黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之二十二

与金矿有关的地球物理找矿方法

YU JINKUANG YOUGUAN DE DIQIUWULI ZHAOKUANG FANGFA

中国人民武装警察部队黄金地质研究所

2010 年 8 月

黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之二十二

与金矿有关的地球物理找矿方法

YU JINKUANG YOUGUAN DE DIQIUWULI ZHAOKUANG FANGFA

课题组成员：李杰美　王美娟　朝银银　张　岱　马　潇

黄金地质研究所
信息室 提供

目　　次

概　述
物探方法
地面物探……(1)
航空物探……(5)
海洋物探……(6)
地下物探……(8)
金矿床的地球物理性质 ……(12)
金矿区物性参数的应用 ……(16)
寻找金矿的综合物探方法 ……(18)
地球物理方法在金矿地质工作中的效能
重力勘探在金矿地质工作中的效能 ……(23)
磁法勘探在金矿地质工作中的效能 ……(25)
电法勘探在金矿地质工作中的效能 ……(27)
地震勘探在金矿地质工作中的效能 ……(31)
核物探方法在金矿地质工作中的效能 ……(31)
应用实例
国　内
黑龙江团结沟金矿电法找矿效果 ……(33)
内蒙古红花沟金矿电法找矿效果 ……(35)
浙江璜山金矿电法工作结果 ……(37)
在胶东地区运用激发极化法寻找金矿的 2 个实例 ……(40)
充电法在河南围山城金-银矿床的应用效果 ……(42)
河北金厂峪金矿 ……(44)
吉林夹皮沟金矿 ……(44)
浙江治岭头金矿 ……(45)
安徽马山金矿 ……(46)
山东新城金矿 ……(46)
山东河东金矿 ……(47)
湖北鸡冠嘴铜-金矿 ……(47)
湖北鸡笼山铜-金矿 ……(48)
湖北蛇屋山金矿 ……(49)
湖南万古金矿 ……(50)
湖南沃溪金矿 ……(50)
陕西庞家河金矿 ……(51)
云南金厂金矿 ……(52)
青海金龙沟金矿 ……(53)
γ能谱测量在冀东花岗岩-绿岩型金矿预测中的应用效果 ……(53)
地面 γ能谱测量在河北东坪金矿区的应用 ……(54)
冀北小比例尺车载 γ能谱方法找金的试验研究实例 ……(55)
航空 γ能谱测量在安徽六安地区金矿预测中的研究应用实例 ……(57)
对含金硫化物矿田进行填图的经验 ……(61)

黄金地质研究所
信息室 提供

EH4 测量在河北峪耳崖金矿的应用 …… (62)
高密度电法在内蒙古巴彦温多尔金矿区的应用 …… (65)
国　外
前苏联巴列伊金矿田地球物理找矿模型 …… (66)
苏格兰盖尔洛赫金矿区地球物理找矿模型 …… (69)
美国拜哲山砂金矿区的物探工作 …… (71)
美国黑尔金矿利用物探方法进行地质填图的效果 …… (72)
日本菱刈金矿床物探方法应用的地质效果 …… (74)
核物探在寻找前苏联鄂霍茨克—楚科特火山带中金矿床的应用效果 …… (77)
美国福蒂蒂尤德金-银矿床 …… (79)
澳大利亚基兹顿金矿床 …… (81)
澳大利亚维克多—迪法恩斯金矿田 …… (83)
澳大利亚水罐山金矿床 …… (84)
澳大利亚斯卡德尔斯金矿田 …… (86)
澳大利亚阿布拉铅-银-铜-金矿床 …… (90)
模型与模式
物探方法寻找内生金矿床的总体模式 …… (92)
胶西北破碎蚀变岩型金矿床高精度磁测找矿模型 …… (93)
华北地块北缘台区中生代中酸性重熔岩浆热液金矿成矿亚系列综合信息找矿模型 …… (94)
华北地块北缘台区中生代中酸性同熔岩浆热液 Au-Cu 矿成矿亚系列综合信息找矿模型 …… (95)
华北地块北缘台区中生代酸性火山-次火山热液 Au，Ag 成矿亚系列综合信息找矿模型 …… (95)
华北地块北缘槽区古生代中酸性岩浆热液 Au-Cu 成矿亚系列综合信息找矿模型 …… (96)
华北地块北缘热液型金矿床综合信息找矿模型 …… (96)
华北地块北缘火山岩型金矿床综合信息找矿模型 …… (97)
华北地块北缘浊积岩型金矿床综合信息找矿模型 …… (97)
附　录
我国曾用和在用物探方法 …… (98)
国产野外用物探仪器 …… (103)
地球物理勘查名词术语 …… (123)
物探化探找金成果总汇 …… (136)
有关文献 …… (138)

黄金地质研究所
信息室 提供

与金矿有关的地球物理找矿方法

二〇一〇年

武警黄金地质研究所

黄金地质研究所
信息室 提供

地面物探

地面物探方法是指野外数据采集仪器，或者更精确些说是信息接收传感器，位于地面或地面附近（如地面支架、建筑物、浅坑或极浅井内）的各种物探方法。

1 磁 法

磁法是以目标物磁性（磁化率和剩余磁化强度）特征为基础，通过观测研究有关恒稳磁场（静磁场）空间分布获取探测目标有用信息的一类物探方法。它是诞生最早、应用范围最广的一类物探方法。

我国地面磁测工作始于 1939 年。我国第一个正式地面重磁队伍始建于 1945 年。

我国地面磁法应用的最主要领域是金属矿产勘查。它是我国找寻磁性铁矿最主要和最有效的方法。据统计，我国 80% 以上的磁性铁矿是通过磁法提供线索发现或扩大的，而磁性铁矿的储量占我国铁矿总储量的 86% 以上。

有色金属矿产也是我国磁法应用最早、成效显著的领域之一，特别是夕卡岩型铜矿和硫化铜-镍矿床的找矿勘探方面。前者如安徽铜陵、湖北铜录山等，后者如吉林红旗岭、甘肃白家嘴子、新疆喀拉通克等，磁法都在其找矿过程中起了关键作用。

实际上，由于岩石、矿石磁性通常存在或多或少的差异，而地面磁法又简便易行，所以在我国多数金属矿产的物探工作中，大都把地面磁法作为直接找矿或间接找矿综合物探方法中的一种，特别是在磁测精度提高之后。

地面磁测曾是我国油气田上最早用于构造研究的方法之一，也曾较广泛用于煤盆地范围，构造及其中火山岩、岩浆岩分布情况的研究。

地面磁法在我国还广泛用于其他许多非矿产勘查领域。如找寻现代地下掩埋磁性物体及地下古文化遗存（古墓、古窑、古城墙等）等。

磁法应用的发展主要以磁测数据采集技术和处理反演技术的进步为基础。和国外一样，我国地面磁测数据采集经历了一个由机械式磁力仪到电子磁力仪，由低精度到高精度的过程；处理反演经历了一个由初级手工到高级计算机化的过程。

磁法是采集参数种类和数据采集工作方式变化最少的方法大类之一。地面磁测迄今仍以按路线、剖面或面积测网逐点测定磁场强度或其分量的相对增量值为最主要的工作方式。直流大定源人工磁化法是惟一的主动源法。

2 重力法

重力法是在我国应用最早的物探方法。我国的重力勘查始于 1936 年。它通过研究地球外部或近地表重力场研究地球内部物质结构。由于地下不同岩层、岩体、储层、矿体间存在密度差异的现象很普遍，因此，重力法适用于广泛的地质勘查领域及其他某些非地质勘查领域。

在石油勘查方面，1954 年以来，主要开展 1∶10 万—1∶20 万、部分地区 1∶50 万—1∶100 万的大面积普查，圈定沉积盆地，划分构造单元，了解基底起伏和盖层构造等，20 世纪 50 年代末我国石油重力达到了最大规模。

在金属、非金属矿产勘查方面，我国投入重力工作最多的矿种是铬铁矿。1959 年，在甘肃白银厂多金属矿床进行了用重力仪直接找矿的试验，获得明显的矿致异常。此后，我国在许多铁、铜、多金属、铜-镍、锡等金属矿及一些岩盐、钾盐、石膏等非金属矿开展了重力工作，取得了一些重要直接找矿效果，更多地是在提供找矿有利构造和部位等间接找矿方面发挥了重要作用。

我国最大规模的重力工作是在基础性的区域重力调查方面。

重力法与磁法一样，是各大类物探方法中亚类最少的方法之一。地面重力迄今仍以手持重力仪沿路线、剖面或测网逐点观测重力值相对变化的工作方式为主。其技术进步主要在于数据采集精度及处理反演水平的提高。

我国物探工作者在重力法的数据采集方面达到了较高水平。1）重力基点网的建立，我国自开展区域重力调查以来，已在全国与“85 国家基本网”联测建立了包括 419 个基点的Ⅰ级基点网，保证了全国区域重力观测结果同一水平并和国际重力标准网接轨，并保证了我国区域重力测点数据达到高于 $\pm 0.3\times10^{-5}\sim0.5\times10^{-5}\ m/s^2$ 的精度。2）重力仪格值标定场的建立，1985—1986 年，我国在全国

黄金地质研究所
信息室 提供

建立了 8 个国家级重力仪格值标定场合 3 条长基线场，并在 20 个省（区）建立了省级重力仪格值标定场，从而保证了全国数百台重力仪观测结果尺度上的统一。3）重力观测值的外部改正，早在 1978—1981 年，我国一些物探工作者就明确指出，和大地测量工作中通过各项外部改正把重力观测结果归化到大地水准面上的概念不同，在重力勘查工作中各测点观测值经过各项外部改正所得结果应仍为原测点点位（高度）处的数值，这一认识早于国外的共识。4）测地工作，大比例尺地形图、航摄照片、红外测距仪、精密气压计测高等技术的应用，减轻了测地工作。

3 电 法

电法是以地下介质电学（包括电磁学）特性为基础，通过采集和研究欲探测目标所产生的或它所影响的电场（包括电磁场）的空间分布和时间变化数据，获取探测目标有用信息的一大类物探方法。

目前，作为电法基础的介质电学特性主要包括电性（电阻率）、介电性（电容率）、电化学活动性（自然极化、激发极化、接触极化）、导磁性、介质的压电效应、震电效应、核磁共振效应和变形破裂电磁辐射效应等。

由于可利用介质电学特性的多样性，电场形态及参数的多样性，激发和采集技术方式的多样性，以及适用领域和环境的多样性，电法已成为各大类物探方法中种类最多的一种方法。仅就地面电法而言，在我国曾经和正在使用的电法就有三十余种，还可分出更多亚种。

国际上电法应用于地质勘查始于 20 世纪初期。到 20 年代，已初步形成了某些早期电法（如自然电场法、电阻率法、大地电流法等）的理论基础和实施方案。

我国对电法的应用主要表现在 1）水文及工程地质勘查方面，主要使用电阻率法和激发极化法，部分使用自然电场法和充电法。近 20 年，一些电磁法得到应用。电法有效地用于找寻和查明含水构造，间接或直接探查含水层和含水裂隙，区分咸淡水质，了解地下水流向流速及补给关系等。20 世纪 50—80 年代初期，电法是我国工程地质勘查中最主要的物探方法。2）金属及非金属矿产勘查领域中，电法也是主要物探方法之一。特别是在有色金属矿产勘查方面，电法是最主要的物探方法。我国在这一领域的电法工作首先是用于直接勘查宏观良导性的矿体，初期使用的主要是自然电场法、电阻率法、充电法和等电位线法等。20 世纪 50 年代末开始激发极化法在我国推广应用。3）煤炭勘查方面，我国的煤田地质地球物理条件对电法的应用一般较有利，效果良好。

新中国成立之初，电法也曾经是我国油田勘查的主要方法之一。另外，电法在我国基础性区域及深部地球物理调查中也发挥着重要作用。初期主要是结合油气勘查开展电阻率法和大地电流法，20 世纪 70 年代初开始，大地电磁测深法在这一领域得到应用和发展。它是我国各条地学大断面及其他一些深部地球物理剖面不可缺少的方法之一。

电法特别是地面电法，种类繁多，不同种类电法，其仪器和数据采集、处理、反演解释技术常有不同程度的差异。

1）传导类电法

传导类电法是以利用地中传导性电流为主的一大类电法，其一次场源既有被动也有主动的，以后者居多。

被动源传导类电法中目前惟一获得实际应用的就是自然电场法。自然电场法是世界也是我国应用历史最早的一种电法，在我国首先并且主要用于找矿。

我国使用的主动源传导类电法主要是电阻率法、激发极化法和充电法。

电阻率法通常包括电测深法、电测剖面法和中间梯度剖面法，它们又包含了若干不同电极装置形式的亚种。其中使用最多的是对称四极电测深法和联合电测剖面法，前者主要用于沉积地层和构造等的探测，后者主要用于基岩地区良导电性矿体和含水构造等的探测。

激发极化法是在我国应用领域最广，工作规模最大，效果很好的一种电法方法。在我国，激发极化法首先并广泛地用于固体矿产勘查，而把激发极化法广泛应用于地下水勘查是我国物探工作的一个特色。在油田，激发极化法的应用同样取得了不同程度的成效。

充电法也是在我国获得较广泛应用的传导类电法之一。它可作为在有天然或人工导电性矿体露头条件下一种直接追索矿体的方法。20 世纪 80 年代以来，充电法又在我国地下管线探测中起了重要作用。充电法的另一重要应用领域是地下流体动态勘查。

另外，电位差比法、等电位线法、流场拟合法等也是重要的电法方法。

黄金地质研究所
信息室 提供

2）感应类电法

感应类电法是以利用地中涡旋感应电流及有关电磁场为主的一大类电法方法。

地面被动源感应类电法在我国获得应用的主要有大地电磁法、地磁差分法、甚低频法、音频地电流法及尚有分歧看法的大地电场岩性测深法。

大地电磁法于1957年由前苏联和匈牙利引进，主要用于油气构造勘查，并一度成为我国油气领域较大深度基底构造探测的主要手段。近年国外在大地电磁测深基础上发展起来的电磁阵列剖面法，于20世纪90年代初开始在我国应用，并在天然地震研究及矿产勘查中取得成效。

地磁差分法通过观测与磁暴、亚磁暴等地磁扰动有关的大地感应磁场沿剖面的变化，研究地壳电性的横向变化。

20世纪70年代中期，我国引进了地面甚低频法技术，它需要以国外某些大功率长波导航台所发射的甚低频电磁场为一次场源，在我国曾较广泛地用于地质及构造填图、金属矿产及地下水勘查、地质灾害调查及考古调查等，近年，这一方法已随着国际上长波导航台的淘汰而自然终结。

天然音频电场法仅用接地电极测量地下电场水平分量，在我国许多地区浅部水文、工程地质勘查中得到广泛应用，也曾用于某些固体矿产勘查工作。

大地电场岩性测深法是在20世纪80年代美国GI公司的“岩性探测”基础上开发的电法方法，这一被动源电法技术号称其具有可在上千米深度以可达米级的高空间分辨率检识煤、水、油的能力，曾一度引起我国物探界的广泛关注。但迄今为止多数研制者对其仪器的具体结构和关键技术仍实行保密，不形成商品供应，资料解释的个人经验成分很大，这一方法迄今未能在我国推广应用。

主动源类电磁法通常被分为频率域（连续波）和时间域（瞬变场）2类工作方式。

频率域电磁剖面法是我国应用最早的一种主动源感应类电法，是目前地下掩埋管线勘查的最主要方法。

频率域电磁测深法是我国得到较广泛应用的一种方法。在煤炭、油气、金属、非金属矿产及基础地质调查中有广泛应用。1996年以来引进的综合利用天然源（低频段）和人工源（高频段）的混合源频率域电磁法技术和仪器，在一些地区矿产和地下水勘查工作中应用取得较好效果。

时间域电磁法在20世纪80年代就成为我国在诸多应用领域解决不同深度勘查问题的重要手段之一。我国先期发展的主要是近区磁性源瞬变电磁法，这一方法在基础地质、矿产、水文工程等勘查领域解决中等深度问题任务中得到日益广泛的应用。

探地雷达是通过宽带高频电磁短脉冲在地下介质中的反射来了解地下情况，所采集数据主要是反射脉冲的走时和能量，故可认为是主动源时间域电磁法的一种。

3）其他电法

还有一些方法在我国开展过试验研究或初步应用，如核磁共振法、震电法、压电法、震源电磁辐射法等。

4 弹性波法

弹性波法是以地下介质或物体构件的力学特征为基础，通过由震源所产生弹性波在介质中的传播过程，或物体、构件对振动的动力响应，获取勘查目标有用信息的一大类物探方法。

目前，作为弹性波法物理基础的力学性质主要是密度和弹性常数，后者包括体积模型、切变模量、拉伸模量、拉梅常数、泊松比等。

弹性波法包括各种地震法和声波（包括声频和超声频波）及动力检测法。地震法广泛应用于各个勘查领域，是世界各国也是我国物探中工作规模最大、投入资金最多的一类方法。声波及动力检测法则主要应用于工程勘测领域。

国际上地震法应用于地质勘查始于20世纪初。20年代，开始了用地震法勘查石油的商业活动，此后，这一方法逐步成为油气勘查开发的最重要手段之一。地震也是我国煤炭勘查领域重要物探方法之一，在近20年中，它更成为该领域最重要的一种物探方法。地震法的另一重要应用领域是地壳上地幔构造（一般指地下10～100 km深度范围，有时达400 km）探测，通称为深部地震探测。地震法用于金属、非金属矿产勘查的历史也可追溯到20世纪30年代初。由于金属矿区地质地球物理条件一般比较复杂，加上经济效益因素制约，迄今为止我国在金属矿地震方面开展的工作和取得的成效都还十分有限。

地面地震方法技术按主要勘查深度范围可分为浅层地震、中层地震、深层地震；按所利用波的行程可分为折射地震、反射地震以及绕射、散射地震；按所利用波的性质可分为体波地震和面波地震

黄金地质研究所
信息室 提供

等。目前，数字磁带（或磁盘）记录技术的应用，使地震法取得了高速发展，数字地震仪器的数据采集能力，使高信噪比、高分辨率、高保真度、三维、四维、多波、多分量、浅层反射、深层反射等等采集技术得以实现，极大地提高了地震方法解决各种复杂问题的能力。

物探中的声波检测技术指的是检测声学中用于非金属固体介质的声学检测技术。它源于工业上的超声探伤，发展用于工程勘察领域对土石及砼建筑物或构件等对象进行质量和缺陷的检测。

5 核 法

核法是以地下介质核物理学或原子物理学特性为基础，通过采集探测目标所产生或所影响的核辐射有关数据，解决地质找矿或其他有关问题的一大类物探方法。核法也常被称为“放射性法”或“核物探法”。

作为核法基础的介质物性包括核蜕变性质、核子数（质量数）、质子数（原子序数）、俘获截面、康普顿吸收及散射系数，内层电子跃迁能量等。

作为核法采集对象的核辐射包括 α 辐射，β 辐射，γ 辐射及 n（中子）辐射。前三者可来源于天然核蜕变或人工核反应，后者只来源于人工核反应或宇宙射线的二次产物。

目前在实际勘查中应用的地面核法仅限于采集天然核辐射数据，主要是测量 γ 能谱和 α 辐射的一些方法。在绝大多数情况下，地面核法通过核辐射数据直接获得的是地表或近地表某些元素（天然反射性核素）赋存的信息。

核法首先用于找寻以铀矿为主的放射性元素矿产。1954 年，我国开始用放射性方法找寻铀矿。1955 年，在全国范围内大规模开展了航空和地面放射性普查找铀工作。

油气勘查也是核法应用较早的领域之一。在我国油气勘查中核法显示了良好的应用前景，但目前作用还比较有限，潜力还有待进一步拓展。

利用钾的天然放射性同位素 ^{40}K 找寻钾盐矿床是核法有效应用领域之一。地面 γ 能谱测量找寻与天然放射性元素伴生的出露或浅覆盖磷矿也有较好效果。

通过用地面 γ 测量和氡及其子体测量方法进行岩性填图，找寻断裂破碎带，发现和圈定蚀变带，以及用 X 射线荧光测量获得成矿元素或伴生元素赋存信息，近 20 年核法在我国各地区近 30 种金属非金属矿床的普查勘探和开发中发挥了不同程度的作用。特别值得提出的是，20 世纪 80 年代中期以来，我国物探工作者利用 γ 能谱测量发现和圈定有利于金元素活化、迁移和富集的富钾碱性地质环境及碱性蚀变带，利用 X 射线荧光测量发现和圈定与金矿伴生的一些亲铜元素，在其他一些物探方法效果不理想的金矿勘查工作中，发挥了重要作用。

核法也应用于地下水勘查领域，特别是我国物探工作者首创的静电 α 卡法和 α 杯法，简便易行，费用低廉，在找寻和圈定含水基岩断裂破碎带、岩溶及其他储水构造方面，应用广泛、效果良好。核法已成为我国勘查地下水（包括地下热水）的重要物探方法之一。

核法是放射性环境污染检测的主要手段。地面核法在我国城乡固体废弃物放射性检测及室内氡污染检测等方面获得有效应用。

20 世纪 80 年代后期以来，我国物探工作者在不同地区的煤田上用氡法圈定地下自燃或燃空区范围取得了良好效果。

6 热 法

热法是以地下介质热物理性质为基础，通过直接采集地下热场分布或其变化数据，获取探测目标有用信息的一大类物探方法。

作为热法物理基础的介质物性参数包括热导率、比热容、热扩散率、放热系数及生热率等。

温度是热场惟一可直接测定的参数。热法野外工作的基本内容，就是使用带有热传感器的仪器采集地下原位现时温度数据。因此，热法通常又被称为“地温法”。

热法在各大类物探方法中具体方法内容最少，应用范围最小，迄今为止实际用于勘查的热法只有浅层测温法。在我国浅层测温方法主要实际应用于地热资源和油气资源勘查。

由于不同地质构造环境地下热流存在的差异，不同土壤岩石热物理性质存在差异，某些正在进行的地质作用过程（如地下水的运动、硫化矿体的氧化）也有可能产生热异常，浅层测温方法应用于区域地质调查和其他某些矿产和水文地质勘查的潜力是存在的，这些方面的应用有待开拓。

黄金地质研究所
信息室 提供

航空物探

航空物探方法是指在野外数据采集过程中物探仪器（或者更精确些说是物探仪器的信息接收传感器）位于航空器或航空器悬挂吊舱中的各种物探方法。

迄今我国实际勘查应用的航空物探方法按大类分有磁法、核法和电法。重力法仅做过简单实验。

1 磁 法

1953 年，我国在内蒙古白云鄂博铁矿上首次进行了航空磁测实验，以后我国航空磁场工作获得快速发展。它是我国航空物探中起步最早，工作量最大，应用领域最广的一种方法。

和地面磁法一样，航空磁测可广泛应用于基础地质调查，矿产资源勘查，以及水文、工程、环境勘查等各个领域。航空磁测以其快速、低成本、通行性好、可大面积覆盖、可用于海域等优势而突显其重要性。

我国开展航空磁场首先是用于找寻磁性铁矿，它是我国铁矿勘查中最主要、最有效、取得成果最多的一种物探方法。航空磁测在直接或间接找寻其他各种金属矿产方面也成效卓著。除了直接找寻和磁性矿物伴生的各种铜、镍及其他有色金属矿产外，通过岩性及构造填图间接找寻弱磁性、非磁性矿产方面也有许多重大成果。航空磁测在我国的非金属固体矿产勘查工作中通过提供各种间接找矿信息也发挥了不同程度的作用，其中值得提及的是在辽宁、山东、湖南、江苏等地找寻与金刚石有关的金伯利岩管和钾镁煌斑岩体取得的良好效果。

航空磁测的另一应用领域是区域岩性和构造地质填图。我国这项工作 1956 年即已开始，首先在华北平原、松辽平原、塔里木盆地结合石油普查任务开展，以后逐步扩大工作，基本上覆盖了包括陆域和海域在内的我国全部领土。这些工作，为全国大地构造格架的研究，许多重要区域构造的发现，各种比例尺的区域地质调查，各类矿产的区域成矿远景预测，提供了极为重要的基础资料，提出了许多重要的新见解。

油气勘查也是我国航空磁测重要应用领域之一。20 世纪 50～70 年代，主要应用中小比例尺航空磁测资料发现和圈定盆地范围，了解基底性质和有关构造，预测可能的油气聚集带。20 世纪 80 年代中期以来，一些服务于油气勘查的中大比例尺高精度航空磁测和伽马能谱测量项目开展。高精度磁测资料在详细划分局部构造及断裂，查明有关火山岩、岩浆岩分布范围，发现和圈定与烃类运移有关的高频磁异常，以及根据航磁资料间接推算沉积盆地地温梯度和不同地质界面地温状况评价，盆地油气生成环境等方面进一步发挥了重要作用。

近 20 年，高精度航空磁测为许多大型工程项目设计及大中城市建设规划，提供了重要的基础地质资料，其中包括为核电及大型水电建设提供基础稳定性评价资料。在地下热水远景预测方面，也发挥了重要作用。

航空磁测是取得海域磁场数据的主要方法之一。从 1958 年 10 月及 1959 年 2 月分别在福建沿岸及渤海海域开展 1∶100 万航空磁场开始，迄 1995 年，航空磁场工作已覆盖了我国全部领海及其某些邻近海域。局部最大比例尺 1∶5 万。

2 核 法

在过去较长时期中，航空物探的核法主要是测量地面某些天然放射性核素的伽马辐射强度。近年，这一方法也用于人工放射性核素的监测，但仍限于采集有关伽马辐射强度数据。因此，航空核法通常被称为航空放射性测量或航空伽马测量方法。

放射性测量首先并且主要应用于找寻铀矿。初期，我国铀矿领域航空物探的工作任务主要是通过伽马辐射异常高点直接找，随着工作面积的扩大，观测精度的提高，特别是 20 世纪 70 年代初开始了航空伽马能谱测量，我国物探工作者及时加强了区域伽马场的研究，采用了由点到面的分析方法，总结出铀矿床分布和伽马辐射高照射量率带的相关规律，开展了铀矿成矿地质环境评价及远景预测工作。

20 世纪 80 年代，核工业和地矿部门都把航空放射性测量扩展用于非铀矿产勘查领域。利用航空伽马能谱测量检测钾的天然放射性同位素^{40}K 的特征伽马辐射，在新疆、青海等地发现了有重要工业价值的现代盐湖型钾矿床，在内蒙古、河北等地发现了多处钾含量高值区。近年，在普查和放射性元

黄金地质研究所
信息室 提供

素相关的磷矿方面，航空伽马能谱测量也取得了显著效果。

航空放射性测量可以通过给出地面岩石土壤放射性核素分布，提供岩性、构造等地质资料。20 世纪 80 年代后期，我国有关部分积极开展了利用航空伽马能谱测量资料所获岩性、构造、蚀变信息间接找寻或预测多种金属非金属矿产的工作。在金、银、铜-钼、铅-锌、稀土及煤等矿产勘查方面发挥了不同程度的作用。

1985 年开始，我国在东北、华北、西北许多油气区开展了较大量航空伽马能谱测量工作，为这些地区油气评价提供了有重要价值的资料。1988 年以来，我国开展了用航空伽马能谱测量进行环境调查监测的工作。

我国在利用航空伽马辐射场特征划分地表土壤性质及地貌类型，为分析地下水活动规律和圈定找水有利区域提供依据方面也取得了成效。

3 电 法

在空中移动采集数据的基本特点，决定了航空物探中的电法只能是感应类的。所以人们常把它称为“航空电磁法”。和地面电法类似，航空电法的具体工作方法和仪器也有时间域和频率域 2 种类别，后者又包括主动源类和被动源类方法。

20 世纪 50 年代初，航空电法在国外投入实际应用，并获得持续发展，我国对航空电法的研究始于 1959 年，由于种种原因，当时航空电法并未引进应用国外仪器和技术，而是完全白手起家，直到 20 世纪 70 年代末开始引进少量国外先进水平的仪器设备，但继续发展也并不顺利不理想。

国外的航空电法，首先是在加拿大和瑞典等国快速普查以块状硫化物金属矿为主的良导电性矿床获得巨大成就的基础上发展起来的。我国航空电磁发展的前 20 年历史中，也是以直接发现浅埋大型良导电性有色金属矿体为主要目标，但迄今并未取得任何重大成果。20 世纪 80 年代以来，我国把注意力转向应用航空电法进行地质填图、间接找矿和水文地质调查领域。

1985 年以来，在河北南宫、辽宁大连、江苏连云港、山东黄河口，甘肃疏勒河等地，应用频率域航空电磁测量系统在找寻浅成淡水、区分咸淡水分布范围、查明含水古河道分布及地下水补给关系、圈定沿海地区海水入侵范围方面，取得了良好效果。

20 世纪 80 年代以来，通过岩性及构造地质填图发现和圈定含金矿化破碎蚀变带，航空电法在山东、河北、湖北、新疆等地区指导地面找寻蚀变岩型和石英脉型金矿，发挥了重要作用。

与其他航空物探方法综合应用，在半覆盖区的岩性及构造地质填图、煤田普查工作、钾盐矿床寻找等方面都作出了贡献。

4 重力法

飞机运动严重影响其所装载重力仪器的观测结果，这种影响远大于地下地质体所产生的重力异常。一些发达国家在发展航空重力技术方面已做了长期努力，但在较长一段时间里进展缓慢。20 世纪 80 年代以来，航空重力的观测精度提高，具有半波长为 1 km 的分辨率，可用于小比例尺地质构造及含油气盆地的快速调查，但尚不能用于固体矿产勘查。

由于物探技术及相关航空技术条件的限制，我国的区域性重力电磁完全依靠地面重力工作进行，迄今我国把航空重力方法用于地质勘查的工作尚未起步。我国实际涉足航空重力方法的是测绘研究部门。预计在短期内我国地质勘查领域重力技术将还是空白。

海洋物探

海洋物探方法，是指在野外数据采集过程中，物探仪器的信息传感器位于海面、海底或二者之间任何深度海水中的各种物体方法。

迄今为止，我国实际应用于勘查任务的海洋物探方法主要是弹性波法，其次是重力法和磁法。电法和核法仅作过少量试验研究。热法则仅限于海底热流测量。

1 弹性波法

海洋弹性波法是六大类物探方法之一的弹性波法在海洋条件下的实施，其原理及物性基础和地面弹性波法并无不同，仅在具体技术内容上有其特点。迄今为止海洋弹性波法应用的都是弹性体波，主要是反射波和折射波，尚未见到海洋面波勘查方

黄金地质研究所
信息室 提供

法的有关报道。

海上弹性波法是在20世纪初诞生的。在我国，有关部门联合于1958年在渤海近岸进行了首次海上地震方法试验。在我国海洋油气地震工作中，反射波地震是主要方法。

海洋弹性波法另一重要应用领域是海洋基础地质综合调查。这项工作许多是属于专门综合调查项目，其工作范围从陆架到公海大洋，勘查深度从海底到莫霍面。

在金属、非金属矿产勘查领域，我国海洋弹性波法在深海富锰多金属结核，富钴结壳以及浅海砂矿勘查中也发挥了重要作用。1983年开始，我国在锡、稀土、金等浅海砂矿工作中使用了海洋弹性波法，其中包括浅反射地震、浅地层剖面、声纳浮标、侧扫声纳等。这些方法成果提供了测区内海底地形地貌、第四系层厚、基岩形态性质及断裂构造等资料，为找矿作出了重要贡献。

海洋工程地质调查也是海上弹性波方法重要应用领域之一。20世纪70年代以来，我国物探工作者参与了多项海港建设工程、海上钻井平台工程、海底管道工程、海底电缆工程的勘查工作，提供了海底地形地貌，第四系沉积厚度及性质，基岩起伏及性质等关键性资料。使用的方法有回声测深、侧扫声纳、浅地层剖面、单道和多道地震等，并装备了专用的海洋工程物探调查船。

海洋岩石圈结构研究是全球和区域构造研究的重要组成部分，海洋深部地震勘查是海洋岩石圈结构调查的最主要手段。

2 重力法

重力法是海洋物探重要方法之一。在近年航空及航天重力技术取得重大进展之前，海上重力长期以来是取得海域重力勘查数据的惟一手段。无论近海或远洋的地球物理调查，重力测量是常有的工作内容。

目前海上重力测量数据主要用于海域区域地质调查和油气勘查，提供有关地质构造信息。在我国海域工作比例尺主要为1∶20万—1∶100万，最大工作比例尺1∶5万。

海洋重力数据采集可分为定点测量和走航连续测量2种工作方式。前者只适用于近岸和浅海。

1961年，我国在渤海近岸完成了第一条海底重力剖面，全长21 km。1964，1965年地质和石油部门在渤海水深小于5 km的浅水水域用陆地重力仪置于露出水面的三角支架上人工读数的方式开始了我国海面定点重力数据采集工作。同期，中国科学院和石油部门在渤海海域也开始了海底定点重力数据采集试验工作，使用了带船上遥测装置的海底重力仪。此后直到20世纪70年代，我国用这2种定点观测方式在渤海、黄海、东海、南海各海域完成了大量重力工作。

1970年，在南海海域进行了实验生产性重力剖面勘查，我国海面走航连续采集方式的重力方式由此起步。

总体来说，我国海洋重力起步不晚，在陆上重力技术发展优势基础上，我国海洋重力数据处理和资料解释水平和国外相比并不落后。

3 磁 法

海洋磁测也是取得海域磁场数据的重要方法之一。它以船尾拖曳探头走航连续采集为主要工作方式，并通常和重力、地震、测深等物探方法同船同步作业综合采集数据。相对于航空磁测，它的主要优点是更便于和同点同剖面其他方法资料综合解释，其观测面也更接近于磁异常场源。

1968年，我国“燎原一号”船使用加拿大AM—101A型质子磁力仪在南黄海地区完成的一条500 km剖面是我国海洋磁测的起步。在我国大洋调查的各个航次中，磁法也是常用的方法。

我国海洋磁测主要用于海域油气勘查和区域地质调查中的构造研究。在部分滨海砂矿勘查、海洋工程勘查及某些海底沉埋磁性物体构件探查中，也是重要方法之一。

影响海上磁测精度的主要因素是导航定位精度、船磁影响和磁日变影响。早期借助八方位测量引入测线方位校正，近年采用了全球定位技术，可使船只运动航迹和记录点位精度优于±10 m，满足各种比例尺海上磁测的需要。为了消除地磁日变和海岸效应的影响，在近海工作中使用了在测区陆岸及岛屿上设置地磁日变站的方法，在远海及大洋工作中使用了海洋磁力梯度仪。

4 电 法

海洋电法发展相对陆上电法相当迟缓，直到20世纪60年代末，一些发达国家才开始了海洋电法的理论、技术及应用研究。近20年，这方面的工作加快了步伐。理论研究改变了人们以往认为在

黄金地质研究所
信息室 提供

良导电性海水覆盖条件下不利于电法应用的传统观念，通过国际合作实施了岩石圈和软流圈电磁研究、洋中脊电磁研究、地幔电磁层析成像研究等多个科学研究项目，在理论、方法技术、应用等方面取得一些有意义成果。这些项目目标包括深海地质结构研究和海洋矿产勘查，但主要还是前者。涉及的方法有自然电场、直流电阻率、激发极化、磁电阻率及大地电磁测深等方法，目前进展较大的是海洋大地电磁测深。到目前为止，全球工作相当有限，都属于实验研究性质，没有商品化仪器问世，也没有商业性勘查项目。

我国在 20 世纪 50 年代末就开始了内陆水域的直流电法工作，20 世纪 90 年代后期，我国 863 计划海洋技术领域有关项目中列入了“海底大地电磁探测技术”专题。同济大学研制出海洋用大功率瞬变电磁系统及有关处理反演软件，中南大学初步研制出采用多频伪随机场源能以水下拖曳方式进行连续激发极化法或主动源音频电磁法数据采集的海洋音频电磁仪。这些成功表明，近年我国在海洋电法方面加快了研究发展步伐，并已初步取得可喜成果。

5 核 法

在海水覆盖条件下，核法的应用比较局限。20 世纪 60 年代以来，国外在把核法用于海底矿产勘查方面做过少量工作。如原苏联和英国研制和试验了可拖曳连续测量的伽马总量及伽马能谱仪器及技术，美国和德国研制和试验了海底原位中子活化分析及 X 射线荧光分析仪器及技术。勘查目标有油气、多金属结核、磷块岩等。这些工作都还停留在试验阶段。

20 世纪 90 年代后期，在国家 863 计划海洋技术领域有关项目青年基金等支持下，我国物探工作者研制了海底 X 射线荧光探测系统。它使用了镅-241 和钚-238 核素激发源，高分辨率电致冷硅-正本负半导体探测器和 2048 道脉冲幅度分析器及其他新技术。可在水深 0～1 000 m 范围内以 10×10^{-6}～200×10^{-6} 的检出限和 2% ～10% 的精度，原位一次同时测定海底沉积物中原子序数 44～95 间 5 种乃至 10 余种元素的含量。它是我国在海洋核法技术发展方面迈出的可喜一步。

6 热 法

在海域用于地质调查和矿产勘查的物探方法中，热法迄今为止还局限于海底热流测量。海底热流数据是全球热流数据的重要组成部分。

热流数据除用于地球热状态、热历史和地球动力学等基础研究外，也被用于大地构造研究和油气资源远景评价预测。

海底地热数据目前主要有海底热流探针测量和海底钻井资料换算 2 种采集方式。我国海底热流测量起步较晚。1980 年我国地质部门和美国哥伦比亚大学南海联合调查项目在南海北部用海底热流探针测制一条海底热流剖面应是我国海洋热法的起步。

与国际发展相比，我国海底热流数据明显偏少，而且大多集中在南海，其他海域很少。目前我国南海共有热流数据 548 个，其中海底热流探针数据占 43% 。

虽然海底热流探针制造技术并不复杂，但迄今为止尚没有我国自己的产品。

地下物探

地下物探是指在野外数据采集过程中，物探仪器的接收传感器位于地下空间内的各种物探方法。这里所称的“地下空间”，通常是钻井或坑道（包括天然洞穴）。不言而喻，它不包括地面物探工作中用于埋置传感器的地表浅孔或浅坑。

钻井和坑道空间条件不同，使有关物探工作在技术上和应用上有各自的特点。通常依此把地下物探方法进一步划分为 3 类，即测井、井中物探和坑道物探，前二者属于接收传感器置于钻井中的情况，后者则属于接收传感器置于坑道中的情况。

1 测 井

测井是指把接收传感器下到钻井中采集有关物理量数据，从而获得井壁附近某些介质（包括固相、液相、气相或多相混合介质）性质、状态或井身某些工程状况的一大类物探方法。它有时被称为“地球物理测井”或“矿场地球物理”。

黄金地质研究所
信息室 提供

这里所称“井壁附近”，通常指在垂直于井轴方向（径向）上自井轴向外数厘米或数米，在沿井轴方向上自井口至井底的空间范围。这也就是通常意义上的测井方法探测空间范围。近年我国有的测井专著中列入了一些有更大探测空间范围的物探方法，如井中磁力、井中重力、垂直地震剖面等，把之归入后述的“井中物探”方法。

油气测井 在石油天然气勘查开发过程中，测井占有特殊重要地位。在其各个工作阶段的各类钻井中，测井工作都必不可少。测井在地层识别对比和储层评价，储层动态及开发效果监测，井身状况及其变化监测，进而指导钻进及油气开发，促进油气储量及产量增长等方面，起着关键性的不可替代的作用。对一口油气钻井而言，测井的应用一直要持续到井的报废。

我国的测井工作起步于 1939 年翁文波在四川巴县石油沟的电测井试验。20 世纪 50 年代中期以前，我国主要使用简单的电测井方法，仅能提供简单的地层识别对比信息。50 年代中期至 70 年代中期，电、声、核、磁、热、力等各类多种常规测井方法较快获得应用，基本上形成了饱和度和孔隙度两大测井系列。根据测井资料估算地层孔隙度、渗透率和含油气饱和度定性评价油气储层工作广泛开展。70 年代中期以后，随着我国测井数据采集和处理解释的数字化和计算机化，测井方法的进一步系列化、标准化和综合化，测井工作提供的地层、储层参数及其他有用信息项目增多，精度和分辨率提高。20 世纪 80 年代中期以来，我国已初步形成了比较配套的砂岩油气藏和非砂岩油气藏测井系列。在继续提高单井评价水平和能力的同时，开展了多井或矿区、盆地油气分析描述技术和应用。

在发展完井测井技术和应用的同时，20 世纪 60 年代初我国第一个采用注水开发的大庆油田率先开始了生产测井工作，使用放射性示踪及涡轮流量测量等技术开展了注入剖面和产出剖面测井。此后生产测井进一步发展了流量测井、持率测井、压力测井、饱和度测井及工程测井等方法技术，在油、气、水动态分析中发挥了重要作用。

我国物探工作者发展了水驱油田特别是高含水期油田开发测井技术，形成了有自己特色的水驱油田测井系列。近期在用三饱和度（原始油、剩余油和残余油饱和度）确定水淹层含水率，划分水淹层级别及水驱采收率等方面取得新进展。我国测井解释水淹层符合率达 80% 以上，居世界领先水平。

我国于 20 世纪 70 年代开始发展油气田的工程测井（套管技术状况测井）工作，逐步形成了自己的油气田工程测井技术系列。

1965 年，在四川打出了我国第一口水平钻井，并首次进行了水平测井作业。采用泵冲法推动探管下行，成功取得了自然伽马、中子伽马、井斜及方位数据。20 世纪 90 年代初我国自行研制了湿接头钻杆输送电缆测井系统，近年又研制生产了有较完备方法组合的大斜度井和水平数控测井系统以及相应的处理解释软件。

我国海洋石油测井工作起始于 20 世纪 90 年代，初期使用陆地测井装备进行海上作业。此后，我国海洋石油测井单位通过和阿特拉斯等外国测井公司成立合资公司或建立契约性合作关系，加快了技术和管理水平提高进程，并成为对外窗口，把许多先进的海洋测井技术转移到陆地上来，促进了我国陆上测井技术的发展。

煤矿测井 煤炭勘查也是测井技术重要应用领域之一。测井被广泛用于钻孔地质剖面的划分和对比，查明煤层并确定其深度、厚度、结构和品质，提供岩层煤层的机械力学参数评价顶底板稳定性，确定含水层位置及补给关系，了解地温数据及井身技术状况等，是煤田勘查、储量计算，开发工程设计不可缺少的手段。我国有关法规规范要求在煤田地质勘查中每个钻孔都须按设计要求做测井工作。

1954 年，进行了电测井试验和应用，迈出了我国煤田测井的第一步。1957 年试验并于 1958 年推广了核测井方法。20 世纪六七十年代，多种电、核、声、热测井方法在煤田测井工作中获得应用和发展。80 年代初开始使用了数字测井技术。

铀矿测井 铀矿肉眼不易识别但具有明显天然放射性，测井技术特别是核测井技术在铀矿勘查中占有重要地位。

1955 年，我国开始在铀矿普查勘探钻井中用自然伽马测井原位检测矿层并确定其深度厚度。20 世纪 70 年代开始使用自然伽马能谱测井，70 年代中期开始把缓发中子（延迟裂变中子）测井技术用来在铀-镭放射平衡破坏情况下原位测定矿层铀含量。我国物探工作者在测井曲线处理解释方面的研究成果提高了描述铀矿层厚度、含量变化和区分非矿夹层的准确性和精确度。这些进展使我国得以更加有效地把测井资料用于铀矿储量计算。20 世纪 80 年代，我国铀矿测井由以评价铀矿层为主向综合评价钻井地质剖面研究成矿地质环境方向扩展；90 年代可地浸砂岩型铀矿被作为我国找铀主攻方向，岩性成为评价找矿意义的重要指标。这些因素

黄金地质研究所
信息室 提供

促使我国铀矿测井由以往使用少数核测井方法点测数据采集为主向使用电、核、声等多种测井方法进行数字、数控采集方面发展。

水文及工程测井 在各类水文钻井中测井被用来查明和划分含水层隔水层，确定含水层性质和水力联系，估算地层涌水量或吸水量，划分咸淡水界面，评价水的矿化度，检查固井质量及止水效果，以及划分裂隙、岩溶发育带进行区域地层对比等。在各类工程钻井中测井被用来原位测定岩石土壤的各种力学参数，主要是密度及体积模量、切变模量、泊松比等弹性常数。

金属、非金属测井 由于大多数金属、非金属矿区钻孔岩心采取率较高且较完整，而其岩石矿石结构成分又常比较复杂，在许多情况下测井资料并不能取代或部分取代岩心测试分析，金属、非金属矿产领域的测井应用发展受到限制。只是在条件有利（地质情况简单，矿石某些物性特征明显，某些物性参数和矿石品位相关等）而又有特殊需要（如矿石破碎岩心采取率很低）的少数情况下，测井技术得以发挥不同程度的作用。主要是查明矿化、矿层或富矿段的位置及厚度，定性或定量评价矿层品位。有时也在为地面物探工作提供岩矿物性资料方面发挥作用。

我国在金属、非金属矿测井中使用过电、核、声、磁、热各类多种测井方法，其中包括在其他领域较少使用的电极电位、电池偶场、中子活化和 X 射线荧光等测井方法。

截至 1960 年底，已在全国各地 22 个矿种 40 余个类型矿床上进行了测井试验或应用，其中包括铁、铜、铅-锌、钼、铬、锰、锶、铝等金属矿产及磷、硼、硫、石墨等非金属矿产。此后一些年中，有在钾盐、萤石、膨润土、硅藻土、叶蜡石、地开石、石棉、方解石等非金属矿床上以及金矿上进行了试验或应用。1989 年有关会议资料表明，我国已有在磷、钙芒硝、萤石、石膏、铝土及金等矿种的勘查中把测井用于储量计算的案例。

基础地质调查应用 测井在我国基础地质调查中的应用不多，具有代表性的当属在江苏东海大陆科学钻探中的测井工作。1999 年在其已完成的预先导井中我国物探工作者使用数控测井系统进行了多种电、核、声、热方法测井及井斜、井径测量，取得了钻井剖面上各种岩石的多种原位物理参数，为岩性识别、层界划分、重建钻井岩性剖面提供了重要资料。

按物理学的科别把我国曾用和在用的测井方法分为电、核、声、磁、热、力、光 7 类，另外还有一些专门用途方法如井径测量、井斜测量、地层倾角测井、流量测井和流体识别测井等。

电测井（包括电磁测井）是出现最早，发展形成方法种类较多，在应用中始终处于重要地位的一类测井方法。

核测井法广泛应用于矿产及水文工程勘查，在铀、煤、油气勘查及开发中有特别重要作用。在套管井、干井、水平或大斜度井条件下更有其独特优势。

声测井是许多领域特别是油气、煤炭和工程勘查领域测井工作重要方法之一，广泛用于研究岩层及充隙流体性质，获得岩层孔隙度及各种弹性参数，了解溶洞、破碎带、冻结带以及固井水泥胶结状况等。

磁测井为用低频或直流电磁感应方法测定井壁岩层矿层磁性，检测套管油管接箍及其他境内磁性部件及状态（如腐蚀破损）的一些测井方法。其中磁化率测井（或称磁取样测井）主要在固体矿产勘查或基础地质调查中，用于检测和评价钻井剖面中的磁性岩层矿层，及为地磁异常反演解释提供物性参数。磁定位测井（或称“套管接箍测井”）和套管分析测井（或称“垂直测井”）方法主要用于油气田的生产测井。

测井中的热水方法就是温度测井（或称“井温测量”、“井温测井”）。它使用带有温度传感器的下井仪测量钻井内温度（通常是井液温度）及其沿井轴或井周的空间分布，是某些固体矿产建井设计或安全措施所需地下温度数据的重要来源，是基础地学研究中获得深部地温梯度并计算地热流值的主要手段。

测井中的力学方法即压力测井，它在油气生产测井中用于测定储层的原始压力及生产过程中的压力变化，作为制定调整开发方案的依据。

测井中的光学方法即井下可见光电视，常称为“井下电视”或“电视测井”。它广泛用于水文和工程勘查的清水钻孔和干孔中，以获得井壁岩层土层直观的黑白或彩色图像。

2 井中物探

井中物探或称钻井（钻孔）地球物理勘查，是指把接收传感器下到钻井中采集有关物理量数据，从而获得钻井周围某些待查隐伏目标有用信息的各种物探方法。

黄金地质研究所
信息室 提供

井中物探的勘查范围是钻井周围，钻井之间或钻井下方的较大空间。其具体范围决定于所用物探方法技术及探测目标状况，目前一般为井轴横向或井底垂直数十至数百米。

井中物探在我国首先用于金属矿产勘查。井中磁测、井中激发极化法和井中电磁波法在我国铜、铅-锌、镍、铬等矿产勘查中的应用有较快发展，他们在判断地面异常性质，找寻井旁井底隐伏矿体并推定其位置、延伸、边界、产状等方面发挥了特有的重要作用。

井中物探在我国的另一重要应用领域是油气勘查和开发。主要使用了井中弹性波法，其中包括垂直地震剖面法、井间地震法及声波法。

井中物探在我国煤炭勘查中也有较多应用。主要是使用井中电磁波法勘查煤矿区地下溶洞裂隙等构造，在解决矿区水文地质特别是井下水害防治问题上发挥了良好作用。

20 世纪八九十年代，井中物探在我国水文及工程勘查领域获得快速发展，其应用的广度已超过同期固体矿产勘查领域。使用方法主要是井中电磁波法和井中弹性波法。

在我国曾经使用的井中物探方法主要有磁法、电法、弹性波法和重力法。其中电法和弹性波法又有多种具体方法及单井、井-井、地-井等工作方式。

井中磁法在钻井中采集地磁异常数据，和地面及航空磁测目前主要测定标量总磁异常不同，迄今我国井中磁测主要是测定地磁异常单个或 3 个分量。

井中电法在我国起步于 20 世纪 60 年代中期。在此后发展了多种方法，其中获得广泛应用的是井中激发极化法和井中电磁波法。井中激发极化法于 20 世纪 60 年代末传入我国，在一些金属矿区发现或追踪井旁隐伏矿体取得良好效果。其理论基础与地面激发极化法相同，工作方法技术类似。井中电磁波法在我国起步于 20 世纪 60 年代初，在金属矿产及水文工程勘工作查中取得良好成效，在技术上和应用上获得快速发展。除上述外，我国曾经使用过的井中电法还有井中低频电法、井中脉冲瞬变电法和钻孔雷达方法，这些方法在我国开始使用较晚，工作不多。

井中弹性波法包括井中地震法和井中声波法。前者的地-井和井-井工作方式分别被称为“垂直地震剖面法”和“井间地震法”；后者也有地-井和井-井工作方式。垂直地震剖面法在我国主要应用于油气勘查领域，煤炭及工程勘查工作中也有应用。

井中重力法迄今只能在油气钻井中使用，主要用以测定井周地层宏观密度进而获得不受泥浆滤液侵入影响的孔隙度及裂隙溶洞发育情况。

3 坑道物探

坑道物探是指把接收传感器置于坑道中采集有关物理量数据，从而获得坑道周围隐伏探测目标有用信息的各种物探方法。

这里所说“坑道”包括矿井、巷道、隧道、硐室、洞穴等一切可以容人进入活动的地下空间。在坑道物探数据采集过程中，整个数据采集系统和操作人员可以进入坑道作业。

坑道物探最主要的应用领域是煤炭勘查，特别是在煤炭开采阶段。在煤矿井下，坑道物探可有效地以较高精度探测巷道两侧、顶底板上下、掘进头（掌子面）前方以及巷道间的煤层及其他地质小构造，如煤层赋存状态、厚度变化、夹矸分布、断层、陷落柱、冲刷带、破碎带、软弱带、溶洞、老窑等，为煤炭开采特别是综采机采作业及安全生产提供重要资料。

20 世纪 80 年代以来，我国在某些铜、镍、锡、金等金属矿山的采矿巷道中使用物探方法探测巷道外、巷道间或更深部隐伏矿体取得不同程度成效。工作中使用了自然电场、直流电剖面、直流电测深、频率测深、激发极化、充电、电磁波、弹性波等方法，但工作量尚很有限。坑道物探在一些隧道工程特别是铁路隧道、公路隧道、大型输水涵洞及水电站地下厂房施工过程中也有较广泛应用。其中包括预报掘进掌子面前方可能出现的断层、破碎带、含水带、岩溶、岩脉等异常地质情况，检测隧道、硐室岩壁稳定性及人工衬切质量等。主要使用了浅层地震、声波、电阻率及探地雷达等方法。

原则上，几乎所有的地面物探方法都有可能在坑道中应用。坑道磁法和核法工作与地面工作差别最小，坑道重力法数据的外部校正及处理解释有自己的特点。

我国坑道中曾应用多种电法方法，其中应用较多的是电磁波法和直流（或低频）电法。

我国坑道中使用的弹性波法有面波类的槽波地震法和瑞利波地震法，以及体波类的反射波和透过波地震（或声波）法。其他的还有浅层弹性波（地震或声波）反射法等。

黄金地质研究所
信息室 提供

金矿床的地球物理性质

1 金对岩、矿石物理性质的影响

金在地壳中和原始岩浆中丰度很低且极其分散，即使在有经济价值的金矿床中，金的含量也十分低。金的颗粒极细，往往以星点状分布在岩、矿石中。由表1可见，深成岩、火山岩及次火山岩中金的平均含量仅 $1\times10^{-9}\sim7\times10^{-9}$。

金虽然具有高导电性，但对电法勘探而言，当导电矿物连通时，它对岩、矿石的导电性才有明显的影响；当导电矿物为球粒状时，其含量占岩、矿石体积60%以上时，对岩、矿石的导电性才有明显影响。由于金在岩、矿石中含量极低且呈星点状分布，故对岩、矿石的导电性无任何影响。激发极化法虽然能对星点状电子导电矿物起作用，但因金的含量太低而无济于事。金为无磁性矿物。

表1 不同类型岩石的金含量

岩石类型		岩石名称	$w(Au_{平均})/10^{-9}$	样品数
深成岩	酸性岩及中酸性岩	花岗岩	1.70	310
		花岗闪长岩	3.00	380
		长英岩(花岗岩及云英岩脉)	4.20	23
	中性岩	闪长岩-石英闪长岩、英云闪长岩	3.20	261
	基性岩	辉长岩、辉长-闪长岩	4.80	580
	超基性岩	纯橄岩、橄榄岩	6.60	149
火山岩及次火山岩	酸性岩	流纹岩、英安岩、糜细岩、黑曜岩	1.50	188
	中基性岩	玄武岩、安山玄武岩、安山岩、粗面安山岩	3.60	696

引自《美国地球化学手册》。

由以上分析可见，金的存在不会对岩、矿石的物理性质（如导电性、激电性、密度等）有丝毫改变，在天然场或人工场的作用下，金不会产生用现有物探仪器能观测到的明显的地球物理场变化。由此可得出结论：在自然界中不具备用地球物理方法直接寻找金矿床的地球物理前提（地电化学提取法除外），即地球物理方法不能作为一种找金矿的直接手段，只能作为一种间接找金矿手段，主要用来解决与金矿成矿有关的地质问题。因此金矿物探工作必须与地质工作紧密配合才能取得较好的地质效果。

目前，个别金矿物探工作者却认为，物探方法可用来直接找矿，例如有人在文章中这样写到："首先应明确物探方法的地质作用决不限于直接找矿，当然，用物探方法直接找到金矿床或金矿体是最理想的，但是，间接找矿的作用也是不可忽视的。"显然这种提法是缺乏物性依据的，是不妥当的。个别金矿地质工作者总抱怨"物探方法找矿效果不好"，"不理想"，等等。这说明个别金矿地质工作者对金矿物探的效能缺乏全面了解，殊不知在自然界中根本就不存在物探方法直接找金的地球物理前提。这一点应引起人们的充分重视。

2 金矿床的导电性和激电性

2.1 金矿床的激电特性

金具有强烈的亲硫、亲铁性，在自然界中金与铜、铅、锌等硫化物密切共生，金常常赋存在硫化物中。表2示出了某些金矿区含金硫化物的含金性。

由于许多金矿床中均含有不同数量的硫化物，含硫化物的金矿石与围岩在激电特性方面具有明显的差异，硫化物含量愈多，其差异愈明显。因此，在自然界中具备了用激发极化法圈定硫化物矿化带和矿化富集地段间接找金的良好地球物理前提。因此，目前在实际工作中应用较多，效果较好。

根据金与其伴生矿物的组合关系，H.B. 佩特罗夫斯卡娅将内生金矿矿石划分为以下4种类型。

1）贫硫化物含金石英矿石，硫化物含量<0.5%。2）少硫化物含金石英矿石，硫化物含量在0.5%～5%。3）中等硫化物矿石，硫化物含量为10%～20%。4）多硫化物矿石，硫化物含量为50%～70%以上。

根据我国的实际情况，金矿地质工作者将我国的金矿石划分为以下3种类型。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 2 某些金矿区含金硫化物的含金性

矿物名称	矿床	类型	w(Au平均)/10^{-6}	样品数
黄铁矿	卡拉马扎尔（前苏联）	铜-钼矿	3.20	69
		含金石英脉	211	131
磁黄铁矿	肖德理(加) 诺里尔斯克(前苏联)	铜-镍矿	12.60 0.08	25 ?
黄铜矿	卡拉马扎尔（前苏联）	铜-钼矿	17.00	53
		含金石英脉	8.00	6
方铅矿	卡拉马扎尔（前苏联）	铜-钼矿	12.00	7
		含金石英脉	11.00	11
闪锌矿	卡拉马扎尔（前苏联）	铜-钼矿	23.00	5
		含金石英脉	1.30	3

1）少硫化物金矿石，硫化物主要为黄铁矿，有时含有 Cu，Pb，Zn 或 W，Mo 等硫化物。这种矿石多见于复石英脉或石英脉型热液矿床。2）多硫化物金矿石，此类矿石的特点是毒砂或黄铁矿很多，金呈显微包体状态赋存于硫化物中。3）多金属硫化物矿石，此种矿石除金之外，有时有 Cu，Cu-Pb，Pb-Zn 或 Pb-Ag，硫化物含量可达 10% 或 10% ～20% 。自然金除与黄铁矿关系密切外，还与 Cu，Pb 矿物密切共生，多为高中温热液型矿床。

一般来说，中等、多硫化物和多金属硫化物矿石类型含金属矿物较多，具有较强的激发极化特性，对开展激发极化法工作十分有利。但是贫硫化物矿石类型金矿床，激发极化法将不会取得好效果。

表 3 示出了山东省胶东地区几个金矿区各种岩、矿石标本物性测定结果统计。

表 3 中极化率（η）值大小表示岩、矿石激发极化特性的强弱，用百分数表示。分析表 3 所列 η 值可以看出，富矿石——黄铁绢英岩化花岗碎裂岩含硫一般为 8.24% ～9.24% ，富矿石的极化率皆在 22% 以上，最大极化率值高达 70% ；贫矿石——黄铁绢英岩质碎裂岩含硫一般为 3.65% ～5.84% ，极化率值仅 4% ～10% 。在该区的金矿床中金的品位与硫的含量大致呈正消长关系。图 1 给出了该区金矿床中金与硫的关系曲线。在其他条件不变的情况下，极化率随着金属矿物总含量的增加而增大。九曲矿区中黄铁矿含量与极化率关系便是如此（表 3）。岩、矿石物性测定结果表明，金矿体与围岩间有明显的激电特性差异，故在该区用激发极化法圈定硫化物矿化带和硫化物富集带具有良好的地球物理前提，在实际工作中已经取得了较好的地质效果。

除了上述电子导电的金属矿物在人工电场作用下能产生激电效应外，石墨也是电子导电矿物，它在人工电场作用下也能产生激电效应。因此，石墨化地层（包括某些碳质地层）能产生明显的甚至是强大的激电异常，给激发极化法间接找金矿床带来

表 3 山东省胶东金矿床各类岩、矿标本物性测定结果统计

岩石名称	采集地点	测定块数	极化率/%			电阻率/Ω·m		
			η_{max}	η_{min}	$\bar{\eta}$	ρ_{max}	ρ_{min}	$\bar{\rho}$
含金蚀变花岗岩型矿石(富矿)	焦家金矿区	48	70.3	12.2	28.6	5 230	176	1 120
含金蚀变花岗岩型矿石(贫矿)	焦家金矿区	51	10.9	4.88	7.49	3 510	275	960
含金蚀变花岗岩型矿石(富矿)	新城金矿区	56	57.3	11.2	22.1	7 420	218	1 450
含金蚀变花岗岩型矿石(贫矿)	新城金矿区	51	10.8	4.12	7.25	9 910	666	2 270
含金蚀变花岗岩型氧化矿石	新城金矿区	30	8.0	3.0	5.09	1 270	314	693
含金蚀变花岗岩型矿石	三山岛矿区	28	40.1	4.18	10.7			
含金蚀变花岗岩型矿石	马塘金矿区	28	29.6	4.16	9.0			
含金黄铁矿石英脉型矿石	焦家金矿区	32	23.8	1.34	5.97			
蚀变花岗岩	焦家金矿区	74	13.2	0.36	2.89	8 180	335	1 900
蚀变花岗岩	新城金矿区	117	11.6	1.0	5.37	9 900	218	1 850
碎裂状花岗岩	焦家金矿区	38	5.96	0.9	2.29	2 470	67	804
玲珑花岗岩	焦家金矿区	23	6.58	1.55	4.38	8 810	179	1 430
郭家岭花岗闪长岩	河东金矿区	108	6.73	3.11	5.23	7 470	625	4 260
斜长角闪岩	新城金矿区	52	7.63	0.94	3.54			328
斜长角闪岩	焦家金矿区	136	7.69	0.94	3.93	606	50	319
黄土		6						38～70
矿化水		3 处						5
煌斑岩	焦家	42	7.06	0.94	3.54	294	17	52
石英脉	焦家	38	5.96	0.9	2.29	209 000	2 670	59 500
含金黄铁矿石英脉 黄铁矿＞30%	九曲	31	73.3	8.33	35.9			
含金黄铁矿石英脉 黄铁矿＝10% ～30%	九曲	38	61.2	4.25	26.7			
含金黄铁矿石英脉 黄铁矿＜10%	九曲	41	36.9	2.75	14.8			

引自山东地矿局物探队肖霏岳、顾留成。

黄金地质研究所
信息室 提供

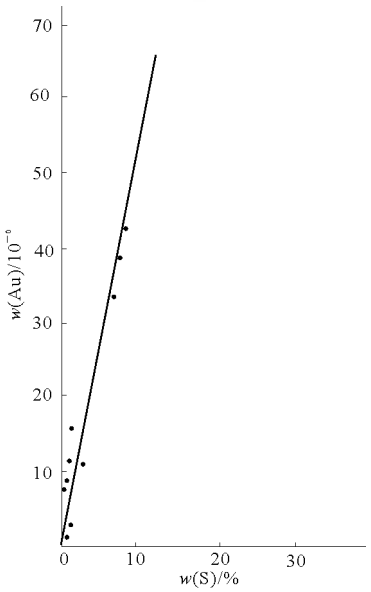


图 1 玲珑金矿田 52 号脉金-硫相关图（引自于文功）

了干扰，在实际工作中应注意区别硫化物矿化带与石墨化地层引起的激电异常。值得注意的是，在寻找金矿床的过程中，石墨化地层并非无用，一般来说，金在氧化环境下在腐殖酸类地层中易于富集，因而有金来源的情况下，黑色碳质岩石是金富集的有利围岩，可作为间接找金的标志层或指示层。如 1979 年加拿大地调局在柯克兰湖—拉尔德尔湖地区进行了航空电磁法测量，在拉尔德尔湖群岩层内发观了许多电磁异常，这些电磁异常大都是由含石墨沉积岩引起的。这种岩石本身含有不同数量的金、银、铅、锌、铜和铁矿化。有时石墨化地层与金矿床在空间上有一定关系，圈定石墨化地层可起到间接找矿作用。

伴生金矿床是世界金产量的主要来源之一，其最大特点是矿床中含有大量的硫化物矿物和氧化物矿物。如云南某硫化铜-镍矿床（伴生金矿）中主要金属矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿等；甘肃某黄铁矿型铜矿伴生金矿中主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、少量的闪锌矿、磁铁矿、方铅矿等。因此伴生金矿床与围岩间具有明显的激电特性差异，具备了用激发极化法寻找伴生金矿床的良好的地球物理前提，可以取得较好的地质效果。

2.2 导电性

金矿床由于含有较多的金属矿物或赋存于断裂构造带中和石英脉中等而具有不同导电性。

1）到目前为止，人们已经发现的内生金矿床绝大部分都与不同类型的断裂带有关。在断裂构造带中岩石由于破碎而含水（有时还有断层泥等），其导电性比原来未破碎岩石的导电性明显增大，或电阻率明显减小。表 3 中碎裂状花岗岩电阻率几何平均值为 804 Ω·m，而郭家岭花岗闪长岩的电阻率几何平均值大于 4 000 Ω·m。因此在自然界中具备了用电阻率法圈定断裂构造带的良好的地质-地球物理前提。

2）石英脉及其他岩脉是寻找金矿床的一种标志层，其导电性可分为以下几种情况。

①厚而完整的石英脉，此种石英脉电阻率值很高。利用石英脉标本测出的电阻率值与此类石英脉电阻率值类似。表 3 中石英脉电阻率几何平均值高达 59 500 Ω·m；内蒙古赤峰红花沟金矿区中含金石英脉的电阻率值达 33 654 Ω·m，该区含金黄铁矿石英脉电阻率值降低，其电阻率值为 22 916 Ω·m。厚而完整的石英脉与围岩间具有极明显的电性差异，用电阻率法（如中梯装置）可以较容易地圈定石英脉的范围、规模及走向等。内蒙古赤峰红花沟金矿、内蒙古喀喇泌旗十家地区金矿、辽宁五龙金矿区等皆出现这类现象。

②当石英脉较小而破碎时，往往与围岩间无明显的电性差异，电阻率法也不会取得好效果。若这类石英脉含有较多硫化物时，激电法将是有效的。也可用压电法寻找石英脉型金矿和评价其含矿性。

③当小而破碎的石英脉赋存于断裂破碎带中时，尽管石英小脉本身为高阻，但其总体反映为低阻异常（中梯装置为低阻异常；联剖装置为正交点或低阻带）。如河北省青龙县三家金矿区含金石英脉严格受 NE 向主干断裂 F_1^7 两侧派生的次一级断裂带控制，构造裂隙带中含水，导电性较强，故用电阻率法得到联剖正交点和中梯低阻带。

3）局部的蚀变带，往往使其电阻率局部升高，呈现出高阻异常特征。表 3 中的含金蚀变花岗岩的矿石电阻率值相对较高，其值均在 1 000 Ω·m 以上。山东胶东地区有些金矿就属这种情况。

4）有些金矿床产于不同岩性的接触带上，有的接触带处即为断裂带或破碎带。如山东省胶东地区胶东群地层（Arj）与玲珑花岗岩（γ_5^3）相互接触，有的金矿床便赋存在该接触处。胶东群地层电阻率值一般为 200 Ω·m，而花岗岩的电阻率值一般在 1 000 Ω·m 以上，二者具有明显的导电性差异，故用电阻率法可以圈定这类接触带。

5）伴生金矿床由于含有较多的金属矿物而呈现出低阻体的特点，许多实例都表明了这一点。但是，当金属矿物含量较少时，其导电性与围岩差别不大，电阻率法效果不理想，此种情况激发极化法可取得较好效果。

黄金地质研究所
信息室 提供

2.3 金矿床的磁性

从金矿成矿的后生性和初始矿源的深源性可知，金矿成矿与各种火成岩、火山岩、变质岩、各种火成岩岩脉、火成岩与某些沉积岩接触带有密切关系。这些岩石均具有不同的磁性，这就是应用磁法解决与金矿成矿有关的各种地质问题的地质-地球物理前提。

1）上地幔与地壳的磁性有明显差异，故可用磁测结果经过一定的数据处理，求出莫霍面的埋深、变化特点及地壳厚度。

2）在深大断裂带形成过程中，常常伴有各种岩浆活动，形成沿断裂带走向呈线性分布的各种火成岩体。如郯庐大断裂带的情况便是如此。火成岩与其他岩石的磁性有明显差异，形成深大断裂带上磁异常的线性分布。

如在断裂带形成过程中没有伴随岩浆活动，岩石的磁性由于岩石破碎而变弱，即断裂带相对围岩磁性而言为低磁区，常常出现低于背景的低磁带或数值不大的负磁异常带，如胶东的灵山—北截断裂带上的磁异常就是一条数值不大的负磁异常带。

3）由于各种火成岩体、火山岩和岩脉都具有较强的磁性，具备了用磁法圈定这些岩体、岩脉以及这些岩体与沉积岩等接触带的良好的地球物理前提。岩脉可以作为找金标志，有时岩脉本身可以构成矿体。例如，黑龙江老柞山金矿，区中岩脉与矿化关系比较密切，矿区西部的岩脉本身就是矿体；湖北大冶陈子山金矿区，花岗闪长岩脉与金矿关系最密切，金矿脉多分布在花岗闪长岩脉与石英闪长岩接触带附近；湖南的黑土型金-银矿赋存在超复岩体与灰岩正接触带的氧化带中；青海门源松树南沟金矿西矿段产于斑状花岗闪长岩和细碧玢岩的接触带中，等等。用磁法圈定岩体、岩脉及与磁性有关的接触带，可进行间接找金。

4）国外主要金矿类型之一的霍姆斯塔克金矿产于前寒武纪含铁建造中。我国东风山金矿也属此种类型。该区金矿产于前寒武纪磁铁铁闪石英片岩层下部，严格地受此层位控制。这类金矿床特点是含有大量的磁性矿物。具备了在该类矿床上用磁法开展工作的地球物理前提。

5）在伴生金矿床中，往往含有不同数量的磁铁矿、磁黄铁矿等，具有较强的磁性。如湖北省鄂东地区的伴生金矿床：铁矿床、铜-铁矿床、铁-铜矿床、黄铜矿型铜矿、硫-铁矿床等，就含有大量的磁铁矿和磁黄铁矿。用磁法寻找和圈定此类伴生金矿床比较有效，具备了良好的地球物理前提。

表 4 为山东胶东金矿带的磁性参数测定结果。

表 4 山东胶东金矿带不同岩、矿石磁性测定结果

地层时代		岩(矿)石名称	采集地点	块数	$\kappa\times4\pi/10^{-6}$(SI)			$Jr\times10^{-6}\times(10^3$ A/m)		
					极大值	极小值	平均值	极大值	极小值	平均值
太古—元古宇	胶东群(AR-Pt_1^1j)	黑云母斜长角闪岩	尹家,郑家,新城	230	33 800	微弱	4 000	16 300	微弱	1 090
		黑云角闪岩	掖 县	27	24 200	310	9 600	147 000	30	12 400
		斜长角闪岩	掖县,焦家	106	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱
		黑云母斜长片麻岩	尹 家	5	2 000	150	1 150	290	60	160
		黑云母斜长片麻岩	苗 家	22	1 480	微弱	570	500	微弱	100
		混合岩化黑云母斜长片麻岩	尹 家	34	19 000	微弱	780	3 480	微弱	180
		混合岩化黑云母斜长片麻岩	苗 家	9	1 810	微弱	540	810	微弱	310
		混合岩化黑云母斜长片麻岩	尹家,郑家	152	1 840	微弱	16	1 140	微弱	30
		黑云母斜长片麻岩	谭 家	5	190	微弱	40	670	微弱	130
		蛇纹石化大理岩	掖 县	66	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱
		黑云母磁铁矿(鞍山式铁矿)	山上杨家	34	89 600	370	23 500	170 400	160	14 200
元古宇	粉子山群(Pt_1^2f)	片 岩 滑石片岩	掖县粉子山	3	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱
印支期	玲珑花岗岩(γ_5^1)	黑云母花岗岩	朱桥,新家	94	1 710	微弱	440	1 240	微弱	120
		黑云母花岗岩	三山岛,仓上	117	840	微弱	90	160	微弱	20
		黑云母花岗岩	桥西头,宋家南	32	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱
		黑云母花岗岩	焦家金矿	38	4 820	1 110	1 820	2 090	120	600
印支—燕山期	($\gamma\delta_5^2$)	郭家岭斑状花岗闪长岩	河东金矿	71	360	50	180	120	微弱	40
燕山期	($\gamma\delta_5^3$)	花岗闪长岩	史家村	22	1 640	20	370	170	10	60
		石英闪长岩	山上杨家	35	1 160	120	440	150	0	70
		蛇纹石化花岗岩	桥头村	11	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱
		碎裂状花岗岩	焦家金矿	38	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱	微弱

引自山东物探队。

黄金地质研究所
信息室 提供

2.4 金矿床的密度

岩、矿石密度差异是投入重力勘探方法解决与金矿成矿有关的地质问题的必须的地球物理前提。

1）地幔与地壳的密度值，地壳上部花岗岩层平均密度约为 2.7 g/cm^3；地壳下部玄武岩层平均密度约为 3.1 g/cm^3，二者密度差为 0.4 g/cm^3。组成地幔物质的密度在 2.4～5 g/cm^3 之间。这表明，在自然界中具备用重力勘探方法解决莫霍面深度、变化特点和地壳厚度问题的地球物理前提。

2）金矿区岩、矿石密度，我国金矿床类型繁多，地质情况复杂，不同金矿区岩、矿石类型不同，其密度也不同，因此进行重力测量之前，应对测区中岩、矿石进行测定，作为投入重力方法的地球物理前提和资料解释的依据。山东省胶东地区不同岩、矿石密度值关系（表 5）大致为变质岩＞郭家岭花岗岩＞蚀变岩、金矿石＞玲珑花岗岩＞第四系。在该区用重力勘探可以划分变质岩与花岗岩界线。

表 5 山东胶东金矿带不同岩、矿石的密度值

地层时代	岩、矿石名称	块数	密度/g·cm^{-3}		
			极大值	极小值	平均值
太古—元古宇 胶东群	变质岩	260	3.10	2.33	2.73
太古—元古宇 粉子山群	变质岩	179	3.02	2.63	2.79
第四系	黄 土	12(大样)	2.02	1.33	1.60
印支期	玲珑花岗岩	590	2.65	2.48	2.57
印支—燕山期	郭家岭花岗闪长岩	88	2.84	2.58	2.64
	蚀变岩金矿石	450	2.98	2.30	2.63

摘自《金矿地球物理找矿》

金矿区物性参数的应用

应用物探方法寻找金矿时，为了提高地质效果，一般都采用综合物探方法。金矿床的矿物组合和其所处地质环境是多种多样的，各种共生矿物和地质环境常常具有不同的物理性质，故一个金矿床的整体往往也有几种不同的物理性质，这些条件为投入综合物探方法提供了物性前提。此外，还应考虑物探方法与化探、地质紧密配合。下面将以一个金矿区和黑龙江省的金矿床物性为例，说明物性的重要性。

1 湖北省某金矿区

湖北鄂东南地质大队金矿物探工作者对某金矿区的各种岩石和矿石的密度、磁性、导电性和激电性进行了测定和统计，其测定结果示于表 1。该区在 1966—1976 年间主要是寻找刘家畈式磁铁矿；1977—1981 年间主要寻找斑岩铜矿热液型多金属矿；1981 年后转入找金矿，最后发现了这一单金矿床。虽然该区有些岩、矿石测定的块数太少，但测定的参数较齐全。

表 1 湖北某金矿区各类岩、矿石密度、磁性、电阻率、极化率参数测定统计

岩矿石名称	块数	密度/g·cm^{-3}			块数	$\kappa\times10^{-6}$CGSM[1)]			块数	ρ/Ω·m			块数	η/%		
		最大值	最小值	平均值		最大值	最小值	平均值		最大值	最小值	平均值		最大值	最小值	平均值
黄铁矿	3	3.59	3.37	3.44					2	115	22	69	3	52.44	8.16	26.6
黄铁矿化钾长石化石英闪长岩	3	3.12	2.67	2.82	2	7 312	6 672	6 992	5	3 150	60	778	29	28.8	2	10.27
黄铁矿化钾长石化花岗闪长斑岩	7	3.66	2.53	2.79					3	1 353	15	707	7	19.87	4.83	10.41
钾长石化石英闪长岩	4	2.97	2.61	2.71	45	6 267	257	3 290	47	67 820	9	7 331	70	18.0	0.68	3.8
弱钾长石化角闪石石英闪长岩	1							8 260					6	11.54	1.44	3.74
钾长石化花岗闪长斑岩	3	2.62	2.59	2.60					3	92 099	7 583	38 912	3	6.84	3.03	5.09
石英闪长岩	29	2.97	2.36	2.70	16	5 625	682	3 099	33	10 983	58	2 664	48	7.96	0.63	2.42
花岗闪长斑岩	12	2.67	2.52	2.60	1			2 241	8	14 303	3 060	9 132	8	8.66	2.58	4.76
凝灰岩	18	2.64	2.39	2.50	4	0	0	0	15	217	6	96	18	1.40	0.31	0.84

