

破碎带蚀变岩型金矿床物化 探找矿试验效果

高 令 奇

我国东部沿海地区某破碎带蚀变岩型金矿，系大型矿田。已探明的黄金储量，为我国已探明黄金储量的四分之一。我们在这种类型的金矿上，初次进行了物化探找矿试验，结果表明效果良好。

一 基本地质特征

该金矿田，处在沂沭深大断裂的南东部，胶东背斜隆起的西翼。两大构造体系，对于东区破碎带蚀变岩型金矿的形成，具有一级控制作用。在上述大型构造多次强烈活动的影响下，矿田范围内及其外围，次一级北东向及北北东向的断裂破碎构造非常发育。这些次一级的断裂破碎带，是本区破碎带蚀变岩型金矿的直接控矿和成矿构造。矿体的规模及产状，严格受断裂破碎带控制。断裂破碎带的交汇处，及沿走向、倾向较弯部位都是富集成矿的有利部位。

矿田范围内出露的地层及火成岩有：太

古界一下元古界胶东群变质岩系；玲珑花岗岩，燕山期花岗闪长岩；第四系海陆相沉积地层。它们的成生次序是：太古界至下元古界形成了胶东群变质岩系。其原岩属基性火山喷发碎屑及泥沙质建造。岩性主要为片岩、片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩及大理岩等。变质相属角闪岩相。这套古老的变质岩系，是长期多次变质作用的产物，到了古生代，由于褶皱剧烈的隆起作用，热液升温加剧，因此，变质作用的深度加大。由于这种作用的结果，在老变质岩的基础上，产生了大面积的混合岩化作用形成玲珑花岗岩。在发生混合岩化的范围内，古老的胶东群变质岩系，大部被“吃掉”，只有少部分残留体形式，在玲珑花岗岩体中保留下来。后来又因为东西向背斜隆起的西翼再次发生强烈隆起作用，使玲珑花岗岩这种刚性岩块产生了一系列北东向及北北东向断裂破碎带。这就为后来的燕山运动时期，岩浆侵入热液活动，提供了良好的通道和成矿空间。中生代

的粗安岩—粗面岩—英安流纹岩组合；宁芜区主要为碱钙性—碱性的玄武粗安岩—粗安岩—响岩组合；庐纵区主要为碱钙性—碱性的碱玄岩—粗安岩—响岩组合。总之，该地区从东到西，碱度增大，酸度降低。其中溧阳、溧水区为上叠式盆地，属广义的钙碱性岩区，以中酸性岩发育为特征，岩浆来源可能较浅；而宁芜、庐纵区为继承式盆地，属广义的碱性岩区，以中基性发育为特征，岩浆来源可能较深。后者为玢岩型铁矿发育区，前者则不发育，主要为夕卡岩型铁矿。

如果将国内外与铁矿及斑岩等铜矿有关

的岩浆岩化学成分资料，进行碱度及钾钠含量的计算和投影（图3），则可大致表明：火山岩—侵入岩中铁矿主要产于组合指数 >3.3 （碱钙指数 <56 ）的广义的碱性岩中，而且多属于钠质类型岩石；但斑岩等铜矿则多数产于组合指数 <3.3 （碱钙指数 >56 ）的、广义钙碱性的中酸性次火山岩—浅成岩中，而且多为钾质类型岩石。不难看出，岩浆岩的名称、酸度、碱度、系列、组合的确定，不仅有重要的理论意义，也有重要的找矿意义。这些方面都有待我们进一步的深入探索，以更好的为我国四个现代化作出贡献。

