

文章编号: 1001-1412(2000) 01-0017-07

金属矿产地球化学勘查方法的现状与动向

徐锡华

(天津地质研究院, 天津 300061)

摘要: 为顺应金属矿产找寻目标的变更, 勘查地球化学不仅使其传统的技术方法日趋成熟, 而且, 以“深穿透”为代表的新一代技术方法应运而生。未来, 金属矿产地球化学勘查(或称化探)方法将向着高效率地提供遥测性、穿透性、直接性和多元性更佳的找矿信息方向进一步发展。

关键词: 化探; 方法; 现状; 动向

中图分类号: P622⁺.3

文献标识码: A

1 引言

历史证据表明, 大约每1 000个矿产地中有一个可以通过初步勘查阶段成为具有经济品位矿化的发现, 而矿化带只有1%~2%的机会变为有经济价值的矿床, 矿产勘查的风险可见一斑^[1](D. E. 汤姆森等)。麦肯齐给经济矿床下的定义是: “能至少产生1 400万美元的收入, 投资报酬率为8%。”因此, 为降低矿产勘查巨大风险以追求其巨大利润, 人们持续不断地推进矿产勘查技术方法的改进与更新。仅以地球化学勘查为例, 我国原地矿部系统1981~1995年化探工作统计结果表明, 化探方法所发现的异常数(11 282~11 728~19 870)、异常见矿率(8.4%~10.6%~15.9%)以及发现或扩大的贵金属矿产地数(42~165~214)逐年递增^[2]。实际上, 地球化学勘查在稀有、有色、特别是贵金属矿产勘查方面已被证明是一种颇有成效、不可替代的技术和方法。特别是随着我国从30~50年代找露头矿到70~80年代时找浅埋矿(埋深小于100 m)乃至90年代之后找深埋矿(埋深大于100 m)、大型和超大型矿的任务变更以及找矿风险的相应增大, 作为能够提供直接找矿信息的地球化学勘查技术方法获得迅速的改进、发展与更新。所采测样品已经从岩石、土壤、微尘、气体、海洋、地下水、植物、微生物、湖积物、坡麓堆积物和水系沉积物等宏观物质扩展为诸如地球气所携带的纳米级金属微粒; 从普遍应用的元素全量分析结果转向以遥测性、穿透性、直接性和多元性的更高标准所寻求的诸如元素有效态活动分量等一系列新的地球化学指标。

收稿日期: 1999-11-20; 修订日期: 1999-12-18

作者简介: 徐锡华(1944-), 男, 天津市人, 教授级高级工程师。1968年毕业于中国科学技术大学近代化学系地球化学专业, 在地球化学及金属矿产化探领域从事研究与找矿工作。

2 较成熟的常规化探方法

2.1 水系沉积物地球化学测量(Stream sediment geochemical survey)

在日臻成熟、卓有成效的化探方法中应首推水系沉积物地球化学测量。该方法与地表水系的水化学测量并称为水系地球化学测量(geochemical drainage survey),这一传统方法在其广泛应用中一直被不断改进。除了已经使用的网格化、随机化、组合样、低密度和超低密度等采样方式外,如在澳大利亚的 Accord 地区,为减少采样误差、分析样品数量以及克服水系金测量“金块”效应曾经试验了一种大样法(Bleg)采样技术,该方法实质是将一个水系沉积物或土壤大样(样重 2~5kg)全部浸在冷稀氰化钠溶液中,几天后再去送样分析。又如,为克服水系沉积物取样丢失细粒级颗粒的问题,Thoms(1992)提出了活性水系沉积物的冻结技术,并认为冻结采样对于采集水底河床沉积物是一项更准确的方法技术^[3]。所设计的冻结采样器是由一个坚硬的、涂有环氧树脂的铜质直管构成。由软钢内管和细小喷管向铜质直管注入液态 CO₂ 后使其骤然气化并导致柱状样品的快速冻结,从而得以采集到对整个活动河床沉积层有代表性的样品。

2.2 土壤地球化学测量(Geochemical soil survey)

这种方法是系统地测量土壤中的微迹元素含量或其他地球化学特征,发现与矿化有关的各类次生异常以寻找矿床的方法。与该方法应用效果有关的地貌、景观、气候、土壤成因及元素迁移机理等方面都进行了成功的探讨与研究。残积层土壤测量是化探方法中最成熟、最有效的方法之一。运积层土壤测量的有效性要视测区条件而定。风成沙地区土壤测量的取样粒度截取试验已获进展。有机土地地区土壤测量借助于偏提取技术而重获生机。而冰积物和塌积物等地区的土壤测量工作方式尚有待于更多的采样试验资料所确定。

