复合材料板弯曲行为分析的高阶多尺度方法

王自强

摘要

复合材料具有良好的物理、力学性能，在航空航天和日常工业用品中已得到广泛应用，它们经常被制备成板或者壳的形式。因此，针对复合材料板的宏-细观模型、性能预测、优化设计，以及复合材料板在各种物理和力学荷载作用下的弯曲行为分析已经成为一个十分重要的研究领域。本文主要研究复合材料板静、动力弯曲行为分析的高阶多尺度方法，其结果将为复合材料板的设计和性能预测提供理论支持。

本文的第一部分研究周期性复合材料板在静力作用下弯曲行为分析的高阶双尺度方法。首先，从三维的线弹性方程出发，在细观上定义三维的局部单胞函数，并利用它求出均匀化系数和定义出均匀化方程。其次，利用 Reissner-Mindlin 位移模式求解均匀化方程后，把得到的局部单胞函数和均匀化解组装成复合材料板弯曲问题位移场的二阶双尺度逼近解。然后，分析了该近似解在点点意义下的对原始方程的近似性和在能量模意义下的整体近似性。最后，给出了典型算例，其数值结果说明了算法的有效性。

本文的第二部分研究周期性复合材料板在稳态热-力耦合作用下弯曲行为分析的高阶双尺度方法。首先，从三维的稳态热-力耦合方程出发，在细观上定义能够反映温度增量对位移场影响的三维的局部单胞函数，并利用它求出均匀化系数和定义均匀化方程。其次，对于均匀化的温度场采用积分投影近似，均匀化位移场采用 Reissner-Mindlin 位移模式求解。然后，由它们组装出温度和位移场的高阶双尺度渐近展开式并给出计算温度场和位移场的二阶双尺度算法，进一步得到温度梯度、位移、应变和应力的二阶双尺度算法。分析了二阶双尺度近似解在点点意义下对原始方程的近似性和在能量模意义下的整体的近似性。最后，给出了数值算例，其数值结果表明算法的有效性。

本文的最后一部分研究周期性复合材料板在瞬态热-力耦合作用下的弯曲行为分析的高阶双尺度方法。首先，从三维的瞬态热-力耦合方程出发，在细观上定义能够反映应变率对温度场影响以及温度增量对位移场影响的三维局部单胞函数，并利用它们求出均匀化系数和定义均匀化方程。其次，对于均匀化温度场采用积分投影近似和均匀化的位移场采用 Reissner-Mindlin 位移模式求解。最后，由高阶的双尺度渐近展开式给出计算温度场和位移场的二阶双尺度算法，进一步可以得到温度梯度、应变和应力的二阶双尺度算法。并分析了二阶双尺度近似解在点点意义下的对原始方程近似性和在能量模意义下的整体的近似性。

高阶多尺度方法可以作为解决类似问题的一个有效工具，可以应用新型复合材料结构的研究、设计及其工程实践。

关键词：复合材料板，弯曲问题，热-力耦合问题，高阶多尺度方法，近似性分析