

注塑模 CAE 有限元网格划分系统

杨晓东,董斌斌,李倩,申长雨

(郑州工业大学橡塑模具国家工程研究中心,河南 郑州 450002)

摘要:根据注塑模 CAE 分析的特点,采用 Delaunay 三角化方法,并引入网格尺寸控制函数,对平面和曲面进行高质量的网格划分,在此基础上开发了功能强大的有限元网格划分系统.实例证明,本系统不仅能完成等尺寸三角形网格的划分,而且实现了变尺寸三角形网格的划分,可灵活地控制三角形的生成,满足用户的不同需要.

关键词:有限元;网格划分;注塑模

中图分类号: TB 115 **文献标识码:** A

0 引言

注塑模 CAE 分析的主要方法之一是有限元法,有限元计算离不开网格划分,尤其是三角形网格应用得更加普遍.与其它类型单元比较,三角形单元适应性强,生成方法也相对成熟.

由于任意平面的三角形网格划分已经相当成熟,对曲面的三角形划分方法也有不少理论研究,将这些成果应用到有限元前置处理可得到高质量的网格单元. S. H. Lo^[1,2]在这一领域作了不少卓有成效的工作,他首次提出的平行线布点方案简单可靠,为等尺寸三角形网格的生成提供了方便;他的另一项工作是提出利用前沿生成法(advancing front method)进行梯度网格划分的算法,得到了光滑过渡的变密度三角形网格.本文以 S. H. Lo 的研究为基础,进一步改进其算法,开发出适用于注塑模 CAE 分析的三角形网格划分系统.该系统对表面模型进行处理,为注塑模分析提供一种自动化、高质量的三角形网格生成方法,从而为有限元计算提供很大的方便.

1 有限元网格划分方法

1.1 平面区域的三角形划分

本算法采用边界表示法 BRep 描述形体的几何信息和拓扑信息.形体的 BRep 描述就是用面、环、边、点来定义形体的位置和形状.平面域由环

构成,分外环和内环两种,外环描述区域的外边界,内环描述区域的内边界,二者之间的区域为有效平面域.环由边构成,边可以是直线段、圆、圆弧、平面样条曲线.

1.1.1 三角形生成方法

平面区域采用 Delaunay 三角化方法^[1,3]生成网格.三角形生成完毕,利用 Laplace 光滑方法进行处理,进一步提高三角形的质量.主要步骤包括:

(1) 边界离散.边界离散根据边界段端点处的三角形尺寸要求,采用等比离散,以便能光滑过渡.然后将离散后的直线段按逆时针形成有向线段,并记入生成前沿队列.

(2) 内部节点生成.内部节点 $P(x, y)$ 位于当前待生成三角形的前沿边 CD 的垂直平分线上,点 $P(x, y)$ 到点 C, D 的距离由节点间距函数 $\rho(x, y)$ 决定,其中 S_i 是边界上有向线段 $A_i B_i$ 的长度, N 为边界有向线段总数, d_i 为点 P 到 $A_i B_i$ 中点的距离. $\rho(x, y)$ 如下述公式所述

$$\rho(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N S_i / d_i^2}{\sum_{i=1}^N 1 / d_i^2}$$

(3) 三角形生成.按前沿生成法生成一个三角形,整理生成前沿队列.检查队列是否为空,若是则结束,否则从队列的首部取出一个前沿边作

收稿日期:1999-01-14;修订日期:1999-02-30

基金项目:河南省杰出青年科学基金资助项目(Y97006)

作者简介:杨晓东(1967-),男,河南省南召县人,郑州工业大学工程师,硕士,主要从事有限元计算及计算机图形学方面的研究.

为待生成三角形的边,返回(2)继续执行。

1.1.2 光滑处理

三角形的质量判断可采用下述准则^[1]

$$\alpha = 2\sqrt{3} \frac{\|CA \times CB\|}{\|CA\|^2 + \|CB\|^2 + \|AB\|^2}$$

当 $\alpha = 1$ 时,对应于等边三角形, α 值越小,三角形质量越差。

采用 Laplace 法进行光滑处理可进一步改善三角形的质量,光滑处理以改善局部最差三角形为标准。对任一内部节点 $C(x, y)$,与其相连的三角形最小 α 值为 α_{\min} ,假设经 Laplace 光滑后的节点坐标为 $C^*(x^*, y^*)$,与其相连的三角形最小 α 值为 α_{\min}^* ,若 $\alpha_{\min}^* > \alpha_{\min}$,则用 $C^*(x^*, y^*)$ 替代 $C(x, y)$,否则不作改变。

1.1.3 主要技术特点

为便于注塑模分析的特殊需要,本系统的平面网格划分部分具有以下特点:

(1) 根据用户定义的网格尺寸,自动生成均匀的三角形网格。

(2) 用户指定任一图元(如点、线、圆、弧、样条、平面区域等)的网格尺寸,系统采用加权平均法,综合考虑任一平面域内所有图元的尺寸要求,自动生成光滑均匀的三角形网格,达到整体最优。

