技术·方法

区域化探异常的地球化学勘查评价方法技术进展综述

朱华平[1,2], 张德全[1]
(1. 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;2. 西北有色地质研究院,西安 710054)

[摘 要]区域地球化学异常筛选与评价之地球化学勘查方法技术一直是矿产勘查技术领域的一个热点问题。文章回顾了近十几年来区域地球化学异常筛选的方法与思路以及评价异常的勘查地球化学方法的一些进展,并根据不同的覆盖条件和勘查地球化学技术应用条件,把它们分为厚覆盖区勘查地球化学方法技术、基岩区勘查地球化学技术和生物地球化学勘查技术加以评述,最后提出多种地学信息综合集成,尤其是信息科学技术,如地理信息系统、卫星定位系统和遥感技术等互相协作较准确的筛选异常,多学科结合的立体勘查地球化学方法是区域地球化学异常评价以预测隐伏矿床的主要趋势。

[关键词]区域地球化学异常 勘查地球化学方法 研究综述
[中图分类号]P632 [文献标识码]A [文章编号]0495 - 5331(2003)03 - 0035 - 04

区域地球化学勘查(简称区域化探)开始于 20 世纪 50 年代,随后在近 50 年来,国内外实施了大规模的区域化探工作。中国的区域化探扫面计划从 1978 年开始,到目前已经完成 120 万区域化探扫面 536 万 km^2,有色地质部门也先后完成 15 万或 1∶0 万区域化探扫面 72 万 km^2,这些区域化探工作在矿产勘查上已取得了良好效果,而在环境地质、农业地质调查等领域将会发挥巨大的作用。

基于区域化探异常评价、找寻矿产资源之筛选与评价的技术方法在近几十年中取得了飞速的发展。本文对近几十年来区域化探异常筛选与评价的技术方法进行一些总结与回顾,以促进化探技术研究与实践的更大发展。

1 区域化探异常筛选的理论与方法

化探异常筛选思路起初有两种截然不同的基础,其中一种是以传统地质理论为指导,强调成矿地质条件,凡与地质成矿理论推断的找矿靶区一致的异常为有评价意义的异常,否则为无评价意义的异常;另一种是以异常本身的强弱、规模大小和元素组合为基础,强调地球化学异常特征,按"高、大、全"的准则对异常的找矿前景进行评序与筛选。以上两种化探异常筛选方法都取得了一定的找矿成效。

由于在勘查实践中,低缓或者没有化探异常但有一定的成矿地质条件也找到了大型矿床,开始意识到对低缓地球化学异常的筛选。在低缓异常的筛选中,大多对地球化学数据进行一系列的统计学技术方法研究,最有代表性的方法有史长义利用稳健统计学在吸收了 EDT 技术(Chork,1988)中的衬值技术的基础上,开发出子区中位数衬度滤波法对区域化探数据进行处理,其方法是:把地球化学背景面看成一个连续起伏变化的曲面,用窗口带子区,以小窗口为局部噪音,以大窗口为背景来拟合地球化学背景变化趋势,以衬度来圈定异常,以达到有效显示和强化异常信息的目的,该方法在内蒙古、川西北地区取得明显效果[1,2]。随后地球化学异常的复杂性开始越来越多地被重视,勘查地球化学专家们先后提出了在筛选化探异常时要重视地球化学异常形成的景观条件和不同的区域地质背景、构造条件、矿化体出露或剥蚀程度、元素在表生介质中贫化和富集规律及存在形式。并开始与早期提出的两种思路结合起来,即把地质成矿作用与区域地球化学异常特征相结合,建立地质地球化学模型来筛选化探异常[3]和以地质—构造单元划分子区,分别确定背景和异常下限,以更加真实地反映异常大小规模状态[4,5],发现了贵州烂泥沟金矿,取得了很好的效果。

[收稿日期]2002 - 04 - 11;[修订日期]2002 - 11 - 29;[责任编辑]余大良。
[基金项目]国家地质调查项目(编号:200110200101)资助。
[第一作者简介]朱华平(1966 年 -),男,1995 年毕业于长安大学,获硕士学位,高级工程师,在读博士生,现主要从事金属矿产勘查评价、区域成矿规律与矿床地球化学研究工作。

