

——加拿大肯诺山营地铜铅锌脉状矿床的一种勘探手段

序 言

在扩大后备储量的持续不断的压力下，导致我们进行了下面报道的研究工作，目的在于研究矿脉中金属分布模式的勘查远景。特别是，如果存在正常模式，那么它就可为重新评价肯诺山营地70多个脉状矿床某些矿内巷道的地球化学采样计划，提供依据。简单来说，就是想探索勾勒出矿床周围金属晕的某些模式的可能性，并要研究出可作为一项勘查手段的实际方法。

所研究的肯诺18号脉矿体，是呈板状的、具角砾状构造的矿脉，局部具条带状构造。矿脉走向NE70°，倾向SE60~70°。含矿围岩主要是厚层状石英岩夹石墨片岩和千枚岩。主要矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和银黝铜矿，少量黄铁矿、毒砂。脉石矿物主要有石英和菱铁矿。

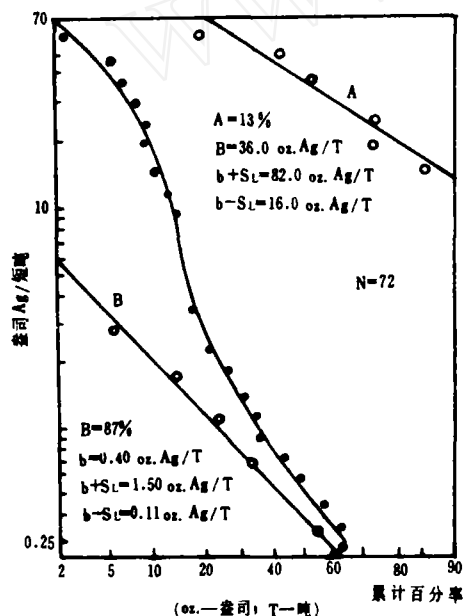


图1 18号脉72个样的Ag含量概率曲线。由含Ag 9盎司/吨的临界值为界, 明显地分为两个总体

数据统计分析

对全部变量的直方图和概率图作了试验之后发现,各变量均呈对数正态分布,或可以解释为对数正态总体混合。如图 1 所示,绘制成的 Ag 对数概率曲线就被分解为两个总体,它们能比较有效地用含 Ag 9 盎司/吨(约 300 ppm)的异常下限来分开,两个总体与矿、岩石紧密对应。此解释在 18 号矿脉勘探中具有实用意义——Ag 含量低于 9 盎司/吨在该矿脉中较为普遍,因而不能用作矿体存在的指示标志。当 Ag 高于 9 盎司/吨时,表明附近存在富矿体。其他元素也可得出类似的结论。

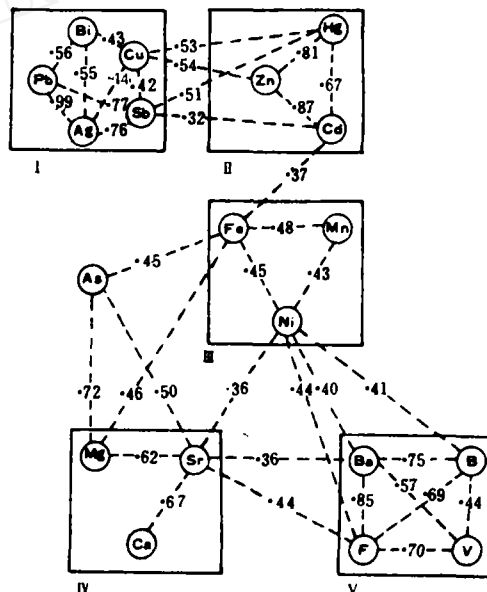


图 2 钱段说明所指的组内密切相关的数组

在线性相关系数矩阵中,元素分别列为五组,每组内元素间存在弱的相关关系(图2)。这些组,可以用通常的矿石矿物的涵义来解释:Ⅰ组相对应的是方铅矿—银黝铜矿以及其他的银矿物;Ⅱ组为闪锌矿;Ⅲ组为黄铁矿和菱铁矿;Ⅳ

