

地质找矿科技成果系列丛书之三

地球物理勘查技术

国土资源部科技与国际合作司

二〇一二年九月

地质找矿科技成果系列丛书

编委会

主 编：徐绍史

副主编：徐德明 汪 民

编委会主任：钟自然

编委会副主任：姜建军 彭齐鸣 李金发

编 委：（以姓氏笔画为序）

王 昆	王宗起	付 英	白星碧	刘跃进	许大纯
张金昌	连长云	罗立强	郭珍旭	高锦曦	韩子夜
韩和平	熊盛青	谭永杰	鞠建华		

执行编委：（以姓氏笔画为序）

马 岩	马 梅	文 波	王少波	邓 玲	韦延光
兰井志	冉恒谦	史长义	任玉峰	刘凤山	刘 刚
刘 佳	吕振福	孙文泓	孙建华	朱勃霖	齐 华
何凯涛	宋 元	张成强	张学君	张明华	张振华
张振海	张 强	张辉旭	李永胜	李 冰	李 杰
李超岭	李 颖	杨少平	杨日红	杨红霞	杨 玲
屈文俊	岳铁兵	范继涛	柳群义	胡小平	胡 平
胡 欣	赵财胜	赵恒勤	赵春锋	徐志刚	徐 浩
秦绪文	耿树方	聂洪峰	袁桂琴	贾文龙	贾其海
郭宪璞	高林志	黄学雄	黄洪波	葛晓立	谢文卫
谢秀珍					

前 言

为贯彻落实《找矿突破战略行动纲要（2011—2020 年）》（国办发〔2011〕57 号）和“找矿突破战略行动动员部署电视电话会议”精神，保障找矿突破战略行动总体目标的实现，切实依靠科技进步推动找矿突破，加快科研成果转化，充分发挥已有科技成果在找矿突破中的支撑引领作用。

在找矿突破战略行动办公室统筹部署下，我们启动了《地质找矿科技成果系列丛书》编写工作。经各省、自治区、直辖市国土资源主管部门、中国地质调查局、武警黄金指挥部、部其他直属单位、有关学会、协会和高等院校推荐，有关院所组织专家严格把关和专家筛选，编委会审定，科技与国际合作司汇编形成了《地质找矿科技成果系列丛书》。该丛书主要包括：基础地质（21 项）、矿产地质（91 项）、地球物理勘查技术（47 项）、地球化学勘查技术（20 项）、遥感勘查技术（23 项）、地质钻探勘查技术（82）、岩矿测试分析技术（37 项）、矿产资源综合利用技术（90 项）、地质信息技术（25 项）、地质矿产标准规范（166 项）等 10 个方面共 602 项科技成果。

我们深信，《地质找矿科技成果系列丛书》将有助于从事一线工作的地勘人员了解地质找矿科技成果，应用于地质找矿突破，更好地支撑找矿突破战略行动。

藉此机会，我们衷心感谢为《地质找矿科技成果系列丛书》辛勤工作、无私奉献的科技人员和科技管理人员，期望有关单位结合实际情况按照成果汇编中的项目开展科技成果推广活动，并对《地质找矿科技成果系列丛书》不足之处提出批评建议。

内容摘要

我国面对资源对经济发展的约束日益凸显的严峻形势，提出了全面推进地质找矿突破战略行动，这一重大举措旨在着力提升能源资源的保障能力。在这种形势下，全国掀起的新一轮矿产勘查的高潮。新一轮的找矿勘查工作中，面临的多是地质条件复杂、用常规方法技术很难发挥大的作用的找矿对象。尤其是交通不便、气候恶劣、工作艰苦的西部地区，找矿要有大的突破，从技术层面上很大程度取决于先进的地质勘查技术的进步与发展，其中地球物理勘查技术是找寻深部矿或隐伏矿的重要的勘查技术手段。

进入新千年之后，以信息技术为核心，以大探测深度、高灵敏度、高分辨率、强抗干扰能力等为特性，强调多学科技术的综合与集成，能够在野外快捷有效地推广的综合立体式探测技术体系正在形成，并取得了良好的找矿效果。为保障“找矿突破战略行动”找矿“358”目标的实现，充分发挥科技支撑、引领与服务功能，加快推进科技成果的推广、应用与转化。

《地球物理勘查技术》收录科技成果应用范围涵盖了金属矿、油气、煤、地下水勘查等领域，涉及重力、磁法、电法/电磁法、地震、放射性等多种技术及相应的仪器设备、数据处理解释软件等。按观测方式的不同分为地面地球物理勘查技术、航空地球物理勘查技术、地下物探技术、油气地球物理勘查技术及岩矿石物性研究与测定技术五类，共收录 47 项地球物理勘查技术科技成果。其中地面地球物理勘查技术 27 项、航空地球物理勘查技术 4 项，地下物探技术 7 项，油气地球物理勘查技术 6 项，岩矿石物性研究与测定技术 3 项。

现代计算机交互与可视化技术的进步，使重、磁三维解释技术得到迅速发展，增强了方法技术的实用性，软件系统操作更具形象、直观和便捷的特点。曲化平向下延拓异常分离处理系统，提出位场向下延拓的新方法——波数域迭代法，该方法有良好的向下延拓效果，加大了可靠的延拓深度。物探重磁电数据处理与解释系统 RGIS，是我国区域重力数据整理最为齐备规范，

重磁电数据处理功能最为全面、实用、用户量最大和技术最为成熟规范和权威的物探软件。

电磁法技术以其方法种类多、探测深度大而成为深部矿勘查发展最快、应用最广的方法技术。由于现代科学技术飞速发展，特别是电子技术、信息处理技术、通讯技术、网络技术、模拟技术等发展，促进高精度、多功能、智能化、网络化、阵列化，可视化的新型仪器不断涌现和更新换代。同样，其观测技术、资料处理与解释技术也日新月异。近十年来电法 / 电磁法在矿产、地下水、油气、煤等资源勘查中发挥了重要作用。本书中收录的国产大功率多功能电法系统（DEM - V、高温超导磁强计、阵列相位激电测量系统、分布式音频大地电磁系统、ATEM - II 型瞬变电磁系统等是近几年我国具有自主知识产权的仪器设备，代表了我国目前仪器设备研发的水平。这些电磁法仪器设备可应用于复杂地理地质条件下多参量、大深度、多目标探测的技术需要，具有较强的推广应用价值。

我国金属矿多伴生在复杂的地质地形条件之下，随着地震采集道数的增多，给地震观测系统的铺设带来严重困难。自定位的无缆地震仪，在适应复杂地形地表条件地震数据采集的同时，将地震数据和地质测量数据融合在一起，实现了复杂地形地表条件的地震数据采集及数据的实时监测。分布式遥测地震仪突破传统集中式地震仪的设计约束，解决了有线遥测地震仪中的大数据量传输难题，与国外同类仪器相比，在数据传输速度，性价比等方面具有明显优势。

近年来我国航空物探技术（航磁、航空电磁、航空重力、航空伽马能谱）在仪器研制、测量技术、数据处理、解释方法等方面取得了可喜的成果，航空重力测量技术将得到广泛的应用。频率域航空电磁法在基础地质调查、水资源普查等方面效果显著。自从开展航空放射性测量以来，我国已经累计完成中比例尺区域航空放射性测量完成 400 万平方千米，占陆域国土面积的 41.7%，找到了众多的大、中、小型铀矿床以及矿田，航空放射性测量技术在区域环境放射性测量和核应急测量方面具有其他方法无可替代的优势。

地下物探（包括井 - 井、井 - 地、单井、井 - 坑道、坑道 - 坑道、坑道 - 地等多种观测方式）大大开拓了地下探测空间，引起了国内外的重视。地

下物探技术从世界范围看均处于发展阶段，我国的技术水平同其它的先进国家相比旗鼓相当，地下物探技术形成系列是我国一大特色。地 - 井瞬变电磁法在深部找矿中可成为有力的勘查技术手段。近年来，自主研发的 GJCX - 1 型高精度井中三分量磁力仪，适用于在 46mm 以上孔径的钻孔中进行磁场三分量测量和测斜工作；大透距地下电磁波层析成像系统，实现了在中高电阻率条件下透距大于 500m 的目标探测，为深部找矿及工程地质、水文地质、地质灾害防治勘查提供勘查技术设备。

油气地球物理勘探是寻找、发现和利用油气资源的首要环节。围绕深水油气以海洋盆地为目标的我国战略性、基础性调查与勘探形成了技术体系，拥有一系列自主知识产权的技术成果。通过国家科技攻关，我国初步形成了天然气水合物资源勘探、开发与评价技术系列和装备。

可以预测，在不久的将来，地质找矿关键技术的突破必将对整个找矿工作产生重大而深远的影响，形成新一轮的矿床发现高峰，科技支撑和引领找矿作用愈来愈明显。

目 录

第一部分 地面地球物理勘查技术

1. 鞍山式铁矿 1:5 万高精度重力调查技术	(3)
2. 重磁三维反演解释系统	(5)
3. 曲化平向下延拓异常分离处理系统	(7)
4. 重磁电数据处理与解释系统 RGIS	(9)
5. 国产大功率多功能电法系统	(11)
6. 磁电分离水域大地电磁采集技术	(14)
7. 高温超导磁强计	(16)
8. 阵列相位激电测量系统	(18)
9. 相位激发极化方法技术	(20)
10. 电法工作站软件系统	(22)
11. 分布式音频大地电磁系统	(24)
12. 瞬变电磁探测系统	(26)
13. 三维高分辨率高密度电法探测仪	(28)
14. 物探大功率拟地震激电勘探技术	(30)
15. JLMRS - I 型核磁共振地下水探测仪	(33)
16. 磁共振 - 瞬变电磁地下水综合探测仪	(35)
17. 重要成矿带以激电为主的 1: 5 万综合物探技术	(37)
18. 安徽省濉溪县前常覆盖区综合找矿方法技术	(39)
19. 海南石碌式铁多金属矿床地质 - 地球物理 - 地球化学立体勘查技术	(41)
20. 危机矿山找矿中的物探技术	(43)
21. 新疆土屋 - 延东一带斑岩型铜矿床物探组合模型应用推广	(45)
22. 电磁式可控震源系统	(48)
23. 无缆自定位地震仪	(50)
24. 分布式遥测地震仪	(52)
25. 城市抗干扰地震勘探技术	(54)
26. 厚黄土塬区煤田地震方法技术	(55)
27. 高精度多通道地温监测仪	(59)

第二部分 航空地球物理勘查技术

28. 航空重力测量技术	(63)
29. 航空电磁测量系统	(65)

30. 航空放射性测量技术	(67)
31. 地 - 空界面地球物理氦场现场测量技术	(69)

第三部分 地下物探技术

32. 高精度井中三分量磁测方法技术	(73)
33. 大透距地下电磁波层析成像系统	(76)
34. 地 - 井瞬变电磁法	(78)
35. 井 - 地磁测联合反演技术	(80)
36. 井中相位激发极化法	(82)
37. 小口径煤层气测井仪	(84)
38. WKT - 7 型无线电波坑道透视仪	(85)

第四部分 油气地球物理勘查技术

39. 深水油气综合地球物理采集处理及联合解释技术	(89)
40. 火山岩油气藏的测井新技术和解释新方法	(92)
41. 井 - 地网络化油水界面电阻率成像仪	(94)
42. 复杂地区油气地球物理勘探技术	(97)
43. 天然气水合物勘探开发关键技术	(101)
44. 天然气水合物资源综合评价技术	(103)

第五部分 岩矿石物性研究与测定技术

45. 全国岩石物性数据库建库方法技术	(107)
46. RP - 1 岩矿石电性测量仪	(109)
47. 岩矿石标本磁参数的总场磁力仪 4 方位测定技术	(112)

第一部分 地面地球物理勘查技术

鞍山式铁矿 1:5 万高精度重力调查技术

一、内容概述

二十一世纪以来，随着对铁资源需求量的增加，铁矿勘查工作再度火热，尤其是中国地质调查局提出在我国东部地区加强“攻深找盲”和重点成矿区进行“第二矿带”深部找矿工作的宏观部署后，拉开了新一轮铁矿找矿勘查的序幕，表现为评价异常从高、大、全转为复杂、低缓，单一方法转为综合信息找矿，从露头矿转为隐伏矿，勘查资金渠道也不断拓宽，地质找矿取得了新突破，先后提交了黑石砬子、徐家堡子、大台沟等一批铁矿床，区内新增加储量约 40 亿吨。

经过三次大规模勘查，鞍本地区的铁矿储量不断扩大。据最新全国资源潜力评价预测，该区铁矿储量超 300 亿吨。但是我们还不得不看到目前发现的矿体都是在验证磁测异常工作的前提下，而鞍本地区，特别是外围地区还发育着很多的低缓磁异常。同时，在我们过去的工作中也发现，航磁异常与矿体投影关系还有不理想的地方。另外，航磁异常对于空间存储形态复杂的铁矿体指示，对于弱磁性赤铁矿异常显示也不够理想，也就是说，单纯依靠磁测技术想在鞍本地区继续深部找矿、外围找矿和非磁性矿物找矿已经不容易了。为此，2010 年开始，中国地质调查局安排采用先进的高精度重力仪和高精度 GPS 测量仪，在鞍本地区率先开展 1:5 万重力调查。

经过两年的野外数据采集工作，鞍山本溪大台沟铁矿外围 1:5 万重力调查取得了初步令人可喜的工作成果：通过结合地质矿产和航磁等资料，研究了区内地质构造和隐伏岩体（特别是磁性体），筛选了一批矿致局部重磁异常，圈定了以铁矿为主的找矿靶区。在此基础上，进一步分析了深部隐伏铁矿与地球物理重磁场的关系，建立了以重磁信息为主体的综合找矿标志，为该区寻找大型或特大型深部隐伏矿床提供信息。

二、应用范围及应用实例

1. 在大台沟隐伏铁矿床中的应用：

鞍本地区，过去以来对铁矿的勘查，主要参考数据资料就是航空磁测和地面磁测资料，但是，在使用这些资料的时候也存在着困惑，比如个别有磁异常的区域见矿并不好；还有不少铁矿床的地表投影并不是磁异常的中心部位；另外还有磁异常细节表现不够好。由于重力场是垂直方向场，上述许多问题在重力异常上就不存在。比如非常著名的大台沟铁矿（见右图）。红黄蓝的面文件是本次实测的 1:5 万重力异常；玫瑰红的线文件是 1:1 万磁异常；黑色的线文件是目前圈定的铁矿地表投影（虚线为矿体倾斜变薄区域）。从这张图上可以看到：磁异常更宏观地反映了矿体的存在，但是，实际勘探结果矿体并没有像磁异常显示的那么大的规模。而重力异常则非常好地揭示了铁矿体赋存的细节，矿体的位置、形状、规模等等。李尔峰教授说，是这张图解释了 12 勘探线以东，磁异常不错，

为什么却没有见矿一直以来困惑不已的问题。仅此一项为鞍本铁矿钻探勘查节约成本过千万元（证蛤材料另附）。

2. 对鞍本地区隐伏构造有了新的认识：

传统上，一直认为鞍本铁矿只是与太古宙地层有关。而地质上一直以来就认为太古宙地层是一个“J”型。所以，在过去发现如康家堡子、八家子、北大山、鸡冠山、贾家堡子、孟家堡子、弓长岭、胡家庙子等 21 个矿床均发育在“J”型太古宙地层出露区。但是一直无法解释南芬、白石砬子、郭家堡子这些非大规模古太古宙地层出露区发育的铁矿床。通过本次 1:5 万重力调查，我们发现，地质上“J”型太古宙地层出露区重力异常有显示。这只是表面现象，真正的隐伏的太古宙老地层应是一个“山”字型展布。而且不是线型，而是“山脊”处理藏浅或者出露地表，“山凹”处理藏深。这样的认识不仅解释了前述无法解释的问题，无疑还会给鞍本地区铁矿远景预测带来了更广阔的思维空间和工作空间。

3. 对重力调查在赤铁矿的勘查作用有了初步的认识：

鞍本地区发育了许多赤铁矿。特别是浅部、近地表多发育有厚薄不等的赤铁矿层。由于赤铁矿一般表现为无磁、或弱磁。因此以磁性差异为前提的磁测方法就很难发挥作用。但是，一般赤铁矿的密度为 $4.2 \times 103\text{kg/m}^3$ （富矿均值为 $4.5 \times 103\text{kg/m}^3$ ）。因此，重力在赤铁矿勘查方面一定会发挥它应有的作用。与会的专家也一致这样认为：赤铁矿上一定会有重力异常显示，尽管个别异常可能不是很强的重力异常，但是一般应当足以被起高精度重力调查所识别。只是，由于以前对重力调查没有足够的认识，对赤铁矿缺乏手段，所以鞍本地区目前还没有赤铁矿的较为完整的资料，本次会议也就无法评价重力调查在赤铁矿的勘查作用。这将在以后的工作中加以注意、分析和研究。

三、推广转化方式

在鞍本区开展 1:5 万高精度重力调查，结合地质及磁测资料，开展以寻找铁矿为主的找矿预测，取得了较好的找矿勘查成果。对其成果转化可以按以下 3 种方式进行：

- (1) 向他人转让该科技成果；
- (2) 许可他人使用该科技成果；
- (3) 以该科技成果作为合作条件，与他人共同实施转化。

技术依托单位：沈阳地质调查中心

联 系 人：欧阳兆灼

通讯地址：沈阳市皇姑区黄河北大街 1 号

邮政编码：110034

联系电话：024 - 62606176

电子邮件：oyzz410@126.com

重磁三维反演解释系统

一、内容概述

软件系统主要是依托部重点项目“实用重磁三维反演技术”、“多参数反演技术”和“863”项目“复杂地形重磁三维反演新技术”，并通过地质调查项目的资助和实际资料处理不断完善，并在行业内进行了推广应用，方法技术包括：

①位场转换处理。在波数空间，对重磁数据进行延拓、化极、求导、滤波等处理，基本覆盖了重磁数据的常规处理方法；

②曲面延拓。利用台劳级数、迭代延拓的方式在空间域实现起伏地形下重磁数据的上下延拓和曲化平处理；

③异常体交互反演。基于三角形多面体模型，对任意复杂的地质进行正演计算，利用三维交互建模技术和自动迭代技术对模型进行修改，实现了重磁三维体的模拟解释；

④三维物性参数反演。在三维空间中，把地下空间沿着 x , y , z 三个方向剖分成相同大小的长方体单元，根据正则化反演的原理，建立含有光滑参数和参数的目标函数，采用用共轭梯度算法进行最优化迭代，来求解剖分单元的物性值，实现重磁数据的三维解释。

重、磁三维解释系统软件操作具有形象、直观和便捷的特点，充分利用现代计算机交互与可视化技术，增强了方法技术的实用性。系统无需要第三方软件支持，在 window XP 环境下的桌面平台直接安装后便可运行，部分功能支持多核工作站并行计算。

二、应用范围及应用实例

1. 应用范围

软件系统适合于重磁面积性数据的数据处理、密度和磁化强度的三维解释及异常体的三维模拟，可应用于矿产勘查、三维填图及工程环境勘探工作。2007 年 12 月受中国地质调查局委托，举办了“重、磁三维反演解释系统”了软件推广培训班，为来自全国 30 余家单位，56 名技术人员讲授了“重、磁三维反演解释系统”的原理和软件操作，在培训过程中与有关人员进行了技术交流，尽可能地掌握目前一线物探工作的技术需求、解答有关问题，使培训工作进行顺利，取得圆满成功。

2. 应用实例

(1) 地质体三维模拟解释。利用三人机交互反演技术对内蒙布墩花航磁异常进行推断解释，初步确定花岗岩体的顶面埋深在 600 ~ 1100 m，底面埋深在 1100 ~ 2100 m，形状呈显四周高，中间低，在西南方向向下延伸。

(2) 在立体填图工作中的应用。利用塔河航磁数据进行三维物性反演，确定了区内中酸性岩体空间分布

(3) 在工程环境中应用。利用秦皇陵磁测数据，建立夯土模型。

三、推广转化方式

- (1) 在全国行业单位推广应用，在应用中收集使用意见，并不断的完善软件系统；
- (2) 基于并行计算平台为行业其他单位提供数据处理服务；
- (3) 利用已全国采集的面积性重磁数据和重磁三维解释系统进行数据开发，提取陆域的三维密度和磁性参数，形成数据产品，为行业和社会公众服务。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联 系 人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮箱：zhangzhenhai@igge.cn

曲化平向下延拓异常分离处理系统

一、内容概述

①课题来源与背景

本课题来源于安徽省国土资源厅公益性地质工作重点项目“重磁数据处理关键技术研究及其在安徽省中深部找矿中的应用”。

研究背景：随着我国经济的快速发展，对矿产资源的需求日益增长，但主要矿产资源的储量和产量增长远不能满足需求增长，资源瓶颈制约日益突出。由于当前地表矿和浅层矿已基本找尽，找矿难度越来越大，需要充分利用物探数据，争取中深部找矿的突破。针对新一轮地质找矿多在地面高差大的山区进行，地形起伏会使中深部矿体重磁场异常发生较大畸变而难以识别和分离的关键问题，该项目开展了重磁曲化平、重磁向下延拓和重磁场分离研究，并研发了相应的具有自主知识产权的计算软件。

②技术原理及性能指标

1) 将重磁场曲化平建立在严密的数学物理基础上，不用求解方程组，不用设置等效源，对大数据量的重磁场及较大的起伏地形能快速有效地进行曲化平。

2) 提出位场向下延拓的新方法——波数域迭代法。该方法简单快速，有良好的向下延拓效果，加大了可靠的延拓深度。

3) 采用多次切割法分离重磁区域场与局部场；用四点圆周平均公式作切割算子；通过控制切割点集压制假异常。该方法提高了切割收敛速度，降低了大切割半径时的高频干扰，能较好地分离重磁区域场和局部场。

③技术的创造性与先进性

该研究在重磁曲化平、向下延拓和场分离的三个关键技术上有较大突破，将以该三方面成果研制成了《曲化平向下延拓异常分离处理系统》（[简称：SPDCASPS] V1.0）软件，其界面友好，容错能力强，计算速度快、精度高，应用效果好。该研究取得了创新成果，达到了国际先进水平。

该软件于2011年07月11日获中华人民共和国国家版权局软件著作权登记，登记号为2011SR046154。

二、应用范围及应用实例

研发的《曲化平向下延拓异常分离处理系统》（[简称：SPDCASPS] V1.0）软件成功应用在两个已知矿区（马鞍山和尚桥铁矿区东矿段，铜陵狮子山铜多金属矿区），取得了较好的效果。该技术适宜于大数据量和大的地形起伏的数据处理，安全性高。

另外，安徽省地球物理地球化学勘查技术院应用该软件处理了安徽省蒙城西贾庄地区重磁资料，在测区东南角原先呈椭圆形分布的范围较大的局部异常被分离出两个呈等轴状

的异常，这两个局部异常在向下延拓 5 倍点距的图上亦得到很好地显示。目前钻孔揭露证实，被分离出两个呈等轴状的异常中下方强度较大的异常由深埋的磁铁矿体引起。

三、推广转化方式

安徽省国土资源厅对该项目进行了推广，由合肥工业大学和安徽省公益性地质调查管理中心于 2011 年 10 月 14 日至 16 日联合主办培训班。培训内容主要包括：项目成果的理论部分、《曲化平向下延拓异常分离处理系统》（〔简称：SPDCASPS〕 V1.0）软件介绍、应用实例和该软件的上机练习。

并将该软件交给参加培训的安徽省国土资源厅各下属单位使用。

技术依托单位：合肥工业大学

联 系 人：洪天求

通讯地址：合肥工业大学

邮政编码：230009

联系电话：0551 - 2901015

电子邮件：hongtianqiu@sina.com

重磁电数据处理与解释系统 RGIS

一、内容概述

《物探重磁电数据处理与解释系统 RGIS》（简称 RGIS）由国家地质调查项目支持，中国地调局发展研究中心联合中国地质大学（北京、武汉）、桂林理工大学、陕西第二物探大队等单位 and 一批专家研发建立的。RGIS 是基于 GIS 二次开发技术和微机 Windows 平台与 VB、VC 混合语言编程技术开发的，集重、磁、电测量与成果数据可视化管理、数据预处理、数据处理、正反演计算解释、图表图形图像处理制作及空间分析等功能于一体的多功能资源勘查地球物理信息系统，具有完全的自主知识产权。目前是我国区域重力数据整理最为齐备规范，重磁数据预处理功能最为丰富，重磁电数据处理功能最为全面、实用，数据格式覆盖最广泛，应用最为普及、用户量最大和技术最为成熟规范和权威的物探软件。

RGIS 的研发与全国性大规模推广是在本世纪地质矿产和资源勘查工作持续增长，而基于现代 GIS、数据库和微机技术的物探软件相对匮乏的背景下展开的。研发技术路线是基于基层队伍普遍使用的 MapGIS 和 MapInfo 平台及 Windows 操作系统，通过二次开发，利用 OLE 功能及 ActiveX、DLL 和组件技术集成物探专业数据库和数据整理与处理程序模块。以“正确、先进、实用”为原则，先后优选、集成了国内外众多的、零散分布于科研、生产单位及高等院校不同机型、不同操作系统的重、磁、电方法程序，RGIS 数据处理涵盖空间域及频率域、剖面及平面观测重磁异常数据的转换与正反演处理，包括滤波、延拓、导数、常规和低纬度及变纬度化极、分量转换、水平总梯度、解析信号、曲化平、异常分离、界面反演，剖面、面积、三维磁源深度计算，伪重或伪磁异常计算，2.5D 重磁剖面可视化联合反演，三维重磁异常人机交互和自动反演及可视化显示，一维电测深，二维电阻率、极化率交互和自动正反演、二维大地电磁（MT）反演，一维瞬变电磁（TEM）正反演，2.5 维 TEM 正反演，电阻率地形改正，以及重磁基础图件和重磁处理成果及地质、矿产等多专业数据综合专题图件制作等功能模块。具备通用数据接口和丰富的数据格式，操作简便，且满足不同用户习惯。

国际上类似基于 GIS 平台的重磁电数据处理软件尚未见报道。RGIS 是第一个基于 GIS 平台的重磁数据处理软件，其功能较国际著名的 Geosoft 的基本系统更为全面。

RGIS 在全国范围内得到了大规模应用，经历了大量的基层使用反馈和功能完善，已成为我国当前最为先进、成熟和使用率最高的物探专业软件，是及时将国家公益性地质科研成果转化为生产力的一个突出典型。目前用户分布在地质勘查、冶金、核工业、有色金属、煤炭、石化、地震、测绘、建材等行业的 286 个单位及 10 余个地质高校和中科院所，用户超过 2200 个，已在各类地质矿产和油气勘查与资源评价的物探资料解释、编图与教学、科研一线工作中发挥了重要作用。

该软件 2009 年被列为国土资源地质勘查资质推荐软件。

该项成果 2010 年获中国地理信息科学进步三等奖；2011 年获国土资源科技进步二等奖。按照国外软件一般价格计算，RGIS 的公益推广应用为国家节约了上亿万元的软件购买资金，受到国内外有关部门和企业的大力支持和极大关注。

二、应用范围及应用实例

1. 成为国家重大专项物探工作的工具软件

例如：①全国矿产资源潜力评价项目指定全国各省物探资料处理解释工作使用 RGIS 软件；②危机矿山接替资源找矿专项中众多的物探解释工作使用了 RGIS；③全国区域重力调查工作全部使用 RGIS 进行重力资料整理与处理解释。

2. 成为地质高校与科研院所教学实习与科研的工具软件

中国地质大学（北京、武汉）、吉林大学、成都理工大学、东华理工大学、长江大学、长安大学、西安石油大学、浙江大学、同济大学等多院校及中国科学院地质地球物理研究所，使用 RGIS 软件网络版和单机版开展教学与地学科研。RGIS 的使用在部分院校已成为毕业生就业的重要科目。

3. 成为基层地勘单位和地矿企业物探工作的业务支撑软件

①50 余家省级地勘单位，包括地地调院、物勘院等的重磁电资料整理与解释工作，大多由 RGIS 完成；②20 余家从事矿产和油气勘查的私人企业使用 RGIS 进行物探重磁电数据管理和处理解释工作。

