

地质找矿科技成果系列丛书之四

地球化学勘查技术

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

随着国民经济的高速发展，我国正面临着能源资源约束日益加剧和环境质量不断恶化的严峻形势。为了扭转这种资源和环境形势，国家采取了一系列的环境监管措施，国土资源部部署了地质找矿突破战略行动，这些重大举措旨在着力提升我国的能源资源保障能力和环境保护水平。

目前，全国地勘行业正在掀起新一轮矿产资源勘查的高潮。在中东部地区，地表出露矿基本上寻找殆尽，面临的是寻找隐伏矿和深部矿的难题。在西部地区，则是面临交通不便、气候恶劣、工作条件艰苦的难题。总之，新一轮的找矿勘查工作，面临的多是地质条件复杂和自然条件困难、用传统方法技术很难发挥大作用的找矿对象。因此，地质找矿要有大的突破，从技术层面上很大程度取决于地质勘查技术的进步与发展，其中地球化学勘查技术就是适应地质找矿新形势的重要勘查技术。

《地球化学勘查技术》收录了地质大调查以来重要的地球化学勘查方法技术研究成果和应用实例。涵盖了矿产勘查、环境调查评价、化探分析测试和应用等四个方面。其中矿产勘查方面收录了特殊景观区域化探、76种元素地球化学图编制、构造叠加晕找盲矿等8种方法技术，环境调查评价方面收录了多目标区域调查和评价等5种方法技术，化探分析测试方面收录了化探样品76种元素测试方法技术、地球化学系列标准物质、塞曼测汞仪和便携式近红外矿物分析仪（PNIRS），方法技术应用方面收录了3种不同的应用结果。

矿产勘查是地球化学勘查的传统领域。40多年来，随着区域化探全国扫面计划的实施，根据地球化学异常找到了数以百计的大中型以上规模的金属矿床（特别是金矿床），取得了明显的地质找矿效果，使地球化学勘查技术成为我国矿产勘查中不可或缺的重要技术。特殊景观区域化探方法技术主要列举了适用于森林沼泽景观区、干旱荒漠景观区、高寒干旱荒漠及湖沼丘陵景观区和黄土浅覆盖区的化探扫面新技术。通过76种元素地球化学图编制研究，提出了新的编图方法技术，编制出全球第一份76元素地球化学图。构造叠加晕技术开辟了地球化学勘查方法寻找深部盲矿的新局面。

环境调查评价是我国勘查地球化学在新世纪开辟的新的服务领域，是驱动我国勘查地球化学学科发展的两大支柱之一。多目标区域地球化学调查涵盖了土壤、近岸海域沉积物、湖泊沉积物、地表水及浅层地下水等区域性环境和农业调查技术。多目标区域生态地球化学评价则提出了河流、农田、城市、浅海及湖泊湿地等生态系统的生态地球化学评价技术。城市环境地球化学调查异常查证研究提供了一套比较完整的多目标地球化学调查中异常查证的方法技术。全自动土壤二氧化碳和土壤/大气汞交换通量测量技术制定了原位、实时、自动、长期观测二氧化碳和汞通量的方法技术。

分析测试是地球化学勘查工作的基础，这里主要提供了近十年来研究制定出的化探样品中 76 种元素比较经济实用符合中国测试设备现状的一整套测试方法技术。地球化学系列标准物质介绍了针对地质调查需求研制的 12 个系列 135 种标准物质。同时介绍了 XG-7Z 型塞曼测汞仪和便携式近红外矿物分析仪 (PNIRS) 两款国产野外现场测试仪器。

介绍了 3 个应用实例。全国多目标区域地球化学图集为我国重要农耕区/经济区圈定富硒、锌等营养元素的土地资源、天然富硒、锌等农产品的开发、土地质量地球化学评价、全球变化、土地规划、第四纪地质等领域提供了一套系统的基础地球化学图件。中国东部平原区土壤生态环境地球化学基准值空间数据库为研究中国生态地球化学环境的现时状况、监测演变速度和程度、预测演变趋势提供了基础依据和服务平台。区域化探资料在浅覆盖区地质填图中的应用则是一次化探与基础地质填图相结合的有益尝试。

总之，地球化学勘查方法技术的进步，将驱动国民经济和社会发展的资源和环境两个车轮快速健康的前行。在矿产勘查地球化学新技术的有力支撑下，必将对整个地质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。在环境调查评价地球化学新技术的引领下，我国在土地质量评估与生态管护、农业种植适宜性与经济结构调整及环境污染治理等各方面，得到科学和可持续的发展。

由于资料所限，书中收录的研究成果尚不全面。其中的新技术成熟度相差也比较大，期望有关技术人员在新技术应用中，根据生产一线的实际，开展相应的必要研究工作，完善新技术。

鉴于时间仓促，编者水平所限，错误之处在所难免，恳请读者指正。

目 录

第一部分 矿产勘查的地球化学方法技术

1. 特殊景观区域化探方法技术 (3)
2. 中国南方地区 76 种元素地球化学图 (5)
3. 寻找盲矿的构造叠加晕技术 (7)
4. 地球化学异常结构模式的构建技术 (10)
5. 独立供电偶极子地电化学方法技术体系 (12)
6. 金属矿地气地球化学探测技术 (14)
7. 元素活动态提取技术 (16)
8. 矿产资源地球化学预测技术 (18)

第二部分 环境调查评价的地球化学方法技术

9. 多目标区域地球化学调查技术 (25)
10. 多目标区域地球化学评价技术 (27)
11. 全自动土壤二氧化碳通量测量技术 (28)
12. 城市环境地球化学调查异常查证技术 (30)
13. 土壤/大气汞交换通量测量技术 (33)

第三部分 化探分析测试方法技术与仪器

14. 勘查地球化学样品中 76 元素测试方法技术和质量监控系统的研究 (37)
15. 地球化学系列标准物质 (40)
16. XG-7Z 型塞曼测汞仪 (43)
17. 便携式近红外矿物分析仪 (PNIRS) (45)

第四部分 地球化学勘查方法技术应用

18. 中华人民共和国多目标区域地球化学图集 (49)
19. 中国东部平原区土壤生态环境地球化学基准值空间数据库 (50)
20. 区域化探资料在浅覆盖区地质填图中的应用 (51)

第一部分 矿产勘查的地球化学方法技术

特殊景观区域化探方法技术

一、成果概述

特殊景观区域化探方法技术研究成果，主要包括：森林沼泽景观区、干旱荒漠景观区、高寒干旱荒漠及湖沼丘陵景观区和黄土浅覆盖区。其中森林沼泽景观区研究成果获 2003 年度国土资源科学技术二等奖，高寒干旱荒漠及湖沼丘陵景观区研究成果是 2011 年度国家科技进步奖特等奖项目“青藏高原地质理论创新与找矿重大突破”的组成部分之一。

1. 森林沼泽景观区

本景观区主要分布在内蒙古东部和辽吉黑三省。本项成果于 2000 年由中国地质科学院物化探研究所完成。主要解决了长期困扰化探工作的广泛存在的有机质对区域化探测量成果的干扰问题，研究制定出适合该景观区特点的新的区域化探扫面方法技术：以水系沉积物测量为主，采样粒级为 $-10 \sim +60$ 目，基本采样密度为 1 点/4 km²，采样部位必须在活动性流水线上，并多点采集、组合成样。在个别水系沉积物采样困难的地方，可用土壤样代替，采样密度为 2~4 点/4 km²，样品须采自残坡积层，多点组合成样，采样粒级同水系沉积物测量。样品加工时注意去除粘土胶结物（假粒级），必要时采取水筛的方法。

2. 干旱荒漠景观区

本景观区主要分布在新疆东天山—甘肃北山。本项成果于 2005 年由中国地质科学院物化探研究所完成。风成作用是干旱荒漠景观区制约区域化探扫面成效的主要因素，存在的主要干扰物是风成黄土和风成沙。研制出的新方法为：以土壤测量为主，采样粒级为 $-10 \sim +20$ 目，基本采样密度为 2 点/km²，采样介质必须为残坡积物，应避开风积层、钙积层以及冲洪积作用形成的覆盖层；每个样品要求在采样点前后 150 m 范围内多点采集、组合成样。样品加工时同样要注意去除粘土、钙质等胶结的假粒级。

3. 高寒干旱荒漠及湖沼丘陵景观区

本景观区主要分布在青藏高原、新疆西天山和阿尔泰山。本项成果于 2005 和 2007 年由中国地质科学院物化探研究所完成。这里广泛存在着风积物、黄土、有机物和盐沼，这些是影响区域化探找矿效果的主要因素。研制出的新方法为：以水系沉积物测量为主，采样粒级为 $-10 \sim +80$ 目（昆仑山、西天山、阿尔泰山、阿尔金山和祁连山为）、 $-10 \sim +40$ 目（西藏 90°线以西）和 $-10 \sim +60$ 目（其它地区）；基本采样密度为 1~2 点/4 km²；采样部位必须在活动性流水线上，并多点采集、组合成样；水系不发育地区，应采用土壤测量，采样密度为 1 点/km²，采样介质为残坡积物，并多点组合，采样粒级同水系沉积物测量。大面积冲洪积物覆盖区不采样。

4. 黄土浅覆盖区

本景观区主要分布在黄土高原周边和内蒙古中东部、辽宁、河北等省区，黄土覆盖厚度 $< 30\text{ m}$ ，由于水土流失，大多数地区侵蚀切割到基岩。本项成果于 2008 年由中国地质科学院物化探研究所完成。研究地区为辽宁、河北和山西三省相关地域。这里存在的主要问题是黄土对区域化探扫面找矿效果的影响。研究制定的主要方法技术：以水系沉积物测量为主，采样粒级为 $-10 \sim +60$ 目，基本采样密度为 $1 \sim 2$ 点/ km^2 ，大面积黄土覆盖区适当放稀，但不能低于 1 点/ 4 km^2 。采样部位必须在活动性流水线上，避免在河漫滩或河边阶地采样，并多点采集、组合成样。

二、应用范围及应用实例

以上各项成果主要应用于相关景观区 1:20（25）万区域化探扫面工作。部分已经写入《区域地球化学勘查规范（DZ/T0167-2006）》，成为相关景观区区域化探扫面的标准工作方法技术。

应用对象是各省、市、自治区开展区域化探扫面工作的有关基层地勘单位。

三、推广转化方式

以物化探研究所为主导，通过会议交流、人员培训、技术咨询和现场服务等方式进行成果推广转化。

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：03162267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

中国南方地区 76 种元素地球化学图

一、成果概述

中国地质科学院物化探研究所联合四川、云南、贵州、广西、广东、福建、湖南、湖北、江西、浙江、安徽、江苏等省区地质矿产局及国内多家实验室开展了《我国西南四省区 76 种元素区域化探图编制试点研究》和《中国南部地区 76 种元素地球化学图编制》，为全国及全球地球化学填图方法技术作准备。自 1999 年来开始，将中国南方地区 300 多万件（覆盖约 240 万 km^2 ）1:20 万区域化探全国扫面付样组合成 5244 件组合样，分析了 76 种元素，历时 10 年，在世界上首次编制完成了 76 种元素地球化学图。使得我国的地球化学填图水平又上一个新的台阶，取得了原创性的成果。

（1）建立了 76 种元素配套分析系统，研制出了难分析元素 Os、Ru、Rh、Ir、Re、Te 等新的分析方法，所有元素的分析检出限都低于其地壳丰度值；建立了创新的分析质量监控系统，提出虚拟地球化学图的相似性来监控分析质量的方法。