组对应于方解石和白云石；V组可能出现电气石、重晶石和金红石。此外，元素As主要呈砷辉锑银矿出现。

金属元素分布模式

图3所示是所研究的几个变量剖面。元素之间的某些相关性与Ag、Pb的分布模式明显一致。然而，使用这些数据作图有两个问题：第一，由于样品的间距与一些银的富聚带宽度同一级次，例如，Ag富聚带中平均富矿体的宽度为7米，采样的平均间距为2.7米，显然，样品间距过大，使得元素的地球化学晕只能偶然地被辨认出来，即令出现了，其渐变或突变性质也不可能明显地反映出来。其次，由于矿脉被许多较小的断裂切割，而且至少在一个主要的破碎带上存在数十英尺长的走向滑动断裂，结果使许多样品对，不可能保存原始距离。因此，需要通过某些其他的处理办法来复验数据加以补救。

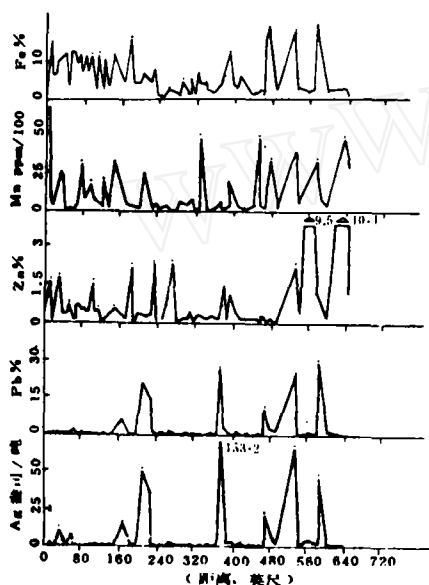


图3 分析数据与取样点关系代表性
曲线图。高银值所反映的小富矿体宽6~15米

我们选择了富矿体理想的发育条件，按Ag含量递减的序列重新布置样品。由于在矿区，高含量Ag在矿石中是基本的，同时矿山地质工作者已有了辨别高Ag值在次贫矿中的矿物分带模式。一旦按Ag递减来布置样品序列，其他元素分布特征

则可以用已经圈定好了的模式来研究，以及研究这些模式与理想富矿体的相关关系。为绘制这些理想分布剖面，我们假设重新按相等间距来布置样品。值得注意，重新布置样品序列所得的结果，已无比例尺大小，仅有相对位置的意义了。

在任何情况下显示的实际数据点所描述的是一般分布模式的光滑曲线。我们采用了三次样条函数曲线拟合法，作为光滑曲线的标准方法。不同的节段很容易用不同的圆滑标准来拟合。拟合与上述的分组有关，从五个主要元素中各选一个作实例。我们所分析的多元素光滑曲线用图4再复制出来。由图4可见：①同组元素的分布模式十分一致；②各组之间元素模式有明显的差异。更有意义的是Hg的模式，它显示出是由三个Hg的等级组成。按此序列，每一个等级的平均值从高Hg边缘逐渐递减。这种模式用以确定地球化学带的分布，圈定Ag富聚区的方向和判别异常源都是有意义的。

这个模式所示的图4和图5中，Ag的峰值可以判断为富矿体中心，向外其含量递减。这些图示中，假设元素对富矿体的关系是对称分布的，即含Ag低的样品在含Ag高的样品两侧，图中所表示的仅是理想模式的一半，其对应的另一半可以推测。如果我们假设一个各向同性的理想模式，那么，自矿体向外各个方向扩展在每一个面内的模式是相同的，于是形成了元素的同心圈分布模式。如果存在各向异性，理想模式可以绘制成一个同心椭圆状模型。

