

# 边界面法分析任意薄型结构线弹性问题<sup>1)</sup>

覃先云<sup>\*</sup>, 张见明<sup>\*,2)</sup>

<sup>\*</sup>(湖南大学 汽车车身先进设计与制造国家重点实验室, 湖南长沙 410082)

**摘要:** 为避免有限元法 (FEM) 基于板壳理论分析薄型结构存在的缺点 (如锁死、收敛性问题和厚度均匀要求等), 本文利用边界面法 (Boundary Face method, BFM) 直接基于三维弹性理论求解任意形状薄型结构。和边界元法 (BEM) 一样, 边界面法也是基于边界积分方程的一种数值方法, 继承了边界元法的所有优点。不同的是, 边界面法的实现是建立在 CAD 实体造型系统中边界表征 (BRep) 数据结构。在 BFM 中, 几何体边界上各个连续的参数曲面 (Face) 作为物理量插值的基本单位。Face 还可以进一步划分为一系列连续或非连续的曲面单元 (相当于曲面片)。这些单元与边界元法中的单元相似, 不过它们处在曲面的参数空间中。借助于这类曲面单元, 边界积分和场变量插值都可以在曲面的参数空间里进行。积分点的几何数据, 如坐标、外法向量等都是直接由曲面算得, 而不是通过单元插值近似。

边界面法分析所利用的几何直接来自于原始的 CAD 模型, 避免了网格离散引起的几何误差。因此, 边界面法可以在几何上精确地模拟任意形状的薄型结构。而在边界元法中, 用网格单元近似结构形状, 不可避免地引进几何误差, 几何误差会降低计算精度。此外, 当结构特别薄时, 生成适用于边界元分析的单元是很困难的。精确计算近奇异积分是成功实现边界面法分析薄型结构的关键。文中提出了一种新的距离非线性变换方法。该方法的计算精度对源点的投影点在单元的相对位置不敏感, 能够快速精确地计算各类弱、强、超近奇异积分。

在分析均匀厚度薄板时, 边界面法的计算结果跟有限元法的比较说明了边界面法可以用较少的节点获得比有限元法更精确的结果。分析变厚度薄板和具有复杂曲面的薄型结构表明了边界面法可以直接基于三维弹性理论求解任意形状薄型结构。

**关键词:** 边界积分方程; 边界面法; CAD 模型; 任意形状薄型结构; 线弹性问题

---

<sup>1)</sup> \*\*自然科学基金(10972074)

<sup>2)</sup> E-mail: zhangjm@hnu.edu.cn