

一种用于二维燃烧室流场计算的 非结构网格的生成方法*

西 北工业大学 尹 河** 常利娜 严传俊

【摘要】 本文依照 Delaunay 准则构造二维非结构网格, 并提出了一种与之相应的基于阵面推进法的自动生成新的内部节点的方法。文中给出了利用这一方法对边界形状复杂的燃烧室流场进行网格划分时, 所得的非结构网格, 及网格相应的质量统计特性。从这些算例可以看出, 这一方法能够较好地适应复杂的几何外形, 得到分布合理, 并且大多数单元形状接近正三角形的非结构网格。

主题词: 燃烧室 流场 计算 网格

分类号: V231 TP391

1 引 言

本文引入了非结构网格对燃烧室流场进行离散, 非结构网格单元的形状、大小和位置能根据几何或计算需要灵活调整, 所以能比较好地适应复杂的几何形状。在二维问题中, 非结构网格多采用三角形单元。

目前主要有两种生成非结构网格的算法, Delaunay 划分法^[1]和阵面推进法^[2,3]。在计算域内预先给定节点集时, 由 Delaunay 三角划分法可以得到其唯一的三角形网格划分, 这一划分符合 Delaunay 准则, 即对于任一给定网格单元, 其外接圆不包含其它任意网格节点; 而阵面推进法是一种比较灵活的网格划分法, 它的准则是新的网格单元不应与阵面任意已有的边相交。Sibson 证明了 Delaunay 三角网格划分具有整体最优化的性质^[4], 即对于任意给定的平面凸点集, 满足 Delaunay 准则的三角网格划分具有最小角最大的性质, 这样就可以尽可能避免狭长三角形的出现。由于狭长单元有可能导致计算精度的严重降低, 因此为了保证流场计算精度, 本文按照 Delaunay 准则构造非结构网格。Delaunay 划分法是一种由给定节点集得到相应三角形网格的方法, 通常利用 Holmes 和 Snyder^[5]给出的方法的引入内部节点, 但是由这一方法得到的网格其单元排列不够规则, Rebay S 提出了一种新的加点方法^[6], 根据此方法可以得到单元排列相对比较规则的 Delaunay 非结构网格, 但是其边界附近的网格质量不够理想, 在流场计算中有可能最终引起较大的计算误差。

本文基于阵面推进法, 对 Rebay S 的方法作了改进, 提出了一种新的产生网格内部节点的方法。这一方法与 Rebay S 所给方法的主要不同之处在于, 由半径最小的有效单元确定新加节点的位置, 并在计算中舍弃了位置不佳的新节点。计算表明, 这一方法能够为边界复杂的燃烧室流场产生合理而有效的三角形网格。

文中第一部分描述了初始网格的生成过程,并详细给出了生成和加入新节点的方法。第二部分以扩压器流场为例,对由 Rebay S 方法和本文所给方法生成的三角形网格作了比较,同时也给出了利用本文所给方法得到的环形燃烧室和火焰筒的三角形网格划分及其质量统计特性。第三部分则是本文的结论部分。

2 二维无结构网格的生成

2.1 初始网格的生成

在生成流场的非结构网格时,首先要由流场的边界点集得到其初始的网格划分,这一划分应符合 Delaunay 准则,并且计算域被三角形单元完全覆盖,而在计算域外则不会出现网格。生成初始网格的主要步骤如下:

(1) 定义一足够大能够覆盖计算区域并易于进行三角划分的凸边形。本文中,一般取一包含所有边界点的长方形,连接这一长方形的任意一条对角线,可以得到该长方形区域的一种三角划分。

(2) 从边界点集中取出一边界点作为新节点,与原有节点一起构成新的节点集,然后利用 Bowyer-Watson 算法^[7,8]得到新点集对应的 Delaunay 三角划分。

(3) 重复步骤(2),直至将所有边界点都逐个加入到初始定义的凸边形中。

(4) 去掉计算区域以外的三角形单元,得到计算域的初始网格划分。实际计算表明,当边界的离散尺寸相对于曲线的外形特征尺寸较小时,这一算法生成了满足计算要求的初始三角形网格。

2.2 新节点的生成和加入

由边界点集得到的初始网格,其三角形多为狭长单元,因此需要在网格中逐步加入新的内部节点以改善原有网格的质量。本文基于阵面推进法提出了一种新的加点方法,其过程如下:

(1) 根据计算要求,设定一标准外接圆半径。若已有三角形网格单元的外接圆半径不超过设定值,则将其定义为可接受三角形;反之则定义为不可接受三角形。不可接受三角形又可以分为有效三角形和预备三角形,具体划分准则如下:若不可接受三角形至少有一边为边界,或者与其相邻的三角形中至少有一个三角形为可接受三角形,则这一不可接受三角形定义为有效三角形,否则定义为预备三角形。