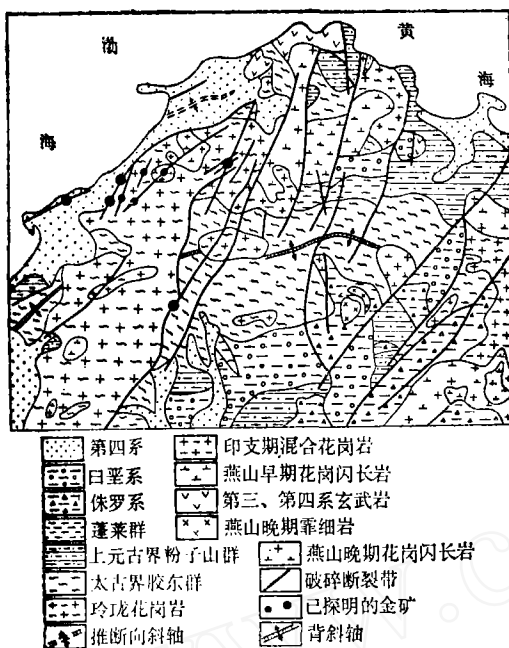


图1 某金矿区地质图

燕山运动时期，在玲珑花岗岩体内部及其外围，形成了花岗闪长岩新的岩体。新生代时期，矿田范围内及其外围某些地区，沉积形成了海陆相沉积地层。金矿田区域地质概况见图1。

从已探明的破碎带蚀变岩型金矿来看，似乎是以破碎断裂带的规模控制了蚀变岩型金矿的规模。基本是大型及特大型蚀变岩型金矿床，均赋存于较大的破碎断裂带中。而中小型破碎断裂带中，分别形成了中小型的蚀变岩型金的工业矿体或金矿化点。这就用事实否定了以往那种认为较大的破碎断裂带中不成矿的观点，从而为今后普查找矿提供了新的经验。

蚀变岩型金矿的蚀变主要是绢英岩化、黄铁绢英岩化、强或弱硅化等。而绿泥石化、碳酸盐化及高岭土化蚀变是次要的。主要蚀变岩石为绢英岩化花岗质碎裂岩、强或弱硅化花岗岩、黄铁绢英岩化碎裂岩及黄铁绢英岩化角砾岩。其中黄铁绢英岩化碎裂岩及黄铁绢英岩化角砾岩为含金矿石。

成矿期为中温热液期。整个成矿期分为四个成矿阶段：①金、石英、菱铁矿、黄铁矿阶段。此阶段金的赋存状态主要以包体金赋存于早期黄铁矿、石英及黄铜矿、方铅矿中。

这种早期析出的包体金只占全金的9.6%。

②金、石英、大量黄铁矿及伴生的铜铅锌铋等多金属硫化物阶段。此阶段中，金主要以晶隙金及裂隙金状态赋存于黄铁矿、石英及其它硫化物的晶隙和微裂隙中。这种状态的金，占全金的65.77%。③黄铁矿、石英、绢云母阶段。本阶段只有少量金析出。④石英、方解石阶段。这一阶段只有很微量的金析出。成矿阶段的划分及矿物生成顺序见表1。金的赋存状态及各状态金的量比关系见表2。

主要金属矿物组合为：黄铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿、黄铜矿、黝铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、银金矿、斜方辉铅铋矿等。主要脉石矿物为石英、方解石等。

蚀变岩型金矿矿体特征：矿体产状与破碎断裂带产状一致。其走向多呈北东向及北北东向，倾向北西或南东，倾角一般较缓。矿体长度从几十米到几百米不等。矿体延深一般较大（最大800米以上）。矿体厚度从几厘米到十几米不等。金的工业品位在10克/吨以上，也较稳定。采选条件也好。

关于金的矿质来源，据本区胶东群古老变质岩系中斜长角闪岩金的测定结果，金的平均含量为0.13克/吨。燕山期花岗闪长岩中金的平均含量为0.23~0.29克/吨（金在地壳中的平均含量为0.0035克/吨）。象本区几类岩石中有这么高的区域背景含量，是罕见的。可见，作为原始物质基础的胶东群变质岩系，在经过区域变质作用、混合岩化作用，以及再生、重熔岩浆作用的过程中，会析出大量金的物质来，以致形成本区各种规模的金矿床。特别是混合岩化作用过程中，热液活动更加强烈，金的性状更加活跃，成矿作用也就更加强烈。因此可以认为，本区胶东群古老变质岩系，是这个地区破碎带蚀变岩型金矿成矿的最有利的矿源层。原始分散状态的金，便是从这里出发，在多次区域变质、混合岩化、再生及重熔岩浆作用过程中，经多次迁移而最后得到了聚集。

