

船体曲面组合理论和型线精光顺

陈家远 黎瑞程

(广船国际船舶设计公司)

摘要: 型线光顺是船舶设计和建造的第一步, 本文介绍新的船体曲合理论, 通过对不同船体曲面的分离组合, 根据曲率均匀变化的原则, 结合有关软件, 对船体关键点进行控制, 简化和减少有关重复劳动, 由此快速达到型线三维精光顺的目标。

关键词: 船体曲面组合 外板建模 精光顺

型线光顺是船舶设计和建造的第一步, 在以前, 样条放样人员多达几十人, 一年下来也只能光顺一到两艘船。面对造船节奏的加快, 传统的人手放样方法不仅成本大, 精度难以保证, 而且无法达到船舶节点的要求。与此同时, 造船信息化的要求也要有更多更精确的数据。

造船设计模式的进步也要求必需建立精密的船体模型。在结构设计建模中, 船体外板边界是必需条件; 机舱和总布置建模中, 也需要这样的平台来进行设计, 否则, 无法进行。

1 型线光顺未采用新方法前存在的问题及解决方法

在进行 Tribon M2 Patches 船体板建模及其在船舶基本设计中的应用研究前, 存在着一些主要问题。

(1) 船舶基本设计生成的船舶型线的光顺程度较差, 还需要生产设计人员和放样人员大量工作。

(2) 生产设计船舶型线的精光顺时间长。

(3) 船舶基本设计生成的船舶型线无法直接为船舶基本设计和生产设计的结构设计, 包括机舱和总布置建模提供立体平台; 无法进行结构设计, 包括机舱和总布置建模。

(4) 无法用直观的方法进行型线设计和

船舶型线的光顺程度校核。

(5) 无法为船台分段大合拢的提供高密度, 高精度的数据, 影响有关的精度控制。

(6) 在船舶基本设计系统 Tribon M2 时发现其中的 Lines 系统在三维光顺方面存在重大缺陷。Lines 系统没有提供可编辑的三维曲面来进行船舶型线的精光顺, 在它的英文操作说明书中, 其所提供的 Patches 设计方法十分复杂, 要求船舶型线本身已经十分光顺, 而且非常容易出错, 生成的 Patches 不具备可编辑性。结果是我公司多年来没有成功的生成完整的一个全船外板。

为了解决这个问题, 按照 Tribon 公司推荐方法一步一步学习和使用有关软件, 看上去并没有什么大的困难, 我们以为已经理解了正确的使用方法。但经过对自己所光顺过的型线横剖和纵剖线交点进行检查, 发现其中隐藏了大量不光顺的地方, 其中的正偏差高达 100 多 mm, 这明显是令人难以接受的。难怪以前没能生成完整的全船 Patches。

根据船舶基本设计和生产设计提前的需要, 我们需要生成全船 Patches。回顾其操作过程, 针对在运用 Tribon M2 各个模块中的具体情况, 我们不断总结失败的原因。与此同时, 我们努力跟踪和学习中外学术界新的型线光顺理论, 在理论高度上提高自己的素质。经过 3 个月专心致志的探索, 终于发现了在 Tribon M2 Lines 中的较为合理的新应用

方法。

2 船体外板曲面光顺的基本判断原则

船体曲面由于设计用途,航行性能的不同,船体外板曲面的走向和弯曲变化程度大不相同,给计算机光顺处理带来了不少的难题。那什么是光顺的船体呢?

(1) 船体外板曲面上没有明显不符合设计和施工要求的间断或折角点。

(2) 船体外板曲面上的弯曲变化方向符合设计和施工的要求,没有局部的凹凸不平;弯曲变化程度合理分布。

(3) 船体外板曲面上的关键点,控制点等于或者接近设计型值的要求。

船体外板曲面可以划分成不同的曲面类型,综合而言,船体曲面可以划分为规则与不规则曲面:

①规则曲面

• 平面

船体曲面常见的平面包括平底面,平边面,尾封板,首柱。在一些特殊船型中也由一些斜平面,如半潜船的尾部斜平面。

• 特征曲线移动曲面

特征曲线移动曲面是指曲面由某条特征曲线按一定的方式运动而成。船体曲面的常见的特征曲线移动曲面包括柱面(如挂舵臂);有抛物线型的梁拱的甲板面;首端的渐变半径圆纹曲面等。

②不规则曲面

不规则曲面不能或者难以用几何要素来决定。如在尾,首部的肋骨线、水线,纵剖线形成的曲面。其要求是对这三组正交的曲线的不吻合误差要小于一定的公差范围。

3 曲面的向量表达公式

在船舶放样中,曲线常用三次 B 样条函数等函数来拟合;近年来,由于计算机技术的发展,直接采用曲面方程来描述船体曲面成

为主流。常见的方法有孔斯曲面,B 样条曲面等。下面是 NURBS(非均匀有理 B 样条)曲面的向量表达公式:

$$R(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} (B_{ij} W_{ij}) * F_{i,k}(u) * F_{j,l}(v)}{\sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} W_{ij} * F_{i,k}(u) * F_{j,l}(v)}$$

