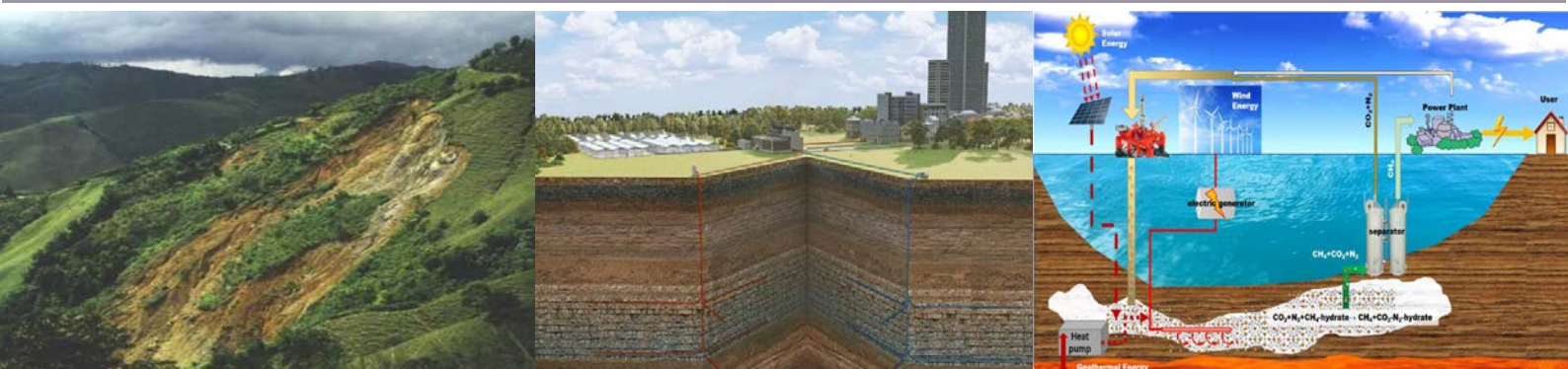


# 岩土力学与工程动态信息快报

Information Bulletin of Geomechanics and Geotechnical Engineering



## 本期焦点

- 美国能源部投资 1200 万美元用于开发增强型地热能系统
- 荷兰政府邀请石油巨头加入海底碳封存计划
- Scientific Reports: 边坡稳定性模型用于滑坡预测
- MPM-FEM 结合用于滑坡引发海啸的数值模拟
- 澳大利亚计划兴建该国最长公路隧道
- 隧道远程监控系统: 从“有线”到“无限”



**中国科学院武汉岩土力学研究所**  
Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences



## 岩土力学与工程动态信息快报

### 编辑出版:

中国科学院武汉岩土力学研究所  
中国科学院武汉文献情报中心  
岩土力学与工程信息情报研究中心

### 联系地址:

武汉市武昌区水果湖街小洪山2号

联系人: 任重、李娜娜

电话: 027-87199265

电子邮件: zren@whrsm.ac.cn

邮编: 430071



**岩土力学与工程信息资源网**  
<http://www.geoinformation.cn/>



中科岩土之声微信公众号

## 岩土力学与工程信息资源网

### 网站简介:

“岩土力学与工程信息资源网”由中国科学院武汉岩土力学研究所和武汉文献情报中心联合建设。主要面向岩土力学与工程领域,长期开展科技动态信息扫描、跟踪、监测与分析。致力于为全国岩土力学与工程领域科研人员、工程技术人员和研究生提供国内外科技战略、项目计划、研究前沿、工程建设、学术会议等信息和情报资源,服务于我国岩土力学与工程科技创新和发展。

### 主要目标:

**支撑科技决策一线:** 动态扫描、监测和分析世界各国岩土力学与工程领域科技政策与重大举措,为政府及科技决策部门制定战略规划与决策提供咨询建议。

**支撑科学研究一线:** 紧密跟踪国际岩土力学与工程领域科技发展动态及最新科技前沿,提供岩土力学与工程领域研究发展态势分析,为岩土力学与工程领域科技创新提供支撑。

**支撑产业发展一线:** 围绕岩土力学与工程领域知识产权保护、技术热点和市场竞争态势开展调研和分析,支撑我国岩土力学与工程突破卡脖子关键技术问题,促进科技成果转化。

### 主办单位:

中国科学院武汉岩土力学研究所  
中国科学院武汉文献情报中心  
岩土力学与工程信息情报研究中心

# 目 录

## 项目计划

桑托斯将专注于 CCS 和氢技术 .....	1
美国能源部投资 1200 万美元用于开发增强型地热能系统 .....	1
荷兰政府邀请石油巨头加入海底碳封存计划 .....	2
澳大利亚主要 CCUS 项目成功完成 CO <sub>2</sub> 注入 .....	2
全球风投 LNG 启动 100 万吨/年 CCS 计划 .....	3

## 研究进展

SCIENTIFIC REPORTS: 边坡稳定性模型用于滑坡预测 .....	3
COMPUTATIONAL MECHANICS: MPM-FEM 结合用于滑坡引发海啸的数值模拟 .....	4
长周期循环荷载作用下盐岩蠕变特性试验研究 .....	5
基于模糊综合评判的天然岩石节理面剪切强度模型 .....	6
更有效地测量基岩强度的点荷载试验 .....	7
中国科学院武汉岩土力学研究所最新研究进展 .....	8

## 工程快讯

澳大利亚计划兴建该国最长公路隧道 .....	11
隧道远程监控系统: 从“有线”到“无限”, 保障隧道施工安全的利器 .....	11

## 会议

第十届岩土工程物理建模国际会议 (ICPMG2022) .....	12
第十六届全国渗流力学学术会议 .....	13
2021 年全国工程地质学术年会 (一号通知) .....	14