元素含量比值

我们测定了成对元素各种可能的比值来研究富矿体周围可能存在的分带模式。从有关的44对元素详细测定的比值中发现：Zn/Ag, Zn/Cu, Pb/Ag, Cu/Ag, Co/Pb, Ba/Hg, Mn/Hg, Zn/Pb和Fe/Hg等这些比值，在富矿体内或其毗邻呈低值出现，而离富矿体越远，其比值就越高。其中尤其是Zn/Ag（图6上）的比值在实际工作中是很有用的。

Co的有关比值在研究金属分带和富矿体的关系中也是有用的。以Co作分子的各种比值离富矿体越远越高，其中Co/Ag更具实用意义，可

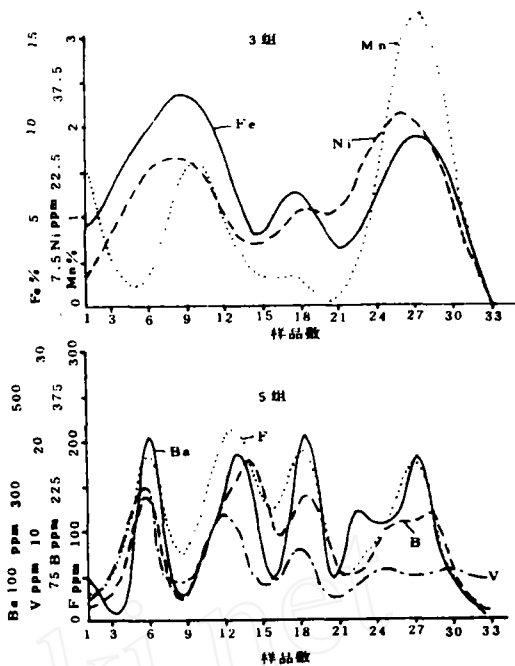
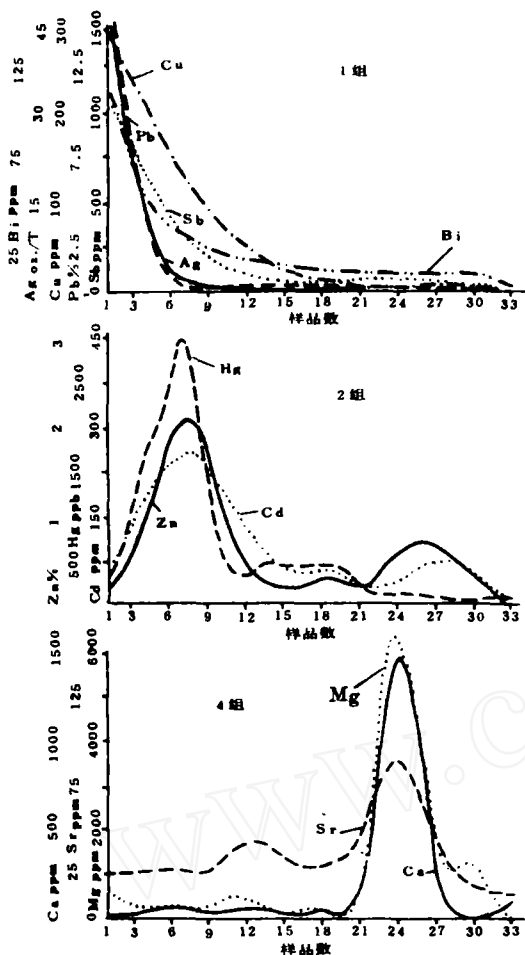