1）磁性没有换算为 SI 制；引自湖北省鄂东南地质大队周亚特、李辉文、何建明。

该区金矿脉多分布在Ⅱ号花岗闪长岩脉与石英闪长岩接触带附近。黄铁矿、黄铜矿及石英为金的载体矿物。矿石类型有 5 种：含金硅质岩型、含金黄铁矿型、含金构造角砾岩型、含金黄铁矿石英闪长岩型和含金黄铁矿花岗闪长岩斑岩型。

由表 1 可知各类岩、矿石密度值变化规律：黄铁矿＞黄铁矿化火成岩＞未蚀变火成岩＞凝灰岩。各类火成岩磁性差异较小，但火成岩与火山岩的磁性差异明显。故可用磁法圈定火成岩与火山岩的接触界面。黄铁矿及黄铁矿化火成岩具有低阻高极化特征，极化率（η）＞10%；不含黄铁矿岩石极化

黄金地质研究所
信息室 提供

率值较低，凝灰岩极化率最低，其值小于1%。综上所述，将该区各类岩、矿石按其物理性质的不同可分为以下几类。

1）黄铁矿化岩石（矿带）：具有中等磁性、低电阻率、高极化率、高密度特征；

2）无矿化火成岩：具有中等磁性、高电阻率、中等极化率、中等密度特征；

3）火山凝灰岩：具有弱磁、低电阻率、低极化率、低密度特征。

为了圈定矿化带，根据本区具体的地质-地球物理特征，选用了激发极化法、电阻率法为主要工作方法，重力配合，同时还选择化探与物探方法配合工作。这一套组合方法在该区取得了较好的地质效果，为该矿床的发现做出了重要贡献。

2 黑龙江省原生金矿床

黑龙江省金矿分布广泛，资源丰富，素有“金镶边”誉称。该省综合研究队将已做过的物探方法的反映结果及土壤测量元素共生组合关系，结合金矿床（点）的地质环境，将全省原生金矿床（点）的地球物理-地球化学特征分类如下。

2.1 高极化率、良导电性、有氧化-还原作用、弱磁、单金型金矿床

该类矿床为脉状含金-多硫化物型单金矿床，多产于花岗岩、闪长岩与下古生界接触带处。矿体具有明显的低阻高极化率的特点，能产生激电异常和电阻率异常。若水文地质条件合适，可产生自电异常。该类矿床为弱磁性，磁法效果不理想。土壤测量中Au异常显著，As，Sb，Ag无异常反映。寻找这类金矿床可选用激发极化法、电阻率法、自然电场法和化探等方法，将会取得较好的地质效果。

例如，呼玛县某金矿区的含金石英脉，产于华力西中期花岗闪长岩与上泥盆统硅化黑云母石英片岩接触带内，含金石英脉内含有10%以上的金属硫化物（黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、自然金等）。激电法在矿带上获得了10%～16%的规则异常；电阻率法中梯装置在矿带上获得低阻异常带，电阻率法联剖装置得到低阻正交点异常。自然电场法获得明显的负异常（最大值达－100 mV）。但是磁法在矿化带上仅为平静的负磁场。土壤测量在矿化带上仅有金异常，而无其他元素异常显示。

2.2 低极化率、高电阻率、无氧化-还原作用、弱磁性、Au，As，Sb型金矿床

该类金矿床为贫硫化物含金石英脉，故为高阻低极化体，无氧化还原作用，弱磁性，土壤测量Au，As，Sb异常明显。例如，嘉荫平顶山金矿床，含金石英脉产于元古宙花岗岩中，含少量金属矿物（自然金、黄铁矿、磁黄铁矿）。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、碳酸盐化、绿泥石化。在已知金矿脉上，激发极化法中梯装置、自然电场法无明显异常。石英脉赋存于断裂带中，故电阻率法中梯装置有低阻异常带，联剖装置（ρ）有正交点，但分异性差。后者与土壤测量的Au，As，Sb异常吻合，反映了金矿脉的分布方向。此外，嘉荫县连珠山金矿点，石英脉所在空间无断裂带存在，故电阻率法联剖装置为高阻反交点，其位置与含金石英脉位置吻合。

2.3 低极化率、高电阻率、无氧化还原作用、中等磁性，Au，As，Sb，Bi，Ag，Cu，Pb型金矿床

该类矿床上激发极化法规律不明显。由于含金石英脉产于燕山期花岗岩中，岩体磁性中等，所以可选用磁法配合电法圈定岩体；土壤测量Au，Sb，Bi，Ag，Cu，Pb有明显异常。例如五道沟二支沟金矿就属这一类型。

2.4 高极化率、高电阻率、有氧化还原作用、弱磁性，Au，As，Sb，Ag型金矿床

该类金矿床含有较多的金属硫化物，属硫化物型金矿床，与围岩间存在明显的激电特性差异，但导电性与围岩差异不大。水文地质条件合适，可产生自电异常。土壤测量有Au，As，Sb，Ag组合异常。金矿体以脉状、网脉状、细脉浸染状产于花岗闪长斑岩中。

例如，团结沟金矿便属此种类型。矿体以脉状、网脉状、细脉浸染状产于花岗闪长斑岩体中。金属矿物有黄铁矿、白铁矿、褐铁矿、自然金、辉锑矿及微量方铅矿、黄铜矿等，金属矿物总含量可达8%～15%。在主矿体上磁测$\triangle Z$变低；自电出现负异常；激发极化法的视极化率（η）增高；视电阻率（ρ）则无明显异常；土壤测量在矿体上有清晰的Au，As，Sb，Ag组合异常。显然，从物性分析出发，对这类金矿床选用激发极化法、自然电场法与土壤测量相互配合，可望取得较好的地质效果。

2.5 高极化率、良导电性、无氧化还原作用、低磁性，Cu，Mo，Ag，Pb型金矿床

在矿化带上极化率高、视电阻率低，磁测$\triangle Z$低缓。用激发极化法、电阻率法和磁法配合可圈出

黄金地质研究所
信息室 提供

矿化带。土壤测量获得Cu，Mo，Ag，Pb组合异常。金矿体不规则，以囊状、窝子状产于闪长玢岩与碎裂伟晶花岗闪长岩接触带处的角砾岩中。东宁县金厂金矿则属此种类型。

2.6 高极化率、良导电性、有氧化还原作用、弱磁性、具有放射性，Pb，Zn，Cu，W，Sb，Te型金矿床

该类金矿床以有放射性异常，自电异常为其特点。土壤测量有Pb，Zn，Cu，W，Sb，Te异常，Pb，W与Au关系密切。含金石英脉呈网脉状产于次火山岩与流纹岩类的外接触带。塔源金-银矿便属此类金矿床。

2.7 强磁性，Au，Co型金矿床

本类金矿床具有强磁性，磁法可确切地圈出与铁共生的矿层。金矿体呈层状产于前寒武纪变质岩中含铁石英岩下盘。例如东风山金矿即产在前寒武纪变质岩中的含铁石英岩下的金-钴共生的金矿床。矿体呈层状。

黑龙江省金矿物化探工作者依据原生金矿床上的物性、物化探效果和金矿的地质条件，拟定出黑龙江省普查原生金矿床的物化探工作程序。

1）首先在地质上有成矿可能的地区进行小比例尺化探扫面，圈定金的化探异常区和与金有关的伴生元素异常；

2）在已圈定的化探异常区中开展1∶5万土壤测量，圈出成矿有利地段；

3）在已圈出的成矿有利地段中开展1∶1万物探及化探，寻找金矿化带或圈定矿体；

4）最后，在圈定的矿化带上，开展大比例尺物探详查，并配合钻探验证。同时进行测井工作，以详细研究异常性质和金矿体。

摘自《金矿地球物理找矿》

寻找金矿的综合物探方法

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4个主要阶段。

1 区域矿产预测阶段

区域矿产预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地为了寻找金矿，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成矿带，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。根据这些研究结果所绘制成的图件，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。

在前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3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

黄金地质研究所
信息室 提供

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，根根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线。

2 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 万比例尺的航空伽马能谱测量和航空磁测。应用伽马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钾含量的异常。利用航空伽马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，用伽马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他多金属矿床，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 2 个镉-109 同位素源（每个强度 5～10 毫居里），探头用正比氩计数管，其能量分辨率为 16%～17%。用同样方法也可测亲铜元素总量（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 m 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。

3 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（碳质石墨岩层和火山-沉积杂岩中显示金矿化的其他岩层），以及近矿蚀变——硅化、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，主要类型有太古宙绿岩带金矿（以含金石英脉为主），元古宙含铁硅质建造中的金矿（霍姆斯塔克型），中新生代与火山岩、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 2 个内容。A. 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。上述 2 种金矿类型的直接和间接的普查标志见表 1。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 不同金矿类型的普查准则

普查标志	矿床类型	
	金-赤铁矿-硫化物型	金-黄铁矿型
矿物	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 mm。氧化矿石中金的粒度为 0.01～3 mm。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 mm；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＞0.$n\times10^{-9}$，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	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。

3.1 石英脉和低硫化物建造的金矿床

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，且其电性和其他物理性质变化很大。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，同时使用伽马能谱测量等方法，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迈出相当大的一步。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，更不是愈多愈好，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用的。

3.2 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

黄金地质研究所
信息室 提供

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 Ω·m，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 Ω·m，氧化矿的电阻率从几十到上百 Ω·m。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。

在一些碳质陆源岩层中，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，构造裂隙和碳质片岩。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碳质——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碳沉积岩中，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出来的。

4 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 Ω·m，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 Ω·m。

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 m，而用 8.6 千赫为 120 m。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 m。

黄金地质研究所
信息室 提供

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覆盖，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人为降低。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—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 20 世纪 60 年代就在该区北部发现了 2 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，在采勘过程中，利用钻孔岩心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。

5 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。

普查和预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 2 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 m 厚的疏松沉积物覆盖的砂矿，最适宜采用一些地球物理方法。

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 g/cm^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线和确定金属矿的位品，井中核物探方法起主要作用。

摘自《国外物探找矿案例》

黄金地质研究所
信息室 提供

重力勘探在金矿地质工作中的效能

由金矿地质学知道，与金矿成矿有关的地质问题多种多样，重力勘探在解决其中一些问题时有明显的优势，工作中应充分注意。

1 利用布格重力异常研究地壳深部构造

从金的成矿规律知道，金矿成矿初始矿源来自深部幔源，切穿地壳的深大断裂带是初始矿源的通道，金往往富集于深大断裂带附近的次级或小断裂及其交会部位，形成有经济价值的金矿床。因此研究莫霍面埋深、变化特点、地壳厚薄及地壳中深大断裂构造，不仅对于研究地壳的演化、大陆与海洋形成、划分大地构造单元等地学基础理论问题有重要作用，而且对于金矿及其他各种内生矿产的成矿预测也具有十分重要的意义。

1.1 莫霍面埋藏深度与布格重力异常的相关性

大量事实证明，布格重力异常与地壳厚度（莫霍面深度）之间存在着相关性，即重力异常值越高，地壳厚度越薄，莫霍面埋藏越浅；反之，重力异常值越低，地壳厚度越大，莫霍面埋藏越深．此外，布格重力异常还与地形有明显的对应关系，二者近似于镜像关系（图 1）。

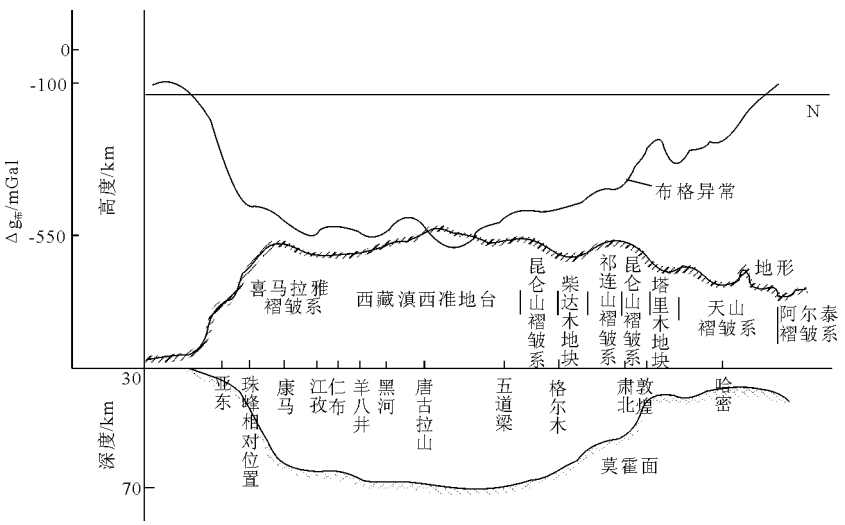


图 1 喜马拉雅山及青藏高原重力异常、地壳厚度和地形剖面图

1.2 我国布格重力异常的基本特征与深部构造

1）我国布格重力异常的变化趋势，是由东部沿海向西至青藏高原逐渐降低，其下降幅度达 600 mGal 以上。东部沿海地区的胶东、辽东及渤海地区，布格异常平均值为 30 mGal 左右，青藏高原及雅鲁藏布江一带降低到－575 mGal 以下。这表明我国地壳厚度是由东部沿海向西南逐渐加厚，东部沿海地区莫霍面深度为 34～36 km，而青藏高原及雅鲁藏布江河谷地区莫霍面深度达 70 km。

2）纵观全国布格重力异常线的走向，其分布规律性也很明显，在总的重力异常变化趋势背景上，有几条规模巨大的重力梯级带纵横于全国，而且它们大都与我国主要的褶皱山脉有密切关系。从异常走向展布特征来看，大体上可分为 2 组：在我国东部地区以 NNE 及 NE 向为主，其中以纵贯我国南北的一条 NNE 向梯级带规模最大，北起黑龙江大兴安岭，经由太行山向南直至云南的滇东南地区。还有福建沿海及川西地区的梯级带也很明显，它们都与该区的山脉有关；在我国西部地区则以 NWW 向或近 EW 向的梯级带为主，它与东部异常走向相互垂直甚至交会。这种异常走向截然不同的特征反映出我国东西部不同的深部地壳构造走向的变化规律。从异常强度上来看，西部梯级带的梯度变化较东部大得多，而且与地形高度有密切关系。如西藏南缘的梯级带与喜马拉雅山相吻合，北边梯级带的西段与昆仑山相重合，东段则分成南北 2 支，北支与祁连山相关，南支与巴颜喀拉山有关。这些重力梯级带都对应着莫霍面的陡坡带。

3）在上述几条巨大的重力梯级带之间分布着变化比较平稳的区域重力异常，这表明，这些地区

黄金地质研究所
信息室 提供

区域性地壳构造的活动性较小，长期处于稳定状态，它们多属于比较坚硬、稳固的地台区，如我国的东北地台、华北地台、华南地台、西北部的塔里木地块等。如果从板块构造的观点对我国深部地壳构造进行划分，基本上可以分为三大板块：东部板块、西北板块、西藏板块。在西藏板块的南面还有印度板块。在地壳运动过程中，由于西藏板块处于北、东、南三大板块挤压应力的作用下，不但使其板块边缘形成强烈的褶皱山脉，而且还使整个西藏板块向上抬升，形成地理上的青藏高原和云贵高原。

Tatsch（1975）观点的本质是板块运动控制了全球性金矿的分布格局。天津地质研究院罗镇宽等人认为，板块运动控制了我国金矿的分布格局。他们根据中国板块构造的轮廓（李春昱，1980）将我国金矿划分为四大成矿域（塔里木—中朝板块成矿域、准噶尔成矿域、华南成矿域、冈底斯—拉萨成矿域）和 58 个成矿带。可见，研究深部构造对金矿的成矿预测是很重要的。

4）在大的区域异常背景上分布着一系列不同形态、不同规模的局部重力高带（正异常）和重力低带（负异常）。重力高带对应着莫霍面相对局部凸起，地形上为平原或盆地，如准噶尔盆地、四川盆地、鄱阳湖盆地以及黑龙江的三江平原等。重力低带对应着莫霍面的局部下陷（即地壳局部加厚），地形上与一些较小的山脉对应，如东北的小兴安岭、长白山、泰山、黄山、武夷山、天山山脉等。

2 根据重力异常划分大地构造单元

大地构造单元是指地槽区和地台区。

地槽区：地壳运动较为复杂的构造单元，它以强烈的褶皱作用、变质作用、火山作用、成矿作用等为其主要特征。由于强烈的振荡运动和褶皱运动，使地槽区形成巨厚的沉积建造，并在造山运动中地槽回返褶皱成高山地形，地壳厚度往往是很大的。

地槽区布格重力异常的主要特点：有巨大的负异常背景，区域重力异常等值线多沿一定方向伸展达数十至数百毫伽，正负异常呈线性排列。区域重力异常与构造地形呈镜像关系，布格异常值的趋势常常表现为随着地形的升高重力异常值降低，反映了地壳的加厚；局部异常变化剧烈，可能反映了岩性和构造的复杂性。

地台区：总的说来区域布格重力异常等值线方向性不太明显，其幅度和梯度也比较小。在比较平缓的背景上呈现出一些幅度不大，较为开阔、线性分布不甚明显的次一级异常。这与地台区基底结构和起伏以及沉积岩系分布特点有关。

在地槽区和地台区之间的过渡带，布格重力升常最显著的特征是呈现出巨大的重力梯级带，它是深大断裂的反映。

3 利用重力资料研究区域地质构造

在寻找金矿床的过程中，除了解莫霍面的埋深、变化特点之外，为了缩小找金靶区，还需了解区域性地质构造。重力勘探是解决这一问题的主要方法之一。现以华北平原为例说明如下。

华北平原属中国地台的一部分。基底由前震旦纪变质岩系组成。吕梁运动后相当长的时期内，华北平原为一稳定地区，沉积了海相碳酸岩类的地层。加里东运动晚期地台整体上升，缺失上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭世的沉积，中石炭世又开始下降，为海陆交互相沉积及陆相沉积……。燕山运动后平原地区开始下降，周围地区褶皱成山。喜马拉雅运动晚期继续下降。因此，华北平原绝大部分地区均为很厚的第四系、新近系所掩盖。在这样厚的覆盖地区用常规的地质方法进行区域地质构造单元划分是不可能的。但是，利用重力勘探和磁法勘探却能经济、快速地解决，经部分钻探验证是正确的。

华北地区岩石密度测定结果表明，在华北平原的沉积地层内，岩石密度值往往随地层年代由老到新而相应地由大变小。在巨厚的沉积中存在 2 个密度分界面，即古生界与中生界间密度分界面——下部密度分界面，界面上下的密度差为 0.41～0.60 g/cm^3；中生界与新生界间密度分界面——上部密度分界面，界面上下密度差为 0.33～0.5 g/cm^3。这些密度差异在地层有起伏的情况下，均能引起相应的重力异常。

利用重力异常特征研究区域地质构造的主要依据：异常的形态轮廓、分布范围、幅度变化以及梯度变化等的差异。上述的密度变化特点、重力异常与区域地质构造单元之间大致有这样的规律：重力高带往往反映为古生界以下老地层的隆起带、背斜褶皱带、断块凸起或地垒、结晶基底的凸起等。重力低带则多反映沉积盆地、坳陷、凹陷带、断陷或地堑，等等。

根据华北平原的布格重力异常平面图，并结合

黄金地质研究所
信息室 提供

地质钻井和其他地球物理资料，可将华北平原北部地区划分为博野坳陷带、沧县隆起带，济、黄坳陷带与临清坳陷、内黄隆起等几个区域构造单元，并推断出若干条大的断裂带。

4 利用重力资料确定断层位置及规模

当断裂两侧的岩层发生明显的垂直位移或水平错动，并且有明显的密度差异时，利用重力资料确定断层位置、走向和长度等便具备了良好的地球物理前提。这时，重力异常一般地表现为沿断裂分布的一系列呈线状平行排列的等值线密集带或等值线的同形扭曲带。前者多反映为垂向断裂或张性断裂，而后者则表现为平移断裂或压扭性断裂。如果在重力高或重力低的两翼相对应地出现 2 组密集等值线，则表明在强烈褶皱运动中，由于发生断裂而形成地堑或地垒式的构造，它们多系张性或张扭性断裂。

如果沿断裂带有火成岩侵入体的活动，在重力梯级带上就会出现串珠状的局部磁异常或分布凌乱的强磁异常。

断裂带不仅可以作为划分构造单元的边界，而且它们与地壳构造运动的性质、岩浆及热液活动、金矿分布等都有着密切的关系。因此，追踪和确定断层位置、规模、走向、性质等具有很重要的地质意义。

此外，利用重力资料也可以圈定火成岩体以及地质填图等。

5 利用重力勘探可寻找某些伴生金矿床

因为伴生金矿床中常含有密度值较大的硫化矿物和氧化物矿物。

摘自《金矿地球物理找矿》

磁法勘探在金矿地质工作中的效能

磁法勘探是目前金矿地质工作中应用较多的物探方法之一，概括起来，磁法可用来解决以下几方面问题。

1 利用磁测结果可以研究区域性莫霍面的埋深、变化特点及地壳厚度

我国莫霍面深度、变化特点和地壳厚度等数据都是利用重力资料和深地震测深资料求出的。磁法勘探同样也可以解决这一问题。但应该强调说明的是，在解决上述问题时，重、磁方法应进行综合利用，尤其要与目前获得的深地震测深资料进行综合解释，才能得到较准确的数据。

2 利用磁测结果研究区域地质构造

在区域地质调查中，磁测工作主要用于划分大地构造单元，圈定岩体和断裂，提供进一步普查找矿的远景区。

沉积岩上航磁异常特征：沉积岩的磁化率一般在 100×10^{-3} A/m 以下，可视为弱磁性或无磁性。因此，沉积岩区在航磁图上反映为接近零值的平稳磁场，可视为正常磁场。

岩浆岩上航磁异常特征：岩浆岩的磁性相当复杂，即使同一类岩石其磁性也因地、时代不同而有很大差别。火山岩中磁性矿物分布不均匀，其磁化亦不均匀。火山岩引起的磁异常呈跳跃变化，梯度大而尖锐，以致相邻测线上异常难以对比。一般来说，基性火山岩的异常强度较大，酸性火山岩异常强度较小。

各类侵入岩的磁化率较稳定，其磁场有强有弱，但比火山岩的磁场平稳得多。基性、超基性侵入岩能产生很强的磁场而酸性花岗岩侵入体磁性却不强。

变质岩上航磁异常特征：变质岩的磁场在强度上也有很大差别。副变质岩磁性较弱，而正变质岩磁性较强，能引起数百至上千纳特（nT）的异常，其中尤以角闪片麻岩为最强。有些混合岩含磁铁矿极不均匀，异常跳动十分剧烈。

在区域地质调查中，利用航磁资料可以研究结晶基底的构造、盖层沉积构造、断裂构造、圈定火成岩和接触带，等等。

根据我国区域物探对金矿区的工作结果表明：金矿带、金矿床的分布与区域地质构造有一定关系，而区域地质构造又与区域物探异常分布有一定关系，即金矿带、金矿床分布与区域物探异常分布有一定关系。图 1 为燕山地区金矿床（点）分布与区域磁异常分布的关系。该图清楚地表明：燕山地

黄金地质研究所
信息室 提供

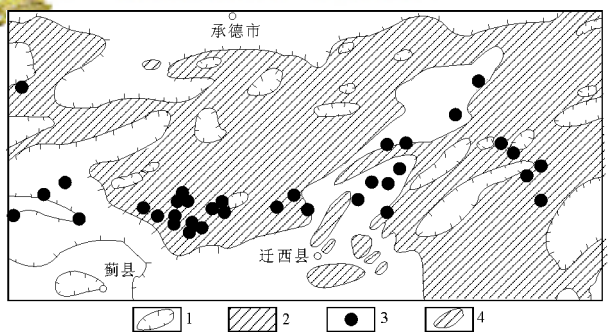


图 1 燕山地区金矿床（点）分布与区域磁异常分布的关系（引自潘勇飞）

1—正航磁异常及其范围；2—负航磁异常（−1～−250 nT）及其范围；3—金矿床（点）；4—正航磁异常中的负异常

区的金矿床（点），总体上分布在靠近正航磁异常区附近的低、负磁异常区内。这一特点不仅是燕山地区如此，而且我国胶东地区金矿带、金矿床分布与区域磁异常的分布也有上述特点。我国金矿物探工作结果说明，上述特点在某种程度上具有普遍性，而不是个别现象，工作中应予以注意。

3 利用磁测结果寻找和圈定不同类型、不同规模的断裂

规模较大的断裂常常有岩浆活动伴生。在这种情况下，串珠状、雁行排列的线性磁异常，并且断裂带两侧的磁场往往有很大差别。

此外，还有一些断裂带没有岩浆活动伴生。当断裂带发生在磁性岩石中时，由于岩石断裂破碎磁性减弱，故断裂带常常表现为线性磁场低值带或负值带。图 2 是胶东望儿山地区断裂破碎带上的磁测剖面曲线。该图上反映的断裂破碎带上磁异常特点是显而易见的。另外，不少金矿床赋存在断裂破碎带及蚀变带中，其上的磁异常与断裂带上的磁异常

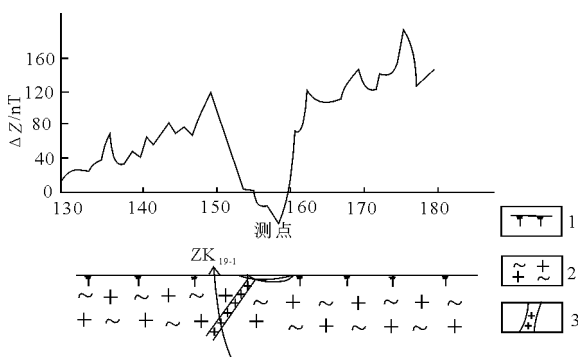


图 2 胶东望儿山地区断裂破碎带上磁测剖面图（引自李宝印）

1—表土；2—花岗岩；3—破碎带

一样，有的为负磁异常，有的为由负磁场到正磁场的过渡。

在金矿区平稳的磁场中出现高值线性异常带常是构造存在的标志。其原因是火成岩脉沿断裂侵入而形成的。

4 在含铁建造中形成某些金矿体或金矿床

这类矿床常含大量磁性矿物，具有不同程度的磁性，甚至磁性很强。通过磁测圈定磁性地质体的位置、范围，达到间接找金矿的目的。图 3 为黑龙江省东风山金矿床上一条磁测剖面曲线。这类金矿床为金-钴型，具有强磁性。金矿体产于前寒武纪变质岩中的含铁石英岩下，矿体呈层状。剖面上出现了很明显的磁异常，其最大值大于 8 000 纳特（nT），根据磁异常分布范围可以准确地圈出磁铁矿层，因此也就间接地圈出了金-钴矿体位置。

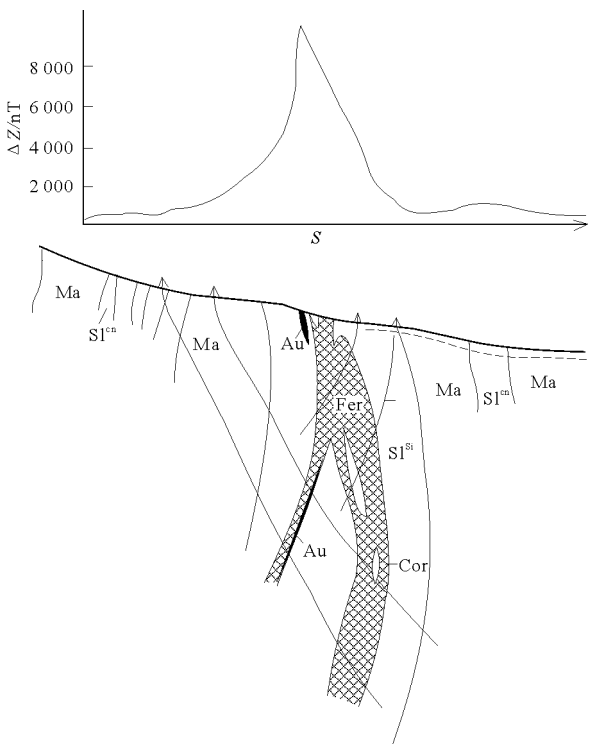


图 3 黑龙江东风山金矿区 20 线综合剖面图（引自冯瑞琦、张金生）

Ma—结晶灰岩；Sl^{cn}—板岩；Sl^{Si}—硅质板岩；Au—金矿体；Cor—钴矿体；Fer—磁铁矿体

5 利用岩体或岩层接触带缩小找金范围

有些金矿床的形成常与某些岩体或岩体与其他岩层的接触带有关，用磁法圈出这些岩体和接触带便能缩小找金的范围。图 4 是青海省门源县松树南

黄金地质研究所
信息室 提供

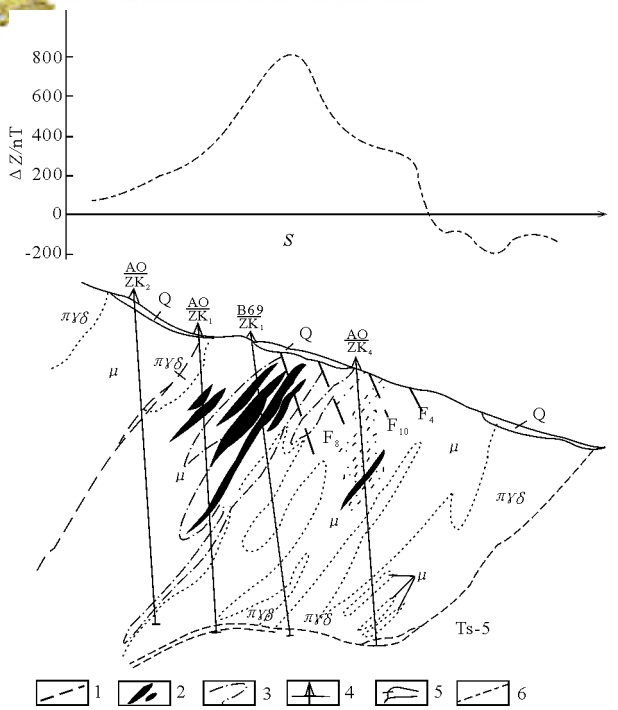


图 4　青海门源松树南沟金矿区 AO勘探线综合剖面图（引自岳友君、陈其栋）

Q—第四系；Ts—5—三叠纪砂岩；μ—细碧岩；$\pi\gamma\delta$—斑状花岗闪长岩；1—断层；2—金矿体［w（Au）＞3×10^{-6}］；3—金矿化体［w(Au)=1×10^{-6}～3×10^{-6}］；4—钻孔；5—坑道；6—磁法△Z曲线

沟金矿区 AO 勘探线综合剖面图。该区出露的岩石大部分不具有磁性或仅为弱磁性。一般在斑状花岗闪长岩与细碧玢岩接触带上磁性较强，连续性好。在金矿体上部和上盘磁性较弱，而在金矿体的下部和下盘磁性增强。在金矿体品位较好的地段磁性强，且连续性好。一般金矿化厚度大，金矿体也比较好。相关分析计算结果表明：磁化强度（J_i）值与金矿体呈正相关。坑道和钻孔原生晕揭示，金与铜呈正相关，铜元素的内带是金矿体的富集地带。而铜元素晕的内带与磁性强且连续的重合地段，是该区找金的显著标志。

此外，金矿床还与某些磁性岩层、岩脉等有关，例如南非兰德金矿床，其金矿体与磁性页岩有关，通过航磁确定磁性页岩位置、走向、产状等，间接找到了韦科姆金矿田。

6　利用伴生磁性矿物找金矿体

伴生金矿床中常含有不少磁性矿物，用磁法可圈定磁性体的位置、范围等，可起到间接找伴生金矿床的目的。

综上所述，在寻找金矿床的过程中，若具有良好的地球物理前提，磁法可以解决与金矿成矿有关的多种地质问题。磁法是金矿物探中的主要方法之一。

摘自《金矿地球物理找矿》

电法勘探在金矿地质工作中的效能

电法勘探是勘探地球物理学中的主要学科之一，简称为电法。电法勘探种类繁多，寻找金矿床常用的有电阻率法、激发极化法、自然电场法、充电法和电磁法等。

1　电阻率法

电阻率法是利用地下岩、矿石电阻率（导电性）的差异，通过观测和研究电场的空间分布规律，进行地质填图、查明地下地质构造和寻找各种有用矿产资源。其实质是通过研究视电阻率（ρ）的空间分布规律，依据视电阻率异常特征判断地下是否存在不同导电性（高阻或低阻）的地质体，进而圈定其范围、走向和埋深。

岩、矿石的电阻率值不是一个固定值，而是在一定范围内变化的。影响岩、矿石电阻率的主要因素 1）岩、矿石的物质成分和结构；2）岩、矿石孔隙度大小或含水分多少；3）岩、矿石所处环境的温度。

电阻率法包括多种变种方法。根据电极排列方式和工作方式可分为中间梯度法（简称中梯）、电剖面法（二极剖面法、三极剖面法、联合剖面法、对称四极法、偶极剖面法）、电测深法等。通常也可将每种方法称为“装置”。图 1 为各种方法装置示意图。

中间梯度法主要用来寻找和追索陡立的高阻岩脉和矿脉，如含金石英脉、伟晶岩脉、滑石菱镁片岩化带等，进行面积性填图工作，查明地质构造等。联合剖面法主要用来寻找和追索良导电陡倾矿脉、断层、破碎带、接触带等。对称四极法主要用来进行地质填图，研究覆盖层下基岩的起伏、地质构造等。电测深法主要用于层状岩层地区，解决比

黄金地质研究所
信息室 提供

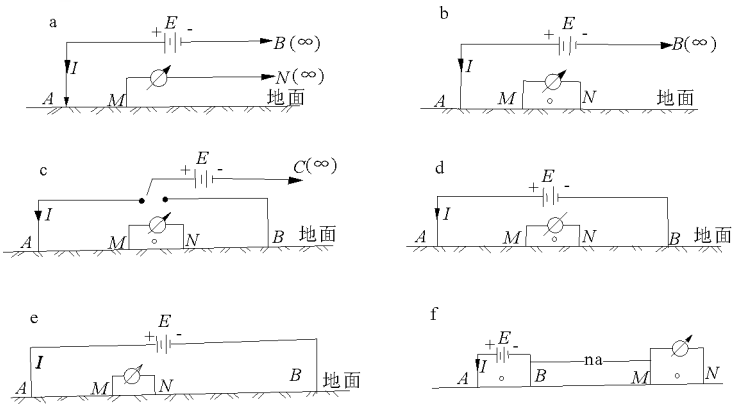


图 1　电阻率法各种装置的示意图

a—二极剖面法；b—三极剖面法；c—联合剖面法；d—对称四极法；e—中间梯度法；f—偶极剖面法

较平缓的不同电阻率地层的分布问题，查明地质构造；解决覆盖层下基岩深度变化、表土厚度等。其他方法在金矿床上应用较少。

中间梯度法，对高阻直立脉状体有明显反映，在脉状体顶端 ρ 出现极大型异常，异常曲线对称，ρ 极大值与直立脉状体顶端在地表投影位置对应。可依 ρ 曲线极大值出现来判断高阻地质体的存在及其导电性；依 ρ 异常极大值位置确定脉状体顶端在地表的投影位置；依 ρ 异常曲线是对称的可判断脉状体的产状是直立的。

中梯装置对低阻直立薄脉状体无明显反映，但是对缓倾或水平良导脉状体、低阻球体和低阻水平圆柱体均有明显反映。

联合剖面法，是由 2 个三极装置 $AMN\infty$，$MNB\infty$所组成，在一条剖面上观测 2 条三极剖面法视电阻率曲线 ρ^A，ρ^B，由 ρ^A 和 ρ^B 组成的异常曲线称为联合剖面曲线。联合剖面法无论在低阻体上还是在高阻体上，由 ρ^A 和 ρ^B 曲线组成的联合剖面 ρ 异常曲线，均大致呈“∞”字形，2 条曲线在不同导电的地质体上出现交点。

1）在低阻矿脉、断层、破碎带、接触带及其他形体的低阻体上，ρ^A，ρ^B 曲线出现正交点，即在交点左边 $\rho^A > \rho^B$，在交点右边 $\rho^A < \rho^B$，一般用符号⊕表示。

2）在高阻矿体（如含金石英脉）、岩脉及其他形体高阻体上，ρ^A，ρ^B 曲线出现反交点，即在交点的左边 $\rho^A < \rho^B$，在交点的右边 $\rho^A > \rho^B$，一般用符号⊖表示。

若脉状体倾斜时，联合剖面法 ρ 曲线变得不对称，在倾斜方向上 ρ 极小值幅值增大，正交点⊕向倾斜方向位移。极距 AO 大者，⊕位移距离也大。可依不同极距的⊕位移方向确定良导板状体的倾斜方向。

对称四极法，可用来研究覆盖层下基岩起伏、地质填图等。如在山东招掖金矿带曾做此项工作，但都是根据联合剖面法 ρ 曲线整理而得。山东物探队整理出焦家断裂上 ρ^{AB} 异常曲线，清楚地反映了焦家断裂带。山东冶金地质勘探公司物探队，在掖县西由地区根据联剖整理出对称四极的视电阻率（ρ^{AB}）曲线，依 ρ^{AB} 平面图圈出了 6 条断裂带和池家岩体等。

电测深法，是在同一测点上逐次扩大电极距（如$\frac{AB}{2}$=3，6，……），使探测深度逐渐加大，以了解观测点处沿垂直方向由浅到深的视电阻率变化情况。电测深法也有不同装置，应用最广的是对称四极测深法。

2　激发极化法

岩、矿石的激发极化特征：1）明显不含浸染状电子导体矿物的岩石，极化率（η）一般为 1%～2%；2）含少量浸染状硫化矿物的岩石（矿化岩石），极化率一般为 2%～5%；3）石墨化岩石及含碳质岩石，极化率变化范围为 1%～15%，个别甚至更大。这类岩石极化率的大小与其含石墨、碳质多少有关；4）含电子导体的浸染状和块状金属矿或多金属矿矿石的极化率最高，一般为 10% 到百分之几十。可见，有工业价值的无论浸染状或块状硫化物的极化率与一般岩石相比有明显的差异。因此，用激发极化法寻找浸染状或块状硫化矿床、圈定硫化物矿化带或富集带等，具有良好的地球物理条件，可取得较好的地质效果。但是，应注意石墨化岩石及碳质岩石的干扰。不过，当金矿床与石

黄金地质研究所
信息室 提供

墨化岩层或碳质岩层有关时，便可充分利用它们的激电特性，以达到间接找金的目的。

激发极化法野外工作所用装置类型、工作方法、测网及比例尺均与电阻率法相同，仅仪器设备、工作方法和观测内容不同而已。测量电极用不极化电极；供电电流较大，一般为1到几安培，故设备笨重，工作效率低，成本高，但有其特有的优越性。

激电法在野外每个观测点上的观测内容及程序：在供电过程中观测一次场电位差（$\triangle U_1$）或总场电位差［$\triangle U$（$\triangle U=\triangle U_1+\triangle U_2$）］和供电电流强度（$I$）；断电后观测二次场电位差（$\triangle U_2$），然后按下面公式计算视极化率和视电阻率

$$\eta^0=\frac{\triangle U_2}{\triangle U_1}\times 100\%\text{，或 }\eta=\frac{\triangle U_2}{\triangle U}\times 100\%\text{，}$$

$$\rho=\mathrm{K}\frac{\triangle U_1}{I}\text{。}$$

在激发极化法中主要观测和研究视极化率参数，同时还可利用视电阻率这一参数。

激发极化法的观测结果可绘成 η 剖面平面图、平面等值线图、剖面图、综合剖面图、激电测深曲线图。这些图件可用于推断解释。

不同形状的极化体上 η 异常分布规律，可通过理论计算和模型实验获得。

中间梯度法：若所寻找的对象的极化率（η）比围岩极化率（η）高时，该地质体就称为高极化体。激发极化法实质上就是寻找高极化体。在中间梯度法中，高极化体上 η 异常均为极大型异常。η 异常形态与高阻直立板状体上的 ρ 异常形态相似，在直立板状体顶端处 η 出现极大值，曲线形状对称。可依 η 极大型异常判断高极化体的存在；依 η 极大值位置确定高极化体顶端的位置；也可用 q 法和 m 法求极化体顶端的埋深（h）；依 η 平面等值线图大致确定脉状体的走向、走向长度等。

在中间梯度法中，对于直立脉状体、水平脉状体、球体、水平圆柱体等，其上 η 异常均为对称形状，而倾斜脉状体上 η 异常曲线是不对称的，倾斜方向上 η 较缓或梯度小，在反倾斜方向 η 较陡或梯度大，可依 η 异常曲线的不对称性大致判断极化体的倾向。但是，由于围岩极化不均匀、局部极化体影响和非简单几何形体缘故，利用 η 曲线的不对称性确定倾向常常是不理想的，甚至相反。

图2为山东招掖金矿带某金矿区金矿体及石英

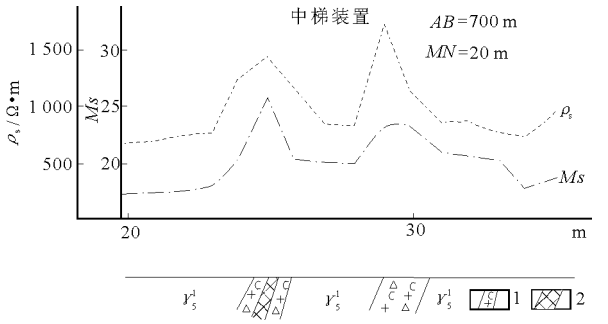


图2 山东招—掖金矿带某矿区含金石英脉断裂带上中梯装置的视充电率和视电阻率异常曲线（引自李宝印）

γ_5^1—花岗岩；1—石英脉及黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩等；2—金矿体［w（Au）$>3\times10^{-6}$］

脉、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩上视充电率（也就是极化率）和视电阻率曲线。

该区断裂带中有黄铁矿化石英脉、黄铁矿化硅化岩、黄铁绢英岩、硅化花岗质碎裂岩、绢英岩化花岗岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩等。在石英脉及蚀变岩上中梯装置 ρ 曲线呈观出极明显的2个极大型异常，反映了它们的高阻特征。由于在石英脉及蚀变岩中含有较多的硫化物，具有较强的极化特性，故而激发极化法在其上也获得了2个极大型 M_S 异常，说明它们都是高极化体。ρ 与 M_s 异常形态相似、极大值位置吻合，说明二者反映的是同一地质体的2种物理特性。

联合剖面法：在任何形态的高极化体上联合剖面装置小异常均为“∞”形，其交点与同形状高阻体上视电阻率联剖交点性质相同，即高极化体上联剖装置 η 曲线为反交点⊖。

激发极化法不仅可以研究视极化率参数，而且也可以研究视电阻率参数。根据视极化率 η 和视电阻率 ρ 参数，将极化体分为以下几类（表1）。

激电测深法：一般使用对称四极测深装置，激电测深法虽然也可以用于水平地层地区，但多用于有限极化体上（金属矿区）确定其顶端埋深。在有限极化体上，激电测深法的 η 异常曲线与电阻率法测深中的G型曲线形态相似，可直接利用 η 测

表1 极化体分类

极化体名称	中梯装置		联剖装置		地质体举例
	ρ_s	η_s	ρ_s	η_s	
低阻高极化体	∨	∨	⊕	⊖	断层中含金硫化物矿化带，含金块状，矿床
高阻高极化体	∨	∨	—	⊖	富硫化物含金石英脉
高阻低极化体	∨	—	⊖	—	贫硫化物含金石英脉
低阻低极化体	∨	—	⊕	—	不含硫化物的断层

∨—极小值；∨—极大值；⊕—正交点；⊖—反交点

黄金地质研究所
信息室 提供

深曲线明显增大的转折点求极化体顶端埋深。对于脉状体而言，转折点坐标即为脉状体顶端埋深。利用这种方法所求得的埋深只能是粗略的，属于半定量解释。

3 自然电场法

自然电场法是电法勘探中应用最早的方法之一。在寻找金矿床中该方法也得到了一定应用。

当地下有一电子导电的致密的含金硫化矿体存在，并被地下潜水面横切时，矿体处于 2 种不同的电化学环境：潜水面上部的矿体处于氧化环境，潜水面下部的矿体处于还原环境。矿体在长期的氧化-还原作用下，在其上下两端矿体与溶液界面上形成不均匀的双电层，不均匀的双电层通过周围围岩和矿体本身进行放电，形成电流场，此电流称为自然电流，由自然电流产生的电场称为自然电场。人们通过观测和研究自然电场的空间分布规律、解决与金矿成矿有关的地质问题及其他地质问题的方法，称为自然电场法。

自然电场法野外工作中主要是测量自然电位（测量电极为不极化电极），装置示意图见图 3。M 极沿测线逐点移动进行电位测量，由于矿体上端为负电荷，故在矿体上方所测得的自然电位为负值，在矿体顶部电位曲线出现极小值（图 3）。可依电位极小值来判断矿体的存在和顶端位置。一般可将自然电位观测结果绘制成剖面平面图和平面等值线图。

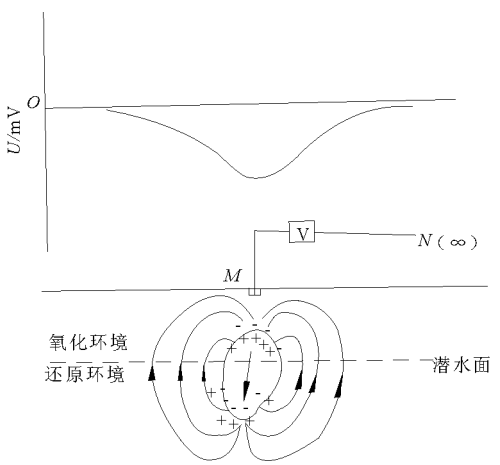


图 3 自然电场法原理示意图

自然电场法在金矿地质工作中的效能：1）寻找和圈定含金硫化矿床，确定其位置、范围、规模及大致埋深。2）圈定与金矿成矿有空间关系的某些石墨化岩层和碳质沉积岩层的位置、范围等。这类异常一般特点：异常幅值大，变化明显，范围宽，走向长，异常走向与引起自电异常的地层走向一致。3）根据前苏联学者对某金矿区的研究，石墨化的岩石和围岩接触就形成天然源电池，其电动势大小主要取决于这些岩石氧化还原电位值的差别。金矿矿床石墨化经过 2 个阶段，在成矿早期石墨化作用与挤压带形成时出现的动力变质作用有关；第二阶段，石墨化更均，并伴随有成矿前动力和热液变质作用。于是，在成矿作用前，就形成了天然源电池，在这种电池产生的自然电流的作用下，金从热液中沉淀下来。

前苏联有许多研究者认为，在岩石矿液系统中，石墨和电化学活动对金的沉淀起着重要作用（H. F. 秋林）。可是也有不少研究者（B. H. 索洛金、B. C. 什布赫和 B. Д. 鲍尔佐夫）认为，无论石墨含量多少，都不存在金和石墨之间的相关性。不过，赋存于石墨化岩层中的金矿床表明：影响金的沉淀不是石墨化岩石，而是电流。后者是电源产生的，电源的组成部分就是含石墨的岩石。

在普查金矿床时，在 1∶5 万区域调查阶段，所使用的综合物探方法中就应包括自然电场法，以便划分出金矿沉淀有利地段。自电异常的边部将与这一地段有关。根据钻孔资料评价远景地段时，在钻孔调查综合方法中，也应包括自然电位法。因为金矿赋存于正负偶极子过渡区，稍高于 0 值等值线一边，因此用自然电场法获得的井中观测资料能校正钻孔深度，并查明金矿沉淀的有利地段。

自然电场法轻便、快速、经济也是一个优点。但是在推断解释中要注意区分干扰因素。

4 充电法

充电法是在金属矿详查和勘探阶段以及在水文地质、工程地质中应用较多的一种人工直流电法。本法主要研究对象是相对围岩为良导体或导电性较好的地质体或矿体。

充电法的工作原理如图 4 所示。在天然的或人工的露头——探槽、浅井、钻孔、坑道等工程揭露的良导性金属矿体露头上，接上一个供电电极（例如 *A* 极），接供电电极处称为充电点，将另一个供电电极 B 安置在离矿体足够远的地方，称为无穷远极，用符号∞表示。接通供电电源后，电流经矿体流入围岩，在矿体周围空间形成人工电场。人们可通过在地表测量电极 *M*，*N*间电场或*M* 点的电

黄金地质研究所
信息室 提供

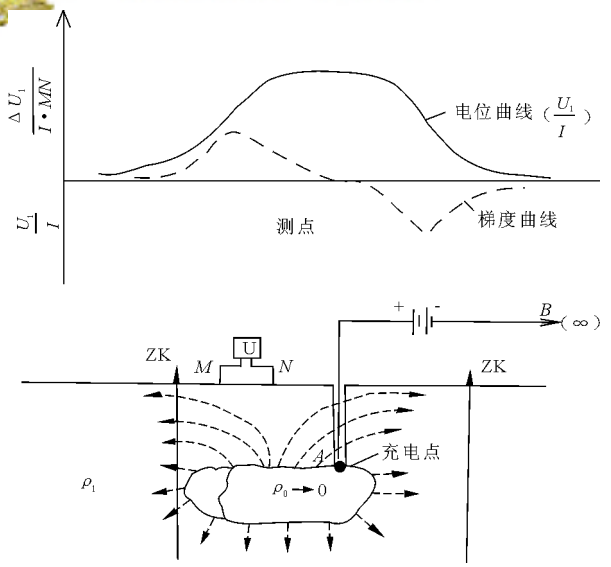


图 4　充电法工作原理示意图

位，并研究其空间分布特征，解决有关的地质问题。

充电法应用的条件：1）矿体至少有一小部分出露地表或存在被人工揭露的露头，以便在那里对矿体进行充电。2）矿体必须是良导电体。3）矿体有一定的规模和延伸，且埋深不能太大。当矿体有一定的规模，延伸较大时充电法的地质效果较好。当矿体延伸长度小于其上顶埋深时，其在地表的充电电场与点电源场相近，因而不能利用充电资料推断矿体的形状和产状。

充电法野外工作方法分为电位法和梯度法 2 种。梯度测量装置示于图 4；电位测量时只要 N 极放到无穷远处即可。充电法观测结果可绘成电位剖面平面图、电位等值线图；电位梯度剖面平面图及精测剖面图。充电法在金矿地质工作中的效能：1）圈定含金体的范围；确定含金体的产状及埋藏深度。2）解决几个已知含金体间是否相连、如何连接问题。实质上就是确定含金体的空间形态及相互关系。

3）寻找已知含金体附近或近旁隐伏的含金体。

摘自《金矿地球物理找矿》

地震勘探在金矿地质工作中的效能

地震勘探主要是以人工方式（例如炸药爆炸、机械震动等）在地下岩石中产生一弹性波，通过研究该弹性波遇到不同深度、不同的岩性界面时的反射和折射规律、特点以及在不同介质中的传播速度，查明地下的地质构造、解决工程地质问题及其他地质问题。地震勘探也可用于寻找金矿床，目前主要应用浅层地震法，配合地质、化探和钻探方法解决寻找砂金矿床中的有关地质问题，在寻找内生金矿床中很少应用。

1）利用浅层地震折射法查明基岩或河底槽、古河床底部基岩的起伏、形态，进而了解含金砂体的可能范围、厚度及规模。尽管电阻率测深法、激电测深法、磁法和重力法也能解决上述问题，但其精度均低于浅层地震法，后者结果与钻探结果十分接近。应用浅层地震法后可以减少钻探工作量，例如，美国加利福尼亚州拜哲山的砂金矿，由于使用了浅层地震等综合物探方法，节约钻探工作量约 40%。

2）利用浅层地震法了解基岩的岩性及地质构造，研究它们是否有利于砂金矿的富集。

3）利用深地震测深所确定的莫霍面深度、变化特点、地壳厚度及深部地质构造进行内生金矿床成矿预测。地震勘探方法解决上述问题比其他任何一种物探方法（如重力、磁法）的精度都高。但是，由于深地震测深成本高及其他条件限制，只能在局部地区进行，更不可能为了寻找金矿床而进行深地震测深。所以区域性或全国性的莫霍面深度、变化情况、地壳厚度主要依靠重力测量结果。

摘自《金矿地球物理找矿》

核物探方法在金矿地质工作中的效能

1　分支方法简介

放射性找金矿的分支方法主要有航空 γ 或地面 γ 能谱测量、氡气测量、X 荧光测量和放射性测井，它们都是间接找金的方法。近年又提出了一种新方法——激光荧光法。

1）γ 能谱测量，该方法是通过研究地表岩石、土壤中总量 γ 强度 Σ，U，Th，K 含量和 U/Th，

黄金地质研究所
信息室 提供

U/K，Th/K等参数与金矿化的相互关系，达到间接找矿的目的。由于该方法可利用的有用信息较多，因此找矿效果较明显。航空γ能谱测量，国内外已进行了较多的研究，获得了许多找金的成功经验，前苏联在这方面的工作尤为突出。成都地质学院（现成都理工大学）利用自己研制的微机化四道γ能谱仪在一些金矿区进行了试验，首次获得成功。该仪器可在现场直接给出7个参数的7条测量曲线。

2）氡气测量，该方法是测量地表土壤中放射性气态元素Ra的浓度，发现Ra的异常，提供控矿构造位置。常用的方法主要有α卡法和α杯法。它们具有灵敏度高、使用方便、相对其他放射性方法探测深度大等优点，适用于浮土覆盖较厚的地区，对于发观控矿构造产生的微弱放射性异常非常有利。在不同类型金矿床的试验中，氡气测量都取得了较好的地质效果。例如，四川省物探队曾在某金矿区进行了α卡法试验，该队在化探的金异常带上布置了5条剖面，所圈出的α异常与化探的金异常范围大体一致。后经山地工程验证后，肯定了该方法的有效性。

3）X荧光测量，该方法是通过测量金的伴生元素砷等圈定成矿远景区。国内外在这方面已经做了许多研究工作，我国已有一些单位开展了X荧光野外测量工作，取得了一定的地质效果。

4）放射性测井，核物探方法不仅可以在空中、地面上进行测量，而且也可以在井中进行测量，即放射性测井。它的分支方法主要有γ能谱测井、中子γ能谱测井、中子-中子测井、中子活化测井、γ-γ测井、X荧光测井等。通过核物探测井可以解决与金矿成矿有关的一些间接性的地质任务，如划分钻井剖面、圈定围岩蚀变带，根据金与某些伴生元素之间的关系估计金的含量。

2 特点及效能

核物探方法的特点：简单、轻便、成本低、效率高，受地形、地物影响小，可以提供与金矿成矿有关的多种信息。综合分析和利用各种参数，特别是比值参数，可以减少干扰，突出有意义的异常，提高该方法的地质效果。核物探方法虽具有上述优点，但是，它只是物探方法中的一种分支方法，同样具有局限性，工作时也必须与其他物探方法、化探紧密配合，扬长避短，结合具体的地质情况，综合分析各种方法的成果，以便客观地反映所研究的地质对象。

在寻找金矿床工作中，核物探方法可以解决以下几方面的地质问题。

1）利用核物探可以寻找和圈定与金矿成矿有关的断裂破碎带及岩体。

2）普查和圈定金矿成矿的远景地段。在完成这一任务时，除了利用航空γ能谱测量之外，还可以应用地面γ能谱测量和X荧光分析方法来确定金的伴生元素。

前苏联曾在3个成矿远景区进行了1∶2.5万和1∶1万的航空γ能谱测量，发现了数十个金矿点。例如，在西西伯利亚地区用航空γ能谱测量，圈定了古元古界片岩中花岗岩外接触带的金矿脉和网状脉；在天山地区的火山岩型金-银矿床上进行了航磁和航空γ能谱综合测量，通过航磁圈出了喷出岩充填的拗陷构造（反映为磁力低），利用航空γ能谱资料编制了钾的优势性函数图，反映了热液交代带的位置。

X荧光法在金矿普查中的应用主要是分析研究与金矿伴生的元素砷，锑、银、亲铜元素的总量。例如，在中亚的一个金-银矿上，用10 m×100 m～20 m×100 m的网度作X荧光测量，在15～25 cm的小坑内测As，Sb，Ag的含量，矿床的范围用0.005%以上的砷量圈定，取得了较好的地质效果。

3）利用核物探方法可以寻找和圈定与金矿成矿有关的钾化带和蚀变带。由冰长石化、绢云母比和水云母化的交代作用使钾的含量增加，这些矿化与金的成矿有关，所以可以通过圈定钾化带间接圈定矿化带。钾化带还是含金石英脉的主要找矿标志之一。可用γ能谱测量圈定钾化带，进而确定含金石英脉。钾化带往往发育在石英脉的两侧，其范围比石英脉宽，在山东胶东地区就是这种情况。

4）利用放射性测井划分钻井剖面，圈定和评价矿段。

前苏联在不同地区、不同类型金矿床上应用了多种核物探测并方法，例如，在外贝加尔东部的金-石英-电气石-硫化矿床上应用了5种核物探测井方法，因为矿石中含有硼，所以根据中子-中子测井能清晰地圈出矿带。在绝大多数情况下，高含量的金都对应有中子-中子测井异常（＜0.4相对单位），而高值异常则对应石英脉和硅化带。中子γ能谱测井根据Fe的含量划分钻井剖面，圈定矿体的可靠性比中子-中子法还要高。

根据^{24}Na中子活化法可以圈出围岩蚀变（以

黄金地质研究所
信息室 提供

Na的带出为特点），在个别情况下也能圈定矿体。该方法的严重缺点是生产效率太低（一个点的活化时间1小时，冷却时间10～15小时，测量时间10～30分钟）。

γ能谱测井用ССГСЛ-2型仪器，测量^{40}K，可依据其正异常划分矿带。

测一次散射的γ-γ测井，根据ZЭфф（有效原子序数）划分剖面是很有效的，缺点是对井壁不平很敏感。

在哈萨克斯坦的金矿床上，还用γ测井划分含金石英脉和硅化带，评价带入的SiO_2的含量。

当用通常的电测井和放射性测井都无效时，可用X荧光法测量一系列样品的能谱，查明金与伴生元素之间的相关关系，然后，根据伴生元素异常划分含金剖面。例如，前苏联乌兹别克西部某金矿区就是典型例子。该区通过X荧光法，查明了Au与As之间的正相关关系最为直接和明显，其次是Au-Sb，Pb，而Au和Fe，Sr，Ba之间有不太明显的反相关关系。在西乌兹别克的大多数金矿上，As含量的偏离（＞0.1%～0.2%）都伴随有值得注意的金的富集。根据这一关系，用X荧光法测量As，依As含量能明显划分矿段，依As异常幅度和金含量间的正相关关系，可大致估计金的含量。在卡尔巴地区的金矿床上，也是以Au和As的关系为基础，进行了X荧光测井，测量2个能量范围：砷的特征K_α线（10.5 keV）和井壁的散射射线（20.5 keV），根据谱线比值异常划分矿段和评价金的含量。已经发观，在巴基尔契克金矿上，X荧光测井能可靠地划分出金含量大于2×10^{-6}的矿段。谱线比值与金含量的相关系数为0.9，说明了该方法的可靠性。

这里还要指出，由于航空γ能谱方法效率高，仪器和方法都比较成熟，所以在普查金矿带、矿区和矿床，特别是在寻找火山岩型近地表金矿床时，得到了广泛应用，取得了较好的效果。但是，对于其他类型的金矿床，金与放射性元素之间的关系比较复杂，作为普查的标志，不是利用含量及其比值，而是利用含量的变化程度，矿带对应于含量变化最大的地方。

5）利用核物探方法进行地质填图。

6）核物探方法在分析金矿样品方面也得到了广泛应用。

摘自《金矿地球物理找矿》

黑龙江团结沟金矿电法找矿效果

1 矿区地球物理特征

矿区金矿石中，特别是爆破角砾岩带含金黄铁矿型金矿石中，金与黄铁矿化关系密切，并伴有白铁矿、方铅矿、辉铋矿等金属硫化物，总含量在8%～15%以上。这种爆破角砾岩带富含黄铁矿，金矿石η值普遍超过15%，为矿区激电异常的主要激发体。其他主要岩石的极化率差别较大，并具有明显的各向异性。长石石英片岩局部黄铁矿化和石墨化强烈的地段，岩石极化率（η）值达百分之几十，为矿区产生激电异常的主要干扰体（表1）。

矿区地形平缓，沟谷开阔，沼泽遍布，潜水面高，矿体多在潜水面以下，处于还原水溶液环境中。矿区主要金矿富集部位，角砾岩中最大的1号矿体，部分出露地表，潜水面切过矿体，具有较好的氧化还原条件，可产生较好的自电异常。

另外，矿区内各种岩矿石磁性较弱，差异不大，磁法难于在直接或间接找矿中发挥作用。而矿区覆盖层较厚（一般为0～5 m），土壤A，B，C层发育齐全，采取次生晕法配合找矿效果是显著的，光谱分析结果表明，金矿中金、砷、锑、银等元素密切共生，常呈综合异常出现，可为次生晕找矿的指示元素。

表1 团结沟矿区岩矿物性特征

岩、矿石名称	块数	极化率（η）/%		备 注
		变化范围	平均值	
金矿石	7	26～41	30.8	富含黄铁矿
	7	10.2～23.2	16.1	
花岗斑岩	21	1.2～4.7	2.9	
长石石英片岩		2～12	5.4	垂直层理
	22	2～34	9.4	顺层理
	3	24.6～96.4	41	黄铁矿化石墨化
凝灰岩	27	0.2～2.6	0.8	
凝灰角砾岩	17	0.6～9.6	3.3	

2 自然电流法找矿效果

在团结沟金矿区综合找矿勘探中，自然电流法对主矿体——1号矿体的发现及查明其规模起了重

黄金地质研究所
信息室 提供

要作用，取得了良好找矿效果。

矿区内仅发现自电异常 1 处、异常长 300 m，宽 150 m，形态呈近 EW 椭圆状。在剖面图上，异常不圆滑、水平梯度较大，异常值在－20～－100 毫伏变化，最大值达－174 毫伏。其产出部位、延展方向、轮廓形态均同激电异常，Au，As，Sb 次生晕异常相吻合。

地表及钻孔地质资料表明，该自电异常对应于包括 1 号矿的 1 号金矿带。1 号金矿带处于不整合面构造破碎带内，花岗斑岩头部爆破角砾岩带发育部位。而爆破角砾岩带具有以玉髓状石英为主的普遍而强烈的硅化和含金的以脉状、网脉状大量产出的黄铁矿化。因此，自电异常确切地反映了构造破碎带内爆破角砾岩带中黄铁矿为主的金属硫化物富集地段，也就是直接反映了矿区发育最好的金矿主矿体——1 号矿体的存在。自电异常反映的金矿主矿体为一个庞大而近于平卧、向 W 侧伏的金属硫化物地质体，在其潜水面以上金矿体出露部分，自电异常呈幅值很大的负异常，在其他较大范围普遍表现为稳定的自电正电场。

矿区其他地段均未见自电异常，其原因：1）在长石石英结晶片岩中，黄铁矿化相对减弱，含金硫化矿物或石墨化以浸染状、小脉状产于片理中，规模小，不连续，难于构成电性连续的电子导体。2）矿区普遍处于沼泽地带，潜水面高，金属硫化物地质体位于潜水面之下还原环境中，不能产生自电异常。

3 激发极化法的找矿效果

在团结沟金矿区，采取激发极化法中梯装置配合综合找矿，缩小了矿区找矿范围，并在主矿体所在的破碎角砾岩金矿带内，取得较好的直接找矿效果。

矿区有 3 个激电异常带。Ⅰ号异常带：呈近 EW 向，规则椭圆状。η 值为 8% 的等值线长达 600 m。异常曲线宽缓而两侧不对称，北东侧有不明显极小值。异常幅值 η＞10%。该异常带同自电、次生晕异常相吻合。

Ⅰ号激电异常带反映了矿区金矿主矿体及其所在的破碎角砾岩金矿带的膨胀部位。

不整合构造带内强烈破碎的花岗斑岩，普遍遭受强烈角砾岩化，硅化和黄铁矿化，成为包含有巨大金矿主矿体的金属硫化物富集地段，其极化率普遍为百分之几十，足以产生此激电异常。激电异常与自电异常为同一金矿主矿体、金属硫化物地质体所产生，而前者范围远超越后者的范围和金矿主矿体地表出露的范围，因此利用Ⅰ号激电异常在平面图和剖面图上的特征，比自电异常更能全面、更直接的反映出金矿主矿体的形态和规模。即主矿体出露部分的两端，尚有很大延续，以盲矿体的形式侧伏于第四系和白垩纪凝灰岩之下，同时主矿体还具有向 NE 缓倾、延深不大的特点。Ⅰ号激电异常在金矿主矿体西侧盲矿勘探中起到了重要作用并得到大量钻探资料的证实。

Ⅱ，Ⅲ号异常带：位于矿区内Ⅰ号异常带以南，呈近 EW 向宽阔椭圆状平行出现。按 η 值为 3% 的等值线圈定的范围，Ⅱ号异常带长度大于 800 m，异常最大值为 10.6%，异常东端见有金矿小细脉；Ⅲ号异常带长度大于 1 000 m，异常最大值为 11.6%，该异常带见有几条绢云母化蚀变带。

Ⅱ，Ⅲ号异常带出现在矿区长石石英片岩分布区，沿片理有黄铁矿化、石墨化的长石石英片岩具有很高的极化率。长石石英片岩中各处还有不同程度的石墨化、故可认为Ⅱ、Ⅲ号激电异常为长石石英片岩中黄铁矿化与石墨化两者综合引起的非矿异常。

在以上 3 处异常的西侧，激电异常（η）值由 8% 迅速降到 4% 以下，在平面图上形成一条明显的弧型曲线，大致反映了元古宙长石石英片岩同白垩纪凝灰岩不整合面的位置。

在矿区西部凝灰岩以下，经钻探发现有金矿盲矿体，而没有测得激电异常。由于盲矿体上部覆盖有厚度较大（大于 60 m）的低阻凝灰岩和沼泽、供电电流小（小于 3 安培）和供电极 1～600 m 太小等原因。

4 结 论

1）在中小比例尺地质测量和分散流工作的基础上，采取自然电流法、激发极化法等电法手段密切配合其他地质物化探方法综合找矿，于前寒武纪变质岩分布区发现并评价了团结沟特大斑岩型金矿床。特别是在矿区Ⅰ号金矿带和占矿区总储量一半以上的Ⅰ号矿体的找矿勘探中，以上方法的使用是恰当的，地质效果是显著的。

2）矿区范围仅取得自电异常 3 处。自然电流法对确定 1 号矿体潜水面以上部分的分布范围，起到了明显的直接找矿作用。异常也反映了Ⅰ号矿体附近其他的浅部矿体。

黄金地质研究所
信息室 提供

3）矿区范围共发现激电异常带 3 处，为含金黄铁矿等金属硫化物或者黄铁矿化、石墨化引起。在综合找矿中，利用激电异常可以确定黄铁矿富集地段和不整合面界线，从而缩小了找矿范围，起到了间接找矿作用。而Ⅰ号激电异常带比自电异常分布范围大，对发现Ⅰ号矿体西部沟谷冲积层下的隐伏部分，起到了良好的直接找矿作用。

自然电流法、激发极化法配合其他地质、物化探方法对分析判断Ⅰ号矿体及其所在Ⅰ号矿带的规模形态能起到较好的作用。

摘自《金属矿电法找矿实例汇编》

内蒙古红花沟金矿电法找矿效果

1 地质概况及地球物理特征

1.1 地质概况

红花沟金矿位于内蒙台背斜，云雾山隆起的东北端，已知各金矿（点）多产于太古宙变质岩中，这些岩石在混合岩化过程中形成以顺层混合为主的各种混合岩和混合花岗岩。含金石英脉的近矿围岩主要为中度混合岩化的斜长角闪岩及混合花岗岩等。围岩蚀变以绢云母化为主，硅化，黄铁矿化次之，碳酸盐化仅属局部，蚀变强度由矿化带的中部向两侧逐渐减弱，强烈绢云母化、片理化，硅化带位于石英脉两盘或蚀变带的中心部位。矿床成因类型属中—低温热液裂隙充填矿床。矿脉严格受压扭性断裂控制，而成矿裂隙与区内带状分布的混合花岗岩关系密切，混合岩化地段代表着岩石的脆弱带或规模较大的断裂破碎带。石英脉一般长几十 m～几百 m，宽 0.2～3 m，在矿化带内较为连续，有时沿走向与蚀变带连接呈尖灭再现，分支复合现象。矿脉走向为 NNE，NNW，NW 和近 SN。

1.2 地球物理特征

区内出露的岩矿石标本用 IPR—8 型仪器测定了电阻率和不同衰减时间的充电率值（表 1）。

表 1 红花沟矿区电阻率及充电率

岩矿石名称	ρ/Ω·m	充电率/%					
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
含金石英脉	22 916	17.10	10.0	6.4	4.73	3.73	2.76
混合花岗岩	3 154	4.59	1.88	1.38	1.11	0.97	0.89
斜长角闪岩	7 229	8.6	2.88	1.55	0.99	0.83	0.75
闪长玢岩	2 690	5.02	2.0	1.57	1.00	0.80	0.57
斜长角闪片麻岩	1 410	3.34	1.57	1.21	0.96	0.84	0.75

由表 1 可知 1）含金石英脉 ρ 值为区内最大，充电率（M）也比其他岩石高。2）区内出露矿脉的近矿围岩，尤其是混合岩化斜长角闪岩有较高的电阻率和充电率。3）区内大面积出露的斜长角闪片麻岩电阻率和充电率相对较低。4）区内不同岩矿石的 M 衰减曲线特征不同，含金石英脉在不同衰减时间的 M 比其他岩石高 3～5 倍。

2 地质效果

图 1 是已知 1 号含金石英脉用不同电极距进行激电试验的成果，ρ 背景值在 400 Ω·m 左右，异常极大值 1 000 Ω·m 以上，峰值尖锐，梯度较

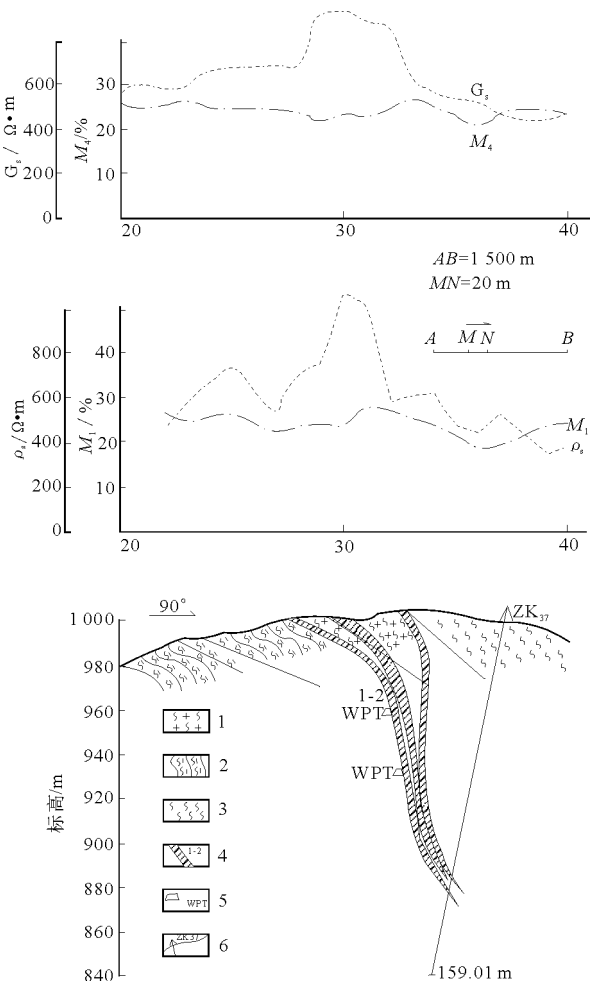


图 1 Ⅱ号试验剖面图

1—混合花岗岩；2—斜长角闪片麻岩；3—混合岩；4—矿体及编号；5—坑道；6—钻孔及编号

黄金地质研究所
信息室 提供

陡，曲线对称，反映了薄层、陡立、埋深浅的矿脉特征。视充电率 M_1，M_4 都有不太明显的异常。

全区共发现电阻率异常 21 处，激电异常 12 处。依据本区含金石英脉的成矿控制因素、岩矿石的物性参数和电阻率、激电异常的组合特征，异常形态、规模、走向等因素将本区电阻率、激电异常划分成 4 类：1）与已知含金石英脉有关的异常带；2）推断由含金石英脉围岩蚀变带引起的异常；3）与高阻岩脉有关的异常；4）与区内雨裂沟谷有关的异常。

与已知含金石英脉有关的异常和推断由含金石英脉蚀变带引起的异常特征：激电异常（特别是 M_4 异常）与电阻率异常吻合，异常走向为 NNW，NNE 或近 SN，与本区成矿构造带方向一致，异常曲线圆滑，形态为带状。由于本区矿脉受构造控制，而成矿裂隙与区内带状分布的混合岩化关系密切，强烈的混合岩化地段代表着岩石脆弱带或规模较大的断裂破碎带。含金石英脉的近矿围岩以斜长角闪岩和混合花岗岩为主，蚀变现象主要为绢云母化、硅化和黄铁矿体，故推断本区高阻、高极化异常实质是反映蚀变较强的带状分布的斜长角闪岩和混合花岗岩带。如 D_z6—1 激电与 DJ5—1 电阻率吻合，异常长 350 m，宽 80 m。带状走向 SN，地表黄土覆盖。经Ⅳ剖面 ZK_3 孔验证（图 2），钻孔从 22.60 m 开始见蚀变混合花岗岩，并在 61.96～88.40 m 混合花岗岩中见 7 层，品位分别为 1.64×10^{-6}，0.45×10^{-6}，1.5×10^{-6}，1.55×10^{-6}，0.3×10^{-6}，0.3×10^{-6}，6.64×10^{-6} 的含金石英脉。

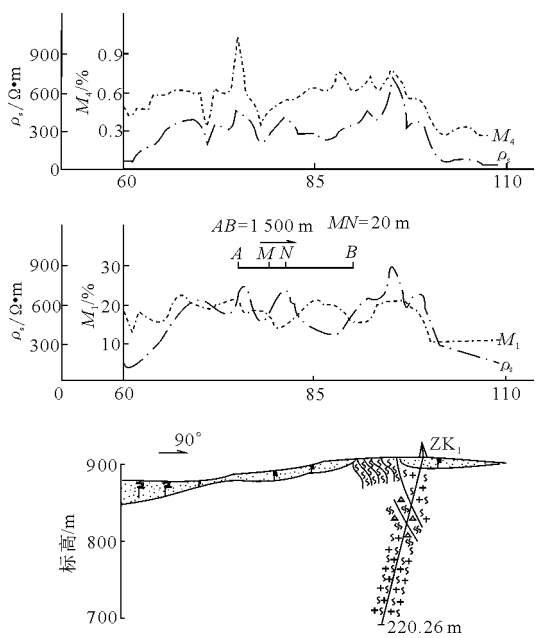


图 2 Ⅳ号综合剖面图

又如 D_z9—2 激电、电阻率吻合异常，异常长 700 m，宽 100 m，ρ_s＝2 563 Ω·m，形态带状，走向从南向北由 NE 转 NW，北侧异常未封闭，异常区第四纪黄土覆盖，推断该异常可能为与石英脉有关的蚀变近矿围岩斜长角闪岩引起。经Ⅵ剖面 ZK_{12} 孔验证（图 3）在 23～45 m，66.10～73.00 m，96.90～106.95 m，151.23～205.5 m 等处见混合质斜长角闪岩，并见到六层含黄铁矿化石英脉，其中 199.50 m 处的石英脉含金品位 2.78×10^{-6}。

$D_{z_{10}}$ 电阻率异常，该异常位于测区的西部，800 Ω·m 等值线圈定，长 350 m，宽 50 m，ρ_{max}＝1 302 Ω·m 走向近 SN，与激电异常 DJ_8 部分吻合。异常区有第四纪覆盖，经 ZK_{23} 孔验证，25 m 开始见黑云母斜长混合岩、混合花岗岩和斜长角闪岩，并在 31.40～31.70 m 和 86.30～86.50 m 见含金黄铁矿石英脉品位分别为 21.18×10^{-6}，40.58×10^{-6}。

3 几点体会

红花沟金矿区投入大功率激电找矿的时间较短，对异常的认识仍处在摸索过程中。

1）红花沟金矿区地表 80% 覆盖，黄土厚 20～30 m，因此开展地表地质工作困难很大，而利用大功率激电及电阻率异常圈定含矿蚀变带，以及在有利条件下进行直接找矿，方法是可行的。

2）该区矿脉严格受构造和岩性控制，矿脉走向为 NNW，NNE 和 SN 向 3 组，如激电、电阻率异常为拉长形带状，走向与上述矿脉走向一致，可能为含矿蚀变带引起，含金石英脉就有可能赋存在其中。

3）含金石英脉及含金蚀变带具有高电阻率及高充电率的特性，如果利用激电率 $G_s=M_s\times\rho$ 对资料加以整理，将能更明显地突出与矿有关的有望异常。

