

# 技术进步叩开探测地球深部之门

## ——记“深部探测技术与实验研究”专项(SinoProbe)的技术发展

■本报记者 潘锋 李晓明

自上世纪六七十年代地学革命以来,地球深部探测一直引领世界地球科学的发展。一定程度上,地球深部探测技术的发展标志着一个国家地球科学的水平。

2008年底,中国地球深部探测的“入地计划”拉开序幕。作为国家地壳探测工程的培育性研究计划,“深部探测技术与实验研究”专项(简称深部探测专项—SinoProbe)在财政部、科技部的支持下全面启动。

该专项由国土资源部管理,中国地质科学院组织实施。深部探测专项的核心任务是:为“地壳探测工程”解决关键探测技术难点,研制深部探测关键仪器设备,集成深部探测技术方法,作好关键技术准备。

技术准备。

这一核心任务背后的严峻现实却是,长期以来,我国地球深部探测实验用的仪器、装备、软件研发能力十分薄弱,所使用的高端产品完全依赖进口,自主创新能力和提升和创新性受到严重制约。

尽管落后欧美国家深部探测计划近30年,站在新的技术发展台阶上的深部探测专项具有明显的后发优势。经过中国科学家4年的艰苦努力和探索,我国深部探测关键技术和仪器设备研制取得重大进展,全面提升了我国深部探测和超深钻探技术,必将实现地质科学研究、深部资源勘查、自然灾害预测等重大发现,从深层次推动我国从地质大国向地质强国转变。

### 无缆自定位地震探测系统进展喜人

地震探测是地球深部探测分辨率最高的技术方法,也是油气勘探中最成熟的技术方法,广泛用于资源勘查、地球深部探测领域。

深部探测专项(SinoProbe-09-04)自主研发适用于深部探测特点的无缆自定位地震探测仪器,突破了有缆地震仪采集道数和道间距限制等技术瓶颈。通过GPS定位和授时实现了多个地震采集站的空间自定位和同步采集,摆脱了通讯电缆的束缚,无道数限制,自带存储器可长时间连续记录,实现了随时、随地(适用于复杂地形)、免测线测量、存储和无线混合接收、根据观测需要设置任意道间距的地震数据采集。多个采集站可任意组成静态GPS基线向量网,实现各观测点的三维空间位置自测量,定位精度为厘米级;支持任意排列的地震数据采集;基于802.11g无线通讯协议,实现了长距离无线状态监测和短距离无线地震数据快速回收。单个采集站支持iOS、安卓、Windows Phone平台的手持终端的无缝数据接入,可实时配置仪器工作参数、查看仪器运行状态和实时显示采集波形。数据回收中心支持有线、无线数据回收;兼容炸药、可控震源、地震锤等多种震源。



无缆自定位地震探测系统阵列

无缆自定位地震探测仪器支持多种地震勘探的野外作业方式,主要性能指标达到或超过国际同类地震仪设计水平。可广泛应用于矿集区资源调查、地壳深部反射及折射探测、天然地震观测等地球深部探测领域。

### 固定翼无人机航磁探测系统成型

无人机不仅是当今军事对抗的核心技术载体,也是资源勘查的关键技术平台。深部探测专项(SinoProbe-09-03)针对无人机航磁特点,相继在核心磁传感器、磁补偿等关键仪器部件方向取得突破。总体技术参数达到国际先进水平。

针对复杂地形条件和探测空域需求,“一站多机”式航磁无人机高效作业自动控制系统的研制取得了突破。已完成自主开发高精度、高稳定、高效的无人机自动飞行控制与导航系统,解决了自动驾驶仪、通讯链路和地面站控制等多项关键问题。2011年4月成功实现了“一站三机”飞行控制,有效提高了无人机航磁探测系统的适应性、安全性和可靠性。