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

近几年来,随着计算机信息技术,尤其是“3S”即 GIS、RS、GPS 的发展,地球化学家们开始多学科综合的方法对区域化探异常进行筛选,主要技术有基于 GIS 平台与化探数据库,综合地质、物探、遥感等多源地学信息进行选区与筛选异常,即运用区域地质图的地层、构造、岩浆岩信息,区域重力、航磁、遥感图提取推断的深大断裂、隐伏断裂、隐伏岩体信息,从区域水系沉积物测量数据中提取与成矿作用有关的元素地球化学信息,从最新的地质矿产分布图上提取所有大、中、小型矿床以及矿点分布的信息,以此建立研究的基本数据,再利用逻辑运算方法和贝页斯规则等把各种信息与所研究的某矿种特征有机的结合起来,以推理网络的形式展示数据层之间的联系。用 GIS 强有力的空间分析手段,对所有数据进行空间叠加,最终圈定靶区,靶区中之异常即为筛选之异常。该方法在长江中下游等地区运用中取得显著效果[6]。

2 基岩区化探异常评价方法技术

对于薄覆盖区和基岩出露良好的化探异常区进行异常评价时除传统的地质方法外,还常采用地球化学勘查方法,主要有土壤地球化学测量、岩石地球化学测量、相态分析技术、卤族气体(碘、溴气晕)测量和同位素打靶定位技术等。

有色地质勘查部门研究成功了一种对中小比例尺化探异常缩小找矿靶区的有效方法——1∶2.5 万次生晕(土壤)地球化学测量。该方法得到有色地质勘查部门的推广和应用并取得良好效果[7]。

岩石地球化学测量是基于热液矿床原生晕元素组分分带序列理论,格里戈良等总结了热液矿床原生晕元素分带指数、累加晕和累乘晕比值等指标,运用该方法成功地发现了数以百计的金属矿床。邵跃等[8]运用岩石地球化学测量方法在湖北大冶铁矿的尖林山矿段的深部又找到了一个较大的夕卡岩型铁铜矿床。

龚美菱教授[9]利用相态分析技术评价金的化探异常,其基本思路是在分析测试古老地层石英脉型金矿地表状态下痕量金的各种物相状态,总结出金矿异常是否成矿的 4 大物相指标,即石英含金量,硅酸岩含金量,重矿物相关元素组合及与化探相关元素组合对比数。通过该方法已成功的进行了 8 个异常的评价并获得了较好的效果。在戈壁滩景观条件下,从现代分散流样品中分析测试火山岩地层痕量铜铅锌钴镍的各种物相状态,总结出 3 种元素存在状态即原生工业矿物(S)态,次生矿物(O)态和铁、硅、锰、炭质胶体矿物吸附包裹(结合相)态,通过对基岩、土壤和水系沉积物三相态含量结果进行对比分析即可确定矿致异常还是非矿致异常。通过该方法已成功的进行了 38 个异常的评价并获得了较好的效果。

人们[10]注意到火山活动产物和现代热液矿中含碘都很高且具有很强穿透能力,活动性碘晕与矿化有密切的空间关系,形成原生晕时很少受围岩岩石学特征、岩石密度及强度影响。应用碘(溴)的这种特性找矿称之为卤族气体(碘、溴气晕)测量找矿法。

同位素打靶定位技术:泰勒等[11]开创性地将同位素研究应用于找矿工作,并认为大气降水在成矿中起主导作用,低的 ^{18}O 中心是成矿活动中心。张理刚等[12]也较早的开展了这方面的工作,先后勾画出中国现代和中生代大气降水氢氧同位素变化等值线图和划分出三大类大气降水热液矿床,提出缓冲开放体系二阶段大气降水—岩石交换成矿作用新理论,并提出了 3 种同位素勘查模型。最近,韦龙明等[13]又提出铅同位素打靶技术,他们认为不同的成矿地质背景、物源、规模的矿床,其铅同位素初始比值存在差异,虽然在地表氧化条件下,特别是断裂发育带,铀容易流失,但成矿流体中铀/铅、钍/铅及铅同位素初始比值与围岩差值大,即使不进行放射性成因铅校正,根据所测同位素比值,也可以把矿体与围岩等其他地质体分开。该方法在陕西煎茶岭金矿外围异常评价找矿应用中取得很好的效果。

