

doi: 10.12029/gc20190420

樊俊, 郭源阳, 成永生. 2019. 国家重点研发计划“深地资源勘查开采”攻关目标与任务剖析[J]. 中国地质, 46(4): 919–926.

Fan Jun, Guo Yuanyang, Cheng Yongsheng. 2019. An introduction to Deep Resources Exploration and Mining, a special project of National Key R&D Program of China[J]. *Geology in China*, 46(4): 919–926(in Chinese with English abstract).

国家重点研发计划“深地资源勘查开采” 攻关目标与任务剖析

樊俊¹, 郭源阳², 成永生³

(1. 中国 21 世纪议程管理中心, 北京 100038; 2. 中国矿业大学科学技术研究院,
江苏 徐州 221116; 3. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项(简称“深地专项”)以大幅提升中国资源发现率和资源获取能力,全面支撑国家找矿突破战略行动为核心目标。按照国家重点研发计划“全链条设计,一体化实施”的要求,专项重点资助的研究工作包括:中国深部资源成矿成藏、预测评价与深部开采相关重大基础理论研究,航空-地面-地下立体勘查和智能化、无人化绿色采矿共性关键技术装备研发以及相关应用示范研究。“深地专项”共包含“成矿系统的三维结构与控制要素系统”等 7 项任务,各任务及专项的目标通过若干相互关联、有机衔接的项目落实。结合专项启动以来的立项情况,梳理了 7 个任务方向专项经费的分布情况,并分析总结了各任务方向的研究重点、难点和预期目标,全面呈现了“深地专项”的研究布局、空间布局和资金布局,为相关研究工作和管理工作开展提供了参考。

关键词:国家重点研发计划;深地资源;勘查;开采;研究任务;部署

中图分类号:P621 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2019)04-0919-08

An introduction to Deep Resources Exploration and Mining, a special project of National Key R&D Program of China

FAN Jun¹, GUO Yuanyang², CHENG Yongsheng³

(1. *Administrative Center for China's Agenda 21, Beijing 100038, China*; 2. *Academy of Science and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China*; 3. *School of Geosciences and Info-physic, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China*)

Abstract: Deep Resources Exploration and Mining (DREAM), a special project in the framework of National Key R&D Program (NKRDP), aimed at enhancing China's capability of resource discovery and acquisition, so as to provide a comprehensive support for the national strategic initiative to make breakthroughs in mineral prospecting. According to the claim "full-chain design and

收稿日期:2019-01-23; 改回日期:2019-05-22

基金项目:科技部“资源领域关键技术选择和前沿热点研究”项目和“社会发展领域年度重点创新进展报告”项目(ZLY201634)资助。

作者简介:樊俊,男,1982年生,博士,副研究员,主要从事资源环境技术发展战略研究和国家科技计划项目管理工作;

E-mail: fanjun@acca21.org.cn。

integrated implementation" raised by NKRDP, DREAM possessed a wide funding scope. As for the research work on key fundamental theories, DREAM focused on deep hydrocarbon accumulation and metallization, resource prediction and assessment, as well as deep mining theories. For the research and development of generic technologies and equipment, DREAM supported the projects concerning aerial-surface-underground stereoscopic exploration and intelligent unmanned green mining. Meanwhile, the relevant application demonstrations in the field of deep resources exploration and mining were also included in the funding scope. Seven tasks, such as three-dimensional structure and control elements of metallogenic system, were arranged in the deployment layout of DREAM, and several inter-connected research projects had been approved to support the realization of goals for each task and DREAM. Combined with the summary of project approval progress, the distribution of allocated funds in seven task directions was analyzed. Based on the insight into each on-going research project, the research emphases, difficulties and expected goals of each task were analyzed and summarized. On such a basis, the technical layout, space layout and capital layout of DREAM were comprehensively presented, which is supposed to provide reference for stakeholders concerning research and management.

Key words: National Key R&D Program of China; deep resources; exploration; mining; research task; deployment

About the first author: FAN Jun, male, born in 1982, doctor, associate professor, mainly engages in strategic research on resource and environment technology development and project management for national R&D programs; E-mail: fanjun@acca21.org.cn.

Fund support: Project on "selection of key technologies and research on frontier hotspots in the field of resources" and "annual progress of key innovations in the field of social development" funded by Ministry of Science and Technology of China.

