

几种金属矿地下物探方法评述

周 平¹, 陈胜礼², 朱丽丽¹

ZHOU Ping¹, CHEN Sheng-li², ZHU Li-li¹

1. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

2. 内蒙古国土资源勘查开发院, 内蒙古 呼和浩特 010020

1. *Development and Research Centre, China Geological Survey, Beijing 100037, China;*

2. *Inner Mongolia Institute of Land & Resources Exploration & Development, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China*

摘要:物探方法与技术作为开展深部找矿工作的一种主要手段,越来越受到矿产勘查界的广泛重视与应用。地下物探方法利用现有的钻孔或坑道,对钻孔底部或外围进行进一步的勘查很有优势,更适用于深部找矿。论述了井中磁测、井中激发极化法、井中(坑道)充电法、坑道(井中)自然电位法、井中电磁法等几种常用的金属矿地下物探方法。从应用实例着手,分析和总结了各种方法在深部找矿中所发挥的优势与作用,提出应重视并重新认识地下物探技术的地位和作用,增强相关技术的研发与应用等建议,为矿产勘查、开发、开采与施工提供重要的信息指导。

关键词:深部找矿;地下物探;井中物探

中图分类号:P618.2:P631

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2009)02/03-0224-08

Zhou P, Chen S L, Zhu L L. Review of a number of subsurface geophysical prospecting methods used for metallic deposits. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(2/3):224-231

Abstract: As main tools in deep ore-prospecting, geophysical prospecting methods and technology are more and more applied in mineral prospecting industry. Among which, geophysical prospecting is quite helpful when it is used at the bottom or peripheral part of the drillhole based on existing drillhole or pitting engineering. In this paper, a number of subsurface geophysical exploration methods such as downhole magnetic measurement, downhole induced polarization method, downhole (pit) "mise-à-la-masse" method, pit (downhole) self-potential method and downhole electromagnetic method commonly used for metallic deposits; starting from solved examples, the author analyzed and summarized advantages for all these methods used in deep-prospecting, it's suggested to put more emphasis on sub-surface geo-physical technology, as well as research and development of relevant technology, which could be very important information guide for mineral prospecting, development, mining and construction.

Key words: deep prospecting; subsurface geophysical prospecting; downhole geophysical prospecting

在矿产资源形势日益严峻的背景下,深部找矿成为中国找矿工作的一大主题。向深部“第二空间”进军,寻找深部矿和隐伏矿是当前扩大资源量、增强矿产资源保障能力的主要途径之一。然而,深部(隐伏)矿往往具有埋藏深度大、信号响应微弱、找矿难度大等特点,要想获得重大突破,不仅需要投入大量的人

力、财力、物力等资源,更要充分认识到深部找矿方法与技术的地位和作用,切实加强其研发与应用。

物探方法在矿产勘查领域的应用已有上百年历史,并在其中发挥了重要的作用。现在,物探方法作为深部找矿方法的主要组成部分,其地位和作用正在不断增强。而地下物探方法作为常规物探方法在

收稿日期:2008-10-30;修订日期:2008-12-12

地调项目:中国地质调查局地质调查项目《国际勘查技术发展动态研究》和国土资源部百名优秀青年科技人才计划《地质调查关键技术发展战略研究》项目共同资助

作者简介:周平(1981-),男,研究实习员,从事地质调查战略研究。E-mail: zping@mail.cgs.gov.cn

地下的延伸,在深部找矿中,尤其是在已知矿区的底部或外围有着其他物探方法无可比拟的优势。例如,探测仪器设备更加靠近地下目标体,受地表盖层、人文噪音影响小等。因此,近年来地下物探方法备受重视,其发展和应用水平不断提高^[1-3]。

1 地下物探方法

地下物探是指将勘探仪器全部或部分置于钻孔(井)或坑道中,激发和观测地球物理场的勘探方法。它主要包括井中地球物理勘查技术和坑道地球物理勘查技术 2 类,井中地球物理勘查技术又可细分为地球物理测井与井中物探 2 个亚类(图 1)。

通常所说的狭义的地下物探技术是指井中物探方法技术,主要用于解决井(孔)周地质问题,如发现井周、井底的盲矿,确定其空间位置(包括埋深、离井距离、方位等)、形状、产状,追索和圈定矿体或矿化带的范围,研究孔间矿体的连续性问题。井中物探技术与常规的测井技术、地面物探技术虽然在方法原理上基本相同,但是在探测对象、范围、分辨率、精度等方面都存在着很大的差异(表 1)。常规测井技术虽然分辨率和精度高,但是探测范围有限,探测对象的尺度也受到限制;而井中物探在分辨率和精度方面介于常规测井与地面物探之间,且探测范围可达到井周几百米(如 200~300 m)的范围,在与地面物探数据的综合对比和解释上,也比常规测井要好。由此可见,井中物探技术是一种介于地面物探与常规测井之间的过渡性技术^[2,6]。