矿田范围内，地形地貌特征是：低山丘陵剥蚀区与古海侵蚀小平原的过渡带。丘陵地区地表多为残坡积层所覆盖。厚度不太大。小平原地段均为较厚的第四系海相沉

甲试验区已知矿成矿阶段的划分及矿物生成顺序表

表 1

成矿期	中 温 热 液 期			
成矿阶段 矿物及其生成顺序	金、石英、菱铁矿、 黄铁矿	金、石英、多 金属硫化物	黄铁矿、石英、 绢云母	石英、方解石
银金矿①	—			
黄铁矿①	—			
石英①	—			
菱铁矿	—			
绢云母①	—			
主要构造活动				
黄铁矿②		—		
石英②		—		
银金矿②		—		
磁黄铁矿		—		
黝铜矿		—		
辉铜矿		—		
黄铜矿		—		
闪锌矿		—		
方铅矿		—		
绢云母②		—		
构造活动				
石英③			—	
黄铁矿③			—	
绢云母③			—	
构造活动				
石英④				—
方解石				—

甲试验区已知金矿中金的赋存状态统计表

表 2

类 型	包体金■	Au,%	晶 隙 金		Au,%	裂 隙 金		Au,%
金 的 赋 存 状 态	包于黄铁矿中	5.5	黄铁矿晶隙		41.40	黄铁矿裂隙		18.04
	包于石英中	1.8	黄	与黄铜矿共生	16.00	黄	与方铅矿共生	2.75
	包于黄铜矿中	1.5	铁	与方铅矿共生	4.43	铁	与黄铜矿共生	1.98
	包于方铅矿中	0.8	矿	与黄铜矿及方铅矿共生	0.91	矿	与方铅矿黄铜矿共生	0.76
			晶	与闪锌矿共生	0.61	裂	与方铅矿共生沿石英裂隙	0.15
			隙	与方铅矿及闪锌矿共生	0.15	隙	石英裂隙	0.76
			石	与黄铁矿共生的石英晶隙	0.91	石		
			英	与方铅矿共生	0.15	英		
			晶	石英晶隙	0.30	裂		
			隙	与闪锌矿共生	0.91	隙		
合计		9.60			65.77			24.44

积所覆盖。其掩盖厚度为4~10米不等。这里的气候温暖,雨量充沛,属海洋性气候区。

二 试验区的选择与投入的方法

试验区分别选择在大型、中型和小型的三种不同储量规模的已知矿区,它们的地表覆盖厚度、蚀变程度、矿石类型等方面都有不同程度的差异。

投入的试验方法有:化探次生晕和原生晕、壤中气汞气测量、短导线激发极化法。用光谱半定量分析Cu、Pb、Zn、Ag、Bi等元素。用气斑点法测定部分样品中的Au元素含量。

三 蚀变岩型金矿物化探方法的主要找矿标志及物化探异常特征

(一) 物化探方法的主要找矿标志

1.主要指示元素:在已知矿体上,有明显异常显示的指示元素是Au、Ag、Bi、Pb、Cu、Zn。其中Au、Ag、Bi三个元素有普遍指示作用。而Pb、Cu、Zn三个元素因已知几个矿体中,与金矿有关的其它金属矿物的共生组合不同,故指示意义有别。例如甲试验区Pb异常强度较高,而Cu、Zn异常不明显。在乙、丙试验区Cu、Zn异常强度较高,Pb异常不明显(图2、图3)。

