

地质矿产信息研究成果 (10-1)



国外区域化探异常 筛选和评价方法

(化探资料选编之十)

(上)

地质矿产部科学技术司
中国地质矿产信息研究院

一九九二年十二月

前 言

本选编是配合地矿部“八五”重点攻关项目《区域化探异常筛选和查证技术研究》而编译的。

从近期的国外化探文献来看,世界各国对于区域化探的工作方法日趋成熟,但都面临着如何有效地筛选、评价地球化学异常的问题,各国都以其为主要的攻关目标。从西方和前苏联展示的成果来看,对于区域化探异常评价以下几方面值得注意:(1)矿产勘查的地球化学工作从寻找和评价局部异常扩展到区域性地球化学资料揭示成矿背景因素,进而与其它方法和资料综合进行成矿预测和普查;(2)重视不同等级成矿客体的地球化学异常研究;(3)利用主成分分析、稳健回归技术对异常进行背景的校正,提高弱异常的评价水平;(4)异常评价趋向于定量化、综合化。在这种情况下,认真地总结我国化探异常评价的经验,分析国内外工作差距,取其之长为我所用,这对我国今后化探工作是有益的。

我们把 В.М.Питулько 等人的文章放在本书的前面,该文章详细总结了前苏联及世界各国化探资料解释现状;提出必须把地球化学工作从处理数据和解释异常转变为概念模型的建立和检验,使地球化学场的整体(不是单个异常)与成矿系统形成的基本成矿作用问题和地球化学问题统一起来;阐述了建立不同等级成矿系统的地球化学异常模型的重要性,并指出了建模内容。И.З.Мессерман 的文章正是体现了这一思想,将系统论方法引入到地球化学异常评价中。

J.A.Plant 等人的文章指出了一个重要问题,即加强基础地球化学研究,揭示区域成矿规律,建立成矿作用的地球化学模型,然后将控矿因素置于整个区域地球化学背景来考虑,进而评价化探异常。

C.Y.Chork 和 P.J.Rogers 的文章表达了这样一种思路,即化探数据是背景、异常和误差三者之间的总和,而背景则可通过地质环境来确定。研究表明使背景波动的主要控制因素是源岩的性质,通过背景的校正可以增强某些异常,这对弱异常的评价具有十分重要意义。实现这种校正需要使用主成分分析和多元回归技术,同时也表明西方国家对稳健统计学的研究还颇为盛行。

本选编收入的 D.P.Harris 和 G.C.Pan 的二篇论文,基本代表了西方国家地球化学异常综合定量评价的方向,文中强调了在建立矿床成因模型基础上抓住主要的控矿因素,将这些因素用地质、物探、化探数据表现出来,然后用逻辑斯蒂模型进行定量综合评价。他们还在水系沉积物地球化学异常的位移作了校正,并针对因子分析模型的缺陷提出 P_{jk} 模型来研究元素共生组合。J.A.Sinclair 总结了概率图在地球化学异常下限研究中的应用,并强调地质-地球化学模型与数学模型相一致的重要性;而 P.M.Green 等人的文章则将重点放在化探数据的图象处理的方法研究上,突出了地质、物探、化探数据通过图象处理来达到综合的目的。值得指出的是,尽管本选编尚未收入有关地理信息系统(GIS)的文章,但国外利用 GIS 来处理化探数据是极为常见的。

А.И.Бураго 的文章基本反映了前苏联近年化探数据定量评价和自动化评价系统的特点。前苏联十分注意建立以计算机为基础的自动化评价系统如 ГЕОСКАН,这些研究都基于二点基本假设(1)化探数据为一个矢量,它具有空间方位;(2)成矿元素浓度在空

间上是连续分布的，他们使用一些线性方程组来揭示地球化学场的三度空间结构，这是值得注意的一个动向。

西方国家的化探人员十分注意将水系沉积物测量与重砂、重矿物资料相结合，充分挖掘找矿信息（如 K.D.Karen 等，1992），尽管国内也有此做法，但工作远不如他们做得系统。我们曾在选编六中介绍过前苏联“多元场法”，本选编收入了前苏联有关多元场法的最新成果，供读者参考。此外，前苏联十分注意原生和次生地球化学异常的关系研究，这对区域化探异常评价具有十分重要意义，这将在下一期中加以介绍。

由于我们水平所限，译文中所用的某些术语和译法难免有不当之处，敬请读者指正。报道室的纪忠元同志、中国科学院南海海洋研究所周蒂同志为本书的编译承担了部分校对工作，魏智如同志清绘了本书中部分图件，特此致谢！

《国外区域化探情报调研组》

1992.11.20

附：《国外区域化探异常筛选与查证方法的情报调研》课题组名单

负责人：吴传璧 施俊法

成 员：邱郁文 陈玉明 程席法 毕德启 施俊法 吴传璧

目 录

前言

勘查地球化学资料解释的现状和未来.....	(1)
在系统分析的基础上划分和筛选地球化学异常的方法	(10)
区域地球化学和成矿区的鉴别: 来自 Pb-Zn-Ba、Sn-U 和 Au 矿床的有关 实例	(14)
化探中最小二乘中位数回归的评价	(24)
通过对加拿大新斯科舍省科伯奎德高地地表地球化学数据进行汇水盆地分析 来增强异常	(29)
美国内华达州和加州图区内异常源和地球化学指标的定量研究	(32)
美国内华达州和加州图区低温热液 Au-Ag 矿床的一致地质区: 定量方法圈 定	(42)
异常地球化学场的形式化模型	(57)
地球化学与地质综合信息的数字图象处理	(69)
勘查地球化学中异常下限估算的基本方法: 再谈概率图	(76)
美国阿拉斯加北部布鲁克斯岭中部地区踏勘性地球化学: 以沉积岩为容矿岩 石的锌-铅-银矿床的勘查	(85)
地球化学场的多元分析	(98)