原则上,传统的重、磁、电、放、震等地面物探方法都可应用于地下物探中,但是,钻孔(井)或坑道中的地下温度、压力、施工等特殊条件往往会限制其应用。目前,常用的(单孔或坑道)地下物探方法有井中磁测、井中(坑道)激发极化法、井中(坑道)充电法、坑道(井中)自然电位法、井中电磁法等。

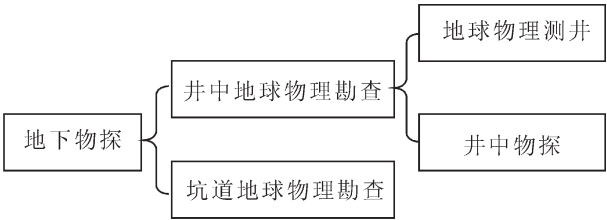


图 1 地下物探技术分类

Fig. 1 Classification of subsurface geophysical prospecting technologies

2 常用的几种地下物探方法的进展与应用

2.1 井中磁测

井中磁测以岩石、矿石的磁性特征为物质基础,主要测量地磁场垂直分量的增量或者 3 个正交分量,但仅限于在没有套管的钻孔中进行。井中磁测具有径向探测范围大、能提供各种磁场信息和良好的空间定位能力等特点,可用于测定矿体(如磁铁矿或含有铁磁性矿物的多金属矿)的走向、倾角、长度、品位,圈定钻孔打漏的矿体,划分矿岩、石英岩、火山喷发岩层等。

井中磁测应用于矿产勘查的历史较早,主要包括井中三分量测量和井中磁化率测井 2 类。井中三分量测量可同时测得磁场的 3 个互相垂直的分量: ΔZ 、 ΔX 、 ΔY 。它既能测得磁场的大小,又能确定磁场的方向,比只测 ΔZ 分量的井中单分量磁测有更好的地质效果。该方法同时亦能划分磁性岩层的界面和发现井周的磁性不均匀体,在磁铁矿勘探中具有重要的、切实有效的指导作用,尤其是在寻找井旁或井底的盲矿,确定其深度、距钻孔的距离及相对方位,由此设计下一钻孔的深度、顶角、方位角等方面,具有其他方法无可比拟的效果,应尽快恢复推广应用^[7]。磁化率测井用来研究钻孔剖面岩石、矿石的磁

表 1 井中物探技术、常规测井技术和地面物探技术对比

Table 1 Comparison of downhole geophysical prospecting technology, conventional logging technology and surface geophysical prospecting technology

技术类别	方法原理	探测范围	探测对象尺度	分辨率与精度	其 他
常规测井	基本相同	井壁及其附近 10~100cm	厘米量级	总体而言,井中物探介于	在与地面物探数据的可比性方面,井中物探要优于常规测井
井中物探		井壁及井周几百米	米量级以上	常规测井与地	
地面物探		地下几至几百千米	米量级以上	面物探之间	

化率,可提供磁法勘探包括航磁、地磁和井磁资料解释时所需的基本参数——岩石、矿石的磁化率,也可根据岩石、矿石的磁化率差异划分钻孔剖面。

正如表 1 所述,井中磁测与一般的地球物理测井是不同的。前者主要探测钻孔周围较大空间的磁性体磁场的总和,用以寻找钻孔周围及底部的磁性体并研究其产状、规模等;后者主要测量井壁小范围内岩层、矿层的一些物理参数,从而确定岩层、矿层的物理性质。井中磁测提供的井周一定空间范围内的磁性地质体的空间分布、空间磁场变化等资料,对于研究金属矿区的地质构造具有重要意义,是普查勘探铁矿和含磁性矿物多金属矿床的一种有效的井中物探方法,在实际应用中取得了良好的效果,这对于缓解中国当前所面临的铁矿石资源紧缺的形势有着重大的现实意义^[8-10]。

值得一提的是,井中磁测最大的优势在于“单孔-全方位-单解”,即单孔中的测量即可获得井周 360°范围内的信息,不存在像其他物探方法一样的多解性问题,可用于直接判定是否存在磁铁矿或含磁性矿物的多金属矿床。

2.2 井中(坑道)激发极化法

2.2.1 方法原理及应用领域

井中激发极化法以不同岩石、矿石激电效应的差异为物质基础,通过观测和研究激电效应,探查地下的地质情况。井中激发极化法作为地面激发极化法在地下的延伸,可用于评价地面激发极化异常,加

大勘探深度。

激发极化法是中国 20 世纪 50—60 年代从前苏联引进的。半个多世纪的实践证明,激电法是各类金属矿产勘查中的重要方法。与电阻率法和电磁法相比,激发极化法不仅可用于勘查电阻率与围岩差异明显的块状硫化物矿床,还能较好地勘查电阻率相差不大的浸染状(斑岩型)金属矿床,这是电阻率法和电磁法所不能比拟的。而且,对于地面激电法来说,在山区工作纯地形起伏不产生假异常,也是其特点之一。

根据供电及测量电极位置的不同,这种方法可分为井-井、井-地、地-井 3 种工作方式。井-井方式可用于追索和研究深部矿体和 2 个钻孔之间矿体的相互关系;井-地方式可沿矿体走向在地表圈定矿体的范围;地-井方式用于发现井旁或井底的盲矿体,并确定其位置。

