

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2020.0004.007

# 基于拓扑分割的泵叶轮六面体网格划分方法\*

许磊<sup>1</sup>, 杜彦斌<sup>1</sup>, 张磊<sup>2</sup>

(1. 重庆工商大学 制造装备机构设计与控制重庆市重点实验室, 重庆 400067;

2. 重庆水泵厂有限责任公司, 重庆 400003)

**摘要:**叶轮是泵设备的核心零部件之一,关系着泵设备运行的稳定性与安全性;为提高叶轮数值模拟试验的精度与求解效率,提出了一种基于拓扑分割的泵叶轮全六面体网格划分方法;首先进行物理三维模型的拓扑结构理论分析,获取模型的拓扑分割方法;其次研究基于映射理论的六面体网格生成方法,获得虚拟计算域模型;然后优化网格质量并进行网格规模控制;最后以泵叶轮为例,开展全六面体有限元网格划分,并利用 ANSYS 仿真软件,验证叶轮全六面体有限元网格划分方法的合理性;研究结果表明:叶轮全六面体网格模型具有网格质量高、抗畸变能力强、规模数量小、求解效率快等特点。

**关键词:**叶轮;六面体网格;有限元仿真;拓扑结构

**中图分类号:**TP273;O24

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-058X(2020)04-0039-07

## 0 引言

泵类设备是将电能、机械能等转换成流体介质的动能,以实现流体介质输送或使其增压的机械装置,被喻为现代工业的心脏,广泛应用于矿山机械、石油化工、国防军事等领域<sup>[1-2]</sup>。高附加值泵设备核心件叶轮的稳定性与转换效率是评价设备先进性的主要因素,由于模型复杂的叶轮服役环境恶劣(存在气蚀、磨蚀、腐蚀等作用),采用样件产品模拟实际工况的试验优化方法,不仅成本高,而且效率低、周期长<sup>[3]</sup>。随着先进的计算机辅助设计方法快速发展,越来越多的研究采用虚拟数值仿真技术进行叶轮结构优化<sup>[4]</sup>。有限元网格载体质量与有限元计算理论决定着数值仿真结果的准确性与精度,在计算理论无法进一步突破的情况下,研究逼近物理模型的高质量有限元网格生成方法将成为提高数值仿真结果有效性的最优途径。

三维有限元网格主要分为四面体和六面体。与四面体网格相比,六面体网格在网格规模、抗畸变程度、求解效率和计算精度等方面优势显著,非常适合叶轮结构优化数值模拟<sup>[5]</sup>。但六面体网格在解决复杂三维实体问题时,由于存在拓扑关系复杂,几何适应能力差等特点导致计算机自动生成的叶轮网格质量低、畸变程度高,极大地降低了数值仿真精度<sup>[6]</sup>。目前,全六面体网格生成方法主要包括:映射法<sup>[7]</sup>、扫描法<sup>[8]</sup>、栅格法<sup>[9]</sup>等,如汪攀等<sup>[10]</sup>提出了基于子域分解的全六面体网格生成方法,在引入超限映射法理论的基础上实现了全自动地生成质量较好的六面体网格;舒林森<sup>[11]</sup>等重点针对复杂外形机械零件进行了几何特征关键区域识别准则建模,获得了关键区域特征表达准确、全局合理的六面体网格模型;毛丹丹等<sup>[12]</sup>等引入了一种三维六面体网格划分方法,并对农机发动机叶片进行了案例分析,获得了高质量的六面体网格模型;张文明等<sup>[13]</sup>提出了一种三维实体网格自适应划分方法,

收稿日期:2019-09-26;修回日期:2019-11-05.

\* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(51775071);重庆市科委基础研究与前沿探索项目(CSTC2018JCYJAX0395);重庆市重点研发计划项目(CSTC2018JSZX-CYZDX0113).

作者简介:许磊(1988—),男,湖北荆州人,讲师,博士,从事激光数值模拟研究.