勘查地球化学资料解释的现状和未来^①

В.М.Пигулько 等

在保证矿物原料基地现今发展的预测-普查组合中,地球化学工作是占据主导地位的工作之一。在地质勘探过程的所有阶段上,它的作用都在稳定地提高,但在其前期阶段(区域地质调查阶段、大比例尺地质测量及一般性普查阶段、普查阶段)内具有特殊的意义,因为正是在这些阶段获得的成果,将用于下一步将耗资数百万的决策的论证;正是在这些阶段上要预测资源量作评价和推算,并将它转化成储量;正是在这些阶段上要可能对可能的开采客体作出综合评价(包括生态预测)。区域性预测评价和局部成矿区段的划分,主要是借助地球化学资料进行的。

每一阶段地质勘探工作的基本目标,那是要以最小投资在最短期内使资源量有最大的增长,而地球化学工作完全符合这种要求。正如实践所表明的,地球化学工作可以使下一阶段的工作面积缩减80-90%。事情的成败取决于上述每一阶段的预测-普查任务是否能有效地完成,即能否在区域测量阶段有根据地划分出成矿区和矿结,在1:5万地质测量中有根据地划分出矿田和矿床,在1:1万或更大比例尺的普查中有根据地划分出矿床和单个矿体。但是,由于旨在发现矿体的资料解释基础尚不完善,对一些主要的阶段来说,诸如预测资源量等达不到应有的接近度。

地球化学工作至今仍是为数不多的未来建造分析和系统分析的思想和方法渗透进来的应用地质学领域之一。与此同时,应用地球化学又是地质学中以规范和标准形式实际应用数学方法的唯一分支。这些规范和标准使计算手段在基本制图工作中得到了例行的应用(用参数统计方法确定背景值,计算异常的金属量、带矿系数和强度,等等)。为了提高地球化学工作的效果,必须把工作从处理数字和解释异常,在能把地球化学场的整体(而不是单个异常的)分析与成矿系统形成的基本成矿作用问题和地球化学问题统一起来的前提下,转变为概念模型的建立和检验。对于地球化学数据解释的改进来说,重要的是要能察觉到系统的每一个级次上是否有“成矿相貌”的矿物-地球化学指示标志(包括一定成分的地球化学异常)出现,正是这一点决定着作为普查标志的整套异常的信息度,因为这样一套异常相互组成了规律性的结构,并反映着地质区场的特征。

地球化学工作包括:

岩石和地质体的地球化学调查;

对整个测区的地球化学普查;

详细工作(并按相应级次的精确度评价预测资源量)。

但是,在大比例尺地质测量工作中,尤其是作深部填图时,地球化学调查和地球化学普查之间的界线已经是相对的了,因为基岩地球化学调查已直接具有普查意义:它可以从

^①本文为В.М.Пигулько等所著《勘查地球化学资料的解释原理》的第一章(勘查地球化学资料解释的现状)和最后一章(结论)合并而成。标题系为编者所加。本文系统地总结了前苏联和世界各国化探资料解释现状,并提出了一些新的方向,是值得深思的。

整体上划分出矿田晕和矿床晕。通过这种独立方式获得的以数字形式表示的地球化学数据，有助于对测量和普查客体作出最充分的描述。

地球化学工作包括多种形式的岩石化学方法（基岩和疏松沉积物采样，对其各个粒级和矿物相采样），以及水化学方法、生物地球化学方法、气体地球化学方法和同位素方法。这些方法各具有其不同能力，决定着它们的地质效果和经济效果。但是，对岩石化学取样来说，地质情况和地球化学情况之间有着最密切的联系，因此在地球化学工作中，岩石化学方法占绝对优势，在苏联的许多地区和苏联以外国家都被成功地采用。在每年圈定的异常地段数量方面和在关于矿床分布规律的信息量方面，岩石化学调查和普查往往超过所有其他普查和测量方法。

对地质介质和表生带天然物体的某些组分作批量取样，乃是地球化学工作的基础，这样做可以解决多方面的问题：各个地质体和地质过程的描述（包括对矿产预测资源量作定量评价），以及确定它们在所研究的面上和剖面上的几何参数。这些问题可以归并成两类：①描述岩石、地质体和构造的地球化学特征，以便对它们进行划分和对比，恢复其形成条件，追索其界线，必要时对其作填图；②对含矿地质体、远景区和局部呈矿现象作普查和定量预测。

地质勘探工作的实践证明，借助数理统计方法解决第一类课题是合适的。对于第二类课题来说，这种方法就不能那么肯定合适了，因为可用来从地球化学数据中获取有关工业客体的坐标、参数和性质的信息，对地球化学场作研究的数学手段多种多样，从直观的综合整理和解释法到自动化处理系统都可供使用。

尽管不同类别的课题（例如确定大型成矿构造对给定类型矿产的远景与确定最佳取样网格）都有其多方面性和表面上的差异，但所需求解的内在实质都是根据多元指标的某种分类程序。它涉及到地球化学场图形表述的直观醒目，异常的划分，异常成因的确定，地质体化学成分形成规律的研究，拟划分客体预测资源定量评价等问题。有许多数理统计方法无论对解决“建造”地球化学问题还是对解决普查地球化学问题都是通用的。只是在数学方法的使用中，即建立处理原始数据的操作程序中会有所差别。因此，在应用地球化学中采用数学方法的问题需要作专门的探讨，地球化学工作最终结果的正确性，在很大程度上取决于数学处理的效果。