2.2.2 应用案例和案例论评

广东凡口铅锌矿铁矿石岭区段的 CA2 孔,打钻未见到矿体,遂在孔中开展了激发极化法方位测井(图 2)。如图 2 所示,井的 S 方位在井深 400~500 m 之间出现异常,显示了“低阻高极化”异常的特征。根据该特征,在井中的 S 方位 100 m 处布设了 CA3 孔,结果在井深 425 m 处见到约 30 m 厚的富铅锌矿体^[11]。

本案例是地-井激电法在寻找孔旁盲矿体中的典型应用:通过井中观测孔旁盲矿体引起的异常响应,判定异常体的方位,推断其位置,再重新布设钻孔,从而发现深部的盲矿体。此方法可在很大程度上

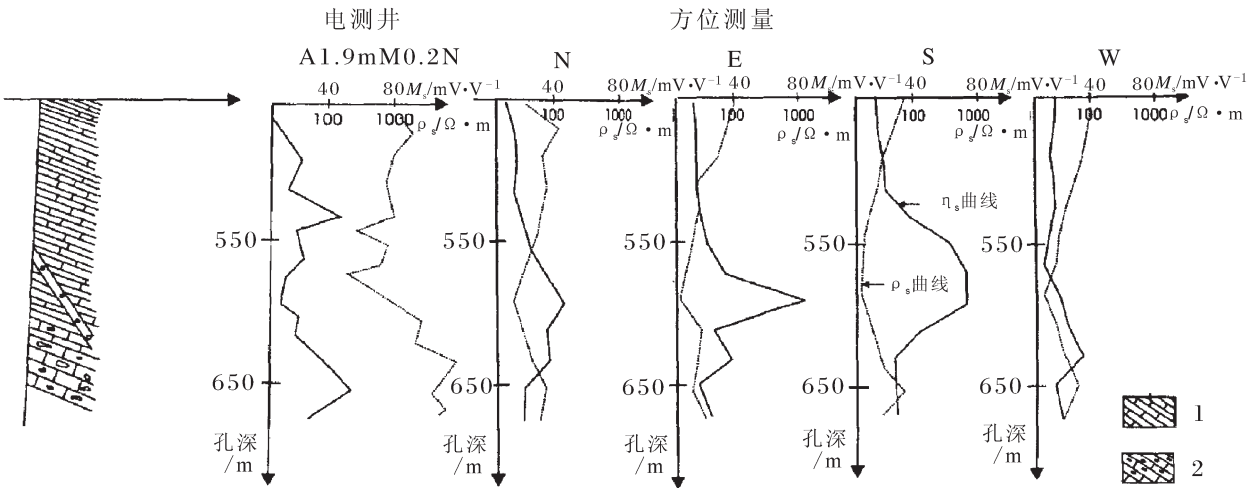


图 2 CA2 孔综合测井 I 号异常图^[11]

Fig. 2 No. 1 anomaly of comprehensive logging of CA2 borehole

1—石英砂岩、粉砂岩夹泥灰岩;2—花斑状灰岩夹泥灰岩

减少不必要的干扰因素,充分利用现有的钻孔,获取钻孔周边或井底更多的矿化信息,使勘探的深度和广度能有效地提升和扩展。

2.3 井中(坑道)充电法

2.3.1 方法原理及应用领域

井中(坑道)充电法原理同地面充电法,均以地下岩石、矿石的电导性差异为物质基础,观测充电电场的分布,并据此推断整个地下良导电地质体及其周围岩石电性的分布情况,解决某些特定的地质问题。在寻找良导电性矿体时与地面充电法的区别在于供电电极之一置于钻孔或坑道中被揭露的矿体上,也可置于矿体附近的围岩上(称之为“间接充电”)。测量可在地面或在充电钻孔或邻孔的不同深度上进行,以确定该矿体的大小与形状。

近年来,为了增强探测能力,发展了大功率的深部多源充电法。这种增强型的充电法在铜镍矿、金矿、铅锌铜矿等矿体找矿方面取得了不少成效^[4]。

2.3.2 应用案例和案例论评

位于秦岭造山带中部多金属矿带上的陕南某铜矿,2000 年在 PD4 坑中发现了平均厚度为 17.6 m 的富铜矿体,但施工到 49 号线后矿体突然消失。为追踪矿体赋存部位而进行了坑内充电法测量,结果在矿体东延部位发现了新矿体^[12]。图 3 显示的是此次测量的充电电位等值线图。

本案例是采用坑道充电法来测量已知矿体的走向延伸情况,结果通过异常识别发现了新矿体。这种坑内充电、地面测量的方法,对于解决盲矿体的埋深、延伸等问题,效果均比地面充电法要强许多。值得一提的是,现代物探强调的是多种方法技术、多种测量手段的综合,单一方法存在的不足与缺陷需要现代综合物探来弥补。此案例中便采用了综合直流充电法:利用坑道直流充电法测量已知矿体的走向延伸,结果发现了新矿体;采用坑道激电法找出了盲矿体所在的方位;再根据井中激发极化法异常判断出了井旁盲矿体所在的方位与产状。