2.3 岩石地球化学测量(Geochemical rock survey)

这种方法是系统地测量岩石(或岩脉、断层泥与裂隙充填物等物质)微迹元素含量或其他地球化学特征,发现与矿化有关的各类原生异常(地球化学省、区域原生异常、矿床原生晕和矿体原生晕等)以寻找矿床的方法。该方法已经在几十年的地质找矿实践中被广泛推广与应用。早在 60~70 年,为寻找隐伏矿,前苏联提出了一整套元素分带序列计算、异常评价、估计侵蚀截面深度和分辨致使正常原生晕分带性遭受破坏的多元素建造(叠加)晕(奥夫钦尼可夫,格里戈良 1970)的科学方法,并取得了很大的成功。近年来,针对常规岩石地球化学测量中的“点线式”采样布局,杨少平提出了适用于基岩裸露的中低山区的快速、低成本和效果好的“面型”采样布局^[7]。

2.4 地球化学样品分析

化探方法的改进和发展与化探样品测试技术的进步息息相关。

2.4.1 室内测定。近年来,许多高灵敏度、高精密度和高准确度的测试技术方法被改进或进入勘查地球化学分析测试领域。80 年代初所实施的区域化探全国扫面计划不仅建立了以 X 荧光光谱仪为主体的多元素分析系统,而且开启了我国地球化学标准物质的研制工作。多元素分析

系统包括: X 射线荧光光谱法(Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Ba, Co, Cr, Cu, La, Mn, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn, Zr)、泡塑吸附石墨炉原子吸收光谱法(Al)、石墨炉原子吸收光谱法(Ag, Cd)、火焰发射法(Li)、比色法(U)、原子荧光光谱法(As, Sb, Bi, Hg)、发射光谱法(B, Be, Sn)、化学光谱法(Pt, Pd)、极谱法(Mo, W)和离子选择性电极(F)。地球化学标准物质的研制工作有助于测试方法的评定、仪器的校正以及质量的监控,它不仅直接地有益于金属矿产与区域地球化学勘查,而且广泛地为地质、环境、医学、农业和林业等部门所使用。

2.4.2 野外测定。为适应化探异常查证的需求,金的野外快速分析方法在溶矿、富集与显色方面都取得较大进展。90年代初,卢荫庥、王晓玲研究、开发和建立了一套野外(现场)地球化学多元素分析系统,该分析系统不仅包括简便、快速的多元素分析方法,还配备有轻便的野外样品加工、便携式电子天平、光导比色计以及野外适用的分析箱,采用微珠比色法(低含量)、光导比色法(高含量)和氢化物发生法-光导比色法实现 Au, Ag, As, Sb, Bi, Cu, Pb 和 Zn 等元素的单独或同时测定。

2.5 地球化学数据分析

在地球化学异常评价和综合解释方面,以概率论和统计学为基础的数学模型,以信息学、数据库、三维模型、数学计算模拟和地理信息系统(GIS)为代表的新兴学科领域或技术已经在多元素异常筛选和评价方面进行着卓有成效的多源信息处理与研究。自组织神经网络评价土壤金属量异常的含矿性(王硕儒等 1997)的方法以及从区域地球化学场出发研究和评价地球化学异常等方法的出现说明综合矿产预测技术获得重视和发展。与地球化学找矿相关的理论研究(区域环境、景观模型、找矿战略、分带理论、异常机理和迁移作用等)和地球化学找矿模式研究取得重要进展。实践表明,地球化学异常模式是一种重要的找矿模式,它通过概括性的异常元素组合、元素分带及其展布和发育等特征反映与成矿客体在空间、时间和成因上的关系,进而确定最优方法组合与评价指标。

3 待完善的传统化探方法

在地球化学找矿方法中,尚有一些从理论上说有潜力但在实践应用中有待于进一步改进或完善的方法。

3.1 气体地球化学法(Gas geochemistry)

该方法萌发于 30~50 年代,并在其后获得重视与发展。主要研究和测定以气体形式存在和迁移的 Hg, Rn, CO₂, O₂, SO₂, CH₄, H₂S, COS 和重烃等指标,并称之为某某地球化学测量。正是由于气体具有较强的穿透能力,才被人们看成是最有竞争力的方法之一。前苏联曾有效地使用了野外快速气体分析仪测定壤中气内 Rn, Th, CO₂, CH₄, H₂, Hg 等元素的浓度,试图借助于这种综合气体地球化学研究得以消除单一组分的不连续性、减少气态组分的波动效应。由浙江宁波甬利公司研制的 RG-1 热释测汞仪适用于化探吸附测量以及固体样品的痕量汞测量,其效果优于传统的壤中气测汞法。然而,由于气候、景观、土壤特征及微生物等因素的影响致使观测结果很难对比,气体地球化学方法至今尚未步入常规化探方法之列,需要进行更多的研究

