

## 武汉岩土所在干热岩热储改造技术研发中取得进展

我国为地热能产业发展提供有利支持，使地热能产业进入发展的快车道。我国中深层地热开发的两类基本热储包括传统的水热型和干热岩型。传统的水热型地热能开发相关技术已经成熟，目前的技术难题在于砂岩热储的自然回灌效率较低。干热岩与天然气水合物被并称为具有重要意义的未来能源，但高效开发干热岩中的能源具有挑战性，国际上已开展30多项示范工程项目，尽管已逐渐积累干热岩热储建造和开发经验，但由于地质条件的复杂性和差异性，单个项目的技术经验无法直接复制应用到下一个项目中，且干热岩工程项目初期投资大，而目前的经济性较低，导致干热岩的开发进展缓慢。

能否开发干热岩取决于建立大体积人工热储（ $>1\text{km}^3$ ）的能力，其需要产生大规模的裂隙网络，既保证有大面积的换热通道进行长期的热能提取，又避免采热井发生过早的热突破而导致采热效率降低。在深井（约 $>5000$ 米）、高温（ $>150\text{ }^\circ\text{C}$ ）和高地应力的硬岩（即花岗岩）中建造复杂的裂隙网络，取决于压裂前地层中天然裂隙分布、地温场、应力场和岩石物性等特征和热储激发技术和激发方案。

水力压裂改造前干热岩储层中裂隙系统分布和地温场的合理表征，影响热储激发中裂隙的扩展和裂隙网络的构建，中国科学院武汉岩土力学研究所结合基于多源数据（包括地震、测井、钻井等）融合的地质建模和参数随机反演，提出强边界约束的区块尺度热储预测方法（图1），为热储的水力压裂改造提供地质模型。

针对现有水力压裂商业软件大多无法实现复杂不同级别天然裂隙存在情况下的水力压裂缝扭转、相交和穿越等的模拟，基于拟连续介质理论，考虑复杂缝网扩展、井-缝-孔多重介质多相渗流、传热传质和热-流-固多场耦合响应等物理过程，研究人员与重庆大学合作开发出基于FLAC3D平台的裂隙岩体多物理场耦合的水力裂缝扩展三维数值仿真模拟程序，可实现在不同级别天然裂隙和非均质地层中水力裂缝的扭转、相交和穿越等的数值模拟；开发的基于CPU和GPU异构的并行计算程序，可实现多物理场强耦合条件下百万级自由度数值仿真计算的高效和精确求解，已应用于复杂天然裂隙存在条件下干热岩和页岩等的水力压裂储层改造二维和三维数值模拟研究中（图2、图3），实现干热岩水力压裂储层改造效果快速产能评价的仿真模拟（图4）。

针对传统单一水力压裂技术难以在干热岩内建立有效裂隙网络的难题，研究人员提出冷水交替热刺激-基质化学刺激-水力压裂联合的复合热储体积改造技术，揭示热刺激、化学刺激对干热岩微观损伤的破坏机理，热刺激和基质化学刺激可使干热岩的渗透能力提高5个数量级以上，且力学强度具有不同程度损伤（图5）。在复合刺激工艺流程方面，可先冷水交替循环注入刺激使压裂井段周围产生热破裂，低温下注入土酸进行酸化刺激以扩大微破裂的区域，继而开展高压水力压裂改造形成主裂缝和次级裂缝区，进一步开展长时间的低压水力压裂，以增大刺激裂缝和微裂缝通道。目前，干热岩复合热储刺激工艺处于实验室研发阶段，下一步研究人员将在场地开展实验研究。

相关研究成果发表在Geothermal Energy和Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering等上，武汉岩土所副研究员刘贺娟为论文第一作者。