图4 样条函数曲线与原始数据拟合结果。尽管各元素组之间的元素分布不相似，而每组内元素的空间分布是十分相似的

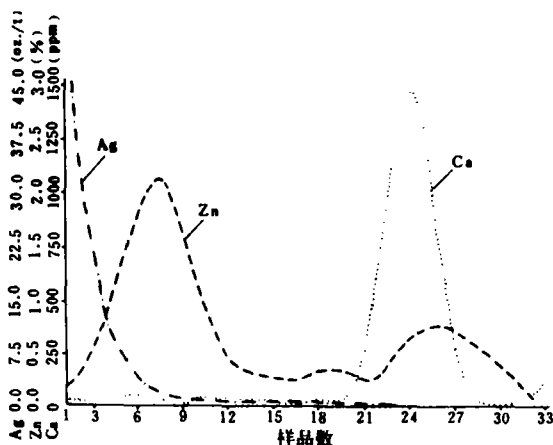


图5 由 Ag、Zn、Ca 表明富矿体和圈围的晕

以用作找富矿的导向指标。

Zn/Ag高比值晕(图6上)围绕着碳酸盐晕分布,距富矿体比碳酸盐晕扩展更远,而且注意到矿脉的含Zn量随碳酸盐含量增加而增加。高Zn/Ag带的外侧部位,与图6下用Co/Ag的比值所指示出的高含量Co是吻合的,并且以黄铁矿富集带来解释。而Co/Ag高比值可以用脉矿物学来解释。

矿物分带

这些元素分布模式不难用富矿体的物理想分带模式来解释。例如: Pb都以方铅矿的形式、Zn呈闪锌矿的形式存在。此外,需要注意的是方铅矿的周围有闪锌矿晕分布。同样,类似有高含

理想富矿体模式的试验

这次研究的第二项,是对上述理想富矿体形成模式有关取样方法的典型试验。试验是在肯诺18号矿脉中进行,沿各种工程共取六组矿样。按正常的采矿取样步骤,从工作面或横穿整个矿脉宽度对矿柱取样,每组至少有10个样品。样品间距根据具体情况而定,一般是2~6米。按Ag-Pb带、Zn带和碳酸盐带将样品分组,因而元素的分布可以和所期望的模式相比较。一般说来,选用I、II、IV三类元素组,因为它们应用在这些模型中效果更好。下面对三个标准实例加以讨论。

1. 肯诺4—18—05采面。

在此采面上,有三个典型元素剖面(Ag、Cd、Ca),在同一水平标高取样(图7左上方剖面所示)。这些剖面是容易推断解释的,在剖面的左边是富矿体,在剖面的右边是闪锌矿晕(Cd高),该晕与富矿的边沿相吻合。Ca含量从左边的低值向右增加到较高值这现象,与富矿体的更右侧存在的边缘碳酸盐带的推论是吻合的。这三个分布模式与其他一些对应元素组相同,它们均同理想模式一致。但很明显,实际上局部变化大于理想模式。Ag和Ca的剖面可用以证实方铅矿—银黝铜矿带以及闪锌矿带的范围。方铅矿—银黝铜矿带的范围30米左右,而闪锌矿大约12米。需注意,模式是由横穿富矿体3~9米的宽度为依据而产生的,如果比富矿体宽度大3~10倍时,使用效果会更好。

2. 肯诺7—18—S平巷。

图7左下方中的这些试验数据在实际解释中有些多解性。这些样品是沿平巷采集的,为了避免出现Ag的特高品位样,故需要试验其他部分的模式。Ca含量逐渐向右边递增,说明其剖面右侧部分是碳酸盐带。其左侧的高Hg值,显示存在于闪锌矿带中。虽然这两种趋势可以作其他解释,但Ag富聚带可能是位于剖面的左侧。例如,如果在更左侧取样含Ag低,但Zn或Ca增加,按这模式可以推断高Ag带在平巷的上方或下方。

