

文章编号: 1001—2427 (2009) 03—083—04

利用有效的物探方法进行深部找矿

张洪普, 王来云, 钟立平, 陈炎, 明冠辉, 李卫东

吉林省勘查地球物理研究院, 吉林长春 130012

摘要: 大型、超大型矿床和多金属矿集区的形成, 均是由于地球内部在深部物质与能量的交换所致, 浅部矿产资源是深部空间的大型、超大型矿床和多金属矿集区在其向上运移、伸展与聚集的结果, 要解决深部成矿机制问题必须有效地使用物探方法, 吉林省勘查地球物理研究院在吉林省某铜镍矿接替资源勘查项目中利用DHTEM方法, 取得了较好的找矿效果, 钻探验证结果与物探推断一致, 并常见矿厚度150 m。

关键词: 深部成矿机制; 浅部; DHTEM; 方位测量
中图分类号: P631.3*25 **文献标识码:** B

随着国民经济的发展, 矿产资源消耗越来越大, 现有地表可采矿产资源量日益枯竭, 如何利用有效的物探方法在加强对深部空间勘查, 必须对深部成矿物质运移的物理化学作用过程、成矿机制和深部找矿方法进行系统研究, 是我们面临的一个重要课题。

1 深部成矿机制

地球内部由于深部物质与能量在不停地运移和交换, 存在着复杂的耦合效应和力系作用, 地壳中低速层、高速梯度夹层的存在; 地幔盖层结构与组成的区域性变异; 地幔低速层深度和厚、薄的变异; 410 km、670 km 间断面的普遍存在; 核—幔边界层 (D") 的热动力学效应; 岩浆的形成与运移; 地磁场的西向漂移; 地幔热柱的形成与热物质上涌; 板块的俯冲与消减; 地幔对流的轨迹与检验; 地球内部的物质属性以及其对地表构造和对地球化学元素分布的影响……等等。地表所见到的和所出露的各类岩石, 以及一切地球科学现象, 皆受到地球内部物质运移与其深部物理—化学过程和力源作用的控制。要解决金属矿产资源的形成机制与受到地球内部物质运移与其深部物理—化学过程和力源作用控制的动力源的问题, 要探索资源形成的深部介质和构造环境问题, 则必须研究和探索地球内部物质与能量的交换和圈层耦合及其深层动力过程 (见图1)。

浅部构造形态乃是深部物质分异、调整和运动

的结果。壳、幔、核的岩石介质结构与物理化学属性及其差异定会反映深部动力作用过程的不同, 以及深、浅构造不协调的表证, 受到动力边界条件的制约。大型、超大型矿床和多金属矿集区的形成, 均是由于地球内部在地史期间深部物质与能量的交换所致, 而不是近地表处形成与堆积的。因为矿物元素的分异、调整、运移和聚集, 即大型、超大型矿床和矿集区的形成与分布是受着深部物质运移的物理—化学作用过程的制约, 即热物质在运移和上涌过程中与壳、幔介质及围岩的交代、蚀变和变质作用后矿物元素才逐渐聚积的。矿床至少可延伸至地下深度5 km或更深处, 金属元素的聚集与矿床的形成必然地要涉及到地球深处壳、幔介质与构造格局、物质状态、运移行为、物质属性和其空间展布的深层动力过程。显然在金属矿产资源形成的过程中, 要受到深部多种要素和边界条件的制约, 如物质分异、调整和运移的力源系统, 矿源物质的属性和介质与构造条件, 含矿热液与围岩的交互作用和矿物元素聚集的空间环境等。因此, 矿床在深部岩层中产出的形态及分布的层、段亦不相同, 浅部矿产资源是深部空间的大型、超大型矿床和多金属矿集区在其向上运移、伸展与聚集的结果。因为深部是它们呈分块状、分层状、分枝状与连续矿体展布的空间, 而在深层动力成矿过程中而是一个有机的整体。据不完全统计, 当今国外金属矿产资源开采超过1 000 m深度的已有80多例, 金矿床的矿化深度平均为1 600 m, 国外在已有矿

收稿日期: 2009-06-05; 修订日期: 2009-08-30

作者简介: 张洪普 (1963—), 男, 吉林辽源人, 吉林省勘查地球物理研究院工程师

床区(带)的深部已不断找到和发现了一系列大型、超大型矿床和大、中型金属矿产资源。我国目前的各类金属矿产的资源量,均为第一深度空间的矿产勘探资源量(由0~500 m深度范围内),而矿产资源的开发在主体上则平均限于0~350 m深度范围内进行,为满足我国的快速工业化和经济腾飞必须超越0~500 m的深限,向更深处拓展。在地壳深部具有良好的成矿环境和找矿潜力,地球物理勘探技术的发展与成效已使得深部找矿成为可能。地球物理勘探方法具有大探测深度、高精度和高分辨率的特点,可为深部金属矿勘查提供有效信息,是深部找矿勘探的有力手段。目前世界上开采最深的

