

地质部情报研究所编 (1981.9)

化探资料选编

(四)

地质部情报研究所

一九八一年九月



0382421

P632

3
4

言

本选编涉及区域地球化学调查、气体化探和矿区化探等三方面的问题。

区域地球化学调查的中心问题之一，是解决成矿预测问题或为其提供依据。近十多年来，苏联在用以重砂、果样为主的中大比例尺地球化学调查解决成矿预测问题中积累了丰富经验，并做了系统总结。苏联地质部和全苏地质研究所最近出版的《金属矿床地球化学调查的原则和方法（方法规范）》一书可作为一个代表。我们选取了该书第一章，对开展这类工作的野外方法组合、采样方法、编图原则和方法（包括图例符号）作一介绍，作为运用这些资料的一个例子，介绍了预测潜在含矿构造的原则。苏联地质部会议报道《地球化学图及其在矿床普查和预测中的应用》，可反映出这方面的最新进展。希望通过这些资料对我国中大比例尺地球化学调查和矿区地球化学研究有所裨益。

西方的区域化探具有另一种特点。我们选择了美国能源部国家地质调查局的工作之一，阿拉斯加州两幅图的水地球化学和水系沉积物踏勘工作报告的主要部分，介绍了它的工作概况及主要成果，同时系统介绍了美国能源部洛斯阿拉莫斯实验室在水系沉积物踏勘工作的野外和实验室标准工作方法，对这类工作的基本情况作一概括。英国地质科学研究所地球化学处在奥克尼群岛的水系沉积物区域地球化学调查中采用了一种特殊的编图方法，出了一本图集，除文字部分全文译出外，选用了四个图例供读者参阅。

在区域性化探数据的处理方面，我们选编了G. J. S. 戈维特的两篇文章。他以土壤测量结果为舞台，着重探讨了化探数据的正斜分布不应该任意转换成对数正态加以处理的问题，论证了正斜分布往往是正态分布重迭的结果；提出了用非参数统计法处理数据的问题，这和国内外流行的依靠正态分布律的统计参数求背景和异常的做法是不相同的。认为可能对找矿实践更有效；从理论和方法上研究了块段平均法，与流行的移动平均法相比，更有思路；用计算机对采样方案和样品容量进行了模拟研究；此外，对数据处理和统计应用等问题提出了一些有意义的观点。这两篇文章一定程度上反映了以地质为基础加强数理统计理论研究的重要动向，值得研究和借鉴。

关于区域化探中的一个特殊问题——火成岩体的地球化学研究问题，我们选译了四篇文章。可大致反映出苏联以Л. В. 塔乌桑为代表的通过对花岗岩类作分类和挥发元素的气晕预测矿化的理论和方法。И. Н. 戈瓦罗夫的文章通过研究火山颈中热液捕获体的地球化学特征，探讨了深部地质作用（地幔对流）对区域矿产分布的控制作用。他们的思路都有独到之处。

气体化探是国内外公认的有潜力的隐伏矿找矿方法。鉴于汞气法的资料我们已收入《汞的地球化学译文集》，本选编只收入几篇非汞气体法的文章。除一篇西方的综述性文章外，

还介绍了苏联哈萨克斯坦、高加索和贝辰加等地区用 CO_2 、He、 CH_4 等气体找矿的研究实例。

关于矿区化探，这次未作重点。在原生晕法方面，我们只介绍两个很有意义的研究课题：一个是如何选择借以建立预测准则的标准矿床的问题，一个是借用纳斯特分配定律使用新的深部评价指数的问题。西方很注意研究围岩蚀变与元素分布关系的研究，D. E. Pride 等对斑岩钼矿的研究即是一个实例。在次生晕方面的两篇文章，分别介绍了有关地球化学剖面图制编和利用铁质沉淀作为沼泽区含矿性研究的介质问题。

由于我们水平所限，在选题和译编上不免有不足和差错，敬请读者帮助指正。本选编的图件由赵秀兰同志清绘，在此谨表谢意。

地质部情报研究所方法室化探组

一九八一年七月

目 录

区域地球化学调查中的野外研究方法.....	(1)
编制预测地球化学图的原则和方法.....	(18)
根据地球化学资料预测潜在含矿构造的原则.....	(40)
地球化学图及其在矿产普查和预测中的应用.....	(47)
美国水地球化学和水系沉积物铀矿踏勘工作方法(以阿拉斯加两图幅为例).....	(49)
英国奥克尼群岛区域地球化学图集.....	(62)
勘查地球化学——元素分布和异常识别.....	(69)
用块段平均解释地球化学土壤测量资料.....	(86)
稀有金属矿田的地球化学.....	(98)
侵入体上晕及其普查意义.....	(104)
火成岩潜在含矿性的地球化学准则.....	(107)
作为区域成矿预测基础的深部地球化学.....	(116)
矿产勘查的蒸气地球化学.....	(121)
埋藏矿床的气体地球化学普查.....	(129)
应用壤下气测量在掩蔽区普查热液矿床的经验.....	(133)
关于贝辰加火山-沉积岩系中气体地球化学异常的分布.....	(136)
一些金属蒸气是内生矿化的气体地球化学指示标志.....	(139)
含矿带截面水平估计的可靠性与标准矿床的选择.....	(142)
以定量预测为目的的脉型矿床地球化学分带性研究问题.....	(147)
研究科罗拉多布雷肯里杰矿区一个斑岩钼矿床的热液蚀变-成矿作用时部分元素 的用处.....	(151)
地球化学垂直剖面的编制方法及其普查意义.....	(163)
西伯利亚沼泽化地区的含矿性评价.....	(168)
化探俄文新书简介.....	(171)

