

车型 CAD 中的曲线和曲面造型^{*}

贾志勇^① 邱士均^① 贾志强^②

(① 厦门大学科学仪器系, 厦门 361005; ② 厦门华联电子有限公司, 厦门 361006)

摘要 在汽车、船舶和模具等的计算机辅助设计当中, 复杂曲线和曲面的设计始终是一个核心问题. 三次 B 样条曲线是一种由给定的控制顶点所形成的控制多边形定义生成的自由曲线, 具有 C^1, C^2 连续性、局部修改性及可扩展性等许多优良特性. 孔斯(Coons)曲面是由给定的 4 条界曲线(共 16 个系数向量)构造而成的曲面片, 它能够通过叠加和修正来产生满足需要的曲面. 在 Auto CAD R13 环境下, 应用了三次 B 样条曲线和孔斯曲面, 成功地进行了轿车车身的外形设计.

关键词 CAD, 曲面设计, 轿车车身

分类号 U 462.2; TP 391.72

车身工程是汽车工业中最年轻, 但却发展得最快的一个分支. 在传统的车身设计过程中, 车身制图是一项极其费力的工作, 不但要反复进行泥塑模型的制作, 而且常常会为了处理一些局部问题而做大规模的图纸改动. 计算机辅助设计技术的引入, 能够在较大程度上减轻这些劳动. 本文在 Auto CAD R13 软件环境下, 分别应用三次 B 样条曲线和孔斯曲构造了本身的外形框架和覆盖面, 成功地进行了车身设计.

1 三次 B 样条曲线和孔斯曲面的数学描述

1.1 三次 B 样条曲线^[1]

若给定 $N = m + n + 1$ 个顶点(m 为最大段号, n 为阶次), 则第 i 段($i = 0, 1, \dots, m$), n 次等距分割的 B 样条曲线函数可表示为

$$Q_{i,n}(t) = \sum_{l=0}^n P_{i+l} F_{l,n}(t) \quad l = 0, 1, \dots, n, \quad t \in [0, 1], \quad (1)$$

其中 基底函数 $F_{l,n}(t) = \frac{1}{n!} \sum_{j=0}^{n-l} (-1)^j C_{n+1}^j (t+n-l-j)^n$, P_{i+l} 为定义第 i 段曲线特征多边形的 $n+1$ 个顶点.

令 $n=3$, 即得到三次 B 样条曲线的方程

$$\begin{aligned} Q_{i,3}(t) &= \sum_{l=0}^3 F_{l,3}(t) P_{i+l} \\ &= \frac{1}{6} [t^3 \quad t^2 \quad t \quad 1] \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \\ P_{i+3} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

对式(2)进行运算和整理后

$$Q_{i,3}(1) = Q_{i+1,3}(0),$$

$$Q'_{i,3}(1) = Q'_{i+1,3}(0),$$

$$Q''_{i,3}(1) = Q''_{i+1,3}(0),$$

也即此曲线在连接处具有 C^0, C^1, C^2 连续的特性, 如图 1 所示. 由于每一段三次 B 样条曲线由 4 个控制点的位置向量决定, 改变一个控制点的位置, 最多影响 4 个曲线段. 所以, 能够通过改变控制点位置对其进行局部修改. 此外, 式(2)保证了如果增加一个控制点, 则新增曲线段与原曲线在连接处具有 C^1, C^2 连续, 由图 1 也可看出这一点.

1.2 孔斯曲面及其拼接^[6,2]

$$Q_{i,\alpha}(t) = [F_{h1}(u) \ F_{h2}(u) \ F_{h3}(u) \ F_{h4}(u)] \times \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{00}^{\omega} & P_{01}^{\omega} \\ P_{10} & P_{11} & P_{10}^{\omega} & P_{11}^{\omega} \\ P_{00}^u & P_{01}^u & P_{00}^{u\omega} & P_{01}^{u\omega} \\ P_{10}^u & P_{11}^u & P_{10}^{u\omega} & P_{11}^{u\omega} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{h1}(\omega) \\ F_{h2}(\omega) \\ F_{h3}(\omega) \\ F_{h4}(\omega) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中 $F_h(u), F_h(\omega)$ 分别是变量 u 及 ω 的调和函数. 矩阵中的 16 个元素分为 4 组, 左上角 4 个元素代表 4 个角点的位置向量, 右上和左下角为边界曲线在 4 个角点处的两组切线向量, 右下角为角点扭矢. 由此定出的曲面如图 2 所示.