为复杂模型的高质量网格划分提供了一种解决思路;ITO Y 等<sup>[14]</sup>采用一种新的局部细化模型,获得了合理的高质量六面体网格;FORD J C 等<sup>[15]</sup>通过图像关键元素识别,自动生成了高质量的六面体网格。以上研究均有效地推动了复杂模型全六面体网格划分理论与技术的进步,但由于泵叶轮存在型号多、曲面复杂,曲线曲率半径大等特点,以自适应全自动网格划分为主要的研究方法在进行叶轮网格划分时,或多或少的出现了人机交互较少,疏密程度控制较弱,高畸变网格动态调整能力较差,关键区域的网格规模控制与质量提高力度不够等问题,进一步的限制了整体模型计算结果的精度。

针对上述问题,以泵设备核心零部件叶轮为研究对象,开展叶轮的全六面体网格划分方法研究。首先进行物理三维模型的拓扑结构理论分析,获取模型的拓扑分割方法;其次研究基于映射理论的六面体网格生成方法,获得虚拟计算域模型;然后优化网格质量并进行网格规模控制;最后以泵叶轮为例,开展全六面体有限元网格划分,验证叶轮全六面体有限元网格划分方法的合理性。

## 1 基于拓扑的三维模型分割方法

### 1.1 拓扑结构原理

三维模型的六面体网格划分实质是将复杂模型还原为多个简单的全六面体形状,并将其紧密联合在一起的过程,具有连通性与紧致性。拓扑学主要研究“拓扑空间”在“连续变换”下保持不变的性质,正方体、长方体或具有六个面的六面体在实际中被视为不同形状,但在拓扑学领域,其拓扑结构性质却是相同的。因此拓扑学提供了将复杂模型切分为多个全六面体小网格的可能路径。

在拓扑学基础理论中<sup>[16]</sup>,如何解决任意模型的六面体分解问题?假设  $A$  与  $B$  是两个度量空间,如果对应映射关系  $f:A \rightarrow B$  是  $A$  到  $B$  的唯一满映射,且满足逆映射  $f^{-1}:B \rightarrow A$  具有连续性,则  $f$  记为拓扑映射。如果任意两个度量空间  $A$  与  $B$  存在拓扑映射  $f$ ,则空间  $A$  与空间  $B$  叫做同胚,即  $A \cong B$ ,度量空间物理性质保持不变。从理论出发,假定  $R$  为空间任意三维模型, $R_1, R_2$  是为包于  $R$  模型上的六面体图形,如果  $R$  到其本身的映射关系  $f_R$ ,可将  $R_1$  移动到  $R_2$ ,则表明  $R_1, R_2$  在  $R$  中是同胚的。由于  $R_1, R_2$

与六面体形状具有同胚关系,如果  $R$  能够分解为  $R = \sum_{i=1}^n R_i (i=1, 2, \dots, n)$ ,则可将任意模型分解成全六面体模型。

### 1.2 三维模型反求与拓扑分割方法

三维几何模型是六面体网格的载体,在工程领域中,由于制造精度、工况条件等因素,研究对象的几何模型数据具有唯一性。为了更好地逼近实体模型,提高数值仿真精度,对重要的核心零部件需要根据实物进行三维反求,获得高精度三维 CAD 模型,其基本步骤为:① 数字化零件模型。采用三维反求设备(如三坐标测量机)获取零件表面坐标值;② 几何特征的数据提取。分割测量数据,利用几何特征匹配获取零件的几何特征;③ CAD 模型重构。利用计算机将分割数据进行点、线、面的拟合,对拟合的面数据进行求交与拼接,获得具有零件表面的 CAD 模型;④ 修正 CAD 模型。重新测量零部件的外形尺寸,检验与修正零件的 CAD 模型。

逆向工程获得了三维 CAD 模型,接下来需要将其进行拓扑分割<sup>[16]</sup>。定义  $\Omega(R)$  为包围空间实体模型的六面体计算域, $\Omega(V)$  为零件的物理域, $f$  为  $\Omega(R) \rightarrow \Omega(V)$  映射关系。如果能将  $\Omega(R)$  分解为与六面体单元同胚的子域集,同时通过  $f$  实现六面体计算域到零件物理域的拓扑转换,即可得到复杂模型的全六面体网格。基于此理论,以某三维零件的为例,分析说明拓扑分割主要流程如图 1 所示。