地球化学工作的传统做法是：多标志数据的收集——确定客体的几何特征——具体地质体预测资源量的评价，而相应的工作程序是：①分析前人工作和超前工作的资料；②对整个研究区进行地球化学调查和普查；③对普查结果作综合解释和估计划分出的潜在成矿构造的资源量；④研究远景地段；⑤对详查结果作综合解释和评价远景地段的资源量。各工序的衔接搭配视区域的地质—地球化学研究程度而定，而在第一、二、四步上应采用的方法组合，应根据地质构成的特点以及可抵达客体作直接观测和取样的程度来选定。在任何比例尺的地球化学工作中，劳动、时间和资金的投入结构是这样的：上述工作量主要在资料收集阶段上通常就大体完成，留给第三阶段和后面各阶段的时间很少，以致于预测—普查性解释工作只限于作一些简单的地质分析。

正如从工作程序应该看到的，超前工作、建立被研究客体和被评价客体的模型、普查方法组合、工作过程的预测和对所获得资料作预测普查性解释，都应是技术流程的组成部分。苏联和苏联以外国家的这些问题的现状在表1中作了说明。

表 1

普查技术研究制定的现状

技术流程的主要步骤	该步骤的目标和任务	研 制 现 状	
		苏 联	苏联以外国家
超前工作	建立预测—普查的地球化学基础, 评价矿物原料的潜力; 生态区划; 针对出露区和掩伏区论证矿物学—地球化学方法组合。	尚未制定出含矿构造的综合标志。以地球化学面为基础划分异常。选区的方法论和速度与普查本身没有差别。	已有了国家地球化学图册。对被观测场的整体进行综合解释。方法已专用化(稀网度, 对有有机质和矿物质等取样)。速度快。
不同级次成矿系统的模拟	提高模型与天然客体相符程度。建立各级成矿系统的物理—地球化学模型。各自然级成矿客体的标志的分类。	成矿区和矿田的模型尚未建立。现拥有交代岩建造、黑色页岩建造、黄铁矿建造和斑岩铜建造等成矿系统的模型, 以及矿床和矿体的模型。	成矿区和矿田的模型尚未建立。现拥有矿床的模型。
普查性地球化学工作	使不同级次成矿客体的普查方法和找矿标志相一致。要保证筛选掉 80—90% 的面积。针对出露区; 掩蔽区和都市化地区两壁方法。为地方单位的计算机编定程序。	已制定出矿体普查的方法学。在中央处理机上用类比法作机器预测。已有了按金属制定的预测—普查组合。数据库尚缺乏。	已很好地研究出了地球化学和地球物理方法相结合的工艺规程。各地方单位已计算机化。有自动化检索系统。拥有数据库。
快速预测与普查	取得成矿系统在物理—地球化学场中的典型形象。建立移动式普查测站。	除磁铁矿和放射性矿石外, 尚未制定出来。	以多道快速分析仪为基础已广泛采用。
预测—普查性解释	以客体的综合性特征为基础简化自动化操作方式。建立预测资源量的统计模型。估计工业资源量的比例。根据矿物学—地球化学资料和岩石化学资料编制成矿构造的图件。	已详细研究出适用于矿体晕的传统技术规程。拥有自动化系统。在所有阶段上都对预测资源量作定量评价。对不同级次的交代岩系统作了填图。	有以形式逻辑格式为基础的自动化系统。做了立体的物理—数学模拟。只在勘探阶段对预测资源量作定量评价。深入研究地球化学样品(粒级、矿物相等)。

超前工作对地球化学普查效果有巨大的影响, 因为它直接为预测—普查性调查打下了基础。目前的超前工作是 1:20 万分散流岩石化学测量, 有时配以 1:20 万水化学测量, 小比例尺地球化学填图(基岩填图, 1:50 万矿物学—地球化学填图, 1:2.5 万和 1:20 万航空伽马能谱测量), 区域性航空磁测和重力测量。国外及苏联以编制国家地球化学图册(网格为 10—100km²) 为目的的次生介质取样经验证明, 这类工作通过划分成矿区和矿结级的大型含矿构造为地质测量和普查计划提供地球化学保证, 因而是胜任适用的。对于苏联来说, 小比例尺地球化学研究阶段仍停留在书面上和口头上, 从而降低了普查速度, 妨碍了对普查数据作有效的系统整理。

小比例尺地球化学测量在已知采矿区无用和不会带来新的预测—普查信息的论点, 是以与(区内特有矿产的)矿体或矿床相对应的地球化学异常的规模和强度的概念为依据的。但这种论点不适于造岩元素的地球化学场, 它们可勾画出可能有弱矿化(包括非传统类型矿化)远景的大型含矿构造。国外(西德、英国、法国等)和苏联(后贝加尔、中

亚、北高加索等)的工作结果令人信服地证明,次生介质的小比例尺地球化学取样也有着很好的效果。人已尽知,在中国的地球化学图册中,有利用若干个实验室(用不同分析手段)的数据编制这些图件(针对底积物)的经验。取得了关于地球化学背景的资料,就会使其后工作的解释变得容易得多。

不同级次成矿系统成因模型的建立才刚刚开始。还没有成矿区、矿结和矿田的模型。在国外,许多矿床模型都利用了对流图解,它通常只描述了一次性过程,然而在地球化学普查实践中,到处都会观测到三个水平(区域、局部和细节水平)的背景。无论在苏联,还是在外国,只有为数不多的研究者把成矿作用放在统一的成矿系统内作为一个长期的和多阶段的过程来探讨。