1 引 言

随着浅表层资源勘探和开发利用程度的提高,全球矿业界已经开始把勘查目标转向深部(刘光鼎,2015;翟明国和肖文交,2015),矿产资源的深部开采也相应步入常态(李夕兵等,2017)。中国当前能源资源供需矛盾仍然突出,保障大宗紧缺资源的稳定供给,满足战略新兴产业的资源消费需求,对加强资源储备和开发能力提出了更高的要求(杨建锋等,2017)，“向地球深部进军”已上升为中国资源领域必须解决的战略科技问题。

2016年,国家重点研发计划启动了“深地资源勘查开采”重点专项(以下简称“深地专项”),这是继深部探测技术与试验研究专项(SinoProbe)之后(董树文等,2014),中国启动的又一深地领域重大科技攻关任务。“深地专项”旨在破解中国深部资源成矿成藏与预测评价关键科学瓶颈,构建深部资源开采理论技术体系,发展航空-地面-地下立体勘查技术体系,突破深部资源勘查开采的关键技术,建设深地资源勘查实践平台,为推进找矿突破战略行动,保障国家能源资源安全提供强有力科技支撑(樊俊等,2018)。专项共包含7项重点任务,各任务目标通过若干相互关联、有机衔接的项目具体落实。目前,“深地专项”立项工作已经基本完成。全面梳理专项研究任务部署情况,剖析专项研究工作重点、难点和预期目标,将为专项各相关方准确把

握工作方向,推动行业之间、行业与区域之间、上下游任务之间、优秀科研团队之间、产学研用之间的协同创新提供重要参考。

2 专项的具体目标

按照“深化规律认知→突破技术方法→支撑深部找矿和开采”的思路,从创新链角度分解,“深地专项”的具体目标可以概括为三方面:

(1)破解深部资源三大科学问题。发展成矿与深部矿产资源评价预测理论,构建三维矿产预测评价方法体系;拓展深部矿产资源开采理论,支撑大深度规模开采;创新深层油气评价理论,指导超深油气勘查。

(2)突破多深度共性关键技术。形成航空-地面-地下立体勘查技术体系,完善2000 m勘查体系,突破3000 m勘查技术,储备5000 m勘查能力;拓展金属矿1500 m开采技术支撑能力;扩展油气勘查深度到6500~10000 m。

(3)建立两个资源勘查工程实践平台。针对矿产资源(紧缺矿产、战略新兴矿产和“粮食”矿产等)与能源(深层油气、铀矿等),建立覆盖区、3000 m深度矿产资源勘查实践平台,深层油气和铀矿资源勘查实践平台,实现资源增储。

3 专项任务部署总体情况

瞄准专项具体目标,“深地专项”共设置7项重

点任务,即成矿系统的三维结构与控制要素、深部矿产资源评价理论与预测、移动平台地球物理探测技术装备与覆盖区找矿示范、大深度立体探测技术装备与深部找矿示范、深部矿产资源勘查增储应用示范、深部矿产资源开采理论与技术研究、超深层新层系油气资源形成理论与评价技术,七项任务能够进一步合并为矿产勘查(前五项目)、资源开采(第六任务)和油气勘探(第七任务)3个板块,具体任务布局见图1(樊俊等,2018)。

“深地专项”在7个任务方向共设立48个项目,涉及中央财政专项经费约18.90亿元,专项经费布局见图2。总体来看,勘查板块项目专项经费约占已部署经费的81.3%,开采板块和油气板块在专项中所占体例不大,分别占11.8%和6.9%左右。专项在基础理论研究、共性技术研发和示范应用研究方面资助力度最大的任务分别是成矿系统的三维结构与控制要素研究、移动平台地球物理探测技术装备研制和深部矿产资源勘查增储示范。

4 专项的研究重点

4.1 成矿系统的三维结构与控制要素研究

本任务方向共部署7个项目,专项经费在已部署经费总额中占比高达47%,在我国取得深部探测重要进展的基础上(董树文等,2014),重点开展华北克拉通、华南陆内、青藏高原碰撞造山、北方增生造山、北方复合造山等成矿系统的深部过程与成矿

机理研究,并专门支持了燕山期重大地质事件的深部过程与资源效应研究。从研究内容看,相关项目将在深部过程、成矿机理、找矿预测三方面,重点围绕探测深部结构、揭示深部过程、透视浅部结构、再塑成矿过程开展系统研究工作,主要覆盖:(1)构建主要成矿系统深部密度、磁性、电阻率、放射性和地震反射与速度等结构,建立重点矿集区三维地质结构与控矿构造体系,聚焦重大地质事件、重塑成矿系统时空深度演化模型;(2)建立成矿系统物质组成时空框架,追踪成矿物质演化;(3)建立典型矿集区金属元素巨量堆积和矿床富集机制,解析成矿物质来源、驱动和沉淀控制机理,厘定成矿末端效应和定位过程,构建基于三维结构的成矿-找矿模型,创新成矿理论;(4)查明典型矿集区成矿流体系统,建立多过程和多尺度耦合的成矿过程模拟方法。研究思路和方法上强调“点”“线”“面”的有机结合与多探测方法的联用。以青藏高原项目为例,在成矿带,将部署深反射地震剖面,辅以构造平衡剖面和壳幔物质结构剖面;在矿集区,将部署大比例尺填图、高分辨率综合地球物理剖面,开展三维地质建模;在矿床(田),将采用多元同位素体系和原位直测技术,开展成矿机理研究并构建矿床模型(表1)。