（2）首次取得了元素周期表上除气体和人工元素以外几乎所有天然元素在中国南方地区分布的高质量数据，据此制作出了我国南方地区 76 种元素地球化学图，为区域资源环境评价提供了可靠的基础数据。特别是稀有分散元素、贵金属元素和稀土元素的地球化学图，为这些元素的区域研究提供了极为宝贵的资料。

（3）根据这些地球化学图，利用地球化学块体理论和方法，开展了单元素成矿地球化学预测，进行了找矿潜力评估，为本区开展区域矿产评价提供了重要信息。

本项成果把我国勘查地球化学技术水平提高到了国际领先地位；对 76 元素在中国南方分布特征的认识，虽是区域性的，但有全球意义。这一项目能取得国际领先水平及原始创新成果的关键在于不断有国外没有的新思路，不断有方法技术的更新及大量新信息的积累，以及高瞻远瞩在一个领域数十年不懈的努力。这些经验在今后科研工作中值得借鉴。

二、应用范围及应用实例

本项研究成果是勘查地球化学的基础研究之一，分析测试方法与分析配套方案对于地球化学样品分析具有十分重要的指导意义，提出的地球化学分析质量监控方法（内部质量控制与外部质量控制方法）已在中国区域化探及多目标地球化学调查中得到广泛应用，对于提高地球化学调查样品分析质量起到至关重要的作用。

应用范围：地球化学填图（各种比例尺）、稀有分散元素研究、区域成矿研究。

分析测试技术成果在全国尾矿资源调查中得到应用，为资源综合利用提供了基础资料。

三、推广转化方式

编辑出版中英文版《中国南方地区 76 种元素地球化学图》，向国内外研究者介绍中国地球化学填图的方法技术，包括采样方法、分析测试方法、分析质量控制方法、地球化学图等。

通过举办学习班（国内外地球化学填图学习班），推广地球化学填图方法，推动全球地球化学填图的开展。

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

寻找盲矿的构造叠加晕技术

一、内容概述

从二十世纪九十年代以来，为提高应用原生晕在矿区深部盲矿预测的准确性，国内做了大量研究工作，以李惠教授为首的化探专家在研究原生晕找盲矿理论的基础上，密切结合金矿的多期、多阶段叠加成矿成晕的特点，提出了热液矿床叠加成矿—成晕理论，开创了“原生叠加晕”新方法新技术。提高了原生晕异常的解释水平和盲矿预测效果。先后参加并完成的三个国家攻关项目的相关专题和冶金部及国家黄金局的项目，并于1998年出版了专著。

1998年以来，又通过参加“96—914”国家攻关项目及在十几个矿山或机矿山找矿的实践，在研究思路、方法又有新的发展和突破，将原生叠加晕法又发展为构造叠加晕法—研究构造中原生叠加晕的方法。

2007—2010年在完成全国危机矿山项目中不仅进一步提出了叠加晕理论，完善了构造叠加晕找盲矿方法技术，建立了六种类型金矿八种矿床的构造叠加晕模型和四种叠加结构的综合理想模型，确定了五条盲矿预测准则。关键是提高了预测盲矿的准确性，统计跟踪的14个金矿山验证预测靶位见矿率达80%。取得了显著效果。

应用构造叠加晕法找盲矿取得了显著效果：构造叠加晕找盲矿新方法已在50多个金矿、银矿、铜金矿应用，根据部分矿山工程验证，已获得金金属量270余吨，铜金属量16万吨，潜在价值800亿元，取得了巨大的经济效益和社会效益。

二、应用范围及应用实例

山东三山岛金矿床的构造叠加晕研究—跟踪及预测效果

三山岛金矿床位于胶东半岛西北部，三（山岛）—仓（上）构造蚀变带北端，为特大型蚀变岩型金矿。三山岛金矿严格受NE向三—仓构造控制，金矿成矿成晕具有多期多阶段脉动叠加的特点。

1. 金矿床地球化学特征

（1）矿床元素组合

三山岛矿区矿体元素组合是：Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Bi、Mo、Mn、Sn；

新立矿区矿体元素组合是：Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Bi、Mo、Co、Sn。

（2）不同成矿阶段元素组合

第Ⅰ阶段：Au、As、Hg、Mo；

第Ⅱ阶段：Au、As、Sb、Hg、Ag、Pb、Bi、Co、Ti、Sn；

第Ⅲ阶段：Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Co、Sn；

第Ⅳ阶段：Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Mo、Mn、Sn。

2. 金矿床构造叠加晕特征

(1) 最佳指示元素组合：Au、As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Co。

(2) 模式展示了上部第一富集带矿体和预测深部第二富集带盲矿体的叠加晕分带特征。

(3) 单一次成矿形成矿体的前缘晕特征指示元素组合是 As、Sb、Hg、B；近矿晕元素组合是 Au、Ag、Cu、Pb、Zn；尾晕特征指示元素组合是 Bi、Mo、Mn、Co。

(4) 模式中每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕：上、下两个串珠状矿体可有三种解释：一是可理解为两次成矿成晕的同位叠加结果；也可解释为先形成上部矿体（晕），后形成下部矿体（晕）；也可理解为一次成矿由于矿体存储空间的制约而形成上、下两个串珠状矿体（晕）。无论哪一种情况，其上部矿体的尾晕总是与下部盲矿体前缘晕叠加共存。

(5) 模式中展示了对主断裂带深部下盘平行矿脉的预测。

3. 盲矿预测的构造叠加晕标志

①盲矿预测的前缘晕标志：在有 Au 异常的条件下，特征前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、B 具有中、内带异常，尾晕元素 Bi、Mo、Mn、Co 不发育，是盲矿前缘晕叠加结果，指示深部有盲矿体存在，若再有 Cu、Pb、Zn 异常出现，则指示有第Ⅲ阶段叠加，盲矿可能较富。相反，深部无矿。

②盲矿预测的前、尾晕共存标志，在剖面或垂直纵投影图上，构造叠加晕既有前缘晕指示元素的强异常，又有尾晕指示元素的强异常，即前、尾晕共存，是盲矿前缘晕叠加结果，指示深部有盲矿存在，在矿体中出现前、尾晕共存则指示矿体向深部还有很大延伸。

③前缘晕指示元素向深部增强趋势准则，即在剖面上或垂直纵投影图上，若前缘晕指示元素从上→向深部到最深钻孔或开拓中段一直为强异常或异常有增强趋势，是盲矿前缘晕叠加结果，指示深部有盲矿存在。

④反分带准则：计算原生晕轴向分带结果，若出现前缘晕元素 As、Sb、Hg、B 出现在中、下部或尾部，是盲矿前缘晕叠加结果，指示深部有盲矿。

4. 深部盲矿预测效果

(1) 深部预测结果

①2008 年预测结果

对三山岛金矿床深部进行了预测，在剖面上提出了 28 个盲矿预测靶位，预测金金属资源量 35.23 吨。

对新立矿区深部预测，在剖面上提出了 14 个盲矿预测靶位，预测金金属资源量 52.189 吨。

②2010 年预测结果

2010 年对三山岛金矿床进行了构造叠加晕跟踪研究，完善了三山岛金矿床构造模式，

对深部进一步预测，在 2008 预测靶位的基础上又提出了两个有利成矿地段，估算金属资源量 18.96 吨。2008 年 ~2010 年共预测金金属资源量 106.4 吨。

(2) 找矿效果

到 2010 年，据矿山统计：在预测靶位内共探获金金属量 84.1 吨，取得了显著的找矿效果。

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. 在不同类型的金矿山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：禹斌

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 - 5905351

地球化学异常结构模式构建技术

一、成果概述

地球化学异常结构模式构建方法是根据地质找矿需求及地球化学勘查方法技术研究应用现状提出的一项新方法。该方法是在全面考虑成矿过程中元素的带入、带出规律基础上，综合研究矿床中发生富集元素形成的正异常和发生贫化元素形成的负异常构成的异常结构模式，指导找矿及靶区成矿前景评价等。

与已有地球化学勘查方法技术相比，异常结构模式方法充分利用了矿床中元素的分布分配规律，从正（异常）负（异常）两方面对成矿地球化学环境及成矿条件、成矿前景进行论证，其结论无疑比单纯应用主成矿元素及其伴生元素的正异常更加充实可靠，在实际地质找矿中将发挥重要作用。

二、应用范围及应用实例

目前，异常结构模式思路和方法在找矿靶区优选、深部矿体预测等方面取得了一些试验研究案例。甘肃北山辉铜山矽卡岩型铜矿试验结果显示，辉铜山铜矿异常结构模式由成矿元素及其伴生元素的正异常、背景和负异常，成矿环境指示元素的正异常、背景和负异常以及贫化元素的负异常呈环带状展布。成矿元素 Cu、成矿环境指示元素 MgO 的正异常及稀土元素 Pr、Yb 的负异常构成环带的核心部位，大体上与试验区内辉长岩分布范围相吻合，Cu、MgO 的背景构成中间过渡带，Cu、MgO 的负异常构成环带结构的外带，主要出现在钾长花岗岩分布区。在环带结构内西矿段产出位置，成矿伴生元素 Zn 等的正异常、贫化元素 Al_2O_3 、 Na_2O 、Sr 等的负异常组成局部的矿体异常，整个异常结构模式很好地指示了矿床产出的地质环境和矿体产出部位。

甘肃北山白山堂斑岩型铜矿试验结果表明，在白山堂铜矿范围内，成矿元素 Cu 及伴生元素 Au、Ag、Pb、Zn、As、Mo、Se 等含量均较高，形成了多处多元素组合异常。其中，一矿段和四矿段内异常范围更大，强度也更高。在一矿段 1 号矿体产出位置出现较明显成矿及伴生元素正异常的同时。其中出现了常量组分 Fe_2O_3 、MgO 的正异常和 Na_2O 的负异常，两组正异常与一组负异常分布范围总体吻合。证实白山堂铜矿区这种异常结构能够很好地指示矿体的产出位置。在白山堂铜矿三矿带和四矿带重叠部位北部出现了一处明显的 Cu 异常，除 Cu 异常之外，还有 Ag、Pb、Zn 等伴生元素及 Fe_2O_3 、MgO 常量组分的正异常和 Na_2O 的负异常，构成了与一矿带 1 号矿体基本一致的异常结构模式，而且异常与此处产出的呈近东西向展布的流纹斑岩脉吻合，由此推测此处应该具有较好的找矿前景。

浙江天台大岭口银铅锌多金属矿试验结果表明，由富集和贫化两类指标构成的异常结

构模式，对已知矿体深部的矿体有更加明确的指示作用。在目前矿床开采最下部 96m 中段，主成矿元素 Ag、Pb、Zn 出现了显著异常，异常总体分成 I 号、II 号两部分，其中 I 号异常与已开采至矿体尾部的上部矿体相对应，II 号异常与产出在已开采矿体深部的矿体相对应。在 96m 中段上，除成矿元素异常以外，矿化剂元素 S 的正异常和贫化类元素（例如 La）的负异常显著，而且与主成矿元素异常产出位置吻合，为深部矿体预测提供了更加翔实的信息。

三、推广转化方式

异常结构模式在实用技术及资料解释等方面具有特殊性，专业化要求更高。因此，采用方法技术示范项目的方式进行推广应用将起到事半功倍的效果，既可以实现方法技术的推广取得实际找矿效果，又可以在项目实施过程中培养人才，为方法技术的有效应用储备人力资源，为方法技术的持续深入完善奠定人才基础。在示范项目实施的同时，开展技术培训，以扩大方法技术推广应用范围，使其在实际工作中发挥更大作用。

