

# 螺旋桨三维建模方法探讨

陈彦勇<sup>1</sup>, 夏雨<sup>2</sup>

(1. 浙江大学 材化学院, 杭州 310027; 2. 昆明精密机械研究所, 昆明 650118)

**摘要:** 螺旋桨的桨叶是一个含有规则曲面的零件, 其三维建模过程比较复杂. 文章提出了一种简便的螺旋桨建模方法, 根据生成的三维模型, 该方法还可以检查螺旋桨外形特征是否满足设计要求.

**关键词:** 船舶; 螺旋桨; 三维建模

**中图分类号:** U664.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2006) 01-0021-04

## Discussion of 3D modeling method for propellers

CHEN Yan-yong<sup>1</sup>, XIA Yu<sup>2</sup>

(1. College of Material Science and Chemical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. Kunming Precision Machinery Research Institute, Kunming 650118, China)

**Abstract:** Propeller blade is a part with regular camber. Its 3D modeling is a complicated process. This paper presents a simple and convenient method for 3D modeling of propeller. The 3D model generated by this method can be used to check if the characters of propeller shape meet the design requirements.

**Key words:** ship; propeller; 3D modeling

### 0 引言

在做某产品的螺旋桨时发现, 从二维图纸直接加工得到的螺旋桨不符合设计要求. 主要表现为加工后桨叶变形比较严重, 加工难度大, 很难做到一次加工成型等. 传统的螺旋桨设计方法是通过计算得到桨叶的设计参数, 然后根据设计参数在数控加工设备上加工螺旋桨的初样模型, 初样模型加工出来后再检查螺旋桨外形特征, 如果外形特征不能满足设计要求, 则修改设计参数并再次进行实物模型的加工. 由于螺旋桨属于复杂零件, 不易加工, 因此花费在模型修改和加工上的人力、物力是普通零件的许多倍. 利用三维 CAD 软件则可以在模型加工之前, 通过三维建模得到虚拟的螺旋桨模型, 在虚拟模型上进行反复修改和模拟加工, 并进行辅助分析, 以验证除形状特征外的其他设计参数.

本文提出的螺旋桨建模方法无需计算, 完全利用二维图来生成三维曲面, 避免了计算误差. 当螺旋桨的螺距、直径、桨叶切面等关键要素发生变化时, 只需针对发生改变的参数进行适当的调整, 就可以得到新的三维模型.

根据本文的建模方法, 可以利用 CAD 三维软件的二次开发工具将螺旋桨建模过程编成应用程序, 使螺旋桨的设计完全自动化.

### 1 螺旋桨设计

#### 1.1 计算螺旋桨叶片所需的伸张面积 $A_E$

螺旋桨叶片的伸张面积是指螺旋桨桨叶伸张轮廓所包含的面积, 它接近于桨叶叶面的实际面积.  $A_E$  是单个桨叶的伸张面积乘以桨叶叶数的总伸张面积, 且:

$$A_E = R_x / 2q \quad (1)$$

其中,  $R_x$  为该产品的流体阻力,  $q$  为叶片伸张面积上的压强, 经验表明,  $q$  的最大值一般出现在桨叶的  $0.45R \sim 0.65R$  之间,  $R$  为螺旋桨半径.

#### 1.2 计算螺旋桨的盘面比

根据给定螺旋桨直径算出的螺旋桨盘面积  $A_0$  和伸张面积  $A_E$  的盘面比为:  $A_E/A_0$ .

#### 1.3 叶片数的确定

叶片数目根据盘面比进行选择, 有下列关系式<sup>[1]</sup>:

$$Z = \frac{A_E / A_0}{\tau} \quad (\tau \text{ 值取 } 0.1 \sim 0.15) \quad (2)$$

收稿日期: 2005-04-25; 修回日期: 2005-08-24

作者简介: 陈彦勇 (1962-), 男, 研究员, 主要从事 CAD/CAE 研究.

## 1.4 选择最佳螺旋桨

选择最佳螺旋桨指在螺旋桨结构尺寸满足设计要求的前提下, 确定螺旋桨的螺距, 使螺旋桨具有最大的推进效率. 试验结果表明, 一般情况下, 螺旋桨的推力系数曲线  $K_e(J)$  和有效推力系数曲线  $K_T(J)$  是相互平行的 ( $J$  为叶元推进系数). 这两条曲线和横坐标轴分别交于  $J=P_e/D$  和  $J=P_1/D$  两点 (其中  $P_e$  为螺旋桨的理想螺距;  $P_1$  为螺旋桨的实效螺距, 即螺旋桨在不发生推力时旋转一周所前进的距离.  $P_e/D$ 、 $P_1/D$  分别为螺旋桨的理想螺距比和实效螺距比), 两点间的距离为  $t_0 \cdot P/D$ .  $t_0$  为推力衰减系数;  $D$  为螺旋桨直径. 由此可以根据自由水螺旋桨的图谱来选择最佳螺旋桨<sup>[1]</sup>:

$$K_e = \frac{T_e}{\rho n^2 D^4} \quad (3)$$

$$J = \frac{V_A}{nD} = \frac{V_0(1-W)}{nD} \quad (4)$$

其中,  $V_0$  是产品的航速; 阻力  $R_x=T_e$ ;  $n$  为螺旋桨转速;  $W$  为伴流系数;  $\rho$  为流体密度.