## 本期岩土人物

岩土工程专家中国工程院院士陈厚群 .....	15
------------------------	----



## 项目计划

### 桑托斯将专注于 CCS 和氢技术

据能源公司桑托斯 4 月 21 日消息，桑托斯支持澳大利亚政府将重点放在碳捕获与封存（CCS）和氢技术上，使澳大利亚处于正在迅速发生的全球能源转型前沿。

该公司认为自己完全有能力通过库珀盆地的 Moomba CCS 项目开发零排放液化天然气和氢气产品。该项目最初计划每年储存 170 万吨二氧化碳，但库珀盆地每年有能力储存 2000 万吨二氧化碳。

信息源: <https://www.santos.com/news/santos-welcomes-ccs-and-hydrogen-focus/>

### 美国能源部投资 1200 万美元用于开发增强型地热能系统

4 月 30 日，美国能源部（DOE）宣布一项高达 1200 万美元的投资，用于开发能够提高地热系统生产清洁能源效率的技术。这笔资金将帮助科学家和工程师充分挖掘地热能的全部潜力，以帮助应对气候危机，并实现拜登政府提出的到 2050 年实现净零碳排放的目标。

增强型地热系统（EGS）是通过将流体注入“热岩”中而形成人造储层，“热岩”由地核加热。流体重新打开预先存在的裂缝，使其在热岩中循环，并将热水带到地表。热水变成蒸汽，使涡轮旋转，从而产生清洁能源。

“控制增强地热系统水力特性的创新方法”资助机会将支持研究、开发、示范和部署控制 EGS 储层中流体流动的技术和方法，增强先前存在的裂缝网络的连通性并优化它们用于热采。这种定制储层的能力将提高其效率和寿命-降低 EGS 成本，降低开发风险，并加速实现广泛商业化。

信息源:

<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-12-million-advance-geothermal-energy-technologies>

## 荷兰政府邀请石油巨头加入海底碳封存计划

据世界石油 5 月 17 日消息，荷兰政府已告知包括荷兰皇家壳牌公司和埃克森美孚公司在内的企业，它将在未来几年花费高达 21 亿欧元将该国产生的部分碳封存到地下。

鹿特丹港的这个项目每年可以将大约 250 万吨的二氧化碳储存在海底枯竭的天然气藏中。港口发言人 Sjaak Poppe 称，涉及的四家公司——壳牌、埃克森美孚、液化空气公司和空气产品与化学公司——将获得政府对该计划的支持。

鹿特丹港口去年产生了 2240 万吨二氧化碳，约占该国年排放量的 14%。这个碳捕集项目被称为 Porthos，它将把公司炼油厂和制氢厂的污染捕获在一个共享的网络中。然后，这些气体将被压缩并通过管道运输到海岸外，然后被泵入海床下三公里处的砂岩储层进行封存。

信息源: <https://oil.in-en.com/html/oil-2919897.shtml>

## 澳大利亚主要 CCUS 项目成功完成 CO<sub>2</sub> 注入

据 CO<sub>2</sub>CRC 4 月 29 日消息<sup>1</sup>，在维多利亚州尼兰达南部的 Otway 国际测试中心（OITC）成功将二氧化碳安全注入地下 1500 米深的盐层中，Otway 第三阶段项目的现场作业结束时，共注入了 15050 吨二氧化碳，使 OITC 自 2007 年开始运作以来安全储存的二氧化碳总量超过 95000 吨。

这是 CO<sub>2</sub>CRC Otway 第三阶段项目的重要里程碑，该项目正在开发下一代地下二氧化碳监测和验证技术用于商业碳捕获和存储项目。

OITC 现有的监测和验证技术基础设施显著改善了数据收集和处理时间，使科学家能够根据需要跟踪二氧化碳羽流流经储层时的图像。

CO<sub>2</sub>CRC 首席执行官 David Byers 表示，将与合作伙伴 CSIRO、科廷大学和悉尼大学合作，进行数据分析，并对第三阶段技术进行详细的技术经济性研究，旨在验证对监测商业规模的 CCS 项目成本降低高达 75% 潜力的初步估计。

信息源: <https://co2crc.com.au/co2-injection-phase-complete-on-major-ccus-research-project/>

---

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub> injection phase complete on major CCUS research project

## 全球风投 LNG 启动 100 万吨/年 CCS 计划

据息，全球风投液化天然气计划在其 Calcasieu Pass 和 Plaquemines 液化天然气工厂进行碳捕集和封存。该公司预计将从这两个地点捕获和封存总计 50 万吨/年的二氧化碳。

此外，在完成全面的工程和岩土工程分析后，全球风投天然气正在启动一个准备就绪的（仅需获得监管机构批准）碳捕获和封存项目，在其现场压缩二氧化碳，并将其输送到深部地下咸水含水层中永久封存。全球风投预计，一旦该项目获批，将使用类似的基础设施从其 2000 万吨/年的 CP2 液化天然气工厂中捕获并封存另外 50 万吨/年的二氧化碳。在 Calcasieu Pass 成功部署碳捕集和封存技术将是美国现有液化天然气设施的首创。

信息源:

<https://www.hydrocarbonengineering.com/gas-processing/01062021/venture-global-launches-carbon-capture-and-sequestration-project/>