(2) 搜索得到外接圆半径最小的有效三角形,设其一边为确定新加点最佳位置的参考边。

(3) 根据这一参考边得到一个新的节点,这里有两种情况:

① 若新节点位于计算域内并与任一已有节点的距离大于某一限定值,则按照 Bowyer-Watson 算法^[4,5]将新节点加入到原有网格中,得到新的网格划分。依照各单元外接圆半径的大小,将其设为可接受三角形或不可接受三角形。

② 若新节点位于计算域外,或存在一已有节点与新节点的距离大于限定值,则舍弃这一新节点,并将这一节点对应的有效三角形设为可接受三角形。

(4) 检查是否仍然存在不可接受三角形,若所有三角形都为可接受三角形,则对网格进行平滑处理,计算结束;否则将不可接受三角形重新分为有效三角形和预备三角形,继续执行(2)到(4)。

3 算 例

根据流体计算的实际情况,网格中每个三角形的形状应当尽量接近正三角形,并应避免狭

长单元,即钝角接近 180°或锐角接近 0°的三角形出现。反映三角形外形的形状因子 q 通常用来作为衡量三角形网格优劣的标准,本文用其平均值 q_m 描述网格的整体特性,而其最小值 $q_{\min}$ 则表示了网格中会不会有狭长单元出现, q 、 q_m 和 $q_{\min}$ 分别定义为:

$$q = \frac{2r}{R} \quad , \quad q_m = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{n} \quad , \quad q_{\min} = \min_{1 \leq i \leq n} (q_i)$$

其中, r 为内接圆半径, R 为外接圆半径, n 为网格中三角形单元的总数。 q 值在 0 到 1 之间变化,当三角形为正三角形时, q 取最大值 1; 当三角形为狭长单元时, q 值会变得很小。表 1 比较了利用方法 1(Rebay S 所给方法) 和方法 2(本文所给方法) 得到的扩压器流场三角形网格 q 值的分布情况。利用本文所给方法得到的非结构网格划分(如图 1 到图 4 所示: 图 1 网格中有

表 1 扩压器流场三角形网格的 q 值分布

q 值 的 变 化 范 围		0.65~0.7	0.7~0.75	0.75~0.8	0.8~0.85	0.85~0.9	0.9~0.95	0.95~1.0
q 值位于不同范围的三角形单元数	方法 1	1	2	6	12	25	171	1480
	方法 2	0	4	4	6	22	140	1535

1697 个三角形单元, 982 个节点; 图 2 网格中有 1711 个三角形单元, 989 个节点; 图 3 网格中

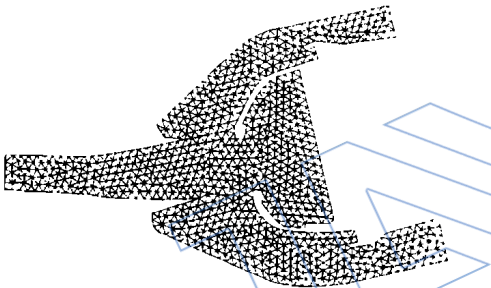


图 1 利用方法一得到的扩压器流场非结构网格划分
($q_m=0.9796$, $q_{\min}=0.6947$)

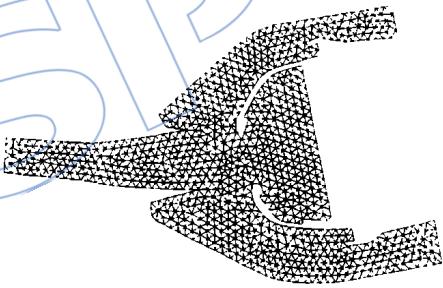


图 2 利用方法二得到的扩压器流场非结构网格划分
($q_m=0.9832$, $q_{\min}=0.7421$)

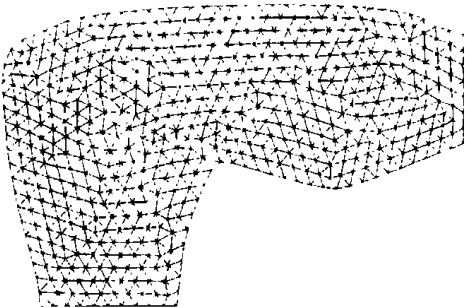


图 3 利用方法二得到的环形燃烧室流场非结构网格划分
($q_m=0.9878$, $q_{\min}=0.8317$)

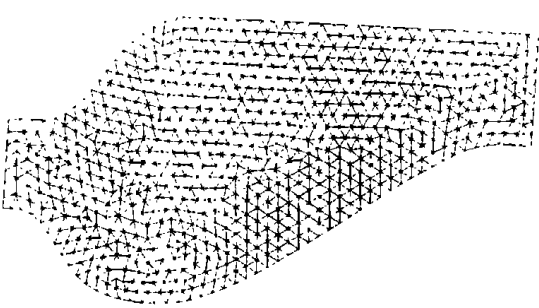


图 4 利用方法二得到的火焰筒流场非结构网格划分
($q_m=0.9888$, $q_{\min}=0.8010$)

