

区域地球化学异常评价的现状 及其存在的问题

王瑞廷^{1,2} 毛景文^{1,3} 任小华² 旺军谊² 欧阳建平⁴ 袁炳强⁵

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 西北有色地质勘查局地勘院, 陕西 西安 710054;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074;
5. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

提要: 区域地球化学异常评价是勘查地球化学长期以来面临的主要问题, 目前通常采用的评价方法基本上包括地球化学异常的不同地质-构造单元评价法和多元素定量评价指标法等 8 种方法。这些异常评价方法缺乏从成矿系统的发展演化上去认识异常的表现与本质, 关于表生因素对异常的制约和异常形成机制及异常产生的地质-地球化学环境的研究不够, 只是提取和利用异常本身的信息。因此, 研究成矿及矿化指示元素在原生带和表生带不同介质中的赋存相态、相对比例, 总结其不同景观环境下的迁移聚散规律, 并在此基础上分析表生异常形成机制, 系统剖析控制异常发育的各种内、外因素, 进而选择区域异常评价指标, 建立定性定量相结合的区域异常评价指标体系, 是区域地球化学异常评价的新思路。

关键词: 区域地球化学异常; 异常评价; 表生地球化学; 存在问题; 新方法

中图分类号: P596 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)01-0168-08

随着勘查地球化学的深入发展, 对于表生地球化学异常(区域分散流和次生晕异常, 即区域地球化学异常)的评价日益引起人们的重视。截止 2000 年底, 全国 1:20 万区域化探扫面已完成近 600 万 km², 有色地质部门完成 1:10 万或 1:5 万区域化探扫面 72 万 km², 发现各类元素的异常数万处, 但异常检查评价率仅为 5.3%, 见矿率只有 3% 左右。因此, 对于已发现的如此众多的表生异常如何进行筛选评价和定量解释, 已成为目前区域化探找矿工作亟待解决的难题之一。中国自 1954 年开展区域化探工作以来, 通过对全国不同地质、地理景观条件下野外工作方法的研究, 建立了完整、高效、低检出限的多元素分析系统和质量监控体系, 野外工作方法与分析技术在一些方面现基本上居于世界领先地位, 但对于不同景观区表生(区域)地球化学异常的筛选评价, 尚没有一套比较成熟的理论与方法。近年来通过对不同景观区金属矿(化)区的表生地球化学研究, 对不同地理景观区表生地球化学异常评价进行了新的探索^[1-8]。

1 区域地球化学异常评价的现状

地球化学找矿自上个世纪 30 年代诞生以来一直是基本的地质矿产勘探方法之一, 其中区域化探工作始于 1952 年, 至今已有 50 余年的历史。据 Plant 资料^[9], 自 20 世纪 60 年代以来仅以水系沉积物采样为主的大规模区域化探项目全世界就有 38 项之多。中国于 1954 年就开始了区域化探工作, 谢学锦 1978 年提出“区域化探全国扫面计划”, 1979 年国家开始实施该计划, 这使中国化探工作进入了一个新阶段。在世界范围内, 中国的区域化探全国扫面计划规模最大, 完成最好。到 2000 年底, 已完成的 1:20 万、1:50 万 600 多万 km² 区域化探分析了 39 种元素, 详查近 100 万 km², 共发现约 4.3 万处化探异常, 根据这些异常于 20 世纪 80-90 年代发现了数百个金矿^[10]。对如此众多的区域化探异常如何进行评价, 进一步提高找矿成功率, 已成为一个亟待解决而又十分关键的问题。虽然化探找矿技术涉及内容很多, 但其中异常圈定、异常筛选与查证评价、异常解释对找矿效果影响较大。可以说地

收稿日期: 2004-05-12; 改回日期: 2004-10-28

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(200310200001)和国家重点基础研究发展规划项目(G1999043211)资助。

作者简介: 王瑞廷, 男, 1969 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事矿床地球化学和矿产勘查研究工作; E-mail: wrtyf@163.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

球化学异常评价是关键而又困难的一个环节,化探工作的核心内容就是发现异常并对异常进行筛选评价,只有划定矿致异常并由此而发现矿体,才能实现找矿突破。

自上世纪 50 年代初开展区域化探工作以来,如何有效地评价地球化学异常就一直是众多勘查地球化学家关注的焦点^[14]。在早期区域化探工作中,异常评价的主要依据是异常本身的特征,即成矿元素的含量、异常规模(面积)和异常元素组合,并结合地质条件和异常解释者的经验进行评价。由于人们发现许多已知有一定规模的金属矿床都伴有(或显示)含量高、规模大、元素组合比较复杂的异常,因此在异常评价中就自然引入了“高”、“大”、“全”的标准,异常评价的结果则是把这类“高”、“大”、“全”异常都简单地划为有望见矿异常,这是局部的只就异常论异常的机械、经验的异常评价方法和思路。这种传统方法在主要寻找地表露头 and 浅部矿的区域化探工作初期十分有效,也简单易行。在国外这种传统评价方法一直延续到上世纪 80 年代初,而中国 90 年代初还在沿用,虽然形式上有所变化,但评价异常所依据的核心还是异常本身的各种参数^①。这种方法以直接找矿为目的,工作程序可概括为:区域异常→局部异常→发现矿床,其显著特征是将找矿的希望寄托在区域内的局部高异常带上。在这种传统思路指导下,勘查地球化学仅被作为一种识别矿化物的“仪器”,而异常评价主要还是依据异常本身的各种参数,对指示元素或它们比值的地质含义、景观意义和异常的形成机制、制约异常发育的各种因素等则研究很少。