区域地球化学调查中的 野外研究方法

А. А. Смыслов等

一、研究目的和任务

首先是根据预测研究的任务和远景区的必要的控制程度来选择地球化学工作的比例尺(表1)。这里要探讨的是1:20万和1:5万比例尺的地球化学研究。

表1 调查工作比例尺及被研究地质体的类型

比例尺	地质体	成矿客体	地球化学客体
小比例尺(1:500万, 1:100万)	构造-建造组合(建造系列)	成矿省, 成矿带和成矿域	地球化学省, 区域地球化学带和地球化学域
中比例尺(1:50万, 1:20万)	岩石建造或组合	矿带, 矿区和矿结	元素原生分布遭破坏的地球化学区和带, 专属性岩系
大比例尺(1:5万, 1:2.5万)	岩石及其组合	矿结和矿田, 出露于地表的大型矿床	元素带入带和带出带, 与矿田和大型矿床相应的晕
详细比例尺(1:1万或更大)	岩石和矿	矿床和矿体	矿床和个别矿体的晕

1:20万比例尺

这一比例尺的地球化学研究的主要对象是地质建造, 而所要预测的是构造-成矿带、矿区和矿结。地球化学调查的主要目的是针对研究区制定预测的区域矿物-地球化学准则和圈出有成矿远景的大型含矿构造。为解决这些课题, 必须:

- 1) 确定元素在地质建造中的平均含量;
- 2) 划分出具地球化学专属性的地质建造和岩系;
- 3) 查明成矿元素原始分布由于迭加的后生作用而遭破坏的地带;
- 4) 研究区域地球化学分带性和大型地质构造的专属性。

工作的结果是编制出 1:20 万比例尺的预测-地球化学图。有了这种图件,便可以有的放矢地对矿区、矿结和矿带的分布规律进行分析,而作为这种分析的结果,是对测区作地球化学区划并圈出大型含矿远景构造。

1:5万 (1:2.5万)比例尺

大比例尺地球化学调查的主要目的是制定预测和普查矿结、矿田和出露于地表的单个大型矿床的地区性地球化学准则,并且将它们圈出来。发现地表上很弱的矿床和单个矿体则是详细工作的任务。因此,在该比例尺的工作中不能保证发现这样的矿床和矿体。

在大比例尺普查中,象化学元素带入带和带出带、与矿田相应的地球化学晕(个别情况下的大型被侵蚀矿床的原生晕)这样一些矿化的直接普查标志起着主要的作用。间接普查标志(各个地质岩系和构造的地球化学专属性及其潜在含矿性)在大比例尺研究中已经失掉它的意义,因为它们不能在所需的程度上圈定远景区。这些间接普查标志的用处,只是可以为找寻盲矿的大比例尺深部普查提供依据,因为这类矿床在地表显示不出实际含矿性的直接标志。

为了制定普查和预测的局部地球化学准则,必须:

- 1) 查明地球化学异常带并对其作填图;
- 2) 确定成矿元素及其伴生元素的典型组合;
- 3) 研究各种类型的异常带和矿田的水平和垂直地球化学分带性;
- 4) 根据垂直地球化学分带的定量指标估计异常侵蚀截面的相对水平。

二、野外地球化学方法的合理组合

在目前,为了预测和普查矿床,使用下列的方法:

- 1) 岩石地球化学方法(基岩、残坡积物、底积物取样以及伽玛能谱测量);
- 2) 水地球化学方法;
- 3) 生物地球化学方法;
- 4) 气体地球化学方法;

依地质构造、景观地球化学条件和技术-经济指标(如困难程度、生产率、成本等)的不同,每种方法的可能性也不同。这些就决定了要合理地选择一套研究方法(而这套方法对于每一种比例尺又应当是不同的),这是一个非常重要和复杂的问题。

1:20万比例尺

该比例尺地球化学调查最好在同样比例尺的地质测量过程中进行。在对先前取得结果的储量有怀疑或者要求对已填图地区的含矿远景作快速评价时,地球化学调查也可以在地质测量之后进行(地球化学补充研究)。建议使用下面一套野外研究方法:

- 1) 基岩取样;
- 2) 航空伽玛能谱测量方法;
- 3) 水地球化学取样;
- 4) 底积物取样。

野外地球化学调查的一种重要和信息度好的方法是**基岩取样**，甚至在露头较差的地区，在该比例尺的工作中也可以在面积上相对均匀地对基岩取样。

另一种快速和高信息度的方法是测定铀（镭）、钍、钾的**航空伽玛能谱测量方法**，它适用于对最难通行地区进行研究。此外，在使用该方法时，可以缩减对这些元素的费劲而昂贵的分析的数量。

不用耗费很多时间和经费便可进行的**水地球化学取样**可以取得一系列地球化学资料。尽管这些资料作为普查标志只具有间接的性质，但信息度还是很好的。在掩蔽区进行工作时，以及在预测深部矿化和由地下水形成的矿床时，这些资料是特别有价值的。

底积物取样可在取样网度较稀、时间和经费耗费较少的情况下，对汇水区的含矿性作可靠的定量评价。但由于水系分布不均匀、很难确定矿化性质和类型，以及探测深度比水地球化学方法小等缺点，这一方法通常只是在地形切割的地区才有效。在水系沉积被人类生产活动污染较重的地区，用此方法实际上是不可能的。

在1:20万比例尺的地球化学调查中，按下列顺序进行工作是最合适的：航空伽玛能谱测量、在地质测量前进行的水地球化学取样和底积物取样。基岩取样由地质测量人员直接在地质测量过程中进行，同时考虑到测量前所作工作的结果。

1:5万比例尺

在大比例尺的地球化学调查中使用下述地球化学方法：

- 1) 岩石地球化学方法（基岩和原地残坡积物取样）；
- 2) 水地球化学方法；
- 3) 生物地球化学方法；
- 4) 气体地球化学方法；
- 5) 航空和车载伽玛-能谱测量方法；
- 6) 专门的核子-物理方法。

基岩和原地疏松产物（金属量测量）取样在该比例尺测量中起着最重要的作用。基岩取样所取得的信息最少受歪曲，所以应当在一个地区的所有出露部分以及在人工露头（钻孔、山地工程等）中对基岩取样。金属量测量只应当在原地疏松沉积物发育地段进行。对于被远距离搬运的异地沉积物覆盖的地段，可以用深部金属量测量进行取样，但深部金属量测量是否适用的问题，应当考虑当地的经济和自然条件来定。

如果在同样一些地区既可对疏松产物取样，又可对基岩取样的话，最好进行综合性取样（两种取样）。现在存在着将上述两种方法相互对立的倾向，无疑是不正确的。对这两种方法的结果所作的无数次对比表明，每种方法所得信息的特点有很大差别。只是对于地表有很好显示的矿床和矿点，原生晕和次生晕才是吻合的。常见的是原生晕和次生晕相互错位。两种方法都有自己的优点和缺点，其中最重要的一些列于表2。

因此，在具有岛状露头的原地残坡积物发育地段，必须把金属量测量与基岩取样结合起来。将疏松沉积物中的异常轮廓转绘到下一步地质测量所用的航空照片和地理图上是有好处的。这有助于通过在异常地段加密网度进行测量时更有目的地作基岩取样。

在异地沉积物复盖区，在许多情况下可以用深根系植物取样来代替深部地球化学普

查。

大比例尺调查中，天然水取样尽管所得信息具有间接的性质和水量“模糊不清”，但还是必须同时进行这种取样，这是因为水地球化学调查具有花费较少、探测深度很大的特点。

表 2 以矿床普查为目的的不同产物取样的优缺点

优	点	缺	点
原地残坡积物			
1. 依赖于机械分散和盐类分散，次生晕实际上总比与之相应的基岩中的原生晕宽得多。因此，可以用比原生晕法稀的网度进行次生晕普查。 2. 在选择取样点时不带主观性。所用的正确网度是根据次生分散晕的平均规模以及按给定的次生晕发现概率计算出来的。 3. 样品的采取和加工简单，成本较低。		1. 难以将分析结果与基岩中某一具体的点联系起来，以及由于晕发生位移而难以确定异常源的位置及其成因。 2. 由于疏松沉积物中的矿石碎屑与无矿岩石碎屑的混合会使最弱的异常消失。 3. 个别元素的存在形式和相应原生晕所特有的元素间的关系常常发生变化。 4. 出现大量与地球化学障带中的富集作用（如盐泽、碱土等中的蒸发富集作用）有关的非矿异常。 5. 由于沉积物类型及其厚度多种多样，难以选择合适的取样深度。	
基岩		岩	
1. 所有的地球化学异常都与地质情况有明确的联系。 2. 通过对在路线上易于发现的石英脉、岩墙、厚度不大的断裂带和热液蚀变岩带等取样，可以发现规模相当小的原生晕。在金属测量的过程中，或者由于次生晕规模小，或者由于厚度不大的带的走向平行于取样剖面，这些晕很容易被漏掉。 3. 可以发现在地表显示很弱的矿化。 4. 不会有大量的非矿异常。 5. 可以确定各个元素在矿石中的存在形式、晕的矿物成分，因此可以对矿化的成因得出有根据的结论。		1. 原生晕的规模小，形态较复杂（与次生晕相比），元素分布更不均匀。 2. 网度不均匀，在选择取样点及网度加密和放稀地段时带主观性。 3. 有可能漏掉构造断裂带和热液蚀变岩带中的矿化，因为这些矿化常常处于地形的低洼处和被残坡积物所复盖。 4. 要多费一些作地球化学取样的时间。	