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

独立供电偶极子地电化学方法技术体系

一、成果概述

1. 基本原理

矿体是多种矿物的“集合体”，不同的矿物及同种矿物间均存在电极电位差，从而形成天然的微观原电池。在原电池作用下，矿体经电化学溶解作用产生大量金属离子，在区域、局部天然电场或人工电场以及各种自然因素作用下，金属离子由深部向地表进行电化学迁移，在地表覆盖层遇到地球化学障时，金属离子聚集储存于地表覆盖层内。

地表覆盖层内电活动态物质的含量通常十分微弱，常规化探方法不容易识别和发现。地电化学方法利用人工电场作用将电活动态物质分离、富集，从而取得其在地表介质中的分布形态。

地电化学异常信息的形成和获取过程为：深部金属矿床物质通过各种物理化学作用，向上迁移并赋存于地表，形成与深部矿体有关的地表（异常）信息；通过采用电提取方法技术提取地表覆盖层内已存在的电活动态物质信息，为深部矿体勘查提供依据。

将电提取的偶极距从老式“无穷”远转变为与有效提取域范围相当的近距离内，即采用“偶极子”供电方式；使供电设备大幅度减轻。同时，还可以明确离子运移速度、扩散范围、电场能量、提取过程长短等各参量之间的数理关系。

2. 成果简介

地电化学方法是覆盖区矿产勘查的一种重要方法技术。“独立供电偶极子地电化学技术体系”具有装置轻便化、实用化、可操作性强、勘查适用性较广（可进行中小比例尺勘查工作）的特点。以元素电化学迁移机理研究成果为基础，进行了大量的方法技术有效性试验，取得了较好的试验效果，开发出配套的技术装置（以轻便的小功率干电池替代庞大的大功率发电机，以元素本底含量较低的固体载体提取器代替液式提取器）、野外工作方法及样品分析方案。已申请到国家实用新型专利2项，在公开刊物上发表相关研究论文十余篇。

该技术装置使用9V干电池，采用低空白高吸附性能的泡塑及天然沸石作为接收极（载体）。多年试验表明，在隐伏矿体上方，Au、U、Cu、Ni、Ag、Pb、Zn、Mo、Cr、Co、W等元素具有较好的异常显示效果。有效探测深度铜镍矿大于300 m、铀矿大于200 m。

方法技术适用于寻找隐伏矿的地球化学勘查工作，主要适用于干旱-半干旱荒漠、草原、风成沙覆盖景观区，湿润-半湿润第四系覆盖景观区，黄土覆盖景观区，以及其他一些第四系覆盖景观区。

该方法技术体系在规范化、标准化方面还存在一些不足，目前正在中国地质调查局支持下开展补充、完善研究。可望通过“十二五”期间的研究，方法技术的规范化、标准

化达到新水平，技术装置达到产品化，从而更好的服务于覆盖区地质矿产勘查。

二、应用范围及应用实例

该技术装置目前已被核工业长沙 230 所、核工业北京地质研究院、湖南省地球物理地球化学勘查研究院、河南省地质调查院及中国地质大学（武汉）等单位用于相关科研及生产工作，取得了较好的应用效果。

三、推广转化方式

目前技术装置达到半产品化，采取成本价销售方式推广。对购买该技术装置的单位和人员进行简要的方法原理与操作培训或野外现场指导。

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

金属矿地气地球化学探测技术

一、内容概述

地气法系通过捕集器收集土壤中的气体，用极灵敏的分析技术测出气体中的某些元素的含量，发现异常，以达到资源勘查目的的地球化学方法。其原理是整个地球的壳层存在着上升气流，当气流通通过矿体或其他高含量地质体时，会把成矿元素或伴生元素的超微细粒活动态（亚微米至纳米级）部分带到地表，一部分保留在气体中，另一部分将转化成各种活动态存在于地表疏松介质中。地气法就是通过捕集器捕集这些气体，测试元素的含量或其他地球化学指标，发现异常。

近年来，在国家自然科学基金、中国地质调查局和科技部 863 项目资助下，中国地质大学（北京）利用现代测试技术，使地气方法逐步走向成熟。

（1）采用 1000 级超净环境和通过试剂提纯，成功降低了空白金属元素含量，Cu、Pb、Co、Ni、Ba 等 $<1 \text{ ng/ml}$ ；Zn、Mn $<10 \text{ ng/ml}$ ；K、Na 等常量元素 $<100 \text{ ng/ml}$ ；Ag、Au 及稀土元素 $<0.01 \text{ ng/ml}$ ，大大提高了观测精度。

（2）采用四级杆 ICP/MS 和高分辨率质谱仪（HR-ICP/MS）测定了地气样品 43 ~ 58 个元素，重复分析误差主要矿化元素 $<20\%$ ，Ag、Au 和稀土元素等 $<100\%$ ；分析检出限：Cu、Pb、Co、Ni 等主要金属元素均达到 0.010 ng/ml 。

（3）通过在黄土覆盖区（甘肃蛟龙掌多金属矿、青海拉水峡镍矿）、冲积物覆盖区（山东邹平王家庄铜矿）、草原覆盖区（内蒙古拜仁达坝多金属矿）、森林沼泽区（内蒙古阿荣旗太平沟钼矿）和澳大利亚芒特艾萨铜矿实验，均能有效地指示隐伏矿。

（4）地气铅同位素示踪研究发现，隐伏矿上方金属元素异常铅主要来自深部隐伏矿，说明其异常物质主要来自矿化体，为地气法用于探测隐伏矿提供了理论依据。

二、应用范围及应用实例

（1）2004 年，青海地调院委托，在青海祁连盆地白垩系红层覆盖条件下，成功探测到隐伏多金属矿体；

（2）2005 年，青海有色局委托，青海拉水峡镍矿勘查；

（3）2006 年，建龙国基投资有限公司委托，内蒙古阿荣旗太平沟钼矿地气测量，对成功寻找到该钼矿发挥了关键作用；

（4）2007 年，建龙国基投资有限公司委托，内蒙古鄂伦春扎赉河农场银多金属地气测量，发现了有意义的多元素异常；

（5）2007 年，青海有色地质八队委托，青海共和满隆山镍矿深穿透地气勘查，结果显示勘查区无找矿意义；

（6）2008 年，内蒙古地调院委托，内蒙古自治区西乌珠穆沁旗白音乌拉三队深穿透

地气实验，证明地气在草原区能够有效地指示隐伏矿；

(7) 2009 年，黑龙江省第一地质勘察院委托，黑龙江省鸡东四山林场铜钼矿地气测量，在土壤异常不明显的环境下，地气测量获得了有价值的信息；

(8) 2009 年，澳大利亚 Pacific Geochemical 咨询公司和世界著名的矿业公司 Xstrata Copper 委托，在澳大利亚芒特艾萨铜矿 (Mt. Isa) 参与了多方法对比实验，结果证明地气方法在澳洲深风化壳覆盖条件下，能够有效地指示隐伏矿，结果获得对方的好评，在多种方法中地气法结果最佳，进一步合作正在磋商中，为我国地气探测技术走向世界打下了基础。

(9) 2011 年，青海齐鑫矿业委托，青海化隆去马镍矿地气勘查，结果证明地表矿化为玄武岩氧化次生富集产物，否定了勘查区的意义。

三、推广转化方式

有偿技术服务。

技术依托单位：中国地质大学（北京）

联系人：汪明启

通讯地址：北京海淀区学院路 29 号

邮政编码：100083

联系电话：82322334

电子邮件：mingqi@cugb.edu.cn

元素活动态提取技术

一、内容概述

1. 基本原理

元素活动态提取技术是采用化学方法提取地表介质中深部隐伏矿发出的直接元素信息的分析技术。

勘查地球化学界将元素在地表疏松沉积物中的存在形式分成两部分，一类为稳定形式：以稳定矿物形式存在于硅酸盐、硫化物、晶质氧化物中；另一类为活动态形式，主要有以下几种：①作为离子状态存在；②作为各种可溶性化合物和络合物形式存在；③作为可溶性盐类；④作为胶体形式吸附在土壤颗粒表面；⑤呈离子与超微细颗粒吸附在粘土矿物表面，或呈可交换的离子态存在于粘土矿物之中；⑥作为不溶性有机质结合形式；⑦作为离子或超微细颗粒吸附在矿物颗粒的氧化物膜上或被氧化物包裹。这些金属与土壤基质的结合能力较弱，使用分解能力较弱的化学试剂就可将其提取出来。这部分元素也是极易迁移的，其中包含着从深部迁移上来的元素所占比例相对较大。因此，分析这些极其微量的元素含量来寻找隐伏矿床。

元素活动态顺序提取及测定技术，首先使用弱溶剂，使特定的活动态金属与载体分离，再使用分解能力强的化学试剂，对已提取活动态元素的赋存载体进行分解，使活动态元素完全释放并进入溶液，以进行准确测定。

特定矿种的元素活动态提取技术，针对特定活动态元素的特点，利用混合螯合剂原理，提高元素螯合物在提取液中的稳定性，以达到对特定元素活动态的定量提取及准确测定。

2. 成果简介

元素活动态提取技术是目前研究及应用最广泛的深穿透地球化学技术方法，主要用于寻找隐伏矿床。主要包括两个系列：①元素活动态顺序提取及测定技术；②适用于金矿、铜矿、铀矿等特定矿种的元素活动态提取技术。

目前，世界各国均把发现新矿产地的研究目光投向了隐伏区，传统的地球化学勘查方法在隐伏区面临着巨大挑战，通过在深穿透地球化学研究领域开展的大量探索，已取得了多项原创性技术。不仅在深穿透地球化学与信息提取理论上有所创新，而且提出了一系列方法技术并持续改进，形成了具有自主知识产权的方法技术系列。

已开展的应用试验表明，有效探测深度可达 500 m 以上。提出了金矿、铜矿、铀矿等专属性的元素活动态提取专用试剂，发展了元素活动态的提取及测定标准化流水线。分析元素达 40 余种，主要分析元素检出限见表 1。研究成果已获得国家实用新型专利 1 项、申请了国家发明专利 1 项，在国内外公开刊物上发表相关论文 20 余篇。

表 1 活动态提取技术分析元素及检出限

元 素	活动态分析检出限	元 素	活动态分析检出限
Ba	0.5 $\mu\text{g/g}$	U	0.01 $\mu\text{g/g}$
Ce	0.2 $\mu\text{g/g}$	W	0.01 $\mu\text{g/g}$
Co	0.1 $\mu\text{g/g}$	Y	0.01 $\mu\text{g/g}$
Cr	1.0 $\mu\text{g/g}$	Zn	0.5 $\mu\text{g/g}$
Cu	0.2 $\mu\text{g/g}$	Li	0.1 $\mu\text{g/g}$
La	0.1 ng/g	Mn	0.5 $\mu\text{g/g}$
Mo	0.01 $\mu\text{g/g}$	Ti	1 $\mu\text{g/g}$
Nd	0.01 $\mu\text{g/g}$	Ag	1 ng/g
Ni	0.2 $\mu\text{g/g}$	Au	0.05 ng/g
Pb	0.2 $\mu\text{g/g}$	Pd	0.1 ng/g
Sb	0.01 $\mu\text{g/g}$	Pt	0.1 ng/g
Sr	1 $\mu\text{g/g}$	Hg	0.1 ng/g
Th	0.01 $\mu\text{g/g}$	As	0.02 $\mu\text{g/g}$

