复合材料周期结构电磁散射问题多尺度算法与分析

张永威

摘要

复合材料周期结构电磁特性分析在通讯、航空、航天、微电子器件等领域有广泛的应用，研究具有周期间断系数 Maxwell 方程组电磁散射问题的多尺度算法在理论研究和工程应用方面有重要的科学意义. 本论文主要内容在以下四方面: 一是具有周期间断系数时谐 Maxwell 方程组电磁散射问题的多尺度算法; 二是无界区域上具有周期间断系数含时 Maxwell 方程组的多尺度算法; 三是无界区域上具有周期间断系数且有记忆特性的含时 Maxwell 方程组多尺度算法; 四是电磁散射问题中的一些典型工程应用.

第一部分研究了具有周期间断系数时谐 Maxwell 方程组电磁散射问题多尺度算法，提出了一阶和二阶多尺度渐近展开式；得到了 $\mathbf{H}(\mathbf{curl};\Omega)$ 空间范数下的带有收敛阶的强收敛结果；基于上述的理论结果, 发展了多尺度有限元和边界元耦合算法；数值算例验证了理论结果的正确性和有效性.

第二部分提出了无界区域上具有周期间断系数含时 Maxwell 方程组多尺度算法，给出了一阶和二阶多尺度渐近展开式; 得到了有收敛阶的强收敛结果; 结合完全匹配层方法 (PML)，发展了时域多尺度完全匹配层算法; 数值试验结果验证了多尺度算法的正确性和有效性.

第三部分针对色散介质复合材料周期结构散射问题，提出了具有周期间断系数且有记忆特性的含时 Maxwell 方程组多尺度算法. 由于在本构关系中存在极化项, 得到的是一个积分-微分方程, 经典的多尺度分析方法不能处理方程中的积分项, 我们将 Fourier-Laplace 变换的技术和多尺度分析方法相结合, 得到一个时谐 Mxwell 方程散射问题并对之进行多尺度分析, 再运用逆 Fourier-Laplace 变换得到原问题的解, 对逆 Fourier-Laplace 变换采用 Tzou 等人的数值方法: 用 Riemann 求和公式来近似计算逆 Fourier-Laplace 变换的积分. 我们进行了算法上的探讨.

第四部分采用完全匹配层方法 (PML) 求解工程应用中一些复杂电大尺度目标 (F16 战斗机, 航天飞机等) 的电磁散射问题. 数值试验结果验证了我们发展的完全匹配层方法的有效性.

关键词： 复合材料周期结构, 电磁散射问题, Maxwell 方程组，具有周期间断系

数，均匀化，多尺度渐近展开式, 有限元, 边界元, 有限元-边界元, 快速多极子, 完全匹配层.