

这个擅长搞“地下工作”的实验室

常年与灾害较量

煤矿灾害动力学与控制
国家重点实验室



□本报记者 张亦筑

人们常说似水柔情，赋予水以温柔的形象，但在重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室内，水却变成异常锋利的“刀”，能切开岩石、钢板、航空材料，削铁如泥。

在这里，有一群搞“地下工作”的科研人员，常年与灾害打交道，有时候甚至会“掘地三尺”一探究竟，只为把灾害扼杀在摇篮里，为我国煤炭和非常规天然气安全、高效、绿色开采提供理论与技术支持。

这究竟是怎样一个实验室？4月28日，重庆日报记者走进重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室进行了探访。

高压水射流精加工

一只精美的蝴蝶，竟然是用水切割出来的

位于重庆大学A区的煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室，在一栋上世纪七八十年代风格的老建筑内，从一楼大厅往左，记者第一个走进的是高压水射流精加工实验室。

这个实验室的“主角”，是一台高压水射流切割机。在它旁边的工作台上，还摆放着各种造型的金属件，一只精美的蝴蝶格外吸引眼球。

不可思议的是，这样一只蝴蝶，竟然是用水切割出来的。

“高压水射流切割又称作‘水刀’，是以水为介质，通过高压发生设备增压获得巨大能量，经过一定形状的喷嘴喷出的高速水流。”实验室工程师龙海洋说，人们常说水滴石穿，水滴力量很小，实现石穿是靠长时间的积累。但如何在有限的时间实现石穿？这就需要增大水的能量。高压水射流技术正是运用这样的原理，来实现以柔克刚、削铁如泥。

他介绍，根据压力不同，“水刀”可分为高压型和低压型，记者见到的这台高压水射流切割机，压力能达到200MPa（兆帕）以上。

这样的压力到底有多大？1MPa（兆帕）的压力相当于10公斤的力量作用在指甲盖大小的物体上。”他解释道。

如何通过增压给水增加能量？他表示，这好比平时打针用的注射器，经过反复推拉，让药物在注入人体时的力量增大。水刀则是利用柱塞泵来达到类似的效果。

让“水刀”足够锋利，短时间内达到“水滴石穿”，乃至穿透钢板，除了增大压力，“刀头”还至关重要。通过龙海洋拆开“刀头”展示，记者看到，“刀头”的正中，有个极小的孔，即是所谓的“喷嘴”。

“这个宝石喷嘴的直径只有0.35毫米，孔径小但作用大。”他说，好的“刀头”会形成一束收敛的高压水，作用力更大；反之，不好的“刀头”会让高压水发散开来，导致“水刀”的锋利度被削减。

在他的操作下，“水刀”运行起来。一束收敛的高压水从喷嘴急速喷射而出，从上往下垂直击打在水面上，立马激起巨大的水花。

龙海洋介绍，目前，高压水射流技术正越来越广泛地应用于煤炭、石油、新材料等领域。比如在煤炭领域，利用“水刀”人为造缝等，极大提高了煤层气开采效率，减轻了煤矿瓦斯灾害发生的风险。

深部岩土工程多功能物理模拟试验系统

把真实试验场的地层环境“搬”到实验室

一楼另一间实验室里，拥有这个国家重点实

验室“身价”最高的科研仪器设备——深部岩土工程多功能物理模拟试验系统。记者刚走进实验室，这个“庞然大物”就立马出现在眼前。

“这是我们自主研发的设备，价值约2000万元，也是目前世界上最大的深部岩土工程多功能物理模拟试验系统。”重庆大学周军平教授说。

该系统最核心的部分，是一个巨大的圆筒状装置，大约两三人高。特别之处还在于，它其实是外圆内方的结构，内部是1.2米×1.2米×2.06米的方形空间。

“之所以这样设计，是它能更真实地反映地层环境，就相当于把真实试验场的地层环境‘搬’到实验室再现还原出来。在试验场不易观测采集的参数，在实验室就更容易办到。”周军平介绍。

然而，这样设计也让设备的研制难度增大很多，其中气体的密封性就是最大的难点，设备必须保证严丝合缝，任何地方都不能漏气。从2011年立项到2016年完成验收，经过方案设计、建造组装到反复调试，该系统的研制足足花了5年时间。