近年来,在这种传统评价方法的基础上,国内外区域地球化学异常评价亦有不少改进,引入了数学、系统论和计算机技术等,大体可分为以下 8 种:

(1) 划分不同地质-构造单元对地球化学异常进行评价

目前认为地球化学背景是一个随空间地质条件变化而变化的曲面,异常评价时一方面先利用数学手段(数字模拟、滤波技术等)拟合地球化学背景曲面,另一方面以地质-构造单元划分子区,分别确定背景和异常下限,使用背景校正法强化弱异常,并对各小区的地球化学特征进行对比,总结其异同性,这种“背景校正”方法假定背景值随着每点的地质和景观条件改变而改变,采用多元回归、因子分析、主成分分析等手段对表生因素(pH、Eh、铁锰氧化物、有机质等)和岩性因素进行校正^[8,9,12]。

(2) 从单元素向多元素方向发展,并使评价指标量化

这些方法大多以计算机技术为手段,从多元素数据中提取各种找矿信息。如 EDA 技术、SCOURSUM 法、利用累

积频率区间所给权重求取多元素“加权”和依据地球化学场筛选成矿远景区的方法等。

(3) 异常评价参数多样化

谢学锦^[13~15]的 RESMA 系统,引入 NAP 值和多元素组合异常串;还有相关系数、变异系数、两种元素比值、多种元素累乘累加比值和剥蚀标志系数等异常评价参数。

(4) 综合信息评价方法

在评价某一地区的地球化学异常时,同时引入地质、地球物理、遥感等方面的信息,以相互印证,从多学科交叉复合的角度对异常进行综合评价,如运用地质-地球化学量化综合信息评价化探异常^[16]。

(5) 基于计算机和统计技术的异常评价软件系统

如基于 GIS 平台和化探数据库的异常提取法、计算机上的异常动态筛选法^[17]、子区中位数衬度滤波法^[18]等。

(6) 通过大比例尺的勘查地球化学方法技术解剖评价异常

如运用土壤地球化学测量(1:2.5 万或 1:1 万尺度)、相态分析技术、卤族气体测量、同位素打靶定位技术、地电化学方法、偏提取技术和微生物、植物勘查技术等解剖评价区域异常,查明各种控矿因素的地球化学显示,以便解决地质问题。

(7) 异常评序法

异常评序方法可以分为定性和定量评序两大类,定性评序方法主要利用类比法根据经验对异常进行初步概略评价,定量评序方法主要可归纳为 3 类,即以异常规模为主要依据的评序方法,包括规格化面金属量法、分带序列法、异常规模法、RESMA(快速筛选评价多元素异常)计算机系统法、剩余金属量法、浓度分带法、异常成矿有利度法等;以成矿元素浓度分带为依据的评序方法和综合信息评序方法包括综合参数体系评序法(分为序号和法和得分和法两种)、层次分析法及特征分析法等^[19]。

(8) 引入非线性科学的异常评价方法

地球化学异常的复杂性日益受到重视,勘查地球化学家们吸收耗散结构论、分形理论及混沌动力学等非线性科学的最新研究成果,以地球化学异常时空结构和异常形成的地球化学动力学为基础,按照异常谱系,对区域异常进行系统评价。如研究异常的分形分布、异常面积与异常强度的关系,提出地球化学景观吸引子等^[20]。

另外,还有地球化学异常模式评价法、神经网络法、模糊数学方法和矿物地球化学方法等,这些方法应用较少或处于研究阶段,在此不再赘述。

① 吴传壁,施俊法. 国外区域化探异常评价方法,1994.

