

秘鲁祖尔卡尼矿区金属比值的研究

前 言

通过对一系列矿脉中的金属含量或矿物含量的水平变化或垂直变化的研究,对硫化矿床的分带现象早就有所认识。把金属的实际含量标绘在矿脉的剖面图上或矿区的横剖面图上,就成为一种定量的工作方法,往往可以用它来摸清矿床的分带模式,对指示富矿的分布比研究化学成份的变化更为有效。金属含量高的地区,矿脉特别宽,或者是该区基岩受到强烈的破碎,因而有大量硫化物沉淀。由于金属含量变化受矿物沉淀的物理化学作用或构造作用的控制,单靠金属含量变化还不能得到明确清楚的分带模式。也可以利用矿物成份的变化来研究矿床的分带,这种方法实质上也是一种定性的方法。

利用金属比值可以定量地研究硫化矿床的分带。主要金属元素比值本质上不以构造特征为转移,它反映出残留矿液物质的化学性质的变化。金属比值的变化是由矿物的变化以及所出现的有关成矿期的变化所引起的。这些变化可能受局部岩性控制,或者是矿液流经岩石所经受的总的物理化学性质的变化引起的。在解释金属比值变化时,由于不同的成矿阶段的重迭,使问题复杂化,但这些复杂情况常常是可以分辨的。

本文通过Pb/Cu、Ag/Pb与Ag/Cu等金属比值来研究秘鲁祖尔卡尼矿区各个矿床的分带。利用所确定的金属比值的空间变化数据,勾出等量线图,根据其形态可以判明矿液运动的方向。

地 质 情 况

祖尔卡尼矿区位于秘鲁中南部,在利马东南约300公里。矿区位于古生代和中生代

沉积岩已被错断的南北向背斜与一个大横断层的交叉处。

矿体产在第三纪的熔岩流、凝灰岩与岩株(成份一般为英安岩和安山岩)的裂隙里面。一般来讲,文中所提到的矿脉,其围岩蚀变不大明显。矿石中含有铜、银、铅的硫化物,并且有相当数量的砷、锑、铋和锌。主要矿物为方铅矿、砷黝铜矿-黝铜矿、硫砷铜矿及其它磷酸盐类矿物。黄铁矿很多,是经常出现的伴生矿物,主要脉石矿物有石英、重晶石与菱铁矿。在赫米尼亚,多金属磷酸盐矿化作用阶段之前有一个黄铁矿-黑钨矿-硫砷铜矿-重晶石阶段。赫米尼亚和密莫莎两个矿床在其矿化最后阶段生成闪锌矿和菱铁矿,由于在这两个地区没有研究锌的比值,不发生共生带重迭引起的问题。围岩蚀变产物为绢云母和高岭土。矿区有好几个矿床。

金属比值的计算

在金属比值的研究工作中,采用了两种类型的资料:一种是从矿石编录中搜集的大量刻槽或拣块样品对几种元素的分析数据;一种是对有足够矿物品位可认为是矿石的矿块,取以前测得的数据的加权平均值。我们工作中采用的是第二种。

15年来在这个矿区每年的矿石储量年报表中有银、铅和铜的品位纪录,化验结果是用标准的湿化学分析方法测得的。根据采矿厚度贫化之前的金属平均含量,计算出Ag/Pb、Ag/Cu和Pb/Cu的比值(Ag以两/短吨计(1短吨=907.2公斤—译者),铜、铅以重量%计)。当比值中元素之一的分析结果达到可检极限时,在比值范围的最高端

和最低端的值可能有错误。将比值标绘在各个矿块位置的垂直纵断面图上。在单个大的矿脉中，这种比值一般与蚀变一致，并可以勾绘等量线图，可划分出比值不同的区段。在复断裂地区及矿脉很多的地区，还需要把投影在垂直断面上的数据，投影到水平面上，以便得到三维空间的分带模式。