如图 3 所示, 两张孔斯曲面 $S_1(u, \omega)$ 和 $S_2(u, \omega)$ 拼接, 要求在公共边界能达到 C^0, C^1 连续.

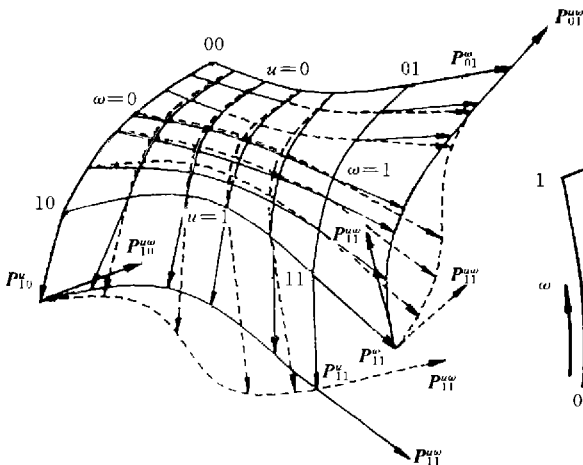


图 2 孔斯曲面的形成

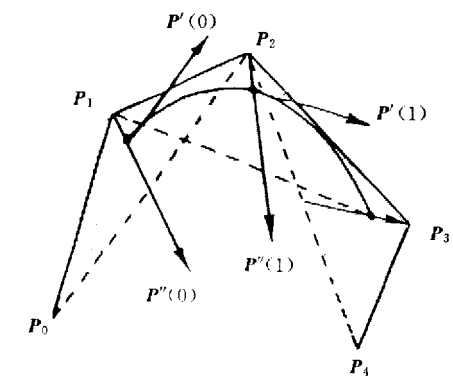


图 1 三次 B 样条曲线的端点特性

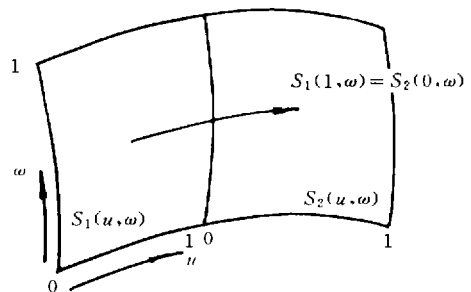


图 3 两张孔斯曲面的连接

则要有: (1) 两曲面公共边重叠, 即 $S_1(1, \omega) = S_2(0, \omega)$; (2) $S_2(0, \omega)$ 的切平面和 $S_1(1, \omega)$ 的切平面共面, 且其法矢方向保持一致, 即要满足

$$S_2'(0, \omega) \cdot [S_1'(1, \omega) \times S_1''(1, \omega)] = 0.$$

2 设计过程

2.1 数据的录入和车身框架构造

设计工作是在汽车公司的初始设计基础上进行的. 首先, 根据公司所提供的车身总布置图和 1-5 的油泥模型, 按照车身外形曲面的曲率、走向和延伸趋势把车身分成 26 块. 分块时要充分利用到车身上的腰线、风窗窗框等特征曲线^[6]. 在遵循各曲面片内部曲率变化均匀以及尽量不用异形曲面的原则下, 要尽可能减少曲面的分片数. 曲面数的增多必然会增加曲面拼接处理的难度和工作量, 过多过碎的曲面片对车身的整体外观也会有影响. 然后, 用三坐标测量仪按照分块情况直接从泥塑模型上测取有限个点的坐标, 经计算机处理后得到关于外形曲线和曲面控制顶点的数据, 并把这些数据保存在磁盘上以备录入. 其中的控制顶点(主要是样条曲线的控制顶点), 可以采用反算的办法求得. 具体求法: 设三次 B 样条曲线 $C_j(u)$ 过已知型值点 $Q_i (i=1, 2, \dots, n)$, 则此曲线的控制顶点 $P_j (j=0, 1, \dots, n+1)$ 与型值点间存在 $P_j(0) = (P_{j-1} + 4P_j + P_{j+1})/6 = Q_j (j=1, 2, \dots, n-1, n)$ 的关系. 由此可得到 n 个方程. 再补充两个边界条件后, 即可得到一组(共 $n+2$ 个)含有 $n+2$ 个未知数的方程, 求解后即可获得曲线的控制顶点数据.