4.2 深部矿产资源评价理论与预测

本任务方向以深部矿产资源评价理论与方法、地质建模与综合信息提取、预测信息系统与战略研究平台、资源预测评价示范为攻关重点,共部署3个

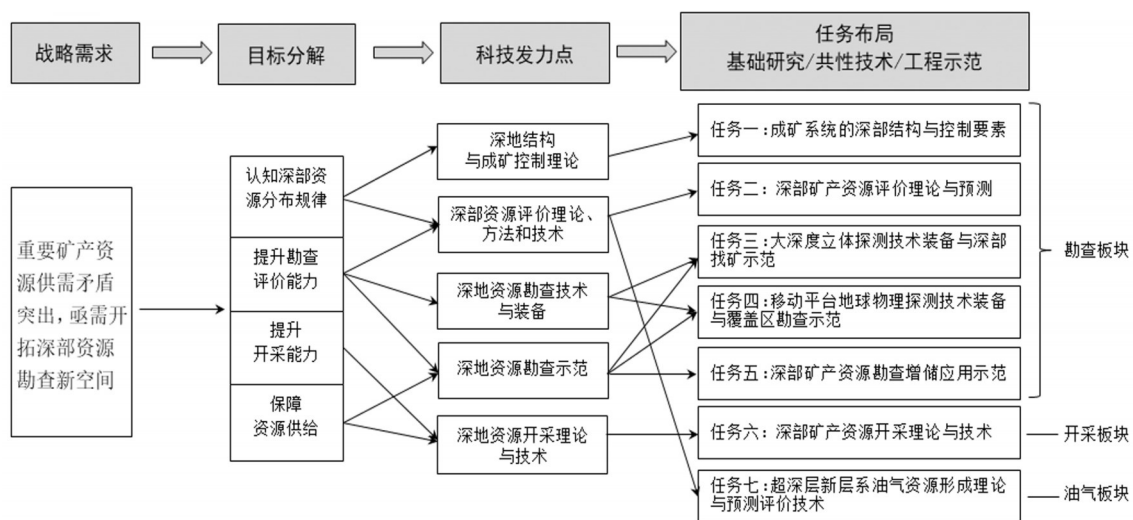


图1 “深地专项”任务布局(樊俊等,2018)

Fig.1 Task layout of DREAM (after Fan et al., 2018)

表1 重要成矿系统相关研究工作的目标、工作区和实物工作
 Table 1 Research objectives, target areas and physical tasks of the on-going projects concerning significant metallogenic systems

