



深部资源探测核心技术研发与应用^{*}

底青云 杨长春 朱日祥

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

摘要 为保障资源和能源的可持续发展,向地下深部要资源已成为国内外最主要的战略选择之一。因此,开展深部地球物理核心技术研发及勘探应用示范,成为中科院的一个重要战略部署。研发装备覆盖了电法、磁法、地震以及重力测量4类地球物理探测技术,可以开展“陆、海、空”全方位探测。我们借鉴国际上先进的深部资源地球物理探测计划和技术,并依据矿产资源“攻深探盲”中靶区优选、靶区勘探、矿体精细勘查3个层面的技术需求,研制航空超导全张量磁梯度测量系统、航空瞬变电磁勘探系统、多通道瞬变电磁勘探系统、金属矿地震勘探系统、深部矿体测井系统、海底地球物理探测系统。同时,在古亚洲成矿域、环太平洋成矿域、特提斯成矿域和特色成矿域选择典型区域开展地质构造与成矿机理和矿床分布规律研究,探索区域成矿规律和找矿模式,并对研发装备的可靠性、一致性和实用性作实地检验,力争在找矿实践中不断完善研发产品,为国家资源能源安全和全球战略提供技术保障。

关键词 深部资源探测,核心技术,攻深探盲,找矿模式,应用示范

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2012.03.019



底青云研究员

^{*} 收稿日期 2012年4月23日

1 引言

矿产资源作为人类社会赖以生存和发展的重要物质基础,已成为制约我国经济发展与国家安全保障的核心要素之一。随着发展中人口大国工

业化进程的加速,一些传统的资源输出国将转为资源进口国,全球资源竞争将愈演愈烈,严重依赖进口将危及国家安全和经济可持续发展。综合考虑中国经济运行与发展势态以及发达国家所走过的工业化历程,未来15—20年我国矿产资源消耗强度将会持续增加,这就要求我们寻求科学的应对措施。资源探测技术研发是解决这一问题最为重要的战略部署之一,从新中国建立之初的向科学进军到改革开放后的“863”计划以及一系列科技攻关项目和国家专项的实施,极大地推动了资源探测技术的进步,支撑我国发现了许多新矿种,增大了已有矿



种的储量,使我国发现矿产 171 种,其中探明储量的有 159 种。我国已探明的浅层矿储量约占世界总量的 12%,仅次于美国和俄罗斯,居世界第 3 位^[1]。

已经探明的资源和储量一直是我国经济建设的重要保障。然而,随着国民经济的飞速发展,许多浅层矿已被开采殆尽,成为危机矿山。石油、铁砂等资源对国际市场的依赖越来越强,对外依存度已高达 50%—80%,超过了国家经济安全警戒线(40%)。尽管如此,我国的潜在资源是巨大的,发现深部矿和未知矿的潜力很大。主要依据是:(1)全球 3 大主要成矿域(环太平洋成矿域、古亚洲成矿域、特提斯成矿域)在我国都有分布(图 1),且中国大陆叠加了多期次大规模成矿作用,说明我国有很好的成矿地质条件;(2)我国已发现矿床(点)20 多万处,但经过勘探评价的矿床只有 2 万多个,因装备和技术的原因,绝大多数矿床(点)尚未探明,众多物化探异常还有待采用新装备和新技术进一步查证^[2];(3)我国西部地区地质矿产工作程度低,不仅其深部矿产资源前景尚未摸清,其地表或近地表还有巨大找矿潜力尚待挖掘;(4)我国东部地区植被和红土覆盖区广泛分布,还存在很多找矿盲区;(5)世界上一些矿业大国矿床勘探开采深度已达 2 500—4 000m,而