三、推广转化方式

公益推广

作为公益成果，通过使用培训和日常技术支持的方式进行了大规模推广。2008 年以来，已举办了 7 期软件使用培训班，结业证书颁发超过 900 人，用户遍布国土系统及 10 余个涉地、涉矿行业，近 286 个单位。建立了 600 人同时在线的 RGIS - QQ 群，已成为我国基层、科研及大学师生日常技术交流的网络平台，推动了基层物探队伍的专业知识交流和技术进步，提升了基层物探资料处理解释的技术水平。

产学研合作

软件的研发与应用采用了“产学研”模式，取得极好社会效益。在联合大学和基层单位成功研发的基础上，发展研究中心对该成果的推广更进一步促进了“产学研”合作与成果转化。先后与大学、科研院所和企业建立了广泛的“产学研”合作关系，开创了“公益软件进校园”、“公益成果送基层”等活动，直接和快速促进了国家公益成果转化为生产力。

技术依托单位：中国地质调查局发展研究中心

联系人：张明华

通讯地址：北京市西城区阜外大街 45 号

邮政编码：100037

联系电话：010 - 58584305、13301223317

电子邮件：zminghua@cgs.gov.cn

国产大功率多功能电法系统

一、成果概述

国产大功率多功能电法系统（DEM-V）是‘十一五’期间在中国地质调查局与科技部“863”等项目的支持下，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所取得的一项重要研究成果，该项成果分别获得了2009年度中国地质科学院十大科技进展和2010年度中国地质调查局的中国地质调查十大进展。

目前已研制出大功率（50 kW 及 30 kW）的发射机、集中式与分布式的多功能接收机样机系统，并对集中式的多功能接收机与 30 kW 的发射机进行了实用化开发，因此 30 kW 的发射机与集中式接收机具备了推广应用的基本条件。

大功率多功能电法系统由大功率发射机、多功能电磁接收机，以及相应的数据处理和解释软件组成，实现了 AMT、CSAMT、TDIP/FDIP 等探测功能，可满足复杂地理地质条件下多参量、大深度、多目标探测的技术需要，适用于金属矿、地下水、地热、油气藏等资源勘查和研究。

1. 大功率发射系统的功能特点

- 大功率稳流供电
- 多种供电波形，可满足 CSAMT、TDIP/FDIP 等人工场供电技术要求
- 多频合成供电：可提高工作效率
- 全自动扫频供电：不需人工干预，实现宽频带连续扫频

主要技术指标

- 最高电压：1000V
- 最大电流：30A
- 最大功率：30kW
- 频率范围：8000Hz ~ 1/128Hz
- 高密度频点：每频率数量级 20 个频点
- 供电波形：多频组合波形，单频波形
- 工作模式：自动或手动
- 多种占空比：50%、100%
- 保护功能：过压、过流、过热、短路
- 同步精度：GPS 同步精度 UTC $\pm 20\text{nS}$ ，晶体同步精度 4 μS /小时 $\pm 0.081 \mu\text{S}$

2. 多功能电法接收系统的功能特点

- 多功能测量：AMT、CSAMT、TDIP/FDIP 等
- 自动测量：所有功能均可实现自动测量，减轻操作员工作负担
- 宽频带大动态范围：实现全频段 24 位连续采样
- 自检和自标定：对系统性能进行自动检查和自动标定
- “GPS + 恒温晶体”混合同步：无时间漂移积累，实现全天候高精度授时和同步

主要技术指标

- 频率范围：10000 Hz ~ 1/128 Hz
- 通道数：3 ~ 8 通道可选
- 同步精度：GPS 同步精度 UTC ± 20 ns，晶体同步精度 4 μ S/小时 ± 0.081 μ S
- ADC 分辨率：24 位，动态范围大于 120dB
- 频点分布：每频率数量级 20 个频点
- 采样率：128 kSPS ~ 31.25 SPS 程控选择
- 相位分辨率： ± 1 mrad@4HZ
- 信号分辨率：1 mVrms 可测
- 自动标定精度：0.025%
- 功耗：15W（8 通道）
- 重量：8 kg（包含电池）

二、应用实例

物化探所研制出的大功率多功能电法样机系统不仅与国外同类型仪器进行了对比实验，同时也开展了矿区找矿的初步应用，取得明显的地质效果。

1. 对比实验

在所开展的场地对比实验中，采用的仪器有：自主研发的大功率多功能电磁系统样机、美国 ZONGE 公司的增强型 GDP32 多功能电法系统、加拿大凤凰地球物理公司的 V8 多功能电法系统、以及重庆地质仪器厂的商用时间域激电仪器。场地对比实验表明，自主研发的大功率多功能电磁仪器样机能够采集到可靠数据，与同功能仪器的同点同剖面数据具有良好的比对性。

2. 矿区找矿初步应用

利用我所开发的大深度多功能电法系统在内蒙古阿巴嘎旗干珠尔善德矿区 500 测线上取得的综合异常成果，包括：时间域激电中梯测量的剖面异常、频率域激电偶极—偶极测深反演的相位及电阻率断面异常、可控源音频大地电磁测深反演的大深度电阻率异常，以及经钻孔验证的见矿情况与多功能电磁综合异常的对比。自主研发的多功能电法系统不仅在测线上 500 号点的已知矿上获得明显的多功能电法综合异常，与矿体相对应，同时在

480 号点附近还发现良好的多功能电法综合异常，为矿区进一步的地质找矿工作和钻孔布设提供了地球物理依据。

三、推广转化方式

物化探所开发的 30 kW 发射机与集中式接收机的多功能电法系统已完成实用化研究，目前该系统已由重庆地质仪器厂进行实用化生产，物化探所提供技术支持并进行技术培训。但要将该系统应用推广好，除了联合专业地质仪器厂进行工艺化设计和生产外，还需要继续得到上级主管部门的项目支持，以便在不同类型矿区的找矿实践中进行示范应用和经验教训的总结，从而为方法技术的不断完善和推广创造良好的条件。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联 系 人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

磁电分离水域大地电磁采集技术

一、内容概述

大地电磁测深法（简称 MT 法），以其野外施工简便，成本低廉，探测深度大等优点，在国内外已获得了广泛的应用，从油气勘探到地热调查，从上地幔研究到震前监视预报，都有 MT 的业绩，工作区域已涉及陆域的每一个角落。为拓展大地电磁向江、河、湖、海等水域区的应用，针对水下测量磁场时磁探头的密封防水、方位调整、调平存在一定的困难，开发了磁电分离的大大地电磁采集技术。

提出在水域开展大地电磁探测时，可在陆地地质构造比较简单、人文干扰比较小的地区布设一个或多个三分量磁采集站，而在水中仅布设若干个二分量电场采集站组成观测系统。总结了一套行之有效的水域大地电磁测深工作方法，包括电极定位、线缆布设、磁站设立、噪声压制等。开发了水域大地电磁数据处理、解释软件包，内容包括水体对电磁场信号影响的改正方法，带远参考的多站时间序列 ROBUST 处理；水域大地电磁场二维和三维正演计算及二维反演方法技术等。研制了适合海水的电极配方，保证电极在高盐度海水中不被极化；改良了方便接触水底的电极罐及组合，可使电极安放稳定，与水底接触良好。

磁电分离采集技术可以利用国内外现有的大地电磁采集系统，而无须开发较复杂的水下测量仪器，有利于推广水域大地电磁探测。海底大地电磁探测是海上区域地质调查和深部地质结构研究的重要地球物理方法之一。为了维护国家海洋主权和权益，中国东海、南海都需要开展大量海域地质调查工作。国土资源部已部署在中国海域开展 1:100 万区域地质调查工作。推广应用该成果将为加快此项工作的进程，从而为中国海上油气及矿产资源评价提供一种有效手段。

二、应用范围及应用实例

为了了解北部湾盆地雷州半岛地区的陆上、环岛潮间带及浅海部分的沉积规模和生烃能力，在该区开展了高精度重力连片测量、大地电磁测深及三维地震勘探（由陆上至水深 10 ~ 20 m 区域）。由于潮间带和浅海水域海洋地震拖缆无法实施，再加上近海养殖场

发达，给地震采集带来极大困难。为此，采用在近岸浅海（潮间带）区域的磁（陆上）电（海中）道分离同步采集技术，实现浅海区域的大地电磁测深勘探。在江苏油田的组织下，同济大学、华东有色地质勘查局 814 队和浙江石油勘探处通力合作完成通过浅海单点采集试验和海陆二维测线采集处理，取得了比较实用的成果。

三、推广转化方式

技术合作。

技术依托单位：江苏省有色金属华东地质勘查局八一四队

联系人：李爱勇

通讯地址：江苏省镇江市朱方路 227 号

邮政编码：212005

联系电话：0511－85600820 13862441730

电子邮件 liaiyong2003@126.com

高温超导磁强计

一、成果概述

高温超导磁强计具有可直接测量磁场、噪声低、频带宽、低频响应好的特点。在地球物理勘查中，高温超导磁强计作为电磁法仪器的接收传感器，可用于深部金属矿、油气资源的勘查。

中国地质科学院物化探研究所从 1989 年开始进行高温超导磁强计在地球物理中的应用研究工作，先后研制出三代高温超导磁强计，在大地电磁测深法、瞬变电磁法、远偏移瞬变电磁法上做了大量的应用研究工作，特别是在“十五”、“十一五”期间国土资源大调查项目的大力支持下，高温超导磁强计研制取得了突破性进展，研制出了在地球物理勘查中实用化的高温超导磁强计，把高温超导这项高新技术在地球物理勘查中转化成了生产力，使我国在高温超导磁强计研制及应用研究领域居世界领先水平。高温超导磁强计噪声指标达到了 $100\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，摆率达到了 0.8 mT/S ；研制的高频无磁杜瓦，填补了国内空白。大量的野外试验表明：高温超导磁强计设计合理、结构紧凑、性能稳定，达到了在瞬变电磁法中实用化的要求。它取代传统的感应线圈作为电磁法仪器的接收传感器，能够大大提高电磁法的勘探深度和测量精度，为寻找深部金属矿、油气资源等提供新的高技术手段。

二、应用实例

高温超导磁强计的应用是作为瞬变电磁系统的接收传感器。到目前为止，已经与加拿大 CRONE 公司的 PEM 瞬变电磁系统、中国地质科学院物化探研究所 IGGE-20 瞬变电磁系统、GDP 多功能电法仪联机进行过野外实验。

下面是在内蒙某铜矿区的野外实验。

实验采用的仪器为加拿大 CRONE 公司的 PEM 瞬变电磁系统。采用瞬变电磁法中心回线装置，发射线框 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ ，发射电流 15 A ，测量点距 50 m 。

使用高温超导磁强计测量的感应磁场数据经拟二维电性成像得到了视电阻率断面图，实验结果表明，使用高温超导磁强计提高了瞬变电磁法的勘探深度。

三、推广转化方式

一种推广方式是中国地质科学院物化探研究所和北京地质仪器厂家联合生产高温超导磁强计，向拥有瞬变电磁方法技术的地质勘查单位推广应用。另一种推广方式是中国地质科学院物化探研究所和北京地质仪器厂家联合生产高温超导磁强计，与物化探研究所生产的 IGGE-20 瞬变电磁系统配套向拥有瞬变电磁方法技术的地质勘查单位推广应用。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316-2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

阵列相位激电测量系统

一、成果概述

阵列相位激电测量系统是中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所在国土资源部‘十五’重点科技项目‘混场源电磁法探测技术研究’等项目的支持下，所取得的研究成果。

阵列相位激电测量系统由小功率的发射机（400 W）、GPS 同步的高精度接收机、以及作为供电电源的蓄电池等组成，整套系统轻便，不仅可开展频率域的多频相位激电测量，还可开展时间域的激电测量。

目前在地质矿产调查评价科技项目的支持下，正在对原有样机进行实用化研究，已研制出一套实用化样机，提升了发射功率（从原来的 400 W 提升至 900 W），增强了仪器的稳定性，完善了数据处理与解释软件，使得阵列相位激电测量系统具备了推广应用的基本条件。

阵列相位激电测量系统因具有轻便、时间域/频率域激电多参数测量的特点，不仅适用于我国中东部简单地形条件下的多金属矿资源快速勘查，同时也适用于我国中西部复杂困难条件下的资源勘查，是一种轻便适用的激电测量方法技术。

1. 发射机的功能特点

- 采用蓄电池供电
- 多种供电波形，可满足 TDIP/FDIP 供电技术要求

主要技术指标

- 最高电压：600 V
- 最大电流：1500 mA
- 最大功率：90 W
- 频率范围：128 Hz ~ 1/128 Hz
- 工作模式：自动或手动
- 多种占空比：50%、100%
- 保护功能：过压、过流、过热、短路
- 同步精度：GPS 同步精度 UTC $\pm$ 20 nS

2. 接收机的功能特点

- 自动测量：所有功能均可实现自动测量，减轻操作员工作负担
- 宽频带大动态范围：实现全频段 24 位连续采样

主要技术指标

- 频率范围：128 Hz ~ 1/128 Hz
- 通道数：2 通道

- 同步精度：GPS 同步精度 UTC ± 20 nS
- ADC 分辨率：24 位
- 采样率：256 kSPS
- 相位分辨率： ± 1 mrad@4HZ
- 信号分辨率：1 mVrms 可测

二、应用实例

物化探所研制出的阵列相位激电测量系统样机在多个矿区进行了试验应用，取得良好的效果。

1. 在北京延庆石槽铜矿的方法技术有效性试验

该矿区为地质工作程度较高的已知铜矿点，经多个深部钻孔证实，地下赋存有陡倾的铜矿体，在 2000 年 3 月地调局组织的全国电法新技术大比武中，被列为练兵场。

阵列相位激电试验工作采用偶极—偶极的多极距测深装置，测点距为 20 m。由实测数据反演所得的电阻率与相位断面图可见，在已知矿体部位存在明显的低电阻率与高相位异常，且异常与矿体有很好的对应关系。

2. 云南保山金厂河矿区的应用效果

金厂河矿区已知程度较高，根据以往地质及物化探工作，已实施并完成了两个钻孔的地质揭露工作，初步判定该矿区为铜、铁、金多金属矿区，且矿体埋藏深、厚度大。

阵列相位激电测量采用的装置为偶极—偶极，点距：50 m，极距：100 m，隔离系数 n 从 1 ~ 10。发射和接收之间的 A 和 N 的距离最远达到了 1200 m。

三、推广转化方式

物化探所研发的阵列相位激电测量系统目前正在进行实用化开发，所研制的实用化仪器将进行成果转化，从而为复杂困难提交下的资源勘查提供轻便实用的方法技术。其推广应用方式，除了举办方法技术培训班、现场操作培训外，还将通过地勘单位在找矿中的实际应用，总结经验和发现不足，以持续提升阵列相位激电测量系统在资源勘查中的针对性、实用性。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

相位激发极化法

一、成果概述

1. 成果简介

相位激发极化法是一套适用于 1/5 万或更小比例尺矿产勘查工作的频率域电法工作方法。根据各种金属矿产所引起的激电效应异常来发现矿体，也可辅助划分岩矿体范围、推断隐伏构造等。

2. 基本原理与技术特点

该方法以中国地质科学院物化探研究所研制的 FX-1 型幅相仪为依托，从方法理论、仪器设备、数据处理、异常分析解释等各方面都已成熟。FX-1 幅相仪可以轻便高效地完成小比例尺扫面，快速发现异常和圈定找矿靶区。它测得的视相位异常衬度大，分辨率高，可在低背景条件下，发现有意义的异常；FX-1 储存的电位差曲线可方便地建立多用途的“激发极化数据库”；与时间域仪器和方法相比，FX-1 幅相仪及其方法技术具有明显的优越性。

FX-1 幅相仪整机轻便，适用于中、小比例尺矿产勘查。FX-1 幅相仪主要观测参数为视电阻率 (ρ_s) 和相位移 (ϕ_s)。工作方式采用 GPS 同步技术、同步谐波分析技术等。仪器抗干扰能力强，只需观测一个频率，即可同时获取时间域和频率域的多个参数（视电阻率、视相位、视极化率、自然电位等），资料可利用程度高。野外工作方式采用偶极-偶极装置，灵敏度高，测量结果受布极方向、布极位置影响较小。

主要技术指标：

频率：16、8、4、2、1、0.5、0.25、0.0125、0.0625 Hz

稳流精度：0.5%

系统相位测量精度：<0.5 mrad

输出功率：400 W

二、范围及应用实例

适用于浅覆盖区（第四系覆盖厚度小于 100 m）的各种金属矿产勘查和区域调查。

应用实例：“黑龙江省多宝山地区矿产远景调查”项目

该项目是中国地质调查局与黑龙江省国土资源厅合作开展的矿产远景调查项目，目的是开展森林沼泽浅覆盖区矿产远景调查工作，探索适合该特殊景观区的矿产远景调查的技术方法体系。工作周期 2008 ~ 2011 年。同时开展了 1:5 万地质草测、遥感、高精度磁测、相位激电、土壤测量等多种方法。

2008 年，四家施工单位分别在 8 个 1:5 万图幅上开展了 1:5 万相位激电工作。测量成果（视电阻率，视相位）未经任何接边处理即完美接图，视相位参数在各已有矿点、矿

权区均有异常显示，这充分证明了相位激发极化法在矿产普查中的有效性，验证了使用 FX-1 幅相仪、偶极-偶极装置进行区域电法调查的可行性。

根据综合研究认为：地质草测、浅钻、相位激电、磁法、化探土壤测量等多种方法共同实施、有机结合，是大兴安岭森林覆盖区矿产普查有效的方法技术组合。

三、推广转化方式

对参与电法工作的人员进行培训、技术咨询，也可到现场进行指导。同时建议在国内不同景观区、不同成矿区带选取少量的图幅开展 1:5 万电法扫面示范性工作。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316-2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

电法工作站软件系统

一、内容概述

电法工作站软件系统是由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所联合国内相关高校共同研制，经过近十年的不断改进完善和在行业中的推广应用，已由最初的 1.0 试用版发展到当前的 2.5 版本，包括常规电阻率/激电法（DC/IP）、大地电磁法（MT）、可控源音频大地电磁法（CSAMT）、磁性源瞬变电磁法（MTEM）和幅相激电法（SIP）五种电法方法，可进行数据处理、一维人机交互正、反演和带起伏地形的二维正、反演，是集数据输入、数据处理解释、图件显示与打印和成果多途径输出为一体的多功能电（电磁）法数据处理解释软件系统。系统可应用于矿产勘查、水文调查、工程检测等电（电磁）法资料的处理解释。

（一）系统组成与基本功能

“电法工作站（WEM2.5）”由方法技术模块、图示与人机交互模块和系统辅助模块三部分组成。方法技术模块包括 DC/IP、MT、CSAMT、MTEM 和 SIP 法 5 个方法，每个方法涉及数据处理、正反演解释等技术模块。图示与人机交互模块包括一维和二维地电模型的显示和人机交互修改、测深曲线和剖面曲线、拟断面以及反演断面的显示。辅助模块包括与系统相配套的联机帮助。

（二）系统特点

1. 多方法（DC/IP、MT、CSAMT、MTEM 和 SIP）

系统包括 DC/IP、MT、CSAMT、MTEM 和 SIP 五种方法子系统，各子系统可以拆分独立运行，用户可以根据自己的需求选取其中的方法技术模块。

2. 功能强

电法工作站集数据处理及反演解释过程多个功能环节于一体，以提高数据处理解释效率，能对相关方法基于单点或整条剖面观测的数据进行处理和反演解释。系统包括数据预处理，正、反演，数据输入，成果输出，实测和模型数据的实时图示和人机交互修改，联机帮助等功能。

3. 实用程度高

操作流程简约且符合一般用户使用习惯，中间环节结果和处理解释成果在操作过程中实时可见。每个功能程序进行了必要的容错设计和提示并配套详尽的联机帮助，对关键信息和参数进行显示和交互，提高了程序运行的安全性和操作的友好性。同时，经过近十年在行业中的推广应用，系统的适用性得到了较高程度的检验。

4. 可视化和人机交互功能强

能对相关方法的测深和剖面曲线、实测和正演拟断面及反演断面进行实时显示。并能

对一维、二维地电模型进行实时人机交互修改，编辑。

二、推广应用情况及应用实例

电法工作站 1.0 试用版开发完成后，经不断的改进完善，形成了不同阶段的版本（WEM1.0 版、2.0 版和 2.5 版）。分别在 2005 年、2009 年和 2010 年举办过三期“电法工作站软件系统”推广应用培训班。截止到现在，已在全国的地调、煤田、冶金、石油、核工业等部门的生产单位以及有关院校、研究所、地质仪器厂等单位推广应用，累计推广 200 余套。

从对应用单位的跟踪情况来看，经过对用户的系统培训后，应用单位掌握了电法工作站软件系统的使用，并能应用到实测资料的处理解释中，特别是系统中的 DC/IP、MT 和 CSAMT 三个方法子系统，目前应用程度较高，并已取得一定的应用效果，达到了实用化的程度。

电法工作站软件系统（WEM2.5）作为一套专业化的电（电磁）法数据处理解释软件，通过近十年来在行业中的推广应用，提升了电法勘探行业用户的数据处理解释技术水平，为资源的高效勘查提供技术支撑，已成为行业部门不可缺少的一套电（电磁）法数据处理解释工具。同时，电法工作站软件系统也将不断改进完善，形成更为实用化的数据处理解释技术，以满足找矿突破工作的不断深入及相应电（电磁）法勘探技术发展的需要。

三、推广转化方式

到目前为止，电法工作站软件系统主要通过会议推介和举办软件培训班的方式进行推广转化，分别在 2005 年、2009 年和 2010 年举办过三期“电法工作站软件系统”推广应用培训班。涉及的用户包括地调、煤田、冶金、石油、核工业等部门的生产单位以及有关院校、研究所、地质仪器厂等单位。在今后的一段时间，还将以“改进完善—>推广应用—>再改进完善—>再推广应用”的模式进行成果转化。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316-2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

分布式音频大地电磁系统

一、内容概述

分布式音频大地电磁系统是在国家自然科学基金仪器专项“大深度（500 – 1500 米）分布式电磁探测关键技术与仪器研究（40727002）”资助下，通过大量野外测试并进行相应改进，研发的一种频率域可控源电磁探测仪器，包括大功率电磁发射系统，分布式多功能电磁接收系统，接收磁场传感器和不极化电极，上位机控制软件，数据处理系统，能够满足 1500 米范围内的地下资源探测。

发射系统采用三级级联设计，有效分解大功率发射系统整体重量，方便野外施工及系统搬运，同时可根据野外地质情况，可采用单级使用、2 级级联或 3 级级联，扩展了野外大功率发射系统使用灵活性，单级可提供 500V，30A 的发射能力，3 级级联可提供最大发射电压 1500V，发射电流 30A，最大发射功率 45kw，符合绝大多数野外实际地质情况，满足野外使用。

处理分布式电磁接收系统由主机和子站组合而成，主机配备 5 个通道，可测量 1 个磁场 4 个电场（CSAMT 测量时）或 2 个磁场 3 个（AMT 时）电场，子站设计为 2 个通道，可以测量磁场或电场，野外测量时，可根据实际情况随机组合主机和子站，可选用单一主机测量或多台主机联合测量，也可选择全部采用子站测量，还可选择一台主机带多台子站组合测量或多台主机带多台子站组合测量，野外工作方式灵活，便于取得更好的野外数据。

磁场传感器利用磁反馈技术，扩大感应线圈的有效频带宽度，提高传感器低频灵敏度的同时扩大传感器使用频率范围，灵敏度与噪声水平与国外知名品牌相当；Pb – Pbcl₂ 不极化电极短（1 小时）极差变化小于 10 μ V，长时（42 小时）极差变化小于 70 μ V，满足 CSAMT 测量需要。

二、应用范围及应用实例

2010 年 4 月，应长白山国际旅游度假区开发有限公司邀请，在吉林省抚松县松江河镇果松山区域进行地热探测，根据探测结果确定深层地下水井位 1 处，成井深度 2200 米，井下水温 72 度，出水量大于 300t/d。

2010 年 11 月，在辽宁省地调院的大力支持下，在辽宁省本溪市大台沟铁矿开展了深部矿产探测实验，实验选择了通过矿体中部的 0 号勘探线，探测结果与已知钻孔资料较为

一致，较为清晰地反应了地下深部矿体结构。

2011 年 4 月，前往吉林省磐石县红旗岭镍矿进行老矿区接替资源勘察试验，在已知矿区进行了探测，探测结果与钻孔资料较为符合，未知区域地下异常反应较为清晰。

2011 年 10 月，前往黑龙江省七台河市进行地质调查项目可控源电磁探测工作，勘察覆盖面积 60 平方公里，数据质量稳定可靠，反演结果较好地反应了地下结构。

三、推广转化方式

联合产品转化工作，联合生产推广。

技术依托单位：吉林大学

联 系 人：梁冰

通讯地址：吉林省长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130021

联系电话：0431 - 88502382

电子邮件：liangbing@jlu.edu.cn

瞬变电磁探测系统

一、内容概述

1996 年，在原地矿部支持下，《同步测量技术研究及其在电法中的应用》（9505105）经专家论证正式立项。研究的主要内容包括：GPS 同步测量技术研究和 GPS 在电法发射机中的应用研究。要解决的关键技术问题：利用 GPS 的授时信息实现高精度同步测量技术；利用 IGBT 模块实现发射波形快速关断与双逆变控制技术。2000 年 12 月通过国土资源部组织的专家鉴定。

在该项目研究的基础上，为验证探测系统的有效性并在国土资源大调查中应用、推广该项新技术，2000 年中国地质调查局立项资助《轻便面积性时间域 TEM 电法仪器的完善及示范》（20002010002196）。确定项目的总体任务为：在“九五”科研成果的基础上，以轻便化和实用化为重点，完善 TEM 仪器系统及其支持软件，通过一定面积性的工作，验证 TEM 法在西部矿产资源普查中的效果，以便在我国中西部矿产资源勘查中发挥积极作用。2002 年 2 月通过中国地质调查局验收。2001 年，承担了国家自然科学基金《近区磁源阵列瞬变电磁探测与实验研究》（40074045）项目获得资助，2003 年 12 月完成，为开展阵列瞬变电磁探测与实验研究奠定了基础。

针对大型矿山资源存在的危机，需要在大型矿山强干扰环境下寻找接替资源，被列入国家“十五”科技攻关计划。承担了其中的子专题《强场源瞬变电磁技术完善与升级》（2001BA609A-06-1 与中南大学合作），确定采用强场源瞬变电磁技术在安徽铜陵凤凰山铜矿开展试验研究，通过一定的面积性工作，验证了瞬变电磁仪器在铜矿资源勘查中的效果，在我国紧缺矿产资源勘查中发挥了积极作用，项目于 2003 年通过验收。

常规瞬变电磁法探测，实测的晚期信号因关断电流、发射电流关断沿等因素的影响将使瞬变响应发生畸变，接收信号中的一次场干扰无法去除，这样在地表以下就存在几十米的探测盲区。为了解决这一难题，2002 年，在国家自然科学基金委科学仪器专项基金支持下立项《浅层高分辨全程瞬变电磁（ATTEM）系统与关键技术研究》（400127003）。该项目对电流关断期间的二次场进行提取，提出假设一次场电流在关断期间内线性衰减或已知电流的衰减函数，通过对整个过程积分获取关断期间内的二次场的大小，提高近地表目标体的勘探能力。

针对大型矿山资源存在的危机，需要在大型矿山强干扰环境下寻找接替资源，被列入国家“十五”科技攻关计划。承担了其中的子专题《强场源瞬变电磁技术完善与升级》（2001BA609A-06-1 与中南大学合作），确定采用强场源瞬变电磁技术在安徽铜陵凤凰山铜矿开展试验研究，通过一定的面积性工作，验证了瞬变电磁仪器在铜矿资源勘查中的效果，在我国紧缺矿产资源勘查中发挥了积极作用，项目于 2003 年通过验收。

常规瞬变电磁法探测，实测的晚期信号因关断电流、发射电流关断沿等因素的影响将使瞬变响应发生畸变，接收信号中的一次场干扰无法去除，这样在地表以下就存在几十米

的探测盲区。为了解决这一难题，2002 年，在国家自然科学基金委科学仪器专项基金支持下立项《浅层高分辨全程瞬变电磁（ATTEM）系统与关键技术研究》（400127003）。该项目对电流关断期间的二次场进行提取，提出假设一次场电流在关断期间内线性衰减或已知电流的衰减函数，通过对整个过程积分获取关断期间内的二次场的大小，提高近地表目标体的勘探能力。