研究对象	研究目标	工作区	计划的实物工作
华北克拉通成矿系统深部结构与成矿过程	通过开展华北克拉通成矿系统的深部过程与成矿机理研究,揭示克拉通破坏的岩石圈结构和深部过程,查明巨量金迁移、富集机理和成矿末端效应,阐明成矿区域差异性的关键控制因素,创建克拉通破坏成矿理论体系;构建典型矿集区深部成矿系统结构,建立勘查评价阶段的深部资源勘查技术方法组合,评价3000 m以浅金多金属资源潜力,实施深部钻探验证	胶东西北部和辽东五龙、辽东白云—小佟家堡、子青城子等矿集区	完成1000 km高分辨率(横向5~7 km)地球物理密集综合探测,约600 km地壳密度结构和岩石圈电性结构成像和约1400 km剖面地壳精细速度结构及岩石圈速度结构成像。实施钻探验证46000 m,包含1个3000 m深孔
华南陆内成矿系统深部结构与成矿过程	通过开展华南陆内成矿系统的深部过程与物质响应研究,揭示华南陆块岩石圈三维结构、块体组成,阐明中生代陆内成矿的深部过程、物质迁移、巨量金属富集与成矿集中爆发的机制,诠释多块体、复杂构造体制下的特色成矿系统形成与演化,构建陆内成矿理论框架,查清成矿“末端”结构(5 km)及成矿效应。集成创新深部铜锡多金属矿探测技术方法组合,验证铜锡多金属复合成矿模式和分布规律;圈定铜锡多金属深部找矿靶区,综合评价3000 m深部铜锡多金属资源潜力,实施3000 m深度异常验证钻探	南岭崇义—会昌、长江中下游南陵—宣城和武夷德化—尤溪—永泰矿集区;钦杭铜金多金属成矿带和南岭钨锡多金属成矿带	完成800 km地震反射剖面,400 km折射地震剖面,1000 km宽频地震剖面,1000 km大地电磁剖面。完成单孔岩心钻探3000 m进尺
青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程	围绕2条巨型成矿带(冈底斯、三江),聚焦3个大型碰撞成矿系统(斑岩型铜成矿系统、沉积岩容矿铅—锌成矿系统、造山型金成矿系统),揭示其岩石圈精细结构与致矿深部过程,阐明成矿系统及典型矿床的发育机制,完善大陆碰撞成矿理论;开展矿集区浅部地壳(0~3000 m)“透明化”工作。研发和集成深部资源预测、勘查技术方法,评价重点矿集区3000 m以浅不同深度资源潜力(中国地质科学院地质研究所,2017)	驱龙—甲玛、金顶和扎西康等矿集区	完成500 km深地震反射剖面,1000 km折射地震剖面,1137 km大地电磁剖面,井中/巷道激电测量10 km,重力剖面30 km,短波—热红外光谱测量8.5 km,蚀变地质填图55 km ² 。完成单孔钻探进尺3000 m,其它钻探进尺20600 m
燕山期重大地质事件的深部过程与资源效应	探明中国东部关键廊带壳幔结构,揭示东部燕山期重大地质事件的深部过程与成矿规律;重塑中国东部燕山期不同类型盆地交替演化历史,揭示沉积作用的变迁及其资源效应;探究成矿元素的地球化学行为和相关矿产的形成机理,揭示中国燕山期大规模成矿的控制因素和规律,研究铜、金、铀等国家紧缺和钨、锡、稀有金属等特色或优势矿产资源的时空分布规律(孙卫东等,2017)	跨越郟庐断裂带南段和东海陆架区	完成综合地球物理二维剖面海陆联合探测(剖面全长约1200 km),综合地球物理剖面500 km
北方增生造山成矿系统	揭示北方西部增生造山带岩石圈重要界面及其空间变化规律,阐明增生造山成矿系统的深部结构、成矿构造背景和物质时空框架,重建增生造山带深部结构和演化过程;查明增生造山带主要成矿系统的物质组成、成矿富集过程,研究成矿末端效应与典型矿集区矿体定位机制,厘定控矿要素,建立成矿模型和找矿标志体系;集成增生造山成矿系统研究成果,发展增生造山成矿理论。梳理和深化天山—阿尔泰增生造山带铁、铜、镍、铅锌等大宗矿产的区域成矿模式,构建阿舍勒等5个矿集区典型矿床的三维实体地质模型,优化深部资源基地勘查技术方法组合,基本摸清3000 m以浅资源潜力	阿舍勒—喀拉通克、西天山赛里木、西天山阿吾拉勒、东天山阿齐山—清白山、东天山卡拉塔格—黄山等矿集区	完成宽角反射/折射地震剖面600 km、密集短周期和宽频带地震台站、密集重力观测、大地电磁测深各800 km及矿集区地震深反射剖面150 km。实施单孔岩心钻探进尺3000 m
北方东部复合造山成矿系统	揭示北方造山带古亚洲洋、蒙古—鄂霍茨克洋和古太平洋三大构造体制复合造山带成矿系统深部结构、物质组成和成矿背景;精细刻画复合造山过程中典型成矿系统的结构,集成复合造山成矿系统研究成果,建立复合造山成矿系统理论模型和找矿预测模型;评价研究区深部资源潜力	多宝山、白音诺尔等矿集区	完成500 km综合地球物理剖面探测,包括:深反射240 km,宽角反射与折射500 km,大地电磁测深500 km,宽频带流动台站500 km,短周期高密度流动台站500 km

项目。在方法技术研究方面,相关项目主要开展成矿动力学、地质异常、成矿系统理论研究,并在地、物、化、遥信息集成基础上提出深部矿产资源定量预测评价理论与方法体系,研发深部找矿综合信息提取和集成技术,开发先进实用的深部三维地质建模、信息提取分析、预测评价和三维可视化的预测软件系统平台。在示范应用方面,相关项目将以造山带、克拉通、地幔柱等成矿背景下的若干重要矿集区(中甸、个旧—都龙、金川、攀西、狼山和熊耳山等)和不同矿床类型(斑岩型、矽卡岩型、岩浆型和喷流型等)为研究基地和研究对象,建立典型矿床深部高精度预测评价模型,并针对铜、锰、金等国家战略紧缺矿产,在山东莱州—招远金矿、湖南—贵州锰矿、贵州贞丰—普安金矿、甘肃玛曲—合作金矿等整装勘查区,开展深部三维预测评价及找矿预测示范。