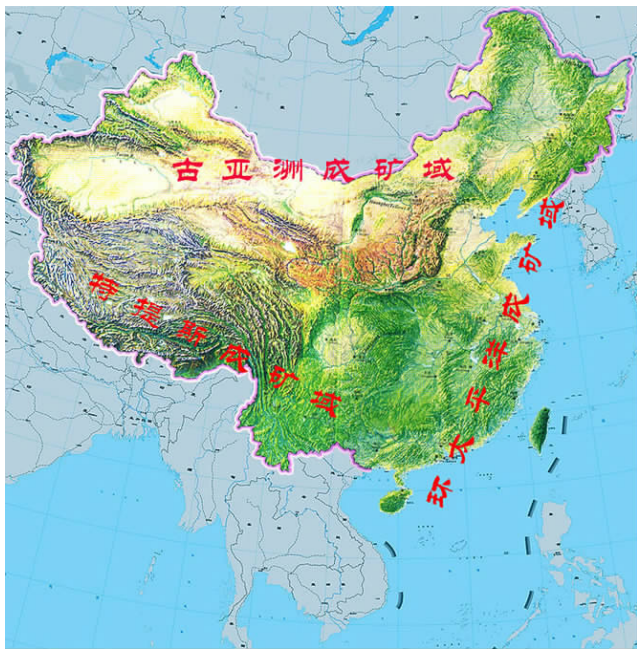


图 1 全球三大主要成矿域在我国的分布示意图

我国已有矿床的开采深度大都小于 500m。采用新装备新技术勘探开发深部(500—3 000m)第二找矿空间已被国家列为资源探测新的战略目标^[2-10]。

2 国内外资源勘查发展趋势

实际上危机矿山不仅中国有,国外同样有,浅层矿告罄是国际大趋势,因此,深部矿的探测计划被相继提出。

板块构造理论的建立被认为是地学的一次革命,这一理论改变了人类对成矿规律的认识和找矿方向。认识岩石圈演化的动力学过程被誉为创建地球科学新理论的突破口,利用各种地球物理场给地球内部作 CT 的尝试可以说是地球科学的另一个重大变革。这一技术已被广泛应用到资源能源的勘探与开发领域,这对人类认识地球资源禀赋具有划时代意义。

上世纪末,发达国家相继启动了一系列研究计划,比如澳大利亚的“玻璃地球计划”(图 2^[11]),其目标是使地下 3 000 米变得“透明”,力图建立新的成矿理论,并发现更多的矿产资源。

我国为透明化地球内部结构和认识大陆形成演化,从上世纪末相继实施了大陆地学大断面、大陆科学深钻、华北克拉通破坏、SinoProbe、极低频探地工程等研究计划和国家重大专项,大大加深了我们对中国大陆深部结构的认识。但我国在地壳与深部探测方面,与欧美等发达国家相比仍有较大差距,特别是探测装备严重依赖国外,远远不能满足社会经济发展和国土安全的需要。因此,亟待建立有自主知识产权的地壳深部探测装备、技术方法和理论体系,为解决国家资源能源环境等重大问题提供科技支撑。

长期以来,我国大型地球物理探测装备和核心软件几乎全部依赖进口。大型探测装备的研发和生产处于国外少数公司掌控之中,形成市场垄断,价格昂贵,并开始对我国实施高端产品技术封锁。地球物理探测装备与技术落后的现状严重制约着我国矿产资源勘探的发展,也直接制约着我国参与国际资源竞争的能力。因而,迫切需要核心技术突破

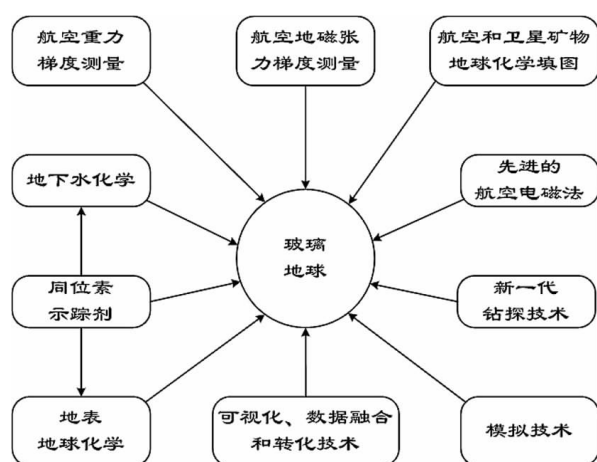


图2 澳大利亚“玻璃地球”计划的主要技术方法

和自主研发深部资源探测装备。鉴于此,中科院统一部署,集中院内和国内相关领域的优势队伍,建设深部资源探测技术研发与应用示范基地,通过持续攻关研究,实现地球物理探测重大装备技术的自主研制和产业化,推动我国矿产资源“攻深探盲”取得重大突破,为我国“地下3 000米地球透明计划”的实施提供探测核心技术支持。

3 支撑矿业发展的深部探测核心技术

放眼全球,包括中国在内“金砖四国”的复兴和高速增长,再加上传统工业化国家既有的发展需要,全球未来50年对矿产资源的需求将是空前的,因而国际间矿产资源的争夺与再分配将是必然趋势。在此全球矿产资源需求背景下,中国必须依据国情和本土固有的矿产资源禀赋,制定较长时间尺度、可持续的矿产资源国家战略,进而构筑可预见的国家矿产资源供应体系。我们认为,立足本土矿产勘查与资源发现,采用长远、灵活和互惠互利的方式,构建一个国际化矿业产业链的风险对冲体系,应为我国矿产资源战略的核心。