## 研究进展

### Scientific Reports: 边坡稳定性模型用于滑坡预测

虽然对边坡破坏危险的风险评估通常依赖于对地面运动的监测，但是对这种先兆破坏模式仍然知之甚少。一个关键的挑战是时空尺度和动力机制的多样性。特别是，存在两种中尺度机制共同演化的前兆失效机制，即力和破坏的首选传输路径。针对此问题，尽管已经进行了广泛研究，但很难找到一种不仅能在实验室中测试，而且能在大规模的现场环境中解决它们的共同进化问题的方案。

研究人员通过 5 年的研究工作，开发了一个时空边坡稳定性分析框架（Spatiotemporal Slope Stability Analytics for Failure Estimation, SSSAFE）模型，该模型通过分析边坡的稳定性来预测何时何地可能发生滑坡或雪崩，能够成功预测出不同规模、不同速度和不同环境下的滑坡。相关研究成果发表于《*Scientific Reports*》<sup>2</sup>期刊。

---

<sup>2</sup> Spatiotemporal slope stability analytics for failure estimation (SSSAFE): linking radar data to the fundamental dynamics of granular failure

该模型成功的关键在于，它能在广阔的时空尺度上发挥作用，并通过土壤和岩体的物理失效得到信息。它可以用于矿山，每隔几分钟就可以对岩层表面的运动进行毫米级的精确测量，也可以用于农村地区，那里唯一可用的数据是每隔几天到几周拍摄一次的卫星雷达图像。研究结果为进一步从大范围监测数据中合理化和细化决策提供了一条途径，以改进岩土风险评估和减轻灾害。

SSSAFE 模型最初是为矿山监测开发的，在那里滑坡是一个持续的威胁。研究人员表示，如果能够利用这个模型，加上免费提供的卫星数据，在未来潜在的山体滑坡发生之前很早就能识别出来，就可以采取保护措施。由于 SSSAFE 利用了大数据分析、网络科学和物理学，研究人员希望他们的研究可以被世界各地的行业和政府使用，以帮助早期预警系统在面对气候变化时减轻滑坡灾害。

信息源: <https://www.sciencedaily.com/releases/2021/05/210526093102.htm>;

<https://www.nature.com/articles/s41598-021-88836-x>

## **Computational Mechanics: MPM-FEM 结合用于滑坡引发 海啸的数值模拟**

海底滑坡会造成海底电缆和海底管线断开、阻碍资源开发设施的运行等一系列危险活动，以及大规模的海啸，造成的损失巨大。然而，人们对这些滑坡背后的作用机理知之甚少，部分原因是发生了多方面的相互作用：海床坍塌或土壤与水之间的相互作用。然而，利用传统的方法对土壤和海水的行为进行准确预测非常困难。因此，有必要开发有效的数值模拟方法，以正确评估滑坡引发海啸所涉及的复杂力学行为。

日本东北大学的研究人员开发了一种新的数值方法，为模拟滑坡引起的海啸铺平了道路。研究人员的突破性研究提出了一种新的混合模拟方法，将两种分析固体和液体相互作用的计算方法结合在一起：有限元方法（FEM）和物质点方法（MPM），用于模拟颗粒物引起周围水动力运动的颗粒-水相互作用问题。与现有的固液耦合物质点法类似，该方法基于多孔介质理论，将饱和土视为由土骨架和液相组成的连续体。实体骨架的控制方程采用拉格朗日描述，流体相的控制方程采用欧拉描述。同时采用相场法表示自由表面。结合 4 个数值算例，证明了该



方法对颗粒体运动引起的流体运动的模拟能力。数值计算结果表明该方法在了解滑坡引发的海啸等相关事件的机制方面有很大潜力,所提出的方法还可以应用于其他类型的潜在危险自然事件,包括空气、水和固体的相互作用。

相关研究成果发表于《*Computational Mechanics*》<sup>3</sup>期刊。

未来,研究人员将旨在提高实验测量的准确性,并将其应用于更大规模的真实数据。

信息源: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00466-021-02024-2>

## 长周期循环荷载作用下盐岩蠕变特性试验研究

盐岩具有结构致密、孔隙率低、延性好、力学性能稳定、损伤自愈能力强等优点,因此,是国际公认的理想地下储能介质。盐岩的蠕变特性对盐岩地下储气库的长期安全稳定运行有着重要影响。盐岩地下储气库的周期性注采导致了围岩的周期性加卸载,这一过程可能持续很长时间。因此,研究盐岩在长期循环荷载作用下的蠕变特性,对于储气库长期稳定性分析至关重要。

盐岩地下储气库内压变化的持续时间一般较长。例如,当用作天然气“调峰”储气库时,一年只有两个循环,因此,盐岩上的循环加卸载周期很长。但是,现有的研究主要集中在高频循环荷载作用下盐岩的疲劳变形特性,即,循环加载周期相对较短,这与盐岩储层在运行过程中内压的实际变化不符。

为了研究盐岩在长周期循环荷载作用下的蠕变特性,研究人员对不同最大循环应力和周期下的盐岩试样进行了单轴长周期循环荷载蠕变试验,分析了周期、最大循环应力和循环次数对盐岩蠕变特性的影响。相关研究成果发表于《*International Journal of Fatigue*》<sup>4</sup>期刊。

研究人员对 NaCl 含量 95%、泥质不溶物含量 5% 的标准盐岩试样,在 WAW-600 型岩石单轴伺服试验机上进行了不同周期和不同最大循环应力下的单轴压缩长周期循环荷载蠕变试验。研究表明,当最大循环应力大于 22MPa 时,盐岩单次循环的轴向应力-应变曲线可以分为 5 个阶段,当最大循环应力不超过 22MPa 且循环次数较少时,单次循环的轴向应力-应变曲线仍可以分为 5 个