3 基于表生条件下厚覆盖区地球化学异常评价方法技术

目前主要有:地电化学找矿法(电吸附法、地电提取测量法等);气体测量找矿法(轻烃及硫化物气体测量法、氡气—二氧化碳联测技术法等);偏提取技术(酶浸析异常法、元素有机相态及元素活动态测量法、石英测量法等);微生物找矿法和植物地球化学法等。

地电化学找矿法是将地球物理与地球化学相结合的一种新方法,它包括电吸附法和地电提取测量找矿法等。罗先熔等[14]自 80 年代先后对这种方法进行了深入的研究和实践并得到了广泛的推广,在浙江、广西等矿田测定出强度高、背景值大且与矿体位置吻合较好的异常,经勘查验证见到了工业矿体。

气体测量找矿法,它包括无机气体测量和有机轻烃测量找矿法。前者被运用较多的有硫化物气体测量法,放射性气体(Rn,Tn)、金属气体或类气相金属测量找矿法等。李生郁等利用 H_2S 和 SO_2 气体

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

作指标对 10 多个不同景观条件下不同地区的铅锌矿、铜钼矿、金矿和铜镍矿等进行了土壤地球化学测量,结合岩石地球化学测量来勘查隐伏矿的方法,对基岩以下 400 m 有很好的指示作用。Ball T K, Crow M J (1992)[15]应用 CO_2、O_2、Rn 和 Tn 在非洲矿产勘查中找寻隐伏矿床取得较好的效果,并发明了一套采集气体的先进方法:在野外用空心尖铁管打入土壤或覆盖层中约 0.5 m 采集气体样品,选用适当的抽气泵,清洁的管子将土壤中气输送到改进了的奥萨特气体分析器的量管中测定 CO_2 和 O_2,氡射气仪用于分析 Rn 和 Tn。金属气体或类气相金属测量找矿法是一个很有发展前途的方法,已经在异常评价中得到应用的有热释汞法或汞气测量法,并有一些取得很好效果的报道[16]。基于纳米物质的启示,有的学者[17]提出金属物质的类气相迁移可能导致金属成矿,捕捉这种类气相物质是关键,目前实验的捕捉类气相物质的方法有利用泡沫塑料和活性炭为吸附材料搜集地气中的痕量物质,在内蒙等地的试验表明该方法对覆盖区化探异常评价找矿是一种很有效的方法[18]。因此,该类技术将是未来评价化探异常寻找隐伏矿的一门先进的新技术[19]。后者被应用于化探评价寻找隐伏矿的有机气体为轻烃气体,已被广泛用于油气勘查,大量研究与实践证明,许多金属矿床在其成矿过程中,都不同程度的存在有机物的参与,该方法也可用于金属矿产,陈远荣等[20]在个旧锡矿田中应用就取得了良好的找矿预测效果。

表生条件下偏提取技术,它包括酶浸析异常法、元素有机相态及元素活动态测量法和石英测量法等。Clark J R 等[21]注意到土壤中只占 MnO 总量极少部分的非晶质 MnO_2 是地表与近地表环境中活动的微量元素最有效的天然捕集体之一,于是在评价掩埋矿床附近异常时,用葡萄糖氧化酶优先浸析覆盖于矿物颗粒表面和非晶质 MnO_2,该酶与浸析液中葡萄糖反应产生微量过氧化氢和葡萄糖酸。稀释的过氧化氢易还原和溶解非晶质 MnO_2,释放出这种化合物的捕集的微量元素,测量非晶质 MnO_2 中的微量元素确定该异常是否为矿质异常,该方法称之为酶浸析异常法,不为农业活动所影响,它为厚覆盖区提供了一个有效的地球化学勘查手段,Yeager J R [22]应用该方法在田纳西州 Elmwood 矿田的深部找到了锌矿体。元素有机相态及元素活动态测量法是在元素相态的基础上建立起来的,很多学者在这个方面进行了研究和试验[23]。

