

文章编号: 1005-8893(2002)03-0050-04

B样条在管道工程设计中的应用及 三维设计图形的实现^{*}

闫玉宝

(江苏石油化工学院 计算机科学与工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 论述了如何利用三次B样条来构造岔管光滑过渡自由曲面的数学模型的理论和方法, 提出了曲面求交的辅助平面法。在程序开发方面, 采用了当前较先进的开发工具ObjectARX3.0进行基于AutoCAD 2000的二次开发。算法通过VC++6和ARX3编程得到了实现, 在AutoCAD 2000中实现三维图形的显示。

关键词: 三次B样条; 数学模型; 辅助平面法; AutoCAD二次开发

中图分类号: TP39

文献标识码: A

在管道工程设计中, 管道在分叉处过渡曲面设计是工程设计中关键的课题。岔管在分叉处出现尖角, 使水流阻力增加, 尖角处也易应力集中。为了保证较好的流态和工程质量, 常常要求管道在分叉处光滑过渡^[1]。为此, 岔管过渡曲面的数学模型, 是管道设计、施工及管道工程质量的关键。借助于“滚球法”, 以三次BSpline的生成原理为基础, 建立岔管过渡曲面的数学模型。并且对岔管过渡带曲面有限元分析所需的网格进行剖分, 从而为管道分叉处的结构强度计算、水流条件分析、工程设计与制造等, 提供几何理论依据和设计方法。

在AutoCAD提供的各种开发工具中, 以C/C++开发工具的效率最高功能最强。AutoCAD 2000使用一种特定的编程环境—ObjectARX3.0。ObjectARX3.0与其它开发工具相比, 速度最快、性能无比强大; 用其开发的软件具有模块性好、独立性强、连接简单、实用方便、内部功能高效实用以及代码可重用性强的优点。

1 数学模型

1.1 构造两基础曲面的等距面

已知两参数曲面

$$G(s, t) = \{x(s, t) \ y(s, t) \ z(s, t)\} \text{ 和} \\ F(u, v) = \{x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)\}$$

等距面方程^[2]

$$G^+(s, t) = G(s, t) + n_g r_0 \text{ 和} \\ F^+(u, v) = F(u, v) + n_f r_0$$

其中: 距离是滚球的半径 r_0 。

1.2 确定球心轨迹及两个切点轨迹

借鉴于画法几何中辅助平面的方法把4参数的三维问题转化成二维来解决^[3]。这样通过求解圆锥曲线二元二次方程组就得到两曲面的交点。

球心 O 由方程(1)确定:

$$\begin{cases} G^+(s, t) = G(s, t) + n_g r_0 \\ F^+(u, v) = F(u, v) + n_f r_0 \end{cases} \quad (1)$$

切点 C_0 和 C_2 分别由方程(2)、(3)确定:

$$\begin{cases} |C_0 O| = r \\ F(u, v) = \{x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)\} \end{cases} \quad (2)$$

^{*} 收稿日期: 2002-03-28

基金项目: 江苏石油化工学院科技基金资助

作者简介: 闫玉宝(1965-), 男, 河南南阳人, 讲师, 主要从事计算机图形及CAD方面的教学和研究工作。

$$\begin{cases} |C_2O| = r \\ G(s, t) = \{x(s, t) \ y(s, t) \ z(s, t)\} \end{cases} \quad (3)$$

1.3 构造三次 B 样条

半径为 r_0 的球沿岔管曲面主、支管相贯处滚动, 如图 1 所示, 左图为示意图, C_0 、 C_2 为切点, n_f 、 n_g 为过切点的单位法矢; 右图为过切点、球心的截平面, C_1C_0 、 C_1C_2 分别为曲面与球的公切线。

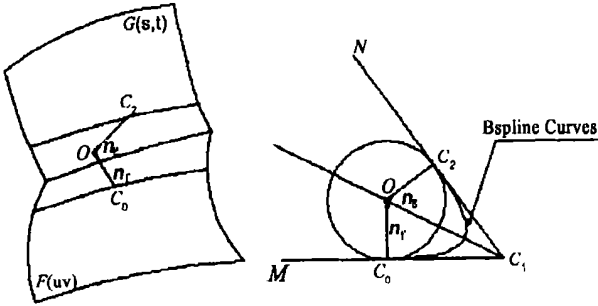


图 1 滚球法过渡原理图

点 C_1 由公式 (4) 给出^[4]:

$$C_1 = \frac{1}{2} [C_0 + C_2] + \frac{1}{2} r_0 \left[\frac{n_f \cdot n_g - 1}{n_f \cdot n_g + 1} \right] (n_f + n_g) \quad (4)$$

为使三次均匀 B 样条曲线经过切点 C_0 和 C_2 , 依据三次均匀 B 样条曲线的几何特性, 延长 C_1C_0 至 M , 且使 $|C_1C_0| = |C_0M|$, 延长 C_1C_2 至 N , 且使 $|C_1C_2| = |C_2N|$ 。