2.4 坑道(井中)自然电位法

2.4.1 方法原理及应用领域

坑道(井中)自然电位法测量的是坑道(钻孔)中自然电场的电位或电位梯度。结合地面测量结果,坑道自然电位法能全面反映自然电位的空间分布。根据这一分布特征,研究和分析异常,阐明异常的性质、空间位置、产状要素及其形状等。理论与实践表

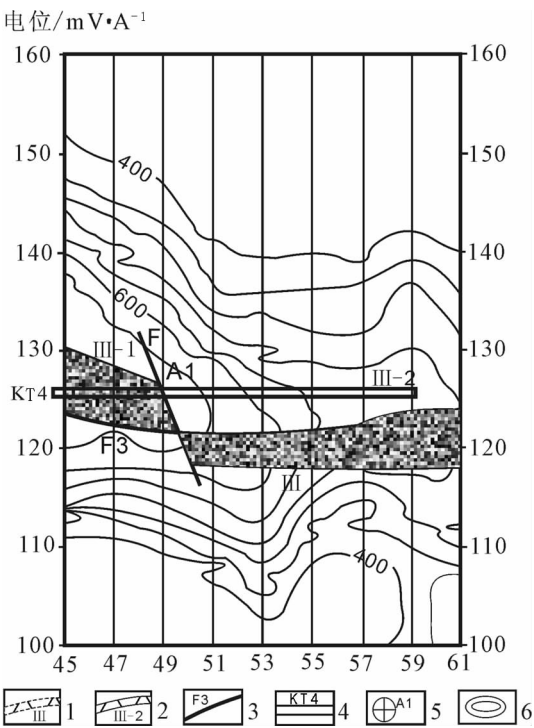


图 3 KT4 坑道Ⅲ-1 号矿体充电电位等值线图^[12]

Fig. 3 Contour map of charging potential of No.Ⅲ-1 orebody in KT4 pit

1—推断的矿(化)体;2—矿(化)体在地表的投影;3—断层;
4—坑道;5—充电点的投影位置;6—电位等值线(mV/A);
横坐标的数字为测线编号

明,巷道虽然对自然电位有所影响,但仅限于电位绝对值的变化,而不影响其分布形态,因此,坑道的存在一般不影响异常的定性分析,相反,由于其观测方式多样,可在同一坑道、坑道-坑道和坑道-地面全空间不同方位观测,可以有效地判定矿体的空间赋存方位^[13]。

2.4.2 应用案例和案例论评

在甘肃金川镍矿Ⅱ矿区的 1250 中段,地质勘探时期已探明 1 层硫化镍特富矿体,但后经水平施钻 3 个孔均未见矿,为此在 1250 中段对应的 1200 中段进行了坑道自然电位测量(图 4)。如图 4 所示,坑道右侧自然电位值明显大于坑道左侧,表明异常体赋存于坑道右侧,与地质勘探时期提交的矿体位置相符,根据负的自然电位异常性质推测:异常体应从东往西侧伏,延伸长度达 100 m,又对照已施工的钻孔分析,认为施工孔深度不够,且应在 1250 中段施下斜钻,进而确定了下一步钻孔的方位及倾角。据此

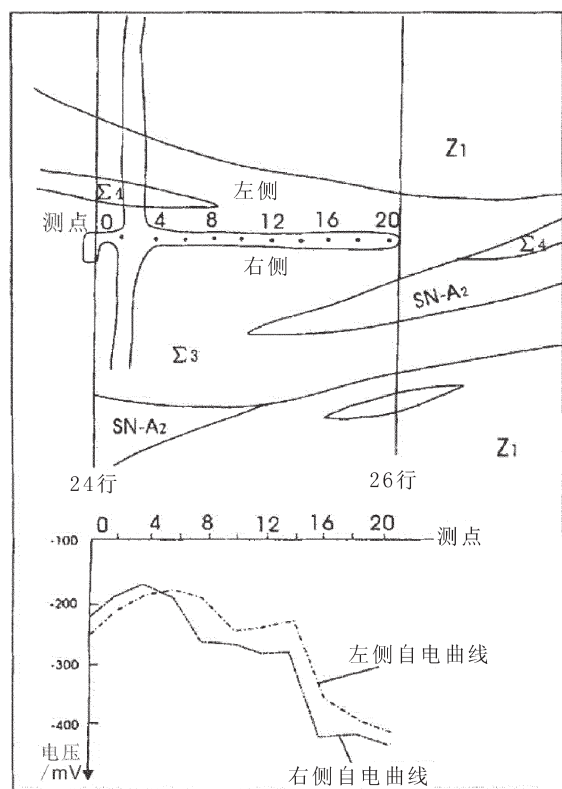


图4 金川二矿区 1200 矿段地质物探综合图^[11]

Fig. 4 Geological and geophysical map of 1200 level, Jinchuan No. 2 ore field

Σ₃—中细粒超基性岩; Σ₄—中粗粒超基性岩;