随着普查找矿的不断深入,未发现的地表露头矿和浅部矿逐渐减少,找矿难度日益加大。隐伏矿(盲矿和掩埋矿)的上方一般只有难以识别的弱小异常显示,地质找矿标志几乎看不到。因此,传统评价异常的“高”、“大”、“全”准则和找矿有利标志都不再那么灵敏了。在这种形势下,近十几年来一些新的区域化探异常筛选评价思路和方法不断被提出,其特点是在原有传统思路、方法的基础上,更加重视成矿地球化学环境和控矿因素的研究,选择有一定地质依据、针对性强的地球化学指标建立找矿地球化学模型,进而与其他方法、资料结合,系统筛选、评价异常。这种“新思路”上世纪60年代萌发于前苏联。70年代形成体系,A.A.斯梅斯洛夫的《地球化学预测与找矿》就是这一思路的具体代表。该书中提出了从元素地球化学背景、元素分布的不均匀程度和元素迁移方向性来认识区域地球化学异常的思路。80年代以来,西方国家以 Govett^[21]和 Plant^[10]为代表,进行了大量的实践,取得了显著的效果。Plant^[10]在回顾西方“矿产勘查区域地球化学发展”时认为,过去只注意局部异常的圈定和评价,是一个消极思考而过分使用钻探的时期,随着对表生作用地球化学、成矿作用和矿床地球化学分带认识的提高,区域地球化学研究得到了明显加强。她系统地总结了各类典型矿床模型,并指出从不同类型矿床成矿作用的地球化学研究入手,查明元素迁移富集规律,总结相应的指示元素组合和找矿标志,为区域异常筛选和局部异常的解释提供依据。这种新思路在西方越来越受重视。另外,一些学者还将矿床地球化学模型看作是评价地球化学异常最重要的手段之一,矿床地球化学模型包括地球化学成因模型、地球化学异常模型、地球化学普查模型等,对提高异常评价和找矿效果具有重要意义^[22]。前苏联学者^[23]在小高加索地区建立的黄铁矿型地球化学勘查模型具有代表性。它将同一级次的一类成矿客体通过地球化学参数的总和表现出来,并指出成矿客体是多期次的,所建立的地球化学模型也应是多期的,这对异常评价很有指导意义。Qiming Cheng 等^[24]提出地球化学异常分离的空间 U 统计分析法,这种方法在区分背景和异常以及解释区域地球化学异常模式中可提供十分有用的信息。中国从20世纪80年代中期开始矿床模型的建构工作,如欧阳宗圻等人^[24]建立了 Cu、Mo、Pb、Zn、Au 等15个矿床的地球化学异常模式,这种异常模式具有指导异常评价的作用。张本仁^[25]提出,首先要将成矿的地质因素、环境和条件转化为地球化学因素、环境和条件,然后再将成矿的地球化学因素、环境和条件转化为异常评价的标志和参数,从而使异常评价工作摆脱了单纯就异常评价异常的局限。邹光华等^[26]开展了中国主要类型金矿床综合方法找矿模型研究,并首次建立了

中国几种主要类型金矿中一批典型金矿床的找矿模型,从中总结了寻找各类金矿的找矿标志、评价指标及找矿方法组合,并以模型为指导开展了金矿异常评价与预测工作。吴承烈等^[27]研究建立了中国主要类型铜矿勘查地球化学模型,对一些成矿带铜的地球化学异常评价进行了探索。谢学锦等^[14,15,28]对区域和全球地球化学模式进行了研究。但应该说,对于区域化探异常的评价,建立矿田级地球化学找矿模型才更有实用意义。史长义等^[29]提出区域化探异常结构模式,以异常结构和地质特征结构来反映成矿的地球化学环境和地质环境,从而指导异常评价。周乐尧等^[30]提出运用系统核和核度理论评价化探异常,认为矿(化)体和矿化引起的异常是一个完整的异常系统,矿化(成矿主元素)是异常系统的核,评价异常就是寻找异常系统的核。

以上这些研究(思路)表明化探工作者异常评价的视野逐步开阔,更加注意引入新理论、新方法、新思维,异常筛选评价从仅孤立地研究局部异常转向了整体研究区域异常或更高层次,转向了更多信息的综合,且更注意研究异常与区域成矿地球化学环境和条件的关系。这种思路既从区域化探扫描结果出发研究异常本身的特点及其空间展布规律,又研究分析各种控矿因素(构造、地层、流体、岩浆岩等)对成矿远景的贡献(如提供物源、热源、水源、空间等),确立这些因素所反映的元素地球化学组合,再反过来为异常评价提供依据,这是区域地球化学与区域化探紧密结合的结果。这些评价异常的方法直接从控矿因素入手探求矿床生成和分布规律的地球化学表现和整体成矿环境,更能揭示成矿的实质,辨别非矿异常,因而更具科学性。但同时要求具有较高的地质-地球化学理论水平和综合思维能力。可以说,区域地球化学场研究是化探异常评价的基础,如何有效地筛选出与成矿远景有关的地球化学异常是化探异常评价的关键。元素的地球化学性质、异常元素的种类、规模、衬度、组合和分带是传统化探异常评价的最基本手段。

近些年来,人们又逐渐认识到表生地质作用(包括风化作用、搬运作用、沉积作用和生物地球化学作用)对区域地球化学异常评价的重要性,表生作用地球化学已成为化探异常解释和评价中的一个重要研究领域,因为在区域化探异常中,表生地球化学异常(次生晕和分散流)占据了绝大多数。国外普遍加强了对表生地质作用下元素地球化学行为和不同表生环境下元素分散富集规律的研究,把它作为沟通“原生异常”和“次生异常”的桥梁,目前,国外表生地球化学研究工作主要包括以下几个方面:①不同景观条件下元素表生地球化学作用特征研究;②表生带疏松物中元素赋存状态研究;③景观地球化学区划与景观地球化学方法技术的深入研究;④原生异常与次生异常之间的相互关系研究^[31]。中国在