4）含金石英脉的充电率衰减时间较慢，利用不同时间观测充电率，可以区分矿与非矿异常。

黄金地质研究所
信息室 提供

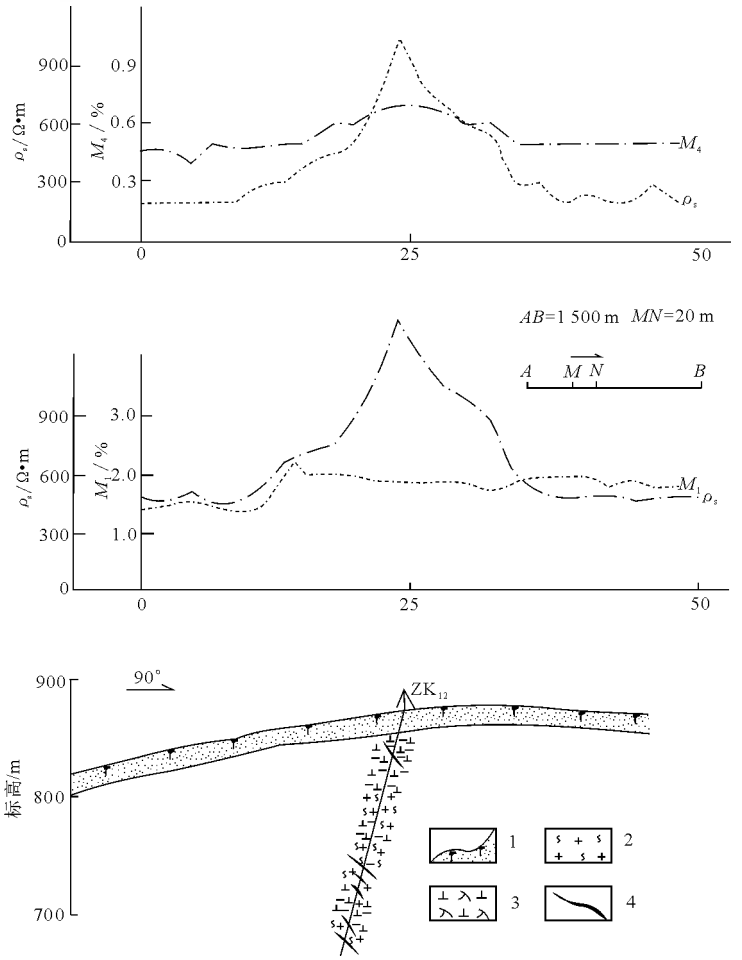


图 3　Ⅵ号综合剖面图

1—第四系；2—混合花岗岩；3—闪长玢岩；4—含金黄铁矿石英脉

摘自《金属矿电法找矿实例汇编》

浙江璜山金矿电法工作结果

1　地质概况

矿区处于钱塘江复向斜与华夏古陆交接处的北东段，NE 向的江（山）—绍（兴）深大断裂和丽（水）—宁（波）深大断裂间的龙泉—上于隆起的北东段北侧，紧靠江—绍深大断裂的次级灵坑尖—大林断裂与兰田—佐溪断裂之间。

区内主要出露上侏罗统诸暨组凝灰岩，分布于矿区的北西侧，前震旦系双溪坞群片麻岩，分布于矿区南东侧；雪峰期混合石英闪长岩为矿体围岩，此外，酸—基性岩脉在矿区内零星分布。

璜山—巢勾山断裂为控矿构造。产状变化较大，呈舒缓波状弯曲，总体走向 65°，倾向 SE，属张扭性断裂。构造挤压破碎带沿走向和倾向膨、缩较频繁，厚度 1.1～6.78 m，平均 3.73 m；挤压破碎带中有碎裂状石英岩，由石英、少量绢云母，微量绿泥石组成。含黄铁矿、自然金、局部见少量黄铜矿、方铅矿，向深部石英脉中黄铜矿含量有增多趋势。

矿体呈脉状、金属矿物主要有自然金、黄铁矿、黄铜矿及方铅矿。非金属矿物以石英、绢云母为主。围岩蚀变有硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化及碳酸盐化等。

2　地球物理特征

1）矿体（石英脉）的电阻率最高达 7.8×10^3 Ω·m，平均 $\bar{\rho}=3.5\times10^3$ Ω·m。

黄金地质研究所
信息室 提供

2）新鲜混合石英闪长岩的电阻率最高达 $6.2\times10^{3}\ \Omega\cdot m$，平均 $\bar{\rho}=2.3\times10^{3}\ \Omega\cdot m$。混合石英闪长岩风化层，平均 $\bar{\rho}=3\times10^{2}\ \Omega\cdot m$。

3）构造挤压带（包括破碎带）电阻率最高达 $1.3\times10^{3}\ \Omega\cdot m$，平均 $\bar{\rho}=8\times10^{2}\ \Omega\cdot m$。

4）ZK 161 钻孔内块状富黄铁矿的电阻率显著下降，平均 $\bar{\rho}=2.3\times10^{-1}\ \Omega\cdot m$，而极化率最高达 43.0%。

矿区岩性出露比较简单，从对上述岩矿进行露头及标本测定的结果看，矿体（石英脉）与围岩（混合石英闪长岩）有一定的电性差异，当围岩经挤压破碎后，电阻率将显著下降，差异更为明显。

出露地表的混合石英闪长岩经风化后，电阻率也将明显降低，且风化的垂向深度较大，与抗风化的石英脉形成显著的电性差异，使石英脉出现明显的视电阻率异常。但新鲜的混合石英闪长岩与石英脉的电性差异不十分明显，石英脉的异常也不突出。

矿区内岩石极化率一般较低，在 2.0% 左右，极化率较高的，一般均与黄铁矿化等硫化物的分布与富集有关。

3 异常特征及初步分析

3.1 已知含金石英脉构造带上的异常

1）中梯装置：$AB=600$ m，$MN=20$ m，点距=10 m 扫面后，当围岩风化较厉害时，在石英脉上有明显的视电阻率异常。同时由于石英脉在不同程度上均含有黄铁矿化的电子导体，故在石英脉上视极化率异常也相应升高。由于本区干扰地质体基本不存在，正常场稳定，所以异常规则，反映清楚，连续性好。异常带的走向、位置与已知含矿构造带重合（图 1）。若当石英脉穿插在新鲜混合石英闪长岩中，因电性差异大，视电阻率异常就不明显或分辨不出来。

2）联剖装置：在已知石英脉位置 200 线上、$AO=55$ m 时，有明显的 ρ “正交点”和 η “反交点”，显示低阻的破碎带（图 2）交点带北西侧的

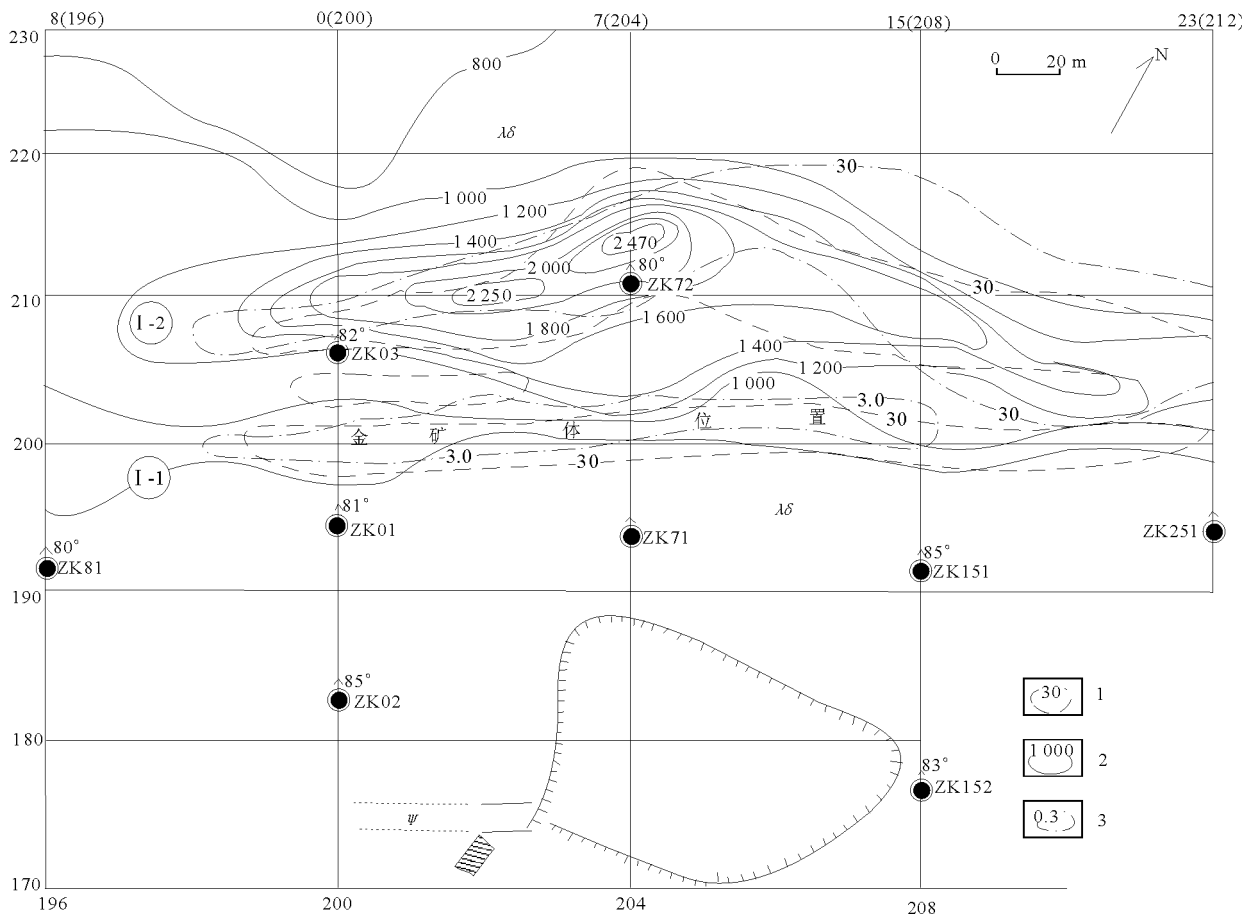


图 1 璜山金矿中段电法平面图

λδ—混合石英闪长岩；ψ—角闪辉石岩；1—自电曲线；2—视电阻率曲线；3—视极化率曲线

黄金地质研究所
信息室 提供

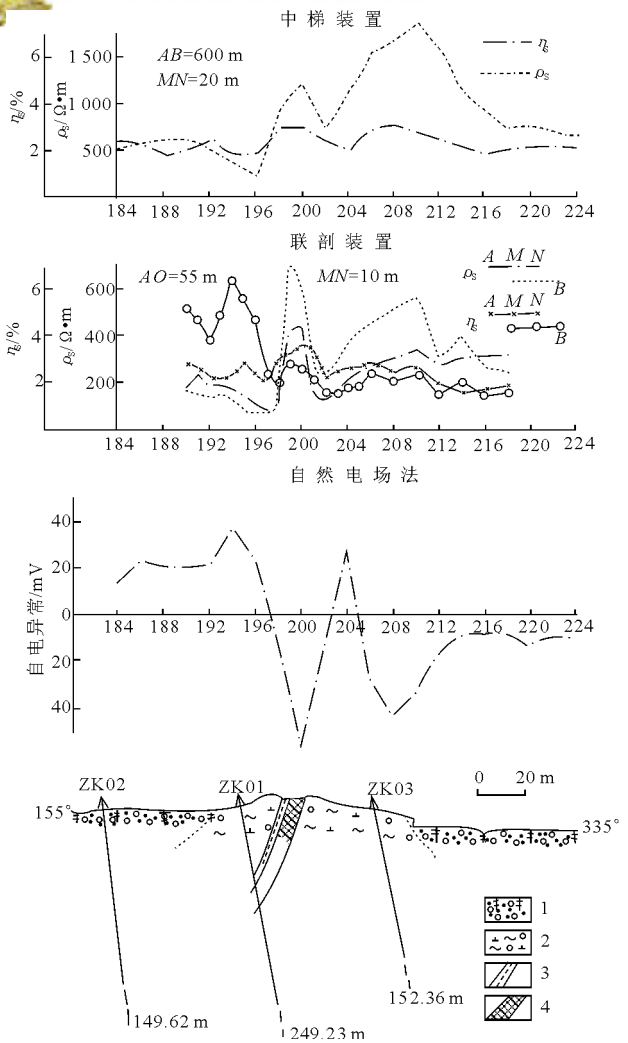


图 2 璜山金矿 200 线电法地质综合剖面图

1—第四系；2—混合石英闪长岩；3—破碎带；4—矿体

η 和 ρ 的异常与含矿石英脉有关。

3）自然电场法：在已知含金石英脉内有不同程度的硫化矿物分布，又加地下潜水发育，故能产生一定的自然电场。矿区内自电负异常值不大，一般在－30 mV 左右，最高可达－50 mV 以上，反映比较清楚，自电负异常和 ρ 与 η 异常对应出现。自电负异常中心分别和含金石英脉和北侧高阻体 ρ，η 异常吻合。但有第四系覆盖的地方，矿体（石英脉内含星散状和块状黄铁矿）上方自电异常就不明显或出现无规则的曲线，其原因是因为地下水很浅，整个矿体位于潜水面以下，不能产生自然电场，故第四系覆盖区自电效果不佳。

4.2 第四系覆盖区的异常

在已知石英脉东西两端被第四系覆盖的地区，开始用激电中梯扫面（AB＝600 m，MN＝20 m），因低阻覆盖（水稻田）达不到应有的勘探深度，未能发现明显的异常。在西端，200 线石英脉已出露地表，往西至 196 线相距仅 100 m，但高差已降低 15 m 左右。当时估计此处第四系覆盖不会太厚，投入 AB＝400 m 和 AB＝200 m 电极距进行追索，结果均未发现明显的异常。从以上 3 种电极距的曲线进行分析，随着电极距的增大，ρ 异常强度相应增强，并在相应的构造带部位，略有低阻异常的显示（图 3）。后根据 ZK91 钻孔（位置见图 1）资料，第四系覆盖厚度近 20 m，并在相应低阻部位，见到含矿构造。据此推测，已知石英脉东西两端被第四系覆盖区必须采用较大的电极距，供足够大的电流。

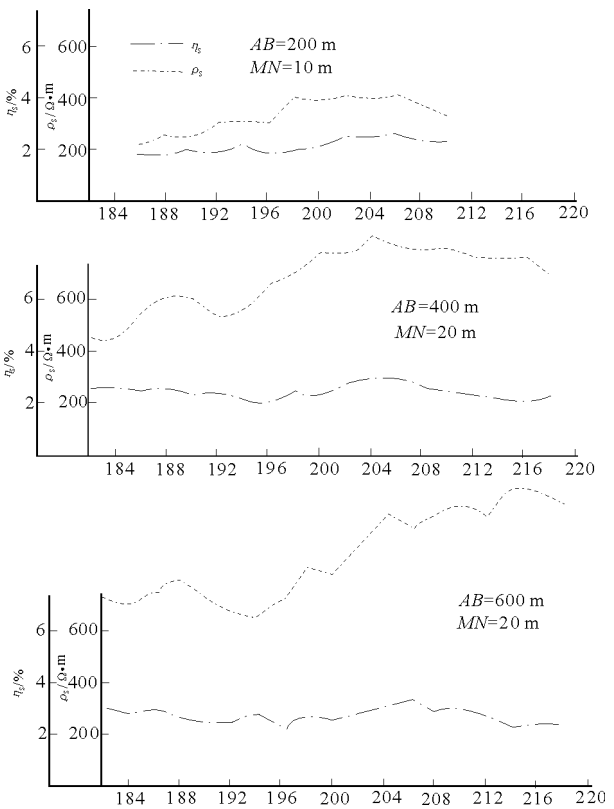


图 3 璜山金矿西段 196 线中梯装置 3 种极距对比图

基于以上推测，开始在 196 和 192 线用中梯装置 AB＝800 m，1 000 m……1 600 m 电极距的电法试验。结果表明从 AB＝800 m 开始在矿体（石英脉、挤压破碎带）上方的视电阻率呈明显的低阻，当 AB＝1 000 m，1 200 m 时，在含金石英脉构造带上除有明显的低阻异常外并有相对的高极化率异常，两者呈镜像出现（图 4）。这与出露区的石英脉上呈高阻反映恰好相反。这是因为 1）第四系覆盖区构造挤压带中充水，使电阻率降低。2）

黄金地质研究所
信息室 提供

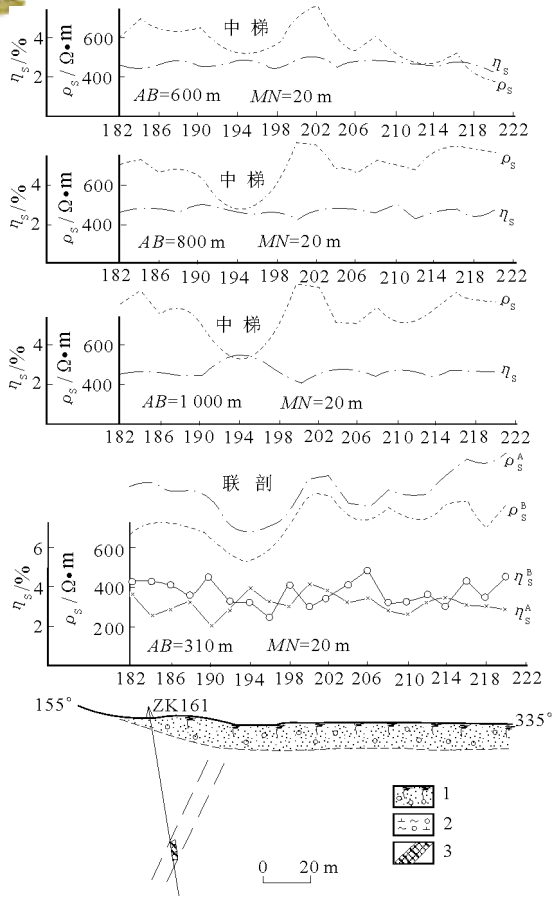


图 4 璜山金矿 192 线电法地质综合剖面图

1—第四系；2—混合石英闪长岩；3—矿体

从 ZK 81和 ZK 161钻孔资料看，该段矿体较高，黄铁矿呈稠密浸染状或块状分布。使电阻率骤然降低，由于覆盖较厚，石英脉的高阻反映就不能显示了，由此说明在第四系覆盖区应注意追索低阻带，作为主要的工作对象。

5 几点认识

1）在地电条件有利时，即石英脉构造带与围岩有一定的电性差异并含有较多的硫化物等电子导体时，可用电阻率法、激发极化法的中梯、联剖装置及自然电场法追索和发现含矿断裂构造带。

2）在运用电法资料推断构造带位置时，不能简单地利用高阻或低阻异常，应结合地电及地质条件进行分析。矿体埋深大，覆盖厚，需用较大的电极距，又因地下水面浅，赋存于破碎带中的石英脉，主要反映低电阻，与山区石英脉的异常特征不同。

摘自《金属矿电法找矿实例汇编》

在胶东地区运用激发极化法寻找金矿的 2 个实例

1 三甲金矿

乳山县三甲金矿为一中型黄铁石英脉型金矿床。

矿床产于古元古界—新太古界的胶东群鲁家夼组中。围岩为混合花岗岩。矿体严格受 NNW 向断裂控制，并被 NE，近 EW 向中酸性岩脉（闪长玢岩等）所切割，金属矿物主要有自然银、自然金、黄铁矿、黄铜矿、菱铁矿等，总金属含量在 25% 以上，金与黄铁矿、黄铜矿关系密切。主要岩石蚀变有黄铁绢英岩化、绿泥石化等。

为了指导钻探施工，提高找矿效果，1971 年在本区开展了激电中梯（AB＝600 m，MN＝20 m）工作，并用化探的铜次生晕验证异常。在沿断裂构造带 400 余 m 长的范围布置激电扫面，发现了一个长 400 m，宽 30 m（按 η＝6% 圈定）比较规则的 η 异常，与构造蚀变相吻合。异常中心（14 线）最高 η 为 19%（图 1），围岩背景值 η

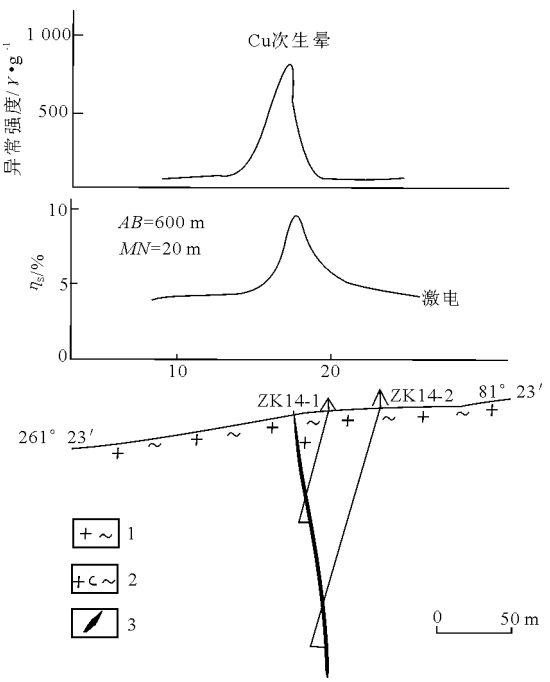


图 1 山东乳山三甲金矿区 14 线地质物化探综合剖面图

1—混合花岗岩；2—绢英岩；3—矿体

黄金地质研究所
信息室 提供

=4%。异常北部与南部 η 值高处地表见到矿化，中部 η 值低，地表为无矿化地段，异常偏离构造线向西位移（图 2）。化探次生晕异常与激电异常吻合，异常强度为 100～1 000 γ/g，分析研究认为异常值得验证。勘探结果查明异常北部是主要的工业矿体，异常南部也见到工业矿体，而在异常的中部却见到一个透镜状的盲矿体。

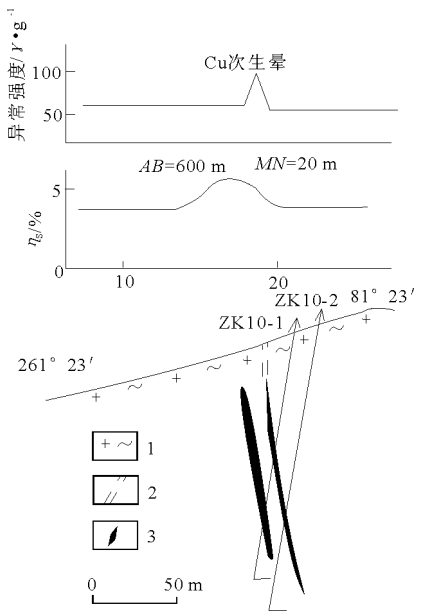


图 2　山东乳山三甲金矿区 10 线地质物化探综合剖面图

1—混合花岗岩；2—蚀变带；3—矿体

2　金青顶金-铜矿床

乳山金青顶金-铜矿床为一中型含铜黄铁石英脉型金矿床。

矿床产于古元古界—新太古界的胶东群鲁家夼组内 NNE 向断裂构造带中。围岩为混合花岗岩，矿区出露岩性主要是混合花岗岩，黑云母片麻岩，黑云母变粒岩及斜长角闪岩等呈零星残留体出现。区内尚有中酸性脉岩呈岩脉或岩墙出现。地表矿化不连续，矿体严格受 NNE 向断裂控制。矿石呈浸染状、块状。主要金属矿物有自然银、自然金、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、菱铁矿等，总金属含量均在 78% 以上。金的富集与黄铁矿、黄铜矿的富集呈共消长关系，围岩蚀变以上盘较为发育，主要为绢英岩化，沿断裂断续出现。

矿区各类岩矿石标本极化率测定结果：黄铁矿石英脉（富矿）71%，黄铁矿化石英脉（贫矿）15%，混合花岗岩 2.5% ～ 3.0%，煌斑岩为 1.3%。

为了圈定矿化范围，1968 年，在沿 4 000 余米断裂带范围内开展外围激电普查找矿工作。采用极距 AB=600 m，MN=20 m，并用激电充电、联剖等方法进一步验证异常。

工区内共发现大小异常 19 个，经综合分析研究认为，1—1 号异常是具工业价值的矿化异常，异常长 420 m，宽 50 余 m（按 η=3.5% 圈定），η 最高值为 4.5%，背景值为 2%，沿断裂带展布（图 3），激电联剖有明显的反交点（图 4）。

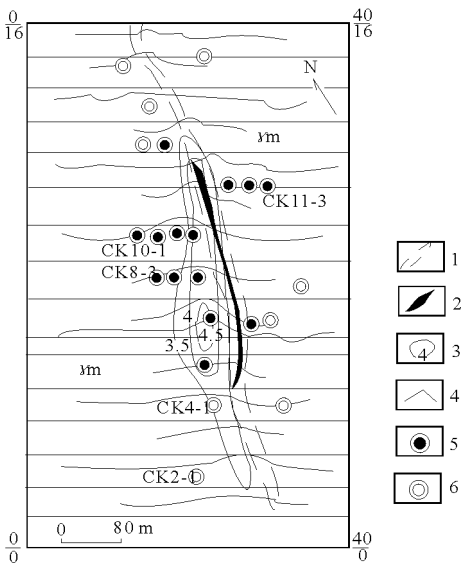


图 3　山东乳山金青顶矿区物探地质综合平面图

γm—混合花岗岩；1—蚀变带；2—矿体；3—η_s（%）等值线；4—η_s 剖面曲线 1 cm=8%；5—见矿孔；6—未见矿孔

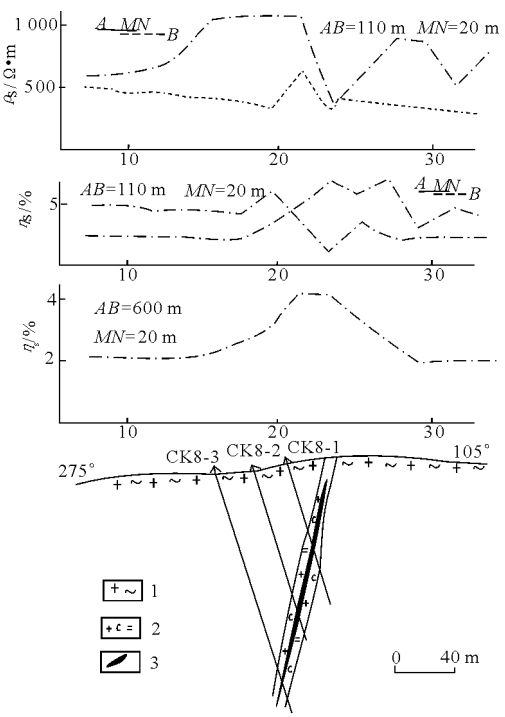


图 4　山东省乳山县金青顶矿区 8 线地质物探综合剖面图

1—混合花岗岩；2—绢英岩；3—矿体

黄金地质研究所
信息室 提供

激电充电效果显著，确定的矿化体端点为 6～11 线与中梯视极化率 4% 异常范围一致，为矿床地质勘探提供了依据。

1971 年，金青顶矿区地质报告中肯定了 $\eta=$ 3.5% 等值线与地表蚀变带规模相仿；$\eta=4\%$ 等值线与深部工业矿体范围相一致。

其余 18 个异常经有关队钻探验证仅见矿化。

摘自《金属矿电法找矿实例汇编》

充电法在河南围山城金-银矿床的应用效果

河南围山城金-银-多金属矿自从被发现以来，先后做了大量的物化探工作。在该矿床的普查、详查和勘探过程中，物化探资料曾发挥过相当重要的作用。

1 地质-地球物理概况

1.1 地质概况

围山城金-银矿床赋存的地层为下古生界歪头山组的一套火山碎屑沉积岩系。破山银矿赋存在歪头山组上部第二岩性段（$Pz_1w_3^2$）中，称为“上含矿层”。银洞坡金-银矿赋存在歪头山组中部第二岩性段（$Pz_1w_2^2$）中，称为“下含矿层”。碳质绢云母石英片岩是矿区最主要的含矿岩石。

矿体受构造和岩性双重控制，其形态多呈似层状、脉状或透镜状。

1.2 地球物理概况

该区曾根据破山银矿区电测井资料对岩、矿层视电阻率进行过统计，统计结果列于表 1。

表 1 破山银矿区钻孔岩、矿层电阻率统计

岩、矿层名称	统计层数	电阻率/Ω·m		
		几何平均值	最大值	最小值
矿 层	61	20	150	2.5
碳质绢云石英片岩	59	139	360	38
绢云石英片岩	47	181	650	30
变粒岩	51	230	530	73
云煌岩	31	286	880	80
斜长角闪片岩	6	351	520	123

引自陈铁华、曾绍金。

61 层矿样的电阻率几何平均值为 20 Ω·m，比一般岩石的电阻率低一个数量级，与围岩有明显的差别。银矿层电阻率分布直方图明显出现双峰，这种情况反映了统计样中的 2 种不同的矿石类型。右峰反映平均值约为 30 Ω·m 的以浸染状矿石为主的矿层电阻率，左峰则反映平均值约为几 Ω·m 的连通较好的金属硫化物的矿体电阻率。这种矿体以细脉状、角砾状和块状矿石为主。破山矿区视电阻率测井结果中常见的那种连续性好、阻值低（几 Ω·m 甚至趋于 0）的异常推测主要是这种类型矿石的反映。

由于本区围岩与矿石电性差异明显，加之干扰因素少，具备了在本区进行充电法工作的良好地球物理前提。

2 物探工作的地质效果

该区充电法采用钻孔矿层充电，地面观测的方法，测量一次电位和充电梯度。

2.1 充电法配合钻探能查明低阻矿体的产状要素及矿体的边界范围

破山银矿区 ZK8 孔充电成果示于图 1 中。充电点深度为 126 m。电位极大值（约 65 mV/A）和极大值点均不在充电点的上方，而是明显地向东偏移 120 m 左右。这说明矿层的重心不在充电点，等位线近于圆形。但由于在矿体走向上有一横向平推断层存在，致使等位线在图的上端微向北偏斜，利用梯度曲线 0 值点确定矿体顶端在地表的投影与实际位置基本一致。根据 O 线上梯度极大值的位置大致计算出矿体倾角为 31°，倾向 SW。

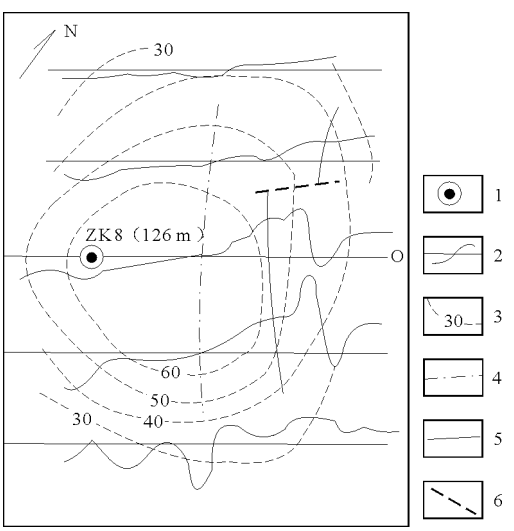


图 1 破山矿区 ZK8 孔充电成果平面图（引自陈铁华、曾绍金）

1—充电孔；2—梯度曲线；3—电位等值线；4—充电轴；5—推断充电矿体顶端在地表投影；6—推断断层

黄金地质研究所
信息室 提供

银洞坡矿区 ZK $\frac{4}{E_2}$ 孔的充电结果见图 3。电位等值线图呈椭圆状，充电轴由 NW 向 150°延伸。矿体可能在 W_1 线断开，因为 W_1 线电位值明显下降，到 W_1 线电位值接近 0，再向北变为负值。同时，电位等值线沿测线方向稀密程度不同，南西侧等位线稀，北东侧密，说明矿体向 SW 方向倾斜。根据 E_2 线上梯度曲线极值点的位置计算出矿体倾角为 34°。根据该区具体情况，经研究发现，梯度极小值的位置与矿体尾端在地表的投影位置基本吻合。从银洞坡矿区 E_2 线充电剖面可知（图 2，图 3）：梯度极小值点位于 ZK4 和 ZK8 孔之间，因而推断矿体应在 2 孔之间尖灭。后来 ZK2 孔未打到矿体，证明推断正确。

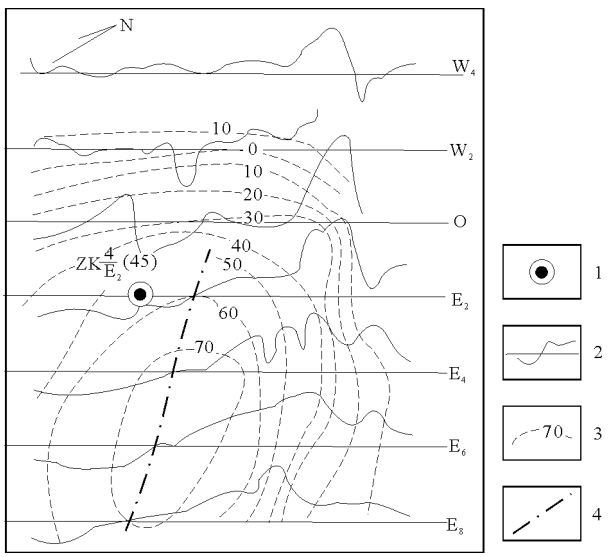


图 2　银洞坡矿区 ZK $\frac{4}{E_2}$ 孔充电成果平面图（引自陈铁华、曾绍金）

1—充电孔；2—梯度曲线；3—电位等值线；4—充电轴

从图 2 可知，电位极大值在充电点南东方向 160 m 处的 E_6 线上，而电位极大点正代表了导电矿体的重心位置。综合上述，该充电矿体的大致范围应当是长约 600 m、宽约 300 m 的层状矿体，倾向约 240°，倾角约 34°。

2.2　充电法解决矿体的连接问题

充电法不仅在确定矿体产状方面有效，而且在有利条件下，还可以判断矿体是否连接。破山矿区 O 线的 ZK2，ZK8 孔的充电结果就是很好的说明（图 3）。ZK2 孔在孔深 82 m 和 98 m 处各见一层矿，ZK8 孔在 125.5 m 处见一较厚矿层。从这些矿层充电曲线可知，电位和梯度曲线都基本相同，只是充电点深度和水平位置不同引起电位曲线、梯度 0 点位置变化，但梯度极值位置未变，解释矿体顶端位置一致，说明 3 个充电点处于同一矿层中。

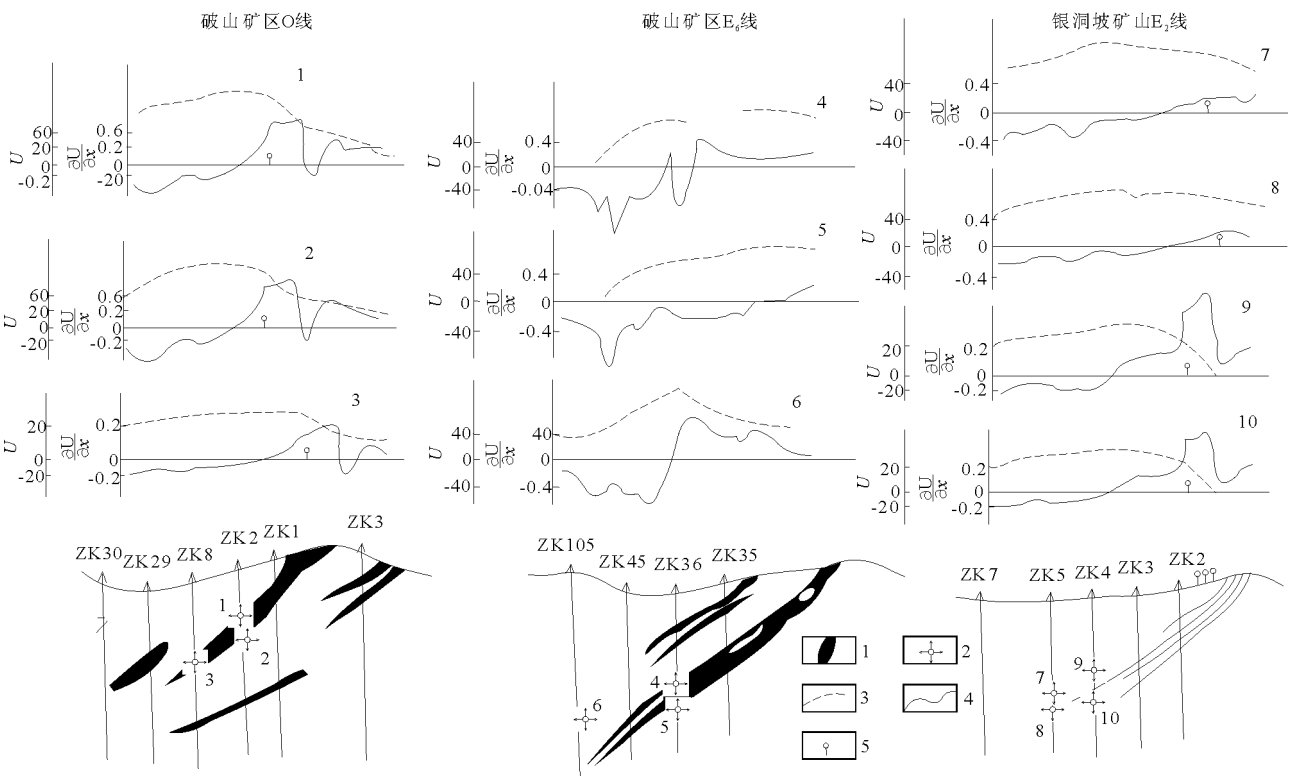


图 3　破山矿区 O 线、E_6 线、银洞坡矿区 E_2 线充电剖面图（引自陈铁华、曾绍金）

1—矿体；2—充电点；3—电位曲线；4—梯度曲线；5—推测充电顶端在地表投影

黄金地质研究所
信息室 提供

破山矿区 E_6 线在 2 个钻孔中分别在 3 处充电，所得结果明显不一致。ZK 105孔中充电点位于非矿层中。ZK 36孔 2 充电点分别位于 A_4 号和 A_5 号矿层中。梯度极小值基本反映了矿体下端的位置，但在充电点的上方，由于有 2 层近地表矿的干扰，导致梯度曲线的畸变。

银洞坡矿区 E_2 线在 2 个钻孔中分别在 4 处充电。这 4 个充电点主要受 A_{21-1} 号矿体的影响。ZK $\frac{4}{E_2}$ 孔中充电点位于矿体中，梯度极小值位于充电点外侧，它基本反映了矿体下端的位置，ZK $\frac{4}{E_2}$ 孔中充电点位于矿体下端的延伸方向上（与矿体位于同一相对低阻层中），故梯度极小值位于充电点的内侧。综合上述可知：对倾斜板状矿体充电将出现明显的梯度极小值。利用充电极小值位于充电点的内侧或外侧可判定充电点是处于矿体中还是处于矿体下端外延处。

最后，还要强调指出，金在矿体中的含量很低且分散，对岩、矿石的物理性质毫无影响。充电法应用的条件之一是矿体或充电对象必须是良导体。良导体中可以含金而成为金矿体，也可能是含金的矿化体，也可能根本不含金，所以充电法所圈出的是良导体，所确定的产状、走向和埋深皆是指良导体而言，良导体和金矿体间并无必然联系，只是金矿往往赋存在断裂带中或受断裂带控制。为了使充电法获得较好地质效果，除了工区或充电体必须具备充电法应用条件之外，尤其重要的是，充电法的资料解释一定要与地质工作密切配合，这是该方法能否取得较好地质效果的关键问题。

摘自《金矿地球物理找矿》

河北金厂峪金矿

金厂峪金矿位于迁西县金厂峪镇。该矿床产于太古宇迁西群斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩中。矿带总长 1 500 m，宽 460～900 m，延深 600 m 以上。矿床有 6 个矿体群，共 16 个工业矿体。矿体一般长 50～150 m，厚 1～6 m。金属矿物以黄铁矿为主，是金的主要载体。矿床成因为岩浆热液石英脉型金矿床。经过多年的普查、勘探，1988 年探明金矿总储量近 60 t。

该矿发现较早，先后有不同系统的地质队进行过踏查和普查工作，认为应该进一步评价。先期主要是地质工作，物化探工作较少。在后期矿区外围的普查和深部勘探工作中，物化探投入的工作量较多，起到了较好的作用。1964 年，河北地质局物探队进行了 1∶2.5 万地面磁测和土壤测量，1965 年在金厂峪矿段做过综合物探工作。1980 年，河北地质局二队、五队相继做过 1∶5 万，1∶2.5 万水系沉积物测量和土壤、地面磁法测量。1983 年，冶金部物化探研究所开展岩石地球化学研究，编写了《河北省金厂峪金矿原生晕地球化学特征及异常模式研究报告》。1994 年，河北地矿局物探队完成青龙地区金矿物化探找矿模型的研究，对金厂峪矿区及外围进行了预测。

利用上述资料，总结出金厂峪金矿床上的物化探异常主要特征：金厂峪矿区位于 EW 向重力梯级带所反映的隐伏断裂带上；在主矿体上形成 η 为 5%～12% 的激电异常和 −30～−450 毫伏的自电异常；在矿体和矿化带上分布有清晰的以 Au 为主的组合化探异常，具有明显的水平和垂直分带性，前缘指示元素：As，Sb，Hg，Zn，Ti，Cr，Ni，Co，Mn，近矿指示元素为 Au，Ag，Bi，Mo，Pb。根据这些物化探异常模式对矿区深部和矿区外围进行了找矿预测，在外围找到一处石英脉型金矿。该 Au 异常面积为 25 km^2，金含量最高值为 750×10^{-9}，异常形态规则，浓集中心明显。经地表评价，已求得金远景储量 2.2 t，预计规模可达到中型。利用岩石测量异常指导金厂峪金矿的深部勘探，找到了一些盲矿体。在矿区外围，找到了大西峪、七拔子和二拔子、新房子等新类型金矿。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

吉林夹皮沟金矿

夹皮沟金矿位于华北地台北缘东段，由分布在长 60 余 km、宽 5～10 km，呈 NW 向展布的 15 个大、中、小型金矿床和百余个金矿点组成。从 1821 年发现至今 170 余年间，累计探明金储量 130 余 t，估计尚有 150 t 潜在远景。

金矿田中以石英脉型金矿为主，蚀变岩型金矿

黄金地质研究所
信息室 提供

次之。矿体大多产于新太古代花岗绿岩地体之中，亦有产于高级变质区之中。

矿体明显受韧性剪切作用控制，成群成带产出的片理化带、糜棱岩化带一般长数百米至千余 m，最长可达 5 000 m，幅宽数米至数十米。含金石英脉在其中整合产出，呈雁行斜列分布，载金矿物以自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿为主，非金属矿物主要为石英、绿泥石。

1 物探在地质普查中的作用

从 1965 年起，在矿田内开展 1∶1 万的磁法和土壤测量工作，寻找石英脉及中基性脉岩，进而寻找金矿，取得较好的效果。后来为在已知含矿地段追索矿脉、寻找与之平行的脉体，曾进行电阻率联合剖面法试验。为了评价断裂系统含矿性，也做过试验性激电工作。经大量生产实践证实，综合物化探方法寻找含矿蚀变破碎带是行之有效的。异常特征可概括为“两高一低一边”。“两高”是指高磁异常带及高 Cu，Pb，Zn 元素异常，“一低”是指低视电阻率带，“一边”是指低磁场边部或正、负磁异常的边部。

1965 年，吉林冶金物探队经过地质、物化探工作，在夹皮沟板庙子区发现长度大于 100 m 的含金石英脉 16 条，并推测该区找矿远景好。此后，在该区磁法发现一些延长千米以上，呈 NWW 向的高磁带，它们是辉绿岩脉的反映，但浅部的辉绿岩脉中未见矿。电阻率联剖在其上具有正交点，是破碎带反映。经激电工作，发现一个明显的激电异常（η_{max} 4.8%，背景值 1.3%），后经勘探工作，发现受含矿破碎带控制的、与辉绿岩脉有关的隐伏金矿体。三道岔大型金矿床，在 1964 年经坑探发现时金矿体规模很小，但经 1965 年磁法工作显示，该处的含矿系统恰处于正、负磁异常之过渡带上，电阻率联剖有明显的正交点，并与激电联剖反交点带相对应，指出了含矿破碎带的存在，并推测向 SE 侧伏。这些认识为后来的三道岔金矿勘探工作所证实。

2 化探在普查找矿中的作用

从 1965 年开始的化探工作，早期（1965—1970）主要是在夹皮沟矿区内开展 1∶1 万—1∶2 000的土壤测量工作，样品分析元素主要为 Cu，Pb，Zn 等，与地质、物探相配合，为发现和评价含矿断裂、含矿石英脉、含矿蚀变岩等起到积极作用。一般而言，Cu，Pb，Zn 元素异常能较好地指示含金地段，如二道沟、庙岭、八家子、四道岔、板庙子等金矿床上都有清晰的化探异常反映，其中庙岭矿床就是由验证化探异常而发现的。

从具有较大垂向延伸的三道岔金矿床来看，金矿体多元素的地球化学异常呈条带状延伸，异常的形态受矿体形态控制，金浓集中心即为矿体赋存部位，金浓度的梯度变化大，但规模小，一般不超过构造-蚀变带范围，其岩石异常的垂向分带由上而下：As，Ba，F，Sb-Pb，Ag-Cu，Au-Hg，Mo-Zn，Co，Ni，Mn-I，Sr-Ti，V。

金矿体上方的土壤异常发育除受到次生分散诸因素控制外，很大程度上受到矿体岩石异常分带结构的控制。据研究，在有较大埋深的盲矿体上方上述元素异常不明显，而 B，F，Hg，As 元素等往往能形成清晰的异常。浅埋的矿体上方形成 Au，Ag，Cu，Pb，Mn，Mo，As，Hg 等综合异常。Au，Ag，Pb 为特征的指示元素，土壤中的 Hg 在含矿断裂上有较好的指示效应，一般而言，Au 是最好最直接的指示元素，其次为 Ag，Pb，Cu。如马家店区 8，9 号金矿脉，即为验证 Au 29，Ag 39 号土壤异常时所发现。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

浙江治岭头金矿

治岭头金矿位于遂昌—龙泉断隆北部。矿区出露前震旦系陈蔡群变质岩及上侏罗统大爽组火山碎屑岩，后者不整合覆盖于前者之上。矿床成因有变质热液交代型和火山热液型之争，工业类型属交代石英脉型矿床。探明金储量 20.8 t，品位 12.1 $\times10^{-6}$。

1 物化探在矿床发现阶段的作用

1965 年初，物探大队二分队在遂昌—龙泉一带开展 1∶10 万水系重砂、水系沉积物测量，面积 1 800 km^2。同年 5 月，在遂昌毛田至治岭头的Ⅰ，Ⅱ级水系发现 7 个重砂 Au 异常点，累积黄金 72

黄金地质研究所
信息室 提供

粒。并圈定毛田—银坑山金异常区。下半年对该金异常进行检查，加密追源采干沟样和坡积重砂。在银坑山北坡的坡积重砂中，一般含黄金 10～50 粒，最高达 1 000 粒，同时发现含铅-锌矿化石英脉 10 多处以及老硐。老硐多分布在 1，3，4 号矿化石英脉上，在老硐壁矿化石英脉采样，金达 7.24×10^{-6}，从而发现银坑山原生矿体。1966 年 8 月，物探队施工 4 个孔，孔孔见矿。1967 年 1 月移交第七地质队。

2 物化探在地质普查中的作用

治岭头金矿地球化学异常具有 Hg，Au，Ag，Cu，Pb，Zn，Sn，Mo 组合异常特征。而 Hg，Au，Ag，Cu，Pb，Zn 为前缘元素，Sn，Mo 为尾部元素。矿体上岩石异常由上至下的垂向分带序列为 Hg-Au-Ag-Cu-Zn-Pb-Sn-Mo。

金矿体汞含量最高。金矿体上汞含量比多金属矿高 2 倍，比片麻岩高 8 倍，比霏细岩和凝灰岩高 4 倍。

金矿体或金-银矿化带的物化探异常特征为明显的 Hg 异常，高于背景 2～4 倍，并有对应的低值磁异常和伴生的 Au，Ag，Pb，Zn，Cu 的化探异常。

根据矿床元素分带序列中的前缘元素与尾部元素含量的比值，建立了与矿体埋深之间的回归方程，并用于推测矿体的埋藏深度。

岩石异常的形态和范围受成矿构造制约，与围岩蚀变无关。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

安徽马山金矿

马山金矿位于铜陵市东 3 km，处铜官山背斜 NE 倾没端的 SE 翼，背斜核部为志留系，自两翼依次为泥盆系、石炭系、二叠系与三叠系；石炭系黄龙、船山组碳酸盐岩层为本矿床主要含矿岩层，岩浆岩是以燕山期石英闪长岩、闪长岩为主的杂岩体，硫-金矿床与其有密切的成因联系。成矿元素以 Au，S 为主，含 Cu，Pb，Zn，As 等多种组分，属层控高中温热液金矿床。共发现大小金矿体 44 个，其中主要矿体 8 个。矿体皆为隐伏矿，形态为透镜状、扁豆状、脉状及似层状。

1964 年，冶金部八一二队物探分队在铜官山及其外围开展 1∶1 万（100 m×20 m）、1∶2 000（20 m×5 m）地磁、电法、土壤测量等工作，发现马山等综合异常。虽对异常做了验证，终因找铜矿未果而中止。

1971 年，冶金部八一二队验证马山岩体东侧接触带上低缓磁异常，开展普查找矿，其中 ZK 2504 见 24.11 m、金品位 4.0×10^{-6} 的厚大含金-硫铁矿体，马山找金工作正式确立。

1972 年，冶金部地球物理探矿公司航测二队进行 1∶2.5 万航空磁测，1982—1984 年冶金工业部华东地质勘探公司八一二队物化探分队和冶金部桂林地质研究所合作在区内开展了 1∶2 000（20 m×10 m）精查工作，方法有 H_2S 量、Hg 量、电化学（H^+ K）及井中、井-地过渡场电法等。1976—1987 年地质普查工程施工结果，证明航磁和地磁异常可以界定马山岩体边界和岩体东、南部接触带的具体位置；化探土壤测量、气测、电化学异常和磁异常组合可揭示接触带外侧及深部存在硫化物型金矿体的可能性；为金矿详查工程布署提供了依据。

经几个阶段性工作至 1992 年止，已累计获得金储量 20.86 t（金平均品位 6.41×10^{-6}），伴生金储量 11.43 t，硫铁矿石储量 1 682 万 t，砷储量 12.46 万 t。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

山东新城金矿

新城金矿受焦家断裂带控制，断裂带上盘为胶东群，下盘为玲珑黑云母花岗岩体，属破碎带蚀变岩型金矿床。该金矿为第四系覆盖，找矿难度较大。1967—1968 年山东省地质局八〇三队第一分队配合山东省地质局八〇七队在该区寻找金矿。

1967 年，山东省地质局八〇三队一分队首先采用 1∶5 万的联合剖面法寻找和追索黄县弧形断裂带（焦家断裂带）的位置。从物性资料可知：变质岩的电阻率较低，花岗岩的电阻率较高，它们之间有明显的电性差异，反映变质岩的视电阻率曲线

黄金地质研究所
信息室 提供

变化比较平缓，电阻率小于 200 Ω·m，且 ρ_s^A 与 ρ_s^B 曲线分离不明显，花岗岩电阻率较高，大于 500 Ω·m，视电阻率曲线呈跳跃状变化，ρ_s^A 与 ρ_s^B 曲线分离较大，在 2 种岩性接触处，视电阻率曲线表现为低阻“半槽状”，据此推断断裂带的位置。该区在普查前期首先投入联合剖面工作，然后根据联剖资料布置钻孔。因此区内推断断裂带的位置都得到了及时验证，并指导了普查工作。

从焦家村西发现的金矿得知：金矿体中的硫化矿物呈浸染状或裂隙状分布，黄铁矿与金的关系密切，金与硫化物含量呈同升同降关系。因此采用激电法是寻找金矿的有效方法。在焦家金矿开展激电试验工作的基础上，1968 年山东省地质局八〇三队一分队采用 1∶1 万激电中梯进行普查，在新城村东侧、烟潍公路旁发现了激电异常（新城异常）。

新城金矿异常有条测线有明显的激电异常反映，以极化率 4.0% 的等值线圈闭，异常轴长约 400 m，宽 150 m，激电异常极大值为 5.2%，4.6%，背景值为 3.4%。中间梯度改换装置后，两侧极化率曲线“接头”点均呈上脱，说明非地表浅部矿化引起，且异常体具有一定的规模和延深。推断为硫化矿物富集体引起的。后由山东省地质局八〇七队在异常区进行钻探，见到了金矿体，该矿体倾向 NW，矿体延深大于延长，矿体“顶部”在地表的投影位置与激电异常极大值位置对应。金矿体金平均品位 8.07×10^{-6}。现已探明储量 73.563 t，伴生银储量近百 t，铜 987 t，硫 30 万 t 的大型金矿床，现已建成大型国营黄金矿山。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

山东河东金矿

河东金矿受望儿山断裂控制，其围岩主要是玲珑黑云母花岗岩和郭家岭花岗闪长岩，为焦家式“破碎带蚀变岩型金矿”。

1967 年，山东省地质局八〇三队第一分队在徐家疃—朱桥地段采用 1∶5 万的电阻率联合剖面法圈定黄县弧形断裂，在工区东部的花岗岩体中发现一条电阻率曲线呈“槽状”的低阻异常带，低阻异常的电阻率为 200～400 Ω·m，两侧 ρ_s^A 与 ρ_s^B 曲线分离明显，视电阻率在 600 Ω·m 以上，推断低阻异常为断裂破碎带引起，此断裂破碎带即是现在的望儿山断裂带。

从当时焦家村西发现的金矿得知：金矿中的硫化物呈浸染状或裂隙充填状分布，黄铁矿与金的关系密切，其金含量与硫化物含量呈同升同降关系。因此采用激电法是寻找金矿的有效方法。在焦家金矿开展试验工作的基础上，1967 年下半年至 1968 年，沿联合剖面法推断的断裂破碎带上，采用 1∶1 万的激电面积测量，结果发现河东异常。

河东异常长 700 m，走向约 35°，异常宽度以 5% 的等值线范围为 40～80 m，激电异常极大值为 6.1%，两侧极化率背景值 3.8%，异常显示清晰，中间梯度改换装置后，两侧极化率曲线接头均向上脱节，说明非地表浅部矿化引起。引起异常的地质体具有一定的规模和延深，激电联剖曲线有明显的反交点，交点两侧 η_s^A 与 η_s^B 曲线所夹面积西侧大于东侧，说明极化体往西倾。据异常区激电测深曲线推断极化体顶板埋深小于 10 m，激电异常对应的视电阻率曲线呈低阻反映，在异常区的 244/155 点及 243.5/156 点进行探槽揭露，于 1.5 m 深见到了断裂破碎带及呈浅黄褐色、浸染状黄铁矿风化残留体。故推断河东异常是具有找金意义的硫化矿物富集体引起的，建议进行验证。该成果反映在当年提交的成果报告中，并检送配合单位使用。

后经山东省地质局八〇七队在对河东异常进行检查验证，见到了金矿体。金矿体倾向 NW，矿体的“顶部”在地表的投影位置与 η_s 异常极大值位置相对应。经勘探，该矿床内共圈出 4 个工业矿体，多赋存在主断裂带下盘，矿体平均品位 6.67×10^{-6}，黄金储量 20.44 t，为一埋藏浅、厚度大、品位高、易选易采的大型金矿床。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

湖北鸡冠嘴铜-金矿

鸡冠嘴铜-金矿是一个以铜、金共生的大型全隐伏夕卡岩型铜-金-硫矿床。在矿床的发现、普查和勘探过程中，物化探方法均发挥了积极的作用，特别是重力资料的再认识和岩石测量异常研究，效

黄金地质研究所
信息室 提供

果尤为显著。

矿床位于大冶复式向斜南翼，阳新侵入体西北端。地表第四纪湖积粘土大面积覆盖，据钻孔揭露，矿体主要呈透镜状分布于燕山早期侵入的石英正长闪长玢岩与下三叠统大冶群碳酸盐岩接触带及其附近的蚀变带中，受NNE向背斜及其断裂破碎带控制。共探明4个矿体（群），分布在长920 m，宽160～330 m的范围内。围岩蚀变主要有碳酸盐化、硅化、粘土化等。

1 物化探在矿床发现中的作用

该矿床是埋藏于大冶湖围垦区下的隐伏矿床。1961年后，湖北省鄂东地质勘探队和湖北省地质一队先后在该区开展1∶1万综合普查和1∶2 000磁测工作。根据地质及磁法资料，将该区列为成矿远景地段，认为有可能存在以硫化矿为主的弱磁性矿体，特别是鸡冠嘴以北的平稳磁场区值得进一步工作，后因故未评价。1978年，湖北物探队在该区及其外围开展1∶1万重力普查，圈出了鸡冠嘴G 10，G 11重力异常，初步认为是密度较高的隐伏大理岩引起的。1979年，湖北地质一队在评价鸡冠山构造破碎带时发现了鸡冠嘴矿床的次要矿体，经追索矿体规模较小。1979—1980年，该队在区内开展1∶1万成矿预测和地球化学特征研究，利用部分钻孔岩石异常圈出了鸡冠嘴地球化学异常，该异常Cu，Mo规模大，强度高，浓度分带清晰，认为具备矿异常特征。根据总结出的成矿规律和物化探成果，将鸡冠嘴列为A类铜-铁成矿预测段。经ZK 0215孔验证，见矿13层，累计厚度73.08 m，发现了主矿体，从而肯定了矿床的工业价值。

2 物探在矿床普查中的作用

1981年底矿床转入普查。湖北省鄂东南地质队在矿区内按100 m线距开展磁法、电测深综合剖面工作，圈定了隐伏接触带和大理岩捕虏体的分布形态，指出了成矿有利部位，并根据新的地质和物探资料及物性成果，对原重力异常进行了重新分析和综合研究。其中G 11重力异常规模大，形态规则，极大值为-0.96×10^{-5}米/秒^2，一般为-1.40×10^{-5}～-2.00×10^{-5}米/秒^2。该异常与岩石测量Cu异常和电测深曲线畸变区相吻合。经正、反演计算，认为该重力异常应为隐伏大理岩和矿体的综合反映，据此建议地质普查应将重点向鸡冠山以北G 11异常部位转移。在补充普查设计时，按该异常范围布置了钻孔，几乎所有钻孔都见矿。最后证实，主矿体与G 11重力异常完全吻合，从而加速了普查评价工作的进度。

3 物化探在勘探中的作用

在矿床勘探过程中，湖北省鄂东南地质队开展了矿床地球化学特征与深部盲矿预测工作，利用岩石测量分带性预测发现了600 m以下的隐伏矿体，为扩大矿床深部找矿远景和矿床规模提供了新的信息。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

湖北鸡笼山铜-金矿

鸡笼山铜-金矿是以铜、金为主，伴生银、铅、锌、钼及硒、镉、硫等有益组分的大型金-铜矿床。矿床由北、中、南3个矿带189个矿体组成。金平均品位3.82×10^{-6}，铜平均品位1.50%。探明储量：共生金37.09 t，铜27.99万t；伴生银379.29 t，铅5 700 t，锌9 200 t，钼561 t，伴生金5.76 t。

矿床受鸡笼山—苗母山复式向斜控制。矿体主要赋存于鸡笼山花岗闪长斑岩体与三叠系大冶群碳酸盐岩的接触带及其附近，具NW向带状展布特点，矿体与夕卡岩化关系密切。

1 物探在矿床发现阶段的作用

1963年，冶金工业部中南冶金地质勘探公司物探队（现为冶金部中南地质勘查局六〇六队）在封三洞矿区及其外围，完成了1∶1万（100 m×20 m网度）的磁法、自然电场法和金属量测量，面积35 km^2。发现鸡笼山$\triangle Z$异常、自电异常及化探Cu异常。异常位于鸡笼山北坡半山腰处，呈椭圆形，走向NW。以300 nT等值线圈定的磁异常，长度约2.8 km，宽100～400 m，$\triangle Z_{max}$=2 000 nT，个别点达9 000 nT。推断为鸡笼山岩体

黄金地质研究所
信息室 提供

与磁性矿体及岩体接触带的综合反映。异常S缓N陡，推测岩体向S倾斜，延伸较大。局部小而陡的磁异常为浅部磁铁矿引起。土壤测量结果，发现有较高Cu异常，认为有找铜矿前景。

2 物化探在地质普查中的作用

1963年1∶1万物化探面积测量成果，为圈定岩体、寻找成矿有利地段提供了重要线索。

1969年，六〇六队在矿区内开展了1∶2 000的物化探测量工作，面积2 km^2。进一步提出该区应以找夕卡岩铜矿为主。

3 物化探在勘探阶段的作用

1979年，六〇四队对岩心进行了岩石测量，发现金矿化。1985年，六〇六队又对区内11条剖面2 500多个样进行化探岩石测量样分析研究，得出1）金-铜矿原生晕头晕中，Au与Cu，Ag呈正相关，而尾晕Au与Cu，Ag不相关，以此特征可确定矿体的剥蚀程度；2）于40 ZK 5孔160 m“舌状”构造部位，存在一Au，Cu，Ag，Mo，Pb组合异常，推测为矿体异常，并提出找矿验证钻孔（42 ZK 1）；3）对16，20，32线钻孔岩石测量认为，20，24线钻孔矿体原生晕属中上晕，推测矿体向下有延伸，可进一步追索矿体。

在勘探阶段，还对钻孔进行了大量激发极化测井工作，为矿体延伸和连结提供了信息，并发现了旁侧高极化体，提出40至20线各井南侧深部是找矿有利地段。该信息对鸡笼山铜-金储量的扩大起了重要作用。根据磁异常对岩体产状的分析，为部署勘探工作、分析成矿部位起了积极作用。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

湖北蛇屋山金矿

蛇屋山金矿是中国第一个大型红土型金矿床，以规模大、品位低、易采、易选、开发经济效益明显而令人瞩目，已成为湖北省露采、堆浸黄金的重要生产基地。

该矿床位于下扬子台坪武汉—大冶台褶带嘉鱼台褶束西端的嘉鱼—赤壁弧形构造带中段，即高铁复背斜中段内侧的蛇屋山倒转背斜核部，西临江汉断陷、沔阳凹陷。区内为丘陵-湖盆堆积地貌，80%为第四系覆盖，白垩系至奥陶系基岩零星出露。矿区第四纪松散层下伏基岩为寒武-奥陶纪碳酸盐岩，EW向的陡倾角断裂构造破碎带发育，其中原生金矿化普遍，伴随围岩蚀变主要有碳酸盐化、硅化、重晶石化等。红土型金矿体则主要赋存于第四系中更新统红色残坡积松散层中，矿床平均品位2×10^{-6}。控制金远景储量20多t。

1 物化探在矿床发现阶段的作用

该矿床是通过化探异常查证发现的。1983—1985年湖北省物探队对蒲圻幅开展1∶20万水系沉积物化探扫面，圈出Au，Hg化探异常（Au 7×10^{-9}，Hg 142×10^{-9}），2种元素异常叠合极好，面积较大，结合区内存在由隐伏岩体引起的航磁异常，推断为找金矿有利的异常，但未对该异常做检查。1988年，湖北省第四地质大队根据上述资料成果，经筛选后，由地质八分队（原物化探分队）对该异常相继开展了Ⅲ，Ⅱ级查证。完成1∶1万土壤测量1.6 km^2，圈出Au，As，Mo组合异常。Au异常以20×10^{-9}为下限圈定，呈EW向，长约1 600 m，宽100～300 m，异常形态完整，浓集中心明显。金含量一般为100×10^{-9}，东西2处浓集中心处w（Au）＞300×10^{-9}。砷以150×10^{-6}、钼以5×10^{-6}圈定异常范围与Au异常范围吻合。浓集中心处经槽探揭露，发现30余m宽的金矿体，金最高含量8.14×10^{-6}，查明了异常由金矿化引起。

1989年3月，由地质七分队、八分队开展Ⅰ级查证，钻探深部验证与物探工作同时进行。通过3条直流对称电测深剖面测量，基本掌握矿区地下岩层分布的结构及含矿地质体的电性特征。物探剖面反映高-低-高阻电性层与矿区含金松散层及顶底板岩性层相对应，为了解含金松散层的分布形态，指导钻探设计施工提供了依据。同时在化探异常浓集中心处施工的验证孔，均见到了不同厚度和品位的矿体，从而肯定了蛇屋山Hg，Au异常的找矿意义。

2 物化探在矿床勘查阶段的作用

1989年7月至1993年底，第四地质大队七分

黄金地质研究所
信息室 提供

队、八分队、钻探分队开展矿区普查-勘探工作。完成1∶1万地质化探测量8 km^2，电测深点246点/20.75测线km，复合对称四极视电阻率测量4.68 km^2。进一步圈定矿区物化探异常范围，并依据其资料指导钻探施工，新发现Ⅲ，Ⅳ号矿体，扩大了矿床规模。在矿区4—13线勘探评价过程中，采用五极纵轴及环形直流电测深方法，准确圈定地下岩溶及裂隙含水层，指导设计水文孔位，对缩短矿区勘探周期，降低勘探成本起了较大的作用。

同时，利用物化探综合方法指导实施矿区外围的找矿工作，又相继发现了铜山、八字门等一批小型金矿床（点）。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

湖南万古金矿

万古金矿系大型破碎蚀变岩型矿床，埋藏浅、交通方便。它的发现，对于湘东北地区找金和化探异常的快速检查评价，在湖南曾引起轰动。

该矿床位于雪峰古陆西段，主要出露中元古界冷家溪群粉砂质板岩。矿区构造以平行排布的NWW向断裂为主，NE向断裂为次。前者为含矿构造，后者为成矿后断裂。已发现含金脉带18条，长30～1 100 m，最长1 530 m。含金岩性为构造角砾岩、石英脉、破碎板岩；围岩蚀变为退色化、硅化、黄铁矿化等。

湖南地矿局四〇二队以金矿普查为目标，于1989年在该地区开展1∶5万区调（三市、嘉义幅联测），同时进行1∶5万水系沉积物测量，测定14种元素。其中As，Sb，Bi，Hg，Au为每km^2样组合分析。共圈出以Au为主的化探异常近20处，选择其中16处，用路线地质调查方法进行检查，耗时1年，未发现1处金矿点。其中万古Au，As，Sb，Hg，Ag组合异常规模最大，异常长6 km，宽1～3 km，面积11.5 km^2，元素含Au 10×10^{-9}～30×10^{-9}，最高540×10^{-9}，As 40×10^{-6}～60×10^{-6}，Sb 3×10^{-6}～5×10^{-6}，Hg 0.15×10^{-6}～0.25×10^{-6}，Ag 0.12×10^{-6}～0.2×10^{-6}。该异常先后检查4次，所采集的样品中含金最高为0.18×10^{-6}。从而认为本区Au异常由不具工业意义的分散矿化引起。1991年4月野外验收区调成果时，省局地矿处物化探主管人员指出：异常检查方法技术不当，未能查明引起异常的主要原因。要求在单样分析的基础上，选择重点异常进行补充检查。四〇二队请求省局技术人员对此做出示范。

示范工作选择万古异常，由湖南省地矿局地矿处和四〇二队组成联合检查组，配备铜-铅-锌冷提取现场分析箱、金量野外快速分析箱。采用冷提取现场分析和金量野外快速分析联合作业和“重点突破，由点到面，逆源追溯”的异常源快速追踪法，第一个工作日便发现Ⅰ，Ⅱ号金矿脉。该项示范性的异常检查于1991年国庆前夕，共用3个野外工作日，发现4条金矿脉，从而发现了万古金矿。其中的Ⅰ号脉经地质工作，储量3.4 t。

为配合地质普查，在区内开展壤中气汞测量和激电剖面试验。壤中气汞测量网度200 m×20 m，面积10 km^2，共圈出16个异常带，据此发现了Ⅴ号脉带，长1 500余m。万古金矿经四〇二队地质普查评价，矿床规模可达大型。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

湖南沃溪金矿

沃溪金矿是一个大型的金、锑、钨矿床，迄今已有120年的开采历史。随着矿山开采规模的扩大，保有的可采储量日趋减少。沃溪主矿仅有8年可采储量，已出现矿量枯竭的严重状况。不仅如此，沃溪矿22中段以下出现紧闭向斜，其北翼很可能被沃溪逆掩断层断失，从而出现可采储量进一步下降，导致矿山寿命加速缩短的局面。为缓解矿山资源紧张的状况，1995年9月～1996年4月，中南工业大学地球物理勘察新技术研究所与矿山合作开展矿区深、边部地质地球物理探矿研究。其研究任务是了解矿化从现在开采深度（地下约800 m）往下还能延伸多深；矿区西部大断层以西能否找到断失、断余矿体，以及矿体能否往东延伸或延伸多远等。

1 矿区地质背景

沃溪金矿处于扬子准地台江南地轴南缘的雪峰

黄金地质研究所
信息室 提供

弧形构造隆起带的中段。沃溪大型金-锑-钨矿床受EW向逆冲断层下盘的层间断裂带控制，属火山沉积-变质热液金矿床。

矿区内分布地层主要有冷家溪群和板溪群、白垩系。冷家溪群是一套巨厚的青灰色板岩，板溪群马底驿组中段的绢云母板岩和钙质板岩是主要赋矿层位。

沃溪金锑-钨矿床由V4，V3，V1，V2，V5和V6等矿脉组成，矿体分为层间石英脉型、网脉型和节理裂隙脉型3类，严格受层间断层和节理裂隙、岩相的控制，呈不等距平行排列。矿脉均由含硅质条带和含硫化物条带石英组成。辉锑矿和黄铁矿是最重要的2种含金矿物。强烈的围岩蚀变现象，尤其是黄铁矿化有利于物探方法发现和圈定矿带的宏观分布形态。

2 大功率、大深度物探方法探测深部盲矿体的作用

沃溪金矿床矿脉倾斜延伸大，开采深度距地表垂直距离已达700 m左右，单层矿脉厚度1～3 m，厚度与埋深之比小于1%，已大大超出物探方法的极限分辨率。但根据该矿床的具体地质、地球物理特征分析存在许多有利条件。板溪群板岩电阻率（ρ）为700～3 000 Ω·m，呈高阻，而与金矿化带密切相关的黄铁矿化等矿化蚀变岩，则呈低阻（ρ＜100 Ω·m），两者存在明显的电性差异。再加上矿脉与蚀变带成组产出，各条脉组在空间上呈不等距平行顺层产于马底驿组中，从而增大了目标体的可分辨厚度。显然地球物理勘探的目标是多层矿脉与蚀变围岩构成的低阻高极化区。

采用可控源音频大地电磁测深（CSAMT法）圈定低阻异常，用近矿激电法识别矿致异常与非矿异常。通过网度为100 m×50 m的物探工作，在已开采矿区东部发现1个近1 km^2、视电阻率为100 Ω·m的低阻大异常。异常区CSAMT法测深曲线为H型和HKH型，且存在充电极化率（η）异常，认为系矿化带的反映。经地质地球物理综合分析，物探推测在矿区东部已知矿体上部有一规模巨大的、埋深600 m左右的盲矿体。且由西向东埋深逐渐减小。矿山根据物探提供的信息，参考前人钻孔资料，采用段高25 m的坑探进行验证，证实7号盲矿体的存在，并追踪了V3脉向西的延伸，延长大于230 m，厚0.52～0.92 m，品位金13.47×10^{-6}，锑5.22%～7.0%，WO_3 0.03%～0.07%。已揭露的7号矿脉长度大于100 m，厚0.7～1.54 m，品位：金9.88×10^{-6}～20.05×10^{-6}，锑2.46%～9.8%，WO_3 0.55%～3.44%。物探预测矿体分布范围0.5 km^2，科研推测7号矿脉有黄金储量41 t（其中21 t已被工程揭露证实），锑金属储量12万t，WO_3储量6 000 t。7号矿脉的发现，不仅扩大了矿区矿床规模，其社会效益也是可观的，解决了矿山4 000余职工，沃溪镇近2万居民今后30年的就业和生活出路，为沅陵县脱贫提供了必要的财税收入。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

陕西庞家河金矿

庞家河金矿为一大型微细构造蚀变岩型金矿床。现已探明工业储量10 t，控制远景储量达20 t以上。

矿床处于秦岭褶皱系礼县—柞水华力西褶皱带北缘。出露地层为元古宇秦岭群、下古生界丹凤群和中上泥盆统。金矿赋存于上泥盆统下东沟组一套浅变质碎屑岩中。赋矿围岩主要为变质砂岩、粉砂岩及绢云千枚岩。矿体受轴向近EW向的西山倒转背斜轴部及两翼的一组层间挤压构造片理化破碎带控制，围岩蚀变主要为硅化、绢云母化。

1 物化探在矿床发现阶段的作用

1987年，核工业西北地质局二一一大队五分队在北秦岭地区开展1∶100万铀矿地面伽马能谱测量和顺便找金过程中，在庞家河南部发现了罗汉寺38号金矿化点。该金矿化点产于小石英脉中，当时取样分析金含量2.24×10^{-6}。1988年，按照38号点显示的信息，结合区域地质成矿条件分析，大队部署四分队在本区84 km^2范围内进行1∶5万水系沉积物测量，结果在庞家河、吴家沟、堡子山、梁山沟及老湾沟一带发现一批具一定规模，浓集中心明显，受构造控制的水系沉积物Au异常，在概略检查评价的基础上，当年即将有利靶区迅速缩小到宠家河2 km^2范围内。经1∶1万土壤地球化学测量和局部岩石地球化学测量，在硅化、褐铁矿化构造蚀变带内发现了Ⅰ，Ⅱ号金矿（化）带。1989年，四分队以Ⅰ，Ⅱ号带为线索，开展庞家

黄金地质研究所
信息室 提供

河外围 20 km^2 的 1∶1 万土壤地球化学测量和点上 0.6 km^2 的 1∶2 000 地质草测及土壤、岩石地球化学测量工作。结果在Ⅰ，Ⅱ号带南侧又发现了品位较高（最高金含量 15×10^{-6}）的Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ号金矿带，经地表追索揭露，于 1989 年底已探明金矿远景储量 2 438 kg。至此，庞家河金矿工业意义及发展前景已初见端倪。

2 物化探在矿床普查阶段的作用

1990 年，该区转入详查，二一一大队十一分队接替工作，由于该区覆盖广厚，覆盖面积约占工区的一半，为有效突破覆盖，加速盲矿带的追索揭露，不断扩大找矿成果，在庞家河金矿区开展了普查揭露勘探工作。1991 年在该区开展了 1∶5 000 甚低频电磁测量和深孔化探测量。甚低频电磁测量（倾角法）在隐伏构造蚀变带上方显示出磁场水平分量极大值，磁场垂直分量极小值与磁场极化椭圆倾角为 0 的配套异常。在 2 km^2 的范围内共圈定甚低频异常带 4 条，长度一般 500～1 000 m，宽 20～50 m，异常呈 EW 向带状展布。以甚低频电磁异常为主要线索开展了 1∶5 000 深孔化探测量，结果在甚低频异常显示的低阻（构造蚀变带）异常部位出现了连续的深孔化探 Hg，Au 异常或复合异常，由此证明庞家河金矿覆盖区，不仅有多条平行的隐伏构造蚀变带存在，同时这些构造蚀变带含金。经钻、硐探工程验证，深部金矿（化）连续，且随深度增加，金矿体厚度增大，品位增高。

运用甚低频电磁测量和深孔化探方法将庞家河金矿Ⅰ，Ⅱ号矿带向西延伸 300 m，向东延伸 200 m；将Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ号矿带向西部覆盖区延伸 330 m，向东（过小峪河）覆盖区（至堡子山）延伸 600 m。1995—1996 年，该队四分队在河东覆盖区对物化探综合异常进行了揭露评价，追索圈定了堡子山金矿床。1996 年，该队三分队又在西部覆盖区开展物化探异常检查评价，又追索圈定了吴家沟金矿带。从而使庞家河金矿床扩展为大型规模。

从该区已发现的 5 条金矿带来看，勘探程度较高的为Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ号金矿带，所圈定的矿体长 360～600 m 以上，延深 400 m 以上，平均厚度 2.22 m。金平均品位 6.32×10^{-6}。矿石中主要金属矿物为黄铁矿、含砷黄铁矿；金矿物主要为自然金，次为银金矿。

3 物化探在矿床勘探阶段的作用

该矿区覆盖广厚，覆盖面积约占全工区的一半，物化探方法对于工程布置、地质编录、划分矿段、追踪和圈定盲矿体等具有显著的效果。

摘自《中国矿床发现史物化探卷》

云南金厂金矿

金厂金矿位于墨江县城东北 10 km，地跨墨江与元江 2 县交界处。矿区北起银渣坡，南至锅底塘子，长 35 km，宽 0.5～1 km，面积 25 km^2。矿区处于哀牢山断裂与九甲断裂夹持的哀牢山浅变质带中段西缘，出露古生界浅变质砂板岩和上三叠统一碗水组紫红色砂页岩，NNW 向断裂发育，华力西—燕山期超基性、基性、酸性岩浆岩沿断裂发育。矿体产于金厂岩体膨大部分北西侧超基性岩体与围岩接触带附近，硅化、黄铁矿化强烈。矿区分 5 个矿段，北部矿段以含金石英脉型为主，平均品位 8×10^{-6}；中南部矿段为含金石英脉-含金石英岩复合型矿体，品位一般为 4×10^{-6}。是一个大型超基性岩蚀变热液型金矿床。

