

# 物探找隐伏矿的几个技术问题

孙文珂

(地矿部勘查技术司)

## 摘 要

本文就物探“直接”找矿和“间接”找矿建立了相应的概念,论述了建立地质—地球物理模型的必要性,指出模型与模式是不同的概念,并提出了建立模型的步骤及流程;根据矿床的物性特点及埋深的不同,提出四种物探找矿方案、具体任务和可采用的方法,为找深部矿提出用物探立体填图加井中物探的方案。

建国四十年来,开展了大量的地质找矿工作,取得了很大成绩。现在东部地区 and 一部分西部地质工作程度高的地区,易识别的地表矿已较难有新的发现,这就给整个地质普查找矿增加了难度。而对物探的难度在于面临要找隐伏矿和与围岩物性差异小或没有差异的矿。这就要求物探突破原来的找矿思路,并在方法技术上有进步和突破。

找矿思路应该是:围绕找矿的目的,积极发展和采用更为先进、适用的方法进行“直接”找矿,大力探索和开辟“间接”找矿的路子。特别当矿体不足以产生现有技术所能发现的异常时更应着力发挥“间接”找矿的作用。

本文将就物探工作中“直接”找矿和“间接”找矿的概念、地质—地球物理模型的建立和作用、物探找矿的四种方案等技术问题进行论述。

## 一、物探“直接”找矿和“间接”找矿的概念

1. “直接”找矿是根据矿体或矿体群产生的物探异常直接指出矿体或矿体群可能的属性、具体位置或其他有关情况(如矿体大小、产状、埋深等)。

“直接”找矿的前提是矿体与围岩具有某种物性差异,且大小与埋深的条件适合,能在距矿体一定距离处产生为现有仪器能发现的异常。

矿体由矿石矿物(或有用矿物)和脉石矿物组成。矿体与围岩具有某种物性差异,可以有三种情况:

(1) 矿体中矿石矿物占有相当数量,而脉石矿物所占比例不大。而且这些矿石矿物与围岩间有某种物性差异(如磁铁矿体中的磁铁矿与围岩的磁性差异,块状铬铁矿体中铬铁矿密度高于围岩,块状黄铁矿体中的黄铁矿与围岩的电阻率差异等等),矿体表现出的整体物性主要决定于矿石矿物的物性,此时整个矿体与围岩具有矿石与围岩相同类型的物性差异。

(2) 矿体中矿石矿物所占比例较小,但与围岩能形成某种物性差异(如某些放射性矿含量虽低,但具有明显的放射性,含铜砂岩中硫化铜矿物具有激电特性等等),矿体靠少量

的矿石矿物而与围岩有物性差异。

(3) 矿体中目的矿石矿物含量太少或其与围岩无明显物性差异,但与之稳定伴生的矿物和围岩能有物性差异(如含铜磁铁矿中磁铁矿具有的磁性,多数有色金属矿中的伴生磁性矿物和黄铁矿具有磁性和电性,沉积型磷矿含有放射性矿物),这类矿体靠稳定伴生矿物与围岩有物性差异。

但也应指出,有些矿与围岩的边界是渐变关系,有用矿物与矿化均向围岩渐变,矿体边界随“边界品位”要求不同而变动。因此这种情况下,物探直接找矿发现的异常中包含了近矿围岩的“贡献”,与下面要谈到的“间接”找矿有相同之处。

2. “间接”找矿是根据矿床的直接控矿因素及近矿围岩引起的异常现象指出矿床可能的分布地段和范围。

相当多的矿体与围岩没有物性差异或有差异也太小,有的虽有差异,但埋深太大,在地表不能引起足够强的异常。这种情况下用地面物探方法无法开展“直接”找矿。为了发挥物探在普查找矿中的作用只能开展“间接”找矿。

“间接”找矿的前提是近矿围岩的各类蚀变、矿化带和直接控矿因素(构造、岩性和岩浆活动等)中的大多数能引起某些物探参数的异常(这些就是物探的间接找矿标志)。具体可有以下几种情况:

(1) 许多类型(特别是热液型)矿床在近矿围岩均有各种蚀变和矿化带(如黄铁矿化、磁黄铁矿化、磁铁矿化、硅化、绿泥石化、石墨化、矽卡岩化、含钾的绢云母化等)能引起磁性、电性、放射性等类异常。

