

国外地质资料选编（八十七）

国外物探找矿案例

地质矿产部情报研究所

一九八四年一月

在一个矿床上是无效的。这就形成磁法、电磁法加上重力方法或磁法、电磁法加激发极化法等这样一些不同的物探方法组合。

再如，印度的金刚石矿物探普查方法，是根据在三个金刚石矿带上多年的工作经验，结合对比苏联和非洲金刚石矿床及其普查经验，总结出一套以磁法、电阻率法和重力测量为主，以地震法为辅的综合物探方法。各种物探方法在不同矿带上的作用大小是不同的，其有效性取决于工作地区的地质环境、容矿岩石与围岩之物性差异大小和异常体的埋深。

对每个具体矿田或矿床来说，矿床模型的建立，物探工作的合理布署和综合物探方法技术的选择和使用都是通过长期的大量试验研究和不断总结的结果。如澳大利亚的南威士铜-铅-锌硫化矿是一个有几十年开采历史的火山岩型矿床，经过二十多年时间，做过二十多种物探方法的试验研究，进行过大量异常验证，才总结出一套适合于该类矿床及其类似地区的合理物探工作程序和综合方法。这就是用航磁、航电磁和地震法解决矿区构造和岩性填图问题；用化探、电阻率和激发极化法做矿床普查；综合应用电磁法、重力和地震折射法区分矿体和黑色页岩；用井中充电法、电阻率法和自电等方法圈定矿体。

纵观全辑，不难看出，物探工作是一种研究和探索性很强的工作。对不同类型的矿床，在不同的普查勘探阶段上，各种物探方法所能解决的地质和矿床普查问题是不同的，因此，对其要求应是客观的、全面的、应充分发挥其所长。通过系统地总结本国的和借鉴外国的有关矿产普查勘探经验教训，提高对所研究目标的全面而深入的认识，掌握其规律性，有针对性地布署和使用综合物探方法，配以化探、地质和钻探手段，将会促使物探工作在矿产普查中发挥更大的作用，取得更好的地质找矿效果。

编 者

5/19/02

目 录



(一) 前言	
(二) 寻找金矿的综合物探方法	(1)
(三) 地球物理和地质学在芬兰镍—铜矿床勘探工作中的应用	(19)
(四) 印度的金刚石勘查	(42)
(五) 塔斯马尼亚西部火山岩型硫化物矿床勘探	(52)
(六) 法国海外物探找矿实例	(66)
(七) 澳大利亚新南威尔士洲伍德劳矿体的地球物理研究实例	(88)
(八) 地球物理调查在北奥涅加地区铝土矿床预测和普查中的作用	(127)
(九) 物探方法普查与勘探铝土矿床	(132)
(十) 法莱梅铁矿区的物探研究	(136)
(十一) 利用物探资料预测石棉矿床的特点	(157)



200404570

寻找金矿的综合物探方法

在寻找金矿的工作中,很早就开始使用一些地球物理和地球化学的方法。但是,由于在寻找金矿时存在一些特殊困难,使得以往物化探方法的找矿效果不甚稳定,只是在最近十几年才逐渐扩大了综合方法的应用范围,明确了综合方法应用的一些基本问题。在寻找金矿时决定方法使用特点的因素是:

1. 由于金在矿石中的含量极少,因此,金的存在不能呈现出明显的物理特征,应用现有的地球物理方法直接找金是比较困难的。这样,在寻找金矿时主要是采用各种不同的物探方法间接找矿,解决与金矿成矿有关的岩石、构造等多方面的地质问题,同时,在区域调查直到详查勘探的各个阶段还应充分采用有效的综合方法。

2. 金矿可形成于所有的地质时期和各种地质环境与类型的岩石中。金矿的矿石成分、构造和地质位置是各式各样的,矿床规模、矿体形态、围岩条件更是千差万别。这种明显的差异使综合方法不可能研究出一种典型的标准工作方法,实际上,要求针对不同的物探工作阶段,对某一类具体的金矿区研究出相应的综合方法方案。应用效果的好坏,主要决定于正确的地质前提,以及地质地球物理和地球化学方法的充分使用与正确配合。

目前国外使用的主要物探方法有:直流和交流电法、磁法、重力与地震法、压电法(包括地面及地下方案)、无线电波透视法、核物探方法及综合测井等,还经常与地球化学方法相配合。使用这样多的方法,必须严格遵循工作的阶段性和综合性。研究工作应该从小比例尺到大比例尺,按不同矿床类型和地质需要有计划、有步骤地合理选用综合物化探方法。只有这样,才能可靠地解决各阶段的任务,取得较好的地质效果。

一、寻找金矿的综合方法与工作程序

遵循物探工作的阶段性和综合性是在所有金属矿区提高普查工作效果的必要条件。普查金矿时地球物理工作包括以下四个主要阶段:

(一) 区域矿产予测阶段

区域矿产予测阶段地球物理测量的比例尺为1:250万—1:50万,或1:100万—1:20万。事实上,这个阶段的工作不可能单纯的为了寻找金矿,它是区域地质调查的一个组成部分。

小比例尺(1:250万—1:50万)的地球物理资料可用于大区域深部构造填图,在这样广大地区,能够反映出地壳纵向和横向上的不均匀性,而这种不均匀性能影响含金带的分布。为此目的,应该研究地壳和上地幔之间的界面(莫霍面),玄武岩和花岗片麻岩之间的界面

(康氏面),以及埋藏不深的与花岗片麻岩层及基底顶面有关的界面的形态特征。在进行这些工作时,还应研究切割地壳岩层的深断裂。所得到的资料用于研究成矿区和各种类型的内生矿带,其中包括金的分布规律性。所查明的规律性能够指出新的含金矿带,在此范围内必须进行中比例尺的区域地球物理工作,查明新的金矿地区。

在进行小比例尺的区域地球物理工作时,可利用深地震测深、重力勘探和航空磁测的资料。使用这些资料的效果,主要取决于利用深地震测深方法对具体地区地壳构造的研究程度。

一些经验表明,1:100万比例尺的区域地球物理资料,能够有效地用于成矿预测和构造图的编制。为此,还应将地球物理资料(重力和航空磁测)与古构造图结合起来进行分析。其目的在于根据地壳断块的构造和发育的类型,对褶皱地区的深部构造进行划分。根据这些研究成果所绘制成的图件,将成为更准确地确定已知金矿区边界和预测新区的科学依据。