两个控制端点 M 、 N 为:

$$M = 2C_0 - C_1; N = 2C_2 - C_1 \quad (5)$$

在控制多边形 $MC_0C_1C_2N$ 中构造三次均匀 B 样条曲线来代替圆弧 C_0C_2 构造过渡面。

由 5 个控制点 M , C_0 , C_1 , C_2 , N , 便可得到满足要求的三次均匀 B 样条曲线, 该 B 样条曲线由两段三次均匀 B 样条构成^[5]。

$$P_1(u) =$$

$$\frac{1}{6} \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ C_0 \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$P_2(u) =$$

$$\frac{1}{6} \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ N \end{bmatrix} \quad (7)$$

1.4 对三次均匀 B 样条曲线形状的控制

通过对球半径 r_0 大小的调整或者设计成变量, 达到对三次均匀 B 样条曲线形状的控制, 我们称为变径过渡。

1.5 过渡面的形成

按照一定的步长, 滚球到达一个位置, 就构造一条三次均匀 B 样条曲线, 并利用该曲线进行插值运算, 得到一定数量的插值点。把产生的一系列插值点, 用折线连接起来, 形成网格图^[9]。当步长控制在一定条件下, 插值点足够密时, 就产生了光滑曲面^[7]。这样就完成了岔管主、支管之间的光滑过渡。

设置插值点个数为 $2n^{[8]}$, 记 $t = 1.0 * i / (n - 1)$, ($i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$), $t_0 = \frac{1}{6}(1.0 - t)^3$, $t_1 = \frac{1}{6}(3t^3 - 6t^2 + 4)$, $t_2 = \frac{1}{6}(-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1)$, $t_3 = \frac{1}{6}t^3$ 。

插值点由下式给出:

$$\begin{cases} X = X_4t_0 + X_1t_1 + X_3t_2 + X_2t_3 \\ Y = Y_4t_0 + Y_1t_1 + Y_3t_2 + Y_2t_3 \\ Z = Z_4t_0 + Z_1t_1 + Z_3t_2 + Z_2t_3 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} X = X_1t_0 + X_3t_1 + X_2t_2 + X_5t_3 \\ Y = Y_1t_0 + Y_3t_1 + Y_2t_2 + Y_5t_3 \\ Z = Z_1t_0 + Z_3t_1 + Z_2t_2 + Z_5t_3 \end{cases} \quad (9)$$

其中: $M(X_4, Y_4, Z_4)$, $C_0(X_1, Y_1, Z_1)$, $C_1(X_2, Y_2, Z_2)$, $C_2(X_3, Y_3, Z_3)$, $N(X_5, Y_5, Z_5)$ 。

2 三维网格图形的绘制

2.1 计算模块

2.1.1 参数的输入

需要输入的参数有:

主管曲面 (底面半径) r_1 , 轴截面底角 α ; 支管曲面 (底面半径) r_1 , 轴截面底角 β ; 轴间夹角

ω ; 滚球半径 r_0 ; 每条 B 样条的单元节点个数 $2M$ 。

2.1.2 编程计算

首先根据求三次均匀 B 样条的 5 个控制点公式, 求出这 5 个控制点; 然后利用该三次均匀 B 样条插值计算, 同时以文本形式把单元节点的数据保存成数据文件。

2.1.3 编程产生每一结构的单元信息的数据文件

壳单元节点编号数据文件的格式要求是: 一个单元的数据占两行。其中第一行为 3 个整数, 分别为单元号、单元类型 (4 节点壳单元为 1)、单原材料号 (对绘图无影响, 这里设置为 0)。第二行为该 4 节点单元的 4 个节点号, 均为整数。要求节点号按逆时针排列。各数据项间用空格隔开。

2.2 绘图模块

(1) 在 Microsoft Visual C++ 中建立 ObjectARX 应用程序。

(2) ObjectARX 应用程序在 AutoCAD2000 中加载、运行、与卸载。

ObjectARX 应用程序的加载、运行和卸载时通过 ObjectARX 应用程序对来自 AutoCAD 的消息的处理而实现的^[9]。

3 实 例

实例 1. 主管圆柱半径 $r_1=12.0$, 支管圆柱半径 $r_2=7.0$, 轴间夹角 $\omega=\pi/6$, 滚球半径 $r_0=4.0$ 。如图 2 所示。

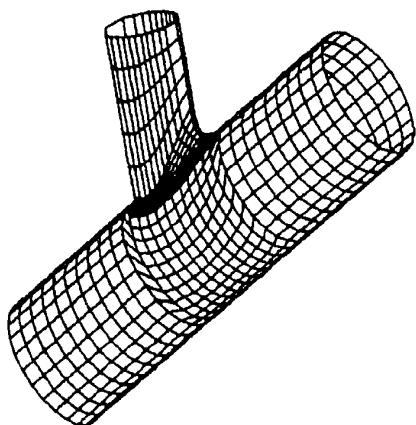


图 2 柱柱相贯型三维网格图 (等径)

