

勘查地球化学成就与前景

随着技术的进步和社会发展需求的增加,勘查地球化学无论在基础理论上还是在方法技术上都发生了重大变化。从过去单纯的矿产勘查扩展到了基础地质研究、环境地球化学和土地资源的质量评价;新方法新技术的应用,大大扩展了地球化学的研究领域,为矿产勘查和基础地质的理论研究提供了新的线索和信息;基础性地球化学调查从区域性地球化学填图发展为全球性地球化学填图,从研究局部的地球化学异常模式发展为研究直至全球性不同级次的地球化学模式。地球化学方法作为一种战略性和战术性的找矿方法,在矿产勘查中越来越明显地起到先导的作用。本文在对近年来我国勘查地球化学所取得成就进行了研究的基础上,对其发展方向进行了思考。

一、勘查地球化学研究的主要进展

近年来,随着地质工作的复苏,尤其是新一轮地质大调查计划实施以来,我国勘查地球化学研究取得重大进展,这里重点总结近几年来所取得的研究进展。

1. 区域地球化学填图技术继续领先

地球化学填图是多层次的,可以是区域尺度、全国尺度,直到全球尺度。中国在地球化学填图领域取得了世界领先的成果,在国际地球化学填图和全球地球化学填图计划中起着关键性的作用,先后为南美洲、非洲和亚洲举办了5次地球化学填图培训班。与哈萨克斯坦合作,在哈萨克斯坦一条成矿带上面积约3万 km^2 范围内进行了超低密度地球化学填图示范,由中方分析了71种元素,制作了1:100万地球化学图,圈出了已知的金矿省;在巴西完成了Parana州全境71种元素的分析,圈出了北东向规模巨大的Pt-Pd-Cu-Ni-Au异常。

研制出了难分析元素Os、Ru、Rh、Ir等新的分析方法,各种分析方法所分析的不同元素的检出限都降到了其地壳丰度值以下,建立了可靠的76种元素的测试方法系统和创新的测试质量监控系统,新增加以标准样推荐值与实验室实测值所构成的虚拟地球化学图的相似性比较来监控分析质量的监控手段,首次取得了元素周期表上除惰性气体和人工元素以外几乎所有元素在中国西南地区分布的60万多个高质量的数据,据此制作出了我国西南五省市76种元素的地球化学图。

以全国区域化探扫面资料为基础,开展了全国地球化学块体内矿产资源潜力预测,系统整理了我国28省区1:20万区域地球化学扫面的丰富信息,并采用地球化学块体理论和方法,进行了不同尺度的矿产资源潜力评价工作,编制了主要成矿元素地球化学块体图、块体内资源潜力评价、主要成矿远景区及靶区分布和勘查工作部署建议。为深入了解我国主要成矿元素的表层宏观分布特征,及实现“迅速掌握全局,逐步缩小靶区”找矿战略思想提供了资料基础和现实途径,是勘查地球化学和区域成矿学相互交叉、有机结合的成功范例,对我国矿产资源勘查和评价具有重要的指导和参考意义。

2. 复杂景观区中大比例尺区域化探方法取得重要进展

区域化探方法技术研究方面,通过对西昆仑、青海高寒湖沼、青藏高原西北部和东北森林沼泽等不同景观区风成沙的粒级、迁移规律、分布范围、有关元素的含量等的详细研究与分析,并经试点测量,提出在这些景观区开展区域化探扫面工作方法技术,这些成果已被多家生产单位使用,取得较好的效果,其结果比较客观地反映了本地区的区域地质和地球化学异常特征。

在西昆仑、阿尔金、北祁连、东天山、西天山、北山和东北森林沼泽等地区,开展了1:5万及中大比例尺化探异常查证方法技术研究,通过特殊景观区表生采样介质研究,系统地探讨了干扰物质的分布特征、粒级分配、物质组成与矿点不同距离各层位元素含量变化,研究了不同亚景观区土壤类型及其元素分布规律及影响元素分布的主要因素,提出了各种景观区的化探普查方法技术,为这些地区的资源勘查提供了化探方法技术。