预测-普查模型是综合运用各种普查方法和综合解释所收集到的资料的基础。预测-普查模型是对普查准则和客体标志的一种说明,而这种说明又以适合于选定的研究方法的形式(表、图、剖面、点群图等)表示出来。但是,建立某个具体标准矿床的预测-普查模型并不能解决整体性问题。只有在考虑到成矿系统的所有特征,而工业矿床仅是其一个组成要素的情况下,才可能提高模型与自然客体的相符程度。在这个方向上已走出了最初的几步(Григоров С.А.等, 1988; Питулько В.М.等, 1988)。

地球化学普查的方法现状反映着旨在发现矿体的现有科学-方法基础的水平。苏联在原生晕、景观地球化学和表生上置晕以及地球化学填图研究方面的应用地球化学成就是人所共知的。但是,所查明矿点的现有方法远未完善。因此,在一个区域内的每一个研究阶段上,相当程度上都重复了前一阶段的工作,取样量的增加并未成比例地获得效果,因为不论预测和普查客体(矿结、矿田、矿床)都是用矿体存在的直接标志("矿致性"异常)来描述的。正如经验所表明的,提高普查工作信息度和可靠性的主要潜力,与矿物-岩石学资料和地球化学资料的综合运用、地方单位(直至分队)的计算机化、分析程序的自动化和计算机化普查系统的建立有关。

地球化学普查工作的慢节奏是使该类工作紧凑快速的主要障碍。在任何地球化学单位的工作中,分析工作占去室内工作时间的一半,余下的大部分时间则用于将数据转换成直观形式。因此在研究不同级次的成矿构造时,合理地利用快速分析仪器,便可以大大提高普查工作的机动应变能力(如果不要很快地从其中划分出某种有用组分的局部异常的话)。

普查资料的预测-普查解释是用现有的自动化系统(Регион, АСОИ-Геология, ГЕОСКАН等)完成的。所有这些系统都以自己的基本方式来实施类比法,也都带有自己的缺点(很难做到标准客体与被检验客体的条件等同),但做"无师"判别乃是一种随机过程,其效果好坏就要看数据结构的复杂程度和操作者的经验了。

地球化学资料包括典型的地球化学数据(所采样品总体的化学成分或用遥感方法(地面和航空伽玛能谱测量、核物理测量和其他测量)研究地表所得的化学成分的定量参数)和对这类数据所作处理得出的结果(构成地球化学指标体系的地球化学准则和标志)。有量度保证的地球化学数据表征着所研究地球化学场的强度和不均一程度(因取样密度不同,拟研究的化学场的变异水平是变化着的:由矿物水平到岩系水平)。在解释地球化学

①Б.С.科冈等,在电子计算机上模拟地球化学场的结构,吴传璧译,物探化探译丛,1992, №1

资料时，必须考虑到它们的下述特征。

1. 只有样品分析（测量）结果的总体才会含有地球化学场空间变异和随机变异的信息。抽样大小应能保证所得结论在统计上有稳定性（重现性），而取样密度则应与所研究客体的级次大小相适应。

2. 地球化学数据和指标有可积性（可综合性）的特点，决定着结论有接近性，而地球化学场的可相当性（эквивалентность），（岩石和地质过程不同，元素的浓度及它们之间的关系却相似），则决定着以地球化学场为基础建立起实际地质体的信息拷贝具或然性。重要的是要做到地球化学结论应包含对其可靠性的说明。

3. 利用地球化学数据时，结论的正确性取决于所采用的模型与自然客体间的一致性。

应用地球化学的所有普查和预测准则，均建立在地球化学场不同部分的化学元素及其组合分布的差异上。作对比的依据是一定面积内特有的元素含量的统计分布和空间分布特征：地球化学场的变化趋势及其结构，平均含量的水平及其变异性，异常的轮廓和强度，元素或样品组间的关系（相关性，自相关性）。

传统的普查标志是这样一类地球化学异常，它们与普查客体的关系已被矿物-岩石学资料所证实（在地质观察过程中发现了废矿堆，在浅坑样品和重砂样品中发现了有用矿物的碎屑，等等），这类异常已根据地质-地球化学和地球物理等综合资料用类比法作过论证，并有预测资源量的数字为佐证，并说明预期的和所研究的矿点有工业意义。反映着成矿系统结构规律的地球化学场的带状结构，正被作为一种现代的普查标准。

查明和评价地球化学异常的系统论的方法途径，乃是唯一适用的解决预测-普查问题的科学-方法学基础。系统论方法的显著特征，在于有可能发掘出制约着天然系统完整性和结构规律的事实，并且要查明天然系统各组成部分（岩石及在其中循环的流体）相互作用的机理和具体地质过程的能量来源。地球化学普查结果的解释不能只限于查明异常和计算其金属量，必须在异常中判断出从不同级次的晕的形式表现的矿产普查标志，同时要注意到“晕”这一概念的大小，是随着取样的详细程度而改变的：由成矿区和矿结的晕到矿床晕而到单个矿体的晕。观测网的形状和密度应当与普查客体的级次相适应，与地球化学工作的阶段性相一致。

要划分上述级次的成矿构造并评价其成矿性，必须采用新的技术手段（能把应研究的造岩元素包括进来）和计算工作的组织形式。在解释所收集到的资料时，必须遵循多级组织的原则，以逐次地解决下列问题：①不漏掉成矿作用的迹象；②确定它们的可能的性质；③定量地研究矿化的分布、成分和特征。前两个问题可通过使用带专用微机（目前尚未生产出来的 AMA-8 型微机和芬兰产的 X-MET 型微机）的多道 X 光谱仪来因地制宜地解决，第三个问题则需在配备高效率分析设备（电子显微镜、微探针、激光分析仪、X 荧光分析仪等）的区域中心实验室内解决。这类成套设备的生产效率（包括样品制备）为每年 20-30 万个分析（分析所有元素）。