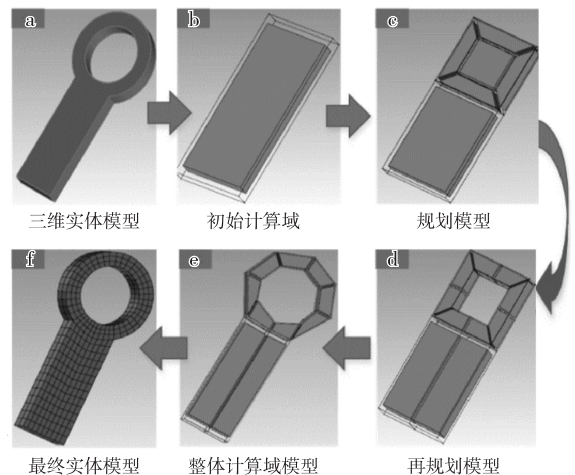


图 1 拓扑分割主要步骤

Fig. 1 Main steps of topological segmentation

(1) 初始计算域。根据三维实体模型如图 1(a) 所示,构建与六面体同胚的如图 1(b) 所示的三维初始计算域,该模型的重点是需全部包围三维

实体模型特征边界。六面体计算域计为  $\Omega(R)$ 。

(2) 规划与再规划模型。模型的拓扑分割方法可参考文献[11]的划分策略,将计算域  $\Omega(R)$  分解为  $m$  个子区域,即  $\Omega(R) = \sum_{i=1}^m \Omega(R_i)$  ( $i=1,2,\dots,m$ ),如图1c所示,拓扑分割时考虑原始零件的几何特征结构。如果一次模型规划特征未表达完全,可进行多次规划,如图1d所示。新产生的子区域满足  $\Omega(R) = \sum_{i=1}^m \Omega(R_i) + \sum_{i=m+1}^n \Omega(R_i)$  ( $i=1,2,\dots,m,\dots,n$ ),式中  $m,n$  为子区域数。

(3) 整体映射模型。将上述  $n$  个子区域模型进行逆向映射,映射关系为  $f$ ,将多次规划后的模型点、线、面与三维几何模型的点、线、面进行特征一一关联,获得如图1e所示的整体计算域模型,从宏观上看已经具有了三维几何模型重要几何特征要素。

进一步的根据第2节的生成方法,可实现生成如图1f所示的全六面体网格模型。

## 2 六面体网格生成模型

### 2.1 基于拓扑的六面体网格映射生成方法

映射法生成网格具有速度快、网格单元质量好、网格密度可控等优点。其基本思想对四边形进行线性或者二次插值,通过映射参考网格信息,保留节点拓扑信息,实现网格划分。但也存在两大难点:子区域划分问题、子区域网格相容性问题。拓扑分割解决了子区域划分问题,接下来进行映射法六面体网格划分理论分析。

子区域六面网格划分对象为6面12边六面体,其步骤主要包括:边的参数化;求解边界函数;求取曲面节点坐标;六面体网格生成。坐标值计算过程中,坐标系选用笛卡尔( $x,y,z$ )和自然坐标系( $r,s,t$ ),如图2所示。

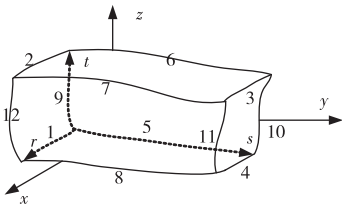


图2 笛卡尔与自然坐标关系转换示意图

Fig. 2 Sketch diagram of transformation of Cartesian and natural coordinate relations