4.3 大深度立体探测技术装备与深部找矿示范

本任务方向以实现 3000 m 深度金属矿产资源探测能力,储备一批 5000 m 深度探测技术为目标,共部署 6 个项目。重点研发地面、地下及井中地球物理勘探关键技术及装备、穿透性地球化学勘查技术、5000 m 大深度智能地质钻探技术与装备以及深部数据处理、解释软件平台,并开展勘查技术综合示范。

“十二五”期间,在 863 计划的支持下,我国突破了高精度微重力传感器、铯光泵磁力仪传感器、宽带感应式电磁传感器等一系列关键核心器件,技术指标总体接近或局部超过目前国际先进水平,高精度数字重力仪、大功率伪随机广域电磁探测系统、实用化轻便分布式遥测地震勘探采集系统等勘探地球物

理仪器设备已经形成批量生产能力,多参量地球物理数据处理与反演软件系统也有效提高了深部矿产勘探的效率和地质解释的可靠性(吕庆田等, 2019)。“深地专项”基本以“十二五”863 计划相关技术成果指标作为基期指标,结合国内实际情况,对标国际先进水平,确定相关项目的考核目标(表 2),在有短板的技术方向,力争实现“跟跑”向“并跑”的迈进,在有优势的技术方向,力争保持“领跑”地位。

4.4 移动平台地球物理探测技术装备与覆盖区找矿示范

本任务瞄准不同类型覆盖区深部勘查对航空物探技术的需求,以航空快速移动平台为主要载体,旨在构建一机、多功能、模块化航空探测技术平台,提升高效率、高精度、多参数联合探测技术能力,力争实现航空地球物理勘查技术装备国产化,使我国航空物探技术达到国际先进水平,提高国际竞争力。目前共部署 6 个项目,主要开展航空重力及重力梯度测量技术、吊舱式和固定翼时间域航空电磁测量技术、无人机三分量航空磁场测量技术、高分辨率航空伽玛能谱测量及机载成像光谱测量技术、典型覆盖区航空地球物理技术示范与处理解释软件平台的研发工作。

基于“十二五”863 计划相关研究工作基础,“深地专项”对技术装备的研发指标提出了更接近国际水平的要求(表 3)。除了航空重力梯度测量系统仍主要处于实验室样机和工程样机研发阶段外,我国在其他机载测量技术方向都已将攻关重点转向了实用化技术研究。因此,专项对成果已具备应用潜力的项目特别提出了飞行测试和典型覆盖区航空

表 2 地面—井中地球物理探测技术装备关键技术指标

Table 2 Main technical indicators of surface and borehole geophysical prospecting technologies and equipment

装备	主要技术指标	国际当前	国内当前	专项目标
石英弹簧重力仪	读数精度/(10^{-5}m/s^2)	5.0	20.0	5~10
	量程/(10^{-5}m/s^2)	8000	7000	8000
三分量 MEMS 井中重力仪	分辨率/(10^{-5}m/s^2)	1	/	5
	量程/(10^{-5}m/s^2)	7000	/	10000
宽频感应式磁场传感器	噪声/($\text{nT} \cdot \sqrt{\text{Hz}}$ @1Hz)	1×10^{-4}	3×10^{-4}	2×10^{-4}
	噪声/($\text{nT} \cdot \sqrt{\text{Hz}}$ @1000Hz)	5×10^{-6}	10×10^{-6}	3×10^{-6}
铯光泵磁力仪	灵敏度/(mv/nT @1Hz)	150	200	300
	灵敏度/pT	3	10	6
中子伽马测井仪	测量范围/nT	15000~100000	20000~100000	15000~105000
	采集元素数量	18	12	16
	伽马能谱采集范围/keV	600~10000	600~10000	600~10000

表3 航空地球物理探测技术装备相关项目关键指标

Table 3 Main technical indicators of airborne geophysical prospecting technologies and equipment

装备	技术指标	国际当前	国内当前	专项指标
航空重力仪	测量精度/(10^{-5} m/s ² /100s)	0.5~0.6	0.8~1.0	0.6
	静态精度/(10^{-5} m/s ²)	0.1	0.29	0.28
直升机时间域航空电磁探测系统	发射磁矩/Am ²	1.3×10^6	2.8×10^5	1.35×10^6
	静态噪声水平/nT	$< \pm 0.5$	$< \pm 1$	$< \pm 0.1$
	勘探深度/m	~800	300~400	~650
直升机航空大地电磁探测系统	系统噪声水平/(fT/@20Hz)	~30	/	20
	探测深度/km	1~3	/	1.5
固定翼航磁三分量测量系统	动态噪声/nT	50~100	30	20
	测量总精度/nT	/	/	± 2.5
航磁全张量梯度测量系统	动态噪声/(pT/m)	± 10	± 90	± 30
航空伽马能谱仪	能量分辨率/(%@0.661MeV)	7.5~8.0	7.5~8.0	3.8
	单通道上限计数率/cps	100 K~250 K	200 K	500 K
机载成像光谱仪	视场角/ $^{\circ}$	35~60	< 60	75
	空间像元数	500~1600	500~1600	2800