1957 年 2 月，云南地质局墨江地质队、1960 年，云南地质局第十六地质队先后在区内开展镍矿勘查，探获硅酸镍矿 42 万 t，金 2 050 kg，因镍矿难选而停工。

1972 年始，云南冶金地质勘探公司三一一队二分队（现武警黄金第十支队）、物探分队（现西南有色地质勘查局物探队）在区内开展找镍、金的地质物化探工作，完成 1∶1 万磁法、自电、化探工作面积 10 km^2，1∶5 000 激电 0.7 km^2。1975 年 4 月，在金厂南段圈定物化探Ⅰ号异常（90—96 线）、Ⅱ号异常（102—108 线）。Ⅰ号异常激电（η）最大值 25%，并伴有磁异常和 Ni，Co，Cu，Ag，As，Sb 元素异常，在异常内设计 6 个钻孔，孔孔见矿。第一孔 CK 91-2，孔深 18.3～183 m 见 5 层镍矿，总厚度 90.46 m，含金石英脉 1 条；孔深 44～53 m 为平均品位 1.06% 的富镍矿。94 线异常段，钻孔见到含镍矿层中高品位金 228×10^{-6} 石英脉 3 条，后经 94-1 坑揭露获镍矿厚 112.8 m，品位 0.45%～1.36%，镍矿体中穿插 5 条含金石英

黄金地质研究所
信息室 提供

脉，总厚度 18.6 m，金品位 42×10^{-6}～377.9×10^{-6}。物化探工作结果，全区共圈定物化探综合异常 49 个，经 102 个钻孔揭露验证，见金矿的有 27 个孔，镍矿 32 个，金-镍矿 27 个，钻孔见矿率 86%。1982 年 3 月，原武警黄金第十三支队勘查结束，提交了勘探报告，探获金储量 31.1 t。由于物化探寻找金厂金矿取得很好地质找矿效果，曾获 1979 年云南冶金地质勘探公司 30 年大庆地质找矿一等奖。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

青海金龙沟金矿

金龙沟金矿位于青海省大柴旦镇北西约 75 km 处，有公路通达，交通方便。矿区位于秦祁昆地槽褶皱系的柴达木北部隆起带内，海拔高 3 200～3 600 m。出露地层均为中元古界万洞沟群，主要岩性为白云石大理岩、条带状白云石大理岩及碳质绢云千枚岩。地层和构造基本走向为 NW。

区内金矿体共 27 个，NE 向矿体规模较大，NW 向的规模较小。矿体均赋存于万洞沟群碳质绢云千枚岩中。围岩蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化为主。矿体呈脉状、透镜状。最大的主矿体长 570 m，平均厚 26.3 m，平均品位 7.5×10^{-6}。

该矿床系青海省地矿局第一地质大队在开展该区 1∶5 万区域地质调查时检查放射性异常发现的（当时该区尚未进行 1∶20 万区域化探扫面）。

1988 年，第一地质大队在该区开展区调时，搜集到核工业部一八二队于 1969 年在此区发现的放射性异常，编号为 FU 16。放射性异常长 750 m，强度一般 50～100 伽马，最高大于 1 000 伽马。当一大队重新圈定该放射性异常后，经检查其系 NW 向的闪长玢岩脉所引起，脉长与异常长度一致，宽 1～2 m，走向 NW。针对该岩脉采集了 4 个化学样，除分析了 U，Th 放射性元素外，同时分析了 Au，结果发现岩脉含 Au 最高可达 16.8×10^{-6}，且金品位同放射性异常强度有一定的正相关，从而奏响了发现该金矿床的序曲。

进一步工作表明，金矿体走向为 NE。以前发现的金高含量样品恰是金主矿体与 NW 向岩脉的交会部位，且主要金矿体受控于层间的滑脱构造，其产状随地层产状的变化而变化。截至 1998 年，已探明金储量 52 t。

基于该金矿的发现，1994 年，青海省地球化学勘查院在包括该金矿的赛什腾山地区开展了 1∶20 万区域化探扫面。在矿区及其外围圈定了约 70 km^2 的以 Au 为主的多元素综合异常。后经青海省第一地质大队检查，于 1999 年，在金龙沟金矿之西约 5 km 处发现了 1 处新的金矿产地。矿体处于奥陶系滩间山群的一套蚀变安山岩中，长 280 m，最宽 17 m，含金 1×10^{-6}～9×10^{-6}。初步显示了已知金矿外围的找矿前景。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

γ 能谱测量在冀东花岗岩-绿岩型金矿预测中的应用效果

首先，在金矿田的圈定上，主要根据航空 γ 能谱测量结果，选择蚀变集中区。原则上讲，可以利用 K 异常圈定，但其易受岩体高 K 异常的影响效果不佳。根据经验，此时利用 K/Th 的效果最好，既有明显的地质含义，又基本消除了岩体异常的影响。其次，亦可用 w（U+Th）/w（K），w（K）w（U）/w（Th），[w（K）]^2/w（Th）·w（U）等导出参数，再结合地质构造、岩体分布、金的水系沉积物异常以及其他地球物理方法圈定金矿田。贾杖子小型金矿田的预测（图 1）即为一例。

至于金矿矿体的确定则主要依据地面 γ 能谱测

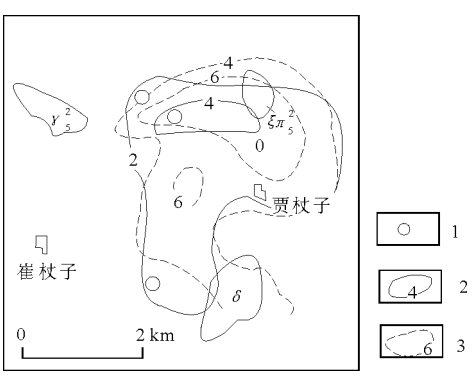


图 1　贾杖子金矿田 γ 能谱异常图

γ_5^2—花岗岩；$\xi\pi_5^2$—正长斑岩；δ—闪长岩；1—金矿点；2—w（K）/w（Th）等值线；3—w（K）w（U）/w（Th）等值线

黄金地质研究所
信息室 提供

量资料。由于放射性元素的分布具有与每个矿床相关的特征，因此，想用一个固定的γ能谱异常模式去套实际工作中的各种情况是不能奏效的。

在实际资料中，γ能谱特征要复杂得多，所以单一使用γ能谱法找金具有局限性。但条件有利时，分析方法得当亦能取得较好的效果。依据各个矿区的地质条件与已知区γ能谱异常特点，在冀东地区预测了数处找金点：渠子地北（与冶金部物勘院航测队设计的ZK1钻孔位置相近）；后沟119线381号点附近（图2）；北沟103线191号点（与ZK 100—1见矿钻孔相近，图3）；西水沟X剖面114号和130号点（图4）。

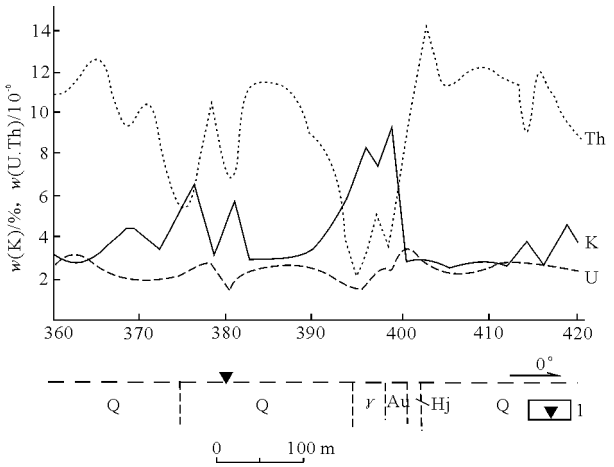


图2 赤城县后沟119线γ能谱异常图

γ—似斑状花岗岩；Hj—钾质蚀变带；1—推测有望地段

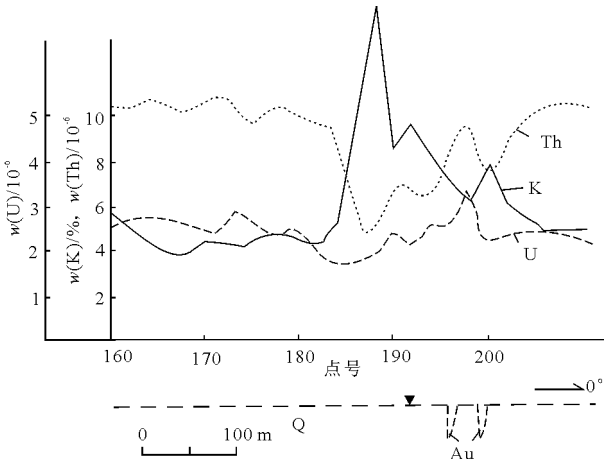


图3 赤城县北沟103线γ能谱异常图

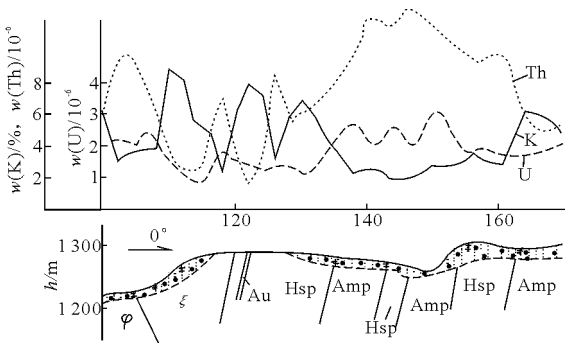


图4 赤城县西水沟X剖面γ能谱异常图

Amp—混合岩化浅粒岩；φ—透灰石岩；ξ—正长岩；Hsp—混合岩化蚀变破碎带

摘自《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》

地面γ能谱测量在河北东坪金矿区的应用

通过试验研究工作，可综合归纳出东坪金矿田伽马能谱的找矿作用。

1）在水泉沟碱性杂岩体的南北内接触带，特别是在交代蚀变强烈的南部内接触带内开展小比例尺的伽马能谱多参数测量，寻找与金矿化有关的矿化远景异常区。

2）通过1∶1万的伽马能谱测量，利用w（K）的异常圈定可能的含金钾化带范围。

3）在圈出的钾化带上，以w（K）/w（Th）值参数异常圈定可能含金的近矿围岩蚀变带。用以指示金成矿的可能范围或赋存部位。

4）以上述方法为主，用X射线荧光方法配合（选择该区能作为金矿化间接指示元素的Pb）能更有效地指示含金石英脉的可能赋存部位。

为了配合东坪矿区主矿体1号矿脉勘探报告的提交，了解伽马能谱场在矿区的分布特征，选择包括1，2，3号及72号等矿脉在内面积约4 km^2，用1∶1万比例尺作伽马能谱测量，同时伴以X射线荧光测量Pb的工作。测量结果捕获了一批有意义的异常。由伽马能谱w（K）与w（K）/w（Th）值平面等值线图（图1，图2），可知，w（K）及w（K）/w（Th）异常或异常的高值区绝大部分位于矿体或矿脉的两侧周围，仅当矿脉在浅部或地表出露规模较大，且矿脉群产状交错时，才有部分异常与矿体重合。

此外，由X射线荧光测量结果可知（图2），已知的1号矿体及72～75号矿脉均处于w（K）/w（Th）值异常的夹持部位，而该部位的X荧光异常明显。在矿化不明显的3号脉，虽然也处于w（K）/w（Th）值异常的一侧，但无X射线荧光

黄金地质研究所
信息室 提供

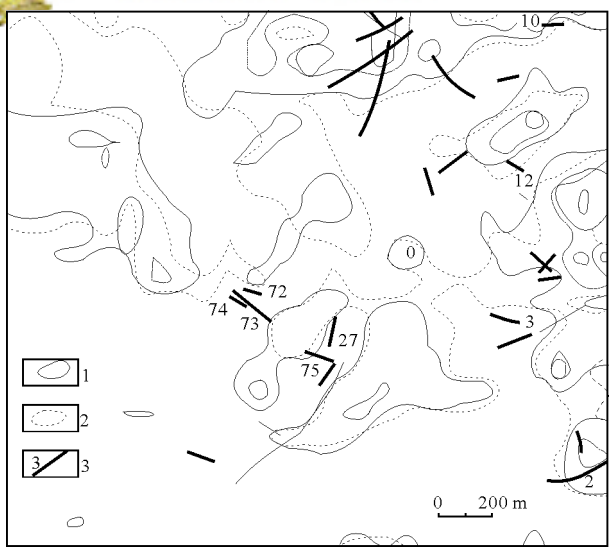


图 1 东坪金矿区 γ 能谱测量 w（K）与 w（K）/w（Th）值异常综合图

1—w（K）/w（Th）值异常；2—w（K）异常；3—矿体及编号

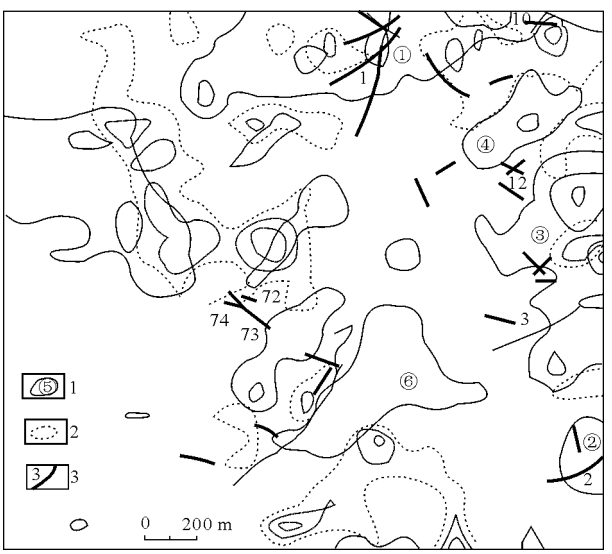


图 2 东坪金矿区 γ 能谱测量［w（K）/w（Th）］与 X 射线荧光（Pb）异常综合图

1—γ 能谱 w（K）/w（Th）异常；2—X 荧光（Pb）异常；3—矿体及编号

Pb 异常。因此，用伽马能谱的 w（K）/w（Th）值异常为主，对比 X 射线荧光异常分析，能更有效地预示本区可能的未知成矿远景区。在测区的最南部，有 w（K）/w（Th）值异常，从趋势上看，具有一定规模，它与 6 号 w（K）/w（Th）值异常形成夹持状态，其间的 X 射线荧光异常位于照山凹处，推测照山凹是具有矿化意义的远景区。4 号 w（K）/w（Th）值异常与 1 号异常的比值相当，且具有一定规模，它与 3 号及 3 号与 2 号 w（K）/w（Th）值异常之间的部位，分布有 X 射线荧光明显的异常，该地段应是具有矿化意义的远景区。

为了研究东坪金矿区及外围不同岩性的伽马能谱特征，在更大范围寻找新的矿化异常远景区，在水泉沟碱性杂岩体内外共完成 3 条 10 km 长剖面的伽马能谱测量。测量结果，在岩体南北内接触带附近，共发现 4 个新异常点（西坪、大枫沟、下水泉及转枝莲异常点）。与东坪 1 号脉群比较，伽马能谱各参数的异常值均较高，而且规模较大。从已查证的 3 个异常点看，具矿化（体）的希望较大。

西坪异常点位于西坪村西，22 号脉上盘（西侧），该异常为 NE 向展布，钾化带较宽。该异常的南部已发现矿脉多条。

下水泉异常点伽马能谱异常位于东坪矿区最东部。对该异常用 4 条 SN 向剖面控制，剖面间距 300 m。发现异常清晰，钾化蚀变强烈，异常宽度约 200 m，走向 NW。从整个下水泉异常看，似为复脉或矿化不均匀，因而总体异常宽大，异常峰值较多。转枝莲异常点位于水泉沟碱性杂岩体北部内接触带，异常区内，钾化不如东坪矿区中的强烈，但由于该处钾的背景含量较低，形成衬度相对较大的异常，因而异常清晰，形态完整，宽度 300～500 m，异常走向 NW，长度＞500 m。已知矿体与 w（K）/w（Th）值异常对应较好，该区已开采，转枝莲矿不是石英脉型及蚀变岩型金矿，而与煌斑岩关系密切。该异常的这一地质特征，又为伽马能谱在水泉沟岩体内寻找非石英脉型-蚀变岩（钾化）型金矿提供了依据，拓宽了找矿领域。

摘自《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》

冀北小比例尺车载 γ 能谱方法找金的试验研究实例

工作中所用的约 5 万 km^2 的 γ 能谱测量资料，是用 GP-106 A 型车载 γ 能谱测量系统，在工作地区进行比例尺约 1∶50 万高精度 γ 能谱测量取得的。测量车速为 25～30 km/h，采样时间为 6 s，每个采样点的长度为 25～50 m。

黄金地质研究所
信息室 提供

1 工作地区地质概况及该区γ能谱的变换参数的地质意义

1.1 工作地区（太仆寺旗、赤峰、丰宁、隆化）地质概况

基底地层是太古宙一套由角闪岩相到麻粒岩相的中深变质岩系。西部地层层位偏新为红旗营子群。东部偏老为建平群，其原岩以基性火山岩为主。

盖层主要是一套复杂的陆相火山-沉积岩系，由中酸性钙碱-偏碱性火山岩和部分中基性火山岩、陆源碎屑岩组成。

基底构造，有近 EW 向的康保—围场—丰宁—隆化和 NE 向的上黄旗—半截塔、赤城—御道口、张北—高山堡等深部断裂。

盖层构造，主要为 NE，NNE 向。

岩浆岩，主要为燕山期和华力西期花岗岩类，前者呈大面积分布于上黄旗—御道口、丰宁—围场及隆化—锦山断裂带，在西部的康保，分布有大面积的华力西期花岗岩。

工作地区中的金矿或矿点多分布在东部赤峰以西、围场以东的红花沟到四合永一带和隆化到旺业店、锦山、金洞沟一带，含金矿的主要围岩为太古宙中—基性火山岩变质的片麻岩。

1.2 变换参数的地质意义

根据该区地质及 K，Th，U 分布特征，为进行小比例尺金矿成矿预测，确定了以下 4 个γ能谱的变换参数。

1）工作地区地质热活动参数 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$

通常，在一定的区域地质环境下形成的各地质体中的 w（Th）愈大，w（Th）变化的均方差 σ_{Th} 也愈大，而其 w（Th）变化的相对均方差 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$ 值变化很小。各地质体 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$之间的变化差异也是不大的，但处在区域地质体形成之后的火成活动发育地带（区）的 Th 将产生强烈活化，迁移和再富集变化，使其内的 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$参数值远高于各地质体形成时的 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$参数值，而且这种 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$参数值主要同区域地质体形成之后的火成活动（如后期岩浆侵入等热活动）的强度和频繁程度成正相关。这样，就可采用相应地质体大小的滑动计算窗口滤波技术，提取大范围的区域地质体中的 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$［$\overline{Th}$为工作区内滑动计算窗口上 11 km×11 km 中地质体内 w（Th）的平均值］参数。该 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$参数称地质热活动参数，$\sigma_{Th}/\overline{Th}$高值带（区），属火成活动强烈、频繁发育带（区）的反映。$\sigma_{Th}/\overline{Th}$低值带（区），属火成活动弱带（区）的反映。通常，区域地质体中 Au，Pb，K，U……等，伴随遭受的热活动从 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$参数高值区的被活化迁移到其边缘外侧的 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$低值区沉淀富集，形成矿源物质的聚集带。

本区的金矿化的分布同相应地区 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$参数高值区边缘梯度带及其外侧 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$低值区（带）存在空间上的联系。

2）工作地区地质构造活动参数 $\sigma_K/\overline{K}$

通常地质体中 w（K）的分布变化服从正态分布，其相对均方差 $\sigma_K/\overline{K}$ 变化较小。但在区域地质体形成之后的剧烈地质活动的构造断裂带环境，将产生强烈的 K 迁出或迁入的变化，促使这些构造断裂带中的 $\sigma_K/\overline{K}$ 值突变增大，而远高于区域地质体形成时的 $\sigma_K/\overline{K}$ 值；这些构造断裂带的 $\sigma_K/\overline{K}$ 值，主要和区域地质体形成之后的构造断裂带中岩浆、热液、变质等活动的强度和频繁程度呈正相关。该 $\sigma_K/\overline{K}$ 参数可称地质构造活动参数，它的高值带，为区域地质体中地质构造频繁活动带（区）的反映，即有利地质体中 Au 多次活化和再富集的地带（区），$\sigma_K/\overline{K}$ 参数低值分布区，为区域地质体内地质构造弱活动区的反映。

本区东部的 $\sigma_K/\overline{K}$ 高值带或相对高值带，是一个同金矿化关系密切的莫霍界面隆起区边缘地质构造断裂活动地区的反映。

3）工作地区 K 盈亏参数（$K_i-\overline{K}_{区}$）和（$K_i-\overline{K}_j$）特征

区域地质体在长期地质演化过程中，遭受的地质构造作用强度和频繁程度存在着很大的差异，其内 K 的分布将伴随地质构造作用形成区域性和局部性的盈亏特征带；用大的滑动计算窗口滤波的 K 盈亏参数（$K_i-\overline{K}_{区}$，式中 K_i 为任意 i 点处 K 的含量，$\overline{K}_{区}$ 为以 i 点为中心的滑动计算窗口 11 km×11 km 中地质体内 K 的平均含量），主要提取区域性的 K 盈亏变化特征带信息，用小的滑动计算窗口滤波的 K 盈亏参数（$K_i-\overline{K}_j$，式中 $\overline{K}_j$ 为以 i 点为中心的滑动计算窗口 1.1 km×1.1 km 中地质体内 K 的平均含量），提取局部性的 K 盈亏变化特征带信息。用该参数分布的特征区信息，可划分出同金的迁移和富集相关的盈余 K 区和亏损 K 区，以及各区内 K 盈亏剧烈变化带；结合地质情况可筛选出有利 Au 多次活化、富集的 K 化高值带。

本区东部的（$K_i-\overline{K}_{区}$）参数高值带和升高值梯度带或（$K_i-\overline{K}_j$）参数剧烈变化高值带，属一

黄金地质研究所
信息室 提供

种同金成矿关系密切的、埋深较浅的地质断块边缘构造断裂带中地质活动地区的反映。

2 工作地区金成矿远景预测及野外验证工作结果

根据分布在本区东部的偏低 U 或低 U、偏高 K 或高 K 的特征地区，反映该区具有广泛发育碱（钾）交代岩活动的信息，它恰对应着本工作地区主要含金矿围岩——由太古宙中基性火山岩变质的片麻岩类，属工作地区中最佳的金矿源区；在金矿源区中地质热活动参数 $\sigma_{Th}/\overline{Th}$ 高值区边缘梯度带及其外侧的低值区，是一个活化 Au，K 物质的再聚集带；在这类 Au，K 再聚集带中与地质构造活动参数 $\sigma_K/\overline{K}$ 高值带或相对高值带，K 盈亏参数（$K_i-\overline{K}_{区}$）高值带或升高值梯度带，（$K_i-\overline{K}_j$）参数剧烈变化高值带相复合地区（带），存在着对 Au 活化和再富集极为有利的，并具有频繁碱（钾）交代活动的构造断裂带信息，而且这 4 种反映金成矿地质因素的 γ 能谱参数特征带的复合地区，还同地幔隆起边缘陡斜坡带以及地表的一些地质构造带对应。工作地区中的金矿或矿点多分布在这 4 种 γ 能谱参数特征带复合区的端部或其附近，具有金矿化显示的地质构造断裂带地区。

因此，在东部的前述 4 种 γ 能谱参数特征带的复合地区，预测为金成矿远景区共 2 片：一是 NNE 方向的朝阳地—红花沟地区，二是 NE 方向的隆化—旺业店地区。

1992 年 7 月，在 NNE 向的金成矿远景区中尚没有金矿化点分布的部分地区——朝阳地周围 530 km^2，在汽车通行的地区用车载 γ 能谱方法进行了验证和调查路线剖面 8 条，共 180 km。在其中的 4 条剖面上取了 26 个基岩金样品。结果在验证区内（北岗子村附近）的斑状花岗岩体测到的金含量为 9.6×10^{-9}；在验证区西侧盖善堂村北的混合花岗岩体测到的金含量为 10.4×10^{-9}；在益善堂村南的角闪斜长片麻岩层测到的金含量为 8.8×10^{-9}，并在测量工作中了解到在验证区内的温珠沟门村西覆盖层下面的太古宙地层中有一含金石英脉矿点。由此可见，应用车载 γ 能谱测量方法研究金成矿地质环境，圈定金成矿远景区或找金工作靶区是有效的。

摘自《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》

航空 γ 能谱测量在安徽六安地区金矿预测中的研究应用实例

本次研究工作是利用六安地区（24 000 km^2）已有的 1∶10 万航空 γ 能谱测量资料，为该区找金而进行的二次开发工作。

1 研究区地质概况及已知矿区试验结果

根据该区基本地质条件，将控制金矿主要地质因素概述如下。

在区域构造上，主要是北淮阳褶皱带火山岩建造和沉积变质岩系中发育的破碎带、复向斜等线状构造控制已知矿带、矿床（点）的分布。

大断裂，沿磨子潭—晓天断裂两侧的次级断裂控制金、铬、镍等矿产的展布，沿金寨断裂控制火山岩、碱性岩及有关的矿产展布。

岩相和建造因素，滨海-浅海相，海-陆交互相以及陆相火山岩建造并伴生侵入-火山岩建造，为金、铁等提供了物源保证。作为矿源岩，有资料表明生成火山热液金矿的火山盆地位于金丰度高的变质岩的背景之上，例如东溪金矿。

东溪金矿自地表向下约 200 m 范围内可分 3 个带：硅质风化壳（蛋白石、玉髓组成），青磐岩化（绿泥石、方解石、黄铁矿和绿帘石）带；明矾石、高岭石（伊利石）黄铁矿化带；绢云母、石英、冰长石（黄铁矿）带。其中第一个带在地表范围较大、强度变化不一，可能是成矿前形成的；第二个带是矿体周围的蚀变；第三个带是直接指示矿体的蚀变，其中冰长石是富矿段的标志蚀变矿物。

东溪金矿放射性元素分布特征见表 1。基本参数可以表征岩石放射性元素的分布特征，从中可以看出东溪金矿主岩中钾和铀的平均含量与文献发表的数据相比明显偏高，一般高一倍以上，钾高是由于主岩伴随青磐岩化发生钾交代作用造成的，而钍含量未发生变化，属于岩石的正常含量。由此说明在东溪金矿主岩放射性元素的分布上，至少发生过

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 东溪金矿床地面伽马能谱测量特征参数

剖面编号	岩石名称	$\bar{w}$(B)			均方误差			比值		
		K/%	U/10^{-6}	Th/10^{-6}	σ_K	σ_U	σ_{Th}	K/(10^3U)	K/(10^3Th)	Th/U
3	安山角砾凝灰岩	4.0	4.5	6.0	0.23	0.98	1.43	8.8	6.7	1.3
	安山岩、凝灰质安山岩	4.6	4.5	5.7	1.05	0.91	1.29	10.0	8.1	1.3
	粗安岩	4.7	5.4	6.7	0.52	0.45	2.5	8.7	7.0	1.2
1	安山质角砾凝灰岩	4.89	5.65	7.94	0.84	0.66	2.04	8.7	6.2	1.4
	安山质凝灰熔岩	4.18	5.42	6.65	1.02	0.77	1.21	7.7	6.3	1.2
	安山岩、凝灰质安山岩	3.69	4.31	4.79	0.19	0.42	0.74	8.6	7.7	1.1
	粗安岩	4.25	4.44	4.7	0.39	1.13	1.39	9.6	9.0	1.1

一次钾和铀元素的叠加作用。

总的来看，3 元素中只有钾的峰值与金矿化有稳定、明显的对应关系，见图 1 中 a 曲线的阴影部分；铀和钍均以偏低的趋势与金矿化相对应，见图 1 中 b，c 线阴影部分（上述对应关系也见之于其他金矿）。由此得出结论：与金矿化相关的放射性元素的分布模型是富钾贫铀、钍。

2 γ 能谱找矿模式的拟定

2.1 钾含量标准变换模式

如前所述，找矿首先需确定钾的正、负异常信息，然而运用常规的钾含量 w（K）等值图难以解决此问题。

因此拟定以钾的质量分数 w（K）（简写为 K）

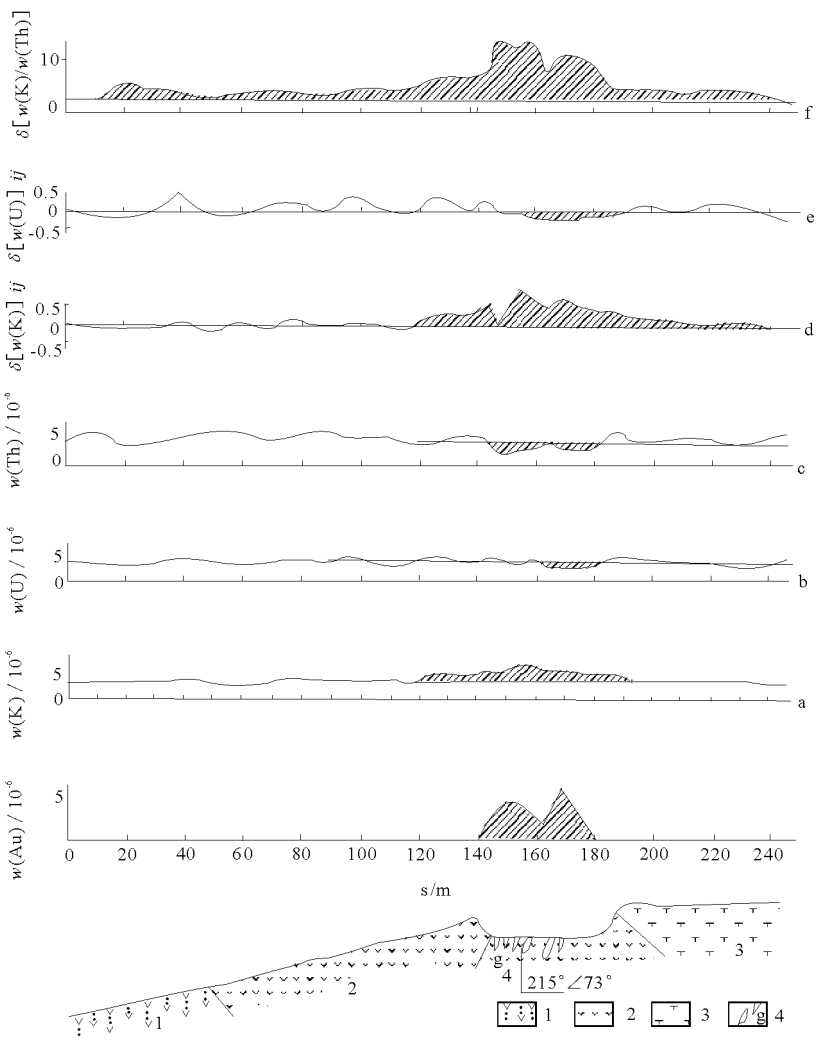


图 1 霍山东溪金矿Ⅲ号矿体综合剖面图

1—安山角砾凝灰岩；2—安山岩凝灰质安山岩；3—粗安岩；4—破碎带、石英脉

a，b，c 分别为钾、铀、钍含量变化曲线；d，e 分别为钾、铀标准变换结果；f 为提取钾化信息模式计算结果

黄金地质研究所
信息室 提供

之相对异常作为钾含量标准变换模式：

$$\delta(w_K)_{ij}=\frac{w_{K_i}-\overline{w_{K_j}}}{\overline{w_{K_j}}}=\frac{w_{K_i}}{\overline{w_{K_j}}}-1。$$

式中：w_{K_i}为钾的观测含量值，$\overline{w_{K_j}}$为第 j 编码统计单元钾含量的算术平均值。结果见图 1 中 d 曲线。

2.2 铀含量标准变换模式

出于同钾类似的考虑，找金矿需要确定铀的负异常和背景值，以利于界定富镁铁质岩石的出露范围。为此拟定铀含量的标准变换模式：

$$\delta(w_U)_{ij}=\frac{w_{U_i}-\overline{w_{U_j}}}{\overline{w_{U_j}}}=\frac{w_{U_i}}{\overline{w_{U_j}}}-1。$$

式中各变量的含意可与钾相对照。计算结果见图 1 中 e 曲线。

2.3 提取钾化信息的模式

如前所述，找矿是通过钾交代晕圈界定钾化范围来达到找金目的。然而钾交代并不等于简单的钾富集。

提取钾交代岩引起的钾化信息并掩抑造岩阶段形成的钾富集，需要认识正常岩石中钾与钍含量之间的变化关系。1963 年，海尔与罗杰斯发现各种火成岩的 w（K）/w（Th）值几乎是一个恒定值，近于 3×10^3。利用这一规律性认识对 w（K）/w（Th）值进行数学处理，便可以实现设计要求，从而拟定

$$\delta[w(K)/w(Th)]_i=[w(K_i)/(3\times10^3\,w_{Th_i})]-1。$$

式中各变量意义同前所述。计算结果见图 1 中 f 曲线，其地质效果是十分明显的。可以看到，既有突出的峰值异常信息，又有宽阔的高背景信息分别与冰长石化、钾化相对应。

2.4 提取找金优化组合信息的模式

如前所述找金尚需提取多元素优化组合信息，即富钾贫铀钍优化组合信息。为此利用钾、铀、钍含量在金矿体上形成的钾波峰与铀、钍波谷相对应的关系拟定，

$$\frac{\delta(w_K/w_{Th})_i}{(w_U)_{ij}}=\{[w_{K_i}/(3\times10^3)\,w_{Th_i})]-1\}/(w_{U_i}/\overline{w_{U_j}})。$$

式中各变量意义同前述。它突出了富钾贫铀钍组合信息。试验结果见图 2。

但是上述模式对航测数据的处理效果又如何呢？仍然以东溪金矿区为例经对比可见：

1）处理后的图面清晰度较高，主要表现在大范围的背景区已转化为空白区；2）晕圈相对独立、轮廓清楚、浓集中心明显；3）地质效果好，主要表现为与矿化吻合概率高，特别是钾化信息图，几乎 100% 的金矿化点全部囊括于晕圈带中（图 2），其找矿指示意义不言而喻。

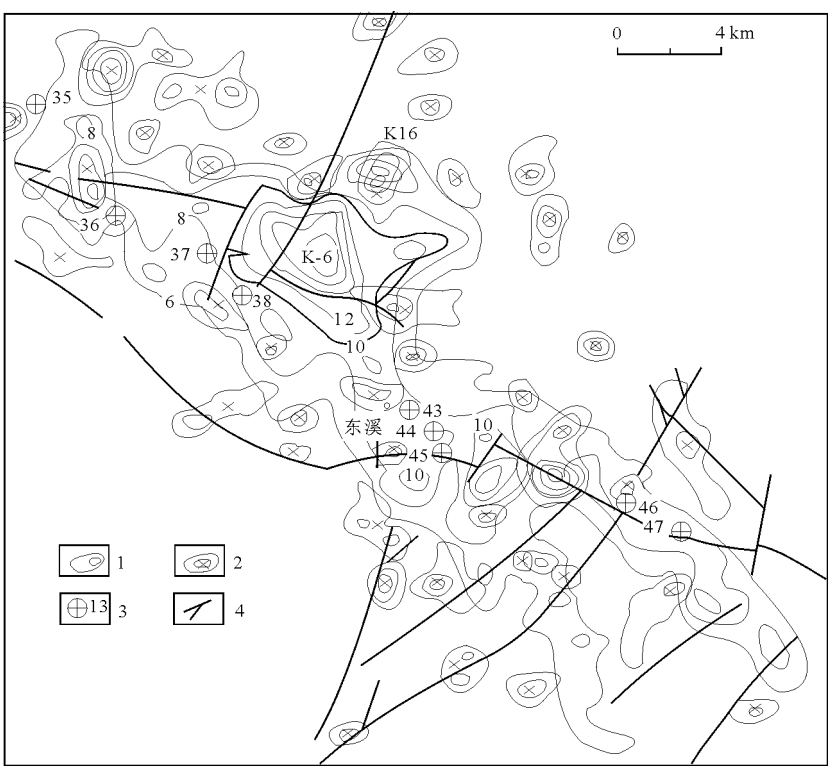


图 2 东溪金矿化带钾化与优化信息空间关系

1—钾化信息；2—优化信息；3—金矿床（点）；4—断裂

黄金地质研究所
信息室 提供

3 找金特征信息的选择，野外检查初步结果及成矿远景预测

3.1 找金特征信息选择标准

通过已知金矿带地质图与上面拟定的找金信息图对比分析，确定找金特征信息如下。

1）钾峰值异常特征选择标准

试验区钾峰值异常共计有 9 个，组成 NW 向线状异常带，沿磨子潭断裂北侧展布，与金矿（点）带组成平行侧列、分带产出的配套关系，为该断裂其他部位所没有，是惟一的钾异常组合。因此可把线状钾异常沿深断裂分布的特征定为选择钾异常（带）的标准。

2）富钾信息特征选择标准

试验区富钾信息组合呈集群状沿磨子潭断裂及其两侧展布，亦为该断裂其他部位所不及，仍具有惟一性特征。其实质是不同成因、不同类型的富钾侵入岩、火山熔岩及后期叠加钾交代作用的杂岩群体呈岩株、岩枝状沿深断裂侵入的综合反映信息群，与钾异常组合配套同属于反映偏碱性或钾化侵入岩引起的集群信息组合，定为选择富钾信息的标准。

3）钾化信息特征选择标准

该区钾化信息提供的选择标准是以断裂（含深断裂）为骨架，浓集中心与断裂交叉结相扣合延伸发育成带状并跨越了不同年代的岩石类型，显现出热液蚀变带沿透水性良好的断裂脆弱带发育的典型特征；与富钾信息的关系取决于反映的实体是否叠加了热液蚀变的钾交代。所有金矿（点）带全部圈围于钾化带中，充分表明该信息组合对金矿化的相关性。以上 3 种信息组合称为金矿的三钾配套信息组合，是内生金矿化区域定位极其重要的相关信息组合。

4）优化信息组合特征的选择标准

优化组合信息的实质是钾、铀、钍元素的原始成岩含量比例遭受破坏的局部反映，其疏密程度和信息量的多寡及其产出部位的归属均与成矿因素密切相关，概括地讲它是富钾贫铀钍的局部组合反映信号，该信息多受断裂和其他容易发生钾交代的场所制约，并且呈集群信息组合发育于钾化带内或其边缘，这一特点成为选择优化组合信息的标准。

5）贫铀信息特征选择标准

该区贫铀信息组合分布的特征是受断裂及交叉结控制、呈现小片串珠状、NW 向排列，亦属于富铁镁质中基性侵入岩产出的组合反映信号。与其他信息呈现交替、移位等组合配套关系，并且金矿（点）带多产在其外围附近，是作为矿源岩信息组合的特征标准。

3.2 典型找金特征信息的野外检查验证结果及成矿预测

为了验证上述分析与认识，选定了 6 片靶区的 22 个靶点进行了野外检查，检查结果发现金的矿化点 2 处，金的异常点 17 个，说明利用上述找金特征信息组合指导找金可取得一定效果。

1）指封山金矿化点初步评价

该点位于霍山县与儿街镇西南约 3 km 处的指封山北坡。地层为诸佛庵组硅化含黄铁矿二云母石英片岩及石英岩。图 3 取样位置为层间滑动破碎带，宽 1～2 m，长 30～40 m，再往东没有追索控制。露头处见不规则钾长石脉，含黄铁矿黄铜矿石英网脉及胶结角砾岩，其中一组黄铁矿脉已风化为褐铁矿。岩金拣块化验痕金为 306×10^{-9}。推测为一条金矿化异常带。其中 32 号点产于钾长片麻岩和硅质胶结角砾岩中，风化色呈黄褐色、红色，沿路见硅化构造角砾岩转石。拣块样分析结果为 20×10^{-9}。220 号点亦产于钾长片麻岩的构造破碎角砾岩中。第一次采样时，是在人工新鲜露头上，化验结果为 142×10^{-9}。而时隔 2 年之后于原取样位置重新取样化验结果仅为 6×10^{-9}，可能是表生作用对金淋失作用很强烈。在多雨的大别山区进行地表岩金采样由于表生淋失作用会明显偏低，所以对矿化异常带应进行加密追索和深部揭露。因为该点

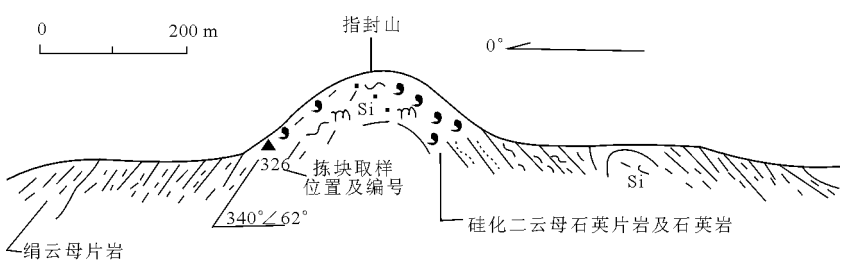


图 3 指封山 326 号金矿化点取样位置示意图

黄金地质研究所
信息室 提供

是受层间滑动挤压破碎带控制，估计产状比较稳定，矿化作用可能比较连续，值得进一步做工作。同时也指出小溪河组和诸佛庵组向东和向西两翼的找金远景意义。特别是向西直至佛子岭水库，配套信息比较齐全，钾长片麻状花岗岩和其他富钾贫铀钍小岩株（二长花岗岩）都有出露，应是有利的金成矿环境之一。

2）大关金矿化点（644 号）初步评价

该点位于桐城县大关乡南部约 2 km 处的潘家冲 NE 约 300 m 处的山坡上。围岩为元古宙浅粒岩及石英正长斑岩。矿化主要产于石英正长斑岩的边缘相或顶盖相，受一组断层角砾岩控制，厚约 0.2 m，长约 5 m，可见石英细脉；金属硫化物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等。沿走向控制 3 个探槽均未见构造及矿化。拣块分析结果 Au 为 143.9×10^{-9}，与揭露前的分析结果 157×10^{-9} 接近。可作为找矿线索。在其外围追索未发现类似的地质条件，取样均为偏高反映，例如在华盖山岩体内的余洼附近取样仅有 7×10^{-9}。

在上述一系列工作的基础上，经综合对比对试验研究区进行了成矿远景预测，最终划出 8 片Ⅱ级远景预测区及 4 片Ⅲ级远景预测区。

（$Ⅱ_1$）大关找金预测区，（$Ⅱ_2$）龙井关找金预测区，（$Ⅱ_3$）卢镇关找金预测区，（$Ⅱ_4$）真龙地找金预测区，（$Ⅱ_5$）与儿街找金预测区，（$Ⅱ_6$）石关找金预测区，（$Ⅱ_7$）青山—磨子潭找金预测区，（$Ⅱ_8$）响洪甸找金预测区。

（$Ⅲ_1$）庐江找金预测区，（$Ⅲ_2$）九井找金预测区，（$Ⅲ_3$）金军找金预测区，（$Ⅲ_4$）双河找金预测区。

指封山及大关金矿化点分别位于（$Ⅱ_5$）及（$Ⅱ_1$）预测区中。

摘自《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》

对含金硫化物矿田进行填图的经验

评价矿区的远景、圈定已知的矿田和发现新的矿田只能采用综合地质、物化探方法。当疏松沉积厚度不大时金属量测量的作用很大，然而随着疏松沉积厚度的增加其作用逐渐降低，在某些地球景观条件下岩石地球化学测量的应用也受到限制。由于内生作用，在大面积上岩石的磁性、密度和其他物性发生变化，例如在很多金矿田上观测到梯度很大正负相间的磁场。

热液交代作用的一大特点是在围岩中形成硫化物。多金属和含金硫化物矿床上变安山岩化的喷出岩和绢云母化岩石含有大量的黄铁矿浸染。黄铁矿化晕的宽度由 0.5 至几十 m，长度为数百 m，黄跌矿含量达到岩石总量的 10% 或更高，破碎带的黄铁矿化最为强烈，在离矿体很远的地方都能见到黄铁矿的浸染和细脉。在硫化物含量低的金矿上，热液蚀变岩石中硫化物广泛发育，在石英脉中硫化物不超过 1%，而在围岩——砂页岩中离脉很远的地方也见到相当数量的毒砂，这样的岩石可引起近 200 mV 的自然电场异常。

在近地表金-银矿床交代岩中含有大量硫化物（黄铁矿、白铁矿、毒砂等）。很多金矿田还广泛发育石墨化，石墨化岩石与石英脉和网状脉的关系并不完全清楚，一般认为石墨化的形成与同生碳的变质有关，也有人认为石墨化是后来叠加的。分析矿体与石墨化带的相互关系表明，石英脉主要位于石墨化岩石边缘，往往在后者之中穿插。

根据中比例尺的重力图，大部分矿田位于重力极值的边缘。A. A. 索罗多夫发现，金矿化与重力梯度带有关，据统计，在 67 个矿点中只有 10 个位于梯度为 0～0.5 mgl/km 的重力场中，但这些矿点意义不大，比较有意义的矿床梯度都是 3 mgl/km 或更大。

金矿田上的磁场在很大程度上取决于围岩的组分，其原有磁化率和在热液交代过程中生成铁磁性矿物的可能性，在一系列矿田上都发现强磁异常，个别磁场的轮廓大致对应矿田的轮廓。不过有时并未形成铁磁性矿物，因此矿田上的磁场平静。由于在不同类型金矿床的近矿蚀变岩石中广泛发育硫化和石墨化，所以有可能采用自然电场法和激发极化法来填绘矿田，但自然电场法的效果远不如激发极化法。由于不利的水文地质条件、岩石特殊的物理-力学性质、成矿矿物较低的电化学活动性，即使硫化物的含量很高也不一定能形成自电异常。

在矿体之外近矿交代作用涉及的面积很大，不过热液蚀变带的存在并不意味着会有具工业价值的矿产地。按照尽可能稀的网度开展激发极化工作（1 000 m×100 m）可大大提高工作效率。已发现矿床的工业价值与激电异常的面积有直接关系，矿

黄金地质研究所
信息室 提供

化的规模愈大，热液交代作用的范围愈大，激电异常的面积也就愈大。在 2 个黄铁矿-多金属矿床上得到几 km^2 的异常，在金矿床上情形也类似。极化率值与矿浸染的含量成正比。

热液蚀变岩石带近于等轴。激发极化测量采用对称装置，供电电极距 60 m，测量电极距 20 m，这样的极距便于在林区工作，效率较高。疏松沉积厚度 2～5 m。由于在整个测区采用了同一装置，疏松沉积厚度变化又不大，因此激电异常的幅度反映了近矿蚀变岩石中硫化物的含量，因而也反映了热液交作用的程度。

图 1 为一个在含金硫化物矿田上进行填图的实

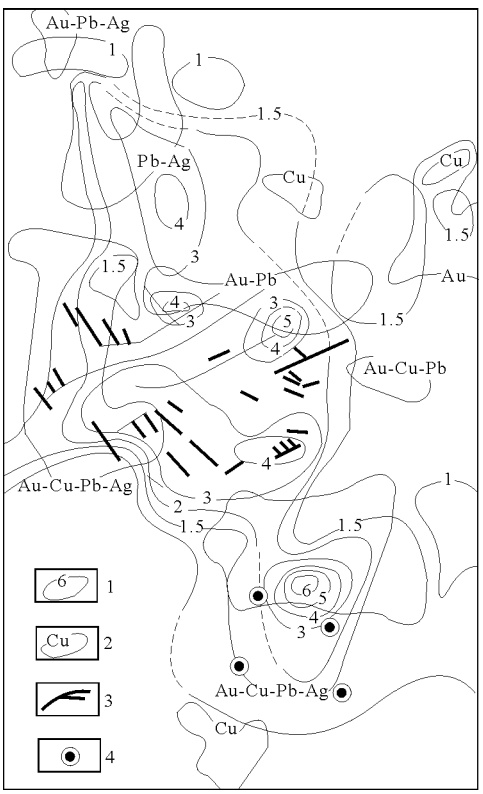


图 1 矿田内的激电异常

1—视极化率等值线；2—次生晕；3—石英-硫化矿脉；4—矿点

例。在矿田中所有已知的含金矿脉都在激电异常的范围内。

在其他矿田上也测到大范围的激电异常（图 2），激电异常和矿床一样都位于重力异常的边界和

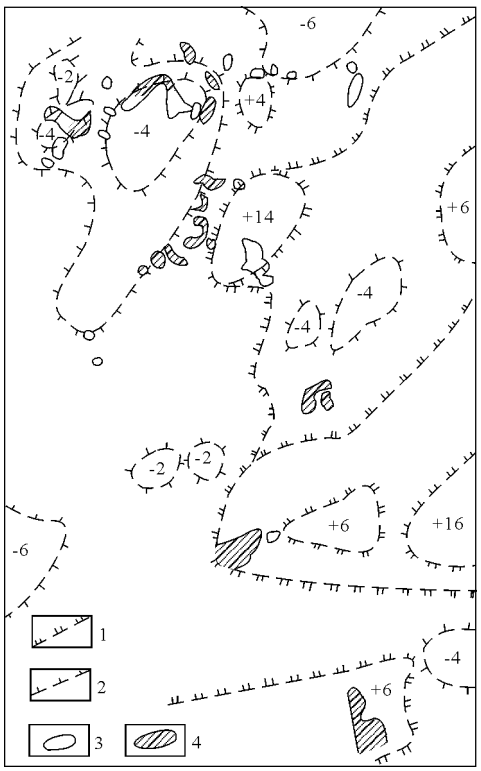


图 2 矿区物探异常图

1—重力高轮廓；2—重力低轮廓（数字表示幅度，以毫伽为单位）；3—位于强重力梯度带（>0.5 mgl/km）内大于2% 的激电异常；4—梯度带外的激电异常

强的重力梯度带上。分析表明，极化率偏高面积的 80% 都位于强重力梯度带上。在测区南部激电异常处于重力高的边部，而其他地方处于重力低的边部。当然，并非每个激电异常都对应于有工业价值的目标，在侵入岩中激电异常可能由大面积的黄铁矿化引起，在广泛发育煤质页岩的地方也可测到激电异常。

因此，矿区预测评价的最主要任务是圈定已知矿田和发观新矿田。已知含金硫化物矿田一般分布在重力极值边界的强重力梯度带内。有些矿田具有正负相间的强磁异常。近矿岩石的硫化和石墨化使得有可能利用激发极化法对矿田进行填图。激电法不仅可以用来解决局部问题，也能进行大面积的预测。

摘自《1∶5 万区域地质调查的物探方法和应用实例》

EH4 测量在河北峪耳崖金矿的应用

1 EH4 连续电导率测量系统简介

EH4 连续电导率测量系统是美国 EMI 和 Geometrics 公司联合生产的，采用了最新的数字讯号处理硬、软件装置，使用天然的和人工的电磁场信号，能够测量几米到 1 000 m 深度的电阻率，得出

黄金地质研究所
信息室 提供

电阻率连续剖面，是目前国际上一种先进的大地电磁测深仪。EH4 电阻率测量系统主要由接收、发射、资料处理三大部分组成。

1）接收部分主要由主机、前置放大器、磁极、电极及其附属设备组成。

2）发射部分主要由发射天线、发射机及 12 V 直流电源组成。可以发射频率为 1～64 kHz 的人工信号，以弥补天然场不足。由于工作区无明显天然场不足现象，所以本次工作中未使用发射机。

3）资料处理可分为实时处理和后续处理 2 个步骤。

实时处理：在野外实测时，根据每个测点给出的视电阻率、相位、相关度及振幅曲线，进行数据质量的实时分析，现场绘出断面灰度图。后续处理：将主机内的实测数据传输到 PC 机上，调整野外数据的相关系数、滤波系数、时序资料，将最终处理后的结果文件，利用绘图软件绘制二维断面图。

2 矿区岩石电阻率

峪耳崖矿区内产出的岩石类型非常简单，除第四纪冲、洪、残坡积物外，只有元古宇长城系高于庄组白云质灰岩、燧石灰岩、泥灰岩和燕山晚期侵入的浅色中细粒黑云母花岗岩和肉红色中粗粒、粗粒黑云母花岗岩等。一般火成岩与变质岩的电阻率值较高，沉积岩较低。就本区而言，燕山晚期花岗岩的电阻率值一般在 2×10^3～2×10^5 Ω·m 之间，长城系灰岩的电阻率值一般在 10^2～2×10^3 Ω·m 之间。

不同岩类的电阻率值的变化固然与其矿物成分有关，但在很大程度上却取决于它们的孔隙度或裂隙度及其中所含水分的多少。岩石孔隙度或裂隙度高、水含量高则电阻率较低，而岩石致密、水含量低则电阻率较高。从本区情况看，浅部花岗岩由于风化或构造破坏作用使其裂隙或节理较发育，电阻率较低，可达 $n\times10^2$ Ω·m，几接近灰岩的电阻率值。而地表或浅部灰岩由于裂隙或节理较发育并充水，电阻率值仅为 $n\times10$ Ω·m，甚至达 n Ω·m。总体来说，从电阻率测量结果来看，花岗岩表现为高电阻率，灰岩相对低。

3 工作方法

测量工作观测频率响应范围采用标准配置，即 10 Hz～92 kHz。磁线圈接收器用 BF－1M 型，电极用 BE－20 型缓冲放大器，使用经纬仪布设主测线及辅测线。主测线方位 330°0′0″，测量点距 40 m，极距根据地形情况布设为 10，15，20 m 不等。电极按十字形布设，电极 EX0，EX1 沿主测线方向布设，电极 EY0，EY1 垂直主测线方向布设，埋入土中 0.2～0.3 m，保持与土壤接触良好。磁棒按 L 形布极，用罗盘定向，Hx 沿主测线方向，Hy 垂直主测线方向布设，磁棒在挖好的沟内用水平尺摆放水平后用土埋实，电极连线、磁棒连线及接入主机和 AFE 的电缆均着落地面，并避免平行放置，每隔几米用土或石块压实，防止晃动。

对峪耳崖金矿区南西侧 16，20，24，28 号勘探线进行了测量，剖面总长 4 200 m，共测量物理点 106 个。其中在 16 号勘探线剖面上由于实际地形及地质条件限制而不得不跳过第 420 和 340 号 2 个测量点，虽然缺省此 2 物理点，但仍基本符合规范要求，不会对整个测量工作的最终结果造成较大影响。

4 测量结果及解译

从各剖面的电阻率等值线断面图看，总体反映为低阻的盖层和高阻的下部，而且具有越向深部电阻率逐渐增高的趋势，高阻体向深部未封闭。从工作区出露岩石的物理性质并结合实际地质情况，总体看上部是灰岩盖层，而深部则为逐渐膨大的花岗岩岩基。接触带位于 450～500 m 标高，同时向上侵入的岩枝比较发育。

4.1 16 号勘探线剖面

从 16 号勘探线电阻率等值线断面图（图略）可以看出，剖面上部为低阻区，下部为高阻区，接触带位置在 400～500 m 标高。高阻体向浅部有分支，还没有出露于地表。向上侵入的岩枝其电阻率与深部电阻率值相比相差较大，要低得多，可能是因为花岗岩枝侵入灰岩时发生蚀变以及裂隙充水等原因，致使电阻率降低。ZK1601 钻孔表明在 450 m 标高左右为花岗岩与灰岩接触界线，与电阻率等值线图相对比，在 ZK1601 钻孔线上高阻区与低阻区的过渡带也在 450 m 标高左右，具有很好的对应关系（图 1）。

但是，地表出露的花岗岩区在浅部呈现出与深部相比相对低阻的特征，主要原因分析有 3 个方面：一是恰恰位于地表出露的花岗岩区中的 420 和 340 号 2 个测量点由于受房屋建筑、废石堆的影响

黄金地质研究所
信息室 提供

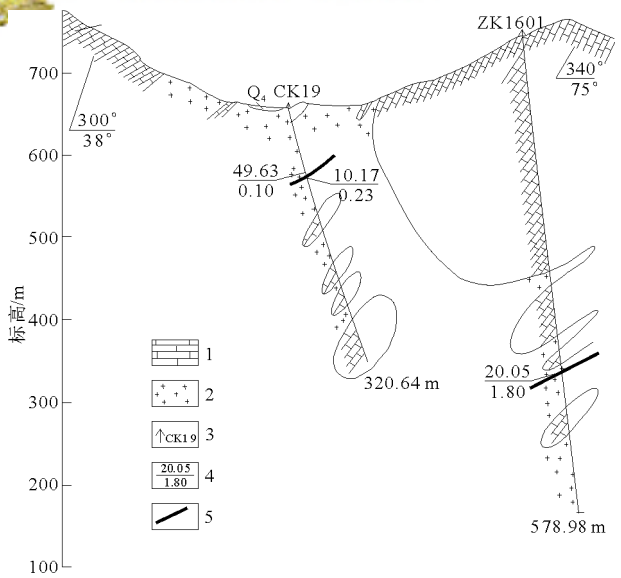


图 1 峪耳崖金矿 16 线钻孔剖面图

Q_4—第四系；1—灰质白云岩；2—花岗岩；3—钻孔及编号；4—$\frac{品位/10^{-6}}{厚度/m}$；5—矿脉

而无法测量，造成两侧的灰岩及捕虏体灰岩低阻插值，人为降低了此处的电阻率；二是由于该部位堆积了大量的浸后残渣，化学试剂和人工堆积物对浅部地质体的物理性质（包括电导性）会造成改变，不能使其反映出与深部花岗岩完全一致的特征；三是通过对照 CK19 钻孔资料（图 1），岩体中浅部存在一连串 4 个灰岩捕虏体，而且间距不大，分布比较密集，该处也确实存在低阻体（灰岩）。同时浅部岩石受风化或构造破坏作用使其裂隙或节理较发育充水也是造成电阻率低的原因之一。

4.2 24～28 勘探线电阻率平面特征

在 600，520，440，360，280，200 m 等 6 个不同高度切制的平面电阻率等值线图，可见在 520 和 600 m 标高，高阻体的范围很较小，在 440 m 标高高阻体形态呈现两侧宽中间窄的形态，高阻体面积增大。在 360，280 m 标高高阻体面积进一步增大，呈现出高阻体范围向小号勘探线方向（NE）逐渐增大的趋势，同时高阻体范围在 16 线向 SE 方向未封闭，在 28 线向 SW 方向未封闭。在垂向上岩体越向深部范围逐渐增大，地表出露的仅为岩株或小岩枝，而深部为大的花岗岩基，整个岩体基本呈向 SW 隐伏特征。

5 电阻率空间分布规律

在平面上，以电阻率值 2 000 Ω·m 为例做分布标高等值线图，可以看出，随着标高的逐渐降低，其分布范围逐渐增大，在 350 m 标高其分布范围远远大于地表花岗岩出露的范围。从电阻率平面分布形态上看，轴向呈向 SW 方向逐渐狭缩。而垂向在深部向 SE 向膨大幅度非常大，接触带产状很缓，表明深部花岗岩基主要隐伏于 SE 侧，而向 NW 方向膨大幅度很小，接触带产状很陡。另外在偏道沟 400 m 标高以下有一隐伏花岗岩枝，推测其深部应存在大的岩根，在更深部可能与 SE 侧岩基相连。

在轴向（SW）上，取 A—A′，B—B′，C—C′ 三条剖面做电阻率剖面等值线图，A—A′剖面位于岩体的 NW 侧，其电阻率等值线在 SW 方向上向深部侧伏显著。B—B′剖面位于岩体中部，电阻率等值线在剖面两侧比较平缓，中间凸起部位为出露地表岩枝的中心部位。C—C′剖面位于 SE 侧，电阻率等值线自 20 线向西比较平缓。总体上反映出电阻率等值线在 SW 方向上向深部侧伏，同时 SE 部比 NW 部侧伏幅度小。

6 结 论

从各勘探线剖面图和各高度平面图所反映的高阻、低阻区的范围和形态上看，岩体与围岩接触带反映出南缓北陡的特点，在平面上，向 SW 方向即向大号勘探线方向岩体具有宽度逐渐变窄、范围逐渐变小的趋势；在垂向上岩体具有向下范围逐渐变大的趋势。总体上反映出岩体向 SW 方向隐伏，向深部岩体面积越来越大，即岩体在垂向其形态反映为倒喇叭形，与地表出露的花岗岩体相比较，深部为大的花岗岩基。在地表以下的浅部花岗岩株（枝）比较发育，这些岩株（枝）对于金成矿是比较有利的。

总体而言，峪耳崖金矿区矿化主要产于岩体与围岩的接触带附近，接触带附近尤其是内接触带是金成矿的最有利部位，高阻区和低阻区清楚地反映了岩体与灰岩地层的接触带大致位置，这对矿区的深部找矿工作具有很大的指导意义。

通过 EH4 连续电导率测量工作，其结果基本上反映了地表以下 800 m 范围内岩体与围岩接触带的大致位置，以及接触带的大致产状与形态，岩体的基本形态，通过与实际地质情况相对比，二者基本吻合，取得了较好的效果，证明了 EH4 电法在峪耳崖矿区应用的有效性。值得指出的是，由于本方法主要用来解决深部的问题，对于浅部和细节情况的反映还不够明显精确。

武警黄金地质研究所陈孝强供稿

黄金地质研究所
信息室 提供

高密度电法在内蒙古巴彦温多尔金矿区的应用

1 高密度电法简介

高密度电法是在常规电法基础上发展起来一种阵列式电探方法，为多电极测量系统。高密度电法仪是普通的电测仪＋电极转换开关，数据采集是在观测剖面上同时布设几十乃至上百个等间距分布的接地电极和不极化电极，通过电极转换开关，完成不同装置、不同极距、不同测点的电阻率、充电率（极化率）的观测。计算机自动化技术的不断发展，使电极转换开关实现了自动化，并使高密度电法仪向着智能化前进，加之提供的数据量大，信息多，并且观测精度高，速度快，探测的深度很灵活等优点，在工程地质勘察、地下水、多金属矿、浅部煤矿资源勘探等领域得到了广泛应用。

高密度电法基本原理与常规激电方法完全相同，仍然以岩矿石的导电性和激电性差异为基础，集电剖面和电测深于一体，同时采集电阻率（ρ）和充电率（M）两项数据，采用高密度布点，进行二维地电断面测量，对金属矿勘探非常有利。

高密度电法系统工作原理如图 1 所示，图中 C1，C2，P1，P2 是采集一个数据所用到的 4 个电极，其中 a 为极距，n 隔离系数。测量中仪器根据测量装置灵活进行电极组合。

利用软件系统对测得的大量数据进行处理、反演、成图，成果图能直观、形象地反映出地下电性分布断面。

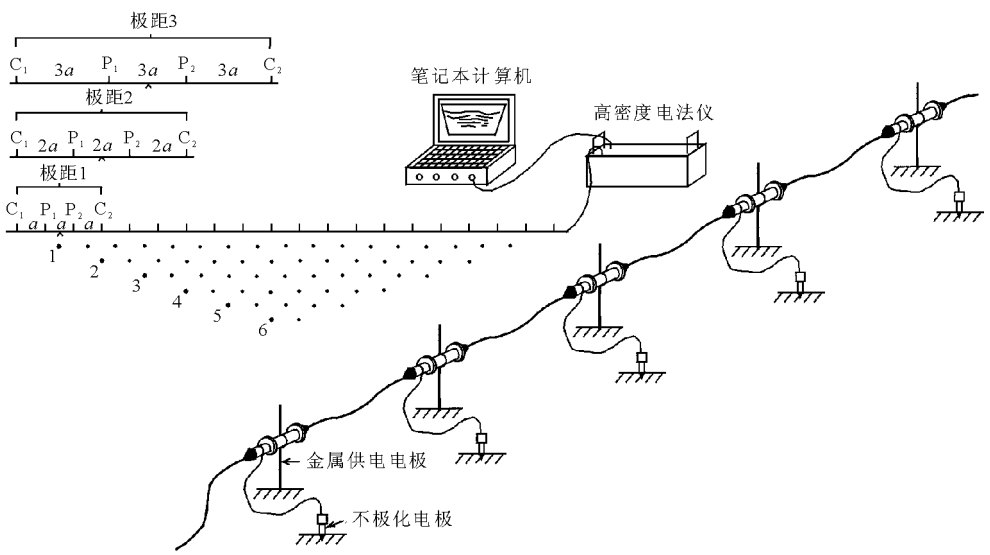


图 1 高密度电法工作原理简图

高密度电法具以下主要优势。

1）电极布设是一次性完成的，这不仅减少了因电极设置而引起的故障和干扰，而且为野外数据的快速和自动测量奠定了基础。

2）有效地进行多种电极排列方式的扫描测量，分辨率高，因而可以获得细致的关于地电断面结构特征的地质信息。

3）野外数据采集实现了自动化，不仅采集速度快（每一测点需 2～5 s），而且避免了由于手工操作所出现的错误。

4）与传统的电阻率法相比，成本低、效率高，信息丰富，解释方便。勘探能力显著提高。

2 典型案例

在巴彦温多尔金矿区的 22 号脉布置了 3 条测线，从测量结果来看，高密度电法异常反映明显，异常和地质资料对应好，并且取得了一定的成果和认识。在 3 条剖面线北侧均有一条低阻带。该低阻带刚好经过地质人员所推测的 NE 向的断层处，证实确实存在断层，在该低阻带上由于含有大量电子导电性较好的金属硫化物并且遭受强烈金属矿化引起高充电率异常。2005 年，在 128 线的 R1 异常带处设计了向 SE，倾角为 80°的钻孔进行验证，钻探结果表明在垂深 135 m 处见矿，穿透厚度 1 m，金

黄金地质研究所
信息室 提供

品位 1.9×10^{-6}。并且从钻探的结果来看从 70 m 到终孔为糜棱岩化二长花岗岩，该花岗岩始终伴有金属矿化，在孔内出现的糜棱岩化带对应低电阻率，岩石金属矿化强对应高充电率，是典型的低阻高充电率异常特征。与实测得到的高密度电法异常相吻合。

武警黄金地质研究所马德锡供稿

前苏联巴列伊金矿田地球物理找矿模型

巴列伊矿田内分布最广的金矿类型是赋存在花岗闪长岩（间或在喷出岩）中含中等硫化物的中温脉型矿床。矿结和矿床的结构-构造形态取决于它们在区域构造中的位置。区域构造可通过卫片和航片判读进行划分。矿床地质构造特点：围岩有广泛发育的交代蚀变，存在不同走向的构造断裂，岩浆作用不均匀（有多种脉岩系列）。上述特点的形成与中生代构造-岩浆活动旋回的阶段性和热液活动的长期性进化有关。

金矿体以硅质、石英-电气石-硫化物和石英-硫化物脉为主，脉厚为几十 cm 至几 m。矿石的主要成分是石英、电气石、硫化物。硫化物的含量在大多数硅质矿石中为 5%～10%，在石英-电气石-硫化物矿石中达 30%～40%。主要硫化矿物为黄铁矿、毒砂，但在成矿阶段，Au 与辉铋矿、黄铜矿、方铅矿一起沉淀出来，形成 Au-Bi，Au-多金属矿物组合。

交代蚀变的特征不但与矿石的矿物类型有关，也与围岩的成分有关。成矿前交代岩以青磐岩化为主。由于岩石中的磁铁矿分解并交代形成黄铁矿、绿泥石、绢云母、绿帘石、阳起石，便使岩石的磁化率和电阻率降低，并使其极化率和 K 含量升高。

近矿围岩蚀变的最早期过程是电气石化和黄铁矿化。各种类型的交代蚀变（也包括绢云母化、绿泥石化、硅化）均属于黄铁细晶岩地层。在贫硅质（辉长岩、闪长岩等）岩石中，形成绿泥石-绢云母-碳酸盐岩化的蚀变变种。对于石英-电气石-硫化物脉，交代的产物是电气石、绢云母、绿泥石、碳酸盐岩和硫化物（15%～20%）的集合体。含量较高的元素有 As，Cu，Pb，Zn，W，Bi。大多数硅质矿石的近脉蚀变带，发育有新生成的黑云母、石英和钾长石。金属矿物以毒砂、黄铁矿、黄铜矿为主，其总量可占 8%～10%，还可见有 Si，K，Mg，Ti 加入和 Na，Ca，Al，Mn 析出。由于围岩中发生 Fe 的重新分配，使矿床上方出现正、负交替的磁场。近脉交代使磁化率和电阻率降低，极化率升高。

矿区的黄铁细晶岩厚度在矿化层上部为 6～30 m，到深部蚀变带便成为不含矿的单一黄铁细晶岩。

对侵蚀深度不大的矿床，可见到有局部粘土化带（通常伴随有构造破碎），并使岩石的 Li 含量增高，极化率稍有升高（2%～4%）以及磁化率降低。

表 1 为不同规模找矿对象的普查标志以及不同普查阶段的地球物理研究任务。

因为决定物理场强度和特征的构造、岩浆岩和交代蚀变的标志与矿化有间接（概率）联系，所以“矿区-矿床”级的找矿对象可籍助于 1∶2.5 万的区域性地球物理研究结果，并利用卫片、航片判读来确定。由于地质、地球化学和地球物理的信息量很大，而且这些信息评价地区远景的可信度不同，因此必须采用定量预测方法，其中包括“模式识别”法。根据定量预测结果，可以圈出有赋存脉状金矿床远景的区段。

为了在远景区段范围内详细划分交代蚀变带，可采用详细的综合地球物理方法，以期单值地划分近矿交代岩带。近脉黄铁细晶岩带的物理-地质模型是厚度为 30～100 m 陡倾层，它的特征是磁化率和电阻率值降低，极化率值增高，Na 含量低，K 和亲铜元素含量高（其中 As 是典型元素）。这些物理性质和元素含量不仅在近脉空间内有规律地变化着，而且与矿石中的金品位有着数量上的相关关系。可以通过求综合指标函数（Г. С. Ахромеев 法）来缩小信息范围和对划分出的普查对象从统计意义上作出评价。根据激发极化法垂向测深或多极距中间梯度装置激发极化法剖面所取得的数据来确定矿体在交代岩带空间中的位置。用这种方法，可对近于直立的地电不均匀体作较详细的研究（表 2）。矿脉贯入在有羽状导矿断裂的构造弱化岩带中，或赋存在高阻性岩块（相对于矿体有带状的电阻率变化）的接触部位，因而导致这里的围岩有很高的电各向异性。在矿脉的直接毗邻区，极化率和电阻率各向异性系数值超过 1.2～1.3，同时各向异性椭圆相对观测剖面发生偏转。用方位激发极化法垂向电测深资料，根据岩石电各向异性随深度变

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 巴列伊型找矿对象的普查标志

标 志	矿 结	矿 床	矿带、矿脉	矿 柱
结构-构造	隆起地台、一级横向大断裂	二级羽毛断裂；不同期杂岩接触岩石中的裂隙增高带	三、四级不同成因的裂隙(断裂)	脉的最大厚度；矿石的最高富集程度
岩浆岩	岩浆岩成分的剧变；存在岩枝的火山岩“器官”	不同期脉岩密集分布	与基性脉岩的空间联系	
地球化学	金的专属区；赋存有不同温度的矿化和矿床；地化场的环形分带；砂金矿	金与其伴生元素(As，Cu，Bi，Pb，Zn，W)的大型综合晕；K 含量增高	金和伴生元素的局部次生晕，K/Na 的明显异常	伴生元素晕的最高衬度
矿化和交代现象	热液交代蚀变岩石的分带	黄铁细晶岩化；钾长石化的热液蚀变地层(硫化物化、硅化、电气石化、钾长石化、绢云母化、黑云母化)	有明显的交代岩、石英脉和石英的聚集	不同成矿阶段矿物的叠加；成矿硫化物数量的增高及近矿交代岩带的厚度
地球物理	正的重力异常；正负交替的复杂磁场和电场	岩石极化率的面积性异常；正负交替的正磁场；可据电阻率、极化率和磁化率等岩石分为若干岩石物理类型	不同电阻岩石的接触；线性导电带；综合指标函数(θ)[1]异常	电剖面方法和早期激发极化的综合异常；岩石极化率的强烈各向异性

1）综合异常的综合指标函数（θ）按下式进行计算：

$$\theta_j=\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{x_{ij}-\bar{x_i}}{S_i}\right)^2-\sum_{k=1}^{p}\left(\frac{x_{kj}-\bar{x_k}}{S_k}\right)^2。$$

式中：x_{ij}—对找矿对象具正效应的第 i 种方法异常的第 j 个测点上值，$j=1，2，\cdots$，为测点数，而 $i=1，2，\cdots$；m 为获取正效应异常的综合方法数；$\bar{x_i}$ 和 S_i—测得之具正效应参数的平均值和均方误差，x_{ij}—对找矿对象具负效应的第 k 种方法异常的第 j 个测点上值，$j=1，2，\cdots$，为测点数，$k=1，2，\cdots$，p 为获取负效应异常的综合方法数，$\bar{x_k}$ 和 S_i—测得的具负效应参数的平均值和均方偏差。

通过计算综合指标函数，可以起到增强有用信息，压制干扰异常或无意义异常的作用，同时可对综合异常的有望性作出评价（详见苏刊 *Разведка и Охрана Недр*，1972，2，38-42）——译者注。

表 2 综合地球物理方法顺序

比例尺	任 务	综 合 方 法	某些解释方法
1∶2.5 万	圈定矿田和矿区	航空伽马能谱测量、激发极化剖面、磁法、岩石化学法	“模式识别”法
1∶1 万～1∶5 000	划分容矿构造和硫化物矿化带	激发极化剖面、甚低频法、磁法、岩石化学法	岩石物理填图
点距为 10，20 m 的详细剖面	近矿交代岩带填图；确定其在容矿构造中的空间位置	伽马能谱测量、Na 的中子活化测量、点距为 10～20 m 的谱激发极化法、点距为 25～50 m 的激发极化法测深、4～6 个 AB 距的中梯激发极化剖面、激发极化法方位观测法	求综合指标函数(θ)
	追索矿体，圈定矿柱	压电法、电剖面、谱激发极化法 X 射线荧光分析(点距为 5～10 m)	

化的数据可评定矿化的深部远景。

对矿化侵蚀面标高的快速评价，还决定了异常工程验证的手段。矿化侵蚀面标高的快速评价可通过分析岩石实际性质和岩石成因要素分布（其变化规律取决于存在着垂直带状交代观象）来进行。矿化侵蚀剖面标高的评价可提高 P_2 级预测资源的可靠程度，这种评价的依据是矿化规模与围岩成矿热液蚀变体积和强度之间的关系。

在远景区内发现的近矿交代岩晕是开展 1∶1 万～1∶5 000 以及更大的比例尺地球物理研究的基础。此类研究的任务是划分和追踪容矿构造，详细划分硫化物矿化带，确定金伴生元素的次生晕。完成上述任务的最有效方法是采用甚低频法和谱激发极化法。核物探和电剖面法的综合应用，可以发现矿体（矿柱）中伴有最强烈围岩蚀变的富含硫化物的矿段。采用激发极化法垂向电测深和多极距中间梯度剖面进行电测有助于确定矿脉的空间位置。综合各种地球物理和地球化学标志，可对侵蚀面和矿化的矿物类型进行评价。所以要利用大量普查标志，不仅由于划分弱异常时需要综合的信息，而且也与近矿交代岩的物理性质和物质成分随侵蚀程度和矿化的矿物类型（交代岩的岩相属性）而变的概率特征有关。

对与矿化交代岩有关的综合异常，应通过山地-钻探工程进行验证，并要考虑到容矿构造的位置以及推定的侵蚀面标高。

拟定的综合地球物理方法施工顺序可以缩小工作区的面积，并可反映出成矿物质结构（找矿对象等级）不同的综合普查标志。

下面以蒙金（Мугин）矿区为例阐明地球物理研究工作在普查金-硫化物-石英矿化中的地质效果。该矿区位于温丁—达因（Ундин-Даин）凹陷的东南缘，并位于晚侏罗世花岗岩类岩体的上部侵入岩带中。根据地温资料，侵入体顶板埋深为 0.5～0.7 km。地质剖面由古生界花岗杂岩类和中上侏罗统火山-沉积岩组成。在矿区范围内见有许多

黄金地质研究所
信息室 提供

石英脉型金矿化点。

矿化的构造特征取决于它对严重破碎的、遭受糜棱岩化和交代蚀变的构造属性。此种构造带分成若干个物理性质明显不同的花岗岩类岩块。矿化表现为石英-电气石-硫化物脉。脉体的主要成分是细粒石英和电气石集合体，次要矿物有方解石、绢云母、长石。金属矿物以黄铁矿和毒砂为主（占脉石物质的10%～15%），还见有少量的黄铜矿、白铁矿、硫锑铅矿。近脉交代岩为遭受不同程度破碎、糜棱岩化花岗岩，并经受了绢云母化、高岭土化、绿泥石化、碳酸盐岩化和硫化物化的蚀变。交代蚀变带厚度可达30～40 m。

