

关于用物探方法寻找斑岩铜矿的若干问题

斑岩铜矿是有重要经济意义的铜矿类型之一，其特点是储量大、品位低、埋藏浅、宜于大规模露天开采。这类矿床产在优地槽区，大多赋存在不同时代构造带的交切处，常与入侵的斑岩类火成岩伴生，有次生富集带和蚀变带；所含矿物一般为黄铜矿、辉铜矿、辉钼矿、斑铜矿、黄铁矿，大部分呈浸染状。世界上许多地方都发现有这类矿床。从加拿大西部到美国西南部的科迪勒拉带内就有60多个斑岩铜矿床。在美国中部以及智利、秘鲁、菲律宾、马来西亚、伊朗、巴基斯坦、缅甸等国家也都有这种类型的矿床。近几年来，由于找矿工作的加强，我国也找到若干斑岩铜矿的矿床或矿点，有的正在勘探中。为适应找矿勘探工作的需要，现将国外用物探方法寻找斑岩铜矿的若干情况，综合整理如下。

斑岩铜矿及其物性

根据物探人员的认识，斑岩铜矿属于浸染硫化矿床。所谓浸染硫化矿是指岩石中呈星点或细脉状的硫化矿，其总体积不超过整个岩石体积的20%。有经济价值的浸染硫化矿床，其硫化物含量下限见下表：

	铜(%)	钼(%)
金属(以重量百分数计)	0.35	0.1
矿物(以重量百分数计)		
黄铜矿	1.01	—
辉铜矿	0.44	—
辉钼矿	—	0.167
矿物(以体积百分数计)		
黄铜矿	0.65	—
辉铜矿	0.25	—
辉钼矿	—	0.10

米。

与凝灰火山岩伴生的铁硅建造，发育于哈萨克斯坦的古生代地层中。该建造局部转为铁-锰-硅建造，称为阿塔苏型。此类矿层以在乌斯品构造带的上泥盆统和下石炭统地层分布最广。

与酸性细层凝灰岩伴生的铁硅建造发育于阿尔泰。条带状铁硅矿层的时代为下、中泥盆世，与硅质矽卡岩矿石有关。它是由于铁硅建造的变质作用结果生成的。

在远东的小兴安地区也发现了铁硅建造，时代为下寒武纪，发育面积3000平方公里，走向长150公里。该建造局部过渡为与火山岩有关的铁-锰-硅建造。赤铁矿和赤铁-磁铁矿碧玉铁质岩与喷出岩互层，其下为变质凝灰岩和层凝灰岩。铁矿层厚30~60米。已知矿床有奇姆坎、柯斯切金、苏达尔等。

伯力边区的乌达地区，铁矿层产于上前寒武纪—寒武纪地层中，其特点是硅质似碧玉层和细碧岩型喷出岩占优势，陆源和碳酸盐岩层仅占次要地位。铁矿层厚50~70米，长数公里。

可见，哈萨克斯坦、远东和西伯利亚地区发现有晚寒武纪的铁硅火山岩建造，局部与铁-锰-硅建造伴生。中国铁硅建造的鞍山矿床，时代为1800~2000百万年，属于前寒武纪Ⅲ。目前还未弄清，为什么阿尔丹和阿纳巴尔地盾和整个东西伯利亚前寒武纪地台一样，除了小型的铁硅透镜矿体之外，尚未发现典型的铁硅建造。

晋遂摘译自：《Геохимия и Рудообразование》，1974，

Выпуск 3, стр. 3~17

在目前情况下, 每吨岩石含铜3.2公斤(含钼0.91公斤)被认为是不够要求。用某种方法能找到上表所规定下限的含硫化物的岩体, 并不是轻而易举的事, 但往往由于有少量黄铁矿与之伴生, 上述下限被提高。但有黄铁矿伴生时, 硫化物总含量变高, 有利于用物探方法(特别是电法)来寻找, 可是另一方面, 由于黄铁矿分布很广, 其物性与铜的各种硫化物接近, 所以不仅区分异常有困难, 而且使硫化物百分数与铜含量之间的直接关系也被破坏, 致使用激发极化法测量某些参数来估计铜的含量发生困难。

