

基于 TransUNet 神经网络的碳封存多相流预测模型

A predictive model of multiphase flow for geological CO₂ storage based on TransUNet

冯钊¹ 张丰收¹ 沈贤达¹

Zhao Feng¹ Fengshou Zhang¹ Xianda Shen²

(1. 同济大学土木工程学院, 上海 200092)

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

摘要: 地下多孔介质中的多相流动是二氧化碳地质封存等深地工程的关键物理过程, 传统基于数值模拟的求解方法计算负担大、速度慢, 难以应用于实时的优化或反演任务。目前, 基于深度学习的预测模型在求解非线性系统方面展现出了巨大潜力, 能够快速地对系统响应变量做出精准预测。本文提出了一种基于 TransUNet 神经网络的多相流预测模型, 能够根据给定的工程和地质参数快速准确预测出二氧化碳在地层中的饱和度和孔隙压力。TransUNet 整体采用 UNet 的编码-解码器结构, 利用多层级卷积神经网络有效捕捉多尺度空间信息, 并在最底层采用 Transformer 结构以在高维空间学习全局信息。本文考虑工况为大尺度拟三维径向的碳封存工程, 前 30 年为注入期, 后 170 年为闭井监测期, 采用拉丁超立方抽样生成了 2000 个不同工程与地质参数的模型, 并用 CMG 数值模拟软件生成训练数据集; 输入特征为渗透率场、孔隙度场、温度、注入井流量与射孔位置等参数, 训练 TransUNet 以预测饱和度与孔隙压力。结果表明, TransUNet 能够在测试阶段做出精准预测, R^2 达到 0.99 且平均绝对误差 MAPE 小于 1%, 预测用时仅为 0.02 秒, 相较于传统数值模拟的 500 秒加速了 25000 倍。本文所提出的 TransUNet 预测模型在准确快速刻画地下多相流行为方面具有重要应用前景, 能够为现场的实时决策提供解决方案。

关键词: 二氧化碳地质封存; 多相流; 深度学习; 数值模拟; 预测模型