按上述方法对1∶2.5万地球物理研究区的信息量进行评估，并较可靠地圈出赋存有石英脉型矿化的远景区。按信息量大小，可将普查地球物理标志作如下分级：

电阻率	−0.222
磁场强度	−0.219
金次生晕	−0.109
极化率	−0.022
亲铜元素次生晕	−0.003

电阻率和磁场强度有最大的信息量，表明控矿构造和岩石物理标志有着重要意义。远景区界线与呈纬向展布的线性磁异常带相重合，线性磁异常可解释为是岩块分界线上的大型断裂。北部有2条断裂，与花岗岩类和火山-沉积岩的接触部位相一致。

在远景区段内的解释剖面上，投入了详细的综合地球物理普查方法：谱激发极化法、γ能谱测量和钠中子活化测定。此外，还开展了岩石交代蚀变特征的研究。研究结果确定了岩块在物理性质和交代蚀变类型上的差异。

用磁法正异常可划分出花岗岩类和火山-沉积岩中的断裂，这表明断裂附近交代岩是在近地表条件下形成的并含有磁铁矿。在Ⅰ号岩块内有不高的电阻率（500～1 000 Ω·m），K和Na为背景值；发现了Na的线性异常，富集系数为2～2.5。谱激发极化法在放电瞬间测得了极化率的局部异常，折算速度值为2.2～3.4 ms^{-1}（平均为2.8 ms^{-1}）。该岩块中的花岗岩类交代蚀变，与酸性淋蚀过程有关，并且与沿断裂带形成了石英-电气石-绿泥石交代岩（叠加有硫化物矿化）的裂隙带形成说有关。

Ⅰ和Ⅱ号花岗岩块以断裂为界，与上述情况相同地，在Ⅱ号岩块内岩石电阻率普遍较高（1 000～2 000 Ω·m），极化率为3%～4%。谱激发极化法测得的时谱异常相当于2.8～9.4 ms^{-1}（平均为5.6 ms^{-1}）的折算速度。K含量的明显增高带与Na的局部析出区相一致。Ⅱ号岩块的交代岩具有云英岩化蚀变类型的特点。常见的矿物组合为石英-白云母（绢云母）或石英-钠长石-绢云母。在Ⅰ，Ⅱ号岩块中的激发极化异常伴随有亲铜元素的次生晕异常（达0.1%）。激发极化局部异常通常位于地电接触部。

构造条件类似的已知矿体赋存在碎裂岩带中，该碎裂岩带乃是Ⅱ号花岗岩块和高阻（超过3 000 Ω·m）、低磁化率花岗岩的分界线。控矿构造呈现3%的激发极化异常、局部负磁异常、Au和亲铜元素的次生晕。在南部矿体的花岗岩内交代蚀变并不强烈，并显示为新生成的钠长石、黑云母和更晚期的绿帘石以及黝帘石。由于矿化-交代垂直分带性，引起了岩石物理性质和物质成分以及热液蚀变类型的规律性变化，由此可见，矿区确实具有块状构造，并且存在着不同侵蚀面的矿化，研究区段内的矿化程度由北向南增高。在进行1∶5 000普查找矿工作时参考了上述资料。

在上述矿化区内及其两侧开展了甚低频法研究。矿体赋存在被强度小于25 μV的E_x极小值所圈定的NE向导电带中，而位于其东南部的高阻花岗岩，场强超过50 μV。富集在容矿构造与近纬向剪切型裂隙复合处的硫化物矿化与推定的矿柱位置一致，并系根据强度为−100 mV的自电负异常所圈定。

在矿化带进行了详细的地球物理研究，投入方法有谱激发极化法、对称四极装置的激发极化法方位测量、γ能谱测量、Na的中子活化测定以及As的X射线荧光分析。根据近矿交代岩的物理性质和物质成分推定热液蚀变岩的厚度为150 m。普查标志根据衬度及其信息量可作如下排列：

K含量	0.93
磁场强度	−0.63
Na含量	−0.53
电阻率	−0.37
极化率	0.29

矿柱呈现宽为70 m的As（达0.2%）晕和强度为−50 mV的自电异常。用谱激发极化法（激发极化效应的折算速度为3.5 ms^{-1}）局部异常圈定的硫化物富集地段毗邻区，极化率各向异性系数增大到1.5。在矿体变薄部位，As次生晕、谱激发极化异常和自电异常均不呈现明显异常。据钻探剖面上的K/Na高值（在近矿交代岩带可达10～80，而背景值为1.5～7）以及围岩的地电晕特征，工业矿体垂深可达150～200 m。

普查-评价钻孔证实了侵蚀面标高的快速评价

黄金地质研究所
信息室 提供

结果。矿体延深达 180～250 m，往下矿脉变为细脉-浸染矿化带。

由上可见，将地球物理方法与核物探方法进行合理综合（其目的在缩小靶区，揭示探测对象综合普查标志的规则变化），可以提高石英脉型金矿普查-勘探工作的地质效果。

摘自《国外地质勘探技术》

苏格兰盖尔洛赫金矿区地球物理找矿模型

在苏格兰西北部，接近盖尔洛赫的凯里罗德层状 Cu-Zn-Au 矿体附近用很多物探方法作了试验。区域地质略图示于图 1。在地质图上标出了 5 个特别感兴趣的地方（标号①至⑤）。沿铁帽走向打钻证明存在隐伏矿体，矿体在位于②的石墨片岩露头之下。

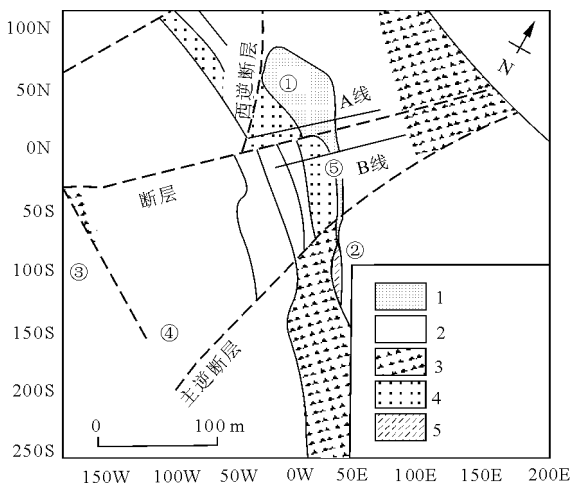


图 1 盖尔洛赫区域地质略图

1—铁帽；2—角闪石片岩；3—石英云母片岩；4—绿泥角闪片岩；5—石墨片岩

1 地质概况

盖尔洛赫的矿体以层状赋存于刘易斯期的洛赫马力群片岩中。洛赫马力群主要由角闪石和石英-云母片岩组成，含石英-磁铁矿，石墨和石英-碳酸盐片岩夹层。矿体由含黄铜矿、方铅矿、金及少量其他金属的致密硫化物组成。

洛赫马力群的区域走向 NW，向 NE 陡倾。这个层序被托苏里东砂岩不整合地覆盖着，这个现象在洛赫马力群全部出露区都可发现。

矿化带是走向 NW 近于垂直的层，并以高度风化铁帽形式出露。区内的大逆掩断层（“主逆断层”）以 20°角倾向 SE 并向 NW 向移动，在逆断层面处把矿带从露头的东南部切断。断裂和逆断裂使这个地区的矿体产生构造分离——在露头区（西矿带）和覆盖区（东矿带）之间最明显。

2 物探结果

1）磁法，在所有有利地区都发现磁法异常。①号异常位于铁帽之上稍偏西北处；②号异常位于石墨片岩露头上。还伴有其他物探方法异常。推断为东矿带的南沿部，异常是负值；③号和④号异常反映石英-磁铁矿和角闪石片岩之间的磁性差异；⑤号为一个负的小异常，表示它和主要铁帽组分上的差别。

低幅异常区与石英-云母片岩对应，而磁梯度陡变区对应于角闪石和石英-磁铁片岩。在有断层的地方看到异常被切断，如在①号异常的南端，②号异常的北端及③号异常的东侧。

2）天然放射性方法，在①～⑤各区放射性总量图上没有发现异常，表明矿体没有放射性。

3）电磁法，区内用了 3 种电磁（EM）法，并采用不同的发射频率：水平圈 EM 系统（HLEM）、脉冲 EM 法（PEM）、甚低频 EM 法。

水平线圈法（HLEM）在铁帽两边，50 N 线上（①号位置）观测到的强正负值表明为一个宽的水平体。从 2 低值间距离估计物体宽度为近 100 m。从 2 个峰估计倾角分别为 75°和 80°，并表示铁帽两边的倾角。

在全区作了 PEM 工作。用水平圈组合，线圈距 100 m。只在测线 50 N 和 200 S 出现强异常。根据求得的深度说明都是浅的或出露的导体。

①号异常显示出一个宽的、近于垂直的矿体，其电导近 200 Ω，埋深 9 m 左右。这个矿体一直延伸到东南方并到达 00 线。

②号地区无明显异常，可能是因为这个矿体的电导太低而不能被低频 PEM 法找到。在 200 S 线 60 E 出现的导电带相当于 HLEM 和 VLF-EM 有异常的地方；地质图上位于角闪石片岩上。

VLF-EM 法对原始实分量 VLF 数据采用了微分滤波法。目的是为了在原始数据的拐点产生极大和极小，因为这样解释等值线图比解释梯度或拐点更容易。为了分析所得结果，也绘制实分量和虚分量剖面。

黄金地质研究所
信息室 提供

在①，②和③号地区出现 3 个主要异常。铁帽东南的断层反映在 VLF-EM 图上。但主要逆断层无任何显示。

在①号地区的 50 N 线剖面上显示有一个强实分量异常，但虚分量几乎无表示，说明存在一个良导体。并为－40% 的强负值所证实。与②号异常相联的虚分量有一稍弱的正拐点表示有一弱导体。在③号区的异常相对磁法及 SP 异常向西南位移。

用实分量正、负峰值间的半水平距求出了导体顶部埋深，并显示在②号区的异常以 0～8°的低角度插向东南方，异常的振幅比铁帽上的小，所以这个异常好像是由中等导体（例如石墨片岩，也可能是逆断层本身的超糜棱岩）所造成。VLF-EM 法中②号异常越过主要逆断层延伸至⑤号区。响应的连续可能是由非矿化围岩所引起。或者如果测线更密一些可能会显示 2 个分离的异常，①号异常东南端出现中断，由此可以推测出存在有断层。

4）自然电位法，引起异常物体的深度和形态可由 SP 剖面求出，深度为负异常半值点间距的一半。②号异常出现在石墨片岩露头上并且为 VLF-EM 资料所推断它插向东南，但角度更陡。VLF-EM 法反映的是中等导体。例如，石墨片岩和糜棱岩，但 SP 异常反映的是良导体，因为异常幅值很高。计算出的深度可能反映东矿带的深度。在许多地方东矿带的顶部由主逆断层的底所确定，由许多钻孔断面知道它以 10～20°角度插向东南。与此相一致，异常体似乎以近 15°插入。

计算出③号异常在 100 S 180 W 和 150 S 165 W 的深度分别为 10 和 20 m，所有 3 个异常东北部的缓梯度变化指出存在一个向 NE 陡倾的导体。

5）电法，为了研究其他方法在铁帽上及在石墨片岩区发现的异常，在 50 N 和 100 S 线进行了 IP 和电阻率测量。

在 50 N 线的电阻率断面上有由①号分别向 E，W 倾的 2 个异常带，数值各为 20～300 Ω·m 和 500～700 Ω·m。在这 2 带之间有一高阻带（1 000～3 000 Ω·m）。这些异常可解释为一个近于垂直板状导体，可能向 E 倾，因为在这个方向电阻率更低。在 00 点出现的高阻带（$N=2\sim4$）表示这个物体延深的范围有限。在 IP 断面上，高充电率低与电阻出现在同一位置，东边的充电率高一些。在铁帽上得到的这些结果表示这个矿体既是良导体又是极化体。

在 100 S 线上找到 2 个低电阻率区。第一个在②号位置，电阻率小于 500 Ω·m，以 20 E 为中心并随深度加大而变宽——表示为一垂直板状体。这个等值线的位置比在 50 N 线铁帽上的深且延深更大。高电阻率岩石（2 000～10 000 Ω·m）围绕这个异常，这个异常似乎并非位于地面有石墨片岩的地方。这个资料就是有东矿带存在的有力证明。

第二个异常在③号位置，中心在 190W，在测区边上电阻率降的很低，综合其他方法可知，这个地方是不平常的。

可用以下方程计算异常体的深度

$$（N+1）\frac{d}{2}<\text{深度}<（N+1）\frac{d}{4}。$$

式中：d 是偶极距；N 是异常数据出现最多的间隔系数。用这个方法算出①号异常的深度（到铁帽顶部）在 50 N 00 W 为 20～40 m；②号异常在 100 S 20 E 为 30～60 m；③号异常在 100 S 190 W 为 20～40 m。由这个公式可以得到的最小深度为 20 m。

充电法在铁帽上出现一等值线高，但电位最大值出现在它的东南面⑤号异常上。这意味着后边这块地方与 BH 6 孔中矿体有电性联系，而主铁帽倒被断层分开。用 Eloranta 的积分方程法作模拟表示铁帽这一部分与钻孔交点之间可能由又长又薄的物体连接着。

在②号位置以东，100 S 线的 30～120 E 点并在东矿带之上可以看到一个等值线平缓的地方。此处所测到的电位低反映 BH 6 孔的交点与这个带连接不好。这个异常可能代表石墨片岩下面的矿体。

用 Eloranta 的积分方程法模拟充电法资料表明隐伏露头矿的大小约为 60 m×60 m×10 m。

3 结 语

1）构造，根据物探异常走向推定区域走向为 NW。表示断层的异常沿走向常被切断。在磁法，HLEM，SP 和放射性图上，由石墨片岩/石英-云母片岩异常断开表示出主要逆断层。在 VLF-EM，PEM 或充电法图上看不到这个断层。在所有资料上都看不到西部逆断层，因为它近于平行测区内的走向。在磁法图上与铁帽有关的异常的突然中断可以证明有断层。在 VLF-EM 图上，①和⑤号异常的分开也表示断裂运动。

2）异常带间的关系，在地质图上（图 1）标出了①～⑤号异常区。表 1 为物探计算出的各异常体的深度。因铁帽是出露的，计算出的矿顶深度仅表示解释误差，它近似的等于读数点距；表 2 为在各地的异常幅值。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 由物探资料计算出的各异常体深度 S/m

物探方法	1 上	1 下	2	250 S 50 E	3
SP	6		10	50	10～20
VLF-EM	15		12	25	20
电阻率法	20～40		30～60		20～40
磁 法	5		0[1)]		
PEM	5				
充电法		10			

1）石墨。

表 2 在①～⑤号异常上每种方法的幅值

方 法		异常 1	2	3	4	5	围岩
SP/mV		−300	−450	450	50	100	0～100
VLF-EM(实分量/%)		−40	−20	−50	0	−20	0～50
电阻率/Ω·m		200	200				1 000～5 000
磁法(总场,γ)	极大	1 600	0	1 300	1 000	0	0
	极小	−1 400	−700	0	0	−200	
HLEM(实分量[1)]/%)		50	20		10	0	0～15

1）峰值。

①号点的铁帽几乎和除放射性方法以外的所有方法的异常有关，表明是一个良导体，有磁性、但无放射性的物体。由充电法模拟估计埋深为 10 m。

在地质图上表示为中等导电的小露头（图 1）的②号点几乎引起各种方法的异常。VLF-EM 反映出一个中等导体并产生一个低值异常，这个异常指出有一物体以小角度插向东南，并可能是由石墨片岩引起或由构成逆断层本身的超糜棱岩引起。可是 SP 法出现一个高值异常，表示为以更陡且更深插入的良导体。推断为东矿带存在于石墨下的隐伏矿体。电阻率异常指出在深 30～60 m 有一良导体，说明存在一个深部导体。因此，不管是否有导电石墨盖层，隐伏矿可用综合方法找出。在②号异常区充电法电位值较低，这表明东矿带和铁帽缺乏联系。

③号异常区引起电法、磁法和 SP 异常，其磁化率，电导率及 SP 值可与铁帽的相比，导体的深度为 20 m 数量级。VLF-EM 异常稍靠南一点（参看铁帽上的异常，它也偏移）。以前没发现这里有导体。

④号区只有磁异常，这表示存在一石英-磁铁矿片岩带，它有磁性但不导电。因区内露头少，地质图上没标出这个带。

在地质图上（图 1），⑤号区标出为铁帽的连续区但被断层分开。①和⑤号 VLF-EM 异常分离表示出了这个断层。在所有电磁法中，VLF-EM 法所用频率最高，因此反映电导率最低的岩石。这一点，连同其他方法在⑤号区观测到的低值异常表明此区的矿体导电性不好，因此，成分也与铁帽不同。在这里观测到充电法的电位峰值，这表示钻孔交点与这个岩性的电性联系比铁帽好。此区的其他岩性有角闪石，石英-云母和石英-磁铁片岩。并也可从物性上分开，石英-磁铁片岩（在④号区）可由高磁异常但无任何其他异常去发现。石英-云母片岩产生高放射性读数但磁梯度很小。角闪片岩表示出高磁梯度。

3）结论，在含 Cu-Zn-Au 致密硫化物矿的刘易斯片岩地区完成了磁法、电磁法、电法和放射性方法研究，并把这些方法的异常与地质图作了对比。在出露矿体上所有方法都有明显异常，但被传导层覆盖的隐伏矿只能用综合方法去发现。判断矿异常最有用的方法之一就是最简单的方法——自然电位法。已知地质情况和物探资料有很好的相关性，这说明在地质情况复杂的地区用物探辅助填图是很有用的。圈出一个能引起综合异常的新导体。

摘自《国外地质勘探技术》

美国拜哲山砂金矿区的物探工作

美国矿业局于 1968 年 5 月开始对加利福尼亚州内华达县拜哲山（Badger Hill）地区的第三纪古河道砂金矿进行研究，目的是建立砂金矿的三维模型，圈定含金层位的深度，厚度和范围，为此使用了折射地震法、重力法和测井方法，由于物探工作的结果，节约了大约 40% 的钻探工作量。

1 地质概况

基岩主要为板岩、千枚岩和石英岩。出露岩层的走向为 NNW，倾向 NE。

古河道的填充物分为下部和上部砂砾层，下部砂砾较大，分选性差，上部砂砾粒度要小得多，分选性好，含有多层粘土和砂。

下部砂砾层分蓝色砾石和红色砾石 2 层，蓝色砾石充填主河道的底部，沿河道中心线厚度由 95 变至 125 英尺，并有次生硫化物存在、密度高。在基岩以上 20 英尺内大漂砾的百分比较高。该层经过压实紧密胶结。蓝色砾石层约 71% 由变质岩、

黄金地质研究所
信息室 提供

风化岩石和乳石英的卵石、中砾和漂砾组成，其余的 29% 由细至粗粒的石英砂和散布在蓝色砾石中的蓝色粘土扁豆体或脉状体组成。蓝色砾石中混有少量的金、云母、黑砂、黄铁矿、锆石和碳质物。

上覆的未固结的红色砾石颜色与下伏的蓝色砾石大不相同，但岩性组分和分选特征类似。红色砾石一般缺少硫化物。很多中砾和卵石，表层风化厚度达 0.5～1 英寸。红色砾石层的厚度 20 ～80 英尺。

上部砂砾层为白色，厚约 90 英尺，这一层的 5% 是由乳石英卵石构成，其余 95% 为细至粗粒石英砂和粘土组成。

大约 80% 的金赋存于靠近基岩的蓝色砾石层中，其余 20% 的金无规律地分布在所有的红色和白色砂砾层中，由地表直至蓝色砾石层的顶板，由古河道的一岸至另一岸。

2 物探工作结果

在该测区共作地震折射剖面 14 条，长度由 500～3 000 英尺不等，总计 23 500 测线英尺。重力测量共作 300 点，地面磁测共作 1 000 点。在物探工作之前所打的一些取样钻用来作为根据地震结果进行分层的基准，在钻孔中还作了声波速度测井、电测井和井径测井，一方面为地面物探资料的解释提供了参数（声速）；另一方面也有助于划分岩性。

根据重力测量资料编绘了布格重力异常图，它清晰地反映出古河道的范围、走向和总的形态，因而也就提供了有关砂金矿赋存范围和总体形象的资料。

大部分地震测线布置在古河道范围内，目的是对沉积物进行分层，确定古河道底部的形态，圈出金最有可能富集的部位。此外还作了一些沿古河道走向的剖面，目的是建立古河道沉积物的三维模型。

对该区所有地震剖面的解释表明，存在着 4 个波速明显不同的层位，第 1 和第 3 层的波速变化不大，变化是随机的。第 2 和第 4 层的波速在空间上变化较大。

根据不同地震剖面的解释结果，建立了立体剖面图。

根据折射地震结果还分别编制了蓝色砾石层和基岩表面等高线图，可以看出富集金的蓝色砾石层的顶底板的构造起伏和厚度的空间变化。

钻孔资料与折射地震剖面划分的层位对比，一般误差小于±10% 。在测井方法中，8 英寸电位电极系测井用于岩性对比效果最好，对电阻率反应灵敏，且受孔径变化的影响小。

摘自《国外地质勘探技术》

美国黑尔金矿利用物探方法进行地质填图的效果

黑尔金矿是卡罗来纳板岩带中具有代表性的金矿床。从 1829 年开采到第二次世界大战前金的总产量为 275 000 盎司。

1980 年，斯潘斯等人通过对该矿床矿化作用的研究，建立了一种喷气-热泉层控金矿的成因模式，从而使该矿山重新变得重要起来。这一模式目前已在美国许多地区得到运用。在类似矿床上可以用某些地球物理方法来进行地质填图，在这方面，磁法和甚低频电磁法是非常有用的。

1 地质概况

黑尔矿区位于卡罗来纳板岩带中，其上为海滩沉积物所覆盖。区内最主要的岩石是变质的长英质晶屑凝灰岩，其上为板岩，这些火山碎屑岩和表生碎屑岩属于寒武系的普勒西蒙弗克组（Persimmon Frok）和瑞其特克斯组（Rechtex）。该区在构造上表现为一系列走向 NE，倾向 NW，倾角 60～80° 的地层所组成的等斜褶皱。晚三叠世到早侏罗世的辉绿岩呈 NW 向的岩脉侵入，晚白垩世和更晚的滨海砂层将本区覆盖，盖层厚度一般为 6 m。

2 矿化与蚀变

该区有 2 条走向为 NE 的平行延伸矿化带，二者相距约 500 m。每条矿化带均由绢云母化岩石带和上覆的硅质岩带组成。显微粒状的自然金主要富集在各硅化岩层中，少数富集在硅质层中的浸染状黄铁矿里。为此希望有一种方法能快速地将这些被海滩沉积物覆盖的硅质岩层填绘出来。

3 物探野外工作

1979 年和 1980 年，曾在黑尔金矿床进行物探

黄金地质研究所
信息室 提供

工作，该项工作仅由 3 人进行，测线方向为 NW（垂直矿体走向），线距 30 m，投入方法有甚低频电磁法、磁法和激发极化法。甚低频电磁法的场源为美国海军发射台，其频率为 18.6×10^{8} kHz。磁测使用的仪器是质子旋进磁力仪。

甚低频电磁法通常测量由大地导电率的不均匀性所引起的二次场的倾角和相位差。其工作过程是观测垂直于一次场走向（不一定垂直于地质体走向）的值，其目的在于记录由地质体（不是由一次场）所引起的变化。但是黑尔矿区所测倾角和相位参数并不理想，而用此方法直接测量大地电阻率效果较好。所记录的读数实际上是 40～100 m 深处大量岩石的平均值（图 1）。

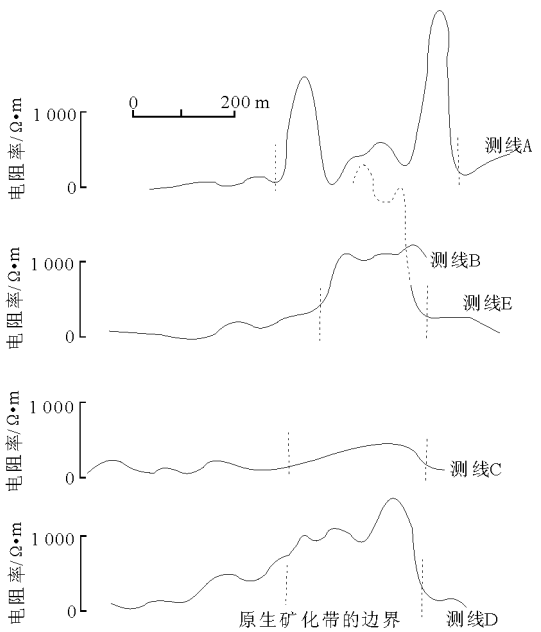


图 1　黑尔金矿山甚低频电磁法电阻率剖面图（引自 J. C. 温，B. W. 卢斯）

4　物探工作成果

在该区磁法测量快速地圈出了地质图上的辉绿岩和铁镁质岩脉的位置，并指出另外一些前人未圈定的岩脉。准确确定岩脉位置非常重要，因为岩脉错动通常反映了断层作用，而断层作用又能反映潜在矿体的错动。

由图 1 可见，甚低频电磁法在各条测线上均出现了形态相似的具有 3 个峰值的极大型异常。其中测线 A 还穿过了南面另一条矿化带，并出现一个单峰极大型异常，其峰值超过了 1 000 Ω·m。该区电阻率值高的原因，是由于同生的蚀变和矿化有关的硅化作用的增强造成的。测线 A 北端电阻率峰值大于其他测线，这是由于测线与矿化带斜交造成的。

图 1 中电阻率异常可用来圈定矿化带的走向延伸。这些峰值的最南端与矿坑轴重合。在上覆沉积岩较厚的测线 C 上，电阻率异常变为宽阔而平缓的单峰异常，幅值明显减小，但是作为异常仍然是可信的。依此可对黑尔矿山矿区外围的东北部的矿化带进行填图。也有可能对西北或东南面重复的地层层序进行填图。

本区所用的分辨率最高的方法是激发极化法，它虽然效率低，但对解释地层、蚀变及间接解释金的成矿作用很有用处。经地表和钻孔岩石观测表明，异常高的电阻率值反映了硅化带的存在以及富粘土绢云母化带的存在。百分频率效应拟断面在测点 2 与 7 之间的地表存在着可极化体（百分频率效应高）。然而，在这些测点下面的拟断面上极化强度低，这清楚地表明这些极化体仅存在于有限的深度范围内。

为了可靠地解释野外观测结果，该区使用有限差分模拟程序，做了大量的二维模拟。模拟程序是戴伊和莫里森（1976 年）首先提出的，后经法国地质矿产调查局和美国地质调查所修改。模拟中用棱柱体模拟 9 个不同的单元体的组合，以使其达到与野外原始数据最佳拟合。与黑尔矿山观测的激发极化法测量拟断面对比表明，这种拟合是相当好的，也是非常合理的。图 1 的测线 B 上所见的 3 个甚低频电磁法高阻异常（从东南到西北）对应于激发极化模型中的单元Ⅵ，Ⅶ和Ⅷ（图略）。

该区过去和 J. C. 温，B. W. 卢斯此次地质填图表明，褶皱作用导致火山碎屑岩层、矿化和绢云母化蚀变根部带在黑尔矿山至少重复出现一次。甚低频电磁法数据指出了 2 个 NE 向高阻带，那 2 个带重复出观，并与矿坑轴重合（图 1）。测线 D 北端异常高电阻率值说明，或者是岩层出现另一次重复，或者是岩层中含有高电阻带，而且比原来想像的要大。

激发极化数据指出了在单元Ⅱ到单元Ⅵ与其下面的单元Ⅸ之间有一岩性接触带。另一个主要接触带必然在单元Ⅶ与单元Ⅸ之间。模拟研究过程中的大量实验表明，这第二条接触带是直立或近直立的。这 2 条接触带都可能是断层。

通过上述工作表明，甚低频电磁法电阻率测量可用来确定卡罗来纳板岩带中的黑尔型矿床的蚀变作用和硅化带。这种方法对于地质填图是一种有用而且比较廉价的方法，特别是适用于海岸平原沉积

黄金地质研究所
信息室 提供

物和强烈风化作用把地表地质特征弄得模糊不清的地区。磁法明显的磁力高异常与隐伏的铁镁质和超铁镁质岩脉有关。因此，磁法测量对圈定作为金矿化容矿岩石的变质火山碎屑岩中的水平断错可能是有用的。激发极化法尽管代价高，效率低，但是，已经证明可提供与矿化作用有关构造的二维资料，而且指出了所研究的带的深度有限，可能是等斜褶皱作用和断层作用的结果。

摘自《金矿地球物理找矿》

日本菱刈金矿床物探方法应用的地质效果

日本菱刈金矿床位于九州岛鹿儿岛县东北部的伊佐郡菱刈町大山口，距鹿儿岛市 45 km 处。该金矿床是 20 世纪 80 年代以来发现的 6 个世界级特大型金矿床之一，储量 120 t，是目前日本最大的金矿山。

1 矿山历史及勘查经过

菱刈及其毗邻地区都有许多金矿床，从 19 世纪晚期，即日本藩政时代至 1975 年的几十年间，由于各种原因断续开采。在藩政时代有人在菱刈矿山试采过，明治初年开矿失败。1903 年 2 月再次开采，鼎盛时期职工有 120 人。1922 年继续开采。1935 年在标高 230 m 处挖了 180 m 坑道。1942 年计划开采坑道下的矿体，翌年由于颁布了整顿金矿山的命令而中止。1952 年再次恢复坑道工作，沿 3 号脉挖了 40 m 左右，由于矿脉情况不理想而停止了勘查工作。后来采矿权转给了住友金属矿山公司。

1952 年至 1973 年间，曾有不少地质工作者对该区进行了地质勘查。1972—1973 年间，小林直树等 4 人、西泽德雄等 3 人（住友金属矿山公司勘查部）在该地区进行了地质调查后指出：1）北萨地区是金矿山密集的地带，但是大多是私人矿山，至今尚未进行过基础性区域地质调查；2）该地区大部分被矿化期后的新时期火山岩类和火山喷发物所覆盖；3）从该地区的地质构造情况看，有金矿赋存的可能性。如果采用最新的勘查技术，搞清下部的地质构造，很有可能找到隐伏的金矿床。他们根据这一认识，通过金矿振兴协会制定了“北萨地区”的基础地质调查计划，并促进有关部门予以实施。

1975—1977 年间，金属矿业团进行了北萨地区的基础地质调查。1975 年对整个地区进行了重力勘探，1976 年和 1977 年进行了地质调查。通过一系列的调查工作，不仅查明了区域地质构造，而且明确指出：“目前的大多数矿脉发育在北萨早期安山岩类的隆起-背斜构造的顶部和翼部。”重力勘探确定了菱刈山田的高异常带。

1978 年，在该区开展了线距为 1 000 m 的深部电法勘探工作。后又利用先达利公司的 HEM 系统进行了直升飞机航空电磁法测量。测量结果指出，菱刈地区显示低电阻率。这个地带相当于下部地层的隆起部分。这个异常带也是个极其值得勘查的地区。

1980 年 11 月举行了区域地质调查现场会，与会者同意在该地区最有希望的地点，即在电法低阻异常中心和东西侧打 3 个钻孔，以了解菱刈地区的地质构造情况。3 个钻孔钻探结果，孔孔见矿，金的最高品位达 290.3×10^{-6}，最低金品位也有 44.7×10^{-6}；最大厚度达 5 m 以上。一个世界级特大型金矿床经过几十年努力，终于为日本地质工作者和金矿物探工作者所发现。

2 地质概况

日本九州南部的区域构造位置为日本海沟西侧和九州—帕劳（Palau）海岭东缘的北西延长部。区域中部有与日本海沟相连的鹿儿岛地沟。基底岩石为被 NE 及 NW 向断裂切割的四角形地块集聚而成，并发育有与九州—帕劳海岭相连接的 NW 向断裂。区内金-银矿床的分布受切割基底岩的 NW 向构造控制。

菱刈金矿床位于鹿儿岛地沟现代火山构造带上，离樱田活火山只有 20 km。矿区断裂发育，温泉到处可见。该区也是琉球弧的一部分。

该区基底岩石为白垩系四万十层群，其上不整合地覆盖着第三系和第四系（表 1）。白垩系四万十层群主要由黑色页岩和砂岩组成，在该区没有露头。第三系主要由火山岩类组成，也称为北萨古期

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 测区及其附近地区的主要地层

时代		地层	岩相
第四纪	全新世	冲积层	砂、砾、粘土
	更新世	白色浮石层，火山灰岩	浮石降落/流动沉积物，熔结凝灰岩
		黑园山流纹岩	流纹岩、凝灰岩、玻质岩相
		田野安山岩	紫苏辉石、普通辉石安山岩、凝灰角砾岩、凝灰岩、黑色泥岩
新近纪	上新世		
	中新世	山野流纹岩	流纹岩
		北萨安山岩	凝灰角砾岩 凝灰岩 紫苏辉石、普通辉石安山岩
中生代	晚白垩世	四万十层群	页岩、砂岩

安山岩类，不整合地覆盖在四万十层群之上。第四系自下而上由北萨新期火山岩类，黑园山流纹岩类、熔结凝灰岩、火山碎屑堆积物和冲积层组成。

矿脉主要产于基底岩石背斜构造的轴部和西北翼之断裂破碎带中。已知金矿大口矿床的金一般产在火山堆积底部附近的北萨安山岩的浅成热液石英脉中，高品位矿石常见于条带状岩系中。该区山丘陡峭，高度在 100 到 300 m，森林茂密，山谷狭窄，人口稠密。区内有热泉，在大口矿山开发过程中，发现含金矿脉和热泉间有密切关系。

3 物探工作及地质效果

1975 年，对包括后来进行的电磁法测区在内的整个地区进行了重力测量。测量结果如图 1 所示。分析图 1 可见，在后来发现的菱刈金矿床处为重力高，反映了该区未出露的四万十层群平缓产状的隆起部分。地质调查指出："目前的大多数矿脉发育在北萨早期安山岩类的隆起-背斜构造的顶部和翼部。"显然，重力勘探结果圈出了这些有利于找矿的构造部位，这只是找矿的必要条件而不是充分条件。

在进行大面积电法工作之前，首先在已知的大口矿山的下牛尾矿床上进行了多种地面物探方法试验。试验所用装置有 a=50，100 和 200 m 的温纳装置。地面电法试验结果表明：矿床与围岩（北萨安山岩或青磐岩）具有明显的电性差异（图 2）。在矿体正上方，在 50 m 视深度上测到的视电阻率小于 20 Ω·m，在远离矿床的地段，视电阻率值大于 100 Ω·m。这一试验工作表明：在下牛尾矿床所确定的范围和深度内进行视电阻率区域填图是适当的。航空电磁法很适用于解决这类勘查问题。

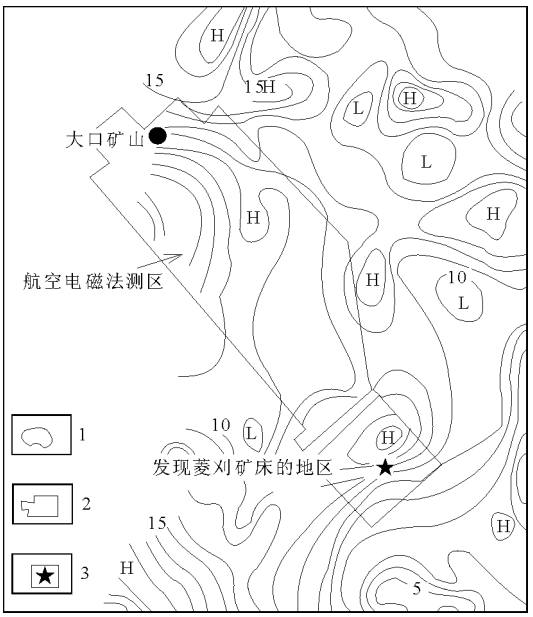


图 1 区域重力格异常等值线图和航空电磁法测区（引自 I. M. 约输逊等）

1—重力异常等值线；2—航空电磁法测区；3—已发现的菱刈金矿床的地区

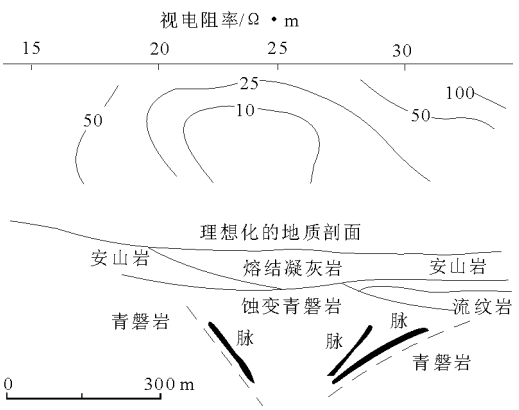


图 2 大口矿山下牛尾矿床上的视电阻率拟断面和相应的理想化地质剖面图（引自 I. M. 约输逊等）

日本金属矿业事业团选定了直升机航空电磁法和磁法测量。根据有利的构造环境、区内热泉位置和金矿点的分布，圈定了包括已知金矿——大口矿山下牛尾矿床在内的 60 km^2 测区，如图 1 所示。

1978 年末，用先达利公司的 HEM—802 系统进行了航空测量。发射线圈和接收线圈安装在飞机下约 30 m 吊仓内，垂直共轴排列，线圈距 8.5 m。工作频率为 f≈735 和 3 220 Hz。观测同相和异相二次分量。磁力仪探头位于直升机电磁系统吊仓内。飞升高度为 40 m，飞行测线间距 250 m。总工作量约 250 测线千米。绘制了 1∶2.5 万的磁测等值线圈、电磁测量异常图和视电阻率等值线图。图 3 和图 4 给出了 f≈735，3 220 Hz 电磁法获得

黄金地质研究所
信息室 提供

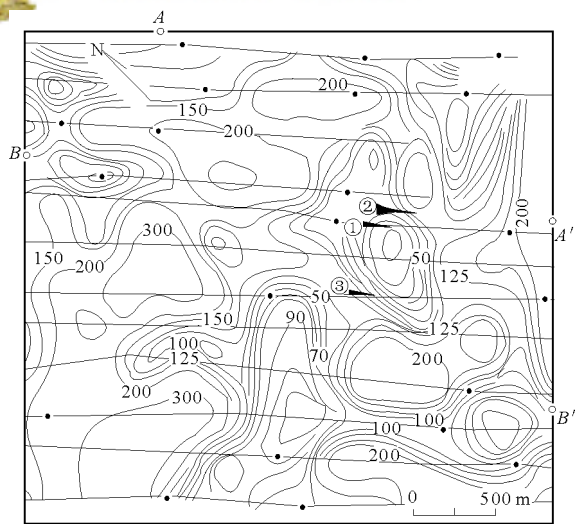


图 3　用 735 Hz 数据绘制的视电阻率等值线图（引自 I. M. 约输逊等）

等值线间距在 0～100 Ω·m 区间为 10 Ω·m；在 100～150 Ω·m 区间为 25 Ω·m 尔后绘制 200，300，500 和 1 000 Ω·m 等值线。图中直线为航线：A，A′，B 和 B′表示电测深测线；①，②，③为钻孔位置，编号及钻进方向

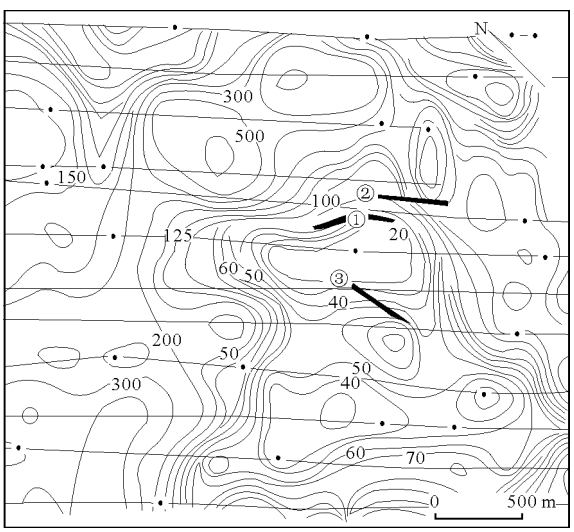


图 4　用 3 220 Hz 数据绘制的视电阻率等值线图（引自 I. M. 约输逊等）

测区和等值线间距与图 3 相同

的视电阻率结果。

分析图 3 和图 4 可见，当 f＝735 和 3 220 Hz 时，在测区中部均出现一个明显的低电阻率区，f＝3 220 Hz 的低阻区比 f＝735 Hz 范围大，更接近测区中部，最内圈等值线值为 20 Ω·m，与已知金矿区视电阻率异常相似。

图 5 给出了图 1 中★区 1978 年区域调查的地面电法勘探视电阻率等值线、1978 年航空电磁法视电阻率等值线及 1982 年该公司详细重力勘探结果。很明显，在中央异常带，地面电法视电阻率以

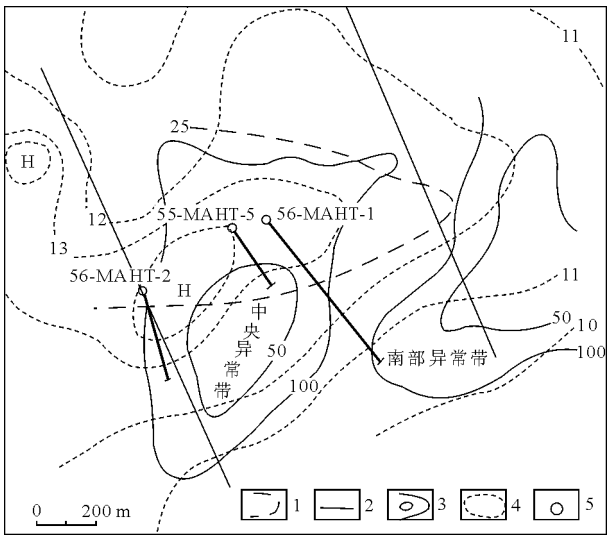


图 5　菱刈地区综合物探异常及钻孔布置图（引自 I. M. 约输逊等）

1—1978 年电法 ρ_s 等值线；2—1978 年电法测线；3—1978 年航电 ρ_s 等值线；4—1982 年重力异常等值线；5—钻孔

25 Ω·m 所勾绘的 ρ 等值线范围与航空电磁法视电阻率 ρ＝50，100 Ω·m 勾绘的等值线范围基本吻合。电法低阻异常部位与重力高异常位置大致吻合。结合地质情况，深入研究各种物探方法所获得资料，并与已知金矿区情况进行对比发现：重力异常高反映了该区未出露的四万十层群的隆起部位，电法低阻异常正好对应该隆起部位，表明为岩石断裂破碎形成低阻带。1978 年，日本矿产资源勘探技术开发调查报告中指出："虽然菱刈山田地区的地表电阻率数据很少，但是通过航空电磁法勘查结果，掌握了低电阻率带的全貌，特别是已知矿床的东北延伸部分，与已知矿床地带相同，都是今后勘探工作中极其值得注意的方向。"

为了验证物探异常和寻找深部矿体，在图 5 所示异常部位布置了 3 个钻孔：56-MAHT-1，55-MAHT-5，56-MAHT-2。3 个钻孔的钻探结果列入表 2 中。

1981 年 11 月到 1982 年 4 月，住友金属矿山

表 2　菱刈地区区域钻探分析结果

钻孔编号	深度/m	宽度/m	w(B)/10^{-6}	
			Au	Ag
55-MAHT-5	291.70～291.85	0.15	290.3	167
56-MAHT-1	465.25～466.0	0.75	102.0	50.3
56-MAHT-1	476.35～476.60	0.25	149.7	52.0
56-MAHT-2	241.68～242.90	1.22	63.7	44.0
56-MAHT-2	261.40～265.15	3.75	69.9	52.8
56-MAHT-2	277.65～283.10	5.45	220.3	57.6
56-MAHT-2	301.75～302.50	0.75	44.70	26.3

黄金地质研究所
信息室 提供

公司又打了18个钻孔，进尺6 870.8 m。探明了这一著名的金矿床的储量。

图6为经钻探查明并正在开采的地质剖面。重力高正好反映了四万十层群隆起，电法低阻异常反映了四万十层群顶部断裂破碎，含金石英脉赋存在断裂破碎带中。以上说明物探资料的推断解释是正确的。

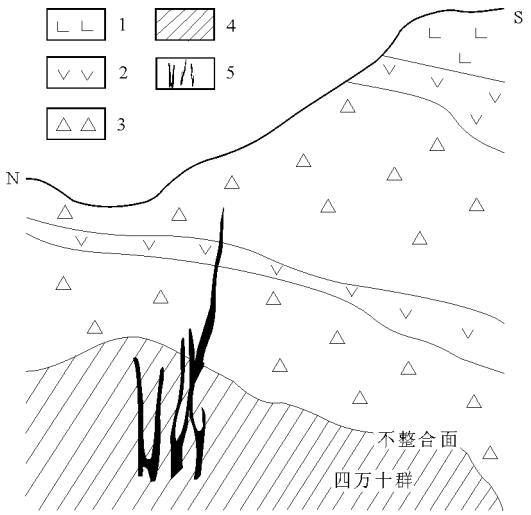


图6　菱刈金矿矿床剖面图（引自冶金部考察团考察报告）
1—黑园山流纹岩；2—北萨新期火山岩类；3—北萨古期安山岩类；4—四万十层群；5—含金-银石英脉

从该金矿床的勘查过程可以看出：菱刈金矿床的发现，物探方法，尤其是航空电磁法起了十分重要的作用。I. M. 约翰逊等人发表文章，题目为“菱刈金矿是航空的电磁法发观的”。日本人西泽德雄和茨城谦三在“日本菱刈矿山的勘查经过”一文中写到：“菱刈矿床的发现，是经过漫长的岁月，众多的勘查人员灵活运用各种技术手段，反复调查而取得的成果。希望诸位在其他地区灵活地运用该区的有效经验，找到新的矿床。”中国冶金部代表团赴日本考察报告中写到：“找矿工作必须利用综合手段，努力引用新技术、新方法。目前我们有些地质队忽视物化探工作，这是值得注意的。我们认为，物化探和其他新技术、新方法对寻找金属矿是有效的，……。”

该矿床的找矿经验有以下几点。

1）物探工作要与地质工作紧密配合。该区地质人员根据地质构造、成矿条件指出该区深部可能有隐伏矿床。搞清深部构造成为寻找隐伏金矿床的关键。又如地质人员指出：大多数矿脉发育在北萨早期安山岩类的隆起-背斜的顶部和两翼。重力异常高确定的四万十层群隆起才具有一定的找矿意义。

2）该区为了应用物探方法研究深部构造，首先在已知金矿区进行方法试验，掌握已知金矿区的地球物理特征及方法有效性，取得经验，然后再开展面积性工作。这样做有的放矢，易于取得较好的地质效果。

3）该区找金矿是从已知到未知。测区内包括已知金矿床，并且掌握了已知金矿床上电法为低阻异常带。在未知区发现的电法低阻带与已知区类似，故电法低阻带就成为进一步工作的靶区。日本菱刈金矿的发现，主要是在地质工作基础上，地质与物探紧密配合，用物探方法研究深部构造，并与已知金矿上的异常进行类比，圈出进一步工作靶区，最后经地质钻探工作，查明该金矿床的储量。

4）物探方法应综合利用。在该区重力与电法结果综合进行解释，地质效果较好。例如，利用重力高确定了四万十层群的隆起部位，隆起部分破碎，岩石电阻率降低，电法勘探在此部位出现视电阻率低阻带。含金石英脉恰位于四万十层群隆起顶部与北萨早期安山岩底部破碎带中。各种物探方法具有不同特点，可从不同侧面提供信息，使所要解决的地质问题获得令人满意的结果。

日本菱刈金矿的找矿经验是很宝贵的，值得我国金矿物探工作者借鉴。但要根据工作区内具体的地质-地球物理特征，灵活运用他们的经验，不可生搬硬套，以免造成遗憾。

摘自《金矿地球物理找矿》

核物探在寻找前苏联鄂霍茨克—楚科特火山带中金矿床的应用效果

前苏联鄂霍茨克—楚科特火山带中的金-银矿赋存于中生代火山沉积岩层中，在空间上与大构造的交会部位重合。该岩层中见有被侵蚀的火山机构、次火山侵入体，斜长花岗岩和花岗闪长岩体。

在大面积变安山岩化的背景上，石英-冰长石-水云母和石英-冰长石相与次火山岩体中的线性断裂，被侵蚀火山机构中的环形断裂、爆发角砾岩和围岩的接触带有明显关系。冰长石化在中酸性喷出

黄金地质研究所
信息室 提供

岩和喷出沉积岩中发育。

矿体一般为相互靠近的细脉、矿化破碎带或形状复杂的分叉的石英脉。矿体规模各不相同，一般长数百米，宽达几十米。金属矿物有自然金、自然银、辉银矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、辰砂等。非金属矿物有石英、冰长石、方解石、辉石、红锰矿，氧化带的次生矿物有水锰矿、软锰矿、硬锰矿。

在很多情况下，矿脉最富的地段位于冰长石最发育的地带，有的地方甚至形成单矿物的冰长石。钾交代带的厚度可达几百米。离断裂带越远，冰长石含量越少。

该区的金-银矿化在空间上与钾交代带有密切关系。次生石英岩的石英-冰长石-水云母相是圈定金-银矿化的最好标志。该区金-银矿岩石放射性元素含量的分布情况见表 1。

表 1 鄂霍茨克—楚科特火山带中金-银矿岩石中放射性元素的平均含量

岩石名称	$w(B)/10^{-6}$ U	Ra	Th	$w(K)/\%$	样品数
流纹岩	5.0 4.0～6.0	2.0 1.5～2.5	12.0 11.0～13.0	2.4 2.0～2.6	16
冰长石化流纹岩 （取自蚀变岩石的近矿晕）	6.0 4.0～7.0	1.5 1.0～1.7	8.0 6.0～11.0	4.7 2.8～5.5	15
粘土化冰长石化流纹岩 （取自蚀变岩石的近矿晕）	10.0 9.0～12.0	1.5 1.0～2.5	8.0 7.0～10.0	4.3 3.0～5.0	5
冰长石（取自矿带）	7.0 5.0～9.0	1.5 1.0～1.5	6.0 4.0～8.0	6.8 5.5～7.5	7
红锰矿-蔷薇辉石-石英脉	9.0	1.5	4.0	1.5	2
石英-方解石脉	6.0	1.5	2.0	0.5	3
斜长花岗斑岩	6.0	2.2	8.0	2.5	3
英安岩	5.0	1.5	11.0	2.2	2

注：分子表示平均值，分母表示变化范围。

由表 1 可以看出，在未蚀变的围岩——流纹岩、英安岩和斜长花岗斑岩中，钍的含量偏高，钾的含量则不高。冰长石化使岩石中钾的含量猛增，而钍的含量则减少。在矿脉中钍钾实际上都不存在。因此，该区的矿带与未蚀变围岩相比，钾的含量增高，钍、镭的含量降低。这一物性规律导致了在矿带上钾将会出现极大型异常，而钍、镭则出现极小型异常。

为了在该区寻找近地表的火山岩型金矿床，在该火山岩带上进行了航空 γ 能谱测量。工作中采用的是 МИ—4 飞机，АГС—3К 型航空能谱仪，航高 25～75 m，线距 200～300 m。为了分别确定钍、镭、钾的含量，测量是在 3 个能窗内进行的（2.2～2.7 MeV，1.65～1.9 MeV，1.4～1.6 MeV）。对测量结果进行了一定的计算机处理和计算，求得放射性元素的含量。

由于进行航空 γ 能谱测量时的几何条件和用标准源标定时不一样，所以算出的 U，Th，K 含量实际上是相对单位。

图 1 为该区在蚀变喷出岩中的金矿冰长石化地段上的一条典型剖面。显然，在含矿的冰长石化流纹岩上钾含量曲线出现明显的极大型异常，反映了

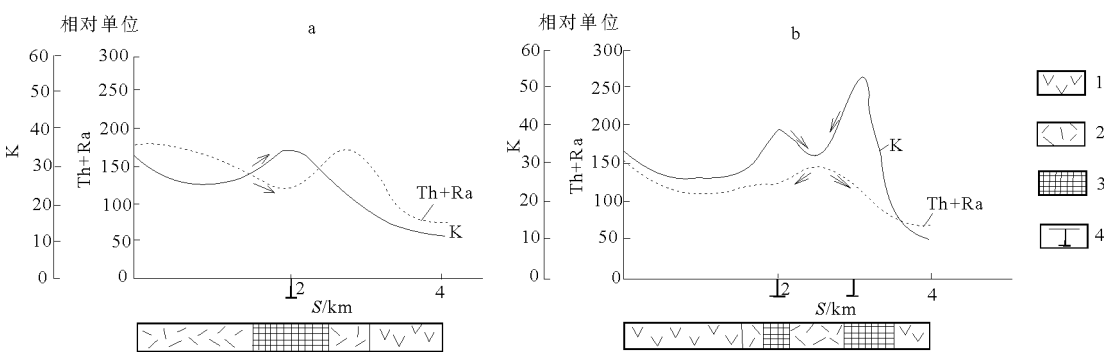


图 1 鄂霍茨克—楚科特火山带上某金-银矿区未蚀变喷出岩中的金矿冰长石化地段上的一条航空 γ 能谱测量结果

1—粘土化安山-英安岩；2—流纹岩；3—冰长石化流纹岩；4—指示钾聚集的符号

黄金地质研究所
信息室 提供

冰长石化流纹岩的存在、位置和层数；而 Th＋Ra 含量曲线则出现明显的极小型异常（图 1a）或幅值减小（图 1b），可依此异常特征圈出冰长石化流纹岩的位置和范围。图 1 所反映的与核地球物理特征是一致的。

通过研究钍-镭［Th＋U（Ra）的和］及钾含量的分布特点可以分析金-银矿的 γ 场。

图 2 为该区及矿床上的 γ 能谱测量结果。

图中钾含量上升和相应的钍-镭含量降低（图上箭头所示），意味着钾交代带的出现，这和图 1 中所示结果是一致的。冰长石化的矿体上明显地表现为钾量升高，放射性元素性状相反的地段，未蚀变的流纹岩钾和钍-镭含量都偏高。使用航空γ能谱测量能快速、经济地评价广大地区的含金远景性（一架飞机一个野外季节可飞 5 000～7 000 km^2）。

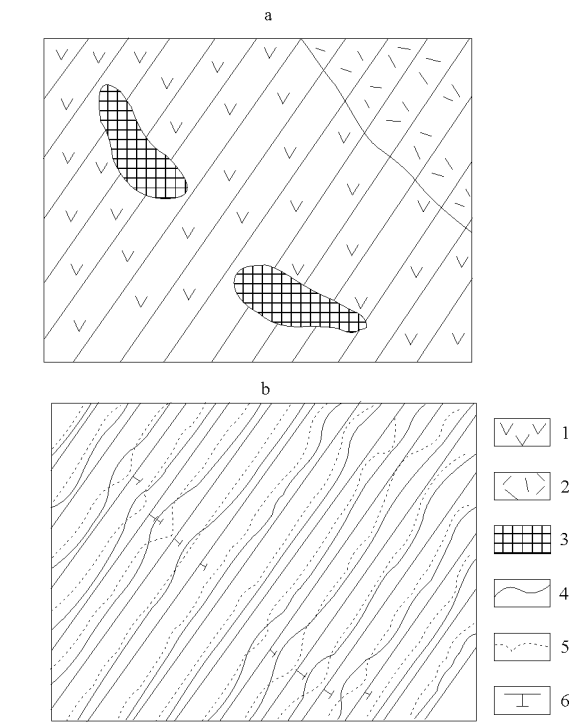


图 2　鄂霍茨克—楚科特火山岩带某金-银矿区航空 γ 能谱的测量结果

1—粘土化安山-英安岩；2—流纹岩；3—冰长石化流纹岩；4—钾含量变化曲线；5—钍-镭含量变化曲线；6—指示钾聚集的符号

该区还进行了水化学测量，它的任务是普查矿带和查明近地表金-银矿的构造特点。由于元素的水分散晕大大超过内生分散晕，水化学方法的经济效果较高。工作结果表明：通过研究天然水的成分发现了金含量偏高的地段以及某些元素组合与特定的地质构造有关系，即与古火山口、断裂带有关（图 3）。

综上所述，用航空 γ 能谱测量圈定冰长石化地带，用水化学方法圈定火山口相岩石和矿化带，这 2 种方法生产效率特别高（一个操作员在一个野外季节可以完成水化学测量 150 km^2），所以综合应用这 2 种方法能够在火山岩地区迅速而可靠地发观近地表的金-银矿。

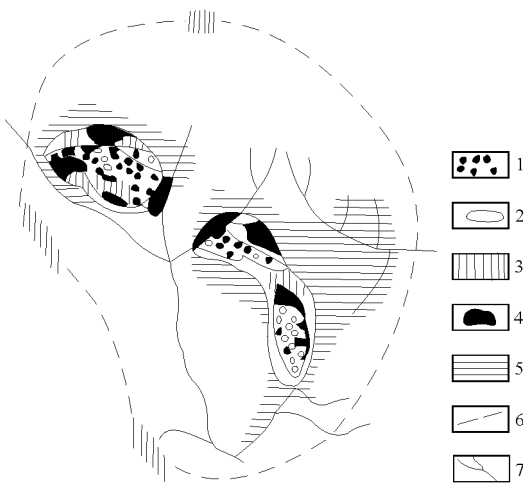


图 3　水电化学异常图

1—火山口相岩石；2—明显的 SO_4^{2-}，Si，Fe，Ti，Mn，Ga，U，Ba 异常的轮廓；3—成矿元素异常（∑Me，Ag，Cu，Zn，Pb，Co）；4—金含量异常地段；5—与次生石英岩有关 Ti，SO_4^{2-}，Fe，Mn，Al 弱异常；6—矿田外的 Cr，V，Ti，Sn，Ga，U 含量异常的轮廓；7—河流

摘自《金矿地球物理找矿》

美国福蒂蒂尤德金-银矿床

1　地质背景

福蒂蒂尤德（Fortitude）夕卡岩型金-银矿床地处巴特尔芒廷矿区，位于美国内华达州巴特尔芒廷镇西南 19 km 处。该矿区界定了巴特尔芒廷—尤里卡矿带或趋势带的原始西北边界。

福蒂蒂尤德矿床及矿区内的其他贱金属和贵金属矿化，在分带型式和成因上与始新世最晚期受到微弱钾硅酸盐蚀变的花岗闪长岩斑岩岩株（图 1）有关。该岩株侵位于受到逆冲断层作用的古生代沉积岩中，而福蒂蒂尤德矿床则赋存在宾夕法尼亚纪到二叠纪的石灰岩单元中。

下福蒂蒂尤德矿体是一个层控远源钙质夕卡岩矿体，处在大理岩前缘，位于科珀坎宁（Copper

黄金地质研究所
信息室 提供

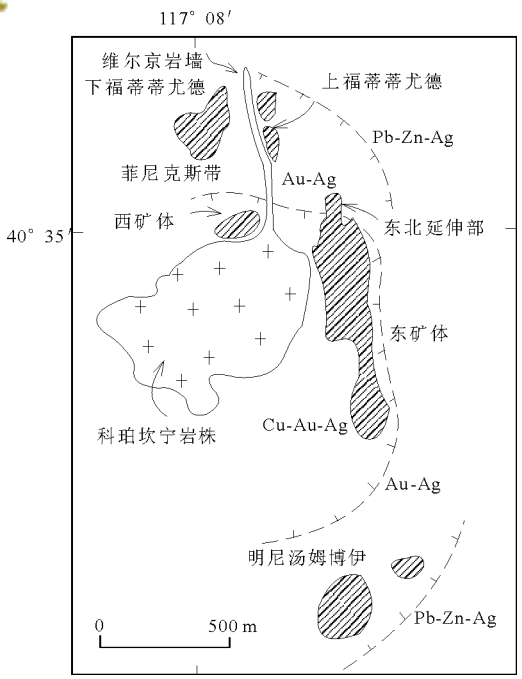


图 1　美国内华达州科珀坎宁花岗闪长斑岩岩株周围的金属分带图（引自 P. R. Wotruba 等，1988）

图中标出福蒂蒂尤德夕卡岩型金-银矿床在分带格局中的位置

Canyon）岩株以北约 600 m 处，但是紧邻沿 SN 向维尔京（Virgin）断层侵入的一个岩枝状岩墙（图 1）。下福蒂蒂尤德含金-银夕卡岩朝南渐变为近源的含铜-金-银夕卡岩，后者构成了已采空的西矿体（图 1）。正如根据进变夕卡岩的透辉石/石榴子石高比值、大量的磁黄铁矿和存在毒砂所确定的那样，下福蒂蒂尤德夕卡岩在化学上是相对还原性的。矿体的主要部分构成了退变夕卡岩，其 10% 以上的体积由以磁黄铁矿为主的硫化物、绿泥石、阳起石和蒙脱石组成。在福蒂蒂尤德，As，Bi 和 Te 是主要伴生元素。

福蒂蒂尤德矿体含有 1 030 万 t 矿石，平均金品位为 6.96×10^{-6}，银品位为 24.7×10^{-6}，含有金 71.688 t，银 254.41 t，其中 80% 产在维尔京断层以西的下矿带中。

2　勘查与发现

巴特尔芒廷矿区之科珀坎宁部分的采矿活动始于 1866 年，1912 年首次发现金。继铜矿开采之后，都瓦尔（Duval）公司于 1978 年开始露天开采金和银，采矿作业一直延续至今，在巴特尔芒廷黄金公司控制下进行。该矿区最大的单个金矿体是福蒂蒂尤德矿体。

1980 年，在科珀坎宁进行的勘探钻进从岩株向北推进，促使都瓦尔公司买下了私人拥有的矿权地。这些矿权地后来成为福蒂蒂尤德矿床及其外围地带。对钻探工作起了积极作用的是有关科珀坎宁周围金属分带格局的认识：中心是 Cu-Au-Ag，向外是 Au-Ag，外缘 Pb-Zn-Ag（图 1）。科珀坎宁的金属分带现象最初是由罗伯特和阿诺德（1965）记述的，在 20 世纪 70 年代末发现了汤姆博伊-明尼（Tomboy-Minnie）和东北延伸部夕卡岩金-银矿床之后进一步细化。

1980 年末，在位于西矿带与福蒂蒂尤德之间、现在被称为菲尼克斯（Phoenix）地区的地方布置了 2 个垂直钻孔（图 2），钻孔打到了富含磁黄铁矿的含金硫化物矿化。这一结果促使在该岩株北边一个地段沿 200 m 间距的 EW 向测线开展了地面磁法和电磁法测量。磁测结果显示出一个明显的磁力高，这是用 10 250 伽马的闭合值圈出的（图 2）。1981 年初布置了一个垂直钻孔来验证最高磁异常值，结果在 109 m 无矿岩石下面打到了 23 m 厚的矿化，其平均金品位为 8×10^{-6}，发现了隐伏的下福蒂蒂尤德矿体。磁异常是由一些交代型磁黄铁矿矿体所致，在若干地段，这些矿体构成退变夕卡岩体积达 50% 之多。电磁测量结果帮助确定了断层的位置，但是没有探测到矿化。

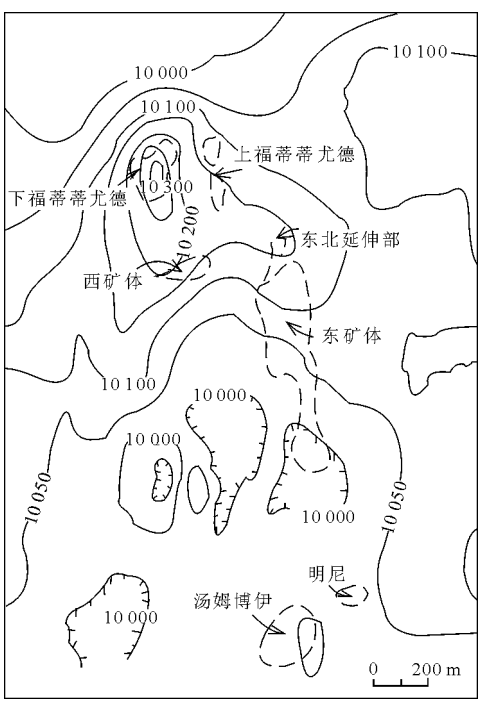


图 2　美国内华达州科珀坎宁矿区部分地段地面磁异常图（引自 P. R. Wotruba 等，1988）

图中显示出位于隐伏的下福蒂蒂尤德富含磁黄铁矿夕卡岩金-银矿床上方的“牛眼状”磁力高；值得注意的是，该矿区的其他矿床没有明显的磁响应；等值线间隔为 50 伽马

黄金地质研究所
信息室 提供

科珀坎宁岩株以北地区有岩屑地球化学数据，但这些数据并未直接促成福蒂蒂尤德矿床的发现，因为矿体隐伏在至少 45 m 厚的、基本上不含矿的沉积岩之下。然而，采自维尔京断层以及福蒂蒂尤德地区其他断层和断裂的样品 Au，As 和 Bi 含量偏高，可以认为是来自下伏矿体的渗滤异常。

1981—1982 年，磁异常引发了包括 200 多个主要为回转式钻孔的一场钻探会战，圈定了福蒂蒂尤德矿体。1984 年末，在对上福蒂蒂尤德矿带进行生产前剥离作业和开采之后，第一批下福蒂蒂尤德矿石被运送到 CIP/CIL 选矿厂。在 8 年的生产年限内，上、下福蒂蒂尤德矿带共生产黄金 59.4 t，白银 274.51 t，几乎占巴特尔芒廷矿区总产量的一半。

在位于福蒂蒂尤德露天矿以南的菲尼克斯地区（图 1）继续进行了钻探，导致查明 1 700 万 t 低品位矿石夕卡岩资源量，金品位为 1.46×10^{-6}。巴特尔芒廷黄金公司计划在 20 世纪 90 年代晚期开采菲尼克斯的资源。

3 小 结

福蒂蒂尤德夕卡岩型金-银矿床的发现，是 20 多年来在巴特尔芒廷这一老矿区开展详细地质工作并投入勘探的成果之一。这些地质研究是矿业公司与政府地质调查机构之间合作的一个良好范例。

由地质工作促成的勘探钻进及其后的地面磁法测量，对直接发现福蒂蒂尤德矿床有所助益。该矿床是一个由一套无矿沉积岩所覆盖的“全盲”矿。其隐伏性质使得矿床的发现晚了一个多世纪，其中还包括 25 年的大规模采矿活动，但并未妨碍露采矿山在不足 4 年的时间里建成。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

澳大利亚基兹顿金矿床

1 地质背景

基兹顿（Kidston）金矿位于澳大利亚东北部昆士兰州北部低山绵延起伏的地区，在汤斯维尔城西北 260 km 处。该矿床产在石炭纪岩浆热液角砾岩筒中，横跨前寒武纪变质岩和侵入岩接触带。流纹岩岩墙有角砾化前的，也有角砾化后的。复合的流纹斑岩岩株含斑岩型钼矿，被角砾岩筒切穿，但在深部主要产在岩筒的旁边。岩筒含流纹岩和围岩碎屑，地表面积1 300 m×900 m（图1），向下延伸至少 500 m。

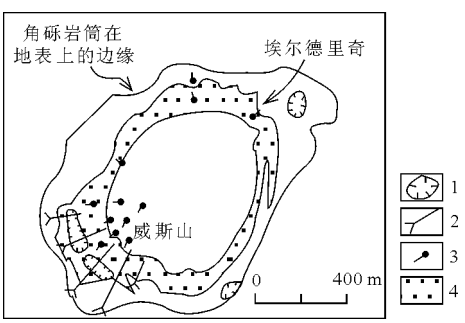


图 1 澳大利亚昆士兰州基兹顿金矿床的老窿、平硐、早期岩心钻孔和矿体的平面图（引自 R. W. Lewis，1990）

1—老窿（1915—1921）；2—平硐（1930—1935）；3—岩心钻孔（1966—1967）；4—海拔 464 m 的矿床（1978—1983）

20 世纪早期进行的开采和勘查工作表明，主要资源集中在西南部，即角砾岩筒的威斯山部分；埃尔德里奇矿体是新发现的

金矿在岩筒边缘周围最为发育，尤其是在南端和北端（图 1），产在角砾岩基质以及岩筒中和岩筒外沿的同心的、被石英充填的席状裂隙中。金矿带及与其伴生的席状裂隙在浅部变平，呈茶盘状。金与黄铁矿、磁黄铁矿和少量闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂和辉铋矿共生，与绢云母-碳酸盐蚀变相伴。早期的蚀变-矿化作用，包括钾硅酸盐蚀变，也很明显，但大部分被金矿形成阶段的蚀变掩盖。表生氧化作用下延的深度约 25 m。

基兹顿矿床的产量加储量共计 9 400 万 t，平均品位为 Au 1.48×10^{-6}，即含金 139 t。

2 勘查与发现

基兹顿区的采金记录始自 1907 年晚期。此后 3 年，从流经角砾岩筒的 3 个冲沟中共采集砂金约 2 万盎司（0.622 t）。后来开始注意到岩筒边缘周围被石英充填的席状裂隙，从 1915 年到 1921 年挖了许多浅坑（图 1）开采。到 1949 年停产为止，一共开采了大约 20.09 万 t 矿石，平均品位为 Au 6.5×10^{-6}。

1910 年，一位政府助理地质师发现基兹顿区有可以大规模露采的潜力，但直到澳大利亚金矿公司在 20 世纪 30 年代初对新建的平硐进行刻槽取样

黄金地质研究所
信息室 提供

前并没有进行评价。当时估算的可能资源量为1 000万t，平均品位为Au 3×10^{-6}。

直至1965年安纳康达公司购买这块矿地前，实际上无人开采。1965—1967年，安纳康达公司进行了地质填图、河流沉积物地球化学取样和土壤取样、航空和地面磁测/放射性测量、VLF（甚低频）电磁测量及梯度排列和偶极-偶极排列激发极化测量。结果显示，角砾岩筒造成河流沉积物和土壤中的贵金属和贱金属异常，也造成不同的电阻率和极化率异常。后来打了14个岩心钻孔，其中11个是在威斯山地区的一些地点打的，之所以在这些地点打岩心钻孔，是因为这些地点有1934年得到的有利的地下取样结果。安纳康达公司的工作确定了基兹顿金矿是与古生代流纹岩侵入活动有关的角砾岩筒的一部分，但结论却说，可露采的概略资源量仅为280万t（品位为Au 3.77×10^{-6}），是无经济价值的。安纳康达公司于1967年放弃了矿地购买权，但于1974—1977年又购买了这块矿地，并在这段期间进行了进一步的地面勘查，对早期的钻探结果进行了重新评价。虽说暂定的资源量增至400万t（品位为Au 3.4×10^{-6}），而且认识到威斯山还有潜力，但以当时的金价看，基兹顿矿地仍没有经济价值。

20世纪70年代早期，普莱瑟公司开始对基兹顿矿地感兴趣，但并没接受安纳康达公司主张同它联营的出价，因为当时澳大利亚政府规定的外国公司之间联营的投资政策没有吸引力。因此，普莱瑟公司一直等到1978年才购买了这块矿地，并着手执行地质填图和岩心钻探计划。以前挖的浅井、平硐和钻孔清楚地表明金矿沿威斯山上的岩筒边缘最为发育，因此无需再进行物化探工作。于是在威斯山地区打了17个钻孔（总进尺5 109 m），钻孔布置与安纳康达公司一样，有倾斜式的，也有辐射式的，结果扩大了金的资源量，同时也证实安纳康达公司打的钻孔求出的金品位是连续的。1979年中期，共求出金矿石资源量为2 500万t（品位为Au 2.3×10^{-6}），其中包括品位较高（Au 3.4×10^{-6}）的矿石1 100万t，如果金价上涨，显然值得做进一步工作。

后来又制定了一项大计划，一直执行到1980年底。除在岩筒北缘周围进行地面和地下更详细的地形和地质填图，打螺旋钻和用挖土机挖探槽外，还打了岩心钻。1981年完成了得到肯定的可行性研究，但法律要求将项目中的外国股权降到55%这点很难做到，因为在20世纪80年代早期，在澳大利亚普遍认为像这样低品位的金矿只有美国能进行商业开发。于是决定先开采品位较高的氧化矿石，进一步圈定氧化带。到1983年底，共打了145个岩心钻孔（总进尺22 000 m），水平间距约50 m。到1984年底，当地投资者纷至沓来，最后决定用露天开采，用氧化处理。1985年初开始建设矿山。

自从开采以来，又打了530个钻孔，总进尺130 000 m，结果使可采矿石储量大增，到1994年底，从3 700万t（Au 1.86×10^{-6}）增至9 400万t（Au 1.48×10^{-6}）。储量最后一次大的增长是在1994年初，即在发现了埃尔德里奇矿体（储量2 800万t，金品位 1.25×10^{-6}）时宣布的。这个矿体由位于岩筒东北部一个大断块周围下面150 m处的5个连在一起的扁豆体组成（图1）。这次发现是由于认识到高品位的金矿多产在席状石英脉的“膝折处”。

3 小 结

基兹顿露采矿山是在首次认识到它有巨大的潜力后约73年开发的。这个事实说明并不是什么创新的地质思想使矿地变为矿山。反之，基兹顿矿地成为一个成功的矿山，是因为当时世界市场的金价上涨，加之具备了开发大吨位低品位矿石所需要的工程技术和经验。

然而，虽说基兹顿角砾岩型矿床经过了漫长的勘查史，但有决定性意义的埃尔德里奇矿体只是在1994年，即在普莱瑟和基兹顿金矿公司勘查和开采了16年后才发现的。

基兹顿矿地的早期开采和后来的勘查活动导致可靠地圈出威斯山矿化带，这意味着虽然物化探在勘查史上未起到突出的作用，但是这2种方法在基兹顿矿地是有效的。

从确定了基兹顿矿地有大吨位低品位矿石到矿山投产只用了5年时间，而矿山建设本身只用了1年时间。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

黄金地质研究所
信息室 提供

澳大利亚维克多—迪法恩斯金矿田

1 地质背景

维克多—迪法恩斯（Victory-Difiance）金矿田位于坎姆巴尔达（Kambalda）南南东 20 km 处（图 1），其金矿发现和采矿历史已有近百年。19 世纪 90 年代末期的淘金热首先在此发现了金矿，开采持续了几十年。20 世纪 80 年代以来，随着矿床地质认识的深化和勘查手段的有效应用，相继取得了一些重要发现，使得原本不大重要的金矿点发展成为西澳的主要产金地之一。

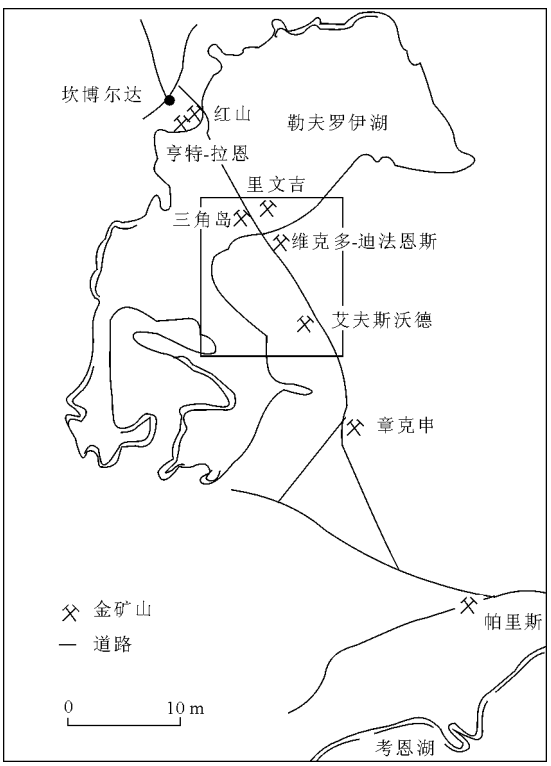


图 1 坎姆巴尔达至考恩湖的位置图（引自 P. K. Williams，1994）

2 勘查与发现

维克多地区最初的找金者是来自位于坎姆巴尔达以北 50 km 的卡尔古利金矿田的掘金人。卡尔古利金矿田是 1893 年发现的，找矿人根据该矿田富矿床的某些特征向外扩宽，1897 年在维克多地区首次发现了金，在勒夫罗伊湖的西北岸发现了红山（Red Hill）矿床。这期间主要是靠手选进行采金。

1919 年，在维克多以南 7 km 处发现了艾夫斯里沃德（Ives Reward）金矿后，当时掀起了一股采矿热潮。20 世纪 30 年代艾夫斯里沃德金矿停产后，一直到 60 年代，该地区的勘探和采矿活动基本上处于“沉寂”状态。

1966 年，西部矿业公司（WMC）发现了坎姆巴尔达大型镍矿床之后，1967—1968 年掀起了找镍的热潮，坎姆巴尔达与考恩湖之间的大片地区被圈为找镍的租地。1974—1975 年，随着国际市场金价的上扬，对该区的找金前景进行了初步调查，对露头和矿山巷道的地表采样和钻孔岩心的分析表明，在一些狭窄的地段有异常金含量，但在维克多老矿山巷道区进行的土壤测量并未见到明显的砷异常。故据此推断，零星分布的高值金可能局限于近地表氧化岩石之中，到深处的新鲜基岩内，金品位可能降低到无经济价值。