在苏联某地根据地壳断块构造和发育类型的深部地质构造划分出金矿区,其地球物理资料的解释与古构造图的共同分析表明,这个地区被分成具有不同深部构造和地质构造形态的许多断块,这些断块又形成不均匀的褶皱区,其中的每一个断块都由一定类型的沉积岩、岩浆岩和变质岩建造组成,并具有自己的地球物理特性和成矿专属性。在所研究的地区内,根据发育类型和深部结构,划分出三个主要类型的地壳断块:内地向斜型、内地背斜型及过渡型断块。

地壳内地背斜断块的特点是大面积的重力正异常。地壳厚度变小(莫霍面隆起),中生代的沉积岩和花岗片麻岩层的相对厚度不大,金矿就位于这种断块的边缘部位,很少位于其中。

地壳内地向斜断块的地质发育史和深部构造特征截然不同。这种断块的特征是厚度较大,因此出现低的重力场和磁场。

此外,根据综合地质地球物理资料,划分出花岗岩和闪长岩侵入建造。花岗岩侵入建造是以局部负重力异常划分出来的。闪长岩侵入建造是以地磁场的增高勾绘出来的,绝大部分金矿区分布在形成地背斜外带地壳断块范围内。根据磁法勘探资料圈定出金矿区的地质界限。

(二) 构造和地质填图阶段

这个阶段的工作是比例尺为1:20万—1:5万,甚至1:2.5万的地球物理测量和地球化学测量,应该在前一阶段工作的基础上进行,其主要任务是查明控制矿床分布的一些构造特征,例如,查明断裂带、热液蚀变带、次山火岩带,划分火山岩和侵入杂岩及圈定成矿远景区。

主要的物探方法是1:20万—1:5万的地面重力测量,1:5万—1:2.5万比例尺的航空伽玛能谱测量和航空磁测。应用伽玛能谱测量有重要作用,它可查明一些与金矿体有关的热液交代蚀变带。例如乌兹别克的大多数金矿田和金-硫化物-石英建造、金-石英建造的成矿现象都出现铀钍含量的异常。利用航空伽玛能谱测量划分出一些大面积的金矿远景区,甚至划分出寒武纪陆源沉积层中的层状金矿。含矿带放射性元素含量的增高与岩石中放射性强度增高在放射性元素比例方面有明显不同。但是,当地表风化带内铀、钾发生强烈淋滤时,用伽玛能谱法就很难发现上述矿床了。此外,配合航空电法还可进行地面甚低频电磁测量(如在鄂霍茨

克-楚克奇火山岩地区进行了超长波电台方位对比法)，并在部分剖面上进行地震勘探。

地球化学方法是普查金矿中经常使用的手段，由于化探方法适用于不同环境和各种类型的金矿，找金的同时还可以寻找其它多金属矿床，所以它是比较有效的方法。

另外，用X荧光法找金亦有较好效果，与金矿伴生的元素中砷分布最广，含量也较高，可以成为普查和评价金矿的指示元素。

在乌兹别克某金矿上，用X荧光法记录9.5-11.5千电子伏能量范围内砷的特征，辐射激发源是用两个镭-109同位素源(每个强度5—10毫居里)，探头用正比计数管，其能量分辨率为16—17%。用同样方法也可测铜元素总量(砷、铜、钨、铅总重)，但测量范围较宽，为8—12.5千电子伏，在这个能量范围内本来还有原子序数为31—36、70—90的元素，但这些元素在所研究的矿床中含量很低，影响不大。

在该矿区内作了1:1万的面积性测量，在残坡积物(砂质粘土)中挖0.3米深的小坑进行现场X荧光分析，测砷的精度在照射时间60秒时不低于0.01%含量。定量测量的生产效率为每个台班分析150个样品。用这种方法在野外圈出了分散晕、矿体和矿带，成功地指导了进一步的地质勘探工作。例如，在同一面积上作了X荧光法亲铜元素总量测量和光谱分析，两者圈出的远景区几乎重合，但是用X荧光测井，从提供的实例来看，在毒砂-黄铁矿型金矿上，和在含硅少的石英-毒砂-黄铁矿型金矿上X荧光测井(测砷)的结果与岩心分析的金含量十分吻合，但是目前X荧光测井，只能在清水孔或干孔中进行，因而有较大的局限性。

(三) 矿田和矿床构造的研究

这个阶段的工作比例尺为1:5万—1:2.5万，甚至1:1万。

根据一些地区的经验表明，地球物理工作在此阶段的主要任务是进一步查明控矿构造，确定对金矿体有影响的岩石-岩性因素(炭质石墨岩层和火山沉积杂岩中显示金矿化的其它岩层)，以及近矿蚀变-矽化、滑石菱镁片岩化、黄铁细晶岩化、高岭土化带等；寻找矿床、矿体。

据一些工作经验表明，在这个阶段需要考虑各种金矿类型的特征，不同的研究者对金矿床有各种不同的分类法。

根据矿床成因、形成深度、矿体形态构造、地球化学成分、矿物共生组合、近矿围岩蚀变、岩浆作用，以及矿石建造等划分出的类型很多，主要类型有太古代绿岩带金矿(以含金石英脉为主)，元古代含铁硅质建造中的金矿(霍姆斯塔克型)，中生代与火山岩、次火山岩有关的金矿，含金-铀砾岩型金矿，碳酸盐建造中微细浸染型金矿、砂金矿、伴生金矿等。

有人主张在矿床普查中应该扩大“普查准则”这一概念，这是选定普查勘探方向和方法的理论基础，它包括地质前提和地质标志两个内容。А.Я. Колемков等人阐述了列别金型和库腊纳赫型金矿床的普查准则，作为地质前提，包括区域性的和局部性的岩性、地层、岩浆、构造、外生特性等因素，这些因素又具体反映在地球化学和地球物理特征上。所谓普查标志是指矿物-地球化学、地球物理、岩石的近矿蚀变和表生变化、地形等。对上述两种金矿类型的直接和间接的普查标志可列于下表(表1)。

普查准则一览表 (部分)