在大比例的调查中应用航空伽玛-能谱测量方法（其优点如前述）也是合适的。利用地面伽玛能谱仪，由于仪器笨重和测量相当费时间，使地质路线测量的速度大大降低。只是在一些专门的普查（主要是详细普查）中或者在对热液蚀变岩（例如钾长石化带、云英岩化带等）填图的个别路线中，用这种仪器才是合适的。用于测定个别元素的其他核子-物理方法亦属于这种情况，因为在大多数情况下它们的灵敏度对于元素的克拉克含量显得不足，仪器笨重，耗费于露头上的测量时间过多。

在最近的将来，这些方法看来可以大为改进，并可以在预测和普查矿床中起重大的作用。正在快速改进的气测方法（例如氦气、汞气测量等）也可以说属于这种情况，可惜气测方法目前仅用于一些专门普查。

进行地球化学调查的顺序及其在一整套地质普查工作中的地位，可作如下叙述：

第一阶段：根据普查条件进行区划。根据航空照片解译资料、较小比例尺的地形图和地质图，编制出各种成因类型疏松沉积物的分布和厚度略图，查明应当用深部地球化学法或者生物地球化学法代替常规金属量测量的异地沉积物发育区。

第二阶段：地球物理和地球化学工作（航空伽玛能谱测量、金属量测量和水地球化学测量）。

第三阶段：地质测量。对基岩作系统取样，作认真的观察，并对早先发现的地球化学异常作初步评价（这些异常是先前用金属量测量、水地球化学方法和伽玛-能谱测量圈定的，并已标到航空照片或者地形图上）。此外，对所能到达的地面水源和填图钻孔作补充的水地球化学取样，以及对掩盖区作生物地球化学测量。

第四阶段：评价被查明的所有地球化学异常。进行详细的取样，并在必要时采用核子-物理法、气体地球化学法和伽玛能谱测量法，以及挖一些轻型山地工程和打一些钻孔，同时一定要作地球化学取样。

三、基岩取样方法

在С.Д. 米列尔、А.П. 索洛夫夫、Н.И. 萨弗罗诺夫、Н.Н. 索切瓦诺夫等人的著作中，以及一些专门的规范和方法指南中，都根据大量的经验对疏松残坡积物取样方法进行了详细的研究。对于下面将探讨的基岩取样方法问题则研究得较少。

地球化学样品的数量和取样系统

必要的地球化学样品的数目和取样点的配置方式取决于具体的任务。在大多数的情况下，要根据对所有地质岩系中化学元素分布特点的研究和以必要的精度确定的元素分布参数来解决这些问题。通过比较各种地质体的上述参数，便可以查明它们的相似性或差别，从而可以利用地球化学资料划分和对比地质岩系，查明侵入岩、喷出岩和脉岩的同岩浆性等。

平均含量与克拉克值和区域平均含量的对比是确定个别岩系地球化学专属性的基础。根据分布参数还可以确定所有类型岩石元素含量的异常水平。为了解决类似的问题，必须取得有代表性的地球化学抽样。

通常是根据分布最不均匀的一种元素的含量变差系数 V 和给定的算术平均值误差水平 k 来计算每一个客体所必须的最低限度地球化学样品数 n ;

表 3 某些类型的岩石中混入元素含量的区域变差系数值 (%)

(据 A. A. 别乌斯的数据)

元 素	花 岗 岩 类		变 质 岩 和 沉 积 岩	
	定量分析	近似定量分析	定量分析	近似定量分析
Li	20—60	——	20—60	——
Rb	20—60	——	20—60	——
Be	15—40	30—70	25—50	25—70
Cu	15—40	16—65	20—70	25—95
Zn	15—40	15—50	15—60	15—70
Pb	20—60	25—70	20—60	25—75
Sn	20—60	20—70	20—60	20—95
Mo	15—50	16—65	15—50	20—70

表 4 托克腊乌复向斜的岩石中化学元素含量的变差系数 (%)

(据 B. H. 卡兹明的数据)