2.在几个已知矿体上,均发现有壤中气汞量异常出现。图4反映了这种异常。

3.在已知矿体上,包括矿化蚀变带在内,发现有明显的激发极化法充电率及电阻率异常(图5)。

4.在物化探综合异常地段,均有明显的断裂破碎构造和绢英岩化、黄铁绢英岩化、硅化等蚀变现象出现。

(二) 物化探异常特征

1.化探异常的浓度特征:从三个试验区已知矿体上几个主要指示元素的异常反应来看,各元素组分的异常浓度值普遍偏低,特别是次生异常的浓度值显得更低一些(表8)。

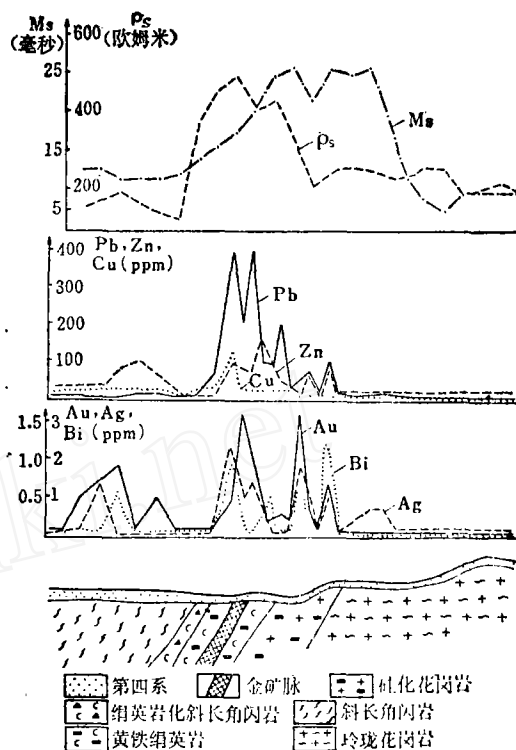


图2 甲试验区综合剖面图

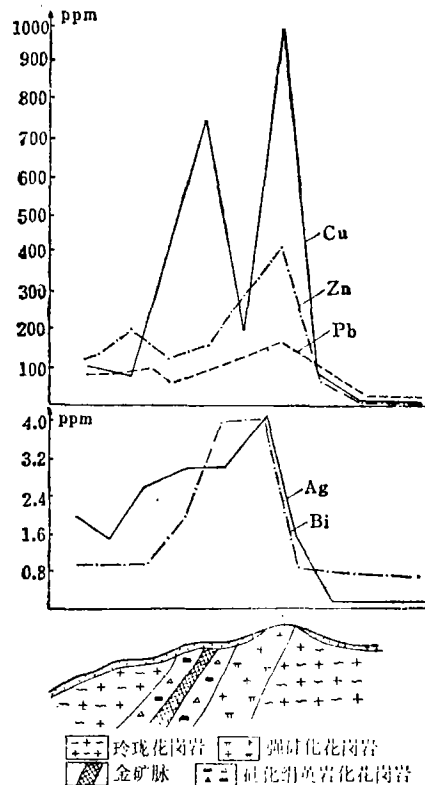


图3 乙试验区综合剖面图

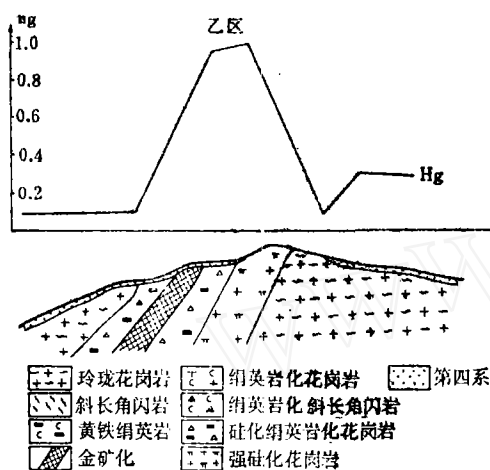
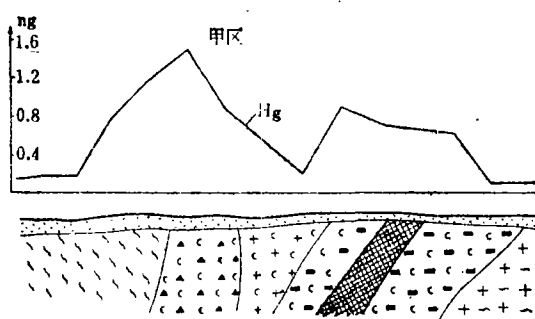


