

【简讯与热点】

# 2021 年度中国地质调查局 中国地质科学院 地质调查十大进展 地质科技十大进展

## Top ten major advances in geological survey and top ten major advances in geological science and technology by China Geological Survey and Chinese Academy of Geological Sciences in 2021

### 一、2021 年度地质调查十大进展

#### 1. 青海共和盆地干热岩勘查试采取得突破性进展

该成果由青海共和盆地干热岩勘查与试采科技攻坚战指挥部、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心牵头,中国地质科学院水文地质环境地质研究所、中国地质科学院地球深部探测中心、中国地质科学院地质力学研究所等单位参加完成。牵头完成人为文冬光、张二勇、王贵玲、叶成明、王稳石、李旭峰、金显鹏、吴海东、唐显春、张重远、翁炜、梁明星、李宽、张炜、周策等参加完成。其主要进展及创新:(1)突破循环连通采热、储层监测评价、高效发电等关键技术,完成青海共和干热岩试采井组三井连通试验。(2)建立地面换热系统和发电工程,初步建成青海共和干热岩勘查试采示范基地。(3)形成基于实时监测与动态风险评价的以控制井口压力、控制累计液量为核心的诱发地震双重控制技术,建成我国首套基于工程开发的诱发地震实时监测预报平台系统。(4)干热岩勘查试采技术科技成果转化初见成效,有力支撑青海、江苏等地国家清洁能源产业高地建设。(5)建成一支以中青年科技人员为骨干的涵盖资源调查评价、钻探、热储建造、监测、试验模拟、开发环境影响评价等的干热岩勘查开发研究团队。

#### 2. 基本建立地质调查支撑服务新时代经济社会发展和生态文明建设工作体系并完成山水林田湖草年度调查评价

该成果由中国地质环境监测院、中国自然资源航空物探遥感中心、中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心牵头,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、中国地质科学院水文地质环境地质研究所等单位参加完成。牵头完成人为李文鹏、石建省、熊盛青、杨清华、任金卫、沈运华、郑跃军、聂洪峰、范景辉、李迁、殷志强、刘晓煌、李亚松、肖春蕾等参加完成。其主要进展及创新:(1)编制完成地质调查支撑服务自然资源综合调查、水资源管理、国土空间用途管制、国土空间生态保护修复、自然资源督察和执法等 5 个总体设计,基本构建起地质调查支撑服务自然资源管理中心工作的

“四体系一机制”,擘画引领了地质调查转型发展。(2)统筹设计了调查、监测、评价、区划全流程业务工作,精准对接需求,扎实开展工作,高质量完成了全国森林资源调查、草原资源调查等工作。(3)科学厘定了地质调查支撑服务生态文明建设和自然资源管理中心工作涉及的主要科学与管理名词术语 100 余条,界定了各项工作的边界范围。(4)构建了与地质调查规划相匹配的技术标准体系,涵盖了 12 大业务领域标准 1221 项,初步形成了标准化工作体系。研制发布实施《地质调查预算标准(2021 年试用)》。

#### 3. 论证编制完成新一轮找矿突破战略行动纲要并获国务院批准实施

该成果由中国地质调查局发展研究中心、中国地质调查局油气资源调查中心牵头,中国地质调查局天津地质调查中心、中国地质调查局沈阳地质调查中心等单位参加完成。牵头完成人为王宗起、吕志成、包书景、于晓飞、李永胜、庞振山、程志中、薛建玲、陈辉、甄世民等参加完成。其主要进展及创新:(1)通过形势分析、增储上产、规划部署、综合利用、科技创新等专题研究,科学研判了矿产资源形势与需求,明确了新一轮找矿突破战略行动的指导思想。(2)厘定了找矿突破战略行动主攻矿种、总体目标及阶段目标,提出了突出紧缺战略性矿产、强化基础地质工作等 5 项基本原则。(3)明确了强化矿产基础地质工作、加强战略性矿产勘查、提高矿产资源节约与综合利用效率、加强地质找矿科技创新支撑作用等 4 项工作任务及推进措施,保障找矿目标实现。(4)以地球系统科学为指导,统筹矿产勘查与生态保护,优选基础调查区 42 片、重点调查区 328 片、重点勘查区 456 片、重要矿山 253 座,为“十四五”找矿目标实现提供重要抓手。

#### 4. 地质安全风险评价支撑国家重大工程规划和建设取得重要进展

该成果由国家重大工程地质安全风险评价指挥部、中国地质科学院地质力学研究所牵头,中国地质调查局成都地质调查中心、中国地质环境监测院、中国自然资源航空物探遥感中心、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中