(1) 边的参数化。定义由编号为1,8,4,5的边

构成任意曲面, $s=0$ 表示边界1, $s=1$ 表示边界4, $r=0$ 表示边界5, $m_1(r),g_1(r),h_1(r)$ 为边界函数,表示在变量  $r$  下,任一点的坐标值。例如当  $s=0$  时, $x=m_1(r),y=g_1(r),z=h_1(r)$ ,同理可得其他边界函数。

(2) 求取边界函数。在给定复杂几模型下,其各个边的特征点为定值,利用积累弦长公式进行边的参数化,如式(1)所示。采用拉格朗日插值求边界函数,获取关键点坐标值。

$$r_{ij\min} = \frac{\sum_{m=i_{\min}+1}^i [(\Delta_{x_m})^2 + (\Delta_{y_m})^2 + (\Delta_{z_m})^2]^{1/2}}{\sum_{m=i_{\min}+1}^{i_{\max}} [(\Delta_{x_m})^2 + (\Delta_{y_m})^2 + (\Delta_{z_m})^2]^{1/2}} \quad (1)$$

式(1)中  $i,j$  分别为  $r$  与  $s$  方向的变量值。

(3) 求取曲面节点坐标。利用双线性混合孔斯曲面片的计算公式对各点的参数进行计算,获取曲面节点坐标值。

$$x(r,s) = (1-s)m_1(r) + sm_2(r) + (1-r)m_3(s) + rm_4(s) - x(0,0)(1-r)(1-s) - x(1,0)r(1-s) - x(0,1)(1-r)s - x(1,1)rs \quad (2)$$

同理可得  $y(r,s),z(r,s)$ ,即可得到曲面所有节点坐标值,按照顺序将各个节点连接生成四边形网格。

(4) 六面体网格生成。将获得的四边形网格进行空间拉伸,即将空间点与四边形网格按一定规则进行连接,利用孔斯线性插值公式计算,获得  $x(r,s,t),y(r,s,t),z(r,s,t)$ ,依次连接各个外部、内部节点,就生成了全六面体网格。

### 2.2 六面体网格质量检测模型与动态提高

复杂模型网格质量的高低依赖于研究人员拓扑分割的好坏程度,其评价标准有多种。一般而言,基于给定单元体积与边长的单元质量因子,范围为  $0 \sim 1$ ,其中1表示完美的正方体。单元质量评价标准包括角度、扭曲度、长度、面积和体积等,单元雅克比矩阵能够反映上述基础信息。

以任一六面体单元为例,来分析如何利用单元雅克比矩阵评估模型质量。定义六面体单元8个顶点的位置向量  $x_n \in R^3, x_n = [x_n, y_n, z_n]^T, n=1,2,\dots,$



$8, x_{n,j} \in R^3 (j=1,2,3)$  代表六面体的相邻顶点,  $e_{n,j} = x_j - x_n (j=1,2,3)$  代表边向量, 那么第  $n$  个顶点的雅克比矩阵由边向量的集合构成, 即  $J_n = [e_{n,1}, e_{n,2}, \dots, e_{n,j}]$ , 其值为 Jacobian。针对质量不合格单元, 由于畸变程度过大, Jacobian 小于 0, 一般而言, 值大于 0.2 即为数值模拟可接受单元, 值越接近 1, 表示与正方体单元越接近, 单元质量越高。

针对局部网格质量不高的问题, 可以通过调整拓扑分割结构, 达到网格质量的动态调整。下面以某圆环为例, 论述动态调整步骤, 如图 3 所示。图 3(a) 为经过拓扑分割实现的六面同胚图形, 但局部区域(图 3(b))六面体模型夹角变化大, 导致生成如图 3(e) 网格模型, 产生了扭曲与变形, 降低了圆环整体网格质量。通过点线面的局部调整, 将模型调整靠近标准的六面体, 如图 3(c) 所示, 最终实现图 3(d) 所示的模型的拓扑分割, 生成的网格模型如图 3(f) 所示, 从视图上看, 基本无扭曲与变形的网格, 网格质量有了显著提升。