3. 肯诺2—4—S平巷。

图7右反映肯诺4号脉碳酸盐十分富聚的地段。Ca从右到左递减,Zn和Ag局部偏高,这高

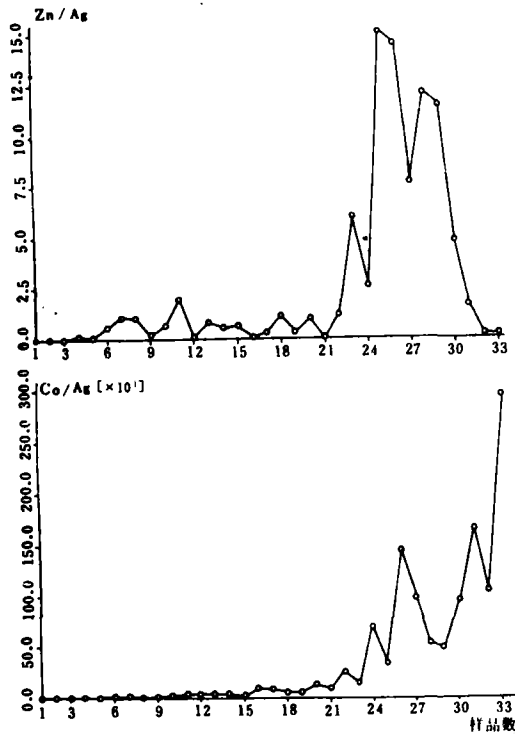


图6 元素比值横剖面,理想富矿体往外的比值

量Ca、Cr、Mg分布,几乎肯定是碳酸盐带的产物,它形成一个距矿体和闪锌矿晕一定距离的边缘带。此外,出现重合的Fe、Ni、Co峰值,是黄铁矿带存在的反应。如果假设的理想富矿体,这种推断很简明,即中心的方铅矿带富聚银(银黝铜矿加其他的银矿物),其外围是闪锌矿带,最外侧是碳酸盐带(方解石或白云石)。

如果化学元素丰度能用矿物组合来解释,那么,是否需要对这些元素进行化学分析呢?显然,一旦模型建立起来后,我们几乎不再对23个元素进行化学分析了。其中有些元素没有足够的丰度来表示任何类型的分布模式,有些元素出现特高含量的异常掩盖了任何隐伏的分布模式,还有些元素并不能提供直观的新的信息。因此,所有的采矿样品,一般都要要求对Pb、Zn、Ag进行化学分析。因为这些金属元素不但有重要的经济意义,而且通常研究方铅矿、闪锌矿和含银矿物(主要是银黝铜矿)的分布模式是很有效的。此外,为了理想模式的应用需要,我们建议对所有矿样作Hg、Ca、Mg的定量分析。