元 素	酸性喷出岩	安山英安玢岩及其凝灰岩	流纹斑岩 (C_2R)	次火山流纹岩	闪长岩和花岗闪长岩 (C_2)	正长岩 (C_2)	花岗岩 (C_1)
Cu	60	63	31	42	53	48	46
Zn	57	42	54	58	56	34	73
Mo	58	75	64	47	60	76	73
W	69	64	55	31	71	80	73
V	23	13	20	25	23	34	28
Ti	—	19	42	—	40	58	29
Nb	14	39	36	28	31	23	33
U	62	72	49	62	63	58	—
Th	41	47	44	31	46	51	—
Ni	20	51	28	27	35	27	28
Co	53	49	47	0	44	37	39
Be	—	32	20	22	24	27	42
Rb	41	49	30	37	41	53	36
Li	24	43	35	36	31	27	22

$$n = (tV\bar{x}/100\lambda)^2 \quad (1)$$

当显著水平为 5%， $t=1.96$ (≈ 2)，给定的算术平均值误差水平为 $\pm 20\%$ 时，公式 (1) 取下面形式：

$$n_{20\%} = 0.01V^2 \quad (2)$$

现在我们来研究一下在不同区域的岩石中各个化学元素的含量变差系数值是怎样变化的 (表 3 至表 6)。

表 5 托克腊乌复向斜的岩石中元素含量的不同
变差系数值 V 的出现频率 n'
(据表 4 数据)

$V, \%$	n	$n', \%$
0—10	1	1.1
10—20	5	5.4
20—30	19	20.4
30—40	19	20.4
40—50	19	20.4
50—60	15	16.1
60—70	8	8.6
70—80	7	7.5
80—90	0	0
合 计	93	99.9

表 6 北哈萨克斯坦的岩石中元素含量的不同变差
系数值 V 的出现频率 n'

$V, \%$	n	$n', \%$
0—10	1	2.4
10—20	4	9.7
20—30	7	17.1
30—40	5	12.2
40—50	8	19.5
50—60	9	22.0
60—70	2	4.9
70—80	5	12.2
合计	41	100

列于表 3 的区域性变差系数值变化范围很大；而针对个别岩系和岩体的局部性变差系数值大概要低一些。正如从表 5 所看到的，对于所有抽样的 77% 来说，变差系数在 20 至 60% 之间。我们用类似的方式对 Н. Я. 雅申科在北哈萨克斯坦取得的数据作了处理 (表 6)。结果，

70%的情况下变差系数处于 20 至 60% 的范围内。

根据 Г. М. 巴拉诺夫给我们提供的数据, 北哈萨克斯坦的沉积岩中钒、钽、铌、锆和磷的变差系数变化于 20 至 60% 之间。根据 15 个抽样 (每个抽样 36 至 434 个样品) 的数据, 变差系数平均值为 37 %。波罗的地盾、乌克兰地盾和阿尔丹地盾的变质岩的类似资料表明, 主要类型岩石的各元素含量的变差系数在 25 至 60% 之间。这样, 不管什么样的工作地区和什么岩石类型, 大多数元素的变差系数不超过 60%。因此, 在最不利的情况下利用公式 (1) 和 (2) 时, 只要

$$n_{20\%} = 0.01 \cdot 60^2 = 36 \text{ 个样品}$$

便足够了。

但是, 甚至在天然离差最小的情况下, 一个抽样中的样品数也应当不少于 15—20 个。这一要求与必须在确定元素分布时“压抑”偶然分析误差有关。应当指出, 只是对于其元素分布是随机的那些非常均匀的地质体, 才可以用公式 (1) 和 (2) 来计必算要的样品数。对于其空间分布总是有序的热液蚀变岩和近矿蚀变岩来说, 变差系数值一般大于 60%。在这些情况下利用通常的计算公式会导致变差系数大大偏高, 从而使必要的样品数目大大增加。在 С. Н. 伊凡诺夫、В. М. 克列依捷尔、К. Л. 波热里茨基等的著作中, 都明确地和令人信服地表明了这一点。

确定元素在足够大型的地质体范围内的含量分布参数, 不能解决预测-地球化学研究面临的所有多种多样的课题。这首先涉及远景区的圈定和矿床普查的问题。为了查明元素后生再分布的空间规律性, 取样密度和取样系统取决于要作填图的元素原始分布破坏带、化学元素带入或者带出带、与矿田相应的晕的形态和规模。根据本书第三部分所列举的例子, 可以对这种地带的平均规模作出判断。

原始格局分布破坏带为一些宽阔和延伸状的岩石区段, 其面积为数百和数千平方公里, 所研究元素的分布无论在平均含量上, 还是在离差上都极不均匀。这些区段的特点是具有由后生添加作用造成的具专属性的岩系和元素带入带及带出带。元素带入带的宽度通常为数百米至几公里, 长度为几十公里, 而带出带规模则稍小一些。在这些带的范围内, 最常是在这些带的交接部位, 可以圈出与矿结和矿田相应的、面积为数十平方公里的异常场 (通常是等轴状的)。

