

瞬变电磁法在羊拉铜矿坑道找矿预测中的应用

杨明国, 杨 震

(中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074)

摘要: 随着已知矿产储量的不断减少,在矿山外围及深部采用以矿找矿方法成为延续矿山服务年限的重要手段。在矿山已有坑道内进行相关物探工作具有投入少、见效快等优点。瞬变电磁法(TEM)因其工作装置的灵活性、快速性和有效性逐渐受到重视。文章通过以小线框、大电流的瞬变电磁法在羊拉铜矿已有坑道底板进行勘查工作,结果显示该方法应用于坑道内效果明显,为以矿找矿提供了新的途径。

关键词: 瞬变电磁;坑道底板;羊拉铜矿;云南省

中图分类号: P631.325 **文献标识码:** A

0 引言

随着矿山开采服务年限的增长,已知储量逐渐枯竭,演化成危机矿山。在矿山外围及深部以矿找矿的方法成为矿山新增资源储量的重要途径。深部找矿除了加强地质资料的综合分析之外,地球物理方法的应用成为获取深部物性信息的重要手段。

目前,进行资源勘查的地面地球物理方法众多,如直流电法、激发极化法(时间域、频率域)、可控源音频大地电磁法、瞬变电磁法等^[1]。由于坑道内环境的特殊性,涉及接触式供电、接收测量装置安排等问题(如:电极、导线的布设距离及方位等),如直流电法、激发极化法、可控源音频大地电磁法等因方法的限制难以在坑道内进行工作。而瞬变电磁法由于本身装置的特殊性及可变性,这一方法可由地面勘查拓展到坑道内应用成为可能。近年来该方法在煤矿坑道内超前探水应用较广泛,在金属矿坑道内应用还不多。本文将通过 CUGTEM-8 矿用瞬变电磁仪在羊拉铜矿坑道内找矿应用实例,证实瞬变电磁法在矿山坑道里进行找矿预测的有效性。

1 坑道内瞬变电磁法的工作原理

瞬变电磁法(TEM)是一种时间域的电磁探测方法,是以地壳岩(矿)石的导电性与磁性差异为基础,根据电磁感应原理,利用发射线圈向地下发送一次脉冲电磁场,地下介质在一次脉冲电磁场的激励下产生随时间而衰减的二次场,在一次脉冲磁场的间隙期间,接收线圈接收二次电磁场,并研究二次场的空间与时间的分布规律,从而寻找地下矿产资源或解决其它地质问题的一种时间域电磁法^[1-3]。

坑道内瞬变电磁法与地面瞬变电磁法工作原理基本相同^[4],但他们也有区别。地面瞬变电磁法勘查时电磁场呈半空间分布,坑道内瞬变电磁法属于全空间效应的勘探方法^[5-6]。由于电磁场在空气中的传播速度比介质中传播的速度快得多,当一次矩形脉冲供电结束时,一次磁场的剧烈变化首先在发射线圈所在位置的坑道底板、顶板、两侧帮这样一个有限空间环境内形成感应电流,在发射线圈的法线方向上感应的电流最强,随时间推移,感应电流逐渐向外扩散,其强度逐渐减弱,分布趋于均匀。研究结

收稿日期: 2016-04-08; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 云南铜业集团项目“西藏尼木铜多金属矿和云南迪庆羊拉铜矿找矿评价研究”(编号:2010026410)资助。

作者简介: 杨明国(1961—),男,工程师,主要从事地球物理勘查方面研究。E-mail:mgyang@163.com

通信作者: 杨震(1988—),男,在读博士研究生,矿产普查与勘探专业,主要从事矿产勘查与数学地质方面研究。通信地址:湖北省武汉市洪山区鲁磨路388号,中国地质大学(武汉)资源学院;邮政编码:430074;E-mail:yzcug2013@163.com

果表明,任一时刻巷道顶底板导电岩层中涡旋电流在巷道内产生的磁场可以等效为一个水平环状线电流的磁场(图 1)。在发射电流刚关断时,该环状线电流紧挨发射回线,与发射回线具有相同的形状。随时间的推移,该电流环向外扩散,并逐渐变为圆电流环,等效电流环像从发射回线“吹”出来一系列的“烟圈”,因此将巷道顶、底板导电岩层中涡旋电流向外扩散的过程形象地称为“烟圈”效应^[7]。不同物性的地质体在“烟圈”效应的激励下产生不同强度的二次场。