祖尔卡尼地区各个矿床的研究成果分别介绍如下。

赫米尼亚矿床

赫米尼亚在祖尔卡尼地区的东南部，东西700米，南北600米，垂直向下450米，在这一范围内有很多矿化裂隙。矿化早期阶段

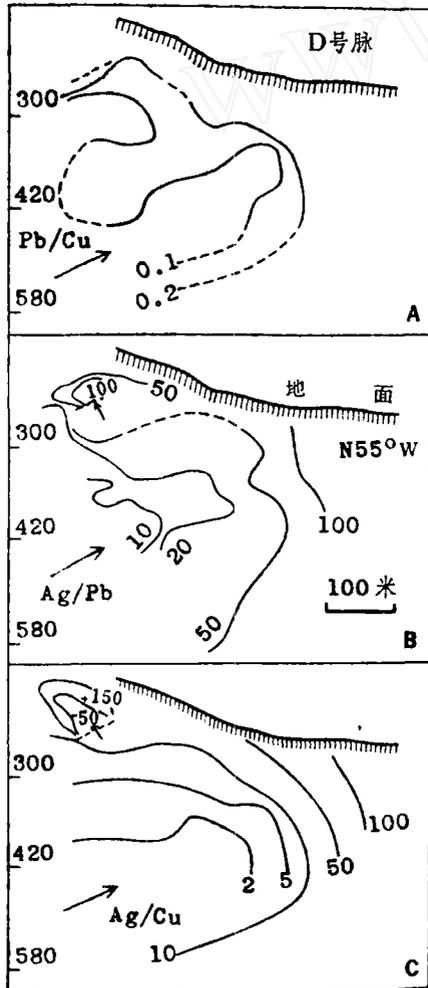


图1 D号矿脉(a)Pb/Cu、(b)Ag/Pb、(c)Ag/Cu比值的垂直纵剖面图。箭头表示推测的矿液流动方向

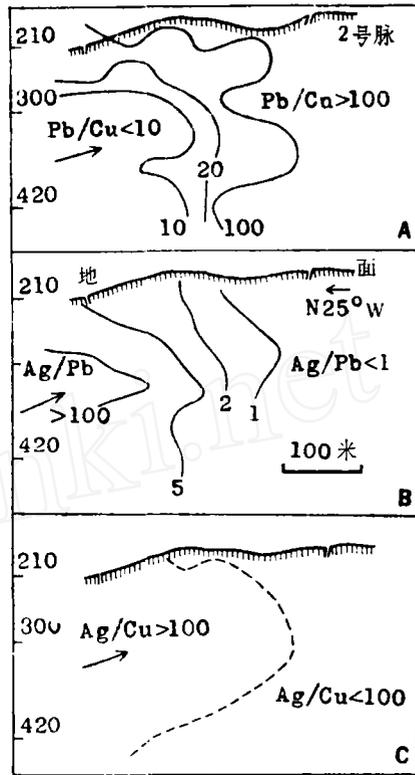


图2 2号矿脉(a)Pb/Cu、(b)Ag/Pb、(c)Ag/Cu比值的垂直纵剖面图。箭头表示推测的矿液流动方向

限于西北部，有黄铁矿-黑钨矿-硫砷铜矿-重晶石。主矿化阶段金属矿物有砷 黝铜矿-黝铜矿、车轮矿、方铅矿、辉铋矿和其它磺酸盐类，位于矿区东南三分之二的地区。次要的闪锌矿-菱铁矿后期阶段位于东南部。前两阶段在空间上重叠范围有限。赫米尼亚有两条矿脉：2号矿脉与多切尼塔矿脉（后者在下面译文中我们简称它为D号脉），其纵剖面上的金属比值变化见图1和图2）。图中箭头表示推测的矿液运动方向。