有经济价值的浸染矿的最小规模应有多大, 由于涉及的问题很多, 难以确切估计, 不过还是可以一级近似地来估计。假设至少要1千万吨矿石, 以每吨矿石占体积12立方英尺计算, 则为12000万立方英尺, 相当于边长500英尺的立方体, 或直径610英尺的球体, 或直径1000英尺、长150英尺的圆柱体。考虑了所有因素后, 最小的勘探目标投影在平面上, 其面积相当于直径1000英尺的圆的面积较为合适。黄铁矿化赋存于斑岩铜矿的外围而使其范围变大。但如果含1%以上的黄铁矿的范围(水平面上投影的面积)比斑岩铜矿的范围大若干倍, 也不容易发现斑岩铜矿。

如果埋藏深度大, 而又要求物探能发现, 则矿体的规模也必须大。另外, 如果是进行露采, 那末矿体的横截面积必须大, 使剥离的废石与矿石的比例合适, 否则就不经济。当埋深过大不能露采时, 必须在地下进行分块崩落开采, 同样也要求矿体具有较大的规模。

寻找斑岩铜矿床必须有建立在岩石矿石物理性质基础上的地球物理前提, 才能选用合理的物探方法, 根据地质勘探的不同阶段和要求, 来完成具体的地质任务。下面介绍有关斑岩铜矿的几种主要物性。

1. 密度 浸染硫化物的密度变化一般不大, 但很复杂。由于断裂破碎或蚀变, 围岩的密度减小。如有硫化物存在, 其密度可

能增大少许。在硫化物带之上往往有淋滤带或氧化带, 密度可能很低。如有矽卡岩带, 则密度变大。在密度为2.6的脉石矿物中, 如果含有20%(以体积计)、密度为5的硫化物, 密度差约为0.5。按浸染矿的定义, 这可能是最大的密度差了。

假想矿体为一长的水平棱柱体, 其截面如图1。设覆盖层与硫化矿相对于周围均匀的围岩来讲, 其密度差分别为-0.2与+0.3。硫化物体积百分数约为12.5%。在这种情况下, 重力异常几乎为零。如果密度差不同于上述的值, 可用适当的密度差乘图1中的基

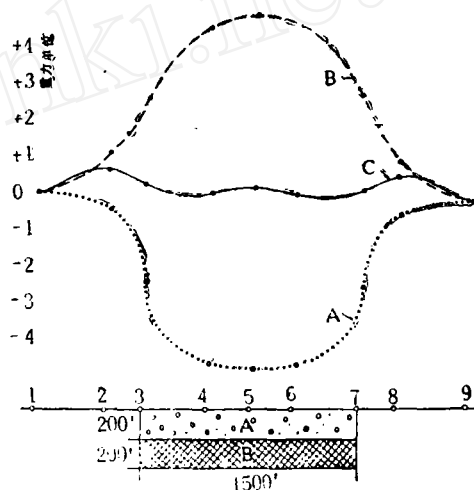


图1 厚度各等于200英尺、宽1500英尺、长为无限的两个重迭的棱柱体的重力异常

上层(覆盖层)和下层(矿体)与围岩的密度差 $\Delta\delta$ 分别为-0.2与+0.3克/厘米³。A为覆盖层的理论重力异常, B为矿层的理论重力异常, C为二者迭加后的重力异常

本曲线, 然后迭加起来得到新的异常曲线。但无论怎样, 重力异常曲线的幅度都很小。实际情况远比上述情况复杂。地形影响, 其它类型的岩石里面或它们彼此之间, 也可以有与硫化矿带相当的密度变化, 而产生这样小的弱异常。由于重力法的劳动生产率低, 费用大, 成果的推断解释不肯定, 所以重力法不是直接找寻浸染硫化矿的主要手段。但在地形平坦和某些特殊地质情况下, 为确定测区的构造带, 或是追索与矿化有关的矽卡岩带, 重力法可作为辅助手段来使用。另外还可以用来估计覆盖层的厚度, 确定成矿后断

层的错距,当然先决条件还是要有一定的密度差。为圈定区域构造细节,测网不能太稀,至少每平方公里不少于1个测点,而且必须要做各项改正。

2. 磁化率 大多数斑岩铜矿均不含磁性矿物(磁铁矿、磁黄铁矿),即使有,在风化蚀变过程中也遭到破坏。因此,用磁法直接寻找斑岩铜矿有困难。但如果把已知矿上的航空磁测结果与总的地质情况对比,可以获得某些对找矿有益的经验。例如,浸染状硫化矿往往产在特殊的入侵的火成岩中。在正常(未矿化)情况下,这些火成岩可能含有很多磁铁矿,赋存在火成岩与其它岩石的接触带附近,因此用磁法可能获得有价值的地质参考资料。已发表的一些航磁资料说明,在矿化的时候磁铁矿将重新分布,在某些情况下,原来有的磁铁矿可能被矿化蚀变作用所破坏,因而磁性变低。在另外的情况下,可能有新加入的磁铁矿,因而磁性变高。不过,遗憾的是这种磁性变化很普遍,许多地质情况都能引起这种变化。所以磁法找寻浸染矿无能为力。不过,密切结合地质,作为一种辅助工具还是必要的。