二、应用范围及应用实例

该技术装置目前已成功应用于荒漠戈壁区、半干旱覆盖区、及湿润-半湿润第四系覆盖区等景观区的深穿透地球化学勘查，均取得了理想的应用效果。

该方法技术体系在规范化、标准化方面尚需完善，方法探测深度还不能完全满足目前更大深度隐伏区的矿产勘查工作。目前正在国土资源部行业专项及中国地质调查局大调查等项目支持下，在应用实验中对方法进行发展与完善。可望通过“十二五”期间的研究，使方法技术的规范化、标准化达到新水平，探测深度获得进一步提高。

三、推广转化方式

该项技术包括两个系列：①元素活动态顺序提取及提取剂处理测定技术；②适用于金矿、铜矿、铀矿等特定矿种的元素活动态提取技术。发展了元素活动态的提取及测定标准化流水线。可对有意使用该项技术的单位进行技术转让，对相关科技人员开展方法原理和方法技术的培训，并对野外采样方法进行现场指导和对室内提取流程提供示范。

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

矿产资源地球化学预测技术

一、内容概述

2006 年中国地质调查局启动了全国重要矿产资源潜力评价计划项目，矿产资源地球化学模型建立与定量预测研究属于其中的一项子课题，中国地质大学（武汉）自 2008 年承担该课题至今，先后在长江中下游铜多金属成矿带（2008 年）、西藏冈底斯铜多金属成矿带（2009 年）开展了铜矿资源定量预测的试点研究，探索出一套斑岩型（矽卡岩型）铜矿产资源地球化学模型建立和定量预测的方法技术。2010 年 6 月在苏州举办了全国矿产资源潜力评价化探定量预测培训班，之后在全国各省（市、自治区）以本课题的方法技术为指导进行铜矿产资源地球化学定量预测。经过全国各个省的实践表明，该方法圈定的预测区和估算的资源量具有较好的可信度。通过四年多来的不断尝试和总结，初步形成了以基础地质、成岩成矿机制、理论地球化学、勘查地球化学及 GIS 技术等为一体的综合性研究思路。

其研究思路可概述为：以我国已有的 1:20 万（1:50 万）区域地球化学数据为主，综合利用 1:5 万 1:1 万中大比例尺的地球化学资料，以现代成矿、成晕理论为指导，以现代计算机技术为手段，以“源”“动”“储”为基本建模思路，在Ⅲ级成矿带的尺度上，充分研究成矿区带的基础地质、成矿规律、理论地球化学及勘查地球化学特征，研究总结典型矿床（矿田）的异常特征，建立矿床（矿田）、成矿带的地球化学找矿模型，为预测区的圈定和资源量的估算提供可类比的依据（图 1）。

二、应用范围及应用实例

1. 应用范围

区域化探数据用于圈定新的找矿远景区。

2. 应用实例西藏冈底斯成矿带铜预测区的圈定和资源量估算

预测区圈定依据和可信度区分示于表 1 中。预测区的可信度分为 A、B、C 三个等级以 A 级预测区圈定的依据为例，Cu + Mo + Au 综合异常图中异常达外带以上，Cu + Mo + Au + Ag 相似度图中异常分带清晰，至少具有两级分带，Cu + Mo + Pb + Zn + Au + Ag 平均衬值图中异常分带明显，异常强度较大，Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 六个单元素的组合衬值图中，有 Cu 衬值异常（异常至少达外带），且有不低于 3 个元素的衬值异常套合程度高，即衬值异常的重叠面积较大；此外，有 Cu 矿点或矿化点存在（包括以 Cu 为主的多金属矿点或矿化点），又根据斑岩型矿床形成的控制因素分析，要求预测区范围内必须存在中新世深源中酸性斑岩体，而对围岩没有选择性，因为斑岩体若与碳酸盐岩接触可形成矽卡岩型矿体，而侵入在硅铝质岩石则形成斑岩型矿体，最后要求预测区处在断裂构造的交汇部位或者有断裂穿过。只有在上述特征全部具备的条件下，才将该预测区精选为驱龙

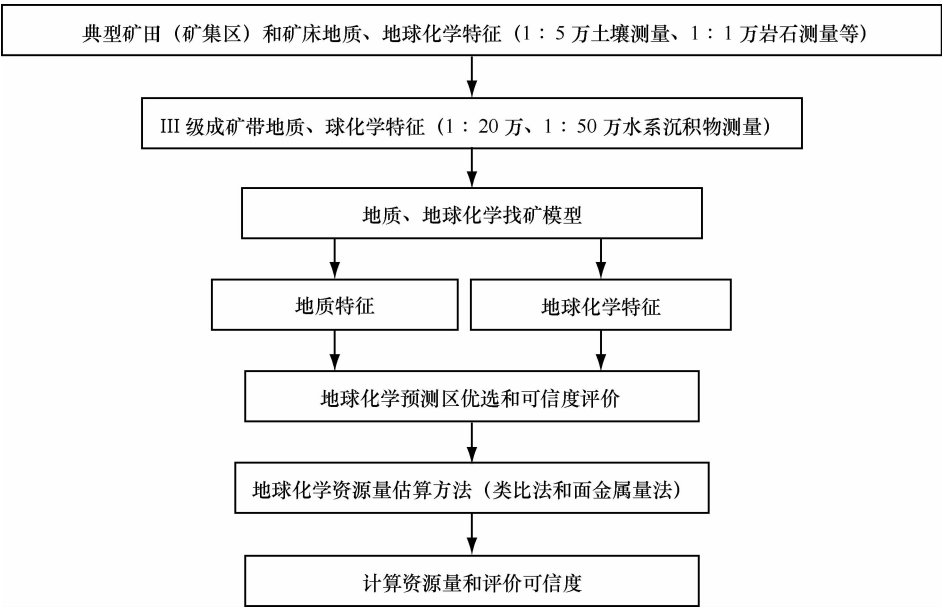


图 1 地球化学定量预测研究思路

式的 A 级地球化学预测区。

表 1 西藏冈底斯多金属成矿带地球化学铜定量预测区圈定与可信度分级
——以驱龙斑岩型铜矿床地质、地球化学找矿模型为例

地球化学预测区圈定依据		可信度分级			备 注
		A 级	B 级	C 级	
地球化学异常特征	Cu + Mo + Au 综合异常图	√	√	√	预测元素综合异常至少具外带
	Cu + Mo + Au + Ag 相似度图	√	√		浓度分带清晰，至少两级分带
	Cu 衬值图	√	√	√	Cu 衬值有异常（至少外带）
	Cu + Mo + Pb + Zn + Au + Ag 平均衬值图	√	√	√	浓度分带明显、异常强度较高
	Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 单元素组合衬值图（个数）	≥3	≥3	≥4	有 Cu 元素衬值异常，且多元素衬值异常的套合程度高（重叠面积大）
地质矿产特征	矿产图	√			Cu 矿点或矿化点（包含 Cu 多金属矿点或矿化点）
	地层	矽卡岩型围岩为碳酸盐岩			接触带形成矽卡岩型矿床
	构造	断裂交汇部位或有断裂穿过			成岩、成矿通道（“动”）
	火成岩	中新世中酸性斑岩体			矿质富集（“热源”、“物源”）

其次，对预测区圈定的操作流程归纳为“两步走”：第一步为粗选，在以驱龙典型铜

矿床作为"标准样本"的 Cu + Mo + Au + Ag 相似度图、Cu + Mo + Pb + Zn + Au + Ag 组合元素平均衬值图以及对应单元素衬值套合程度、套合元素的个数等预测要素图上粗选出一批预测区（图 2A）。第二步为精选，在地质图、矿产图、Cu + Mo + Au 组合元素地球化学图、 $(\text{Cu} + \text{Mo} + \text{Au}) / (\text{Pb} + \text{Zn} + \text{Ag})$ 比值图、Cu 含量或衬值的点位图以及水系分布图等综合考虑，进一步对预测区进行精选和可信度分级（图 2B）。

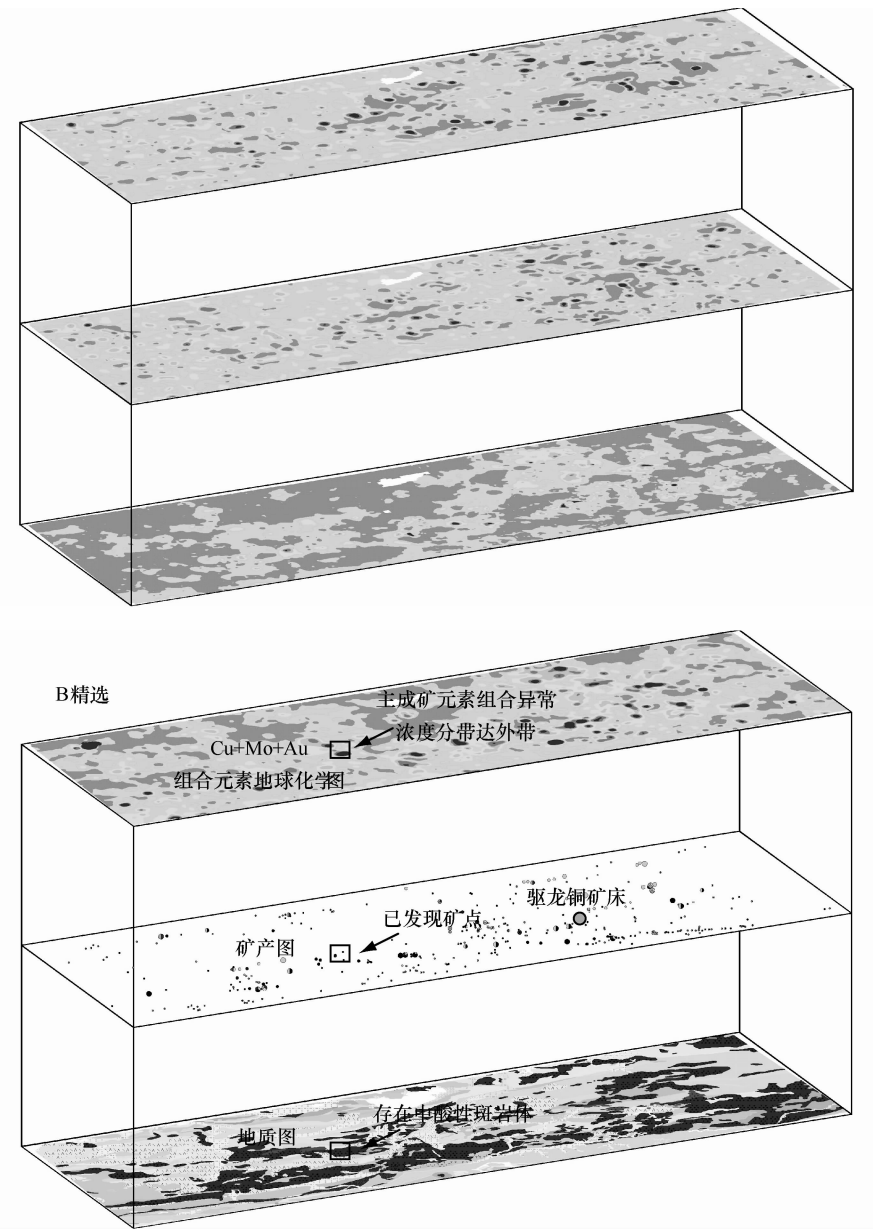


图 2 西藏冈底斯 III 级成矿带中预测区圈定方法

最后，通过对冈底斯铜多金属成矿带的铜预测区的圈定及资源量估算，以已知的十个典型铜矿床的资源量（截止 2008 年底，累计 333 + 334 资源量为 2750 万吨）为基础，新预测了 A、B 两级预测区的铜资源量共计 2824. 26 万吨。