这一领域的研究也有初步进展,在各景观区已进行了区域化探的方法试验^[32],并取得较好效果,这些都推动了区域地球化学异常评价研究的不断深入和进步。

2 区域地球化学异常评价中存在的主要问题及原因

区域化探异常包含的找矿信息丰富而又复杂,但现有的异常评价方法却缺少从成岩成矿系统的发展演化上去认识异常的表象与本质,只是简单地提取和利用异常本身的信息。

2.1 存在的主要问题

化探数据是背景、异常和误差三者之间的总和,大量研究表明影响元素背景含量的因素主要分为两大类:①物源因素,取决于岩性及其层位,表现为不同岩石类型或不同时代的同一岩石类型地球化学特征的差异;②表生作用因素,这主要与介质的酸碱度、氧化还原电位、吸附剂的存在有关,具体表现为 Fe、Mn 氧化物、粘土矿物和有机质对金属离子的吸附^[8,12]。这些因素相互作用、相互影响,而且共同受更高级的地质因素、地貌、气候、植被等制约。而传统的异常评价对表生地质作用对异常面积、强度等评价指标的影响重视不够,关于表生作用对背景的影响也不甚清楚。由于元素表生地球化学性状的差异,矿(化)体中的伴生元素(多为指示元素)会出现与找矿主元素异常分离,伴生元素之间也会出现异常分离现象,给异常评价带来困难^[33]。

传统异常评价中没有深入研究景观因素对异常的制约,因为一方面不同的景观区有不同的表生作用,另一方面地形、地貌、气候、植被等景观因素影响异常的发育程度,而且还缺乏对不同地理景观条件下矿化指示元素表生地质作用及其表生异常特征的系统对比研究^[12]。李长江等^[30]研究表明,地球化学景观是一个具有低维($D_2=2.9$)吸引子的混沌系统,这意味着地球化学景观在表生异常的形成、发育过程中可能还具有深刻的动力学意义。甚至可以说,不重视景观因素将导致表生异常评价的失败。

对异常形成机制和产生异常的地质-地球化学环境的研究有待加强,原生矿床中与成矿有关的元素具体遵循何种规律和途径转化和分散为表生异常的问题没有解决。表生异常的形成机制决定了表生异常的发育特征,也决定了表生异常对原生异常的继承性和表生改造分异性。可以说,在表生条件下轻视对异常形成机制的研究就失去了表生异常评价的基础。

另外,对于以找矿为目的的不同景观区表生地球化学异常的评价,目前还缺乏对表生地球化学异常分布及分散模式方面的深入研究,原生地球化学异常模式研究

相对较多^[8,26,34],而且缺少对原生晕模型和次生晕模型之间及土壤分散晕和水系分散流之间的关联研究。同时,从矿产种类上看,对于金异常的评价方法技术研究得较多,如相继出现了痕量相态分析技术、酶提取技术、地气法、因子协克立格法(FCK)、金本位法等新的金异常评价方法技术,而对铜、铅、锌、银、镍、钴、锑、钨、钼、锡等异常评价研究相对较少。

2.2 产生问题的主要原因

地球化学异常的形成是复杂的地质、地球化学作用长期发展演化的结果,每一个异常的发育程度都受到一系列相互制约因素的不同影响,诸如异常所处的地质背景、地理景观条件等。因此,产生上述问题的主要原因可归纳如下:

(1)对于元素在表生带内各种地质-地球化学过程中的迁移聚散规律研究不够,从而导致对表生异常的形成机理不明,不能准确地选择和使用有效的指示元素以评价异常。

(2)传统的异常评价方法仍较多地依据岩浆热液矿床的成矿成晕理论,关于表生地质作用对异常畸变的影响了解不够深入,照搬热液矿床原生异常的评价指标评价表生异常。

(3)传统的异常评价方法仅注重局部单个高值异常,对低缓异常重视不够,并仅依据高值异常的本身参数和已知矿化及地层分布情况进行评价,缺乏区域性的尤其是和区域地质背景、成矿环境、成矿规律相结合的深入分析与研究。

(4)地球化学异常评价过程中对异常形成的地质环境的研究相对薄弱。

3 区域地球化学异常评价的新思路和方法

对于以水系沉积物地球化学测量为主要手段的区域化探异常的评价,目前新的思路和方法主要是注重对表生地球化学作用和地理景观因素的研究,认为每一类地球化学景观都有其扩散晕形成的特定条件,气候和地理地质条件的统一是景观的特征。以美国、加拿大、澳大利亚为代表的西方学派注意对不同地质地理条件下成矿元素及其伴生元素表生地球化学迁移过程的研究,同时对偏提取技术的开发和应用给予极大重视^[35];前苏联学派偏重于景观地球化学理论与方法的研究,景观地球化学就是由原苏联学者 B. В. ЛОБИНО 在 1937 年首先创造的一门新的分支学科,该学派提出按不同的景观地球化学条件分别运用各自的元素表生迁移规律,研究异常形成的历史,并弄清异常形成的过