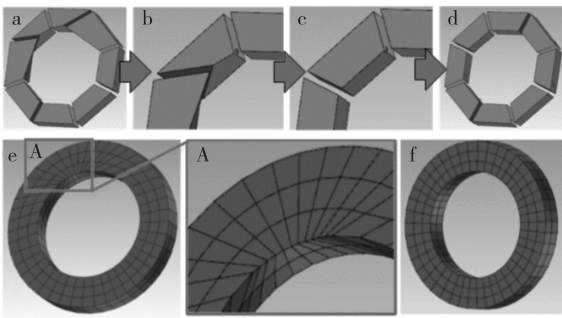


图 3 网格质量动态调整步骤

Fig. 3 Dynamic adjustment steps of mesh quality

### 2.3 网格模型数量控制

一般而言网格数量规模越大, 与原始几何模型的匹配度也越高, 数值模拟精度越高。其缺点是增加了计算运力, 耗时耗力, 成本增加。相关研究表明, 当网格数量达到一定规模(依据模型复杂情况而定)时, 关键区域(如应力集中区、圆弧过渡区、倒角区等)的网格数量与质量和数值模拟精度相关性大。基于上述思想, 对关键区域进行网格细化, 其他区域较少网格数量, 以达到用尽量少的单元保证数值模拟结果的准确性与高效性。

给定初始模型网格尺寸, 定义网格变密系数  $\varepsilon$ , 调整该值进行网格变密处理。当  $\varepsilon \leq 1$  时, 网格尺寸变大, 数量减小; 当  $\varepsilon \geq 1$  时, 网格尺寸变小, 数量增多。为了使粗细网格光滑过度, 利用离散点节点距离加权平均值构建节点函数  $\delta(x, y)$  进行光滑处理, 即:

$$\delta(x, y) = \frac{\sum_i^n \frac{\delta(x_i, y_i)}{d_i^2}}{\sum_i^n \frac{1}{d_i^2}} \quad (3)$$

式中  $d_i$  为目标区域内部节点与边界点的距离,  $n$  为区域的节点数。

加密过程包括边的加密与整体加密, 仍以圆环为例, 如图 4 所示。对 A 区域某条边进行了 3 倍网格细化, 对 B 区域则采用整体网格 3 倍加密。从视图上观察, 圆环网格目标区域成功进行了细化, 且过度区域网格形状规整, 质量较高。依据目标网格要求, 也可以进行其他加密系数的网格细化。

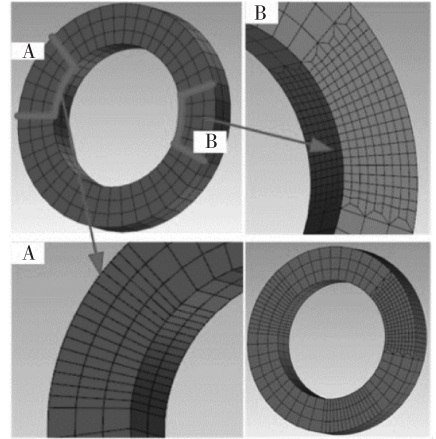


图 4 加密过程

Fig. 4 Mesh refining

## 3 泵叶轮六面体网格生成与案例验证

### 3.1 泵叶轮的六面体网格单元生成与质量动态调整

图 5(a) 为某型号叶轮, 基本外径参数为  $\Phi 50$  mm, 内径为  $\Phi 10$  mm, 叶片数为 6 个。基于复杂模型的拓扑分割理论, 进行模型的六面体同胚图形拓扑分割。叶轮由叶盘与叶片构成, 进行拓扑分割时, 考虑叶轮结构特点, 先进行叶盘的子域分割, 然

后获得叶片六面体子域。图 5(b)为叶轮初始计算域,图 5(c)—5(e)为规划与再规划模型,主要内容包括将初始计算域模型划分成 6 个主要块,对模型中心圆柱体进行边界拟合;在叶盘的关键边界线上创建特征点,将计算域模型边界通过点与点、线与线进行关联指令,完成叶盘总体边界拟合;生成六个叶片子域,并对叶片的边界进行拟合。图 5(f)为整体映射模型。从整体上看,各个子域模型基本贴合了叶轮的三维几何形貌。设定网格基础尺寸参数为 3 mm,获得 3 557 网格数,如图 5(g)所示的全六面体网格。