在深穿透地球化学与隐伏大矿巨矿的识别研究方面,在研制出的高灵敏活动态 Au、Pt、Pd 联测信息提取与分析方法的基础上,进行了活动态提取与处理的标准化与可操作性研究。对大面积戈壁覆盖区深部矿信息在地表的富集粒度和赋存状态进行了系统研究,发现含矿信息的富集规律为弱胶结层、细粒级和铁锰氧化物膜中。

开展了青藏高原冻土带天然气水合物地球化学勘查预研究,在青藏高原发现了陆上碳酸盐“结壳”,结壳由浅灰白色—浅灰褐色钙质碳酸盐矿物组成,结壳表面呈皮壳状,或石钟乳状,断面呈薄层状。其分布有一定的连续性,且附近未见热泉及其泉华的分布,它非常类似海底天然气水合物的碳酸盐结壳,对此,初步分析认为“结壳”可能是多年冻土层下赋存水合物的指示标志,它还可能是地下二氧化碳逸出的产物。

3. 环境地球化学和农业地球化学研究取得丰硕成果

自1999年新一轮的地质大调查项目启动以来,全国多目标区域地球化学调查取得了一系列重大成果,按照“覆盖中部农业生产区,重点安排东部经济区,优选西部农牧区”部署原则,已经完成调查面积106万 km^2 ,首次系统取得了一大批海量的珍贵数据。地球化学理论、技术和方法取得了重大进展。

(1) 多目标地球化学调查获得了一些重大发现

□长江流域发现了宽百里延绵万里的连续污染带。长江流域土壤中镉含量远远高于全国土壤 0.079×10^{-6} 的平均值和农用地镉含量值。其中,土壤中镉超出背景值最高可达30倍。污染面积之大、连续性之强,是调查之前始料不及的。镉在农作物籽实中含量普遍超出了绿色食品和无公害食品卫生标准限定值,严重威胁着农产品安全性和人体健康。

□珠江、松花江流域发现大面积、高强度的镉、汞和放射性污染带。珠江流域土壤放射性超标总面积2596 km^2 ,占调查区总面积的25%。产自广州市和中山市的花岗岩石材,分别有89%和100%不符合放射性安全要求,放射性已对当地居民身体健康产生了严重危害。

沿江地区土壤中碘、硒等元素大量流失,造成了地方性甲状腺肿和克山病的暴发;砷等元素在土壤中流失进入水体,使地下水中富集三价砷(As^{3+}),造成了目前在我国北方

广大地区砷中毒的蔓延。

□城镇周边土壤发现严重的汞异常。省会及县市以上的城市土壤中均被汞、铅、镉、砷、有机污染物等严重污染。例如,在广州、武汉市的土壤中,镉含量分别超出背景值16倍和24倍,汞超出背景值20倍和254倍。武汉、杭州、广州、北京等城市土壤中剧毒的有机污染物检出率非常高,宁波土壤中多氯联苯等剧毒有机污染物的检出率高达58.5%。

□土壤酸化面积不断增大,酸化程度日趋严重,生态安全性受到威胁。从全国范围来看,从1982~1992年10年内酸雨的范围扩大了100万 km^2 。在调查区域内,土壤酸化日趋严重。成都、武汉、湖南长株潭地区酸性土壤面积分别为27.4%、60.7%和85%左右,人为活动引起的酸雨沉降在湖南部分地区高达100%,四川成都经济区天降水pH最小值为3.48,在杭嘉湖地区1990~2002年的12年间,土壤pH平均下降了0.3个单位,土壤酸化速率为0.047个单位/年,酸化率为63.3%,酸化面积达3130 km^2 。

土壤酸化使有毒重金属活性增加,农作物籽实中镉超标现象普遍,严重威胁着农产品的安全性和人体健康。我国快速推进的现代化进程,超常规的工业化和城市化进程,已对环境与经济发展造成了巨大潜在的压力。