一个国家的自然资源禀赋条件,既是客观存在,也会随着社会经济发展和需求的变化而变化。对于一个大国而言,中国的矿产资源禀赋尽管不算世界上最好的,但在资源总量、品种齐全度和资源潜力方面均占据重要地位。目前,我国一些大宗矿

产资源对外依存度高于国家经济的安全警戒线,这一现状引起我国政府的高度关注。实际上,我国有很好的成矿地质条件,立足国内,找矿增储潜力巨大;问题是茫茫大地,矿在哪里(图3)?我们认为,出路就在研发适应中国地质条件的“攻深探盲”地球物理探测装备。用这些装备从空间、地面、海洋开展综合的立体探测,给我们的地球作CT透视检查。因为重、磁、电、震等地球物理场从不同侧面反映了地下地质结构和目标地质体的物理性质,不同成矿构造、不同矿体会引起这些地球物理场各种显著或微弱变化,只有通过多种装备仪器,采集不同地球物理场信息并加以综合分析,才能实现地下矿体分布的准确识别与描述。



图3 茫茫大地,矿在哪里?

依据矿产资源“攻深探盲”工作勘探流程中靶区优选、靶区勘探、矿体精细勘查3个层面的技术需求(图4),我们认为,航空超导全张量磁梯度测量系统、航空瞬变电磁勘探系统、多通道瞬变电磁勘探系统、金属矿地震勘探系统、深部矿床测井系统、海底地球物理探测系统等是国内矿产资源勘探行业急需的装备。同时,从构建国家资源安全保障体系出发,重力测量系统和卫星磁测载荷系统的研发也需要前瞻布局。这几大系统面向的核心技术问题主要为:(1)高灵敏度传感器,包括结构设计、制备工艺、微弱信号读出电路、ASIC芯片;(2)数据传输与系统集成,包括低功耗、高效传输、数据无损高效压缩、同步时钟、快速数据存储;(3)搭载平台,包括

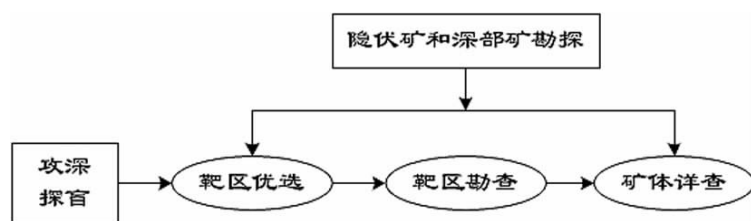


图4 “攻深探盲”勘探流程示意图

飞机姿态测量、飞机姿态控制、飞行干扰消除、飞行效应补偿；(4)地球物理观测数据成像技术，包括矿体地球物理响应特征建模、矿体三维成像技术、软件集成。

4 示范工程

矿产资源匮乏已经成为限制我国经济发展的瓶颈，那么我国的矿产资源能否自给？要回答这个问题，必须首先解决矿产资源勘探的瓶颈问题。现已查明，我国重要资源探明程度仅为12.5%—35%，远低于矿业发达国家60.5%—73%的平均值，表明我国资源找矿潜力巨大，而待探明矿产资源主体应该在深部。只要加强基础地质研究和提高勘查装备技术水平，在我国再发现一大批新矿床、再增加一大批新储量是完全可能的(图5)。为此，在加强装备研发的同时，还必须注重基础地质和成矿规律研究。深部探测装备要求在复杂自然条件下具备稳定性、可靠性和一致性，这就要求新研发的装备必须在野外现场反复应用示范，才能达到上述“三性”而

实现产业化，破解我国长期以来装备“研而不发”的尴尬局面。因此，我们提出以新研制的地球物理探测装备为依托，选择我国典型的地质、地貌条件(覆盖区、地形复杂区)和埋藏深度的代表性已知矿区，进行综合地球物理勘探试验，检验装备的探测能力，反馈其在实际应用中

出现的问题，以完善其性能。研究不同类型矿床成矿背景、过程和分布规律，明确控矿要素和找矿标志及其地球物理表征，建立矿床预测模型、优选示范区，为研制装备和技术的检验与应用奠定基础。研究矿床形成的理论深度、成矿规律和矿床地质模型；不同控矿要素的地球物理场响应特征与分布预测；矿床三维模型的地质、地球物理表征。在所选示范区内开展综合地球物理探测，对研制装备进行检验和应用，推动装备与技术的实用化和产业化。因此，选择我国三大成矿域中的甘肃北山—阿拉善、长江中下游、三江地区中南段，特色成矿系统中的塔里木—天山等区块为示范区，利用新研制装备技术进行不同类型矿床的“攻深探盲”示范性勘查研究工作。