国地质调查局地球物理调查中心、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、中国地质科学院探矿工艺研究所等单位共同参加完成。主要牵头完成人为殷跃平、邢树文、曹黎、李滨、郭长宝、张永双、李海兵、高杨、谭成轩、王冬兵、秦雅东、王保弟、于新兵、范正国、张翔等参加完成。其主要进展及创新:(1)完成了国家重大工程重要区段航空物探,系统获取了重大工程区地球物理重、磁、电数据,初步厘定了重大工程重要区段深部构造特征。(2)完成了国家重大工程重要区段1:5万专题地质调查填图工作,基本摸清了区内不良地质体的规模、分布范围及展布规律,分析了其对工程的潜在危害。(3)创新高位链式地质灾害风险识别技术,识别2094处具高位冰崩、冰川、崩塌、滑坡灾害隐患信息,初步完成了区内流域性特大地质灾害链对重大工程的风险评估。(4)研制了强构造活动高山峡谷区水压致裂地应力测量方法与仪器设备,实现1000 m以上干孔水压致裂地应力测量,成功获取了国家重大工程重要区段超高地应力大小和方向。

### 5. 首次完成并发布全球锂钴镍锡钾盐矿产资源储量评估报告和中国矿业50指数研究报告

该成果由中国地质调查局全球矿产资源战略研究中心、中国地质调查局国际矿业研究中心牵头,中国地质调查局成都地质调查中心、中国地质调查局天津地质调查中心、中国地质调查局西安地质调查中心、中国地质调查局南京地质调查中心、中国地质调查局武汉地质调查中心、中国地质调查局沈阳地质调查中心、中国地质调查局发展研究中心、中国地质科学院矿产资源研究所、中国地质调查局文献中心、中国矿业报社等单位参加完成。牵头完成人为王高尚、阴秀琦、邹谢华、李建武、陈其慎、朱清、张伟波、张炜、江思宏、任军平、胡鹏、刘书生、马中平、王天刚、周永恒等参加完成。其主要进展及创新:(1)提出新时期资源安全新理念、全球配置总目标、战略布局新思路,形成战略性矿产全球布局系列报告,全程支撑编制国家有关国际合作规划。(2)首次建立我国自主的全球矿产资源储量评估技术方法体系,完成并发布《全球锂、钴、镍、锡、钾盐矿产资源储量评估报告(2021)》。(3)首次构建符合我国国情和产业转型方向的“中国矿业50指数”,召开中国矿业金融高层研讨会,发布《中国矿业50指数研究报告》,为促进矿业投资、引导矿业转型发展、提升我国矿业全球竞争力,提出了金融解决方案。(4)国际合作平台建设取得明显成效,“三服务一促进”能力显著增强。整合境外地质调查形成“7+6”工作机制,发布全球矿业发展报告,促进中非地学合作中心、地学大数据平台建设纳入国家视野。(5)精准服务中资企业“走出去”,在优选区块、找矿增储、项目评价、战略规划等方面为企业提供技术和信息服务,签订合作协议15项,形成一批企业有投资意向的矿业项目。

### 6. 黔西南石炭系页岩气调查首获工业气流

该成果由中国地质调查局油气资源调查中心牵头,湖南

省煤炭地质勘查院、辽宁省地矿集团能源地质有限责任公司、江苏华东八一四地球物理勘查有限公司(江苏省有色金属华东地质勘查局八一四队)、中国矿业大学等单位共同参加完成。牵头完成人为苑坤、毕彩芹、张家强、林拓、唐跃等参加完成。其主要进展及创新:(1)创新采用非震技术解决坭紫罗裂陷槽构造形态与页岩沉积等关键问题,建立非对称式台盆沉积模式,揭示低硅高钙、灰泥互层新类型页岩气,集成勘查工程技术系列,黔水地1井直井压裂首次在南方石炭系首获日产1.1万m<sup>3</sup>工业气流;创建评价参数体系,开展“三位一体”资源评价,黔西南石炭系有利区地质资源量为2.02万亿m<sup>3</sup>。(2)针对多薄煤层煤层气产量低等难题,选择鸡西盆地煤系地层,开展煤矿原位区、采空区煤系气资源综合评价与试采攻关,形成煤矿“三区”“三气”综合勘查开采地质理论与技术体系,在煤系气领域取得重大战略性突破。评价鸡西盆地城子河组煤系气资源量2048亿m<sup>3</sup>,黑鸡地1井日产气5666m<sup>3</sup>,开辟了深部煤系气新领域。