(2) 直接控矿因素:如某些矿(特别是沉积矿)与某种特定的构造有关或与某一层位及岩性有关;某种矿(岩浆型的铜镍矿)与某类岩性的岩体有关;某类矿(热液活动有关的矿)位于岩体特定部位或围岩的特定部位或特定组合的断裂构造中。

上述这些因素或地质体的体积较矿体(或矿床)要大得多,大多数均有其物性特点并引起异常或呈现出特殊的地球物理场。

关键是真正掌握这些直接控矿因素,并了解其地球物理特点。

## 二、勘查目标物地质—地球物理模型的建立和作用

为了正确确定物探普查的任务是“直接”找矿(也就是普查目标物是矿体、矿体群、矿床,此时普查目标物就是普查的目的物)还是“间接”找矿(也就是普查目标物是矿体、矿体群、矿床的直接围岩蚀变、矿化或其他直接控矿因素),就需要精确了解普查目标物的特点。为此,人们提出了要建立目标物的地质—地球物理模型。

### (一) 地质—地球物理模型的定义

此处所说的地质—地球物理模型是勘查目标物及其周围地质体的地质、地球物理特征现象综合到一起的抽象图式或图表,还可以是图象。

模型与模式是不同的概念。

所谓模型就是依据某个(类)实物的有关特征(形状、结构、物理、化学等方面的特

性) 按照某种近似程度进行模拟得到的实物或含有有关特征的图示或抽象的图表。

模式是某种事物的标准形式(过程)或可使人按照去做的一种标准作法(办法)。

模型用于实物, 而模式用于事物。因此谈及矿床成因时用“成因模式”; 描述或研究矿床地质、地球物理、地球化学特征时用“地质—地球物理—地球化学模型”。

所以称勘查目标物的“地质—地球物理—地球化学模型”是因为模型以研究地质目标物为最终目的, 以地质为基础, 首先建立地质模型, 而后建立以地质体为原型的地球物理模型。

## (二) 地质—地球物理模型在整个地球物理 勘查工作中的作用

1. 正确确定任务;
2. 合理选择方法;
3. 选定数据处理方法;
4. 确定识别目标物的准则和区分异常的方法;
5. 为某些解释选取初始模型(也就是先验模型);
6. 大比例尺矿产预测中, 将已知目标物上建立的有立体概念(或剖面概念)的模型做为一种标准。

普查目标物的过程, 是用概括模型指导工作的过程; 是将实测资料逐步转变为目标物具体(或实际)模型的过程。

所建立的模型将为多目的服务。关于指导整个工作, 可从“模型指导整个工作的流程图”(图1)中看到“模型”的作用。在模型的基础上产生两套东西。

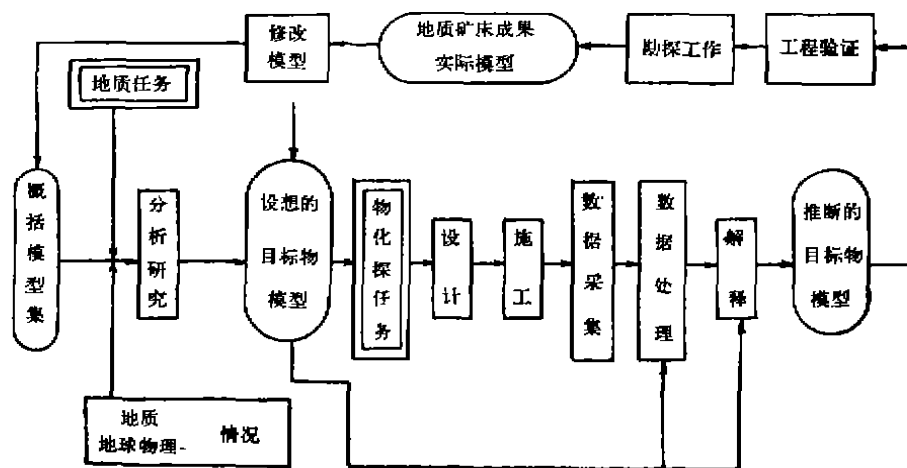


图 1

一套是：最佳的勘查工作程序和方法组合。有人叫它为勘查工作模式。它是技术与经济的结合。

另一套是：识别目标物的标志，预测目的物的准则。

这两套就构成找矿工程学或地质勘查学的主要内容。

标志或标志信息：目标物产生或引起的地球物理、地球化学场特有的某些现象称做标志或标志信息（如异常形状、走向、异常极值、梯度、异常规模和衬度、电测深曲线类型的变化、地震剖面波组的变化、各方法异常间的各种关联等等）。其中，由观测数据中直接得到的场特征叫做一次标志；通过对某一方法观测数据进行处理及转换后得到的场特征叫做二次标志；各种标志组成的新的关系叫组合标志。