位于古亚洲洋闭合形成的中亚造山带中部的甘肃北山—阿拉善，大地构造上属于华北地块、塔里木地块和西伯利亚地块三者的交接部位，曾长期受板块俯冲的影响和改造，导致北山—阿拉善地区构造非常复杂。从前寒武纪到燕山期都有岩浆侵位

或火山喷发活动，与之有关的成矿作用形成了数量众多的铜-镍-铂族矿床、铜-金矿床、铜-铅-锌-银矿床。其东有蒙古国超大型的欧玉陶勒盖斑岩铜金矿床(距中蒙边界约50公里)，铜储量达到2000万吨，金储量达到1300吨，形成时代约为370 Ma，属于古亚洲成矿域。西侧乌兹别克斯坦的黑色岩系中穆龙套金矿(金储量5000吨)和阿克泰佩银矿(银储量约2.5万吨)所探明的储量分别与

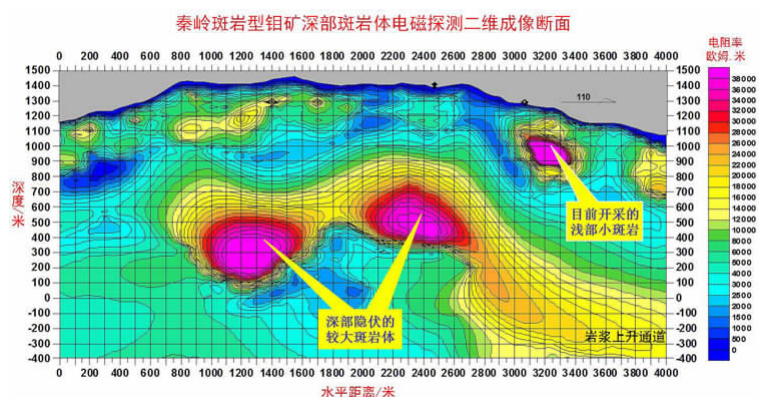


图5 地球物理探测揭示的目前开采的浅部矿体与深部隐伏矿体示意图

我国保有金矿和独立银矿总储量相当,哈萨克斯坦楚·萨雷苏和锡尔达林铀矿省探明可地浸砂岩铀矿储量达 85.8 万吨,居世界首位。同属古亚洲成矿域的中国境内甘肃北山—阿拉善等地段则没有发现类似的矿床。难道超大型矿床真的不过国界吗?从基础研究的角度看,造山带与主要成矿区带的宏观地质格架与地质演化历史不明以及与成矿有关的深部作用不清是制约我们认识中亚型造山带矿产资源潜力的关键科学问题。针对不同的地貌景观条件和不同的矿床类型,如何研发并应用针对性的技术方法,实现面上快速缩小靶区和点上定位勘查突破则是关键技术手段问题,亟待新的深部探测装备给以解答。

5 结论

主要以高灵敏度传感器与系统集成、地球物理观测数据成像技术、控矿要素的识别及其地球物理场表征和“攻深探盲”勘探流程构成的深部资源探测核心技术,是未来我国资源可持续供给和国家资源战略安全的重要保障。只要我们坚持将这些探测装备核心技术研发与区域地质、成矿理论和找矿实践密切结合,我们自主研发的深部探测装备一定会实现从技术研发、工程应用、产业化到实用化的目标。通过“攻深探盲”,实现找矿勘查 4 个转变:即探测方式从二维向三维转变;从以浅部矿、露头矿勘探为主向深部矿、隐伏矿勘探转变;从陆地矿产勘探向海域勘探拓展;从简单地质条件向复杂地质条件的转变。

通过优化整合已有技术平台和新研发的技术平台,组建具有国际竞争力的深部探测装备技术研

发队伍和实用化深部资源勘探仪器。同时联合国内优势科研资源,建成具有国际影响力的“深部资源勘探装备研发中心”,为未来我国实施“地下 3 000 米地球透明计划”提供理论和技术保障。

致谢 衷心感谢刘建明、秦克章、李献华、于连忠、王妙月研究员的大力支持和对本文的认真修改!

