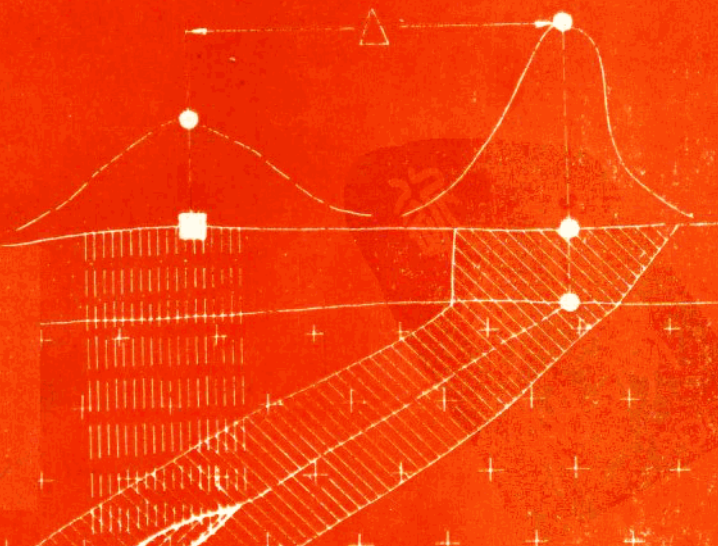


地质科技资料选编 (118)

1:5万区调新方法参考材料之五

岩石化学测量与普查方法



地质矿产部情报研究所

苏联 1:5 万地质测量方法参考书

岩石化学测量与普查方法

地质矿产部情报研究所

一九八七年十二月

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОВИЕ ПО
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ
МАСШТАБА 1:50000

15

ВЫПУСК

И. М. ПИТУЛЬКО, И. Н. РЕЗНИКОВ,
Н. К. УЛЬЯНОВ

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ
СЪЕМКИ И ПОИСКОВ

ЛЕНИНГРАД «НЕДРА» 1985

岩石化学测量和普查方法

编译	地质矿产部情报研究所方法室
出版	地质矿产部情报研究所
印刷	中国地质科学院印刷厂
发行	地质矿产部情报研究所发行组

目 录

译编前言.....	(1)
前言.....	(3)
绪论.....	(6)
第一章 应用地球化学的基本概念.....	(8)
第二章 地球化学查普标志.....	(22)
第三章 地球主要景观带内表生地球化学场 结构的区域特征.....	(57)
第四章 地球化学 取 样.....	(129)
第五章 地球化学样品的 分 析.....	(142)
第六章 地球化学数据的处理和 解 释.....	(155)
第七章 报告资料的 内 容.....	(194)
第八章 用地球化学资料解决地质测量和 普查问题的 实 例.....	(206)
结 论	(239)
附 录	(242)

译 编 前 言

本书是为了配合地矿部16—01号“七五”科技攻关项目《1:5万区域地质调查中物探、化探、遥感方法的应用》而编译的。在收集资料过程中,我们注意了西方国家情况的研究,发现美、法、澳等国家在大比例尺区域地质调查中也使用地球化学方法,但工作不系统,资料较零散,尚未形成一整套与区调任务相适应的工作方法。与此相对照,苏联在这个方向上已进行了近20年的系统研究,本书就是这方面的研究和实践的全面总结,并作为苏联《1:5万地质测量方法参考书》第15卷于1985年出版。我们全文译出,供广大地质和化探人员参考。

本书的一个突出特点是强调了地球化学调查是1:5万区调的一个重要组成部分,强调了用地球化学方法解决区调中的地质问题,强调了为解决这类问题地球化学调查工作方法的特殊性。本书阐述的内容与单纯的普查地球化学工作有联系,但有着明显的差别。本书的编译出版,加上我所已出版的《苏联固体矿产化探规范》,可以使读者对苏联区调中和普查中地球化学方法的应用有一个全面的了解。

本书可分为三大部分。第一部分(1—3章)可称之为基础理论部分,阐述了应用地球化学的基本概念,地球化学普查标志和不同景观区内表生地球化学场的区域性特征。对于初次从事地球化学工作的地质人员来说,通过本书了解全面