解决地球化学工作典型课题的数据处理程序和解释所获结果的程序列于表 2，同时指出了每种常见情况所适用并经过充分验证的数学方法。最好按顺序先采用简单的（可得出主要且明显关系的）处理方法，然后采用较复杂的方法（以揭示数据的内部结构）。

目前，提供作验证的异常地段数目已可以大大缩减。这首先是由于对异常的地球化学

样品作了深入的实验室研究,从而可以综合利用矿物学-地球化学信息;其次是由于采用了将宏量元素的观测场与标准地球化学场作类比,并查明有用组分场在这类场结构中的位置,以及根据元素含量在整体上和各类客体内确定的分布律和标准的经验分布律一致等整套办法来识别远景客体。

表 2 解决地球化学工作典型课题的数据处理程序和解释程序

地球化学工作的课题类别	处 理 程 序		解 释 程 序	
	步 骤	方 法	步 骤	方 法
描述地质体、地球化学场及其各部分	分类, 频带滤波, 异常划分	编制直方图, 估计平均值和方差, 计算综合性指数	区划, 叠合, 查明组合	肉眼直观分析, 相关分析, 回归分析, 点群分析和因子分析, 多元场法
地球化学场的制图	滤波, 区划	将数据正规化并调整到网格站点上去, 计算拟填图参数	区划, 叠合, 识别	趋势分析, 傅立叶分析, 划分不同级别的异常
客体比较	滤波, 叠合	编制地球化学谱, 计算统计特征值和综合性参数	叠合, 识别	判别分析, 方差分析, 因子分析
地质体、场和客体分类	滤波, 随机化	描述客体的所有方法	叠合, 识别, 模拟	自动分类, 动态聚点法, 所有描述方法
划分远景区	频带滤波	计算统计特征值, 所有制图方法, 划分异常场	区划, 识别, 模拟	分析元素间的关系(相关, 回归等), 根据成套标志确定场的分级
评价预测资源量	滤波, 叠合	计算背景特征值	区划, 识别, 模拟	类比方法(金属量), 近似函数法, 直观推断法

尽管苏联应用地球化学普查方法已经有了半个世纪的经验,苏联领土的总体地球化学研究程度还是很低的。进行过 1:20 万岩石化学和水化学测量的面积约为 20%,而进行过 1:5 万岩石化学和水化学测量的面积不超过 8% (两种方法往往有同一些地区内采用)。此外,根据稀有元素矿物学、地球化学和结晶化学研究所的资料,在三分之二的已普查区域内进行的地球化学普查不符合现代的要求(分析灵敏度低,被分析元素的范围窄,没有监控,等等)。掩蔽区研究程度略高一些。例如在俄罗斯地台和哈萨克斯坦及中亚的主要采矿区,运积物盖层厚达 310 米的掩蔽区有 150 万平方公里,进行过岩石化学和水化学测量的面积约占其 13%。正如所指出的,所进行的地球化学工作都旨在查明由单个矿体造成的信号,因而很值得根据成矿系统地球化学场结构的新概念对现有的地球化学资料作重新解释,这样就可以回过头来查明矿化作用微弱的新的潜在成矿区。

由此可见,改进地球化学工作的解释基础的必要性非常明显。作为这种改进的依据,作者提出如下的论点。

1. 内生矿产的地球化学场具有一些共同的特征,这些特征不因围岩时代、矿化地质环境和元素组合的差异而转移,而是岩石圈中热-物质转移过程的结果。

2. 矿质富集过程是由一个水平到另一个水平阶段发育的。成矿系统的分级是常规

地质作用自然而然的结果。与成矿系统分级相对应，地球化学场的分级也是客观存在，是必要的普查标志，而解释程序就是要查明这种标志。

3. 成矿系统的含矿性取决于其结构的复杂程度和聚矿因素的表现强度。

矿床的形成取决于矿质运移条件和沉淀条件的共轭性。要满足许许多多的条件才能形成矿床，只要其中的一个条件得不到满足，就形成不了矿床。例如所推断的含矿构造没有达到凭经验总结出的复杂程度，便足以作出否定的结论（其中包括表现微弱的客体）。

勘查地球化学资料解释的工艺规程同样应当按分级原则（逐步逼近原则）建立。只有通过研究地球化学场分级的道路，才可以将普查变成认识自然规律的一种工具，才可以超越对研究区含矿远景的或然性判断。

由于勘查地球化学在地质测量和地质勘探实践中的广泛应用，地球化学工作在组织和实施过程中存在缺点，已成为提高矿床预测和普查效果道路上的一个严重障碍。试图通过增加取样量的粗放办法来解决问题显然是没有出路的，在缺少合乎标准的小比例尺地球化学基础工作的条件下尤其如此。这种办法除了增加组织上、实验室和计算工作上的困难外，还会把地球化学方法搞得威信扫地。

很明显，普查工作效果取决于对所取得的合乎标准的数据作解释的水平。因此，为了确保能提高地球化学工作效果的强有力的方法出台，很有必要讨论结果解释的科学基础和实施方案。地球化学普查的真正科学基础，是关于存在着成矿系统的自然分级的系统论的概念。这些成矿系统是在地壳成分分异作用定向演化进程中矿质活化、运移和沉淀机理的共同性而联成一体。