三、推广转化方式

2010 年 6 月在苏州举办了本课题的方法技术培训班，并在全国各个省（市、自治区）开展铜地球化学定量预测研究。

技术依托单位：中国地质大学（武汉）地质调查研究院

联 系 人：马振东

通讯地址：中国地质大学（武汉）地球化学研究所

邮政编码：430074

联系电话：13971076337

电子邮件：zhdma@cug.edu.cn

第二部分 环境调查评价的 地球化学方法技术

多目标区域地球化学调查技术

一、成果概述

多目标区域地球化学调查包括土壤、近岸海域沉积物、湖泊沉积物、地表水及浅层地下水等地球化学介质的区域性调查工作，在“多目标区域地球化学调查规范（1:25 万）”指导下，目前已完成 30 多省市 160 多万平方公里面积调查工作。

1. 土壤地球化学调查

土壤地球化学调查采集了包括表层及深层土壤两类样品，表层土壤采集 0 – 20cm 多点组 1 样品/ km^2 ， 4km^2 表层土壤样品等量组合分析；深层土壤连续采集 150 – 200cm 土柱样品，1 样品/ 4km^2 ，16 平方公里深层土壤样品等量组合分析，均分析 54 项元素指标。

2. 近岸海域沉积物地球化学调查

近岸海域沉积物地球化学调查采集表层沉积物和深层沉积物两类样品。表层沉积物一般采集水深 10m 以浅近岸海域，向海面延伸方向，不少于 3 – 5 个采样网格，以 1 个点/ 4km^2 采集样品，地势宽缓地带，适当放稀至 1 个点/ 16km^2 ；河口、海湾区域，适当加密至 1 个点/ km^2 ；深层沉积物采样密度为 1 个点/ 16km^2 至 1 个点/ 32km^2 ，向海面延伸方向，保证 2 – 3 个采样网格，与土壤地球化学调查相同，分析 54 项元素指标。

3. 湖泊沉积物地球化学调查

湖泊沉积物地球化学调查采集表层沉积物及深层沉积物两类样品。表层湖泊沉积物采样密度为 1 个点/ 4km^2 ，湖边、河流入口处加密至 1 个点/ km^2 采样，并按采样大格（ 4km^2 ）进行组合；深层沉积物样品采集密度为 1 点/ 16km^2 ，分析 54 项元素指标。

4. 地表水及浅层地下水地球化学调查

地表水及浅层地下水调查，平原区为 1 个点/ 16km^2 ，丘陵区为 1 个点/ 32km^2 ，山区为一个点/ 64km^2 。样品分析测定 21 项目元素指标，各省市根据本地区特点可选测部分元素指标。

二、应用范围及应用实例

以上各项调查方法主要应用于平原区及低山丘陵区 1:25 万多目标区域地球化学调查

工作，调查工作以各省市区地质调查院为主，物化探所负责相关规范的起草、修订及调查工作过程中的指导、检查、评议等。

三、推广转化方式

以物化探研究所为主导，通过会议交流、人员培训、技术咨询和现场服务等方式进行成果推广转化。

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：03162267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

多目标区域地球化学评价技术

一、成果概述

多目标区域生态地球化学评价工作主要针对流域或区带（面积范围为 $n \times 106 \text{ km}^2 - n \times 102 \text{ km}^2$ ）内元素和化合物分布特征，通过对元素及化合物的来源示踪及迁移途径研究，评价它们对生态系统及各组成要素的影响，预测其未来变化趋势。其按照河流生态系统、农田生态系统、城市生态系统、浅海生态系统及湖泊湿地生态系统进行生态地球化学评价，目的是为国家土地质量评估与生态管护、农业种植适宜性与经济结构调整及环境污染治理等各方面服务，为经济社会科学和可持续发展提供依据。

区域生态地球化学评价工作以多目标区域地球化学调查或其他区域性地球化学调查为基础，以流域/区带为评价主体，以生态系统为评价单元，以土壤为中心，以元素和化合物在大气-水体-土壤-生物体中的循环迁移为主线，以研究元素的输入输出通量和生态效应为重点，在国家或流域/区带尺度上，建立系统的异常成因追踪、迁移途径研究、生态效应评价和发展趋势预测的方法技术体系与模型。

目前已基本完成长江流域、黄河流域、东北经济区及沿海经济带四大重点区带的区域生态地球化学评价工作，获得了一系列关于国家土地质量评估与生态管护、农业种植适宜性与经济结构调整及环境污染治理等方面的成果资料。

二、应用范围及应用实例

以上各项评价方法技术主要应用于多目标区域地球化学调查区域内流域或区带（面积范围为 $n \times 106 \text{ km}^2 - n \times 102 \text{ km}^2$ ）尺度中异常元素及有机污染物迁移途径及来源追踪、迁移转化、生态效应评价及生态系统安全性的地球化学预测预警。工作以物化探所及各高校院所结合各省市地质调查院共同完成。物化探所负责相关技术要求的起草、修订及评价工作过程中的指导、检查、评议等。

三、推广转化方式

以物化探研究所为主导，通过会议交流、人员培训、技术咨询和现场服务等方式进行成果推广转化。

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：03162267608

电子邮件：zhangzhenhai@igge.cn

全自动土壤二氧化碳通量测量技术

一、成果概述

当前，以全球变暖为主要表现的全球气候急剧变化及其与不断增加的大气温室气体的关系已经被接受为无可争议的事实，切实减少温室气体排放、增加碳汇成为缓解气候变化的首要任务。由于快速扩展的城市化和工业化过程、过度放牧等人类活动异常突出，我国 CO₂ 等温室气体排放不断增加，成为目前世界上最大 CO₂ 工业排放源之一。随着联合国气候变化框架条约缔约国制定的《京都议定书》的执行，如何促进陆地生态系统碳的固定及其稳定，减少温室气体来抵消部分工业排放，成为我国乃至国际社会普遍关注的重大环境问题，这对于缓解因温室气体带来的气候变化的负效应具有重要意义。

土壤碳库是陆地生态系统中除岩石圈以外最大的碳库，其碳储量大约是大气层碳储量的 2 倍，陆地植被碳储量的 3 倍。土壤呼吸是大气 CO₂ 的重要来源，每年因土壤呼吸而排放约 50 ~ 75 Pg（以 C 计），远远高于由燃料燃烧释放的 C（约 5 Pg）。因此土壤中碳含量或土壤呼吸过程中的任何微小变化都将影响大气的碳浓度和全球的碳平衡，导致大气碳贮量的巨大变化。土壤呼吸是土壤碳输出的主要途径，在生物圈和大气圈 C 交换中起着关键作用，此外土壤呼吸还是陆地生态系统碳收支的重要环节，与世界各国的碳储存和交易息息相关，因此对土壤呼吸进行研究具有十分重大的意义。

使用 LI - 8100A Automated Soil CO₂ Flux System 仪器测量土壤呼吸，CO₂ 测量范围 0 - 200000 ppm，0 ppm 校正偏移：<0. 15 ppm/°C 并且 <1 ppm/day；370 ppm 总偏移：<0. 4 ppm/°C；H₂O 测量范围 0 - 40 mmol/mol，0 ppt 校正偏移：<0. 003 mmol/mol/°C 并且 <0. 1 mmol/mol/day；10 ppt 总偏移：<0. 009 mmol/mol/°C；时间分辨率 3 min，采样流速 1. 7 liters/min。实行原位、实时、自动测量土壤二氧化碳释放通量。从而达到估算土壤向大气释放 CO₂ 的速率和年释放量的目的。

方法技术具有原位、实时、自动观测的特点和操作简便、易维护、可以长期观测等优点。

二、应用范围及应用实例

陆地环境中地表土壤 CO₂ 释放速率及通量估算。

目前已在黑龙江、河北、湖南等省典型农耕区主要土壤类型和用地方式得到应用，测

得黑龙江、河北、湖南耕地土壤向大气释放 CO_2 的速率分别为 $2.28 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $2.84 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1.70 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，结合各地地表生物量数据，表明在只移走作物籽实，地上秸秆和地下根系全部还田的情境下，黑龙江、河北、湖南耕地土壤主要是大气 CO_2 的汇。

三、推广转化方式

该项成果可通过会议或技术培训的方式向全国地勘单位、科研人员进行推广。

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

城市环境地球化学调查异常查证技术

一、成果概述

针对我国城市周边普遍存在的土壤重金属元素异常，利用土壤中异常组分与某些稳定组分间的内在相关关系，提出平原区土壤重金属元素异常成因判别方法—元素相关关系法，并以此为基础，揭示出土壤重金属元素异常的成因类型，探讨了土壤中重金属元素生态效应及其主导控制因素，提出城市环境地球化学异常查证及评价方法：工作布置、样品采集、加工、分析、异常成因及其形成机理研究、异常生态效应评价。

二、应用范围及应用实例

城市环境地球化学调查异常查证技术作为一项综合研究技术，其中的每一环节涉及的方法技术都可以在区域地球化学研究工作中发挥作用。根据城市环境地球化学异常成因判别的实际需要提出的异常成因判别方法—元素相关关系法，从表生作用过程中矿物的风化和元素的表生地球化学活动性研究入手，对异常查证方法的理论依据进行了探讨和完善。在我国东部平原区土壤地球化学基准值研究中，利用元素相关关系法有效解决了样品采集深度这一技术难题，从而获取了我国东部 85 万平方千米平原区内 76 个化学元素（包括氧化物）的土壤地球化学基准值和 pH、电导率（EC）、Org. C、 H_2O^+ 等 4 项土壤理化指标基准值。首次按照质地类型统计了土壤地球化学基准值，用实际资料揭示出土壤中元素含量等指标随土壤质地变化而变化的普遍性规律。并且，应用 MAPGIS 地理信息系统，构建了我国东部平原区土壤生态地球化学基准值空间数据库，实现了基准值研究成果的可视化，所有原始分析数据通过数据库的形式予以公开。该项研究成果的取得不仅可以为研究生态地球化学环境的现时状况、监测生态地球化学环境的演变速度和程度、预测生态地球化学环境的演变趋势提供科学依据，而且可以为平原区土壤地球化学调查异常查证工作提供系统参比基准，在环境地球化学研究中发挥着积极的直接作用。

对土壤重金属异常成因的判别也是基于“元素相关关系法”，根据土壤剖面中重金属元素的累积特点，将其划分为表层累积型异常、连续型异常和离散型异常等形式。该异常成因判别方法在吉林长春 Hg、Cd、Cu、Pb、Zn 异常、江苏南京—江宁 Hg、Cu、Pb 异常、南京八卦洲 Cd 异常、广东广州 Cd 异常、黄埔佛山 Hg 异常、福建漳州 Hg 异常和山东东营 Hg 异常等八个具有典型代表性的重金属元素异常区的异常成因判别中都得到了很好的应用。

表层累积型异常的异常组分基本来自人类活动释放产物，连续型异常的异常组分主要与自然地质作用有关，离散性异常的异常组分具有复合成因特点。人为成因土壤重金属元素异常的异常组分，其中至少有一部分是由固态形式存在或直接叠加到土壤中的。在城镇及其周边土壤 Hg 异常区发现辰砂矿物是一个重大发现。区域上辰砂数量与土壤中 Hg 含量分布趋势一致，局部土壤 Hg 异常区内辰砂数量和产出位置均与 Hg 异常强度和层位具