预测准则就是能指示或圈出矿产资源目的物存在的有效标志信息的组合或系统。

### （三）模型的种类

模型基本上有两类：一类是以某个具体目标物为对象建立的模型，称为“具体模型”或“实际模型”。它们是根据实际的地质、物性、地球物理场的空间分布情况经过一定的抽象简化以剖面或平面图示表达，也可以是图表。

另一类是从许多同类型的具体模型抽象、概括出的模型，称为“概括模型”。它们是在正确的成矿理论指导下，以大量的实际资料为基础，按地质单元和成矿类型分别建立。要考虑到不同的剥蚀程度及不同的覆盖厚度，因此可能要建立一个模型集。表达方式可以是图示，也可以是图表或图象。

### （四）建立模型的要求和流程

建模的核心问题是要真正抓住目标物的地质、地球物理、地球化学的特点，并与其主要用途相适应。

建模的做法是先建具体模型或实际模型，而后在同类具体（实际）模型基础上建立概括模型。

#### 1. 具体模型或实际模型

（1）要以某个具体矿床（或矿田）为对象来建。

（2）收集地质、物性、物探、化探资料，没有实测资料的要实测，物性要取自钻孔，这样才能建立物性空间分布图或物性断面图。物性测定要分布合理，并做专门处理，使其有代表性。电性用测井资料更好。简单的地球物理条件还可用反演办法求得物性参数。

目标物是矿床：要包括矿体群、成因及构造与矿床有关的围岩（蚀变及未蚀变部分）。

目标物是矿体：要包括矿体及直接围岩。

物探剖面应是物性空间分布断面上的实测成果。

（3）要用数学或物理模拟办法，了解目标物及其他地质体各自的物探现象，对物理场各提供了多少“贡献”。只有进行了这一工作，才能真正搞清目的物（矿体、矿床本身）能否为物探所发现？或物探只能发现蚀变及控矿因素，以及干扰物又是哪些。模拟时要考虑到地形影响及不均匀性。

（4）研究目标物的信息特征或标志。

#### 2. 概括模型

（1）由若干同类实际普查目标物模型中抽象概括出的模型。以大量实际资料为基础，按地质单元、成矿类型分别建立。所用的地质模型应是更为典型的，当前在我国可以使用成矿系列观点的成矿模式建立地质模型。