程,恢复异常发育史,从而在这些基础上有效地评价异常^①。事实上,这两个学派的研究虽各有特色,但他们的思路和方法都是表生地球化学研究中不可缺少的。在现今综合研究及资料二次开发过程中,应积极吸收这种新的思路和方法,注重对表生地球化学作用和不同景观地球化学条件下成矿及指示元素表生迁移规律的研究,从而在此基础上更好地评价表生异常,正如国际勘查地球化学家协会^②所指出的一样“勘查地球化学如果不革新技术,不在元素迁移机制的理论上下功夫,则将削弱产业界与学术界两面对它的信任”。因此,朱有光等^[9,12]在总结以异常本身特征作为主要评价依据的中国传统评价体系优、缺点的基础上,提出以异常形成机制分析为基础的系统分析方法,即“以系统论为指导,将成矿过程和表生过程作为一个整体,将原生异常模型和次生异常模型联系起来研究,以异常形成机制分析为基础,找出影响区域异常发育的关键因素,并采用相应的方法进行合理评序”的系统评价思路。尤其在对中国西北地区区域地球化学异常特征对比与评价的研究过程中,要十分重视基础地质地球化学、地理景观条件、矿床特征、主要成矿元素表生作用地球化学的研究和元素迁移规律、异常形成机制的探索,从而在此基础上建立表生地球化学异常评价指标体系。

区域异常评价的指导思想应是从地理景观、地质背景、地球化学 3 方面进行成矿元素表生异常特征对比的基础上,探讨异常形成机制,系统分析已知矿区表生异常发育的主要制约因素,以系统理念构建矿床地球化学模型,进而提取异常评价指标,按照综合信息评价异常的思路,建立定性与定量相结合的表生地球化学异常评价指标体系。同时,应注重理论联系实际和从已知到未知、从点到面的研究方法。根据这一思想,笔者对内蒙古敖格道仁诺尔地区的铜多金属异常进行了系统评价,通过对比表生介质中不同层位铜的不同赋存相态的变化,提出研究区地理景观条件、土壤结构类型、土壤环境的化学物理参数(Eh、pH等)、次火山岩体及铜的表生地球化学性质等因素可作为评价该区表生地球化学异常的关键指标,从而筛选出示矿异常,取得了较好的找矿效果^[36-38]。另外,同样通过对陕西勉(县)—略(阳)—宁(强)多金属矿集区区域地球化学异常的系统评价与优选,并借助 MAPGIS 技术,目前已发现了多处有望找矿异常,部分已得到验证。因此,随着表生地球化学异常评价模型及评价指标量化技术研究的不断深入,坚持地质、地球化学与化探理论和方法之间的紧密结合,利用多种途径建立表生异常与原生异常之间的信息关联,重视新方法技术的引入和定量指标的应用,区域地球

化学评价定会在信息找矿时代发挥更大的作用。

地球化学异常评价与综合研究工作应坚持野外检查取样、室内分析测试、资料整理分析密切接合,从定性研究着手,先对不同景观区表生地球化学异常特征进行系统对比分析,研究矿化指示元素在原生带和表生带不同介质中的赋存相态、相对比例,总结其在不同景观环境下的迁移聚散规律,并在此基础上分析表生异常形成机制,而后剖析控制异常发育的各种内、外因素,探讨其对表生异常评价的意义,进而选择异常评价指标,逐步过渡到定量研究,建立初步的表生地球化学异常评价指标体系。国外已研制了有助于以采取风化层样品为基础的勘查地球化学测量设计与解释的景观地球化学模型^[39],可以说,只有在这些异常模式、成因机制等研究不断深入的基础上,对传统的地球化学异常“分散晕”理论有所创新,与地球表层系统研究相结合,不同景观地球化学条件下区域地球化学异常的评价才能有大的突破!

勘查地球化学的关键是正确评价解释地球化学异常,目前,80%以上的地球化学找矿样品取自表生带内,而对于表生地球化学异常的评价长期以来是个难题。世界上每年通过勘查地球化学工作发现数以万计的表生地球化学异常,但只有很微小的一部分通过异常评价、验证而得出定论,大多数仍处于搁置状态。同类矿床在不同景观条件下具有明显不同的表生地球化学异常,对这类表生异常的评价方法技术目前尚处于探索阶段,开展不同景观区表生地球化学特征的系统对比研究,并在此基础上,大力引进计算机技术,构建不同景观区表生地球化学异常评价指标体系,同时建立以 GIS 为信息平台的区域地球化学异常定量评价系统,这无疑对于推动区域表生异常评价方法技术的进步,提高化探异常评价水平和化探找矿效果具有重要的意义。而且,这也正是新世纪勘查地球化学理论和实践发展所必需面对的挑战。

参考文献(References):

- [1] 任天祥,李明喜,徐耀先,等.高寒山区表生作用地球化学特征及区域化探方法的初步研究[J].地质评论,1983,29(5):428~436.
Ren Tianxiang, Li Mingxi, Xu Yaoxian, et al. A preliminary study of hypogene geochemistry and regional geochemical exploration techniques in high-cold mountainous regions [J]. Geological Review, 1983, 29(5): 428~436 (in Chinese with English abstract).
- [2] С.Д.м Б А Р Т С Е В. 次生晕和分散流地球化学普查结果定量解释的新原理[R]. 邱郁文译.见:中国地质矿产信息研究院.国外区域化探异常筛选和评价方法(化探资料选编之十一),1993, 46~49.
Bartsev, S D sh., New principle of quantitatively interpreting geo-

① 吴传壁,施俊法.国外区域化探异常评价方法,1994.

