

陈结:绿色采盐技术让盐穴变“宝盆”

本报记者 沈静



在沾满咸味的史页上,盐裹挟着电闪雷鸣,演绎着多少朝代的兴衰成败。这当中井矿盐有着自己的一番风味,2000年前,李冰为蜀守时采用钻井汲卤煎盐方法开采了如今四川省双流、成都一带的卤水矿,这种钻井技术约在12世纪前传到西方各国,为世界文明做出了突出的贡献。

而在今天,科研人员们对井矿盐的利用又有了新的发现。重庆大学资源与安全学院副院长陈结教授的研究成果优化了只采盐不用腔的传统单一采矿思路,通过创新采卤造腔理论与方法,充分利用盐穴独有的物理稳定性和低渗特性,实现盐穴综合利用变废为宝,开展多用途的地下储存应用,同时可消除废弃矿井造成的地质灾害隐患。其研究成果推进了盐矿企业绿色矿山建设及我国大规模地下能源储库建设进程,产生了显著的经济效益和社会效益。

结缘盐岩 科研之美引人入胜

陈结说:“没有想到有一天我要和盐打交道,并建立如此深厚的感情”。

2004年,陈结离开家乡考入重庆大学攻读工程力学专业。最初,他想成为一名优秀的建筑工程师,为祖国的基建工程添砖加瓦,然而这一计划却在2007年发生了改变,起因就是与姜德义教授的一次科研方向咨询交流,为陈结打开了通往盐岩领域的大门。陈结到处搜集和盐岩有关的书籍和资料,并积极请教研究这一方向的老师,慢慢和盐岩结下不解之缘。

2008年,在了解到国家对盐穴综合利用的巨大需求后,陈结毅然转向对中国盐穴的综合利用进行研究,先后师从姜德义教授和杨春和院士,开启了全身心的科研投入。回忆起刚投身采矿领域时,陈结表示,“开始的那段时间非常的辛苦。”我国盐矿分布比较广泛,不同地区盐岩的力学性质可能存在着较大的差异性,而获得深部盐岩样品成本非常高,加工难度也很大。因此,需要充分利用好每块来之不易的样品,开展细致的研究分析。经过多年不懈努力,当研究成果一点点被企业采用,新的学术观点和思路也被行业逐渐认可时,陈结感慨道科研就像制盐,需要长时间的熬煮和提纯结晶。

创新为魂 勇攀科学高峰

如何利用好矿产资源开采后留下的巨大空间,是十分重要且急需解决的问题,这将是未来矿业领域的一场技术革命。陈结说:“如果处理得好,不仅可以避免地面沉降、塌陷等造成的生态破坏,还可以将巨大的地下空间利用起来,用于储存石油、天然气等资源。”这里面仍将面临许多科学问题及技术难题等待陈结去探索。

在盐岩地下溶腔利用方面,美国和欧洲国家开展的工作较早,目前已经在石油天然气储备、压气蓄能电站建设、废弃物处置、氢气储存等方面进行了成



人物介绍

陈结,重庆大学资源与安全学院副院长,教授、博士生导师,国家优秀青年基金获得者,重庆市青年科技领军人才协会会员,重庆市青年拔尖人才,获重庆市“最美科技工作者”。在《Applied Energy》《Energy》《Acta Geotechnica》《煤炭学报》和《岩石力学与工程学报》等国内外期刊发表论文100余篇,其中一作/通信SCI/EI论文45篇(含JCR一区论文19篇,3篇ESI高被引论文,1篇代表作入选ESI热点论文),论文曾获国际埃尼奖(Eni-Award)提名、Renewable Energy global innovations(国际能源创新组织)亮点论文奖、重庆市科协首届自然科学优秀科技论文奖。获授权发明专利32项,出版专著2部,获软件著作权5项,研究成果获得省部级一等奖3项、协会一等奖2项。