我国资源开采正在向地球深处进军，但越往深部，地层环境就会越复杂。有了这套试验系统，就可以更好地在实验室还原深部地层资源开采环境，从而更有效的开展研究。

自主研发世界首台超临界CO₂致裂驱替CH₄实验装置

用二氧化碳代替水进行页岩气开采

在一楼一间不起眼的实验室，记者见到了实验室自主研发的世界首台超临界CO₂（二氧化碳）致裂驱替CH₄（甲烷）实验装置。

“这个装置不仅节约水资源，在提高页岩气采收率的同时，还能实现二氧化碳的地下封存。”实验室主任卢义玉介绍，我国页岩气产区大多处于重点缺水地区，而开采主要采取水力压裂技术，耗水量巨大。另外，我国页岩气储层黏土含量高，黏土遇水产生水化膨胀，易伤害储层，导致储层改造效果差，页岩气采收率低。

针对这一问题，他带领团队联合国内相关单位在国际上提出“超临界二氧化碳强化非常规天然气高效开发与地质封存一体化”的学术构想，研发出超临界CO₂致裂驱替CH₄的实验装置。

“简单地说，就是将燃煤电厂等工业源中排放的二氧化碳捕捉起来，变换一种形态成为超临界二氧化碳，然后取代水对页岩气储层进行压裂改造，从而实现页岩气开采。”他解释。

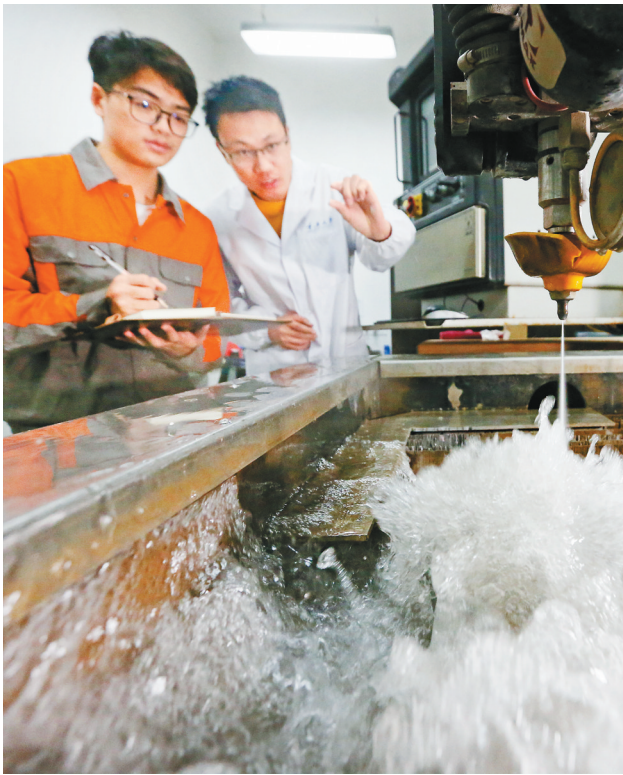
相比页岩气而言，页岩对二氧化碳吸附能力更强，即页岩对二氧化碳的“亲和力”更好，用超临界二氧化碳取代水后，页岩就能牢牢吸附更多二氧化碳，并让二氧化碳“挤占”页岩气的储存空间，“置换”出页岩气。这样既提高了页岩气的采收率，又把二氧化碳封存在了地下。

2017年，相关技术成果在延长石油延安国家级陆相页岩气示范区进行了首次超临界二氧化碳压裂现场试验，页岩气增产效果显著，单井日均产量提高了2.5倍，同时实现了二氧化碳的有效封存。

“我们研究发现，在特定的条件下，页岩层封存的二氧化碳的量，可以抵消甚至高于页岩气开采和利用全过程产生二氧化碳的量，相当于负排放。”卢义玉表示，未来，其对于我国实现碳中和将起到积极推动作用。

▲4月28日，重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室，教授周军平正对目前全球最大的深部岩土工程多功能物理模拟试验系统进行实验启动前的检查准备工作，它可服务于国家深地能源开发的重大需求，探索前沿科学问题。

特约摄影 钟志兵/视觉重庆



▲4月28日，重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室，技术人员龙海洋（右）正与学生一起进行高压水刀实验，采集不同压力下的科学数据。

特约摄影 钟志兵/视觉重庆



▲4月28日，重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室，技术人员龙海洋展示用高压“水刀”制作完成的精美的金属蝴蝶。