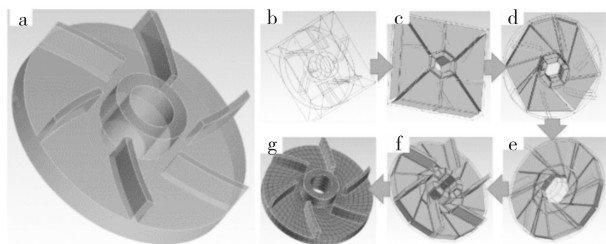


图 5 叶轮全六面体网格生成过程

Fig. 5 Full hexahedron mesh generation of impeller

对关键区域如叶片、叶盘厚度尺寸方向进行加密处理,叶片采用整体加密,其加密系数设定为  $\epsilon = 3$ ,叶盘厚度方向采用边加密,其加密系数设定为  $\epsilon = 3$ ,如图 6 所示。

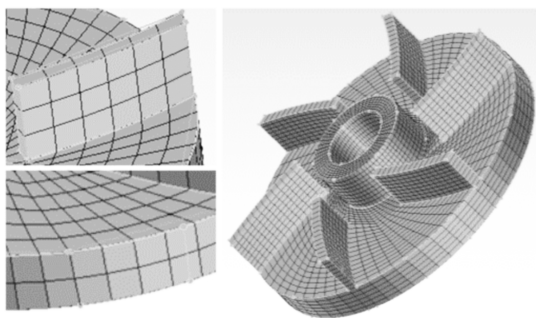


图 6 局部网格加密处理

Fig. 6 Local mesh refinement

将获得叶轮六面体网格模型进行网格质量评估,针对质量不高的区域进行动态调整。图 7(a)为未调整网格质量,其局部区域 Jacobian 小于 0.1,且数量占比多,为数值仿真不可接受网格。通过调整该处子域的点线面,成功将质量提高到 0.2 以上,最低值为 0.298,且只有两个单元,无畸变、大扭转角

网格,整体属于高质量网格模型,如图 7(b)所示。

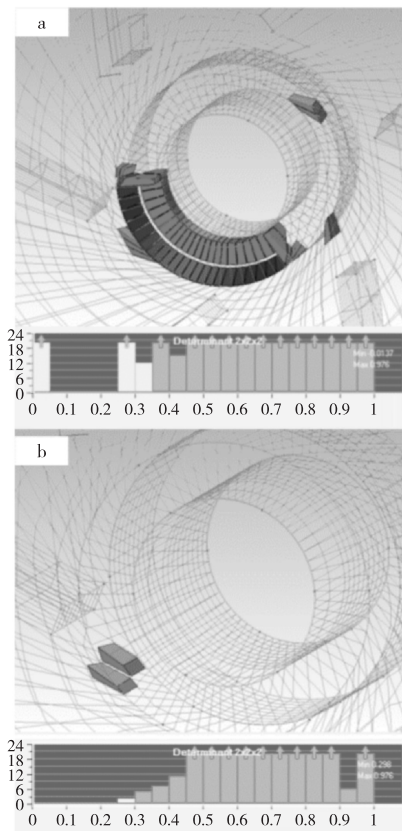


图 7 网格质量检查与动态调整

Fig. 7 Mesh quality checking and dynamic adjustment

### 3.2 案例验证及案例扩展

为了验证叶轮六面体网格模型的准确性,利用数值仿真软件 ANSYS 进行离心应力分析,具体设置参数为:转速  $n = 6\ 000\ \text{rad/min}$ ,材料选择 45 钢,旋转约束,获得数值模拟结果如图 8 所示,验证了网格的有效性。进一步对比四面体网格的数量优势,采用同样的基本尺寸参数,获得四面体基本网格数量 11 532 个,约为 3 557 网格数的 3.24 倍,从侧面反应了六面体网格的高效性。