情况，建立基本概念，无疑是条捷径。对于长期从事化探工作的人员，也可以从中得到新的收获。例如，在原生异常方面，对矿田晕、矿床晕和矿体晕的特征作了比较系统的描述，与其他苏联文献相比尚有新意，在次生异常和景观区划方面，引证实例详细介绍了编图方法，类似文献亦不可多得。

第二部分（4—7章）系统地介绍了取样、样品分析、数据处理和解释，以至报告内容等工作环节的具体工作方法。所有这些介绍都反映了区域地质调查工作的特色，主要以地质测量人员为对象，强调各个环节与地质观测和研究相结合，突出了以解决地质问题为目的。阐述深入浅出，便于地质人员理解和掌握。

第三部分（第8章）以大量实例论述了利用地球化学资料解决地质问题的原理、准则和指标，以及针对地质情况的研究思路。展示了苏联在这方面的研究成果以及勘查地球化学在这一方向上的广阔发展远景。

我们希望通过本书的出版使越来越多的地质人员了解掌握和运用地球化学方法，为提高我国1:5万区域地质调查工作的质量，为我国勘查地球化学在这一领域的延扩和发展贡献一份力量。

本书第一章到第三章以及附录，由邱郁文、吴昌荣、秦大地分工翻译；吴传璧译其余各章节，并校对全书。如有不当之处，敬请读者指出。

前 言

时至现在，若不广泛采用应用地球化学的方法，要有效地进行地质测量工作是不可思议的。在这些方法中，以基岩及其上覆疏松产物取样为依据的岩石化学方法，得到了最大的发展。岩石化学方法可成功地用来解决地质测量过程中产生的众多地质问题，如在研究岩石的成分、成因、相互关系时，在地质体的填图时，以及在评价各种客体的含矿远景时产生的问题。对于发现实际上所有种类的矿物原料来说，地球化学方法组成了普查方法组合中的一个重要部分。

В.И. 维尔纳茨基，F.W. 克拉克，B.M. 戈尔德施密特，A.E. 费尔斯曼是现代地球化学的奠基者。应用地球化学资料于找矿实践的研究方向，于三十年代中期在 Н.И. 萨弗罗诺夫的思想中已作过论证。那时，Н.И. 萨弗罗诺夫，А.П. 索洛沃夫，С.Д. 米列尔已取得了实际结果：用岩石化学方法发现了一些工业矿床。通过一大批地质生产人员的工作，应用地球化学在苏联得到了进一步的发展，岩石化学方法的理论和实践已迅速提高和完善。在苏联，应用地球化学研究不仅涉及普查问题，还涉及与之相关的借助地球化学图的分析而进行的金属矿床预测问题。B.H. 卡兹明，С.В. 格里戈良，以 А.А. 斯梅斯洛夫为首的全苏地质研究所的地球化学家的研究工作，在这一发展方向上起了重要作用。А.И. 彼列尔曼对表生带的化学元素迁移规律进行了深入的

研究，他奠定了区域地球化学区划原则的基础，建立了不同表生环境下矿致和非矿异常分类的科学原理。近20年来，由于金属矿床原生晕的研究（С.В.格里戈良，Л.Н.奥弗钦尼科夫，А.П.索洛沃夫等人的研究），上置次生晕的利用和多种地球化学数据数学处理方法的广泛采用，苏联的应用地球化学在理论和实践上都取得了巨大成就。同时，国外地球化学方法的找矿作用也急剧增长。

当代的应用地球化学已最终形成地质科学的一个独立分支。要有效地采用应用地球化学的方法，其前提是熟练地掌握一整套有关原生和次生环境下成矿物质迁移理论的深刻知识，以及取样和解释的实际方法，同时还要遵循必要的对样品分析、分析数据处理和结果图示的要求。所有这些问题在大量专业文献中皆有深入的论述。同时，应用地球化学向相邻地质学领域（首先是地质测量）的渗透，促成了必备的科学-方法论著——方法参考书——的问世。

本书是全苏地质研究所编写的1:5万地质测量方法参考书系列的继续。它的使命是面向地质测量工作者介绍应用地球化学方法的理论基础，并实际应用它们解决地质测量的问题。方法参考书不是教科书，不是专著，也不是方法指南，它不具备方法指令的规范属性。本书阐述了应用地球化学的基本概念，讨论了在不同地质环境和景观环境下获取可比性资料的条件。与大比例尺地质测量工作中使用岩石化学方法的各方面问题直接有关的文献来源，在所引用的文献目录中写明，如有必要，读者可以利用，追溯方法思路的细节和具体情况。

本参考书由В.М.皮图尔科、И.Н.列兹尼科夫和Н.К.