3. 电性 有光泽的金属矿物导电性良好,具有较高的电子导电率,而且可以激发极化,在适宜的氧化条件下,还可以产生自然电位。

在浸染矿中,其电性表现相当复杂。假想导电性良好的金属硫化物呈球状,均匀分布在导电性较差的脉石矿物中,金属硫化物的体积假定是整个岩石总体积的20%,前者的电阻率比后者小得多。这时,根据理论计算,其有效电阻率只是岩石电阻率的0.57倍,变化不大。如果围岩非常均匀,可以获得勉强能分辨的异常。可是在自然界中,围岩很少是均匀的,硫化矿物在围岩中的分布也不是均匀的,硫化矿物往往沿细脉或破碎带分布,有时矿化伴随的蚀变作用使浸染矿的电阻率降低,所以有效电阻率比达到0.1(即10:1)算是比较普遍的。不过地下电阻率变化达到这样级次的情况非常多,单靠电阻

法结果能辨认出浸染矿异常的例子极少见。各种电磁法勘探同样是依据电阻率的变化,上述准则对各种电磁法同样适用,所以单独用电磁法寻找浸染矿,也难取得好的效果。

岩石孔隙中的电解液具有离子导电性,而金属矿物颗粒则具有电子导电性,二者的界面上如有电流通过,就会产生极化效应,这是激发极化法的理论基础。当金属矿物颗粒的粒度减小,由一定百分含量的金属矿物所产生的激发效应反而增大,比具有同样百分金属含量的、导电连续的致密矿的激发极化效应要大得多。所以激发极化法是目前找浸染矿唯一有效方法。可以在地面或钻孔中进行测量,现在已发展到航空物探的行列。国外激发极化法是首先在斑岩铜矿上试验获得成功的,现在广泛用于找斑岩铜矿。我国各地用激发极化法寻找浸染硫化铜矿或其它类型的铜矿,已有十多年的历史,积累了不少经验。需要指出的是,由于黄铁矿与黄铜矿在电性上几乎没有差别,这对激发极化法找浸染硫化矿是一种干扰,单凭激发极化法还不能划分有意义的异常;划分矿与非矿异常的方法目前还在研究中。

物探方法在找矿阶段的应用

研究矿区地质构造对了解斑岩铜矿形成的地质环境十分重要。运用物探方法(特别是航空物探)可圈出构造或可能成矿区,来帮助地质填图,再结合地质研究,挑选出有远景的地区,便于下一步进行详查。

例如,美国亚利桑那州西部南缘有一条与国界平行的西北西向断裂带,后来又受到北北东向的错动,这都可以从航空磁测图上清楚地看出,在这条区域断裂带上就分布有许多斑岩铜矿床和少数其它类型的矿床。这些斑岩铜矿床都位于区域性呈弓形的正磁异常凸出来的一侧。另外,加利福尼亚海湾还有一些与上述断裂带近乎平行的、呈雁行排列的断层,其中也有斑岩铜矿。了解到该区的断裂断层构造控制,对寻找新的矿床是有益的。为此,在开展普查找斑岩铜矿

时,最好能利用现有航磁资料,或是做小比例尺地面磁测,研究控制成矿的地质构造,选出勘探目标区,为下一步详细探查作准备。

除磁法外,国外还采用过地震折射法、重力等方法。例如,在特温比尤特斯矿区,重力测量结果(每平方英里1个测点),查明了该区的某些地质构造。它们虽与矿体无直接关系,但对后来的找矿勘探工作仍有指导意义。