输入各边界曲线的控制顶点数据, 在 Auto CAD R13 软件^[6]环境下用三次 B 样条曲线进行拟合, 生成车身框架模型. 对相接曲面的相连边界曲线(非公共边界线), 尽量用同一条样条曲线拟合, 使他们成为同一曲线的不同分段, 从而能更好地利用三次 B 样条曲线的特性实现各段曲线的光顺连接. 拟合生成整个车身约需 25 条样条曲线, 图 4 即为所构筑的车身三维框架.

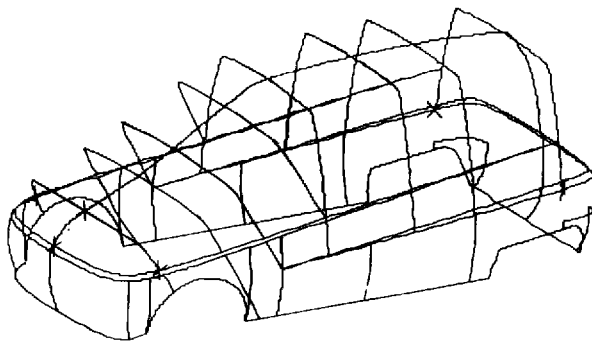


图 4 轿车车身三维框架

2.2 曲面的生成和拼接

在车身空间框架的基础上, 利用作用在 Auto CAD 环境下所研制的二次开发软件中的曲线模拟、制作与刀割辅助面、构造四边形曲面等程序模块生成各个基本曲面. 相邻的两个基本孔斯曲面片之间的光顺拼接, 是采用边界线的切平面共面的方法来得到的. 由于过渡曲面均较狭长, 就不必作出理论交线, 而直接在基本曲面作出后自动生成, 并使之在与基本曲面的交界处满足一阶连续. 对于由 3 条边界曲线所围成的角域曲面, 可以把它看作是围向它的 3 个四边形曲面的自然伸展. 这样, 就可以先按照其中两个曲面的圆角过渡曲面来生成它, 再对它与另外一曲面进行一阶连续校正. 除此之外, 再适当地对部分曲面进行求交与剪裁, 就能够构

造出基本的轿车模型. 图 5 为所作出的车身模型.

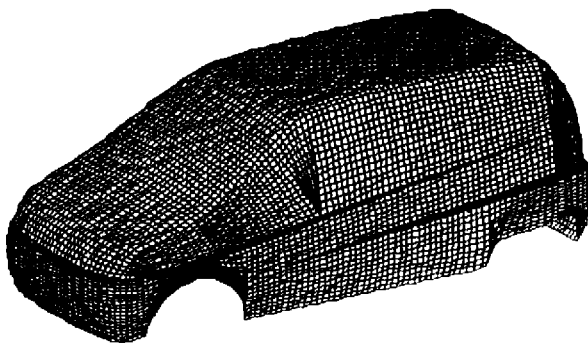


图 5 最后的轿车车身外观

3 结束语

本文借助曲线、曲面造型的基本理论, 应用三次 B 样条曲线及孔斯曲面, 在 Auto CAD 软件环境下进行了轿车车身的设计, 取得了比较满意的效果.

参 考 文 献

- 1 孙家广, 杨长贵. 计算机图形学. 北京: 清华大学出版社, 1995. 200 ~ 320
- 2 Hosaka M. Modeling of curves and surfaces in CAD/CAM. Tokyo: McGraw-Hill Book Company, 1991. 203 ~ 218, 282 ~ 292
- 3 黄天泽, 黄文阵. 汽车车身结构与设计. 北京: 机械工业出版社, 1992. 10 ~ 80
- 4 Sham T K 著. Auto CAD R13 使用大全. 卢建华译. 北京: 电子工业出版社, 1997. 345 ~ 420

The Moulding of Curve and Curve Surface in the Computer-Aided Design of Car Form

Jia Zhiyong^① Qiu Shijun^① Jia Zhiqiang^②

(^① Dept. of Sci. Instrument, Xiamen Univ., 361005, Xiamen;

^② Xiamen Hualian Electronics Co. Ltd., 361006, Xiamen)

Abstract The design of complex curve and curve surface is all along the core in the CAD of automobile, ship and die. By applying cubic B spline curve and Coons curve surface, the authors succeed in designing contour of sedan body in the Auto CAD R13 environment. Cubic B spline curve is generated in the light of the definition of control polygon which is formed by the given control vertexes, this free curve is of C^1 and C^2 continuity and it is locally amendable and extensible. Coons curve surface is constructed by four given boundary curves with their 16 coefficient vectors totally, this curve surface sheet is capable of creating the curve surface to meet the needs by way of overlay and correction.

Keywords CAD, the design of curve surface, the body of sedan