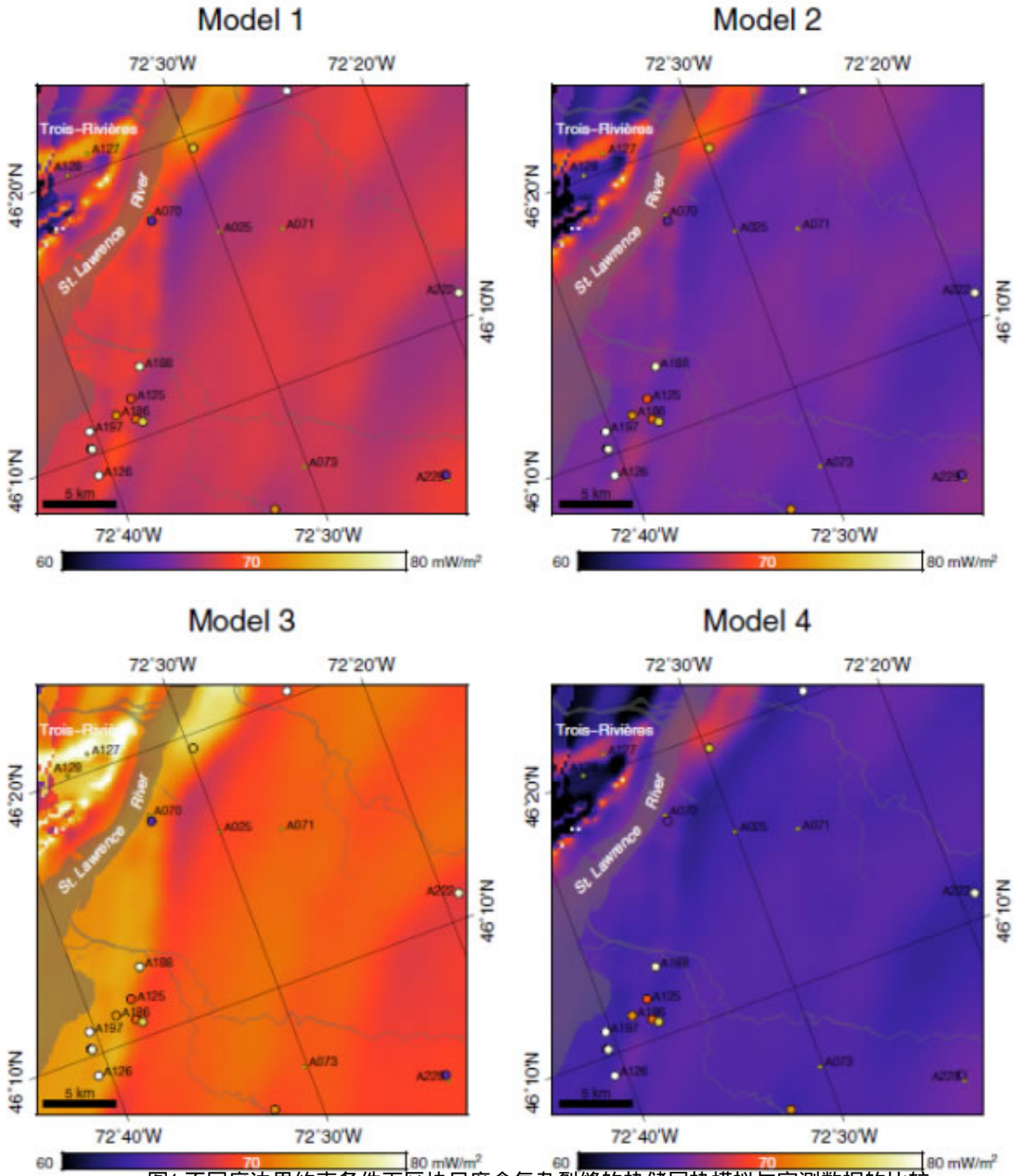


图1.不同底边界约束条件下区块尺度含复杂裂缝的热储层热模拟与实测数据的比较

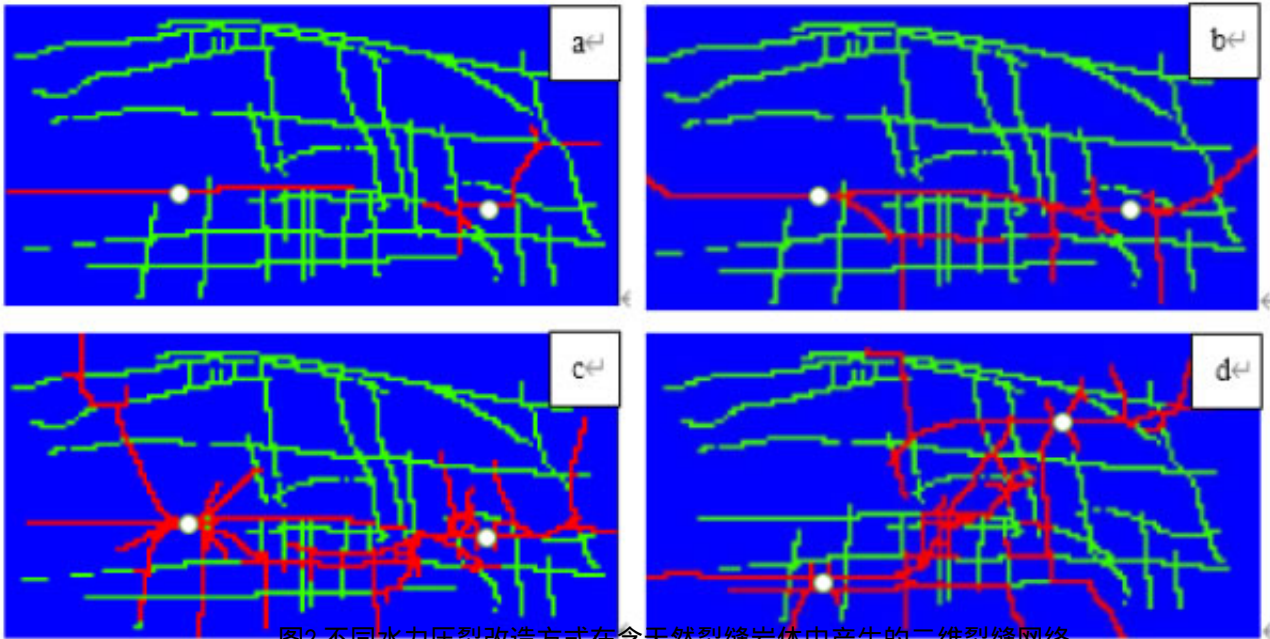