— 乌里扬诺夫编写，使用了И. А. 莫罗佐娃、Ю. В. 沙尔科夫、В. З. 泰宾（全苏稀有金属矿物学、地球化学和结晶化学研究所）的已发表资料，В. А. 乌加罗夫、С. Д. 维利科斯拉文斯基、А. Н. 塔尔诺夫斯卡娅、Ф. Л. 杜姆列尔（全苏地质研究所）参加了工作，由于他们的努力，才得以对所有的问题作系统的阐述，并对这些问题的原始案例给予图解说明。本卷的科学编辑 С. В. 格里戈良发挥了十分富有创造性的作用，由于他的帮助，作者才能从有争议的论述中得出结论，使阐述有内在的一致性，表达清晰，建议和评价具体。作者同样感谢本套参考书的主编 А. С. 库姆潘，由于考虑了他的建议，才使本书的内容接近于地质测量工作者运用应用地球化学方法时的基本需要。

绪 论

现在，在地质测量和矿产普查的工作组合中，地球化学调查组成了一个重要的部分。它包括几种岩石化学方法（基岩和疏松沉积物取样）、水化学方法、生物地球化学方法和气体方法。上述方法各有其不同的解决问题的可能性，决定着它们在地质测量工作总体组合中的地质和经济效果、作用和地位。在地球化学调查中，岩石化学方法占据着绝对优势，在苏联的许多地区和国外被成功地采用着。就每年发现的各种矿产的新远景地段的数目而言，按关于矿床分布规律的信息数量来说，岩石化学调查往往超过所有同时采用的其他普查和测量方法。

在地质测量中，主要在两个方面使用岩石化学调查：

（1）解决地质问题，例如岩浆和变质产物的划分和对比，确定侵入岩、喷发岩和脉岩的岩浆同源性，恢复沉积产物形成的古地理条件，等等；（2）矿床普查和金属矿产的区域预测评价。

岩石化学调查在解决地质问题中的作用，在于获取研究区内岩石、地质体和地质构造物质成分特点的信息。这些工作的有效性同时取决于地球化学取样工作地质连测的质量，即地球化学调查必须直接在地质测量的过程中进行。

1:5万地质测量中一套完整的地球化学调查，包括以下几种工作：

(1) 根据基岩地球化学取样结果, 以元素原始分布特征为依据, 研究地质体和地质构造的地球化学;

(2) 根据受变化岩石 (迭加蚀变区和蚀变带, 断裂构造影响带, 接触晕, 等等) 的地球化学取样结果, 以元素原始分布的改变特点为依据, 研究地质体和岩石后生改造作用的地球化学;

(3) 根据基岩和疏松沉积物的地球化学取样结果, 以指示元素的分布特征为依据, 对已知的矿化现象 (其中包括矿床) 作地球化学研究;

(4) 在整个测区作1:5万地球化学普查, 包括查明远景地段和主要矿体, 以及对矿化丰富程度作预测评价。

所有的地球化学调查一定要与矿物-岩石学调查或岩性调查相伴进行, 因此这是一套综合性工作。采用这种工作组合可以保证必需的工作完成质量和地球化学方法成果的有效性, 这靠的是对所查明的矿点进行有依据的划分、筛选和评价, 靠的是成矿预测结论质量的提高。

地球化学调查已稳固地深入成矿区的地质工作实践之中, 在全世界正在被广泛地采用。

第 一 章

应用地球化学的基本概念

地球化学场及其结构

凡以填图、预测和普查为目的，利用了化学元素在上部地圈中的普遍分散场特征的工作方案，均可以理解为应用性地球化学工作。地球化学场的存在，它的普遍性和特殊性，以及控制其形成的主要规律，是由现代地球化学的奠基人 F.W. 克拉克和 В.И. 维尔纳茨基查明、研究和总结出来的。

根据化学元素在地圈中普遍分散和迁移的定律 (В.И. Вернадский, 1954)，在地球化学场的任何一点上，任何元素的含量都大于零，含量大小因空间座标而异，在时间上也是不稳定的。也就是说，如果在被分析的物质中未发现某一种元素，并不能证明在被分析物质中真没有该元素，而是证明所用的研究方法和手段还不够完善。