(2)丰富了生态地球化学的评价方法,提高了地球化学数据分析和应用水平。通过对重金属元素和有机氯农药在土壤、地表水分布特征的研究,阐述土壤重金属元素污染现状和赋存状态,借助地球化学特征法、参考元素法、多元统计法、人工神经网络法等多种技术方法,对污染物成因及其发展态势进行分析,对缓变型地球化学灾害产生的条件与途径进行讨论,取得一批有价值的研究成果。结合农学、环境学及生态学等学科的研究方法和技术,揭示污染物在不同介质中迁移转化途径和规律,研究污染成分对农作物、动物和人类健康影响效应;结合各地区实际情况进行生态地球化学评价,指导绿色农业基地、农产品适宜性及种植结构调整等。

(3)提出了解释生态地球化学异常成因的新观点。针对目前平原区城市环境地球化学异常评价及查证中出现的问题,通过土壤重矿物研究,以长春、南京、漳州和广州的多个Hg等金属元素异常区为突破口,在土壤中发现了辰砂和磁性“微球粒”。辰砂结晶状况较好,多呈棱角状。据称辰砂是次生成因的,土壤发生汞污染后形成了辰砂。土壤重矿物研究结果显示,在人口相对密集区或工业区的表层土壤中普遍存在着一种“微球粒”,据称这种物质的形成可能与燃料燃烧过程中产生的烟尘有关,其产出位置与土壤中重金属异常具有良好的对应关系。土壤中辰砂和“微球粒”的发现,为城市环境地球化学异常的解釋提供了一种新思路。

4. 基础地球化学研究取得突破

(1)中国土壤生态地球化学基准值研究。在大约85万 km^2 的冲积平原区共采集土壤样品517件,覆盖了三江平原、松辽平原、黄淮海平原、长江三角洲平原、江汉平原、鄱阳湖平原、南阳盆地,珠江三角洲共8个冲积平原。以土壤物质组成为基础,利用元素相关关系法有效确定了试验研究中最关键的技术环节——采样深度。以实际分析数据为基础分别获得了8个冲积平原和整个东部平原区共9个统计单元内76个化学元素(包括氧化

物)的土壤生态地球化学基准值和 pH、电导率(EC)、Org. C 4 项理化指标的基准值。并首次按照土壤质地类型统计了土壤生态地球化学基准值,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。

该成果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,更重要的是可以为目前正在开展的平原区土壤生态地球化学调查和评价工作提供系统参比基准。

(2)中国花岗岩类元素丰度研究。根据全国约 750 个有代表性花岗岩类岩体的 768 件组合样品的实测分析数据,计算出了中国花岗岩类及碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩、石英二长闪长岩等花岗岩类岩石近 70 种化学元素的丰度值,天山—兴安造山系、中朝准地台、昆仑—祁连—秦岭造山系、滇藏造山系、扬子准地台、华南—右江造山带、喜马拉雅造山带等中国七大构造单元花岗岩类及不同岩石类型花岗岩的近 70 种化学元素的丰度值,太古代、元古代、早古生代、晚古生代、中生代、新生代花岗岩类及不同时代碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩的近 70 种化学元素的丰度值。首次编制了 56 种元素与氧化物的 1:2 500 万中国花岗岩类地球化学图。系统地研究了我国花岗岩类及不同岩石类型花岗岩近 70 种化学元素的丰度和地球化学特征,及其在中国各构造单元的元素丰度与区域分布特征、各地质时代花岗岩类的丰度与演化特征。该成果不仅可以为中国的基础地质、矿产勘查、地球化学的研究提供宝贵的基础资料,而且对中国区域上地壳的化学组成及其演化的研究有重要价值。

二、勘查地球化学研究发展现状分析

(一)中国勘查地球化学简史

中国地球化学探矿工作最早始于 1951 年。但我国化探真正的发展是源于 1978 年地质部提出了一项新的“区域化探全国扫面”计划。这项计划在内地及沿海和边远地区分别以不同的方法进行。内地及沿海主要使用水系沉积物测量方法,并辅以岩石测量。工作程序及方法都加以标准化。边远地区则根据不同景观条件,分别使用特殊的工作方法。