<sup>3</sup> MPM-FEM hybrid method for granular mass-water interaction problems

<sup>4</sup> Experimental study on creep properties of salt rock under long-period cyclic loading

阶段。然而，随着循环次数的增加，第三阶段逐渐消失。在发生破坏时，随着循环次数的增加，盐岩加载到最大循环应力时对应的最大蠕变速率呈现出“逐渐减小-基本不变-逐渐增大”的趋势，蠕变过程可分为衰减蠕变-稳态蠕变和加速蠕变阶段。无破坏时，蠕变过程仅包括衰减蠕变和稳态蠕变两个阶段。随着循环次数的增加，弹性模量呈现“逐渐增加-基本不变”的趋势。在最大循环应力相同的情况下，循环次数存在一个临界值。当循环次数不超过临界值时，周期越长，累积不可逆变形越大。当循环次数超过临界值时，周期越短，累积不可逆变形越大。相同周期下，最大循环应力越大，累积不可逆变形越大。

信息源: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142112320305417?via%3Dihub>

### 基于模糊综合评判的天然岩石节理面剪切强度模型

岩体中存在大量节理，节理的剪切行为对岩体工程结构的稳定性具有重要影响。已有研究表明，节理抗剪强度与节理表面粗糙度密切相关。例如，Barton 和 Choubey 通过引入节理粗糙度系数（JRC）建立了 JRC-JCS 模型，该模型由于简单和易于估算抗剪强度在工程中得到了广泛应用。但是，由于提出的 JRC 估算是定性的而非定量分析，主观性强，不能完全代表节理表面形态。为了定量评价节理粗糙程度，研究人员采用统计方法和分形方法开展了广泛研究。但是许多试验结果表明，JRC-JCS 强度模型仍有低估天然岩石节理抗剪强度的趋势，主要原因可能是没有综合考虑多个形态参数的影响，包括节理凸台高度、形状、倾角和曲率等特征，因此，需要找到量化节理表面形貌特征的方法，并将新的参数纳入抗剪强度表达式。

由于节理面粗糙条件的复杂性和形态参数的可变性，节理粗糙度的评价是一个多指标的模糊概念。研究人员基于模糊综合评价方法，研究了天然岩石节理剪切相关粗糙度分类方法，建立了一种新的天然岩石节理强度模型。对天然岩石节理进行不同法向应力下的直剪试验，通过三维激光扫描技术对节理表面形貌进行测量，从三维数据中提取节理剖面进行粗糙度评价，并对 3 种天然岩石节理进行了一系列直剪试验。采用 Talysurf 形态学仪测量了高度统计参数和结构统计参数。基于模糊综合评判（FCE）方法，考虑了多种形貌参数对节理表明粗糙度的影响，

提出了一种新的裂隙粗糙度系数 FRC，一般 FRC 高于 JRC。与已有的抗剪强度模型相比，所建立的 FRC-JCS 抗剪强度模型能够更全面地反映节理表面形貌参数对抗剪强度的影响，与试验数据吻合较好。

相关研究成果发表于《*International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*》<sup>5</sup>期刊。

信息源: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160920309163?via%3Dihub>

## 更有效地测量基岩强度的点荷载试验

基岩强度对于许多地貌过程起着根本性的控制作用，它影响着河流切割河床的难易程度，影响着巨石在分解成沉淀物之前在山坡上的覆盖时间，或影响整个地貌的土壤生成速率。最常用的量化基岩强度的工具是施密特锤，使用方便，但是存在不一致和不可靠的问题。另一种方法是巴西劈裂试验，它被认为是量化抗拉强度的标准方法，但昂贵且需要大量劳动力，需要钻取岩心、加工岩样和设备良好的实验室。因此，依赖于岩石强度测量的地貌研究往往因缺乏适当、可靠和负担得起的工具而受到限制。

点荷载试验已经在工程中应用了几十年，是一种可行的基岩强度测试工具。这种方法通过破坏厘米级的不规则形状样品来测量岩石的强度，这些样品置于锥形平台之间，靠液压手泵稳定加压。最大荷载（试样破坏的荷载）直接从机器的压力表中获得，然后用于计算岩石强度指数，该指数很容易根据试样的厚度变化进行修正，并且与拉伸和无侧限抗压强度有关。然后，可以将这些指标与其他关键地貌变量（如地形、河道形态或宇宙成因年龄）进行比较，以了解岩石强度分布如何影响各种地貌演变过程，如风化、侵蚀率和排水沟稳定性。与施密特锤不同的是，这种方法适用于各种岩石类型，包括那些具有密集不连续面的岩石。该测试仪器结构紧凑、易于操作、价格相对便宜。每个试样的测试时间为几分钟，断裂后的试样可重新用于重复测试，便于可靠的数据收集，并产生可与巴西劈裂试验相媲美的数据，同时更具备劳动力和成本效益。

虽然施密特锤不能准确量化软弱岩石的强度，但是点荷载试验可以获得整个

---

<sup>5</sup> Shear-related roughness classification and strength model of natural rock joint based on fuzzy comprehensive evaluation

地貌中所有岩石强度的对比。改进的岩石强度估算将为岩石强度对河流基岩侵蚀性地貌演化过程的影响提供新的见解，这对理解基岩切割的速率和方式至关重要。以往对河流切割过程的研究局限于基岩不薄的地貌和地区，有时需要消除研究区域的大部分，并模糊岩石强度和地貌参数之间的关系。点荷载试验将消除此类障碍，并允许在各种地形和岩石类型中收集可靠的岩石强度数据。