该矿区360米中段其 Pb/Cu、Ag/Pb、Ag/Cu 比值的变化见图3、4、5。

在这几张图上有三种普遍性的特征，值得进一步讨论：(1)比值范围，(2)比值变化的性质，(3)比值等量线的形态。

在D矿脉中Pb/Cu比值在西北部小于0.1，在深部向东南方向增大到 $0.2 \leq Pb/Cu \leq 1.0$ （见图1a，图3）。D号脉与2号脉之

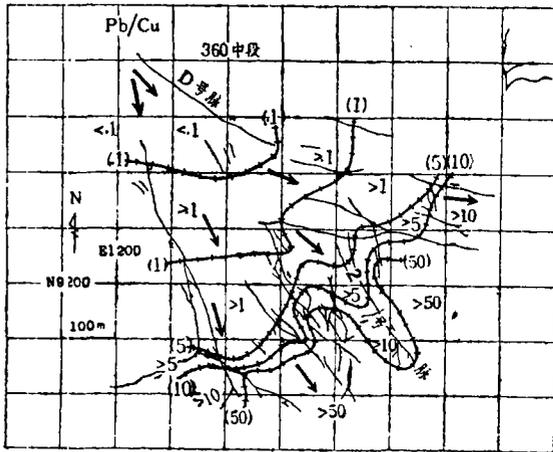


图3

间有一条 $Pb/Cu = 1.0$ 的等量线。2号脉(图2a)在西北部比值为 $1.0 \leq Pb/Cu \leq 10$,到东南部增大到 $Pb/Cu > 100$ 。从360米中段平面(图3)同样可看出其比值向东南方向一直增大,其轮廓呈同心条带状。含硫砷铜矿的早期阶段在 $Pb/Cu = 1.0$ 附近终止。而把大于此值的作为唯一的共生阶段。

D号脉的 Ag/Pb 比值在西北部位小于10,在东南在深部增大超过100(图2b)。2号脉中此金属比值在西北部大于100,到东南部减小到小于1.0(图2b)。在360米的水平断面上(图4),该金属比值变化从西北到东南缓慢增大,在赫米尼亚的中心带处达到最大值(大于100),自此以后再往东南,比值迅速减少到小于2。最大值两侧金属比值等

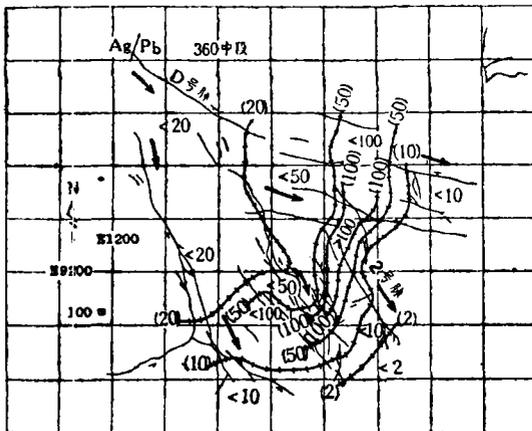


图4

量线没有衔接,也不闭合,因为它们是与不同矿物和不同 Pb/Cu 比值对应的。

D号脉的 Ag/Cu 比值在西北小于2.0,在深部东南部增大到大于100(图1c)。2号脉的 Ag/Cu 比值只勾绘出一条等值线。在西北部大于100,在东南部则小于100(图2c)。在360米水平断面图上(图5),由西北到东南,此比值表现为平缓地增大,在赫米尼亚中部达到大于500的值,再向东南则很快地减小。同样,最大值两侧的等量线并不相同。

Ag/Pb 和 Ag/Cu 比值的分布表明在赫米尼亚中部有一个最大值带,但 Pb/Cu 比值在穿过该区是一直地增大。最大值的西北侧和东南侧既不对称,也不相同,因为它们具

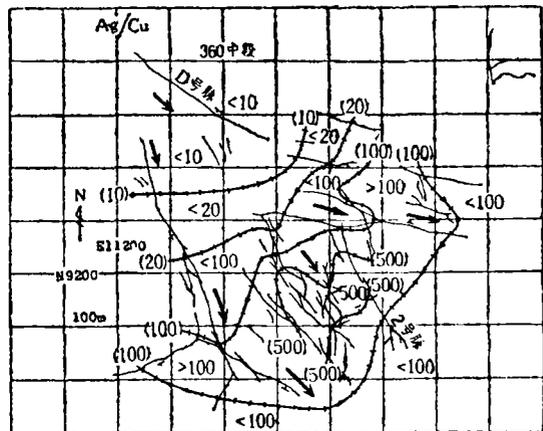


图5

图3、4、5分别为赫米尼亚矿360米中段 Pb/Cu 、 Ag/Pb 、 Ag/Cu 比值的等量线平面图,箭头表示推定的矿液流动方向

有不同的矿物特征和化学特征。最大值区银矿特别富,说明成矿溶液在有限地区内将银析出。了解这一区段的空间范围对找矿有重要的意义。在此地区以往的采矿工作是朝这个区段进行的,但是当富矿带在深部似乎变窄时,便认为矿将采尽,于是采矿作业终止了一个时期。如果已进行了对 Ag/Pb 与 Ag/Cu 比值的研究,便可认为矿液的运动是从银比值最大值区向外扩展。过去所作出的解释就是这样的。