### 7. 《中国矿产地质志》省级志书编撰全面完成

该成果由中国地质科学院矿产资源研究所牵头,江西省地质矿产勘查开发局、新疆维吾尔自治区地质调查院、云南省地质调查局等33家单位共同参加完成。牵头完成人为王登红、陈毓川、黄凡、王岩、陈郑辉、杨明桂、董连慧、施玉北、潘彤、战明国、周琦、张彤、彭翼、王海欧、董王仓、吴礼彬、黄国成、李玉彬等参加完成。其主要进展及创新:(1)对我国百余年来矿产勘查、科研成果资料进行了系统梳理,制定了《中国矿产地质志·省级矿产地质志编研技术要求》,得到广泛应用,实现了全国矿产资源领域专业志书标准化编研。(2)完成了全国32个省区市(含上海市、台湾省)矿产地质志书编研,系统梳理核实出已发现6.48万余处矿产地,基本摸清了我国矿产资源分布情况,多层次多维度总结了矿产资源时空分布规律,显著提升了省级成矿规律研究水平。(3)构建了标准化矿产地质志成果数据(库)集,实现各行业部门百余年来矿产勘查和科研资料的统一数字化集成,促进了信息资料共享服务,为信息化时代矿产地质工作奠定了大数据基础。(4)创新发展了我国“成矿系列”理论,构建了多尺度区域成矿谱系,完善了中国成矿体系框架,提升了我国矿床学研究的整体水平和创新能力。(5)积极推动了成果应用服务,指导实现一批找矿新突破,为老矿业基地增储稳产和战略性新兴产业发展提供资源支撑。

### 8. 地球科学大数据共享服务平台——“地质云3.0”上线服务

该成果由中国地质调查局发展研究中心牵头,中国地质调查局成都地质调查中心、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质环境监测院等单位共同参加完成。牵头完成人为高振记、缪谨励、李丰丹、屈红刚、冯斌、刘荣梅、王成锡、张怀东等参加完成。其主要进展及创新:(1)基

本建成多专业、多要素、多尺度的地球科学“一张图”大数据体系,实现全国地球化学调查点、地质钻孔、灾害隐患点等重要原始数据与国产遥感卫星、地下水监测等动态监测数据实时上云共享,提供地质调查原始点位数据和要素数据可计算数据服务,地球科学数据服务范围 and 成效显著提升。(2)初步建成地质调查“在线化”工作体系,实现地质调查主流程信息化再造,工作效能显著提升。(3)在智能调查、智慧编图、智能搜索、智能识别、智能管理等领域实现示范应用,取得良好效果。(4)开发八大系列权威地质信息产品,上线健康地质、数字塔里木盆地等一批专题服务,提升对国家重大战略和重大社会需求的精准服务水平。(5)行业覆盖和辐射能力显著提升,地质云平台生态初步建成,集成和开发一批重要专业应用系统,实现全局43家单位节点全覆盖。

### 9. 首次认定并发布全国26个地质文化村与30处天然富硒土地有力支撑服务乡村振兴

该成果由中国地质环境监测院、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质学会牵头,中国地质调查局南京地质调查中心、中国地质调查局沈阳地质调查中心等单位共同参加完成。牵头完成人为董颖、成杭新、朱立新、彭敏、宋庆伟、张作衡、曹晓娟等参加完成。其主要进展及创新:(1)首次创立地质文化村(镇)和天然富硒土地品牌,提出了地质与文化、产业融合利用的新理念,累计圈定天然富硒土地29.8万km<sup>2</sup>,为地方特色农旅产业发展奠定了重要基础。(2)推动了20个地质文化村的示范建设,指导了25个省78个村(镇)的选点、建设和申报,指导了全国48个县50处天然富硒地块的申报,完成了首批26个地质文化村(镇)和首批30处、50余万亩天然富硒地块的规范化评定,助推建设富硒示范园区300余处,开创了地质工作服务乡村振兴新模式。(3)研制并发布《地质文化村(镇)建设工作指南(试行)》等3个地质文化村(镇)建设标准和《天然富硒土地划定与标识》行业标准,研发了地质文化村展示系统,规范了地质文化村(镇)建设和成果集成,为科学评选认定天然富硒土地提供了根本的技术遵循。