1980 年初，发生了一系列不相关的事件，从而导致在维克多—迪法恩斯地区开展新一轮的金矿勘查。首先，在该地区北北西 10 km 处的亨特（Hunt）镍矿区硫化物矿体的底板，识别出大量的近垂向含金石英脉，并且具相当的延伸。其次，在亨特和伦农（Lunnon）镍矿采矿作业时偶然发现含金富矿脉。再就是当时金价大幅度上扬。这一系列事件的巧合使勘查人员意识到，该地区找金的潜力以往可能被低估了，应该具有前景，故做出了开展新一轮金矿勘查的决定。勘查计划最初是在老的矿山或已知矿点进行金刚石钻探，以检验是否在深部还存在矿化以及能提供控矿因素的信息。当时认为，控矿构造可能是陡倾斜的，故需要把握好钻进的角度以达到有效的勘查。

钻探首先在维克多和艾夫斯里沃德开展。在艾夫斯里沃德矿山，计划中的第 4 个孔在变质镁铁质岩石中打到了脉矿，4.5 m 见矿孔段的金品位为 17.4×10^{-6}。维克多地区的第 4 个钻孔也成功地见到了沉积矿体，在 28.2 m 的矿段上金品位为 6.8×10^{-6}。这一结果令人鼓舞，由此开展了更大规模的金刚石和冲击钻探计划，钻探集中在维克多沉积矿体分布区。1980 年 7 月至 1981 年 3 月最初的钻孔计划，在维克多圈出了 300 万 t 矿石，可露采和地下开采。

继维克多矿床发现之后，该区金矿勘查的步伐

黄金地质研究所
信息室 提供

大大加快了。勘查人员认识到，在勒夫罗伊湖和考恩湖之间过去找镍的租地具有找金的远景。为此制定了相应的勘查策略。首先，对以往勘查租地根据控制金矿床分布的地质条件重新进行评估，圈出了找金的勘查租地；其次，针对金矿选择有效的勘探手段。根据在维克多矿床上方做的磁法测量试验发现，维克多矿床容于变质沉积岩中，金与黄铁矿伴生，故磁法可以有效地追踪容矿岩层。在开展了较大范围的磁测之后，在维克多矿体以西圈出了一个环形异常。1982 年布钻验证该异常，发现了迪法恩斯矿体，见矿孔段的金品位：26 m 的 4.2×10^{-6} 和 27 m 的 5.3×10^{-6}。迪法恩斯矿床的发现一方面促进了磁测工作的开展，从圈出的许多磁异常中验证了其中的一个强磁异常，由此又发现了北奥尔钦矿体。另一方面，对迪法恩斯矿化的钻孔取样分析表明，容矿岩石为厚层分异粒玄岩，含花斑岩和磁铁矿。根据这个认识，1985 年对位于勒夫罗伊湖的一个磁异常进行了评价，地质上认为该异常起因于含磁铁矿的粒玄岩，同时又靠近 NNE 向的大断层，处于构造有利的环境。对该异常的验证导致发现了里文吉盲矿床。

3 小 结

从以上勘查和发现历史的介绍中不难看出，维克多—迪法恩斯金矿田中一个个金矿床的发现首先归功于地质人员对该区细致的地质分析，根据金矿床分布的地质条件，制定了相应的勘查策略，其次得益于有效的勘探手段，根据维克多矿床产于变质沉积岩中，金与黄铁矿伴生，通过磁法圈出了一个又一个磁异常，这些异常的圈定为迪法恩斯矿床和里文吉矿床的最终发现奠定了基础。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

澳大利亚水罐山金矿床

1 地质背景

水罐山（Water Tank Hill）矿床是位于西澳大利亚磁石山（Mt. Magnet）附近希尔—50 金矿区的太古宙脉状金矿床。它是利用物化探方法在西澳耶尔冈地块发现隐伏金矿床的一个典型案例。它位于条带状含铁建造内，是一个与硫化物有关的矿床。

磁石山绿岩带是一个由熔岩、沉积岩和火山岩组成的 NNE 向的地带。底部岩层为沉积岩和长英质火山岩，顶部为基性凝灰岩和熔岩。岩层厚度约为 3 km，陡倾斜，倾角超过 70°。绿岩带两侧为侵入花岗岩。磁石山的岩层内有许多含铁层组合，其中金局部富集，形成许多重要的金矿床。图 1 为磁石山地区的区域地质略图。图中示出一些主要的金矿床，其中希尔—50 是最大的一个金矿床。希尔—50 金矿床产于以断层为界的倒转的含铁组合地块内，倾角大于 70°，倾向 NE。

含矿岩层为 20 m 厚的含铁层组合，位于 300 m 宽的含铁层组合及互层的基性凝灰岩岩系的最上部。整个含铁层组合沿走向可追踪大约 17 km。希尔—50 含铁层组合在 3 km 长度内含大量的金。下伏的含铁层组合亦含异常的金，但厚度要薄得多。其他的一些规模较小的金矿床也产于与希尔—50 相当的岩层内。

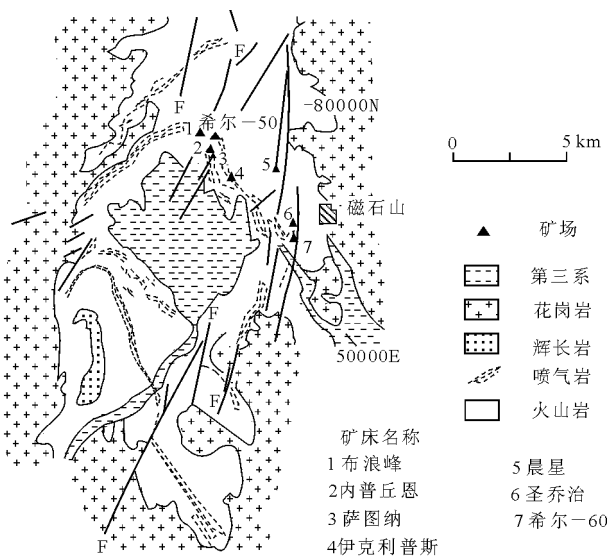


图 1 磁石山地区的区域地质略图（引自 F. W. Lindeman，1984）

矿石主要是由磁黄铁矿、菱铁矿、白云石、燧石、磁铁矿组成的，含少量的透闪石、绿泥石和黑云母。磁黄铁矿达到了块状规模。

2 勘查与发现

西部矿业公司（WMC）于 20 世纪 70 年代初作了 2 项地质调查。首先是对整个澳大利亚的黄金

黄金地质研究所
信息室 提供

生产进行了调查，发现太古宙是金最重要的成矿地质年代，共产黄金 2 100 t，而希尔—50 矿床当时列第五大黄金产地；其次是对默奇森（Murchison）金矿田已知的矿床、矿点和地质资料作了研究，研究表明磁石山绿岩带是一个有利的远景区，值得进一步开展工作。

基于上述 2 项预研究，WMC 公司于 20 世纪 70 年代中期开进了磁石山地区。该地区已知矿山外围的勘探程度较低，故他们希望能找到像希尔—50这种类型的矿床。即矿床产于含铁建造之内，与磁性矿物有关。

由于条带状含铁层组合（BIF）往往含有大量的磁铁矿，磁测理所当然地成为 WMC 公司勘查的首选方法。他们采用半区域性航磁（线距 800 m，飞行高度 90 m）和摄影地质对该区的 BIF 进行了填图，由此大致圈出了 BIF 的范围。值得指出的是，BIF 往往被覆盖，故磁测对圈定 BIF 具有其优越性。图 2 示出了 BIF 的分布范围。下一步的勘查

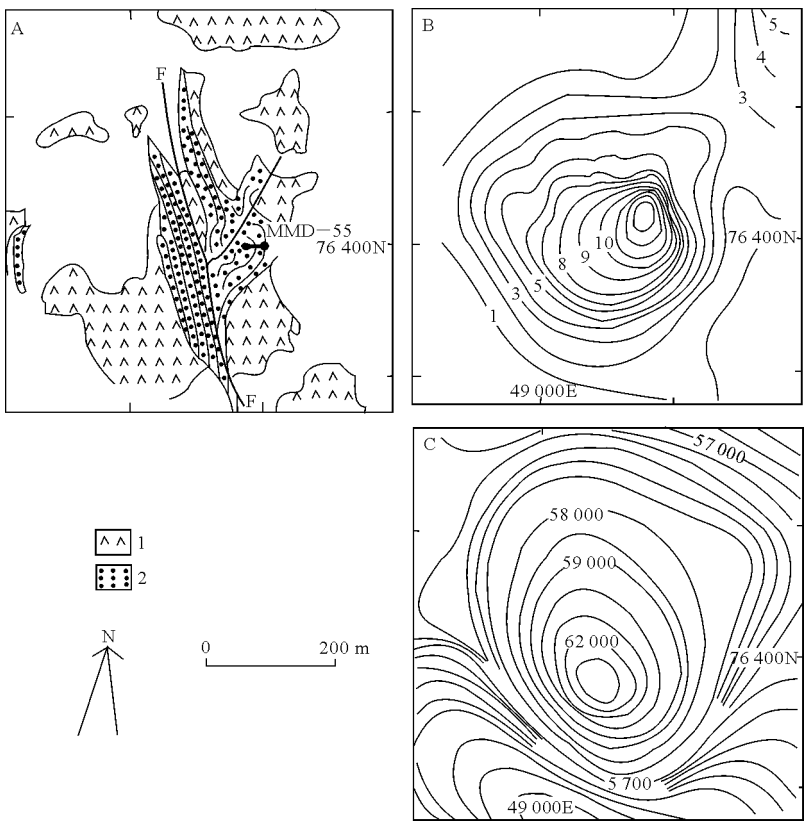


图 2　水罐山矿床的地质图（A）和物探图（B，C）（引自 F. W. Lindeman，1984）

A—地质图，MMD—55 为发现孔，F 为断层；B—与 A 图同一区域的 TEM 等值线图，等值线间距单位为 mV/A；C—与 A 图同一区域的地面磁测等值线图，等值线间距单位为 nT；1—长英质火山岩；2—含铁建造

集中到 BIF 分布区。希尔—50 矿床的金往往与含铁硫化物密切伴生，电磁法是探测硫化物最有效的方法之一，故 WMC 公司采用了普查性瞬变电磁（TEM）方法。WMC 公司于 20 世纪 70 年代初从前苏联进口 MPPO—1 和 MPPO—3 TEM 电磁仪。经过数月的工作，TEM 覆盖了较大的区域，采用 200 m 的回线。普查性 TEM 测量识别出几个异常区，接着在异常区内又开展了 100 或 50 m 回线 TEM、频率域激发极化（偶极-偶极排列，50 m 偶极距）和详细的地面磁测（线距 100 m，点距 50 m），以追踪和评价异常。图 2 示出了水罐山地区的地质和物探测量结果。图 2A 为地质略图，MMD—55 为发现孔。图 2B 为详测 TEM 6 ms 的等值线图，图 2C 为详细的磁测等值线图。TEM 数据反映出一明显的异常。磁测数据也显示出一椭圆形异常，长轴近 500 m，峰值超过背景值 7 000 nT。对这些数据进行了模拟计算，得出的异常源为一向 W 倾、倾角约为 70°的磁性良导体。

图 3 为穿过水罐山矿体的 76400N 测线地质断面图和物探剖面图。激发极化法测量得出有意义的结果，图 3C 中的视电阻率高异常与 BIF 有关。百分频率响应（PFE）反映出高达 4.4% 的异常值，其位置大体与 TEM 异常相一致。

在开展物探测量的同时，还做了地表岩屑采样

黄金地质研究所
信息室 提供

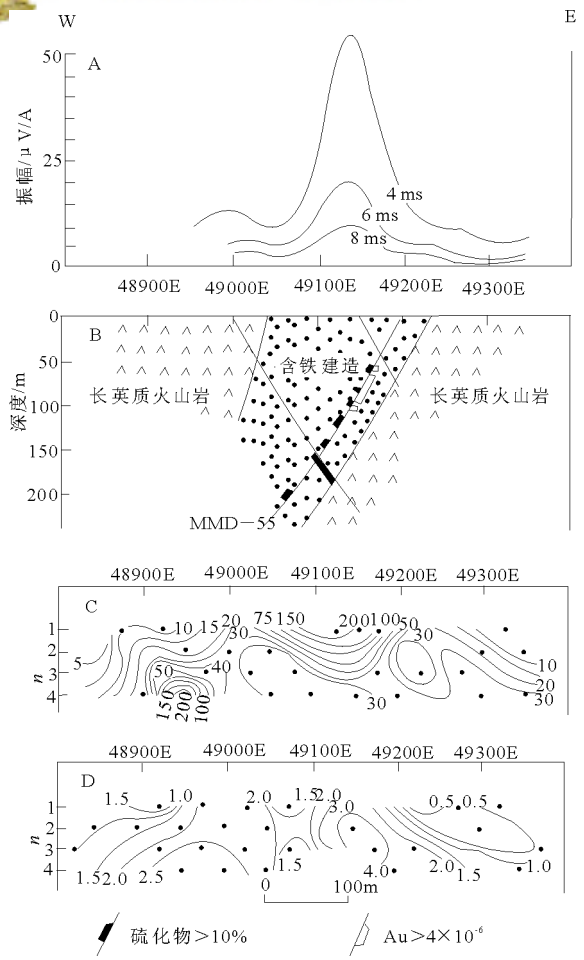


图 3 水罐山矿床 76400N 断面的地面物探和地质示意图

（引自 F. W. Lindeman，1984）

A—TEM 数据；B—地质；C—视电阻率/Ω·m；D—百分频率响应（PFE）

工作。分析表明，金异常值达 2×10^{-6}。异常部位与物探异常也基本吻合。基于物探测量、解释以及地表采样结果，提出了用钻孔验证物探异常的建议。MMD—55 孔在 BIF 内打到了 35.6 m 厚的矿层，品位为 7.0×10^{-6}，矿化与含铁硫化物有关。

需指出的是，在磁石山地区开展普查性 TEM 测量，圈出了若干个异常，水罐山异常是其中的一个，而其他的一些异常经验证后并不代表真正的基岩良导体。一些异常则反映了矿化。按照在水罐山使用的勘探方法组合，在该地区又圈出了几个与硫化物有关的金矿带。

3 小 结

水罐山金矿床产于条带状含铁建造中，由于条带状含铁建造含有大量磁铁矿，故首选航空磁测加上航空摄影地质大致圈出了条带状含铁建造分布的范围。鉴于金与含铁硫化物紧密伴生，采用探测硫化物最有效的方法之一的瞬变电磁法识别出了异常区。在异常区内通过频率域激发极化和详细地面磁测，以追踪和评价异常。在开展物探测量的同时，还做了地表岩屑采样工作。根据物探测量、解释和地表采样结果，提出用钻探验证物探异常的建议，钻探顺利地打到了与含铁硫化物有关的矿层。这是一个采用物化探方法发现隐伏金矿床的典型案例。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

澳大利亚斯卡德尔斯金矿田

斯卡德尔斯（Scuddles）矿床位于佩思以北 510 km 处，产于西澳大利亚默奇森省戈尔登格罗夫（Golden Grove）区的太古宙火山岩中，是一个典型的火山成因块状硫化物（VMS）矿床。该矿床以南 4 km 处有另一 VMS 矿床，铁帽山（Gosson Hill）矿床，是 1971 年通过地表填图发现的。斯卡德尔斯矿床则为隐伏矿，是经过近 10 年坚持不懈的勘查，以成矿理论为指导，通过采用合理的物化探方法而发现的。该矿床 1990 年已开始投产，已探明储量：矿石 1 200 万 t，平均品位 Zn 8%，Cu 1.8%，Pb 0.6%，Au 0.9×10^{-6} 和 Ag 65×10^{-6}。

1 地质概况

戈尔登格罗夫位于太古宙耶尔冈地块默奇森省的南部。默奇森省包含了几个线性或弧形的绿岩带，绿岩带被花岗岩岩基隔开。每个绿岩带含厚层的火山岩层，主要为镁铁质或长英质岩石。沃里达山（Warriedar）绿岩带是位于默奇森省南部一个较大的绿岩带，主要是由弱变质的拉斑玄武质和长英岩火山岩、泥质和长英质沉积岩及带状含铁建造组成的（图 1）。戈尔登格罗夫地区的 VMS 矿床均产于沃里达山绿岩带的铁帽山组的岩层内。

矿化为层控的，表现出典型的 VMS 金属分带性。主要的硫化物为闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿，含少量的磁黄铁矿、方铅矿。斯卡德尔斯矿床可分为 2 个透镜体，南部的主透镜体和北部的中央透镜体，二者相距 150 m，其间为非矿化。矿化体向 W 陡倾斜，顶端埋深 120 m，走向长度 900 m，向 N 倾伏。

黄金地质研究所
信息室 提供

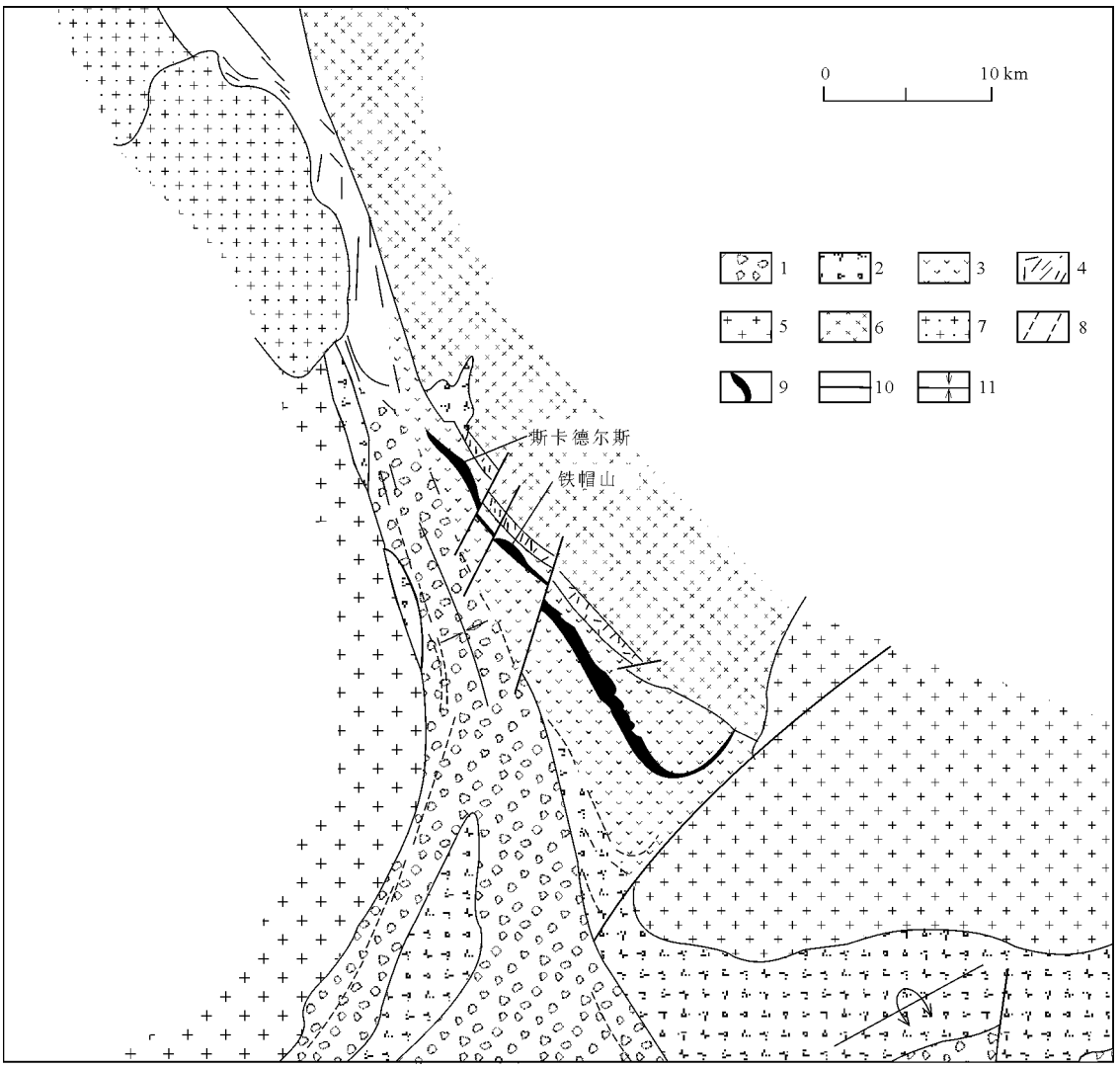


图 1　沃里达山绿岩带区域地质图（引自 J. H. A. Mill，1990）

1—沉积岩和再造火山岩；2—超镁铁质和镁铁质火山岩；3—长英质和镁铁质火山岩；4—下盘长石沉积岩；5—晚期花岗岩；6—叶片状花岗岩；7—未分异花岗岩；8—带状含铁建造；9—矿化层；10—大的断层；11—向斜轴

2　早期的勘查

1971 年以前，戈尔登格罗夫地区曾多次被圈为找矿租地，但基本上均未开展什么工作。1971 年，Aztec 公司的一位独立地质学家 Joshua Pitt 在斯卡德尔斯以南 13 km 发现了粗粒火山碎屑岩露头和铁帽转石，由此意识到该地区有像加拿大太古宙地盾 VMS 矿床存在的可能性，故将该区作为寻找 VMS 矿床的首选区之一。他在铁帽山发现了一些硫化物和磁铁矿铁帽，于是申请了找矿租地并寻求其他的合作伙伴。当初的租地并未将斯卡德尔斯包括在内。

几经努力，Amax 公司加入了风险勘探并承担航磁测量、地质填图和采样，在铁帽山打了 5 口金刚石钻孔，取得令人鼓舞的发现，于是便又将租地扩大到包含斯卡德尔斯在内的更大范围的区域。澳大利亚电解锌（EZ）公司也加入了勘探的行列。EZ 主要致力于铁帽山地区的钻探工作，共完成了 74 口金刚石钻探，由此圈定了铁帽山矿床的范围和估算了资源储量，矿石为 1 500 万 t，平均品位 Cu 3.4%，Ag 13×10^{-6}。

此后，在铁帽山地区开展了一些工作。EZ 公司作了 1∶5 000 的地质填图。并在铁帽山以南 7 km 处的铁帽山谷打了 6 个金刚石钻孔，另外还作了相当量的回转式风钻（RAB），遗憾的是，RAB 钻进时未有地质人员在场监督，结果大多数孔均终孔于约 5 m 深的浅色带内，故没有取得重大发现。

到了 1978 年，澳大利亚 Esso 公司对该地区的资料作重新细致研究后，作为主管，再次承担了一

黄金地质研究所
信息室 提供

项风险联合勘查计划，计划为期 2 年。Esso 公司决定从两方面来实施计划，一是认真评价已知的铁帽山的资料，尤其是与锌资源与关的资料。二是沿着铁帽山矿床分布的地带及其邻区开展大规模勘查活动，以期发展新的矿床。计划的重点放在后者，这一计划的起动，奏响了斯卡德尔斯矿床发现的序曲，由此最终导致该矿床的发现。

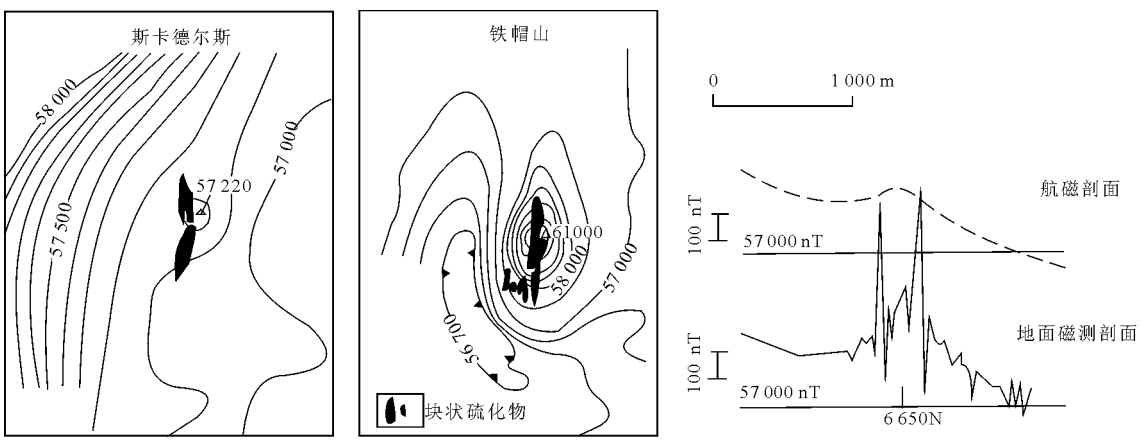
3 勘探策略与矿床发现

鉴于 Esso 公司承担的风险计划仅为期 2 年，故公司在计划实施之初便采取了各种方法齐头并进、相互补充与验证的勘探策略，同时开展地质填图、物探化探等工作。主要勘查活动包括评价以往的资料、详细的地质填图、航磁与地面磁测、激发极化法、瞬变电磁法（Pulse EM）、RAB 钻探、冲击钻探和金刚石钻探。

对物探、化探、蚀变与圈出的异常带进行分类排队，首先辅以 RAB 孔（打到基岩的深度）进行初步的评价。若多种方法圈出的异常一致或重合，则一般采用金刚石钻孔进行验证。

1979 年末，首先在戈尔登格罗夫地区完成了线距 100 m 的航磁测量，飞行高度 50 m、采样间距 25 m、使用 Geometrics 803 型磁力仪。此前的 1972 年，EZ 公司曾利用质子磁力仪按 300 m 线距、40 m 的采样间距在该区作过航磁测量，那次测量在铁帽山圈出了幅值高达 4 000 nT 的明显异常，但在斯卡德尔斯上方却没有异常反映。1978 的测量由于测量精度的提高，在斯卡德尔斯矿床上方圈出了 1 个峰值为 120 nT 的异常，异常走向长度达 260 m。在除去周围的 BIF 背影效应后达 200 nT。作为航磁异常评价的后续手段，1979 年又开展了地面磁测，同样在斯卡德尔斯矿床上圈出了异常，经 BIF 效应校正后，异常幅值达 300 nT。

图 2 示出了斯卡德尔斯和铁帽山矿床上的航磁异常以及斯卡德尔斯的地面磁测剖面。斯卡德尔斯



斯卡德尔斯与铁帽山航磁异常　　斯卡德尔斯测线 22 400N 的地面与航磁剖面

图 2　斯卡德尔斯矿床的航空和地面磁异常图（引自 J. H. A. Mill，1990）

航磁异常偏弱，位于一个陡磁梯度带的东侧，该梯度带是由 BIF 引起的。铁帽山的航磁异常高达 4 000 nT，由块状磁铁矿引起。

在 120 个待查证的异常中，斯卡德尔斯异常排列第 3，以后随着地表工作圈出了有利的含矿岩层及化探取样得到显著的化探异常，其排序也上升了。

1979 年 4 月，开展了梯度排列的激发极化测量，2 条测线（22 240 N 和 22 560 N）穿过了矿床，但由于噪音太大，矿床上方没有导电和极化异常。

在开展物探工作的同时作了地球化学采样。样品包括出露区的岩屑或风化覆盖区的 RAB 岩屑。用原子吸收光谱法分析 Cu，Pb，Zn，Ag，Ni 和 Co 元素。1975—1976 年间，EZ 公司曾在穿过斯卡德尔斯矿床的 2 条测线上（22 240 N 和 22 560 N）打了 RAB 孔进行取样，但由于终孔太浅，未记录到化探异常。Esso 公司认识到这一失误，在重新布置 RAB 取样时，RAB 打到足以可识别基岩的深度，并由专门的地质人员进行指导和检查，取样深度一般为 40～70 m，每孔至少取 1 个样品，通常取 2 个或多个样品。

图 3 为 RAB 孔底样品 Cu，Pb 和 Zn 的等值线异常，图中还示出了矿化投影。从图中可见，异常

黄金地质研究所
信息室 提供

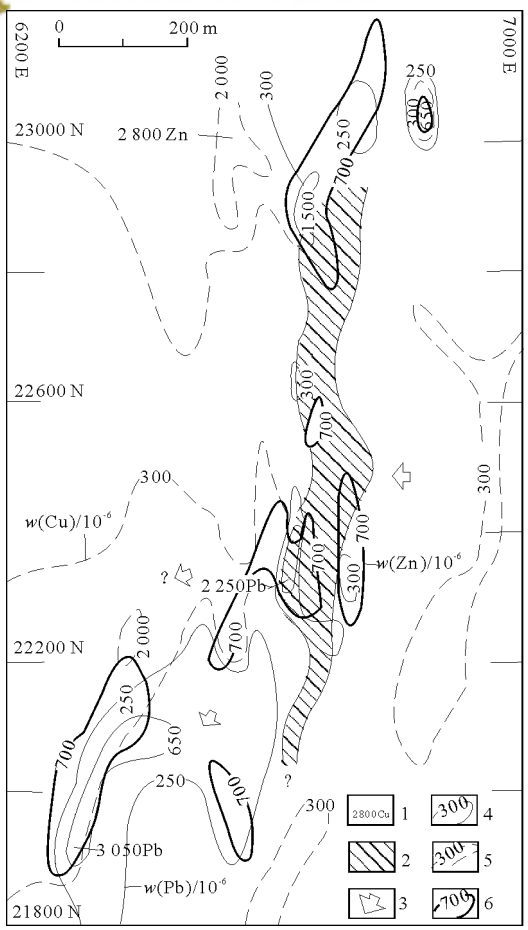


图 3　风化基岩的化探异常图（引自 J. H. A. Mill，1990）

1—峰值/10^{-6}；2—矿化层在地表的显示；3—地下水流向；4—Pb 等值线/10^{-6}；5—Zn 等值线/10^{-6}；6—Cu 等值线/10^{-6}

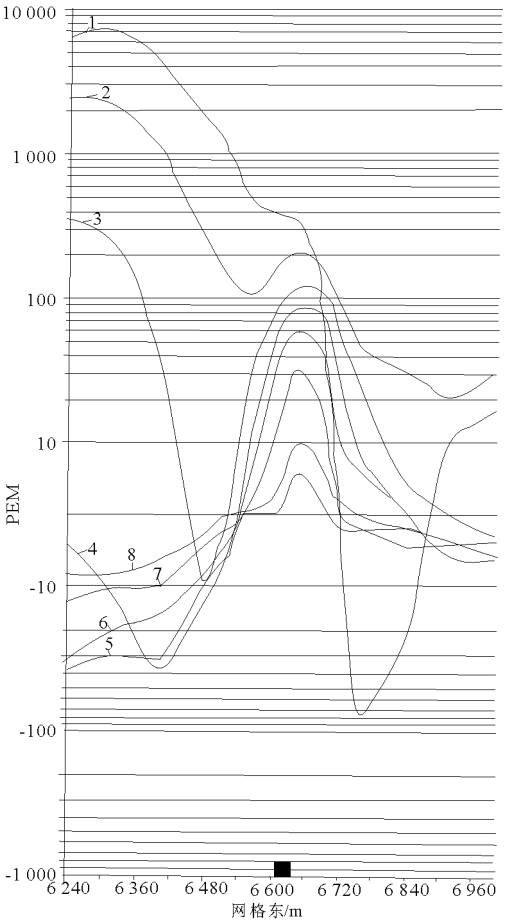


图 4　沿 22 400 N 侧线的 PEM 数据图（引自 J. H. A. Mill，1990）

图中绘出了矿化的地面投影

与矿化不完全重合，向南西方向偏移。据分析，可能是由于自东向西的地下水流动造成的。但总的来看，化探异常还是十分明显的，且基本上与磁异常吻合。

此外，在该地区还开展了 1∶2 000 的详细地质填图。在 22 230 N 测线 6 665 E 点附近见到一小的燧石露头，但当时并未引起重视。事实上，以后的工作证实了它是矿化的标志，对附近铁帽燧石的采样分析得到 Cu 异常 3 350×10^{-6} 和高的 Pb 异常。

为验证一致的磁异常和 RAB 化探异常，1979 年 8 月，打了第一口金刚石钻孔 SC-1，孔深约 250 m，见到了低品位矿化，随后的 2 钻孔 SC-2 和 SC-3 分别位于 SC-1 的南北两侧。也只打到低品位矿化。鉴于这种情况，为准确确定钻孔靶位，在打第 4 口井之前用 Crone PEM 开展了瞬变电磁测量，采用 80 m 的回线，结果在 240 m 长度上圈出了 1 个异常（图 4），异常基本上位于矿化上方。

继电磁测量之后，1979 年 11 月，继续开展金刚石钻探，根据电磁异常布钻的第 4 口井 SC-4 首次打到了具经济价值的高品位矿化，矿段 7.9 m，品位 Zn 25.5%，Ag 221×10^{-6}。随后的钻探及各种方法圈定了矿床的范围。

3　小　结

斯卡德尔斯矿床的发现首先应归功于对已有地质资料的分析和成矿理论的研究。斯卡德尔斯矿床是个隐伏矿，由于深入研究了该矿以南 4 km 处通过地表地质填图发现的铁帽山矿床，在此基础上，以成矿理论为指导，经过近 10 年坚持不懈的勘查，最后采用了合理的物化探和钻探方法，导致了该矿床的发现。应该说，物探方法对远景区的筛选起到关键性的作用，但如果没有土壤地球化学异常信息，恐怕会使矿床发现推后好多年。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

黄金地质研究所
信息室 提供

澳大利亚阿布拉铅-银-铜-金矿床

1981 年发现的阿布拉铅-银-铜-金矿床位于佩思北北东 870 km，地处西澳中元古代班格马尔（Bangemall）盆地中部的吉拉瓦拉（Jillawarra）次级盆地的东缘。该矿床为一多金属盲矿，是西澳大利亚环境下一个重要的新型矿化。矿床是依据对吉拉瓦拉矿化带东缘一致的磁异常和重力异常的圈定及精细的模拟解释而得以发现的。矿床储量估计共有约 2 亿 t 矿石，平均品位 Pb 1.8%，Ag 6×10^{-6}，Cu 0.18% 和 Ba 6%，有 1.5 亿 t 矿石含 Au 0.13×10^{-6}。该矿床按澳大利亚标准，只能列为次经济矿床。

1 地质概况

阿布拉位于吉拉瓦拉矿化带的东缘，该矿化带是一条受构造控制的、由碎屑和碳酸盐沉积构成的狭长地带。据认为，矿化带是在班格马尔盆地早期张性作用期间发育形成的一个地堑。Coobarra 和 Woodland 穹隆分别构成了矿化带东西两端的基底高。底部沉积单元为 Gap Well 组，由碳酸盐、泥质和石英质碎屑岩组成，出露于矿化带 EW 向背斜的核部。在矿化带东侧，Gap Well 组岩层倾伏于 West Creek 组的粗碎碎屑岩之下。

吉拉瓦拉矿化带有数个贱金属矿化点，主要与 Gap Well 组的碳酸盐单元有关。矿化受构造控制，与盆地演化的裂谷作用有关。阿布拉矿化位于 Gap Well 组的顶部，West Creek 组之下 200 至 500 m。含矿岩层被 230～450 m 厚以碎屑岩为主的岩层所覆盖。

阿布拉矿化位于一个强烈蚀变系统之内，该蚀变系统是由上部的层控带和下部的漏斗形地带组成（图 1）。层控带包括 3 部分：1）最上面的红色地带，由厚度不均的带状红色赤铁矿-重晶石-硅石-碳酸盐-磁铁矿-方铅矿-黄铁矿组成；2）下伏的黑色地带，由带状磁铁矿-灰色赤铁矿-碳酸盐-硅石-重晶石-绿泥石-方铅矿-黄铁矿组成；3）下部的脉状地带，普遍出现了绿泥石化，但仍可识别的粉砂岩被由硅石-重晶石-碳酸盐-方铅矿-黄铁矿-赤铁矿-黄铜矿组成的脉状带切割，交代和角砾化。

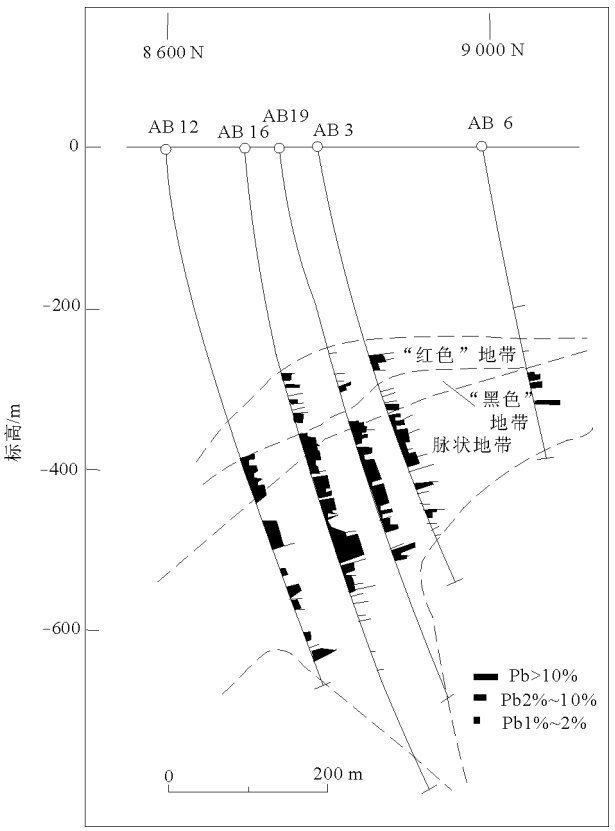


图 1 阿布拉 8500 E 断面的矿化系统分带

2 勘查与发现史

1974 年，Amoco 澳大利亚矿产公司沿 50 km 长的吉拉瓦拉矿化带发现了若干个贱金属矿化点，据此认为，该矿化带具有进一步发现贱金属矿的远景。于是开展了航磁测量，以辅助地质填图和识别可能的贱金属矿化目标。

航磁测量采用了 400 m 的线距。结果在弱磁的地质环境中圈出了一个明显的、幅值高达 400 nT 的牛眼状磁异常（图 2），据此选定了阿布拉探区。

随后，开展了地表地质填图和浅层地球化学采样工作，但均未能对磁异常源的性质作出解释。另外还补做了地面磁测，线距 160 m，点距 20 m。由于地表红土引起较大的噪音，地面磁测数据的质量较差，尽管如此，仍然证实了航磁异常的存在。基于对磁测数据的初步解释，1977 年，打了一口 200 m 深的冲击钻孔，企图解释异常的起因，但钻孔未能见到磁性源，结果，该探区被放弃，公司转向矿带内其他的目标。

黄金地质研究所
信息室 提供

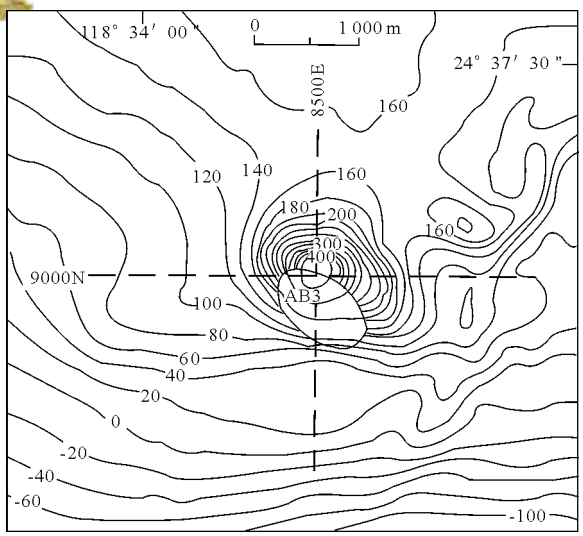


图 2　阿布拉探区磁异常等值线图

图中示出了椭球体模型的地表投影及发现孔（AB3）的位置

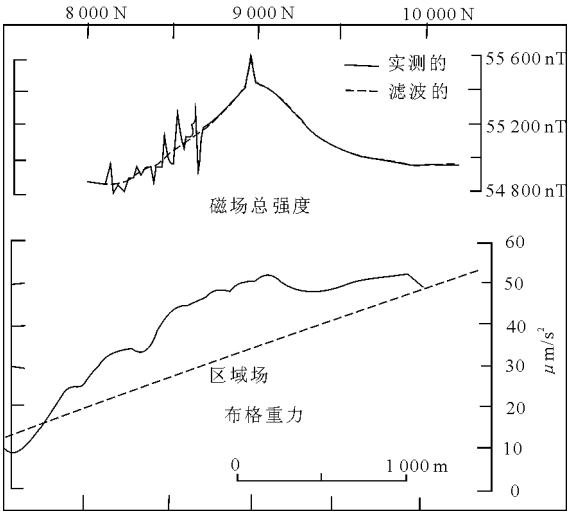


图 3　阿布拉矿床上方 8 500 E 测线的地面重磁数据

1980 年，Geopeko 公司与 Amoco 公司成立了一个联合项目，由 Geopeko 公司接手该探区的勘查工作。1981 年，Geopeko 公司又开展了更详细的地面磁测，加大了探头的离地高度，具更好的空间分辨率。尽管磁测数据仍存在噪音，但适合于作滤波和定量解释。与此同时，还做了重力测量，希望磁性源可能也有重力显示。重力测量的线距 100 m，点距 50 m。重力测量结果反映出一个显著的区域性梯度（图 3）。利用区域重力数据（点距 11 km），将该区域场除去便得到一个明显的剩余重力高（图 4）。该重力高幅值不足 10 $\mu m/s^2$，位于磁异常南端的中心，估计正好位于推断的磁性源的上方。

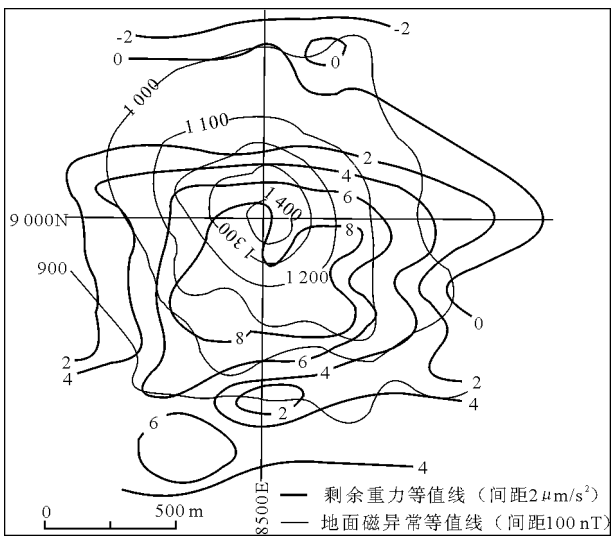


图 4　阿布拉矿床上方滤波地面磁测数据和剩余布格异常等值线图

图中示出了椭球体模型的位置

接下来 Geopeko 公司对重、磁数据进行定量解释。他们先作了二维模型，发现异常源的深度偏大，后来选择了三维椭球体进行模拟。磁性源被模拟为长、宽、高分别为 1 000，600 和 300 m 的倾斜椭球体，顶端深度 270 m，位于磁力高的南端。

图 4 示出了模拟的椭球体的平面投影以及重、磁异常等值线图。图 5 为模型的 SN 向投影以及由该模型计算的重、磁异常与实测异常的对比。另外，根据地质上的分析和判断，磁性源模型与当地的地质倾向是一致的，据此认为，该模型与层控矿化有关，代表了一定规模的、具有经济价值的地质目标。

1981 年 10 月，为验证模拟的目标，设计了一测试钻孔 DDH AB 3（图 1）。在 260 m 深处往下打到了 255 m 厚的铁-钡-铅-银-铜-金矿化。矿化段由上部的层控带和下部的脉状带组成，含大量的磁铁矿、赤铁矿和重晶石。

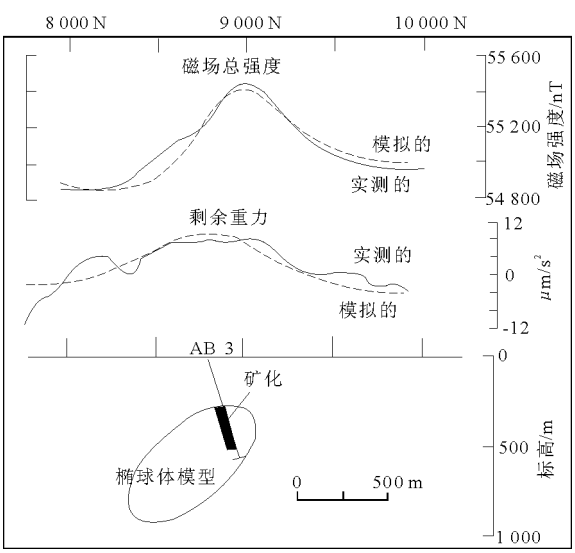


图 5　阿布拉矿床 8 500 E 剖面重磁异常的椭球体模拟

图中示出了发现孔的矿化范围

黄金地质研究所
信息室 提供

1982—1983 年，又打了 7 个金刚石钻孔，打到了模型的上部和下部，证明了有一个矿化体存在，其分布大致与模拟的椭球体是一致的。根据物探模型以及钻孔的控制，估算了该矿体的地质储量。1989 和 1991 年又打了 5 口钻孔，虽然见到了一些高品位的铅矿化段，但总的资源量无明显扩大。图 1 示出了平均化的铅含量，反映了 8 500 E 断面矿化体的地质解释结果。

3 矿床发现之后的方法试验

继矿床发现之后，开展了地表和钻孔不同物探方法的试验工作。阿布拉矿床产生明显的重力异常，起因于矿床内分布大量的磁铁矿、赤铁矿、重晶石和方铅矿。因此，对钻孔岩心作了物性测定。表 1 示出了测定结果，从表中可见，矿化带与围岩的磁性和密度差异明显。自电、电阻率和伽马测井资料表明矿床在局部是良导的，但总体上属于弱导电性（100～500 Ω·m），但周围的碎屑岩和碳酸盐是高阻的。

表 1 阿布拉矿床岩石单元的物性测量

地质描述	平均磁化率 SI 单位	平均密度 $g \cdot cm^{-3}$	电阻率 Ω·m	近似的厚度 m
顶板沉积岩	0.000 1	2.73	＞1 000	300
层控带	0.102 4	3.63	＜100	74
脉状带	0.039 8	2.97	100～500	160
底板沉积岩	0.002 7	2.78	＞5 000	—

除物性测定和测井外，还做了地面和钻孔瞬变电磁测量（TEM）以及钻孔充电法。由于阿布拉矿体整体上是均匀弱导体，故移动回线和固定回线 TEM 测量在矿体上方均记录到一个宽阔的异常。异常呈指数衰减，时间常数为 1.3 ms，表明导电性偏弱。钻孔 TEM 测量的分辨率明显提高，大的矿化系统内存在的一些很小的局部导体在钻孔 TEM 测量曲线亦能清楚地反映，表现为叠加在宽阔异常响应之上的一些局部异常。尽管 TEM 测量未能进一步圈出有经济意义的盲矿，但它在已知矿段上的有效性证明了该方法适合于探测这类目标。

摘自《国外重要成矿区带典型找矿案例和勘查技术应用》

物探方法寻找内生金矿床的总体模式

这里所谓的找矿模式，实质上是指用物探方法寻找金矿床的工作程式或工作制式，而不是金矿床的地球物理模式。

1 依 据

拟定用物探方法寻找内生金矿床的找矿模式有以下主要原则。

1）充分考虑不同类型金矿床的地质特征、成矿规律和地球物理特征。

2）充分考虑金矿物探的特点和物探工作规律。

①物探方法寻找金矿床的间接性：在自然界中不存在用物探方法直接寻找金矿床的地质-地球物理前提。地球物理方法只能作为寻找金矿床的一种间接手段，主要是用于解决与金矿成矿有关的各种地质问题。因此，物探工作必须以地质为基础，与地质工作紧密配合。

②物探方法解决与金矿成矿有关地质问题的宏观性：解决宏观地质问题是物探方法的优势，而对微观地质问题物探方法则无能为力。为了充分发挥物探方法的优势，扬长避短，应把注意力放在解决宏观地质问题方面。

③物探工作的阶段性与连续性：这是由于地质任务和物探工作特点决定的。一般来说，要求物探方法在寻找金矿床的全过程中全面地、系统地、连续地开展工作。

④物探方法的综合性：这是由于金矿床常常具有多种地质-地球物理特征和提高物探方法的地质效果，必须采用综合物探方法。

3）充分考虑国内外利用物探方法寻找金矿床的地质效果和工作经验。

2 总体找矿模式

根据上述原则，拟定的物探方法寻找内生金矿床的总体模式见图 1。

图 1 给出的物探方法寻找内生金矿床找矿模式中，将物探方法寻找内生金矿床的全过程分为 4 个阶段：Ⅰ 金矿成矿远景预测或成矿远景靶区的选择；Ⅱ 区域性普查找矿或成矿远景靶区的缩小；Ⅲ 局部地区的普查和详查或金矿勘探靶区的选择；Ⅳ 勘探阶段或圈定工业矿体。其特点：4个找矿

黄金地质研究所
信息室 提供

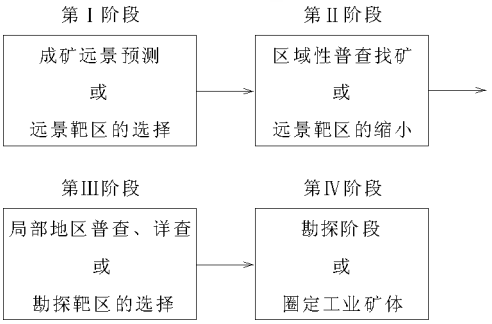


图 1　物探方法寻找内生金矿床的找矿模式框图

阶段的划分与地质工作找矿阶段相适应，体现了物探工作以地质为基础、与地质工作紧密配合的特点；此找矿模式要求首先选择成矿的远景靶区，然后逐步缩小找矿靶区，最后达到找到金矿床的目的。它既体现了物探方法不是以直接找金为主要目的，而是从第Ⅰ到第Ⅳ阶段以解决与金矿成矿有关的一系列地质问题为主，最后达到找金目的，又体现了物探工作的阶段性和连续性。在不同的找矿阶段中，需要解决的地质问题不同，故所投入的物探方法、比例尺、工作要求也各不相同。物探方法在每一个找矿阶段均能发挥作用，尤其是物探方法要在第Ⅰ到第Ⅳ阶段的全过程中发挥作用，衡量物探方法在金矿地质工作中的作用和效果，也应在找金矿的全过程中来评价。

摘自《金矿地球物理找矿》

胶西北破碎蚀变岩型金矿床高精度磁测找矿模型

蚀变岩型金矿与地层、岩体、构造关系密切，研究磁测找矿模型，离不开对上述地质体磁场特征的研究。磁测找矿模型实质上是对与金矿有关地质体磁性特征的总结、概括。通过对胶东群、玲珑花岗岩、郭家岭花岗闪长岩、断裂蚀变带及矿床的磁场特征分析，建立了不同围岩接触关系的 2 类 4 种类型的高精度磁测找矿模型（图 1）。这 4 种找矿模型，是本区矿床及控矿因素（地层、岩体、构造）不同磁场特征的最小组合，具有代表性。

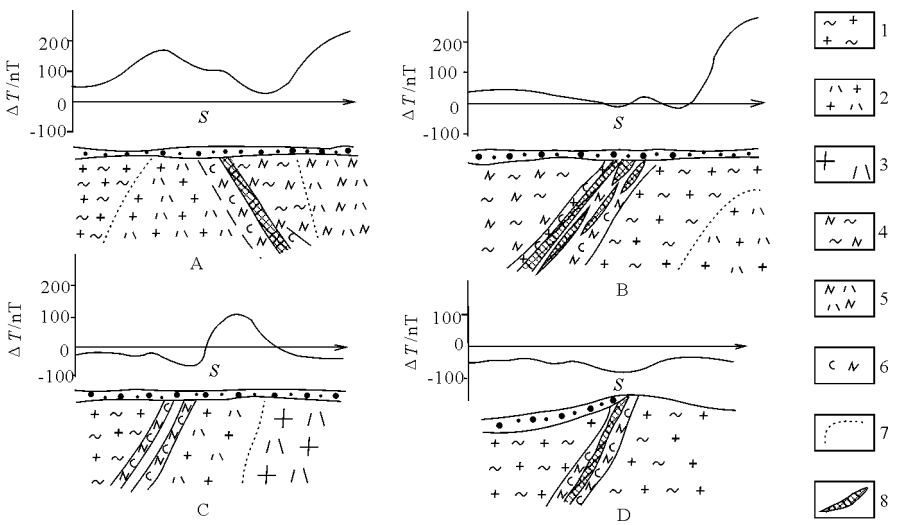


图 1　高精度磁测找矿模型示意图

胶东群变质岩与花岗岩接触蚀变带中的金矿床：A—仓上金矿，B—焦家金矿；花岗岩内断裂蚀变带中的金矿床：C—上庄金矿，D—望儿山金矿；1—黑云母片麻状花岗岩；2—中、小斑状花岗闪长岩；3—中、大斑状花岗闪长岩；4—斜长片麻岩；5—斜长角闪岩；6—蚀变带；7—岩性界线；8—矿体

1　不同岩性接触蚀变带中的金矿床

1）仓上金矿类型：矿体上盘为斜长片麻岩及斜长角闪岩，对应为平稳低及高磁场；下盘为玲珑花岗岩及郭家岭花岗闪长岩，磁场为平稳低及较高磁场，蚀变带上方为低磁场中叠加有升高的局部磁异常。

2）焦家金矿类型：矿体上盘为斜长片麻岩，对应平稳低磁场；下盘为玲珑花岗岩下伏郭家岭花岗闪长岩，磁场为高正磁场，蚀变带上方为低值带中微弱异常。

黄金地质研究所
信息室 提供

2 花岗岩体内断裂蚀变带中的金矿床

1）上庄金矿类型：上盘为片麻状黑云母花岗岩，为平稳的负磁场；下盘为郭家岭花岗闪长岩，其边缘带（中、小斑状花岗闪长岩）为正磁场，内部带（中、大斑状花岗闪长岩）为平稳波动负磁场，蚀变带上方为低磁异常带。

2）望儿山金矿类型：矿体上下盘均为片麻状黑云母花岗岩，均为平稳负磁场，蚀变带上方为负磁场背景的低值磁异常。

摘自《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》

华北地块北缘台区中生代中酸性重熔岩浆热液金矿成矿亚系列综合信息找矿模型

1 主要矿床类型

破碎蚀变岩型金矿、含金石英脉型金矿和韧性剪切带型金矿。

2 主要成矿时代

中生代印支运动构造期和燕山运动构造期。

3 地质构造环境

活化地台环境；前寒武纪结晶基底极为发育，广泛分布，是长期以来处于上升隆起的大地构造单元；NE 向断裂构造体系叠加在基底构造体系之上，具有改造特征的构造面貌，是该亚系列矿床产出的典型构造环境；中生代中酸性侵入岩浆活动强烈，致使各种类型的侵入体广泛分布，并破坏了结晶基底的完整性。

4 地球物理环境

区域重力场以相对重力高为特征；在垂直方向上连续变化，显示结晶基底在三度空间稳定发育的基本特征，区域相对重力高场区内可进一步划分出低级别的相对重力低场区，场区具有明显的重力负中心，在较大深度上场区具有稳定性；区域磁场类型为负场、杂乱场和正负相间的条带场区，它们与场区所对应的地质环境相对应。

5 区域控矿条件

区域性控矿地层，在吉南、辽北、燕山北部、冀西北、内蒙古中部为太古宇，在辽南和辽西阜新地区为古元古界；区域控矿构造以规模巨大的韧性剪切带为主，方向因地而异，NW 向和近 EW 向为主要方向；与矿有关的构造具有多方向性，吉林南部、辽北、辽南以 NE，NW 向构造为主，辽西、燕山北部、冀西北、内蒙古中部以近 EW，NE 向为主；多方向区域构造交会处及附近为有利成矿的控矿环境；区域控矿构造成带出现，形成在规模上近于平行的构造带；地球物理特征表现为梯度带；遥感特征表现为线性影像密集带；区域性岩浆岩带等为重要的控矿条件。

6 矿田条件

有利的赋矿地层为太古宇和古元古界，不同地区地层条件存在着区域的差异，且地层完整性为岩浆侵入活动和构造所破坏；NE 与 NW 向断裂交会、NE 与 EW 向断裂交会，3 组断裂交会处及其附近为有利的构造部位；控制矿田的断裂具有规模大、下切深度大等特点，而且可以用重、磁、遥感信息加以推断；中酸性侵入杂岩，杂岩体的不同部位在成分上和构造上存在明显差异，主要岩石类型为二长花岗岩、花岗闪长岩、花岗岩等，岩体规模巨大，呈岩基产出；岩体可以利用环形影象表征，岩体的中心多为重力负中心。

7 矿化信息

矿化以 Au 为主，多为独立的金矿床，伴生元素主要为 Ag，Cu，Pb，Zn；矿化环绕岩体分布，但岩体中部矿化不发育，具有成环、成群产出的特点；最有利的矿化部位是内接触带、接触带和外接触带。

8 矿床基本特征

容矿围岩可以是变质杂岩，也可以是侵入岩；围岩蚀变现象明显，蚀变的强度可因地质条件和矿床类型的不同而产生差异；蚀变类型有较明显的规律，主要是硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化；容矿构造具有多方向性，总体上和具体矿床此特征均较突出，矿石矿物组合类型多变，主要类型为金-磁黄铁矿-毒砂和金-黄铁矿-多金属；成矿物质和含矿热液具有多来源性，成矿为多阶段成矿，主要成矿阶段发育是工业矿化存在的重要的矿床学标志。

摘自《华北地块北缘及其北侧金属矿产成矿系列与勘查》

黄金地质研究所
信息室 提供

华北地块北缘台区中生代中酸性同熔岩浆热液 Au-Cu 矿成矿亚系列综合信息找矿模型

1 主要矿床类型

含金石英脉型金矿、韧性剪切带金矿、夕卡岩型铜-金矿、石英脉型金-铜矿。

2 主要成矿时期

中生代。

3 地质构造环境

活化地台环境；出露基底边部、隐伏基底发育；不同构造体系叠加形成的具有改造特征的构造环境；中酸性岩浆侵入活动显著。

4 地球物理环境

与基底、隐伏基底相对应的区域相对高重力场区域巨型重力梯度带；区域磁场主要是带状磁场和杂乱场。

5 区域控矿条件

区域控矿地层单位较多，有太古宇、古元古界、中新元古界和中生界，与单元位置有关，由于矿化成群出现，所以控矿地层往往表现为地区性；控矿构造以 NE 和近 EW 向为主，中东部以前一方向为主，中西部以后一方向为主；控矿构造或发育在不同级别大地构造单元的拼接部位，或者发育在古老隆起区域上；控矿岩带呈近 EW 或 NE 向，在特定地区与该区的区域性控岩断裂方向一致。

6 矿田条件

有利大地构造单元部位为隆起区的边缘、坳陷区的相对隆起部位；以金矿化为主的矿田单元主要分布在太古宇和古元古界分布区，以 Cu，Au 矿化为主的矿田单元多出现在中新元古界分布区；燕山地区及内蒙古中段的矿田受近 EW 向断裂控制，辽西及辽东等地的矿田受 NE 向控制；主控断裂与其他方向断裂的交会处及附近为矿田有利构造部位；与该亚系列矿田有关的侵入体，一般规模较小，岩石种类较多，可以是闪长岩类、二长岩类和花岗闪长岩类；岩体多沿深大断裂带分布。

7 矿化信息

Au，Cu 为此亚系列矿床的主要成矿元素，伴生元素为 Ag，Pb，Zn；一般地，发生在隆起区的矿化多以 Au 为主，形成独立的金矿床，出现在坳陷区内相对隆起地段的矿化多为 Au，Cu，具有空间上的明显的分带性；矿化发生在岩体的内外接触带，成群、成带出现；矿化产地的数量与岩体的发育强度有密切关系。

8 矿床基本特征

容矿岩石类型较多，对于某一特定的矿田来说，围岩则较简单；围岩蚀变是此亚系列矿床的常见的地质现象，也是重要的找矿标志，蚀变强度范围及蚀变特点则与矿床的类型和产出的地质条件相关；矿石矿物组合以多金属硫化物丰富为特征；成矿多阶段成矿物质和含矿热液多来源是此亚系列矿床的共性。

摘自《华北地块北缘及其北侧金属矿产成矿系列与勘查》

华北地块北缘台区中生代酸性火山-次火山热液 Au，Ag 成矿亚系列综合信息找矿模型

1 主要矿床类型

石英脉型、破碎角砾岩型。

2 主要成矿时期

中生代。

3 地质构造环境

台区，分布在隆起区的中生代断陷盆地 NE 向构造体系为基本构造环境，火山活动显著。

4 区域控矿条件

不同级别的具有隆起性质的构造单元；受多组构造控制的中生代断陷盆地；盆地内火山活动和次火山活动显著；赋矿地层为中生界和太古宇；断裂为 NE，NW 向，且 NW 向构造对成矿活动具有特殊意义。

5 矿田条件

中生代断陷盆地，次火山岩发育，以酸性斑岩体为主；控矿构造为 NW，NE 向，也可以是火山

黄金地质研究所
信息室 提供

机构。

6 矿床基本特征

容矿围岩可以是火山岩，也可以是变质杂岩，围岩蚀变普遍，常有早期面型蚀变，成矿期蚀变强烈；矿石矿物组合以多金属硫化物、自然银、自然金常见，高、中、低温矿物组合均可出现，比较复杂；矿体产于次火山岩体与火山沉积岩或变质岩的接触带或特定的火山机构中，矿体形态复杂。

7 地球物理环境

区域场为重力正缓场或正缓场的边部，局部磁场全表现出比较复杂的面貌；以熔岩为主的区域，次火山岩体和火山熔岩表现为低平正场加跳跃场组合，次火山岩体沉积岩组合，多表现为负场中低平正场；次火山岩变质岩组合，全表现为正场中的相对局部低；有时磁场特点可以直接解译出火山机构的基本格架。

8 矿化信息

Ag，Au矿点、矿化点（在化探上则有Au，Ag，As，Sb等复杂组合异常）为主要矿化信息，它们受火山盆地的边缘构造或火山盆地内，穿透基底的深大断裂的控制，局部表现出受次级构造、火山机构的控制。

摘自《华北地块北缘及其北侧金属矿产成矿系列与勘查》

华北地块北缘槽区古生代中酸性岩浆热液 Au-Cu 成矿亚系列综合信息找矿模型

1 主要矿床类型

细脉浸染型、脉状与网脉。

2 主要成矿时期

古生代。

3 地质构造环境

古生代地槽褶皱系二级褶皱带内三级复式背斜中；北缘边缘EW向中生代构造-岩浆活动带之中；EW向古生代岩浆岩带的北边缘；EW向深大构造与其他方向深大构造交会处。

4 地球物理环境

磁场负场背景区中大片的正缓场，这样的场反映着槽区中岩浆活动的地段，在这样的正缓场的边部，有局部复杂变化者最为有利。

5 矿田条件

上述岩浆岩强烈活动地区中发育中、小岩体的地段，一般是NE向深大构造或NW与EW向深大构造的交会处；与成矿有关的岩体主要为花岗闪长岩、石英闪长岩以及一些浅成的斑岩体（闪长玢岩、花岗闪长斑岩）。

6 矿床基本特征

主要容矿岩石为岩体外接触带的古生代的浅变质岩和小斑岩自身，岩性不均一，不同组段的分界处有利；地点为深大构造附近次级构造密度较大的地段存在着强烈、广泛的蚀变，有钾化、青磐岩化、硅化等；主要矿化阶段为钾长石黑云母阶段、石英硫化物阶段；矿体呈似层状、脉状，成群分布；主要矿物组合黄铜矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿。

7 矿化信息

主要为Cu，Au和Mo矿化，Cu，Mo显示与岩体更加密切的关系，而金离岩体较远，往往与断裂关系更加密切，这种空间组合的信息极为有意义。

摘自《华北地块北缘及其北侧金属矿产成矿系列与勘查》

华北地块北缘热液型金矿床综合信息找矿模型

矿床分布在辽东、辽西地区。构造位置为太古宙花岗绿岩带幔隆和幔坳的边部、火山构造盆地的边缘活动带、中生代断陷盆地、坳拉谷的边缘。

1）有利的岩石组合或岩性为片麻状花岗岩、角闪斜长片麻岩、片岩、大理岩及长英质、角闪质的糜棱岩、超糜棱岩等。

2）NE，NW，EW向断裂控矿，表现形式为片理化带、碱质交代带、矿化糜棱岩带。

3）金矿化围绕岩体发生，常见距离为6～8 km，金矿化可发生在岩体内外接触带的有利部位及围岩中。

4）相对低缓背景上次级重力高部位，重力高

黄金地质研究所
信息室 提供

异常的边缘，重力异常曲线为线性特征不明显的圆形、曲线形。

5）航磁特征为弱正磁场（边缘），负背景场点状升高场及跳跃杂乱的强磁场降低部位。

6）Au，Ag，Cu，Pb，Zn 组合异常区，Au，As，Bi 的高背景区。金、铜、铅重砂矿物异常区。

7）NNE，NW 向不明显的密集线性遥感影像及 NE 向不完整的同心环状影像。

8）矿田、矿床的综合信息：

①岩体的缓倾斜一侧；

②导矿断裂与岩体的接触带交会部位及与其他断裂的交会部位；

③金元素分散流异常明显及与重砂组合异常的复合部位，典型的重砂矿物组合为金-黄铁矿、多金属硫化物；

④脉岩发育区；

⑤糜棱岩带内的蚀变糜棱岩，黄铁矿绢云母化带。

摘自《华北地块北缘及其北侧金属矿产成矿系列与勘查》

华北地块北缘火山岩型金矿床综合信息找矿模型

矿床主要分布在辽西。构造位置为中生代断陷盆地，火山构造盆地的边缘活动带及太古宙花岗-绿岩带。幔隆、幔坳过渡带。

1）赋矿岩石为火山岩、次火山岩，主要为上侏罗统安山岩、流纹岩。

2）有利的岩石组合为流纹斑岩、花岗斑岩、流纹质火山角砾岩。含矿流纹斑岩高硅、高钾、低钠。

3）NW 及 NE 向蚀变破碎、硅质胶结的角砾岩带为容矿岩石，构造断裂及裂隙控矿明显。

4）Au，Ag 或 Au，Ag，Cu，Pb，Zn 分散流组合异常。

5）金、铅、铜重砂异常。

6）低背景场上次级相对重力低，重力高向重力低过渡带及区域重力低边缘。

7）跳跃、杂乱的磁场，正异常的边部，非线性正磁场的降低部位。

8）NW 及 NNE 向不完整的单环或同心环遥感影像。

摘自《华北地块北缘及其北侧金属矿产成矿系列与勘查》

华北地块北缘浊积岩型金矿床综合信息找矿模型

分布在辽南地区，构造位置：古元古代裂谷的中央裂陷区，即营口—宽甸断槽内部。

1）赋矿地层为辽河群变质岩系，低绿片岩相、低角闪岩相，并有中基性脉岩、花岗岩的侵入。

2）有利的岩石组合为绢云母千枚岩、薄层状变质石英砂岩、二云母片岩、大理岩、绿片岩。

3）膨胀构造带、侧伏向斜、背斜冀部、NE 向断裂、层间褶曲、断裂控矿。

4）较弱的绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、硅化、钾化。

5）Au，Ag，As 在矿体顶部构成晕圈；As 含量大于 $3\,000\times10^{-6}$，指示金矿体存在。

6）毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、铅矿物重砂异常明显。

7）重力曲线密集，呈 NW 向同向扭曲，重力低的边缘，重力高向重力低的过渡带，非线性正磁场的边缘。

8）同心环，复式环形遥感影像。

摘自《华北地块北缘及其北侧金属矿产成矿系列与勘查》

黄金地质研究所
信息室 提供

我国曾用和在用物探方法

1 磁 法

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	被动源	磁场分量测量	垂直磁分量测量 水平磁分量测量		
		总磁场测量	总磁场测量	常规总磁测量 微磁测量	
		磁场梯度测量	垂直磁梯度测量		
		磁场日变测量	磁场日变异常测量		
	主动源	人工磁化法	大定源(大回线) 直流人工磁化法		
航 空	被动源	磁场分量测量	垂直磁分量测量	固定翼机载	
		总磁场测量	总磁场测量	固定翼机载 直升机载	
		磁场梯度测量	总磁场水平梯度测量 总磁场垂直梯度测量	固定翼机载 直升机吊舱系统	
海 洋	被动源	总磁场测量 磁场梯度测量	总磁场测量 总磁场水平梯度测量	水面船曳 水面船曳	
地 下	被动源	井中磁测	磁场垂直分量测量 磁场三分量测量		

2 重力法

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	被动源	重力测量	重力仪测量	常规重力测量 微重力测量	
		重力位二次导数测量	扭秤测量		
航 空	被动源	航空重力测量	空中定点重力测量	直升机悬停定点 空中测量	仅作过空中试验
			飞航连续重力测量		刚引进设备
海 洋	被动源	海面重力测量	重力仪海面连续测量 重力仪海面定点测量	船上重力仪测量 浅海平台重力仪测量	
		海底重力测量	海底重力仪测量		
地 下	被动源	井中重力测量	井中重力仪测量		

3 电 法

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	被动源 (传导类)	自然电场法	自然电场法	电位测量 梯度测量	
	主动源 (传导类)	电阻率法	电测深法	对称四极测深 三极测深 偶极测深 五极纵轴测深 微分测深	
			电剖面法	对称四级剖面 三极及联合剖面 偶极剖面 微分剖面	
			中间梯度法	纵向中间梯度 横向中间梯度	
			高密度电阻率法	扩展式系统 分布式系统	
			磁(测)电阻率法	半正方形供电系统	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	主动源（传导类）	电位法	等电位线法 电位差比剖面法		
		充电法	充电法 磁（测）充电法		
		流场拟合法	流场拟合法		
		激发极化法	激发极化测深法（时间域，频率域）	对称四极测深	
			激发极化剖面法（时间域，频率域）	对称四极剖面 三极及联合剖面 近场源剖面	
			频谱激发极化法（复电阻率法）（时间域，频率域）	偶极排列 中间梯度排列	
			磁（测）激发极化法 电场差分法	半正方形供电系统 双极偶极排列	又称“差分标定法”
		极化曲线法	接触极化曲线法		
	混合（主动＋被动）源（感应类）	混合源频率域电磁法	频率电磁测深法	电导率成像法	
	被动源（感应类）	被动源电磁测探法（频率域）	大地电流法		
			大地电磁测深法	大地电磁测深法 连续电磁剖面法 音频大地电磁测深法	即“电磁阵列剖面法”
				同步阵列大地电磁测深法	
			大地电场岩性测深法		
		被动源电磁剖面法（频率域）	地磁差分法		又称“大地磁变法”
			天然音频电场法	宽频测量 选频测量	
			天然音频电磁法 甚低频法 超低频/极低频电磁波法		
	主动源（感应类）	频率域电磁剖面法	磁性源电磁剖面法	虚实分量法 振幅比相位差法 水平线圈法 垂直线圈法（倾角法） 定源电磁剖面法	
			电性源电磁剖面法	直接充电法 夹钳法 接地电极法 示踪电磁法	
		频率域电磁测深法	磁性源电磁测深法	水平线圈系统	
			电性源电磁测深法	轴向偶极排列 赤道偶极排列	
				双极偶极扇形排列	即“可控源音频大地电磁测深法”
		时间域电磁剖面法	磁性源瞬变电磁剖面法	偶极动源系统 大定源系统	
		时间域电磁测深法	磁性源瞬变电磁测深法	重叠回线法 中心回线法	
			电性源瞬变电磁测深法	长偏移距系统（固定双极源）	
		探地雷达法	探地雷达法	调制脉冲探地雷达 相控阵列探地雷达	
		核磁共振法	核磁共振法		

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	主动源（震电类）	压电法 震电法	压电法 震电法		
	被动源（震电类）	震电磁辐射法	震电磁辐射法		
航 空	被动源（感应类）	甚低频法 天电法	甚低频法 天电法		仅作过空中试验
	主动源（感应类）	频率域航空电磁法	接地长导线（半航空）电磁法		仅作过空中试验
			翼尖硬架式频率域电磁法	双频系统 三频系统	
		时间域航空电磁法	脉冲式航空电磁法	固定翼机系统 直升机系统	
海 洋	被动源（感应类）	海底大地电磁法	海底大地电磁法		
	主动源（感应类）	海底时间域电磁法	海底瞬变电磁法	偶极排列	电性源
地 下	主动源（传导类）	地下直流电法	坑道直流电法	跨巷道系统 层测深系统	
			井中直流电法	跨井系统	
		井中激发极化法	井中激发极化法	地-井系统	
	主动源（感应类）	井中时间域电磁法	井中瞬变电磁法	地-井系统	
		井中频率域电磁法	井中低频电磁法	地-井系统	回线磁性源
			井间电磁成像法	跨井系统	
		井中雷达	井中雷达	反射法 透射法	
		地下电磁波法	井中电磁波法	透射法	
			坑道电磁波法	透射法	

4 核 法

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	被动源	伽马测量法	伽马总量测量 伽马能谱测量		
		瞬时（快速）氡及其子体测量法	氡射气测量	电离室法 闪烁室法	
			活性炭抽气吸附法		
		积累氡及其子体测量法	径迹蚀刻法 硅半导体阿尔法仪法		
			氡子体聚集器法	阿尔法卡法 阿尔法卡法 氡膜法 氡管法	
			活性炭自然扩散吸附法 热释光法 液体闪烁法	人工热释光法	
	主动源	X 射线荧光法	X 射线荧光法	放射性核素源 微型 X 射线管源	
航 空	被动源	航空伽马测量	伽马总量测量 伽马能谱测量		
海 洋	主动源	海底 X 射线荧光法	X 射线荧光法		
地 下	主动源	放射性核素示踪法	放射性核素示踪法		

黄金地质研究所
信息室 提供

5 弹性波法

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	主动源	地震反射波法(纵波，横波，转换波)	反射波法	常规反射法 宽角(广角)反射法 极小偏移距反射法	即“陆地声纳”
		地震折射波法(纵波)	折射波法	初至折射法 续至(对比)折射法	
		面波地震法(瑞利波)	稳态电波法 瞬态电波法		
		散射波地震法(纵波)	散射波法		
		井地弹性波法(纵波)	逆垂直地震剖面法 井地声波法		
		声波及超声波检测法(纵波)	直达波法(透射法) 折射波法(滑行波法) 反射波法(回波法)		
		动力检测法	机械阻抗法	稳态激振法 瞬态激振法	
			动力参数法	频率法 频率初速度法 相对位移法	
			波列振幅衰减法		
	被动源	天然地震法(纵波，横波，转换波)	天然地震法	固定地震台网观测 便携式地震仪台网观测	
		微动法(面波)	长波微动(地脉动)法 常时微动法		
		天然声发射法	天然声发射法		
海 洋	主动源	海上地震法(反射，折射)	海面移动连续观测(纵波)	单船拖缆系统 双船拖缆系统 遥测系统	
			海底电缆连续观测(纵波，横波，转换波)	双船系统	
			海底地震仪法 声纳浮标法		
		浅地层剖面法	浅地层剖面法(地质声纳)	常规地质声纳 非线性地质声纳	
		回声测深法	单波束回声测深 多波束回声测深 旁测扫描声纳		
地 下	主动源	槽波地震法(瑞利波，乐夫波)	透射法 反射法		
		井中地震法(纵波，横波)	垂直地震剖面法	零井口偏移距 非零(方位)井口偏移距	
			井间(跨孔)地震法		
		井中声波法(纵波)	地井声波法 井间(跨孔)声波法		

6 热 法

数据采集空域	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
地 面	被动源	浅层地温测量	浅层地温测量		
海 洋	被动源	海底热流测量	海底探针法		
地 下	被动源	井中地温测量	井中地温测量 井中地温梯度测量		