垂直断面的金属比值等量线的形态(图

1和2)大致是从西北向东南移动的一个大的横向分量的波面。也就是说,曲线一般向东南方向凸出,其轴向近于水平。在开采工作还未达到所需要的深度,在这部分地段,只能见到这些曲线的上面那部分,可能认为是蘑菇状分带模式的一部分。在360米水平断面图上,向内凹的比值等量线(向东南凸出)从北东120°到正南描绘一个圆弧,这是从图3、4、5中的水平断面图所见到的不同比值的弯曲条带看出来的。不过,将各个中段等量线图重迭起来可能看得更清楚了。

比值等量线的形态看来可以指出矿液流动的方向,其凹口朝着矿液的“源”。这是根据理论研究和野外观察结果得出的论断。首先注意到,渗透性较大的地带,等量线间隔较大,而且离推测的“源”较远。对于一条已知矿脉,例如D号脉或2号脉,裂隙向上向下一一般都变窄。在平面图上,把赫米尼亚作为一个整体来看,裂隙密度变大,宽脉居多数的地方,等量线间隔要“增大”。大体上可以预计到,渗透性较大的地区将容许更多的矿液流通,因之要达到相同温度或是达到同样围岩蚀变程度,与沿狭窄的通道流过容量较小的矿液相比,所需要移运的距离就长。

另外的证据表明,在这个地区矿液是从西北流向东南。Pb/Cu值一直增大,反映了已经公认的分带序列,即在中部为铜,到边部变为铅。地表地质填图发现在D号脉西北有一小侵入体,可能为火山岩颈经剥蚀后的残余物。在此侵入体的北边有一小矿体(鲁克里西亚),根据其Pb/Cu比值的变化,证明矿液是往上向北流动的。所推定的矿液流动的两个方向向后引,相交处即侵入体所在位置,与之相联的破碎地带可能就是热液通道。于是得出结论,金属比值等量线的形态,看来确实反映出矿液流动的方向,其凸出部分指向边缘带。

利用同样的工作方法,还推测出其它几个矿床中矿液的流动方向。其结果见图6,这里不准备再详细地介绍了。从图6可看

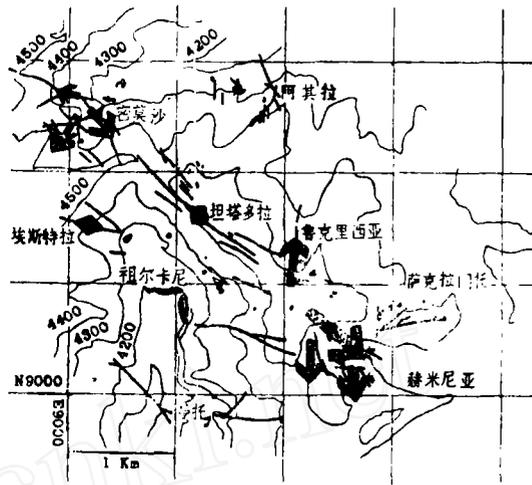


图6 祖尔卡尼地区推定的矿液运动方向的总图。箭头表示溶液水平流动方向,方块表示矿液垂直上升

出,在东南部矿液是从与一个侵入体有关的破碎带上升后再向外流动(图中用箭号表示),形成了赫米尼亚与鲁克里西亚矿脉。坦塔多拉和埃斯特拉的矿液在主裂隙内垂直向上,结果金属比值等量线呈蘑菇状,图中用黑色斜方块表示。密莫沙矿脉中的矿液也是垂直向上再向外移动,表示蘑菇状的分带。各个中心之间的时间关系是很有意义的,但由于在空间上不重叠,还没有获得有交错的证据。

金属比值变化的一般探讨

研究结果表明,除坦塔多拉外,在整个地区Pb/Cu比值沿矿液通道一直增大,其变化是与在正常分带序列的多金属矿上所见到的分带是一致的。使其成为确定某一矿块或矿脉分带序列内位置的良好标志。所以Pb/Cu比值可以用来作为分带标志。在特殊条件下,此参数可能直接与热液沿通道的分异作用有关。此参数在所推断的几条通道内的变化速率见图7,图件是根据 $\log Pb/Cu$ 与沿通道的距离的关系绘制的。距离标尺的零点是根据现在开发矿体所揭露的矿液通道第一个出现的矿块来确定的,因而是比较随意的。在赫米尼亚(在前300米 $d(\log Pb/Cu)$)