主要参考文献

- 1 曾培炎. 国务院关于矿产资源合理利用、保护和管理工作的报告. 全国人民代表大会常务委员会公报, 2007 (1): 104-110.
- 2 陈毓川. 我国矿产资源形势与对策. 全国第三届成矿理论和找矿方法学术讨论会大会报告. 海口, 2007.
- 3 雷涯邻. 我国矿产资源安全现状与对策. 新浪财经, 2008. 7.17.
- 4 国土资源部. 急需大宗矿产资源保障策略. 2008.
- 5 汪民. 在全国地质勘查行业管理座谈会上的讲话. 呼和浩特, 2008.
- 6 袁爱国, 王庆飞, 徐浩. 国内金属矿产资源供应力的现状与对策分析. 资源与产业, 2007, 9(2): 68-71.
- 7 中国商品网. 2007 年我国矿产品贸易形势分析. 2008.9.8.
- 8 新华网. 2007 年我国外贸进出口总值首次超过 2 万亿美元. 2008.1.11.
- 9 刘玉强, 乔繁盛. 我国矿产资源及矿产品供需形势与建议. 矿产与地质, 2007, 21: 1-7.
- 10 徐绍史. 统筹规划 加强调控, 不断提高矿产资源对经济社会发展的保障能力. 在全国矿产资源规划编制工作座谈会上的讲话, 2007.
- 11 刘树臣. 发展新一代矿产勘探技术——澳大利亚玻璃地球计划的启示. 地质与勘探, 2003, 39(5): 53-56.

Key Technology Development of Deep Resources Exploration and Field Experimentation

Di Qingyun Yang Changchun Zhu Rixiang

(Institute of Geology and Geophysics, CAS 100029 Beijing)

Abstract To guarantee the sustainable development of resources and energy, it is one of the major strategic selections to explore deeply-buried resources worldwide. It becomes an important strategic plan for Chinese Academy of Sciences to carry out the core technology research and development of deep geophysical exploration and application demonstration. Our R&D equipments covering



the electrical method, magnetic, seismic, and gravity measurements of four types of geophysical technology can conduct comprehensive survey of land, sea and air. To meet the technological needs, which include target area optimized selection, target area exploration and fine deposit exploration, from mineral exploration of “concealed and deeply buried deposit”, we have learned from some internationally-advanced program and technology of deep resources for geophysical exploration and done research on the following area such as research and develop airborne super-conduction full-tensor magnetism-gradient system, airborne transient electromagnetic exploration system, multi-channel transient electromagnetic exploration system, metal deposit seismic exploration system, deep deposit logging system and seabed geophysical exploration system. We start the research on geological structure, mineralizing mechanism and the law of deposit distribution to study the regional mineralizing law and pattern of mineral exploration on the typical target areas such as ancient Asia metallogenic province, Pacific Rim metallogenic province, Tethys metallogenic province and feature metallogenic province. We would also do field test on the reliability, consistency and practicality of the equipments we produce, perfecting our product during the on-site use of mineral exploration so that providing technical support for national resources security and global strategic plan.

Keywords deep resources exploration, key technology development, mineral exploration of concealed and deeply buried deposit, field experimentation of resources exploration

Di Qingyun Professor of Institute of Geology and Geophysics, CAS, born in Gaocheng County, Shijiazhuang City, Hebei Province, in December 1964, she received her B. S. and M. S. degrees in Changchun College of Geology in 1987 and 1990, and PhD in Institute of Geophysics, CAS in 1998. As an advanced visiting scholar, she visited Geophysics School of University of Alberta, Canada in 2002, and the college of Mines and Earth sciences of University of Utah, USA in 2007. Her main research interests include Geoelectromagnetics, High density resistivity imaging and GPR. Now she hosts resource probing subsystem research of Very Low Frequency Electromagnetic Method Project, which is a major one of National Development and Reform Commission, and Surface Electromagnetic Probing System project, authorized by the Ministry of Land and Resources of PRC. She won the Zhao Jiuzhang Prize of Outstanding Youngth, the honor of Meritorious Heroine Prize of CAS and other awards. She has published more than 30 papers in SCI journals during the last 5 years. E-mail: qydi@mail.iggcas.ac.cn

底青云 中科院地质与地球物理所研究员。1964 年 12 月出生于河北省石家庄藁城县。1987、1990 年分获原长春地质学院应用地球物理专业学士学位、硕士学位,1998 年获中科院地球物理所固体地球物理专业理学博士学位。于 2002 年及 2007 年为加拿大 Alberta 大学物理系和美国 Utah 大学矿与地球科学学院地质与地球物理系高级访问学者。主要从事地球电磁法、高密度电法、探地雷达法等方面的研究工作。主持国家发改委重大工程项目“极低频探地工程”的资源探测分系统研究和国土资源部地面电磁探测(SEP)系统研制。近 5 年在国内外 SCI 收录学术刊物和核心刊物上发表论文 30 余篇。获得“赵九章”优秀中青年科技奖、中科院“巾帼建功”等多项奖励。E-mail: qydi@mail.iggcas.ac.cn