B_{ij} : B 样条基函数 u 方向;

$F_{i,k}(u)$: B 样条基函数 v 方向;

$F_{j,l}(v)$: 权函数;

k : 基函数的次数(u 方向);

l : 基函数的次数(v 方向)。

船体曲面用 NURBS 曲面函数来表达的特点是:可以准确地、唯一的定义各种复杂的曲面;曲面上每一点都落在由控制点构成的特征多边形凸壳内;具有一阶或二阶导数函数连续性和足够的光顺度。在数学上,船体外板曲面光顺的基本条件是:

(1) 曲面函数具有一阶和二阶导数函数连续性。

(2) 曲面函数的曲率数值变化均匀,其正负符号应能按照设计的要求变化,无多余的拐点。

(3) 曲面函数在关键点,控制点等于或者接近设计型值的要求。

曲面光顺一般有二种方法,直接对曲面进行光顺和将曲面离散为曲线族,光顺了曲线族便等于光顺了曲面。直接对曲面进行光顺常用能量法,多边形顶点控制法,和曲面片法。在 Tribon M2 Lines 中,我们采用的是曲面片法。

计算在曲面上任何足够小一片上的最大和最小曲率的乘积,也即是高斯曲率;然后将不同的高斯曲率着色,便可以直观的判定曲面的光顺程度。

结合上述方法,在应用有关软件中,其关键是船体曲面的分离组合方法和其边界线的生成;

将船体外板沿中纵剖线剖成两半,那么找出平行中体前后站线作为划分边界;规划

好作为边界线的站线和水线，然后沿着这些站线和水线，加上轮廓线划出一块块的板路。在这里需要注意的是板格在控制点处是相连的，而在控制点与控制点中间，板格的生成受到板格内力和方向的影响，假如相邻的两个板格在边界处的受力和方向不能匹配，两个板格的相邻边将不能重合，也早是使船体曲面产生了局部的间断，染色后会形成明显的裂纹。生成的板路(Patches)将形成半个分离的真实船体。通过对 Patches 照光，然后调整有关数据，消除裂纹，使船体照光后的颜色均匀变化，如果没有错误，便可以正常输出 Patches 结果文件。在 Tribon M2 Lines 中这一过程称为曲面建模。

在 Tribon M2 Lines 中可以输出有关型值数据文件和 Patches 文件；在 Tribon M2 Compartment 中引入 Patches 文件，并进行映射和逻辑运算，可以生成完整的船体实体。这样便可以为船舶基本设计的结构设计，包括机舱和总布置建模提供立体平台了。

图 1 是按照新方法 Tribon M2 Lines 中生成的某型船的真实船体，图中难以看出明显不光顺的地方。

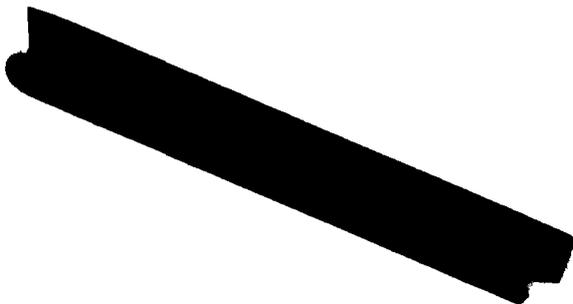


图 1 按照新方法在 Tribon M2 Lines 中生成的某型船的真实船体

对该型船的型线直接生成肋骨型线图进行检验，见图 2、图 3 的肋骨型线图。

4 新的型线光顺方法的优越性

客观地看，新的型线光顺方法明显好于 Tribon 公司已有推荐的型线光顺方法，在应

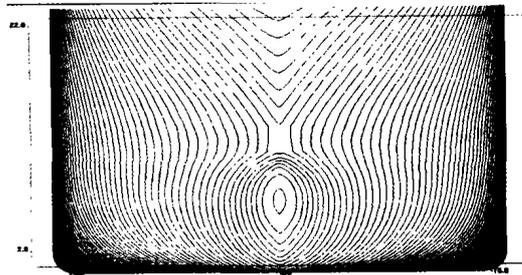


图 2 尾部的肋骨型线

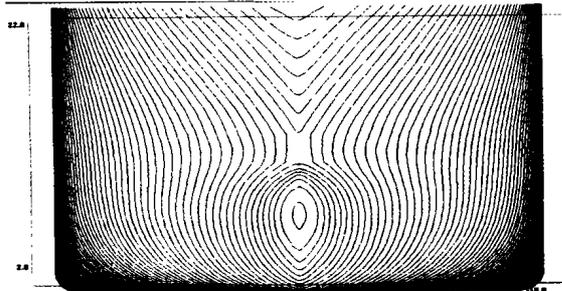


图 3 首部的肋骨型线

用船舶基本设计系统中的 Tribon M2 Lines 中处于世界领先地位。但 Tribon M2 Lines 软件本身还是有一些限制的。表 1 中列出各种不同光顺方法和典型应用软件的优点和缺点。