石英测量法[24]的基础在于取之于土壤中的石英的有益组分含量及其出现率比土壤中所取的试样要大好几倍,且不受人工技术性因素的影响,其测量结果更具有可靠性,但该方法缺点在于较难确定土壤或覆盖物的次生性质。

4　生物地球化学勘查技术

生物地球化学勘查主要是应用微生物对金属的敏感程度和植物利用根系富集金属的特性来设计的。主要包括微生物地球化学勘查技术和植物地球化学勘查技术两种。

微生物地球化学勘查技术:郭真(1996)[25]介绍了国外土壤微生物找矿方法及事例,研究者们注意到在各种不同的气候条件下,矿化土壤中极高的蜡状芽孢杆菌数量主要是金属含量的一个函数而不是气候的函数,并且由于蜡状芽孢杆菌有较强的抗重金属能力,所以常和所研究的富金属土壤有关的地表矿体含矿程度成正比,所以,这种蜡状芽孢杆菌和 Mn、Ba、Pb、Ag、Au、Cu 等金属之间存在的正线形关系可以应用于寻找厚覆盖层下的金属矿床。

植物地球化学勘查技术:该方法在 20 世纪 90 年代前后得到了广泛的研究,其原理是植物的根系可以吸收成矿元素并得到富集,有的植物对成矿元素具有超累计功能[26],其有效勘查深度可达 100 m 左右。胡西顺等[27]在陕西、湖南等地应用中取得了很好的效果。

5　存在的问题与发展趋势

尽管我们对区域化探异常筛选与评价找矿技术方法作了大量的研究和实践,并有很多成功的范例,但经各种方法评价后还有 80 %左右筛选确定的异常经钻探工程验证后仍然不见矿,意味着找矿的风险依然很大。各种地球化学异常评价方法都有其局限性,如在老地层石英脉型、火山岩型块状硫化物铜铅锌矿总结研究出来的痕量元素相态分析程序在沉积岩容矿构造蚀变岩型金矿和热水喷流沉积型铅锌矿所形成的分散流异常评价中就是完全失败的。因此,我们必须了解该方法背景(也有的方法并不说明研究的背景),在相似地质背景下去运用才能取得好的效果。不同的矿床类型、不同的地质构造背景必将产生不同的表生沉积物和保留不同的"指纹"物质。如果用太古代石英脉型金矿总结出来的地球化学异常指标去评价沉积岩区的金的地球化学异常肯定是行不通的。此外,单一的方法也会增大评价风险。化探异常评价准确度的提高越来越依赖于各相

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

关学科的技术进步与合作,对各种综合找矿模式的研究,多种地学信息的综合集成,物化探异常的综合解释已经成为了地球化学勘探学家们研究的热点和方向。随着计算机信息技术的飞速发展,尤其是资源卫星定位技术的提高,应用 3S 技术的智能系统来准确筛选异常和找矿靶区定位,将会极大的提高异常筛选的精度,为准确评价异常寻找隐伏矿体打下了基础。另外,有的评价技术应用成本很高,不适合于推广。因此,我们必须研究和试验成功一些野外能实现的、成本低的地球化学勘查技术。

[参考文献]

[1] 何真毅. 川北高原浅丘陵区地球化学异常的筛选与查证[J]. 物探与化探,2000,24(2):138～145.

[2] 李 清,奚小环,等. 内蒙古东部半干旱区区域化探方法研究[A]. 第三届勘查地球化学学术讨论会论文选编[C]. 北京:冶金工业出版社,1986,176～191.

[3] 王学求. 寻找和识别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,1998,22(2):81～89.

[4] 冯济舟. 化探异常动态筛选法[J]. 物探与化探,1998,22(4).

[5] C Y Chork. 用勘查数据分析法和稳健统计学对化探数据作空间滤波[A]. 第三届勘查地球化学学术讨论会论文选编[C]. 北京:冶金工业出版社,1986.