二、应用范围及应用实例

2000 年，首次在新疆东天山土屋超大型铜矿区开展了与美国 GDP16 及加拿大 EM67 等车载电磁仪器对比实验达 196 个物理点，取得了与上述国际公认的先进仪器可比的实验数据，并完成了 5.5 平方公里示范性勘探实验；

2002 年在安徽铜陵凤凰山铜矿开展了强场源 TEM 勘探试验，解释结果与钻孔数据吻合，勘探深度超过 700 m，在原有矿田边部圈定了新的异常区，验证了强场源 TEM 系统在危机矿山接替资源勘探效果；

2003 年在探测干旱地区深部地下饮用水源取得突破，为国家投资 2000 万元的内蒙古正镶白旗引水工程确定了地下水源井位，经 180 m 钻孔验证，每小时喷水量达 100 m³ 以上，保证 30 年日供水 3000 m³ 的需求；为实施国家投资 2000 万元引水工程发挥了关键作用；

2003 年，在黑龙江呼中和塔河铅锌矿进行了勘探工作，完成 5 条测线，200 多个测点的瞬变电磁勘探工作，初步确定了异常点；

2003 年，在浙江舟山跨海大桥工程中进行了浅层电磁法勘探，查明基岩中的断裂、破碎、裂隙等不良地质情况，探测到多处海蚀洞，取消原定北塔选置方案，为桥位的选取提供了重要的依据；

2004 年，在长春蔡家活断层探测、南京长江四桥选址勘探以及河北邯郸峰 - 峰煤矿巷道透水等方面也得到应用。

三、推广转化方式

自行研制的 ATEM-II 型瞬变电磁系统已被成都理工学院、中南大学、黑龙江省地球物理勘探研究院、63653 部队（某核实验基地）、江苏省工程物理勘察院等单位采用，分别在川西夏赛银矿、新疆土屋铜矿、延吉合龙金矿、北京延庆铜矿、大兴安岭地区的呼中和塔河等进行了瞬变电磁野外矿产资源勘察与实验研究，取得较好的社会效益和经济效益。已通过仪器产品定型设计，根据购销合同投入了小批量生产，2004 年申报了国家新产品，并与重庆地质仪器厂签订联合生产协议。

技术依托单位：吉林大学

联系人：梁冰

通讯地址：吉林省长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130021

联系电话：0431 - 88502382

电子邮件：liangbing@jlu.edu.cn

三维高分辨率高密度电法探测仪

一、内容概述

针对矿井老空区和底板岩溶水害,开发了地面三维高分辨电法探测技术与装备,提高矿井老空区分布范围及富水性的探测能力,为控制矿井突水事故提供技术手段。主要成果包括:三维高密度电法探测的地球物理正反演模型研究、三维高密度电法探测方法技术研究、三维高密度电法探测的数据采集仪器研制、快速三维数据处理系统及解释方法研究。

仪器包括主机和分布式电极转换器。主机包括高压发射的 DC-DC 电源模块、功率变换及隔离驱动模块、16 位 AD 采集卡以及基于 MSP430 单片机最小系统的主控模块。分布式电极转换装置主要包括 8 芯电缆和电极盒(电极转换器)。

主要技术指标:

最大发射电压: 500V

最大发射电流: 5A

最大发射极距: 1000 m

采样率: 100 千赫兹

A/D 转换: 16 位

最小可识别电位差: 10mV

探测深度: 不小于 300 m

二、应用范围及应用实例

1. 仪器验证试验: 长春烧锅镇地下含水层探测

在长春市烧锅镇进行了野外实验,实验时铺设 10 条电极测线,每条测线布置 10 个电极,构成 10×10 网格状,每 5 条单位测线按照蛇形连接,组成两条主测线分别与仪器相连。

实验选取横、纵、斜三个方向分别测量,电极间距为 20 m,应用三极法进行了测量,共测得 1468 个数据,经过数据预处理及反演后得到反演结果如图 3 所示。反演结果显示了地下 123 m 内电阻率分布状况,对地下 123 m 地层进行了分层,共分八层,第一层为 0 ~ 9 m,第二层为 9 ~ 19.35 m,第三层为 19.35 ~ 31.25 m,第四层为 31.25 ~ 44.94 m,第五层为 44.94 ~ 60.68 m,第六层为 60.68 ~ 78.78 m,第七层为 78.78 ~ 99.6 m,第八层为 99.6 ~ 123.54 m。由图中可以看到第四层到第六层 31 ~ 78 m 左右中间明显呈低阻状态,可以探测到测井的存在,与已知的打井资料以及核磁共振探测资料对比,探测结果基本相符。

2. 示范应用: 安徽桃冲铁矿采空区实验

安徽省繁昌县桃冲地区位于长江中下游铁-铜-金成矿带铜陵-繁昌铜铁成矿区东北部,区内主要铁矿有桃冲中型铁矿、磁墩头铁矿、阳山铁矿、顺风山铁矿、小阳冲锌铁矿等。2009 年 11 月份在桃冲铁矿进行实验,选择试验区面积 $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$,探测矿山采空区。

矿业公司周边民营矿山越界侵入桃冲矿体非法开采留下的采空区，对矿体回采及安全构成了很大危害。本次寻找的采空区位为桃冲矿业公司矿山下面，大致呈多边形分布，空区中心大致位于东经 118°、北纬 31°，山顶实验面海拔 300 m 左右。采空区电阻率有以下电性特征，高密度电法仪器是根据其采空区的电阻率特征来探测其空区的分布情况。从理论上分析，当矿层被采空以后，短期内形成一定规模的充气空间，造成采空区相应地层的电性与围岩电性不同，经过一段时间后，采空区上方岩层在重力作用下发生塌陷变形，致使岩层破碎并出现裂缝，地下水便沿破碎岩层和裂缝向采空区汇集并溶解大量的电解质。在水解作用下，岩层中的钙、铁离子等呈游离状态存在。因此充水采空区具有低阻、高极化率的电性特征；由于垮落、断裂及离层现象的存在，围岩具有电阻率高、低极化率的特征，形变越大、电阻率越高。当断裂带不充水时，出现高阻特征，充水时呈现低阻特征，据此可确定充水采空区的边界范围。

桃冲矿山采空区上面地面部分地势险峻，采空区位于山坡正下面，并且山坡上植被茂盛对布线不利；空区南部边缘位于塌陷区的下面，在布线时候有很大的危险性；空区的东部边缘位于滑坡区的下面，在滑坡区的山石上无法布线。因此，为了避开塌陷区和滑坡区，并且利用空区上方海拔 250 m 处有一条东西走向的道路，在实际布线时候，以道路为第一条横向测线，向坡下平行排列，以滑坡西边缘作为第一条纵向测线，向西面平行排列。

整体实验采集数据 31998 个，经过数据预处理及反演后得到反演结果三维图如图 5 所示。反演结果显示了地下 300 m 内电阻率分布，对地下 300 m 地层进行了分层，共分十三层，第一层为 0 ~ 9 m，第二层为 9 ~ 19.35 m，第三层为 19.35 ~ 31.25 m，第四层为 31.25 ~ 44.94 m，第五层为 44.94 ~ 60.68 m，第六层为 60.68 ~ 78.78 m，第七层为 78.78 ~ 99.6 m，第八层为 99.6 ~ 123.54 m，第九层为 123.54 ~ 151.07 m，第十层为 151.07 ~ 182.73 m，第十一层为 182.73 ~ 219.14 m，第十二层为 219.14 ~ 261.02 m，第十三层为 261.02 ~ 309.17 m。

由图 5（b）中可以看出，从第九层到第十二层右下角有明显高阻状态，正好与测量空区一个角情况相符；实验时场地一直下雨，地面积水以及浅层地表有水，由图 5（b）中可以看出前三层，明显呈低阻状态，正好与实际情况相符。

三、推广转化方式

1. 仪器社会服务应用

研制的仪器先后在吉林省营城子煤矿、吉林安图进行了社会服务，取得了较好的社会效益和经济效益。

2. 成果转化

与重庆地质仪器厂进行了接触，初步达成了转化意向。

技术依托单位：吉林大学

联系人：梁冰

通讯地址：长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130021

联系电话：0431 - 88502382

电子邮件：liangbing @ jlu. edu. cn

物探大功率拟地震激电勘探技术

一、内容概述

2002 年由中国冶金地质总局地球物理勘查院提出该项目的研究计划，结合众多业主的多金属矿勘查项目进行该方法的应用研究。

该项目自 2002 年 3 月—2002 年 5 月进行论证；5 月—6 月进行模拟试验；6 月—7 月进行数据接口转换，7 月—8 月进行二维、三维反演论证；9 月—12 月投入野外施工工程。至 2005 年 10 月取得了一些关键技术成果。

1. 主要内容

地震勘查普遍采用单点起震、多道仪器从排列式测点同步接收测量的基本工作方式。在电法勘探中同样可以采用点式（点源或电、磁偶极子）发射信号，排列式多道同步接收测量信号的工作方式进行，配合以相应的数据处理和定量反演解释技术；为区别于国内一般常用的工作模式，特称之为拟地震勘查技术。这一技术的雏形源于大功率多道（8 道、10 道、20 道）接收综合电法仪器系统的问世与应用，尤其适合进行大深度勘查工作。

由于采用高密度、阵列式勘探技术，极大地提高了时域激电测深的纵、横向分辨率，尤其适合于目前固体金属矿产勘探，勘探深度可达 800 m，有效勘探深度 500 m；且布极方式灵活，特别适合于复杂地形（如山区）下工作；面积性的勘探工作，相当于立体填图；和传统直流电法勘探相比，具有较高的勘探效率；同时利用两个参数：视电阻率、视充电（极化）率。

主要缺点：和频率域电法如 CSAMT、TEM、AMT 等相比，勘探成本较高。

在该项目研究过程中，分别对工作装置、观测技术及数据反演技术进行了应用研究。在实际工作中应根据勘探目的和深度要求，合理确定接收偶极距和供电偶极距大小，接收极距较大时，浅部异常反应较弱不易识别；接收极距较小时，深部信息较弱。

经过对比总结出：对于浅部（深度 150 m 以上）矿藏的勘查，宜采用偶极—偶极（D—D）装置（对异常体的反映更灵敏），接收偶极距不大于 40 m，用 6 ~ 10 Kw 发电机供电，可满足勘探要求；对于中深部（深度 1000 m 以上）矿藏的勘查，随着发射距离的增大接收信号会减弱，为提高接收信号强度，宜采用单极—偶极装置（P—D/D—P），用 30 Kw 或更大功率发电机供电，接收偶极距以接收到足够信号强度为准。

2. 关键技术

基于国内外发展现状及多金属矿勘查要求，本项目主要解决了如下 2 个方面的技术问题，并取得部分成果。

（1）采用自制电极转换开关，在仪器原有道数的基础上可进行道数扩展，进行阵列式布极，实现了二、三维拟地震测量工作方式。

(2) 通过引进的 GEOTOMB 公司研制的二、三维反演系统实现了大深度拟地震 TDIP 定量解释技术, 通过非等间隔有限元剖分构制模型可消除部分地形起伏影响。

二、应用范围及应用实例

我们成功的将大功率激电与地震勘探技术及高密度电法勘探技术结合起来, 使大功率特点与高密度特点充分发挥出来, 提高了分辨率, 加大了勘探深度, 观测方式采用了地震观测方式, 一点激发多点接收, 提高了生产效率; 进行了二、三维反演技术研究应用。分别在内蒙、山东、青海、四川、贵州、浙江、广西、蒙古等地开展了金、铜等多金属矿勘查工作, 对选用工作方式和工作装置进行了深入研究, 取得了较好的社会效益和经济效益。

下面为不同地区不同装置实际应用实例:

1. 内蒙古乌旗阿尔哈达地区铅锌矿物探勘查

2004 年在内蒙古乌旗阿尔哈达地区由我院物探中心进行铅锌矿物探勘查工作, 采用大功率拟地震激电测深方法 (单极 - 偶极双边观测), 该区地表覆盖严重, 地质资料缺乏, 根据激电异常先后布设 34 个钻孔, 其中 33 个孔见良好品位矿体, 另一个钻孔见矿化。

下面为本次工作的一条断面 (电阻率断面图和充电率断面图), 根据视充电率 M_s 和视电阻率 ρ_s 分布特征, 设计钻孔 ZK001, 经验证见多层矿体, 总厚度达 5 m, 与推断情况吻合较好,

2. 四川某地金矿勘查

本工程为四川某地金矿勘查中的激电勘查实例, 采用装置为偶极-偶极 (Dipole-Dipole) 装置, 偶极距 50 m, 供电周期为 8 秒, 勘探深度达到 500 m。

矿区地质条件为: 围岩为中三叠系板岩、炭质板岩、钙质板岩及砂质板岩, 矿脉分布明显受构造控制, 矿体产出于断裂破碎带下盘。

电阻率断面图比较清晰反映了本区电阻率分布特征 (见图 5), 3300 m 处清晰反映了本区控矿断裂 (F_6) 的空间展布形态, 倾向大桩号一侧, 倾角 40° 左右; 在 3300 ~ 3600 m 区间内, 出现一充电率异常 (见图 6), 充电率值大于 12 ms, 布置两个钻孔 (ZK1301、ZK1302) 进行验证, 在激电异常部位见金矿体, 位于断裂下盘, 异常体倾向与地质情况基本相符 (见图 7), 沿构造延展方向深部未见激电异常, 推测深部不成矿。在三维反演中段图上的充电率异常清晰地展现了极化体分布规律。

3. 吉林白山某地金矿勘查

本工程实例为吉林白山某地金矿勘查中的一条激电测深剖面, 采用装置为单极-偶极 (Pole-Dipole/Dipole-Pole) 装置, 偶极距 50 m, 发射电极间距 25 m, 最大办极距 1200 m, 供电周期为 8 秒。

矿区地质条件为: 围岩为三叠系泥岩、板岩及砂质板岩, 志留系凝灰岩, 矿体分布明显受构造控制, 矿体产出与断裂破碎带下盘。

如图 10 所示, 低阻部分为三叠系地层的反映, 高阻部分为志留系凝灰岩的反映; 沿构造延展方向出现一充电率异常 (见图 10), 产状与构造产状基本一致, 布置两个钻孔进

行验证，在极化异常下边界见到矿体，品位高于 3 g/t。

三、推广转化方式

- (1) 由国土资源部牵头，组织进行技术培训、理论推广；
- (2) 在不同类型的勘探项目中进行示范研究及推广应用；
- (3) 在不同矿种的热液型矿床进行示范研究及推广应用。

技术依托单位：中国冶金地质总局地球物理勘查院

联系人：张青杉

通讯地址：河北省保定市阳光北大街 139 号

邮政编码：071051

联系电话：0312 - 5905235

电子邮件：Qingshan - Zhang@163. com

JLMRS- I 型磁共振地下水探测仪

一、内容概述

随着人类社会进步、经济发展、人口的增加，我国水资源供需矛盾日益增加。为解决干旱地区的水危机，急需直接探测地下水的仪器装备。本项目研制了 JLMRS- I 型核磁共振地下水探测仪产业化仪器，填补国内直接用于地下水探测的仪器装备的空白，为解决水资源供需矛盾提供了技术支撑。

JLMRS- I 型核磁共振地下水探测仪器由电源箱、电容箱、控制系统、天线及数据处理软件等构成。该系统发射频率范围 0.8 ~ 3.7 Hz，发射电流最大 470 A，发射脉冲矩可编程设置，最大发射脉冲矩 18800 A · ms，接收器采用了基于开关电容的多级滤波放大技术，实现滤波器带宽在 10 ~ 122 Hz 范围，放大器增益在 103 ~ 106 范围可编程设置，采用 4 ~ 32 倍拉莫尔频率 16 位 A/D 采样的 4N 倍采样率的数字同步检测方法，利用数字正交矢量锁定放大器原理和三角函数的特点，有效提取信号，提高信噪比，实现噪声小于 5nV/(Hz) 1/2。经打井证、地下水探测实际应用，证明 JLMRS- I 型核磁共振地下水探测仪在相同叠加次数时的信噪比、探测灵敏度、大于 150 m 的探测深度、抗干扰能力及其与瞬变电磁场联合成像等技术指标方面超过了国际唯一商品化仪器 NUMISPLUS 的性能指标。

二、应用范围及应用实例

1. JLNMR 四子王旗泉掌水库地下水探测试验

2008 年 7 月，应用 JLNMR 地下水探测仪在内蒙古四子王旗进行了 12 次野外试验，其中 100 m 线圈共进行了 8 次试验，5 次的结果与 NUMIS 进行了对比，另外 3 次用于工程找水；利用 150 m 线圈共进行了 4 次试验，均与 100 m 线圈试验进行了对比，1 次用于工程找水。

在四子王旗泉掌水库试验地点，试验参数如下：使用方形 100 m × 100 m 的线圈和使用 150 m × 150 m 线圈，发射频率为 2375 Hz，叠加次数为 16 次，得到的信噪比是 45.03，试验结果如图 1 所示，由图 1 结果可知，从 8 ~ 100 m 均为含水层，最大含水量为 16.9%，接收频率集中在 2375.4 Hz，即为当地的拉莫尔频率，衰减时间从 140 ~ 250 ms，说明含水层对应的地质类型是粗砂层和砾质砂层，从相位图像也能明显看出 70 m 内是一个地质层。利用 150 m × 150 m 线圈试验结果如图 2 所示，由图 2 可知在 10 ~ 110 m 存在含水层，JLNMR 地下水探测仪 100 m 线圈和 150 m 线圈试验对比结果见表 1 所示。由表 1 可知，应

表 1 JLNMR 地下水探测仪试验结果对比

JLNMR 找水仪	含水层	最大含水量	接收频率	衰减时间	初始相位
100 m 线圈	8 ~ 100 m	16.9%	2375.4 Hz	140 ~ 250 ms	保持不变
150 m 线圈	10 ~ 110 m	24.3%	2376 Hz	103 ~ 246 ms	前段恒定

用 100 m 和 150 m 线圈进行地下水探测试验的结果基本一致,说明利用 150 m 线圈能探测地下 150 m 内的地下水情况,并且仪器探测的一致性较好。

2. JLNMR 四子王旗德胜沟地下水探测试验

本次实验的具体参数和结果如下:使用方形 100 m × 100 m 的线圈,发射频率为 2372 Hz,叠加次数为 32 次,得到的信噪比是 1.09。测试结果如图 3 所示,由图 3 可知,在 5 ~ 10 m 有一个含水层,最大含水量为 6.7%,在 56.7 ~ 100 m 还有一个含水层,最大含水量为 3.6%。两层含水层的衰减时间在 70 ~ 130 ms 之间,说明含水层对应的地质类型主要是细砂层。

3. JLNMR 在奈曼旗达尔沁地下水探测试验

2008 年 5 月在通辽市奈曼旗达尔沁的一个河道,需要在下游修筑拦水坝留住降雨渗入的地下水,水坝深入地下的距离要由地下水层的位置确定。本次试验的具体参数如下:使用 8 字形 50 m × 50 m 的线圈,发射频率为 2314 Hz,叠加次数为 24 次,得到的信噪比是 3.98。试验结果如图 4 所示,由图 4 结果可知,在 30 m 内存在含水层,最大含水量为 4.25%,衰减时间约为 200 ms 左右,说明含水层对应的地质类型主要是粗砂层,可以在此地截潜流,深度在 30 m 内。

4. 云南曲靖市陆良县地下水探测试验

2010 年春云南曲靖市部分地区干旱严重,在 2010 年 3 月至 4 月,在云南省曲靖市陆良县的小百户镇兴隆村,召夸镇新寨村等 6 个测区展开了地下水探测工作。

云南省陆良县小百户镇兴隆村小破沟地势较平坦,附近有高压线和村庄,电磁干扰严重,采用线圈形状为单匝 50 m × 50 m 8 字形线圈。探测结果如图 5 所示,由图 5 结果可知,地下 12.6 ~ 17.2 m 处有一层地下水,含水量为 2.0%,地下 44.6 ~ 60 m 有一层地下水,含水量为 6.2%。云南省科技厅依据测量结果,在当地组织打井,井深 70 m,每小时出水 80 t,成功解决当地两千多居民的饮用水问题。

三、推广转化方式

JLMRS- I 型核磁共振地下水探测仪通过吉林省智达测控仪器有限责任公司建成一个中试线,形成小规模生产,第一年 20 台,经过推广使用和改进后再进行大规模生产。在仪器推广使用过程中,对用户组织培训、指导,提供技术咨询,交流应用效果,通过技术转让、许可证贸易等向经济建设和社会发展领域扩散转移,扩大其应用范围。

技术依托单位:吉林大学

联 系 人:梁冰

通讯地址:长春市西民主大街 938 号吉林大学仪器科学与电气工程学院

邮政编码:130021

联系电话:0431 - 88502382

电子邮件:liangbing@jlu.edu.cn

磁共振-瞬变电磁地下水综合探测仪

一、内容概述

MRS (Magnetic Resonance Sounding, 磁共振测深) 方法是目前唯一一种非开挖式的直接地下水探测方法, 该方法具有获取信息全面、解释唯一、结果量化等优点, 已取得了很好的应用成果。但 MRS 方法存在探测深度有限、探测分辨率较低、测量速度慢、抗干扰能力较差等缺点; TEM (Transient Electromagnetic Method, 瞬变电磁) 方法具有探测深度大、分辨率高、测量速度快抗干扰能力强等优点, 但作为一种间接地下水探测方法, TEM 用于地下水探测时存在测量数据多解、结果不量化等缺点。如果将 MRS 方法和 TEM 方法相结合, 形成 TEM-MRS 联用地下水探测的方法, 将会有效提高地下水探测效能。2006 年, 中国吉林大学在“十一五”国家科技支撑计划重大项目的资助下, 自主研发核磁共振找水仪, 并提出了 MRS 与 TEM 联用仪器一体化设计思想。2009 年 7 月, 吉林大学设计开发的 JLMRS-TEM 联用仪的原理样机在内蒙古二连浩特城市地下水源地勘查工程中得到成功应用。2010 年 4 月, 在西南旱情最严重的云南, 采用 JLMRS-TEM 联用仪以及 JLMRS- I 找水仪, 进行科技抗旱, 为缓解当地群众的饮水困难发挥了重要作用。2010 年 8 月, 《核磁共振找水仪的研制与开发》项目通过了科技部专家组验收和鉴定。专家给出了自主研制成功的 JLMRS- I 核磁共振找水仪填补了国内空白, 其技术指标超过了国际商品化仪器 NUMISPLUS 的性能指标, 仪器整体性能水平处于国际领先地位。

二、应用范围及应用实例

2009 年夏到 2010 年春, 我国西南地区遭遇了百年不遇的特大旱灾, 广西、云南、贵州是干旱的重灾区, 多个地区出现饮用水短缺现象。为了缓解旱区人畜饮水困难的问题, 2010 年 3 月, 科技部组织吉林大学派出三个专家工作组携带吉林大学自主研发的 TEM-MRS 联用仪、JLMRS- I 型核磁共振地下水探测仪和 ATEM- II 型瞬变电磁仪等多种仪器设备赶赴云南、贵州和广西开展地下水探测工作。其中在云南进行地下水探测过程中, 根据探测需要在最为干旱缺水的 5 个测点使用 TEM-MRS 联用仪进行了 TEM-MRS 联用地下水探测, 确定了 2 个饮用水井位并为打井工程对提供了成井参数, 1 个月的时间内在严重缺水地区探测并打出了 2 口水井, 为解决旱区人畜饮水问题做出了一定的贡献。

2010 年 4 月 2 日, 为了解决会泽县大井镇饮用水短缺问题, 工作组来到了会泽县大井镇开展地下水探测工作。

大井镇的地下水探测工程中采用了 TEM-MRS 联用仪。由于测试地点的干扰较强, TEM-MRS 联用在 MRS 测量工作模式时采用了“8”字形收发天线, 收发天线的周长 400 m, 采用 12 个激发脉冲矩进行探测, 每个脉冲矩叠加 8 次, 最大探测深度为 60 m, 解释深度 61.2 m; TEM-MRS 联用仪在 TEM 测量模式时的接收和发射线圈都采用边长 20 m 方

形线圈，采用了 12.5 Hz 占空比为 1:3 的双极性发射，发射电流 20A，接收采样率为 200 KHz，叠加 1024 次的测量方式，探测深度为 80 m。图 7.13 所示为会泽县大井镇使用 TEM-MRS 联用测量的工区示意图，图 7.14 所示为 TEM-MRS 联用测量的结果。

通过对联用测量结果的分析，认为 15 ~ 80 m 含水量均较高，建议成井深度 70 m，估计出水量为 15 t/h，并确定了打井井位，图中带箭头的竖线的位置。该井 2010 年 3 月完成，实际成井深度 80 m，出水量为 10 t/h。图 7.15 是成井后进行抽水实验的场景。

三、推广转化方式

(1) 面向缺水的经济落后地区开展公益性地下水探测工作，解决或改善缺水的经济落后地区的饮水问题。

(2) 面向工农业生产需要开展社会服务性地下水探测。

(3) 面向矿井和隧道的突水问题，开展特殊条件下的应用技术研究。

技术依托单位：吉林大学

联系人：梁冰

通讯地址：吉林省长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130021

联系电话：0431 - 88502382

电子邮件：liangbing@jlu.edu.cn

重要成矿带以激电为主的 1:5 万综合物探技术应用

一、内容概述

为了提高矿产资源调查评价的综合预测水平和对中等埋深—浅表有色金属矿产的探测能力，孙文珂、刘士毅先生等提出了采用 1:50000 比例尺以激发极化法为主要手段的成矿带、矿田综合地球物理普查的技术思路。这一技术思路得到了中国地质调查局及有关领导的大力支持，2001 年中国地质调查局在东天山部署以激电方法为主的《新疆东天山铜矿带 1:5 万电法快速示范》项目，作为成矿带预查的一种手段，能否快速、有效的发现中浅埋深的隐伏矿床，在国内外其方法技术、工作参数、效果及工作效率均未有系统的研究成果。

2001 年作为全国首个成矿带开展 1:5 万电法快速示范项目的实施单位—新疆地质调查院第五地质调查所（新疆地矿局物化探大队），为确定一套适合东天山干旱地区 1:5 万电法普查的方法技术参数，选择土屋铜矿的主矿体开展不同供电电极距、充放电时间以及采样延时等技术参数的试验工作，兼顾效果和效益的相互统一，最终确定了适合大面积工作的一套技术参数，即供电电极距 2500 m、MN 极距 100 m、供电周期 8 秒和延时 150 毫秒的供电参数。面积测量使用 500 m×100 m 的工作网度，尽可能提高异常的分辨能力，用大功率设备供电采用“一拖三”的方式进行观测，即在一条主线上供电，除在主测线观测外，同时在两条旁侧线观测，在保证测量效果的同时，兼顾了工作效率。另外在用中功率发射装置时，实行“一拖二”的工作方式，即在两侧线之间供电，在其两侧的测线上观测。

通过近几年的应用成果得到不断的深化，在寻找与中酸性岩体有关的斑岩型铜（钼）矿以及寻找岩浆熔离型铜镍矿床，选用激电和重力方法组合；在寻找火山岩型铜、铁多金属矿在工作区缺少 1:5 万航磁成果的情况下应用激电、重力和磁法进行综合普查；在成矿带分布有较大面积的低阻覆盖层或存在大量的含碳地层，选用重力和磁法相配套的勘查手段，以达到找矿的目的。另外一般情况下选用 500 m×100 m 的测量网度，但在一些极化率背景较低并且寻找的目标体严格受规模不大的断裂所控制的区域，为不遗漏找矿线索，选用 500 m×50 m 的工作网度。

二、应用范围及应用实例

通过示范项目的实施当年取得应用效果，为新疆一些重要成矿带部署以电法为主的 1:5 万综合物探普查工作奠定了基础。新疆东天山铜矿带 1:5 万电法示范项目作为重要成矿带的一种勘探手段在全国首次开展，为在新疆特殊地理景观开展以物探工作手段为主的矿产资源调查建立了有效的工作技术参数，其成果在后期的靶区优选和查证工作中将延东铜

(钼)矿床向西延伸了1600 m,随着成果的进一步深化,延西铜矿的找矿也取得了突破。示范项目的成果得到了多个地勘单位的应用,并相继发现福兴铜矿、红山梁铜矿和金滩铜矿。上述找矿成果进一步说明在成矿带上开展以激电方法为主的1:5万综合物探普查项目的意义,拓展了成矿带的找矿思路,取得了很好的社会效益。