特约摄影 钟志兵/视觉重庆

实验室名片

煤矿灾害动力学与控制
国家重点实验室

历史基因

2011年获科技部批准建设，总面积约12000平方米，拥有大型仪器设备88台套，自主研发24台套，建成了最先进完备的煤矿灾害研究实验平台，达到国际领先水平。

研究方向

主要从事煤矿灾害动力学、煤矿动力灾害智能预警与控制、煤矿环境灾害控制与生态动力学、煤系气安全绿色开发四个方向的研究。

光荣业绩

在中国工程院院士鲜学福、李晓红的带领下，在煤与瓦斯突出机理及其控制理论与方法等方面建立了独特的理论体系，为我国煤炭、非常规天然气安全、高效、绿色开采提供理论与技术支持。

人才队伍

汇聚了煤矿灾害领域国内外高层次人才，形成了150余人的研究队伍。近5年来，实验室承担各类科研项目549项，获国家科技进步奖一等奖1项、二等奖4项，省部级奖一等奖9项、行业奖一等奖5项，出版专著15部，授权专利229项，在国内外期刊上发表学术论文1283篇。

【高端对话】

煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室主任卢义玉：

为绿色低碳能源发展提供支撑 助力碳达峰碳中和目标实现

□本报记者 张亦筑

煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室形成了具有自身特色的研究方向，围绕我国碳中和、碳达峰目标的实现，未来将如何推动能源变革？4月28日，重庆日报记者对煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室主任卢义玉进行了专访。

重庆日报：煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室为何会建在重庆大学？

卢义玉：重庆大学矿业学科具有悠久的历史 and 深厚的底蕴，1935年就成立了矿冶系。在中国工程院院士鲜学福的带领下，1978年成立了矿山工程物理研究所；2000年“西南资源开发及环境灾害控制工程”成为教育部重点实验室，2007年采矿工程学科被评为国家重点学科。通过发展，我们形成了具有自身特色和影响力的研究方向，在矿业工程基础理论和学科前沿研究中取得了创新性成果，成为我国煤矿灾害动力学与控制领域高层次人才培养及应用基础研究的重要基地。因而国家重点实验室落户重庆大学就水到渠成。

重庆日报：实验室建设过程中遇到过什么困难？又是如何克服的？

卢义玉：实验室建设过程中最大的困难还是高层次人才引进与培养。人才是实验室发展的第一资源，实验室要做好科研梯队建设，就要保持年龄、学缘、学历等结构合理化配置。由于实验室地处西部，对创新人才吸纳不足，对外引进人才存在一定的困难。近年来，实验室在各方大力支持下，通过多种渠道外引内培，在国家级高层次人才、青年人才的队伍建设上取得了长足的进步与发展，有力支撑了实验室未来的发展。

重庆日报：近期碳达峰、碳中和成为全球关注的热点，实验室将从哪些方面助力我国实现碳达峰、碳中和的目标？

卢义玉：首先对于煤炭资源，实验室将重点聚集在煤炭资源原位转化与低碳利用，同时开展煤系地层CCUS（二氧化碳捕集、利用与封存技术）理论及技术的研究与探索，开发CO₂负排放技术。其次，基于实验室已有的理论基础与技术储备，开展非常规天然气、地热等低碳或者非碳基能源开采理论及技术的研究，为我国绿色低碳能源的发展提供强有力的支撑。另外，也将开展废弃矿井资源开发利用方面的研究，推动废弃矿井储能及多能互补开发利用，支撑“能源革命”，助力实现碳达峰、碳中和目标。

【故事】

92岁高龄院士每天7点半出现在实验室

□本报记者 张亦筑

走进煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室一楼大厅，“团结勤奋 求实创新”八个红色大字，立马吸引了记者的注意。大字下面，还有题字人“鲜学福”的名字。

“这是鲜学福院士题的字，也是我们的座右铭。”实验室副主任姜永东说。

时至今日，92岁高龄的中国工程院院士、我国著名矿山安全技术专家、煤层气基础研究的开拓者鲜学福，仍然会在每天7点半出现在实验室，在办公室看书学习，关注国家大事和学科前沿动态，毫无保留地给学生后辈进行学术指导，甚至是修改论文。

姜永东讲了这样一个故事：2018年3月的一天，鲜院士的博士生殷宏来到他的办公室，把6万余字、120多页的论文交到导师手里。

让殷宏意外的是，十天后，除了把修改后的论文返还给殷宏，鲜院士还手写了 two 页纸的修改意见。论文的每一页，都布满了用铅笔写下的修改批注，有的地方甚至还有橡皮擦反复擦拭的痕迹，显然，这是鲜院士反复斟酌留下的。

看着密密麻麻的批注，想象老师伏案修改论文的样子，殷宏既心疼又感动。

“鲜院士是实验室的‘定海神针’。在他的模范带头作用下，实验室的年轻人也都撸起袖子加油干。”姜永东说。