

基于 SolidWorks 和 Pro/E 的船用螺旋桨建模研究

王 欢

(南通航运职业技术学院 轮机工程系, 江苏 南通 226010)

摘 要:文章基于 SolidWorks、Pro/E 两款软件,分别研究了船用螺旋桨建模方法,推导出了螺旋桨叶切面型值点从局部坐标系到全局坐标系的坐标转换公式,并对该公式进行了优化。实践证明文章提出的螺旋桨三维实体建模方法是切实可行的,可极大地缩短螺旋桨设计与加工周期。

关键词:SolidWorks;Pro/E;螺旋桨;建模

中图分类号:U664.33

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2016)02-0032-04

0 引言

螺旋桨是目前应用最广泛的一种推进器,是船舶动力装置的核心部件,其设计和制造精度直接决定船舶的快速性,而快速性不论对民船还是军舰都是很重要的一个指标。^[1]螺旋桨的桨叶有一定的螺旋角和后倾角,厚度不均,具有不规则的曲面特点,加工费时费力。^[2]高质量的三维几何模型对于螺旋桨的强度校核、推进性能、数控加工等都具有重要的作用。因此,探索高质量的建模方法可以为螺旋桨的设计、制造打下坚实的基础。

螺旋桨三维几何建模的关键是快速准确地获得螺旋桨叶切面的三维空间笛卡尔坐标。螺旋桨桨叶是螺旋面的一部分,需要通过坐标转换,根据已知的叶切面参数,通过复杂的坐标投影换算,将型值表转换为空间笛卡尔坐标数族,最终完成建模。本文以国内某知名船厂生产的散货船螺旋桨为例,根据已知参数,基于常用的两款软件 SolidWorks、Pro/E 分别说明了螺旋桨的快速建模方法。

1 基于 SolidWorks 坐标变换的螺旋桨建模

1.1 坐标转换法原理

坐标转换法主要在于将桨叶型值点从平面坐标转换到三维空间坐标。通过螺旋桨各叶切面的几何形状,即已知叶剖面型值表、切面弦长、螺距角、切面最大厚度、叶面厚度、切面最厚处至导边的尺寸和不同半径处切面纵坐标,选择恰当的数学模型公式推导,将二维的叶剖面型值坐标转换成三维的空间型值点。^[3-5]本文选取某散货船螺旋桨建模,其主要几何参数如表 1 所示。

表 1 某散货船螺旋桨主要参数

参数	数值
直径 D(mm)	5 300
叶数 Z	4
毂径比 d/D	0.168 9
螺距比 P/D _{0.7R}	0.664 5
侧斜角	25°

螺旋桨叶切面的型值表二维坐标值是通过螺旋桨桨叶与同轴圆柱面相交的螺旋面经过复杂投影得到的近似值,如图 1 所示。螺旋桨桨叶与同轴圆柱面相交得到一定半径处一定厚度的三维螺旋面,沿着最大厚

收稿日期:2016-02-10

作者简介:王欢(1984—),女,湖北丹江口人,南通航运职业技术学院轮机工程系讲师,博士生。

度处伸展,得到各个切面上的螺旋桨伸张轮廓图,其沿 Z 轴投影可以得到正投影图,沿着右侧投影即为侧投影图。根据二维切面值就可以反投影出螺旋桨三维空间叶切面坐标。

已知叶切面型值表、螺距角、螺距、倾斜角、叶面厚度、桨毂直径以及桨叶数目等参数,如图2所示。 $Y=W-Y_2$, $Z=Z_2$, P 为螺距, α 为螺距角, $\alpha=\arctan(P/2\pi R_i)$ 。其中 Y_2 、 Z_2 是以弦线和基线的交点为坐标原点转换后的二维坐标中的坐标, W 为最大厚度叶切面到基线的距离。将图2倾斜得到图1(b),即可以推导出螺旋桨叶切面的三维空间坐标值。^[6]

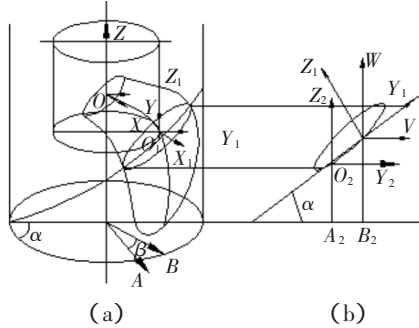


图1 桨叶型值坐标转换成空间坐标关系图

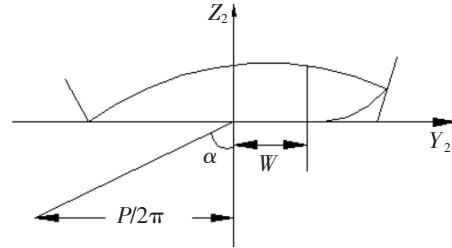


图2 桨叶伸张轮廓切面参数关系

图1(a)中 OH 为基线, α 为螺距角, $\alpha=\arctan(P/2\pi R_i)$, β 为倾斜角。全局坐标系 $OXYZ$ 的 OXY 平面与螺旋桨的桨毂端面平行。 O_1 点为基线与圆柱面的交点,坐标系 $O_2X_2Y_2Z_2$ 与 $OXYZ$ 平行。 O_1 点为螺旋线与叶切面的切点, O_1Z_1 经过螺旋桨叶切面的最厚处。^[7] $O_2X_2Y_2Z_2$ 坐标系可以通过一次旋转与 $O_1X_1Y_1Z_1$ 坐标系重合,由此可得:

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

将坐标系 $O_2X_2Y_2Z_2$ 转换到原点位于 O 的柱坐标系下和全局坐标系 $OXYZ$ 下可得:

$$\begin{bmatrix} R_i \\ Y \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \\ Y_1 \\ X_1/r \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \sin\alpha \\ Y_1 - r \tan\beta \\ r \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 r 为叶切面半径, β 为倾斜角,将式(1)、(2)整理代入式(3)得:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \sin\left(\frac{X_1 \cos\alpha - Y_1 \sin\alpha}{r}\right) \\ X_1 \sin\alpha + Y_1 \cos\alpha - r \tan\beta \\ r \cos\left[\frac{X_1 \cos\alpha - Y_1 \sin\alpha}{r}\right] \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)即将叶切面型值点的二维坐标值(X, Y)转换为全局坐标空间坐标值(X, Y, Z)。但是图谱桨一般是给出叶切面型值点离开导边的距离、叶面坐标、叶背坐标参数。因此将 $X = X_1 - L_i$ 代入公式(4)得式(5)。式中 L_i 为在半径为任意值 r 处的导边至参考中心线之间的距离。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \sin\left(\frac{(X_1 - L_i) \cos\alpha - Y_1 \sin\alpha}{r}\right) \\ (X_1 - L_i) \sin\alpha + Y_1 \cos\alpha - r \tan\beta \\ r \cos\left[\frac{(X_1 - L_i) \cos\alpha - Y_1 \sin\alpha}{r}\right] \end{bmatrix} \quad (5)$$

1.2 基于 SolidWorks 螺旋桨三维建模

根据已知的螺旋桨型值表,可得在每一个 $r/R(0.2R, 0.3R, 0.4R, 0.5R, 0.6R, 0.7R, 0.8R, 0.9R, 0.95R)$ 半径处叶切面型值表,即距导边长、叶背坐标、叶面线和叶背线首尾重合,根据叶面坐标可以算出螺旋桨叶切面轮廓数据。将半径 r 、螺距角 α 、倾斜角 β 、导边至参考中心线的距离 L 、叶切面轮廓型值点 (X_1, Y_1, Z_1) 代入公式(5),即可得到叶切面的全局坐标。基于 SolidWorks 软件,对本螺旋桨建模过程如下:

(1)转换坐标。分别利用 EXCEL 生成的 $0.2R-0.95R$ 半径处的叶切面全局坐标数据以及最大厚度引导线、导边随便引线共 13 条曲线坐标,并保存为 TXT 文件。

(2)插入曲线。在 SolidWorks 中通过“插入”→“曲线”→“通过 XYZ 点的曲线”,可以把 9 条叶切面曲线和 4 条引导线(导边、随边、叶面最大厚度、叶背最大厚度)导入到 SolidWorks 中,如图 3 所示。

(3)填充曲面。利用 SolidWorks 中“填充曲线命令”生成 $0.2R-0.95R$ 半径处的叶切面曲线,填充后的结果如图 4 所示。

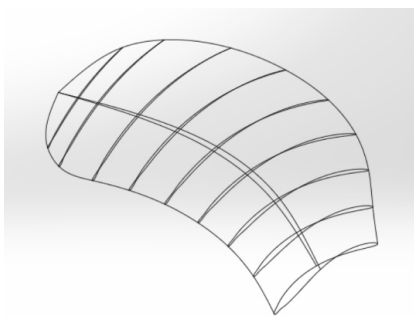


图 3 插入桨叶曲线



图 4 填充曲面

(4)放样桨叶。利用 SolidWorks 中“放样凸台/基体”命令,以四条边界线作为引导线,根据生成的 $0.2R-0.95R$ 半径处的叶切面放样生成螺旋桨桨叶,如图 5 所示。