实例 2. 主管圆柱半径 $r_1=10.0$, 支管圆锥半径

$r_2=9.0$, 锥轴截面底角 $\alpha=8\pi/17$, 轴间夹角 $\omega=\pi/3$, 滚球半径 $r_0=3.0+i/12$ ($i=0, 1, 2, \dots, 12$), 即滚球半径线性变化。如图 3 所示。

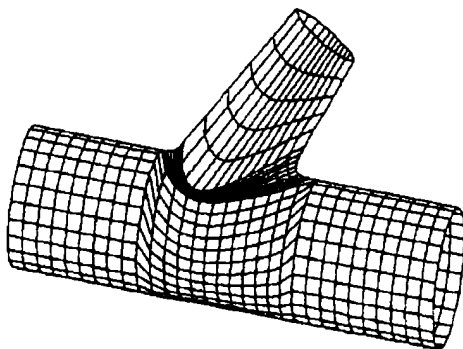


图 3 柱锥相贯三维网格图 (变径)

实例 3. 主管圆锥半径 $r_1=10.0$, 锥轴截面底角 $\alpha=5\pi/12$, 支管圆柱半径 $r_2=3.0$, 轴间夹角 $\omega=\pi/6$, 滚球半径 $r_0=2.0$ 。如图 4 所示。

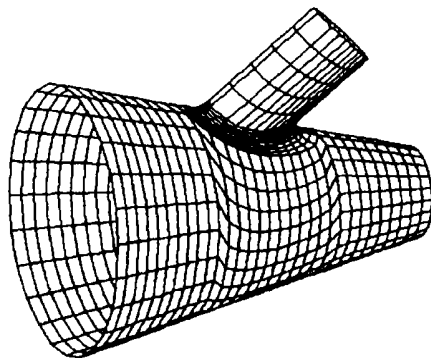


图 4 锥柱相贯网格图 (等径)

实例 4. 主管圆锥半径 $r_1=10.0$, 锥轴截面底角; 支管圆柱半径 $r_2=6.0$, 锥轴截面底角 $\beta=4\pi/9$, 轴间夹角 $\omega=\pi/6$, 滚球半径 $r_0=2.0$ 。如图 5 所示。

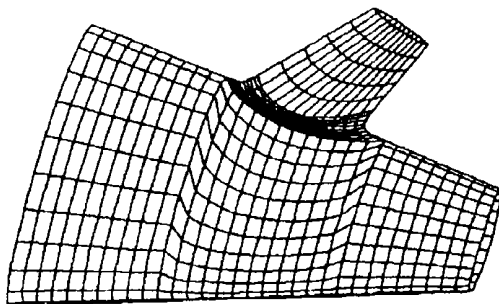


图 5 锥锥相贯网格三维图 (等径)

参考文献:

- [1] 胡建国. 变径弯管过渡段三岔管曲面设计 [J] . 工程图学报, 1995 (2): 72—77.

[2] Hosaka M. CAD/ CAM 曲线曲面造型 [M] . 北京: 海洋出版社, 1995. 253—277.

[3] 朱心雄. 自由曲线曲面造型技术 [M] . 北京: 科学出版社, 2000. 186—203.

[4] Hartmann E. Blending of Implicit Surfaces with Functional Splines [J] . Computer—aided Designed, 1990, 22 (8): 10.

[5] Donal Hearn, Pauline Baker M. Computer Graphics [M]. 北
- 京: 电子工业出版社, 1998. 253—261.

[6] 孙家广. 计算机辅助几何造型技术 [M] . 北京: 清华大学出版社, 1998. 308—318.

[7] Higashi M. High—quality Solid—modeling System with Free—form Surfaces [J] . Computer—aided Designed, 1993, 25 (3): 3.

[8] Pieg L, Tiller W. Algorithm for Degree Reduction of Bsplines Curves [J] . CAD, 1995, 27 (2): 101—110.

[9] 王福军, 张志民, 张师伟. AutoCAD 2000 环境下 C/Visual C ++ 应用程序开发教程 [M] . 北京: 北京希望电子出版社, 2000. 20—49.

The Application of Bspine in the Design of Pipes Engineering and Realization of 3D Graphics

YAN Yu—bao

(Department of Computer Science and Engineering, Jiangsu Institue of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China)

Abstract: The paper discusses how to construct forked pipe's mathematical model with Cubic Bspine Curve, and it also introduces Plane—aided Method of conicoid. In order to develop programs based on AutoCAD 2000, the development tools ObjectARX3.0 is used. The algorithm has been realized with VC++6.0 and ARX3.0, and incorporated into AutoCAD 2000.

Key words: cubic bspline curve; geometric modeling; plane—aided method; second exploitation of AutoCAD