表 1

普查标志	矿 床 类 型	
	金—赤铁矿—硫化物型	金—黄铁矿型
矿物标志	矿物组成以中温硫化物为主的矿物组合; 金属矿物富含金; 矿化的指示矿物为硫化物、赤铁矿、石英、铁白云石	矿物组成简单, 矿化的指示矿物为含金黄铁矿、石英、冰长石; 大量表生矿物, 如褐铁矿、高岭石、石英等。矿石中存在以下一些不形成矿物的元素: Au、Ag、Cu、Mo、Ni、Co 等。
标型特征	原生矿石的硫化物中金很分散。粒度为 0.005—0.01 毫米。氧化矿石中金的粒度为 0.01—3 毫米。典型混合物有 Cu、Pb、Bi Mn	原生矿石中金含量不高, 粒度为 0.01—0.25 毫米; 氧化矿石中金呈“易碎的”海绵状, 混合元素有: Cu、Pb、Mn 等
原生和次生分散晕	Au ($>n \times 10^{-6}\%$)、Pb、Cu、Mo、Ag、Bi、Sn、Zn 的原生晕及累加晕可圈定矿体, 次生晕可圈定远景区	局部存在 Au、Ag、As、Cu、Mo、Pb、Zn 的原生晕和累加晕; 次生晕 (包括 As 和 Te) 比原生晕分布广
近矿围岩蚀变	靠近矿脉带有硅化、铁白云石化及硫化物化	含金的硫化物—石英交代岩及石英—钾长石交代岩
地球物理标志	综合磁异常和重力异常产在含有岩浆岩体和矿体构造复杂的地段, 矿体可根据视电阻率测量时的导电率异常来圈定	含金的硫化物—石英交代岩及石英—钾长石交代岩控矿构造、岩墙和岩溶产物在磁场和重力场中均有反映; 含金岩溶产物具有负重力异常, 线性重力异常反映了断裂的存在, 面积性重力异常反映了隐伏侵入体的存在

考虑综合方法应用的条件, 还可根据矿物中石英组合和硫化物组合的含量作分类, 现简述如下:

1. 石英脉和低硫化物建造的金矿床

作为此类矿床矿体的特征是石英物质的电阻率高, 弹性大, 并能产生压电效应。含金石英脉的特征为厚度小, 延伸规模不等, 产状要素多变, 以及近矿蚀变非常发育。通常, 近矿蚀变沿石英脉形成带, 且其电性和其它物理性质变化很大。带的厚度一般大大超过脉本身的厚度。显然, 地球物理方法研究的对象是普查和追踪石英脉。

在普查和追踪石英脉时, 广泛采用不同方案的直流和交流电法。例如, 在中阿尔丹 1:2.5 万—1:1 万比例尺的综合地球物理工作中, 使用的方法包括自然电位法、直流偶极剖面法、偶

极电磁剖面法、激发极化法等，同时使用伽玛能谱测量等方法，但是多年的研究表明，在直流电阻率法工作中，既可根据视电阻率极小值或导电率异常，也可根据视电阻率极大值或电阻异常来确定石英脉。在一些矿床上所得到的视电阻率曲线（电剖面法）和电位梯度的比值，都具有极大和极小相互交替的复杂形态。因此，往往有这样的情况，即在多数异常中很难确定哪些是由石英脉引起的异常。正象工作经验所指出的，划分《有意义》的极小或极大值并查明它们的地质性质，要求进行专门的地质调查。

在不同地区的许多含金矿床上普查石英脉时，使用电法的经验表明，使用这些方法的可能性是有限的。这主要与含金石英脉的厚度不大有关，大多数石英脉的厚度比其埋藏深度小得多。因此，往往由于围岩是复杂的介质，所以地质和电性上的非均匀性造成各种异常效应比石英脉本身的异常效应还要明显。这样，利用一般电法直接查明石英脉的问题，实际上还没能彻底解决。但是，由于压电效应方法的研制成功，并应用到实际工作中，因此，在解决这个问题上已向前进出相当大的一步。目前，这个方法已经研究出用于地表和坑道条件下寻找石英脉的方案，并成功地进行了实验。

总的来看，地球物理方法与地球化学方法相结合可以成功地研究矿体的分布和远景区，进行金储量的定量评价，以及研究构造因素的作用。地球物理和地球化学的研究，可以从1:2.5万比例尺的地质普查工作阶段开始进行，为此可采用电剖面法、磁法勘探及光谱金属量测量。利用电剖面法可圈定出高阻灰岩，与充填着低阻破碎岩石的喀斯特生成物分布的范围，以及断裂构造造成的岩石裂隙和低阻线状延伸带。为了圈出火山岩墙可使用磁法勘探，在金矿区进行研究时，应将所得到地质和地球物理资料与矿床分布的资料结合进行分析研究，这样就有可能确定金矿富集地段，分析结果，能提供出控制矿体分布的构造标志的依据。在一些具体地区内使用的方法不可能完全相同，更不是愈好愈好，为了保证方法有最佳的地质和经济效果，需要详细研究该区影响各种方法效果的因素，并综合地进行分析并加以确定。为了较好地选择适当的方法，有关统计分析的方法将是有益的，这一点在后面将予以详细讨论。

2. 中等和高硫化物建造的金矿床

在这类矿床的矿体中，硫化物的含量一般偏高，因此，矿体的导电率也相当高，并通常是天然电场源，这成为利用不同变种的电法发现它们的有利前提。但是，对该类型的矿床，地球物理方法的效果，不仅决定于矿石的物理性质，而且也决定于许多综合的地质因素：矿体的大小、埋藏深度、产状要素、氧化带厚度、围岩性质，以及矿区的构造状态等等。这些因素综合起来，也许不利于地球物理方法直接查明矿体。为了查明控制硫化物矿体的地质构造因素，在进行矿田和矿床大比例尺地质构造填图时，采用地球物理方法是有益的。这类建造矿床的矿体为含金硫化物矿脉和矿层，以及细脉浸染矿带。