随后在新一轮地质找矿工作中,新疆地矿局、新疆维吾尔自治区国土资源厅地质勘查基金办公室分别在新疆多个重要成矿带开展综合物探普查工作。2012年中国地质调查局西北项目办在新疆哈密市东戈壁地区—雅满苏至东戈壁钼矿一带部署两个以激电和重力方法为主的1:5万综合物探普查项目。作为成矿区带和重要矿产矿集区一种有效而有快速的物探勘探手段,为加快新疆重要矿产勘查发挥着重要的作用。

2008年阿尔泰地区开展的《新疆青河县卡拉先格尔一带铜多金属矿战略性矿产远景调查》项目,以激电异常为主线,发现多处有意义的找矿线索,在卡拉先格尔一带对DJ-32激电异常检查评价,发现一个分布不连续、长约200余米、宽3.5~6 m的铜矿体,铜品位一般为0.20%~3.41%,并在卡拉先格尔南带异常查证深部钻探工作中发现厚2 m、品位达到3.4 g/t金矿体。

2009年开展的《新疆伊吾县琼河坝地区开展1:5万综合物探普查》项目,在调查区内圈定激电异常85处,磁异常66处,局部重力异常85处,优选出8处重点靶区,发现磁铁矿(化)点1处、金矿(化)点3处、铜矿(化)点1处,其中的拉依克勒克找矿远景区2011年自治区地质勘查基金项目项目管理办公室实施的隐伏矿定位研究项目中取得了新的找矿突破,发现了厚度较大的铜铁矿体,预示该区具有很好的找矿前景。

2011年《新疆和布克赛尔蒙古自治县洪古勒楞—沙尔布尔1:5万综合物探普查》项目以阿尔木强铜矿为依托,开展的1:5万综合物探普查工作,在阿尔木强铜矿区及外围圈定Cu、Te、Cr、Ni找矿远景区4处,综合物探异常22处,具找矿前景的异常靶区4个。通过异常查证,在Ⅱ-3异常区圈定3条铜矿化体,其中主矿化体宽30 m、控制长70 m,Cu品位在0.2%以上,最高品位4.67%,对应Ag的品位较高,最高10.41 g/t;在Ⅱ-1异常区圈定2条矿化蚀变带,其中主矿化蚀变带宽度13.5 m,Cu品位在0.2%以上,最高品位2.2%,对应Ag的品位较高,最高34.78 g/t。另外还圈定两处与阿尔木强铜矿异常特征相类似的激电异常,异常中心矿化蚀变强烈,见有辉铜矿化、黄铜矿化、孔雀石化、星点状黄铜矿化,局部有致密块状辉铜矿化,具有较好的找矿前景。

三、推广转化方式

目前该项成果在中国地质调查局推广应用。

技术依托单位:新疆地质矿产局物化探大队

联系人:程东兴

通讯地址:新疆昌吉市延安南路119号

邮政编码:831100

联系电话:0994-2722496

电子邮箱:xjddyws@126.com

安徽省濉溪县前常覆盖区综合找矿方法研究

一、内容概述

《安徽省濉溪县前常覆盖区综合找矿方法研究》属于安徽省 2005 年度省级地质勘查项目，原名为《淮北市前常-徐楼地区铁铜矿产资源预查及覆盖区综合找矿方法研究》。

淮北市前常-徐楼地区基岩由古生界和燕山期岩体组成，被新生界第四系松散层覆盖，覆盖层厚度 100~300 米，找矿难度极大。在该覆盖区开展综合找矿方法研究，代表性强，极具推广远景。

众所周知，覆盖区找矿难度大，但是实现“358”找矿突破行动目标，在覆盖区找矿是必然选择。我国覆盖区总面积约占国土面积的 1/2 以上，具有非常大的找矿潜力。我国华北平原、黄淮海平原、长江中下游平原覆盖区，与皖北地区成矿背景相同或相似，濉溪县前常覆盖区找矿研究成果，具有全国推广意义。

《安徽省濉溪县前常覆盖区综合找矿方法研究》，取得了 4 项重要研究成果。

(1) 物探方法有效性研究，研究了重、磁、CSAMT 法、CR 法、激电测量等方法的有效性和局限性。推荐了淮北覆盖区金属矿产勘查过程需要解决不同的地质问题时物探方法组合方案。

(2) 分析了 33 处已知矿床（点）重力、磁力和 CSAMT 法电阻率等物探异常特征，总结了“徐楼式”铁矿、“前常式”铁铜（金）矿床和矿田的物探异常模式，具有指导找矿实际意义。

(3) 对全区重、磁物探异常进行了系统分类解释研究。磁异常分 5 类，重力异常分 3 类，CSAMT 法异常分 5 类。各类异常均有定性和定量解释。为其它地区物探解释工作提供了模式。

(4) 建立了适应于华北地区“邯邢式”铁（铜）矿勘查的覆盖区勘查流程和找矿模式。找矿模式概括为“一选三定四阶段”。即“区域研究选区、重磁扫面定靶、综合勘查定位、钻探测井定性”。根据不同阶段取得的地质勘查成果和预期目标，按顺序先后开展不同的勘查工作，是覆盖区找矿的关键技术。“物探异常地质解释技术”、“覆盖区找矿靶区优选技术”和“覆盖区多种方法组合与深部异常信息采集与提取技术”是覆盖区找矿的核心技术。

二、应用范围及应用实例

(1) 在《安徽省濉溪县前常覆盖区综合找矿方法研究》项目实施过程中，共施工验证钻孔 16 个，8 个钻孔见矿，3 个钻孔见矿化，见矿率高达 50%，确定了 5 个矿致物探异常，地质找矿效果好。

(2) 在后续《淮北市三铺岩体成矿区铁铜金多金属矿整装勘查》项目中，继续应用

该项目研究成果，施工钻孔 33 个，21 个钻孔见矿，找矿取得了突破，预期可提交中型规模以上金矿床 1 处、可提规模以上铜、铁矿产地 2~3 处。

(3) 在《皖西北地区铁矿资源调查评价》项目中，应用找矿模式研究成果，在皖西北厚覆盖区发现了陶老铁矿，见矿深度 1535~1560 m 之间，结束了皖西北地区没有金属矿的历史。

(4) 在《无为县西湾铁多金属矿预查项目》中，应用找矿勘查流程研究成果，在新生界一中生界火山岩覆盖区，发现西湾铅锌矿。

三、推广转化方式

编写教材、举办培训班、开展项目专家辅导等方式推广“物探异常地质解释技术”、“覆盖区找矿靶区优选技术”、“覆盖区多种方法组合与深部异常信息采集与提取技术”和“覆盖区勘查流程和找矿模式”。

技术依托单位：安徽省勘查技术院

联系人：汪青松

通讯地址：合肥市阜阳路 700 号

邮政编码：230031

联系电话：0551-5858911 15256053399

电子邮箱：wqs5936@163.com

海南石碌式铁多金属矿床地质-地球物理-地球化学立体勘查技术

一、内容概述

海南石碌式铁多金属矿是我国最为知名的超大型优质富铁矿床，是以富铁矿为主，共伴生钴、铜、镍、银、硫、白云岩、石英岩、重晶石、石膏等多种矿产的矿集区。矿山开采已有五十多年的历史，按照矿山 2004 年实际矿石产量（500 万 t）计算，北一露天采坑将于 2014 年左右关闭，属重度危机矿山。

我省从 2005 年起即在石碌矿区开展找矿勘查工作，先后完成了《海南省昌江县石碌铁矿及外围矿产资源潜力调查报告》（2005 年）、第二批全国危机矿山接替资源找矿勘查项目《海南省昌江县石碌铁矿接替资源勘查报告》（2006 ~ 2009 年）和《海南省昌江县石碌铁矿接替资源详查地质报告》（2008 ~ 2010 年），现正在开展石碌整装勘查工作（2011 ~ 2015 年）。在前期取得一系列找矿效果的前提下，在成矿理论上创新地建立了“石碌式”铁多金属矿的成矿模式，矿床成因类型为多因复成的火山热液沉积-变质矿床；在找矿方法上创新地提出了“三位一体”进行矿床定位，即矿床主要受层位（石碌群第六层）、岩性（二透岩或角闪石质铁英岩、白云质岩或白云质铁英岩）、构造（复式向斜、层间剪切滑脱带、构造面理）和不同岩性界面等严格控制；在勘查技术上创新地建立了“石碌式”铁多金属矿床地质-地球物理-地球化学立体勘查技术模式，即在建立地质找矿模型的基础上，结合高精度磁测（ ΔT ）异常、重力异常（ ΔG ）、可控源音频大地电磁法（CSAMT）异常、瞬变电磁法（TEM）异常和化探元素异常组合等“五值合一”进行矿床定位，尤其是在重力异常和磁测异常叠加的地段，常常为富矿体赋存部位，大胆布设钻孔，从而取得了重大找矿突破。在成矿预测和找矿方向上在石碌矿区范围内圈出了 5 处找矿重点靶区，在石碌矿区近围圈出了 2 处找矿预测区，在石碌矿区外围圈出了 3 处找矿远景区。

二、应用范围及应用实例

近五年来，石碌矿区深部找矿工作已投入资金 9783 万元，施工钻孔 110 个，累计进尺 78115.39 m，单孔最大进尺 1003.18 m（ZK1904），有 86 个钻孔见到铁矿，见矿率达到 78.18%，其中有 21 个钻孔还见到铜钴矿，见矿率为 19.09%；根据目前钻孔揭露情况，铁矿体最大埋深 -601.91 m（ZK2108），铜钴矿体最大埋深 -472.7 m（ZK1302）。

通过近年来的理论研究和勘查实践，累计探获铁矿石资源/储量 21494.14 万 t、钴矿金属量 3075 t、铜矿金属量 17163 t、探获伴生组分有镍、银、硫等。净增优质富铁矿石资源/储量 7324.30 万 t、钴矿金属量 2719 t、铜矿金属量 16652 t。相当于为国家增加了一个大型的富铁矿床，一个中型钴矿床，一个小型铜矿床。矿产潜在价值约为 1321.83 亿元，

在海南石碌铁矿找矿方面取得了重大突破，实现了几代人找矿的梦想，使年迈的矿山重新焕发了青春。按探获的详查区 122b + 333 ($H_1 \sim H_4$) 铁矿资源储量 11645 万 t，可采系数取 0.6，生产规模按 260 万 t/年估算，可为矿山服务 27 年，本次勘查资源储量成果已为矿山地采方案设计单位利用，并及时调整了原来的方案设计，为矿山基建的合理设计与优化开采方案提供了可靠依据，目前矿山企业已在石碌北一露天采坑北西部，施工完成了 1 号竖井和斜坡道，计划三年后即可开采深部铁矿资源。

本成果对加速我国钢铁产业发展，促进海南省的经济和社会发展，实现矿山企业的可持续发展做出了十分重大的贡献。

三、推广转化方式

石碌铁矿区深部隐伏矿找矿所取得的重大成果，既具有重大理论意义，又具有重大实用价值，不仅可丰富和发展我国前寒武纪铁矿床成矿系统地质理论和铁矿找矿勘查技术，而且对保障矿山的可持续发展有着十分重要的现实意义。本成果被列为国土资源部危机矿山接替资源找矿的十大代表性成果之一，为近三十年来海南省铁矿勘查的最大突破，因而该成果具有重要的参考价值，对促进我国铁矿深部找矿的突破将发挥示范作用。

建议将研究成果应用于石碌矿区近围和外围有找矿前景的其它预测区，扩大矿床规模，实现找矿重大突破，力争实现石碌矿区找“北一”，石碌外围找“石碌”的目标，以获得最佳的找矿效益。并可以进一步推广至海南岛（保亭南好-三亚红石铁-铜-铅-锌找矿远景区、屯昌南坤园铁-金-钼找矿远景区、琼海铁-金找矿远景区和乐东铁-金-铜-钼找矿远景区）、乃至全国范围内具有类似成矿地质条件的地区。

技术依托单位：海南省资源环境调查院

联系人：刘朝露

通讯地址：海南省海口市南沙路 49 号

邮政编码：570206

联系电话：(0898) 66567280 13627553993

电子邮件：lzl680401@126.com

危机矿山找矿中的物探技术

一、内容概述

危机矿山接替资源找矿专项共有 174 项勘查（预测）项目任务书下达了物探工作；方法使用全面，包括了物探的重、磁、电、震、放全部 5 大类方法；使用仪器及软件先进，在用的仪器基本上包括了国际上最新型电法仪器：GDP32、V8、EM67 等；承担队伍非常广泛，来自于各个行业与领域。

物探方法在危机矿山接替资源找矿中取得显著效果，同时，积累了丰富经验、教训，因此，总结这些先进技术、经验和教训，加以培训推广，有利于提高全国固体矿产物探勘查水平。

二、应用范围及应用实例

（一）物探找矿案例分析

依据危机矿山接替资源找矿项目中物探技术应用效果，物探找矿实例可分为正面找矿成果及经验教训两方面。目前已经编制了 68 篇，篇幅可长可短，可全可偏，但内容都要有特色，例如：

湖北大冶铁矿主要展示国内首次使用大比例尺直升机航磁的找矿效果，迁安铁矿实例主要突出磁法三维反演的效果，四川平川铁矿实例主要介绍磁法在玄武岩中找铁矿的突破，山西二峰山铁矿主要给出磁法应用失败的三个教训等。

（二）新技术的应用

1. 井地磁测联合反演软件（SWMI3D）

地面高精度磁测覆盖面积广，但易受浅部干扰，并且深部矿体产生的磁异常呈弱区域场特征，因而难以识别与反演解释深部盲矿体；而井中磁测能够避开浅部干扰，在钻孔中直接探测深部磁场，但又受钻井的限制，控制的范围十分有限。采用井地磁测联合反演深部盲矿体，势必能够发挥两种方法的优点，达到优势互补。为此，全国危机矿山项目管理办公室设立了《井-地磁测联合反演技术示范》项目（编号：200799084），由中国地质大学（武汉）承担，开发了具有自主知识产权和中国特色的 3D 井地联合反演软件（SW-MI3D）。该软件是利用可视化技术同时对地面高精度磁测资料与井中三分量磁测资料进行反演解释的软件系统。通过反复修改 3D 地质体模型形状及磁性参数，使得模型理论值充分拟合地面高精度磁测与井中三分量磁测的观测值，从而获得对地下地质体的解释。

2007 年以来，已在湖北大冶、青海尕斯库勒、海南石碌及澳大利亚 CXM 矿权区等国内外十几个矿区示范与应用，在深部找矿中取得明显的地质效果。

2. 地-井方位激发极化法三维正演模拟和人机交互解释软件

该软件是桂林理工大学在国家自然科学基金、国家危机矿山接替资源找矿项目等科研

成果的基础上开发完成的。软件主要功能：

1) 地 - 井方位 IP 三维有限元正演模拟, 软件适用于任意三维地电体的直流激电正演模拟;

2) 地 - 井方位 IP 数据的人机交互解释, 利用软件三维建模和快速正演交互操作实现对实测数据的拟合解释。

软件特点: 算法先进, 计算速度快; 软件界面友好, 模型构建简单, 方便使用; 适用于斜井、任意异常体的电位、视电阻率和视极化率正演模拟; 软件自主开发, 拥有自主知识产权。

(三) 电磁法抗干扰技术探索

电磁法在危机矿山接替资源找矿中面临最大的难题就是: 如何在强干扰环境下获得较好的效果。为了解矿区干扰对电磁法的影响程度并研究有效的抗干扰措施, 全国危机矿山接替资源找矿项目管理办公室设立了“危机矿山电(磁)方法有效性比对”项目(项目编号: 2006990066), 由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所承担, 在安徽省铜陵市冬瓜山铜矿区开展了 CSAM、TEM、AMT、IP 等方法的比对及抗干扰试验工作。

试验表明: 矿山及其外围开展电磁法工作存在严重的电磁干扰, 导致一些数据质量不符合质量要求; 合理使用抗干扰措施可以有效的改善数据质量。

(四) 瞬变电磁方法技术(TEM)的科学使用

瞬变电磁法是一种探测低阻体的有效方法, 已在国内全面的推广应用, 取得了很好的应用的效果。但在危机矿山中由于环境、电磁干扰等因素的影响, 按照常规做法已很难取得理想效果。因此在危机矿山中开展瞬变电磁测量, 应该更科学的使用该方法:

1. 科学地认识、评价 TEM 仪器系统(EM67、GDP32、V8)的性能;
2. 科学地应用方法技术应对特殊环境与干扰;
3. 数据处理与解释工作的科学方法。

三、推广转化方式

按照“危机矿山专项物探找矿案例分析”、“井地磁测联合反演软件(SWMI3D)”、“地 - 井方位激发极化法三维正演模拟和人机交互解释软件”、“电磁方法抗干扰技术探索”和“瞬变电磁方法技术(TEM)的科学使用”等 5 方面内容开展技术交流及培训工作。

技术依托单位: 中国地质调查局发展研究中心

联系人: 颜廷杰

通讯地址: 北京市西城区阜外大街 45 号

邮政编码: 100037

联系电话: 18910897019 010 - 62303049

电子邮件: ytingjie@mail.cgs.gov.cn

新疆土屋—延东一带斑岩型铜矿床物探组合模型应用推广

一、内容概述

（一）成果简介

新疆哈密市土屋—延东铜矿区经过 1998 ~ 2003 年度国土资源大调查项目的实施，取得了斑岩型铜矿找矿的重大突破。后续在土屋—延东铜矿一带的覆盖区采用大功率激发极化法，结合高精度重力、磁法、可控源音频大地电磁法 CSAMT、瞬变电磁法 TEM、频率域激发极化法 SIP 的应用，发现隐伏的中型延西铜矿床，并在延西铜矿区外围的延西靶区、土西靶等覆盖区取得了找矿新成果，为东天山覆盖区利用物探组合模型找矿开创了先例。

（二）物探组合模型

（1）侵位于企鹅山群第二组内部的闪长（玢）岩和斜长花岗斑岩是铜矿的赋矿岩体，斑岩体的侵入就位形成以黄铁矿为主的硫化物外带，以钾化带为主的内带，为物探组合模型的建立奠定了基础（图 1）。

（2）物探组合模型概括为“二高二对应一相关”，即“二高”为高磁、高重力，反映了闪长（玢）岩存在；“二对应”指出了斑岩铜矿体对应分布在高极化异常带（斑岩型蚀变的外带）和高阻异常带（斑岩型蚀变内带）上；“一相关”指出了斑铜矿床仅与火山岩地层密切相关。

（3）物探组合模型内涵模型概括为“反映斑岩体外带的极化异常体沿着反映闪长（玢）岩体的重磁异常体顶或底板侵入就位，形成了反映斑岩体内带的电磁测深法（CSAMT、TEM）的高阻异常”。

二、应用范围及应用实例

总结出土屋、延东斑岩型铜矿床的物探组合模型后，推广应用到具有覆盖的延西矿区、延西靶区、土西靶区，并发现这些斑岩型铜矿床。图 2-1、图 2-2、图 2-3。

1. 土屋矿区

反映斑岩体的 DJ-I 极化异常，沿反映闪长玢岩的 C981-1 磁异常体的底板侵入，形成富铜矿体，获得 332 + 333 + 334 铜资源量 227.1604 万 t。

2. 延东矿区

反映斑岩体的 DJ-3 极化异常体沿着反映闪长岩的 C98-4 磁异常顶板侵入就位，形成富铜矿体，获得 332 + 333 + 334 铜资源量 296.3687 万 t。

3. 应用推广—延西矿区

本区地处侏罗系覆盖盐碱壳区，它是延东矿区向西的延展，延西 C06-1.1 磁异常和 G06-1 剩余重力异常均反映了闪长岩体。反应斑岩铜矿体 $\eta-1$ 弱极化异常和 $\rho 06-1$ 相对弱高阻异常沿着闪长岩顶板侵入就位。同时形成了反应斑岩体内带的 CSAMT 高阻异常，符合物探组合异常模型。

应用物探组合模型获得延西斑铜矿区 332 + 333 铜资源量 26.3474 万 t。

4. 应用推广—延西外围（延西靶区）

本区地处侏罗系覆盖区（覆盖层平均厚度 50 m），它是延西矿区向西的延展，C06-2 磁异常和 G06-2 剩余重力异常为闪长岩，反映斑岩体的 $\eta 06-3.2$ 极化异常和 $\rho 06-3.2$ 高阻异常沿着闪长岩顶板侵入就位，同时形成了反应斑岩体内带的 CSAMT 高阻异常，符合物探组合异常模型。

应用物探组合模型获得延西靶区铜矿区 334 铜资源量 1.4239 万 t。

5. 应用推广—土屋延东外围（土西靶区）

本区地处侏罗系覆盖区，位于土屋与延东矿区之间，由于覆盖层（平均厚度 180 m）极化异常极其微弱（小于 2%），重磁异常仍然存在，使用大功率 1:1 万激发极化法，极化异常背景下限选取 0.5%，发现了由延东矿区向东延展的弱极化异常 η_1 ，反映斑岩体的 η_1 沿着 C98-3 磁异常体顶板侵入就位，形成了反映斑岩体内带的 CSAMT 高阻异常，符合物探组合模型。

应用物探组合模型获得土西靶区斑铜矿区 334 铜资源量 1.87 万 t。

由于物探组合模型的应用推广，获得土屋、延东、延西、延西靶区、土西靶区 332 + 333 + 334 铜总资源量 526 万 t。四、推广应用范围和方法技术

（一）应用范围

（1）位于大南湖岛弧南缘和觉罗塔格北翼之间的重磁梯度带，介于大草滩断裂与康古尔塔格深断裂之间区域，此区域呈近南北向带状，长 200 km，宽 6 ~ 40 km；

（2）此模式有较大的应用前景，它是把地质规律转化为物探异常的“量化”过程，不管斑岩体是否出露都适用。

（二）方法技术

（1）在火山岩地层区，围绕着重磁梯度带，开展 1:2 万（200 m × 40 m）磁法和重力面积性工作，寻找由中基性如闪长（玢）岩引起的磁和剩余重力异常；

(2) 围绕“重磁同高”异常，开展 1:1 万（100 m × 20 m）激发极化法面积性工作，寻找极化异常；

(3) 围绕极化异常，开展可控源音频大地电磁法（CSAMT）或瞬变电磁法（TEM）剖面性工作，寻找极化异常体相对应的高阻斑岩体；

(4) 围绕斑岩体，实施钻探验证，最终达到找矿的目的。

三、推广转化方式

推广应用的方式，可采用委托、联合、承包的形式，与新疆地质矿产开发局和新疆地质矿产开发局第一地质大队实施此项技术开拓和专让。

技术依托单位：新疆地质矿产开发局和新疆地质矿产开发局第一地质大队。

联系人：张征

通讯地址：新疆昌吉市地质村综合办公楼一大队，

邮政编码：81000，

联系电话：13899607151

电子邮件：zhangzheng1023@163.com

电磁式可控震源系统

一、内容概述

震源是地震勘查技术的重要组成部分，是产生地震信号的源头。震源产生信号的质量直接影响地震勘查的效果。从 1960 年至今，可控震源理论和技术有了很大的发展。用于油气勘查的大吨位可控震源由液压驱动，其扫描频带宽度在 6 ~ 180 Hz，最大输出力为几十 KN。本成果针对液压式可控震源存在的问题，研制了一种基于电磁式的可控震源系统。

本成果采用激震器与电控系统分离的结构形式，并且在电控系统的体积和重量上进行优化设计，在激振器结构设计中，为便于搬移，又采用了配重与激振器可分离的设计方法，即采用分部设计再组装构成系统的设计思想。图 1.1 给出了高频可控震源整体结构图（没有包括发电机部分）。

它通过直接数字合成技术 DDS（Digital Direct Synthesize）产生扫描信号，再经过放大来驱动电磁激震器，使扫描信号以机械波的形式经基板传送到地面。它主要由伺服系统、信号发生卡、功率放大部件、激震器、震动陷位保护、幅度相位控制环路、键盘、液晶显示和稳压电源等部分组成。各部分的主要设计思路如下：

1. 伺服系统

伺服系统主要由一块带有 PENTIUM233CPU 的高性能工控机主板构成，在实现扫描波形输出的同时，它负责根据当前设定的系统工作环境以及由从激震器的基板和反应块反馈回来的信号，对信号发生卡输出的信号进行实时控制，其主要根据当前的地表条件，通过对扫描信号幅度的控制，来实现震源基板与地表的不脱耦控制；其次将激震体的反馈信号与信号发生卡输出的驱动信号进行实时相位监控，将基板信号与驱动信号的相差控制在 3° 以内；并通过系统触发单元，向地震波接收仪器提供有效的同步触发协议。

2. 信号发生卡

信号发生卡由参考频率源、相位累加器、功能函数存储器、D/A 转换器以及低通滤波器等组成，由该卡可以输出任意波形、较宽频率范围和幅值可选的信号，分别用于不同的地震勘探场合。

3. 功率放大部件

功放部分实现对信号发生卡的扫描信号进行放大，以达到对激震器的足够驱动能力。

4. 震动陷位保护

震动陷位保护通过对震动过程中的过大幅值的震动进行自动陷位，以免其对激震器的机械系统造成永久性损伤。

5. 幅度相位控制环路

幅度相位控制环路用于配合伺服系统实现对整个震动过程的有效控制。

6. 键盘、液晶显示

键盘、液晶显示提供震源操作过程中的正常人机交互。

7. 稳压电源

可控震源使用交流电工作，稳压电源通过对市电稳压、整流后分别输出 $\pm 12\text{V}$ 、 $\pm 5\text{V}$ 和 $+40\text{V}$ 等直流电压给整个震源系统供电。

电磁驱动的可控震源激震体由高能激振器、配重、基板以及外罩等部分组成（具体构成原理图如图 3.1.2 所示）。其中高能激振器由动圈、铁芯、磁钢、磁极板、壳体等组成。动圈骨架上部可直接和激振顶杆相连。动圈处于铁芯和磁极板之间的工作气隙中。动圈由二组弹簧支持，构成激振器的可动系统（部件）。弹簧本身固定在壳体上。当功率放大器供给动圈可变频率电流时，由电磁感应定律，在动圈周围便会产生对应的交变磁场，此磁场与恒定的磁极板磁场相互作用，促使动圈带动壳体按给定的信号震动。配重直接与高能激振器壳体相连，基板与产生永磁场的磁极板相连，在电磁场推动动圈上下震动的同时，动圈也会对基板产生一个反作用力使其连续的“推拉”弹性地面，即产生地震波。

二、应用范围及应用实例

- (1) 可控震源在唐山地区的实验
- (2) 可控震源在河南郑州黄河滩的实验
- (3) 可控震源在辽宁鞍山地区的实验

使用可控震源系统在辽宁鞍山东山隧道对已知隧道进行精密探测，得到与实际隧道位置吻合的结果。

通过与矿区已有的地质资料进行对比，可控震源勘探得到了非常满意的结果。

三、推广转化方式

本成果将基于国家地球物理探测仪器工程技术研究中心开展成果推广工作，国家地球物理探测仪器工程技术研究中心是目前吉林省内唯一一家针对于地球物理仪器方面的国家级工程中心，中心具有优秀的软硬件平台，本成果将依托工程中心和吉林大学实现可控震源的研制和产品推广，最终实现本成果在国内外市场的产品化。

技术依托单位：吉林大学

联系人：梁冰

通讯地址：吉林省长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130021

联系电话：0431 - 88502382

电子邮件：liangbing@jlu.edu.cn

无缆自定位地震仪

一、内容概述

社会的发展使人类对金属矿产资源的需求与日俱增，但由于已探明浅层矿产的采空和新矿床发现速率的下降，导致了基础金属总储量的下降，为了满足社会发展的需要，要求发现新的矿产地、拓展新的找矿空间，因此开展深部找矿研究是其关键所在。几十年来，金属矿勘探的主导技术如电磁法、感应极化法、位场技术等，因其自身基本原理所限，在探测深度上的灵敏度和分辨率水平有限，难以探测 500 m 深度以下的深层矿体。源于石油工业的地震方法，不仅探测深度可达数千米，而且在深度分辨率上优势明显，可以有效探测 500 m 以下的“第二富集带”，是目前开展深部找矿最有应用前景的方法之一。

