

任意复杂板壳类零件展开的算法实现

徐 进

(盐城工学院机械实习工厂, 盐城, 224003)

摘 要 应用参数双三次样条曲面, 将曲面片上的边界曲线“拉直”, 按面积相等的规则展成“平面片”, 再将这些平面片按其在曲面上的拓扑关系拼合而得到零件的展开图, 这种方法与现有方法相比, 适应性更广, 适合于任意复杂曲面零件, 又能与曲面描述方法很好地结合, 便于开发计算机辅助设计系统, 在工程技术中具有较高的应用价值。

关键词 板壳零件 展开算法 计算机辅助设计

分类号 TH13

引 言

板壳类零件的展开计算是计算机辅助设计中的重要组成部分, 也是整个设计与制造中的重要环节。准确的展开毛料不仅能节省原材料, 减少成形后的修边工作量, 而且也是改善成形条件, 提高成形质量的有效手段。多年来, 人们对板壳类零件的展开做了不少研究, 提出过多种方法, 这些方法各有特点, 但由于它们仅适合于平底板金件, 更复杂的零件无法处理, 而且这些方法主要用与手工计算, 不太适合于计算机辅助设计, 即使是能用计算机计算, 但它与板料成形中的计算机辅助设计的其它环节缺乏有机的联系, 而且显得比较单一。

零件的展开计算应与几何描述、力学分析等环节有机地结合, 并能适合于任意复杂的零件表面, 取得更好的应用效果和更广泛的应用范围。本文所描述的方法就能达到上述目的, 它是将参数双三次曲面片上的边界线“拉直”, 按面积相等的规则展成“平面片”, 再将这些“平面片”按其在曲面上的拓扑关系拼合而得到零件的展开图。

1 算法实现

根据曲线曲面知识, 参数双三次样条曲面可以描述形状复杂的板壳零件, 给定空间 $m \times n$ 个点, 样条曲面由 $(m-1) \times (n-1)$ 块曲面片构成。每块曲面片的方程为:

$$P(u, w) = \{U\}^T [M] [B] [M]^T \{W\} \quad (1)$$

其中

$$\{U\} = \{u^3 \quad u^2 \quad u \quad 1\}$$

$$\{W\} = \{w^3 \quad w^2 \quad w \quad 1\}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[B] = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{00w}' & P_{01w}' \\ P_{10} & P_{11} & P_{10w}' & P_{11w}' \\ P_{00u}' & P_{01u}' & P_{01}'' & P_{01}'' \\ P_{10u}' & P_{11u}' & P_{10}'' & P_{11}'' \end{bmatrix}$$

由上述可知,各曲面片的差别仅在于 $[B]$ 中各矢量值的不同,因而可以方便地用统一算法求出每一块曲面片所对应的“平面片”。

曲面片上的四条边界曲线分别为: $P(0,w)$ 、 $P(1,w)$ 和 $P(u,0)$ 、 $P(u,1)$ 。按参数曲线的弧长公式,四个边界的弧长可分别表示:

$$a = \int_0^1 \sqrt{\left[\frac{\partial p_x(u,0)}{\partial u}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_y(u,0)}{\partial u}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_z(u,0)}{\partial u}\right]^2} du \quad (2)$$

$$b = \int_0^1 \sqrt{\left[\frac{\partial p_x(u,1)}{\partial u}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_y(u,1)}{\partial u}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_z(u,1)}{\partial u}\right]^2} du \quad (3)$$

$$c = \int_0^1 \sqrt{\left[\frac{\partial p_x(0,w)}{\partial w}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_y(0,w)}{\partial w}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_z(0,w)}{\partial w}\right]^2} dw \quad (4)$$

$$d = \int_0^1 \sqrt{\left[\frac{\partial p_x(1,w)}{\partial w}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_y(1,w)}{\partial w}\right]^2 + \left[\frac{\partial p_z(1,w)}{\partial w}\right]^2} dw \quad (5)$$

计算中,可采用等距节点的数值积分法求得各段弧长。例如:

$$a = \sum_{i=1}^k \left[\left(\left. \frac{\partial p_x(u,0)}{\partial u} \right|_{u=u_i} \right)^2 + \left(\left. \frac{\partial p_y(u,0)}{\partial u} \right|_{u=u_i} \right)^2 + \left(\left. \frac{\partial p_z(u,0)}{\partial u} \right|_{u=u_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} * \Delta u \quad (6)$$