表 1 几种光顺方法的比较

光顺方法	优点	典型应用软件和单位	缺点
人工样条放样	精度可以满足施工要求	—	占用大量的人力、物力资源，成本高，周期十分长
站线、水线光顺	精度高	Tribon(瑞典) Fastship(美国)	光顺周期较长，易学难精，对操作人员经验要求高
计算机数学放样	高精度的数据	Fastline(上海七零八所)	光顺周期最短，但是无法控制关键点
曲面板格光顺	高精度，高密度的数据；可以控制关键点	Tribon HCS 系统	光顺周期较短，难于掌握方法，操作复杂
曲面光顺的顶点控制法	高精度，高密度的数据	NAPA(DNV)	光顺周期很短，操作方法较简单，但是难以控制关键点，对操作人员素质要求高

各种软件的站线、水线光顺方法：它们都还停留在人工移动一个又一个型值点的水平上，这对操作员无疑是一种折磨，人机交互的工作量十分大，放样的整体效果十分差。平

均一艘船要 200 个工时左右, 消耗时间大约 1 个月。

计算机数学放样方法: 常将曲面转化为曲线族, 按照光顺原则进行单根曲线光顺, 三组剖面曲线的比较按收敛准则进行。由于自动化程度最高, 光顺周期很短, 但无法准确控制关键点。

曲面光顺的顶点控制法: 对控制曲面的多边形体的顶点进行移动, 便可改变曲面的形状, 操作方法较简单, 但是难以控制关键点, 要求操作人员能够有较强的判断能力。

运用船体曲面分离组合的原则, 结合曲面板格光顺方法和高斯曲率染色法, 虽然入门较难理解, 但在理解和熟练掌握该方法后, 可以较快地完成型线光顺和 Patches 建模工作。改良后的光顺方法不仅可以提供高密度, 高密度的数据, 而且可以控制关键点。

对某具有复杂球首的船型进行简单的设计和光顺 (时间不超过 40 工时), 由建造厂直接按型线图组织生产, 首尾轮廓线附近区域常见偏差为 4 mm, 在首轮廓线处附近最大偏差仅一处为 11 mm, 在平行舢体处和其附近区域无偏差。

在我公司某型新船的设计中应用了该

种型线设计思想和型线光顺方法, 并生成了全船壳板的 Patches, 为基本设计中的结构设计, 包括机舱和总布置建模提供立体平台和边界条件。同时也使该船的型线成为广船国际最光顺的型线, 经直接生成肋骨型线图进行判定, 基本上无明显的偏差 (见图 1、图 2、图 3)。

新的型线光顺方法潜在的经济和效益是明显的, 影响最深远的。

它提高了船舶型线的光顺程度, 为生成船体外板提供高密度, 高精度的数据, 为我公司建造超大型船舶的精度控制提供技术上的保证。在不同程度上消除和减少了生产设计人员和放样人员的大量工作; 提高船体大合拢精度。经过对船体外板的建模 (生成 Patches), 可以进行船体精光顺, 同时为船舶基本设计的结构设计, 包括机舱和总布置建模提供立体平台, 提前和缩短设计周期; 也使船舶的虚拟设计, 虚拟制造过程, 常规分析和计算成为可能。而归根到底, 这一切将在相当程度上会降低造船成本。

(收稿日期: 2003 - 03 - 28)

(上接第 33 页)

料分类标准、系统分类标准、工时分类表基础数据信息的手段。

5.2 BOM 模块

提供了管理原材料 BOM、组装 BOM、切割 BOM、余料 BOM 和钢材清单的手段。

5.3 设计模块

提供了零件表、管理重量重心和图纸目录的功能。

5.4 放样模块

提供了型材下料草图功能。

5.5 定额模块

提供了分段资材定额计算、资材追加、资材领用、分段工时计算、分段元单位工时设置、分段工时修正系数设置、工艺项目表、全船资材汇总的功能。

5.6 设计管理模块

提供了设计状态管理、设计任务分派、电子资料管理的功能

5.7 系统管理模块

提供了系统初始化, 建库、备份恢复、选择工程或分段、切换用户、部门表、用户组设置、用户设置、修改密码。

(收稿日期: 2003 - 04 - 07)