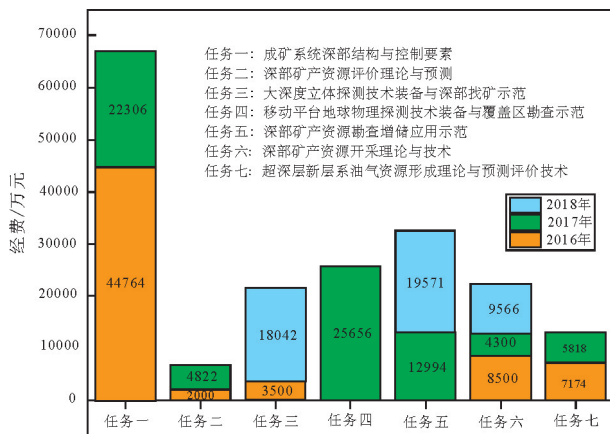


图2 各任务方向的专项经费分布情况
Fig.2 Distribution of allocated funds in each task

地球物理技术示范要求。为推动航空物探组合勘查和系统系统集成技术的发展,专项还特别对大深度高分辨率综合航空地球物理勘探技术、空-地-井协同地球物理探测技术、综合航空地球物理数据处理、解释和管理软件平台的研发进行了支持。相关项目的重点示范任务将包括:在内蒙古赤峰地区开展森林草原覆盖区航磁或直升机 TEM/磁-地面重磁电-测井联合探测多金属矿技术方法研究,在山东齐河地区开展平原厚覆盖区直升机重/磁测量系统-地面重磁电震-钻孔资料联合探测磁铁矿技术方法研究,以及在新疆东天山地区开展戈壁荒漠典型覆盖区新型航空地球物理勘查仪器及数据处理

解释系统和空-地-井协同快速勘查技术研究。

4.5 深部矿产资源勘查增储应用示范

该任务方向共部署 12 个项目,主要以大宗紧缺矿产(铜、铅锌、镍、金等)、战略新兴矿产(稀有、稀散、稀土等)、“粮食”矿产(钾、磷等)和能源矿产(铀、锂等)为重点,在华南陆内、华北克拉通、青藏高原和中亚造山带等成矿系统及其重要成矿带,优选若干深部潜力巨大、有望成为未来国家大型资源基地的矿集区,建设深部 3000 m 资源勘查科技示范工程,评价深部 3000 m 资源潜力,力争取得深部找矿突破,为大型深部资源基地的建设提供技术支撑(表 4)。本任务相关项目在执行过程中必须密切跟踪勘查板块内其他关联项目的执行情况,以获得理论、数据和靶区选择方面强有力的外部支撑。

4.6 深部矿产资源开采理论与技术

专项在深部资源开采领域共部署 10 个项目,研究工作主要是针对深部金属和煤炭开采的高应力、高水压力、高地温、大井深、强烈扰动等重大难题,构建深地资源开采基础理论体系,突破深井建设与提升关键技术及装备,发展智能化无人化绿色采矿技术,并开展技术示范,为实现 1500 m 深度规模化采矿和 1500 m 以深矿产资源开采提供理论与技术支撑。基础理论研究将重点围绕深部岩体力学与开采理论体系、煤矿深井建设基础理论体系、特厚煤层智能化综放开采群组放煤与采放协调控制理

论的构建展开。在硬件研发方面,金属矿相关研究工作重点突出对无人化、绿色化、集约化采矿技术和装备的探索,煤矿相关研究工作则重点攻关围岩控制、综放开采、分选和就地填充等作业环节的智能化技术和装备。

4.7 超深层新层系油气资源形成理论与评价技术

该任务方向共部署3个项目,主要针对我国研究较少的超深层新层系油气资源,立足我国主要克拉通盆地(塔里木、上扬子、华北)超深层及中新元古界,重点开展盆地原型恢复、烃源岩分布以及成

烃-成储-成藏机制研究,厘清油气成藏条件,评价油气资源潜力,优选有利勘探区带,提出重大勘探目标,为拓展我国超深层及中新元古界油气资源新领域,做好理论与技术超前储备。目前已部署的项目重点开展中新元古代古大陆重建与原型盆地分布预测研究、超深层及中新元古界油气资源形成保持机制与分布预测研究,针对超深层(6500~10000 m)地球物理勘查的技术瓶颈,开展重磁电与地震采集、处理解释技术研发。