根据以上公式求出  $K_e$  和  $J$ , 如果要另外选择一个在自由水中工作的螺旋桨, 其  $K_T$  值和  $J$  值恰好分别与上述  $K_e$  值和  $J$  值相等, 则只需从自由水中工作的螺旋桨图谱中找到新螺旋桨的  $P_1/D$  值, 即考虑到航行体外形影响的螺旋桨  $P_e/D$ . 由此可以得到零推力相对螺距是:

$$\frac{P_1}{D} = \frac{P_e/D}{(1-t_0)} \quad (5)$$

然后根据这个  $P_1/D$  值可以求得几何螺距为:

$$P = \frac{P_1}{D} \cdot \frac{D}{1.06} \quad (6)$$

由此确定螺旋桨的螺距.

## 1.5 确定螺旋桨几何结构

在以上数据满足设计要求后, 还需要选择桨叶的剖面翼形, 给出桨叶叶元沿半径的厚度分布, 确定桨叶外形.

该产品的螺旋桨桨叶一般采用弓形和机翼形剖面, 弓形剖面翼形制造简单, 在吸力面上的压力分布比较均匀, 空泡趋向性较小; 机翼形剖面翼形的形状阻力比弓形的小, 因而功率较高. 本文讨论的螺旋桨为机翼形剖面翼形.

叶元沿半径的厚度变化一般呈直线规律. 桨叶张面重心半径  $r_0$  处的桨叶叶元厚度  $\delta_0$  (当  $r_0=0.7R$  时) 可近似地按下式选取<sup>[1]</sup>:

$$\delta_0 = 0.007 \frac{Z}{A_e/A_0} \sqrt{q} \quad (7)$$

从而保证桨叶必要的厚度. 叶梢处的厚度  $e$  可近似取为  $0.005D$ .

在保持所要求伸张面积的前提下, 桨叶伸张轮廓的形状可以有多种选择, 一般选用带圆角的梯形, 但有时也使叶片呈马刀形, 朝随边方向产生一定弯曲, 即侧斜, 这种螺旋桨的桨叶面积沿盘面的分布比较均匀, 可以减小因流场不均匀所引起的振动和噪声, 同时也可推迟空泡的出现; 离心力的作用会使叶根切面的弯曲应力增大. 本文讨论的便是这种螺旋桨的建模方法.

## 2 建模方法

### 2.1 定位桨叶切面

将螺旋桨从二维图转化为三维模型的过程中, 需要定义若干参考曲线和参考点, 其中最重要的曲线是二维图中的桨叶切面展开图变换到三维时的桨叶切面曲线(一条空间曲线). 本方法讨论的是变螺距的螺旋桨, 每个桨叶切面曲线都是缠绕在不同半径的圆柱面上, 并且叶面和叶背的分界线必在螺距不同、螺旋半径等于该桨叶切面所在圆柱面半径的螺旋线上. 由此可以推断, 桨叶切面的展开图必和螺旋线所在的圆柱面相切. 建模的第一步是确定每个桨叶切面展开图在与螺旋线所在圆柱面相切的平面中的位置. 通常有两种定位方法, 利用螺旋线定位或利用螺旋线的展开图定位. 本文采用的是后一种方法. 由于二维图中桨叶切面被表示为展开图, 因此确定桨叶切面展开图在切平面上的位置可以利用螺旋线展开图作为参考, 待桨叶展开图位置确定后再将其缠绕到螺旋线所在的圆柱面上, 就可以得到实际的桨叶切面曲线. 确定桨叶展开图位置的步骤:

- 1) 确定整个螺旋桨的中心线. 可以用任一坐标轴作为桨叶中心线.
- 2) 作出桨叶切面所在圆柱面, 确定圆柱面和中心线的交点.
- 3) 在交点处作出螺旋线的展开图. 螺旋线的展开图如图 1 所示. 图中直角三角形为螺距三角形, 其斜边就是螺旋线的展开图. 由于螺距三角形的三边和三角形的一个顶点都已知, 不需计算螺距角, 就可以直接画出螺距三角形, 减小了计算误差. 这里需要注意, 根据螺旋桨的旋向来选择三角形的方向.