近年来,还采用了比较直接的找斑岩铜矿的新方法。由于含钾矿物中钾元素 K^{40} 有较强的放射性,用航空放射性法,测量与斑岩铜矿床有关的钾蚀变强度得出异常分布的趋势,有可能发现斑岩铜矿有利的成矿部位,达到找矿的目的。目前使用的航空伽马能谱仪,就有一道可用来测量 K^{40} 的强度。最近还出现一种叫做“航空追踪系统”的仪器,所依据的是一种目前还未弄清楚的生物地球化学现象。金属有机化合物由植物和腐土将其扩散到大气中,用这种仪器来测定含量极微的生物络合的与吸附的金属。仪器由飞机携带,离开地面60米飞行,能很灵敏地获得地下矿产反应,从而迅速圈出勘探目标区。该仪器能直接探测的金属有:汞、铜、铅、锌、镍、银等,还可以探测与硫化矿床(其中包括斑岩铜矿床)有关的各种气晕。这些气晕除汞外,还有碘、溴、二氧化硫。航空追踪系统在北美、澳大利亚、南非某些矿区试用,据称已取得较好的效果。

地面激发极化法寻找斑岩铜矿效果最好,国外认为它的劳动生产效率低、费用大、不宜于用之于普查。加拿大研究出一种磁激发极化法,准备在地面和空中测量激发极化磁场。这就有可能比较经济地来直接寻找斑岩铜矿。

物探方法在详测勘探阶段的应用

激发极化法有两个变种:时间域(脉冲)法和频率域(变频)法。它们都是测量电场,所以统称为电激发极化法,以区别于

最近研究成功的测量磁场的激发极化法。我国十多年来主要是用时间域的电激发极化,在全国各地探寻各种金属硫化矿床方面已取得良好的效果,累积了不少野外经验,相信今后在斑岩铜矿勘探的工作中会作出更大的贡献。最近,我国已试制出频率域激发极化法用的仪器。根据国外报导,尽管所测参数和所依据的理论有所不同,但两种方法的找矿效果一样。下面先介绍一下磁激发极化法和激发极化法测井在详测找斑岩铜矿方面的应用,然后介绍主要用频率域激发极化法综合其它方法找斑岩铜矿的实例。

磁激发极化法与电激发极化法一样,也有两个变种。在目前开始试用的磁激发极化法的野外工作中,仍需要藉接地供电电极将电流送入地下。电流可以是脉冲直流,也可以是0.1~248赫范围内的交流。在前一种情况下,用类似电激发极化法所用的仪器测量,但所测量的不是用测量电极测其衰减电场,而是该电场所产生的磁场,为此必须换用一个感应接收线圈来代替测量电极。在交流电的情况下,和频率域电激发极化法一样进行观测,但测的也是磁场。但更新的方法是测量相位差。已制成一种新仪器,可以自动地比较送入地下的脉冲方波的基波与其三次谐波的相对振幅和相位。磁激发极化法的优点主要是磁场不受导电覆盖层屏障效应的影响,而且接收部分可按装在移动的运载工具上,在运动中进行测量,生产效率可以提高。在加拿大马给依斑岩铜矿上试用,取得了较好的效果。该矿产在始新世蚀变的石英长石黑云母花岗岩带中,氧化带不深。此带位于河谷底部,覆盖层厚度达400英尺,地形很坏。磁激发极化和电激发极化所得结果(图2)在细节上反映虽有所不同,但两种方法都反映出斑岩铜矿的存在。在其它斑岩铜矿床(如美国的卡拉马祖矿床)也得到良好的试验效果。所以,用磁激发极化法进行详测也是可行的,特别是在接地条件差的地区或冻土带,或屏障效应影响较大的地区,磁激发极化法的效果将比电激发极化法好。

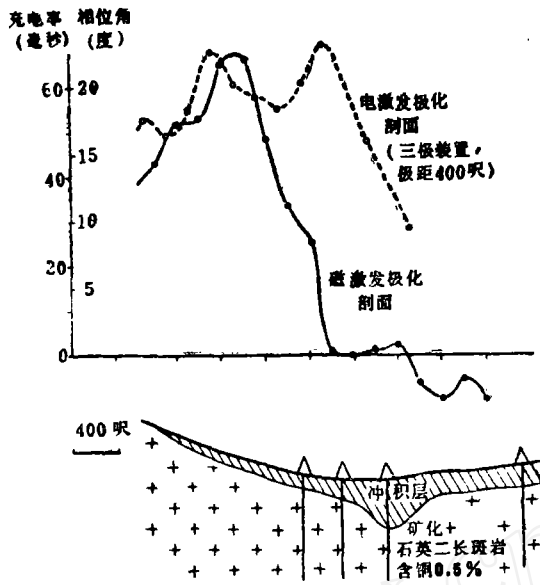


图2

在普查和详查之后, 要进行钻探检查, 往往因为矿体小, 加密钻探网度, 则勘探费用大, 不经济。如果进行激发极化法的井中测量, 可以扩大钻孔的控制范围。斑岩铜矿本身规模大, 即使是含块状硫化矿物的矿体, 其周围也常有浸染硫化矿带, 都有激发极化效应。所以在勘探阶段有钻孔可利用的情况下, 井中激发极化测量可以解决这一阶段所要解决的某些具体地质问题。