在研究这种类型的金矿床时，可广泛采用直流和交流电剖面法、自然电场法、磁法、直流充电电法和磁充电法所组成的综合地球物理方法。例如，矿体分布于寒武纪岩石中，并赋存于被断裂破碎带褶皱构造复杂化的部位。金—硫化物矿体为陡倾的脉和交代的水平矿层。脉具有相当大的延伸，几乎切断全部岩层，并在空间伸展到岩脉接触面和断层裂隙。由于矿层形态复杂，其延伸及形态由地质构造破碎的形态和大小来决定。地球物理的特征为沉积岩的电阻率从几十变化到上万欧姆·米，这主要是由于不同程度的裂隙和含水性所引起的。原生矿石的电阻率为零点几到1欧姆·米，氧化矿的电阻率从几十到上百欧姆·米。侵入体与围岩

的区别在于它有较高的磁化率值。因此,在进行详细地质填图时,为了查明和追索构造破碎带和侵入体,可采用电剖面法和磁法勘探。

在普查金矿的工作,甚至1:5万比例尺的区域调查工作阶段中综合方法应包括自然电场法,以便划分出有利于金矿富集的地段。这类地段位于自然电位异常的边缘部位。根据钻探资料评价远景地段时,在进行钻孔综合测量的工作中,也应包括自然电场法。鉴于矿石位于偶极子由正到负的过渡地段,稍高于零等值线,所以利用自然电场法进行井中观测的资料,能够修正钻孔的深度并找出有利于金矿的富集地段。

在一些炭质陆源岩层中,以细脉浸染硫化物矿化带为代表的金矿床,按工业价值,它们属于最有远景的,所以对这类矿床的研究应给以足够的重视。这类矿床一般赋存在较大的区域性断裂带内有利的岩石地层中岩石强片理化和石墨化的地段。因此,利用物探方法进行地质构造填图是很重要的。例如,矿体周围的火山沉积岩往往是无磁性或弱磁性的。只有中基性成分的侵入杂岩磁性增高。岩石的电性分异弱。根据急剧降低的电阻率可划分出断裂带,构造裂隙和炭质片岩。硫化物的浸染对围岩的电阻影响很小。岩石的极化性能主要取决于炭质—石墨形成物的含量和硫化物的浸染程度。

一般认为在进行调查的初始阶段,电剖面法、磁法勘探、重力勘探可提供出有关断裂破碎的大量信息。在进行详查时,在控矿构造区域内,为寻找矿带,激发极化法与光谱金属量测量一起进行测量最为有效,然而单纯用激发极化法普查含金硫化物和石英—硫化物型矿床的效果甚差。其原因是金矿点的位置产在石墨化为含炭沉积岩中,后者具有较高的极化率值。研究不含石墨的硫化矿化金矿带和石墨化岩石的极化率特性说明,这种性质在石墨化岩石的背景上,实际上无法将矿带分离出来的。

(四) 详查和勘探阶段

这个阶段的主要任务是从地面详细研究矿床(点),依据钻孔研究剖面,划分出矿段,查明钻孔间、坑道间的矿体,追索由各种方式所揭露出的矿体,为此,主要应用各种电法勘探方法。其中包括地面、井中及坑道的压电法、激发极化法、充电法、无线电波透视法,以及多种交流电法与综合电测井等,同时,往往配合光谱金属量测量。

根据使用井中无线电波透视法所得到的工作经验表明,该矿床在石灰岩中的硫化物交代型矿层,主要埋藏在角岩化岩石和闪长岩中的石英硫化物地质体和分散的硫化物浸染状矿体,矿体上层氧化,并由含金褐页岩组成。矿体呈透镜状、筒状和巢状。矿体的厚度不定。大部分矿石是以块状结构和磁黄铁矿成分为主。其电阻率的变化范围从零点几到1欧姆·米,沿构造破碎发育的石墨化作用是对无线电波透视法不利的因素。石墨化带的电阻率为几个欧姆·米。

通过在矿山坑道内进行频率为4.8和8.6千赫的无线电波透视法表明,在进行解释时,主要不是利用屏蔽系数的绝对值,而是沿观测剖面的相对值(因为岩石屏蔽系数值变化范围很宽)。经查明,花岗岩中贫浸染硫化物不能形成异常。用4.8千赫频率的无线电波透视距离达150米,而用8.6千赫为120米。在解释无线电波透视法的资料时,必须考虑有可能测到由石墨化带所引起的异常。利用无线电波透视法,可以有效地追索和圈定由矿坑和钻井漏掉的致密硫化物矿体。

在一些矿体为低硫化物石英脉的金矿床上,无线电波透视法的效果不佳。

然而,近些年来,在这样一些类型的矿床上,已将压电效应方法应用到详细和开采勘探的实际工作中。利用这种方法成功地进行了寻找矿井之间空间的石英脉,追踪脉错动的地段等。已有的工作经验表明,地下压电方法的探测距离为70米。

为追踪和圈定由矿山坑道揭露的矿体,可采用直流充电法。矿山坑道掘进过程中所查明的矿层的形态与实测的异常性质对比表明,矿体的走向决定于电位梯度零值轴的方向。根据等位线的轮廓可以判断矿体的大小。但是,由于许多矿区被碎石复盖,不可能实现良好的电极接地,因此,直流充电法只能在有限的地段上使用。低频交流充电法可以对那些不能使用电极接地的地方进行观测,这正是该方法较直流充电法优越之处。一些工作经验表明,钻探与交流充电法结合,将有可能使钻探工作量大为降低。同时,根据所得到的地球物理调查结果得出这样的结论:在详细普查和勘探中一高硫化物含量的金矿床时,交流充电法是一种主要方法。

在详查和勘探阶段,化探同样也能起很好的作用,特别是寻找浸染型金矿。化探乃是主要的手段。例如,美国内华达州北部的一个老金矿区,原有金矿床除砂金外,尚有交代型、浸染型及含金石英脉型金矿,后来结合成矿规律调查,利用金光谱分析早于60年代就在该区北部发现了两个浸染状矿床(卡林金矿和科特磁金矿)。另外,霍姆斯塔克金矿床,在采掘过程中,利用钻孔岩芯和坑道岩样确定出近矿原生晕,并进行激发极化测量找到了被工程遗漏的矿体。