坑道内采空空间和没有矿化的围岩相对于矿化、含矿地质体而言是高阻介质,电磁波易于穿透,克服了直流电法那样的高阻屏蔽,产生相对强的二次场被接收线圈接收。与地表半空间条件下有所区别的是,坑道里接收线圈接收到的二次场信号是发射线圈所在位置全空间介质的电性综合反映。因此在解释成果图件时,特别要注意发射线圈的法线方向的地质资料综合分析^[8]。

2 坑道内瞬变电磁法勘探的工作方法

坑道瞬变电磁法勘探与地面瞬变电磁法勘探一样,采用的仪器和采集数据的工作形式基本相同。

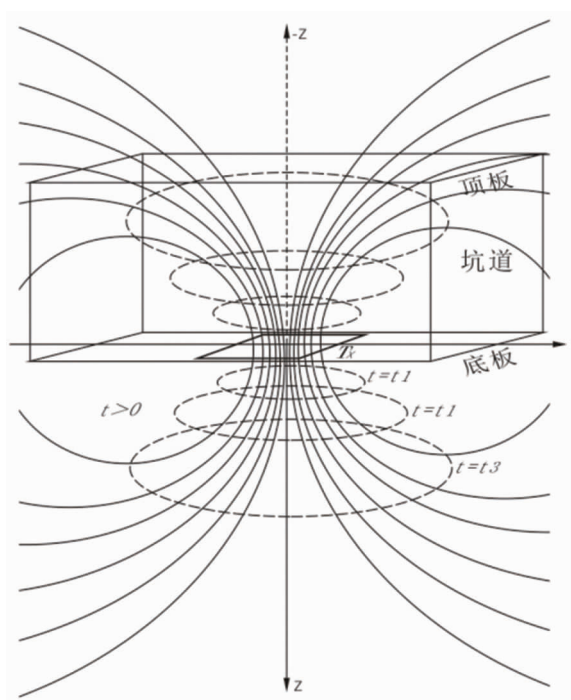


图 1 瞬变电磁法工作原理

Fig. 1 Working principle of TEM

金属矿坑道内瞬变电磁法工作时,一般是将发射线圈和接收线圈以重叠回线的方式沿坑道底板水平放置并移动来探测坑道底板下方的地质体电性分布特征,或是将重叠回线装置直立放置,来探测坑道侧帮方向的地质体电性分布特征,或是在坑道迎头以一定角度密集点距工作法来探测迎头前方的地质体电性分布特征。与地面工作相比,坑道瞬变电磁法具有速度快、工作量小、成本低的特点。线圈边长减小,体积效应减小,可以提高横向及纵向的勘探分辨率。但受发射线圈和接收线圈边长变小的影响,发射信号强度和接收信号的灵敏度降低,直接影响勘探深度。当回线边长大小一定时,匝数愈多,发射功率也越大,接收回线感应信号的灵敏度也越高,可以有效地提高勘探深度,实际工作中多采用多匝矩形回线组合进行数据采集^[9]。

3 坑道瞬变电磁法勘探应用实例

3.1 矿区地质概况

羊拉铜矿夹持于羊拉断裂和金沙江断裂之间,紧邻金沙江西侧,矿区内地层的展布情况很大程度上决定了矿体的分布,而地层产状受褶皱形态控制。矿区内岩浆活动活跃,由北向南主要分布有贝吾岩体、里农岩体、路农岩体和加仁岩体等花岗岩侵入体。此外,矿区内分布有少量的花岗斑岩、花岗细晶岩及英安斑岩等。与 4 个主要的花岗岩体相对应,羊拉矿区被划分为贝吾、里农、路农和加仁等矿段(图 2),其中里农和路农矿段为该矿床的主矿段。羊拉矿区的绝大部分矿体产于泥盆系中、上统里农组和下统江边组中顺层的透辉石矽卡岩或矽卡岩化粉沙质片岩中。