冶金部的化探工作者在 1979 年提出了类似的区域化探计划。但他们的工作范围集中于一些重要的成矿区带。使用水系沉积物测量方法,并用 6 架等离子焰光量计来分析采集到的样品。中国地质学会的勘查地球化学专业委员会 1980 年成立,并于同年 5 月在浙江莫干山召开了第一届全国勘查地球化学学术讨论会。1982 年、1986 年、1990 年、1993 年、1998 年、2003 年先后在昆明、桂林、武汉、北京、张家界、珠海召开了第二届、第三届、第四届、第五届、第六届和第七届全国化探学术研讨会。勘查地球化学专业委员会的成立,标志着中国勘查地球化学专业的成熟,同时也表明,勘查地球化学专业从传统的矿产勘查地球化学拓宽到环境地球化学和基础地质研究。

中国化探工作者于 1980 年在西德汉诺威第八届国际勘查地球化学学术讨论会上所作的报告,引起了国外学者对中国化探的重视。中国化探正打破长期隔绝状态,使其多年来取得的成就逐步为世人所了解。随后,几乎每届的国际勘查地球化学研讨会都有中国

代表参加。

区域化探全国扫面计划现已覆盖全国 600 多万 km^2 , 区域化探方法技术及找矿效果取得了举世瞩目的成就, 使我国区域化探研究达到国际领先水平, 具体表现在:

(1) 研制了各种不同景观区的区域化探方法: 先后研制了高寒山区、干旱荒漠区、半干旱草原荒漠区、中低山丘陵区、岩溶区和热带雨林区、黄土高原区、森林沼泽区、冲积平原区等景观区的区域化探扫面方法。

(2) 建立了 39 种元素的多方法分析系统: 根据区域化探全国扫面计划的要求, 必须测定 39 种元素, 包括所有小于 $2 \mu\text{g/g}$ 的痕量和超痕量元素, 其分析检出限必须低于该元素的地壳丰度值; 且要求所有参加区域化探扫面样品分析的实验室之间分析偏倚降低到最低限度, 使全国化探数据可以对比。采用以 X 荧光或等离子体发射光谱分析为主体, 配以原子吸收、原子荧光和极谱、离子选择电极, 构成多元素多方法分析系统。

(3) 研制了全国分析质量监控方案和标准物质。1979~1981 年成功研制了 8 个全国一级水系沉积物标准样, 由全国 41 个著名实验室参加分析、定值; 后来又陆续研制了岩石、土壤标准样品系列, 从而成功地实现了对分析结果的三个层次的控制, 即对投入分析方法可选性监控; 对不同分析批次间偏倚的控制, 对图幅间、省际间分析偏倚的监测。这套监控方案, 使我国各省、各图幅的区域化探数据可以对比。

(4) 研制了金矿地球化学勘查新技术: 过去多年, 由于金颗粒分布不均匀(粒金效应)造成严重的分析误差及金分析灵敏度不够, 致使地球化学找金过分依赖于砷、锑、汞, 甚至铜、铅、锌、锡、钨、钼、铋等探途元素, 这些探途元素异常的多解性使地球化学方法不可能在金矿勘查中发挥重要作用。20 世纪 80 年代以来, 澳大利亚研制了大样堆浸金技术, 在实验室中称取数百克样品, 以减少粒金效应, 借用冶金工程中用的堆浸技术来分析金, 这就解决了金分析的严重误差问题。这种方法在众多大型金矿床的发现中发挥了重要作用。然而, 这种方法要求采样至 10 kg 的样品, 从而大大增加了野外工作量。中国采取另一种思路, 我们在金矿床周围发现了规模很大的含量仅在十亿分之几的区域性异常, 而且发现金不仅以自然金的颗粒存在, 还有大量的超微细金($<5 \mu\text{m}$)的存在。这些发现使我们有可能巧妙地避开粒金效应问题。针对超微细金将金的检出限降至百亿分之二, 从而圈定出有经济价值金矿床四周的数十至数百平方千米的区域性异常, 这就大大扩大了找金的靶区, 用这种方法使中国发现金矿的数目急剧上升。