该项技术的突破,表明我国在高效航磁探测系统研制方面迈出了坚实的一步,在该领域已达到国际先进水平。



一站三机飞行实验

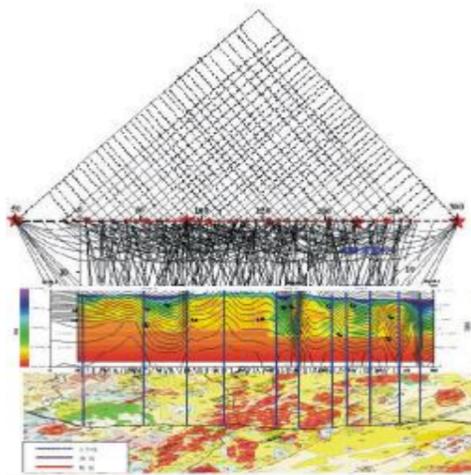
### 大功率地面电磁探测(SEP)系统研制新进展

对地壳电性和磁性测量是金属找矿勘探的基本手段之一,提高探测深度和分辨率是当今电磁仪的发展方向。目前,我国地质矿产勘查普遍使用的高端电磁仪几乎全是进口,核心技术受制于人。深部探测专项(SinoProbe-09-02)重点攻关核心传感器技术。课题组已突破极低频微弱信号检测技术、高磁导率磁芯设计和线圈设计与加工工艺等关键技术。经过野外对比测试表明,自主研发的传感器指标与国外先进产品指标相当。其中,工作频率范围10000s-1kHz,噪声水平在1Hz时-0.1pT/√Hz,功耗<200mW@6V,重量<6千克,长度~950mm,直径<6cm。



研究人员在安装调试SEP磁传感器

### 深地震反射与折射同震源同机联合采集技术获突破



野外观测系统与反演的地壳浅层初步结果

深部探测犹如利刃切开地壳与上地幔,追踪地球演化。深地震反射技术如CT扫描一样获得地壳精细结构图像,地震折射技术获得地壳速度,有助于判断深部物质的属性,但其分辨尺度不甚精细。两者的结合就可以既获得结构直观信息,又获得判断介质性质的间接信息,这是地壳探测技术的一个进步。深部探测专项(SinoProbe-02)开展实验,成功地在同一根线缆上同时实现了深地震反射与折射同震源同机联合采集技术的突破。

这项技术关键有二:一是将改制的折射地震三分量检波器接在反射地震采集站上,由反射地震仪接收宽角反射信号,实现与反射信号同缆传输、同机接收;二是同震源同时激发,即深地震反射和宽角地震反射共享相同震源和激发时间。两项技术均涉及仪器改制、野外试验、资料处理、地壳模型计算等一系列技术实验。采集系统,反射采用目前主流地震采集设备Sercel 408/428,折射使用改制的L22型仪器,在道集上,宽角反射三分量检波器拾取的地震信号与反射混排,实现了地壳结构和物性信息的同时获取。在华北北缘地震实验中,三分量数据反演的速度结构与反射初至波层析反演结果吻合很好,且比反射初至波层析反演结果深度大。

这项技术可广泛应用于地壳结构探测、三维地质填图、矿产资源和地质灾害深部背景调查等领域。被认为是深部探测的一个亮点。

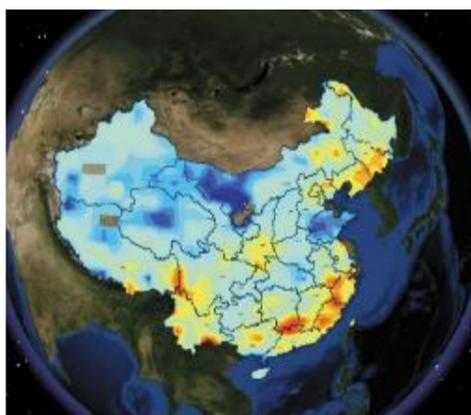
### 地下物质成分探测技术取得骄人成绩

元素周期表列出了所有元素的原子结构和化学性质,但是迄今为止,人们对这些元素在地球表面是如何分布的却知之甚少。地球化学家的一个梦寐以求的理想是绘制出化学元素在全球的分布的地球化学图。

深部探测专项(SinoProbe-04)创新性地发展了高精度地壳元素分析技术,首次实现对地壳表层78个天然元素的高精度分析,所有元素分析精度和灵敏度处于国际领先水平。首次研发了基于ArcGlobe的“化学地球”软件,这是世界上首个能提供具有三维地球化学属性的应用系统,可实现全球地球化学图制作和发布。

目前专项初步建立了一个覆盖全国的地球化学基准网,涵盖地壳全部元素,为研究中国大陆过去地球化学演化历史和预测未来全球化学变化提供了参照标尺,同时还会对人们赖以生存的地球化学环境、工业化进程所造成的影响提供最直接的评价依据。