图2.不同水力压裂改造方式在含天然裂缝岩体中产生的二维裂缝网络

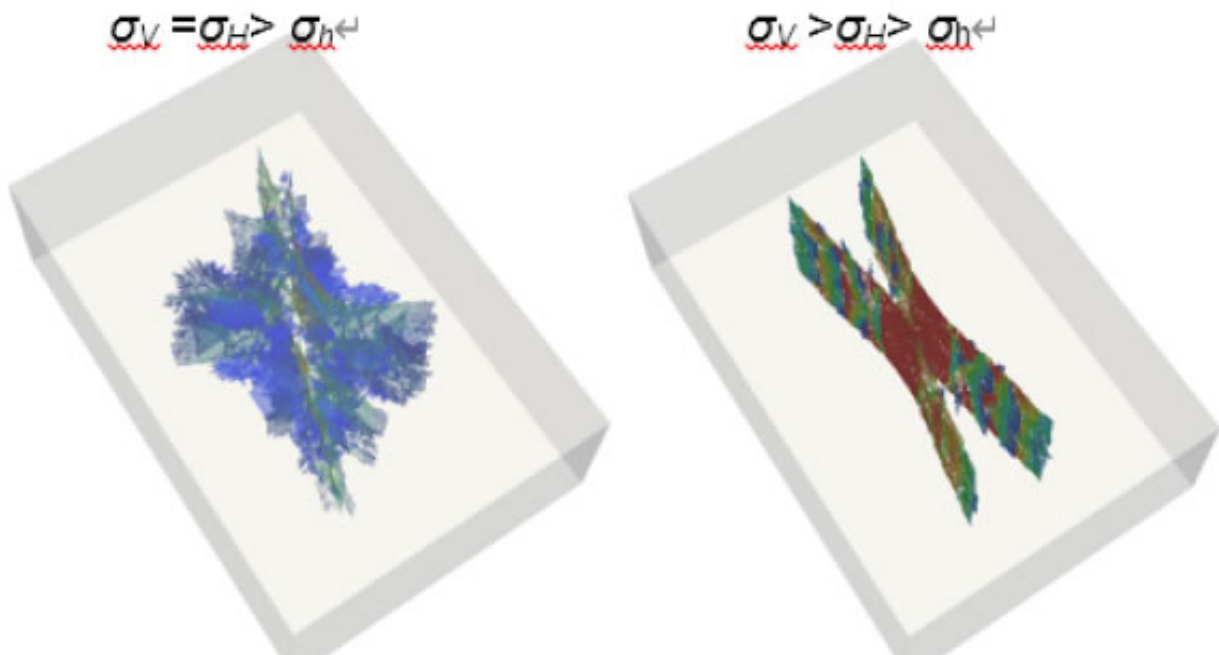


图3.含天然裂缝岩体中地应力对水力压裂改造形成的三维裂缝网络形态的影响

