



干热岩资源调查与勘查试采示范工程简介

为支撑服务国家清洁能源开发利用，推进深部热能（干热岩）开发利用产业化，中国地质调查局组织实施了“干热岩资源调查与勘查试采示范工程”。工程第一阶段（2019—2021年）以实现干热岩试验性发电为目标，在干热岩成因机制、探测、钻探、储层建造、监测、循环连通等方面取得系列进展，成功实现干热岩试验性发电。主要进展如下：

一、夯实了解决资源环境和基础地质问题的基础

研究提出共和盆地干热岩成因机制。研究提出共和盆地新构造运动主控热源、传导和断裂对流热传输方式并存、盖层保温的干热岩成因与热聚敛模式。半定量构建盆地250 Ma以来构造热演化史，揭示盆地新生代以来2期明显构造隆升过程。拟合计算刻画5 km以浅温度场，建立全盆地地地质结构模型，圈定6处干热岩勘查开发目标靶区。

二、促进了科学理论创新和技术方法进步

探索形成不同尺度干热岩地球物理综合探测技术。采用重、磁、电、震相结合的地球物理探测技术圈定岩体区域分布。采用密集台阵背景噪声成像、大地电磁、二维地震等技术，探测50 km深异常体分布，刻画5 km深热储形态。场地尺度上采用三维地震、微震、井地电磁、井地VSP等技术，实现储层裂缝簇米级探测精度。

攻关形成高温硬岩高效组合钻进工艺。试验应用空气潜孔锤、高能液动冲击器等钻进技术，形成“顶驱+井下动力+高温导向+高速钻头”高效组合钻进工艺，平均钻速提高3倍以上，175℃以上高温硬岩连续定向超700 m，完成4000 m深直井1眼、定向井2眼。

探索形成规模化复杂缝网储层建造技术。研究形成测试压裂—中试压裂—规模化压裂三阶段施工流程。围绕地层应力高、岩体坚硬、应力释放敏感等问题，探索形成小排量、长周期、多液性、缓起泵、软停泵储层建造工艺，实现规模化复杂缝网储层建造超千万立方米。

创新形成储层建造综合监测技术。研究建立深井—浅井—地表联合微震监测技术，实现对储层建造-1级以上微震事件实时监测定位。采用时频电磁法监测储层压裂液扩展，识别相对振幅电位差异2%以上区域，获取压裂液扩展范围。

探索建立储层表征与产能评价技术。探索建立基于规

模、裂缝、渗流等参数的储层表征指标。研究建立压力、流量等与产能定量关系式，提出储层产能评价新方法。

创新形成多井高效循环注采技术。针对裂缝难开启、注入压力高、井间易干扰等特点，创新提出定量分段化学改造降压、循环改造增强连通、射孔增渗的高效循环注采技术，使产出流量提高3倍以上，实现多井高效循环注采。

探索研制干热岩高效发电设备系统。研制双级串联ORC发电机组，适应工况20%~110%，发电系统国产化率95%，研发闭式控压采热系统，实现复杂工况下稳定高效热电转换。

研发改进耐高温材料和关键仪器设备。研发耐240℃环保钻井液、耐200℃暂堵剂和交联液等3种关键材料。研发改进耐高温涡轮钻具、高能液动冲击器、定向取心钻具、空气潜孔锤、耐高温封隔器、耐高温MWD、近钻头参数仪、钻井液冷却系统、高灵敏微震仪、分布式光纤测温仪等10项关键仪器设备。

探索开展非均质多场耦合模拟。构建非均质离散裂隙网络数值模型，开展流-固-热-力多场耦合数值模拟，指导干热岩勘查试采。

初步搭建干热岩勘查试采技术方法整体框架。编制干热岩地质调查评价、钻探、测井、地应力测量、储层建造、开发监测等6项技术规范，初步搭建干热岩勘查试采技术方法整体框架。

三、成功在青海共和盆地实现干热岩试验性发电并网

攻克制约干热岩勘查试采的多项理论、工程、技术难题，打通干热岩试采的探测、钻探、储层改造、监测、循环连通、发电等全流程技术环节，于2021年成功实现青海共和盆地干热岩试验性发电并网，积累大量珍贵运行参数，为后续工作奠定重要基础。

在自然资源部、青海省委省政府指导下，在青海省自然资源厅、青海省海南州委州政府等大力支持下，工程成果支撑服务和转化应用效果显著。工程引领带动能源企业持续关注和投入干热岩勘查开发，并与中国地质调查局签订合作协议。工程有效支撑服务青海打造国家清洁能源产业高地。工程研发的技术与仪器设备在多个省（区）深部热能（干热岩）、非常规能源勘查开发方面得到推广应用。

（中国地质调查局水文地质环境地质调查中心 张二勇 供稿）

封面图片：中国地质调查局地质灾害野外自动监测站（中国地质科学院地质力学研究所 杨志华 供稿）