复合材料强度参数预测的多尺度分析方法

余新刚

摘　要

复合材料宏观力学性能的理论预测是对复合材料及其结构一体化优化设计的基础，复合材料力学性能预测包括刚度参数和强度参数的预测。到目前为止，对于复合材料刚度参数的预测已经有很多成熟的理论和方法，然而对于强度参数的预测仍然是一个难题。在众多成熟的刚度预报方法中，基于均匀化理论的多尺度方法是一种适应于周期性构造复合材料的，通用、高效、精确的方法。本文主要研究复合材料强度参数预报的多尺度分析方法。

首先，本文针对具有周期性构造的复合材料，将其强度参数分解为局部拉伸、弯曲和扭转三种单因素的强度行为，采用直杆拉伸、弯曲和扭转三种承载模型，给出了周期性复合材料的线弹性强度预测方法，主要结果是：推导了用于强度参数预测的多尺度公式，给出了周期性复合材料直杆在拉伸、弯曲和扭转状态下的应变场表达式。通过大量的数值算例，以及与试验数据的对比，验证了算法的可行性和有效性。此外，作为一个典型的应用实例，对四步法编织复合材料的强度进行了分析。首先将计算结果与试验数据进行了对比，以验证多尺度分析方法在四步法编织复合材料强度预测方面的有效性。随后对四步法编织复合材料的强度进行了深入研究，给出了细观特征参数：纤维体积含量和编织角，对强度的影响，其结果对编织复合材料的设计和优化具有一定的参考价值。

论文的第二部分研究了随机构造复合材料强度参数预测的多尺度计算方法，在介绍了一种含大量随机颗粒分布复合材料数值模拟算法的基础上，发展并实现了针对这种三维区域的四面体网格剖分算法，为进一步的强度分析提供了高质量的数值模型。进而，本文针对随机颗粒分布复合材料的特点，将其表征为具有周期性随机分布颗粒的复合材料，推导了基于统计概念的多尺度分析的强度预测公式，给出了直杆均匀拉伸、悬臂梁纯弯曲和圆形常截面柱体扭转的应变场表达式，以及统计意义下的随机分布复合材料的线弹性强度预测算法，并进行了大量的数值试验。通过与物理试验数据的对比，验证了算法的有效性。

关键词：周期复合材料，随机复合材料，四步法，多尺度分析，强度预测