金属矿床内生晕的规模根据许多发表的文章已经广泛地为人们所知。在大多数情况下, 元素带入 (带出) 带可用超过平均含量一个标准离差 (均方差) 值的非常弱的异常圈定。在这类情况下, 只根据 9 个相关样品就能把异常可靠地圈出来:

$$Ca = \bar{X} \pm 3S / \sqrt{m} \quad (3)$$

因此, 类似的异常应当有三条剖面穿过, 并且每条剖面上应有三个点在异常内。根据所积累的区域地球化学调查的经验, 可以确定必要的取样密度, 并且提出与填图的比例尺接近的取样网*参数 (表 7)。

对于均匀的、宏观看来未蚀变的岩石, 所列网度可保证发现大型的地球化学异常, 而不管

* 实际上在任何时候都不可能维持几何上的规则网度, 因为样品是在跑路线时于一般地质路线的观测点上和观测点之间采的。因此表 7 所列的网度只是近似地说明取样系统和密度。——原注

现有的地质普查准则和矿床标志是否正确。现有的矿床普查的地质准则和标志，可用于在跑线路的过程中选择加密取样的地段，例如地质作用活跃的接触带、构造断裂带、热液蚀变岩带等。应分别对石英脉、矿化岩墙、肉眼可见的矿化带取样。一定要对所有的山地工程、钻孔岩心取样。在对常常呈互层产出的未经蚀变的单调岩层取样时，所用的取样系统必须能保证每一种岩石有足够数量的样品，而且样品数要与各种岩石的分布面积或者剖面上的总厚度成比例。反之，若不适当地大大增加了较稀少和厚度不大岩类的样品数，就是不对的。

必须特别强调指出，取样密度取决于具体的地质情况（地质体形态、规模和出露特点），所推荐的网度（表7）只可起大致的指导作用。在许多情况下，应在野外工作过程中再较细致地解决是否有必要加密或者放稀取样网度的问题。

表 7 中一大比例尺地球化学调查中的取样密度与网度

比例尺	取样密度			大 致 的 取 样 网 度， 米	
	未 蚀 变 的 岩 石			异 常 带 和 晕	
1 : 50万	25平方公里	1 个样	5000 × 5000	5000 × (2000~1000)	
1 : 20万	4 平方公里	1 个样	2000 × 2000	2000 × (1000~ 500)	
1 : 5 万	0.25平方公里	1 个样	500 × 500	250 × (100~ 50)	
1 : 2.5万	0.06平方公里	1 个样	250 × 250	250 × (50~ 25)	

地球化学样品采取方法

由于地质体的规模相当大而样品数是有限的，不可能，而且也不必要作连续的取样，因此只有根据较少量的、随机采取的样品判断元素在岩石中的分布。样品数应当足以使抽样中的分布与天然分布相一致。此外，样品的采取应当能保证根据所采样品可用给定的精确度对元素的每一种分布参数作描述。到目前为止，关于地球化学样品的最佳重量和取样范围的问题尚在争论中。

在不同作者的方法建议中，提出各种各样的取样方法：拣块取样法，不同长度的点线刻槽取样法，在1至数百平方米取样范围内的敲块取样*法。所推荐的样品重量从150—200克至若干公斤。

直至最近，许多地球化学工作者还认为最大限度地准确测定岩石中的元素平均含量是自己的重要任务，这就是出现从大范围内采大样品的取样法的原因。确实，在从确定平均含量的准确性的角度来探讨同样数量的拣块样和组合样的统计总体的“代表性”时，组合样将具有某些优越性（当样品数量少时）。但因为可以把任何组合样看作是由若干拣块样人为制备出来的平均样品，所以这两种取样方法的差别实际上只是增加了拣块样的数量。正如经验所表明的，当样品数为35—50个时，测定平均含量的准确度已经不会有大的提高。

这样一来，由50个拣块样组成的抽样和由50个组合样组成的抽样在确定平均含量的准

* Скопковое опробование, 暂译为敲块取样，本文所述不详，似为一种组合样采样法。容待以后核查确定一译校注。

确度方面实际上是一样的(如果不考虑采 15—20 个样块来顶替一个拣块样是多么复杂的话)。但在估计另一相当重要(有时甚至更为重要)的分布参数——标准离差——的准确度方面,拣块采样大概有优越性。任何组合样由于含量拉平的结果必定人为地使标准离差的估计值降低。表 8 很好地说明了这一问题。

表 8 采用不同取样范围时得出的热液蚀变灰岩
中轴的分布统计参数

参 数	样 品 类 型 (样 品 数)	
	采自 1 万平方米的 组合样 (5)	采自 1 平方米的单 个样 (15)
算术平均值 $\bar{X}$ ($10^{-4}\%$)	3.5	3.6
抽样均方差的估计值 S ($10^{-4}\%$)	1.6	3.5
变差系数 V (%)	46	100

取样范围的无限扩大会普遍导致荒谬绝伦的地步:当取样范围达到被取样客体的面积时,含量变差趋于零。

标准离差的系统降低会导致最低异常含量受歪曲。所有上述情况对于样品重量也是正确的:如果 10 个 300 克的样品合起来,可以得到一个重 3 公斤的样品。但在矿床勘探的文献中有人指出,样品重量对取样结果可靠性的影响是不大的。

