



视觉中国

给岩石做个CT 打开破裂演进“黑匣子”

本报记者 刘垠

打开岩石力学试验的黑箱,让岩石内部像玻璃一样清晰可见,获知岩石内部的破裂演进和流体运移规律,是科学家们长期追寻的梦想。

最近在西藏自治区林芝市米林县发生的山体滑坡,导致雅鲁藏布江河道堵塞形成堰塞湖。如果我们能知晓山体的破裂演化过程,就可根据裂缝的发展程度采取相应的预报甚至干预措施。

近日,在国家自然科学基金委员会国家重大科研仪器研制项目“高能加速器CT多场耦合岩石力学试验系统”的支持下,由中科院地质与地球物理研究所李晓研究员领衔,中科院高能物理研究所和北京交通大学等单位研究人员组成的科研团队,历时五年研制成功世界上首台高能加速器CT可旋转式岩石力学刚性伺服试验机,将为深部资源能源开发、天然气水合物开采、核废料地质处置、重大工程建设、地质灾害防治等领域提供新的科学实验平台。

两次失败三台样机 首次实现加载中高精度旋转

岩石力学试验是地球科学和地质工程中必须进行的试验工作。为了使岩石内部像玻璃一样透明可见,人们研发出许多试验技术来探测岩石破裂演化过程。进入21世纪,国内外学者直接利用医用或工业CT以及同步辐射光源,进行CT扫描岩石力学试验,取得了一些重要研究成果。

“这些试验难以进行应力、温度、流体等多场耦合试验,不能获取岩石重要的全应力应变特性,也无法满足深地科学与工程的需求。”李晓直言,近年来兴起的以水力压裂为核心技术的页岩油气、致密油气、干热岩地热、天然气水合物等非常规能源开发,迫切需要一个能进行CT实时扫描的标准岩石力学试验系统,以解决岩石压裂裂缝形成机制与空间分布规律这一关键科学问题。

要实现CT实时扫描和三维成像,就必须攻克试验机在加载过程中高精度旋转等技术难题,然而,世界上还没有一台可旋转式岩石力学试验机。

“很多外国专家来参观时都会问一个问题,你们是怎么做到岩石力学试验机的高精度旋转的?”李晓笑着说,这也是当时面临的难题,研发团队尝

试多种方案,历经两次失败,先后研制三台样机后终获成功。

“我们首先设计了双排滚柱轴承旋转方案,研制的第一台实验样机,优点是旋转定位精度高,但轴承摩擦阻力大,导致旋转阻力大。”李晓回忆说,项目组重新设计了双油缸油膜液浮支撑旋转方案,研制出第二台实验样机,旋转摩擦确实降低了。但在岩石高压加载试验中,样机的系统刚度小,整个系统的垂直精度也不够,指标无法达到最佳,只能从头再来。

科学就是在不断的失败中寻找成功的微光。李晓带领团队顶着压力,不断优化方案,积累技术经验,高精度旋转式的伺服控制岩石力学刚性试验机最终研制成功。

就在今年7月,国家自然科学基金委员会组织专家对研制设备进行测试和验收,验收专家认为,该项目突破了静压支撑降阻控制技术、调心推力限位油缸垂直定位技术、高精度旋转伺服控制技术、高压高低温旋转密封与供液技术、6MeV边耦合驻波加速管、宽动态范围CT线阵探测器、动态原位高精度探测成像七项关键技术。

增加重要功能 可进行流体压裂等多种试验

“高射线能量的电子直线加速器,国外对我国禁运,是卡脖子设备。研制机另外一个重要子系统——‘电子直线加速器CT’设备,是由中科院高能物理研究所研究人员自主研制。”李晓说,这不仅打破了国外对我国高能加速器射线源禁运的技术封锁,也破解了动态原位加载与快速CT层析同步成像的技术难题,实现了动态原位高精度探测成像。

李晓现场展示了一张PPT,列出了项目组研制机与美国最先进CT扫描岩石力学试验装置的技术性能对比。由于研发团队采用了与国外完全不同的设计原理、机械结构和控制系统,项目研制机主要性能指标比国外同类设备提高了1—2个数量级,尤其是新增了许多岩石力学试验的重要功能。