有 1052 个三角形单元, 576 个节点; 图 4 网格中有 1486 个三角形单元, 801 个节点), q_m 的值一般在 0.98 左右, 这表明大部分网格单元的形状接近于正三角形, 即网格的总体质量比较高;

而且 $q_{\min}$ 的值都超过了 0.7, 不会有狭长单元出现, 因此能够满足多数计算的需要。

3 结 论

本文所给构造三角形网格的方法有如下特点: (1) 基于阵面推进法, 自动确定网格新节点的位置; (2) 新节点的加入始终满足 Delaunay 三角划分的准则; (3) 内部节点的引入与网格单元的生成交替进行。因此, 由这一方法得到的网格, 具有较好的边界特性, 同时, 由于网格划分满足 Delaunay 准则, 网格中一般不会出现狭长单元。

参 考 文 献

- 1 Lee D T, Schachter B J. Two Algorithms for Constructing Delaunay Triangulation. Int. J. Comput. Inf. Sci., 1980, 9(3): 219- 242
- 2 Peraie J, Vahdati M, Morgan K, Zienkiewicz O C. Adaptive Remeshing for Compressible Flow Computations. J. Comput. Phys., 1987, 72: 449- 466
- 3 Lohner R, Parikh P. Three- Dimensional Grid Generation by the Advancing front Method. Int. J. Numer. Methods Fluids, 1988, 8: 1135- 1149
- 4 Sibson R. Locally Equiangular Triangulations. Comput. J., 1978, 21(3): 243- 245
- 5 Holmes D G, Snyder D D. The Generation of Unstructured Triangular Meshes Using Delaunay Triangulation. In Proc. 2nd. Conf on Grid Generation in Computational Fluids Dynamics, Pineridge Press, Swansea, 1988
- 6 Rebay S. Efficient Unstructured Mesh Generation by Means of Delaunay Triangulation and Bowyer- Watson Algorithm. J. Comp. Phys. 1993, 106: 125- 138
- 7 Bowyer A. Computing Dirichlet Tessellations. Comput. J., 1981, 24(2): 162- 166
- 8 Watson D F. Computing the N - Dimensional Delaunay Tessellation with Application to Voronoi Polytopes. Comput. J., 1981, 24(2): 167- 172

(责任编辑 杨再荣)

cesses. Radiography can hardly resolve the spray cloud, but it is capable of recording the full jet structure and allows to determine the intact core. As examples some liquid jet radiographs have been taken at different fluid pressures and nozzles. The point of cylindrical jet disintegration and the point of annular jet coalescence shift to the nozzle orifice with increasing pressure.

Key Words liquid jet Breaking Atomization X- ray Experiments

A METHOD FOR CONSTRUCTING TWO- DIMENSIONAL DELAUNAY TRIANGULATION OF COMBUSTOR FLUID

Yin He, Chang Lina, Yan Chuanjun

(7th Dept. Northwestern Polytechnical University, xi'an 710072)

ABSTRACT A method is presented here for constructing two- dimensional Delaunay triangulation with a new automatic point creation technique. This technique is based on the idea of advancing- front method to achieve good geometry flexibility. The main steps are as follows: The initial triangulation is generated first, according to the given border set. In the initial triangulation usually there are lots of triangles with very small minimum angles which will seriously decrease computational accuracy. The new nodes are introduced with advancing- front method, and added into the existing mesh according to Bowyer- Watson algorithm simultaneously. The procedure is repeated until no more improvement of the grid can be achieved by inserting the new nodes. Its application to triangulating combustor fluid shows that the resulted grids have great regularity and boundary quality.

Key Words Combustion chambers Flow fields Calculations Grids

A STUDY OF COMPUTER AIDED TESTING TECHNIQUE FOR AEROENGINE

Chen Guiying, Li Bin, Lei Yong, Wu Zhizhen

(7th Dept. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT A system engineering method for development of the Computer Aided Testing (CAT) technique was discussed in the light of a comprehensive review of CAT technique, and investigation of CAT Systems. The application of digital filtering to the Aeroengine Test was also introduced. The focus was put on the achievements of multi- signal acquisition, processing and displaying according to Virtual Instrument conception. The necessity and trend of a man- machine harmonious information environment development with supporting of database system in the aeroengine Test field were considered.

Key Words Computer aided experiment Aeroengine Digital filtering methods

A STUDY OF OBJECT- ORIENTED APPROACH FOR AEROENGINE PERFORMANCE SIMULATION

Tang Hailong and Zhang Jin

(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT This paper discusses how to create an extensible, flexible, reliable