相关研究成果发表于《*Nature Reviews Earth & Environment*》<sup>6</sup>期刊。

信息源: <https://www.nature.com/articles/s43017-021-00180-w>

## 中国科学院武汉岩土力学研究所最新研究进展

### 一、岩石强度准则研究：

强度准则是岩石力学理论研究和工程应用中的一个重要问题。过去的研究已经提出了许多岩石破坏准则，其中 Mohr-Coulomb 准则和 Hoek-Brown 准则应用最广泛，但均未考虑中间主应力。实际上，试验已经证实了中间主应力对岩石强度有实质性影响。

中国科学院武汉岩土力学研究所计算岩石力学课题组提出了一种简单的岩石强度准则。该准则考虑了中间主应力在岩石破坏过程中的作用。表达的 $\sigma_1$ 和 $\sigma_3$ 之间的关系不是像 Mohr-Coulomb 准则那样的直线关系，也不是像 Hoek-Brown 准则那样的曲线关系，而是一条带状关系，反映了中间主应力的影响。

与线性莫尔-库仑破坏准则相比，该模型在子午面上是非线性抛物线，使得该准则更适用于岩石力学。此外，在数值分析中，该准则比 Mohr-Coulomb 准则和 Hoek-Brown 准则更容易收敛：它在屈服面上有 3 条非光滑棱线，而 Mohr-Coulomb 准则和 Hoek-Brown 准则有 6 条非光滑的棱线。

通过经典文献所提供的 8 组实验数据的验证表明：所提出的强度准则比 Mohr-Coulomb 准则、Hoek-Brown 准则、Drucker-Prager 准则和修正 Lade-Duncan 准则更适用于岩石。该项研究发表于《*Mechanics of Materials*》期刊。

### 二、高应力下大型地下洞室群稳定性分析、控制理论与技术研究：

---

<sup>6</sup> Point load testing to more effectively measure bedrock strength

“深海、深空、深地”已成为当前国际科学研究的前沿主题，我国日益增长的能源、资源和交通刚性需求必将促使矿山开采、水电开发、隧道建设等进一步向地下深部发展，深部高应力下地下工程建设必将趋于常态化。地下工程建设过程中，洞室围岩稳定性控制是首要科学问题，如何通过科学合理且经济可靠的开挖与支护优化方法与技术有效地控制岩体的有害变形与灾害性破坏是大型地下工程建设不可回避的技术难题。

为此，在冯夏庭院士带领下，中国科学院武汉岩土力学研究所智能组江权等研究人员，提出高应力下大型硬岩地下洞室群稳定性优化的裂化—抑制设计法新理念及其基本原理、关键技术和实施流程。该理论认为高应力下地下洞室硬岩大变形与灾害性破坏本质上是其内部破裂发展和裂开的外在表现形式，为此建立以抑制硬岩内部破裂发展为核心切入点的理念，以硬岩的开裂测试分析、减裂开挖调整、止裂支护控制为三要素，提出：（1）通过系统地开展洞室群开挖方案优化分析，从开挖角度尽量减少和避免围岩开裂的规模、深度和程度技术体系；（2）通过支护参数、支护时机优化，从支护角度抑制围岩进一步裂化并强化松弛/开裂围岩的整体性从而抵抗地层压力，将围岩从被支护对象转换为承载结构，从而实现充分调动围岩自身承载性能来维护和再造围岩承载拱，达到工程安全、高效和经济的目标。

研究成果已在拉西瓦水电站地下洞群开挖顺序优化、白鹤滩水电站地下厂房顶拱支护方案优化、中国锦屏深地实验室的围岩支护参数复核等工程成功实践，表明其合理性和实用性，围岩稳定性控制实用技术正在编入相关工程设计指南，相关论文已发表于《岩石力学与工程学报》、《*Rock Mechanics and Rock Engineering*》等国内外主流期刊，并获 ChinaRock 2020 全国岩石力学与工程学术大会“优秀论文”奖。

### 三、多尺度连续非连续数值方法研究：

岩石主要由晶体形态存在的矿物及少量非晶质胶结物组成，其成因和赋存环境对岩石的矿物成分，晶体形态及界面结合产生重要影响。岩石材料在不同研究尺度上表现出不同的力学特征，研究其内部矿物结构及细观非均质特征，对于了解岩石断裂损伤，裂纹孕育演化机制和破裂特征具有重要意义，也是保证岩石工程合理设计和安全控制的重要依据。

数值方法是量化评价岩石微观结构对宏观力学特征影响的有力工具。传统有限元法难以实现岩石介质在外力作用后出现破裂、失效及分离的全过程。离散元法虽然能反映岩体结构的非连续特征，但因全局接触判别效率不高，很难实现工程尺度规模的计算，尤其三维条件下的接触形式复杂，块体接触力计算繁琐，大大限制了离散元方法的推广应用。Munjiza 提出的连续非连续通过定义势函数来计算块体之间的重叠区域，进一步根据 NBS 接触算法得到接触力。但由于势函数物理意义不明确，无法统一表征嵌入量的接触力，且切向接触力计算冗杂，难以推广至三维模型。