普查工作科学基础的改变给解释工作提出了一个先前未曾探究的问题，即地球表面内生活表现最强烈地段的问题。正如我们试图说明过的，由于能量长期由深部到达这些地段，决定了地球化学场能稳定地自行组织成在空间上和统计上有序的、规律性的多级结构。因此，普查工作的进行方向是由成矿系统的发育的不可逆性给定的，如果要成功地形成成矿系统的普查标志，在解释时必须重复这种演化的方向。不能用与矿体晕相应的异常去表征高级次的晕（成矿区的晕、矿结晕、矿田晕和矿床晕）。这种情况不仅对解释工作是重要的，而且对取样也是重要的。传统网度是借助 бюффон 氏的针状矿体普查命题按有效性来估计的，这在作详细工作时是正确的。在其余的所有情况下，取样应发现的不是“针”，而是可能装着针的针盒和针合包装，因为针不可能存在于针合包装以外。例如，借助网格为 1km^2 的网度，发现矿田晕的概率为 1，发现矿床晕的概率为 0.63。由此可见，在每平方公里 5 个样品的密度下，1:5 万的一般性普查可以保证划分出矿田，且概率为 1。

元素、元素组合或由它们构成的其他指标的带状分布，是任何级次和任何矿石建造类型的异常地球化学场的最重要标志。向心性和离心性元素及指标在所有各级晕中的带状分布，都是同型的和普遍存在的。这是内生矿床与多级成矿系统（矿床形成为其最终发育阶段之一）的晕在形成原理上有统一性的结果。按照继承原理，内生系统地球化学场的这些标志将传递给它的外生异常。成矿系统组织原理的一致性，其分带特点的同型性和普存性，并不排斥在矿石—建造描述方面广泛存在的客体个性，而且这种个性随着范围的缩小而增强。在地球化学、地球物理和形态构造的反映方面，前两个级次（成矿区和矿结）的

表现最为雷同。

可以设想,利用本文设想的方法和原则,可以解决对表生矿床发育情况的普查标志过粗和过细作相对定量评价的问题。我们提出的内生成矿模型与现有成矿概念的显著差别在于:我们的模型探讨的是导致工业矿体形成的多级富集作用的普遍特征,而不是探讨具体矿体范围内一定物质成分的矿化的形成作用。就这一意义来说,该模型是普遍适用的,不难使之适用于具体的成矿建造。

我们提出了对潜在的成矿区、矿结、矿田和单个矿床作预测和定量评价的方法途径。此外,结构、物理-地球化学和矿物学-岩石学等方面的不均一体的分布规律,甚至它们的地表的投影规律,也可能有效地用于任何阶段的地质勘探工作。通过立体模型研究这些规律,还可以解决更多的问题。所探讨的论点的实际推论,正在超越内生金属矿床地球化学普查的范围,扩展到外生矿床和油气普查中去。

下列程序的实施应当能保证多循环式模型的方法学推论的采用。

- 1, 建立研究区的形态构造格式,并划分出与成矿的印刷规模相应的中心式构造。
- 2, 发现这一级次的物理-地球化学不均一性,查明划分出构造的矿物-岩石学特征和成矿特征,以及最普遍标志的有极式 (полярная, polar) 分带性。
- 3, 查明与划分出的不均一性相当的地质体和成矿区或成矿区域内的能量中心,并对现有资料进行成矿-建造分析。
- 4, 就成矿区级的所有上述构造作矿产 (普查对象) 的资源量预测。
- 5, 依照工作任务和现有的资料,在与矿结、矿田、矿床相当的印刷规模范围内重复上述程序。
- 6, 获取所缺资料 (主要是在远景地段做详细工作)。
- 7, 识别成矿构造:其特征是:所有级次均充分表现,强度高,有明显的有极式分带性,存在有利的资源量结构,具有有用组分的异常。

潜在成矿构造的物理-地球化学标志和形态标志的分带反映总是存在的,不知道的只是它们的复杂程度和组织规律,而后者会完整地或部分地在原始数据中表现出来,或者在数据的转换形式中表现出来。一个最重要的因素是要划分出控制着高阶次点群分布的一级构造。最大型构造在所有被研究的场 (包括地球化学场) 的规格化分量的主要特征上会有反映,在地球化学场中,会反映在宏量组分的有极式分带上。要适当强调的是,有极式分带性有各种各样的表现形式:如某种元素带入-带出场的比例,向心-离心元素组合场的比例,矿物和非矿物赋存形式的比例,高低温矿物和流体包裹体的比例,等等。

本书还对研究地球化学场及其来源的方法组合问题作了某种程度的探讨。磁法勘探、伽玛能谱测量、气体方法、岩石化学取样、矿物-岩石学方法和地质构造方法,都是预测-普查方法组合的基础。在普查-评价工作阶段需要细选合理方法组合,因为在这一阶段上,某种矿产的个性特征对其工业储量的评价有决定性意义。与此同时,十分明显的是,自然条件的变化,尤其是影响地球化学普查标志在次生介质中表现程度的变化,决定着预测-普查组合的基本形式需有变更。根据不同地质-景观环境中异常场地球化学标志的典型信息表现状况的数量,有八种改型方法组合就足够了。

不管本书读者选择何种获取研究区内有矿床存在的地球化学资料的方法,即选择传统方法或结构方法 (系统论方法,多级方法等),解释工作的技术规程都应当建立在逐步接

近目标的分级原则上。这一点虽然还未涉及加强普查工作的主要潜在方面，但已经可以缩减提交验证的异常数目，提高结论的可靠性。

采用新的解释原理的经济效果和预测—普查效果是非常明显的。因为根据标志组合来查明客体的实施是十分灵活机动的。往往用很简单的方案，采样工作量亦大大缩减。

邱郁文 译自《Основы интерпретации данных поисковой
геохимии》，Ленинград，“Недра”，1990，
5-15, 328-331