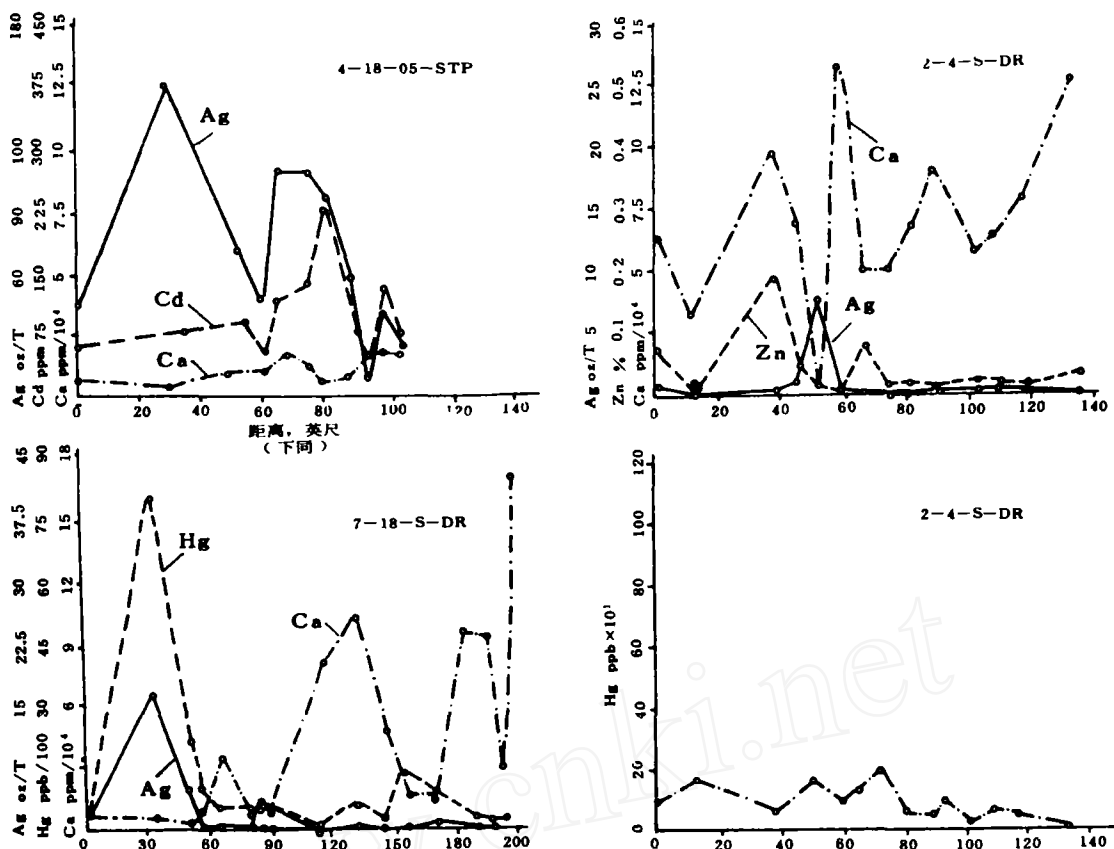


图7 理想富矿模式三次试验
左上图为4-18-05顶部；左下图为7-18-S平巷；右图均为2-4-S平巷

值部分我们认为表明在碳酸盐带内局部样品的变化。为了使图示清晰，Hg单独表示，其左侧比右侧有明显的高值。如前所述，Hg的这种模式表明，主要的Zn带和Ag-Pb带是在更左侧。这种解释和理想模型是一致的。因而为勘探工作提供了特殊的判别标志。

模式的实际应用

研究的模式作为一种勘探手段来应用，是把它建立在理想矿体的基础上的。事实上，任何简单的矿体都不可能这样理想化。因此，实际工作中我们碰到的数据都是些局部变化的数据，必须加以处理，使它近于理想化数据。标准化圆滑的方法能处理这种差异。此外，我们须考虑到脉矿体的规模。为了对比实际矿体所得到的每一组数组，对研究的理想矿体的规模需要作适当的调整（扩大或缩小）。这两个特点要在实际的数据和模

型数据的对比中加以处理。

我们预计这种模式适用于两种情况的标准化取样方法中。即：

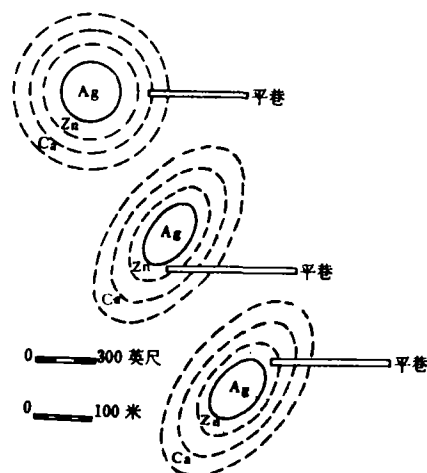


图8 用理想的金属分带模式来解释盲矿体位置
(下转第30页)

± 0.05 , 但因钾长石中所含的钠长石组分会降低钾长石光学有序度, 故 d 一般略低而具 $0.9 \sim 1.0$ 之间值。天宝山矿区印支期岩浆成岩系列的岩系有序度方程为 $S_T = 0.95 \Delta^{0.39}$, 而海西期岩浆成岩系列的岩系有序度方程为 $S_T = 1.02 \Delta^{0.39}$ 。用岩系有序度方程可表征各岩系成岩系列的特点。