我国金属矿多伴生在复杂的地质地形条件之下，地表条件差，地形起伏大，植被发育，通行条件差，给野外地震采集系统的布设以及相关的地质测量工作带来很大困难。油气地震勘探也存在类似的情况，由于我国东部各大油区已从早期的大规模勘探阶段转为开发管理阶段，目前西部及南方的复杂地貌地区成为今后的勘探重点。因此，开展山地等复杂地形区域地震勘探，也是今后石油地震勘探的发展趋势。

传统有线遥测地震仪采用电缆线构建地震数据采集系统，随着地震采集道数的增多，电缆线数量和重量不断增加，给复杂地形地表条件下地震观测系统的铺设带来严重困难，数据采集难以实现。为适应复杂地形条件下地震勘探数据采集，国外地球物理勘探装备公司相继研制了专用地震仪，如法国 Sercel 公司研制的 UNIT 地震仪和前美国 ION 公司研制的 FireFly 地震仪，二者都属于无缆地震仪，地震数据采集均采用“先存储后回收”的方案。而对于复杂地形条件下地震观测的地质测量工作，二者均未给出有效可行的解决方案。本单位提出自定位的无缆地震仪，在适应复杂地形地表条件地震数据采集的同时，通过 GPS 静态定位技术实现地震检波器的 1 cm 级精度定位，将地震数据和地质测量数据融合在一起，为后续地震数据处理提供高精度地理位置信息。此外，针对复杂地形地表条件下地震波场复杂、有效地震信号微弱的情况，系统采用最佳噪声匹配技术结合 $\Delta\Sigma$ 模数转换技术降低模拟前端噪声，得到 1 μV 级的噪声水平；通过 GPS 授时结合驯服实时时钟（RTC）授时技术实现了 $\pm 3.2\mu\text{s}$ 的同步精度；对于无缆地震仪的数据质量监测问题，系统通过 802.11 g 无线通讯技术实现了地震采集站运行状态监测和关键观测点地震数据实时监测。分布式无缆自定位地震采集站如图 1 所示，地震仪性能参数如表 1 所示。野外试验表明，本地震仪数据采集性能与 428XL 相当，自定位精度达到了厘米级水平，本地震仪能够用于解决复杂地形地表条件的地震数据采集。

表 1 无缆自定位地震仪性能参数

性 能		参 数	性 能		参 数
数据 采集 性能	单站道数	4	系统 供电	电池类型	内置锂电池
	A/D 分辨率	24 位		电池电压	12V
	采样率	1, 5, 10, …, 4kHz		电池容量	20AH
	噪声水平	1.5 μ V		最大平均功耗	2.5W
	道间串扰	< -120dB	数据 回收	传输协议	TCP/IP
	谐波失真	< -118dB		传输速率	>20Mbps
	前放增益	0dB, 18dB	无线 通讯	通讯协议	802.11 g
	动态范围	120dB		状态监测	支持
	最大差分输入	5V _{p-p}		数据回传	支持
	共模抑制比	>90dB	自测试	正弦波测试	有
	高切滤波	5.3KHz		检波器阻抗测试	有
	同步精度	$\pm 3.2\mu$ s		道间串扰	有
性能	输入阻抗	20K Ω	自定位	定位类型	GPS 静态定位
	数据存储容量	8G 字节/站		定位误差	<10 cm

二、应用范围及应用实例

系统总装后，在甘肃金昌铜镍矿区开展了与 Sercel 公司 428XL 地震仪的同线比对实验，428XL 单点采用检波器串（6 检波器组合）实现采集，无缆自定位地震仪单点采用单检波器实现采集，单炮记录和处理结果对比如图 2 和图 3 所示。实验结果显示，无缆自定位地震仪单炮记录和处理剖面与 428XL 基本一致，其处理剖面对第四系地层进行了详细划分，同时对深部隐伏岩体和矿体也有较好的反映。测线某区段共 97 个观测点的 GPS 静态定位平面投影如图 4 所示，测线观测点高程相对走势如图 5 所示，定位误差为 0.5 cm。

三、推广转化方式

技术依托单位：吉林大学
联 系 人：梁冰
通讯地址：吉林省长春市西民主大街 938 号
邮政编码：130021
联系电话：0431 - 88502382
电子邮件：liangbing@jlu.edu.cn

分布式遥测地震仪

一、内容概述

突破传统集中式地震仪的设计约束，采用分布式架构，基于接力式以太网技术解决了有线遥测地震仪中的大数据量传输难题，适合于各种复杂地质条件下的地震数据采集。仪器软件采用人性化设计，高度集成，操作方便，各类用户可在最短的时间内掌握仪器的操作并获取工程所需的最佳解决方案。仪器系统采集站由 8 道构成，采集站之间用轻便的数传复合电缆相互连接，实际数传速度高于 16Mbps。可构成数十至上百道的地震采集系统，用于工程地质、水文地质、环境地质等勘探领域；通过交叉站组成数千道的地震数据采集系统，可用于石油、煤田的 3D 地震勘探。本成果获国家发明专利一项，具有完全自主知识产权，与国外同类仪器相比，在数据传输速度，性价比等方面具有明显优势。

主要特点：

- 采用 24 位 A/D 转换器，最高采样率 32 KHz；
- 数字传输方式，消除了地震信号在传输中的畸变；
- 观测系统软件支持各种地震排列设计，支持反射法覆盖测量；
- 运行全中文 WINDOWS 系统下的采集软件，支持各种地震勘探方法；
- 基于 100M 以太网卡，有效数传速度高于 ≥ 16 Mbps；
- 自检软件可以检测检波器和仪器的工作状态；
- 采集站自动寻址，布线便捷。

二、应用范围及应用实例

1. 黑龙江东宁金厂金矿地震勘探

时间：2008 年 9 月

地点：黑龙江省金厂金矿

利用自主研发的有线遥测地震仪在金厂矿区 18 号矿体进行了地震勘探实验，初步探明了几个可能成矿破碎带。

2. 蒙古国煤矿探测

时间：2011 年 7 月

地点：蒙古国南戈壁地区

2011 年 7 月，基于自主研发的仪器与蒙古国 MicroSeismic 公司合作，在蒙古国南戈壁某煤矿完成了 39 公里的地震剖面测量，取得了满意的结果。

3. 河南栾川钼矿采空区探测

时间：2012 年 1 月

地点：河南栾川钼矿

2012 年 1 月，基于自主研制的仪器，在河南栾川洛钼集团公司某采空区域进行了采空区地震探测试验，探明了几个已知的采空区域，证明了该方法的可行性，并与洛钼集团公司达成了进一步的合作意向。

三、推广转化方式

本成果依托国家地球物理探测仪器工程技术研究中心及其公司（长春国地探测仪器工程

技术股份有限公司），采用合作转化方式，进行成果的转化与推广。由合作企业提供中试和生产相关人员和设备，对成果进行二次开发；成果拥有方提供核心技术支持，双方优势互补，风险共担，利润分成，最终完成产业化目标。

成果推广主要由合作企业完成。由于本成果产品具有行业应用特点，通过在行业内对产品的宣传与推广，加速市场拓展步伐，逐步扩大销售渠道，全面提升行业内部对本项目产品的认知度。采取的推广策略如下：

- （1）与国内知名的地震勘探仪器销售商达成意向，由其代理本成果产品；
- （2）努力发展国外代理商；
- （3）加强自身销售队伍的建设，通过多渠道的宣传和推广，扩大销量和品牌的影响，扩大企业和产品的知名度；
- （4）加快产品的系列化和多语种产品的开发，从而保证对不同的国际市场的占有。

技术依托单位：吉林大学

联 系 人：梁冰

通讯地址：长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130021

联系电话：0431 - 88502382

电子邮件：liangbing @ jlu. edu. cn

城市抗干扰地震勘探技术

一、内容概述

地震勘探是地球物理勘探中的一种重要方法。地震勘探的理论基础是岩、土介质的波阻抗差异，研究的基本方法是利用机械或炸药震源人工激发地震波，沿测线的不同位置用检波器接收、地震勘探仪器记录地震波，通过分析地震波在介质中的运动学和动力学特征，获得地下地质信息。

由于地震勘探利用的是弹性波和弹性波经震电转换后的电信号，因此，城市中的各种震动干扰和电磁干扰对地震勘探影响十分严重，识别和压制外界各种干扰是城市地震勘探必须解决的问题之一。本勘探技术较好地解决了城市干扰和硬地面检波器接收和激发问题，使得地震方法能够在城市特定环境下解决工程地质调查中的问题。

由于采用非爆炸激发震源，因此该方法无污染，对城市地面和地下建筑设施无破坏作用，且具有分辨率高、探测深度大、探测结果准确可靠等特点。

二、应用范围及应用实例

随着我国人民生活水平的改善和人们对居住环境安全要求的日益提高，以及各级政府对城市交通、旧城改造的不断投入，各类大型工程选址和工程勘查项目以及城市活断层探测项目日益增多，促使地震勘探成为城市工程物探中的主要方法和手段。经过多年试验研究，城市抗干扰地震勘探技术已成为一种比较成熟的方法技术，该方法技术已成功应用到全国多座城市的活动断层探测、大型工程项目选址勘查、工程地质调查、地热勘查、地质灾害调查等诸多方面，成功地解决了依靠常规地震方法难以解决的地质问题，取得了较好的社会效益，具有较好的推广应用前景。

三、推广转化方式

该项研究成果已撰写成专著《城市地震勘探》，2011 年已由地质出版社出版发行，本专著发行对推广该科研成果起到了重要作用。该研究成果也可采用会议交流、人员培训、技术咨询等方式进行推广。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

厚黄土塬区煤田地震方法技术

一、内容概述

1.1 课题研究背景及其意义

我国煤炭地震勘探技术的发展有着近 50 年的历史。从无到有，从使用光点仪、模拟仪、数字仪到无线遥测仪；从折射到反射，从单次覆盖到多次覆盖；从二维到三维；从单波到多波。经过几代人的不断努力，逐步形成了中国特色的煤炭地震勘探技术体系。

经过 50 余年的煤田地质工作，我省地形地质条件好、地震物性条件好、非隐伏地区的煤田地质工作已基本完成。剩余的不是在沟谷纵横的山区，就是沙漠戈壁区，尤其是煤炭资源分布较集中、且预测的煤炭资源量大的甘肃陇东地区（预测资源量为 1342 亿吨，占全省总预测量的 94%）。这些地区都属于地形地质条件特别复杂区，也是地震勘探的难区。

陇东巨厚黄土塬区，经过长期的风化、侵蚀、冲刷、切割，形成形态各异的塬、梁、峁、坡、沟谷等特别复杂的地形，黄土层厚度变化大，地形起伏剧烈，相对高差大，相对高差一般在 200 ~ 600m 之间，含水性差异大，潜水面变化大，所有这些给地震勘探带来极大的困难。是目前煤田地震勘探的难区和"禁区"。要在这些地区寻找新的煤炭资源地和提高生产和在建矿井地质工作程度，必须解决地震资料采集、数据处理和地质解释等难度大的问题。要获取高精度的地震地质资料，必须依靠新技术、新方法。通过本项目的研究，研究出一套适合巨厚黄土区煤田地震勘探的方法技术（野外数据采集技术、观测系统设计、资料处理及解释方法），运用地震资料指导钻探，有的放矢，从而减少地质勘查的盲目性，降低勘探风险性，降低勘查投资，更好的为我省的煤炭资源开发服务。

1.2 陇东巨厚黄土塬区地震勘探技术研究亟待解决的问题

陇东巨厚黄土塬区地震勘探技术研究主要是研究地震资料设计、采集、处理、解释技术，本次研究要针对这些问题进行研究。

首先的问题：技术研究主要由采集技术，包括设计、激发、接收三部分组成。设计的主要目的是减弱采集脚印，提高处理成像质量，激发主要是研究黄土塬合理的激发技术，接收主要是研究黄土塬区的接收技术。

其次是处理技术的研究，处理技术的重点是静校正技术的研究，同时偏移成像也是研究的重点，建立处理流程。

最后是研究解释煤层中的断层、褶曲及煤层厚度、变薄缺失带等，煤层波的属性分析也是本研究的主要内容。

1.3 取得主要成果

1.3.1 研究了巨厚黄土塬区煤田地震勘探的野外数据采集技术，包括激发因素、接收因素、激发和接收线位置等，研究认为：

a)、井深的增加,有利于压制面波和多次折射波、次生面波强度,提升有效波分辨率。

b)、黄土塬勘探现在还谈不上高分辨率问题,最关心的是信噪比,大的药量有助于提高信噪比,但炸药量的变化不是主导因素,爆炸速度等于激发地层速度时激发效果最好。

c) 多井组合激发与组合检波具有互换性,组合越多越利于压制干扰。

d)、黄土沟中激发因素选择多井组合,有助于提升噪比,并且反射波层次更加丰富,井内距 5m,单井 1kg 药量,60Hz 和 100Hz 检波器接收记录信噪比高,仪器低切 25Hz 较好。

e)、黄土塬、坡、沟测线应采用不同的观测系统与参数,高的叠加次数有利于提高原始资料的信噪比。

1.3.2 陇东巨厚黄土塬区的静校正问题是陇东矿区地震勘探中面临的一大难题,资料处理的主要障碍是如何解决长波长静校正问题,研究提出运用高精度层析成像静校正技术解决静校正不到位的难题,并从术基本原理、应用两方面做了深入研究,对其特点及应用中需要注意的问题提出了指导意见。

1.3.3 对巨厚黄土塬区地震数据的解释流程、解释思路、断层、褶曲、断点解释及煤层波的层位确定做了深入研究,对煤层缺失变薄带的解释、有效反射波分叉合并现象解释做了进一步研究。

1.3.4 通过陇东巨厚黄土塬区宁县、独店、合水等地的生产应用,对研究成果做了进一步的验证。

1.4 创新点

a) 采用深井、大药量激发的方式提高原始记录的信噪比。

b) 搞好低降速带调查工作,取全、取准第一手静校正资料,以低速带调查成果设计井深,保障激发条件较好。

c) 通过"两低两多"(低爆速炸药、低频检波器、多只检波器接收、多叠加次数)方式进行野外作业。

d) 用多井组合的方式激发。

d) 借鉴石油勘探,利用低速带调查成果逐井设计井深的方式采集资料,尽可能的采用在降速带或高速带中的单井激发。

e) 资料处理采用综合静校正。

二、应用范围及应用实例

2.1 甘肃省合水东~宁县北煤炭资源普查二维地震勘探

2.1.1 地质概况

地层:勘探区地层从老到新有:三叠系、侏罗系、下白垩系和第四系。

煤层:本区含煤地层为中侏罗统延安组。延安组所含煤层可以全区或局部追踪对比的有 4 个煤层(组),自上而下编号为煤 2、煤 5、煤 6、煤 8 层。煤 5、煤 6 是区内的主要可采煤层,煤层分布范围内,层位稳定。煤 8 层只在测区西部边界零星分布。总的规律是隆起区含煤性差,坳陷区含煤性较好。构造:勘查区位于陕北单斜的西南端。总体为一个向北西缓倾的单斜构造。次级构造为短轴状的宽缓背斜(隆起)和向斜(坳陷)。各

背、向斜轴线弯曲以" S" 型为主，轴部宽短，两翼倾角平缓。区内断层不发育。

2.1.2 地震地质条件本区表层地震地质条件复杂，浅层地震地质条件差，深层地震地质条件较好。本区深层虽具备形成反射波的物性条件，但地表及浅层地震地质条件较差，给地震波的接收和激发带来了极大的不利。因此，本区应属地震地质条件复杂地区。

2.1.3 试验工作

本区表、浅层地震地质条件复杂，试验工作尤其是激发井深、激发药量的试验成为关键。试验前进行工地实地踏勘，选择有代表性的点作为试验点，本区主要是黄土覆盖区、半坡、沟底基岩出露，本次试验重点加强黄土区试验。

①针对黄土巨厚区的试验炮点较多的情况，试验点选在较开阔的地方；根据前期试验资料，选择地震记录反映好的地段，能够在一个点完成相同对比因素的试验。

②试验工作遵循由已知到未知（尽量选在已知钻孔附近），由简单到复杂及单一因素变化的原则进行，按照先点试验，再线段试验的顺序进行试验。

试验的主要内容有四项：

1、激发因素；2、接收因素；3、低速带调查；4、干扰波调查。

2.1.4 试验结论

通过对点试验资料的分析，可以看出，采用多井组合、大药量激发、高迭加次数等技术措施，可以取得较理想的时间剖面，达到解决地质任务的目的。确定的各项施工参数如下

激发因素：黄土塬：6 井 $\times$ 2kg $\times$ 12m。沟谷：井深大于 6m，6 井 $\times$ 2kg；井深小于 6m，6 井 $\times$ 1kg。

接收因素：检波器频率 60HZ。10 个检波器堆放。

仪器因素：加拿大产 ARAM. ARIES 数字地震仪；采样间隔：1ms；记录长度：2S；

观测系统：

激发方式：中点

炮点距：20m

接收道数：144 ~ 288

道 距：10m

叠加次数：36 ~ 72

低速带调查：通过点试验及微测井，本区低速带速度为 360 ~ 600m/s。

干扰波压制因素：在生产中尽可能采用较大井组合距和深井激发等措施进行压制外，在资料处理中根据与有效波的频谱差异进行滤除。随机噪声的克服要保持在有良好的监视背景条件下放炮。

为了更进一步检验试验确定的施工参数的合理，在 D18 线进行线段试验，其试验时间剖面反映，浅、中、深反射波组层次丰富，波组特征明显，反射波连续性好，信噪比高，剖面品质高，可以满足勘探需要，能够完成地质任务。见图 2-3。

2.1.5 波组特征：

全区主要有 3 组反射波，能量强、波形稳定，由浅至深依次命名为 Tn 波、T5 波、T6 波。

2.1.6 取得的主要地震地质成果

(1)、初步控制了主要煤层煤 5 和煤 6 底板起伏形态：呈向北西方向缓倾斜的单斜构造，并有次一级向、背斜相间的短轴褶曲。

(2)、解释出断层 9 条：DF1、DF2、DF3、DF4、DF5、DF6、DF7、DF8、DF9；初步控制了其位置、落差、走向、倾向及延展长度。

(3)、控制了新生界地层厚度。

(4)、初步查明了含煤区的分布范围，并解释了主要煤层的埋藏深度。

三、推广转化方式

组织学习，现场观摩等技术交流方式。

技术依托单位：甘肃煤炭地质勘查院

联 系 人：王红霞

通讯地址：甘肃省兰州市城关区定西路 241 号旺盛大厦 4 楼

邮政编码：730000

联系电话：0931 - 2124702

电子邮件：dkckcy@sina.com

高精度多通道地温监测仪

一、内容概述

该仪器用于监测地球温度场的空间分布和随时间的变化，可以监测调查浅层地热能、油气和矿产资源，以及解决其他一些地质问题。适应野外地热勘查和地表浅层测温要求。该仪器具有精度高、体积小、功耗低、蓄电池供电、地表浅温和深井测温两用。采用基于 ARM 处理器、Windows CE 为核心的数据处理系统，搭载 7 英寸彩色触摸屏，支持无线传输，支持定时开机测量，即时简单处理或者通过 SD 卡拷贝至计算机进行深度处理。

主要技术指标：

- 1) 测温范围：-10 ~ 80℃；2) 精度：±0.05℃；
- 3) 分辨率：0.001℃；4) 使用温度：-10 ~ 60℃；
- 5) 相对湿度：≤80%；6) 探头耐压：2Mpa；
- 7) 测量深度：≤200m；8) 通道数：20 道。

二、应用实例

2011 年 9 月在沈阳市骨科医院建成浅层地温监测点 3 处，最大监测深度 100m，每 10m 间隔测量其地温梯度，每日早晚各测量一次，现已持续 1 年。用于监测地热能水循环导致的温度变化对各个地层的影响。

三、推广转化

现已在辽宁、甘肃、陕西等相关地质行业单位推广使用并取得良好的使用效果，今后还将以项目合作为依托进行成果转化。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

第二部分 航空地球物理勘查技术

航空重力测量技术

一、内容概述

航空重力测量的概念最早出现在上世纪 50 年代末 (Thompson, 1959; Nettleton, L. L., LaCoste, 1960), 但是由于受当时重力仪、导航定位设备以及垂直加速度测量精度的影响, 当时得到的精度为 10 mGal, 不能满足实际应用要求。海洋重力测量技术在六、七十年代已经是一种比较成熟的技术, 在海洋重力测量技术成熟后的数十年间, 航空重力测量一直未能投入实用。这说明由海洋重力测量到航空重力测量尚需技术上的突破。到 90 年代初期, 航空重力测量技术试验获得成功。这主要归功于动态差分 GPS 定位 (DGPS) 技术的发展, 实现了高精度飞机导航定位, 从而使航空重力测量所必需的垂直扰动加速度修正的精度和厄特渥斯改正的精度有可能达到 1 mGal 的量级 (William, R. G., 1998)。

目前各国有许多研究机构、大学和公司正在积极研究、开发和应用航空重力测量系统。有的已经投入使用, 有的正在进行飞行试验, 有的还在实验室中。这些国家主要是发达国家——美国、俄罗斯、加拿大、德国、澳大利亚、英国、日本、瑞士。航空重力测量系统的发展趋势为 (王静波, 熊盛青等, 2009): 一是传统航空重力仪的精度和性能得到显著改善, LaCoste&Romberg 海洋/航空重力仪、ZLS 重力仪及 Bell BGM-5 重力仪已被广泛应用于航空重力测量系统。二是发展了多种航空重力测量系统, 如 INS/GPS 组合系统、SINS/GPS 组合系统、INS/重力梯度测量组合系统、INS/GPS/重力梯度测量组合系统及超导重力梯度仪等。三是航空重力测量在地球物理勘探方面得到广泛应用, 服务领域涉及到基础地质研究、石油、天然气及固体矿产资源勘探、大地测量等方面, 大部分测量精度达到 1~2 mGal, 分辨率小于 10 km。

中国国土资源航空物探遥感中心在某国家专项中设立了“设备引进、集成与更新改造”项目, 引进集成 GT-1A 航空重力测量系统 (如图 1), 其重力异常的内符合精度为 0.6 mGal, 异常半波长分辨率为 3 km, 该系统已经达到了地质调查、资源勘探等应用的要求 (熊盛青, 2009)。

航空重力仪由高精度平台系统、高精度重力传感器、差分 GPS、减震系统、数据采集记录及控制系统构成 (周锡华, 2008)。

重力传感器固定在稳定平台上, 通过平台上的陀螺和加速度计测量值, 并通过伺服反馈系统驱动数据控马达, 保持稳定平台的水平, 从而保持重力传感器垂直, 使重力传感器只测量垂向加速度的变化。重力传感器的分辨率要达到 0.1 mGal, 测量量程大约 8000 mGal 以上。

数据采集控制系统将原始观测值进行记录, 用于事后重力测量值的解算。

利用 GPS 的 1pps 同步脉冲进行精确同步, 使 GPS 数据和重力测量参数在时间上保持

高度一致，减小利用差分 GPS 数据进行各项改正时引起误差。

由于重力传感器的精度受温度影响较大，因此需要自行研制传感器精密温度控制系统，温度控制的精度要好于 0.1℃。

机载环境下，由于飞机发动机等引起高频扰动加速度往往是所测重力异常信号的几百甚至上千倍，为了提高重力的精度和分辨率，因此，利用减震系统来削弱高频加速度的影响。

二、应用范围及应用实例

我国利用航空重力进行资源勘探始于 2006 年，至今为止已经完成了近 14 万测线公里的海域测量。通过这三年的努力，航空重力测量技术越来越成熟，在区域地质调查和找矿中，航空重力测量正发挥着重要作用，呈现出明显的地质效果，具体包括：

(1) 重力异常半波长分辨率 3 km，决定了航空重力测量可以对 3 km 以上的异常密度体进行探测，并根据重力异常特征进行分析和解释。

(2) 由航空重力测量所获得的 1:20 万布格重力异常与 1:20 万地面重力、海洋重力基本一致，基本可以达到地面重力、海洋重力的效果。

(3) 依据重力异常数据可进行定性地质解释和定量反演拟合。可推断解释断裂构造、构造样式、界面起伏等，进行构造分层，反演界面深度，圈定凸起与凹陷以及岩浆岩体，并在此基础上可对油气等矿产资源进行评价和预测。

综上所述，航空重力测量不仅可以有效地进行地质构造解释与构造分层，反演界面深度，圈定凸起与凹陷以及岩浆岩体等，而且可以对油气等矿产资源进行评价和预测，同时它具有快速、经济、灵活、不受地形和测区条件限制等优势，可以在地面或海洋物探方法的盲区进行探测，因而具有广阔的应用前景。

三、推广转化方式

技术培训。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：周锡华

通讯地址：北京市海淀区学院路 31 号

邮政编码：100083

联系电话：010-62060171

航空电磁测量系统

一、航空电磁测量系统简介

航空电磁测量技术（或称航空电磁法，AEM-airborne electromagnetic），是以飞机等航空器为运载工具的地球物理探测方法。航空电磁法是基于探测目标的电性和磁性差异、以电磁感应为基础的快速、高效的地球物理勘探方法。运载工具主要是固定翼飞机和直升机，近年来有人尝试使用无人机、飞艇等。

HDY402 型三频航空电磁测量系统是中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所研制成功的频率域航空电磁测量系统。其技术指标先进，达到国际先进水平。将其安装在 Y12 飞机上，与航磁、航空伽玛能谱组成航空物探（电/磁/放）综合测量系统，广泛用于矿产资源普查、浅层水资源调查、环境地质和工程地质调查。

技术特点：HDY402 型三频航空电磁测量系统由发射系统、接收系统、补偿系统、中央控制系统、辅助测量系统（包括 GPS 导航定位、无线电高度、气压高度、温度、50 Hz、过载）等组成。发射接收探头分别安装于 Y12 飞机翼尖，呈垂直共面，所以称为翼尖硬架航空电磁系统。

主要技术指标：

工作频率：463 Hz、1563 Hz、8333 Hz；

采样率：8 次/秒；

噪声水平： $< 20 \times 10^{-6}$ ；

零点漂移： $< 100 \times 10^{-6}$ /小时；

灵敏度变化率： $< \pm 10\%$ 。

二、应用成果简介

频率域航空电磁法在江西、安徽、河北、内蒙古、辽宁、吉林、山东、广西、湖北、江苏、甘肃等省区进行了大量勘查工作，取得了较好的地质效果，在基础地质调查、矿床勘查、水资源普查等方面效果显著。

1. 矿产普查和地质填图

胶东地区破碎带蚀变岩型金矿床严格受断裂带的控制并产于其中，且与金属硫化矿物共生，在一定条件下金与硫化物的含量呈正消长关系。硫化物含量越高，硫酸盐型裂隙水的矿化度就越高，其导电性就越好，则含金破碎带的电磁响应也越强。因此，可以说在一定条件下，发现断裂破碎带，特别是内接触带的次级断裂带，就是金矿床的重要找矿靶区。航空电/磁综合测量在胶东地区开展金矿普查、划分地层、圈定岩体和断裂带效果非常显著。

作为一种间接的找矿方法，航空电磁测量系统主要提供与找矿相关得地质信息。从

1982 开始，进行了大量以矿产普查和地质填图为主的调查工作，总工作量达到 60 多万测线千米。对划分测区的构造、地层及岩体分布、火山机制等与矿产相关的信息，起到了重要作用。

2. 水资源普查

利用三频航空电磁测量系统开展大面积地下水资源普查，配以少量的地面电法和水文地质工作，解决我国干旱缺水地区的工农牧业用水和生活用水问题，为这些地区工农牧业的发展和布局决策提供基础资料，将有广阔的应用前景，而且是一种高效、廉价的好方法。

吉林省某地航空电磁土壤盐渍化程度调查结果表明，土壤盐渍化程度愈高，导电性就愈好，反之亦然。所以用航空电磁高频道的电磁响应来圈定土壤的盐渍化程度是十分有效的，而且直观，把非盐渍化土、轻盐渍化土、重盐渍化土和盐碱土一目了然地展现出来。

三、推广方式

三频航空电磁测量系统，在地形相对平坦，适合低飞的要求，导电覆盖层不是很厚的情况下，进行矿产普查、水资源普查、地质填图等可取得令人满意的效果。其推广应用方式，除采用技术培训、技术咨询方式外，还将通过上级单位项目的支持，在生产实践中不断总结经验和发现不足，以便完善系统，以提升三频航空电磁系统在资源勘查中应用效果。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联 系 人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