表4 资源勘查增储示范研究重点

Table 4 Priorities of demonstration studies of resources exploration and increasing reserves

矿床类别	重点工作区	预期成效
碱性岩-碳酸岩型稀土矿床	川西冕宁-西昌稀土矿集区	构建深部找矿的矿物学、地球化学和地球物理找矿方法组合,总结新的找矿理论,并开展深部稀土资源量评估,新发现大型稀土资源基地
花岗岩型铌钽矿床	湖南省临武县香花岭地区	总结矿床成因及成矿模式,结合物探和化探综合勘探手段分析工作区内稀有金属矿异常区域,确定示范靶区并实施钻探验证
蚀变花岗岩型铍铷钽矿床	湘东幕阜山-连云山地区	查明成矿岩体的成因、演化规律,明确成岩成矿年代、巴尔哲岩体与区域内燕山晚期岩浆大爆发的关系,查明岩浆-热液演化过程以及稀有金属元素的分离富集机制,建立矿床成因模型
巴尔哲矿床	大兴安岭中南段	探讨高演化花岗岩浆晚期-热液过程中稀有金属的富集成矿机制,建立主要矿床成矿模型。开展找矿预测,总结有效方法技术组合
石灰岩型铀矿床、维拉斯托稀有金属-锡多金属矿	大兴安岭中南段	揭示稀有金属元素富集机理和空间分布规律,建立稀有金属矿床的成矿模型和找矿勘查模型,发现大型资源基地
余石山铌钽矿床	甘肃中祁连西段余石山	建立三维多元定量成矿预测体系,实现深部弱信息的综合提取与判别,圈定重点靶区
滇东-黔西古风化沉积型镓(铌-稀土)富集区	威宁炉山镇	查明热液型铀矿时空分布规律和成矿规律,构建1000 m以深、3000 m以浅热液型铀矿资源勘查成套技术体系,建立热液型铀矿三维地质模型与成矿模型,新发现大型铀资源基地,提交值得综合评价远景区
热液型铀矿	相山地区、诸广地区	建立典型矿集区三维地质模型,揭示砂岩型铀矿深部成矿规律,构建成矿模式;建立砂岩型铀矿深部探测技术方法组合;提交深部找矿靶区,摸清重点靶区2000 m以浅资源潜力
砂岩型铀矿	泾川、夏子街、海坨子	建立适合于500~1000 m以浅的地、物、化综合勘查评价的技术方法体系,对成矿潜力较大的靶区进行深部钻探验证,探求新的找矿空间和资源量
硬岩型锂矿	川西甲基卡、新疆卡鲁安	查明黄金口背斜地区卤水成因及物质来源,总结四川盆地三叠纪含锂能源金属卤水的区域分布规律,预测川东北黄金口背斜地区卤水锂能源金属的资源潜力,优选靶区
卤水型锂矿床	四川黄金口	建立四川盆地东部(川东)三叠系杂卤石与富钾卤水成矿模式与找矿模型;形成3000 m以浅深部钾盐探测成套技术;评估普光目标资源基地3000 m以浅、3000~5000 m可溶性颗粒杂卤石资源量。新发现大型海相固体可溶性颗粒杂卤石型钾盐矿产基地
杂卤石与富钾卤水	四川盆地东部	揭示古潜山和深部岩溶热储形成与演化机制,建立深部地热资源成因与蕴藏模式,提出深部岩溶热储结构与温度探测的地球化学-地球物理组合法,研发适于非均质碳酸盐岩地层的经济高效钻、完井关键技术,研究深部地热资源动态评价方法与储层改造增产关键技术
地热	雄安新区	

5 展 望

“深地专项”是落实我国深地科技战略的重要载体。专项按照“全链条设计,一体化组织实施”的要求,在任务部署中坚持需求牵引和目标导向原则,瞄准资源领域“向地球深部进军”的战略方向,紧密围绕勘查和开采行业对于相关基础理论、共性关键技术和重大装备、科技成果示范推广的实际需求,统筹部署研究任务。专项各项目是落实专项目标的基本单元,加强上下游和横向布局的各项目间的有机衔接,实现研发活动间的快速传导和相互促进,对于提高专项的实施成效至关重要。因此,专项执行过程中既需要各项目主动向专项目标看齐,也需要在管理层面开展适度的协同创新引导。一方面专项管理单位可通过组织主题论坛、专题研究等促进关联项目的学术交流与研发合作,另一方面相关部门和单位应协力推动信息公开和科学数据共享制度建设,以信息快速流动提升研究效率。同时,还应尽早启动专项成果的综合集成工作,加快开发专项综合数据库,及时总结专项创新成果,并加快科技成果向地勘和矿业一线的转移转化,切实发挥科技创新对我国深部找矿和资源开发实践的支撑作用。

致谢: 本文的撰写工作得到了“深地专项”总体专家组和相关科技工作者的大力支持,在此对各位专家、学者提出的宝贵意见建议表示感谢!