(五) 普查和勘探冲积砂矿的地球物理探测

这种类型的金矿约占世界金矿储量的12%,由于生成条件特殊,所以使用的方法也与上述提到的不同。

普查和予测冲积砂矿的主要方法是地质—地貌填图。这些成果图反映了现代地形特征并再现了古代历史,以及能确定出冲积砂矿形成的性质和它们在现代及古河谷中可能的位置,因此,利用各种方法,其中包括地球物理方法,对工作地区疏松层的厚度及其分布情况做出初步评价有着重大意义。

根据冲积砂矿的构造,可分出物理性质不同的两个水平层。上层为疏松沉积物,下层是基岩。由此,地球物理工作的主要任务是,通过确定疏松沉积物的厚度来研究基岩表面起伏的特征,并将疏松沉积物分为不同成分的层。

在大多数砂矿上,利用地球物理方法成功地确定了疏松沉积物的厚度,而进一步分层则不甚有效,这说明包括疏松沉积物在内的岩层,按其物理性质并非总是可以区分开的。

在砂矿的普查和初步勘探阶段,用1:2.5万和更大的比例尺进行地质地貌填图时,采用地球物理方法具有非常重要的意义。特别是在普查和勘探产状条件复杂的砂矿,例如,被10—15米厚的疏松沉积物复盖的砂矿,最适宜采用一些地球物理方法。

目前,普查和勘探砂矿时,可利用电法勘探(电剖面法、垂向电测深法)、重力勘探和地震勘探。某含金地区的工作经验表明,根据垂向电测深的资料,编绘出隐伏的基岩地形图,并指出古河谷的谷道和谷缘的位置。这些资料对地质地貌填图和普查勘探工作方向的选择,都能给以很大帮助。但是,与此同时,也出现与钻探验证结果不吻合的情况。这主要是由疏松层的电参数变化很大等因素所造成。

重力勘探使用的可能性,决定于基岩和疏松沉积层之间的剩余密度。一些地区的剩余密度变化范围为 $0.2-0.7$ 克/厘米³。例如,在某金矿床上进行的综合重力测量和地貌工作表明,在许多地段都能评价出疏松沉积层的厚度,划分出隐伏的,不同水平的阶地,指出钻探工作方向,以后的钻探工作表明,有关第四纪地层厚度的地球物理和勘探资料的重合是令人满意的。

含金砂矿的疏松沉积层(上层)和基层(下层)的弹性参数有较明显的差异,这是使用地震勘探方法的物理前提。在某些地区利用地震资料能够编绘出基岩地形图。进行地震观测能以足够的精度估算疏松层的厚度,并查明隐伏的水系方向。总的看来,金矿物探工作的一些经验证明,高精度重力测量对研究矿田构造具有特殊的意义,是一种比较有效的方法。控矿构造填图、确定结晶基底埋深和追索断裂带,均可利用地震方法加以解决。在寻找与硫化物有关的金矿时,利用激发极化法较为有效。而在找含金石英脉时,压电法(地面和地下)是有效的。为了检查钻孔之间是否有矿,无线电波透视法具有实际意义。毫无疑问,为了确定含矿地段的界限和确定金属矿的品位,井中核物探方法起主要作用。

二、方法与实例

如前所述,在寻找金矿时既需要有合理的综合方法,又需要依据具体的地质条件正确和充分的发挥各种方法的作用。我们不能希求一种通用的综合方法程序和一种最有效的方法手段,不少实例可以说明,一些重要矿床的发现未曾使用过特殊的技术手段,仅仅依靠现有的方法,巧妙地达到了找矿和填图的目的。当前我国物探工作中的一个主要缺点是未重视遵循一定的阶段性,忽略区域物探工作,同时,又不能依据具体的地质条件,针对不同类型矿床的特征恰当地使用综合方法。为了提高寻找金矿的水平,必须克服上述不足之处。下面介绍的方法与实例,对于改进这方面的工作也许会有启发的。

(一) 压电勘探方法

七十年代以来,在普查和勘探石英脉型和伟晶岩型金矿时,压电效应方法有了很大发展。目前作为一种专门的找矿方法,已从试验阶段转入野外生产,并取得了较好的实际效果。

压电勘探方法是利用岩石和矿物的压电性差异来测量压电矿物的压电效应,从而探测金属矿床的一种物探方法。在进行野外工作时,利用地震震源产生的弹性波激发压电性岩石,测量所激发的电场,同时记录地震资料作共同解释,所以,又称地震电法。通过测量被激发的电场,可用于查明若干与压电矿物有关的矿床,使用压电方法的前提是矿体与围岩的压电性相差2—5倍以上,因此在开展野外工作之前,一般先在室内测定岩石样品的压电性。

目前,这个方法在普查、勘探和开采阶段寻找与石英脉有关的金矿床取得了较好的效果。

压电方法分地面观测和地下测量。该方法主要解决以下几个问题:

1. 普查、圈定和追索位于钻孔附近空间或巷道附近空间以及接近地表的压电体;

2. 评价其它物化探方法发现的异常；
3. 利用岩石压电性的差异进行填图。

压电方法的资料解释是利用压电信号和地震信号的运动学与动力学特征。运动学特征是指初至和续至波到达的时间；动力学特征是指两种信号的幅度、波形、频率和持续时间。

在解释地面测量的压电法资料时，主要利用动力学特征，即利用从压电图上计算出的压电信号与地震信号的振幅比作为纵座标，沿爆破点与电极之间距离为横座标而绘制成图。根据几条剖面上的曲线可以确定出压电体的大致位置。

在解释井中和地下测量的资料时，主要利用一种较直观的方法，即以炮点为中心，弹性波速度与压电信号到达时间的乘积为半径画圆弧，通过这些弧所交汇的范围，可大致圈定出矿体的位置。

压电方法对寻找含金石英脉具有比较明显的效果，能探测距炮点50米，甚至100米的脉，地面测量的探测深度为30米，地下为70米。

在托科尔金矿床上应用压电方法表明是有效的。该矿床的含金石英脉有二种类型的压电结构。石英脉标本的压电模数值平均为 8.0×10^{-10} CGS单位。它比周围沉积变质岩石压电性高7—8倍。石英在岩脉中占95—97%，按其电阻率、密度、磁化率、声响强度与围岩都相差无几。利用压电法在坑道和钻孔内进行工作，结果取得了明显的异常，根据压电法资料提供了211条建议，检查结果表明，失误不超过整个建议数的5%，同时，确定出到岩脉距离的误差主要是由于岩脉在水平面上不规则的投影所引起的。