SN-A₂—硫化镍贫矿; Z₁—下震旦统斜长片麻岩、大理岩

施钻, 结果在 1250 中段至 1200 中段之间见到了近 5 m 厚的特富矿体, 矿石镍品位约 6%^[11]。

坑道自然电位法不仅可以用于寻找和发现铜(镍)(盲)矿, 还能圈定矿体边界, 确定矿体的规模^[11,13]。本案例是利用坑道自然电位法在已知矿体周边寻找遗漏的盲富矿体的典型应用, 其结果对于矿体的采掘设计、钻探施工具有重要的指导意义。

2.5 井中电磁法

2.5.1 方法原理及应用领域

井中电磁法(BHEM 或 DHEM)是应用低频简谐场或不稳定场, 以钻孔为测量线, 研究钻孔周围空间, 借以发现钻孔周边的良导电性矿体并确定其空间展布和延伸的一种方法。该方法通常以钻孔为中心, 或者在钻孔周边布置大激发回线, 通过钻孔中的探头进行接收和测量。井中探头通常由 EM 传感器和井眼定向仪组成。目前, EM 传感器有感应线圈、

场回馈感应线圈和磁通门磁力计 3 种(图 5)。场回馈感应线圈相对于普通感应线圈具有极大的增益, 在稳定性、信号保真度等方面也要强很多。磁通门磁力计是新近引入井中电磁测量的, 灵敏度和精度很高, 但尚需进一步改进和完善。

10 多年来, 在三轴测量的基础上, 井中电磁技术已得到强化与改进, 不仅实现了通电时间段内的测量, 还能在更低频率段内开展工作, 在深部矿产勘查中的优势和能力日渐显现出来——以少量的钻探成本, 获得相当低的噪声水平, 目标体的发现体积大大增加(1000 倍左右), 即使在干扰因素较复杂的近矿勘查区, 对目标体的探测能力也大为增强。目前, 井中电磁法可用于探测、圈定并描述、表征钻孔周边的良导体, 特别是应用于块状硫化物的勘探。它可以有效延伸和扩展对块状硫化物的探测, 探测孔径可达几百米, 不过这得取决于导体的大小、规模等因素。

2.5.2 应用案例和案例论评

西澳大利亚州 Leinster 地区勘查程度很高, Leinster-Wiluna 超基性岩带已开展过 TEM 测量, 对异常响应明显的地方都进行过钻探验证。随着已查明矿产资源的日渐枯竭, 为了最大限度地延长现有采矿、选矿、运输等设施的寿命, 获取最大的投资回报, 需要在本区寻找更深部位的、规模较小的矿体, 尤其是高品位的矿体。对本区开展的 TEM 测量显示, 电导性的风化层对深部镍硫化物矿体的信号屏蔽作用明显, 地面 TEM 测量的信号响应微弱, 数据解释难度大。而且, 风化层中的激发极化效应及其他地质噪声也使得辨认基岩弱异常响应信号变得困难。相对而言, DHEM 测量却显示了较好的探测效果。在普查孔中开展的 DHEM 测量, 显示了较大的穿透深度, 有助于地面 TEM 数据的解释(图 6); 深钻孔 DHEM 测量则给出了镍硫化物的确切位置和电导性信息(图 7)^[14]。

与地面 TEM 相比, DHEM 信号振幅更高、响应更强, 提供了关于目标体地质形态方面的详细信息。西澳 Leinster 案例表明, DHEM 相比于地面 TEM 优势在于: ①将接收机放入钻孔中, 从而更加接近于目标体; ②接收机在良导性的风化层以下——DHEM 探测到的是未经良导电性风化层削弱的、没有近地表地质干扰叠加的二次场信号; ③DHEM 增大了钻孔探测的有效深度和范围; ④DHEM 获取了目标体精确的地质形态信息, 因而有助于地面 TEM