### 10. 初步建立国家地质灾害智能化监测预警网络

该成果由中国地质环境监测院牵头,中国地质科学院探矿工艺研究所、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心等单位共同参加完成。牵头完成人为殷跃平、韩子夜、张鸣之、马娟、韩冰、黄喆、邢顾莲、赵文祎等参加完成。其主要创新点:(1)第一代监测预警系统规模化推广。经过两年多的研发攻关与产业化应用,监测设备集成度、智能化与工业化水平不断提高,运行功耗和设备成本持续降低,已带动全国96家企业遵标生产安装10万套以上;智能预警系统实现与17个省级系统级联动和全流程在线管理。(2)非接触式监测技术取得积极进展。雷达感测、智能视频、无人机巡测等非接触式监测技术取得积极进展,2021年在7省114处典型隐患点开展

试用。(3)信息化高效支撑汛期防御响应效果突出。通过“掌上地灾”App发布风险预警信息并提供数据共享服务,汛期地质灾害风险预警时效性与防御科技支撑能力不断提高。(4)有效支撑全国地质灾害监测网构建与重大工程建设。2021年,17省22609处监测点遵标建设运行,覆盖周边300余处地质灾害隐患,为重大工程建设提供支撑服务。

## 二、2021年度地质科技十大进展

### 1. 嫦娥五号月球样品研究获得最年轻火山活动年龄刷新月球演化认知

该成果由中国地质科学院地质研究所牵头,澳大利亚科廷大学、山东省地质科学研究院、澳大利亚国立大学等单位共同参加完成。牵头完成人为刘敦一、车晓超、王晨、龙涛等参加完成。其主要进展及创新:(1)填补了月球演化历史中30~20亿年间岩浆活动记录的空白,证明了月球在19.6亿年前仍存在岩浆活动。嫦娥五号返回月球样品年代学研究获取的迄今为止最年轻岩浆活动年龄,为完善月球岩浆演化历史提供了关键科学证据。(2)确认了嫦娥五号玄武岩起源于月球深部。通过系统的岩石、地球化学分析,发现了相比此前所有月球样品具有极高的铁镁比的新类型玄武岩,通过铀/钍/铅元素的精确计算,表明导致嫦娥玄武岩岩浆发生熔融的热源应该在月球深部,而非浅层放射性热源,刷新了月球岩浆活动机制的认知。(3)修正了国际通用的太阳系岩石质天体表面研究的“遥感陨石坑统计定年曲线”。为仅在30亿年前和10亿年后有数据约束的定年曲线提供了20亿年位置上的重要锚点,大幅提高遥感陨石定年方法的可信度,将为月球、火星、小行星表面年代的研究奠定研究基础。

### 2. 我国首套大深度固定翼时间域航空电磁勘查系统成功研发并应用

该成果由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所牵头,哈尔滨飞机工业集团有限责任公司、吉林大学共同参加完成。牵头完成人为李军峰、孟庆敏、贾放、胥值礼等参加完成。其主要进展及创新:(1)突破千安级航空电磁多波脉冲发射,超低噪声三分量接收传感器,海量数据全波形同步采集,复杂构型专用飞行平台改装与试飞等关键创新技术,成功研制大磁矩实用化固定翼时间域航空电磁系统,探测深度、噪声水平等关键性能指标超过国外同类型系统,核心部件全部实现自主设计和国产化。(2)攻克了多源噪声压制、背景场去除、姿态校正等技术难题20余个,突破大数据存储、处理、显示的瓶颈,创新研发了时间域航空电磁数据处理平台,开发了实用化航空电磁三维反演技术。数据处理和三维正反演技术达到国际先进水平。(3)项目成果成功应用于松嫩平原水文地质、基础地质调查工作。新圈定了富水有利区域,解译了800m以浅白垩纪地层电性结构及活动断裂空间展布,填补了该区域深部水文地质资料的空白。

### 3. 深海探测技术获重大突破

该成果由广州海洋地质调查局、中国自然资源航空物探遥感中心牵头,青岛海洋地质研究所、中国地质大学(北京)、中国海洋大学等单位共同参加完成。牵头完成人为肖波、周坚鑫、高宏伟、温明明、赵庆献、张汉泉等参加完成。其主要进展及创新:(1)研发了深海高精度探测关键技术。近海底地震、重磁等探测技术取得“零”的突破,自主创新形成了深水双船拖曳式海洋电磁探测技术,填补了国内外空白,高分辨率三维地震探测技术突破国外技术封锁。(2)突破了“深潜、深钻和深海长期观测”关键技术。自主研发的海底大孔深保压钻机,刷新了海底钻机钻探深度的世界纪录。(3)构建了自主研发的“三位一体”深海立体探测体系和深海公共试验平台体系。(4)成功研发我国首套具有自主知识产权的船载重力梯度测量系统(ZT-1D),先后攻克了高分辨率石英挠性加速度计研制、高精度惯性稳定平台控制、微弱重力梯度信号精密提取等一系列核心技术。(5)该成果实现了深海探测技术装备研发和应用创新,授权发明专利140余项,发表SCI/EI论文310余篇,获批国家、行业和省部级人才20余人次。