② 国际勘查地球化学家协会.勘查地球化学调研报告,1991.

- chemical reconnaissance results from secondary halo and dispersion flow (in Russian)[R]. Qiu Yuwen Trans. In: China Institute of Geology and Mineral Resource Information (ed). Method of Selecting and Estimating Regional Geochemical Anomalies in Foreign Countries (Selected Paper of Geochemical Data, Vol.11), 1993, 46~49(in Chinese).
- [3] 吴传璧. 勘查地球化学的发展与展望[J]. 地质科技动态, 1989, 23: 1~10.
- Wu Chuanbi. Development and prospect of exploration geochemistry[J]. Trends of Geological Science and Technology, 1989, 23: 1~10(in Chinese).
- [4] 任天祥, 伍宗华, 汪明启. 近十年化探新方法新技术研究进展[J]. 物探与化探, 1997, 21(6): 411~417.
- Ren Tianxiang, Wu Zonghua, Wang Mingqi. Developments of studying new method and technique of geochemical exploration in recent decades[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1997, 21(6): 411~417(in Chinese with English abstract).
- [5] 赵一阳, 鄯明才, 李安春, 等. 中国近海沿岸泥的地球化学特征及其指示意义[J]. 中国地质, 2002, 29(2): 181~185.
- Zhao Yiyang, Wu Mingcai, Li Anchun, et al. Geochemistry of muds along the coast of China and their significance[J]. Geology in China, 2002, 29(2): 181~185(in Chinese with English abstract).
- [6] 邹林, 彭省临, 杨自安, 等. 青海阿尔茨托山地区地球化学(异常)场的多重分形研究[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 436~441.
- Zou Lin, Peng Shenglin, Yang Zian, et al. Multifractal study of geochemical(anomaly)fields in the A'ercituoshan area, Qinghai[J]. Geology in China, 2004, 31(4): 436~441(in Chinese with English abstract).
- [7] 孙忠军, 任天祥, 向运川. 西藏冈底斯东段成矿系列区域地球化学预测[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 105~112.
- Sun Zhongjun, Ren Tianxiang, Xiang Yunchuan. Regional geochemical prediction of the minerogenic series in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet[J]. Geology in China, 2003, 30(1): 105~112(in Chinese with English abstract).
- [8] 王瑞廷. 不同景观区金、铜表生地球化学异常特征对比及其评价指标体系的研究(硕士学位论文)[D]. 武汉: 中国地质大学研究生院, 1999. 1~108.
- Wang Ruiting. The study on characteristics contrast of gold and copper's supergenic geochemical anomalies and its evaluating index system[D]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1999. 1~108(in Chinese with English abstract).
- [9] 朱有光, 蒋敬业, 李泽九, 等. 试论中国重要景观区区域地球化学异常系统评价的量化模型[J]. 物探与化探, 2002, 26(1): 17~22.
- Zhu Youguang, Jiang Jingye, Li Zejiu, et al. Primary discussion on quantitative model of system evaluating regional geochemical anomaly in important landscape area, China[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 26(1): 17~22(in Chinese with English abstract).
- [10] Plant J A. Development in regional geochemistry for mineral exploration[J]. Applied Earth Science, 1988, 97L: 116~140.
- [11] 王学求. 矿产勘查地球化学: 过去的成就和未来的挑战[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 239~248.
- Wang Xueqiu. Mineral resources exploration geochemistry: last achievement and future challenge[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1): 239~248(in Chinese with English abstract).
- [12] 朱有光, 李泽九, 胡以铿, 等. 区域地球化学异常系统评价的思路与方法[J]. 地质科技情报, 1997, 16(2): 97~103.
- Zhu Youguang, Li Zejiu, Hu Yikeng, et al. Thoughts and methods of system evaluating regional geochemical anomaly[J]. Geological Science and Technology Information, 1997, 16(2): 97~103(in Chinese with English abstract).
- [13] 谢学锦. 快速评价与筛选多元素地球化学异常的计算机系统(RESMA 系统)[J]. 地矿部物化探研究所所刊, 1990, 4: 181~222.
- Xie Xuejin. Computer system of rapidly evaluating and selecting multi-elements geochemical anomaly(RESMA system)[J]. Bulletin of Geophysical and Geochemical Exploration Institute of Ministry of Geology and Mineral Resources, 1990, 4: 181~222(in Chinese with English abstract).
- [14] 谢学锦, 刘大文, 向运川, 等. 地球化学块体——概念和方法学的发展[J]. 中国地质, 2002, 29(3): 225~233.
- Xie Xuejing, Liu Dawen, Xiang Yunchuan, et al. Geochemical blocks—Development of concept and methodology[J]. Geology in China, 2002, 29(3): 225~233(in Chinese with English abstract).
- [15] 谢学锦. 全球地球化学填图[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 1~9.
- Xie Xuejing. Global geochemical mapping[J]. Geology in China, 2003, 30(1): 1~9.
- [16] 张德存. 运用地质-地球化学量化综合信息评价南秦岭东段区域化探异常方法及效果[J]. 湖北物化探, 1997, 39: 6~14.
- Zhang Decun. Method and effect of evaluating regional geochemical anomaly in eastern section of South Qinling by geology and geochemistry quantitative comprehensive information[J]. Geophysical and Geochemical Exploration in Hubei Province, 1997, 39: 6~14(in Chinese).
- [17] 冯济舟. 化探异常“动态”筛选法[J]. 物探与化探, 1998, 22(7): 153~157.
- Feng Jizhou. A method of selecting geochemical exploration anomaly in dynamic state[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 22(7): 153~157(in Chinese with English abstract).
- [18] 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.
- He Zhenyi. Selection and investigation of geochemical anomaly in low hill district of North Sichuan plateau, China[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2000, 24(2): 138~145(in Chinese with English abstract).
- [19] 李武俊, 唐开金. 区域化探异常研究方法探讨[J]. 陕西地质,

