

向地球深处进军

——探秘深地工程领域全球最大的地下实验室

从地表到地下1万米,石油、天然气、煤炭和许多未知的矿产资源分布其中。近年来,随着浅层传统化石能源开采越来越困难,地热、页岩气、页岩油等新兴能源展现出巨大的潜力。深地有哪些资源可以利用?如何在利用深地资源时避免不可预知的灾害?

在江苏徐州市区卧牛山地下100多米处,有一座深地工程领域全球最大的地下实验室——深地科学与工程云龙湖实验室(以下简称“云龙湖实验室”)。近日,记者在云龙湖实验室看到,四通八达的主通道两侧,是大小不一的硐室。这些硐室便是一个个科研平台,进进出出的工作人员正努力“唤醒”这片“沉睡”的地下空间。



深地科学与工程云龙湖实验基地门口。

你追我赶的深地科学计划

我国是世界人口大国,也是能源、矿产资源消耗大国。一方面,我国可耕地总量严重不足;另一方面,随着我国浅部资源开发殆尽,不得不在严苛条件下开发深地资源,以缓解油、气、铜、铁等战略性矿产资源严重依赖进口的窘境。

为此,向地球深部进军是我们必须解决的战略问题。为向地球深部要资源、要空间、要安全,2021年,徐州市依托中国矿业大学等单位,将卧牛山人防工程改造为云龙湖实验室。

过去,世界各国已建成的地下实验室大多聚焦暗物质搜寻、地球科学及放射性废物封存等。例如,2010年成立的中国锦屏地下实验室主要以开展暗物质基础研究为主。

近年来,世界上很多发达国家启动深地科学计划,成立相关地下实验室,开始把研究重点放在深地新兴能源的高效开发利用、深地空间能源物质储存和深地空间碳废安全封储上。

云龙湖实验室主任、中国矿业大学教授李晓昭介绍,云龙湖实验室采用“一中心一站N基地”的总体布局。除主基地以外,实验室还建有野外观测站和其他原位试验场等多个分基地。科研人员将在此开展深地基础研究、跨学科交叉融合研究及协同攻关,旨在形成原创性、颠覆性技术,为深地能源开采、深地空间开发利用等带来重大突破。

照搬国外技术肯定不行

我国有2/3的页岩可采资源储量



云龙湖实验室深地空间环控及生物转化平台。



云龙湖实验室内部。

在埋深大于3500米的地层中,大部分页岩油气地层的沉积环境都是陆相沉积。而美国的页岩油气主要来自海相沉积,分布面积大、稳定性好、岩相类型比较单一,非常利于开采。地壳被不断挤压抬升,会使地质构造产生大量的断层。如果把产页岩油气地层看作是一个盘子,美国的地层是一个完整的盘子,而我国的地层是一个掉在地上摔碎了、又被踩了几脚的盘子。

目前,我国油气资源的开采深度接近万米,直接照搬国外技术肯定不行。这样的深度下,怎样将石油、天然气安全抽取出来,同时又不会诱发地质灾害?

“条件不同、情况不同,就得‘对症下药’,我国的页岩油气开发还有很长的路要走。”李晓昭说。

同时,如何科学利用采空的地下矿井成为新的课题。目前,世界各国都在研究将废弃的矿井用来储存石油、天然气、二氧化碳以及核废料等。

“存放核废料的深坑经过缜密选址,地下岩石属于低渗结构,要求一万年仅仅有厘米级渗流。但现实中,谁也无法进行那么长时间的观测实验,因此低渗岩体渗流演化成为一个‘黑箱子’。”中国矿业大学教授刘江峰说,实验室自主研发的软件和装备,在全球首次实现

利用数字技术精确计算水、气在低渗岩体一万年的渗流演化情况,就连美欧发达国家也必须从实验室购买授权。

这套软件和装备还可用于评价我国南海可燃冰流动性等。“可燃冰位于海底3000至4000米,想要顺利开采必须进行流动性评价,但在数千米海底很难进行准确探测。”刘江峰说,利用这套软件和装备,只需采集一些岩芯,就能精确计算出这些深埋地下的能源物质是如何流动的。

此外,云龙湖实验室正在攻克极复杂构造区川藏铁路等重大深地工程致灾构造精细探测技术与装备,并围绕深地空间能源资源封储开展大量工作,在智能导钻和随钻测井方面已取得阶段性突破。

科研平台或是未来地下城市

电影《流浪地球》中的地下城令人印象深刻。未来,我们是否会像电影描绘的那样,长期在地下工作生活?

现实中,随着土地资源日趋紧张,开发利用地下空间,建造地下交通、商业、文娱、仓储、调蓄水等设施,改善地表生态环境,已成为重要发展趋势。

目前,城市地下空间开发深度普遍在50米以内;50米至200米深层地下

空间的开发利用,已成为一项重大课题。

云龙湖实验室的一期工程已建成深地装备、数字深地、深地开发和深地环生等4个综合科研平台。它们与深地空间高效利用密切相关,科研人员每天都在这里探索研究基础理论、解决工程难题。

记者乘着摆渡车来到实验室主控中心。这里如同一个高大宽敞的剧场,虽然身处地下,但空气清新、温度适宜。

工作人员介绍说,实验室充分利用了地热能,通过抽取矿井中的冷热能,对实验室的环境进行调控。

云龙湖实验室主控中心的服务器也与其他算力中心不同。这里充分利用了地下的免费能源结合液冷技术,大幅降低了系统能耗。“我们把地下的冷能收集起来给算力设备降温,服务器散发的热量还可以在矿井中跨季节存储,满足清洁供暖的需求。”李晓昭说,随着AI技术的快速发展,算力中心的耗能越来越大,这些试验为算力中心节能减排提供了全新的思路。

出了主控中心左转几十米就是深地空间环控及生物转化平台。南京大学的科研团队正在这里模拟地下生态循环系统,比如将厨余垃圾直接转化成畜牧业的饲料和农业的肥料,转化率可达95%。未来可以把生活垃圾直接用管道传送到地下处理,不再占用地面空间,也不会带来污染。

对于在地下作业的矿工等群体,如何保障其身心健康?云龙湖实验室项目管理部副部长凌云志指着环境舱里一具“暖体出汗假人”向记者介绍,假人模拟了人体散热、出汗、呼吸、运动等生理特征,能够测试在高温、高湿的地下环境中,人体各项生理参数的变化。“对于需要长期在地下作业或者生活的人而言,这些数据能够为研发更加舒适安全的智能穿戴装备提供参考。”凌云志说。

在深地空间部署超算中心、工业生产设施,便利使用地下能源,同时高效散热;工业和生活废弃物通过管道直接送入深地空间,高效转化再利用或安全储存……李晓昭告诉记者,随着深地科学与工程不断进步,实验室正在研究的场景都有望在未来成为现实。

据科技日报