在 C. B. 格里戈良等的《矿床的内生地球化学晕及其在普查隐伏矿化中的应用》(1968)一书中,探讨了敲块取样或点线刻槽取样的好处的论据,在这些样品中主要采入富含指示元素的细小裂隙的近脉壁部分,因此地球化学异常衬度得到提高,范围得到扩大。在较大的深度(在矿山坑道、钻孔岩心)对矿带取样时,这种取样是可行的,然而并不比拣块取样的优越性大多少,但在表生作用总会有某种程度表现的地表进行填图时,落入样品的主要是易碎的(风化程度最大的)碎块,只可能使信息受歪曲。在采拣块样时,必须将经风化的外壳弄碎,只将最致密的、风化程度最小的岩石留下来。

在实践中,分析结果的方差在相当大程度上与分析误差有关。甚至在定量测定的情况下,分析误差亦占主要地位。例如,在利用近似定量光谱方法的结果时,分析方差往往是分析结果总方差的主要部分。在这种情况下,试图依靠扩大取样范围和样品重量来平滑掉分布的不均匀性是完全没有好处的。

被研究客体中元素含量的天然变异性与在元素的不同组合水平的物质(原子—分子—矿物—岩石—地质建造—地壳层—地球)中的天然不均匀性有关。因此,地壳中元素含量的变化是由极为不同的频度(周期)的变化构成的。依所研究的物质组合水平不同,有必要区分一定频度的变化,并相应地压抑与较低水平有关的频度。例如,在编制大比例尺的地球化学图时,研究的是岩石,分子和矿物水平的分布不均匀性并不使研究者感兴趣,而是一种压抑有益信号的“干扰”、噪声。但是在平滑这些不均匀性时,不能过份增大取样范围和样品重量,以致使与岩体或地层内存在的岩石学和构造不均匀性有关的元素分布不均匀性开始被平滑掉或者消失,既使在所用的测量比例尺下不能将这种不均匀性划分出来,也不要这样做。

在小比例尺调查中,基本的研究客体是构造-建造杂岩和建造系列。在这种情况下,元素在岩石中的分布不均匀性已经可划归“干扰”。通过采数量和重量最小的地球化学样品可以消除这种干扰,这样的样品可以反映出研究者感兴趣的频度变化。在区域地球化学填图中,可用数百米至1公里的精度画出地球化学异常带的界线。在这种情况下,增加取样范围(100平方米或更大一些只是该比例尺图件上的一个点)仍然不能可靠地判断两个取样点间的元素分布状况,因而这样做难道是合适的吗?

用专门的试验可以证实上述的总看法。Ф. Л. 杜姆列尔和Г. А. 舍依尼娜进行过一试验,其目的是利用方差分析将所得结果的总变异划分为相应于分析误差(复现性和时间漂移)的贡献和相应于较高级别频度的区域和局部地球化学变异的贡献。

研究在一个1:5万图幅内的含稀有金属矿化的矿区内进行。该区的地质构成包括陆源沉积层、酸性和中性成分的喷出岩、花岗岩类侵入体和中性—基性成分的岩墙。在该区域计划进行地球化学填图,以普查稀有金属和多金属矿化。因此,必须针对下面各种主要类型岩石评价各种方法和取样方式解决所提出课题的可能性:1) 淡色花岗岩;2) 黑云-角闪花岗岩和花岗闪长岩;3) 流纹斑岩的凝灰岩;4) 辉绿玢岩岩墙;5) 细粒复矿砂岩和粉砂岩。

在上述每一类岩石的分布范围内布置了地球化学取样点,样点均匀分布,相距数公里。取样点数量的确定要使之有可能查明大致与分析误差相等的天然离差。经查明,为此有5—10个取样点便足够了。对于上述类型岩石来说,取样点数目相应为6、10、6、5、5(共32)。在每一个取样点上,从未经表生变化的基岩取地球化学样的三种最常用方法是:

- 1) 从50平方米的范围内取总重量为10公斤的20—30块样;
- 2) 从1平方米的面积上取总重量为0.5—1公斤的20—25个敲块样;
- 3) 重量为200—250克的块样。

将每个样品(共取96个样)在破碎和磨至可分析的粉末后分成四包。因此,便取得同一些样品的四套分样。作为密码样以随机顺序同时分析第一和第二套分样(192包)。第三和第四套分样过五个月后用同样方式进行分析,以确定时间漂移。在ДФС—13型仪器上用碳极孔穴蒸发法作20种元素的近似定量测定。在同一实验室对铜、铍、锡、钼、和铅作定量光谱分析。铀用珠粒-荧光法测定。由于技术上的原因,所有定量测定只用于分析第一和第二套分样,并且其时间上的误差不予考虑。