- 1991, 9(1):57~67.
- Li Wujun, Tang Kaijin. Discussion on method of researching regional geochemical exploration anomaly [J]. *Geology of Shannxi*, 1991, 9(1): 57~67(in Chinese with English abstract).
- [20] 李长江, 麻士华, 徐有浪. 地球化学景观吸引子的发现及其意义 [J]. *浙江地质*, 1995, 11(1):86~90.
- Li Changjiang, Ma Shihua, Xu Youlang. Discovery of geochemical landscape attractor and its application [J]. *Geology of Zhejiang*, 1995, 11(1):86~90 (in Chinese with English abstract).
- [21] Govett G J S. Exploration geochemistry in some low-latitude areas—problems and techniques [J]. *Applied Earth Science*, 1987, 96:97~116.
- [22] 王桂琴, 徐文妍, 李衡等. 区域化探异常评价方法研究进展 (I) [J]. *矿产与地质*, 2002, 16(2): 105~108.
- Wang Guiqin, Xu Wenxin, Li Hen, et al. Method researching development of evaluating regional geochemical exploration anomaly (I) [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2002, 16 (2): 105~108(in Chinese with English abstract).
- [23] Qiumin Cheng, Agterberg F P. 地球化学异常分离的空间分析法[A]. 江云华译. 见:地矿部物化探研究所, 物探化探译丛, 1998, 5:46~56.
- Qiumin Cheng, Agterberg F P. Space analytical method of separating geochemical anomaly [A]. Jiang Yunhua Trans. In: *Geophysical and Geochemical Exploration Institute of Ministry of Geology and Mineral Resources* (ed.). *Geophysical and Geochemical Exploration Translation Collection*, 1998, 5:46~56(in Chinese).
- [24] 欧阳宗圻, 李惠. 典型有色金属矿床地球化学异常模式[M]. 北京: 科学出版社, 1990.1~98.
- Ouyang Zongqi, Li Hui. *The Geochemical Anomaly Model of Typical Nonferrous Metal Ore Deposits in China* [M]. Beijing: Science Press, 1990.1~98(in Chinese with English abstract).
- [25] 张本仁, 陈德兴, 李泽九, 等. 陕西柞水—山阳成矿带区域地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 162~171.
- Zhang Benren, Chen Dexing, Li Zejiu, et al. *Regional Geochemistry of the Zashui—Shanyang metallogenic Belt in Shannxi Province* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989.162~171 (in Chinese with English summary).
- [26] 邹光华, 欧阳宗圻, 李惠, 等. 中国主要类型金矿床找矿模型[M]. 北京: 地质出版社, 1996.1~199.
- Zhou Guanghua, Ouyang Zongqi, Li Hui, et al. *Prospecting Model of Main Types of Gold Ore Deposit in China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.1~199(in Chinese with English summary).
- [27] 吴承烈, 徐外生, 刘崇民. 中国主要类型铜矿勘查地球化学模型 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.2~4, 192~193.
- Wu Chenglie, Xu Waisheng, Liu Chongmin. *Exploration Geochemical Model of Main Types of Copper Ore Deposit in China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 2~4, 192~193(in Chinese with English summary).
- [28] Xie Xuejing, Yin Binchuan. Geochemical patterns from local to global [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1993, 47:109~129.
- [29] 史长义. 福建紫金山陆相火山岩型金矿田区域地质地球化学异常结构模式 [J]. *物探与化探*, 1996, 20(3): 180~188.
- Shi Changyi. Regional geology and geochemistry anomaly structure model of continental volcanic rocks type of gold ore field in Zijin Mountain, Fujian Province, China [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 1996, 20 (3):180~188 (in Chinese with English abstract).
- [30] 周乐尧, 邱郁双. 一种新的化探异常评价方法 [J]. *浙江地质科技情报*, 1997, 2:33~36.
- Zhou Leyao, Qiu Yushuang. A new method of evaluating geochemical exploration anomaly [J]. *Geological Science and Technology Information of Zhejiang*, 1997, 2:23~36(in Chinese).
- [31] 王瑞廷, 欧阳建平. 表生地球化学的研究现状及进展 [J]. *矿产与地质*, 2001, 15(6):121~125.
- Wang Ruiting, Ouyang Jianping. Present situation and development of studying on supergenic geochemistry [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2001, 15 (6):121~125 (in Chinese with English abstract).
- [32] 任天祥, 伍宗华, 姜荣生. 区域化探异常筛选与查证的方法技术 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.4~21.
- Ren Tianxiang, Wu Zonghua, Jiang Rongsheng. *The Method and Technique of Selecting and Investigating Regional Geochemical anomaly* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.4~21 (in Chinese with English abstract).
- [33] 孙辉, 汪治国. 区域化深异常快速检查评价工作若干问题浅析 [J]. *地质与勘探*, 1997, 33(4): 41~45.
- Sun Hui, Wang Zhiguo. Preliminary analysis of some problems of rapidly evaluating and investigating regional geochemical anomaly [J]. *Geology and Prospecting*, 1997, 33(4):41~45 (in Chinese with English abstract).
- [34] 陈福. 区域化探异常评价新方法 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 1998, 7(3):172~177.
- Chen Fu. New method of evaluating regional geochemical anomaly [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1998, 7(3): 172~177(in Chinese with English abstract).
- [35] Boyle R W. The prospect for geochemical exploration—predictable advances and new approaches [J]. *J. Geochem. Explor.*, 1984, 21 (1): 1~18.
- [36] 王瑞廷, 欧阳建平, 蒋敬业. 表生介质中铜的赋存相态研究——以敖格道仁诺尔铜多金属矿(化)区为例 [J]. *矿物学报*, 2002, 22 (1):30~34.
- Wang Ruiting, Ouyang Jianping, Jiang Jingye. Study on the copper's existing phase in supergenic media exemplified as Aogedaoren copper poly-metallic ore deposit region [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2002, 22(1):30~34 (in Chinese with English abstract).
- [37] 王瑞廷, 欧阳建平, 蒋敬业. 内蒙古东部半干旱草原残丘景观区铜等金属元素表生地球化学异常特征及其评价指标体系的初建 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 1999, 8(6):590~594.
- Wang Ruiting, Ouyang Jianping, Jiang Jingye. Supergenic geochemical anomaly character of copper multi-metal elements and