此外,纳米深穿透地球化学探测技术取得了原创性成果。发明了纳米微粒探测技术,包括采集、分离、观测、分析的系列专用仪器设备和专有解释技术软件。直接探测深度可达500米,居于同类技术的国际领先水平。纳米微粒的发现理论上使得勘查地球化学从描述性模型走向实证性科学,被国际同行公认为近些年勘查地球化学最显著的进展。国际应用地球化学学术会议的3个评委会一致称其为“创新性研究成果”,“对覆盖区矿产勘查具有深刻影响”。



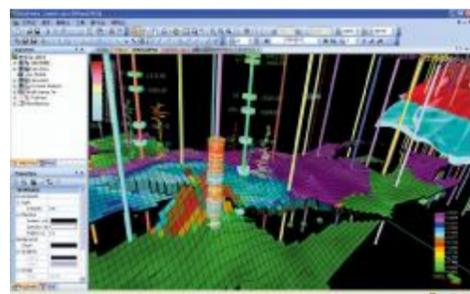
中国“化学地球”(Au分布)

### 移动平台综合地球物理数据处理与集成系统填补国内空白

深部探测专项(SinoProbe-09-01)以三维地质目标模型为中心的综合研究一体化集成分析平台,将多类勘探方法、海量数据、多种处理和解释技术融为一体,建立高效率的工作流程,实现深部数据融合与共享管理。

该系统研发策略是,通过引进和自主研发“红蓝军”双轨路线,完善高端平台功能联合,强化研发和应用人员的系统化训练;通过追踪国外前沿技术,规范化与国际对接的设计标准,加速跟进国外软件发展步伐。

这项研发成果具有跨操作平台、数据融合、灵活扩充、数据共享管理等功能。该软件的自主研发和原创性技术突破亮点是,遵循国际高端地学软件的开发理念,完成了OpenPro图形库的软件架构设计,奠定了新一代软件自主性和原创性开发基础;严格按照设计流程,高质量完成架构支撑系统所涉及的基础组件、应用组件、交互处理模块、场景渲染模块、场景构造模块、地质场景建模模块、多通道可视化模块、大型数据处理与可视化模块等功能块;初步建成拥有自主知识产权的与国外最先进水平接近的“处理—分析—管理”一体化大型软件工作平台;研发了针对移动平台探测条件下的系列软件,填补了国外产品缺少的内容,满足大面积高效率探测任务需求。



移动平台综合地球物理数据处理与集成系统用户界面

### 地壳活动性与应力测量和监测技术日趋成熟



新型压磁应力解除系统和压磁应力监测系统样机

2011年3月11日13时46分,日本宫城北部发生里氏9.0级强烈地震,中国地质科学院平谷地应力综合监测站成功监测到此次地震前后应力及水位变化的宝贵信息,实验验证了新研制的地应力综合监测仪器具有良好的应用前景。

应力解除地应力测量方法是国际上公认的原地应力测量成熟方法,是国际岩石力学学会测试技术方法委员会推荐的技术。项目组对压磁元件结构进行了一系列优化设计和创新性研发,使其测试精度、可靠性及其可操作性得到显著提升,完成了新一代深孔压磁应力解除系统、深孔压磁监测系统样机的研制。目前该测试系统的测量深度从原先的几十米深已延伸到200米以上,到达了同类地应力测量及监测方法的国际领先水平。

此外,该项目在青藏高原东南缘进行的地应力测量与监测过程中也对这一新系统进行了实验。为该地区获取迄今为止最为系统的地应力测量成果,进而为地质灾害的预测预警提供了有力的技术支撑。