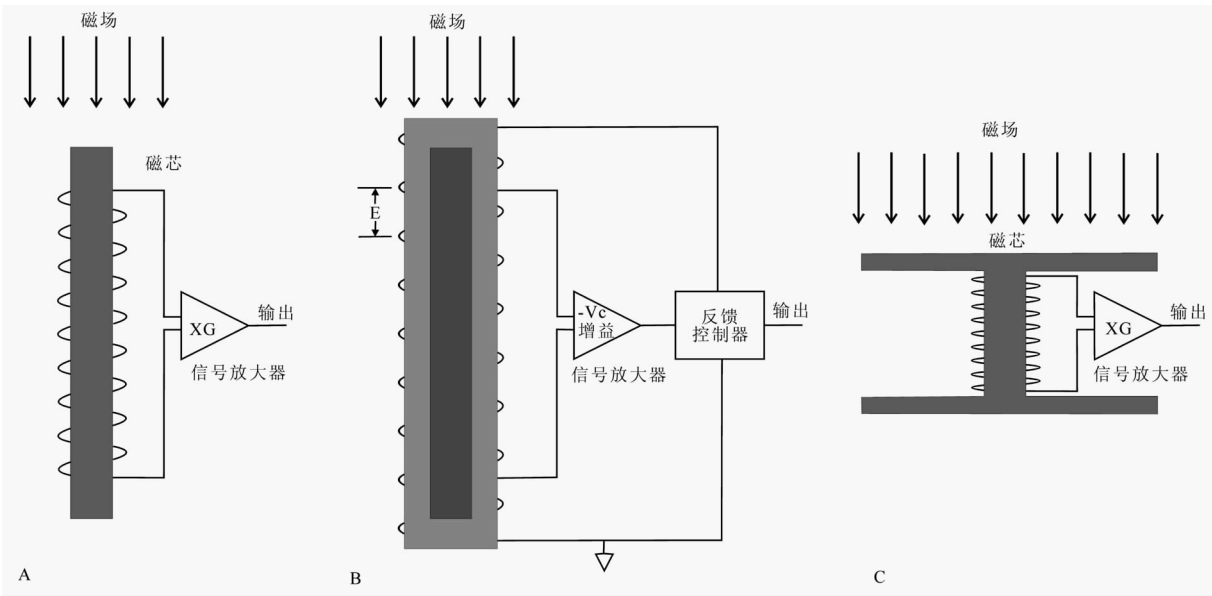


图 5 三种井中电磁传感器的示意图^[4]

Fig. 5 Sketch map of three types of downhole electromagnetic sensor

的数据解释;⑤尽管在普查孔中进行 DHEM 测量会极大地增加成本,但是测量所带来的成果和价值远胜于此。此外,Lamontagne^[2]新近报道了两则 BHEM 探测并发现深部矿体的案例——1600 m 深度的 Nickel Rim South 硫化物矿床发现案例和近矿区复杂地质背景下的 Levack Footwall 矿床发现案例,也说明了 BHEM 在探测深部硫化物矿床中的优势和作用。

3 讨 论

3.1 物探方法与技术的发展趋势

近年来,物探方法与技术主要面临着 5 个方面的挑战:一是要增强深部探测能力;二是尽可能地降低噪声电平;三是提高空间分辨率;四是提高矿床发现的成功率;五是要增强矿体圈定能力。随着现代高新技术的发展、应用和对传统技术的革新,物探技术也在不断地更新与完善:超导量子干涉技术(SQUID)的应用使地面电磁的分辨率提升了 4 倍;中子活化法使地下原位实时测量成为可能;钻孔重力测量可获取孔内和孔外地质体的真实密度;阵列系统(如 Titan24)可获取关于地下深部构造的钻前信息,也可用于深部直接找矿^[1]。

目前,物探技术的发展正经历着观念上的重大

转变——要将整个地球物理综合信息融入到一个通用的地质模型中。地面地球物理数据和钻孔(井)中的原位岩石物理数据是构建此类模型最基本的信息,辅以其他数据即可生成通用地质模型,实现 3D 可视化综合解释。这种量化的综合反演不仅可生成地球物理图件,更重要的是,还能建立与打钻、岩石物理性质和地球物理数据相一致的模型,为勘探、发现、圈定、评价和开采矿产资源提供重要信息。因此,应该注重地面和地下物探方法技术的发展与应用,最大限度地获取钻孔(井)或坑道中的原位物理场信息,建立通用地质模型,以提高深部矿和隐伏矿的预测和找矿效果。

3.2 地下物探方法的优势及其应用效果

把物探仪器下放到钻孔(坑道)中进行探测,相当于减小了物探工作的深度,并且免除了地形、覆盖层等干扰因素的影响。利用井中物探,可得到地层与矿体的有关物理参数,探测范围可达数百米甚至更远。对于埋藏较深的隐伏矿,深钻的成本会大幅度提高,钻探的命中率也较低。开展井中物探,可以避免矿体近在咫尺而与钻孔失之交臂带来的风险。可以在钻孔内开展的井中物探方法有很多,涉及重、磁、电、震、放五大种类,每一类又有多种方法。因此,开展井中物探可获得大量有价值的深部找矿信息。

地下物探方法虽然在方法原理上与其他物探方法基本相同,但是,相对于航空物探和地面物探而言,地下物探方法在深部矿和隐伏矿找矿中,尤其是在已知矿区的外围和底部有其独特的优势^[11]:①场源或接收装备置于地下深处,使仪器可从不同深度、不同方位接近或穿过矿体,从而有效地提高了物探方法的探测深度和发现深部矿的能力。②避免了地面物探中地表覆盖物对场源吸收的影响,降低了已知工矿区等人文噪音的干扰。③将场源置于井(坑)中的已知矿体上测量,可追踪矿体的平面展布范围和空间立体产状。④在多孔中相互对测,达到发现井间盲矿的目的。

就近年来国内开展的地下物探找矿效果来看,成果喜人:在青海昆仑山肯德可克金矿区,利用地-井激发极化法、地-井 TEM 和井-地充电法发现的孔旁与孔底异常,发现了孔旁与孔下方方的盲主矿体;在青海督冷沟钼矿和锡铁山铅锌矿区也发现了有找矿价值的异常;在新疆小热泉子铜矿区,依据地-井 TEM 确定的孔旁异常发现了盲矿体;在新疆维权铜矿区,地-井和井-井电磁波透视法的层析成像结果清晰地反映了矿层的形态和延展情况,等等^①。