“国外CT岩石力学试验装置刚度很低,属于柔性试验机,不能获得岩石全应力应变曲线,因此不能研究岩石的渐进破坏过程这一重要特性。”李晓解释说,国外设备只是一个可以放置在CT机上进行扫描的简单加载装置,还不能称之为岩石力学试验机。而且,在CT扫描试验中不能安装引伸仪,这导致在试验中很难获得岩石精确的轴向和径向变形。

此外,项目研制设备在全程试验中有三套独立闭环电液伺服控制系统,可进行蠕变、松弛、变加载速率、不同波形加载、流体压裂等多种工况试验,而国外设备均无这些功能。

不到一年间,已有多位国内外知名专家学者前来参观和学术交流,对该试验系统给予了高度评价。

发展潜力凸显 为深地能源开发提供支撑

利用高能加速器CT多场耦合岩石力学试验系统,可以获得岩石、土体、混凝土、陶瓷等地质类材料在应力、温度、流体等多种环境力场作用下的损伤破裂演化过程,揭示地质类材料变形破坏宏观力学行为的微观动因,突破多相多场耦合基础理论,建立科学合理的本构模型,具有重要的科学意义。

值得一提的是,该试验系统还可广泛应用于油气、矿山、水利、交通、土木、环保等国家重大工程建设中。例如,对于矿山突水灾害预测、滑坡地质灾害发生机制、隧道塌方冒顶事故防治、二氧化碳地下封存等亟待解决的重大工程技术问题,具有重要的试验与理论指导作用。

中科院地质与地球物理所赫建明副研究员介绍,基于该试验系统获得的岩石损伤破裂规律,项目组还研发了页岩气开采压裂渗流产能预测软件,有力支撑了中科院战略性科技先导页岩气专项与国家油气重大专项的实施,并对我国页岩气开发压裂设计提供了技术支撑。

“山体滑坡看来是突然发生的,其实也有自

己的演化过程,裂缝渐进发展到一定程度完全贯通就会造成滑坡。假如我们了解裂缝的演化过程,就可以进行及时预测、预报、干预,并根据裂缝的发展程度和规律及时采取相应措施。”李晓强调,裂缝的发展过程就是岩石的破裂过程,科学家洞悉这一过程后,可及时对灾害进行早期识别、中途干预;利用该研制设备进行滑坡物理模拟试验,可揭示滑带的渐进破裂过程及关键物理量的变化规律。

“利用该试验平台,我们正在开展试验研究工作。比如,在干热岩地热能开发方面,该试验系统可模拟热储层中压裂裂缝的形成发展、剪切错动与空间构型,用于中深层地热能资源开采设计;借助该试验系统,可研究不同温度压力条件下储层围岩裂隙扩展渗流的多场耦合机制与过程,为高放射性核废料地下处置库设计提供试验依据。”中科院页岩气与地质工程重点实验室副主任李守定研究员说,利用该试验系统的低温装置,还可进行天然气水合物钻采的模拟试验研究等。

走近自然

石化森林: 讲述自然界地质变迁

新华社记者 刘咏秋

从位于莱斯沃斯岛东北角的米蒂利尼市,驱车到西北角的莱斯沃斯石化森林地质公园约需两个多小时,几乎横穿整个岛屿。日前,记者在希腊专家陪同下参观了这座见证了2000万年前爱琴海盆地地质历史的公园。

莱斯沃斯岛面积1630平方公里,为希腊第三大岛屿。由于周围地壳板块结构复杂,火山、地震频仍,在2000万年前的地球演化阶段形成了独特的石化森林景观,为人类提供了大量有关远古植物群组成、特征以及气候条件的信息。

“不单是我们标注出来的几处地质公园,整个莱斯沃斯岛都是世界地质公园。”陪同我们参观的地质公园园长尼科斯·祖罗斯指出。地质公园内站立着、倒伏着、交错着的石化树木讲述着莱斯沃斯岛有史以来的地质变迁。