(2) 所用的物性也应是典型的或大量实测资料统计分析后取得的。物理场也应是更为典型的或是根据物性正演出来的。

(3) 用数学、物理模拟方法根据物性空间分布求得物理场的结果。

(4) 把地质模型加以演绎, 使其具有不同的剥蚀程度, 并有不同的上覆盖层, 再用数学、物理模拟出物探结果。建立不同情况下的模型集。

(5) 研究不同条件下目标物的信息特征或标志。

3. 具体建立模型时可以先简单、粗略、而后建综合高级的。有了新资料、新观点(控矿因素新认识后)要及时修改补充原来的模型。

建模的工作步骤及要求参见“建模流程”(图2)。

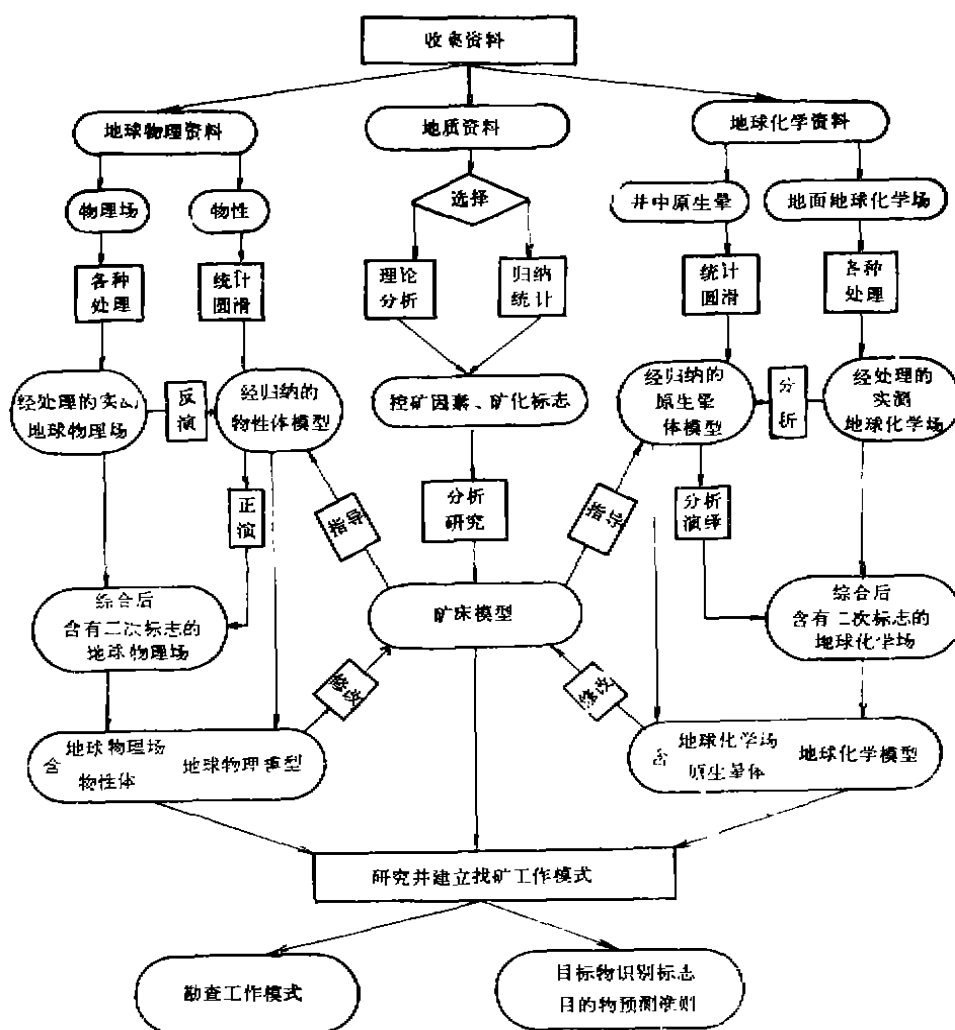


图 2

### (五) 正确选用模型和系统建立模型集

在选用模型时, 要很好分析工作区的各类已有资料, 全面考虑类似地区已建的模型, 慎

重选定一类或几类模型集做为指导, 失误可能会少些。为发现新类型矿, 要设想得复杂些, 合理选用较多的方法; 解释时不要简单套用本区“常见”的模型, 特别注意那些“反常”的物探、化探现象。

为了能较全面参考类似地区已有的模型, 就需要建立和不断积累、收集国内外各种地质条件下的模型, 使之成为全体勘查工作者的共同“知识库”。

自1985年以来, 已在多处的矿床上研究了地球物理特点, 并初步建立了具体模型, 有的矿床还建立了概括模型。以长江中下游的铜矿床的模型研究得较为充分, 有一定指导意义。另外在河北张北地区的铅锌矿上初步建立的模型也有实际指导意义, 并在铜陵及张北地区根据模型的指导找到了盲矿。

### 三、物探找矿的四种方案

根据矿体(矿床)的物性条件和其埋深情况提出下述四种找矿方案:

**1. 浅部直接找矿** 对于与围岩有物性差异而埋深不太大(指地面物探方法能发现其存在)的矿体(矿床), 采用能直接反映矿体(矿床)异常的地面物探方法进行普查找矿, 发现局部异常后, 经查证找到矿体(矿床)。为追索矿体和发现井旁、井底盲矿, 还应开展井中物探。