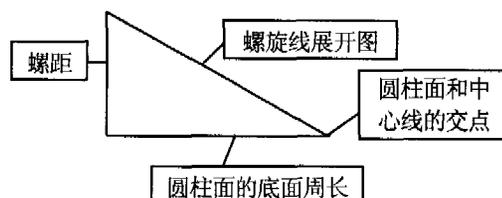


图1 螺旋线展开图

4) 由于桨叶叶面和叶背的分界线位于螺旋线展开图上, 只要根据桨叶中心到导边的距离就可以确定分界线的顶点在螺旋线上的位置, 作出桨叶切面展开图。

桨叶切面曲线展开图是从二维图转为三维模型时的主要建模参考, 确定桨叶切面曲线展开图的位置是后继生成螺旋桨桨叶曲面的关键, 因此, 对螺旋桨进行三维建模时最关键的步骤就是确定桨叶切面展开图的位置。

### 2.2 桨叶切面展开图

确定了桨叶分界线顶点的位置, 可以根据线型画出桨叶切面展开图。利用通过点生成曲线就可以快速生成所需的桨叶切面展开图。一个画好的桨叶切面展开图如图 2 所示。

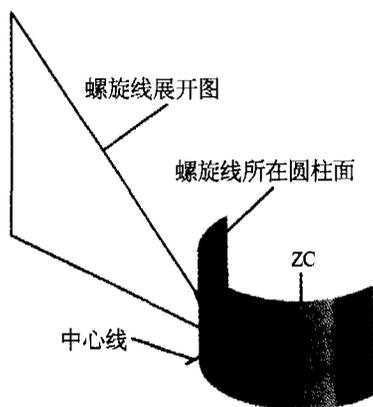


图 2 螺旋线展开图及桨叶切面展开图

### 2.3 缠绕桨叶切面曲线

把平面的曲线缠绕到一个圆柱面上形成空间曲线。螺旋桨桨叶切面曲线就是将桨叶平面展开图缠绕到相应的圆柱面上形成一系列的桨叶切面曲线, 再根据这些曲线来生成曲面, 最后生成实体模型。一个桨叶切面展开图缠绕后得到的桨叶切面曲线如图 3。

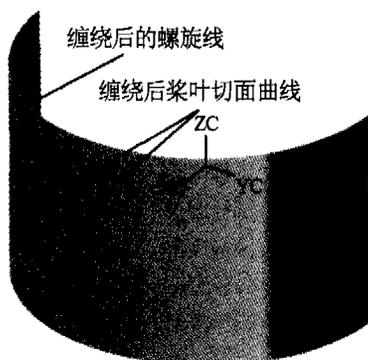


图 3 缠绕后的桨叶切面曲线

### 2.4 外轮廓线和最大厚度线

重复以上三个步骤, 直到完成所有桨叶切面曲线, 这时已经可以利用这些曲线生成桨叶曲面, 但外形误差较大, 且由于桨叶顶部没有线型值, 无法生成顶部曲面。因此建模的第四步是在生成桨叶切面曲线后, 根据切面曲线的几个关键顶点和最大厚度点来生成桨叶的外轮廓线最大厚度线。一个完整的桨叶线框模型如图 4 所示。

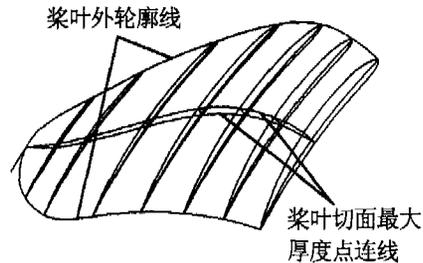


图 4 桨叶线框模型

### 2.5 生成叶面曲面和叶背曲面

利用“通过网格曲线生成曲面”来生成叶面曲面和叶背曲面, 生成曲面时需注意选择网格曲线的经线和纬线时要保证选择方向一致。叶面和叶背曲面如图 5 所示。

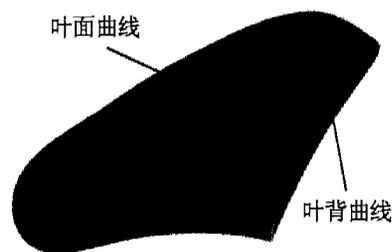


图 5 叶面曲面及叶背曲面

### 2.6 曲面处理

在生成叶面和叶背曲面后, 还需要对模型进行一些细节处理。首先是螺旋桨的随边有一定的厚度, 叶面和叶背曲面在随边处不相交, 需要用一片又细又窄的片体来连接叶面和叶背曲面。接着是将叶面曲面、叶背曲面和随边处的小片体缝合成为一片完整的曲面。然后再把这个完整的曲面沿着指向桨毂的方向, 按照曲面自身的规律作一定距离的延伸, 使曲面能够和桨毂的圆锥表面相交, 从而生成根剖面。最后是将延伸后的曲面进行封闭处理, 处理所有曲面有开口的地方, 并将所有曲面缝合为最终的螺旋桨桨叶曲面模型。

