

# 曲面延拓技术及其应用

## Surface Extension Technology and Its Application

南京航空航天大学机电学院 何 龙 安鲁陵 王小平 王远峰

**[摘要]** 根据曲面延拓的实际应用以及 CATIA 二次开发技术,提出了一种曲面延拓的新策略:对于给定的曲面,自动检测出曲面上的角点,以角点划分原曲面的边界,再对划分好的曲面边界分别延拓。自动检测出边界上结合后可以延拓的最多拓扑曲线段进行延拓,并判断延拓后曲面片的延拓质量;剩余无法结合后延拓的曲线段,优先采用单独延拓,若无法成功,则用填充、扫掠等操作代替。

**关键词:** CATIA 二次开发 角点检测 边界划分 曲面延拓

**[ABSTRACT]** According to the actual application of surface extension and the second development technology of CATIA, a new method for surface extension is proposed that is automatically detect the angular point for a given surface, divide the boundary of the original surface with the angular point, and then extend the surface boundary respectively: the method automatically detect the most number of combined boundary curve that can extend, and judge the quality of the surface extended. For those that cannot be extended after combined, they will be first extended separately, if fails, the operation such as filling and sweeping will be used instead.

**Keywords:** Second development of CATIA Diction of angular point Boundary division Surface extension

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.15.039

曲面延拓广泛应用于检具设计中的模拟块设计、模具分型面设计和冲压工艺补充面设计等方面<sup>[1]</sup>。在复合材料成型模具设计过程中,模板的快速设计对提高模具设计效率十分重要。模板的原始设计依据是从产品上提取出的曲面,设计模板时需要对该曲面进行延拓操作。由于提取出的曲面复杂程度差异大,若直接使用 CAD 软件已有功能对曲面进行延拓,受到的约束很多(如曲面外延趋势、延拓长度等),很多情况下无法实现。目前国内外学者对于曲面延拓做了一定的研究<sup>[2-5]</sup>,但这些算法的应用范围有限,能够运用于实际设计过程的方法很少。

本文作者在与航空制造企业合作过程中,针对复

合材料模具设计中曲面延拓的问题,结合 CATIA 中曲面延拓的实际应用以及 CATIA 二次开发技术,提出了一种曲面延拓的新策略,具体如下:对于给定的曲面,自动检测出曲面的角点,以角点划分原曲面的边界,再对划分好的曲面边界分别延拓。自动检测出边界上结合后可以延拓的最多曲线段进行延拓,对延拓后的曲面片判断延拓质量,对于结合后无法延拓的曲线段,优先使用单独延拓的方法,若不成功,则可以使用填充、扫掠等操作处理。

### 1 曲面边界的自动划分

直接用 CATIA 的命令对整个边界延拓,对于大部分的曲面都是很难实现的。为此,需要对原始的整个边界进行划分。本文提出了一种通过自动检测曲面角点,自动划分曲面边界的方法。

首先,设计角点自动检测算法。曲面在角点处是切向不连续的,但是曲面切向不连续对应的点不一定是角点。

为此,提出角点检测的方法如下:

Step 1: 用切线连续的方式分割整个边界,获取分割后的边界线段,将其存入链表 LIST1 中;

Step 2: 遍历 LIST1,获取 LIST1 中所有边界线段的 2 个端点,存入链表 LIST2 中,并且删去 LIST2 中的重复项;

Step 3: 对于 LIST2 中每个端点  $P$ ,必同时属于 2 条边界线段,分别过该端点作这 2 条曲线的切线  $L_1$ 、 $L_2$ ;

Step 4: 测量  $L_1$  和  $L_2$  之间的夹角  $\theta$ ,对于给定的阈值  $\varepsilon$ ,比较  $\theta$  与  $\varepsilon$  之间的关系,如果  $\theta > \varepsilon$ ,说明端点  $P$  是角点;如果  $\theta < \varepsilon$ ,则说明端点  $P$  不是角点。