吴传璠 校

在系统分析的基础上划分和 筛选地球化学异常的方法

И.З.Мессерман

以普查和评价含矿区为目的的地球化学调查方法的广泛应用导致查明了大量地球化学异常，而检查这些异常则还要花费许多的物力和时间。由于定量评价问题研究得很差，在被查明的异常中只有百分之几的异常具有工业意义。因此，在普查工作和勘探工作的早期阶段上必须根据非常少的资料对大量的小矿点作及时的和可靠的剔除，以便把注意力集中在对含主要储量的工业矿床的研究和勘探上。但是，考虑到在大片的地球化学研究区内具工业意义的客体所占的面积不大，在地球化学工作的早期阶段查明矿床是困难的，提出这样的任务是不合适的。

只有在利用地球化学资料的统计处理方法对地球化学异常作系统的多级划分和筛选的基础上才有可能提高地球化学调查的效果。在莫斯科地质勘探学院的矿床普查与勘探教研室，目前在 А.Б.卡日丹的领导下正在研究这种处理方法。系统分析乃是研究内部复杂地质客体的一种方法，而这些客体则被看作是由一些并列从属的结构等级构成的一个系统。在地球化学调查中，矿体、矿带、矿床、矿田、矿结、成矿区都可以是这些系统。利用这种方法便可以在普查和普查-勘探工作的每一个阶段上将力量用到评价与整个含矿系统的一定等级客体相对应的异常上去。

地球化学场既含有规律性分量（空间坐标函数）又含随机分量的概念是这种方法的依据。被研究的含矿产物大小与地球化学样品的大小的不可比性和原始观测网度的不连续性导致了把原始数据看作随机值。某种地球化学标志在空间分布中不是不存在地质规律性，而是不存在互不重叠的有限影响范围的观测点之间的关系，上述情况则与此有关。

按滑动统计窗口的观测点确定原始数据的几何分布的情况下，通过借助趋势分析综合整理原始数据来确定规律性分量。这一方法是以计算以一定的重叠间距来移动的统计模块范围内标志的平均数并将每一个计算出的平均值标到模块中心的坐标上去为依据的。利用平均统计估计值可以使划分规律性分量的过程有代表性，并可以有依据地在计算点之间作直线内插。

在采用这种统计处理方法时的一个重要问题是选择统计窗口的尺寸。最低限度的尺寸取决于列入抽样的最低限度的点数，而估计值的均方差从这一点数开始实际上不再改变（15-25 个点）。模块的最大尺寸取决于不均一要索的几何规模。考虑到在面积上与统计窗口相当的不均一性最为灵敏，统计窗口的最佳尺寸应与不均一性要素的几何规模相当。

该方法的一个重要特点是可以划分出不同规模等级的地球化学异常。正如我们所知道的，地球化学场可由一个曲线形的趋势面来表示，而在给定等级上可以相对于该趋势面划分出异常，也就是说，关于含量的“异常性”问题与研究含矿产物的规模有关。这也就是说，对于这一矿床是正常的元素含量 X 而对于矿田来说却是异常的，如此等等。在所提出的方法中，所划分出来的不同结构等级的含量的规律性变化被认为是背景变化，而异常

点则作为随机分量，在考虑到标准离差的情况下根据原始数据与一定等级的规律性平均值之间的差计算出来的。划分不同等级的异常的方法使得在成矿客体范围之外无需进行背景抽样。

正如人们所知道的，具工业意义的成矿客体的一个重要标志是在研究成矿富集的所有等级上（从成矿省范围内的成矿区开始到矿田范围内的矿床为止）按顺序表现出来的含矿产物的套叠现象。所提出的方法使可以利用这一原则来将在含矿系统的其中某个等级上不曾显示出的个别异常剔除掉。

一个对金矿结的 1:5 万岩石化学测量资料作处理的实例可以说明所提出的方法的效果。该金矿结分布在中生代褶皱带的构造-岩浆活化区内，并处在不同方向的断裂交汇部位上。按通用的方法编制出的岩石化学图含有大量的不同规模、强度和形态的异常（图 1）。这些异常的划分往往以少数样品为依据，空间上的连结是根据主观资料进行的，因而是人为的。在实际上不可能指示出决定着这些异常在空间内的分布的某个方向的地质构造。

考虑到中比例尺的地球化学测量的主要任务是在矿结内划分出矿田，我们按所提出的方法对“矿结-矿田-矿床”这一系统作了研究。根据有关规模达数平方公里面积的矿床已知资料，选择出用于评价矿床这一等级的统计窗口。选择了 1 平方公里的统计窗口。评价通常具有数十平方公里面积的矿田时，使用 16 平方公里的统计窗口。评价矿结时，则相应地使用 100 平方公里的统计窗口。因为地球化学场的各向异性在作研究时通常是未知的，应当采用各向同性的方形统计窗口。

按标准网度获得的岩石化学测量的资料对于评价上述系统的各个等级客体来说是过于详细了。用 1 平方公里的统计窗口使这些数据平均化，并在工作中将所获得的含金量的平均参数作为原始参数进行研究。应当指出，这些平均参数是以 50-60 个地球化学样品的值为依据的。这就使得可以利用原始数据的较稀的方形网度。