图4 壤中气汞量测量综合剖面图

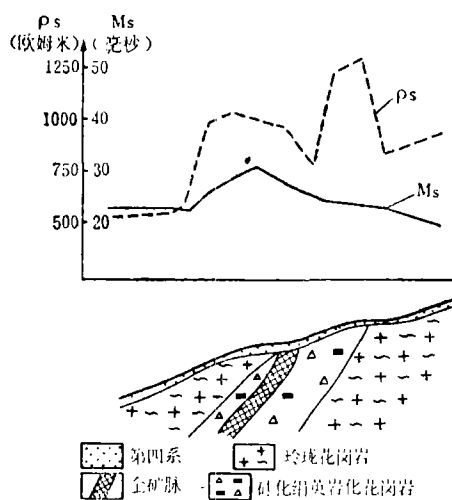


图5 乙试验区激发极化法综合剖面图

表3

元素	次生异常 平均浓度值 (ppm)	异常下限值 (ppm)	衬度值
Ag	0.7~0.8	0.3~0.4	5.3~7
Au	0.3~0.5	0.2	7.5
Bi	2.3~2.6	1	4.6~5.2
Pb	81~85	40~50	3.7~4
Cu	115~120	40~50	3.8
Zn	100~120	60~80	2.2~2.4

从表3可见,在这种蚀变岩型金矿上,这些指示元素的异常强度较小,衬度不大。因此在处理、评价未知异常时要很好地掌握这种浓度特征规律。要正确确定指示元素的异常下限,要提高分析方法的灵敏度和精确度,以便扩大异常范围,突出较弱的异常。否则就有可能把一些弱的有意义的异常当成局部背景的抬高而丢掉。

2.主要指示元素之间的相关性及异常的综合特征:根据甲区已知矿体坑道原生晕样品分析数据,对主要指示元素之间的相关性进行了统计计算。计算结果见表4。

表4的统计表明,Bi与Pb、Ag及Cu与Zn之间均呈显著的正相关。而Ag、Bi与Cu、Zn之间均呈现了显著的负相关性。由于指示元素之间的这种内在的相关规律,导致了化探异常的综合特征也是明显的。例如,甲区的异常特征是Ag—Au—Bi—Pb型组合。而乙区则为Ag—Bi—Cu—Zn(没有测定Au)型组合。这种异常组合的组合类型,不论是原生异常还是次生异常都是一致的。

3.不同浓度带的指示意义:化探次生异常的外浓度带指示了破碎带蚀变岩型金矿的蚀变矿化范围。而内浓度带则指示了矿体的富集部位(在次生异常位置相对于矿体位移很小的条件下)。

指示元素内外带浓度值的划分见表5。

从甲区已知矿穿脉坑道原生异常发育特征来看,上述指示元素这种浓度带指示意义,

表4

元素对	Ag—Bi	Pb—Bi	Cu—Zn	Pb—Ag	Pb—Cu	Pb—Zn	Ag—Cu	Ag—Zn	Bi—Zn	Bi—Cu
相关系数	0.86	0.31	0.54	0.16	0.11	0.09	-0.32	-0.42	-0.27	-0.60

注:样品数N=40, $\gamma_{0.5} = 0.30$

表 5

浓度分带	外 浓 度 带								内 浓 度 带							
试验区	甲 区				乙 丙 区				甲 区				乙 丙 区			
元 素	Au	Ag	Bi	Pb	Ag	Bi	Cu	Zn	Au	Ag	Bi	Pb	Ag	Bi	Cu	Zn
浓度 (ppm)	0.2 ~0.5	0.3 ~1.0	1.0 ~3.0	40 ~100	0.3 ~1.0	1.0 ~3.0	40~80	80 ~150	>0.5	>1.0	>3.0	>150	>1.0	>3.0	>100	>150