矿床是南非的西兰德(Western Deep Level)金矿,其勘查与开采深度已达4 800 m。巴布顿金矿开采深度为3 800 m,加拿大萨德伯里(Sudbury)铜、镍矿床,已开采到2 000 m,目前探测最深的矿体在维克多(Victor),已达2 430 m,鹰桥公司(Falconbridge)和因科(Inco)公司最深金属矿的钻井已打到3 050 m,富特沃尔(Levackfootwall)矿区在1 180 m深处发现了特富的矿床,澳大利亚奥林匹克坝(Olympic Dam)Cu-Au金属矿体在深处发现隐伏的直立矿床,延深达1 000 m。国外有些金矿床矿化深度均很深,平均可达1 600 m左右;其中如印度科拉提金矿床的深度已达3 200 m,美

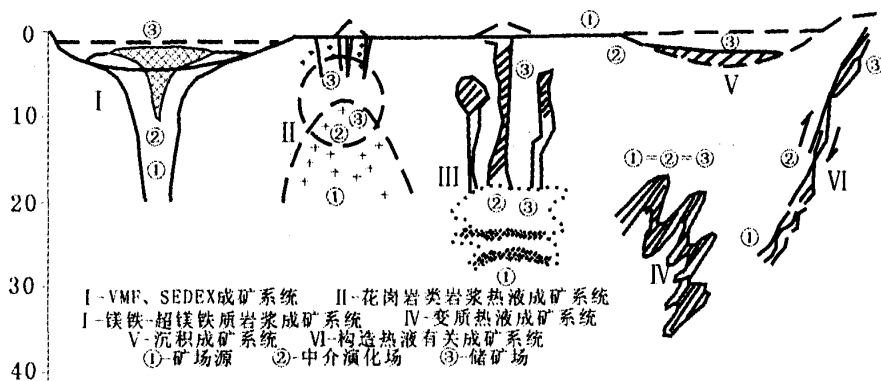


图1 金属矿产资源形成的深部动力过程示意图

国绿岩型金矿的开采深度为1 600~2 600 m。

2 物探方法的作用

探测深度大的地震和高精度重力勘探方法及其综合效应,基本上可以解决深部构造、岩体和地层界面上的问题,井中瞬变电磁法(DHEM)勘探,使钻孔的勘查半径从10 cm扩大到200~300 m,基本上可以解决矿体勘查问题。

萨德伯里矿区是世界上著名的铜、镍矿区,位于加拿大地盾南部,萨德伯里市北缘,针对在萨德伯里火成杂岩接触带底板以下可能还存在很富的底板型矿床,利用地震和高精度重力勘探方法及其综合效应查明萨德伯里盆地的深部构造,确定火成杂岩体的底面深度明确了盆地中心下方Ch亚组最大厚度达500 m, Ow组厚达1 500 m, Op组和花岗斑岩的总厚度达2 500 m。深部构造上的明显不对称,剪切带和断层上的岩性呈叠瓦状,火成杂岩地带中轴部的沉积岩层被断层错开,而底板片麻岩和杂岩

带的铁镁质岩则继续向南倾。

DHEM在钻孔7中观测到的异常,经过分析认为其旁侧可能存在良导体,且可能是一个形状复杂的弯曲状的良导体,经过其余钻孔(1~6)的验证,在地下600~1 280 m间找到了高品位矿体。随后,利用DHEM在萨德伯里矿区相继发现了深达2 430 m的大型、高品位的维克多矿床,深1 370 m,含Cu达9.9%, Ni达0.9%的东麦克雷迪矿床,最深达2 190 m的克雷顿矿床。

奥林匹克坝矿床的发现过程中,地球物理勘探就起到了重要作用,特别是区域重、磁资料反演、分析和解释,圈定了多个找矿靶区。在进入深部找矿阶段后,大探测深度的人工源深地震和大地电磁测深在整个高勒克拉通地区进行的深部地壳结构探测,查明了该大型矿集区的成因,为深部找矿奠定了理论基础,同时,也为寻找深部金属矿产资源指出了范围。