3.3 需注意的问题与不足

虽然近年来国外取得了很大的进步,如高灵敏度的磁通门磁力计开始应用于地下物探测量、钻孔重力测量也获得突破等;国内应用地下物探技术寻找深部矿、隐伏矿也卓有成效,但是,由于井(孔)深部特殊的温压条件、井(孔)的空间尺度有限等因素,一些地面物探中相对成熟、灵敏度和精度较高而较为笨重的仪器设备难以放入井(孔)中,如中子活化测井设备因“块头”大而难以放入井中进行测量。

其二,人员问题。由于中国地勘体制改革等历史原因,再加上野外勘探工作条件较为艰苦,工资和福利待遇也比较低,物探专业人员大多不愿从事相关的野外勘查工作,造成了专业技术人员“青黄不接”的局面。

其三,仪器装备问题。地下物探仪器装备落后,也制约着地下物探方法的应用和推广。例如,国内应用较为成熟和普遍的井中磁测方法,由于国产仪器的分辨率和精度较低,尚不能达

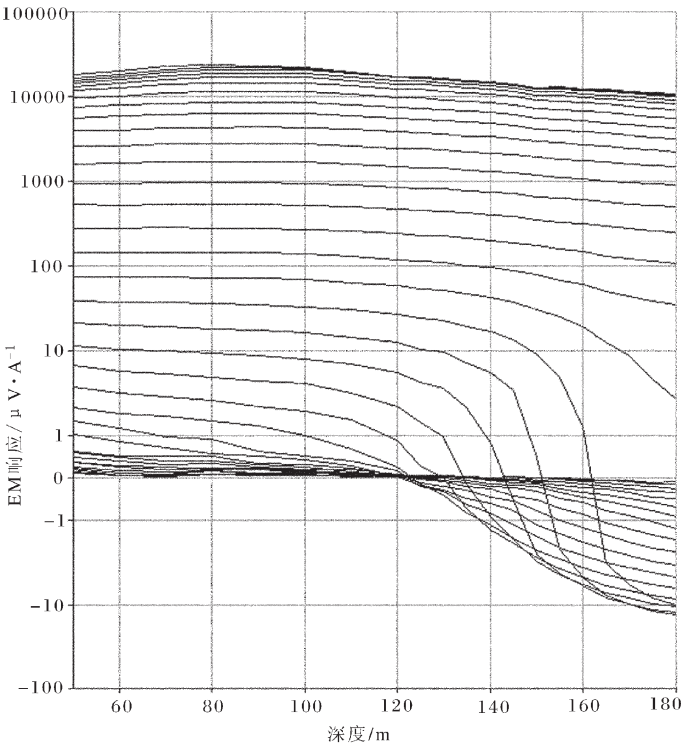


图 6 普查孔 DHEM 测量剖面^[14]

Fig. 6 Profile of DHEM survey in reconnaissance borehole

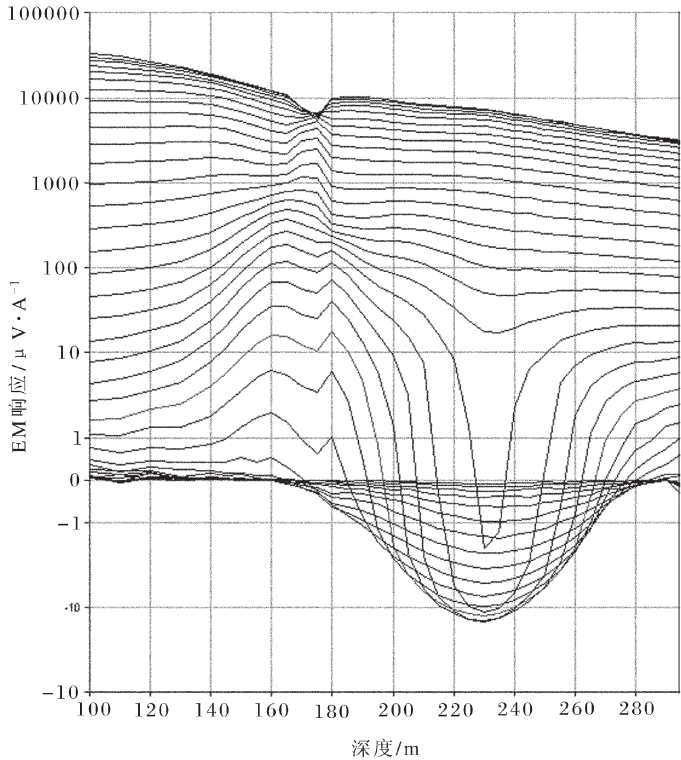


图 7 深钻孔 DHEM 测量剖面^[14]