### 4. 地球物质铅同位素组成新认识推动铅原子量修订并获国际专业机构采纳

该成果由中国地质科学院地质研究所牵头,美国地质调查局雷斯顿稳定同位素实验室参加完成。牵头完成人为朱祥坤, Jacuelline Benfield, Tyler Coplen、高兆富等参加完成。其主要进展及创新:(1)系统检索20世纪50年代以来海量文献,严格评估有关地球样品铅同位素组成的数据质量,筛选出了8000余件符合精度要求的样品。(2)在样品分类基础上,对每类样品铅同位素数据进行了统计分析,厘定了每类样品的铅同位素组成的变化范围。(3)计算了每件样品的铅元素原子量,厘定了每类样品的铅原子量的变化范围;通过计算分析,确定了铅原子量的最小值是 $206.1462\pm 0.0028$ ,铅原子量的最大值为 $207.9351\pm 0.0005$ 。(4)首次明确提出铅原子量不是常数,厘定了普通地球样品铅原子量的变化区间。(5)依据该研究成果,国际同位素丰度与原子量委员会发布公告,宣布铅原子量修改为区间值[206.14,207.94]。

### 5. 深部矿产资源智能预测理论方法创新与找矿重大突破

该成果由中国地质科学院矿产资源研究所牵头,中国地质调查局发展研究中心、中南大学、中国地质大学(北京)、中国地质大学(武汉)等单位共同参加完成。牵头完成人为肖克炎、程志中、李楠、毛先成等参加完成。其主要进展及创新:(1)首次提出了找矿模型-三维建模-定量预测等“三元”大数据深部矿产资源预测理论方法体系,自主创新研制了一套具有完全自主知识产权的深部综合信息预测评价平台系统,为我国深部找矿预测提供了重要的理论和技术支撑。(2)创新提出“五个一定”三维地质找矿模型及深部成矿构造重

建理论与方法,研发了深部地球物理、地球化学结构分析等深层次异常信息提取新技术,解决了矿集区深部成矿空间三维结构重建、成矿地质异常空间重构以及矿化空间定位等技术难题,实现了3000 m以浅深部地物化多源深层次成矿信息融合及透明化、智能化,推动了我国在找矿模型、三维预测领域的技术进步。(3)成果应用于不同矿种与类型的国家重点整装勘查区,为国家深部“第二成矿空间”找矿突破提供了指导思路和技术支撑。

### 6. 5000 m智能地质钻探关键技术装备研发成功并应用

该成果由中国地质科学院勘探技术研究所牵头,中国地质装备集团有限公司、中国地质大学(北京)、中国地质大学(武汉)等单位共同参加完成。牵头完成人为张金昌,刘凡柏、黄洪波、梁健等参加完成。其主要进展及创新:(1)在小直径绳索取心钻进口径系列、钻柱方案、套管程序等方面初步形成了我国较为完整的、以绳索取心工艺为主体的5000 m特深孔地质岩心钻探技术体系。(2)建立特深孔钻探工程设计准则。(3)确定5000 m钻孔所用钻杆结构和套管程序。(4)多工艺交流变频电传动顶驱系统、井口自动化作业系统、智能排绳取心绞车、全场设备及全程作业集成控制系统、钻机智能控制系统实现多项创新。(5)国内首次研制出5000 m地质岩心钻探用大“长径比”绳索取心钻杆。(6)创造了P规格绳索取心钻进应用深度、下入 $\Phi 146$  mm地质套管深度两项亚洲纪录。