作为地面压电测量的结果如图1所示。该区覆盖厚度为18米，使用2公斤硝铵炸药爆破，炮点距为5米，剖面间隔20米，石英伟晶岩体水平投影范围为 30×16 米，观测是按中间梯度装置，用电极接收信号，极距15米。观测结果绘成振幅曲线和运动时距曲线。从图上可看出，在石英伟晶岩体上振幅增大到300—400微伏，在运动时距曲线上也有明显的突起，说明压电法寻找石英脉型矿床具有良好的效果。

此外，在金矿上通过研究石英的压电性对于查明石英脉的生成世代很有帮助，这是一个新的重要发展方向。通常，石英的压电模数与其生成的物理化学和热动力条件关系密切。许多矿床的石英具有几个矿物世代和不同的压电模数，这就为矿产预测提供了依据。

图2是某硫化物石英脉型金矿床的实例。为了确定不同世代石英的压电模数，沿矿体走向和倾向每隔50—100米采集定向标本，然后作成边长为3厘米的小立方体。沿小立方体的三个相互垂直的面测定石英脉样品的压电模数。计算其数值为 6.6×10^{-13} 库仑/牛顿。再由三个测量值确定出压电模数的平均值。在该矿床上压电模数的变化范围为 1×10^{-13} — 7.2×10^{-13} 库仑/牛顿，其低值出现在矿床的中心部位，

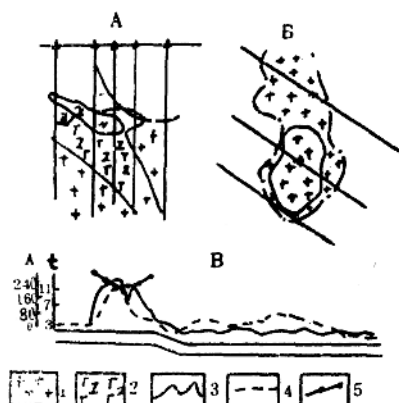


图1 某矿区压电法地面观测结果
A—地质剖面；B—地质体平面位置，B—振幅曲线
1—花岗岩，2—石英伟晶岩体，3—振幅曲线；
4—平均振幅曲线；5—运动时距曲线

高值位于侧翼和深层，从而指出了内生矿床的分带性。在含矿矿物组合发育带中，建立起石英压电模数和矿体中金含量之间的反关系，这个关系不论对个别矿体（图2）、还是对整个矿床均适合（图3）。

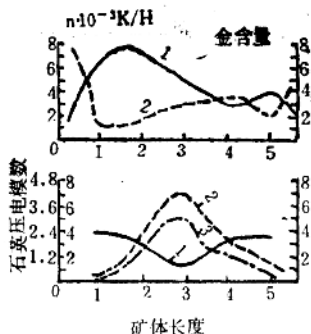


图2 在岩墙(Ⅰ)和岩脉(Ⅱ)型矿床上沿矿体走向的指数变化
1—矿石中金的含量；2—压电模数；3—厚度

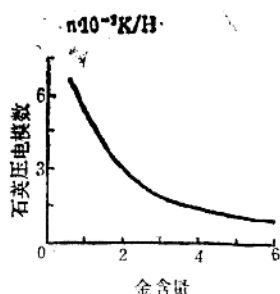


图3 岩墙型矿床上石英压电模数与矿石中金含量的相关性

所阐述的石英压电模数与矿体含金程度之间的相关关系，有助于岩脉型金矿床的予测评价，并可以帮助确定钻孔穿过的石英脉是否含矿。

(二) 自然电场法和其它电法

在寻找与硫化物有关的金矿床时，应用古老的自然电场法仍然是有效的，它作为综合方法之一在有些情况下甚至可以起重要作用，或与其它一些电法起相同的作用。在金矿区自然电场法还可以在坑道中进行观测。

应用自然电场法的经验表明，在脉状、网脉状石英型金矿、锡矿、钨矿上常常出现自然电位的正异常（产生正异常的原因有待查明），而赋存于热液蚀变的石英-电气石-绿泥石化岩石中的锡、金矿上则出现自然电位的负异常。查明自然电位的这类特征，对进一步找矿是非常重要的。

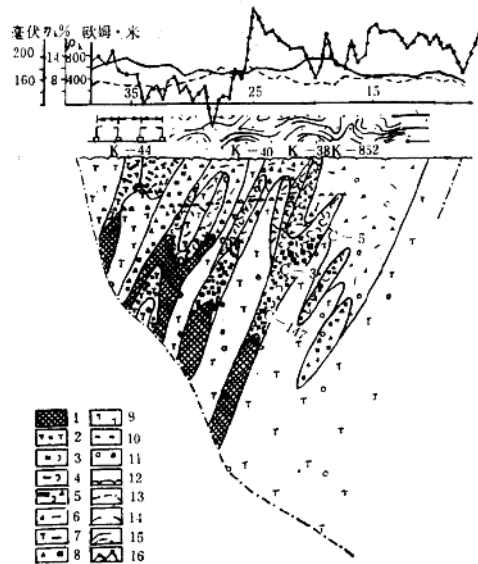
图4为某硫化物型金矿的实例。矿床赋存于下古代辉长闪长岩岩体的两端，周围为花岗岩。矿区内广泛发育着不同成分的岩墙。矿床内的矿化包括赤铁矿-磁铁矿-黄铜矿-黄铁矿，以及多金属矿等。其矿带长1公里，厚几十厘米至几米。含量增高的金赋存于岩体厚度增大地段，呈矿柱状产出。

为了查明和圈定矿带范围内矿柱的局部地段，并予测评价和勘探这些地段，进行了地面和地下综合地球物理调查。进行的主要电法方法均有一定效果，随后进行的地下自然电场法观测结果表明，可根据强度从-275到-400毫伏的局部自电异常确定出矿柱的位置（细粒黄铁矿、白铁矿和黄铜矿的含量达25%以上的地段）。在矿柱之间（石英-电气石-黄铁矿矿化组合）的自电强度为-45到-150毫伏。仅在个别情况下（在不含矿的粗粒黄铁矿地段）自电异常强度达到-350毫伏。