利用 100km^2 的窗口编制出来的一个图件，反映出矿结这一等级客体金的分布规律，并可以划分出两个偏高浓度区。位于矿结东北部的一个偏高浓度区的特点是具有很高的金浓度及变化范围较大。该区具北东方向和由北东向南西逐步降低的金浓度，并且所占面积 100 多 km^2 。分布在矿结南部的第二个偏高浓度区为北西方向。第二个偏高浓度区的差别是金浓度非常低而且变化范围不大。在比较两个偏高浓度区的含量在空间上离差时，这种差别表现得更为明显。如果说第一个偏高浓度区以浓度高、变化范围大、在空间上与其具有相似的方向的平均含量 1 倍的标准离差值为特征的话，那么第二个偏高浓度区内的标准离差在实际上没有变化，并等于或低于平均含量。

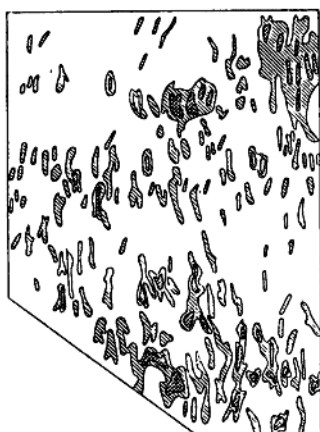


图 1 按通常方法编制出的
矿结岩石化学晕图

用 16 平方公里的滑动窗口编制出的图件反映了矿田这一等级客体的金浓度的空间规律 (图 3)。图中可见一条处在矿结的偏高浓度区的北东走向的高浓度带。这一高浓度带长达 20 公里, 宽 5-7 公里, 并指示出其中一个矿田的位置。同时, 矿田的内部不均一性受北西方向和近南北方向的构造控制。在矿结的南部划分出长 15 公里以上, 宽 5-6 公里的北西向的第二个矿田。对于该矿田来说以低浓度和平缓的变化以及低的标准离差为特征。

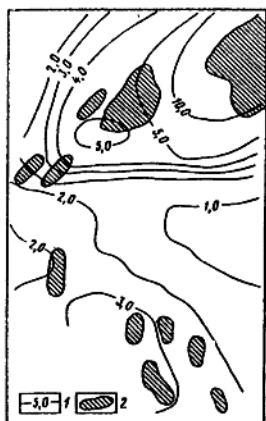


图 2 矿结等级的金的分布规律性; 使用 100 平方公里的滑动统计窗口。

1—平均浓度等值线 (假定单位); 2—矿田异常的轮廓。

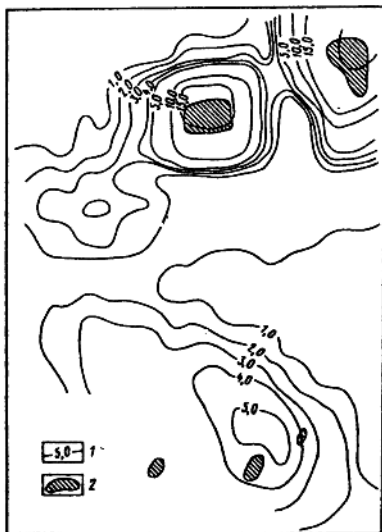


图 3 矿田等级的金的分布规律性; 使用 16 平方公里的滑动统计窗口。

1—平均浓度等值线 (假定单位); 2—矿床异常的轮廓。

在矿结范围内划分出的矿田等级的高浓度区都处在一定的地质构造要素上。第一个矿田处在一个北东向的断裂系统上, 而矿田范围内的高浓度地段则与上述断裂与北西向的和近南北向的断裂的交叉部位有关。第二个矿田分布在北西向的断裂带上。划分开来的矿田金的偏低浓度区则处在中生代褶皱带的一个北西向的区域向斜构造的轴部上, 而在该构造范围内则存在着一系列的北西向和近东西向的断裂。

在考虑到标准离差的情况下根据原始数据和矿结的平均浓度之间的差值来确定矿田异常。高浓度区外围的个别异常点则被剔除。所划分出的异常 (见图 2) 沿着可以说明矿田的规律性位置的偏高浓度区的轴线分布 (见图 3)。在考虑到标准离差值的情况下根据原始数据和矿田等级客体的平均浓度值之间的差来确定矿床异常。对划分出来的不同等级的异常的评价和筛选应当考虑到在整个系统的各个等级客体上的矿化套叠情况以及在被查明

的异常区的规模与工业客体相一致程度。第一个矿田范围内的一些矿床异常具有数平方公里的规模，很高的浓度，并在所有等级上具有很大的含量变化，因而是研究区内最有远景的异常。

估计所划分出的远景异常的侵蚀截面水平是所提出的方法的一个重要问题。应当在选择出地球化学指示元素的基础上确定出侵蚀截面深度的地球化学指数，从而进行侵蚀截面的估计。在对选定的滑动统计窗口范围内的原始数据作相关分析的基础上，可以确定不同的等级客体的地球化学指示元素。这就使得可以研究元素在空间内的相互关系和估计所划分出的地球化学组合处在推测的含矿区内的情况。很明显，矿化的一套指示元素对于不同的等级客体是不同的。对于系统的高等级客体（矿体、矿带、矿床）来说，一套指示元素与期待的矿化的地球化学组合和矿物组合是相一致的。对于系统的低等级客体（矿田、矿结、成矿区）来说，一套地球化学指示元素可以作为划分含矿建造和确定一些大的区域成矿专属性的依据。

因此，利用所提出的、在系统分析的基础上处理地球化学资料的方法，可以确定参数在空间分布的规律性，确定地球化学元素的相互关系，圈定不同等级客体的地球化学异常并对其作及时的和有依据的筛选。

邱郁文 译自《Методы интерпретации результатов
литохимических поисков》，Москва，
“Наука”，1987，3-8