航空放射性测量技术

一、内容概述

航空放射性测量始于 20 世纪 50 年代，从初期采用 NaI (Tl) 探测器的四道航空伽玛能谱仪，发展到如今带有自动稳谱装置、数字化程度高的多道伽玛能谱仪（256 道或更多道）。

航空放射测量的特点是快速、经济而有效，最初主要用于寻找放射性矿产资源，即铀矿普查，测定岩石中铀、钍、钾的含量。固定翼航空放射性测量主要用于铀矿普查，直升机航空放射性测主要用于铀矿详查。到了 60 年代，航空放射性测量开始广泛应用。80 年代以来，航空放射性测量引起重视，在基础地质研究和矿产资源勘查中得到了广泛的应用，利用它进行地质填图及寻找其它矿产资源，取得了丰硕的地质和找矿效果，形成了一套成熟的测量方法技术。到目前为止，我国大约有三分之一的国土已经完成了航空放射性测量，找到了众多的大、中、小型铀矿床以及矿田。

近十几年来，随着人们环境保护意识的增强以及世界范围核能的广泛应用，核电站核泄漏事故、铀矿冶及伴生矿开采和选冶过程中等放射性污染问题引起了人们高度的关注。航空放射性测量因快速、经济而准确在环境辐射评价中逐步得到重视，国内外在这方面都有一些成功的实例报到，但是我国在航空放射性污染监测还处于刚刚发展阶段。

目前航空放射性测量技术特点为：

(1) 采用带有自动稳谱装置的航空多道伽玛能谱仪（如图 1）（Eplorainum, 1996），它由晶体探测器、能谱分析仪组成。其探测器基本上为大体积、测量效率高、较高分辨的 NaI (Tl) 晶体，并配以大探测窗口、低噪声的光电倍增管，组成放射性测量的传感器，将放射射线转换成与之成线性关系的光电子流，供后续电路进行分析。能谱分析仪（Minty b., 1992; Miodrag Boli, 2002; T. Kihm, 2003）主要由放大器、脉冲幅度分析器、自动稳谱电路、控制电路、数据存贮、数据输出和显示组成。首先光电子流转换成脉冲，该脉冲经放大器放大和整形后送到脉冲幅度分析器进行幅度分析，获得相应射线的能量，并在对应的能量道上增加计数一次。在一个采样周期内，各能量道中分别获得该能量出现的累加次数，形成如图 2 所示的多道伽玛能谱图，图中横坐标为能量道数（对应着相应的射线能量，比如 218 道能量为 2.625MeV），图中纵坐标为每秒钟内各道的计数值（CPS）。

(2) 当所测到的伽玛能谱发生漂移时，利用天然放射性谱线中的特征峰，采用软、硬件相结合的数据化稳谱技术进行自动稳谱，确保每条晶体的能量谱都处于正确的峰位，总谱的钍峰漂移 $< \pm 1$ 道。

(3) 计算机负责整个系统的各项控制、数据存贮、数据输出、数据显示和自动稳谱。

二、应用实例

我国航空放射性测量于 60 年代才推广应用，起初主要用于铀矿床勘查，而渐渐发展

到石油天然气、多金属矿、金矿、地下水资源、地热资源、钾盐等多种勘探方法。随着环境保护意识的增强，航空放射性测量又被用作环境辐射水平测量、放射性污染监测和突发核事件的监测，取得比较显著的成果。

自从开展航空放射性测量以来，我国已经累计完成中比例尺区域航空放射性测量完成400万平方千米，占陆域国土面积的41.7%，找到了众多的大、中、小型铀矿床以及矿田，全国80%的大中型铀矿床是由航测首先发现的。在与其它航空物探进行综合测量时，对石油、铁、多金属、稀有金属、钾盐、地下水、地质填图、国家资源评价等方面都有很好的效果。

在矿产资源勘查的同时，利用航空放射性测量在区域放射性环境辐射水平评价及污染检测方面投入了较大的工作量，为区域放射性环境辐射评价提供大量的有用信息，在湖南长株潭、新疆伊犁、山东黄河口和珠海等地区发现了多处放射性污染，并且确定了放射性污染源的位置与性质，为当地环境保护和治理提供了依据。

在朝鲜进行核爆后，我国相关部门立即启动突发核应急预案，航空放射性测量在最短时间内对事件发生地区进行测量，及时为有关决策部门提供放射性污染的范围和污染程度。

因此，航空放射性测量技术在区域环境放射性测量和核应急测量方面具有其他方法无可替代的优势。作为一项成熟的高新技术，可以为我国的环境保护工作发挥更大的贡献。

三、推广转化方式

技术培训。

技术依托单位：中国国土资源航空物探遥感中心

联系人：周锡华

通讯地址：北京市海淀区学院路31号

邮政编码：100083

联系电话：010-62060171

地-空界面地球物理氦场及在资源与 环境中的应用研究

一、内容概述

本项目研究表明在地-空界面核地球物理辐射场中，氦场占有重要的地位，氦很强的迁移能力使它成为地质找矿、环境工程、水文地质勘查等领域的有效示踪元素而得到广泛应用。建立了地-空界面氦场的正演数理模型，为测氦技术的应用提供了理论依据和方法技术，开发了具有自主知识产权的三种新型测氦仪器，为现场测氦技术提供了仪器设备保证，开展了在资源、环境和地震预报中的应用研究，取得了显著的应用效果与经济社会效益。

二、应用范围

科学研究、技术服务和地质勘查业。

三、推广转化方式

合作开发，技术服务。

技术依托单位：成都理工大学

联系人：核自学院

通讯地址：四川省成都市成华区二仙桥东三路1号

邮政编码：610059

联系电话：028-84078773

第三部分 地下物探技术

高精度井中三分量磁测方法技术

一、内容概述

1. 成果简介

(1) GJCX-1 型高精度井中三分量磁力仪

GJCX-1 型高精度井中三分量磁力仪是具有自主知识产权的高精度井中磁测仪器。该仪器采用轴向定向系统,通过正交三轴磁通门传感器来测量磁场的三个分量,利用正交三轴高精度重力加速度计测量钻孔顶角,动调自动寻北陀螺测量井斜方位角。该仪器主要用于井中磁法勘探,适用于在 46mm 以上孔径的钻孔中进行磁场三分量测量和测斜工作。

(2) 井中多分量高精度磁测处理解释新方法技术

井中多分量高精度磁测处理解释新方法技术的研究依托于中国地质调查局“井中多分量高精度磁测处理解释新方法技术及应用示范”工作项目。现有井中磁测仪器设备在精度和功能方面较以前有大幅提高,已经实现了 XYZ 三分量和井中 ΔT 测量,该方法技术可以对井中 X、Y、Z、 ΔT 各分量进行转换和处理,最终完成井中磁测资料的解释。该方法技术可以推动我国井中磁测方法技术的进步,为地质找矿提供技术支撑。

2. 技术特点

(1) GJCX-1 型井中三分量磁力仪

该仪器采用高精度的三轴磁通门磁传感器、三轴重力加速度传感器和陀螺传感器,总体测量精度均比之前的井中三分量磁力仪有大幅度提高,适用于磁性矿区及相对弱磁性矿区的井中磁法勘探工作。

(2) 井中多分量高精度磁测处理解释新方法技术

该方法技术在收集和整理已有井中磁测资料处理解释方法的同时,吸收国内外先进的地面数据处理解释方法技术,应用于井中磁测资料的处理解释,增加了多项新的方法,不但可以提高数据处理的效率,还能够使资料处理更加精细,有助于后期的解释工作。目前已经实现了井中多分量测量,该方法技术为多分量数据处理提供了基础。

3. 技术指标

(1) 井中三分量磁力仪

总场转向差: $\leq \pm 150\text{nT}$

垂直分量误差: $\leq \pm 100\text{nT}$

水平分量误差: $\leq \pm 200\text{nT}$

磁场测量范围：-90000nT ~ 90000nT

顶角测量范围： $\leq 45^\circ$ ，精度 $\pm 0.1^\circ$

方位角测量范围：0 ~ 360°

精度： $\leq 2^\circ$ （倾角 $> 3^\circ$ 时）

耐温：70 度

耐压： $\geq 20\text{MPa}$

井中仪器外径：42mm

（2）井中多分量高精度磁测处理解释新方法技术

该方法技术主要包括深井多分量磁测资料处理解释新方法、3D 井地磁测联合成像反演技术、三度体井地磁测联合反演技术。

二、应用范围及应用实例

该方法技术主要用于磁性矿区及相对弱磁性矿区的井中磁法勘探工作。可在 46mm 以上孔径的钻孔中进行磁场三分量测量和测斜工作。

（1）井中三分量磁力仪

该仪器从 2010 年开始已经完成了数十次的性能测试和野外试验，并完成了多次井中三分量磁测数据的采集。

①安徽铜陵金口岭铜矿区 ZK4301 孔井中三分量磁测；

②安徽铜陵金口岭铜矿区 ZK8901 孔井中三分量磁测；

③江苏溧水上山村铜铁矿 ZK0001 孔井中三分量磁测；

④江苏溧水东韩村铜铁矿 ZK4801 孔井中三分量磁测；

⑤安徽池州马头 ZK1901 孔井中三分量磁测；

⑥安徽庐江深部探测 ZK01 孔井中三分量磁测。

在安徽铜陵金口岭铜矿区 ZK8901 孔中 730 ~ 780m 段磁化率无异常反映， ΔZ 、 ΔH 和 ΔT 存在井旁异常，且异常明显。曲线特征： ΔZ 为两个反“S”型、 ΔH 为两个反“C”型。依据异常曲线形态和特征，大致判断该异常体的中心埋深大约相当于该孔井深的 755m 左右，距该孔大约有 15 ~ 20m 左右。从 $T_\perp$ 、 $T_\parallel$ 曲线可以看出，异常体存在于该孔的南偏西方向。

在江苏溧水上山村铜铁矿 ZK0001 孔井中三分量磁测工作有明显的异常显示，与钻遇矿体吻合。

（2）井中多分量高精度磁测处理解释新方法技术

目前该方法已应用于江苏丰县某勘查区的磁测资料解释工作，取得了良好的效果。目前正在应用于长江中下游地区、河北、安徽、福建等地的磁测资料处理解释中。

三、推广转化形式

该技术为具有独立自主知识产权的科研成果，包括仪器设备和处理解释技术。推广转化形式有（1）与地勘单位及矿山企业联合，充分利用钻孔与坑道等钻采工程开展应用研究，指导钻探，提高勘查效率。（2）高精度井中三分量磁测方法技术推广应用与技术培训。向具有开展地下物探工作能力的地勘单位进行推广并提供技术支持。（3）开展高精度井中三分量磁测方法技术在不同类型矿区的找矿试验研究与示范总结，为我国深部找矿，尤其矿山深部找矿提供技术支撑。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

大透距地下电磁波层析成像系统

一、成果概述

大透距地下电磁波层析成像系统是在国家" 十一五" 高技术研究发展计划 (863)" 大透距地下电磁波层析成像系统研制" 研究成果基础上, 进行成果转化的技术。

大透距地下电磁波层析成像系统研制以研制适用于井间和坑道工作的大透距地下电磁波层析成像系统, 为深部找矿及工程地质、水文地质、地质灾害防治勘查提供具有自主知识产权的大探测深度、大透距高分辨率精细勘查技术设备为总体目标。通过降低仪器工作频率、增加发射机功率、提高接收机灵敏度等有效措施实现了在中高电阻率条件下透距大于 500m 的目标。

大透距地下电磁波层析成像系统具有单孔和双孔测量以及井 - 地测量能力。具有轻便、省电及适应小口径钻进等适合野外工作的特点。采用了计算机, 频率合成, 功率合成等电子技术, 具有宽频带程控扫频功能, 能自动、迅速地获得大量信息。数据处理解释系统在 Windows 环境下, 采用功能强大的 WINDOWS 编程技术, 具有运行速度快, 人机界面友好, 图形显示功能强等特点。形成从数据采集到数据处理、成图一体化的智能系统。

系统的主要技术指标:

(1) 工作频率:

扫频范围: 0. 03 ~ 32. 0MHz

扫频间隔: 0. 1 ~ 9. 9MHz

(2) 发射机输出脉冲功率: 50W (10W)

(3) 接收机测量范围: - 140 ~ - 20dBV

(4) 接收机测量误差: - 120 ~ - 30 ± 3dB

(5) 天线: 偶极天线、磁天线、环形天线

(6) 尺寸: 井中发射机、接收机 $\Phi \leq 40\text{mm}$

(7) 井中仪器密封性: 下井深度 > 1500m

(8) WINDOWS 环境下的数据处理系统

二、应用范围及应用实例

地下电磁波法对寻找钻孔 (或坑道) 之间及其旁侧与围岩有较大高频电性差异的异常体, 如金属矿体、煤层中的陷落柱、溶洞、地下暗河、断裂破碎带等, 确定其空间位置、边界、产状及延伸, 是一种非常有效的地下物探方法。在地质矿产、水电、铁道、煤炭、建材、工程等部门和领域得到了广泛的应用并取得了很好的社会、经济效益。

1. 安徽省池州市马头铜钼矿区大透距试验:

区内岩浆岩发育, 出露的主要岩体有马头、桐坑及栗子坑三个小岩株, 在其外围尚分

布一些小岩株、岩脉。根据鉴定及分析资料，它们的矿物成分、结构、构造和化学成分均相类似，为花岗闪长斑岩。

根据岩石标本电性测得结果明显看出黄铜矿化花岗闪长斑岩和辉钼矿化花岗闪长斑岩与围岩相比为低阻。一般来说，随着频率增高金属矿化岩石与围岩的差异将增大。根据电性测定结果可判断：本区具备开展地下电磁波法工作前提，矿化岩石显示为低阻负异常。

在 ZK1702 - ZK1901 剖面取得最大收发距离 > 500 米的实测资料；在 ZK1901 - ZK1902 取得剖面内黄铜矿化花岗闪长斑岩、辉钼矿化花岗闪长斑岩的空间展布。

2. 西藏罗布莎铬铁矿区电磁波 CT 应用：

ZK2801 ~ ZK2401 剖面剖面内发现一个异常。该异常从 ZK2801 孔的 4103. 34 ~ 4125. 65m 高程之间（深度在 326. 55 ~ 348. 86m 之间）一直延伸到 ZK2401 孔的 4170. 37 ~ 4173. 80m 高程之间（深度在 283. 72 ~ 287. 20m 之间），异常走向与水平面视夹角在 50°左右，异常宽度在 3. 0 ~ 11. 0m 范围之内。该异常是由铬铁矿引起的，说明两孔中见到的铬铁矿体是相连的。已经被钻探证实。

3. 铁路路基采空区及岩溶勘查

朔准线榆树湾 1#特大桥的 8 个钻孔所组成的 7 个剖面进行了电磁波 CT 勘查。7 个剖面连接起来，长度约 200m，里程由 DK141 + 566. 22 ~ DK141 + 767. 42。勘查剖面大致可划分为几层（由浅向深处）：砂岩、泥岩、灰岩、砂岩、泥岩、采空区、灰岩。采空区介于泥岩和下部厚层灰岩之间，厚度较为稳定。

发现两段采空区及岩溶破碎异常：自里程 DK141 + 566. 22 ~ DK141 + 645m 和 DK141 + 680 ~ DK141 + 767. 42m，高程自 905 ~ 897m 之间。

采空区及岩溶破碎异常呈近水平延伸，且左高右低的趋势，和地质层位假倾角相一致，矿体采空区位于下部灰岩和上部泥岩之间。

三、推广转化形式

该技术为具有自主知识产权的科研成果，包括仪器设备和方法技术。推广转化形式有（1）与地勘单位及矿山企业联合，充分利用钻孔与坑道等钻采工程开展应用研究，指导钻探，提高勘查效率。（2）大透距地下电磁波层析成像系统推广应用与技术培训。向具有开展地下物探工作能力的地勘单位进行推广并提供技术支持。（3）拓展地下电磁波的应用领域。开展不同类型矿区的找矿试验研究与示范总结，为我国深部找矿，尤其矿山深部找矿提供技术支撑。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@ igge. cn

地-井瞬变电磁法

我国老矿山深部和外围具有巨大的资源潜力，存在第二找矿空间。在全国危机矿山接替资源找矿工作中，物探工作发挥出了重要作用，但同时也存在影响物探找矿效果的两个技术难题，一是要求物探方法探测深度大，二是矿区人文干扰严重且广布，严重限制了地面物探的应用效果。地-井瞬变电磁法能够有效地避开地表人文干扰，具有更大的勘探深度。国内外多年的研究与找矿应用实践表明，该方法是深部找矿工程的有力手段。

一、成果概述

（一）地-井瞬变电磁法简介

地-井瞬变电磁（TEM）测量，为瞬变电磁法的一种装置形式，其测量方式是将发射回线布置在井孔上方或附近地面上，用接收探头在钻孔中测量地下介质产生的感应二次场。在不接地回线中供以双极性脉冲电流，从而产生激发电磁场。在该电磁场的激励下，地下介质受感应而产生涡旋电流。当发射回线的脉冲电流从峰值跃变到零，激发场立即消失，而地下介质中的感应涡流并不立即消失，而是有一个衰变过程，这个过程的特征与地下电性结构分布有关。通过研究井中感应二次场在空间和时间上的变化特征，就可以达到研究钻孔周围电性分布结构的目的，从而发现井旁、井底盲矿，或推断已见矿体的空间分布。

地-井 TEM 法具有以下几方面特点：

- （1）勘测深度大（ $>1000\text{m}$ ，一般取决于钻孔深度）。由于接收探头在井中更接近地下良导电目标体，因此能获得更强的异常，有利于探测深部良导电体，准确地反映导电体的空间分布；
- （2）具有旁测能力，可以寻找井旁或井底盲矿，有效探测半径可达 250m 至 300m ；
- （3）探头在井中接收，受浅地表导电覆盖层和外部电磁干扰小。

（二）国内外现状

在国外，尤其在加拿大、澳大利亚等国，地-井 TEM 被广泛地应用于深部找矿勘查中，并取得了许多令世人瞩目的找矿成果。例如，在加拿大魁北克省 Dufault 地区福尔肯布里奇铜矿矿区，采用地-井 TEM 测量发现了一个深达 950m 的井旁盲矿体；在加拿大萨德伯里（Sudbury）铜镍矿区，采用地-井 TEM 测量，先后发现了 1280m 深处的林兹里（Linsley）矿体和埋深超过 2400m 、矿石量达 $1800 \sim 3600$ 万吨的维克多（Victor）富铜镍矿床。

但在国内，研究与应用该方法的单位较少。物化探研究所自 1983 年以来，就一直进行地-井 TEM 法的研究与试验，在“七五”、“八五”和“九五”期间都进行了方法技术和井中探头的专题研究，蒋邦远和石中英（1989）进行了井中探头的研制（轴向分量）；2003 和 2008 年，分别引进了加拿大 Crone 公司的三分量地-井 TEM 和大功率发射系统；

2007 年，在全国危机矿山接替资源找矿专项和物化探所基本科研业务费项目的支持下，开展了三分量地 - 井 TEM 野外数据采集及解释方法技术的研究，系统地总结研究了一套实用的地 - 井 TEM 数据采集与解释方法技术流程；2009 年，在部公益性行业专项" 深井物探和抗干扰电法技术研究与应用示范" 项目中开展了 2000m 深井地 - 井 TEM 三分量系统的研制。总之，无论在方法技术还是在仪器设备方面，都具备了广泛推广应用的条件。

二、应用实例

地 - 井 TEM 法以往在国内应用推广的范围较窄，大多是为了配合研究工作进行的方法技术试验，很少推广到矿山企业，直接为找矿服务，但即使在有限的应用范围内也取得了非常突出的找矿效果。

（一）在新疆小热泉子铜矿发现井旁盲矿

ZK1108 孔，位于新疆小热泉子铜矿区，孔深 140m，未见矿体。采用 Crone 公司 PEM 系统进行三分量地 - 井 TEM 测量，发现了井旁盲矿异常，技术人员采用定性及定量解释手段推断出了异常中心位置，后经坑道验证，在推断的异常位置发现了富铜矿体，开采后显示该矿体呈大漏斗形，矿体中心距地面约 38m，距钻孔约 17m，矿体最宽处约 18m，最厚约 15m，地 - 井 TEM 三分量响应曲线与实际矿体分布位置对应较好。

（二）在黄山岭矿区外围发现井旁盲矿异常

ZK1301 孔，位于安徽省池州市黄山岭铅锌矿区的外围，是危机矿山资源预测项目设计的钻孔，没有见到有经济价值的矿体。在该孔开展了地 - 井 TEM 测量，发现了一处井旁盲矿异常，使该区深部找矿工作出现新的转机。通过定性分析、定量解释能够进一步推断异常体的空间位置，地 - 井 TEM 三分量响应曲线与推断矿体的分布位置较好，据此可以指导下一步的钻探部署，提高深部找矿效率。

三、推广转化方式

与地勘单位及矿山企业联合，充分利用矿山可用的钻孔，特别是深部探测钻孔，广泛地开展地 - 井瞬变电磁法测量，获取钻孔周围上百米范围内的有用信息，指导钻探部署，提高见矿率，降低勘探成本，缩短勘探周期，提高勘查效率，为我国矿山深部找矿提供技术支撑，为矿山企业创造经济效益，为国家增加战略性资源储备。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608 13633262797

电子邮件：kjc@igge.cn

井-地磁测联合反演技术

一、内容概述

该项目成果为中国冶金地质总局中南地质勘查院与中国地质大学（武汉）联合承担，为 2007 年度全国危机矿山接替资源找矿项目新技术新方法项目，任务书编号 [2007] 086 号。

1. 主要成果

- (1) 已完成《井-地磁测联合反演软件》的编制和完善；
- (2) 完成了软件的正确性的检验，并通过了“危机矿山找矿地下物探示范成果综合与集成”项目组的软件测试；
- (3) 以大冶铁矿为模型编制、测试软件，并成功对其进行解释预测，效果显著；同时在金山店铁矿张福山矿区、青海尕斯库勒铁矿 V 矿群、四川平川县烂纸厂铁矿区与海南石碌铁矿等 4 个矿区的资料处理与解释的示范，均取得较好的找矿效果。
- (4) 2010 年 4 月 28 日通过国家危机矿山接替资源找矿项目办公室组织的专家终审，通过评审验收并获得“优秀”级。评审专家一致认为该项目成果：①首次编制、完善了井-地磁测联合反演软件，为井磁资料的定量反演，减少井磁、地磁资料单独反演的多解性，细化低缓地磁异常反演结果，提供了便捷的计算工具；该软件拥有二维和三维反演及可视化功能，是具有自主知识产权和中国特色的先进软件；②在湖北大冶、青海尕斯库勒、四川平川、湖北金山店矿区使用新编制完善的井-地磁测联合反演软件进行了精细反演示范，超额完成示范任务，并取得了可喜的找矿效果；③该软件经过严格的测试和较长时间的示范完善，具有实用性；主要问题和建议：尽快推广使用，在使用中不断完善；

2. 软件介绍

该软件采用任意三度体模型，其正演计算用数值积分法近似计算。根据已知的勘探线所控制的矿体、围岩建立初始模型，正演计算井中 Z_a 、 H_{ax} 、 H_{ay} 、 ΔT 与地面 ΔT 、 ΔZ 磁异常值，通过反复修改模型形状及磁性参数，使得模型理论值充分拟合地面高精度磁测与井中三分量磁测的观测值，从而获得对地下地质体的解释。

井-地磁测资料联合反演采用三维可视化人机交互反演技术，该项技术是在 Windows 环境下，用 Visual C 语言，OpenGL 函数实现立体模型与平面组合模型的旋转、移动、放大、缩小，以及任意选择剖面、断面进行精细反演解释。

软件采用球体与长方体理论模型进行程序正确性检验。

二、应用范围及应用实例

利用井-地磁测联合反演方法处理解释了大冶矿区龙洞-尖林山、尖林山-象鼻山、狮子山三个矿段 11 条勘探线 11 个钻孔资料。通过深入研究，获得大冶矿区 3 个矿段地下铁

矿体、围岩的形态、沿伸、走向长度等详细情况，取得明显的地质效果。

利用井中和地面异常进行联合反演解释，推断深部 9 个铁矿体磁铁矿资源量约 11.47 Mt，其中 3 个矿体为本次新发现的，推断资源量为 1.04 Mt。尤其是利用 19 勘探线的地面和井中异常联合反演后，布置 ZK19-1-17 孔，最后在推断的空间位置成功见矿 40 多米，推断与验证误差只有几米。

同时在在金山店铁矿张福山矿区、青海尕斯库勒格铁矿区 V 矿群、四川平川县烂纸厂铁矿区与海南石碌铁矿等 4 个矿区的资料处理与解释的示范，均取得较好的找矿效果。

三、推广转化方式

暂时并未推广使用，建议国土资源部科技与国际合作司统一以中国地质大学（武汉）和中国冶金地质总局中南地质勘查院为技术依托单位进行全面推广。

技术依托单位：中国冶金地质总局中南地质勘查院 中国地质大学（武汉）

联 系 人：詹应林（中南地质勘查院） 刘天佑（中国地质大学）

通讯地址：湖北省武汉市青山区和平大道 1250 号

邮政编码：430081

联系电话：027-87586658（詹应林） 027-87481452（刘天佑）

电子邮箱：wh3060919@126.com

井中相位激发极化法

一、内容概述

随着我国国民经济的又好又快发展，矿产资源的需求快速增长，目前已经查明的地表矿产已经越来越难以满足市场的需求，深部找矿逐渐成为地质找矿的主要方向。井中激发极化法为矿产勘查领域“攻深找盲”的重要手段，而井中相位激发极化法是直流井中激发极化法的近年重要发展成果。其对于发现井旁或井底盲矿，确定矿体的空间位置、产状、形态、延伸等提供重要分析依据。以往的井中激发极化多采用直流激电仪，《井中激发极化法规程》也只对直流井中激发极化法作了规定。但近年来许多单位开始使用频率域井中激发极化法（井中相位激发极化法是频率域井中激发极化法的最新一种）在矿区开展工作。频率域井中激发极化法由于其设备轻，参数多，抗干扰能力强，得到了越来越多的单位认可。

在国内，对井中激发极化法较系统的理论的研究和试验应用始于七十年代初期，一九七六年开始推广。此后，在普查勘探多金属矿、和高级化弱磁铁矿床的各个阶段中，如用于发现井旁盲矿，确定其空间位置；预报井底盲矿，估计其深度以指导钻探施工；圈定和追索矿体或者矿化带范围；确定相邻钻孔间岩矿层的电性连续性等方面都取得了一定的地质效果，已成为金属矿钻孔地球物理综合方法中有效方法之一。在实际生产中，井中激发极化法配合井中原生晕，石油测井等方法，取得了很好的应用效果。

由于频率域激发极化法设备轻，参数多，抗干扰强，提供的地下信息更丰富等优点，这一方法已经在国内逐步开展起来，方法也越来越成熟。中南大学、中国地质大学、中科院地质地球物理研究所，华东有色地勘局和桂林理工大学等都开展了关于这一方法的研究工作，取得了一定的成果。

本次井中相位激发极化法所使用的仪器核心技术为我华东有色测井有限责任公司独立自主开发研制。目前为井中同类仪器唯一厂家产品。仪器主要优势是参数多、区分不同激电性质、井中物探专项设计、效率高，处于商品化前完善、实验阶段，仪器初步定名为 TriL-11A IP 相位激电测量仪，其测试频率为 0.05 ~ 100 Hz，测量方式分为全波测试和组波测试两种，测试精度为 1 mV。

二、应用范围及应用实例

我公司自主研发生产的 TriL-11A IP 相位激电测量仪在福建省尤溪县梅仙丁家山铅锌矿床深部探矿电测井项目以及安徽省池州市马头铜钼矿电测井项目中均进行了实际应用，取得了良好效果，得到了甲方以及专家的广泛认可、好评。

在福建梅仙丁家山铅锌矿床深部电测井项目中，该地区铅锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿（化）地球物理特征均呈现为低阻高级化特征，依靠传统的直流井中激发极化法由于三者

均呈现低阻高极化而难以区分三者，从而不能达到甲方要求。但其中铅锌矿、闪锌矿所致异常对应相位都较低，而磁铁矿、磁黄铁（化）矿所致异常对应相位幅值都较高。由此可见，铅锌矿与磁铁矿、磁黄铁（化）矿物性上虽同样呈现低阻高极化，但相位上有较大差别，可通过相位参数予以区分。而相位参数是频率域井中激发极化法中的重要参数。由于目标靶区锁定为铅锌矿，通过频率域井中激发极化法较好的圈定出了铅锌矿靶区。