或改进工作。

3.2 生物地球化学法(Biogeochemistry)

产生于 70 年代以前。由于具有反映深部矿化信息、可应用于特殊景观地区(森林、荒漠、黄土、草原等厚层覆盖区)的区域战略侦察和局部异常查证等特长, 勘查地球化学家从未放弃对其研究与改进。唐士荣等人认为, 借助于在数量上达到或超过某一临界值的超累积植物(Hyperaccumulator)去寻找盲矿体较传统的植物地球化学方法可能具有更为明显优势^[4]。然而, 由于植物种属器官的采样试验庞杂、指示植物的有效性以及采样、分析和异常解释方面的困难, 生物地球化学法至今尚未作为常规方法予以应用。当然, 在森林覆盖区和其它运积物覆盖区等特殊景观条件下, 该方法仍不失为一种寻找隐伏矿的辅助方法。

3.3 水化学法(Hydrogeochemistry)

是系统地采集并分析地表水或地下水(如河水、湖水、泉水和井水等)中微迹元素及其他地球化学特征, 发现与矿化有关的水地球化学异常以寻找矿床的方法。在吉林南部玄武岩覆盖区, 沿水地球化学异常区南端鸭绿江北岸的基岩露头等有利地段布置了岩石地球化学剖面、壤中气汞气测量及常规土壤地球化学测量等追踪评价工作, 发现了埋深 600 m 以下的隐伏金矿化体。一般说来, 该方法以 U 和 Mo 等活动性强的指标元素寻找其相关矿床尤为有效。湖水化学测量是快速评价区域含矿性的方法; 而泉水和井水化学测量则可能发现盲矿及深埋矿床。当然, 这两种方法都要受到湖、泉和井分布情况的限制。此外, 水化学测量的结果受季节性变化影响较大; 在碱性障发育区, 除 U, Mo 等元素外, 许多金属元素活动受阻, 其效果欠佳。

4 迅速发展中的深穿透法

由于寻找深埋矿的需求, 前苏联 80 年代诞生的地电化学方法和有机质结合形式法(MPF)到 90 年代产生的酶提取法(ENZYME LEACH), 从中国的金属活动态测量(MOMEQ)到澳大利亚的活动态金属离子法无不反映出中外勘查地球化学家对大深度探测方法的不懈追求。这些方法日趋成熟, 并在矿产勘查中得以有效应用。1997 年的第 18 届国际探会会议上一并称之为“深穿透”地球化学方法(Deep penetration geochemistry)。

4.1 地气法(NAMEG)

是利用地壳中垂向上升的多成因微细气流或气泡流所携带的一种迁移能力极强、化学活性极高的纳米级(粒径小于 $1\mu\text{m}$)金属颗粒(或胶体、离子、离子团、原子、原子团、分子、分子团等), 以其在近地表氧化和有机环境中形成粒径较大、并与深部矿化相对应的气溶胶颗粒异常来发现和查明深部或隐伏矿化的一种新方法。地气的概念与测量方法首先由瑞典的 K. Kristiansson 和 L. M. Almgvist 于 80 年代初提出。其优点是观测结果不受浮土覆盖、岩石类型和表生作用等条件的限制和影响, 甚至可以应用于很难采用传统地学方法找矿的戈壁、沙漠、平原、草原和森林等特殊景观地区。该方法所采集的气溶胶可以来自近地表大气或地表以下的壤中气。采样方法又有主动吸附与被动吸附或瞬时测量(抽气法)与累积测量(埋置法)之分, 前者可以应用于大规模的区域性勘查。而早先由捷克学者研制的元素分子形式法(MFE)

在实质上就是这种气溶胶测量法(Aerosol);其率先推测地气所携带的分子形式的元素在接近地表时转变为气溶胶形式。80年代以来加拿大、德国、瑞典、捷克、法国、美国、前苏联和中国都开展了这方面的试验和研究,并充分肯定了该方法的有效性。其中,吸附材料(剂)的选择、捕集器或适用于野外的仪器制作是该方法的技术关键。李巨初、童纯菡近年来的研究成果表明^[5]:地壳内确实存在一种纳米级微粒物质垂直向上迁移现象,它能在隐伏矿体倾向的正上方形成大体上与其延深方向向地表投影长度相一致的多元素地球化学异常。该方法不同于单一性的常规气体地球化学测量,能够直接查明并提供以气体为载体的固态或液态粒子(团)所蕴涵的多元素地球化学找矿信息。