所以,确定合适的阈值  $\varepsilon$ ,对于准确判断出角点位置非常重要。

通过角点划分边界,可以有效地减少在非角点处,延拓后出现裂缝的情况。由于 2 条曲线的外延趋势不一样,延拓后很可能出现裂缝。自动检测出角点之后,只要在角点检测的基础上,做相应的修改,就能将原始整个边界按角点自动划分:如果 LIST2 中的点  $P$  不是角点,则提取出点  $P$  属于 LIST1 中的 2 条曲线,将这 2 条曲线合并为 1 条曲线添加到 LIST1 中,并将原来的 2 条

曲线从 LIST1 删去。

## 2 曲面自动延拓

曲面延拓的一个基本原则就是要尽可能多的结合边界线段同时延拓。这主要是因为有些边界处,曲面是无法延拓的(或者延拓的形状不满足要求),但是将其与两边的边界结合后,由于曲面外延趋势的改变,就可以延拓了。

为此,在尽可能结合多的曲线段的前提下,本文提出了曲面延拓的新思路如下:

Step1: 将上述链表 LIST1 中已经划分好的 2 个角点之间的一条边界(可能有  $n$  条线段)试延拓,成功,则保留结果,程序结束;失败,转 Step2。

Step2: 如果延拓边界的拓扑线段为  $n=1$ ,则出现图 1 所示的情况,其处理方法为:用点  $P$  做外插延伸,得到曲线②。以曲线①沿曲线②做扫掠。扫掠得到的曲面片就是延拓面片。

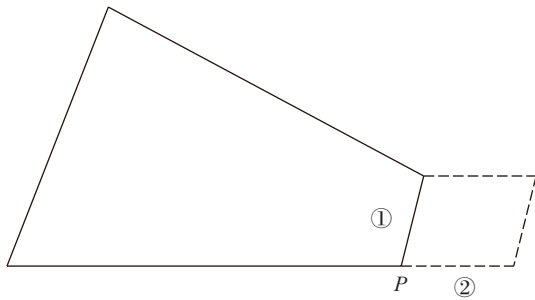
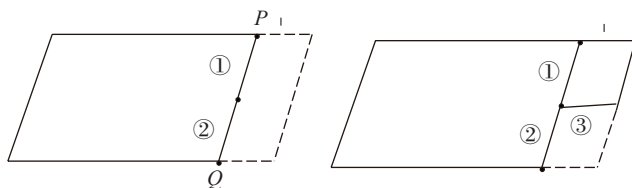


图1 单个拓扑边延拓情况及其处理方法

Fig.1 Single topology boundary extension and its processing method

如果延拓边界的拓扑线段为  $n=2$ ,则分别试延拓 2 个拓扑线段,若 2 个拓扑线段都能延拓成功,则延拓完毕,程序结束;若有不成功的延拓边,则会出现图 2 (a) 和图 2 (b) 两种情况。图 2 (a) 中的处理方法为:分别延拓端点  $P$ 、 $Q$ ,并以  $P$ 、 $Q$  的延拓曲线及①、②作多截面曲面,该曲面即为延拓曲面。图 2 (b) 中的处理方法为:直接将曲线②沿曲线③做扫掠。

如果延拓边界的拓扑线段  $n>2$ ,将  $n-i(i=1,2,\dots,n-2)$



(a) 两边都无法延拓 (b) 只有一条拓扑边能够延拓成功

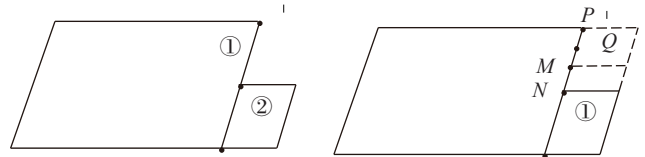
图2 两拓扑边延拓情况及其处理方法

Fig.2 Two topology boundaries extension and their processing method

段曲线段结合后试延拓,并判断试延拓之后的曲面片是否符合要求,如果满足要求,则转到 Step3,如果不满足要求,  $i=i+1$ ,重新结合曲线段后试延拓,不断循环。如果没有一次结合能够延拓成功的,转到 Step4。

