

材料力学数值方法：光滑粒子流体动力学(SPH)在弹性问题中的应用

1 绪论

1.1 SPH 方法的简介

光滑粒子流体动力学 (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) 是一种无网格的数值方法，最初由 Lucy 和 Gingold 与 Monaghan 分别在 1977 年和 1982 年提出，用于模拟流体动力学问题。SPH 方法通过将连续介质离散为一系列粒子，利用粒子间的相互作用来近似求解偏微分方程。这种方法避免了传统有限元方法中网格的依赖性，特别适用于处理大变形、自由表面流动和材料界面问题。

1.1.1 原理

SPH 方法的核心是通过核函数 (Kernel function) 对粒子的属性进行平滑处理，从而将粒子的局部信息转化为全局信息。核函数的选择对 SPH 方法的精度和稳定性有重要影响。粒子之间的相互作用通过计算粒子间的距离和核函数的权重来实现，这些权重用于近似连续介质中的微分算子。

1.1.2 内容

- **核函数 (Kernel function)**: 用于平滑粒子属性的函数，如 Shepard 核函数。
- **粒子属性**: 包括位置、速度、密度、压力等。
- **粒子间的相互作用**: 通过核函数权重计算粒子间的力和能量交换。

1.2 弹性问题的数值模拟重要性

弹性问题是材料力学中的基础问题，涉及材料在受力作用下的变形和恢复。在工程设计、地震模拟、生物力学等领域，准确模拟弹性行为对于预测结构的响应、优化设计和理解物理过程至关重要。传统的有限元方法在处理复杂几何和大变形时存在局限性，而 SPH 方法因其无网格特性，能够更灵活地处理这些问题。

1.3 SPH 在弹性问题中的适用性

SPH 方法在弹性问题中的应用主要体现在其能够处理大变形和复杂边界条件的能力上。由于 SPH 方法不需要网格，它能够自然地适应材料的变形，而不会出现网格扭曲或断裂的问题。此外，SPH 方法在处理材料界面和多相流问题

时也表现出色，这在弹性问题中，尤其是在涉及复合材料或多相材料的模拟时，是一个显著优势。

1.3.1 示例：使用 SPH 模拟弹性体的变形

假设我们有一个简单的弹性体，由一系列粒子组成，每个粒子具有初始位置、质量和弹性模量。我们将使用 SPH 方法来模拟当弹性体受到外部力作用时的变形。

```
# SPH 模拟弹性体变形的 Python 示例代码
import numpy as np

# 定义核函数
def shepard_kernel(r, h):
    q = r / h
    if q < 1:
        return 10.0 / 7.0 * (1 - 1.5 * q**2 + 0.75 * q**3)
    elif q < 2:
        return 2.0 / 7.0 * (2 - q)**3
    else:
        return 0

# 定义粒子类
class Particle:
    def __init__(self, pos, mass, elasticity):
        self.pos = pos
        self.mass = mass
        self.elasticity = elasticity
        self.force = np.array([0.0, 0.0, 0.0])

# 创建粒子列表
particles = []
for i in range(100):
    particles.append(Particle(np.array([i * 0.1, 0.0, 0.0]), 1.0, 100.0))

# 定义外部力
external_force = np.array([0.0, -10.0, 0.0])

# 模拟循环
dt = 0.01
for t in range(1000):
    for i, p in enumerate(particles):
        # 计算粒子间的相互作用力
        for j, q in enumerate(particles):
            if i != j:
```

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/198116136140006130>