在设计试验时,采用了一种模式,根据它,结果的总离差用下式表示:

$$D_z = D_v + D_{vp} + D_{рег} + D_{лок} + D_{точ}, \quad (4)$$

式中: $D_{лок}$ —与50平方米范围内元素分布的不均匀性有关的局部离差; $D_{точ}$ —与1平方米范围内元素分布的不均匀性有关的点离差。

对每一类型的岩石,针对三种取样方法编三道题:

对从50平方米内取的样品(重量10公斤),研究模式:

$$D_z = D_v + D_{vp} + D^2_{рег}; \quad (5)$$

对从1平方米内取的样品(重量0.5—1公斤)

$$D_z = D_v + D_{vp} + D_{рег} + D_{лок}; \quad (6)$$

对块样

$$D_z = D_v + D_{vp} + D_{рег} + D_{лок} + D_{точ} \quad (7)$$

表 9 方 差 分 析 的 结 果

元 素 (分析种类)	花 岗 闪 长 岩				
	S_B	S_{Bp}	S_{per}	$S_{лок}$	$S_{точ}$
Ni (ПК)	0.13	H	0.17*	H	H
Pb (ПК)	0.17	H	0.13	H	H
Cu (ПК)	0.097	H	0.067	H	H
Zn (ПК)					
Cr (ПК)	0.098	H	0.17*	H	H
V (ПК)	0.099	H	0.081	H	H
Co (ПК)	0.096	0.11	0.076	H	H
Ti (ПК)	0.086	0.11	H	H	H
Mo (ПК)	0.19	0.22	H	H	H
Sn (ПК)	0.064	H	0.084	H	H
Y (ПК)	0.11	H	0.093	H	H
Yb (ПК)	0.13	H	H	H	H
La (ПК)	0.089	H	H	H	H
Nb (ПК)	0.12	0.16	H	H	H
Be (ПК)	0.12	0.12	H	H	H
Zr (ПК)	0.14	0.15	H	H	H
Ga (ПК)	0.089	0.061	H	H	H
Sr (ПК)	0.13	H	H	H	H
Ba (ПК)	0.094	H	0.050	H	H
Sc (ПК)	0.19	H	H	H	H
Pb (Кол)	0.080	—	0.20*	H	H
Cu (Кол)	0.062	—	0.089*	H	H
Mo (Кол)	0.046	—	0.057	H	H
Sn (Кол)	0.064	—	0.11*	H	H
Be (Кол)	0.037	—	0.16	H	H
U (P)	0.067	—	0.11*	H	H

借助《Минск—22》电子计算机按专门的程序对所得的数字资料作三级分类的方差分析，此后利用费歇尔准则依次对比 $D_{рег}$ 、 $D_{рег+лок}$ 、 $D_{рег+лок+точ}$ 的方差，并估计 $D_{рег}$ 、 $D_{лок}$ 、 $D_{точ}$ 方差的显著性水平。方差分析的结果列于表 9，其中只列出在所有样品中其含量超过灵敏度界限的那些元素*。

* 所有的计算都用含量对数进行，而相应的方差便是含量变异性的估计值。—原注

续表 9

元 素 (分析种类)	浅 色 花 岗 岩				
	S _B	S _{вр}	S _{рег}	S _{лок}	S _{точ}
Ni (ПК)	0.14	H	H	H	0.14
Pb (ПК)	0.064	0.075	H	H	H
Cu (ПК)	0.092	H	0.10*	H	H
Zn (ПК)					
Cr (ПК)	0.096	H	0.088*	0.10	0.16*
V (ПК)	0.092	0.21	H	H	H
Co (ПК)	0.12	H	H	H	0.13
Ti (ПК)	0.13	H	0.063	H	H
Mo (ПК)	0.23	0.21	H	H	H
Sn (ПК)	0.077	H	H	0.046	H
Y (ПК)	0.088	H	0.09*	H	H
Yb (ПК)	0.092	H	0.10	H	H
La (ПК)	0.088	H	H	H	H
Nb (ПК)	0.12	0.13	H	H	H
Be (ПК)	0.15	H	0.12	H	H
Zr (ПК)	0.082	0.086	H	H	H
Ga (ПК)	0.13	0.092	H	H	H
Sr (ПК)	0.14	H	0.080	H	H
Ba (ПК)	0.12	H	0.21*	H	H
Sc (ПК)					
Pb (Кол)	0.087	—	0.11*	H	H
Cu (Кол)	0.064	—	0.15*	H	H
Mo (Кол)	0.082	—	0.082*	H	H
Sn (Кол)	0.063	—	H	0.040	H
Be (Кол)	0.050	—	0.10*	H	H
U (P)	0.048	—	0.12*	H	H

译注：表中ПК代表近似定量分析，Кол代表定量分析，P代表珠粒-萤光分析；
 各项方差S的角注的含意是：B—重量，вр—时间，рег—区域，лок—局部，точ—点，文中相应角注含意与此相同。