式中, k 为分点数, Δu 为节点距离,即 $1/k$, u_i 为第 i 分点处参数 u 的对应值 i/k 。其余三条边界曲线之弧长依次用同样方法求出。

四条边界弧长确定后,用四条线段按原来的首尾连接关系构成一个平面四边形,该四边形实际上是一个平面上的框架,其夹角可变,而且四边形的面积也随夹角的变化而变化。要确定该四边形还必须利用面积相等的条件,即根据板料成形理论中面积不变的基本假设来确定四边形的最终形状。

计算参数曲面 $P(u,w)$ 的面积,应按参数域 D 上面积公式:

$$A = \iint \sqrt{EG - F^2} dudw \quad (7)$$

其中:

$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{\partial P_x(u,w)}{\partial u} \right)^2 + \left(\frac{\partial P_y(u,w)}{\partial u} \right)^2 + \left(\frac{\partial P_z(u,w)}{\partial u} \right)^2 \\ F &= \frac{\partial P_x(u,w)}{\partial u} \cdot \frac{\partial P_x(u,w)}{\partial w} + \frac{\partial P_y(u,w)}{\partial u} \cdot \frac{\partial P_y(u,w)}{\partial w} + \frac{\partial P_z(u,w)}{\partial u} \cdot \frac{\partial P_z(u,w)}{\partial w} \\ G &= \left(\frac{\partial P_x(u,w)}{\partial w} \right)^2 + \left(\frac{\partial P_y(u,w)}{\partial w} \right)^2 + \left(\frac{\partial P_z(u,w)}{\partial w} \right)^2 \end{aligned}$$

参数域 D 就是 $u \in [0,1]$, $w \in [0,1]$ 。按上述公式双三次参数样条曲面片的面积公式可表

示为二重积分:

$$\int_0^1 \int_0^1 [P_{xy}(u, w)^2 + P_{yz}(u, w)^2 + P_{zx}(u, w)^2]^{\frac{1}{2}} du dw \quad (8)$$

式中引入的 $P_{xy}(u, w)$ 、 $P_{yz}(u, w)$ 和 $P_{zx}(u, w)$ 分别是下列行列式的简写形式:

$$P_{xy}(u, w) = \begin{vmatrix} \frac{\partial P_x(u, w)}{\partial u} & \frac{\partial P_y(u, w)}{\partial u} \\ \frac{\partial P_x(u, w)}{\partial w} & \frac{\partial P_y(u, w)}{\partial w} \end{vmatrix}$$

$$P_{yz}(u, w) = \begin{vmatrix} \frac{\partial P_y(u, w)}{\partial u} & \frac{\partial P_z(u, w)}{\partial u} \\ \frac{\partial P_y(u, w)}{\partial w} & \frac{\partial P_z(u, w)}{\partial w} \end{vmatrix}$$

$$P_{zx}(u, w) = \begin{vmatrix} \frac{\partial P_z(u, w)}{\partial u} & \frac{\partial P_x(u, w)}{\partial u} \\ \frac{\partial P_z(u, w)}{\partial w} & \frac{\partial P_x(u, w)}{\partial w} \end{vmatrix}$$

具体计算时仍采用等距分点的数值积分公式

$$A = \sum_{j=1}^l \left(\sum_{i=1}^k [P_{xy}(u, w)^2 + P_{yz}(u, w)^2 + P_{zx}(u, w)^2]^{\frac{1}{2}} \Delta u \right) \Delta w \quad (9)$$

式中, k, l 分别表示 u 向和 w 向等距分点的点数, 分点越多, 计算越细, 所得积分值就越精确, 但计算工作量也越大, 机时越长, 可根据实际精度需要确定 k, l 值。

求得四边界曲线长和面积值之后, 可得到确定的平面四边形。如图 1 所示。中间虚线 l 将四边形分成两个三角形, 两三角形面积之和即四边形的面积。

$$A = \frac{1}{2} ac \sin \alpha + \frac{1}{2} bd \sin \beta \quad (10)$$

再利用两个三角形之公共边的关系, 将式(10)中的 $\sin \beta$ 换成 $\sin \alpha$ 。根据三角形的余弦定理

$$l^2 = a^2 + c^2 - 2accos\alpha = d^2 + b^2 - 2bdcos\beta$$

$$\text{得: } \cos \beta = \frac{a^2 + c^2 - b^2 - d^2 - 2accos\alpha}{2bd}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta},$$

这样和已经求得的 a, b, c, d 的值代入式(10), 可解出 α 角的值, 从而唯一确定该平面四边形。

将 $(m-1) \times (n-1)$ 个这样的平面四边形一一确定, 再将它们按原表面上的相邻关系拼合起来, 即得到零件的展开图。曲面展开的程序框图和展开图请见图 2, 图 3。

