为 Spline 线)直接连起来。船体中部的横剖线一般由三根直线和一根样条曲线组成, 从上到下的顺序是, 舷墙顶线上的点到折角线上的点是一根直线, 折角线到平边线之间又是一根直线, 接着下面是一根样条曲线, 样条曲线下面是平底线, Spline 线与和它相连的两根直线都是相切的关系。这里要注意的是, 折角线到平边线之间的直线和样条曲线相切点的位置, 这个特殊点既要使平边线光顺(所有这些切点连起来的曲线就是平边线), 又要使直线到样条曲线的曲率是光顺过渡, 要不然作出来的曲面就会不光顺。所以说, 确定各个站位上的平边线上点的位置, 是做好船体中部曲面的关键。调整直线与样条曲线切点位置时, 我们既要满足曲率的光顺过渡, 还要保证这些切点连成的平边线是光顺的。水线一般直接用样条曲线连起即可。纵剖线如果和船底有交线的, 要分艏艉两段 Spline 线和中间一段直线光顺连接。

#### 3.3 线的三向光顺

笔者进行光顺的过程是, 先光顺横剖线, 再光顺水线, 最后来检验纵剖线是否光顺。由于 CATIA 有方便的三维显示功能, 因而如果需要, 我们可以把相关线的曲率都显示出来。当在光顺横剖线中, 想要调整一个点的位置时, 我们可以同时观察通过这个点的其他几条线的曲率变化情况, 看看它们是变光顺了还是变得更加扭曲了, 从而达到线的三向光顺的

目的。

光顺曲线之前,我们先用CATIA中的显示曲线曲率的命令来显示我们想要调整的线的曲率,然后看看哪些点需要进行调整。调整点之前,要把与这个点相连的线的曲率都显示出来,综合考虑调整这个点对光顺与之相连的型线的贡献。由于点的坐标被调整了,所有通过它的曲线的曲率都会及时更新,我们可以在调整点时多用Preview功能来查看作该改动时各条曲线的光顺情况。如图1所示,同时显示三条型线的曲率图,光顺水线时,可以看到该点的改变对横剖线的影响。在光顺曲线时,我们最好在不同的投影面上观察,需要怎样移动型值点才更为有效。比如我们在光顺横剖线时,就尽量在横剖面上观察,这个规则对于光顺空间中的折角线和平边线就更为重要。型线光顺的好坏直接关系到曲面质量。



光顺水线时显示对横剖线的影响

## 4 曲面模型的生成与修改

在不同的设计阶段对生成曲面的精度要求不一样,例如在概念设计中,要求设计者能较快地给出船壳的大概形状,这时可以作几条大概的剖面线作为控制线,船体轮廓线作为边界线,直接用自由生成曲面功能生成船壳曲面。这里主要探讨详细设计中船壳曲面的生成。

### 4.1 在光顺好的型线模型的基础上生成曲面模型

在CATIA中由线生成曲面的方法有很多。在

这里,由于我们有横剖面线,还有横剖线的边界线(如舷墙顶线、折角线、平边线等),就可以用Loft命令来控制生成的曲面是以这些线为边界线(Guide线),并且精确通过这些横剖面。使用Loft命令要注意控制线中剖面线(Sections)的方向一致,并且都要与Guide线有交点。如果两个Loft曲面公用同一条Section线且Guide线变化趋势一样时,要注意两个曲面相切的定义,避免出现折痕。另外,在Loft之后剩下的一些只有周围控制线的小块平面用Fill命令来生成。使用Fill命令时要注意使Fill的几条边界与周围的曲面相切过渡,这样来保证生成的曲面跟周围的曲面是光顺过渡的曲面。

在船艙部曲率变化比较大的地方,要从型线图上量值来插出几条控制线,依然要先光顺这些控制线之后再生成面。在船壳下面有螺旋桨保护装置等一些附体,我们可以把它们与船体曲面分开来做,这些附体可以做成与船壳相交的独立曲面,然后再与船壳作变参数的倒角来光顺连接。

### 4.2 船壳曲面的检验

就像曲线可以由曲率图来检验光顺的好坏一样,曲面光顺的好坏也是可以通过斑马线等工具很方便地检测出不光顺的地方。造成曲面不光顺的原因主要有两个方面:一是线型没有光顺好,如直线与曲线虽然是相切连续,但曲率变化太大,会引起曲面出现凸凹现象;另一个原因就是,生成的曲面之间没有光顺过渡。所以,除了直接修改曲面之外,还需要返回去光顺型线,这时生成曲面会根据新型线自动更新。

### 4.3 船壳曲面的修改

在生成所有的曲面之后,如果还有局部地方出现棱角,这时还可以充分利用CATIA中的曲面修改功能。在有棱角的地方,我们可以把带有棱角线的两边曲面连接成为一块大面,然后在棱角线两边分别用两个参考平面(或棱角线的平行线)把这块大面截断(Split)成两块面,中间有棱角线的那部分曲面就不要了,再由这两块Split面通过Blend(or Fill)命令来连接起来。Blend(or Fill)命令中有保证曲面光顺连接的选项,可以保证曲面的光顺连接。对于凸凹不平的小块曲面,也可以用这种方法来修改,只是需要用多个参考面来截取不光顺的曲面,然后多用Fill命令来生成新曲面替换原来小块不光顺曲面。