矿床坑道和矿井中矿柱顶部出现强的自电异常，这证明硫化物的纵向分布范围较大。

根据反映矿柱的自电异常曲线图所确定的参数 $n = 2\Delta / (2m + 2\Delta)$ (图5)。证明它们有一定的水平厚度： $n = 0.125$ 和 0.27 ，大于薄层的 n 值 (< 0.1)。

图4 矿物组合在矿带平面内的分布，并附有地球物理观测结果
1—石英-电气石、细粒黄铁矿；2—电气石、细粒黄铁矿；3—细粒黄铁矿、白铁矿；4—黄铜矿、白铁矿；5—黄铜矿、白铁矿、磁铁矿；6—磁铁矿、黄铜矿；7—电气石、黄铜矿；8—磁铁矿、中粒黄铁矿；9—电气石；10—地下巷道；11—矿井外 (○) 和矿井内 (·)；12—探槽；13—断裂破碎；14—激发极化法偶极测深的 η_K 等值线；15—激发极化法对称剖面测量的 η_K 曲线(a) 和 ρ_K 曲线；16—无线电波法的 E_x 曲线 ($f = 21.5$ 千赫)



借助于对数量板可确定出柱状矿体的延伸，计算的曲线接近于量板曲线约 $2r = \infty$ (图5)。计算表明。矿体沿倾向分布相当大，根据量板H线可确定出矿体堆藏深度的近似值

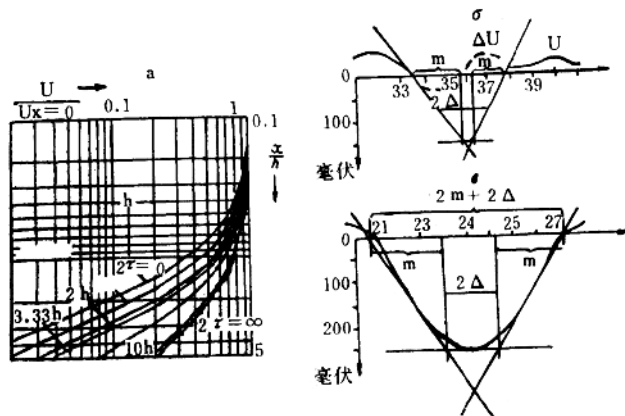


图5 在坑道№1的矿体上根据自然电场法地下观测数据确定的矿柱分布的形态和深度
a—沿平巷№2利用电位对数量板(根据谢苗诺夫)确定柱状矿体向深部的延伸；b—为确定矿柱参数计算的曲线 (6—当 $n = 0.125$ 和 6—当 $n = 0.27$)。

为7.5米。按直立圆柱体公式所求出的矿体上缘埋深等于4—5米。如果认为负异常宽度一般为向深部延伸矿带的1/3—1/5,那么根据在平巷№2、5和6的矿柱上所测到的自然电位异常估计,矿体延伸深度>300—500米,并证明了在钻井中,矿柱同样对应着自电负异常。

应该指出的是,位于矿体东部的矿柱长度沿倾向达500—700米,而在个别岩脉内则为1000—1200米,在同样情况下沿走向为30—35米。根据电位曲线计算的 ΔU 曲线,按着公式

$\operatorname{tg} \alpha = 2 \sqrt{x_+ \cdot x_- / |x_+ + x_-|}$, 相当可靠地计算了矿柱的倾角,如图5, №2平巷 $\alpha = 45^\circ$ 。

(三) 重磁方法

重力和磁测方法在寻找金矿工作中的作用,从区域矿产预测直到详查阶段,都能较好地发挥出它们应有的作用。关键在于首先查明应用重磁方法的具体条件,在鄂霍茨克—楚科奇火山岩带中,含矿地段为次火山岩相流纹岩细脉交代石英化和冰长石化带,与周围安山岩在磁性和密度上均有差异,这就为使用重磁方法查明含矿段提供了依据。

在卡利雅区,根据重磁资料查出了两个北西向共轭的控矿构造和许多矿点,断裂在重力场上显示出明显的重力梯度带,而在地磁场中则呈现出线状延伸的正异常。

在上印迪吉尔卡区应用航磁资料,在岩浆岩体外接触带上圈出了一些接触变质高温热液生成物。已确定,与低温生成物有成因关系的金矿产于磁异常衰减区。

这些经验无疑是很有意义的。下面是北哈萨克斯坦的实例。这是根据经验方法由重磁资料进行金矿予测的结果。所利用的原始资料是取自1:20万比例尺的重力和磁测平面等值线图。首先分析了若干已知金矿在重力场和磁场中的分布规律,根据17个参数确定出金矿的一些模式。这17个标志($Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_{17}$)的具体内容是 $Z_1 = \Delta g_{\max} - \Delta g_{\min}$, 规定地质体位于梯度带东侧为正。 $Z_2 = L_1/L_2$, 其中 L_1 和 L_2 分别为矿体到 $\Delta g_{\max}$ 和 $\Delta g_{\min}$ 的距离。

选择 Z_1, Z_2 这两个标志是因为金矿体通常位于 Δg 的高水平梯度带上。

Z_3, Z_8, Z_7, Z_9 —一定类型异常等值线密集带到矿体的垂直距离。这是一相对值,地质体位于异常外为正,否则为负。

Z_4, Z_6, Z_8, Z_{10} —异常走向的方位角。

Z_3, Z_4 是强度为-50毫伽的等轴状负异常(I级异常),它们决定于志留纪、志留-泥盆纪、及较年轻的侵入岩体。

Z_5 和 Z_6 是强度低(-20毫伽),且形状不规则的II级负异常,与巨大的上奥陶纪的深成岩体有关。

Z_7 和 Z_8 为任意形状,且往往是椭圆形的,范围较大的,强度为10—40毫伽的正异常(I级),它与古老的(太古代—元古代—寒武纪)的基底隆起有关,被中基性喷出岩复杂化。

Z_9 和 Z_{10} 是4—10毫伽的II级异常,其形状和大小极为多样化,也是最为典型的。存在着不大的局部极大和极小值,它与中下奥陶纪沉积的喷出物以及次火山侵入体有关。

由于地质体处于重力梯度带内,它在较大范围内并非都能反映出强度的差异,所以,还

得引入一些标志:

Z_{11} ——在半径为 2 公里的弧形中心上的梯度极大值, $Wxz = \Delta g_{max} / \Delta x$;

Z_{12} ——最大梯度方向的方位角。

其余的五个标志是磁场结构与金矿体在磁场中的位置。

Z_{13} ——矿体周围介质的磁场强度;

Z_{14} ——周围介质磁场等值线走向的方位角;

Z_{15} ——周围介质异常的长宽比值, $Z_{15} = b/d$;

Z_{16}, Z_{17} ——与重力场中 $Z_3, Z_4 \dots Z_{10}$ 类似的两个标志。

地球物理标志系统 $U = (Z_1, Z_2 \dots, Z_{17})$ 直接表征了金矿体的状况, 可以作为金矿标准目标的典型化模式的基础, 这对于矿床模式的预测是必须的。具体建立模式的实例如图 6 所示。其中 $\mu(i, j)_{max}, \mu(i, j)_{min}$ 表示第 i, j 目标 (包括标准体) 之间相关重迭的最大和最小范围, 根据 $\mu = 0.88$ 可识别出大多数的矿床。图 6、A 的弧形半径 $R < 3$ 公里, 矿体位于弧内, B 说明二个和三个以上的 μ_{min} 范围, 大大缩小了远景区。

根据上述标志按统计判别的数学方法和专门的程序, 可找出不同类型的标准目标, 并具体进行分类, 从而查明远景区。

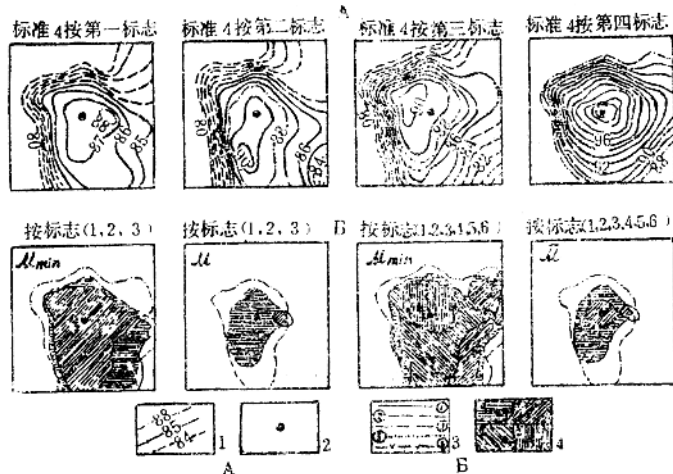


图 6 金矿模型实例

A—由 $U = (Z_1, \dots, Z_{17})$ 表征的模型; B—根据标志 μ_{min} 和 μ 圈定远景区的原则。相对于 A 的条件值: 1— $\mu(i, j) < \mu_{min}$ 范围的等值线 (a), $\mu(i, j) \geq \mu_{min}$ 的等值线 (b), $\mu(i, j) = \mu(n)$; 2—潜在的“点” (特别是矿床); 相对于 B 的条件值: 3—根据标准 (圈内的数字) $\mu_{min} = 0.88$ 或 $\mu = 0.88$ 值的范围; 4— μ_{min} 或 μ 的一般范围, 两个标准 (a)、三个 (b)、四个 (c)、五个 (d) 标准。

图 7 为北哈萨克斯坦 1200 平方公里面积 (按 3×2 公里测网 2560 个测点) 的计算结果。根据以前的地质资料, 远景区位于图面上矿体 5—4—2—线上, 根据物探结果又查明了中部和东南部新的金矿远景区, 然而这里曾被认为是无矿地区。

(四) 资料的统计整理与解释

在详查中综合方法的应用效果取决于多种因素，应寻求最合理的方法组合，并非方法愈多愈好。由于各种方法所提供的信息的作用不同，因此还需要考虑地质与经济效益，研究各种参数的信息度，然后作出合理的解释。

在列依斯克金矿利用专门编制的《信息度估算与识别》的程序，定量地估算了各种标志的信息度和方法的效能，并用图象识别方法进行了综合解释。作为一种定量的参数，采用所得到的信息量与完整地解决问题所必须的信息量的比值，称为效能系数 K_{Φ} 。

$$K_{\Phi} = \frac{I_{x \rightarrow y}}{I_x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(X_i Y_j) \log \frac{P(X_i Y_j)}{P(X_i) \cdot P(Y_j)}}{\sum_{i=1}^n P(X_i) \log P(X_i)}$$

式中， $I_{x \rightarrow y}$ —在 y 系统中含 x 系统的信息； I_x — x 系统的全部信息； $P(X_i)$ — X 系统 i 状态的概率； $P(Y_j)$ — y 系统 j 状态的概率； $P(X_i Y_j)$ — x 系统 i 状态和 y 系统 j 状态同时存在的概率； n — x 系统状态的数量； m — y 系统状态的数量。

指数 K_{Φ} (效能系数) 的数值从零到 1 变化。当物理场的标志能够正确无误地把所有参加目标选择的样品都划分成有意义的地质类时，则等于 1，当标志不具有这些地质类别的任何信息时，则等于零。

考虑到矿化属于粉砂岩和页岩的碳质硫化物组合， X 系统的状态 (地质目标) 的数值应为 2 ($n=2$)，即选取在给定的深度范围内对炭质硫化物岩石成矿有利的地区和缺失这些岩石的地区。作为 y 系统应是给定的一些方法：过渡场法、自然电场法、激发极化法、偶极剖面法或中间梯度法。 y 系统的状态数等于 4 ($m=4$ ，如下表 2)。

表 2

标 志	m_1	m_2	m_3	m_4
视电阻率 (偶极剖面法) (欧姆·米)	0—500	500—1000	1000—2000	>2000
视电阻率 (中间梯度法) (欧姆·米)	0—100	100—500	500—2000	>2000
自然电位 (自然电场法) (毫伏)		— (150—300)	— (300—500)	>500
视极化率 (激发极化法) (%)	0—10	10—20	20—30	>30
过渡过程 (过渡过程法)				
(微伏/安) $\tau = 1.5$ 毫秒	0—300	300—1000	1000—3000	>3000
$\tau = 3$ 毫秒	0—50	50—100	100—150	>150