这里顺便介绍一下井中测量的方法。供电电极与测量电极之一应分别在相反方向离开井孔数百米接地。另一供电电极用绝缘屏蔽电缆送入井中, 再用一多芯 (三芯或四芯) 绝缘屏蔽电缆分开分别接在三个或四个测量电极, 测量电极距不等, 可以是 3、10、30、60 米 (或其它极距)。联结井下供电电极与测量电极的电缆, 其屏蔽层应在井口附近接地。可以用不同电极 (两极或三极) 装置测量。利用小极距 (例如 3 米), 可以了解钻孔内或井壁附近的情况, 而大极距可以加大透过井壁的深度, 寻找钻孔未打到的或是漏掉的小矿体。测量电极是用长约 10 厘米的银-氯化银筛网。测得的视电阻率和激发电位

值记录在供电电极与距其最近的测量电极之间的中点。

为了确定矿体方位, 可将两个供电电极都放在地表, 距井口的距离相等, 长度约等于井深的 0.7 倍。一个测量电极放在垂直于供电电极联线方向无限远处。另一测量电极放于井中, 其接线的另一端接测量仪器。应使测得的电位与供电电流的方向相同 (同相)。如果井下矿体是在供电电极为正的一侧, 测得的一次电位为正 (同相), 二次电位为负 (反相)。测量完毕, 将供电电极系统转 90° 的角, 重新接地。地面的测量电极这时也要移到相反的一侧。重复视电阻率和激发电位的测量。根据两次不同供电方位测量结果, 即可确定地下矿体所在的方位, 而且不难根据离钻孔的距离, 大致确定其空间位置。还可对钻孔倾斜进行改正。不过在实际工作中地下电阻率不均匀、不对称, 往往导致所测剖面产生畸变, 使成果的推断解释复杂化。尽管如此, 在井下进行激发极化测量可以寻找由于钻孔间距过大漏掉的深部盲矿体, 确定其空间位置, 以便布置下一步的钻探计划, 对节约钻探费用是有益的。

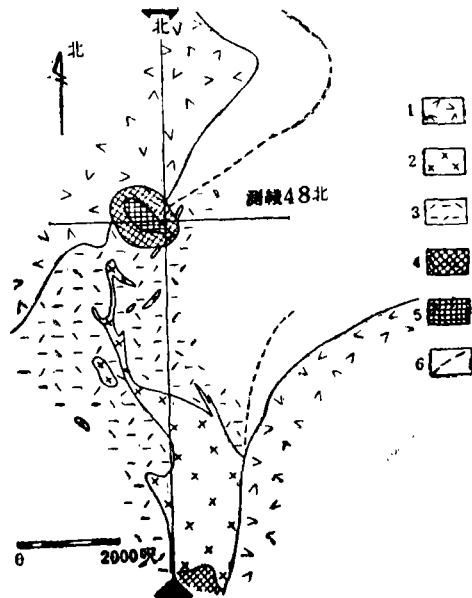
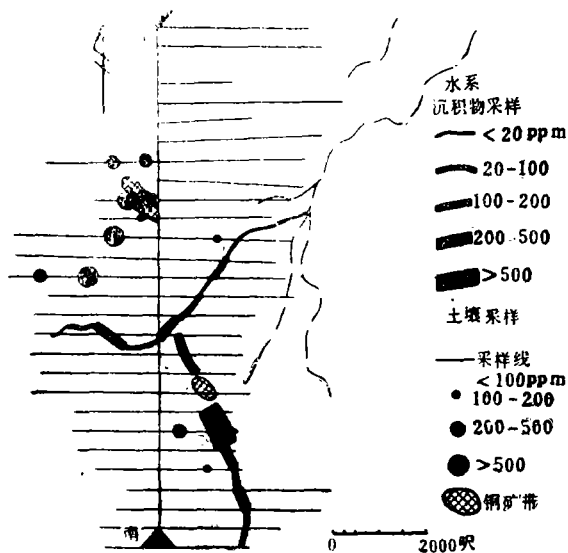