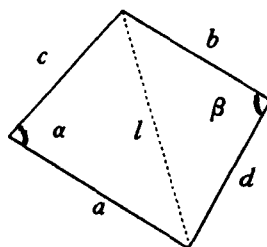


图1 平面四边形的确定

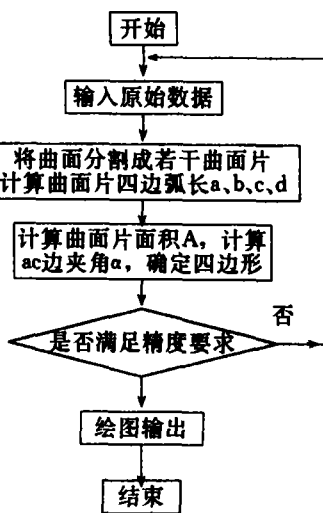


图2 曲面展开的程序框图

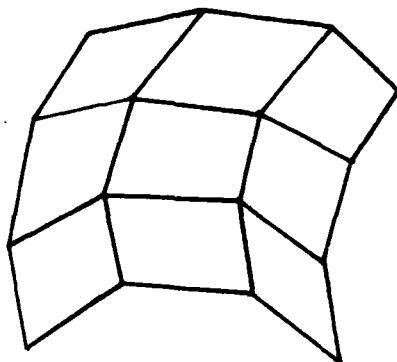


图3 表面展开图

(下转第 38 页)

DMF 用量占对硝基甲苯重量的 6%，在不同的反应时间内对氨基苯甲醛产率如表 5 所示，随着反应时间的增加，反应趋向完

全，产率不断提高，但时间越过 5h 后，由于副产物增加，而使产率下降，实验表明最佳反应时间 5h，收率为 90.91%。

表 5 反应时间对产率的影响

反应时间(h)	4.0	4.5	5.0	5.5
产品产率(%)	74.4	83.4	90.9	74.3

2.6 产品鉴定

由本法合成的对氨基苯甲醛经由桑德尔迈尔反应合成对氯苯甲醛，经测产品对氯苯甲醛的熔程 45.5~48℃，同时对其作红外谱图分析，与标准谱图一致，分析结果如下：

在波数 3050cm^{-1} 处有芳环四个 C—H 较弱吸收；在波数 2730cm^{-1} 处，有醛 C—H 较弱吸收；在 2850cm^{-1} 、 1700cm^{-1} 处有 C=O 较强吸收；在波数 $1450\sim 1650\text{cm}^{-1}$ 处有中等强度的芳环吸收；在波数 $600\sim 800\text{cm}^{-1}$ 处有强的 C—Cl 吸收。

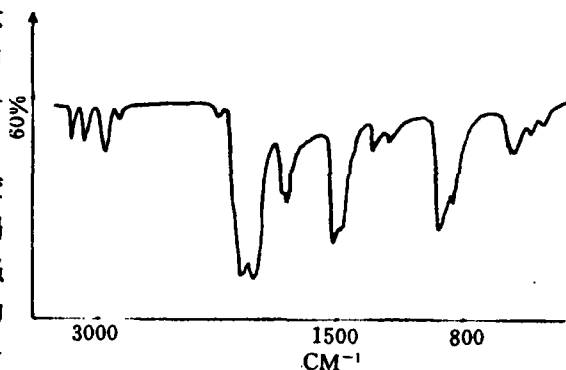


图 谱图

3 结论

综上所述，我们不难发现该法具有一定工业应用前景，尤其在医药工业上前景更为广阔，而国内外报道很少，很有研究价值。

参考文献

- 1 姚允斌等. 物理化学手册. 上海科学技术出版社
- 2 攀能延. 有机合成事典. 化学工业出版社
- 4 金世美. 有机分析教程. 高等教育出版社

(上接第 16 页)

2 结论

本文提出的算法，已用高级语言编成程序在微机上实现，能满足各种曲面零件的展开。

本算法能有效地克服以前算法的不足，即可计算任意复杂形状的零件展开，又能与曲面描述方法、力学分析及计算机绘图等有机地结合，有利于整个计算机辅助设计系统的建立。

本文给出的只是一种算法，实际上，确定板金零件的展开，制造工艺中，还要考虑成形中的压边需要及留出工艺余量等问题。

本算法具有很广泛的应用范围和很好的应用效果，便于开发机械 CAD 系统，在工程技术中具有较大的应用价值。

参考文献

- 1 马利庄, 王荣良著. 计算机辅助几何造型技术及应用. 科学出版社. 1996
- 2 谭建荣. 工程曲线曲面的计算机辅助设计. 河海大学大学出版社. 1993