### 7. 岩心多参数数字化技术设备研发成功

该成果由中国地质调查局南京地质调查中心牵头,自然资源实物地质资料中心、中国地质调查局天津地质调查中心共同参加完成。牵头完成人为修连存、高鹏鑫、高延光、李建国、郑志忠等参加完成。其主要进展及创新:(1)在岩心图像光谱扫描仪、成像光谱仪、X荧光元素扫描仪、综合物性参数采集仪和便携式近红外矿物光谱仪、便携式岩心图像快速采集仪等系列仪器的自主研发方面进展显著,成功打破澳大利亚岩心光谱扫描仪垄断,大幅度降低岩心数字化成本。(2)首次实现快速岩心图像、矿物和元素全孔在线检测,为岩心数字化和地质研究提供了多参数数据支撑。(3)岩心预处理实现了全自动深度数据校正、图像拼接和数据格式转化,无需人为操作。(4)引入深度学习算法,光谱处理速度比传统方法提高10倍以上。(5)完成岩心光谱扫描仪、成像光谱仪、X荧光元素扫描仪、综合物性参数采集仪和便携式近红外矿物光谱仪产品化。

### 8. 滇黔相邻区沉积型稀土综合利用技术攻关取得重要进展

该成果由中国地质科学院矿产综合利用研究所牵头,贵州省地质矿产勘查开发局共同参加完成。牵头完成人为龚大兴、徐璐、惠博、田恩源等参加完成。其主要进展及创新:(1)综合利用技术的重要进展和突破,使滇黔相邻区二叠系

宣威组底部“沉积型稀土”成为我国继离子吸附型稀土之后,新发现并定义的又一个新类型稀土矿床。(2)首次查明沉积型稀土主要以纳米矿物的形式被“囚禁”于黏土矿物层间,针对性研究形成了“焙烧-选择性浸出”“无焙烧液相复分解-选择性浸出”“无焙烧的硫酸浸出-分离提取”“低温硫酸化焙烧-硫酸浸出-分离提取”4项综合利用技术。(3)打通了沉积型稀土实验室小试、实验室连续扩大试验全流程关键技术,建立了“纳米晶型转变-稀土靶向分离”冶金一体化技术并圆满完成扩大试验,确定了沉积型稀土盈亏平衡品位为0.29%。(4)发现沉积化石等关键证据,建立了沉积成矿窗口期“切片式”瞬时岩相古地理格架,形成了“ELIP(峨眉山大火成岩省)岩石系统控源、古地貌古环境控相、黏土矿物重结晶捕集纳米级稀土矿物成矿”的沉积成矿模式。

### 9. 西北地区构造-古地理重建取得重大进展

该成果由中国地质调查局西安地质调查中心牵头,西北大学共同参加完成。牵头完成人为计文化、王欣、张兴亮,牛亚卓、许伟、高晓峰等参加完成。其主要进展及创新:(1)构建了埃迪卡拉纪疑难化石 *Shaanxilithes* 与最早矿化骨骼生物 *Cloudina* 之间的亲缘演化关系。依据东坡组中新发现的 *Shaanxilithes* 化石,将罗圈冰碛岩时代限定为埃迪卡拉纪,提出华北克拉通与全吉地块在埃迪卡拉纪-寒武纪具有相似的构造-沉积演化史新认识。(2)研究识别出北山地区石炭系一二叠系27个微相和14个相组合,建立了该阶段沉积岩的源-汇模型。提出古亚洲洋西段于晚石炭世之前闭合新

认识,并对生物地理演化产生了重大影响。(3)重建了西北地区南华纪一二叠纪的构造-古地理格局与演化史,探索了以陆(地)块为核+侧向/垂向不规则增生的造山带构造单元划分的新理念,提出古亚洲主洋盆残迹位于北天山-康古尔塔格-红石山一带的新观点和秦-祁-昆早古生代弧-盆系属于特提斯构造域的新认识。

### 10. 深部热能原位开采与储层强化增产技术研发成功并应用

该成果由中国地质科学院水文地质环境地质研究所牵头完成。牵头完成人为王贵玲,王婉丽、蒲文静、朱喜等参加完成。其主要进展及创新:(1)创新深部热能开采方式,在雄安新区建成4200 m超长重力热管采热试验系统,首次使用氨工质进行重力热管循环采热,实现了碳酸盐岩热储深部热能的“取热不取水”“无泵式”开采。(2)创新碳酸盐岩热储增产改造技术,实现深部低渗透性碳酸盐岩热储产能大幅提升。攻克了深部碳酸盐岩热储水力喷射诱导压裂工艺,配置了适用于深部碳酸盐岩热储的清洁压裂液。(3)提高了全国地热背景研究程度,新增实测大地热流数据260组,填补了我国西南、西北、东北等地区大片大地热流测点空白区。完成多处地热资源靶区优选;在井冈山地区成功探获一眼水量大、水质好的温热水地热井,为京津冀地区冬季清洁供暖以及革命老区旅游产业升级提供了支撑。

(中国地质调查局总工程师室 供稿)