浅部直接找矿的工作流程如图3所示。井中物探流程见图4。

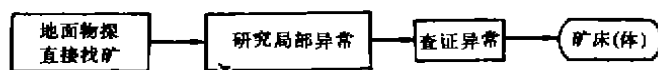


图 3

常用的方法如普查找矿时四种物探工作方案的具体任务和方法表中所示(表1), 主要取决于物性条件。高精度磁测可以发现过去中低精度磁法无法发现的弱磁性矿, 如赤铁矿、褐铁矿、锰矿、铝土矿及某些砂矿; 高精度重力法可以发现铬铁矿、含铜黄铁矿、赤铁矿及大型富铅锌矿; 激电法、自电、电阻率法和电磁性可以发现硫化物金属矿; 放射性法可以发现铀、钍等放射性矿及某些稀有金属矿。应该指出有些矿既具有磁性又具有电性的特点, 如矽卡岩型铜矿、铜镍矿、某些多金属矿。也有些矿既具有电性又是高密度体, 如块状含铜黄铁矿。具体到某一矿床, 所采用的方法往往以一种方法为主, 另一种方法为辅, 但有时也要同时用两种方法, 如找铜镍矿时磁法与电法往往同时使用。井中物探方法的选用依矿体的物性特点及具体任务而定, 常用的方法见表1, 有关情况将在深部直接找矿中谈及。

**2. 深部直接找矿** 对于与围岩有物性差异而埋深较大(指地面物探方法无法发现其存在)的矿体(矿床), 采用地面物探进行物探的立体填图(也就是研究了解地表以下物探能反映的地质体的形态), 着重调查深部近矿围岩矿化、蚀变或直接控矿因素的情况; 通过成矿预测提出布置普查钻孔的方案, 验证中有可能直接遇到矿体, 但往往只能发现近矿围岩; 当只揭露了近矿围岩或矿化, 而未见矿时, 应及时用井中物探直接找寻井旁、井底的盲矿, 经研究井中物探的局部异常, 通过验证发现盲矿; 当第一孔就见到盲矿或以后验证井中物探异常见矿, 均应进一步用井中物探追索盲矿的走向、产状等或进而发现井旁盲矿。

深部直接找矿的工作流程如图4所示。

表 1 普查找矿时四种物探工作方案的具体任务和方法表

方 案	地 面 物 探		井 中 物 探	
	任 务	方 法	任 务	方 法
浅部直接找矿 (地面方法直接找矿, 井中方法追索矿体)	发现矿体或矿床的 局部异常	磁法、激电、自电、 电阻率法、电磁法、 重力、放射性、大功 率激电、大功率电磁 法)	追索已主钻孔揭露 的矿体走向、产状等; 寻找未被钻孔揭露的 井旁、井底盲矿	井中磁测、井中激电、 井中电波、井中电阻率、 井中声波、井中充电、 井中电磁法;有关测井 方法
深部直接找矿 (地面方法立体填图, 井中方法直接找矿)	调查深部近矿围岩 的矿化、蚀变或直接 控矿因素等,开展物 探立体填图	高精度磁测、高精 度重力、电测深、电 磁测深、高频地震	寻找井旁、井底盲 矿,追索已由钻孔揭 露的矿体走向、产状 等	井中磁测、井中激 电、井中电波、井中电 阻率、井中声波、井中 充电、井中电磁法;有 关测井方法
浅部间接找矿 (地面方法间接找矿; 井中方法追索间接找矿 标志)	调查了解浅部物探 间接找矿标志(直接 控矿因素或近矿围岩 的矿化、蚀变等)	高精度磁测、电阻 率法、放射性、电磁 法、激电、自电、重 力、电测深、浅地震	进一步追索钻孔周 围和井底间接找矿标 志,以指导进一步布 孔	井中磁测、井中电阻 率、井中激电、井中电 波、井中电磁、井中声 波;有关测井方法
深部间接找矿 (地面方法立体填图; 井中方法详细调查、了 解间接找矿标志)	大致了解深部直接 控矿因素或近矿围岩 的矿化、蚀变等,开 展物探的立体填图	高精度磁测、高精 度重力、电测深、电 磁测深、高频地震	详细调查、了解钻 孔周围和井底直接控 矿因素或近矿围岩的 矿化、蚀变等间接找 矿标志,以指导进一 步布孔	井中磁测、井中电阻 率、井中激电、井中电 波、井中电磁、井中声 波;有关测井方法