用年轮和地质结构当作语言

石化树木是化石的一种,在地质演化过程中树木的有机物质已被硅酸盐等矿物取代,但木头原本的结构被保留,直达微观的程度。

在“镇园之宝”之一、世界上最高的站立石化树前,祖罗斯介绍说,这是一棵红杉树干,地面高度为7.02米。这棵形似比萨斜塔的树还有一部分埋藏在地下,由于担心挖掘可能导致树干倒塌并毁损,所以公园决定让其保持原样。

这棵双臂不能合围的红杉表明,几百万年前,这片山坡曾被成片的红杉树覆盖,而现在,极目所见,只有低矮的灌木丛。

位于地质公园内的莱斯沃斯石化森林自然历史博物馆宛如一座讲述地球变迁的学校,从生长于海拔低处的棕榈,到生长于海拔高处的松柏,各种各样的树木化石用年轮和不同时期的地质结构语言,讲述着自然界上百万、千万年的变迁。

在一块不同面有着橡树叶和肉桂叶的化石展品前,副园长伊利亚斯·瓦利亚科斯介绍说,这块发现于莱斯沃斯岛的化石显现了古代橡树叶与当代橡树叶的区别,它还表明莱斯沃斯岛上曾生长过肉桂树,并与橡树共生,如今则已绝迹。

宝贵的化石保育技术来到中国

莱斯沃斯地质公园正值20年一次的维修。“石化树木都在户外,阳光和雨水都会对它们造成不可逆的损坏。所以每隔20年,我们要在旅游淡季闭园半年,对这些石化树进行保育。”祖罗斯介绍,保育措施包括对化石本身进行防水、固化等一系列措施,还需要对化石周边环境做清理,包括修建围墙、开出微型引水渠等。

莱斯沃斯地质公园历史悠久,祖罗斯和他的同事已积累了一整套宝贵的经验和化石保育技术。今年10月,他们与中国地质大学(北京)的专家团队合作,成功运用这套技术对于位于北京延庆世界地质公园内的180多个恐龙足迹化石展开保护修复。

莱斯沃斯地质公园内的博物馆陈列着来自世界各地的木化石,其中就包括延庆一个硅化木展品。瓦利亚科斯说,延庆世界地质公园的独特之处在于,它既有同一时期的动物化石,又有植物化石,就他的知识范围而言,这几乎是独一无二的,极具科研价值。瓦利亚科斯说,这从一个侧面证明了中国地质公园开展化石保育的意义,这将“对地球生物活动印记保护作出重大贡献”。

趣图

好奇宝宝上线 可爱金狮狒想当摄影师

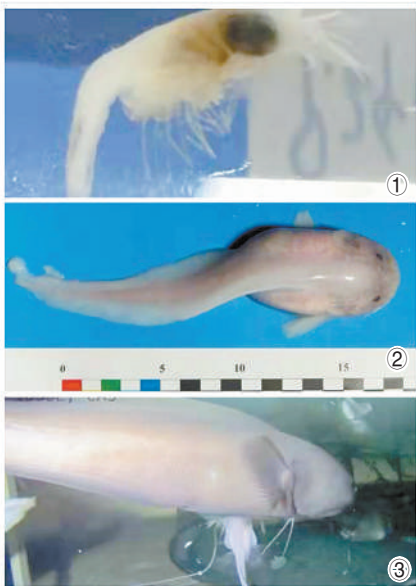


据新浪科技报道,一位53岁摄影师迈尔斯·赫伯特在动物园游玩时偶遇了一只金狮狒,这个可爱的小家伙看到了他的相机后立马好奇宝宝上线,围着相机好奇打探。它一会跳到长焦镜头上看看取景器,一会趴在取景器后俨然一副摄影大师的模样,一会又把脑袋钻进镜头遮光罩,好奇不已的样子十分逗趣可爱。

“探索一号”从马里亚纳海沟带回了什么

第二看台

本报记者 李艳



图① 糠虾
图② 狮子鱼
图③ 索深颚鳞属鱼 受访者供图

最近几天,在位于三亚的中科院深海科学与工程研究所内,工作人员们忙碌、紧张又带着兴奋,迎接他们在海上漂泊近两月的同事们回家。这支在马里亚纳海沟海域执行任务的海斗深潜科考队,乘坐“探索一号”科考船返回海南三亚。