### 4.4 三维曲面的作用

由于设计好的三维曲面数据非常全面,我们可

以得到船壳上任意一点的型值, 任意一个位置上的样条曲线。由此笔者认为, 船的外板的加工, 会随着三维软件在船壳曲面设计中的应用而更多地运用数控加工工具, 使设计好的数据直接调入到数控弯板机中, 从而减少实际生产中的放样劳动。

## 5 几种同类型软件的比较

(1) Maxsurf 软件。现在国内经常用的船壳三维设计软件还有 Maxsurf 软件, 这是由澳大利亚 Information Design Systems 公司设计的。它的自由造型功能很强大, 可以很方便地把船壳的大致形状作出来。Maxsurf 模块名是该软件的核心部分。Maxsurf 模块通过一个或多个三维 NURBS 曲面进行三维船体建模, 采用实时交互式控制法, 运用多种方法对船体曲面线型进行修改, 或从数据输入框直接输入数值进行修改。Maxsurf 模块允许运用任意多个曲面建模, 这对曲率变化较大的曲面, 一般要用不同的曲面拼成, 特别是有折角线的曲面要在折角线处分成两个曲面来作。为了精确控制曲面, 我们首先输入型值点, 插入控制线使这些控制线尽量接近输入的型值点, 来控制生成曲面的形状。Maxsurf 的优点是使用直观、方便, 设计出来的船壳的光顺性较好, 它的展开外板的功能在实际生产中很方便下料。但它也有一些需要改进的地方, 如设计出来的船壳曲面与给出的型值点有一定的偏差, 不能精确地通过所有的型值点; 另外, 作曲面的倒角不是很方便等。

(2) Tribon 软件。这是国内用得比较多的船舶设计软件, 它的三维船壳建模的主要特点是先光顺型线, 定义折角线、平边线等特殊线, 再自动生成曲面。它的优点在于, 光顺型线时可以在随意位置插值, 如可以在不同水线高度上插出水线来光顺该水线; 另外, 它在生成船舶曲面时考虑了船舶曲面的特征, 可以自动生成曲面。它的三向光顺功能还有待加强, 例如我们在光顺水线时, 只能在俯视图上观察水线的光顺性, 不知道横剖线是否变得更为光顺, 因而还要再回到横剖面上光顺横剖线, 需要这样反复几次才能光顺好船壳型线。

## 6 结束语

虽然 CATIA 曲面设计系统提供了强大的曲面设计功能, 但是该系统只是一个方便的设计工具, 要在船舶三维曲面设计中发挥其应有的作用还需要设计人员对各种船舶型线的特点和特殊位置的曲面形状十分了解。要设计出符合要求的船壳曲面, 与设计师个人的设计经验, 以及对计算机辅助线型光顺和曲面生成技巧的熟悉程度, 都有很重要的关系。由于 CATIA 不是专用船舶设计软件, 在计算方形系数、破舱稳性等船型性能方面的参数, 也不是很方便, 因此在船舶初步设计中应用不是很多。但由于它较强的三维造型功能, 再加上一些船舶结构、管系等方面的专业模块的使用, 使它在船舶生产设计、施工设计中有一定的优势。

[上接第 25 页]

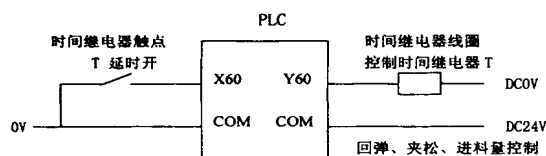


图 2 时间继电器与 PLC 的连接

合, 用 X60 控制需进行的动作, 等到设定的时间  $T$  后, 触点 X60 断开, 动作完成。因此, 只需调节外部时间继电器的设置, 即可控制动作执行时间。可调时间继电器的使用提高了该机的使用性。

## 4 应用情况及结论

目前, 采用 PLC 控制的机械手肋骨冷弯机已有 1000kN、1600 kN 和 2500kN 三种规格, 在江南船厂、武昌船厂、厦门船厂、4808 厂等七个单位得到应

用。实际使用证明, 这种半自动的机械手肋骨冷弯机具有机构简单、操作方便、加工范围宽、加工效率较高、加工质量好等优点, 受到用户的欢迎。

PLC 及可调时间继电器的使用, 使该程控机械手肋骨冷弯机的操作灵活、简单、方便, 使其成为一种较为先进的半自动化肋骨加工设备。

随着 PLC 向小型化、廉价化、智能化、网络化方向发展, 可编程控制器的功能会更强, 可靠性更高, 使用更方便, 适用面更广。在造船工业, 对传统设备的技术改造及新造设备方面 PLC 的应用会越来越广泛, 我国造船工业自动化必将提高到一个新的水平。

## 5 参考文献

- 1 王呈方, 杨启, 茅云生, 等. 新型 250 吨肋骨冷弯机机构特点. 造船技术, 2000, (6): 24
- 2 王冬青. PLC 定时器的几种外部设定方法. 工业控制计算机, 2000, (5): 62