Fig. 7 Profile of DHEM survey in deep drillhole

到准确划分含磁性矿物的要求,因此还需要与其他方法,如井中地磁法联用,发挥各自的优势,取长补短。

此外,地下物探技术虽然可获得大量有价值的深部找矿信息,但是,国内普遍对地下物探技术的认识和重视程度还不够,使用较少,效率也不高,地下物探技术发展缓慢,与国际先进水平的差距有日趋增大的发展趋势。

需要注意的是,在深部找矿阶段,为了发现深部或厚覆盖层以下微弱的信号响应,增强探测能力,国内外都在大力发展和应用大功率(多源)发射仪。然而,大功率(多源)仪自身存在着笨重、耗能、投入大、操作不便等问题。是否采用大功率设备,需要因地制宜,视探测范围和探测对象而定,不能盲目应用,以避免资源浪费。

4 结论与建议

本文所述的井中磁测、井中激发极化法、井中充电法、坑道自然电位法等均是基于拉普拉斯方程的位场方法,在中国的应用较为广泛。井中电磁法是一种基于矢量方程的电磁感应方法,在西方发达国家,如加拿大、澳大利亚等矿业强国备受推崇,而且应用效果良好。这些国家地势平坦、地形干扰小等是其能够得以广泛应用的一个重要因素。而中国多山、多丘陵,地势起伏较大,开展井中电磁法勘探时施工困难要大一些,这在一定程度上制约了它的应用。

另外,还有基于 Maxwell 方程的井中电波(透视)法、井中声波法等,也属于地下物探的范畴,在金属矿找矿中也有应用。本文所述的大多是基于单孔的井下测量方法,在实际应用中还有多孔、跨孔井下测量。限于篇幅,对此内容本文未作一一评述。

地下物探技术最大的优势在于激发源或测量探头靠近目标体、免除地形影响、有效探测深度增加、高分辨率和高精度等,在深部矿和隐伏矿,尤其是在已知矿区外围和底部找矿中有着广阔的应用前景。

重视并重新认识地下物探技术的地位和作用,发挥政府的主导作用,联合国内各级地质调查机构、大学、科研院所和相关矿业公司开展地下物探方法的攻关,增强研发与应用的力度;重视多种方法的综合研究与应用,发挥各自的优势,取长补短,如井中磁测与井中电磁法联用;以大项目或大计划为依托,加紧培养和锻炼地下物探专业人员,以弥补当前人员短缺的问题,如中国大陆科学钻探工程;重视

地下物探资料与地面物探、航空物探数据的对比与解释,开展综合物探,构建综合地质模型,以提高矿床发现率和打钻成功率,降低开发风险,为矿产勘查、开发、开采与施工提供重要的信息指导。

在金属矿勘查中,建议将地下物探测量列为一项标准纳入地质勘查规范,最大限度地利用有限的钻孔资源发掘地下潜藏的地质矿产信息,以增强地质勘查效果,节约勘查成本。

致谢:在本文撰写的过程中,中国地质大学(北京)蔡伯林教授给予了悉心的指导和帮助,国土资源部信息中心吴其斌研究员提出了宝贵的修改意见和建议,特此表示衷心的感谢!

参考文献

- [1]McMonnies B, Gerrie V. Ground geophysics and borehole logging—a decade of improvements[M]//Mikereit B. Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration. 2007:39–49.
 - [2]Lamontagne Y. Deep exploration with EM in boreholes[M]//Mikereit B. Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration. 2007:401–415.
 - [3]何永盛,周瑞华,张文军,等.井中物化探方法在喀拉通克硫化物铜镍矿床中的应用效果[J].新疆有色金属,2004,(1):6–8.
 - [4]刘国栋.矿产资源调查的物探方法和仪器设备[J].物探与化探,2007,31(增刊):35–52.
 - [5]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.
 - [6]曹辉.井中地球物理综述[J].勘探地球物理进展,2004,27(4):235–240.
 - [7]张雷,苑守成,罗先中.井中三分量磁测找磁铁矿中应用的一个实例[J].2007, 31(3):202–204, 210.
 - [8]张丽霞.井中磁测技术发展述评[J].工程地球物理学报,2007,4(4):375–380.
 - [9]范志雄,陈石菱,舒秀锋.利用井中磁测异常确定磁性体走向的方法[J].地质找矿论丛,2006,21(增刊):160–161.
 - [10]石教波.综合找矿在大冶铁矿深部勘查中的应用[J].资源环境与工程,2007,21(增刊):17–20.
 - [11]徐振超.地下物探在有色金属矿山寻找隐伏矿体的应用[J].矿产与地质,2003,17(1):37–42.
 - [12]樊金生,周云海,王备战,等.直流电法在陕南某铜矿深部找矿中的应用及效果[J].矿产与地质,2006,20(4/5):528–533.
 - [13]敬荣中,鲍光淑,周屹.坑道综合物探方法在生产矿山中的应用[J].中南工业大学学报,2000,31(1):4–8.
 - [14]Stolz E M. Electromagnetic methods applied to exploration for deep nickel sulfides in the Leinster area, Western Australia [J]. Exploration Geophysics, 2000, 31(1/2):222–228.
- ① 张伟.中国地质调查局组织开展的深部找矿方法技术研究——成果、现状和近期计划.2007.