地球化学场乃是化学元素在地质产物中分布情况的一种整体表现，而这种表现又是随时间和空间而变化的。地球化学场助取决于内部因素（元素原子的特性），也取决于外部因素（介质的物理-化学参数）。与地球化学场的概念相对应，任何一种元素的分布在外部因素影响下的改变，都是 В.А. 奥布鲁切夫和 Ю.А. 比利宾所提出的所有过程（包括

成矿作用)相互联系和相互制约原理的一种物质的表现。元素在地壳中的富集过程与它们的分散和活化现象(参与再分布)有关。在反映为地球物质分异的广泛地质事件出现的过程中,都会发生元素的分散和活化作用。

地壳的地球化学场在一套复杂的内生和外生旋回作用的影响下不断地受到改造。例如,在岩石形成过程(同生过程)和成岩改造过程(后生变化过程)中,元素的积聚水平差别甚大。同生过程的特点是主要造岩组分和混入元素的行为具一致性。后生作用过程则破坏这种原始分布,可能导致微量元素在地壳中发生极大的分异和富集。岩石的热液-交代蚀变是一种主要的后生作用过程。

人所共知的元素平均含量(克拉克值)表,乃是普遍分散定律的一种具体表达。在地球化学场的绝大多数点上,元素的分散状态超过其富集状态,富集状态的出现是后生作用过程的局部结果。根据H.И. 萨弗罗诺夫(1972)的见解,集中在矿床内的任何一种金属的总储量只占其地壳中总量的百分之零点几。

在A.A. 斯梅斯洛夫领导下,全苏地质研究所进行了预测-地球化学研究,结果建立起了地球化学场的结构的概念。这种概念是以化学元素组合在岩石中的分布规律为依据的。根据这些概念,在地球化学场中可以划分出三个主要组成部分。

1. 地球化学背景的含量水平接近克拉克值(元素的浓集克拉克值为0.3—0.4),成矿元素的分布以分散为主。地壳中金属总量的90%以上处于地球化学背景分散状态,这主要是由造岩作用(沉积作用、区域变质作用和岩浆作用)所

造成的。

2. 金属含量偏高区 ($K_x=2.4-10$)，受以同生聚积作用为主的具地球化学专属性的岩系的控制。同生作用决定了这类专属性岩系的微量元素储量颇大，但含量却贫。在地球化学场的整个结构中，这类地区占10%左右。

3. 金属含量水平高 ($K_x>10$)的地区，是后生作用活跃进行，并导致形成元素局部富集（矿床、矿点、矿化点）的场所。

地球化学背景是地球化学场的结构中最重要的一部分。对这一术语目前还存在着不同的解释。A.Π.索洛夫 (1959) 将其定义为在远离明显异常的均一地段内元素的平均含量。A.И.金兹堡和K.M.穆卡诺夫 (1963) 以及Г.Π.罗斯曼 (1966) 则认为，背景就是与具体矿床无关的颇大地区（矿区、矿带、矿结）内各个岩石中的元素平均含量。全苏地质研究所的地球化学工作者（A.A.斯梅斯洛夫，B.A.鲁德尼克，1981）提出了一个较具普遍性的陈述：地球化学背景是由于不同类型、不同时代同生和后生过程——但不包括形成了具体地球化学专属性岩石（一级专属性水平）和后生矿质浓集体（二级聚积水平）的过程——的相互作用，在任何级次的地质体（从局部地段到大型构造单位）内造成的元素（含量、赋存形式、组合）分布。显然，地球化学场的其余部分，与背景相比的较小部分，便被称之为异常。

“地球化学异常”的概念是由普遍分散定律逻辑推论而来的，它反映着在地壳内形成相当规模的化学元素富集体的概率不大。

按其普查意义，地球化学异常可区分为与岩石中矿化有

关的矿致异常和不表现出这种关系的非矿异常。“岩石”异常即属非矿异常，它们发育在其内的元素分布与选定的地球化学背景的参数有稳定差别的岩石分布区内（例如沉积岩区内的岩墙和小侵入体，相应侵入岩区或火山岩区内某种相的侵入产物或喷发产物等）。属于非矿异常之列的还有：因风化产物迁移条件的急剧变化而产生的化学元素的景观性次生聚集；与人为污染有关的异常（如与坑道废石堆，选矿厂“尾矿”，矿石运输道路等有关的异常）。