在安徽省池州市马头铜钼矿电测井项目中，也是通过频率域井中激发极化法的相位参数区分出了铜钼矿和磁铁矿、磁黄铁（化）矿的区别。达到了精确找矿的效果。

三、推广转化方式

希望有投资方加入，加快产品推广转化进程；

目前公司独立推进时间安排：

2012 年 3 月—2012 年 6 月：在生产中应用相应电测量仪野外实地测量，得到多钻孔多矿种一手数据，收集实际应用中产生的问题。

2012 年 7 月—2012 年 9 月：根据野外数据、野外出现问题的系统总结，对仪器、方法技术解释作进一步研究。

2012 年 10 月—2012 年 12 月：进行专家评审，整理改进意见。进行仪器改进，编写成型处理解释软件。

2013 年 1 月—2013 年 5 月：将较成熟仪器及软件投放到兄弟单位及高等院校进行进一步生产试验。听取多方意见，汇总改进方案。

2013 年 6 月—2013 年 12 月：进行仪器最终调试，并拟小批量生产。

技术依托单位：江苏省华东有色测井有限责任公司

联 系 人：张雷

通讯地址：江苏省南京市白下区光华路石门坎 102 号华鑫大厦 1202 室

邮政编码：210007

联系电话：025－84688218

电子邮件：gcyt001@126.com

小口径煤层气测井仪器

一、内容概述

国内开展煤层气测井以来，基本上都是应用常规油气藏测井方法，而石油勘探的井下仪器，一方面外径大、重量重；另一方面价格昂贵，整套仪器设备最低也要数百万元。所以，借鉴石油系统测井仪器合理部分，又要考虑煤炭系统测井的实际情况，研制《小口径煤层气测井仪器》实属必然，取得的成果如下：

补偿中子测井仪：可以记录长、短源距探测器的计数率，用软件计算其比值，进而求得地层的孔隙度。仪器外径 60 mm，使用 3 居里 Am-Be 中子源。在胜利油田的中子刻度群进行了刻度，实现了对三级刻度器的刻度转移。

补偿声波测井仪及声波变密度测井仪：使用单发双收声波测井仪，通过编制软件，依据互换原理来实现双发双收补偿声波测井，从而得到补偿时差曲线。此外，由软件处理远接收器的声波全波列信号，生成声波变密度图，实现对固井质量的评价。

微球形聚焦测井仪及深浅侧向测井仪：微球形聚焦测井仪实现了测量钻孔周围地层中冲洗带的电阻率；深浅侧向测井仪可同时测量深浅两种探测深度的视电阻率。两种仪器的组合使用，可以反映地层在径向上电阻率的变化，用来评价煤储层的渗透性。

磁定位仪：测定套管接箍的深度，定位短套管的位置，为射孔和压裂提供准确数据。

二、应用范围及应用实例

中联煤层气有限责任公司：2004 ~ 2006 年，陕西省韩城市王峰—龙亭地区煤层气先导性生产试验项目 WL1 井组（WL1-001 ~ WL1-0010）10 口井实施煤层气测井工作。美国格瑞克（greka）能源（国际）公司：2006 年，江西省丰城市煤层气项目 12 口井实施煤层气测井工作。壳牌（中国）勘探与生产有限公司：2008 年至今，山西省柳林壳牌石楼北区块煤层气项目 12 口井实施煤层气测井工作，后续项目正在实施。以上只是与煤层气开发实力较强的国内外公司合作的代表项目。

三、推广转化方式

自小口径煤层气测井仪器成功实施以来，总计有二十余家国内外公司合作进行煤层气测井工作，主要采用合作推广方式。

技术委托单位：中国煤炭地质总局一二九勘探队

联系人：刘承民

通讯地址：邯郸市高开区世纪大街 19 号

邮政编码：056107

联系电话：15830023339 0310-7119029

电子邮件：Lchm129@sina.com

WKT-7 型无线电波坑道透视仪

一、内容概述

WKT 系列无线电波坑道透视仪是在七十年代末我所与河北煤研所合作，率先在我所研制开发出来的，先后推出 WKT-III、WKT-IV、WKT-D 型、WKT-6 型并广泛应用于全国各大煤矿，随着煤矿企业对生产技术要求的不不断提高，我所在原有仪器的基础上新推出了型更加实用和准确的 WKT-7 无线电波坑道透视仪，该仪器在性能和技术指标上均有大幅提高，在同类产品中居领先水平。适用于探测煤及非煤矿井回采工作面内部断层、褶曲地质构造以及陷落柱、火浆岩侵入体、煤层变薄带、瓦斯富集区的位置和范围大小。该仪器便携、易操作，工作效率高，可以大大减少钻探巷探工程量和费用。通过对预先探测的地质构造手段，有效措施，可有效避免事故发生，减少损失，增加安全系数，为高产高效高安全矿井提供有力保障。此外还可用于探测矿井煤与瓦斯突出区域的地质构造，查找金属矿中的盲矿体等。

接收机主要技术指标：

工作频率：128 kHz，256 kHz，512kHz

显示：20 * 2 点阵式液晶显示器

键盘：4 * 4 防水防尘有感式薄膜键盘

灵敏度： $\leq 0.1 \mu V$

终端分辨率：0.1dB

连续工作时间：大于 4 小时

发射机主要技术指标：

工作频率：128 kHz，256 kHz，512kHz

显示：4 位半数字表头，可显示发射调谐值及电池电压值

输出功率： $> 1W$

连续工作时间：大于 4 小时

二、应用实例

《寿阳博大京鲁集团马尾沟煤矿 8101 工作面无线电波坑道透视》项目，8101 工作面

开采煤层煤厚 1.2m 左右，工作面轨道顺槽长 1980m，运输顺槽长 1980m，采长 192m。为查明工作面内影响生产的构造情况，为煤矿生产服务，矿方决定采用无线电波坑道透视技术，对 8101 工作面构造地质条件进行探测。测量范围内共圈定出 6 个异常区域。从已知揭露构造的曲线反映情况看，测量效果达到了预期目的。

三、推广转化

现已在煤矿行业内推广使用并取得良好的使用效果。在今后的时间，还将以勘查项目合作、市场化销售为依托进行成果转化。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

第四部分 油气地球物理勘查技术

深水油气综合地球物理采集处理及联合解释技术

一、内容概述

“深水油气综合地球物理采集处理及联合解释技术”为国家“十一五”863计划“南海深水油气勘探开发关键技术及装备”重大项目中的课题，研发期自2006年1月至2010年12月，课题围绕深水油气以海洋盆地为目标的我国战略性、基础性调查与勘探的形成技术体系，拥有一系列自主知识产权的技术成果。课题组长为温宁，技术负责、副组长陈洁。主要成果如下：

（一）初步构建深水油气勘探的地球物理技术平台

课题构建了深水油气综合地球物理采集、处理、解释、评价的技术框架，填补了我国深水油气调查的技术空白。创新性成果包括：

- （1）形成一套深水油气盆地重、磁和地震联合采集技术系列。
- （2）形成一套针对深水特点的地震资料处理软件，获得7项软件著作权登记。
- （3）形成一套重、磁和地震联合反演解释技术软件，获得5项软件著作权登记。
- （4）首次编制了以南海海测数据为主的重磁基础图，编制一系列认识成果图。获得1项软件著作权登记。

（二）建立深水油气调查的地球物理规范

- （1）参与编制标准：

GB/T 24261.1-2009；石油海上数字地震采集拖缆系统

SY/T6736.1-2008；“石油海上数字地震采集拖缆系统”水听器技术条件

SY/T6736.2-2008；“石油海上数字地震采集拖缆系统”水听器拖缆技术条件

SY/T6736.3-2008。“石油海上数字地震采集拖缆系统”中央记录系统

- （2）主持编制中国地调局“海域石油和天然气地球物理调查规范”，通过终审。即将出版。

（三）专著与论文

- （1）《深水油气综合地球物理勘探技术文集》，石油工业出版社。

(2) 《南海地球物理图集》，科学出版社。

(3) 课题研究期间，在国内外刊物及会议上发表论文 86 篇，其中 SCI、EI 收录 23 篇。

(四) 人才培养

课题完成过程中，培养研究生 78 名，其中博士毕业生 21 名，在读博士 2 名。举办“原型盆地分析”系列讲座 2 次，共培养高级研究人员 30 人以上。课题取得中国石油化工集团等科技进步奖四项，其他奖项 2 项。

二、应用范围及应用实例

“精确定位的长缆二维地震采集技术”和“高精度重磁震联合质量监控的地球物理测量技术”的成功研究与应用，为开展深水盆地基础地质和油气资源评价提供了强有力的勘探手段。在《海洋地质保障工程专项》《全国油气资源战略选区调查与评价》等专项中得到广泛应用。

地震处理关键技术对有效信号的保真效果好，可有效的提高地震资料的信噪比。无井约束储层物性预测技术已在中石油、中石化和中海油得到应用，在南海北部深水陆坡区以及在北黄海、孟加拉扇、阿姆河盆地等海外项目的层序地层学及岩性地层圈闭形成条件分析中发挥了重要作用。重、磁和地震联合反演解释一体化软件系统，对于新区油气勘探和矿产资源勘探提供了比较全面的技术手段。

首次给出了南海海域的中生代和前中生代残留盆地的分布，开展南海基底埋深、断裂体系以及火成岩分布等研究。为今后研究南海的形成与演化，开发南海的地质矿产资源都将提供可借鉴的成果、经验和研究思路。

TSM 技术课题模拟检验的研究成果表明，在海洋油气勘探的综合评价技术方面研究取得原型和模拟技术具有自主原创特色，能够促进我国深水盆地的油气勘探，降低风险，为科学决策提供可靠依据。技术流程和方法也在胜利油田新疆准噶尔盆地乌伦古坳陷的重磁电震联合反演项目中得到了应用与检验。

制订的《海域石油和天然气地球物理调查规范》，已经广泛应用于海域基础性、公益性的石油和天然气地球物理调查，填补调查规范空白，对规范与推动海域石油和天然气地球物理调查工作起到重要作用。

《深水油气综合地球物理勘探技术文集》，本书汇集“十一五”863 国家重大项目课题“深水油气综合地球物理采集处理与联合解释技术”实施四年多的主要技术论文，是技术成果的总结。

《南海地球物理图集》，汇集了 1987~2007 年的南海地球物理实际调查成果，重新处理、校正、整合、提升。形成客观反映南海地球物理场特征的成果集，为南海资源、环

境、矿产、海防、海洋基础地球科学等研究奠定了坚实的基础。

课题成果在维护国家的海洋权益、探测海洋资源、建立海洋地质灾害预警、海防等领域都将起到重要的作用。技术体系和所形成的成果是这些研究的必须与基础。

三、推广转化方式

针对深水油气以海洋盆地为目标的我国战略性、基础性调查与勘探而形成技术体系，既是技术平台，用于自行的科研体系，也可提供给其他用户用于科研。非常适于支撑国家战略性、基础性海洋油气调查的大型国家项目，也可与资源、海洋地质研究相关的单位提供技术服务。

技术依托单位：广州海洋地质调查局

联系人：温宁

通讯地址：广州市环市东路477号

邮政编码：510075

联系电话：020-87625971

电子邮件：wenning@gmgs.com.cn

火山岩油气藏的测井新技术和解释新方法

火成岩油藏既不同于碎屑岩储层，又不同于碳酸盐岩储层，其复杂程度及勘探难度都远远超出其它油藏类型。现代测井新技术以独特的原理和优势，可为火山岩储层测井评价提供丰富的信息。项目围绕火山岩中电成像、核磁共振、元素俘获能谱、偶极横波等测井新技术开展理论和方法研究，解决了岩性识别、裂缝、孔洞等储集空间识别和定量计算、流体识别与参数计算等难题，形成了多个实用的方法模块，在中国石化松南火山岩油气藏取得了显著的应用效果。

一、内容概述

研究成果的形式主要是理论、方法和程序模块。

1. 成果简介

(1) 基于成像测井开展了火山岩岩性、岩相的识别，系统总结了不同岩性、岩相的常规以及成像测井响应特征。研究区营城组火山岩，岩性主要为流纹岩、角砾凝灰岩和熔结凝灰岩，系统总结了这些岩性的测井响应特征，尤其是基于成像测井图显示火山岩内部纹理特征和构造变化建立了一套火山岩岩相识别方法，提高了火山岩油藏的整体认识。

(2) 提出了火山岩储集空间的识别与参数定量计算方法。开展了成像测井的裂缝、溶洞的识别和参数计算的方法和应用研究。基于三维裂缝型地层模型开展了双侧向测井正演、反演研究，提出了一套裂缝孔隙度、裂缝开口度等裂缝参数快速计算方法，实现了裂缝定量评价；提出了储层空间类型划分准则，划分了研究区的储集空间类型。

(3) 研究出了一套基于核磁共振技术的孔隙结构研究方法和流体识别技术。基于核磁岩心实验和核磁测井数据，提出了孔隙半径计算方法；针对流体识别问题，提出了变 m 、 n 参数的流体饱和度优化算法以及 T_2 分布的孔隙压力转化方法；结合密度测井和核磁测井研究了轻烃校正算法，实现了孔隙度校正、气层指示和饱和度计算。

(4) 开展了基于阵列声波测井的流体识别技术研究，实现了纵横波速度比、流体压缩系数的定性和定量评价参数，实现流体识别方法模块，处理的解释了研究区的储层。流体识别结果与测试结果一致性较好。

(5) 基于元素俘获能谱测井实现了火山岩测井骨架的计算方法。结合核磁测井信息和岩心实验结果，利用多元回归方法建立了适合研究区的中子和密度骨架模型，并计算了密度和中子孔隙度，计算结果与岩心分析一致。

2. 程序模块

研究成果共形成了缝洞参数计算、核磁测井计算、阵列声波流体识别、元素俘获岩石骨架参数计算等四个模块。这些模块能够进行输入输出重定向和参数卡控制，运行稳定，界面友好，操作简单，适用于规模化应用。

二、应用范围及应用实例

1. 岩性识别

利用常规测井交会图法和 TAS 图可识别火山岩岩性。

2. 基于常规测井的裂缝参数计算

基于双侧向计算裂缝孔隙度与成像裂缝孔隙度对比。

3. 储集空间划分

Ys101 井火山岩岩性相对简单，以流纹岩、角砾凝灰岩为主，储层孔隙结构也具有一定的多样性。孔隙发育层段孔隙度值在 10% ~ 18%，个别层段孔隙度可以高达 20% 以上，纵向上孔隙较为发育的层段为 3745.0 ~ 3772.0 m、3774.0 ~ 3813.0 m。

4. 流体识别

(1) 基于核磁共振测井的 Archie 饱和度模型优化方法

如图 6 为 Ys1 井 Archie 饱和度模型优化计算结果，其计算结果与 Schlumberger 的 Elanplus 模块计算的含水饱和度非常接近，而且也与试油结果吻合，说明这个方法的计算结果是可靠的。而且，基于电阻率 Archie 模型计算的含气饱和度比基于密度与核磁共振测井计算的含气饱和度数值要高，这也是符合侵入特征的。

(2) 基于阵列声波测井流体识别

5. 岩石骨架参数计算

三、推广转化方式

1. 技术开发与转让

根据用户的需要开发相应的程序模块和软件或者模块转让。

2. 技术服务

针对某一油田勘探开发的需要，进行研究区块的测井数据处理、解释和地质评价。

技术依托单位：中国地质大学（北京）中国石化石油勘探开发研究院

联系人：谭茂金

通讯地址：北京市海淀区学院路中国地质大学地球物理与信息技术学院

邮政编码：100083

联系电话：010 - 82334656 15910869327

电子邮件：tanmj@cugb.edu.cn

井-地网络化油水界面电阻率成像仪

一、内容概述

针对我国大多数油田已经进入高含水后期，准确监测水驱前沿及裂缝方向是提高剩余油采收率的关键。研发了具有自主知识产权的井-地网络化油水界面电阻率成像仪，采用大功率多波形伪随机发射技术与弱信号检测接收技术，实现了 30 安培的强低频信号发射系统、快速智能开关切换和极微弱井下多波形信号的干扰抑制，采用三维正反演计算技术，完成了采集数据的拟合成像及解释，提出了一套仪器测试方法，总结了产品生产流程及相应的测试手段和方法。

1. 仪器达到性能指标（见下表）

	实际完成指标
发射机	稳流精度为 1% 频率稳定度为 0.01% 输出电流最大幅值为 30A 输出电压幅值为 0~600 伏可调 可同时进行 54 道数据采集，可扩展至 108 通道；
接收机	输入阻抗为 10GΩ； 最高采样率 250K； 程控放大，放大倍数 1~8000 倍，16 档可调 采用大电流伪随机编码弱信号检测、多重和梳状滤波和线性累加数字平均等技术来有效压制电磁场的随机干扰
网络化井-地电阻率 成像软件	具有动态显示测量电位差曲线、实时监测测量系统工作状态功能； 可对测量结果进行处理与反演电阻率成像； 可以预测油水界面/压裂裂缝的方位与走向； 能够对激电测量参数进行处理与解释； 可以进行线电流源等给定模型的电阻率正演计算

2. 成果的创造性、先进性

本成果在井地大功率电流发射技术、强干扰背景下的深井弱信号检测技术（微伏级信号的可靠检测）以及三维正反演数据解释技术：模拟井下弱信号产生和仪器室内标定装置等方面，取得创新性成果。本成果解决了以下关键技术：

(1) 大功率低频多波形发射技术

实现了 30 安培的强电流发射系统，快速开关切换电路。

(2) 微弱信号检测技术

为了提高信噪比，获取可靠井下微弱信号，采用数字锁定放大技术；提出了针对不同发射电流的标定技术，通过三维正反演解释技术，解决了深井下注水或压裂处层位的电阻率分布，提高了 ERT 探测的精确度。

(3) 强干扰背景下的深井信号噪声抑制技术

利用数字锁定放大器，有效提取深井信号，提高信噪比。

(4) 三维正反演拟合解释技术

对大地进行三维网格剖分，采用时间有限差分算法，通过边界条件，对注水及压裂进行拟合与反演解释，可以得到高分辨率深井下注水或压裂处层位的电阻率分布，从而确定压裂或注水延伸方位及波及范围。

经在辽河油田、大庆油田等的注水与压裂水实际应用中检验，其技术指标以及信噪比、探测灵敏度、抗干扰能力等方面处于国内领先地位。

二、应用范围及应用实例

井-地网络化油水界面电阻率成像仪已在吉林油田、辽河油田、大庆油田等地进行了油田水驱前缘监测及压裂裂缝监测，取得了较好的监测结果。

辽河油田实验

ERT 现场仪器布置方式：以测试井为中心，均匀布置了 18 条放射状数据采集通道（每道间隔 20 度），第 1 通道为正东方向，每条通道上布置了 3 个观测电极，分别在距测试井 50、100、150 m 处（如图 1-1 所示）。以测试井套管作为发射电流源 A 级，约 1500 m 以外的某油井作为发射端回流电极 B 级。

地表电位梯度异常雷达图显示裂缝延伸方向

井“雷 64 20-22”、“雷 64 26-28”、“雷 64 30-30”的电位梯度雷达图分别如图 1-2、1-3、1-4 所示。

压裂数据经三维正演推断压裂裂缝方位和长度结果图：

将井“雷 64 20-22”、“雷 64 26-28”、“雷 64 30-30”压裂前后数据分别进行三维正演拟合，得到 3 口井压裂裂缝方向及长度信息分别如图 1-5、1-6、1-7 所示。井“雷 64 20-22”压裂裂缝沿东南（东偏南 40°）方向延伸，缝长 22 m；井“雷 64 26-28”压裂裂缝沿东北（东偏北 80°）方向延伸，缝长 19 m；井“雷 64 30-30”压裂裂缝沿东南（东偏南 40°）和东北（东偏北 20°）方向延伸，缝长分别为 12 m 和 17 m；

大庆实验

ERT 现场布置方式：以水井为中心，布置了 18 条数据采集通道，每条通道上布置了 3 个观测电极，分别在距中心水井 50、100、150 m 处。

三、推广转化方式

将已经研制成功的油田水驱前缘压裂裂缝监测层析成像仪样机转化成具有可靠性高、实用性强的产品，并运用本仪器为油田水驱前沿和压裂裂缝走向服务。

1. 仪器社会服务应用

研制的仪器先后在辽宁省辽河油田、黑龙江大庆油田、吉林油田、华北油田进行了社会服务，取得了较好的社会和经济效益。

2. 成果转化

已经申请吉林省科技发展计划项目科技成果转化项目，油田水驱前缘压裂裂缝监测层析成像仪，并与长春国地探测仪器工程技术股份有限公司合作进行仪器的研发推广，还要和大庆油田签订长期合作计划。

技术依托单位：吉林大学

联 系 人：梁冰

通讯地址：吉林省长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130031

联系电话：0431 - 88502382

电子邮件：liangbing@jlu.edu.cn

复杂地区油气地球物理勘探技术

一、内容概述

全国油气资源战略选区调查与评价工作，开展工作的领域和地区包括：南海北部深水海域、柴达木盆地、青藏高原、松潘阿坝、南方碳酸盐岩、华北前第三系、东北中新世断陷盆地群、南黄海前第三系。这些领域和地区综合起来具有四个特点：①高风险新区；②老区新领域、新层系、新类型；③长期久攻不克的盆地和地区；④地表条件及地下构造复杂区。在这些地区开展地球物理勘探工作所具有的共同难点是地表条件恶劣，地质及地球物理条件差，野外施工困难，造成地球物理资料品质差，信噪比低，准确成像困难。

二、应用范围及应用实例

1. 海域长电缆地震勘探技术

南海北部陆坡深水石油地质条件优越，勘探潜力巨大。但由于陆坡区水深变化可达300~3200 m，急剧变深，峡谷纵横，水道复杂，形成了海底非常崎岖的地形地貌。由于深水崎岖海底，造成长期以来在该地区所获得的地震资料品质普遍很差，反映在信噪比低、多次波绕射波发育，地震资料从浅到深，相位连续性差，能量衰减快，特别是海沟的下部至海底2 s之下，没有较好的反射。

选区项目启动后，针对南海北部深水崎岖海底的地震攻关策略是：首次采用电缆长度5000~6500 m的长电缆进行地震资料采集。由于采用长电缆技术，新获得地震资料的浅、中层信噪比大幅提高，同时深层信号能量有所改善；在资料处理过程中，应用了以下几项集成攻关技术及方法：①分频去噪及波动方程压制崎岖海底多次波技术；②叠前深度偏移消除崎岖海底影响技术；③移动平均消除崎岖海底影响的时深转换方法。通过长电缆地震资料采集技术与集成攻关处理技术的紧密结合，地震资料处理效果的品质显著提高，所获得的高品质地震勘探成果，为我国在南海北部深水海域取得重大天然气勘探发现，奠定了坚实的基础。

选区项目在南海北部深水崎岖海底所获得的长电缆地震勘探攻关应用，标志着我国深水区长电缆地震采集和处理技术已经进入到新的阶段。

2. 复杂地区宽线地震勘探配套技术系列

以柴达木盆地西部复杂山地为代表的西部山地地区、以黔南—桂中探区为代表的南海相碳酸盐岩地区，油气资源量丰富，勘探前景好，但地面起伏剧烈，地表侵蚀程度高，地震野外采集施工极其困难，构造成像难度大，既是我国开展油气勘探的重点地区，也是实施地球物理勘探的难点地区，地震勘探方法长期难以奏效。

选区项目启动以来，通过针对以上两个地区持续开展技术攻关工作，基本形成了可以适用于同类复杂地区的宽线地震勘探配套技术系列。本项配套技术系列主要由以下五项关

键技术构成：

(1) 基于高精度卫星遥感信息的观测系统优化设计技术

近年来利用卫星遥感数据避开障碍物或激发接收条件较差的地段，合理选择检波点、炮点的设计技术日趋成熟。卫星遥感数据的利用使复杂地区的观测系统设计工作更直观、针对性更强，大大缩短了设计和施工周期，取得了良好的效益。

(2) 复杂近地表结构精细调查和建模技术

根据宽线观测系统的特点，在接收线上分别按照常规二维施工要求，布设近地表结构调查点，并针对地形高差变化、地表岩性变化段加密控制点。在地面地质调查、小折射、微测井、岩性录井等工作的基础上，采用高精度三维建模技术，建立起合理的近地表结构模型，并通过循环迭代进一步提高建模精度，为逐井设计钻井井深参数和计算比较准确的野外静校正量奠定了基础。

(3) 高速层激发技术

根据近地表结构调查结果，逐井设计井深参数，避免低速层激发，并针对不同的地表条件采取不同的激发参数，保证最佳的激发效果。

(4) 宽线采集技术

宽线采集主要技术：一是采用三维近地表调查和建模技术，对宽线的每一条激发、接收线计算三维静校正；二是观测系统设计时用三维设计理念，单线有较高覆盖次数（至少不低于单线二维覆盖次数），通过野外验证，确定最佳的采集参数；三是根据精细近地表模型，逐点设计激发深度和检波器组合，提高原始资料信噪比。

宽线采集主要优点：增加有效覆盖次数，提高了对干扰的压制能力；多线激发和接收增加了炮点选择范围，有利于优选激发点。

(5) 与宽线采集工作相互配套的针对性处理技术

以往针对宽线剖面一般采用二维测线处理方式进行处理，最终将各单线叠加剖面进行垂直叠加得到中心测线的叠加剖面，这样虽能进一步提高信噪比，获得复杂地下构造的成像，但由于没能考虑横向地层倾角的影响，往往会降低地震分辨率。

针对这一缺陷，选区项目处理攻关中结合实际野外宽线采集方式，在室内处理中借鉴了三维地震资料的处理方法，在做好静校正的前提下进行扩大面元处理，最终合成一条剖面，形成了针对性的宽线地震处理新技术。

选区项目在西部复杂山地地区、南方碳酸盐岩地区和大庆外围盆地火山岩覆盖地区采用宽线地震勘探技术所取得的效果表明，在地震地质条件复杂、资料长期不过关的地区，通过该方法大幅度地提高了原始地震资料的品质，基本查清了构造面貌；结合资料处理中采用针对性处理技术，有望获得勘探认识上新的突破，复杂地区宽线地震勘探技术值得推广应用。

3. 高原地震调查

西藏地区，是我国油气勘探工作开展程度最低的地区，也是开展国内油气资源勘探最具潜力的地区。该地区地表特殊、地下地质条件复杂，资料品质差异较大，信噪比低、静校正量大是影响该区资料品质的两大难题。选区项目自 2004 年启动以来，连续在西藏羌塘地区开展地震攻关，在西藏高原地震工作中，重点围绕着通过提高覆盖次数来提高资料信噪比、加密表层结构调查点提供准确静校正量、确保野外采集施工质量几个主要方面来

进行。

选区项目针对羌塘盆地地震攻关资料信噪比低的问题，强化对本工区地震地质条件的了解及原始资料的分析，结合低信噪比地区资料的处理经验，通过实施以下几个针对性处理技术攻关，有效地改善了资料品质：①多方法静校正联合处理技术；②多系统、多方法联合去噪技术；③地表一致性和提高分辨率的处理技术。

从所获得的地震攻关成果剖面来看，地震剖面浅、中层反射波组较为齐全，且主要反射波组连续性好，过渡自然，易于识别和追踪，深层反射有所改善，反映的构造特征较为明显、可靠，基本可以达到了了解地下基底起伏和区域构造格局的地质任务。

4. 复杂地区高精度重磁—三维电法（MT）勘探技术

柴达木盆地西部山前带及地表复杂地区油气勘探潜力巨大，是我国油气资源的主要接替地区。由于山前带地表复杂，表层岩性多变，低降速带影响大、地下构造复杂，给开展大面积地震勘探工作带来了极大困难。

三维重磁电勘探技术在柴达木盆地西部山前带的成功应用，可以体现在以下四个方：①在花土沟—狮子沟地区完成的高精度重磁—三维电法（MT）勘探，是国内第一次在油气勘探复杂地区实施并取得明显效果的重磁电三维采集处理解释一体化项目；②在 PC 机群上率先实现了三维 MT 反演并行算法，并应用于实际三维 MT 资料；③首次实现了三维 MT 反演数据在 Landmark 工作站上三维显示与解释，直观展示电磁法成果，提高了综合解释能力和效果；④实现了与地震资料同一平台的重磁电资料三维解释。