Step3: 只要有一种结合后延拓能够满足要求的,延拓成功的曲面片则可能出现在该边的任意端部或者该边的中部。

对于出现在端部的情况,如图 3 所示。图 3 (a) 的处理方法为:判断曲线①能否延拓,若不能延拓,则采用将②沿①作扫掠;图 3 (b) 的处理方法为:将  $P$  点延拓并保留,对于内部点,比如  $Q$ 、 $M$ ,同样延拓,并比较其与①之间的夹角是否小于设定的阈值,如果满足条件,则保留,将保留的延拓曲线依次连接,再用样条曲线依次连接成封闭轮廓,用填充功能填充,得到延拓面片。



(a) 端部有一条拓扑边无法延拓 (b) 端部有多条拓扑边无法延拓

图3 多拓扑边延拓出现在端部情况及处理方法

Fig.3 Several Combined topology boundaries extension occur in ends and its processing method

对于出现在中部的情况,如图 4 所示。图 4 (a) 的处理方法为:分别判断曲线①、③能否直接延拓,若不能,则以曲线②、④分别沿曲线①、③作扫掠,得到的扫掠面就是延拓面片。图 4 (b) 的处理方法为:对于上半部分,将  $N$  点延拓并保留,对于内部点,比如  $P$ 、 $Q$ 、 $M$ ,同样延拓,并比较其与曲线②之间的夹角是否小于设定的阈值,如果满足条件,则保留,将保留的延拓曲线用样条曲线依次连接成封闭轮廓,用填充功能填充,得到延拓面片;对于下半部分,先判断曲线①是否能够单独延拓,如果不能,则直接将曲线①沿曲线②作扫掠,得到延拓面片。图 4 (c) 分为上、下 2 部分处理,各部分的处理方法都与图 4 (b) 中上半部分的处理方法类似。

Step4: 对于没有一种结合后试延拓能够成功的情况,首先找寻边界上能够单独延拓,且质量较高的曲面片作为基准曲面片(质量较高指的是延拓出的曲面片应近似于平行四边形,若都不满足要求,则取两对边夹角最小的延拓面片),提取出基准曲面片的 2 个延拓边中的任意一个,记为  $C_1$ ,提取出需要延拓边界上的所有点,用这些点做外插延伸,比较延拓曲线与  $C_1$  之间的夹角  $\theta$ ,如果  $\theta$  小于设定的阈值,则保留该点的

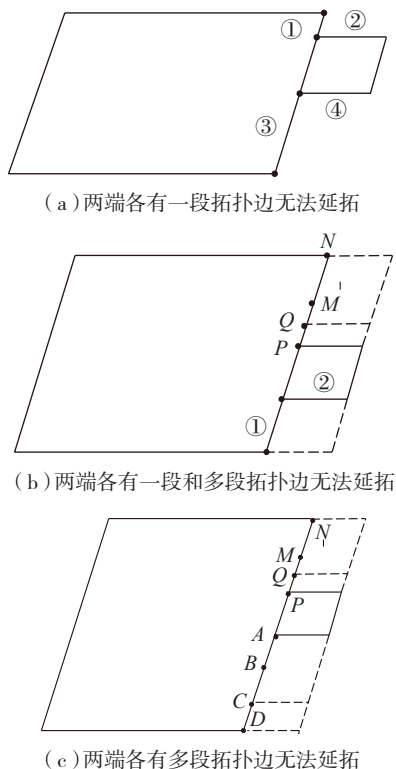


图4 多段拓扑边延拓出现在中部情况及处理方法

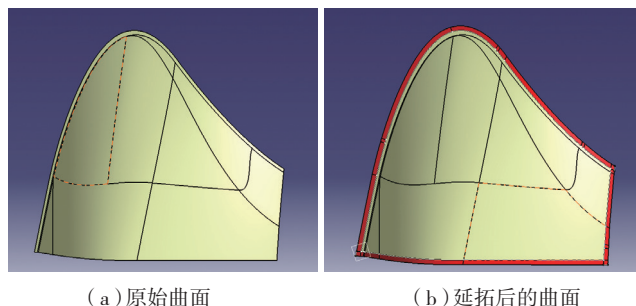
Fig.4 Several combined topology boundaries extension occur in middle and its processing method