图3

实例

加拿大克瑞茵铜矿(图3)产在早侏罗纪奎春克里克岩基的北部,岩基主要为石英闪长岩,在靠近边缘处变成辉石闪长岩和辉长岩。深成岩被年代较新的闪长岩所侵入。克瑞茵矿床和本地区的其它几个矿床,在空间上与年代较新的侵入杂岩及与它伴随的角砾带有关。岩基北部大部分被中新世火山岩覆盖,最大厚度达800英尺,露头面积不到总面积的5%。矿体在平面图上呈椭圆状,约1200英尺长,走向北西,倾向西南,倾角近于 90° ,与该区的主要节理一致。矿床的西北部在中新世前受到淋滤,含碳酸铜、硅酸铜和很少量的自然铜。矿床的东南部含浸染硫化矿,主要是黄铜矿和黄铁矿。硫化矿物(以体积百分数表示)在轴部附近为3%,离开轴部品位下降。

在矿区采集河流沉积物样品,采样点距半英里,在矿体附近点距加密到400英尺。采样点处的河流流速以及物理特点都作了记录。样品用冷柠檬酸盐提取,用双硫脲滴定分析,结果见图4。靠近矿床的地区没有强的迭置的水系型,附近向东北和向南流的河流产生良好的下游分散晕。向东北流的水系在矿床附近含铜值达到300ppm左右,到下



4 图

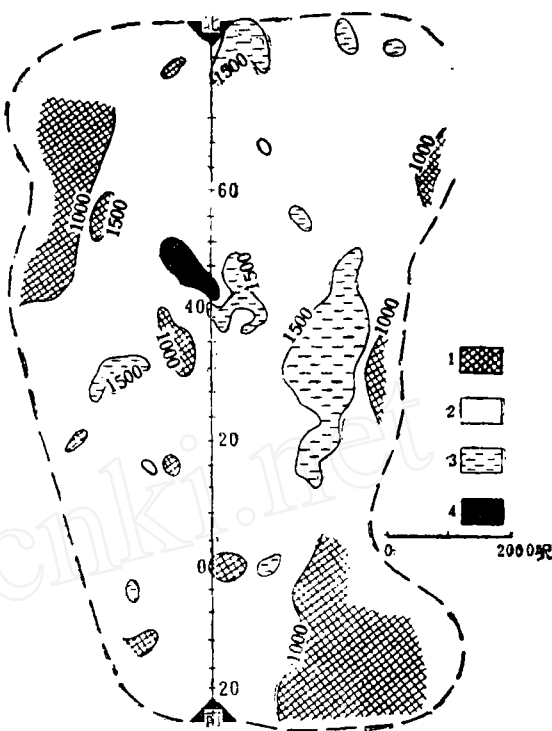


图5

游2英里则降到5 ppm。向南流的水系有一段与侵入杂岩体和石英闪长岩接触带平行,在水系下游的一个低品位矿化带上铜含量超过700ppm,但再下去5英里则降到小于200 ppm的背景值。根据高的含铜量值可准确地圈出矿化范围。

以400英尺线距、100英尺点距采集了B₁层顶部的土样,此层的平均厚度为6~9英寸,在露头和盆地上未采样(盆地有厚层黄土)。样品烘干后,经过筛选(小于80网目)进行分析(方法同前)。分析结果绘成铜量分布图(见图4)。几处大异常用推土机剥离后可见到铜矿染。异常最大处就在克瑞茵矿床附近。在矿床上面,有的地方铜量不高,因为那里的冰碛物的厚度超过70英尺,铜离子无力穿过这样大的厚度。