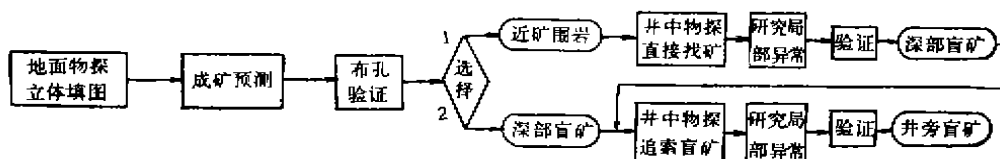


图 4

由于矿体埋深大,地面物探无法发现其存在,所以只能从立体填图入手,但要认真分析,是否能改进现有的物探方法或采用新的物探方法得到深部矿的异常。例如为找深部的铜镍矿、含铜黄铁矿可以采用精度较高的重力、磁测(重力精度达到几十 $\times 10^{-8}\text{M/S}^2$ ,磁测精度达到 $1\sim 2\text{nT}$ );又如为找多数硫化物矿床,采用大功率的激电或电磁法,改进布极和供电方式以加大探测深度。总之不能轻易放弃用地面方法直接找矿的可能性,在确认现有(或具体某个物探队伍所有)的方法无法在地面直接找矿时,才考虑采用立体填图的方案。有时为了有效而经济地找深部矿,地面物探立体填图与直接找矿两种方案结合使用。例如以重磁法圈出隐伏岩体的地下形态,而后在预测可能有利成矿部位用大功率电法直接圈出隐伏硫化矿床。

为开展物探立体填图,地面物探方法的选用随矿床的地质、地球物理特点而异,常用的

方法如表所示。高精度重力磁测一般能较好地圈定隐伏岩体并研究其地下形态,有时可以圈定矿化蚀变带,确定某些断裂构造。各类电测深法有可能了解深部构造破碎带,有电性差异的矿化蚀变带,有时可据以研究岩体的地下形态。为精确地立体填图,高频地震将起到重要作用,在研究沉积岩与侵入岩接触关系以及沉积岩内部构造方面有独到之处。

深部直接找矿时井中物探方法主要是为了寻找验证孔井旁、井底盲矿,具体采用的方法决定于矿体的物性特点,具磁性的矿体用井中磁测效果较好;具有电性特点的矿体可选用多种方法,较良导性矿用井中充电法、井中电波法、井中电磁法和井中电阻率法均可;若为浸染状硫化金属矿则井中激电有其独到之处;高阻矿体(如铬铁矿体)井中电波法、井中电阻率法可有较好效果;对于高密度或低密度的矿体以及声波传播速度有差异的矿体可用井中声波法。井中电波、井中声波法跨孔工作方式具有较高的分辨率,这是其他方法所不及的。现有的井中磁力仪及电法仪器可以开展中低精度的井中磁测及井中激电、井中充电和井中电阻率法。高精度(20~30nT)三分量井中磁力仪、宽频扫描的井中无线电波仪、井中声波仪、井中瞬变电磁法仪即将投入生产,这些可适于小口径的井中仪器系列有较好的软件系统,将为深部找矿提供广阔的前景。

**3. 浅部间接找矿** 对于与围岩无物性差异而埋深不大(指地面物探方法能发现间接找矿标志)的矿体(矿床),采用相应的地面物探方法调查、了解浅部直接控矿因素或近矿围岩的矿化、蚀变情况;通过研究间接找矿标志,经查证标志,进而实现间接找矿。根据工作需要,为了进一步追索钻孔周围和井底的有关间接找矿标志,将采用相应的井中物探方法,具体方法因物性特点及具体任务而异,常用方法见表,有关情况将在深部间接找矿中谈及。

浅部间接找矿工作流程如图5所示。井中物探流程见图6。



图 5

地面物探方法根据间接找矿时目标物(近矿围岩的矿化和蚀变、直接控矿因素)的物性特点选定,常用的方法见表。如果蚀变是硅化、绿泥石化、石墨化、含钾的绢云母化及矽卡岩化则可用电法、放射性法及磁法加以圈定和研究;矿化是黄铁矿化、磁黄铁矿化、磁铁矿化则可用激电法或其他电法、磁法加以圈定;如果控矿因素是某一种地层或其褶皱部位、某类岩体的特殊部位、某种组合的断裂构造带,则可用电阻率法、放射性法、重力法、磁法甚或浅地震法。