俄罗斯诺里尔斯克铜、镍矿, Talnakh 侵入体

的下部和周围接触带为重要的成矿部位，重力、TEM 和电测深在追索控矿侵入体埋深中发挥了重要作用。此外，在该矿区还对航磁数据进行了有效处理，建立了暗色岩的磁场模型，故可消除了暗色岩的干扰，清晰的反映出了诺里尔—哈莱拉赫深大断裂，而在此断裂附近发现了多个与成矿有关的侵入体。

3 DHTEM方法及在红旗岭的找矿实践

3.1 DHTEM方法原理

(1) 井中TEM具有较强的测量旁侧和深部探测能力，其围绕钻孔布置5个回线框，每一观测数

据是一个体积的反映，5次观测是一组数据集体的反映，由于距离较地面近得多，而场强是按距离的立方衰减，所得到的响应特别明显，由于接收线圈接近矿体信号明显增强并且干扰电平小，所接收的信号比较可靠，使得此方法有突出的优势。

(2) DHTEM的目的只是要发现深部矿体，在深部井中的噪声很弱，一般地说回线应选的长一些，使勘探深度大一些，不必过分担心表层的地质噪声随回线增大的影响。在五方位测量中（见图2），为了发现深矿，回线边长一般100 ~ 400 m，常用为200 m。经验说明，勘探深度为回线边长的3倍以上（回线电流大于等于10 A），可发现井旁