(5)优化叶梢。桨叶叶梢局部优化有两种方法。4 条引导线放样生成闭合曲线,利用“加厚”命令生成实体。也可以利用“曲面拉伸”将叶面、叶背曲线拉伸生成叶梢实体。

(6)绘制桨毂。绘制桨毂草图,利用“旋转凸台/基体”生成螺旋桨实体,最后倒圆角。

(7)阵列桨叶。选择“阵列”→“圆周阵列”→“实体数:4”,阵列桨叶生成螺旋桨,完成建模,如图 6 所示。



图 5 放样桨叶

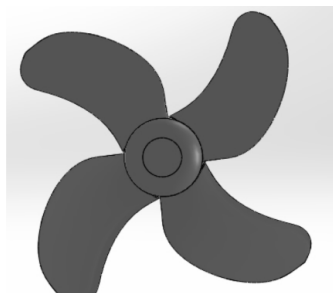


图 6 螺旋桨实体模型

2 基于 Pro/E 螺旋桨建模

(1)尺寸转换。根据型值表,可得在每一个 $r/R(0.2R, 0.3R, 0.4R, 0.5R, 0.6R, 0.7R, 0.8R, 0.9R, 0.95R)$ 半径处坐标值 X, Y_0, Y_u , 转化为 pts 格式,分别将 $(X, Y_0), (X, Y_u)$ 系列曲线点分别倒入 Pro/E 中,形成叶切面形状数据点曲线。

(2)绘制曲面。绘制不同半径处 $r/R(0.2R, 0.3R, \dots, 0.95R)$ 的圆柱曲面,再对不同半径处的截面曲线进行旋转,旋转角为 α ,如图 7 所示。

(3)缠绕曲面。通过 Pro/E 的“包络”功能再分别将不同半径处的截面曲线缠绕到相应的圆柱曲面上,完成不同半径处圆柱面上的缠绕曲线,如图 8 所示。

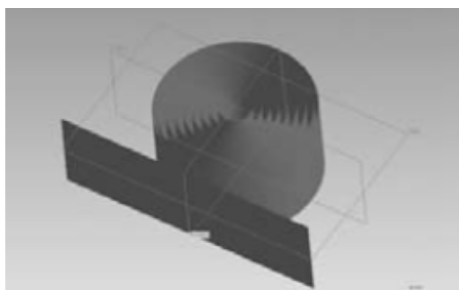


图7 绘制圆柱曲面



图8 各半径处曲线立体图

(4)创建桨毂。桨毂是标准的回转体,可通过 Pro/E 的“旋转”功能创建桨毂。

(5)形成曲面。利用 Pro/E 的“边界混合”功能分别将叶面、叶背曲线形成曲面,通过“合并”工具将叶面、叶背曲面、导边、随边曲面合并成一个曲面,如图9所示。

(6)旋转阵列。将曲面进行旋转,形成后倾效果并阵列,最后将曲面转为实体,完成建模,如图10所示。

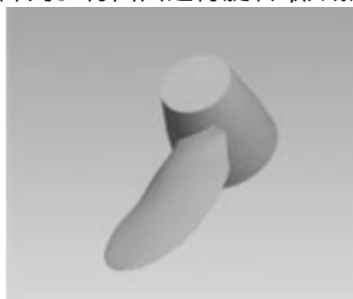


图9 一个曲面叶片效果

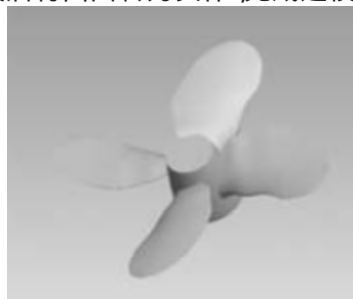


图10 最终效果

3 结束语

螺旋桨是船舶动力装置的核心部件,其曲线形状复杂,高质量的三维几何模型对于螺旋桨的强度校核、推进性能、数控加工等都具有重要的作用。本文推导了螺旋桨叶切面型值点从局部坐标系到全局坐标系的坐标转换公式,并对公式进行优化,方便使用。基于本文提出的方法,可简便地完成建模过程,有利于建模软件的二次开发,提高了效率,另外可生成螺旋桨库,适用于不同场合,可极大地缩短螺旋桨设计与加工周期。

参考文献:

- [1]盛振邦,刘应中.船舶原理[M].上海:上海交通大学,2013.
- [2]彭勤学.基于 SolidWorks 的船用螺旋桨建模[J].武汉交通职业学院学报,2014(2):80-82.
- [3]吴利红,董连斌,许文海.基于 MATLAB 和 ProE 的螺旋桨三维建模[J].大连海事大学学报,2011(2):17-20.
- [4]汪小翔.推力鳍对吊舱推进器水动力性能的影响[J].船海工程,2015(6):25-30.
- [5]王艳龙,陈明.面向 CFD 的螺旋桨逆向三维曲面建模方法[J].船海工程,2012(4):39-41.
- [6]王国强,董世汤.船舶螺旋桨理论与应用[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
- [7]彭勇.计算机辅助螺旋桨设计[D].武汉:华中科技大学,2007.

Research on Marine Propeller Modeling Based on SolidWorks and Pro/E

WANG Huan

(Dept. of Marine Engineering, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: This article applies SolidWorks and Pro/E to the study on the methods of marine propeller modeling, deduces the formula of coordinate transformation of the propeller blade surface points from local coordinate system to global coordinate system as well as optimizes the formula. The practice proves that the 3D solid modeling methods put forward in this article are feasible, which greatly reduce the design and machining cycle.

Key words: SolidWorks; Pro/E; Propeller; Modeling