3.2 岩(矿)石物性

羊拉铜矿主要赋矿层位为泥盆纪地层,为一套碳酸盐岩、碎屑岩、火山岩组成的沉积变质组合,主要岩性有大理岩、变质石英砂岩、砂质绢云板岩、绢云石英片岩夹角闪安山岩。与中酸性岩体接触带附近的碎屑岩具角岩化,碳酸盐岩发生矽卡岩化。不含矿的大理岩、硅化大理岩、透辉石石英斜长石绿帘石矽卡岩等电阻率在 $6\,370 \sim 23\,305\,\Omega \cdot \text{m}$ 之间,含矿的透辉石透闪石矽卡岩、变质砂岩、大理岩等电阻率在 $754 \sim 2\,366\,\Omega \cdot \text{m}$ 之间,电阻率区别非常明显,具备进行瞬变电磁法探矿的物性基础。(据“云南迪庆羊拉铜矿区找矿评价研究”项目实测)。

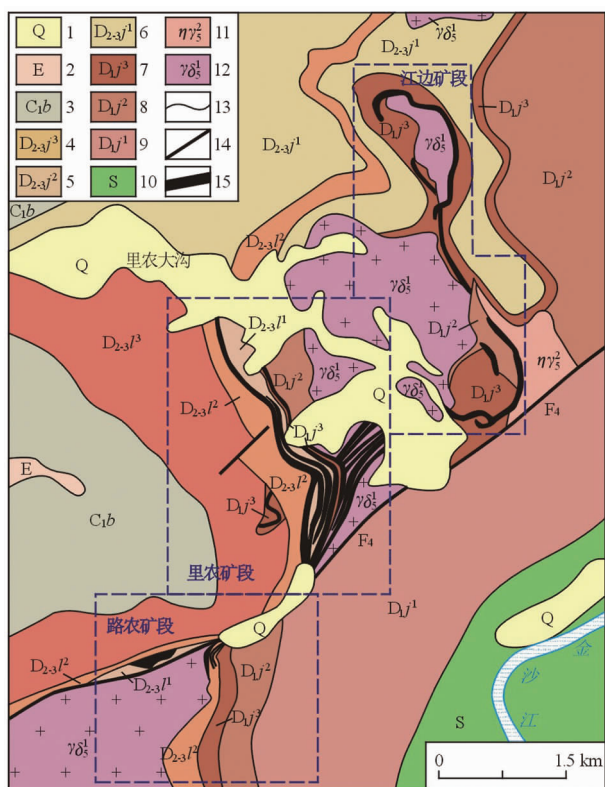


图2 羊拉铜矿矿区地质简图

(据云铜迪庆公司资料, 2004)

Fig. 2 Geological sketch of Yangla copper deposit

1. 第四系; 2. 第三系; 3. 下石炭统贝吾组;
4. 中-上泥盆统里农组第3段; 5. 中-上泥盆统里农组第2段;
6. 中-上泥盆统里农组第1段; 7. 下泥盆统江边组第3段;
8. 下泥盆统江边组第2段; 9. 下泥盆统江边组第1段;
10. 志留系; 11. 燕山期二长花岗岩; 12. 燕山期花岗闪长岩;
13. 地质界线; 14. 断层; 15. 矿体

3.3 应用实例

羊拉铜矿 3150 坑道目前作为矿山的运输巷道使用, 本次选取 3150 坑道的局部地段开展瞬变电磁法工作, 设计长度 300 m, 含已探明未采矿(脉)体地段(图 3)。在该地段部署瞬变电磁法工作, 目的之一验证瞬变电磁法坑道底板勘探方法的有效性, 目的二是对找矿优先靶区深部电性分布特征的深入了解。

(1) 实际工作方法

本次坑道瞬变电磁法有效性试验研究, 使用 CUGTEM-8 智能深部勘查瞬变电磁仪, 采用重叠回线装置形式, 设计测点点距为 3 m, 发射回线和接收回线边长为 1.5 m 的矩形, 重叠回线装置沿坑道底板移动。通过试验确定发射回线为 8 匝线圈, 接收回线为 6 匝线圈, 发射电流 100 A。为避免其它电磁波干扰, 坑道内瞬变电磁法工作时, 利用矿山停