有一致对应关系。城镇及其周边土壤 Cu、Pb、Zn、As 等重金属异常与“微球粒”物质和黄铁矿、磁铁矿等矿物具有密切的空间联系。“微球粒”等物质是在煤燃烧或矿石冶炼过程中形成的，并随烟尘或粉尘一同扩散沉降，其本身某些重金属组分含量很高，是重金属异常组分叠加到土壤中的直接载体。该发现解决了长期以来困扰科研人员的一个悬而未决的问题，即土壤是如何被人类活动污染的，从而建立起了人类活动、大气污染和土壤污染间的成因联系。最典型的自然成因重金属元素异常当属分布在以近代河流沉积物为成壤母质的区域性土壤 Cd 异常。此类异常中 Cd 与土壤中细粒级组成关系密切，Cd 是在成壤作用过程中与成壤母质中的细粒级组成一同迁移、沉积，进而形成异常的。

对土壤-水体系和土壤-大宗农作物体系中重金属元素生态效应的研究表明，控制重金属元素异常生态效应的根本因素并非元素的含量，而是其存在形态（有效量）。以固体颗粒物和矿物，如“微球粒”、黄铁矿、磁铁矿和辰砂等形式叠加或存在于土壤中的重金属元素，其生态效应与元素全量并没有直接的相关性。土壤中重金属元素异常的生态效应受异常成因类型、自然景观条件及土壤理化特性、土地耕作方式、农作物品种等的影响。从本质上说，这些因素均是通过控制土壤中重金属元素的存在形态而间接地对异常的生态效应产生影响。依据区域地球化学调查结果、农作物根系土与籽实中重金属元素含量关系，采用地球化学法和生态效应法，提出了不同区域的土壤重金属元素异常生态效应评价标准，包括重金属元素全量评价标准和有效量（AB-DTPA 提取量）评价标准。并且各区域的评价标准在黑龙江-吉林、山西、江苏、浙江-湖南等省份研究区的验证试验中都得到了很好的应用。

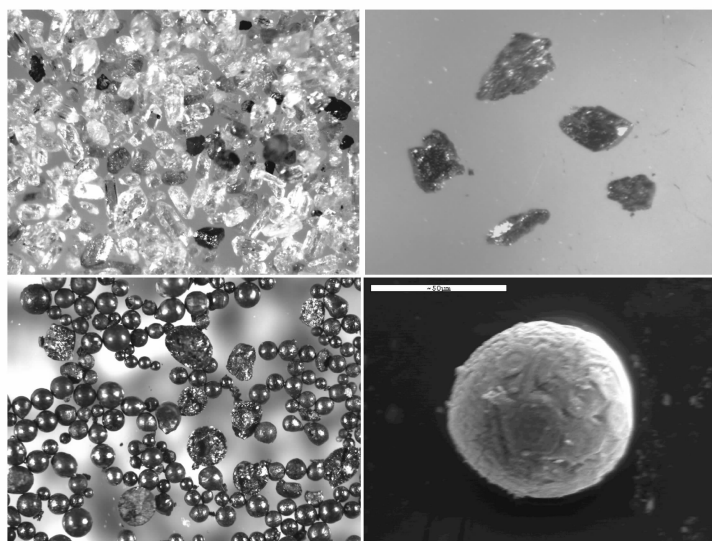


图1 土壤重金属异常区发现的辰砂（左上图和右上图）和“微球粒”（左下图和右下图）

三、推广转化方式

该项研究成果在环境地球化学调查研究领域中得到普遍认可和广泛应用，被评为地科

院 2006 年度十大科技进展（之二）和国土资源部 2010 年度国土资源科学技术二等奖。作为一项基础性、公益性地质调查成果，为解释城市周边土壤污染过程及其机理、评价其生态危害和效应等提供了确凿的试验资料和理论，切实发挥出了应有的作用。极大地推进了覆盖区多目标地球化学调查成果的社会化应用进程，并在覆盖区资源潜力评价、环境保护、农业生产、人体健康和基础地质研究领域发挥了直接作用，社会效益明显。

研究过程中发现的普遍存在于城镇周边土壤中的 Hg 异常是由辰砂矿物引起，而且证实此类辰砂矿物是在表生条件下通过土壤微生物的参与形成的。其它重金属元素异常与煤燃烧或矿石冶炼过程中产生的“微球粒”及磁铁矿、黄铁矿等有关。辰砂和“微球粒”等的发现，给城市环境地球化学异常成因及其形成机理研究注入了新的思路，并建立起了人类活动-大气污染-土壤污染间的成因联系，促进了环境地球化学、环境矿物学等领域科学进步和发展。

项目研究成果在广东省佛山地质局、吉林省地质调查院、江苏省地质调查研究院、广东省地质调查院、湖南省地质研究所等多家生产单位的相关工作中应用，并发挥了积极作用，并且项目组人员发表的相关内容的文章也被多次引用。

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

土壤/大气汞交换通量测量技术

一、成果概述

汞是一种能以气态进行全球迁移的重金属元素，它侵害人体神经系统（特别是中枢神经系统）。联合国环境规划署（UNEP）认为“汞对世界各地人类健康和环境有重大的负面影响”，WHO（2001）已将汞及其化合物列为需首先考虑的环境污染物。各国政府也已高度关注，2009年2月，各国环境部长在肯尼亚内罗毕达成共识，开展拟定一项限制汞污染公约的谈判。2010年6月11日为期5天的关于拟定一项具有法律约束力的全球性汞问题文书政府间谈判委员会第一届会议在瑞典斯德哥尔摩闭幕。

对大气环境中的 Hg 进行实时观测是人类生存环境状况监测的重要环节，是防治 Hg 污染的第一步。

使用 Model 2537B Mercury Vapour Analyzer 仪器，Hg 检出限 0.001 ng/m^3 ，时间分辨率 5 min，采样流速 1.5 L/min 。实行原位、实时、自动测量土壤/大气 Hg 交换通量。从而达到估算土壤向大气释放 Hg 的速率和年释放量的目的。

方法技术具有原位、实时、自动观测的特点和操作简便、易维护、可以长期观测等优点。

二、应用范围及应用实例

陆地环境中地表土壤/大气 Hg 交换速率及释放通量估算。

目前已在北京、沈阳、广州、西安等大城市得到应用，测得北京、沈阳、广州土壤向大气释放 Hg 的速率分别为 $12.59 \pm 29.44 \text{ ng/m}^2 \cdot \text{h}$ 、 $44.20 \pm 169.39 \text{ ng/m}^2 \cdot \text{h}$ 、 $7.34 \pm 9.71 \text{ ng/m}^2 \cdot \text{h}$ ，表明北京、广州、沈阳地表土壤主要是大气 Hg 的源，即以释放 Hg 为主。

三、推广转化方式

该项成果可通过会议或技术培训的方式向全国地勘单位、科研人员进行推广。

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

第三部分 化探分析测试方法 技术与仪器

勘查地球化学样品中 76 元素测试方法技术和质量监控系统的研究

一 成果概述

“勘查地球化学样品中 76 元素测试方法技术和质量监控系统的研究”是 2000 年由 中国地质调查局和中国地质科学院在新一轮国土资源大调查中设立的科技项目，项目编号 DKD9904017。项目承担单位中国地质科学院物化探研究所，项目协作单位为国家地质实验测试中心。项目起止时间为 2000 年 1 月至 2002 年 12 月。项目成果获 2011 年度国土资源科学技术一等奖。取得的主要成果如下：

(1) 率先将等离子体质谱仪 (ICP-MS) 和等离子体光学发射光谱仪 (ICP-OES) 等新引进的现代分析仪器应用于勘查地球化学大规模样品分析中，新研究建立了 ICP-MS 和 ICP-OES 直接测定稀土元素、稀有分散元素的分析方法，ICP-MS 测定超痕量贵金属元素的分析技术，X 射线荧光光谱法 (XRF) 测定痕量 Cl、Br、S 等元素，原子荧光光谱法 (AFS) 测定超痕量 Hg、Se、Ge，发射光谱法 (ES) 测定痕量 Ag、B、Sn 和石墨炉-原子吸收光谱法 (GF-AAS) 测定超痕量 Au 的多种新的分析方法。通过优化、筛选，制定了以现代大型分析仪器 ICP-MS、XRF 和 ICP-OES 为主体，结合其它多种专用分析技术与方法的勘查地球化学样品 76 元素配套分析系统。检出限降至地壳丰度值以下，分析方法技术指标处于国内外领先水平。

研制的配套分析方法如下：

①等离子体质谱法 (ICP-MS) 直接测定 Ba、Be、Bi、Cd、Co、Cr、Cs、Cu、Hf、Li、Mo、Nb、Ni、Pb、Rb、Sb、Sc、Sr、Ta、Th、Tl、U、V、W、Zn；

②等离子体质谱法 (ICP-MS) 直接测定 Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu；

③X 射线荧光光谱法 (XRF) 测定 Ba、Br、Ce、Cl、Co、Cr、Cu、Ga、La、Mn、Nb、Ni、P、Pb、Rb、S、Sc、Sr、Th、Ti、V、Y、Zn、Zr、Na₂O、K₂O、MgO、CaO、Fe₂O₃、Al₂O₃、SiO₂；

④等离子体光学发射光谱法 (ICP-OES) 测定 Al、Ba、Be、Ca、Co、Cr、Cu、Fe、K、La、Li、Mg、Mn、Na、Nb、Ni、P、Sr、Ti、V、Zn；

⑤铈镍试金法-等离子体质谱法 (ICP-MS) 测定 Pt、Pd、Rh、Ir、Os、Ru；

⑥封闭酸溶法-等离子体质谱法 (ICP-MS) 直接测定 Ga、In、Tl；

⑦等离子体质谱法 (ICP-MS) 直接同时测定 Ga、In、Tl；

⑧氢化物-原子荧光光谱法 (HG-AFS) 测定 As、Sb、Bi；

⑨氢化物-原子荧光光谱法测定 Se；

⑩氢化物-原子荧光光谱法 (HG-AFS) 直接测定 Ge；

- ⑪冷蒸气-原子荧光光谱法 (CV - AFS) 测定 Hg;
- ⑫泡沫塑料吸附富集-石墨炉原子吸收光谱法 (GF - AAS) 测定超痕量 Au;
- ⑬发射光谱法 (ES) 测定 Ag、B、Sn、Mo、Pb;
- ⑭催化分光光度法 (CF - COL) 测定 I;
- ⑮离子选择性电极法 (SIE) 测定 F;
- ⑯半微量凯式法 (VOL) 测定 N;
- ⑰氧化热解-电位法测定总碳和有机碳;
- ⑱等离子体质谱法 (ICP - MS) 直接测定 Te;
- ⑲氧化燃烧-气相色谱法测定 N 和 TC。

(2) 在 1:20 万区域地球化学调查样品 39 种元素分析质量监控系统的基础上, 首次提出了完全采用国家一级地球化学标准物质进行质量监控, 以单个标准物质来进行分析准确度和精密度的统计, 提高重复分析偏差和合格率要求, 制定了覆盖 76 种元素的新的质量监控系统。

二、应用范围及应用实例

1. 应用范围

- (1) 1:5 万区域化探样品中多元素分析;
- (2) 1:20 万区域化探样品中 39 元素分析;
- (3) 1:25 万多目标地球化学调查样品中 54 指标分析;
- (4) 各类地球化学样品中 76 种元素分析。