功的应用。石油储备方面,美国战略石油储备全部储存在地下盐腔中,德国、法国、俄罗斯、加拿大等国也均在盐岩中建石油储库。天然气储存方面,当前全世界地下盐穴储气库超过110座(总工作气量超过320亿立方米),其中欧洲60座,北美47座,中国3座,约占全球储气库数量的17%。

然而,我国在地下溶腔利用方面也存在明显的挑战。与国外的盐丘型构造不同,我国的盐岩多为湖相沉积的层状构造,具有盐层薄、夹层多、杂质高等特点。一方面,夹层和杂质的存在严重影响围岩的力学性质和孔渗特性,对储库的安全性构成威胁;另一方面,由于夹层大多不易溶解,在储库运营期间可能会发生夹层垮塌,造成套管碰弯等事故,导致油气泄漏,甚至引发人员伤亡。为了解决我国层状盐岩中造腔及腔体

腔体容积,实现多夹层盐岩中造腔时的腔体形态控制。水平连通井组造腔技术则用来解决单井造腔技术在我国薄盐层中所造腔体体积小、成腔难的问题。我国盐层厚度小于100米的区域占盐矿总资源的50%以上,单井水溶造腔技术造腔速度慢、对盐层厚度要求高,在薄盐层中适应性有限。水平连通井组造腔技术则基于两井之间连通的水平井,通过控制注水方向、流量、油垫、两口距等关键参数对腔体形态进行控制,最终建造出一个水平方向的巷道式腔体,该技术可以克服单井造腔技术的缺点,在薄盐层中建造出一个形态好、库容大的腔体。总体而言,通过在建腔前期对目标盐层的厚度、组分、夹层含量、分布等情况的调研分析,选用不同的造腔技术,可以有效解决我国层状盐岩中造腔及腔体形态控制方面的难题。

假时间,陈结会带着学生们去爬山、跑跑步或者去周边的博物馆学习参观,一则是为了更好地了解每个学生,二则还可以强身健体。在其协助指导的学生中,5人获得了博士国家奖学金,7人获得硕士国家奖学金,指导本科生参加2018年全国高等学校采矿工程专业学生实践作品大赛,并获得一等奖。

重庆大学资源与安全学院历史悠久,以鲜学福院士为代表的老一辈科学家为了国家能源安全拼搏奋斗的科研精神在学院得到传承。对于学生,陈结更注重在家国情怀、责任担当、逻辑思维、表达能力、团队合作能力和创新能力方面培养。这些能力在团队看来是未来人才必须具备的。无论学生将来是否选择科研工作,陈结相信这些能力能够更好地帮助他们进入社会。对未来想从事科学研究的同学,陈结希



▲陈结(右)和研究生一起开展盐岩水溶造腔模拟实验。

▲陈结给学生讲解实验技巧。

▲总结实验成果的陈结。图片由受访者提供

立德树人 用好思政之“盐”

立德树人,是教育的根本任务。作为一名老师,陈结认为最重要的工作还是培养学生,“对于每个学生,团队有不同的培养方式。”陈结介绍,当学生进入团队时,会根据现有的课题和学生的兴趣确定研究方向,制订研究计划。每周会召开一到两次组会,和学生们讨论科研的进展,对于内向或者进度较慢的同学,团队的老师会一对一地单独沟通,以便于更好地了解 and 帮助他们。在闲

望他们能坚持初心,脚踏实地,仰望星空;同时更希望他们具备解决交叉科学问题的能力,因为未来学科的发展交叉点肯定会越来越多。比如现在陈结依托单位的煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室,开辟新的研究方向“矿山动力灾害智能监测与预警”,该方向就涉及采矿、安全、通信、大数据、人工智能等学科,因此陈结希望同学们不要偏科,既要有深度也要有广度。

正是因为这种严于律己、传承优秀科研精神,近日,陈结获得了重庆市2021年度“最美科技工作者”荣誉称号。