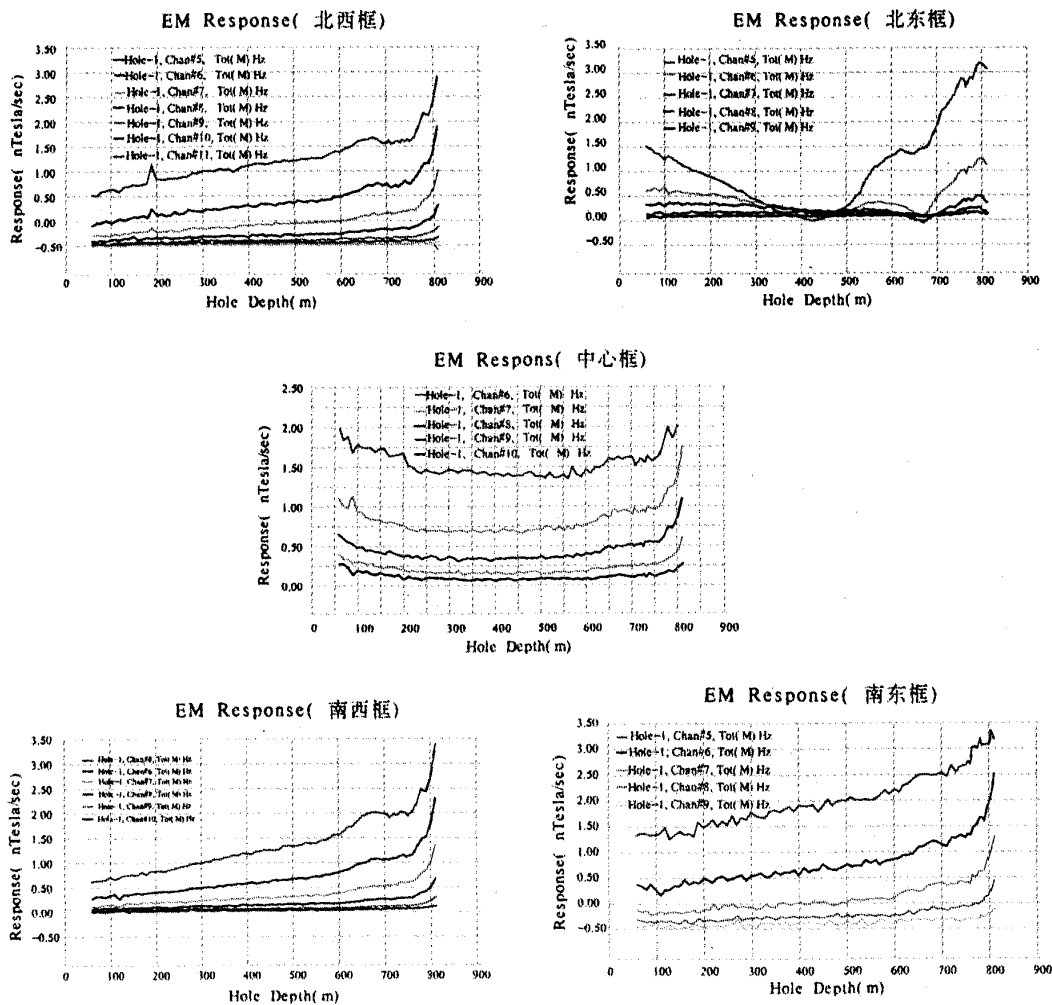


图2 红旗岭××钻孔DHTEM响应曲线图

200 ~ 300 m 的矿体（具体范围取决于目的物的综合参数）。

(3) 点距的选择原理与地面方法要求相同，但井中测量点距应更密一些，一般在无矿地段为10

~20 m, 预计有矿地段的点距为5~10 m, 异常复杂地段加密到2.5~5 m, 甚至更密, 此取决于使异常完整、可分辨之需要。

(4) 响应正负号的确定与地面观测相同, 确定响应正负亦有两种方法, 其本质即是按阶跃波考虑还是按斜阶跃波考虑。按楞茨定律, 感应段的二次场与一次场反向, 而过渡段与一次场同向。具体做法是将探头首先放在回线中部, 调节仪器使所测场为正号, 而后下井观测探测。如此分析曲线之正负。

(5) 地—井方式探测范围和深度: 探测范围和深度受如发射回线边长、电流大小、仪器灵敏度、地质噪声以及目标地质体大小、形态和电导率、磁导率等因素。在单孔测量时, 一般深度越大探测范围越小, 电流相同时发射线框越大探测越深。另外, 当探头接近矿体时信号明显增强。

3.2 地—井TEM响应特征的分类

(1) 响应的静态特征或坐标特征: 定义: 响应的幅值随时间的延长而衰减, 但响应的剖面(深度)特征不随时间改变, 特征点也不移动。它主要出现在晚延时, 坐标特征与地面剖面测量的坐标函数相当。最基本的或典型的静态响应特征有4种, 即穿过导电矿体中部, 边部, 外部附近和外部远处的4种不同特征。曲线特征很易解释。

(2) 响应的动态特征: I 定义: 响应曲线的形状和特征点(比如过零点)随取样延时而变, 是称动态特征中甚至晚延时曲线特征之变化。II 分析: 曲线形态的变化产生正负号的反转, 曲线外形完全不同, 特征点则主要过零点和极值点的位移。此现象就物理意义而言是导体内感应涡流随时间发生变移, 从数学上则是不能象晚延时那样, 用一个电流环就能近似描述。

3.3 红旗岭zk303孔实例

红旗岭矿区DHTEM采用地—井定源五方位测量方式。中间框供电回线以钻孔为中心, 其他四供电回线在钻孔四周且服从勘探线方向, 为五个边长

相等的正方形。回线边长的选择以供电流20 A、探测深度1200 m、横向探测范围200~300 m为极限参数, 实际用300 m。测量点距一般为10 m, 预计异常段加密到5 m。303孔勘探线方向为122°, 从各个框响应曲线(有效门)上看(见图2), 南西框、北东框响应最强, 中心框次之, 其它两框较弱。从深度上看, 极大值皆出现在末端790 m处, 说明异常体在深部。

中心框与南东、南西、北西各框覆盖内Z分量各门曲线浅部无明显异常反映, 在600~760 m段曲线以较小斜率上升, 表明这一段有一定的矿化蚀变现象, 760 m以后曲线上升较快, 斜率大于1, 表明探测范围已接近异常体边缘。x、y分量指示了异常体方向, X曲线230~760 m南西走向低值异常体, 应为岩体蚀变与矿化。740~760 m处有一低响应体反映厚度较小的大理岩。Y分量情况大致与X分量反映内容相同, 只是矿化较连续, 740~760 m处大理岩反映更为明显。760~810 m有高值异常, 映了北东方向的矿体存在, 另外X分量曲线为正响应、Y分量曲线为负说明异常体走向北东。

4 建议

到目前为止我国在矿产资源勘查方面钻探投入工作量较大, 但钻孔利用不充分, 建议在成矿条件好却未发现矿体的地区投入DHTEM工作, 实现找矿突破。

参考文献:

- [1] 蒋邦远.实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M].北京:地质出版社, 1998.
- [2] 钟立平.2007年红旗岭TEM-DHTEM-CSAM工作报告[R].长春:吉林省勘查地球物理研究院, 2008.
- [3] 朴化荣.电磁测深原理[M].北京:地质出版社, 1990.
- [4] 滕吉文.岩石圈内第二深度空间金属矿产资源[Z].海口:深部物探技术交流会议, 2008, 11.
- [5] 杜庆丰.瞬变电磁(TEM)应用技术及方法进展[Z].廊坊:电磁法技术交流会议, 2007, 11.