[6] 唐永成,何义权,等. GIS 应用于安徽东部金矿资源评价研究[M]. 北京:地质出版社,2000.

[7] 董 胜. 1992,1/2.5 万土壤地化测量及质量管理体会[J]. 地质与勘探,1992,28(5).

[8] 邵 跃,沈时全,等. 岩石地球化学方法寻找隐伏热液矿床几个技术问题的讨论[J]. 地质与勘探,1992,28(7):45～48.

[9] 龚美菱. 评价金化探异常的新方法[J]. 有色金属矿产与勘查,1995,4(2).

[10] СУДОВ, БА,邱郁文. 碘与溴—深部矿床的地球化学指示标志[J]. 物探化探译丛,1997,113(6):60～62.

[11] Taylor H P Jr, The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition [J]. Economic Geology, 1974(64):843～883.

[12] 张理刚. 成岩成矿理论与找矿[M]. 北京:北京工业大学出版社,1989,1～100.

[13] 韦龙明,黄建军,等. 秦岭若干重要类型金矿床(体)快速定位预测[J]. 地质地球化学,2001,29(3):164～169.

[14] 罗先熔,地电提取测量寻找隐伏矿研究[J]. 地质与勘探,1989,25(12):43～51.

[15] Ball, T K, Crow, M J, 李学军. 壤中气地球化学在非洲矿产勘查中的应用[J]. 国外铀矿地质,1992,34(2):69～74.

[16] 刘树田,连长云. 快速评价金矿脉的壤中气汞量测量方法[J]. 黄金,1998,19(1):10～13.

[17] 王学求,深穿透勘查地球化学[J]. 物探与化探,1998,22(3),166～169.

[18] 刘应汉. 隐伏矿区地气测量试验与效果[J]. 有色金属矿产与勘查,1995(6).

[19] 伍宗华. 地气测量—一种革命性的新的找矿方法[J]. 物化探译丛,1998(1).

[20] 陈远荣、戴塔根,等. 有机烃气法在个旧锡矿松树脚矿田中的应用[J]. 物探与化探,2001,25(3):180～184.

[21] Clark, J R. 强化掩埋矿床附近异常的运积物土壤的酶浸析法[J]. 周国华译,物化探译丛,1994,91(2):63～65.

[22] Yeager, J R, 吴传芝. Elmwood 矿区深部 Mississippi 河谷型铅锌矿体伴随的酶浸析异常[J]. 国外地质勘探技术,1999,189:(2),8～1

[23] 张守本,谈成龙. 元素有机相态的提取技术与应用[J]. 物探与化探,2000,24(3):203～207.

[24] 陆 波. 用石英测量法找金属矿床[J]. 国外地质勘探技术,1994,160(3):29～32.

[25] 郭 真. 国外地质微生物找矿方法及事例[J]. 吉林地质科技情报,1996,100(2):18～24.

[26] 唐世荣,黄昌勇,等. 超累计植物与找矿[J]. 物探与化探1997,21(4):263～267.

[27] 胡西顺,植物地球化学测量影响因素分析[J]. 地质与勘探,1992,315(9):48～52.

RESEARCH ADVANCES OF GEOCHEMICAL SURVEY METHODS AND TECHNOLOGIES OF REGIONAL GEOCHEMICAL ABNORMITIES

ZHU Hua - ping[1,2], ZHANG De - quan[1]

(1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037;
2. *Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals, Xi'an* 710054)

Abstract: Geochemical survey methods and technologies of regional geochemical abnormities are always hot spots in economic geology exploration field. This paper reviewed and summarized research advances of geochemical survey methods and technologies of regional geochemical abnormities in recent ten years. According to different covering condition and technological application constrains, the geochemical survey methods and technologies can be divided into thick coating area geochemical survey methods and technology and bedrock area bio - geochemical survey methods and technologies. Finally, this paper put forward that kinds of geosciences information integration, especially, IT science, such as GIS/ GPS and RS, to choice correct geochemical abnormities, and appraise that will be the main trends of research on prediction concealed mineral deposits.

Key words: regional geochemical abnormities, geochemical survey methods and technology, research advance

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.