4.2 活动态偏提取法(Partial extraction of mobile forms)

传统的偏提取技术诞生于 70 年代以前,其基本原理是用弱的溶剂去溶解呈离子态或化态的金属元素。近年来,该方法倍受国内外勘查地球化学家的青睐,特别是在测定各种活动态金属方面不断获得改进。

4.2.1 金属活动态测量法(MOMEO) 90年代诞生于中国,是借助水、树脂、活性碳、有机物和铁锰氧化物等物质提取并测定在地表疏松介质中通过各种途径被胶体、粘土、有机质、铁锰氧化物和可溶性盐类所捕获的各种活动态金属(超微细的亚微米至纳米级颗粒、胶体、离子、络合物等)。该方法用 $0.1\text{mol/L NaOH} + 0.1\text{mol/L Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 水溶液提取有机结合态金属、用 5% 柠檬酸铵溶液提取吸附态和可交换态金属以及用 0.3mol/L 柠檬酸铵盐 + 2% 酸羟胺溶液提取被 Fe、Mn 化合物包裹的金属。80 年代末,王学求与卢荫麻合作实现了对活动态金的提取,已在桂西岩溶地区、胶东太古宇-元古宇绿岩带发育区、安徽省江北及川西北诺尔盖运积物覆盖区、穆龙套金矿沙漠和奥林匹克坝热带深风化壳覆盖区采用金属活动态测量和地球气纳微技术相结合的方法实现快速、逐步缩小靶区,在试验和找寻金矿方面取得了显著的效果^[6]。

4.2.2 活动态金属离子法(MMI) 该方法于 90 年代由澳大利亚 Wamtech 公司注册(A. W. Mann),其实质是用弱酸或酶煮法提取弱结合的活动态金属离子。在俄罗斯用离子选择电极法分析土壤中水溶相的离子浓度(NH, K, Na, Cl, Br, Ca, Eh, pH 等),结果在厚层运积物覆盖的矿床上方获得了良好的异常。

4.2.3 酶浸析法(Enzyme leach) 这是美国地调所 J. R. Clark 等在 80 年代中期以来研制的新方法,该学者利用葡萄糖氧化酶所产生的过氧化氢还原非晶质氧化锰;所产生的葡萄糖酸将所释放的金属络合后再测定其溶液中的金属离子浓度。运积物土壤中非晶质的氧化锰所吸附的微量元素常常反映深部基岩地球化学特征。加拿大 Hoffman 等人亦曾实验过这一方法,据报导,对酶浸析技术所圈定的异常验证结果已有 550 多个钻孔见矿。该方法只提取非晶质锰的氧化物,能有效地应用于冰积物覆盖区。

4.2.4 价态金方法 周丽沂等人^[8]采用聚氨酯泡沫塑料在弱酸性介质中分步提取水溶性金(Au^{3+})、有机态金(Au^{1+})和自由态金(Au^0),用石墨炉原子吸收分光光度计测定这些价态金的技术方法已有效地应用于异常评价(评判矿化剥蚀程度和找矿前景)来进行隐伏矿、盲矿和难识别金矿床勘查。

4.2.5 地电化学法 该方法以探测各种不同赋存形式的元素为目标,早在 20 世纪 30 年代(Safronov, 1936)就开始得到应用,只是由于对成晕过程和分析灵敏度上的局限性未获得广泛

应用。80 年代以来,在全俄地球物理勘探科学研究所发展了新的地电化学方法,并引起了全世界勘查地球化学家的广泛注意。近年来国外学者通过研究活动态元素与岩石相互作用的过程,建立了喷射晕中的活动态元素从源点向地表扩散的垂直迁移的物理化学和数学模型。电提取在直流电场中通过吸附剂专门提取呈离子态的(贱金属和多金属)电活性物质。当前,地电化学法争论的焦点是关于金属离子是直接来自矿体还是来自电极周围的近表部活动态金属离子。在中国、加拿大、美国、澳大利亚和印度等国家都为此进行了研究与应用。结果表明该方法在覆盖区具有探测数百米甚至达千米埋深的金属矿体的能力,具体包括:

(1) 壤中电导率法(SCM):

主要测定土壤(或裂隙物和岩石)中的离子总量、 H^+ 和 OH^- 离子浓度以快速追踪和圈定矿化蚀变带,从而缩小找矿靶区。在测区内可以采到构造裂隙填充物的前提下,利用岩石电导率法时其采样网度可以放稀。

(2) 元素赋存形式法(MPF):

80 年代产生于前苏联,主要用焦磷酸钠溶液提取土壤有机相态中的金属离子(Antropova 1975),确定探测目标性质,圈定矿(化)体的大致范围。其结果需要用焦磷酸盐提取的碳含量进行标准化以消除地貌因素的影响。该方法在有机质发育地区比较有效,并可以在区域调查阶段用于确定远景区。

(3) 金属偏提取法(CHIM):

是通过人工直流电场直接将土壤中的离子态金属(水溶相金属)选择性地提取到底部装有半透膜的充满硝酸容器的元素捕集器中,在 $100 \sim 200 \text{ mA}$ 电流的作用下经过 $10 \sim 20$ 小时后测定所需元素(Goldberg 等, 1978)。该方法在阻止电解液对土壤的影响以及提高施工效率方面有待于改进。刘吉敏等人研制的野外 24 道地电化学控制仪及固体吸附式元素提取器可以对蚀变带或矿化地段进行含矿性评价和查明矿体赋存状态,并对矿体进行定位预测。

(4) 浸出提取法(MDE):

在野外通过埋入土壤中一个特制的元素捕集器(半透材料制成的装满硝酸溶液的圆筒)直接提取以游离或半稳定态出现的指示元素(Alekkseev 和 Dukhanin 1989)。该方法可以用于确定矿化靶区。

(5) 热磁地球化学方法(TMGM)

该方法基于选择性提取铁锰氢氧化物中的金属(Voroshilov and Voroshilova 1987),经磁化热处理将土壤样品通过磁分离后再进行分析。该方法可以用于圈定区域异常靶区。

5 结论

(1) 地球化学勘查在今后较长一段时间内对寻找金属矿产特别是金、银、铂等贵金属矿产仍然是必不可少的工作方法之一;

(2) 以寻找浅埋矿和深埋矿为目标的深穿透地球化学勘查技术方法行将取得突破性进展。这类方法的产生和发展标志着矿产勘查地球化学从应用元素全量向着有效运用元素活动态分

量方向上的重大转变;

(3) 以寻找大型和超大型金属矿床为目标的区域地球化学调查在一些工作程度极低的特殊景观地区有望取得重大的成果。与此同时, 诸如荒漠边缘、森林沼泽、黄土高原以及高寒山(湖)区等地的矿产勘查工作也将有力地促进以低密度、多介质和高效率为特征的地球化学采样、加工、测试以及数据解释方法与技术的快速发展。

参考文献:

- [1] D. E. 汤姆林, 等. 美国密西西比州地表地球化学调查[J]. 地质矿产信息, 1999, (13).
- [2] 奚小环, 等. 地质矿产部“八五”期间物探、化探、遥感勘查若干新进展[J]. 物探与化探, 1997, (1).
- [3] Thoms M. C. A freeze-sampling technique for the collection of active stream sediments used in mineral exploration and environmental studies[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1994, 51: 131-141.
- [4] 唐士荣, 等. 超积累植物与找矿[J]. 物探与化探, 1997(4).
- [5] 李巨初, 童纯菡, 葛金全, 等. 地气物质纳料微粒的实验观测及其意义[J]. 中国科学, 1998, 28(2).
- [6] 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[J]. 物探与化探, 1998, (2).
- [7] 杨少平. “面型”岩石测量简介[J]. 物探化探译丛, 1997, (5).
- [8] 周丽珍, 孙晓玲. 一种新的用于寻找隐伏金矿床的偏提取分析技术[A]. 第五届全国勘查地球化学学术讨论会筹委会, 第五届全国勘查地球化学学术讨论会论文摘要[C]. 北京: 地质出版社, 1993, 136.

PRESENT SITUATION AND TRENDING OF GEOCHEMICAL PROSPECTING TECHNIQUES FOR METAL MINERAL RESOURCES

XU Xi-hua

(Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China)

Abstract: Traditional prospecting geochemical techniques for metal mineral resources are gradually matured and a new generation of the technique is arising in response to the varied targets. The future techniques will be trending to supply more efficient remote sense, penetrative, direct and multi-informations.

Key words: geochemical exploration technique; present situation; trend.