进行了航空磁测,线距1/4英里,飞行高度500英尺。航空磁测结果,对于几个已知的大矿床都没有显著的反应。克瑞茵南10英里有一个浸染铜矿(伯利恒铜矿),再往

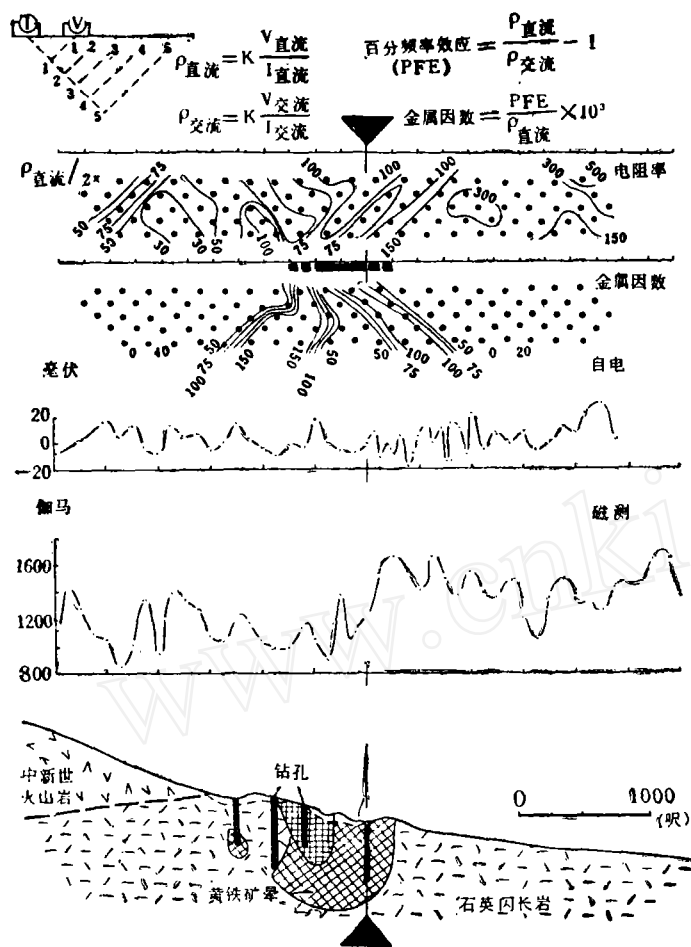


图6

南20英里还有一个接触变质铜矿(克雷格山铜矿)都没有异常。克雷格矿虽有强磁性矿物伴生,航磁测线在矿体两侧穿过,但并未发现。可是航磁资料对确定深成岩分布的岩石类型确有帮助,并指出了该地区某些地质构造上的特征。另外还做了地面磁测(测网400×100英尺,目的在于根据磁异常低来发现年代较新的侵入岩体和矿化带,并查明中新世火山岩覆盖的范围。地面磁测在短距离内磁场变化很大,以致无法绘制磁力等值线图。为了去掉干扰,对野外数据进行了过滤。绘图所用的值是该点的磁场值与其两侧两点上的磁场值三者的平均值。用这样平均值给出的平面等值线图见图5。低于100伽马的异常都是在已知的火山岩出露地区,只表示出火山岩的某些岩层,主要的火山岩露头都出露在离磁测区较远的地方。图6上有一磁测剖面,可以看出矿体上没有明确的

磁异常。在同一图上还绘出了自电剖面,在矿体上同样也没有反应。

激发极化法是采用频率域测量法,所用的电极排列是偶极-偶极装置。通过矿体的一条剖面参见图6。与地质剖面对比,低电阻一般是与已知的中新世火山岩分布的地区一致,高电阻表示下面的深成岩。地质图中上覆的火山岩的分布就是根据电阻率的数据绘出的。激发极化法测量结果是用金属导电因数表示的。从该图可以看出,异常与矿体的位置极为吻合。

综合物探结果可以归纳如下几点:航空磁测在矿上无表示,但对研究测区的地质构造有所帮助;水系沉积物的铜量分析有良好的分散晕,可以藉此追溯矿化带中心部位;在矿床附近土样中铜含量最高;地面磁测与自电测量均未取得效果;激发极化法测得的电阻率差异可用来区分岩层;激发极化法效果最好,异常与矿体位置吻合。

综上所述,尽管斑岩铜矿的某些地球物理特征不太明显,或者在用某种物探方法测量时容易受到干扰,区分异常有困难,但在不同地质工作阶段综合利用各种物探方法,并采用各种新的找矿手段,解决某些具体地质任务是完全可能的。在目前比较现实的情况下,是开展各种激发极化法的研究,运用我们过去累积找浸染矿的经验,参考国外找斑岩铜矿的地质与物化探的经验,采用地质与物化探相结合的方法,一定会在大力找斑岩铜矿的工作中收到较好的效果。

参考文献

1. Geophysical Case Histories (SEG) Vol. I, P. 265~316
2. Mining and Groundwater Geophysics 1967, P. 322~335

(齐武夷整理)