8月24日从三亚出发的59人科考队,从深海装备与技术、地球物理、海洋地质与地球化学、海洋生物学及物理海洋等多个学科方向,在马里亚纳海沟共完成了87个站点和504公里深潜探测作业。

“大家在科考过程中互相合作、全心投入,都展现出了极强的业务能力,整个过程留下了许多开心的记忆。”本次首席科学家包更生接受科技日报记者采访时说。

诱捕到丰富的生物样品

中科院深海科学与工程研究所所长丁抗对此科考给予极高评价,他总结说,这支科考队伍采用不同装备交叉作业方式,通过连续作业,在不同领域取得了丰硕的科考成果,将开启中国海洋“无人科考”新时代。

他提到的丰硕成果用数据看起来更为清晰。此次科考的许多发现创下了国际纪录——在国际上首次诱捕获得全程低温保存的7000米级3条狮子鱼样品和9000米级2只糠虾样品;国际上首次在7012米水深发现索深颚鳞属鱼类,这是已知的该属存活的最大深度;国际上首次在同一潜次实现

全海深垂直分层水体微生物原位富集与固定取样,最大深度10890米。

这些样品为科研人员提供了丰富的素材,为我国科技界进一步了解海底世界提供了更多可能,而这正是深潜科考的魅力所在。“此次我们执行的多项科考任务为国内首次,取得了多项重要科考成果。”包更生说,“此次科考诱捕到的生物样品特别丰富,有好几项都是国际上的首次发现,装备方面的海试和应用成功也给了我们信心,证明了我们在深海深潜领域的科考实力。”

根据包更生的回忆,其中一些样品的获取过程还颇为惊心动魄。比如狮子鱼样品的获得,科研人员经历了发现样本十分欣喜、努力抓取却又失败、最后又惊喜发现还有“漏网之鱼”,如此曲折的过程给他们留下了深刻的印象。

国产深海装备抓取沉积岩芯

科考成果的获得来源于科研人员的辛苦付出,但也不离开深海装备和技术的支撑。必须看到的是,未来我们要对全海深开展进一步探索,深海装备的支撑是必不可少的条件。令人欣喜的是,此次在马里亚纳海沟,我国自主研发的深海设备表现出色。

这次科考在国内首次获取10898米覆水未扰动的沉积岩芯;国内首次获取位于帕里西维拉海盆东部海山链和马里亚纳弧后张裂区的岩石样品;国内首次获取了马里亚纳海沟与雅浦海沟之间关键通

道的断面水文数据和水体样品。这些样品和数据的获得都与设备的先进稳定密切相关。

根据科研人员总结的数据,在此次科考过程中,两台海翼7000米级深海滑翔机分别连续工作46天,最大下潜深度达7076米,是世界上唯一一款能长时间连续稳定工作的深渊级滑翔机。中国科学院沈阳自动化研究所副研究员金文明介绍道:“这款滑翔机能按照我们设计的角度和路线长时间工作,它体型小、不带螺旋桨、靠自身浮力进行驱动,节约能耗,即便是科考遇到台风仍能持续长时间工作。”

深海科考中,样品的抓取并不容易,此次获取的样品丰富离不开分体式电视抓斗的功劳。“我们这款分体式电视抓斗的特殊之处在于,它搭载了高清摄像机、高清相机,并集成了机械、电气、液压、通信等深海关键技术。”

中科院深海所深海工程技术部高级工程师陈铭介绍,与传统的整体式电视抓斗不同,分体式电视抓斗不仅用光电复合缆缆与母船连接,并通过母船上的监视器来判断海底岩石样品的科学价值,而且由母船高压供电,可以连续长时间在海底取作业,同时还避免了船舶摇摆对抓取样品作业产生的影响。

包更生说,在近两个月的科考试验过程中,科考队曾遭遇“山竹”与“康妮”等超强台风的干扰,经历了多次装备故障的困难,但最终还是胜利完成了科考任务。

扫一扫
欢迎关注
共享科学之美
微信公众号