黄金地质研究所
信息室 提供

7 测 井

类	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
电测井	被动源（传导类）	自然电位测井	自然电位测井		
		电化学活动性测井	电极电位测井		
			电池偶场测井		
	主动源（传导类）	电阻率测井	普通电阻率测井	梯度电极系测井	
				电位电极系测井	
				横向测井	
			侧向测井（聚焦测井）	三侧向测井	
				双侧向测井	
				方位侧向测井	又称“方位电阻率成像测井”
				球形聚焦测井	
			微电阻率测井	微电极系测井	
				微侧向测井	
				邻近侧向测井	
				微球形聚焦测井	
				阵列微电阻率扫描成像测井	
		接地电阻测井	电流测井	单极电流测井	
				滑动接触电流测井	
				聚焦电流测井	
			电阻测井	屏蔽接地电阻测井	
				接地电阻差值测井	
		激发极化测井	激发极化测井		旧称“电解测井”
			复电阻率测井		
	主动源（感应类）	感应测井	感应测井	深感应测井	
				中感应测井	
				双感应测井	
				相位电阻率测井	
				阵列感应成像测井	
				高频等参数感应测井	
		介电测井	介电测井	深探测介电测井	
				浅探测介电测井	
		电磁波传波测井	电磁波传波测井		
		核磁共振测井	核磁共振测井		
核测井	被动源	自然伽马测井	伽马总量测井		
			伽马能谱测井		
	主动源	伽马-伽马测井	散射伽马测井	密度测井	
				补偿密度测井	
			选择伽马-伽马测井	岩性密度测井	
		中子-伽马测井	非弹性散射伽马能谱测井		
			中子伽马测井		
			中子活化测井	放射性核素源活化测井	
				脉冲中子管源活化测井	
			中子寿命测井		
		中子-中子测井	热中子测井	补偿热中子测井	
			超热中子测井	补偿超热中子测井	
			缓发中子测井（延迟裂变中子测井）		
			中子寿命测井		
		X 射线荧光测井	X 射线荧光测井		
		放射性核素示踪测井	放射性核素示踪测井		
磁测井	被动源	磁定位测井	磁定位测井		
	主动源	磁化率测井	磁化率测井		
		套管分析测井	套管分析测井		
力测井	被动源	压力测井	压力计测井		
			地层测试器测井		

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类	源 别	亚 类	种	主要亚种	备 注
声测井	被动源	噪声测井	噪声测井		
	主动源	声速测井	声速测井	普通声速测井 井眼补偿声速测井 纵横波声速测井 环行声波测井	
		声幅测井	声幅测井		
		声波全波列测井	声波全波列测井	普通声波全波列测井 声波变密度测井 阵列声波测井	
		声脉冲反射测井	超声成像测井	声波井下电视 井周声波成像测井	
热测井	被动源	井温测井	井温温度测井		
			井温梯度测井	纵向井温梯度测井 径向温差测井	
光测井	主动源	井中电视	井中电视	可见光摄像 红外摄像	
专门用途测井		地层倾角测井	地层倾角测井	三臂地层倾角仪测井 高分辨率底层倾角仪测井	
		流量测井	流量测井	涡轮流量计法 放射性核素法 氧活化法 电磁流量计法	
		流体识别测井	流体电阻率测井		
			流体密度测井	压差法 散射伽马法	
			流体含水率测井	环空式电容法 取样式电容法	
		井径测量	井径测量	接触井径测量 超声井径测量 方位井径测量	
		井斜测量	井斜测量	电阻式井斜测量 陀螺仪井斜测量 磁力仪井斜测量	

注：1）表中仅列入我国曾用和在用的于勘查现场原位直接或间接（通过使用人工载体）采集数据的各种物探方法。不包括采集岩石土壤等样本在实验室内测试的方法，也并不涵盖国际上曾有和现有的全部物探方法。

2）各大类物探方法的“地下”部分主要列入某些专门用于钻井或坑道中的物探方法。实际上还有许多物探方法曾被用于地下坑道井巷中，但和相应地面物探方法差别不大，未专列。

国产野外用物探仪器

1 重力法仪器

类 型	研制生产单位	型 号 名 称	推出时间/年	备 注
海洋重力仪	西安石油仪器厂	ZH-641 型海底重力仪	1965	
	中科院测量与地球物理研究所	HSZ-2 型石英海洋重力仪	1965	直线型
		ZYZY 型远洋重力仪	1977	
		DZY-2 型海洋重力仪	1984	
		CHZ 型海洋重力仪	1985	
	地质部第五物探大队，海洋地质研究所	SG 型海底重力仪	1969	
	北京地质仪器厂	ZD1-70 型海底重力仪	1970	
		ZY-1 型海洋重力仪	1975	振弦式
陆地重力仪	西安石油勘探仪器厂	DJ-581A 型重力仪	1963	金属弹簧
		ZS-591B 型重力仪	1964	石英弹簧

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
陆地重力仪	北京地质仪器厂	ZS1-53 型石英重力仪	1964	
		ZS2-65 型石英重力仪	1965	
		ZS2-67 型石英重力仪	1967	即 ZSM-Ⅱ型
		珠峰型石英重力仪	1975	
		ZSM-Ⅲ型石英重力仪	1975	
		ZSM-Ⅳ型石英重力仪	1981	
		ZSM-Ⅴ型石英重力仪	1986	
		Z-200 型石英重力仪	1988	
		Z-400 型石英重力仪	1990	

2　磁法仪器

类　型		研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
海空磁力仪	磁通门式	地质部物探研究所,航空物探大队	402 型航空磁力仪	1962	
			403 型航空磁力仪	1965	
		北京地质仪器厂,地质部航空物探大队	CCK-1 型航空磁力仪	1976	
			CCK-1A 型航空磁力仪	1977	
		核工业航测遥感中心	BHC-10 型半导体航空磁力仪	1972	
	质子式	北京地质仪器厂	CHHK-69 型航空磁力仪	1969	即 302 型
			CHHK-1 型海洋航空磁力仪	1972	
			CHHK-2 型海洋航空磁力仪	1978	
			CTZY-1 型海洋质子航空磁力梯度仪	1981	中科院南海海洋研究所合作
		地质部物探研究所	JHX 型航空磁力仪	1972	
			JHHC 型航空磁力仪	1978	
			HC-1 型航空磁力仪	1984	
		地矿部航空物探大队	HZXC-86 型质子旋进磁力仪	1986	
			MAPM-93 型质子旋进磁力仪	1993	
	光泵式	北京地质仪器厂	CBG-1 型氦光泵航空磁力仪	1975	
			CSZ-1 型铯光泵航空磁力仪	1975	
		地矿部航空物探大队	GQ-30 型航空光泵磁力仪	1980	
			HC-85 型航空光泵磁力仪	1985	
			GQ-A 型航空光泵磁力仪	1987	双光系
			HC-90 型航空光泵磁力仪	1990	
			HC-90K 型航空光泵磁力仪	1993	双光系
			HC-2000 型航空光泵磁力仪	2000	
		杭州应用声学研究所	CB-4 型光泵航空磁力仪	1984	三光系
			GTC-Ⅱ型航空光泵磁力仪	1985	
地面磁力仪	机械式	地质部物探仪器修造所	M-1 型万能磁力仪	1958	
		北京地质仪器厂	CS1-60 型悬丝式磁力仪	1960	
			CR1-60 型刃口式磁力仪	1960	
			CS2-61 型悬丝式磁力仪	1961	
			CSJ1-64 型刃口式日变仪	1964	
			CR2-69 型刃口式磁力仪	1969	
			CS3-69 型悬丝式磁力仪	1969	
			CRJ1-69 型刃口式日变仪	1969	
			CSX1-70 型袖珍磁力仪	1970	
			CSS-1 型定向水平悬丝式磁力仪	1974	
			CSC-3 型悬丝式磁力仪	1980	
			CRJ-2 型刃口式日变仪	1981	
			CSC-3A 型悬丝式磁力仪	1981	
	光泵式	地矿部航空物探总队	HC-87 型地面光泵式磁力仪	1987	
			HC-95 型手携式光泵磁力仪	1995	
			HC-95D 型手持式光泵磁力仪		

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类	型	研制生产单位	型号名称	推出时间/年	备注
地面磁力仪	磁通门式	北京地质仪器厂	CC2-67 型半导体测磁仪	1962	
			CTY-1 型磁力梯度仪	1975	
			CCM-1 型磁通门磁力仪	1975	
			CCM-2 型磁通门磁力仪	1976	
			T-473 型磁探仪	1980	
			CTM-1A 型铁磁物体探测器	1982	
			CTM-1B 型铁磁物体探测器	1982	
			8801 型磁探仪	1986	磁梯度仪
			503 型探雷器	1998	
			GTL-115 型金属探测器	1990	
			CGM-02C 型磁通门磁力仪	1998	
			CCT-1 型磁探仪	1999	磁梯度仪
			CXM-I 型磁探仪	1999	磁梯度仪
			CCT-2 型磁探仪	2000	磁梯度仪
			CCM-4 型磁通门磁力仪	2000	
		中科院地球物理研究所	CTM-302 型三分量磁力仪	1988	
			CTM-DI 型磁力仪	1993	磁经纬仪
	质子式	北京地质仪器厂	CHD-1 型核子旋进磁力仪	1962	
			CHD-2 型核子旋进磁力仪	1964	
			CHD-3 型核子旋进磁力仪	1966	
			CHD-4 型核子旋进磁力仪	1968	
			CHD-5 型核于旋进磁力仪	1972	
			CHD-6 型核子旋进磁力仪	1978	
			CZM-1 型质子磁力仪	1980	
			CZFM-1 型分量质子磁力仪	1981	
			CZM-2 型质子磁力仪	1984	
			CZFM-2 型分量质子磁力仪	1984	
			IGS-2/MP-4 质子磁力仪	1987	引进技术
		地矿部航空物探大队	CZM-20 型质子磁力仪	1988	
			CZM-21 型质子磁力仪	1989	
			CZCS-90 型分量质子磁力仪	1990	
		湖南地矿局物探大队	CHD-80 型质子磁力仪	1980	
		地震局地球物理研究所	ZZZ-2 型质子磁力仪	1984	
		深圳华隆地球物理工贸仪器公司	G-856A 型质子磁力仪	1988	引进技术
		湖北省地震局	G-856ZD 型分量质子磁力仪	2000	
井中磁力仪		上海地质仪器厂,冶金北京地质研究所	JSZ-1 型井中三分量磁力仪	1968	
		重庆地质仪器厂	JSZ-1 型三分量井中磁力仪	1970	
			JSZ-2 型三分量井中磁力仪	1970	
			G452 型三分量磁力仪探管	1979	
			JCX-1 型三分量井中磁力仪	1979	
			JCX-2 型三分量井中磁力仪	1985	
		北京地质仪器厂	CFJ-1 型井中三分量磁力仪	1992	
		山东冶金地质二队	JCZ-1 型小口径井中磁力仪	1980	单分量

3 电法仪器

类	型	研制生产单位	型号名称	推出时间/年	备注
航空电磁仪	频率域	地矿部物化探研究所	HDY-202 型航空电磁系统	1975	
			HDY-301 型航空电磁系统	1980	双频
			HDY-401 型航空电磁系统	1996	三频
	时间域	桂林冶金地质研究所	GDM-1 型脉冲式航电仪	1974	
			GDM-Ⅱ型脉冲式航电仪	1975	
		北京地质仪器厂,桂林冶金地质研究所等	DKM-Ⅰ型脉冲式航电仪	1977	
		长春地质学院	M-1 型脉冲式航电仪	1977	
			M-2 型脉冲式航电仪	1983	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
电位仪及电阻率仪	上海景华仪器厂	801 型自然电位仪	1953	
		地电阻率仪	1953	
	上海电表厂	仿苏 ЭП-1M 型电位计	1955	
		Uj-4 型电位计	1956	
		Uj-7 型电位计	1958	
		Uj-18 型电位计		
	地质部物探局仪器修造厂	仿苏 ЭСК-1 型电子自动补偿仪	1958	
	上海地质仪器厂	DC-601 型电子自动补偿仪	1961	
		DDC-2 型电子自动补偿仪	1964	
		DDC-2A 型电子自动补偿仪	1964	
		DSZ-1 型视电阻率直读仪	1964	
		DDC-2B 型电子自动补偿仪	1965	后转重庆厂生产
		DDCJ-1 型电子自动补偿仪	1965	后转重庆厂生产
		DDB-1 型电位差比仪	1965	
	重庆地质仪器厂	DDC-5 型电子自动补偿仪	1995	
		DZD-10 型电阻率仪	1995	
	镇江煤田地质勘探机械厂	DJC-1A 型晶体管电法仪	1972	
		DJC-1B 型晶体管电法仪	1973	
	山西平遥卜宜电探仪器厂	JD-1 型自控电位仪	1976	
		JD-2 型自控电位仪		
	冶金物探公司仪器厂	KMV-1 型自动补偿仪		
	山东电讯十一厂	JDC-1 型自补电位差计	1970	
		JDC-2 型自补电位差计		
		SD-Ⅱ A 型数字物探仪	1984	
		SD-Ⅱ B 型数字物探仪	1985	
	福建三明无线电厂，中南工业大学	C-1 型微电阻率测深仪	1986	
		C-2 型微电阻率测深仪	1989	
	地矿部机电研究所	YL-841 型压裂方位测量仪	1985	
		DYL-1 型动态压裂多道电测系统	1995	
		YDW-1 型氧化还原电位仪		
	长春地质学院	WG-1 型工程电测仪	1987	
		EM-96 型注水采油观测系统	2000	
	中国地质大学(武汉)	LZSD-B 型直流电测仪	1994	
		LZSD-C 型直流电测仪		
	浙江地矿局物探大队	ZWD-2 型直流电法仪	1988	
	重庆奔腾数控技术研究所	WDDS-1 型数字电阻率仪		
		WDCJ-1 型聚焦层析电阻率仪		
	煤炭科学院西安分院	DZ-Ⅰ型数字直流电法仪	1986	矿井下用
		DZ-Ⅱ型数字直流电法仪	1992	矿井下用
		DZ-Ⅲ型井下直流电法透视仪	1996	矿井下用
		DTS-1 型防爆音频电穿透仪	1999	矿井下用
	中南工业大学	DB-1 型管涌渗漏电测仪	1999	
		DB-3 型管涌渗漏电测仪	2000	
		DB-4 型管涌渗漏电测仪	2000	
高密度电阻率仪	长春地质学院	HD-1 型高密度电阻率仪	1989	
		E-60 型高密度电阻率仪	1999	
		E-60B 型高密度电阻率仪	2000	
		E-60BN 型高密度电法工作站	2000	
		E-60C 型高密度电阻率仪	2000	
	地矿部机电研究所	MIR-1B/GC-2 型高密度电阻率测量系统	1992	
		MIR-1C/MIS-2 型多电极测量系统	1993	
	重庆地质仪器厂	DUK-1 型高密度电法测量系统	1998	
		DUKF-1 型高密度电法测量系统	2000	
	北京地质仪器厂，中国地质大学(北京)	DUM-1 型高密度电阻率仪	1995	
		DUM-2 型高密度电阻率仪		

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
高密度电阻率仪	中国地质大学(武汉)	GMD-2 型高密度电法测量系统	1997	
		LGM-2000 型高密度电法仪	2000	
	地震局地球物理研究所	DPAS-100 型分布式数采系统	1998	
	渭南煤矿专用设备厂	TD-4 型高密度数字直流电法仪		
	重庆奔腾数控技术研究所	WGDM-1 型高密度电阻率测量系统		
	黄委会物探总队	HGH-Ⅲ型堤防隐患探测系统	2000	
时域激电/电测仪	上海地质仪器厂	DGJ-1 型轻便直流激发极化仪	1964	
		SJJ-1 型时域激发极化仪	1981	
	地质部物探研究所	DJ-1 型短导线激电仪	1973	
		DJ-2 型短导线激电仪	1974	
		DJ-3 型短导线激电仪	1975	
		DJ-4 型时域激电仪	1976	
	北京地质仪器厂	DWJ-1 型微机激发电位仪	1983	地矿部物化探所研制
		DWD-1 型微机电测仪	1986	
		DWJ-1A 型微机电测仪	1987	
		DWW-1 型微机电测仪	1989	
		DWD-2 型微机电测仪	1989	
		DWD-2A 型微机电测仪	1990	
		DJJ-1 型井中激电仪	1991	
		DWJ-2 型微机激电仪	1991	
		DDJ-1 型多功能激电仪	1992	有井中工作功能
		DDJ-2 型多功能电法仪		
	重庆地质仪器厂	DJS-1 型记忆激电仪	1975	
		DJS-2 型时域激电仪	1977	
		DJS-4A 型轻便时域激电仪	1983	
		DJS-5 型微机激电仪	1985	
		DJS-5A 型微机激电仪	1985	
		DJS-5B 型微机激电仪	1988	
		DJS-6 型微机激电仪	1991	
		DDC-1500 型多功能电法仪	1990	
		DZD-1 型多功能直流电法仪	1990	
		DZD-2 型多功能直流电法仪	1991	
		DJD6-1 型多道激电仪	1992	
		DZD-3 型多功能直流电法仪	1998	
		DZD-4 型多功能直流电法仪	1999	
	地矿部机电研究所	MIR-1A 型多功能直流电测仪	1990	
		MIR-1B 型多功能直流电测仪	1990	
		MIR-1C 型多功能直流电测仪	1993	
		DW-1 型大功率直流电测仪	1996	
	河北地质局物探队	JSJ-74 型激发电位仪	1974	
		JSJ-76 型激发电位仪	1976	
	湖南地质局物探队	D-76 型激发电位仪	1976	
	湖南益阳无线电一厂	DJ-3Y 型激电仪	1979	
	桂林冶金地质研究所	JD-1 型时域激发极化仪	1974	
	冶金物探公司仪器厂	SJD-1 型时域激发极化接收机		
		SWJ-Ⅰ型时域激发极化接收机	1987	
		SWJ-Ⅱ型微机激电仪		
	中南冶金地勘公司六〇六队	DFJ-Ⅱ型激发电位仪	1979	
		DFJ-Ⅲ型激发电位仪	1980	
		DFJ-Ⅳ型激发电位仪	1982	
	山西平遥卜宜电探仪器厂	JJ-2 型积分式激发电位仪	1979	
		JJ-3 型微机激发电位仪		
		JJ-5 型微机激发电位仪	1990	
		JJ-6 型积分式激发电位仪	1992	
	上海新安电工厂,地矿部水文工程技术方法研究队	SDY-1 型数字电法仪	1984	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
时域激电/电测仪	渭南煤矿专用设备厂	TD-3 型直流电法仪	1992	
	无锡电子应用研究所，中科院地球物理研究所	DJ-88 型微机激电仪	1989	
	铁道第一勘测设计院西安分院	GDT-1 型高分辨率地质探测仪		
		GDT-2 型高分辨率地质探测仪		兼有测井功能
		GDT-3 型高分辨率地质探测仪		
		JSC-2 型地下水探测仪	1993	
	山东电汛十一厂	SDJ-2 型激发极化仪		
		SDJ-3 型激发极化仪		
		SDJ-4 型激发极化仪	1983	
		SSW 型数字积分式物探仪	1988	
	山东黄河河务局	ZDJ-1 型智能堤坝隐患探测仪	1997	
	重庆奔腾数控技术研究所	WDJD-1 型多功能直流激电仪	1996	
		WDJS-1 型数字直流激电接收机		
频域激电仪及复电阻率仪	地质部物探研究所	BJ-73 型激发极化变频仪	1974	广东地质局物探队合作
		BJ-73A 型激发极化变频仪	1975	
		BJ-76 激发极化变频仪	1978	
		DPJ-1 型单频激电仪	1984	
	青海地质局物探队	DJJ(FP)-74B 型频率域激电仪	1977	
	上海地质仪器厂	DJJ-1 型变频激电仪	1974	
		DBJ-1 型变频激电仪	1978	
	重庆地质仪器厂	DJX-1 型相位激电仪	1979	
	无锡电子技术研究所，中科院地球物理研究所	DW-83 型低频复电阻率仪	1984	
		DJ-88 型微机激电仪	1988	
	长春工业高等专科学校	DIP-1 型差异激电仪	1995	
	中南工业大学	DSF-79 型数字单双频道幅频仪	1979	
		SQ-1 型轻便双频道数字激电仪	1979	
		SQ-3 型轻便微机激电仪	1994	
		SQ-4 型双频道激电仪		
		WSJ-1 型伪随机信号三频激电仪		
	成都地质学院	FD-80 型幅频激电仪		
		FP-2000A 型幅频综合电测仪	2000	
	福建三明无线电二厂，中南工业大学	S-1 型双频道数字激电仪	1981	
		S-2 型双频道数字激电仪	1982	
		S-3 型双频道数字激电仪		
		S-3B 型双频道数字激电仪		
	深圳华达电子公司，中南工业大学	F-1 型频谱激电仪	1988	
	重庆奔腾数控技术研究所	WDJF-1 型数字幅频激电仪		
时域电磁仪	地矿部物化探研究所	DCM-1 型脉冲瞬变电磁仪	1979	
		WDC-1 型脉冲瞬变电磁仪	1987	
		WDC-2 型瞬变电磁系统	1992	
		WDC-3 型瞬变电磁系统	1992	
		WDC-4 型瞬变电磁系统	1992	
		WDC-5 型瞬变电磁系统	1993	
		WDC-2A 型瞬变电磁系统	1996	
		WDC-2B 型瞬变电磁系统	1997	
	西安海泰克高技术开发公司	TDF-8 型建场法电法仪	1985	
	西安物化探研究所	LC 型微机电法勘探系统	1989	
		EMES-1 型电磁工程勘查仪		
	桂林冶金地质研究所	DMD-Ⅰ型脉冲瞬变电磁仪	1984	
		DMD-Ⅱ型脉冲瞬变电磁仪	1985	
		JDM-Ⅰ型井中脉冲瞬变电磁仪	1985	
		JDM-Ⅱ型井中脉冲瞬变电磁仪	1986	
	北京海格地学技术研究所	TEMS-3S 型瞬变电磁系统	1995	
	长沙智通新技术研究所，中南工业大学	SD-1 型瞬变电磁仪	1992	
		SD-2 型瞬变电磁仪	1994	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
时域电磁仪	西安石油勘探仪器厂	GDY-16 型大功率瞬变电磁仪	1996	
	中国地质大学(武汉)	GUGTEM-2000 型瞬变电磁仪	2000	
		GUGTEM-2001 型瞬变电磁仪	2001	
	长沙白云仪器开发公司	MSD-1 型脉冲瞬变电磁仪		
探地雷达	地质部物探研究所	DL-1 型调制脉冲地质雷达	1974	
	电子部第 22 研究所	LT-1 型探地雷达	1990	
		LT-2 型探地雷达	1992	
		LT-3 型探地雷达	1996	
		LTD-3 型探地雷达	1996	
		LTD-3R 型公路探地雷达		青海分所研制
		LTD-10 型探地雷达		
	交通部公路研究所	IR-1 型探地雷达		
		IR-1A 型探地雷达		
		IR-1B 型探地雷达		
	北京爱迪尔国际探测技术公司	CBS-9000 型探地雷达系统	1996	
		CIDRC 型道路专用雷达探测车	1996	
		ISPR-9001 型矿用探地雷达	1998	本安型
		CR-20 型携带式探地雷达	2000	
	煤炭科学院重庆分院	KDL-A 型矿井地质雷达	1985	
		KDL-2 型矿井地质雷达	1987	
		KDL-3 型矿井地质雷达	1995	
		KDL-4 型矿井地质雷达	1996	
		KDL-5 型矿井地质雷达	1998	
	东南大学	GPR-1 型探地雷达	1995	
	吉林大学	GR-2000 地质雷达	2000	
频域电磁仪 主动源类	上海地质仪器厂	DDP-3 型电磁波探矿仪	1965	
		DXS-1 型虚实分量仪	1967	
		DKT-1 型坑道无线电波透视仪	1967	
		DKT-2 型坑道无线电波透视仪	1967	地质部物探研究合作
		JWT-1 型孔无线电波透视仪	1965	
	上海电子仪器厂	FD-81 型井中无线电波透视仪	1967	
	重庆地质仪器厂	JWT-2 型井中无线电波仪	1974	
		JWT-2A 型井中无线电波仪	1975	
		DPM-1 型低频磁化仪	1977	湖北物探队合作
		DSP-1 型磁偶源频率测深仪	1986	
	中国地质大学(武汉)	DDW-1 型无参考线虚实分量仪	1979	
		DDW-1 型多用电磁系统	1989	
	河北地矿局物探队	PC-76 型频率测深仪	1976	
	地矿部航空物探总队	GEM-81 型多频电磁仪	1985	
	地矿部机电研究所	MFR-8 型频率域电磁探测系统	1995	
	地质部物化探研究所	D5829 型感应法探矿仪	1958	仿苏大地二型
		DPZ-1 型多频振幅仪	1962	
		DPZ-2 型多频振幅仪	1962	
		SX-1 型实虚分量仪	1965	
		FX-1 型振幅比相位差仪	1977	
		JWQ-3 型井中无线电波仪	1976	
		JWQ-3A 型单双孔无线电波仪	1985	
		JW-4 型地下电磁波仪	1991	
		JW-4A 型地下电磁波仪	1996	
		WKT-Ⅳ型无线电波透视仪	1997	
		JW-5 型地下电磁波仪	2000	
	煤炭科学院西安分院	KWT-2 型钻孔无线电波透视仪	1972	
		PC-1 型频率测深仪	1972	
		MPC-76 型频率测深仪	1976	
		WK-205 型地面电磁波仪	1977	
		MPC-78 型频率测深仪	1978	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
频域电磁仪 主动源类	煤炭科学院西安分院	MSP-1 型频率测深仪	1985	
		DP-1 型频率测深仪	1986	
		EM-1 型磁偶源频率测深仪	1989	
		EM-2 型电偶源频率测深仪		
		DD-1 型大功率频率测深仪	1994	
		DTS-1 型防爆音频电透仪	1999	
	煤炭科学院重庆分院	JJT-1 型钻孔无线电波透视仪	1974	
		JJT-2 型钻孔无线电波透视仪	1974	
		WKT-J_1 型坑道无线电波透视仪	1976	
		WKT-J_2 型坑道无线电波透视仪	1978	
		WKT-F 型坑道无线电波透视仪	1986	
		WKT-F_3 型坑道无线电波透视仪		
	河北煤炭科研所	WKT-Ⅰ型无线电波坑道透视仪	1980	地矿部物探所合作生产
		WKT-Ⅱ型无线电波坑道透视仪	1984	
		WKT-Ⅲ型无线电波坑道透视仪	1990	
		WKT-D 型无线电波坑道透视仪	1992	
	黑龙江地质局物探队	JDC-1 型井中低频电磁仪	1981	
	江西煤田物测队	PCG-75 型频率测深仪	1975	
		PCG-76 型频率测深仪	1976	
		PCG-77 型频率测深仪	1977	
	甘肃煤田物测队	ZP-3 型电偶源频率测深仪		
		ZP-5 型浅层频率测深仪	1983	
		ZP-6 型浅层频率测深仪	1988	
	中科院广州地质新技术研究所 广东煤田地堪公司	DPC-1 型多参数变频测深仪	1986	
	冶金物探公司仪器厂	DO-1 型低频虚实分量仪	1976	
		DO-2 型低频虚实分量仪	1984	
		DO-2B 型低频虚实分量仪	1986	
	铁道第二勘测设计院	KWT-T_1 型井中透视仪	1971	
	地震局地球物理研究所	EW-1 型钻孔电磁波层析仪	1993	
	中国地质大学(北京)	GX-1 型管线探测仪	1989	
		GX-2 型管线探测仪		
		GX-3 型智能地下管线探测系统		
	长春地质学院	DGT-1 型地下管线探测仪	1993	
		GRIM 型井间雷达探测系统	2000	
	地矿部水文工程方法技术研究所	GTX 型管线探测仪		
	兵器工业勘测设计研究院	BK-6A 型地下金属管线探测仪	1994	
	地震局物探大队	PCL-Ⅱ型管线探测仪	1990	
	扬州电器厂,南京工学院	DG-Ⅰ型地下管线探测仪		
	山西平遥卜宜电探仪器厂	DG-Ⅱ型地下管线探测仪		
	北京邮电工业学校	6405C 型地下管线探测仪		
		GK-1 型高抗干扰电缆探测器	1989	
	上海微波技术研究所	GXO-1 型管线定位仪		
		GXD-1 型地下管线探测仪	1989	
		GXD-2 型地下管线探测仪		
	北京世超勘探技术公司	PGD 型管路电缆探测仪		
	吉林无线电四厂	DJT-C 型地下管线探测仪	1989	
	无锡华达探测仪器厂,电子部七二〇厂	DT-10 型精密地下管线探测仪	1994	
	沈阳龙江地质勘探研究所, 航空部六〇六研究所	TG-1 型金属探测器		
		PGD-1 型管路电缆探测仪	1991	
		PGD-938 型管路电路电缆探测仪	1994	
	河南鹤壁金属探测器厂	TC-91A 型金属探测器	1990	
		TC-91B 型金属探测器	1991	
		TC-91C 型金属探测器	1991	
		TC-91D 型金属探测器	1991	
		TC-91E 型金属探测器	1991	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
频域电磁仪 被动源类	地震局地质研究所,兰州地震研究所等	LH-1 型感应式大地电磁测深仪	1973	
		LH-2 型感应式大地电磁测深仪		
	芜湖无线电一厂,中科院地球物理研究所	DDY-201 型地电仪	1983	
	地震局物探大队	WMT-1 型大地电磁测深仪	1992	
	石油物探局仪器厂	SD-Ⅰ型大地电磁测深仪	1982	
		SD-Ⅱ型大地电磁测深仪	1987	
	长春地质学院	GEM-Ⅰ型数字大地电磁测深仪	1986	
		GEM-Ⅱ型数字大地电磁测深仪	1991	
	地矿部物化探研究所	RMS20A 型实时大地电磁系统	1990	
		CLEMP-C 型被动源电磁断面系统	1995	
		YW-Ⅰ型大地电场岩性测深仪	1994	
		YW-Ⅱ型大地电场岩性测深仪	1996	
		YW-Ⅲ型大地电场岩性测深仪	1998	
	重庆地质仪器厂	DDS-1 型甚低频电磁仪	1980	
		DDS-2 型甚低频电磁仪		
		DDS-3 型甚低频电磁仪	1991	
		DDR-2 型天然场电测深仪	1982	
		DDG-1 型大地工频电测仪		
	上海地质仪器厂	YDC-1 型音频大地电磁仪	1983	
	四川地质局水文工程地质队	JDD 型音频大地电位计	1979	
	河北容城无线电厂,地矿部水文工程方法技术研究队	SDD-1 型声频大地电场仪	1980	
		SDD-2 型声频大地电场仪		
		YDD-A 型声频大地电场仪	1987	
		YDD-B 型声频大地电场仪	1987	
	地矿部郑州地质学校	DX-1 型天然电场选频仪	1989	
	河南君达高新技术研究所	Ⅴ-Ⅰ型天然电场选频仪		
		Ⅴ-Ⅱ型天然电场选频仪		
		Ⅴ-Ⅲ型微机天然电场选频仪		
		Ⅴ-Ⅳ型天然电场选频电位差比仪		
	山西平遥卜宜电探仪器厂	SB-1 型大地电场比值仪		
	核工业东北地勘局	KP-1 型宽频带天然交变电场仪	1990	
		KP-2 型宽频带天然交变电场仪	1994	
		GL-68EH 型大地层析电磁仪	1997	
	地矿部机电研究所	TGE-1 型天然电场仪		
		TGE-3 型天然电场仪		
	浙江石油勘探处	CTY-Ⅰ型大地电场岩性探测仪	1986	
		CTY-Ⅱ型大地电场岩性探测仪	1989	
		CTY-Ⅲ型大地电场岩性探测仪	1991	
		CTY-Ⅳ型大地电场岩性探测仪	1994	
		CTY-Ⅴ型大地电场岩性探测仪		
	煤炭科学院西安分院	DTY-1 型地电探测仪	1988	
		DTY-2 型地电探测仪		
		DTY-3 型地电探测仪	1993	
		DTY-4 型地电探测仪		
		SYT-1 型物性探测仪	1992	
		SYT-2 型物性探测仪	1995	
		DYL 型地应力探测仪	1997	
	西安石油勘探仪器厂	HYT-883 型岩性探测仪	1991	
其　他	北京地质仪器厂	DHT-1 型地电化学探测仪		
	煤炭科学院重庆分院	MTT-92 型煤与瓦斯突出危险探测仪	1985	
	地质科学院矿床所	YYD-1 型压电仪		

黄金地质研究所
信息室 提供

4 弹性波法仪器

类	型	研制生产单位	型 号 名 称	推出时间/年	备 注
深部地震仪	模拟式	地震局物探大队	WT-1 型模拟磁带地震仪	1973	
		中科院地球物理研究所	DCJ-1 型五路调频模拟磁带地震仪	1979	
			FMC-83 型五路调频模拟磁带地震仪	1983	
		地震局地球物理研究所	CBY-1 型模拟磁带地震仪	1989	
			CBY-2 型模拟磁带地震仪		
			MCD-3 型模拟磁带地震仪		
		重庆地质仪器厂	DZSM-1 型深层模拟地震仪	1983	
			DZSM-2 型深层模拟地震仪	1985	
			DZSM-2A 型深层模拟地震仪	1985	
		地矿部机电研究所	DZM85-1 型深层模拟地震仪	1985	
		成都先锋无线电厂,成都地质学院	MJD-4 型深部模拟地震仪		
	数字式	中科院地球物理研究所	HS-1 型浅海数字地震仪	1983	声学所等合作
			SCJ-8 型多道深部数字地震仪	1983	
			HS-2 型海底数字地震仪	1985	
			CSJ-1 型延时触发数字地震仪	1985	
			CSJ-3 型多道深部数字地震仪	1990	
			OBS863-1 型海底数字地震仪	1998	
		地矿部机电研究所	DZS-1 型深部数字地震仪	1985	
			DZD85-1 型深部地震仪	1987	
			GDS-1000 型宽带流动数字地震系统	1992	
		重庆地质仪器厂	DZSS-1 型深层数字地震仪	1986	
		地震局地球物理勘探中心	DAS-1 型轻便数字地震仪	1997	
			DAS-3 型轻便数字地震仪	2000	
中深层地震仪	模拟式	西安石油勘探仪器厂	DZ-551 型地震仪	1955	
			DZ-571 型地震仪	1957	
			DZ-611 型地震仪	1962	
			DZ-592 型磁带地震仪	1959	试制品
			DZ-651 型磁带地震仪	1965	
			DZ-661 型磁带地震仪	1967	
			DZ-663 型磁带地震仪	1969	
			DZ-701 型磁带地震仪	1970	
		石油物探局仪器厂	GC-1 型地震仪	1965	
			SCD-2 型地震仪	1970	
			SCD-711 型地震仪	1971	
			DZ-701 型磁带地震仪	1973	
			DZ-731 型磁带地震仪	1973	
		北京地质仪器厂	DZ1-24-60 型地震仪	1960	
			DZQ3-24-66 型地震仪	1966	
			DZQ4-24-66 型地震仪	1966	
			DZC1-24-66 型磁带地震仪	1966	
			DZC1-70 型磁带地震仪	1970	
			DZC1-71 型磁带地震仪	1971	
		重庆地质仪器厂	DZ-71 型磁带地震仪	1971	
		渭南煤矿专用设备厂	TYDC-24 型磁带地震仪	1972	
	数字式	重庆地质仪器厂	DSC-481A 型地震仪	1979	
			DZCS-1 型地震数据采集站	1991	
		西安石油勘探仪器厂	SDZ-751 型地震仪	1978	
			SDZ-751A 型地震仪	1978	
			SDZ-751B 型地震仪	1979	
			SDZ-120 型地震仪	1985	引进 DSF-V 技术
			DDZ-811 型低速带地震仪	1988	
			DDZ-24 型低速带地震仪	1990	
			WK-240 型地震仪	1990	
			YZK-480 型遥测地震仪	1991	
			YWZ-240 型遥测地震仪	1994	引进法国技术
			GYZ-1000 型遥测地震仪	1996	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类	型	研制生产单位	型 号 名 称	推出时间/年	备 注
中深层地震仪	数字式	西安石油勘探仪器厂	GYZ-4000 型遥测地震仪	1999	
			GQZ-240 型轻便遥测地震仪	2000	
			HDD-1 型海上多波遥测地震仪	2000	
		石油物探局仪器厂	SK-8000 型地震仪	1980	
			SK-83 型地震仪	1983	
			SK-1004 型遥测地震采集系统	1991	
			SK-48 型遥测地震仪	1994	
			SK-1005 型轻便遥测地震仪	1994	
			SK-1005A 型轻便遥测地震仪	1994	
			SK-1006 型轻便遥测地震仪	1997	
			WF-1006 型轻便遥测地震仪	1997	
		黄河机器厂,西安煤田地质研究所	MSD-1 型地震仪	1982	
			MSD-10 型地震仪		
			MSD-14 型地震仪		
			MSD-16 型地震仪		
		西安塞舍尔石油勘探仪器公司,西安石油仪器厂	SN-388 型遥测地震采集系统	1996	引进技术
			Eagle-88 型遥测地震采集系统	1999	引进技术
		航天部 534 厂	SDZ-801 型数字地震仪	1980	
		吉林大学	SE-2000 型地震采集工作站	2000	
浅层地震及声波仪	模拟式	上海地质仪器厂	DS-4 型工程地震仪	1976	
		重庆地质仪器厂	DZG-6 型工程地震仪	1977	
			DZG-6-1 型工程地震仪	1977	
		上海电子仪器厂	FD-83 型浅层地震仪		
			DZ-3801 型浅层地震仪	1981	
			DZ-3802 型浅层地震仪	1982	
		成都工程检测所	ZK-1 型测桩系统		
			ZK-2 型测桩系统		
		山东汶上无线电厂	ZK-ZA 型桩基振动检验系统	1987	
	数字式	重庆地质仪器厂	DZQ-2 型浅层地震仪	1987	
			DZQ-3 型浅层地震仪	1987	
			DZQ12-1 型浅层地震仪	1985	
			DZQ24-1 型浅层地震仪	1993	
			DZQ-6 型工程地震仪		
		西安石油勘探仪器厂	GDZ-6 型工程地震仪	1994	
			GDZ-24 型工程地震仪	2000	
			GDZ-24A 型高精度地震仪	2000	
		石油物探局仪器厂,万峰公司	WF-1008 型工程地震仪	1999	
		河北煤炭研究所	KGD-1 型高频地震仪	1989	
		北京水电物探研究所	SWS-2 型数字映像工程检测仪	1999	
		中国矿业大学	SZ-1 型陆地声纳地震仪		
		水电北京勘测设计院	DG-1 型信号增强单道地震仪	1984	
		地矿部水文方法技术研究所	GD-9 型多用工程检测仪		
			SSY-6B 型增强型声波检测仪	1990	
		中科院声学研究所	ADS-6 型便携式信号分析仪		
			ADS-6A 型便携式信号分析仪	1994	
			SL-ⅡB 型多功能工程测桩仪	1992	
			SL-ⅡC 型多功能工程测桩仪	1992	
			SL-Ⅲ型多功能工程测桩仪	1992	
			SL-Ⅳ型多功能工程测桩仪	1992	
		长春地质学院	GDZ-12-1 型工程地震仪		
			SWVR2000 型综合工程探测仪	1987	
			EMS2020 型工程检测仪	1990	
			GDZF 型瞬时浮点工程地震仪	1994	
			GPZF 瞬时浮点工程地震仪		
			DQSD 型轻便数字地震采集系统		地矿部机电所合作研制
			MFS-1 型多功能工程测震仪	1991	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型		研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
浅层地震及声波仪	数字式	长春地质学院	MFS-2 型浅层地震仪	1992	
			MFS-206 型多功能测震仪		
			MFS-212 型多功能测震仪		
			MFS-312P 型浮点多功能测震仪		
			MFS-324 型浮点多功能测震仪		
			SE1240 型综合工程探测仪	1990	
			SE2401 型浮点增强地震勘探系统	1990	
			SE1243 型综合工程探测仪	1993	
			SE1244BN 型浅震仪	1993	
			SE2403 型浮点增强地震勘探系统	1993	
			SE2404A 型浅震仪	1993	
			SE1243PEN 型综合工程探测仪	1995	
			SE2404B 型浅震仪	1996	
			SE2404D 型工程地震仪		
			SE10 型弹性波测试仪	1999	
			SE2404 型综合工程探测仪	1999	
			SE2404EP 型综合工程探测仪	1999	
			SE2404EX 型综合工程探测仪		
			SE2404M 型综合工程探测仪	1999	
			SRS20 型岩土超声波仪	1999	
			SE2432 型地震电法联合勘探仪	1999	兼有地震、电法数据采集功能
			SE2464GR 型工程勘探工作站	2000	
		中科院武汉岩土力学研究所	RSM-08B 型桩基信号检测仪	1988	
			RSM-08C 型桩基信号检测仪		
			RSM-08CF 型多道瞬态信号记录处理仪	1989	
			RSM-08D 型桩基信号检测仪		
			RSM-08E 型桩基信号检测仪		
			RSM-12G 型基桩动测仪		
			RSM-12H 型基桩动测仪		
			RSM-16H 型基桩动测仪	1993	
			RSM-24FD 型基桩动测仪	1994	
			RSM-SY4 型声波检测仪		
			RSM-SY5 型声波检测仪	1998	
		中国岩土工程研究中心，中科院武汉岩土力学研究所	FD-E24 型浅层浮点地震仪	1995	
			FD-E216 型全程浮点地震仪		
			FD-E224 型全程浮点地震仪		
			FD-P204 型全程浮点动测仪		
			FD-P204(B)型全程浮点地震仪	1996	
		武汉岩海工程技术开发公司，中科院武汉岩土力学研究所	RS-1212G 型桩基动测仪	1992	
			RS-1614H 型桩基动测仪	1992	
			RS-1616J 型桩基动测仪	1993	
			RS-1616K 型一体化浮点增强型桩基动测仪		
			RS-1616K(P)型浮点增强型桩基动测仪	1996	
		中科院声学研究所，武汉岩土力学研究所	RAP-5 型基桩及工程测量仪	1992	
			RAP-6 型基桩及工程测量仪	1992	
			RAP-7 型基桩及工程测量仪	1992	
		中科院测量与地球物理研究所	DZH-16B 型多功能浮点地震仪	1995	
		铁道科学院西南研究所	DZS-89-1 型多通道智能声波仪	1989	
		长江工程地球物理勘测研究所	LX-Ⅰ型工程岩体快速检测仪	1995	
			LX-Ⅱ型岩土工程质量分析仪	1998	
		长江勘测技术研究所	SY-1 型声波测试仪	1996	
		航天部新峰仪器厂	SDZ-01 型单道数字地震仪	1983	
		建设部综合勘察设计院，长沙白云仪器开发公司	Ⅱ型信号增强波速分析仪	1990	
			CE9201 型土建工程质量检测仪	1992	
			CE9201A 型桩基检测仪	1992	
			CE2001 型工程检测仪	2000	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类 型		研制生产单位	型 号 名 称	推出时间/年	备 注
浅层地震及声波仪	数字式	中国矿业大学，北京工控计算机厂等	FY-20 型浅层地震仪	1991	
			LDS-1 型浅层高频工程地震仪	2000	
		北京市政工程研究院，汕头电子仪器厂	HC-1A 型砼超声波分析仪	1990	即 CTS-45 型
			HCF-2A 型砼超声波分析仪	1992	
		重庆奔腾数控技术研究所	BTW-24 型工程地震仪	1996	
			WSD-1 型多道数字声波仪		
		武汉恒兴机电研究所	HXS-DC400 型工程测试仪	1994	
			DMS-1 型多功能工程测震仪	1990	
		北京东城智能仪器开发部	DSC-8826 型工程地震仪		
		成都工程检测研究所	ZK-3 型智能测桩系统	1989	
			ZK-5 型智能测桩系统	1991	
			ZK-7 型智能测桩系统	1992	
		山东汶上无线电厂	ZK-3 型智能桩基检测仪	1990	
		湘潭市自动化研究所	SD-1 型声波检测仪		
		地矿部水文工程方法技术研究所，湘潭市无线电厂	SYC-1 型声波岩石参数测定仪		
			SYC-2 型声波岩石参数测定仪		
			SYC-3 型声波岩石参数测定仪		
		长春市瑞森公司	DS-04 型工程动测仪		
		宝应应用技术研究所，东南大学	PRT-Ⅱ型桩基动态诊断系统		
		北京市政工程研究院，北京康科瑞工程检测技术公司	NM-2B 型非金属超声检测仪	1990	
			NM-3A 型非金属超声检测仪		
			NM-3B 型非金属超声检测仪		
			NM-3C 型非金属超声检测仪		
			NM-4A 型非金属超声检测仪		
			NM-4B 型非金属超声检测仪		
		冶金建筑研究院	GDZ-86 型桩动测自控系统	1986	
		海洋局第二海洋研究所	DCY-1 型桩基参数动测仪	1988	
		浙江大学	ZDS-100 型智能桩基动测系统	1993	
面波及微震仪		北京水电物探研究所，北京华水物探技术研究所	SWS-1 型多功能面波仪	1993	兼有面波及体波勘查功能
			SWS-1A 型多功能面波仪	1995	
			SWS-1G 型多功能工程检测仪	1997	
			SWS-2 型工程勘探检测仪	1999	
		河北地矿局物勘院	SM-98 型瑞利波仪	1998	
		长春地质学院	SE2404S 型面波勘探仪	1996	
		西安交大系统工程研究所	TRES-1 型多分量瑞利波勘探仪	1996	
		地矿部机电研究所	DZW87-1 型微震记录仪	1987	
井下地震及声波仪		渭南煤矿专用设备厂	TYKD-1 型矿井地震仪	1979	
			TZYH-1 型底煤测厚地震仪	1986	
			TZKC-9 型矿井地震仪	1986	
		煤炭科学院西安分院	DYSD-Ⅰ型多道遥测槽波地震仪	1992	
			DYSD-Ⅲ型多道遥测矿井数字地震仪	1992	
			DS-6 型遥测地震仪		
			MRD-Ⅰ型矿井瑞利波探测仪	1992	
			MRD-Ⅱ型矿井瑞利波探测仪	1993	
			MRD-Ⅲ型矿井瑞利波探测仪	2000	
			MJY-1 型声波发射实时监测系统	1996	
		淮南矿业学院	MH-1 型煤层厚度探测仪	1987	湘潭无线电厂合作
			MH-2 型煤层厚度探测仪	1988	长沙旭华仪表厂合作
			KDY-1 型矿井地震仪（GJY-1 型工程检测仪）	1989	
		地矿部物化探研究所	SHT-1 型井中声波探测系统	1986	
			DST-1 型井中声波探测系统	1987	
			DST-2 型井中声波探测系统	1991	
			DST-3 型井中声波探测系统	1993	
			DST-3A 型跨孔声波探测系统	1996	
			DST-4 型工程声波探测系统	1997	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
井下地震及声波仪	中煤第一勘探局,中国矿业大学	DB-1 型导波地震仪	1996	
	西安海泰克高技术开发公司	TZY-15 型井间地震遥测接收系统		
水上浅层剖面仪	上海地质仪器厂	HQP-1 型浅层剖面仪		
		QPY-1 型浅层剖面仪	1981	中科院声学研究所合作
	长江勘测技术研究所	CK-1 型浅层剖面仪		
	铁道第四勘测设计院	SD-1 型浅层剖面仪		

5　核法仪器

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
航空伽马仪	北京综合仪器厂	FD-115 型闪烁航放仪	1966	
		FD-123 型航空伽马能谱仪	1970	
	核工业北京地质研究院	FD-2001 型航空伽马能谱仪	1985	
		AS-2000 型航空伽马能谱系统	1988	
伽马仪	石油科学研究院	油研一号闪烁辐射仪	1957	
	上海亚美电器厂	伪苏 УР-4M 型辐射仪	1957	
	上海电子仪器厂	伪苏 ПГР 型辐射仪	1958	可测 β 射线
		FD-113 型辐射仪	1963	
		FD-117 型闪烁辐射仪	1964	
		FD-21 型伽马编录仪	1967	
		FD-71 型闪烁辐射仪	1971	
		FD-72 型铀钍轻便普查仪	1972	
		FD-42 型定向辐射仪	1973	
		FD-31 型携带四道伽马能谱仪	1975	
		FD-3003 型伽马能谱仪	1982	
		FD-3013 型数字地面伽马辐射仪	1983	
		FD-3010 型 β-γ 编录仪	1983	
		FD-3014 型数字地面伽马辐射仪	1983	
		FD-3020 型汽车伽马能谱仪	1984	
		GAD-6 型伽马能谱仪	1985	引进技术
		FD-3007K 型袖珍辐射仪	1987	
		FD-3022 型微机四道能谱仪	1987	
		FD-3025 型微机伽马定向辐射仪	1991	
	北京核仪器厂	FD-122G 型闪烁矿山辐射仪		
	核工业北京地质研究院	GP-106 型汽车伽马能谱测量系统	1984	上海电子仪器厂合作
		FD-906 型单片机伽马能谱仪	1988	湘潭无线电厂合作
		H-90A 型微机伽马能谱仪	1992	深圳华隆公司合作
		HDY-256 型便携式伽马能谱仪	1995	
		CZD-6 型车载多道伽马能谱系统	1996	
		HD-2000 型智能伽马能谱仪	1999	
		H-90B 型微机伽马能谱比活度仪	2000	
	华东地质学院	HF-91A 型便携式微机多道伽马能谱仪	1992	
		HF-91C 型便携式微机多道伽马能谱仪	1993	
	地质部物探研究所	GDN-3 型地面能谱仪	1975	
	重庆地质仪器厂	HWD-1 型地面能谱仪	1976	
		FD-800 型数字闪烁辐射仪	1980	
		FD-801 型数字闪烁辐射仪	1980	
		FD-802 型数字闪烁辐射仪	1981	核工业北京地质研究院合作
		FD-802A 型数字闪烁辐射仪	1982	
		FD-840 型四道自动能谱仪	1986	
		FD-803 型射线检测仪	2000	
	成都理工大学	TFS-1 型伽马找水仪		五机部勘测公司合作
		CD-2 型伽马总量采集系统		
		CD-3 型微机地面伽马能谱仪	1989	
		CD-5 型地面放射性工作站		

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
伽马仪	成都理工大学	CD-10 型野外伽马射线全谱仪	1998	
		KZ-G01A 型低本底伽马能谱仪	2000	
		KZ-G01B 型低本底伽马能谱仪	2000	
	建安仪器厂	ZS-101 型伽马找水仪		
		ZS-102 型伽马找水仪		
	中科院成都计算站	ZSY-201 型轻便辐射仪		
	四川原子核应用技术研究所	KCF 型伽马辐射仪		
	重庆奔腾数控技术研究所	HAD-512 型多道能谱数据采集系统		
	合肥东方辐射技术开发公司，电子工程学院	DHB-2109 型核子公路检测仪	2000	γ-γ 测量
阿尔法仪	上海电子仪器厂	仿苏 CT-11 型射气仪	1958	
		FJ-13 型 α 辐射探测仪	1974	
		FD-103 型射气仪	1974	
		FD-105 型射气仪	1976	
		FD-105K 型射气仪	1977	
		FD-3002 型测氡仪	1977	
		FD-3005 型 α 测量仪	1981	
		CD-1 型 α 卡仪	1982	
		CD-2 型 α 卡仪	1982	
		FD-3012 型 α 卡仪	1984	
		FD-3015 型 α 测量仪	1984	
		FD-3016 型闪烁测氡仪	1984	
		FD-3017 型测氡仪	1985	
		HDC-86 型测氡仪	1989	
	北京核仪器厂	FD-118G 型闪烁射气仪	1966	
	北京铀矿地质研究所	JS-11 型 α 仪	1979	
		BJS-390 型活性炭测量仪	1982	
		T-702 型径迹探测仪	1982	
		FD-841 型氡管仪	1984	
		BJS-393 型活性炭测量仪	1990	
		SRS-9402 型氡管仪	1994	
		FDY-9601 型微机测氡仪	1996	
	核工业中南地勘局 203 所	WAY-80 型五通道 α 仪	1980	
	核工业东北地勘局 244 大队	244-Ⅰ型低本底野外射气仪	1988	
		244-Ⅱ型低本底野外射气仪	1990	
	成都理工大学	CD-1 型壤中氡及其子体探测仪	1986	
		FD-140 型测氡仪		
		KZ-D02A 型 α 杯测氡仪		
	重庆地质仪器厂	FD-820 型数字闪烁测氡仪	1983	
		HDS-1 型数字闪烁测氡仪	1983	
		HFS-1 型数字闪烁 α 辐射仪	1984	
		HFS-2 型数字闪烁 α 辐射仪	1992	
		HFS-3 型 α 射线快速测量仪	2000	
X 射线荧光仪	重庆地质仪器厂	HYX-1 型轻便 X 射线荧光仪	1980	
		HYX-2 型轻便 X 射线荧光仪	1985	
		HYX-3 型轻便 X 射线荧光仪	1986	
		HYX-3A 型轻便 X 射线荧光仪		
		HYX-4 型微机 X 射线荧光仪		
		HYX-5 型微机 X 射线荧光仪		
		HYX-6 型微机 X 射线荧光仪	2000	
	上海地质仪器厂	XY-1 型轻便 X 射线荧光仪		
		XY-4 型 X 射线荧光仪		
	成都理工大学	CD-9 型智能化 X 射线荧光仪		
		DZ-X03 型便携式 X 射线荧光仪		
		HAD-512 型 X 射线荧光仪		
		9001 型智能化 X 射线荧光仪	1994	
		HX-2000 型手提式多元素 X 射线荧光仪	2000	
		ANTG-2000 型海底 X 射线荧光系统	2000	

黄金地质研究所
信息室 提供

6 热法仪器

研制生产单位	型 号 名 称	推出时间/年	备 注
四川石油局重庆仪器厂	JW-42-150 型井温仪		
	JW-42-200 型井温仪		
	JW-60-150 型井温仪		
	JW-60-200 型井温仪		
	JW-701 型井温仪		
	JW-701G 型井温仪		
西安石油勘探仪器厂	SJW-78 型井温仪	1978	
	SSJW-78 型井温仪	1978	
	SJW-80 型井温仪	1980	
渭南煤矿专用设备厂	TYCW-1 型井温仪	1982	
	TYCW-2 型井温仪		
	TYCW-3 型井温仪		
上海地质仪器厂	JW-1 型井温仪		
	JWS-2 型数字井温仪	1985	
地矿部物化探研究所	DWS-1 型数字地温仪	1982	
	JWS-1 型数字井温仪	1983	
	JWS-2 型微机井温仪	1987	
	DWW-1 型微机测温仪	1989	
	DWW-6A 型地温测量仪	1999	
	DWW-6B 型地温测量仪	1999	
地矿部机电研究所	JW-1 型轻便井温仪	1987	
	VSW-1 型轻便井温仪	1987	
	LJW-1 型精密连续井中测温系统	1985	
	LJW-2 型精密连续井中测温系统	1988	
	DWC-1 型多点温度测试系统	1990	
中科院地球物理研究所	87 型钻孔数字测温仪	1988	
地震局地震地质大队	SZW-1 型数字式钻孔温度计	1983	
山西平遥卜宜电探仪器厂	JW-2 型井温仪		
吉林油田测井公司	JW-1 型小直径存储式电子井温仪	1994	吉林工大合作
核工业北京地质研究院	NIC-2500 型便携式小口径井温仪	1996	
冶金武汉勘察研究院	CW-1 型测温仪		
	CW-2 型深水测温仪		

7 测井仪器

类 型	研制生产单位	型 号 名 称	推出时间/年	备 注
综合测井记录仪	石油管理局北京地球物理实验室	53 型半自动测井仪	1953	
	上海新成仪器厂	55 型半自动测井仪	1955	仿苏产品
		56 型半自动测井仪	1956	
	上海景华仪器厂	BT-56 型半自动测井仪	1956	
		BT-59 型半自动测井仪	1959	
	地质部物探仪器修造厂	轻便自动测井记录仪	1958	
	西安石油勘探仪器厂	JD-571 型半自动测井记录仪	1957	
		JD-581 型多线自动测井记录仪	1958	
		SJD-801 型数字测井系统	1980	
		SJD-83 型生产测井仪	1983	
		SKC-3700 型数控测井仪	1990	引进技术
		XSKC-92 型数控测井仪	1992	
		SKC-A 型数控测井系统	1995	
		CJX-V521 型数控测井系统	1996	
		EXCELL-2000 型数控测井系统	1997	引进技术
		SKC-B 型数控测井系统	1998	
		SKC-9800 型数控测井仪	1999	
		SKC-2000 型数控测井系统	2000	
		ERA-2000 型成像测井系统	2000	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
综合测井记录仪	中原油田测井公司	CDC-901 型测井仪	1990	
		HDC-1 型多参数测井仪	1990	
		ZYS-911 型数字测井仪	1990	
	大庆油田测井公司,石油 707 研究所	DQ-8900 型数字测井地面系统	1990	
	大庆油田生产油井研究所	PLWS-9502 型生产测井数控工作站	1995	
	大庆油田测试服务公司	SKSD-94A 型数控测井系统	1994	
		PL-2000 型数控测井系统	2000	
	胜利油田测井公司	SL-2000 型数控测井系统		
		SL-3000 型数控测井系统	1997	
		SL-6000 型成像测井系统	2001	
	滇黔桂石油勘探局	DJS-1 型数控测井地面系统	1992	
	华北石油燕山测井工程公司	HLX-1 型数控连续测井仪	1992	
	海洋石油油井公司	HCS-87 型数控测井地面系统	1990	
	北京航空航天大学	DCLS-1 型数控生产测井系统	1995	
	上海地质仪器厂	JBT-2 型轻便半自动测井仪		
		ZJC-2 型四笔全自动测井仪		
		JJZ-1 型四笔自动测井仪		
		JJZ-1A 型四笔自动测井仪		
		JBC-2 型轻便自动测井仪	1969	
		JDC-2 型电子自动测井仪		
		JZZ-1 型紫外线记录自动测井仪	1967	
		KXP-1 型轻便测井仪		
		JH-1 型小口径综合测井车	1982	
		JHQ-1 型轻便测井仪	1985	
		JHQ-2 型轻便测井仪		
		SD-2 型数字测井系统		
		JXW-1 型微机测井系统	1987	煤炭科学院合作
	重庆地质仪器厂	JBC-2A 型轻便自动测井仪	1970	
		JDC-2 型电子自动测井仪		
		JZS-1 数字综合测井站		
		JBS-1 数字综合测井站	1989	
		JBY-1 型找水测井仪	1991	
		JBS-2 型数字综合测井站	1992	
		JGS-1 型智能工程测井系统	2000	
	渭南煤矿专用设备厂	TYJJ-1 静电显影记录仪	1972	
		TYCZ-1 型综合测井仪		
		TYCZ-2 型数字测井仪	1988	
		TYCZ-3 型数字测井仪	1989	
		TYSC-3Q 型数字测井仪	1990	
		TYSC-QB 型轻便数字测井系统		
	煤炭部第一物探队	SCJ-1 型数字测井记录仪	1983	航天 704 所合作
	煤炭科学院西安分院	DAL-1 型综合测井仪		
	电子工业部 22 研究所	SLZ-2 型综合录井仪		
		SK-88-1 型数控测井仪	1990	
		SK-88-3 型数控测井仪	1993	
		SK-88-4 型数控测井仪	1994	
		SKH-2000 型数控测井仪	1995	
	核工业北京地质研究所	HD-4002 型轻便数字测井系统		
电测井仪/下井仪	上海地质仪器厂	JDJ-1 型刷子电极测井仪		
		JC3-1A 型三侧向测井仪		
	重庆地质仪器厂	X411 型三侧向测井仪	1988	
	西安石油勘探仪器厂	GD-701 型感应测井仪	1971	
		WD-701 型微电阻测井仪	1971	
		JSB-801 型双感应测井仪	1981	
		WQ-114 型微球聚焦测井仪	1993	
		WQJ-B 型微球聚焦测井仪	1993	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
电测井仪/下井仪	西安石油勘探仪器厂	3106XA 型微球聚焦测井仪	1994	
		SJG-A 型双感应八侧向测井仪	1994	
		SCJ-A 型双侧向测井仪	1997	
		SC-70 型双侧向测井仪	1998	
		SC-91 型双侧向测井仪	1998	
		XC-70 型双感应-聚焦测井仪	1998	
	四川石油局重庆仪器厂	CZ-78A 型双侧向地面控制仪		
		SC89-150 型双侧向测井仪		
		SC89-200 型双侧向测井仪		
	海洋石油测井公司	1292HX 型高温双侧向测井仪	1995	
	胜利油田测井公司	SL-1230 型数控双侧向测井仪		
	渭南煤矿专用设备厂	TYCD-1 型电测井仪		
		TYCC-2 型三侧向测井仪	1982	
	电子部 22 研究所	WQ-85 型微球聚焦测井仪	1986	
核测井仪/下井仪	地质部仪器修造所	仿苏 PAPK 型放射性测井仪	1958	
		202 型选择伽马-伽马测井仪	1958	
	地质部物研究所	203 型闪烁放射性测井仪	1958	
		205 型单道伽马能谱测井仪	1965	上海地仪厂合作
		NC-75 型双道伽马能谱测井仪	1975	
		NC-76 型双道伽马能谱测井仪	1976	
	上海电子仪器厂	FD-107K 型伽马测井仪	1958	
		FD-59 型伽马测井仪	1959	
		FD-60 型伽马测井仪	1960	
		FD-61K 型伽马总量测井仪	1961	
		FD-3019 型闪烁伽马测井仪	1987	
	北京核仪器厂	FD-121 型伽马能谱测井仪	1970	
		FD-121G 型伽马能谱测井仪	1972	
	核工业北京地质研究院	BSL-4001 型伽马能谱测井仪	1990	
	成都理工大学	CD-8 型轻便伽马能谱测井仪		
	重庆地质仪器厂	JHW-1 型四道伽马能谱测井仪	1979	
		JXY-1 型 X 射线荧光测井仪	1980	
		JNT-1 型钾盐能谱测井仪		
		JNT-2 型钾盐能谱测井仪		
		JFS-1 型放射性测井仪		
		Z-531 型中子-中子组合探管	1986	
		Z-511 型井中能谱探管	1988	
		M-431 型单密度组合探管		
		M-432 型双源距密度组合探管	1991	
		M-551 型双密度组合探管	1993	
		M-441 型能谱测井探管 .	1993	
		M-442 型能谱测井探管	1993	
		M-443 型能谱测井探管	1993	
		Y-411 型 X 射线荧光测井探管	1993	
		XPF-1 型 X 射线荧光测井仪	1994	
	渭南煤矿专用设备厂	TGG-1 型选择伽马测井仪		
		TYAM-1 型岩性密度组合仪		
		TYCM-1 型补偿密度测井仪		
		TYGN-1 型选择伽马-伽马组合测井仪		
		TYSZ-A 型双源距中子-中子组合测井仪	1984	
	石家庄煤矿专用设备厂	WF-3 型放射性测井仪	1961	
		MDF 型放射性测井仪	1962	
	天津煤矿专用设备厂	1000 型放射性测井仪	1965	
	西安石油勘探仪器厂	FC-731 型中子寿命测井仪	1983	
		FC-841 型中子寿命测井仪	1984	
		COPJ-A 型碳氧比测井仪	1990	
		FBM-C 型补偿密度测井仪	1993	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
核测井仪/下井仪	西安石油勘探仪器厂	FG-91 型大晶体自然伽马测井仪	1993	
		MGP-B 型微机放射性测井仪	1994	
		SMJ-A 型中子寿命测井仪	1994	
		SMJ-B 型中子寿命测井仪	1994	
		COPJ-B 型碳氧比测井仪	1995	
		ZGJ-C 型自然伽马测井仪	1996	
		ZGJ-D 型自然伽马测井仪	1997	
		ZGJ-SL 型自然伽马测井仪	1998	
		KFG940A 型抗震自然伽马测井仪	1998	
		FG-70 型自然伽马测井仪	1998	
		FBM-70 型补偿密度测井仪	1998	
		FBZ-70 型补偿中子测井仪	1998	
		BZJ-A 型补偿中子测井仪	1998	
		GPJ-A 型自然伽马测井仪	1998	
		SMJ-C 型中子寿命测井仪	1999	
		SMJ-D 型中子寿命测井仪	1999	
		YMJ-A 型岩性密度测井仪	2000	
		CN-241 型补偿中子测井仪	2000	
		YMJ-B 型岩性密度测井仪	2000	
	四川石油局重庆仪器厂	FC-71 型放射性测井地面仪	1971	
		FC_1C38-120 型放射性测井仪	1971	
		FC_1C89-200 型放射性测井仪	1971	
		FC_2C89-200 型放射性测井仪	1971	
		FC_1C89-200 Ⅰ型放射性测井仪	1971	
		FC_2C89-200 Ⅰ型放射性测井仪	1971	
	中原油田测井公司	ZG-89 型自然伽马测井仪	1990	
	江汉油田测井研究所	JD-87 型双源距补偿密度测井仪	1987	
	大庆油田测井公司	NP 系列连续碳氧比能谱测井仪	1985	
		SNP-2 型碳氧比能谱测井仪		
		SNP-3 型双探测器碳氧比能谱测井仪		
	华北石油测井公司	HB-97 型自然伽马测井仪	1997	
	海洋石油测井公司	DSL-1 型自然伽马能谱测井仪	1992	
		HH-CNL-8331 型补偿中子测井仪	1992	
声测井仪/下井仪	西安石油勘探仪器厂	SB-70 型声波测井仪	1970	
		SB-71A 型声波测井仪	1971	
		SB-71B 型声波测井仪	1971	
		SQB-74 型声波全波列测井仪	1974	
		BSS-75 型声速测井仪	1975	
		SQB-80 型声波全波列测井仪	1980	
		QGZ-A 型全波固井质量测井仪	1984	
		SCB-5 型声波测井仪	1989	
		SFJ-2000 型超深井声幅测井仪	1990	
		GJ-85 型声波幅度测井仪	1990	
		SB-91 型聚能声波测井仪	1993	
		SB-940A 型聚能声波测井仪	1994	
		SFJ-940A 型水泥胶结测井仪	1994	
		CSJ-B 型长源距声波测井仪	1998	华北油田合作
		SB-70 型补偿声波测井仪	1998	
		SB-70A 型补偿声波测井仪	1999	
		AC-23XA 型补偿声波测井仪		
	大庆油田测井公司	DQS-90 型高分辨率声波测井仪	1990	
	华北石油局测井公司	HYC-84 型井下超声电视测井仪	1985	华中理工大学合作
		DBHTV-1 型数字超声电视测井仪	1989	
	中原石油勘探局	GZC-1 型高分辨率噪声测井仪	1992	合作研制
	电子部 22 研究所	SF-1 型声幅测井仪		
		SSB-1 型补偿声波测井仪	1994	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
声测井仪/下井仪	电子部 22 研究所	SCB-5 型聚能声波测井仪	1990	中原油田合作
		SZS-3B 型声波变密度测井仪	1999	
	渭南煤矿专用设备厂	TYCS-1 型声速测井仪	1982	
	镇江煤矿专用设备厂	JSX-2 型超声成像测井仪	1978	
		JSX-2A 型超声成像测井仪	1983	
	煤炭部第一地勘公司	M1SS-3A 型声速测井仪	1980	
	山东矿业学院济南分院	Ⅰ型回波测井仪	1990	
		Ⅱ型回波测井仪	1990	
		Ⅲ型回波测井仪	1991	
	重庆地质仪器厂	S523 型声波探管	1985	
		S623 型声波探管	1985	
磁测井仪/下井仪	重庆地质仪器厂	H411 型磁化率探管	1971	
		JCL-1 型磁化率测井仪	1977	
		JCL-2 型磁化率测井仪		
	西安石油勘探仪器厂	JC-691 型磁定位器	1969	
光测井仪/下井仪	水电华东勘测设计院	ZSX-1 型小口径钻孔电视	1982	
	长江勘测技术研究所	ZCD-90 型钻孔彩色电视	1979	
		ZCD-70 型钻孔彩色电视		
		ZCD-50 型钻孔彩色电视	1985	
	天津大学电子信息工程学院	JXD-1 型井下电视		
		JCD-1 型井下电视		
		CWT-1 型井下彩色电视	1987	
		SJ-2 型全景式水井(孔内)检测彩色电视系统	1993	
	冶金武汉勘察研究院	CT-70 型井下电视		
		HW-38 型彩色钻孔电视		
	地矿部水文工程地质研究所	TDTV-1 型彩色井下电视监视系统		
		TDTV-2 型彩色井下电视监视系统		
	中水勘查技术公司	ZSK-1 型井下电视		
		ZSK-2 型井下电视		
		ZSK-3 型井下电视		
		ZSK-J_1 型井下电视		
		ZSK-J_2 型井下电视		
		ZSK-J_3 型井下电视		
	吉林大学	RHM-1 型井下岩体窥视系统	2000	
组合及专门用途测井仪/下井仪	上海地质仪器厂	JJY-1 型井径仪		
		JJY-1A 型井径仪		
		JJY-2 型井径仪		
		JJY-3 型井径仪		
		JJY-3A 型井斜仪		
		JDL-1 型陀螺测斜仪		
		JJX-3S 型高精度测斜仪		
	重庆地质仪器厂	JJX-2 型井斜仪		
		JJX-3 型井斜仪		
		JJX-4 型井斜仪		
		JL-1 型流量测井仪	1986	
		J411 型井径探管	1987	
		W422 井温流体电阻率探管	1988	
	西安石油勘探仪器厂	JL-582 型井内流体电阻仪	1958	
		JX-641 型井斜仪	1964	
		JX-641G 型井斜仪	1964	
		JX-681 型井径仪	1963	
		JX-701 型井径仪	1970	
		QGZ-A 型组合测井仪	1994	
		DDQJ-B 型地层倾角测井仪		
		SE-940A 型组合测井仪		

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

类　型	研制生产单位	型　号　名　称	推出时间/年	备　注
组合及专门用途测井仪/下井仪	西安石油勘探仪器厂	YSZC-99 型有线随钻测量仪	1999	
	胜利油田测井公司	XYZ-330 型组合测井仪	1991	
	华北石油燕山测井公司	HLX 型数控连续测斜仪	1992	
	大庆生产测井研究所	FL-54 型方位井径仪	1987	
	天津煤矿专用设备厂	TYFZ-4 型组合测井仪	1969	
		TYXF-5 型组合测井仪	1982	
	渭南煤矿专用设备厂	TYXX-2 型测斜仪	1982	
		TYDQ-1 型地层倾角测井仪	1990	
	煤炭科学院西安分院	TGZ-4 型组合测井仪		
		TGZ-5 型组合测井仪		
		BQX-2 型全方位钻孔测斜仪		
	煤炭部第一物探队	MDS-781 型流量测井仪	1978	
	煤炭部物探公司	MDS-1 型流量测井仪	1981	
	上海电子仪器厂	CX-3601 型测斜仪	1984	
	中国工程物理研究院	ZDL-C 系列存储式电磁流量计	1983	
	杭州应用声学研究所	SJC-2C 型水泥胶结测井仪		

注：1）表中只列入野外现场数据采集用的国产物探仪器，不包括独立的源场激发装置、其他配套设备及室内检测仪器；2）由于信息来源不同，本表“推出时间”有的是研制完成时间，有的是评审时间，有的是指投产时间，因此只能提供一个粗略时间概念。

