三维非结构网格弹性波数值模拟支撑框架

马仕超

摘要

本文研究无界区域弹性波方程的数值算法，基于并行有限元软件平台 PHG 研制三维非结构网格弹性波数值模拟支撑框架 PHGEW。

我们首先系统总结和研究了求解时域弹性波方程的各类典型有限元离散方法以及时间离散格式，并根据支撑框架的要求对一些算法进行了改进和扩展。在波动方程的完美匹配层（PML）方法方面，我们研究了几类典型 PML 方法的延拓格式，推导了适用于单轴 UPML 方法和各向异性 APML 方法的时域弹性波 PML 算法的统一形式，并改进了时域弹性波有限元计算中的非分裂的卷积完美匹配层方法(CPML) 的格式，以方便这些算法在框架中的统一实现。在弹性波方程的谱元法方面，我们研究了非张量积型的三角形和四面体单元上质量集中基函数的构造方法，推广了文献中的质量集中基函数插值空间的构造方法，修改、扩展了课题组之前发展的一个计算三角形和四面体上的对称数值积分公式的算法和程序，将其用于计算三角形和四面体上的质量集中基函数，得到了一组高阶的质量集中基函数，并将其应用于时域弹性波正问题的计算，获得了较高的求解效率。

在上述算法研究的基础上，我们基于 PHG 平台研制了一个弹性波数值模拟支撑框架 PHGEW。 PHGEW 采用面向对象的方式封装了无界区域非结构网格弹性波方程数值模拟的共性算法模块，包括网格生成、 PML 方法应用、有限元离散、数值积分、时间离散格式等，具有使用简洁、易于扩展的特点，可以大大方便无界区域时域弹性波非结构网格数值模拟程序的开发。数值实验表明，基于 PHGEW 开发的时域弹性波方程解法器可以使用上千进程进行大规模非结构网格有限元计算，具有很高的计算效率和并行可扩展性。

关键词： 并行计算，弹性波，质量集中有限元，完美匹配层方法，数值软件