(5) 发展了区域性的岩石地球化学填图理论与方法: 中国地质大学先后在豫西卢氏—灵宝地区, 广东一六地区, 南岭地区, 陕西柞山地区, 胶东牟平—乳山地区, 开展了区域性的地球化学测量, 这些研究将区域地质填图与地球化学填图紧密联系起来, 形成了具有我国特色的重要成矿区带区域地球化学理论与地球化学找矿方法, 提出了区域成矿带地球化学研究的总体思路。通过地球化学专题研究与区域地球化学相结合的途径, 探讨元素通过各类地质—地球化学作用发生分配、演化的趋势, 查明区域地球化学场的分布、性质与地质意义, 开展成矿带构造环境和成矿规律的地球化学分析, 进而实现成矿地质环境、条件向地球化学环境、条件的转化, 以及成矿地球化学环境、条件向找矿标志与准则的转化, 并连同异常特征, 建立异常评价的指标与模型, 开展成矿远景预测。

冶金部在矿区地球化学异常方面进行了大量研究, 系统总结了国内典型有色金属和

金的地球化学异常模式,并出版了一系列专著。

(二)面临的挑战

当前,勘查地球化学正步入一个关键的历史时期。一方面,地质工作需要扩展服务领域,增强地质工作功能。勘查地球化学必须适应这种转变,必须扩展其地质工作领域,尤其要加强环境地球化学调查与研究,突破原有的调查理论,才有可能实现战略上的突破。另一方面,随着易寻找的露头矿的殆尽,找矿难度不断加大,迫切需要更新思路,运用新的战略新方法和新技术,实现找矿突破。

三、对发展勘查地球化学战略问题的思考

(一)主要思路

从国外来看,化探技术方法的发展和应用,在提高地质调查工作效率和质量,加大探测深度和研究程度,起着至关重要的作用。

(1)重视方法原理和技术创新,充分利用现代科技进步,研制新方法新技术,尤其要加强分析测试技术及仪器设备的研发,提高观测精度和效率。

(2)根据地质调查任务的需要和方法运用的地质条件,来研制方法技术,并制定合理的方法技术组合。

(3)强调不同学科技术方法的综合运用和信息的综合解释,这是实现找矿突破的重要途径,也是进行异常解释和环境防治的有效方法。

(二)优先支持的重大研究领域

(1)区域化探资料再次开发利用。我国区域化探扫面计划已覆盖全国 600 多万 km^2 ,取得了数以万计的地球化学数据。这些数据蕴含着丰富的信息,但目前仅有少部分信息被利用。如何开发利用这些数据,挖掘其找矿信息和解决地质问题的潜力,是今后一段时间化探的重要任务。

(2)编制全国 76 种元素地球化学图集。制作中国 76 种元素地球化学图集的项目已在川、滇、黔、桂 4 省(区)取得了巨大成功,这将是地球科学中的一项空前的创举,可这一方法推广到整个中国,编制全国 76 种元素地球化学图集,它将为数字化地球、矿产资源评估、新类型资源与材料、环境监控、土地利用及生命演化提供有价值的资料。

(3)中大比例尺区域化探方法。从矿产勘查角度来说,如果 1:20 万区域化探工作是“战略布局”,那么 1:5 万工作是“短兵相接”,而更大比例尺的化探工作则是“刺刀见红”。经验表明,在 1:20 万区域化探基础上,开展 1:5 万或更大比例尺的化探工作,可以获得较好的找矿效果。这是区域化探成果评价的继承与延续,应作为一个发展方向和长期的战略任务来抓。

但是与 1:20 万区域化探工作相比,1:5 万化探工作具有特殊性。随着比例尺的增大,工作区的范围缩小,由于景观条件的变化,尤其是那些景观区在 1:20 万尺度时可以