应用地球化学的所有普查准则和预测准则，都立足于在地球化学场的异常部分和背景部分，单个元素或元素组在分布上的差异。进行这种对比的依据，是一定研究区内固有的元素分布特征，即它们在未受任何后生作用影响的基岩中，以及在未受外生成矿富集作用影响（包括人为影响）的基岩表生破坏产物中的分布特征。

根据所研究的地球化学场的地质环境的特点，地球化学异常可以划分为内生的和外生的岩石化学异常，水化学异常，气体化学异常和生物地球化学异常，即可以划分出分别对基岩、基岩风化产物、天然水、壤中气或近地表大气、植物取样而查明的异常。

地球化学异常表现强度的定量表征是异常的衬度，它可由浓集系数来表达，即异常范围内（通常是最高值点上）的某元素浓度与背景总体平均含量之比。弱地球化学异常的衬度，可用一个指数来估算，而该指数则是通过把异常和背景含量值之差相对于地球化学场背景地段的标准偏差加以标准化而求得。在一定地质-地貌条件下，与地球化学背景起伏相当的地球化学异常，可能与大型工业矿床（例如被厚层异

地运积物所覆盖的矿床)相对应。同时,所查明的地球化学异常的总数量超过工业矿床数量的数百倍。因此,地球化学异常的圈定、判别和评价是地球化学调查方法的最重要课题。

如果地球化学异常矿致性质被证实,即意味着发现了矿床晕或与其有关的分散流。

在矿床周围追索到的一定类型的特征成矿元素和伴生元素具异常分布的岩石、疏松产物、植物、地表水和潜水的分布区,被称为矿床地球化学晕。地球化学晕的形成与矿床形成过程有关(原生地球化学晕),或与矿床的表生破坏有关(次生地球化学晕)。在固相和液相风化产物的搬运途径上,会形成分散流。

“晕”作为一种概念,其规模大小是随着取样详细程度的提高而改变的——由矿区晕和矿结晕,经过矿床晕到个别矿体的晕。

在内生矿床形成过程中产生的原生晕,被称为内生晕,以区别于和外生矿床的形成有关的原生晕(例如埋藏砂矿的原生晕)。次生地球化学晕是在矿石和原生晕的表生破坏产物发生分散的过程中形成的。正如从“晕”的上述总定义应该得出来的,分别在疏松沉积物、潜水、植被、壤中气和近地表大气的成分中查明的异常,都是统一的综合性表生晕的组成部分。在绝大多数的情况下,表生晕中的岩石化学晕与矿化有着最密切的和最简单的联系;处于表生分散范围内的绝大部分指示元素储量,都产在岩石化学晕中。所有这些决定了岩石化学调查的重要性。

参数和非参数的地球化学指数

在地球化学工作中,考虑指数的参数性和非参数性十分重要,因为它们的作用差别很大。根据A.Π.索洛夫夫的意见,其数值具有客观的含义,随着研究工作的准确度的提高其数位亦趋确切的地球化学指数,称为参数性指数。这些指数可用某种统计分布模型来加以描述。属于这种指数的有:一定种类岩石的化学元素平均含量估计值,地球化学场背景地段的化学元素平均含量估计值,以及一些描述地球化学异常的指数,如金属量(剖面上或异常范围内的金属数量)、元素表生活活动性系数、内生晕中的元素迁移能力系数。

自然,具有参数性的指数还有:在上述参量的基础上产生的各种指数;晕的所有地球化学分带指数(矿上元素组合异常金属量的乘积,除以矿下元素组合异常金属量的乘积);客体相似-相异性的所有地球化学指数(对于第一个拟对比客体是贫化的各元素晕金属量乘积,除以在第二个客体上过剩的各元素晕金属量乘积);成矿能;将矿体露头和次生晕的金属量关联起来的对应系数等。

与上述地球化学指数不同,还存在着大量非参数性的地球化学指数。从统计学的角度来看,这类指数的数值与分布函数的类型无关,不管怎样变换它们都是无关的。例如地球化学异常的规模(因选定的异常下限不同它们可以大一些或者小一些),异常衬度和异常中元素的平均含量(因求平均