2. 推广应用情况

项目成果已在地质大调查计划中实施的 1:20 万区域地球化学调查样品 39 种元素分析、1:25 万多目标地球化学调查样品 54 种指标分析、全国 76 元素地球化学填图样品分析以及各类地质样品中痕量超痕量元素分析中得到了实际采用, 多种分析方法技术在全国 20 多家实验室得到推广应用, 促进了地质样品中痕量超痕量元素分析技术向前发展。

(1) 引领一批地球化学调查和科研项目的创新研究

所研制的配套分析方法, 其技术指标处于国内外领先水平, 满足了勘查地球化学研究和发展的需要, 为我国多目标地球化学调查和研究项目的创新提供了测试技术支撑。如为《西南四省区 76 元素地球化学图编制试点研究》、《广东省珠江三角洲经济区农业地质与生态地球化学调查》、《浙江省农业地质环境地球化学调查》、《内蒙古河套地区农业经济区生态地球化学调查》、《宁夏回族自治区银川盆地多目标区域地球化学调查》等项目的实施提供了大量测试数据。

(2) 推动地球化学调查和分析测试技术标准和规范的更新

研究成果写入了中华人民共和国地质矿产行业标准《DZ/T 0130 - 2006 地质矿产实验室测试质量管理规范》中的《DZ/T 0130. 4 - 2006 区域地球化学调查 (1:50000 和 1:200000) 样品化学成分分析》和《DZ/T 0130. 5 - 2006 多目标地球化学调查 (1:250000) 土壤样品化学成分分析》。部分研究成果融入管理规范中。项目负责人在全国多家地质实验室和多次行业会议上做两个《规范》的宣贯报告十几次。

(3) 推动地矿实验测试行业技术进步

举办了多期新方法新技术推广培训班，应邀在国际会议上做专题发言多次，在全国地矿行业（地质、冶金、有色等实验室）做专场技术讲座和技术推广二十多次，接待来实验室短期参观、无偿学习培训的实验室达五十多家、二百多人次。为全国地质实验室大量引进新型 ICP-MS、ICP-OES、XRF、GF-AAS、HG-AFS 起到了技术引领作用，使配套分析技术和质量监控系统中的多项新方法新技术在全国二十多家实验室推广采用，取得了显著的社会效益。

(4) 推动了地球化学填图国际合作

本项目提供的分析测试技术，使中国地质科学院物化探研究所的国际地位进一步提高，扩大了国际影响，促进了国家之间地球化学调查研究合作，如中国与巴西、哥伦比亚、蒙古等国合作开展的区域地球化学填图工作。

(5) 取得较好经济效益

项目成果被应用于国家、各部委研究院、所和大学承担的科研项目的大量样品分析中。2004 年至 2011 年八年间，分析完成各类地质样品数量在 110 万件以上，提供基础数据 2 千万个以上。取得了显著的经济效益。

3. 应用前景及市场预期

目前，我国各类地质分析实验室的水平还参差不齐，部分实验室的水平急待提高。成果的推广应用可以明显提高各地质实验室的分析技术水平，推动地矿实验测试行业的技术进步，更好地为全国地质研究工作提供实验测试技术支撑。

三、推广转化方式

会议交流、人员培训、技术咨询、现场服务等。

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

地球化学系列标准物质

一、成果概述

地球化学标准物质是测试各种地质物料化学成分量值的参比标准。主要用于量值的传递与测试仪器的校准、分析质量的监控、分析方法的评定及实验室认证。标准物质为保持不同时间和空间测量结果的一致性及测量数据在全国乃至全球范围的比对提供条件，是现代计量测试领域及其质量体系中不可或缺的重要组成部分。地球化学系列标准物质具有量值准确、定值元素多、品种多、系列性好、适用性强的特点，在地球化学样品分析质量监控中发挥着重要作用。

地质调查项目开展以来，针对地质调查的需求，研制了 12 个系列 135 种标准物质，包括水系沉积物、土壤、痕量金与矿石、铂族元素、多金属矿石、铁矿石、铬铁矿石、钼矿石、镍矿石、土壤有效态与形态、生物、煤等，基本满足了地质调查各方面的需求。

1. 土壤与水系沉积物标准物质

土壤和水系沉积物是地球化学调查工作的主体采样介质。随着地质调查工作的深入，区域地球化学调查和多目标地球化学调查工作在全国全面展开。为满足地球化学调查的需要，补充研制了 15 个水系沉积物和 20 个土壤标准物质，这些标准物质基本涵盖了我国主要景观区与土壤类型，定值元素在 70 种以上，定值测试方法先进，量值准确。

2. 土壤有效态与土壤形态标准物质

随着多目标地球化学调查的深入，需要对土壤中元素的形态、与作物有关的有效态成分开展大量测试工作。根据需求，研制出 10 个土壤有效态和 5 个土壤形态标准物质。有效态标准物质定值成分从原有的 20 种，扩大至现有标准物质的 50 种，土壤形态标准物质定值成分达 16 种，生态环境评价中主要污染元素如 As、Hg、Cd、Pb 等均给出标准值。

3. 生物标准物质

原有生物标准物质只有 5 种，不能满足多目标地球化学调查评价中研究元素在土壤、植物、动物乃至人体中转化的需求，为此，研制了 30 个生物地球化学标准物质，包括大米、小麦、玉米等主要粮食作物，也包括蔬菜、水果、动物、海产品、中药等，定值测试成分在 49 种以上。

4. 各类矿石标准物质

矿石标准物质包括多金属矿石、金矿石、铂族元素矿石、铁矿石、铬铁矿石、钼矿石、镍矿石等。形成了一个较为完整的系列，含量范围较宽，从矿石边界品位、工业品位至富矿，乃至精矿粉。便于矿产勘查与开发的各个阶段使用。

5. 煤标准物质

根据我国煤分布特征和主要煤类型，从中国主要产煤大省山西、河北、山东、内蒙

古、安徽等地，采集烟煤和无烟煤 16 个，定值成分除常规指标外，增加了微量元素的定值，扩大了煤标准物质的使用范围，不仅能用于煤生产与贸易的常规指标检测，还可用于环境评价指标的检测。

二、应用范围及应用实例

水系沉积物、土壤、岩石、各类矿石地球化学标准物质在国内外获得广泛应用，并享有较高声誉。在国外，美国、加拿大、法国、英国、德国、意大利、葡萄牙、芬兰、俄罗斯、日本、印度等 30 余个国家使用。在国内，各相关工业部门、农业、环境和科教等领域应用单位 1000 余个。以金地球化学标准物质为例，年使用量为 500 ~ 1000 kg，部分含量的样品已数次复制。

地球化学标准物质的应用主要为以下几个方面：

1. 地质、地球化学样品测试的量值标准，进行量值传递和量值溯源

各系列标准物质的应用使不同时间、不同实验室、不同地域的分析数据得以统一比对，大大提高了样品分析质量和数据的溯源性。

2. 检验和评价分析方法

全国统一部署的地球化学调查项目都以 GSD、GSS 和 GSR 系列标准物质作为测试方法体系的评价标准。1:20 万区域化探全国扫面 39 种元素分析体系各分析方法，采用 12 个 GSD 水系沉积物标准物质评定准确度和精密度。1:25 万多目标地球化学调查 54 种元素的分析方法系统，采用 GSS 系列土壤标准物质进行评价，认证测试方法体系的可靠性。制定新分析方法时，常选用多个基体成分不同的标准物质进行重复分析，从平均值的正确度和测试数据的重复性和再现性进行分析方法的评估，近年来地质物料新分析方法的研制主要采用这些标准物质进行验证和评价。

3. 校准仪器

一些多元素分析仪器（如 X-射线荧光光谱、部分等离子体质谱和中子活化等）的测试方法基体影响较大，利用适当的标准物质作标准校正曲线，显著减少了基体成分的影响，避免了配制多元素标准物质试剂空白和污染的影响等诸多困难。X-射线荧光光谱法在我国区域地球化学调查中作为主体分析方法起了突出的作用，这主要得益于采用了 GSD、GSS 和 GSR 系列标准物质作校正标准。

4. 分析质量监控

在测试样品中同时插入标准物质进行分析，控制分析过程的质量和监控图幅间分析的系统偏倚。上世纪 80 年代初期开始的 1:20 万区域化探全国扫面由近 30 个中心实验室采用了不同的分析方法体系，历时 20 余年，完成了 600 余万 km² 的近 200 万件样品的分析，由于统一采用 GSD 国家一级标准物质进行质量监控，基本控制了省际和图幅间的系统偏倚，保证了全国地球化学图的质量，为提高该战略性工作的整体水平起了重要作用。该图件已成为国土资源部门规划与部署资源调查及进行设计与综合研究的基本依据，成为地质调查的宝贵财富。目前全国仍在开展的 1:25 万区域和多目标地球化学调查、1:5 万地球化学普查及各省区开展的土壤详查等的样品分析工作均按分析批随机插入标准物质进行分析质量监控，评价分析质量。大大提高了分析质量监控的效能和评价的客观性。

5. 作为承担区域地球化学调查分析任务实验室认可考核的依据

随着地球化学调查的发展，对样品测试的要求愈来愈高，特别 1:25 万多目标地球化学调查样品测试，需要在全国范围内招标或对承担分析的实验室重新进行考核，在考核中采用了有一定测试难度的 30 个标准监控样作为“入围”的主要依据。

6. 用于实验室计量认证和认可及分析人员的技术考核

随着我国国民经济的高速发展与地质调查工作的深入，十二五期间地质矿产调查评价工作全面展开，对标准物质的需求将更加广泛。分析技术的进步，一些难测元素分析方法的解决与技术突破，必将提高标准物质的整体水平，同时亦需要高质量、高精度的标准物质进行验证和评价。

三、推广转化方式

地球化学标准物质主要服务于地勘部门各分析测试单位，获批准使用的标准物质以国家标准物质管理委员会编制的标准物质目录和发表文章对外宣传。

实物样品在物化探研究所和国家标准物质中心同时发行使用。在使用过程中定期进行跟踪检验，并向使用者提供技术咨询服务。

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

XG-7Z 型塞曼测汞仪

一、内容概述

XG-7Z 塞曼测汞仪是在地调局地质调查项目支持下于 2002 年开发成功的测汞仪器。它根据汞的冷蒸气原子吸收原理，用塞曼效应消除干扰，在野外（现场）测定汞的专仪器。主要用于测定化探样品中的汞含量，也适用于其他领域微量汞的分析。

（1）主要技术参数

检出限： $\leq 0.005 \text{ ngHg}$ 。

灵敏度： $\leq 0.05 \text{ ngHg}$ 。

精密度： $\text{RDS} \leq 3\%$ 。

抗干扰能力： $> 2.0 \text{ A}$ 。

线性范围：峰值测量时 $0.01 - 40 \text{ ngHg}$ 积分测量时 $0.01 - 1000 \text{ ngHg}$

基线稳定度： $\leq 0.005 \text{ At/h}$ 。

仪器的重量和尺寸 $760 \times 375 \times 230 \text{ mm}$ 20 kg 。

热解炉：电路丝 -600 W ，温度室温 -1000°C ， 6 Kg 。

电源功率： $220 \text{ V}/80 \text{ W}$

工作环境： $+15^\circ\text{C} - +40^\circ\text{C}$ 相对湿度 $< 80\%$ 。

（2）主要特点

仪器利用塞曼效应和光偏振技术克服干扰提高稳定性。具有以下几个特点：

- ① 校正背景干扰、稳定性好；灵敏度高、检出限低、量程覆盖面大。
- ② 有两种测量方式的选择：即进行峰值、积分采样两种方式测量。
- ③ 可监视干扰信号。通过对参考光瞬态变化的数据采集，可以如实的反映在气汞中干扰物质的多少。
- ④ 操作简便、快速。