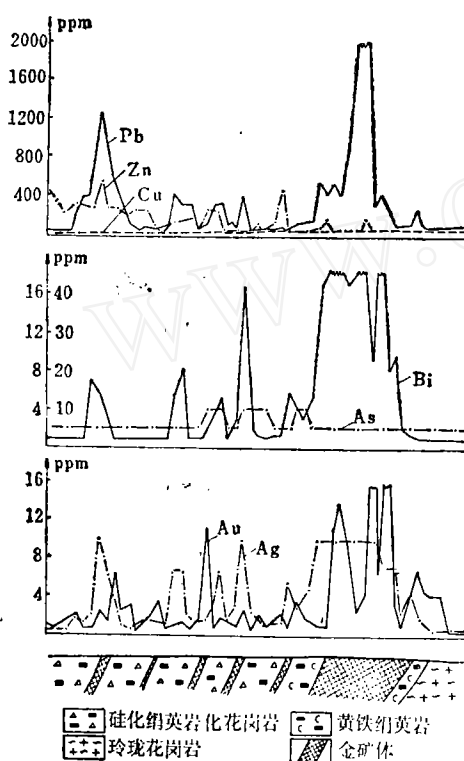


图6 甲试验区已知矿体穿脉坑道原生晕异常发育特征剖面图

在次生条件下评价异常时是可行的。如图6中在矿体及旁侧一些很细的小矿脉部位，均有明显的综合元素异常出现。事实表明，就连那些很细小的含金细脉都无一漏掉。因此可以认为，原生异常的不同浓度带，是金矿体空间赋存部位的重要标志。

4. 残坡积物覆盖厚度对化探次生异常发育的影响：前面已经谈到，由于次生异常的强度普遍低，矿脉、矿化蚀变带一般都比较窄，导致了次生异常的范围也较小。在这种情况下，地表残坡积覆盖物厚度的大小，就直接影响了次生异常的发育。厚度稍大一

些，指示元素就反应不出来。如果一律按20~30厘米深度去取样，就只能反应覆盖较浅部分的次生异常。结果把一个完整的异常分割成几个孤立的互不连接的小异常或者点异常。通过采样层位（深度）的试验表明，在已知矿体上，取20厘米的耕种土层，没有发现异常（覆盖厚度2~4米）。取40~60厘米的亚粘土层，发现了某种强度的次生异常。取原岩风化层（相当C层），发现异常强度最大最明显。在覆盖厚度1~2米的矿体部分取20~30厘米深次生样品，也能发现范围较小的次生异常。根据上述特点认为，在进行化探次生晕方法普查找矿过程中，需注意：①坚持进行取样层位试验，并据试验结果决定取样深度。②普查找矿的比例尺不能太小，测量网度（特别是点距）不能太稀。③采样过程中要加强样品描述，遇到蚀变带、矿化、构造破碎带等现象时要适当移动采样点位，到这些点位附近取样，以便提高采样质量。④发现异常后，必须进行现场踏勘，详细观察描述异常地段的地球化学环境及地质条件。对元素组合完整的点异常也不能放过。⑤采用适当方法向异常两端追索，如利用激发极化法、壤中气求气测量方法，原生晕方法等。⑥进一步提高现有分析方法的灵敏度及精确度。⑦对异常处理和评价必须十分慎重而细致。利用这些措施来提高化探次生晕方法发现异常的机率，提高普查找矿的效果。

5. 激发极化法试验效果及激电异常特征：激发极化法在本次试验中，采用JD-1型时域激发极化仪，用中梯装置进行现场观测。供电电源用2.5千瓦汽油发电机组，并与发送机连接进电。供电电流一般为2~8 A。供电时间分别为2~4~8秒。一台

发送机供电，两台接收机同时在相邻两条测线上观测。接收机不用长导线与发送机连接，而用短导线与测量电极（不极化电极）连接，不极化电极随接收机一起移动。供电时读取 M_s 和 ΔV_1 两个参数。AB=500~700米，MN=10~20米，点距10米，线距40米。观测范围300~500米。

通过几个已知金矿区岩矿石标本的测定，取得了电性参数数据（表6）。从表6可以看出，含矿蚀变岩石与不含矿未蚀变岩石之间有一定的电性差异。这是本区激发极化法寻找蚀变岩型金矿的基础和前提条件。