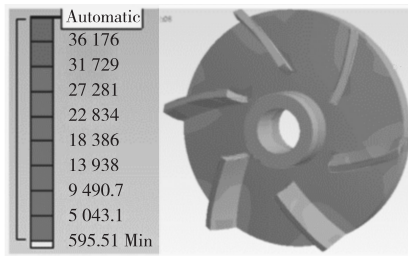


图 8 等效离心应力结果云图

Fig. 8 Equivalent stress of centrifugal stress

为了进一步扩展模型方法的应用,划分了不同型号和尺寸的叶轮,均获得满意的六面体网格,如

图 9 所示。

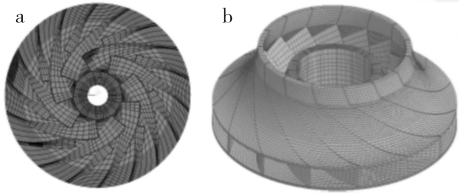


图 9 其他型号六面体网格模型

Fig. 9 Mesh example of other type impeller

## 4 结 论

对泵设备核心件叶轮全六面体网格划分方法进行了研究,其主要结论如下:

(1) 在利用三维反求技术获得三维模型的基础上,分析拓扑结构理论,提出了一种复杂模型拓扑分割方法,解决了复杂模型难以进行六面体拓扑分割问题。

(2) 分析基于拓扑的六面体网格映射生成方法,实现了复杂模型的全六面体网格生成,通过调整拓扑分割结构,动态提高了网格质量,利用引入的节点函数,合理控制了网格密度。

(3) 以泵叶轮为例,开展全六面体有限元网格划分,并利用 ANSYS 仿真软件,验证叶轮全六面体有限元网格划分方法的合理性。所划分网格具有质量高、抗畸变能力强、规模数量小、求解效率高特点。

### 参考文献(References):

- [1] DAI E, LIN M, XIA J, et al. Experimental Investigation on a GAX Based Absorption Heat Pump Driven by Hybrid Liquefied Petroleum Gas and Solar Energy [J]. *Solar Energy*, 2018, 169:167—178
- [2] CAPURSO T, BERGAMINI L, TORRESI M. Design and CFD Performance Analysis of a Novel Impeller for Double Suction Centrifugal Pumps[J]. *Nuclear Engineering and Design*, 2019, 341:155—166
- [3] 唐新姿,王喆,肖鹏,等. 气动边界不确定条件下离心压缩机叶轮优化设计[J]. *机械科学与技术*, 2019, 38(6):970—976  
TANG X Z, WANG J, XIAO P, et al. Optimal Design of Centrifugal Compressor Impeller under Uncertain Aerodynamic Boundary Condition [J]. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2019, 38(6): 970—976 (in Chinese)
- [4] 高峰,潘晓燕,朱德润. 机载离心式制冷压缩机叶轮级流动仿真研究[J]. *机械科学与技术*, 2019, 38(6): 963—969  
GAO F, PAN X Y, ZHU D R. Simulating Flow in Pump Impeller of Airborne Centrifugal Refrigeration Compressor [J]. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2019,38(6):963—969(in Chinese)
- [5] 赵国群,虞松,王广春. 六面体网格自动划分和再划分算法[J]. *机械工程学报*, 2006, 42(3): 188—192  
ZHAO G Q, YU S, WANG G C. Automatic Generation and Regeneration Algorithm of Hexahedral Mesh [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2006, 42(3): 188—192(in Chinese)
- [6] 王荣桥,贾志刚,樊江,等. 复杂构件 MDO 六面体网格重构方法 [J]. *航空动力学报*, 2011, 26(9): 2032—2038  
WANG R Q, JIA Z G, FAN J, et al. Hexahedral Mesh Regeneration Method for MDO on Complex Aero-engine Components [J]. *Journal of Aerospace Power*, 2011, 26(9): 2032—2038 (in Chinese)
- [7] SUN L, ZHAO G, MA X. Adaptive Generation and Local Refinement Methods of Three-dimensional Hexahedral Element Mesh [J]. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2012, 50(1): 184—200
- [8] 李涛,左正兴,廖日东. 结构仿真高精度有限元网格划分方法[J]. *机械工程学报*, 2009, 45(6): 304—308  
LI T, ZUO Z X, LIAO R D. Meshing Method of High Precision FEM in Structure Simulation [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2009, 45(6): 304—308 (in Chinese)
- [9] SHEPHERD J F, DEWEY M W, WOODBURY AC, et al. Adaptive Mesh Coarsening for Quadrilateral and Hexahedral Meshes[J]. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2010, 46:17—32
- [10] 汪攀,张见明,韩磊,等. 基于子域分解的全六面体网格生成方法 [J]. *中国机械工程*, 2018, 29:483(3):47—52  
WANG P, ZHANG J M, HAN L, et al. Hexahedron Mesh Generation Method Based on Sub-domain Decomposition [J]. *China Mechanical Engineering*, 2018. 29:483(3): 47—52 (in Chinese)
- [11] 曹华军,舒林森,许磊,等. 复杂机械零件的六面体有限元网格生成方法 [J]. *机械工程学报*, 2014, 50