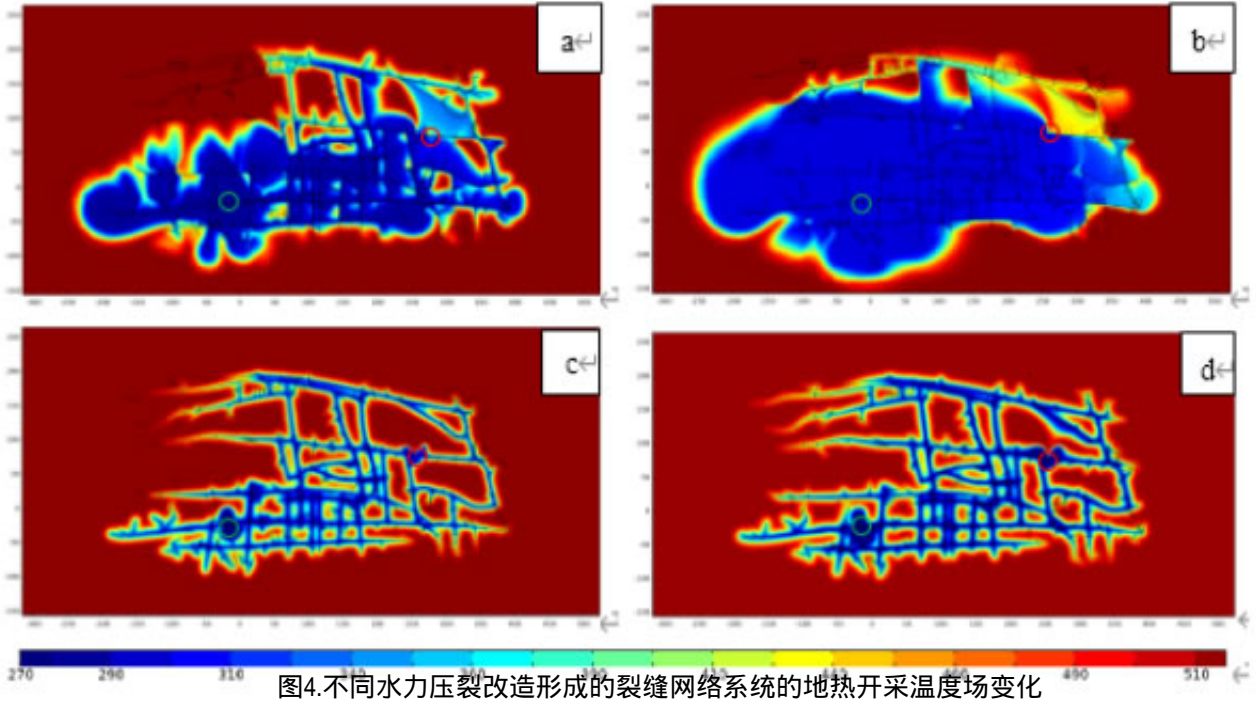


图4.不同水力压裂改造形成的裂缝网络系统的地热开采温度场变化

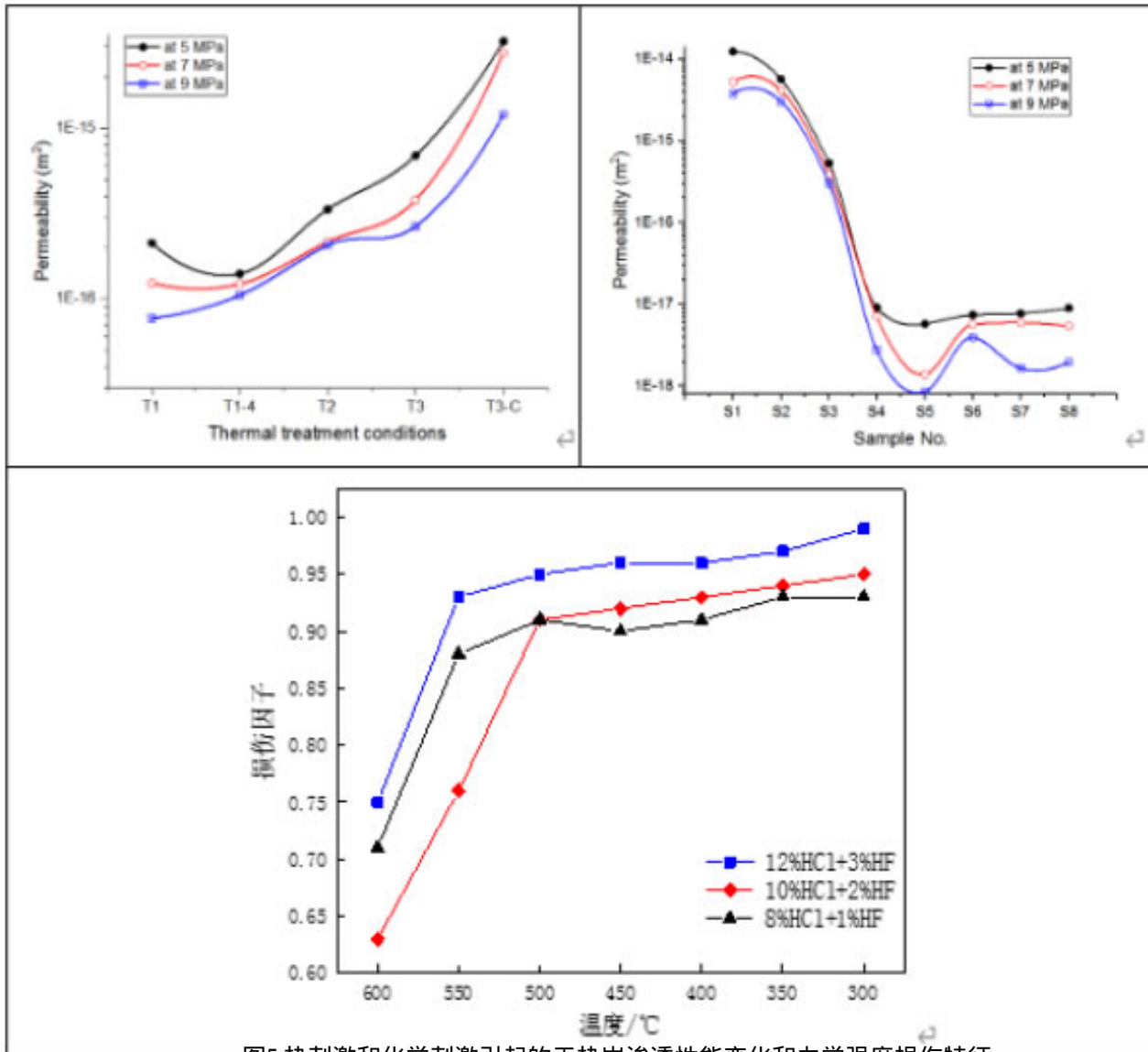


图5.热刺激和化学刺激引起的干热岩渗透性能变化和力学强度损伤特征

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/161819.html>