(3) 区域内部允许存在不封闭的图元(如点、线等),称为内部特征。这是为了方便确定浇口以及其它特殊用途,对这些图元同样可以指定其网格生成尺寸。

(4) 系统根据平面域的边界特点自动调整当地网格的尺寸和密度,以达到整体最优。

1.2 曲面区域的三角形划分

根据曲面的特点,认为它们在参数面内由 4 条边界围成,从而可以用统一的数据结构表示,并通过参数平面完成网格划分。

1.2.1 三角形生成方法

对常用的旋转面(包括圆柱、圆锥、圆台、球面、圆环面等)和平扫曲面,采用参数域划分法完成^[4]。参数域划分法包括 3 个主要步骤:

(1) 将曲面映射到参数域内,将三维问题转化为二维问题。

(2) 根据曲面的结构特点,在参数平面域内利用平行线布点方法生成内部节点,通过适当布置,将参数平面域离散成点集,然后利用 Delaunay 三角化方法得到二维域上的网格划分。

(3) 将参数域内的结果映射到三维域内,当二维网格转换为三维网格时,三角形编号和节点编号均不需改变,只需将二维节点坐标映射到三维空间即可。

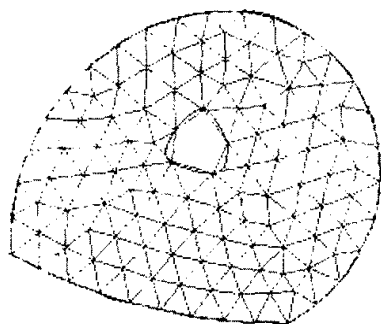
1.2.2 主要技术特点

(1) 根据用户定义的网格尺寸,生成均匀的网格。

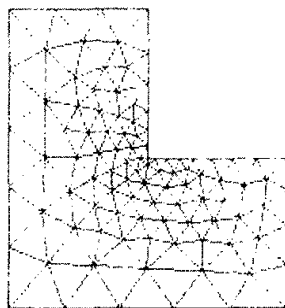
(2) 根据用户定义的最大和最小网格尺寸,系统在综合考虑用户要求和曲面构成特点的基础上,生成光滑均匀的三角形网格。

2 算例

图 1(a)为一任意平面域的等尺寸网格划分结果,划分尺寸为 10 个单位。图 1(b)为一平面域的变尺寸网格划分结果,三角形最大尺寸为 20 个单位,最小尺寸为 3 个单位。



(a)等尺寸网格划分

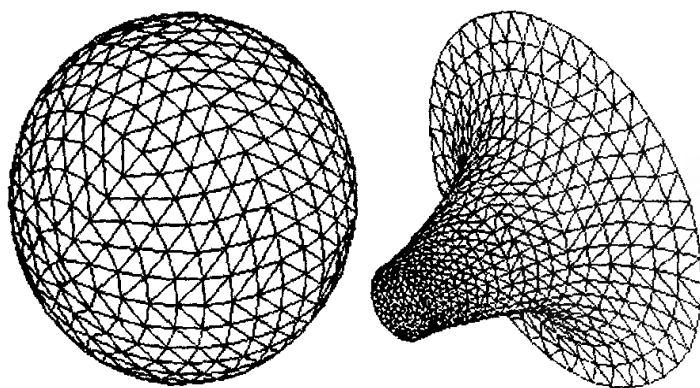


(b)变尺寸网格划分

图 1 平面域的三角形网格模型

图 2(a)为球面的等尺寸三角化结果,划分尺寸为 10 个单位。图 2(b)为旋转面的变尺寸三角

化结果,三角形最小尺寸为 0.4 个单位,最大尺寸为 10 个单位。



(a) 等尺寸网格划分(球面)

(b) 变尺寸网格划分(旋转面)

图2 曲面域的三角形网格模型

3 结论

基于注塑模 CAE 分析的需要,开发了专用的网格划分程序,对平面和曲面组成的表面模型可灵活地生成高质量的三角形网格模型.作为注塑模 CAE 分析集成软件的一部分,本系统已成功地应用于工程实际中.另外,本系统作为一个独立的部分,稍加改动即可适应于其它工程领域有限元计算的需要.

参考文献

- [1] LO S H. Generation of high - quality gradation finite element mesh[J]. Engineering Fracture Mechanics. 1992, 41 (2):191 - 202.
- [2] LO S H. Finite element mesh generation over curved surfaces[J]. Comput Struct, 1988, 30(4):731 - 742.
- [3] 杨晓东,刘春太,申长雨等.任意平面域有限元网格划分技术[J]. 郑州工业大学学报, 1998, 19(4):9 - 12.
- [4] 杨晓东,刘春太,陈静波等.利用参数平面生成曲面的均匀三角形网格[J]. 计算技术与自动化, 1999, 18 (1):31 - 34.

Finite Element Mesh System for Injection Molding CAE

YANG Xiao - dong, DONG Bin - bin, LI Qian, SHEN Chang - yu

(NERC of Plastic and Rubber Mold & Die, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: According to the character of injection molding CAE analysis, a powerful finite element mesh system is developed for plane and surface by introducing control function of mesh size, the high quality mesh method to plane region and surface region is proposed on Delaunay triangulation. This system can generate not only uniform triangles mesh but also gradation triangles mesh. It can meet user's different demand by means of its control on the process of triangle generation.

Key words: finite element; mesh; injection molding