本研究在传统连续非连续方法的基础，结合基于点-面接触的刚度罚值法，采用增强型 NBS 接触判别，在 C++上自主开发了多尺度（宏细观）连续非连续数值软件，大大提高了计算效率，即使对于网格结构不规则模型，也能达到较高的计算效率和判别精度。同时考虑岩石结构的多尺度特征，建立了以晶相为基础的真实结构模型，实现了岩石矿物的穿晶和沿晶断裂现象。基于上述方法，系统性的研究了岩石细观非均质特征（如晶体尺寸，分布特征，矿物形态及矿物成分）对其宏观力学特征，裂纹成核，起裂，扩展和聚合的影响。研究结果表明：岩石裂纹起裂应力和损伤应力是由矿物非均质性决定的固有属性。初始裂纹主要为晶间拉伸裂纹，由晶体间分布的非均匀拉应力导致，而穿晶剪切裂纹将耗散大部分能量，导致大规模微裂纹聚合和扩展。同时，增加矿物晶体的尺寸将进一步导致非均匀应力分布，降低材料的破坏强度。晶体形态在晶粒互锁中起着重要作用，均匀分布的矿物晶体产生均匀的微观应力场，增加了岩石的起裂应力阈值。同时借助石英-云母-长石分布图，进一步讨论了矿物成分与岩石宏观力学性能之间的定量关系。

相关成果发表于《*Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*》<sup>7</sup> 期刊。

信息源: <https://www.whrsm.ac.cn>

---

<sup>7</sup> Li XF, Li HB, Zhao J (2021) Transgranular fracturing of crystalline rocks and its influence on rock strengths: Insights from a grain-scale continuum - discontinuum approach. *Comput Methods Appl Mech Eng* 373:113462

## 工程快讯

### 澳大利亚计划兴建该国最长公路隧道

据悉，澳大利亚新南威尔士州政府（NSW）正在考虑建设该国最长的公路隧道，该隧道将在 Lithgow 和 Katoomba 之间的蓝山山脉下通行。

该工程将作为全长 130km 的大西部公路升级工程的一部分，连接澳大利亚的中西部、悉尼并延伸至澳大利亚东海岸。该隧道总长将超过 11km，包括穿越布莱克希思（4.5km）与维多利亚山（4km）的两条山岭隧道与一条 3km 长的连接隧道，建设预计耗资 80 亿澳元（约合人民币 398 亿）。

公路工程将于 2022 年启动建设，而公路隧道则将于 2023 年开工。隧道建设的全过程都将遵循严格的环境保护要求，隧道建设不会影响大蓝山地区的自然世界遗产。隧道建成后，蓝山地区现有的公路严重的交通拥堵情况将得以缓解。。

信息源：<https://www.tunnelling.cn/PNews/NewsDetail.aspx?newsId=43566>

### 隧道远程监控系统：从“有线”到“无限”，保障隧道施工安全的利器

隧道监测是保障隧道建设安全不可或缺的一部分，但由于地下环境多变、地下工程条件复杂，对于隧道监测系统的使用并无定式。

在数字化与网络化不断深化的今日，传统的隧道监测仪器已经无法满足整个隧道的施工安全需求，虽然这些仪器可以提供各种物理、地理空间和环境参数的监测数据，但是在实际的地下工程应用中仍旧存在大量挑战。随着智慧隧道建设的全面深入，隧道监测设备也逐渐转向智能化与无线化。

无线远程状态监控系统包括三大部分：传感器、无线通信平台(WCP)和客户端。2009 年的伦敦地铁 Bakerloo 线翻修是无线远程监控系统的早期应用：老旧隧道内的部分铸铁管片已经损坏，需要更换新管片后进行注浆，这样的侵入式翻修可能对隧道结构稳定性造成影响。考虑到紧张的工

期与狭小的工作空间，使用了无线监测系统：监测节点体积小、无需电缆，可以在不对设施产生影响的情况下持续传输数据。施工中采用磁铁固定节点，监测仪器随着工程推进而拆卸移动。

随着基础设施全生命周期结构健康评估的需求不断增长，后续越来越多的项目会选择无线远程监测系统。以荷兰鹿特丹的 Botlek 隧道为例，1.8km 的铁路隧道内安装了 Senceive 系统。隧道内没有蜂窝网络信号或互联网，监测需要实时运行，且需要运行 25 年以上。同时，为了保障铁路正常运行，隧道内的现场维护需要尽量避免。

最终，整套监测方案采用了 FlatMesh 通信平台，系统中的 434 个传感器以 30m 间距布置在隧道内壁，电池可以保证 25 年续航，并可以随时进行远程的配置更改。

与其他物联网（IOT）技术一样，无线监测系统的发展关键在于系统的自动化。以伦敦地铁北线扩建工程为例，隧道管片内安装了微型传感器，形成了自我监视结构寿命的衬砌。这只是基础设施全生命周期智能化监测的一个小例子。

另一个目前正在发展中的技术则是近场通信（NFC）的整合：通过手机 APP，用户可以随时随传感器进行快速、简易的配置更改，例如将传感器的节点从活跃更改为休眠，以延长其在运输或储存过程中的电池寿命。

专家预测，随着物联网、人工智能等技术的发展，无线监控技术在全球的应用将在未来持续增长，通过监测系统实现数据驱动的决策，是基础设施结构健康监测的理想选择。通过监测将基础设施的物理属性转换为数据的动态表示，最终成为基础设施“数字孪生”的重要一环。

信息源：<http://www.chinanews.com/cj/2021/03-13/9431467.shtml>

## 会议

### 第十届岩土工程物理建模国际会议 (ICPMG2022)

会议时间：2022 年 9 月 19 日-21 日

会议地点：韩国大田



会议名称: The 10th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics

一、会议主题:

1. Physical modelling facilities and equipment;
2. Scaling principles and modelling techniques;
3. Instrumentations and measurements;
4. Soft ground and improvements;
5. Applications in offshore geotechnics;
6. Earthquake related problems;
7. Geohazards;
8. Underground structures and pipelines;
9. Excavations and retaining structures;
10. Foundations;
11. Dams and embankments;
12. Other various topics related to physical modelling in geotechnics。

二、重要时间节点:

- (1) 2021 年 6 月 1 日: 摘要提交开始;
- (2) 2021 年 7 月 31 日: 摘要提交截止;
- (3) 2021 年 8 月 31 日: 发出摘要录用通知;
- (4) 2021 年 12 月 31 日: 全文提交截止;
- (5) 2022 年 2 月 28 日: 发出摘要录用通知;
- (6) 2022 年 4 月 30 日: 全文终稿提交。

会议链接: <https://www.issmge.org/news/call-for-abstracts-icpmg-2022>

## 第十六届全国渗流力学学术会议

会议时间: 2021 年 7 月 29-8 月 1 日

会议地点: 中国 辽宁

一、会议主题: 新时代渗流力学理论及应用新进展

二、征稿范围:

1. 渗流力学新进展、新机遇与新挑战；
2. 常规与非常规能源开发中的渗流力学；
3. 煤岩渗流力学；
4. 岩土、水利工程中的渗流力学；
5. 环境渗流力学；
6. 生物渗流力学；
7. 多孔介质传热与传质分析；
8. 多尺度多相多场渗流力学；
9. 渗流力学实验方法与技术；
10. 计算渗流力学；
11. 其他与渗流力学相关领域。

### 三、论文投稿：

参会代表自行选择以下中英文期刊投稿，并备注：“渗流会议专刊”或“The 16th China National Conference on Porous Flow Mechanics”投稿字样。经评审后，将专刊或正刊发表。期刊投稿截止日期如下：

- (1) 《力学学报》专刊：投稿截止日期为2021年6月30日，2021年第八期发表；
- (2) 《辽宁工程技术大学学报（自然科学版）》，随投随审，正刊发表；
- (3) 《Advances in Geo-Energy Research》专刊，注册后选择相关专刊投稿，时间不限；
- (4) 《Energies》专刊，专刊投稿截止日期为2021年9月20日；
- (5) 《Water》专刊，专刊投稿截止日期为2021年11月15日；
- (6) 《Geofluids》专刊，专刊投稿截止日期为2021年7月9日。

会议链接：[https://mp.weixin.qq.com/s/Gn5kK0kgN\\_ZYcPlMS8rYYA](https://mp.weixin.qq.com/s/Gn5kK0kgN_ZYcPlMS8rYYA)

## 2021年全国工程地质学术年会（一号通知）

会议时间：2021年10月14-18日

会议地点：山东 青岛

## 一、会议主题与议题：

**会议主题：** 工程地质与现代海洋

**会议议题：**

1. 海洋工程地质；
2. 气候变化与滨海城市环境；
3. 岩土体结构与特性；
4. 活动构造与区域工程地质；
5. 地表过程与山地灾害；
6. 隧道与地下空间；
7. 地质灾害与环境保护；
8. 重大工程建设与环境；
9. 现代工程地质与新基建；
10. 工程地质教育。

## 二、会议论文：

论文题目根据大会主题和议题自由选定。大会论文应为未正式发表过的最新成果。论文择优在《工程地质学报》和《地质科技通报》正刊发表，其余论文经评审后在《工程地质学报》增刊和《青岛理工大学学报》正刊发表。论文篇幅控制在 10 页以内，论文统一按《工程地质学报》和《地质科技通报》网站提供的格式要求编排，登录《工程地质学报》或《地质科技通报》网站投稿。

论文全文提交截止时间：2021 年 6 月 30 日

联系邮箱：gcdz@mail.iggcas.ac.cn

联系电话：010-82998124/82998121

信息源：<https://mp.weixin.qq.com/s/EV2gR5-WebULA18Nnq2dYg>

## 本期岩土人物

### 岩土工程专家中国工程院院士陈厚群

陈厚群，男，汉族，水工结构抗震专家。1932 年出生于江苏省无锡市，1958 年毕业于苏联莫斯科动力学院。曾任中国水利水电科学研究院工程抗震研究中心

主任、中国水利学会副理事长、中国振动工程学会常务理事、中国建筑学会抗震防灾分会理事长、国际大坝委员会地震专业委员会副主席。现任国家地震安全性评定委员会常务委员、全国地震标准化技术委员会副主任、国务院三峡建设委员会专家组组长、国务院南水北调工程建设委员会专家委员会主任。1995 年，当选为中国工程院院士。

陈厚群在水工结构抗震理论、数值模拟、软件开发和试验技术等方面取得了突出的研究成果，在混凝土坝的抗震加固理论和解决重大水利水电工程的抗震关键问题方面作出了创造性贡献，解决了三峡、溪洛渡、新丰江、二滩、小浪底等重大水利水电工程的抗震安全问题。主持编制和修编了我国国家级和水利、水电行业的《水工建筑物抗震设计规范》等多本规范，负责建置我国第一座大型三项六自由度模拟地震振动台，多次组织国际合作的大坝现场振动试验和开展强震观测。曾获“有突出贡献的中青年专家”、“全国水电系统和水利系统特等劳动模范”、“全国先进生产者”称号和“全国五一劳动奖章”，多项国家科技进步奖；2001 年度获何梁何利技术科学奖，2007 年获中国地震局、科技部、国防科工委、中国科学院、国家自然科学基金委联合颁发的“全国地震科技工作先进个人奖”，2010 年获第八届“光华工程科技奖”，2011 年获“国际大坝委员会荣誉奖”。发表论文 100 余篇，著作多部。