(五) 某一种岩石成岩后, 其中的钾长石的有序度和三斜度并非固定不变, 而随该岩石的蚀变和变质不断地散化或聚化。譬如, 天宝山矿区的片麻状花岗岩在成岩时为一种深成的中粗粒二长花岗岩, $S_T-\Delta$ 图形应当属于聚面型, 并应位于高有序度、高三斜度处。伴随海西期褶皱运动而来的塑性变形的构造运动, 不仅使该岩片理化, 而且促使钾长石有序度和三斜度下降和散化, 从而具有银洞岩体的那种 $S_T-\Delta$ 图解。此后, 有些岩体受印支期石英闪长岩和斑状二长花岗岩体的侵入和包围而热变质, 从而已散化了的 S_T 和 Δ 在新的物理化学条件下聚化, 显出新成岩体的那种 $S_T-\Delta$ 图解。岩石在蚀变和交代过程中钾长石的有序度和三斜度也不断改变, 以适应改变了

的物理化学环境。

总之, 钾长石有序度和三斜度的相关分析, 对花岗岩类岩石的岩石学和岩理学研究方面提供较多重要信息和论据, 因此应当成为岩石学和岩理学研究的方法之一。

吉林省冶金地质研究所副所长朱奉三高级工程师审阅了全文, 并提出了宝贵意见。在工作过程中得到了胡安国工程师的帮助。在此一并致谢。

参考文献

- [1] 金尚麟, 费德罗夫方法, 岩矿鉴定与物质成分研究手册, 1974, 《地质与勘探》编辑部出版
- [2] Марфунин А. С., Тр. ин-та геология руд. Месторожд., петрогр., Минерал и геол., вып. 78, М., 1962
- [3] Joseph V. Smith, Feldspar Minerals, New York, 1974
- [4] Гордиенко В. В., Кухаренко А. А., Минералогия и геохимия, вып. 5, 1975
- [5] Афонина Г. Г., Шамакин Б. М., Макагон В. Т., ДАН СССР, т. 231, №2, 1976
- [6] 马顺义, 长春地质学院学报, 1980, №1

(上接64页)

1. 平巷施工结束再取样 按矿脉宽度来取样, 大约100英尺距离内, 以5~10英尺的间隔取样, 即样品不少于10个。

2. 在新开拓平巷中按常规取样, 每班作业结束时应取样完毕 这种方法可能会造成对富矿体形态解释不确切。因为按常规取样法, 我们只是在一条线上取样, 而元素的空间分布模式, 我们必须用二度空间分析模式来解释。

在元素分布的解释上, 主要问题之一是, 上述正在研究的矿体规模问题——多大规模的富矿体才形成特定的晕? 我们只粗浅地研究过, 例如, 可以指出矿体的规模范围, 超过此范围时, 模型

就可以应用。在脉矿体中, 对富矿体的平均规模获得了一些新的资料, 使这问题有可能得到解决, 因为这些新的资料为我们提供了矿体规模、形态各向异性的实际数值和范围。图8是解释三种元素通常存在的形式, 其表明所取样品接近平巷末端的适当的地段, 而且表明平巷是在富矿体晕圈之内。最适当的勘探步骤可以是这样: ①延伸平巷至少近于一般富矿体的宽度, 以便达到如上所讨论的推断解释(图8)。②打一横穿, 以便使金刚石钻具穿过平巷上下可能存在的富矿体。摸清了矿体或富矿体的一般形态、规模, 就会帮助我们确定选择①或②的方案进行勘探。

黄超摘译, 燕桂苑等校 据Journal of Geochemical Exploration,

Vol. 14, № 1, pp. 1~24, 1981