二、应用范围及应用实例

1. 应用范围

广泛用于隐伏矿床勘查，特别是金矿和硫化物多金属矿床勘查；油气、地热、天然气水合物等能源勘查；采空区、塌陷区地质灾害评估；活动断裂带调查监测；地震监测和预报；环境调查与监测；考古工作中的古墓定位。

2. 应用实例

（1）甘肃、新疆、湖南、江西、河北和河南等省地调院、物化探队（院）、地质勘查院，及武警黄金部队用于金属矿产勘查中；水文地质队用于地热调查中。

(2) 大连理工学院、浙江大学和同济大学燃烧国家重点实验室等单位用于燃煤电站污染监测与治理项目。

(3) 中石油勘探开发研究院廊坊分院用于天然气汞含量检测。

(4) 中煤公司东北煤质监测站用于煤中痕量汞检测。

(5) 2008 年汶川地震后地科院物化探所将其应用于余震监测工作。

三、推广转化方式

本单位组织生产与销售。

技术依托单位：中国地质科学院物探研究所

联 系 人：高一峰

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 - 2267696 2018984

电子邮件：gaoyifeng@igge.cn

便携式近红外矿物分析仪 (PNIRS)

一、内容概述

1. 主要技术参数

光谱范围：1300 ~ 2500 nm；

光谱带宽：优于 7 nm；

光谱扫描分辨率：2 nm；

波长准确度：优于 ± 1 nm；

波长重复性：优于 ± 0.2 nm；

信噪比：平均优于 2500:1，RMS 值优于 10000:1；

测量方式：积分球式漫反射；

仪器功耗：平均小于 20W（光源功耗 11W）；

仪器内部电池：连续使用大于 2 h；

测量时间：30S ~ 120S（根据所需情况可调整）。

2. 测量矿物种类

硅酸盐中单矿物（如粘土矿物，绿泥石，蛇纹石等）；

含羟基之硅酸盐矿物（如绿帘石，闪石等）；

硫酸盐矿物（如明矾石，黄铁钾矾，石膏等）；

碳酸盐矿物（如方解石，白云石等）；

珠宝玉石（角闪石，利蛇纹石等）。

3. 地质应用

矿物识别，为地质勘查和土壤/基岩测量进行矿物填图，钻孔和隧道（平硐）编录，蚀变系统填图和目标区选择，成矿作用的指示，成矿潜力评价，矿物地球化学和结晶学，采矿中的品位控制，下脚料中粘土含量监测，辅助遥感图片的判别等。具体意义如下：

（1）提供矿化环境特征，如交代类型和交代带等。

（2）鉴别原岩类型：出现高岭石，表明其原岩是长英质岩石；出现蒙脱石，表明原岩是镁铁质岩石。

（3）指示矿化关系，富镁的绿泥石接近矿化中心，富钾的白云母更和矿化有关。

（4）指示风化范围和过程，如三水铝石表示晚期的铝土质环境。

（5）指示矿化作用的化学过程（如 K/Na 交代）及温度（叶腊石，黄玉，地开石等矿物是高温矿物）。

二、应用范围及应用实例

资源勘查：国内北京有色地质调查中心、紫金矿业、宁夏地矿局、中国科学院遥感

所、江西地矿局和福建地矿局等一大批用户在资源勘查中应用反映良好。国外以澳大利亚、加拿大、印度尼西亚、蒙古、阿根廷和智利等用户为代表。台湾考古界将仪器应用在古玉研究，取得新的成果。

蚀变矿物填图：紫金矿业集团公司先后购置三台用于蚀变矿物填图，并将该仪器列入常规地勘方法。利用该方法进行立体蚀变矿物填图，圈定一批新的矿体。利用 Al - OH 峰位移参数进行立体填图，发现：当大于 2206 nm 时，岩石含矿，小于 2206 nm，不含矿。绿色为矿体，其他颜色是围岩，可清楚反映矿体走势，深度及形状，为矿山开采，矿床研究提供了新的依据。

三、推广转化方式

本单位组织生产与销售。

技术依托单位：南京地质调查中心

联 系 人：修连存

通讯地址：南京市中山东路 534 号

邮政编码：210016

联系电话：13901596926

电子邮件：xiuliancun@china.com

第四部分 地球化学勘查方法技术应用

中华人民共和国多目标区域地球化学图集

一、成果概述

多目标区域地球化学调查是针对第四纪覆盖区开展的基础性地球化学调查工作，主要目标包括基础地质、资源潜力与生态环境等三大方面。中华人民共和国多目标区域地球化学图集是全国 1:250000 多目标区域地球化学调查的重要成果之一，它全面展示了我国主要农耕区/经济区表层土壤、深层土壤和近岸浅海表层、深层沉积物中 54 种元素和指标的空间分布状况及含量水平；所提供的土壤地球化学分区、土壤环境质量、土壤化学蚀变指数、土壤碳密度、土地肥力、环境健康及土地质量地球化学分等、绿色农产品产地环境适宜性评价等多种应用性图件，是土地规划与管护、农业种植结构调整、环境保护、资源勘查、全球变化及第四纪研究的重要基础资料，为主要农耕区/经济区的可持续发展提供技术支撑。

调查工作以土壤地球化学测量（近岸海域沉积物地球化学测量和湖泊沉积物地球化学测量）为主，水地球化学测量为辅，样品测定 54 种地球化学指标。

采用双层网格采样布局，系统调查土壤、近岸海域沉积物和湖泊沉积物的含量水平和空间分布特征。表层土壤样品采样密度为 1 个点/ km^2 。城区及周边地区，加密到平均 1 ~ 2 个点/ km^2 。滩涂（含潮间带）一般采样密度为 1 个点/ 4 km^2 。西部景观单一，以草原为主地区采样密度放稀为 1 个点/ 4 km^2 。表层土壤样品的采样深度为 0 ~ 20 cm。深层土壤采样密度为 1 个/ 4 km^2 。滩涂（含潮间带）采样密度为 1 个/ 16 km^2 。采样深度达到 150 cm 以下。低山丘陵土层覆盖较薄地区，放稀到 1 个/ 16 km^2 。

二、应用范围及应用实例

该图集的应用范围为第四纪覆盖的农耕区/经济区。主要用于圈定富硒、锌等营养元素的土地资源、天然富硒、锌等农产品的开发、土地质量地球化学评价、全球变化、土地规划、第四纪地质等。

同时可供从事地质学、地球化学、土壤学、环境学、农学、医学、全球变化等专业的教学和科研人员，以及制定相关政策的政府部门参考使用。

该项成果所圈定的富硒土地资源已在江西、海南、青海、浙江、四川等省得到大规模的开发利用，相继建成江西硒都、中国硒岛等富硒土地资源基地，显著提升了农产品的经济价值。该项目的成果应用前景广阔，有较高的市场预期。

三、推广转化方式

该项成果可通过宣传报道，会议交流、人员培训及试点示范进行推广转化。

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

中国东部平原区土壤生态环境地球化学 基准值空间数据库

一、成果概述

中国东部平原区土壤生态环境地球化学基准值空间数据库覆盖大约 85 万平方千米的中国东部冲积平原（包括三江、松辽、黄淮海、长三角、江汉、鄱阳湖、珠三角、南阳盆地等）。获得的数据类型有原始采样点数据，每个采样点数据携带 104 项数据信息，共计 48598 个，经研究后获得土壤基准值数据及统计数据，近万余个。

2011 年在地质调查项目的资助下，利用 ArcGIS 空间数据发布技术对数据库和相关的图形产品进行了进一步的开发，形成可在线服务的数据产品，技术指标如下。

数据存在方式：文件型数据库；

服务器操作系统：Windows；

浏览器：支持 Html 的任意浏览器，如 IE、360 安全浏览器等；

通讯：通过 HTTP 协议访问在 Web Server 上发布的 GIS 网络服务，或者通过 LAN/WAN 直接连接到 GIS Server。

二、应用范围及应用实例

土壤生态地球化学基准值可以为研究生态地球化学环境的现时状况、监测演变速度和程度、预测演变趋势提供基础依据，为促进社会、经济和环境协调健康发展服务，是环境地质、农业地质及土地利用等研究领域的重要基础数据。

在“应用地球化学元素丰度数据手册”中，中国东部平原土壤生态地球化学基准值作为基础数据被列出。

三、推广转化方式

土壤基准值空间数据库可通过网络实现在线服务。

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

区域化探资料在浅覆盖区 地质填图中的应用

一、内容概述

地质填图是基础性、公益性的地质工作。我国覆盖区的面积约占全国陆地面积的 1/3 以上，其中相当一部分为覆盖层不超过 100m 的浅覆盖区（第四系覆盖层厚度小于 100m，覆盖层面积约占图幅面积的 50% 或以上的地区）。在浅覆盖区地质填图的工作中，常规的填图方法由于基岩露头少而受到很大的限制，隐伏的岩体、地层、构造、矿产（化）以及地表地质现象在深部变化的情况等信息无法直接观察研究，利用转石或局部露头填制地质矿产图具有可信度低、信息量小和整体质量不高的特点。为了提高浅覆盖区地质填图的质量，需要充分利用现有技术和资料。本成果就是利用浅覆盖区 1:20 万水系沉积物测量资料，为提高浅覆盖区区域地质调查精度和效率而研制的一套技术方法和流程。

该技术方法是运用勘查地球化学理论与方法，根据水系沉积物（土壤）化学成分对基岩化学成分的继承性，建立了基岩化学成分的水系沉积物（土壤）反演理论与方法、基岩矿物组成的水系沉积物（土壤）反演理论与方法、地质体灰色关联度识别方法、“地球化学单元”、构造分区、断裂识别地球化学方法等。通过对这些技术方法的集成形成了可服务多种景观区的浅覆盖区地质调查的化探技术方法和流程，并编制了相应的软件。

该技术方法对于基岩类型识别、填图单元划分圈定、断裂构造识别和调查区构造单元识别等主要地质调查工作具有重要的作用。该成果适用于森林—沼泽、干旱荒漠、半荒漠和高寒山区等景观区区域地质调查和矿产调查。在提高地质调查工作的精度和效率同时，也可为解决调查区基础地质、矿产问题提供重要的地质信息。

二、应用范围及应用实例

该成果先后在典型的森林—沼泽景观区大兴安岭的塔河地区和半荒漠景观区内蒙古中部的四子王旗地区的 1:25 万地质填图中进行了应用，均取得了良好的效果。

塔河地区位于黑龙江省西北部大兴安岭北段东坡，属低山丘陵地形。区内植被十分发育，一般腐殖土层加残坡积碎石层厚在 2m 左右，局部地段可达 3m 以上。山间谷地至山顶均为植被和残坡积层覆盖，露头很少，是典型的森林—沼泽浅覆盖区。利用岩石化学反

演技术和岩石矿物组成反演技术对隐伏岩体类型、地质填图单元进行了识别。通过浅钻验证，识别正确率达 70% 以上。通过构造识别技术发现了许多新的断裂。利用该方法技术较好的解决了该区因植被覆盖严重、地质露头较少，填图精度和效率低下的问题。同时，该方法技术为解决填图区大地构造背景、构造格架等基础地质问题提供了大量的地质地球化学信息。

三、推广转化方式

以技术服务方式转化。

技术依托单位：吉林大学

联 系 人：郝立波

通讯地址：长春市西民主大街 938 号

邮政编码：130026

联系电话：13944862822

电子邮箱：haolb@jlu.edu.cn