三维重磁电勘探技术，与二维技术相比，具有精度高、信号均匀，能有效抑制噪声和减少静态位移影响，消除了主测线与联络测线的闭合差等优势，特别适用于复杂地区了解局部构造情况。三维重磁电勘探技术更有利于开展进行重磁电资料的约束反演及综合解释，能够得到较为真实反映地质现象的剖面 and 三维资料，补充深层地震勘探资料的不足。

5. 火山岩覆盖区、南方碳酸盐岩地区综合地球物理勘探技术

（1）火山岩覆盖区综合地球物理勘探技术

大杨树盆地是我国东部地区较为典型的火山岩覆盖型盆地，钻探表明该盆地具有较好的含油气勘探前景。在前期重磁解释的基础上，对盆地南部坳陷区先后两次部署了 25 条测线的地震勘探；但由于表层火山岩的强屏蔽作用，造成了甘河组火山岩地层以下地震反射能量弱，致使盆地基底及主要目的层九峰山组、龙江组沉积岩分布范围不清，地震测区二级构造单元不能落实，严重制约了对本区油气勘探的步伐。

选区项目在大杨树盆地开展地球物理勘探工作的思路和做法是：充分利用研究区内重力、磁力、电法、地震、钻井、地质等资料，系统采用先进的方法技术对研究区内的各种物探资料进行了重新处理以及综合解释。

从地层物性数据可知，基底与盖层存在明显密度差，可利用重力资料反演盆地基底深度。而在重力反演解释中，又可利用地震资料对浅层甘河组火山岩的良好反射来确定该组火山岩的厚度及分布，消除甘河组高密度火山岩对重力反演基底深度造成的影响进行校正。磁力资料可解决不同类型火山岩分布。用已知的钻井、地震以及地质露头资料作为约束，利用 EMAP 资料的反演结果较好地确定了基底的起伏深度。通过对该区综合地球物理资料的处理解释，较好地确定了基底的起伏深度以及基底的岩性分布情况，进一步提升了对该区的地质认识。

(2) 南方碳酸盐岩地区综合地球物理勘探技术

黔南—桂中坳陷位于贵州省南部和广西壮族自治区中北部，是典型的南方海相残留盆地。针对探区海相碳酸盐岩裸露以及铁路、公路、高压线、工厂等人文干扰因素严重的特点，选区项目在资料采集工作中，采取详细踏勘、认真选点、深埋电极磁棒、多套电极组合和现场远参考处理等措施，有效压制了人文干扰，提高信噪比，较大地改善了采集资料质量。

通过对 MT 资料处理攻关，确定了“利用有效视电阻率处理、综合信息二维反演成像系统为依托的二维连续介质反演、最优化信息异常分层技术和电阻率界面成像”的资料处理方法；处理成果真实，处理技术是成功有效的。

结合区域地质、地震、钻井等资料，以 MT 反演成果为主进行综合地质地球物理研究，对盆地构造单元划分以及基底结构和性质进行了推断，落实了黔南—桂中坳陷的构造格局，优选有利勘探区带，预测了可能的礁体分布及油气远景区，取得了较为可靠的成果资料。

6. 天然地震层析成像技术

利用天然地震所携带的大量宝贵信息，能够获取许多地球深部构造的重要认识。选区项目首次将天然地震层析成像技术应用于我国西部复杂山地地区的油气资源战略调查工作中。

通过引进天然地震层析成像技术和设备，在柴达木盆地西部狮子沟—游园沟复杂地质构造区进行的攻关试验，效果明显，初步建立起了微地震台阵深层构造探测的技术方法，为进行深层地质结构解释提供了新的手段。

选区项目在柴达木盆地西部复杂山地地区开展的天然地震层析成像攻关实验结果表明，该项技术的应用攻关是较为成功有效的。

三、推广转化方式

(1) 选区项目历经六年，通过对深水海域、西部复杂山地、南方碳酸盐岩、西藏高原、火山岩覆盖区等几类我国典型地球物理勘探久攻不克地区的难点地区开展地震、重磁电、综合地球物理勘探联合攻关，以及天然地震层析成像攻关实验，在油气地球物理勘探技术方面取得了长足进步，直接带动获得了我国第一个大型深水天然气田荔湾 3-1 的发现等成果。

(2) 形成了针对深水的海域长电缆地震勘探技术、适用于西部复杂山地和南方碳酸盐岩裸露区的宽线地震勘探技术、高原地震调查技术、复杂地区三维重磁电勘探技术、针对火山岩覆盖区和南方碳酸盐岩裸露区的综合地球物理勘探技术、可配合应用于复杂山地的天然地震层析成像技术等六项地球物理勘探技术。

(3) 发表 SCI、EI 文章，出版专著。

技术依托单位：国土资源部油气资源战略研究中心

联系人：张春贺

通讯地址：北京市西城区阜内大街 88 号

邮政编码：100034

联系电话：66558859/13661245769

电子邮件：chunhezh@gmail.com

天然气水合物勘探开发关键技术

一、内容概述

此项成果为“十一五”国家高技术研究发展计划（863 计划）海洋技术领域的重大项目，项目牵头单位为广州海洋地质调查局，项目召集人为张光学教授级高工，起止时间为 2006 年 12 月至 2010 年 12 月，投入总经费 11046.6 万元。

项目的战略目标是：重点开发天然气水合物成矿区带目标的高精度地球物理和地球化学勘探技术，自主研发水合物钻探取样技术与装备，突破水合物测井及钻探、开发及环境影响评价等关键技术，集成海域水合物目标快速探测系统平台，初步形成水合物资源勘探技术系列和装备，有效评价 1~2 个水合物有利矿区，开展海上先导试验。

项目的参加单位 37 个，参加人员 356 人（其中高级职称 150 人）；培养博士后流动站人员 4 名，博士研究生 75 名，硕士研究生 125 名；国内发表论著 174 篇（部），国外发表论著 58 篇（部）；申请国内发明专利 43 项（其中已授权 8 项），申请国内其他专利 26 项（其中已授权 20 项）；建立技术平台和研发基地 4 个；取得成果 60 个（其中重点成果 22 个，关键技术突破成果 26 个，重大产品与技术系统 12 个，重大应用与示范工程 6 个），成果转让 1 个，成果转让收入 25 万元。完成的重大装备和关键技术如下：

（一）重大装备

研制了海洋拖曳式电场接收机和海底混场源电磁接收机、海底高频地震仪（HF-OBS）及配套投放回收装置、多路海底地震仪精密计时器、飞鱼 1 型自容式微型温度测量仪、水合物一维细管模拟装置、一维及三维成藏物模装置、水合物沉积物机械特性测试装置。

研发了海洋拖曳式电性源大功率电磁发射系统、海洋可控源电磁接收系统、三维地震与 HF-OBS 的联合探测系统、剑鱼 1 型多通道海底热流原位探测系统、孔隙水原位采集系统和海水分层气密采样系统、水合物重力活塞式保真取样器及样品后处理系统、绳索式及钻柱式水合物保温保压取心系统、水合物沉积物声波、电阻及磁共振（MRI）成像骨骼构造可视化系统。

建立了气体地球化学现场快速检测船载平台，以及三维、可视水合物开采过程物理模拟实验平台。

（二）关键技术

突破了海洋电磁、海底热流原位数据处理技术、水合物多参量地震检测技术、水合物矿体的高精度地震综合评价技术、利用纵横波波阻抗增量比识别水合物技术。

攻克了深海高压下进行沉积物原位孔隙水采集的泥水分离过滤技术、保真空超高压海水电磁阀技术和采集过程计算机控制技术，形成了钻柱式取心工艺技术、水合物生成速度和空间分布特征及演化过程的实验测定关键技术、以及开采物理模拟技术。

通过本项目的实施和完成，掌握了具有我国特色的、拥有自主知识产权的水合物目标精确勘探核心技术，培养了水合物学科群体，打破了国外的技术垄断，实现了我国海域水合物勘探技术的跨越式发展。

二、应用范围及应用实例

该项目研究开发的水合物矿体的三维地震与海底高频地震联合探测技术、水合物的热流原位探测技术、水合物的流体地球化学探测关键技术已成功应用到国家水合物专项的调查工作中，大大提高了海域水合物矿体目标的探测能力，直接指导并应用于实际调查，具有明显的经济效益和科学意义。首次在我国南海开展水合物 3D 与 HF-OBS 联合探测工作，对确定矿体外形及内部结构，准确评价水合物的资源量具有重要价值。同时，该项目研究开发的相关技术装备在渤海深部地球物理探测、西南印度洋热液喷口区探测、南海北部海陆联合探测等多个项目中得到应用，有力带动了海域油气、大洋硫化物勘探技术以及相关海洋基础地质研究的发展。

三、推广转化方式

产、学、研相结合，技术研发、软件开发紧密结合国家勘探需求，带动科研成果的转化和推广应用。

技术依托单位：广州海洋地质调查局

联系人：张光学

通讯地址：广东省广州市环市东路 477 号

邮政编码：510075

联系电话：020-87623525

电子邮件：zhguangxue@tom.com

天然气水合物资源综合评价与 勘探开发战略研究

一、内容概述

该项目属国家水合物调查与评价专项综合研究项目，负责单位为广州海洋地质调查局，项目负责人为梁金强、王宏斌。参加单位有中国地质大学（北京）、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院海洋研究所、南京大学、中国地质大学（武汉）、中国地质科学院矿产资源研究所等。起止时间为2002~2010年，经费投入总额2714万元。

该项目采取产、学、研相结合，集合了国内众多从事天然气水合物研究的优势力量，系统开展了南海北部天然气水合物成矿的地质构造、气体来源以及热流场等基础地质研究，天然气水合物地球物理、地质、地球化学响应特征及综合找矿理论及方法研究，天然气水合物资源及勘探目标综合评价理论方法研究，天然气水合物数据库开发建设，天然气水合物勘探开发战略研究，科学提出了我国天然气水合物勘查与试采战略规划。

项目历经九年的探索研究，在海域天然气水合物成矿地质理论、水合物矿层识别技术、资源评价及钻探目标优选等方面取得一批创新性重要成果。项目验收评审委员会认为，项目成果总体上达到国际先进水平，部分成果达到国际领先。神狐海域钻探实践证明，项目形成的水合物资源综合评价体系有效，适合于海域天然气水合物的勘查评价。项目成果对我国今后水合物勘查工作具有重要的理论指导意义和应用价值。

主要成果：

（1）系统开展了南海北部陆坡天然气水合物成矿区的地质构造、气体来源以及温压场特征等基础研究，获得了南海北部水合物形成条件及成藏特征的认识。

（2）深入开展天然气水合物地球物理、地质、地球化学响应特征及识别研究，初步形成了具有南海特色的天然气找矿方法及指标。

（3）取得南海天然气水合物的成藏富集规律的初步认识，创新性提出南海天然气水合物成藏模式，为下阶段寻找富集区提供指导

（4）自主研究开发了海域天然气水合物资源综合评价方法及目标综合评价方法，为我国水合物找矿突破提供科学支撑。

（5）建成先进的企业级天然气水合物勘探及评价数据库，全面实现数据管理、数据查询及可视化等应用，为专项提供服务

（6）根据国内外天然气水合物勘探开发的发展趋势，科学提出我国天然气水合物勘查与试采战略规划。

二、应用范围及应用实例

该项目研究成果已在“我国海域天然气水合物资源调查与评价”国家专项得到有效

应用，为圈定了南海北部陆坡天然气水合物成矿远景区、成矿区带、成矿区块分布区，评价天然气水合物资源潜力，优选钻探目标、确定钻探井位提供了理论和方法指导。为南海首钻成功获取水合物实物样品奠定了坚实基础，为神狐海域水合物钻探突破提供支撑，充分发挥了科研指导生产，为生产服务的作用。

三、推广转化方式

采用产、学、研相结合，紧密结合国家水合物专项勘探需求，充分发挥了科研指导生产，为生产服务，带动科研成果的转化和推广应用。

技术依托单位：广州海洋地质调查局

联 系 人：梁金强

通讯地址：广东省广州 1180 信箱矿产所

邮政编码：510760

联系电话：020－82250227

电子邮件：ljinqiang@hyd.z.cn

第五部分 岩矿石物性研究与测定技术

全国岩石物性数据库建库方法技术

岩石物性是地球物理研究必需的重要基础数据资料，是联系地质与地球物理的纽带与桥梁，是地球科学研究建立地质地球物理模型的基础。基于地质大调查项目《全国岩石物性调查方案的研究》、《全国岩石物性数据库建库研究》、《岩矿石物性调查技术规程》、《全国岩石物性数据库建库》等4个项目的方法技术研究与8个省区岩石物性数据库建库实践，已形成了较为成熟的全国岩石物性数据库建库的方法技术。为加强基础地质工作，夯实物探成果解释的基础，发挥物性参数在地质工作应有的作用，建议向尚未建库的24个省区推广应用岩石物性数据库建库方法技术。

一、内容概述

1. 《岩矿石物性调查技术规程》(DD2006-03)

该规程规定了岩矿石物性标本采集、样品加工、物性参数（密度、磁化率、天然剩余磁化强度及方向、电阻率、极化率等）测定、数据整理、报告编写以及提交与归档等工作环节的技术要求。适用于重力勘查、磁勘查、电勘查等地球物理勘查中利用岩矿石标本进行的物性工作以及专门的岩矿石物性调查工作。

2. 《全国岩石物性数据库建设工作指南》

该指南规定了全国岩石物性分类与代码、数据文件的命名规则、要素的层次划分、数据的结构等。给出了每个数据项的定义和填写说明；确定了图形及属性数据采集的技术要求；制定了工作流程及质量要求。适用于省级岩石物性数据库。

3. 《全国岩石物性数据库管理系统》

全国岩石物性数据库系统已具备数据库的数据管理、查询、统计、制图等功能，形成了一套基本上适合于全国地矿系统物性数据入库的数据库格架系统。

4. 8省区岩石物性数据库建库经验

组织了河北、河南、山西、陕西、宁夏、内蒙、安徽、江西等8省区共计30万余条物性记录的省级岩石物性数据库建库，积累了从已有的相关原始资料中进行物性数据的整理、评价、入库工作的各种经验，在其他省区建立岩石物性数据库具有借鉴意义。

二、应用范围及应用实例

全国岩石物性数据库数据主要包括：①空间属性（经度、纬度、深度）。②地质属性（岩石名称、岩石亚类、岩石类、岩石大类；地层段、组、群；时代世、纪、代）。③物

理属性（密度、磁性、电性）。这就决定了全国岩石物性数据库在地质调查、找矿勘探、物探工作等领域中具有广泛的应用价值。

已建立的河北、河南、山西、陕西、宁夏、内蒙、安徽、江西等 8 省区的物性数据库，已成为这些省区的重要地学基础数据库之一。

三、成果转化方式

开办学习班，进行人员培训。

与相关省区合作建设该省区的岩石物性数据库，通过建库进行人员培训。

已建成的 8 省区物性数据可向相关项目提供基础数据服务。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联 系 人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：0316 - 2267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

RP-1 岩矿石电性测量系统

一、成果概述

随着我国经济的发展，电磁法的应用已经拓展到众多领域，而作为电磁法解释依据的岩矿石电性测量方法技术缺乏深入研究。为此，结合国内外研究现状，开展岩矿石电性测量方法技术研究，研制岩矿石电性测量仪器，为提高岩矿石测量精度和工作效率，在电磁法勘探领域具有积极的引领作用与技术支撑的意义。

2011 年，在物化探研究所基本科研业务费专项资金支持下，开展了岩矿石电性测量仪研制，成功研制 RP-1 岩矿石电性测量系统。目前该测量系统已申报国家专利。

1. 主要性能指标

供电电压可调（ $\pm 5\text{V}$ 之内）；

电压测量范围： $-5\text{V} \sim +5\text{V}$ ；

测量分辨率：16 位 AD；

供放电时间可调（1 ~ 30s）；

输入阻抗 $\geq 10\text{M}\Omega$ ；

仪器适宜于物性标准标本（ $\phi 25\text{ mm} \times 24\text{ mm}$ 圆柱体）测定；

仪器重量 $\leq 10\text{ kg}$ ；

工作温度： $10^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ 。

2. 主要特点

与其它各类激电仪、电阻率测量仪比较，其具有以下特点：

（1）测量精度高，重复性好，可用于各类岩矿石测量。电阻率测试平均相对误差 $\leq 10\%$ （在测试环境相对稳定，电阻率小于 $5000\Omega \cdot \text{M}$ 时观测误差可达要求值）。当极化率测量值 ≥ 1 时，平均相对误差 $\leq 10\%$ ；当极化率测量值 < 1 时，平均绝对误差 ≤ 0.1 。

（2）测量速度快、操作简便、效率高。单台仪器人均每日可完成 100 件以上岩矿石样品测量；

（3）每件岩矿石样品可存有一个供放电数据，并可保存测量条件，包括：样品号、样品长度与直径、测量时间、供电电压、供电电流等信息。

二、应用实例

RP-1 岩矿石电性测量系统已完成了 5000 余件的岩矿石样品测定工作，其测定误差均满足相关要求。

1. 重复性测量实例

以某工区的岩矿石样品为例进行重复性测量。选择了包括磁铁矿、黄铁矿、粉砂岩、长石石英砂岩、花岗斑岩、闪长玢岩、灰岩及玄武岩等 12 种岩性的 336 件岩矿石样品进

行 100% 重复性测定。电阻率与极化率测量平均相对误差均小于 10%。

2. 同类仪器对比测定

实验挑选不同电阻率的岩矿石样品 9 个，分别采用 RP-1 型岩矿石电性测量系统、SCIP 样品岩芯检测仪及 WDJS-1 数字直流激电仪进行对比测试。三种仪器测试时选择较接近的测量参数，并使用同一个电极架做为样品夹持装置，均采用正反向供电测量。由于为 WDJS-1 数字直流激电仪提供信号的发射机需不低于 12V 电压支持，所以在测量时采用串电阻分压的方式以保证其供电电压的一致性。三种仪器进行对比实验，测量的岩矿石样品电阻率、极化率结果如表 1、表 2、所示：

表 1 RP-1、SCIP 及 WDJS-1 电阻率测定结果数据表 单位： $\Omega \cdot m$

序号	样品号	岩石名称	RP-1	SCIP	WDJS-1
1	Q328-3	黄铁矿	6.7	6.4	12.4
2	Q331-1	黄铁矿	37.7	33.0	54.2
3	Q246-1	闪长玢岩	196.3	171.5	136.1
4	Q275-1	赤铁矿	223.8	247.0	203.8
5	M92-1	粉砂岩	367.7	417.6	310.1
6	M56-1	中粒文象花岗岩	1347.3	1121.1	1480.3
7	Z1-181	长石石英砂岩	1512.8	1060.3	1199.5
8	Q99-1	玄武岩	1693.4	1872.5	1653.8
9	M46-3	中粒文象花岗岩	4587.1	4884.3	3502.5

表 2 RP-1、SCIP 及 WDJS-1 极化率测定结果数据表 单位：%

序号	样品号	岩石名称	RP-1	SCIP	WDJS-1
1	Q328-3	黄铁矿	87.93	70.78	93.70
2	Q331-1	黄铁矿	59.53	23.04	50.40
3	Q246-1	闪长玢岩	6.32	2.65	5.12
4	Q275-1	赤铁矿	6.73	2.57	5.76
5	M92-1	粉砂岩	4.03	2.46	5.00
6	M56-1	中粒文象花岗岩	2.95	1.51	3.78
7	Z1-181	长石石英砂岩	2.08	0.83	2.65
8	Q99-1	玄武岩	1.02	1.05	2.49
9	M46-3	中粒文象花岗岩	0.98	1.03	2.68

据实验数据（表 1），三种仪器电阻率测量结果基本一致，而极化率测量中（表 2）RP-1 型岩矿石电性测量系统测量异常趋势明显，对于矿化（高极化率）样品测量时 RP-1 岩矿石电性测量系统与 WDJS-1 数字直流激电仪较 SCIP 样品岩芯检测仪异常明显；低极化率样品测量时 RP-1 岩矿石电性测量系统与 SCIP 样品岩芯检测仪较 WDJS-1 数字直流激电仪测量精度较高，由于 WDJS-1 数字直流激电仪主要为野外用测量仪器，经示

波器测量比较，其测试噪声亦偏高。

经过大量实测检验，RP-1 型岩矿石电性测量系统在国内外岩矿石电性测量领域具有显著优势。

(1) 岩矿石电性测量系统采用不极化、良导电极架技术测量岩矿石电阻率与极化率操作简便、测量准确、可靠性高。

(2) 岩矿石电性测量系统采用高精度数据采集系统，利于岩矿石弱信号提取。

(3) 测量过程，使用标准柱状样品，形态规则，去除了几何参数的不确定性；同时减少电极与样品接触时产生的误差，可提高岩矿石电性测量精度。

(4) 岩矿石电性测量系统满足地球物理电（磁）法勘探解释需求，可进一步推广应用。

三、推广转化方式

建议给予一定的资金支持，以物化探研究所为依托进行批量生产。通过培训班、现场操作等方式，向全国各地勘单位推广应用。

技术依托单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

联系人：张振海

通讯地址：河北省廊坊市金光道 84 号

邮政编码：065000

联系电话：03162267608

电子邮件：kjc@igge.cn

岩矿石标本磁参数的总场磁力仪

4 方位测定技术

一、内容概述

岩矿石标本磁参数的总场磁力仪 4 方位测定方法是一种测定岩矿石标本磁参数的新方法。在这种新方法的测定和计算过程中，不需要使用地磁倾角值，因此，可避免由于传统测定方法中地磁倾角估算不准和倾斜板调斜不准所带来的误差；这种测定新方法的标本位置接近于高斯第一位置，标本在测量探头处的磁场强度是高斯第二位置的 1.5 ~ 2 倍，有利于测量较弱磁性的标本。设计的测定装置附有易于翻转的同心标本盒，标本翻转过程中不会产生距离变化，可以提高磁参数测量的精度。本方法及其装置已经申请发明专利和实用新型专利。

岩矿石磁参数测定是地球物理磁法勘查的一项基础工作，使用总场磁力仪测定岩矿石标本磁参数一直采用基于地磁倾角的斜测方法。这种斜测方法要求被测标本的中心轴线以当地地磁倾角 (I_0) 的斜度，对准总场磁力仪测量探头的中心，岩矿石标本必须在与地磁场倾角一致的斜面上翻转摆放。因此，该方法必须预先知道标本测定地点的地磁倾角，斜测装置必须准确调节标本板倾角与实地的地磁场倾角相等。由于目前大多数地球物理勘查单位都不具备野外实测地磁倾角的能力，只能依靠查地磁图或理论计算估计地磁倾角，往往与实际地磁倾角值有较大的误差，这种不易控制的地磁倾角误差导致磁参数测定结果存在较大的不确定因素。

为了克服现有测量方法和装置存在的缺陷，中国冶金地质总局山东正元地质勘查院提出了一种不必考虑地磁倾角、能够提高磁参数测定精度的岩矿石标本磁参数 4 方位测定方法及其装置。

总场磁力仪测量岩矿石标本磁参数的 4 方位测定装置如图 3 所示，该装置包括总场磁力仪 (31、35、37)、标本盒、标本盒座板和支架。所述标本盒中装有岩石标本或矿石标本，所述总场磁力仪包括主机 (31)、测量探头 和 日变探头，所述标本盒座板中装有可任意旋转的标本盒，标本盒与标本盒座板中心的距离可以调节。所述总场磁力仪 (可使用质子磁力仪、光泵磁力仪、超导磁力仪等) 采用双探头的梯度测量或两台单探头磁力仪总场测量方式，测量探头放置于标本盒座板旋转轴中心，日变探头置于标本磁场影响范围之外的正常地磁场中。待测标本装在立方体标本盒内，标本盒的六个盒面分别用数字 1 ~ 6 标记，如图 2 所示。

岩矿石标本磁参数的总场磁力仪 4 方位测定方法包括如下步骤：

(1) 选择平稳的地磁正常场处，采用铅锤将标本盒座板 (33) 调到竖直，并使标本

盒座板面位于垂线和磁北方向组成的平面中，将支架（34）安置牢固，将总场磁力仪的测量探头（35）放置于标本盒座板（33）中心，日变探头（37）置于标本磁场影响范围之外的正常地磁场中，取下标本盒（32），由总场磁力仪测量出正常地磁总场 T_0 ；

（2）将内置有标本的标本盒（32）置于标本盒座板（33）的适当位置，使总场磁力仪的读数明显偏离正常地磁场值 T_0 ，测量标本盒（32）中心与测量探头（35）中心间的距离 R ；

（3）保持标本盒的 1 号面朝东，旋转标本盒座板，使标本盒（32）中心与总场磁力仪的测量探头（35）中心等高并位于测量探头的磁北方向，然后依次旋转 90° ，使标本盒分别位于测量探头的下、南、上四个方位，并通过总场磁力仪分别测得标本所处四方位的 4 个磁场值；旋转标本盒，使其 2 号面朝东，旋转标本盒座板，再次分别测得标本所处北、下、南、上四方位的 4 个磁场值，直至总场磁力仪分别测得标本盒的六面分别朝东且标本分别位于北、下、南、上四个方位时的 24 个磁场值为止，通过 T_{ij} 分别记录这 24 个磁场值；

（4）测量标本盒（32）内标本的体积 V ；

（5）将步骤 A 中测得的 T_0 ，步骤 B 中测得的 R ，步骤 C 中测得的 24 个磁场值以及步骤 D 中测得的 V 分别代入下式，得出标本的磁化率 κ 、剩余磁化强度 M_r 、剩磁偏角 ϕ 和剩磁倾角 θ ：

$$\kappa = (\kappa_x + \kappa_y + \kappa_z)/3 = \frac{R^3}{2T_0V} \sum_{i=1}^6 (T_{i1} + T_{i2} + T_{i3} + T_{i4}) \times 4\pi(SI)$$

$$M_r = \sqrt{M_{rx}^2 + M_{ry}^2 + M_{rz}^2} = \frac{5R^3}{V} \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (T_{i1} - T_{i3})^2 + (T_{i2} - T_{i4})^2} \times 10^{-3}(A/m)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{4 \left((T_{11} - T_{13})^2 + (T_{12} - T_{14})^2 + (T_{61} - T_{63})^2 + (T_{62} - T_{64})^2 \right) - (T_{21} - T_{23})^2 - (T_{22} - T_{24})^2 - (T_{51} - T_{53})^2 - (T_{52} - T_{54})^2}}{\sqrt{4 \sum_{i=4}^5 \left((T_{i1} - T_{i3})^2 + (T_{i2} - T_{i4})^2 \right) - (T_{31} - T_{33})^2 - (T_{32} - T_{34})^2 - (T_{61} - T_{63})^2 - (T_{62} - T_{64})^2}} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{4 \sum_{i=2}^3 \left((T_{i1} - T_{i3})^2 + (T_{i2} - T_{i4})^2 \right) - (T_{11} - T_{13})^2 - (T_{12} - T_{14})^2 - (T_{41} - T_{43})^2 - (T_{42} - T_{44})^2}}{\sqrt{3 \sum_{i=5}^6 \left((T_{i1} - T_{i3})^2 + (T_{i2} - T_{i4})^2 \right) - \sum_{i=2}^3 \left((T_{i1} - T_{i3})^2 + (T_{i2} - T_{i4})^2 \right) - 4 \left((T_{11} - T_{13})^2 - (T_{12} - T_{14})^2 - (T_{41} - T_{43})^2 - (T_{42} - T_{44})^2 \right)}} \right)$$

式中： κ_x 、 κ_y 、 κ_z 分别为标本三轴方向的磁化率；

T_{ij} 为标本处于不同状态下，通过总场磁力仪分别测得的标本磁场值；

R 为标本盒与测量探头中心之间的距离；

V 为标本盒的体积；

T_0 为正常地磁总场；

M_{rx} 、 M_{ry} 、 M_{rz} 分别为标本三轴方向的剩余磁化强度。

二、应用范围及应用实例

（略）

三、推广转化方式

合作实施或专利转让。

技术依托单位：中国冶金地质总局山东正元地质勘查院

联系人：高建东

通讯地址：山东省济南市高新区颖秀路 3366 号

邮政编码：250101

联系电话：0531 - 86415031 0531 - 66770551

电子邮件：gjd8228@163.com