**4. 深部间接找矿** 对于与围岩无物性差异而埋深较大(指地面物探方法无法详细了解间接找矿标志)的矿体(矿床),采用地面物探进行物探的立体填图,大致了解深部直接控矿因素或近矿围岩的矿化、蚀变情况;通过成矿预测提出布置间接找矿普查钻孔方案;在验证中一般很难正巧打到盲矿,多数打到的是近矿围岩或控矿因素,此时应及时开展井中物探,以便较详细调查了解钻孔周围和井底直接控矿因素或近矿围岩的矿化蚀变等间接找矿标志;然后通过立体局部成矿预测提出进一步布孔验证意见,实现间接找矿。

深部间接找矿工作流程如图6所示。

所采用的地面物探方法大体上与深部直接找矿时的立体填图方法相似,如表1所示。



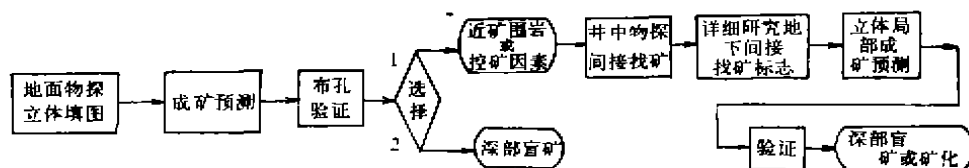


图 6

井中物探间接找矿的方法将因目标物的物性特点而异。如果矿化是黄铁矿化、磁黄铁矿化、磁铁矿化,则可用井中激电和其他井中电法以及井中磁测;如果蚀变是硅化、绿泥石化、石墨化、矽卡岩化和含钾的绢云母化,则可用有关的井中电法、井中磁测,井中声波和放射性测井;如果控矿因素是岩体的特定部位,则可用井中磁测、井中电阻率法,有时也可用井中声波;如果控矿因素是断裂构造带、某一地层或褶皱部位,则可用井中电阻率法、井中电波法和放射性测井,有时常规的测井也可使用。

#### 四、要进一步发展新方法技术

为了提高直接找矿的能力和扩大间接找矿的范围,要进一步发展的方法技术主要有如下几个方面:

1. 提高现有方法的精度、灵敏度和分辨率,加大探测深度,完善相应的数据处理和正反演方法。
2. 系统开展固体矿产地震勘探法、某些电法和井中物探方法的研究,发展电法、地震勘查中的层析和全息技术。
3. 建立和完善各主要矿床的地质—地球物理—地球化学模型及其预测准则。
4. 发展电化学为基础的方法技术(如接触或非接触极化曲线法);研究并建立震电、震电磁辐射和震磁等效效应为基础的新方法,增加新的物性参数,提供新的找矿能力。
5. 开展物性勘探学的研究,利用岩矿物性空间分布特点找盲矿和解决地质问题。
6. 建立具有图形、图象和数据处理、识别功能的专家系统和综合解释工作站。

#### 主要参考文献

- 〔1〕 孙文珂:固体矿产物探应进入一个新阶段,《物探与化探》,1986年,第1期。
- 〔2〕 孙文珂:有关地质—地球物理—地球化学模型的几个技术问题,《物探与化探》,1988年第5期。
- 〔3〕 Чупров В. В., Столпнер М. И., Котля, П. З., Геологогеофизическая классификация рудных объектов при общих и детальных поисках, Советская геология 1982, No. 4.
- 〔4〕 Тархов А. Г., Бондаренко В. М., Никитин А. А., Комплексирование геофизических методов, 1982.
- 〔5〕 孙文珂:我国固体矿产物探现状与展望,《物探与化探》,1990年第3期。
- 〔6〕 孙文珂:开展矿产预测的几个问题,《中国地质》,1988年,第6期。

## SOME TECHNICAL PROBLEMS CONCERNING GEOPHYSICAL PROSPECTING FOR CONCEALED ORE DEPOSITS

Sun Wenke

*(Department of Prospecting Technology, Ministry of Geology and Mineral Resources)*

### Abstract

This paper has established corresponding concepts for geophysical "direct" and "indirect" ore prospecting, dealt with the necessity of establishing geological-geophysical model, pointed out that model and pattern are two different concepts, and brought forward the procedure and process for establishing the model. According to physical properties and different buried depths of ore deposits, the paper advances four schemes for geophysical prospecting, their specific tasks as well as usable methods. As for seeking deep-seated ore deposits, a scheme of geophysical three-dimensional mapping plus borehole geophysical prospecting is put forward.