从本区已知矿体激电所发现的异常来看，充电率（ M_s ）异常基本反映了黄铁绢

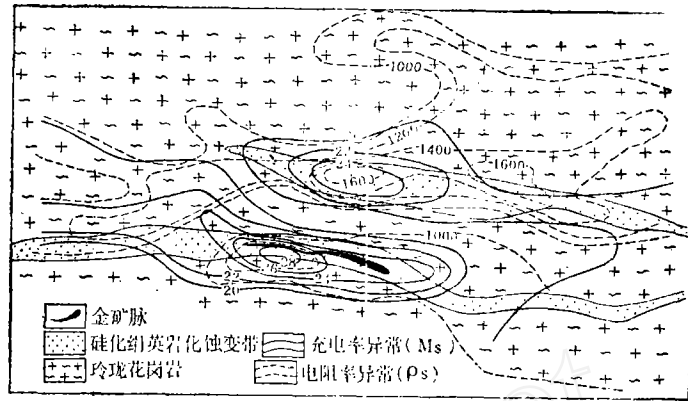


图7 乙试验区电阻率充电率地质综合平面图

英岩化、硅化蚀变带范围。充电率异常特征是：异常形状为沿蚀变带走向的拉长形。异常幅度与蚀变带宽度有关。围岩背景比较稳定。异常范围内的高值异常部分，多数反应了矿化富集地段。电阻率（ ρ_s ）异常，表现为中阻到高阻特征。电阻率的高低与硅化蚀变强度有关。电阻率异常与充电率异常基本吻合。电阻率、充电率异常特征见图7。

6. 壤中气汞异常的基本特征：本区几个已知矿体（床）上，基本都发现了汞的异常。汞异常浓度值在0.2~1.5ng范围内。汞异常多发育在矿体上盘一侧。从矿体上不同覆盖厚度（1~10米）来看，它对汞气异常的发育影响不大。看来汞气测量方法比化探次生异常的反应深度要大。同时采用汞气测量法，可不同程度弥补次生晕方法的弱点。

表6

岩矿石 标本名称	最小值		最大值		平均值	
	M_s	η_s	M_c	η_s	M_s	η_s
含石英英脉	15.5	1.00	75.0	3.90	45.2	2.45
铜英岩化 硅化花岗岩	22.0	3.34	26.0	3.26	24.0	3.30
黄铁铜英 岩化花岗岩	18.0	1.41	26.0	3.08	22.0	2.24
不含石英英脉	18.0	1.52	21.5	2.18	19.7	1.85
混合岩化 花岗岩	6.0	0.84	21.5	2.60	13.7	1.72
不含矿其它 岩脉	10.5	1.80	12.0	2.06	1.2	1.93

（上接第93页）确实是可用的，矿化侵入体的原生矿物在实际上含有的铜要少于无矿侵入体。如果斑岩型矿化的必要条件是铜包含在硅酸盐熔体内，那么早期形成的矿物相就不应该隐匿过渡金属，这些矿物中的高铜含量就是矿化的一个否定的标志。这与凯斯勒等人的观察是相一致的：西半球斑岩铜矿床的黑云母的含铜量的统计都低于无矿侵入体的黑云母含铜量。

本文所得出的结论提出几个有利的途径，以便作进一步研究：

（1）详细研究原生镁铁质矿物中特别是花岗岩的黑云母中铜结合的性质。需要证实这一假设，即在这些早期形成的结晶相中，铜确实进入八面体位置。

（2）岩浆期后热液活动从这些早期形成的矿物中夺取铜的程度。本文假设铜进入这些矿物中是固定的。如果不是的话，那么在岩浆期后液相的生成时期铜的实际位置如何，就不重要了。这样，就几乎可确信铜的迁移是发生在围岩蚀变时，但是必须要更大体积的岩石，从中提取铜，以便产生一个相应的斑岩铜矿床。

（3）系统地采集和分析一个地区内和地区之间无矿和矿化侵入体的样品，这样会在更大程度上清楚地检验这一模式的可用性，而不仅仅是应用已发表的可利用的资料。

叶之译自《Economic Geology》，Vol.73, No.3, 1978.5, pp397~404

作者：P.G.菲斯