References

- Dong Shuwen, Li Tingdong, Chen Xuanhua, Gao Rui, Lü Qingtian, Shi Yaolin, Huang Dalian, Yang Jingsui, Wang Xueqiu, Wei Wenbo, Chen Qunce. 2014. SinoProbe revealed crustal structures, deep processes, and metallogenic background within China continent [J]. *Earth Science Frontiers*, 21(3):201-225(in Chinese with English abstract).
- Fan Jun, Guo Yuanyang, Dong Shuwen. 2018. Analysis on DREAM—Deep resources exploration and mining, a special project in the framework of National Key R&D Program of China[J]. *Nonferrous Metals Engineering*, 8(3): 1-6(in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences. 2017. Overview of the project on deep structure and mineralization process of collision orogenic metallogenic system in Tibet-plateau. [EB/OL]. <http://tibet-nkrdp.cags.ac.cn/XMGK/365.htm>(in Chinese).
- Li Xibing, Zhou Jian, Wang Shaofeng, Liu Bing. 2017. Review and practice of deep mining for solid mineral resources[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 27 (6) :1236-1262(in Chinese with English abstract).
- Liu Guangding. 2015. Deep exploration: Interpreting mineralization process and expanding deep resources [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 58(12) :4317-4318(in Chinese with English abstract).
- Lü Qingtian, Zhang Xiaopei, Tang Jingtian, Jin Sheng, Niu Jianjun, Wang Xuben, Liang Lianzhong, Lin Pinrong, Yao Changli, Gao Wenli, Gu Jiansong, Han Ligu, Cai Yaoze, Zhang Jinchang, Liu Baolin, Zhaojinhua. 2019. Metalliferous mining geophysics of China: Review and new development—A synthesis of 863 Program [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, accepted(in Chinese with English abstract).
- Sun Weidong, Ling Mingxing, Zhang Rongqing, Zhang Liuyi, Chen Chen. 2017. A brief introduction of "Deep Process and Resource Effect of Important Yanshanian Events" project[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(4):535-539, 533(in Chinese with English abstract).
- Yang Jianfeng, Ma Teng, Wang Yao, Zhang Cuiguang. 2017. Trends of mineral resources development and consumption in China[J]. *Land and Resources Information*, (12) :41-46(in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Xiao Wenjiao. 2015. Plate Tectonics, Geological Events and Resource Effects: Some New Advances in Geological Science [M]. Beijing, Science Press:421-447(in Chinese).

附中文参考文献

- 董树文,李廷栋,陈宣华,高锐,吕庆田,石耀霖,黄大年,杨经绥,王学求,魏文博,陈群策. 2014. 深部探测揭示中国地壳结构、深部过程与成矿作用背景[J]. *地学前缘*, 21 (3) :201-225.
- 樊俊,郭源阳,董树文. 2018. DREAM——国家重点研发计划深地资源勘查开采重点专项解析[J]. *有色金属工程*, 8(3): 1-6.
- 李夕兵,周健,王少锋,刘冰. 2017. 深部固体资源开采评述与探索[J]. *中国有色金属学报*, 27 (6) :1236-1262.
- 刘光鼎. 2015. 深部探测: 诠释成矿过程拓展深部资源[J]. *地球物理学报*, 58(12) :4317-4318.
- 吕庆田,张晓培,汤井田,金胜,牛建军,王绪本,梁连仲,林品荣,姚长利,高文利,顾建松,韩立国,蔡耀泽,张金昌,刘宝林,赵金花. 2019. 金属矿地球物理勘探技术与设备——863计划重大项目成果[J]. *地球物理学报*, 已接收.
- 孙卫东,凌明星,章荣清,张柳毅,陈晨. 2017. 国家重点研发计划:深地资源勘查开采“燕山期重大地质事件的深部过程与资源效应”项目简介[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 36(4):535-539, 533.
- 杨建锋,马腾,王尧,张翠光. 2017. 我国矿产资源开采与消费变化趋势[J]. *国土资源情报*, (12) :41-46.
- 翟明国,肖文交. 2015. 板块构造、地质事件与资源效应:地质科学若干新进展[M]. 北京:科学出版社:421-447.
- 中国地质科学院地质研究所. 2017. “青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程”项目概况[EB/OL]. <http://tibet-nkrdp.cags.ac.cn/XMGK/365.htm>.