摘自《二十一世纪中国物探》

中华人民共和国国家标准

地球物理勘查名词术语

1　主题内容及适用范围

本标准规定了地球物理勘查（包括重力勘查、磁勘查、电勘查、地震勘查、测井及核物探）中常用的、主要的、本学科专有的名词术语。

本标准适用于地球物理勘查工作的语言和文字交流。

2　基本术语

2.1　地球物理勘查 geophysical exploration

运用物理学的原理、方法和仪器以研究地质情况或寻查埋藏物的一类勘查。

同义词 物探；地球物理勘探；（勘探地球物理；地球物理探矿）

注：1）取决于使用场合，该术语可附加后缀“法”或“学”。

2）根据具体情况，可以使用“航空物探”，“海洋物探”，“地面物探”，“地下物探”，“深部物探”，“区域物探“工程物探”，“环境物探”，……等术语。

2.2　正常场 normal field

物理场的相对平稳部分。

2.3　异常 anomaly

物理场对正常场的偏离。

2.3.1　理论异常 theoretical anomaly

正演所获得的异常。

同义词 计算异常

2.4　物性 physical properties

岩（矿）石或其他探测对象的物理性质。

2.5　异向性系数 coefficient of anisotropy

描述介质垂直层理（片理、节理等）方向与平行层理方向的物性差异的一种参数。

同义词（各向异性系数；非各向同性系数）

2.6　地球物理正演 geophysical direct problem

根据地质体或其他探测对象的几何参数和物理参数计算地球物理场值。

同义词 物探正演

2.7　地球物理反演 geophysical inversion

根据地球物理场值，计算地质体或其他探测对象的几何参数和物性参数。

同义词 物探反演

2.7.1　交互解释 interactive modelling

直接在计算机的显示器上反复修改地质体或其

黄金地质研究所
信息室 提供

他探测对象模型的参数，使模型的理论异常逐步逼近于实测异常的一种反演方法。

同义词 人机交互解释

2.7.2 最优化反演 inversion by optimization

不断地修改地质体或其他探测对象模型的参数，使其计算的理论异常与实测异常偏差最小，以求出模型的一种反演方法。

2.7.3 选择法 curve-matching method

根据探测对象的模型理论异常与实测异常的比较，以目视吻合的准则选择探测对象参数的一种反演方法。

2.7.4 线性反演法 linear inversion method

求解由物探异常与相应异常体的物性参数的关系构成的线性方程组的一种反演方法。

2.7.5 积分法 integral method

直接利用剖面或平面上异常的分布，通过积分运算求地质体参数的一种反演方法。

2.7.6 特征点法 characteristic point method

利用异常特征点的坐标值及异常值计算地质体参数的一种反演方法。

2.8 异常体 anomalous body

引起物探异常的探测对象。

同义词 异常源

2.9 数据采集 data acquisition

用仪器记录各种地球物理勘查的数据。

2.10 测网 survey network

按一定密度分布的测点组成的网。

根据测点分布的形式，可分为自由测网和矩形测网。

2.11 数据处理 data processing

对采集的数据作各种处理，以获得便于解释的数据形式。

2.11.1 位场换算 potential field transformation

位场延拓、曲化平、分量转换、导数计算、磁极归化、假重力异常计算等一类运算方法总称。

2.11.2 位场延拓 continuation of potential field

根据一个面或线上的一组位场值，计算另一个面或线上的位场值。

2.11.3 频谱分析法 frequency analysis method

将空间域或时间域分布的物理场变换到频率域中进行的一种数据处理方法。

2.12 资料解释 data interpretation

分析物探数据特征，反演探测对象的几何参数和物性参数，综合研究多种勘查资料判断引起异常的原因，对所研究的地质及勘查问题作出合理解释的过程。

2.13 量板 chart

为定量解释或校正而构制的工具性图件。

2.14 异常查证

为查明引起物探异常的地质原因而布置的检查和工程验证的工作。

2.15 剖面图 profile

在二维坐标中以坐标轴之一表示距离，另一表示其他物理量，用曲线形式反映这两者关系的一种图件。

2.16 剖面平面图 plane-profile

由多条异常剖面图组成的一种平面图件，其表示距离的坐标轴对应于剖面的实际位置。

2.17 等值线图 contour map

用以反映某种参量在平面上分布特征的、由一系列等值线组成的图件。

2.18 拟断面图 pseudosection

以横坐标表示距离，以纵坐标表示与深度有关的参量，以反映某种物理量在断面上分布特征的一种图件。

2.19 地温勘查 geothermal prospecting

测量地温变化的一种地球物理勘查。

2.20 地下物探 underground geophysical exploration

在地表以下空间中进行的地球物理勘查方法的总称。

它包括测井、井中物探及坑道物探。

同义词 地下地球物理勘查

3 重力勘查

3.1 重力勘查一般术语

3.1.1 重力勘查 gravity prospecting

以地下介质密度差异为基础，观测研究重力场变化的一种地球物理勘查。

同义词 重力勘探

3.1.2 重力测量 gravity measurement

测量重力场强度或其增量的一种工作。前者称为绝对重力测量，后者称为相对重力测量。

3.1.3 重力场强度 intensity of gravity field

在重力场中，单位质量的质点所受到的重力。

同义词 重力

3.1.4 正常重力值 normal gravity

假设地球为质量均匀分布的旋转椭球体，按照国际通用的理论公式得出的重力值。

黄金地质研究所
信息室 提供

3.1.5 剩余密度 ≈density contrast

重力异常体与其周围介质的密度差。

3.1.6 剩余质量 residual mass

重力异常体的剩余密度对整个异常体的体积分值。

3.1.7 重力基点 gravity base

为传递重力值和进行重力仪混合零点位移校正而建立的控制点。

3.1.8 重力基点网 gravity base network

由一系列重力基点组成的网。

3.1.9 重力总基点 gravity total base

在未与国家重力控制点联测的（尤其大比例尺的）相对重力测量中，在一个测区内，计算各测点相对重力值的起算点。

3.1.10 潮汐效应 tidal effect

由于月球和太阳的引力，以及它们所引起的地球形变而造成的重力变化。

3.1.11 重力剥除法 gravity stripping

基于正演计算从实测异常中去掉某一地质体重力异常而得到其他地质体重力异常的方法。

同义词（重力剥层法）

3.1.12 圆周法 grid residual method

以圆周上重力异常平均值作为圆心上的区域异常值以分离局部异常和区域异常的方法。

3.2 重力校正

3.2.1 纬度校正 latitude correction

消除测点在不同纬度时由于正常重力值的变化所产生的影响而进行的校正。

同义词 正常重力值校正

3.2.2 高度校正 free-air correction

为消除测点高程不同对重力值的影响，按正常重力垂向梯度而进行的校正。

同义词（自由空间校正）

3.2.3 中间层校正

为消除测点与总基点或其他起算点间的物质层（水平层或同心壳层）对测点重力值的影响而进行的校正。

3.2.4 布格校正 Bouguer correction

高度校正和中间校正之和。

3.2.5 地形校正 terrain correction

为消除测点周围地形起伏对测点重力值的影响而进行的校正。

3.2.6 固体潮校正 earth-tidal correction

为消除潮汐效应影响而进行的校正。

3.2.7 均衡校正 isostatic correction

根据地壳均衡假说补偿地壳块之间密度或厚度的横向变化的校正。

3.3 重力异常

3.3.1 布格异常 Bouguer anomaly

地表实测的重力值，经过布格校正、纬度校正，有时还经过地形校正，所得到的值。

3.3.2 （自由）空间异常 free-air anomaly

地表实测的绝对重力值，经过高度校正（以大地水准面为起算点）后，再减去正常重力值，所得到的值。

3.3.3 均衡异常 isostatic anomaly

布格异常经均衡校正后的异常。

3.3.4 局部重力异常 local gravity anomaly

在区域异常背景上出现的，由埋藏较浅、分布范围较小的地质因素引起的重力异常。

3.3.5 区域重力异常 regional gravity anomaly

由分布范围较广的区域地质因素所引起的重力异常。

3.3.6 重力梯度带 gravity gradient zone

重力异常等值线图中，一组彼此大致平行的密集的等值线所表示的异常带。

同义词 重力梯级带

3.3.7 重力高 closed gravity maximum

重力异常等值线图中，圈闭中心处重力值比周围高的异常。

3.3.8 重力低 closed gravity minimum

重力异常等值线图中，圈闭中心处重力值比周围低的异常。

4 磁勘查

4.1 磁勘查一般术语

4.1.1 磁勘查 magnetic prospecting

以地下介质磁性差异为基础，观测研究磁场变化的一种地球物理勘查。

4.1.2 磁梯度测量 magnetic gradient measurement

观测相距很近 2 点的磁场强度（或其分量）的增量，以研究磁场梯度的一种测量。

4.1.3 三分量磁测 tri-component magnetic survey

观测磁场的 3 个互相垂直的分量的一种测量。

4.1.4 线磁荷

沿直线紧密排列的磁荷。

4.1.5 面磁荷

沿磁性体表面分布的磁荷。

黄金地质研究所
信息室 提供

4.1.6 科氏比 Koenigsberger ratio

剩余磁化模量对感应磁化模量的比值。

同义词（Q 值）

4.1.7 磁性基底 magnetic basement

与沉积地层相比具有较高磁化率、范围宽广岩层的上表面，一般常指前震旦纪磁性结晶基底。

4.1.8 居里深度 Curie depth

地壳内温度为居里点的深度，即地壳磁性层的下界面深度。

4.2 磁参数

4.2.1 剩余磁化 remanent magnetization

当外磁场取消时，岩（矿）石所保留下来的磁化。

4.2.2 热剩磁 thermoremanent magnetization TRM

在地磁场（或外磁场）作用下，岩（矿）石从居里点以上的温度冷却下来时所产生的剩余磁化。

同义词 温差顽磁性

4.2.3 有效磁化强度

二维体的磁化强度矢量在垂直于其走向的平面上的投影。

4.2.4 有效磁化倾角

有效磁化强度矢量与水平面的夹角。

4.2.5 消磁作用 demagnetization

有限物体被外磁场磁化时，在其内部除存在外磁场外，还能产生一个与磁化方向相反的磁场，称为消磁磁场，抵消一部分外磁场作用。这种现象称为消磁作用。

4.2.6 消磁系数 demagnetizing factor

有限物体受磁化时，其消磁磁场与其磁化强度成比例的系数。它与物体的形状有关。

同义词 退磁系数

4.2.7 消磁校正 demagnetization correction

在测定标本磁参数时，为消除消磁作用对测定结果的影响而作的校正。

4.2.8 视磁化率

测定标本的磁性时，未经消磁校正的磁化率。

4.2.9 定向标本 oriented sample

标有指北箭头以反映其现场赋存方向的岩矿石标本。

4.3 磁测数据校正

4.3.1 日变校正 correction for diurnal variation

为消除日变对磁测数据的影响而进行的校正。

4.3.2 正常梯度校正 correction for normal gradient

为了消除地磁场正常水平梯度对磁测数据的影响而进行的校正。

4.3.3 混合校正 complex correction

将日变、温度和零点位移等多种因素混合在一起进行的校正。

同义词（综合校正）

4.4 磁异常

4.4.1 矢量总磁异常（$\overline{T}a$）total intensity of magnetic anomaly

某点磁场强度与该点正常地磁场的磁场强度的矢量差。

同义词 磁异常矢量 $\overline{T}a$

4.4.2 标量总磁异常 total-field anomaly ΔT

某点磁场强度模量与该点正常地磁场强度的模量之差。

同义词 Δ 磁异常

4.4.3 垂直磁异常（Za）vertical magnetic anomaly

矢量总磁异常（$\overline{T}a$）的垂直分量。

4.4.4 水平磁异常（$\overline{H}a$）horizontal magnetic anomaly

矢量总磁异常（$\overline{T}a$）的水平分量。其沿测线（x）方向的分量为 Hax，沿垂直测线（y）方向的分量为 Hay。

4.5 磁测数据处理和资料解释

4.5.1 磁异常曲化平 reductoon to a horizontal plane

由起伏观测面上的磁异常值换算出磁源外上部空间任一水平面上的磁异常值。

4.5.2 磁极归化 reduction to the pole

将斜磁化的磁性体产生的磁异常换算成该磁性体为垂直磁化情况下产生的磁异常的一种换算。

同义词（化极、化到地磁极）

4.5.3 假重力异常 pseudo-gravity

对平面（或曲面）上分布的磁异常，经换算而得到的同异常源的重力异常。

同义词 磁源重力异常

4.5.4 切线法 method of tangential lines

在磁异常曲线的拐点、极大点和极小点等处作切线，利用切线交点的坐标值，计算磁性体埋藏深度等参数的解释方法。

4.5.5 矢量法 vector method

用矢量图方式表现矢量总磁异常强度，研究其空间分布规律，求解磁性体的几何参数的解释方法。

黄金地质研究所
信息室 提供

5 电勘查

5.1 电勘查一般术语

5.1.1 电勘查 electrical prospecting

以地下介质的电学和电化学性质差异为基础的一类地球物理勘查。

5.1.2 一次场 primary field

用于激励地下介质的电场、磁场或电磁场。

5.1.3 二次场 secondary field

地下介质受一次场激励而产生的电场、磁场或电磁场。

5.1.4 总场 total field

一次场与二次场之和。

5.1.5 实分量 real component

二次场或总场与一次场同相位的分量。

同义词（同相分量）

5.1.6 虚分量 imaginary component

二次场或总场与一次场相位差为 90 度的分量。

同义词（异相分量）

5.1.7 视电阻率 apparent resistivity

在地下介质电阻率不均匀的情况下，引用均匀介质的电阻率的理论表达式计算得到的一种电阻率。

5.1.8 纵向电导 longitudinal conductance

某一电性层的厚度除以电阻率之商。

5.1.9 横向电阻 transverse resistance

某一电性层的厚度乘电阻率之积。

5.1.10 电极排列 electrode configuration

供电电极和测量电极的排列关系。常用的排列：对称四极排列，偶极排列，联合三极排列，中间梯度排列等。

5.1.11 发送—接收排列 transmitter-receiver configurations

在主动源电磁法中，发送装置的类型（长导线源、大回线源、电偶源、磁偶源等）和接收装置的类型（观测电场或磁场分量、地面或地下等）及其排列关系。

5.1.12 观测装置排列

在被动源电磁法中，观测装置的类型（观测电场或磁场分量）及其排列关系。

5.1.13 无穷远极 remote electrode

离测量电极足够远对测量结果的影响可忽略不计的供电电极，或离供电电极足够远其电位可视为零的测量极。

5.1.14 接地电阻 ground resistance

从电极表面到大地无限远处之总电阻。其量值是电极与无穷远点之间的电位差除以通达它的电流之商。

5.2 电磁法

5.2.1 电磁法 electromagnetic method（EM）

研究地下介质电磁感应及电磁波传播为基础的一类电勘查法。

5.2.2 瞬变电磁法 TEM method

用脉冲电流产生一次磁场，在断电间隙观测地下介质感应的瞬变二次磁场的一种时域电磁法。

同义词（过度场法；脉冲瞬变法；因普特法）

5.2.3 频率测深法

根据频率与趋肤深度的关系，通过改变频率研究地下介质电阻率沿垂向变化的一种频率域电磁测深法。分电偶源和磁偶源 2 种，前者观测电场分量，后者观测磁场分量。

5.2.4 大地电流法 telluric method

观测地壳中天然存在的大地电流产生的电场的变化的一种被动源电磁法。

5.2.5 大地电磁测深法 magnetotelluric method（MT）

同时观测天然电磁场的电场分量和磁场分量的一种被动源电磁法。

5.2.6 可控源大地电磁法 CSAMT

同时观测人工场源电磁场的电场分量和磁场分量的一种主动源电磁法。

5.2.7 振幅比相位差法 Turam method

观测 2 点垂直磁场的振幅比和相位差的一种人工场源的电磁剖面法。

同义词（双框法；土拉姆法）

5.2.8 虚实分量法

观测磁场的虚分量和实分量的一种电磁法。

5.2.9 偶极电磁剖面法

发送为偶极装置，且与接收装置同时移动的一类电磁剖面法。

5.2.10 倾角法 dip-angle method

观测磁总场矢量的极化椭圆长轴相对于一次场的倾角的一种偶极电磁剖面法。

5.2.11 地下电磁波法 radiowave shadow method

在勘查工程中观测研究电磁波穿透介质后强度衰减等规律的一种高频电磁法。

同义词（电磁波透视法；无线电波透视法；阴影法）

5.2.12 探地雷达 ground penetrating radar

向地下发射高频电磁波束，观测研究反射波的

黄金地质研究所
信息室 提供

时间滞后及强弱特征的一种高频电磁法。

同义词（地质雷达；透地雷达）

5.2.13 甚低频法 very low frequency method (VLF)

以长波电台发射的电磁波为场源的一种高频电磁法。

同义词（长波电台法；甚低频辐射场系统）

5.2.14 长导线源 long wire source

谐变或脉冲电流通过两端接地的长导线所构成的场源。

同义词 双极源

5.2.15 大回线源 closed loop source

谐变或脉冲电流通过矩形闭合大回线所构成的场源。

5.2.16 偶极源 dipole source

场源尺寸远小于它与观测点之间的距离，可视为偶极子的场源。

5.2.17 波阻抗 wave impedance

在平面电磁波垂直入射条件下，相互正交的电场和磁场水平分量的比值。

5.2.18 卡尼亚电阻率 Cagniard resistivity

用波阻抗定义的电阻率。

5.2.19 趋肤深度 depth of penetration

电磁波垂直向下入射，振幅衰减到其地面值的1/e（e=2.718 28）时的深度。

同义词 穿透深度

5.2.20 近场区 near field

在人工源电磁测深法中，观测点离场源的距离比波长小得多的区域。

5.2.21 远场区 far-field

在人工源电磁测深法中，观测点离场源的距离比波长大得多的区域。

5.2.22 过渡场区

在人工源电磁测深法中，介于近场区与远场区之间的区域。

5.2.23 椭圆极化 elliptical polarization

在频域电磁法中，若总场的矢量末端随时间变化的轨迹呈椭圆形，则称该现象为椭圆极化。

5.2.24 静态效应 static effect

在电磁测深中，如果浅部存在电阻率局部变化，则导致测深曲线沿视电阻率轴平移。这种现象称为静态效应。

同义词（静位移）

5.3 传导电法

5.3.1 传导电法

以地下介质电导率差异为基础，观测和研究传导电流的场的一类电勘查法。

5.3.2 电阻率法 resistivity method

以观测和研究视电阻率为基本特征的传导电法。

5.3.2.1 电阻率剖面法 resistivity profiling

用固定电极距，研究一定深度上地下介质电阻率沿水平方向变化的一种电阻率法。

5.3.2.2 电阻率测深法 resistivity sounding

用不同电极距，研究地下介质电阻率沿垂向变化的一种电阻率法。

5.3.3 充电法“mise-a-la-masse” method

将一个供电电极置于导电的研究对象上或其附近，对其充电，另一供电电极置于无限远处，观测研究该充电对象周围的电场分布特征，或电场随时间变化特征的一种传导电法。

5.4 电化学勘查

5.4.1 电化学勘查 electrochemical prospecting

以地下介质电化学性质差异为基础的一类电勘查。

5.4.2 自然电场法 spontaneous polarization method (SP)

以氧化还原、渗滤和吸附等电化学作用形成的自然电场为基础的一种电化学勘查法。

5.4.3 激发极化法 induced polarization method (IP)

以地下介质极化率差异为基础的一类电化学勘查法。

同义词 激电法

5.4.3.1 时域激电法 time-domain IP method

向地下介质供以稳定电流并观测总场，在断电后观测二次场，以求得极化率和充电率等参数的一种激电法。

5.4.3.2 频域激电法 frequency domain IP method (FIP)

向地下介质供以不同频率的超低频电流，研究视电阻率随频率的变化，以求得频散率的一种激电法。

5.4.3.3 频谱激电法 spectral induced polarization method

在一系列频率电流激励下，观测介质复电阻率值（实、虚分量或相位）的变化规律的一种激电法。用于对异常源性质的研究。

同义词 复电阻率法

5.4.4 极化率 polarizability

黄金地质研究所
信息室 提供

在时域激电法中，二次场某时刻的瞬时值与总场的百分比。

5.4.5 充电率 chargeability

在时域激电法中，某段时间间隔内，二次场对时间的积分值与总场的百分比。

同义词（荷电率）

5.4.6 衰减时 decay time

在时域激电法中，二次场由最高值衰减到某一相对值所需的时间。

5.4.7 频散率 percent frequency effect

在频域激电法中，以相对高频与相对低频分别测得的视电阻率之差与相对高频视电阻率的百分比。

5.4.8 复电阻率 complex resistivity

在频域激电法中，以电场实分量和虚分量分别求得的视电阻率所构成的复数量。

5.5 其他电勘查法

5.5.1 压电法 piezoelectric method

以地下介质压电效应为基础的一种电勘查法。

6 地震勘查

6.1 地震勘查一般术语

6.1.1 地震勘查 seismic prospecting

基于人工方式激发弹性波，观测弹性波（包括纵波和横波）在地下传播的旅行时及波形特征的一种地球物理勘查。

注：根据观测纵波或横波可称为纵波地震勘查或横波地震勘查。

同义词 地震勘探

6.1.1.1 反射法 reflection survey

基于观测反射波的地震勘探方法。

6.1.1.2 折射法 refraction survey

基于观测折射波的地震勘探方法。

6.1.1.3 二维地震勘探 two-dimensional seismic survey

对每一个激发点，沿一条测线采集数据的一类地震勘探。

6.1.1.4 三维地震勘探 three-dimensional seismic survey

对每一个激发点，在面积上（而不仅是剖面上）采集数据，经三维处理得到三维数据集，以反映地质情况的三维空间分布。

6.1.1.5 垂直地震剖面 VSP

在地面激发地震波，在井中的不同深度测点上观测下行波和上行波的旅行时和波形特征的一种地震勘查。

6.1.1.6 槽波地震技术 channel seismic

在煤田地震勘探中，由于纵波在煤层中传播的速度低于周围围岩的速度，因而地震波的主要能量都被局限在煤层中形成了槽波。沿着煤层激发和接收槽波来研究煤层构造的技术称槽波地震技术；又称同层地震技术。

6.1.1.7 地震速度测井 seismic velocity logging

在井口附近激发地震波，在井中布置检波器，采用记录波的初至时间来计算平均速度和层速度的一种测井方法。

6.1.2 时距曲线 time distance curve

地震波走时与检波点到爆炸点的距离之间的关系曲线。也称 t-x 曲线。

6.1.3 时间场 time field

在地震波传播的介质范围内，每点都在一定时刻有波前通过，亦即每点都对应一定的波至时间。仿照物理场的概念，把每点对应一定时刻的空间叫做时间场。

6.1.4 法向反射时间

地震波由震源点出发沿界面法向入射到界面并返回到震源点的时间，也就是反射波到达震源点处的检波器的双重垂直时间，常称 t_0 时间。

同义词 双程时间

6.1.5 正常时差 normal moveout

对于同一水平界面，反射波到达离激发点一定距离的检波器的时间与垂直返回到激发点的时间之差。

6.1.6 倾斜时差 dip moveout

由于反射界面倾斜引起的反射波到达时间的变化。

6.1.7 虚震源 image point

震源点关于平面反射面的镜像点。

6.1.8 速度界面 velocity interface

具有不同的地震波传播速度的相邻 2 层介质的接触面。

6.1.9 声阻抗 accoustic impedance

地震波速度乘以密度的积。反射系数取决于声阻抗的变化。

6.1.10 反射系数 reflection coefficient

反射波振幅和入射波振幅之比值。

6.1.11 透过系数 transmission coefficient

分界面上透过波振幅和入射波振幅之比值。

6.1.12 广角反射 wide angle reflection

黄金地质研究所
信息室 提供

入射角大于临界角的反射。

6.1.13 多次反射 multiple reflection

存在多个声阻抗分界面时，经不止一次反射的地震波。

6.1.13.1 虚反射 ghost

从激发点向上传播，在低速带底面或地面向下反射，而后又从下面的反射界面反射至地面的波动。它伴随在一次反射的尾部，故又称伴随反射。

6.1.14 子波 wavelet

由1.5至2个周期组成的、具有确定的起始时间和有限能量的地震脉冲。

6.1.15 时间剖面 time section

对经动校正和静校正后的地震数据，以垂直坐标表示时间的地震剖面。

6.1.16 深度剖面 depth section

以垂直坐标表示深度地震剖面。

6.1.17 屏蔽层 shielding layer

对地震波产生屏蔽效应的高速层。

6.1.18 低速带 low velocity layer

地表附近常存在的、地震波速度很低的（一般为数百米每秒）物质构成的带。

同义词（风化层）

6.2 地震波

6.2.1 地震波 seismic wave

在地下介质中传播的弹性波。

6.2.2 直达波 direct wave

从爆炸点沿近于直线直接传播到观测点没经过反射的波。

6.2.3 首波 head wave

以临界角入射到高速地层，并沿界面传播，然后又以临界角出射到地面的波。

同义词 折射波

6.2.4 初至 first arrival

在地震记录上，第一个到达的波。

6.2.5 续至波 second arrival

在地震记录上，继初至波之后出现的波。

6.2.6 有效波 effective wave

能用来解决某些地质问题的人工激发的地震波。

6.2.7 干扰波 noise wave

地震勘探中妨碍分辨有效波的振动都属于干扰波。

6.2.8 地滚波 ground roll

沿着或接近地表面传播的面波和其他扰动，通常具有较低速度，较低频率和大的振幅。

6.2.9 瑞得波 Rayleigh wave

沿地面传播的地震波的一种类型，其质点运动轨迹是在包含波传播方向的垂直平面内的椭圆形（长轴垂直于地表），质点运动方向为逆行（顶部向后）。

6.2.10 槽波 channel wave

被限制在速度比上下介质都低地层中传播的地震波。

6.2.11 波型转换 mode conversion

在地震波向界面倾斜入射的情况下，纵波（P波）能量部分地转换成横波（SV波），或者横波（SV波）能量部分地转换成纵波。

6.2.12 转换波 converted wave

在发生波型转换时，与入射波类型不同的波。

6.2.13 异常波 abnormal events

人工激发的地震波在遇到断层或界面挠曲等特殊的地质体而产生的波，例如绕射波、回转波、断面反射波等。

6.2.14 频散 dispersion

地震波的传播速度随频率而变化，从而多频率复合波随传播距离的增加而逐渐分散，使波形畸变以至发生波列现象。

6.3 地震波速度

6.3.1 视速度 apparent velocity（v^*）

波前到达2个相邻检波器的时间差除以其距离之商。

6.3.2 层速度 interval velocity

在单一地层中，地层厚度除以地震波垂直地层传播时间之商。

6.3.3 平均速度 average velocity

在一组水平层状介质中，地层的总厚度除以地震波垂直地层传播时间之商。

6.3.4 均方根速度 root mean square velocity

对于层速度为 v_i 的一系列平行地层，若地震波垂直通过各层的旅行时间为 t_i，则均方根速度

$$v_{rms}=\left[\left(\sum_{i=1}^{n}v_i^{2}t_i\right)/\left(\sum_{i=1}^{n}t_i\right)\right]^{1/2}。$$

6.3.5 叠加速度 stacking velocity

在作动校正中，使共中心点叠加的同相轴的能量达到极大时的速度。

6.3.6 相速度 phase velocity

地震波的任何一个相位（如波峰或波谷）的传播速度。

6.3.7 速度谱 velocity spectrum

假定各种正常时差时的一种相干性显示方法。

黄金地质研究所
信息室 提供

表示为地震波能量随传播速度变化的关系曲线。

6.4 地震数据采集

6.4.1 观测系统 layout

激发点与接收排列之间相对位置的关系。沿纵排列观测时，常用综合平面图表示观测系统。

6.4.1.1 相遇系统 reverse control

在同一排列上两端分别激发获得相反方向的2张地震记录的观测方式。

6.4.2 多次覆盖 multiple coverage

在野外工作中对同一地下界面进行多次重复追踪。在数据处理中，把共反射点的道进行叠加以压制干扰。

6.4.3 偏移距 offset

激发点到最靠近的检波点之间的水平距离。

6.4.4 排列 spread

在地震勘探工作中，检波器、激发点形成一定距离的布置形式。

6.4.5 混响 reverberation

在一个层（通常指水层）内发生的多次反射波。有时这个术语专门指相继到达的多次波相互混合在一起，变成几乎是稳定的振荡；偶而它也包括海水非常深，使得多次波断断续续出现的情况。在海洋地震勘探中它是一种严重干扰。在陆地记录上有时也会出现。

同义词 交混回响

6.4.6 组合法 pattern

组合激发和组合检波的统称。

6.4.6.1 组合激发 pattern shooting

按一定形式布置的多个震源同时激发构成一个总的震源的一种激发方法。

6.4.6.2 组合检波 pattern of geophones

按一定形式布置的多个检波器并且联接在一起组成一个地震道的输入的一种接收方法。

6.5 地震数据处理

6.5.1 数据解编 data demultiplexing

将按时序排列的野外磁带记录数据转换成按道序排列的数据。简称解编或重编。

6.5.2 增益恢复 gain recovery

将数字地震仪经增益控制后记录到数字带上的振幅值恢复到地面检波器接收到的振幅值。

6.5.3 真振幅恢复 true amplitude recovery

消除在野外收录过程中增益变化的影响、球面发散的影响和其他与时间有关的能量衰减的影响的一种处理。

6.5.4 道集 gather

在地震数据处理中，按某一特征组合在一起的地震道的集合。常用的道集有共深度点道集，共检波点道集，共炮检距道集，共炮点道集，共中心点道集等。

6.5.5 静校正 statics

为消除表层因素对原始地震数据的影响而进行的校正。包括地形起伏、激发深度、低速带等校正。

6.5.5.1 基准面校正 datum correction

将野外随地形而布置的检波器和激发点移到选定的某一水平面或斜面上的一种处理方法。

6.5.5.2 低速带校正 low velocity layer correction

为消除地震波在低速带中传播所造成的时间延迟，而对反射波到达时或折射波到达时所作的校正。

6.5.5.3 剩余静校正 residual statics

对地震记录作过静校正处理后，由于低速带速度和厚度本身之误差，使得校正后相对基准面还有剩余静校正量，对剩余静校正量所进行的校正称剩余静校正。

6.5.6 动校正 dynamic correction

将反射波到达排列上各观点的时间值变成激发点处的法线反射时间（t_0）的校正，即消去正常时差的校正。

同义词 正常时差校正

6.5.7 时变滤波 time-variable filtering

频率特性随记录时间而变化的滤波。

6.5.8 二维滤波 two-dimensional filtering

利用有效波和干扰波频波（频率和波数）成分的差异在频率波数域（或时间-空间域）内压制干扰增强有效信号的多道滤波方法。

6.5.9 τ-p 变换 tau-p mapping

把时间-空间（t-x）域的地震记录变换到射线参数 $p=\frac{dt}{dx}$ 和截距时间 τ（τ-p）域中表示。

6.5.10 子波处理 wavelet processing

确定基本子波形状或对基本子波整形的反褶积处理技术。

6.5.11 反褶积 deconvolution

为消除信号在传播过程中所受到的滤波作用而做的数据处理。

6.5.12 共深度点叠加 common-depth-point stack

共反射点（或共反射面元）道集经过动、静校正后的叠加。

同义词 共中心点叠加

黄金地质研究所
信息室 提供

6.5.13 时深转换 time-depth conversion

将地震勘查的时间剖面转换为深度剖面的一种处理。

6.5.14 偏移 migration

将反射波或绕射波归位到产生它们的反射界面或绕射点（而不是其视位置）的一种处理。

6.5.15 共反射面元 bin

在三维地震勘查中，按一定精度要求将反射层划分为一定大小的面积元，将落在同一面积元内的反射点所对应的道视为“共反射点道集”，该面元称为共反射面元。

6.5.16 道内均衡 dynamic equalization

在一个记录道内，对深、浅层反射波振幅进行均衡处理，使各反射层在剖面上能均匀地显示出来。

同义词 动平衡

6.5.17 相干滤波 coherence filtering

根据波形相似性而设计的增强有效波、消弱干扰波的一种处理。

6.5.18 相对振幅保持剖面 relative amplitude preserved section

在地震资料处理中，经过真振幅恢复处理保持了反射波的相对振幅关系的时间剖面。

6.6 地震资料解释

6.6.1 同相轴 event

地震记录上各道相同相位（波峰或波谷）的连线称为同相轴。

6.6.2 纵向分辨率 longitudinal resolution

沿纵向能够区分从2个相邻界面上相继到达的地震波的最小时间间隔。又称垂直分辨率。

6.6.3 横向分辨率 lateral resolution

地震勘探在水平方向上可区分开的地质体、界面的最小间距。又称水平分辨率。

6.6.4 合成地震记录 synthetic seismogram

在一定假设前提下人工制作的理论反射地震记录。通常指一维合成地震记录，即地震子波与地下反射系数序列的褶积形成的反射地震记录。

6.6.5 复地震道 complex trace

实地震道与其90度相移的虚地震道构成的复数道。

6.6.6 地震层序分析 seismic sequence analysis

在地震剖面上根据不整合面和相对整合面定义不同时代沉积单元（沉积层序）所进行的分析。

6.6.7 地震相 seismic facies

具有相似的地震地层参数的地层单位称为地震相。

6.6.8 亮点 bright spot

地震勘探资料经过真振幅恢复处理所得的记录剖面上出现的特别强振幅的反射波。

6.6.9 暗点 dim spot

地震反射波同相轴上振幅的局部减弱。

6.6.10 平点 flat sopt

气水接触面、气油接触面上产生的水平的反射。

6.6.11 三维偏移 three-dimensional migration

用三维地震数据进行的偏移校正。

6.6.12 层切片 horizon-slice

三维数据集沿同一反射层面的切片，可显示振幅或其他属性的区域性变化。

6.6.13 时切片 time-slice

对应某个固定的时刻切割地震三维数据集所得到的平面图形，其上通常显示的是振幅。

7 测 井

7.1 测井一般术语

7.1.1 测井 geophysical logging

沿钻孔对井壁进行探测的一类地球物理勘查。通常用来划分钻孔地质剖面，获取介质的各种参数，研究钻孔技术状况。

同义词 地球物理测井

7.1.2 标准测井 standard logging

在一个特定地区内，为划分和对比地质剖面，以相同最佳测井方法组合和最佳技术条件进行的测井。

7.1.3 井温测量 temperature logging

沿钻孔观测井内温度的一种测井。

7.1.4 地层倾角测井 dip logging

沿钻孔测定井内地层界面的倾角和倾斜方位角的一种测井。

同义词 地层产状测井；产状测井

7.1.5 井斜测量 directional survey

沿钻孔测量井身倾斜方位角和倾角的一种测井。

7.1.6 井径测量 caliper logging

沿钻孔测量井眼直径的一种测井。

7.1.7 电视测井 borehole televiewer

用电视摄像机沿钻孔扫描，在地面的荧光屏上显示井壁图像的一种测井。

7.1.8 套管接箍测井 collar logging

黄金地质研究所
信息室 提供

测定套管接箍的准确位置的一种测井。

7.1.9 磁化率测井 magnetic susceptibility logging

沿钻孔测定介质磁化率的一种测井。

7.1.10 井液电阻率测井 mud log

沿钻孔测量井内泥浆的电阻率的一种测井。

同义词 泥浆电阻率测井

7.1.11 扩散法 diffusion method

在井内液面保持静水位高度的条件下，观测井液物理参数随时间及空间变化的一种测井法。

7.1.12 提捞法 withdraw method

通过抽水加速地下水的渗出，观测井液物理参数随时间及空间的变化的一种测井法。

7.1.13 注入法 injection method

通过向井内注入与井液物理参数有差异的一段液柱，并不断注水观测注入液柱移动情况的一种测井法。

7.1.14 流量测井 flow logging

直接测量井内流体沿井孔方向的流速或流量的一种测井。

7.1.15 数字测井 digital logging

采用电子计算机来控制测井数据的采集、完成测井数据的处理、成图和解释的总称。

同义词 计算机化测井

7.1.16 双水模型 dual water model

把地层水看作是由“束缚水”和“自由水”组成的一种砂泥岩剖面测井解释模型。

7.1.17 地层因数 formation factor

饱含水的纯砂岩的电阻率与该砂岩中地层水电阻率的比值。

7.1.18 双矿物法 dual mineral method

假设岩石骨架是由2种矿物成分组成，利用声波、密度、中子等测井参数响应来确定岩性及孔隙度的解释方法。

7.1.19 岩石体积物理模型 bulk-physical model of rock

根据测井方法的探测特性和组成岩石的各种物质在物理性质上的差异，按体积把岩石分成几部分，然后研究每一部分对岩石宏观物理量的贡献，并把岩石的宏观物理量看成是各部分贡献的总和。简称岩石体积模型。

7.1.20 测井曲线 log curve

以钻孔深度为纵坐标，以某种测井方法获得的岩层物性响应数据为横坐标形成的一种曲线。

7.1.21 测井参数 logging parameter

以测井方法观测的介质的物理参数种类。

7.1.22 横向比例 unit scale

测井曲线图上横坐标每厘米所代表的物性响应值。

7.1.23 层厚校正

为消除围岩对目的层测量结果的影响而进行的校正。

同义词 围岩校正

7.1.24 井眼校正

为消除井眼直径及井液变化对目的层测量结果的影响所进行的校正。

7.2 电测井

7.2.1 电测井 electrical logging

以研究钻孔剖面上介质的电学性质为基础的一类测井。

7.2.2 电阻率测井 resistivity logging

以研究钻孔剖面上介质的电阻率差异为基础的一类电测井。

7.2.3 侧向测井 laterolog

采用聚焦电极系，使主电极电流沿近似垂直井轴的方向进入地层，从而大大减小泥浆及上下围岩的影响的一种电阻率测井。按探测深度的不同，又分为浅侧向、深侧向测井。按所使用电极系的不同，可分为三侧向、七侧向测井等。

7.2.4 感应测井 induction logging

在一次电磁场作用下，观测介质受感应产生的二次磁场，以研究介质的电导率的一种电阻率测井。

7.2.5 电极电位测井 electrode potential logging

以电子导电矿体的电极电位为基础的一种电测井。

7.2.6 自然电位测井 spontaneous potential logging

沿钻孔测量介质在自然条件下产生的电场的一种电测井。

7.2.7 激发极化测井 induced polarization logging

以钻孔剖面上介质的激发极化特性为基础的一种电测井。

7.2.8 介电测井 dielectric logging

利用电磁波在介质中产生的位移电流，以研究介质的介电性质的一种电测井。

7.2.9 电极系 sonde

电测井中，供电电极、测量电极按一定方式组成的电极组合。

7.2.9.1 电位电极系 normal device

成对电极之间的距离，远大于不成对电极至成

黄金地质研究所
信息室 提供

对电极的距离的一种电极系。

7.2.9.2 梯度电极系 lateral device

不成对电极至成对电极的距离远大于成对电极之间的距离的一种电极系。

7.2.9.3 微电极系 microsonde

电极镶在绝缘板上、电极距很小（几个厘米量级）、并籍助机械装置将其紧贴井壁的一种电极系。

7.2.9.4 聚焦电极系 focused sonde

使用屏蔽电极使主电极电流沿近似垂直井轴的方向进入地层的一种电极系。

7.2.9.5 微球形聚焦电极系 micro-spherically focused sonde

具有聚焦性能使等位面在小范围内近似球形的一种电位电极系。

7.2.9.6 单电极系 monoelectrode sonde

用于观测供电电流强度随电极接地电阻而变化、只有一个供电电极的一种电极系。

7.3 核测井

7.3.1 核测井 radioactive logging

沿钻孔对天然的或人工的核辐射进行测量的一类测井。包括伽马总量测井和伽马能谱测井。

同义词 放射性测井

7.3.2 伽马测井 gamma-logging

沿钻孔观测自然伽马射线照射量率的一种核测井。

同义词（自然伽马测井；天然伽马测井）

7.3.3 伽马-伽马测井 gamma-gamma logging

根据康普顿效应，观测由于伽马源照射岩石而引起的散射伽马射线照射量率的一种核测井。

7.3.4 视密度 apparent density

在非均匀介质中用伽马-伽马测井法测得的数据，按均匀介质的密度刻度求得的一种等效密度。

7.3.5 选择伽马-伽马测井 selective gamma-gamma logging

根据光电效应，使用低能伽马源观测散射伽马射线照射量率的一种核测井。

同义词 低能伽马-伽马测井

7.3.6 中子-中子测井 neutron-neutron logging

以井壁上介质对中子的减速特性及俘获特性为基础，在中子源照射介质条件下，观测热中子（或超热中子）通量的一种核测井。

注：按照观测热中子或超热中子，可区分为“中子-热中子测井”和“中子-超热中子测井”。

7.3.7 中子寿命测井 neutron life time logging

在脉冲中子源照射介质条件下，通过测定热中子空间密度随时间的变化，来研究介质对热中子的吸收性质的一种中子-热中子测井。

7.3.8 视灰岩孔隙度

把岩石看成纯灰岩时（经纯灰岩刻度），根据中子-中子测井资料求得的孔隙度。

7.3.9 岩性密度测井 lithodensity logging

能同时测量地层密度和光电吸收（截面）指数的一种核测井。

7.3.10 中子-伽马测井 neutron-gamma logging

以井壁上介质对中子的减速特性及俘获特性为基础，在中子源照射介质的条件下的一种核测井。

7.3.11 活化测井 activation logging

观测伽马射线用人工源照射的办法使介质内部某些待测原子核转变为人工放射性核素，并通过观测这些核素的特征射线确定介质中待测元素含量的一种核测井。

7.3.12 碳氧比测井 carbon/oxygen radio logging

测量高能快中子与地层中碳和氧原子核发生非弹性散射而产生的伽马射线，以确定地层中碳和氧元素的含量及含量比值的一种核测井。

注：用相同原理测定硅和钙的比值时称为“硅钙比测井”。

7.3.13 X射线荧光测井 X-rays fluorescence logging

观测介质中待测原子受外部射线作用后，由于电子跃迁产生的特征X射线的一种核测井。

7.3.14 同位素测井 radioisotope logging

以放射性同位素作为示踪原子的一类测井。

同义词 放射性示踪测井

7.4 声测井

7.4.1 声测井 acoustic logging

以研究岩石声学性质为基础的一类测井。

同义词 声波测井

7.4.2 声速测井 acoustic velocity logging

观测声波传播时差（通常指纵波速度的倒数）的一种声测井。

7.4.3 声幅测井 amplitude logging

以研究声波传播过程中幅度的衰减为基础的一种声测井。

7.4.4 全波列测井 full-wave logging

采用长源距声系，并记录整个声波列的一种声测井。

7.4.5 超声成像测井 ultrasonic image logging

利用井壁（或套管内壁）对超声波的反射特性，直观地展现井壁（或套管内壁）的平面图像的

黄金地质研究所
信息室 提供

一种测井。

7.4.6 纵横波测井 P-S logging

在钻孔中同时记录压缩波（P 波）速度和剪切波（S 波）速度的一种声测井。

8 核物探

8.1 核物探一般术语

8.1.1 核物探 nuclear geophysical exploration

观测研究介质天然的和人工的核辐射场变化规律的一类地球物理勘查。

同义词 核地球物理勘查；放射性方法勘查（放射性物探；放射性勘探；放射性勘探方法；核地球物理勘探）

8.1.2 核衰变 nuclear decay

由一种核素的原子核转变成另一种核素的原子核，并伴随放出射线的进程。

同义词 放射性衰变

8.1.3 射气能力 emanation power

单位岩石或矿石在足够长的时间内放出的射气量。

8.1.4 射气系数 emanation coefficient

在某一时间间隔内，由岩石或矿石析出的射气量与同一时间间隔内，产生的全部射气量的比值。

8.1.5 核辐射场 nuclear radiation field

介质中核辐射的空间-能量分布。（主要有 γ辐射场、射气辐射场和中子辐射场等）。即每一点都对应核辐射的特征值的空间。

8.1.6 核辐射正常场 nomal field of nuclear radiation

介质中核素的（放射性）活度等于区域背景值的核辐射场。

同义词 介质底数

8.1.7 核辐射场异常 anomaly of nuclear radiation field

核辐射正常场中的偏离部位。

8.1.8 自然底数 natural background

由介质底数、仪器底数和宇宙射线底数 3 部分组成的底数。后两者称仪器自然底数。

同义词 自然本底

8.1.9 饱和厚度 saturated thickness

介质增大到一定厚度时，其测量值保持恒定的厚度。

同义词 饱和层

8.1.10 放射性平衡系数 radioactive equilibrium cofficient

介质中有内在联系的 2 种放射性元素或同位素的含量或质量的比值与其在正常情况下比值的比例系数。

8.1.11 钍的伽马铀当量 gamma-ray uranium equivalent of thorium

以伽马测量值，相当于铀的含量来衡量的钍的含量。

8.2 核测量方法

8.2.1 伽马测量 gamma-ray survey

观测天然放射性核素的伽马射线变化规律的一类核物探。（按测量的能阈分为伽马总量测量和伽马能谱测量；按测量的方式有航空、汽车、徒步、井下、水下等伽马测量和伽马能谱测量。）

8.2.1.1 航空伽马能谱测量 airborne gamma-ray spectrometric survey

用机载伽马能谱仪，在飞行过程中测量地面岩（矿）石核辐射场分布特点的一种伽马测量。

8.2.2 氡气测量 radon survey

观测介质氡分布规律的一类核物探。

8.2.2.1 常规氡测量 ordinary radon survey

用闪烁室（或电离室）观测介质中氡分布规律的一种氡气测量。

同义词 经典氡测量；一般氡测量（爱曼测量；射气测量）

8.2.2.2 α径迹蚀刻测量 a-track etch survey

通过核径迹探测器（SSNTD）记录氡及其子体衰变的 α 粒子来研究氡在介质中变化规律的一种氡气测量。

同义词 α 径迹找矿法；径迹蚀刻法

8.2.2.3 活性炭测量 activated charcoal survey

通过活性炭吸附氡，而后测量其 γ 总量（或 γ 或 β 能谱）的一种氡气测量。

8.2.2.4 钋 210 测量：^{210}Po survey

采集待测介质的样品，经过化学处理，尔后测量其附着在镍（或铜）片上的粒子的一种氡气测量。

8.2.2.5 钋 218 测量：^{218}Po survey

通过仪器直接测量吸附物上的钋 218 的一种氡气测量。（包括：α 卡法、薄膜法、“α 活性炭”法、α 管法等）。

8.2.2.6 α 卡测量 α card survey

通过测量特制 α 卡片上的氡子体沉积物^{218}Po 的一种钋 218 测量法。

8.2.2.7 热释光测量 thermoluminescence survey

黄金地质研究所
信息室 提供

利用灵敏的剂量探测器或某些天然矿物来累积测量α粒子或γ射线的热释光效应的一种氡气测量，相应称α热释光法，γ热释光法和天然热释光法。

8.2.3 地面中子测量 ground neutron survey

测量由中子原轰击岩石（或土壤）中的待测元素后，产生的二次射线的一种核物探。

8.2.4 X射线荧光测量 X-ray flouresecence survey

通过测量岩（矿）石受激后产生的特征X射线来确定待测元素及其照射量率的一种核物探。

8.2.5 核辐射取样 nuclear radiation sampling

为确定待测元素的含量和进行储量计算，而在岩石表面上进行的一类核物探。（包括：伽马辐射取样、（β+γ）辐射取样、β辐射取样、X射线荧光取样，以及近期发展起来的中子活化取样等）

8.2.6 裂变径迹测量 fission track survey

通过反应堆对附着在核径迹探测器上的待测元素进行轰击，尔后观测其裂变碎片密度的一类核物探。

摘自《地质调查标准汇编·地球物理勘查 第一分册》

物探化探找金成果总汇

序号	矿产(矿田)名称	工作时间	发现或扩大时间	方 法	发现	扩大	大型	中型
1	北京市怀柔县得田沟—崎峰茶金矿	1982	1988	化	1			1
2	河北省易县柴厂—孔各庄金矿	1985—1992	1992—1994	化、激电	1		1	
3	河北省崇礼县东坪金矿	1984—1989	1985—1992	化、电	1		1	
4	河北省崇礼县水晶屯金矿	1986—1987	1987—1988	化	1		1	
5	河北省承德县温家沟金-银矿	1988—1990	1989—1991	化、电	1			1
6	河北省迁西县金厂峪金矿	1964—1980	1994	化、磁		1	1	
7	河北省赤城县后沟金矿	1987	1988	激电	1			1
8	河北省赤城县黄土梁金矿	1986	1987	化	1			1
9	山西省阳高县堡子湾金矿	1986	1986	化	1			1
10	内蒙古自治区包头市乌拉山金矿	1985	1986	化	1		1	
11	内蒙古自治区阿拉善左旗朱拉扎嘎金矿	1995—1998	1997—1998	化、激电	1		1	
12	内蒙古自治区宁城县陈家杖子金矿	1996—1998	1998	化、激电、电磁	1			1
13	内蒙古自治区赤峰市红花沟金矿	1957—1981	1962—1981	磁、电、化	1			1
14	内蒙古自治区察哈尔右翼中旗新地沟金矿	1986—1988	1988—1996	化	1		1	
15	辽宁省葫芦岛市水泉金矿	1980	1981	化、激电		1		1
16	辽宁省阜新蒙古族自治县排山楼金矿	1984	1989	化	1		1	
17	辽宁省营口县猫岭金矿	1986	1987	磁、激电、化		1	1	
18	辽宁省阜新蒙古自治县大樱桃沟金矿	1987—1989	1992	化	1			1
19	吉林省桦甸市夹皮沟金矿	1965—1970	1965—1970	磁、激电、化		1	1	
20	吉林省珲春市小西南岔金-铜矿	1967—1981	1981—1994	激电、磁、化		1	1	
21	吉林省通化县南岔金矿	1983	1985	化	1			1
22	吉林省白山市南大坡金矿	1983—1984	1987	化	1			1
23	吉林省汪清县刺猬沟金矿	1976	1968	电剖		1		1
24	黑龙江省漠河县砂宝斯金矿	1990—1992	1993	化、磁	1			1
25	黑龙江省嘉荫县团结沟金矿	1967—1968	1968	化、磁、激电		1		1
26	黑龙江省逊克县富强金矿	1991—1992	1992	化、磁		1		1
27	黑龙江省汤原县东风山金矿	1958—1960	1975	磁	1			1
28	黑龙江省七台河市老柞山金矿	1977—1987	1977—1987	化、磁	1		1	
29	黑龙江省东宁县金厂金矿	1965—1980	1992—1994	激电、化	1		1	
30	浙江省遂昌县治岭头金矿	1965	1966	化	1		1	
31	安徽省铜陵市马山金矿	1964	1971	磁、电、化	1		1	
32	安徽省铜陵市黄狮涝金矿	1985	1985	磁、自电、化	1			1
33	福建省尤溪—德化县双旗山金矿	1987—1989	1989	化	1			1
34	福建省泰宁县何宝山金矿	1987—1989	1989	化	1			1
35	江西省瑞昌市洋鸡山金矿	1971—1972	1972	激电、自电	1			1
36	江西省东乡县银峰尖金矿	1992—1993	1993	化	1			1
37	江西省宜春市 溪村金矿	1987—1989	1990	化	1			1
38	江西省德兴市金山金矿	1979—1987	1988	化	1		1	
39	山东省莱州市新城金矿	1967—1968	1968	电剖、激电	1		1	

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

序号	矿产(矿田)名称	工作时间	发现或扩大时间	方 法	发现	扩大	大型	中型
40	山东省招远市河东金矿	1967－1968	1968	电剖、激电	1		1	
41	山东省莱州市马塘金矿	1967	1968	电剖、激电	1			1
42	山东省莱州市寺庄金矿	1967－1968	1968	电剖、激电	1			1
43	山东省莱州市东季金矿	1967－1977	1977	电剖、激电	1			1
44	山东省平邑县归来庄金矿	1987－1988	1988－1989	化	1		1	
45	山东省烟台市张家金矿	1987－1988	1990－1991	化	1			1
46	山东省招远市玲珑金矿田东风金矿	1981－1986	1988	化	1		1	
47	山东省莱州市仓上金矿	1979	1980	磁	1		1	
48	山东省五莲县七宝山金线头金-铜矿	1966	1974	激电、化	1			1
49	河南省洛宁县上宫金矿	1978－1981	1982	化	1		1	
50	河南省栾川县北岭金矿	1981－1985	1988	化	1		1	
51	河南省嵩县庙岭金矿	1981－1985	1989	化	1		1	
52	河南省洛宁县虎沟金矿	1978－1980	1988	化	1		1	
53	河南省桐柏县老湾金矿	1974－1986	1978－1986	激电、化	1		1	
54	河南省桐柏县银洞坡金矿	1975－1980	1980－1985	激电、化	1		1	
55	湖北省大冶市鸡冠嘴铜-金矿	1978－1980	1980	重力、(化		1		1
56	湖北省阳新县鸡笼山铜-金矿	1963－1969	1985	磁、自电、化	1		1	
57	湖北省嘉鱼县蛇屋山金矿	1983－1988	1989	化、(测深		1		1
58	湖北省竹山县银洞沟银-金矿	1973－1983	1977－1983	化、(激电		1		1
59	湖北省大冶市金井咀金矿	1972－1973	1985	化、激电、磁	1			1
60	湖南省新邵县高家坳金矿	1977－1979	1980	化	1			1
61	湖南省平江县万古金矿	1989	1991	化	1		1	
62	湖南省安化县芙蓉金矿	1984－1988	1990－1991	化	1			1
63	湖南省常宁县水口山矿田仙人岩金矿	1988	1991	化	1			1
64	湖南省醴陵市雁林寺金矿	1987	1990	化	1			1
65	湖南省黔阳县潮水金矿	1993	1994	化	1			1
66	湖南省黔阳县大坪金矿	1988－1989	1989	化	1			1
67	湖南省新化县青京寨金矿	1991	1996	化	1		1	
68	湖南省祁东县三德堂金矿	1982－1987	1996－1997	化	1			1
69	湖南省沅陵县沃溪金矿	1995－1996	1996	电磁、激电		1	1	
70	广东省高要市河台金矿	1984	1984	化		1	1	
71	广东省高要市长坑金矿－高明市富湾银矿	1985—1986	1990	化	1		1	
72	广东省英德市大沟谷金矿	1985	1991	化	1			1
73	广西壮族自治区凤山县金牙金矿	1986	1986	化	1			1
74	广西壮族自治区横县南乡金矿	1978－1992	1985－1992	化、激电	1			1
75	广西壮族自治区凌云县明山金矿	1986－1987	1987－1993	化	1		1	
76	广西壮族自治区隆林县隆或金矿	1987－1990	1990－1992	化	1			1
77	广西壮族自治区凭祥市龙塘金矿	1989	1993	化	1			1
78	广西壮族自治区田林县高龙金矿	1980－1983	1986	化	1			1
79	海南省东方市二甲金矿	1986	1988	化	1		1	
80	四川省甘孜县夏雄金矿	1996	1997	化	1			1
81	四川省德格县马达柯金矿	1988－1989	1997	化	1			1
82	四川省若尔盖县邛莫金矿	1987	1989	化、激电	1			1
83	四川省壤塘县金木达金矿	20 世纪 90 年代	1995	化、(磁)	1			1
84	四川省南坪县两河口金矿	1987－1992	1993－1994	化	1			1
85	四川省平武县银厂金矿	1987	1992	化	1		1	
86	四川省南坪县马脑壳金矿	1987－1988	1990	化	1		1	
87	四川省松潘县哲波山金矿	1986－1988	1988	化	1			1
88	四川省石棉县田湾金矿	1987	1988	化	1			1
89	四川省理县危关沟金矿	1991	1993	化	1			1
90	四川省若尔盖县巴西金矿	1974－1976	1986	化	1			1
91	四川省甘孜县嘎拉金矿	1988－1990	1990	化	1		1	
92	四川省木里县菜园子金-铜矿	1987	1988	化	1			1
93	贵州省贞丰县烂泥沟金矿	1984－1985	1986	化	1		1	
94	贵州省晴隆县老万场金矿	1980－1985	1992	化	1		1	
95	贵州省三都县苗龙金矿	1978	1979	化	1			1

黄金地质研究所
信息室 提供

续表

序号	矿产(矿田)名称	工作时间	发现或扩大时间	方 法	发现	扩大	大型	中型
96	云南省富源县胜境关金矿	1986－1987	1992	化	1			1
97	云南省楚雄市小水井金矿	1987	1989	化	1			1
98	云南省富宁县金坝金矿	1990	1991	化	1			1
99	云南省广南县老寨湾金矿	1990	1991	化	1			1
100	云南省镇沅县老王寨金矿	1980－1985	1985	化	1		1	
101	云南省鹤庆县北衙金矿	1996	1997	化、磁		1		1
102	云南省保山市崇岗金矿	1995－1996	1996	化	1			1
103	云南省墨江县金厂金矿	1972－1975	1975	磁、自电、激电、化		1	1	
104	陕西省太白县双王金矿	1980－1995	1995	化		1	1	
105	陕西省周至县马鞍桥金矿	1985	1986	化	1		1	
106	陕西省略阳县铧厂沟金矿	1985	1985	激电、化	1			1
107	陕西省略阳县东沟坝金-银矿	1959－1978	1984	激电、化	1			1
108	陕西省宁强县旧房梁－金厂沟金矿	1982－1984	1985	化	1			1
109	陕西省凤县庞家河金矿	1987－1991	1989－1991	化、电磁	1		1	
110	陕西省凤县八卦庙金矿	1978－1987	1988	化	1		1	
111	陕西省洛南县葫芦沟金矿	1980－1982	1982	激电、化	1			1
112	陕西省旬阳县惠家沟金矿	1981－1985	1986－1989	化	1			1
113	陕西省镇安县金龙山金矿	1986－1987	1989	化	1			1
114	甘肃省肃北蒙古族自治县南金山金(银)矿	1980－1982	1982	化	1			1
115	甘肃省肃北蒙古族自治县小西弓金矿	1985－1987	1985－1987	化、磁、激电	1			1
116	甘肃省天祝藏族自治县青分岭金矿	1985－1986	1986	化	1			1
117	甘肃省舟曲县坪定金矿	1985－1986	1987	化	1			1
118	甘肃省文县石鸡坝金矿	1984－1988	1986－1988	化	1			1
119	甘肃省岷县鹿儿坝金矿	1984－1988	1989	化	1		1	
120	甘肃省碌曲县拉尔玛金矿	1979－1986	1986	化	1		1	
121	甘肃省玛曲县大水金矿	1985－1986	1986－1990	化	1		1	
122	甘肃省迭部县刀扎河坝金矿	1985－1986	1997	化	1			1
123	甘肃省合作市枣子沟金矿	1979－1984	1997－1998	化	1			1
124	甘肃省天水市柴家庄金矿	1985－1987	1989－1990	化	1			1
125	甘肃省两当县花崖沟金矿	1985－1989	1990	化	1			1
126	甘肃省两当县西安河金矿	1986－1989	1990－1991	化	1			1
127	甘肃省肃北蒙古族自治县黑刺沟金矿	1992－1995	1986－1987	化	1			1
128	甘肃省安西县寒山、肃北县鹰嘴山金矿	199－1994	1994	化	1		1	
129	甘肃省礼县金山李坝金矿	1980－1986	1986－1987	化	1		1	
130	青海省都兰县开荒北金矿	1989－1994	1995	化	1			1
131	青海省都兰县五龙沟金矿	1989－1990	1990	化	1			1
132	青海省大柴旦镇青龙沟金矿	1988－1994	1995	化	1			1
133	青海省大柴旦镇金龙沟金矿	1969	1988	放射性	1		1	
134	新疆维吾尔自治区哈密市马庄山金矿	1983－1984	1985	化、激电	1			1
135	新疆维吾尔自治区哈巴河县多拉纳萨依金矿	1985－1987	1987－1988	化	1			1
136	新疆维吾尔自治区哈巴河县赛都金矿	1986－1988	1988	化	1			1
137	新疆维吾尔自治区富蕴县萨尔布拉克金矿	1986－1987	1987	化	1			1
138	新疆维吾尔自治区伊宁县阿希金矿	1985－1987	1988－1989	化	1		1	
139	新疆维吾尔自治区鄯善县康古尔、马头滩金矿	1987－1988	1988	化	1		1	
140	新疆维吾尔自治区鄯善县石英滩金矿	1987－1989	1990	化	1		1	
141	新疆维吾尔自治区若羌县红十井金矿	1988－1992	1993	化	1			1
142	新疆维吾尔自治区乌恰县萨瓦尔顿金矿	1984－1986	1987－1993	化	1		1	
143	新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市冰达坂金矿	1986－1988	1989	化	1			1

摘自《中国矿产发现史·物探化探卷》

有关文献

[1] Martyn unsworth. Studying continental dynamicswith magnetotelluric exploration [J]. 地学前缘，2003，10 (1)：25-38.

[2] 白大明，聂凤军，杨崇文，等. 综合物探方法在蒙-甘-新相邻（北山）地区东段铜矿预查区勘查评价中的应用 [J]. 地球学报，2009，22

黄金地质研究所
信息室 提供

(5)：459-464.
[3] 曹静，吴灿灿，李雪，等. 浅谈几种常用电法勘探的原理及优点 [J]. 科技资讯，2009，18：37.
[4] 陈彪，罗先熔，邱炜，等. 提取法在黑龙江金厂金矿区寻找隐伏金矿的应用 [J]. 桂林工学院学报，2009，29 (1)：31-34.
[5] 陈瑞林，张慧玉，杨秀华，等. 高密度电法在山东土堆一沙旺金矿的应用 [J]. 黄金地质，2003，9 (1)：56-59.
[6] 陈绍求，陈明伟. 激发极化法在石英脉型金矿探测中的应用 [J]. 矿产与地质，1999，13 (4)：245-248.
[7] 陈绍裘，陈灿华. 激发极化法探测断裂蚀变带型金矿 [J]. 中南工业大学学报 (自然科学版)，2003，34 (6)：674-677.
[8] 陈永清，夏庆霖. 金属矿产勘查技术发展现状与思考 [J]. 地球物理学进展，2002，17 (3)：540-550.
[9] 邓军，杨立强，孙忠实，等. 胶东花岗-绿岩带金矿构造成矿动力学模型 (摘要) [J]. 地质学报 (英文版)，2003，(4)：591.
[10] 地球物理仪器和服务——2000 年 [J]. 国土资源情报，2001，(4)：43-46.
[11] 董浩斌，王传雷. 高密度电法的发展与应用 [J]. 地学前缘，2003，10 (1)：171-176.
[12] 董王仓，张宽房，高怀雄. 陕南地区前寒武纪基底与金铜铅锌矿床分布关系 [J]. 陕西地质，2003，21 (1)：10-18.
[13] 范维强，李君源. 物探与钻探方法相结合在工程地质勘查中的应用 [J]. 西部探矿工程，2005，(增刊)：165-166.
[14] 冯小明. 甘肃贡北金矿床地质特征及找矿前景分析 [J]. 甘肃地质，2007，16 (3)：46-55.
[15] 冯雨林，邢德和，陈江，等. 遥感混合蚀变信息在辽西等地矿产调查中的应用 [J]. 地质与资源，2009，18 (2)：149-151.
[16] 高飞. 运用定量解释方法剖析磁异常——以大板金矿区 C_6 磁异常为例 [J]. 地质与资源，2004，13 (1)：43-46.
[17] 高丽敏. 浅谈高密度电阻率探测方法的应用 [J]. 应用技术，2006，8 (8)：68-72.
[18] 高振敏，陶琰，罗泰义，等. 地球化学勘查综合方法在潞西金矿找矿中的应用 [J]. 地质与勘探，2004，40 (2)：55-58.
[19] 葛如冰. 高密度电阻率法应用中常见的问题与思考 [J]. 勘察科学技术，2009，(1)：22-56.
[20] 郭君科，田绍义，吕绍龙. 高密度电阻率法技术与应用 [J]. 黑龙江水利科技，2005，33 (1)：115，117.
[21] 何展翔，王永涛，刘云祥，等. 综合物探技术新进展及应用 [J]. 石油地球物理勘探，2005，40 (1)：108-112.
[22] 黄春鹏，刘庆生，张克尧. 福建紫金山铜金矿田地球物理地球化学特征及找矿模型 [J]. 福建地质，1999，18 (4)：189-206.
[23] 黄仁荣，何长友. 璜山金矿找矿模式及应用 [J]. 浙江地质，2009，17 (2)：27-32.
[24] 黄真萍，李晨，李嫣，等. 高密度电阻率法数据的误差分析及应用 [J]. 福建建设科技，2009，(1)：20-22.
[25] 霍光辉，王海芹，王虹，等. 电磁测深在鲁西地区绿岩带型金矿勘探中的应用 [J]. 地质力学学报，2009，15 (1)：50-56.
[26] 霍光谱，程志平. 综合物探方法在望儿山金矿勘察中的应用 [J]. 工程地球物理学报，2009，6 (1)：33-38.
[27] 贾长顺，曾庆栋，徐九华，等. 综合物化探技术在黄土覆盖区隐伏金矿体预测中的应用 [J]. 黄金，2005，26 (7)：8-11.
[28] 江桂，朱国强，汪利民. 综合地球物理方法在浙江小梅多金属矿产勘查中的应用 [J]. 工程地球物理学报，2008，5 (4)：464-469.
[29] 姜义生. 用于地质勘查中的双频激电法 [J]. 铀矿地质，2000，16 (4)：243-250.
[30] 蒋其胜. 铜关山铜金矿田深部资源潜力预测分析 [J]. 安徽地质，2006，16 (2)：101-104.
[31] 金东淳，崔天日. 物探方法在探测隐伏断层中的应用 [J]. 世界地质，2003，22 (1)：82-85.
[32] 康明，罗先熔. 金属矿床地电化学勘察方法现状及前景展望 [J]. 地质论评，2005，51 (4)：454-457.
[33] 康明. 改进地电化学方法在矿区勘查中的试验与应用 [J]. 地质通报，2009，28 (2～3)：250-256.
[34] 雷栋，胡祥云，张素芳. 航空电磁法的发展

黄金地质研究所
信息室 提供

现状 [J]. 地质找矿论丛，2006，21 (1)：40-53.
[35] 雷万杉，张振庭，刘亚剑，等. 吉林江源小石人金矿综合勘查方法研究 [J]. 世界地质，2009，28 (1)：45-53.
[36] 李光明，刘铁兵，曾庆栋. 胶东蓬家夼金矿找矿预测的方法组合 [J]. 矿物岩石地球化学通报，2000，19 (4)：386-388.
[37] 李世超，路来君，刘光胜，等. 基于航磁解译构造法的哀牢山地区金多金属远景预测 [J]. 中国地质，2009，36 (3)：728-735.
[38] 李祥才，张志伟，敖颖锋，等. 激电法在辽宁柏杖子金矿勘查中的作用及意义 [J]. 地质与勘探，2009，45 (2)：74-79.
[39] 李志杰，杨瑞亭. 地球物理勘探方法及其在多金属找矿中的应用 [J]. 黄金科学技术，2009，17 (2)：38-41.
[40] 李忠，武强，周仁安，等. 高精度电磁频谱技术及其在矿产勘探中的应用 [J]. 北京科技大学学报，2007，29 (6)：553-556.
[41] 梁德超，邓军，杨立强. 地面高精度磁测在胶东某金矿普查区的应用 [J]. 地质与勘探，2000，36 (3)：67-70.
[42] 梁德超，杨立强，邓军. 地面高精度磁法测量找寻金矿应用例析 [J]. 地球学报，1999，20 (3)：294-301.
[43] 林君. 现代地球物理仪器的开发与应用 [J]. 地质装备，2004，5 (2)：3-7.
[44] 林正泽，卓奉吉，刘伟，等. 物探在白岭铜锌矿床勘探中的应用效果 [J]. 黄金科学技术，2009，17 (2)：42-45.
[45] 林忠良. 江西金山金矿田东蒋金矿床地质特征及找矿远景 [J]. 矿产与地质，2004，18 (6)：567-570.
[46] 刘光海，孙德梅，白大明. 小热泉子铜矿床物化探找矿效果及综合找矿模式 [J]. 矿床地质，2000，19 (1)：68-75.
[47] 刘国栋. 电磁法及电法仪器的新进展和应用 [J]. 石油地球物理勘探，2004，39 (增刊)：46-51.
[48] 刘红涛，杨秀瑛，于昌明. 用VLF、EH4和CSAMT方法寻找隐伏矿——以赤峰柴胡栏子金矿床为例 [J]. 地球物理学进展，2004，19 (2)：276-285.
[49] 刘建中，陈景河，邓一明，等. 贵州水银洞超大型金矿勘查实践及灰家堡矿集区勘查新进展 [J]. 地质调查与研究，2009，32 (2)：138-143.
[50] 刘四新，佟文琪. 电磁波测井的现状和发展趋势 [J]. 地球物理学进展，2004，19 (2)：235-237.
[51] 刘玉琳，苗国均，黄宝玲. 钾-氩和氩-氩定年样品的送样要求及预处理 [J]. 岩矿测试，2003，22 (4)：297-299.
[52] 娄德波，宋国玺，李楠，等. 磁法在我国矿产预测中的应用 [J]. 地球物理学进展，2008，23 (1)：249-256.
[53] 吕国印. 瞬变电磁法的现状与发展趋势 [J]. 物探化探计算技术，2007，29 (增刊)：111-115.
[54] 吕庆田，侯增谦，赵金花，等. 四川呷村火山成因块状硫化物矿床的综合找矿模式 [J]. 矿床地质，2001，20 (4)：313-322.
[55] 吕庆田，史大年，赵金花，等. 深部矿产勘查的地震学方法：问题与前景——铜陵矿集区的应用实例 [J]. 地质通报，2005，24 (3)：211-218.
[56] 吕玉增，阮百尧. 高密度电法工作中的几个问题研究 [J]. 工程地球物理学报，2005，2 (4)：264-269.
[57] 吕志刚，吴国学，王永祥，等. 隐伏矿体预测研究 [J]. 世界地质，2007，26 (1)：7-13.
[58] 雒志锋，李正富，许丽云. 时域激电轴向单极-偶极测深勘查微细浸染型金矿取得成效 [J]. 物探化探计算技术，2009，31 (3)：202-209.
[59] 雒志锋，朱向泰，王大勇，等. 应用时域激电偶极-偶极测深法勘查铜金矿 [J]. 工程地球物理学报，2006，3 (3)：214-220.
[60] 雒志锋. 时域激电法单极-偶极装置在金矿勘查中的应用 [J]. 地质找矿论丛，2002，18：146-154.
[61] 马长源. 河南桐柏县银洞坡金矿地球物理特征 [J]. 物探与化探，2002，26 (6)：415-421.
[62] 马德锡，于爱军，葛良胜，等. 高密度电法在金矿勘查中的应用 [J]. 地质与勘探，2008，44 (3)：65-69.
[63] 马德锡，赵玉锁，陈孝强，等. 在金矿勘探

黄金地质研究所
信息室 提供

中应用 STING-SWIFT 高密度电法 [J]. 黄金地质，2004，10（4）：70-74.

[64] 马志飞，刘鸿福，叶章，等. 高密度电法不同装置的勘探效果对比 [J]. 物探装备，2009，19（1）：52-55，67.

[65] 孟庆华，李子良，王鑫春，等. 物探综合方法在吉林省安口镇金矿应用效果 [J]. 吉林地质，2004，23（2）：43-48.

[66] 穆仕坤. 矿产地质勘查理论及技术方法研究 [J]. 山西科技，2008，(4)：32-33.

[67] 年平国，简新玲，彭翼，等. 桐柏县老湾金矿带地质物化探特征及找矿模型 [J]. 河南地质，1999，17（4）：254-262.

[68] 牛如宝，王轮吉，王友芳，等. 电阻率测深法寻找焦家式金矿深部构造蚀变带的应用研究 [J]. 矿产与地质，2004，18（101）：69-72.

[69] 庞绪，孙之夫，郑小礼，等. 焦家金矿床地球物理、地球化学特征及异常模式 [J]. 黄金，1999，20（2）：1-6.

[70] 钱建平. 构造地球化学找矿方法及其在微细浸染型金矿中的应用 [J]. 地质与勘探，2009，45（2）：60-67.

[71] 秦运忠，何彦南，唐荣富. 地球物理勘探方法在贵州大麦地金矿勘查中的应用 [J]. 矿产与地质，2009，23（1）：86-91.

[72] 冉志杰，温超，岳秀霞，等. 综合物探方法在浅覆盖区断裂调查中的应用 [J]. 山西地震，2005，(2)：28-31.

[73] 三金柱，惠卫东，秦克章，等. 新疆哈密图拉尔根全岩矿化岩浆铜-镍-钴矿床地质特征及找矿方向 [J]. 矿床地质，2007，26（3）：307-316.

[74] 沈远超，申萍，李光明，等. 新疆额尔齐斯金矿带构造控矿规律研究 [J]. 矿床地质，2007，26（1）：33-42.

[75] 孙建江，刘学清. 物探方法在康古尔塔格金矿带的应用 [J]. 新疆地质，2009，27（2）：145-149.

[76] 孙中任，魏文博. 高密度电阻率法在金矿勘探中的应用效果 [J]. 石油地球物理勘探，2004，39（增刊）：118-122.

[77] 汤良明，罗华华，汪玉琼. 瞬变电磁法（TEM）和激发极化法在金矿勘探中的应用 [J]. 贵州地质，2007，24（3）：212-214.

[78] 唐荣富，李继贤，秦荣娥，等. 改进的三极装置激电测深勘查微细浸染型金矿的应用效果 [J]. 工程地球物理学报，2009，6（3）：305-310.

[79] 汪振斌，胡为华，戴立军，等. 高密度电阻率法（RT）在金矿深部成矿预测中的应用 [J]. 地质找矿论丛，2006，16（1）：58-61.

[80] 王爱国，马巍，王大雁. 高密度电法不同电极排列方式的探测效果对比 [J]. 工程勘察，2007，(1)：72-75.

[81] 王安建，侯增谦，李晓波，等. 成矿理论与勘查技术方法现状与发展趋势 [J]. 中国地质，2000，(1)：30-33.

[82] 王芳. 重磁勘探方法新技术 [J]. 地质与资源，2004，13（3）：184-186.

[83] 王光洪，罗先熔，高谦，等. 甘南忠曲金矿区物化探找矿模式研究及找矿预测 [J]. 地质与勘探，2009，45（4）：450-455.

[84] 王广仓，董延朋. 高密度电阻率法数据的地形改正 [J]. 地质装备，2008，9（3）：35-38.

[85] 王静波，熊盛青，周锡华，等. 航空重力测量系统研究进展 [J]. 物探与化探，2009，33（4）：368-373.

[86] 王军，陈振楼，许世远. 胶东矿集区金成矿的地质异常控制 [J]. 地球学报，2004，25（6）：601-606.

[87] 王凯，陈向阳，王育习，等. 德尔尼钴铜矿床物探勘查方法优选 [J]. 甘肃地质，2007，16（3）：79-85.

[88] 王诗元，范继璋，刘亚剑，等. 地球物理探测方法在吉林江源地区小石人金矿勘查中的应用 [J]. 地质通报，2007，26（7）：909-914.

[89] 王文，赵燕生. 矿产勘查技术进步评价方法与实例 [J]. 地质科技管理，1999，（2）：27-30.

[90] 王文龙，杨拴海，张慧玉，等. 高密度电法在金矿找矿中的应用 [J]. 黄金地质，2002，8（3）：53-56.

[91] 吴国学. 金矿勘查中的地面高精度磁法测量——以黑龙江乌拉嘎金矿外围十三公里勘查区为例 [J]. 地球物理学进展，2007，22（5）：1 637-1 641.

[92] 吴其，张天阁，王庆华，等. 综合航空物探方法在金矿勘查中的应用研究——以新疆康古尔塔格地区金矿勘查为例 [J]. 地质科技

黄金地质研究所
信息室 提供

情报，1999，18（4）：79-84．
[93] 吴天彪．国外新型重磁仪器述评 [J]．地质装备，2002，3（3）：3-7．
[94] 吴天彪．我国地面重磁仪器的现状与前景 [J]．地质装备，2007，8（2）：11-16．
[95] 夏祥瑞．当今物探仪器的发展趋势 [J]．物探装备，2000，10（2）：1-4．
[96] 线纪安．航空物探的技术现状及其应用 [J]．地质找矿论丛，2003，18（增刊）：191-195．
[97] 肖宏跃，雷宛，雷行健．高密度电阻率法中几种装置实测效果比较 [J]．工程勘察，2007，(9)：65-69．
[98] 辛福成，辛良，黄福学．综合物探方法在多金属矿产勘查中的应用 [J]．地质与资源，2007，12（2）：130-140．
[99] 熊盛青．我国航空物探与展望 [J]．中国地质，1999，(9)：18-22．
[100] 徐贵来．地震映像勘探技术研究 [J]．世界核地质科学，2007，23（1）：33-43．
[101] 徐锡华．金属矿产地球化学勘查方法的现状与动向 [J]．地质找矿论丛，2000，15（1）：17-23．
[102] 杨长福，徐世浙．国外大地电磁研究现状 [J]．物探与化探，2005，29（3）：243-247．
[103] 杨发杰，巨妙兰，刘全德．高密度电阻率探测方法及其应用 [J]．矿产与地质，2004，18（4）：356-360．
[104] 杨桂莲，祁建誉．辽宁有色地质勘查局沈阳地质勘查院 [J]．地质与资源，2002，11（2）：123-126．
[105] 杨立强，王光杰，张中杰，等．胶东金矿集中区岩石圈结构与深部成矿作用 [J]．地球科学——中国地质大学学报，2000，25（4）：421-427．
[106] 杨绍文，陈建国．激电-瞬变电法在那能金矿评价中的应用效果 [J]．工程地球物理学报，2008，5（1）：35-41．
[107] 杨武洋，王启增，王文祥．电磁波 SYT 法在隐伏区寻找含金矿化异常带中的应用 [J]．地质与勘探，2009，45（2）：68-73．
[108] 杨小三，段磊．地球物理的主要研究方法及发展前景 [J]．山东煤炭科技，2009，(3)：127-130．
[109] 杨晓波，丁义侠，万东，等．大板金矿物探解译分析及成矿远景预测 [J]．辽宁地质，2000，17（4）：293-298．
[110] 杨秀华，郑振云．甘肃寨上金矿区金异常评价 [J]．黄金地质，2003，9（3）：65-68．
[111] 姚敬金，袁桂琴．近几年勘查地球物理的成就与前景展望 [J]．物探化探计算技术，2007，29（增刊）：309-312．
[112] 殷智武，金永新．综合物探方法在内蒙隐伏铅锌矿勘查中的应用 [J]．辽宁科技学院学报，2009，11（1）：8-9．
[113] 尹国良．综合物探技术在地质勘查中的分析应用 [J]．四川建材，2008，（4）：133-136．
[114] 于爱军，黄辉，徐德利，等．综合电法在新疆哈西金矿区寻找隐伏矿的应用 [J]．地质与勘探，2006，42（6）：57-61．
[115] 于昌明．黑岚沟金矿的综合地球物理研究 [J]．地球物理学进展，1999，14（2）：114-122．
[116] 于鹏，王家林，吴健生，等．地球物理联合反演的研究现状和分析 [J]．勘探地球物理进展，2006，29（2）：89-93．
[117] 于泽新，龙军，吕景增，等．综合物探方法在辽西康杖子区找寻隐伏矿体中的应用 [J]．地质调查与研究，2009，32（2）：154-160．
[118] 喻钢，杨刚，陈江峰，等．辽东猫岭金矿中含金毒砂的 Re-Os 年龄及地质意义 [J]．科学通报，2005，50（12）：1 248-1 252．
[119] 袁国平，靳晓新，蒋振和，等．朝阳西北部金成矿区地球物理特征及找矿方向 [J]．矿产与地质，2004，18（1）：73-77．
[120] 曾华霖．重力梯度测量的现状及复兴 [J]．物探与化探，1999，23（1）：1-6．
[121] 曾庆栋，刘铁兵，李光明，等．新疆布尔克斯岱金矿床成矿远景 [J]．地质与勘探，2004，40（4）：17-20．
[122] 曾庆栋，沈远超，刘铁兵，等．新疆多拉纳萨依金矿床成矿远景 [J]．黄金科学技术，2004，12（5）：1-5．
[123] 张国鸿，李仁和，张良敏．可控源音频大地电磁法若干方法技术问题的探讨 [J]．安徽地质，2009，19（2）：119-123．
[124] 张海心，杨言辰．高密度电阻率法在东安金矿床勘探中的应用 [J]．吉林地质，2005，

黄金地质研究所
信息室 提供

24（4）：76-79.

[125] 张立军，高飞. 高精度磁法在大板金矿勘查中的应用 [J]. 辽宁地质，2000，17（4）：299-303.

[126] 张鹏. 激电测量在甘肃省礼县崖湾金矿床外围的应用 [J]. 甘肃科技，2009，25（3）：38-42.

[127] 张全胜，辛后勤，朱春生. 地球物理勘探新方法技术及应用 [J]. 矿产与地质，2004，18（4）：371-375.

[128] 张祥年，汪明启，徐广明. 隐伏矿地气地球化学勘查方法的影响因素及其作用方式 [J]. 地质调查与研究，2007，30（3）：178-185.

[129] 张祥年，汪明启，高玉岩，等. 地气勘查方法研究现状与存在的主要问题 [J]. 科技咨询导报，2007，(21)：81.

[130] 张永明，盛君，张贵宾. 航空重力测量技术的现状及应用 [J]. 勘探地球物理进展，2006，29（2）：94-97.

[131] 张永明，张贵宾. 超导重力梯度勘探系统 [J]. 勘探地球物理进展，2009，32（2）：147-152.

[132] 张振法，牛颖智，李超英，等. 综合物化探方法在朱拉扎嘎金矿的应用 [J]. 物探与化探，2000，24（4）：250-262.

[133] 赵云，张振法，牛颖智，等. 物化探方法在内蒙古朱拉扎嘎金矿的发现和扩大过程中的作用 [J]. 中国地质，2001，28（2）：25-35.

[134] 郑作亚，柳林涛，黄珹，等. 小波分析在我国地球物理测量中的应用 [J]. 山东科技大学学报，2003，22（4）：28-32.

[135] 周坚鑫，刘浩军，王守坦，等. 国外航空重力测量在地学中的应用 [J]. 物探与化探，2004，28（2）：119-122.

[136] 周平，陈胜，朱丽丽. 几种金属矿地下物探方法评述 [J]. 地质通报，2009，28（2～3）：224-231.

[137] 周平，施俊法. 金属矿地震勘查方法评述 [J]. 地球科学进展，2008，23（2）：120-128.

[138] 周尚轶，罗红林，焦国庆. 激电在高庄金矿的应用效果 [J]. 资源环境与工程，2007，21（4）：443-446.

[139] 周遗军，郭友钊，张立为，等. 赣东北金矿矿源岩的区域岩石密度特征及找矿方向 [J]. 地质与勘探，2003，39（4）：50-53.

[140] 周云海，王备战，樊金生. 物探方法在谢坑矽卡岩型金铜矿勘查中的应用效果 [J]. 矿产与地质，2006，20（4-5）：548-551.

[141] 朱春生，孙兆祥，张扬. 物探综合方法在吉林省六批叶金矿区找矿中的作用 [J]. 吉林地质，2005，24（2）：72-77.

[142] 左卫华. 当代遥测地震仪器的现状及新进展 [J]. 地质装备，2002，3（4）：3-7.