忽略,但在 1:5 万时不能忽略,致使原 1:20 万区域化探方法不能适用于 1:5 万或更大比例尺。这一点在西部地区表现得尤为明显。

对于 1:5 万化探工作,从找矿突破的角度来说,宜划分三类地区:①东部中低山丘陵区;②西部和北部干旱半干旱区;③西部高寒深切割地区。

(4)隐伏区和矿床深部及外围化探找矿方法技术研究。隐伏区勘查是未来找矿的方向,客观需要使非传统的化探方法呈积极发展态势。但现有的非常规的化探方法技术远未达到传统方法的水平,需要我们正确对待现有方法的实效与问题。当前,首先要重视方法的基本原理研究,处理好方法创新与应用条件的关系,正确对待各种方法的应用条件。其次,从取样和分析两个方面,提高方法稳定性和实用性。

传统化探方法(主要是水系沉积物、土壤和岩石地球化学方法)在已知矿床区深部及外围找矿方面起着关键的作用。近年来,我国在这方面的研究工作有很大的削弱。应加强矿床原生地球化学异常模式及形成机理研究,建立典型矿床的地球化学标志模型;开展岩石地球化学测量试验研究。

(5)西部地区矿产资源快速化探评价方法。西部地区地质工作条件特别困难,加之许多地区被冲积物、黄土及沙漠所覆盖,因而地球化学勘查方法可以在西部勘查中起到决定性的战略作用。要用创新的思路引导西部的勘查。不仅要使地球化学勘查方法在西部勘查中起先导作用,而且要改变传统的 1:20 万和 1:50 万地球化学填图的做法,使用超低密度(每 100~400 km² 取 1 个样)甚至极低密度(每 1 000~6 000 km² 取 1 个样)的采样方法,快速覆盖整个西部地区。

(6)难识别和非大宗矿产的化探找矿技术研究。我国金矿找矿巨大的成功,应归功于金矿化探方法技术的发展。如果金矿化探找矿战略推广到其他特殊的矿种,如铂族金属、黑色页岩中金—铂—钯矿等,将会使找矿取得重大突破。

(7)化探数据处理技术研究。化探数据处理是化探异常解释的重要环节。近年来,随着 GIS 的广泛应用,使化探数据处理十分便利。尽管人们对数据处理趋于理性和简单化,但利用计算机手段,引入非线性理论,充分挖掘化探数据信息,将是化探未来发展的一个重要方向。

(8)中国上地壳岩石化学元素丰度研究。中国上地壳的岩石化学元素丰度是地球化学研究的基础性数据。利用已有东部地壳化学组成资料和全国花岗岩丰度资料,补充西部和东部个别省工作,完成中国上地壳和岩石化学元素丰度研究。不仅将为中国的基础地质、矿产勘查、地球化学的研究提供宝贵的基础资料,还对中国区域上地壳的化学组成及其演化的研究有重要价值。

(9)境外矿产勘查对比。近年来,我国开展了一系列周边国家地质编图研究,并开展一系列地质对比研究,对于了解国内外资源分布规律具有十分重要的意义。我国与周边国家许多景观区类似,具有相同的化探工作方法。与周边国家合作,一方面,可以提高我国复杂景观区化探方法技术;另一方面,通过承担周边国外化探项目或对其进行技术培训,把我国区域化探技术推广到周边一些国家,同时可以获得周边国家矿产资源分布的基础信息。

(10)不同层次的生态地球化学评价研究。充分利用多目标地球化学调查取得的海量

数据,对不同层次的生态系统进行地球化学区域性、战略性评价,对有害元素来源、迁移途径与危害程度及有益元素分布状况、组成特征与丰缺度及对人类的危害等进行科学研究,提出污染防治的措施及建议。