### 2.7 生成实体模型

在把桨叶曲面做成一个封闭的实体后, 就可以生成桨叶实体模型了。生成实体模型的方法是先用一个较大的实体将整个桨叶曲面给包裹住, 然后再把该实

体分为曲面内和曲面外两部分, 曲面内的部分就是螺旋桨的实体模型. 将桨叶实体模型与桨毂模型合并, 得到一片桨叶的螺旋桨模型. 再通过圆周阵列功能得到含有所有的桨叶的螺旋桨三维模型.

### 3 结论

在常见的三维建模过程中, 关键是把二维图中各种绘图参考(点、线)准确地表示为三维空间的建模参考(点、空间曲线、曲面). 一般二维图中的点、线等绘图参考都通过投影方式转换为三维坐标内的建模参考. 但由于螺旋桨二维图中的绘图参考是桨叶截面的展开图, 不能用简单的投影将其转换为三维坐标内的建模参考, 而必须采用“缠绕”的方法将其还原为真实的

桨叶截面, 才能准确地为其建模.

### 参考文献:

- [1] 王国强, 盛振邦编著. 船舶推进[M]. 北京: 国防工业出版社, 1959.
- [2] 王锦红, 邵明. 基于UG软件的参数化建模技术的应用[J]. 现代制造工程, 2003(2).
- [3] 李艳聪, 薛兆鹏. 基于UG-18的螺旋桨建模与加工[J]. 现代制造, 2002(3).
- [4] 张柏钦, 康佳琨等. Unigraphics V16 曲面与工程图应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 林政忠, 丘协政等. Unigraphics CAD 高级篇[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.

## 服务台

## 国家质检总局国家标准委公告 (2005 年第 146 号) TC137 废止项目清单 (共 29 项)

序号	国家标准号	标准中文名称	备注
1	GB/T 8243.5-1987	柴油机全流式滑油滤器试验方法滤芯端向负荷	国标废止
2	GB/T 12927-1991	船用起货设备检验规则和试验方法	国标废止
3	GB/T 13408-1992	海船机舱机械设备备件定额	国标废止
4	GB/T 14359-1993	船用应急活塞式空气压缩机	国标废止
5	GB/T 11690-1989	船用法兰铸钢止回阀 (四进位)	国标废止
6	GB/T 11696-1996	船用铸钢竖形止回阀	国标废止
7	GB/T 6301-1986	船用柴油机燃油消耗率测定方法	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
8	GB/T 6302-1986	船用柴油机热工参数的测量	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
9	GB/T 6303-1986	船用油滤器检验方法	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
10	GB/T 10098-1988	船用中速柴油机齿轮箱技术条件	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
11	GB/T 11572-1989	船用齿轮箱台架试验方法	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
12	GB/T 11868-1996	救生艇用柴油机组	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
13	GB/T 13410-1992	船用柴油机涡轮增压器技术条件	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
14	GB/T 7389-1987	船用起货绞车机	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
15	GB/T 12930-1991	潜水装具用高压活塞式空气压缩机技术条件	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
16	GB/T 12934-1991	船用控制设备用无油空气压缩机技术条件	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
17	GB/T 568-1965	船用法兰类型	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
18	GB/T 569-1965	船用法兰 连接尺寸和密封面	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
19	GB/T 1854-1993	船用法兰铸铁单排吸入截止阀箱	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
20	GB/T 1855-1993	船用法兰铸铁单排吸入截止止回阀箱	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
21	GB/T 1856-1993	船用法兰铸铁单排排出截止阀箱	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
22	GB/T 2499-1993	船用法兰铸铁双排截止阀箱	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
23	GB/T 3009-1982	船用防蚀螺塞	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
24	GB/T 12921-1991	船用油水界面探测器技术条件	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
25	GB/T 12414-1992	船用废气锅炉技术要求	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
26	GB/T 14358-1993	舰船饮用水净化器	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
27	GB/T 10750-1989	船用扁圆形铸铁和铸钢法兰	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
28	GB/T 10751-1989	船用扁圆形焊接钢法兰	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年
29	GB/T 12919-1991	船用控制气源净化装置	国标废止, 转行标, 过渡期 1 年