

边界面法中网格划分的细小特征的处理

陆陈俊^{1*}, 张见明¹

¹湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 湖南长沙, 410082

Email: birdfly8888@hnu.edu.cn

摘要

网格生成是进行有限元法, 边界元法以及边界面法分析的前提。从数值计算方法诞生以来就有许多科学研究者从事这方面算法的研究。目前这项技术已经比较成熟, 很多商业化的计算机辅助工程(Computer Aided Engineering 简称 CAE)软件(例如 ABAQUS, ANSYS, HYPERMESH)都有相应的模块, 提供曲面、三维体网格生成功能^[1]。

在传统的边界元法和有限元法中^[2-3], 把三维 CAD 几何模型离散成分析模型后, CAD 模型的原始几何信息基本丢掉。边界元分析的几何是基于网格单元通过 Lagrange 或 Hermite 插值方法近似的。基于网格单元的几何插值引起的几何误差, 从根本上会导致计算精度问题^[4], 甚至对有些计算起着决定性的影响。边界元分析模型和 CAD 几何模型的分离, 使设计和分析成为两个互相独立的过程。而边界面法(BFM)中边界积分和场变量的插值直接在曲面的参数空间里完成, 直接基于 CAD 模型进行分析, 实现与 CAD 模型的无缝连接^[5], 所得的结果更加精确, 更加具有工程实际意义。

BFM 需直接在 CAD 模型表面离散, 计算是定义在曲面参数空间。而现有的商业网格生成工具主要用于生成有限元分析网格, 利用网格模型近似原有 CAD 几何模型。这类网格单元定义在三维空间, 与 BFM 所需的参数曲面网格完全不同。另外, BFM 所需要的网格在质量或形状、拓扑连通性等方面的要求跟有限元网格也不同。因此, 不能利用现有的网格生成工具比(如 HyperMesh 等)输出用于边界面法计算的表面网格。所以需要自己开发一套直接离散 CAD 表面的生成网格方法。在 CAD 造型时, 由于裁剪等操作会造成细小短边(图 1), 小面(图 2)的细小特征的存在。如果直接基于原模型的读入数据生成网格, 这些特征就会降低网格生成质量, 增大计算规模甚至导致无法生成的情况。同时在 BFM 生成三维表征网格需要保证拓扑连接的一致性, 由于这些细小短边, 小面的存在将影响三维网格的生成。对于一般情况而言, CAD 造型与 CAE 分析属于不同部门人员从事的活动, CAD 造型人员对于 CAE 相关知识不了解。在造型时可能由于忽视或者过失造成上述特征。

目前, 商用软件在进行分析之前, 一般需要忽略细小特征以保证算法的收敛性, 以及计算精度或者需要对导入的模型进行人工手动的几何修复。经过实践证明, 当对保留细小特征时, 画出的网格有时不收敛或者过渡不好。而且由于有限元法, 要求网格需要从密到疏的过渡, 这样必将导致生成大量的网格。如果将具有细小短边, 小面特征的模型导入相关 CAE 软件直接进行分析时, 有可能产生无法进行网格生成及分析的情况。BFM 直接基于 CAD 模型进行分析, 有必要进行这方面的研究。

本文提出在 UG 二次开发平台上, 在读入原始拓扑结构之后, 进行拓扑结构上的模型自动修复, 并在此基础上进行表面网格以及三维网格的划分。本文提出在拓扑结构上将细小短边作为退化点, 使得所连接四条边共点, 同样的思路将小面作为退化边, 使得所连接的两个邻面共线, 修复完之后的拓扑连接如(图 3, 4)所示。在生成面网格时需要保证在(图 1)中四个面在退化点处视为一点, 在退化边处视为一条边。

刚架结构在实际工程领域普遍存在，为了验证方法的正确性，采取对在钢架结构连接处焊缝体的表面网格(图 5)及三维网格划分来验证，取得比较理想的结果。

参考文献:

1. 单菊林.自适应有限元网格生成算法研究与应用.(大连理工大学博士学位论文, 2006)
2. C. A. 布瑞比亚等著, 龙述尧等译.边界单元理论和工程应用.长沙: 国防业出版, 1988.
3. C.A. Brebbia 著, 武际可等译.工程师用的边界单元法.北京: 科学出版社,1986.
4. J.M. Zhang, X.Y. Qin, X. Han, G.Y. Li. A boundary face method for potential problems in three dimensions.International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2009, 80:320–337.
5. X.Y. Qin, J.M. Zhang, G.Y. Li, X.M. Sheng, Q. Song, A finite element implementation of the boundary face method for potential problems in three dimensions. Engineering Analysis with Boundary Element, 2010, 34:934–943.



图1: 退化点

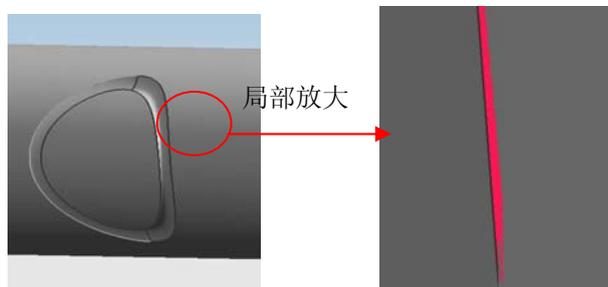


图2: 退化边



图3: 退化点处理后 (拓扑上)

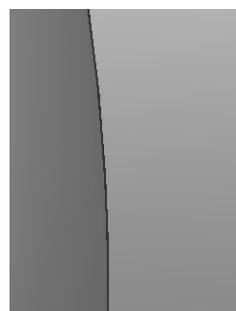


图4: 退化边处理后 (拓扑上)

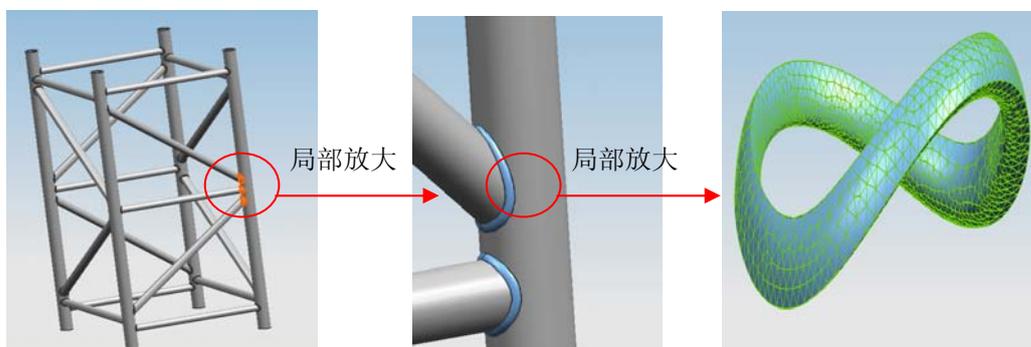


图5: 焊缝结构的表面网格