## 中国科学院武汉文献情报中心

中国科学院武汉文献情报中心自 1956 年筹建至今，已成为国内领先的知识服务中心，是国家科技文献情报体系的重要组成部分，是中国科学院武汉科技查新咨询中心、湖北省查新咨询服务分中心、湖北省科技文献信息服务中心、中国科技网武汉分中心、知识产权分析评议服务示范创建机构，并与中国光谷共建了“东湖高新技术开发区文献信息中心”、“光谷生物城信息中心”，与湖北省产业与育成中心共建“产业技术分析中心”。长期以来，立足中南、面向全国、开放联合，面向我院 8+2 学科布局以及研究所重点学科领域，开展战略情报、学科情报、产业情报研究与服务，有效支撑了战略决策一线、科学研究一线和区域发展一线的信息情报需求。

近年来，在情报研究与服务方面，武汉文献情报中心在能源、材料与先进制造、生物安全、光电子、岩土力学、精密测量等领域，面向世界科技前沿、国家重大需求、国民经济、科技创新和产业发展的全价值链，针对科研院所、高校院系、政府部门、企业产业、科技园区、行业协会等不同用户的不同阶段需求，提供数据产品、科技态势监测分析、决策咨询建议、科技竞争力分析、知识产权分析、产业分析等多种形式的产品体系，涵盖了从数据、信息、情报到解决方案的全谱系智库产品。

在数据平台及知识管理平台建设方面，建设有特色资源数据中心，包括能源、材料与先进制造、生物安全知识资源中心、科技智库大数据中心、产业智库大数据中心、全院机构竞争力数据中心和开放获取资源中心；针对用户需求开发了一系列的工具和平台，包括大数据信息云监测服务平台、科技论文预发布平台、微信群统一管理知识服务平台、研究所集成信息平台、专业领域知识环境信息服务系统等，有效支撑院所科技决策、重点科研领域发展、区域产业发展、企业转型升级及科技成果转移转化。

2018 年，中国科学院武汉岩土力学研究所、武汉文献情报中心双方签署战略合作协议，发挥双方优势，共建“岩土力学与工程信息情报研究中心”。主要面向岩土力学与工程学科开展科技战略与规划研究、科技评估与评价、科技动态扫描与监测、科技热点和前沿分析、科技决策与情报咨询等研究和服务工作。

## 中国科学院武汉岩土力学研究所

中国科学院武汉岩土力学研究所（以下简称武汉岩土所）创建于 1958 年，是专门从事岩土力学基础与应用研究、以工程应用背景为特征的综合性研究机构。

建所 60 年来，武汉岩土所紧密结合国民经济建设，服务国家重大工程，完成涉及水利水电、能源、资源、交通、市政、海洋与国防等众多领域 600 多项重大研究项目，取得了众多创新成果，为岩土力学与工程学科发展和国民经济建设作出了突出贡献。

研究所现有正式职工 310 人，其中科技人员 224 人，支撑人员 59 人，研究员 45 人（其中中国工程院院士 2 人），副研究员及高级工程师技术人员 110 人，45 岁以下中青年骨干占 71%。

武汉岩土所下设岩土力学与工程国家重点实验室、湖北省环境岩土工程重点实验室、污染泥土科学与工程湖北省重点实验室、能源与废弃物地下储存研究中心、湖北省固体废弃物安全处置与生态高值化利用工程技术研究中心、岩土力学与工程实验测试中心、中国岩土工程研究中心、武汉岩土工程检测中心等研究、开发与支撑平台；以及武汉中科岩土投资有限责任公司、武汉中岩科技有限公司、武汉中科岩土工程有限责任公司、武汉中力岩土工程有限责任公司和武汉中科科创工程检测有限公司等产业化平台。

研究所是国务院学位委员会批准的首批博士、硕士学位授予单位之一，是中国科学院大学土木工程一级学科牵头建设单位，现设有岩土工程、工程力学二级学科博士、硕士研究生培养点，防灾减灾工程及防护工程二级学科硕士研究生培养点，建筑与土木工程专业硕士研究生培养点，并设有土木工程一级学科博士后流动站。自 1981 年恢复招生以来，共招收研究生 1351 名，已毕业 835 人（博士生 460 人），目前在站博士后 22 人，在读研究生 218 名。

武汉岩土所是中国岩石力学与工程学会挂靠单位之一，也是其下属的地面岩石工程专业委员会、岩石动力学专业委员会、中国力学学会岩土力学专业委员会和中国科学院自然科学期刊编辑研究会武汉分会的挂靠单位。承办了 EI 核心版收录期刊《岩石力学与工程学报》，主办了 SCIE 收录期刊《Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering》与 EI 收录期刊《岩土力学》等本领域有影响力的学术刊物。

“十三五”时期，在国家“一带一路”倡议、“长江经济带”、“川藏铁路”和“海洋强国”等重大战略的推进与实施过程中，按照中科院“三个面向、四个率先、三重大产出”指导方针，围绕岩土力学与工程国际学科前沿和国家重大战略需求，加快推动研究所四类机构分类改革，积极部署实施研究所“一三五”发展战略规划，重点聚焦于重大工程灾害防护、资源与能源开发、海洋与生态环境保护三大领域中的创新研究工作，开创研究所改革创新跨

越发展的新局面，在服务国民经济主战场重大工程中发挥重要作用，引领我国岩土力学与工程学科发展，成为本学科国际知名的研究机构。