- (15):113—118
- CAO H J, SHU L S, XU L, et al. Hexahedral Mesh Generation Method for Complex Mechanical Structure [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50 (15):113—118 (in Chinese)
- [12] 毛丹丹, 刘志刚. 农机发动机叶片复杂零件的有限元网格生成方法研究[J]. 农机化研究, 2018, 40(4): 252—256
- MAO D D, LIU Z G. Research on Mesh Generation Method of Finite Element of Complex Parts of Agricultural Engine Blades[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(4):252—256 (in Chinese)
- [13] 张文明, 刘彬, 徐刚. 三维实体网格自适应划分算法[J]. 机械工程学报, 2009, 45(11): 266—270
- ZHANG W M, LIU B, XU G. Three Dimensional Entity Mesh Generation Algorithm [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(11):266—270 (in Chinese)
- [14] ITO Y, SHIH A M, SONI B K. Octree-based Reasonable-quality Hexahedral Mesh Generation Using a New Set of Refinement Templates [J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2009, 77 (13): 1809—1833
- [15] JI S, FORD J C, GREENWALD R M, et al. Automated Subject-specific, Hexahedral Mesh Generation via Image Registration[J]. Finite Elements in Analysis & Design, 2011, 47(10):1178—1185
- [16] 苏步青. 拓扑学初步[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1986
- SU B Q. Introduction to Topology[M]. Shanghai: Fudan University Press, 1986 (in Chinese)

## Hexahedron Mesh Generation Method of Pump Impeller Based on Topological Division

XU Lei<sup>1</sup>, DU Yan-bin<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>

(1. Chongqing Key Laboratory of Design and Control Manufacturing Equipment Mechanism, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. Chongqing Pump Industry CO., LTD, Chongqing 400003, China)

**Abstract:** Impeller, a core component of pump equipment, is related to the stability and safety. In order to improve the accuracy and efficiency of numerical simulation, a new method of hexahedron mesh for impeller of pump based on topological segmentation is proposed. Firstly, the topological structure theory of three-dimensional model is analyzed; Secondly, the hexahedral mesh generation method based on mapping theory is studied to obtain the virtual computing domain model; Thirdly, the mesh quality is optimized and the mesh size is controlled; Finally, the full hexahedral finite element method is developed with the pump impeller as an example. The finite element meshing method is verified by using ANSYS software. The results show that the all-hexahedral meshes model has the characteristics of high mesh quality, strong anti-distortion ability, small scale and efficiency.

**Key words:** impeller; hexahedral mesh; finite element simulation; topology structure

责任编辑: 田 静

引用本文/Cite this paper:

许磊, 杜彦斌, 张磊. 基于拓扑分割的泵叶轮六面体网格划分方法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2020, 37(4): 39—45

XU L, DU Y B, ZHANG L. Hexahedron Mesh Generation Method of Pump Impeller Based on Topological Division[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2020, 37(4): 39—45