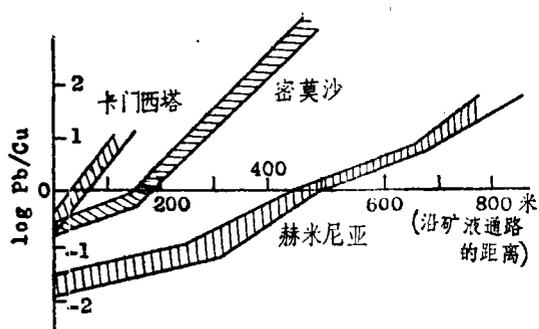


图7 在三个不同矿床上logPb/Cu与矿液沿通道流动的距离之间的关系图

$/d(\text{距离}) = 0.25/100\text{米}$ (即每400米变化一个级次), 在分带序列剩余部分其平均值为0.5/100米。在密莫沙, 在前150米参数变化率为0.5/100米, 其余部分为1.0/100米。在卡门西塔, 通道比较短, 参数的变化率为1.4/100。

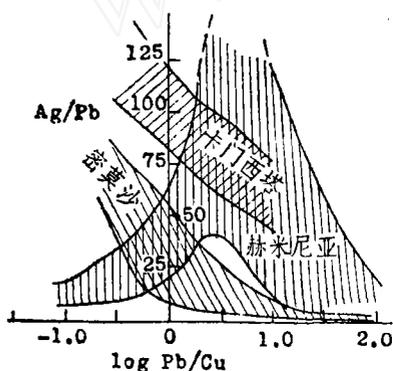


图8 在三个不同矿床上, Ag/Pb与logPb/Cu的关系图

比值沿距离的变化率在次要通道中似乎比在主要通道中要大。如果这些矿床具有相似的矿物成份和相似的共生序列, 那末分带指标的变化速率的变化便可反映出沉淀因素在相对强度上的差别。

在上述三个矿床中 Ag/Pb与Ag/Cu的变化示于图8、9, 这些比值圈出一个宽的带, 如果所研究的只是一个矿的某一个指定的通道, 则带变窄。在赫米尼亚矿床, Ag/Pb与Ag/Cu有一极大值, 反映前面提到的含银量高的地区。在密莫沙, Ag/Pb一直下降, 而Ag/Cu则一直增大。这些曲线彼此之

间有相对横向或纵向位移, 表明溶液的化学成分或沉淀形式有很大差异。赫米尼亚与卡门西塔的地质情况相似, 因而提出这样的解释, 在图8与9中卡门西塔的曲线与恰好有这样一个横向位移的赫米尼亚的后一半曲线相对应, 那末在深部在卡门西塔以南可以找到与赫米尼亚前一半曲线相对应的比值序列。

此方法还可推广用于其它矿床。在每一特殊场合, 用哪些金属的比值, 将取决于所能利用的金属含量资料, 在矿区的这一部分地区可能与另一部分地区有所不同。Pb/Cu比值是一种有局限性的分带指标, 如果缺乏两种金属中的一种分析资料, 就不可能应用。另外, 在解释金属比值研究成果之前, 一定要对共生关系做好仔细的研究。

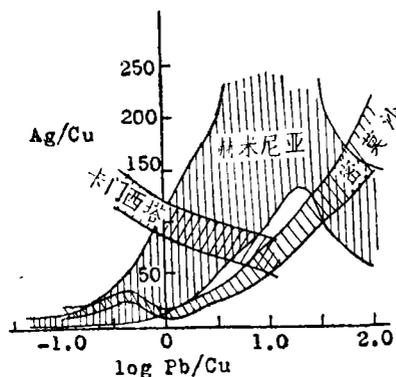


图9 在三个不同矿床上, Ag/Cu与logPb/Cu的关系图

结 论

1. 主要金属元素的比值可有效地用来定量地描述矿床的分带, 指出矿液流动的方向。

2. 在某些矿床中, Pb/Cu比值一直增大, 可用来作为分带的指标。分带指标的变化速率在通道之间和矿床之间均有所不同。

3. 绘出的其它金属比值与Pb/Cu的关系曲线, 可以明显看出矿液的化学成分和沉淀形式之间的差别和相似性。

译自《Economic Geology》, 1974, Vol.69, No.3, p.347-361

作者 P.C.古德尔 顾连兴译, 郑就标校