参考文献

- [1] 方维萱,徐国端. 勘查地球化学主要新进展与今后的重要发展领域. 矿产与地质, 2005, 19(6):599-605.
- [2] 王学求. 寻找和识别隐伏大型特大型矿床的勘查地球化学理论方法与应用. 物探与化探, 1998, 22(2):81-108.
- [3] 朱炳球. 勘查地球化学走向市场. 物探与化探, 1997, 21(6):444-450.
- [4] 阮天健. 中国勘查地球化学五十年. 刊于王鸿祯主编, 中国地质科学五十年, 中国地质出版社, 2000, 281-288.
- [5] 李善芳. 地球化学勘查 50 年的回顾与展望, 刊于张炳熹主编, 50 年来中国地质科学技术进步与展望, 北京:地质出版社, 2000, 86-91.
- [6] 杨忠芳,成杭新,陈岳龙,等. 进入 21 世纪的勘查地球化学:对生态地球化学的展望. 地学前缘, 2004, 11(2):600-605.
- [7] 杨忠芳,成杭新,奚小环. 区域生态地球化学评价思路及建议. 地质通报, 2005, 24(8):687-693.
- [8] 汪明启. 国际勘查地球化学现状和发展趋势——第 21 届勘查地球化学国际会议介绍. 地球科学进展, 2005, 20(4):477-478.
- [9] 陈岳龙,唐金荣,侯青叶. 从第 32 届国际地质大会看地球化学的现状与未来. 现代地质, 2004, 18(4):464-486.
- [10] 周斌,刘广武,郑天佑. 东天山戈壁荒漠景观区地球化学勘查中某些工作方法的研究. 矿产与地质, 2005, 19(6):643-646.
- [11] 林春. 勘查地球化学新进展. 矿产与地质, 1999, 13(2):5.
- [12] 金浚,陈伟民. 有色地质部门勘查地球化学理论与技术创新成果综述. 地质与勘探, 2005, 41(6):55-61.
- [13] 施俊法,李友枝. 国外生态地球化学填图理论及其发展趋势,物探与化探, 2003, 27(6):469-472.
- [14] 施俊法. 走向 21 世纪的矿产勘查地球化学. 地球科学, 1999, 24(3):320-324.
- [15] 谢学锦,欧阳宗圻. 中国的勘查地球化学的回顾与展望. 地质论评, 1982, 28:598-602.
- [16] 谢学锦,施俊法. 中国勘查地球化学 50 年回顾. 奋斗的人生,辉煌的事业, 北京:地质出版社, 2003.
- [17] 谢学锦. 进入 21 世纪的勘查地球化学、中国地质, 2001, 28(4):11-18.
- [18] 谢学锦. 蛛丝马迹探宝藏——勘查地球化学发展的里程碑. 科学的丰碑——20 世纪重大科技成就纵览. 山东科学技术出版社, 2001, 491-495.
- [19] 谢学锦. 勘查地球化学:发展史·现状·展望. 地质与勘探, 2002, 8(6):1-9.

撰稿人:史长义 唐金荣 施俊法

Achievement and Prospect of Exploration Geophysics

Exploration geophysics is a very important branch of geophysics. It is widely used in other geoscience. In recent years, all over the world, exploration geophysics has achieved great progress in instruments developing, data collecting and processing, and 2D or 3D inversion, etc. Especially with full-tensor gravity gradiometry survey system, high-temperature SQUID, aero-borne three-axis magnetic gradient survey system, high resolution electromagnetic survey system with deeper detection and 3D seismic exploration methodologies and techniques have developed successfully. Geophysical exploration reached in to a new era.

Though China has also achieved great progress in geophysical exploration methodology and techniques, nowadays the status quo of geophysical exploration is facing many challenges. For example, talent geophysicists drained, almost large and comprehensive geophysical equipment need imports from developed countries, creativity ability has shrunk in recent 20 years. Exploration geophysics in China has huge opportunity to develop itself with great demand for finding new and more mineral resources as well as oil and gas.

China will change this disadvantage situation if we carried out the several key research programs stated here successfully. China will reach a new high stage and become a strong country in exploration geophysics.

Written by Yao Jingjin

Achievement and Prospect of Exploration Geochemistry

This paper summarizes the recent achievements in exploration geochemistry, focusing on regional geochemistry mapping technology, large-scale regional geochemical exploration methods in complex scenery areas, studies in environmental and agricultural geochemistry, and basic research in geochemistry. Through a brief review of the development of exploration geochemistry in

China, this paper presents some main problems to which attention should be paid, advances some development strategies, and puts forward several key and preferential research areas, including secondary development of regional geochemical exploration data, technical research in geochemical exploration methods in covered area, and research in mineral resources prospecting by geochemical technology in deep and external area of known deposits.

Written by Shi Changyi, Tang Jinrong, Shi Junfa