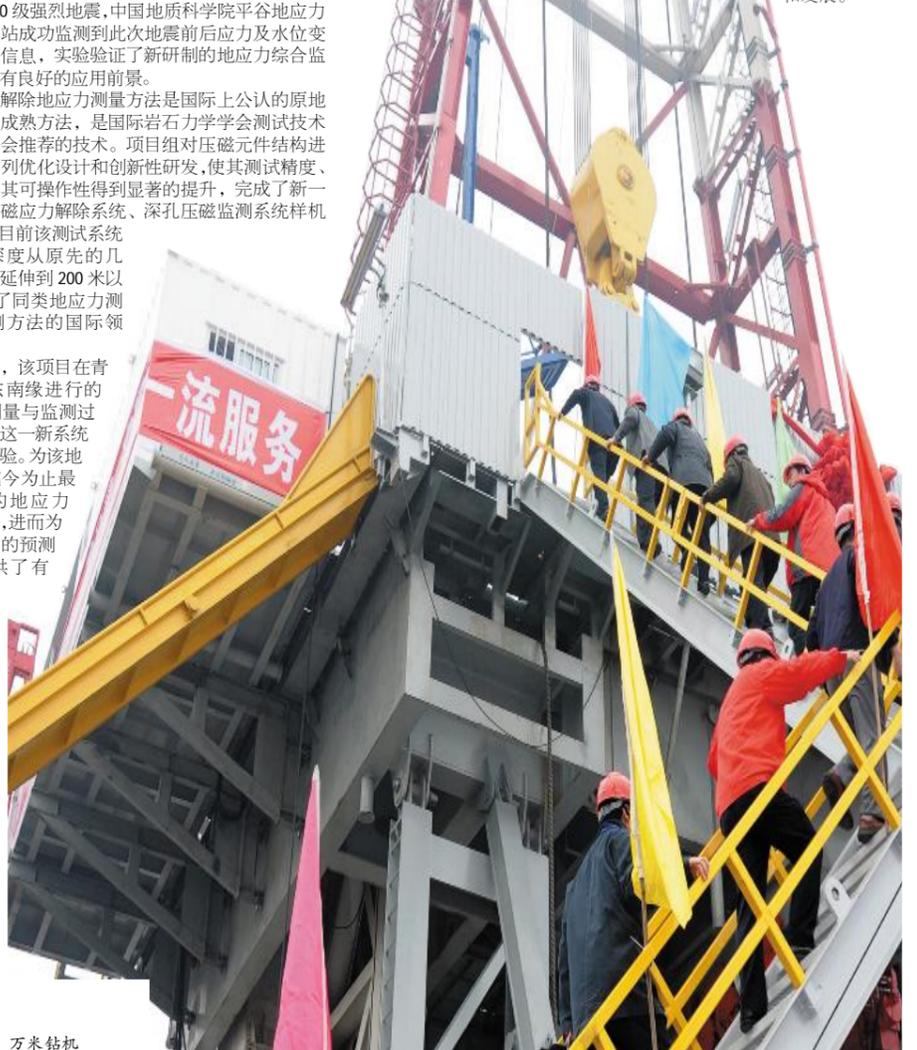
### 我国首台万米大陆科学钻探钻机研制下线

钻探技术是唯一可以直接获取深部样品的技术。目前,世界上超过万米的钻孔只有前苏联科拉半岛超深科学钻,为12261米。深部科学钻探工程已经列入国际重大科学计划,包括大陆科学钻探计划(ICDP)和大洋科学钻探计划(ODP)。科学钻探工程成功与否的一个主要因素取决于钻探装备超深钻进能力。

深部探测专项(SinoProbe-09-05)研制的万米大陆科学钻探钻机已于2011年12月20日成功下线。这标志着中国深部探测技术能力获得新突破。

该钻机在“深井高速大扭矩全液压顶驱系统”和“悬挂式自动钻杆排放装置”两大技术上实现突破。其中SP-1-01型高速大扭矩全液压顶驱为机电液一体化控制的钻并装置,采用了动力机直接驱动液泵构造闭环液控系统,具有效率高、调速性能好的特点,无须配置交流变频顶驱通常采用的发电机组、整流、逆变和变频装置,既提高了能量效率又大幅度降低制造成本。SP-1-02型全液压自动钻杆排放装置集成了机电液一体化技术,具有平移、回转、伸展、升降、夹持、调垂等多项功能和智能操作,实现了高空钻塔的无人排管操作。该钻机的研制具有“设计虚拟化、控制数字化、操作自动化和功能多样化”的“四化”特点,其整机设计理念、功能配置、制作工艺和产品质量接近国际一流水平。

目前,该钻机已整装待发,拟参与6600米深的松辽盆地“松科二井”的科学钻探任务,在实践中进行检验、改进和发展。



万米钻机