primary establishment of its evaluation index system in semiarid prairie monadnock landscape region, eastern Inner Mongolia [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1999, 8(6): 590~594 (in Chinese with English abstract).

[38] 邹长毅,史长义.五龙沟金矿区域地球化学异常特征及找矿标志

[J].中国地质,2004,31(4):421~423.

Zou Changyi, Shi Changyi.Characteristics of regional geochemical anomalies and ore indications in the Wulonggou gold deposit [J]. Geology in China,2004,31(4):421~423 (in Chinese with English abstract).

Facts and problems of the evaluation of regional geochemical anomalies

WANG Rui-ting^{1,2}, MAO Jing-wen^{1,3}, REN Xiao-hua²,

WANG Jun-yi², OUYANG Jian-ping⁴, YUAN Bing-qiang⁵

(1. Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals in Northwest China, Xi'an 710054, Shannxi, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. Faculty of Geosciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

5. Center of Development Research, China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract:Regional geochemical anomaly evaluation is a major problem which exploration geochemistry has faced for a long time. Now, there are mainly eight conventional methods for evaluation, such as the geological-tectonic unit evaluation method and multi-elements quantifying evaluation index method. By using these anomaly evaluation methods, we fail to have a good understanding of the superficial appearance and essence from the development and evolution of the petrogenetic and metallogenic system, and the constraining of anomalies by supergene factors, genetic mechanism of anomalies and geological-geochemical environment produced by anomalies are less studied and only the information of the anomaly itself is extracted and used. Therefore, the study of the phase states of occurrence and relative proportions of ore-forming and mineralized indicator elements in different media of the primary and supergene zones, summing-up of the characteristics of element migration, accumulation and dispersion in different environments, analysis of the genetic mechanism of supergene anomalies on that basis, systematic anatomy of various internal and external factors controlling anomaly development and further selection of indices for regional anomaly evaluation and establishment of a combined qualitative and quantitative regional anomaly evaluation index system are a new concept for evaluating regional geochemical anomalies.

Key words:regional geochemical anomaly; anomaly evaluation; supergene geochemistry; problem; new method

About the first author:WANG Rui-ting, male, born in 1969, doctor, senior engineer mainly engages in the study of geochemistry of metallic mineral deposits and mineral exploration; E-mail: wrtyf@163.com.