一、项目名称：裂隙岩体剪切-非线性渗流耦合作用机理

二、完成人：刘日成，李博，蔚立元，蒋宇静，姜振泉，吴学震，黄震

三、完成单位：中国矿业大学，绍兴文理学院，山东科技大学，福州大学，江西理工大学

四、项目简介：

随着我国交通基础设施、水利水电等重大工程建设的发展，越来越多的大型地下工程不可避免地修建在强烈构造活动的裂隙岩体区域。裂隙岩体赋存环境复杂、构造独特，呈现出大埋深、高应力、高水压等显著特点，剪切变形和渗透失稳诱发的突水突泥等工程事故频发。因此，裂隙岩体水力特性评估及工程防灾减灾已成为地下工程领域面临的突出性世界级工程难题。在973计划和国家杰出青年基金等课题支持下，历经17年研究，本项目以揭示裂隙岩体剪切渗流耦合作用机理，建立裂隙岩体剪切渗流标准试验方法、理论基础和数值模拟技术为目标，取得了以下科学发现：

1. 研制了裂隙岩体剪切渗流系列试验装备/系统：①国际首台岩石节理恒定法向刚度剪切渗流耦合试验装备，突破了剪切渗流试验恒定法向刚度伺服控制的技术瓶颈；②裂隙网络可视化渗流试验系统，实现了流速跨越6个数量级的流体流态可视化；③大型突水试验系统，填补了大尺度深部岩体高压大流量突水试验的空白。
2. 推导了裂隙岩体渗流方面的3组基础理论方程/解析解：①考虑分形维数的流体流动控制方程，解决了经典立方定律不能考虑裂隙表面粗糙度的难题；②三向应力作用下粗糙裂隙-粗糙孔隙双重介质模型渗流特性的解析解，攻克了裂隙岩体渗流特性不易预测的难题；③逆Broyden秩1拟牛顿非线性迭代的计算公式，突破了传统算法迭代速度慢、计算效率低的瓶颈。
3. 建立了裂隙岩体渗流方面的系列数值模拟技术/方法：①流体通过粗糙单裂隙的非线性流动数值模拟技术，实现了常规模拟不能实现的流体流动形态精细刻画；②二维粗糙裂隙网络复杂数值模型和计算方法，突破了网格划分不精细、迭代速度慢的技术瓶颈；③三维岩体裂隙网络剪切渗流数值仿真方法，阐明了剪切过程中裂隙岩体水力耦合特征。

5篇代表性论文他引507次（其中Web of Science核心合集他引190次，CNKI他引317次）：3篇代表性英文论文他引231次，发表后均持续入选ESI高被引论文（分别超过4年、3年、3年），2篇代表性中文论文他引276次。1篇代表性论文连续两次入选Elsvier的Top25热点论文。完成人刘日成入选中国科协青年人才托举工程；李博获国际岩石力学学会Rocha提名奖；蒋宇静入选日本工程院外籍院士。项目成果在我国最大埋深锦屏水电站和首座地下水封石油储备库等多个重大工程建设中成功应用，为今后富水裂隙岩体工程建设提供理论支撑。

项目推动了裂隙岩体渗流试验、理论和数值模拟水平的基础创新，获得国内外知名专家（包括12位中外院士、8位期刊主编/副主编、5位国家杰青/长江学者）的正面评价和高度认可。原国际岩石力学与工程学会主席J. A. Hudson院士认为研发的世界首台裂隙岩体剪切渗流可视化试验装备“在岩石力学领域具有里程碑意义”，中国工程院蔡美峰院士认为建立的离散裂隙网络复杂模型“是研究节理岩体力学特性的有效手段”，美国麻省理工大学R. Juanes教授认为构建的三维裂隙网络剪切-非线性渗流仿真计算方法“对研究裂隙岩体应力和渗流耦合作用做出了巨大贡献”。

五、代表性论文论著目录（不超过5篇，其中国内科技期刊论文不少于1/3）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文论著名称/刊名/作者 | 影响因子 | 年卷页码（XX年XX卷XX页） | 发表时间（年月日） | 通讯作者 | 第一作者 | 他引总次数 | 检索数据库 | 是否国内完成 |
| 1 | A fractal model for characterizing fluid flow in fractured rock masses based on randomly distributed rock fracture networks / Computers and Geotechnics / 刘日成，蒋宇静，李博，王肖珊 | 3.345 | 2015年64卷45-55页 | 2015年4月 | 蒋宇静 | 刘日成 | 78/23 | Web of Science核心合集/中国知网CNKI | 是 |
| 2 | A fractal model based on a new governing equation of fluid flow in fractures for characterizing hydraulic properties of rock fracture networks / Computers and Geotechnics / 刘日成，李博，蒋宇静 | 3.345 | 2016年75卷57-68页 | 2016年5月 | 蒋宇静 | 刘日成 | 58/11 | Web of Science核心合集/中国知网CNKI | 是 |
| 3 | Critical hydraulic gradient for nonlinear flow through rock fracture networks: The roles of aperture, surface roughness, and number of intersections / Advances in Water Resources / 刘日成，李博，蒋宇静 | 3.673 | 2016年88卷53-65页 | 2016年2月 | 李博 | 刘日成 | 44/17 | Web of Science核心合集/中国知网CNKI | 是 |
| 4 | 水下隧道流固耦合模型试验与数值分析 / 岩石力学与工程学报 / 蔚立元，李术才，徐帮树，王育奎，刘日成 | 3.145 | 2011年7卷1467-1474页 | 2011年7月 | 蔚立元 | 蔚立元 | 73/8 | 中国知网CNKI/Web of Science核心合集 | 是 |
| 5 | 岩石全应力-应变过程渗透性试验研究 / 岩土工程学报 / 姜振泉，季梁军 | 2.497 | 2001年23卷153-156页 | 2001年3月 | 姜振泉 | 姜振泉 | 193/2 | 中国知网CNKI/Web of Science核心合集 | 是 |