外插延伸线,将其加入 LIST3 中,将 LIST3 中的曲线依次连接组成封闭线框,利用填充功能填充线框组成延拓面。

### 3 实例

下面通过若干实例来说明以上曲面延拓方法的可行性。

如图 5 所示的曲面,由于曲面比较复杂,如果使用 CATIA 自带的功能直接进行延拓,在有些边界处延拓出的曲面无法达到预期的效果;同时如果改变曲面的延拓长度,有些边界则会出现无法延拓的情况。应用本文中的延拓的方法后,一次性延拓后延拓曲面如图 5 (b),能够达到预定的要求。



(a) 原始曲面

(b) 延拓后的曲面

图5 某曲面及其延拓

Fig.5 Certain surface and its extension

## 4 结论

为了解决在 CATIA 设计过程中曲面延拓困难的问题,本文提出了 CATIA 中曲面延拓的新方法:尽可能多地结合边界曲线段进行延拓,对存在结合后无法延拓的曲线段,采用其他方法,比如扫掠、填充等替代。该方法在 CATIA 二次开发环境中实现,能够快速地延拓曲面,经实际检验后,能够满足设计要求。目前,该功能已经应用于复合材料成型模具的设计中。

### 参考文献

- [1] 姜坤,周雄辉,黎旻,等. 检具设计中延伸曲面修补方法. 上海交通大学学报, 2011,45(11):1720-1724.
- [2] Shetty S, White P R. Curvature-continuous extension for rational B-spline curves and surfaces. Computer-Aided Design, 1991, 23(7):484-491.
- [3] 余正生,雷毅. NURBS 曲线曲面延伸. 工程图学学报, 1997(1):7-18.
- [4] 赵东福,许澍虹,柯映林. 组合三角 Bezier 曲面的延伸. 机械工程学报, 2003,39(4):87-91.
- [5] 初剑,魏志强,孟祥宾,等. 基于 Delaunay 三角剖分的曲面求交技术. 系统仿真学报, 2009,21(1):155-158.

(责编 亿霖)

(上接第 38 页)

(2) 超声波振动切削具有的冲击特性,降低了零件的疲劳强度和冲击韧性,使被切削工件表层的应力梯度变化较大,残余应力分布很不均衡,沿层深方向的拉应力和压应力夹杂存在。

(3) 在合理的工艺参数下,振动时效能有效地降低和均化超声波振动切削产生的表层残余应力,可在一定程度上提高工件尺寸、形位精度的稳定性以及工件表层的抗疲劳性能。

### 参考文献

- [1] Ahmed N, Mitrofanov A V, Babitsky V I, et al. Analysis of material response to ultrasonic vibration loading in turning Inconel 718. Materials Science and Engineering, 2006, 424(1/2): 318-325.
- [2] Amini S, Soleimanimehr H. FEM analysis of ultrasonic-vibration-assisted turning and the vibratory tool. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 201(1-3):43-47.
- [3] 杨亮,卢泽生. 精密超声波振动切削单晶铜的计算机仿真研究. 系统仿真学报, 2007,19(4):738-741.
- [4] 易俊杰,刘长毅. 钛合金 TC4 超声波振动切削有限元仿真. 中国制造业信息化, 2008, 37(23): 29-32.
- [5] 吴红兵,刘刚,柯映林,等. 钛合金的已加工表面残余应力的数值模拟. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41(8):1389-1393.
- [6] 付建科,范万里,陈维壁,等. 基于有限元法的重大焊接结构振动时效工艺参数研究. 机械设计与制造, 2008(2):119-121.

(责编 亿霖)