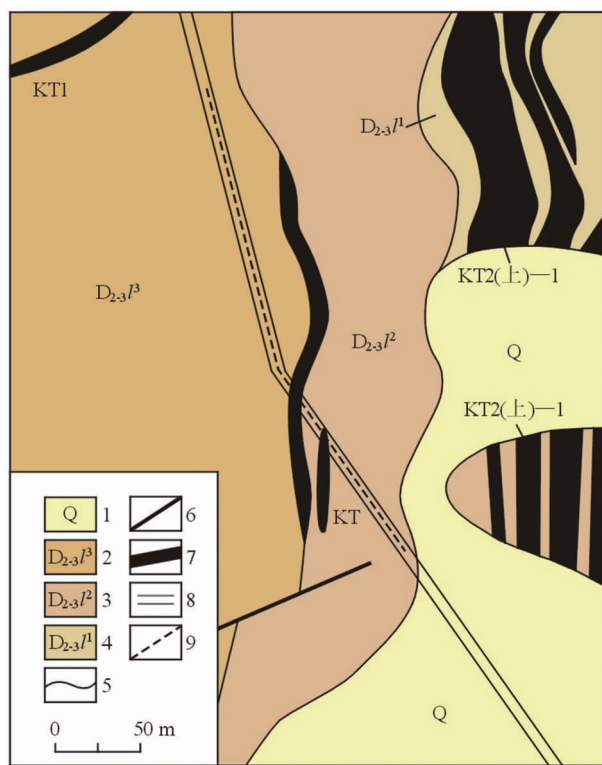


图3 瞬变电磁工作位置图

Fig. 3 Operation position diagram of TEM

1. 残坡积及滑坡体; 2. 变砂岩夹大理岩; 3. 厚层大理岩;
4. 变砂岩夹砂卡岩; 5. 地层界线; 6. 断层; 7. 矿体
8. 坑道; 9. 瞬变电磁剖面

电检修时间进行。

(2) 数据处理及异常分析

实测数据选取合适的滤波方法进行滤波处理, 以消除随机电磁干扰及仪器可能的噪声, 使得滤波处理后的时间道集合曲线协调一致性好且没有相邻道交叉现象(图 4)。将滤波后的时间道数据反演计算视电阻率, 形成视电阻率剖面图(图 5)。

坑道全空间环境下的底板瞬变电磁工作方法, 可视的干扰因素来自于顶板, 坑道内底板之上的运输轨道及供电、通风等设施, 这些人造的设施紧邻发射回线, 它们产生的电磁干扰局限于浅表的瞬间激励和消退, 各测点的干扰影响又具一致性, 且因瞬变电磁法工作时发射与接收的关断时间差, 使得这些人造设施造成的干扰信号与地质体激励的真实信号相比较可以忽略, 专注于装置回线法线方向的地质资料分析, 判断异常的性质。

图 4 是坑道底板瞬变电磁法采集数据处理的多测道图。多测道图反映各测点采集数据完整, 各测道曲线的协调一致性反映了数据质量高、可靠性强。

图 5 是坑道底板瞬变电磁法所采集数据处理后

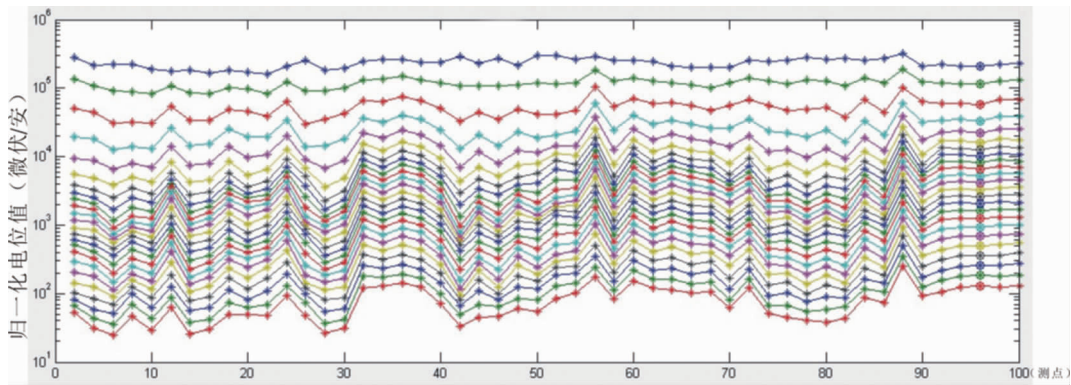


图 4 坑道底板瞬变电磁多测道图

Fig. 4 The transient electromagnetic multichannel map of tunnel floor

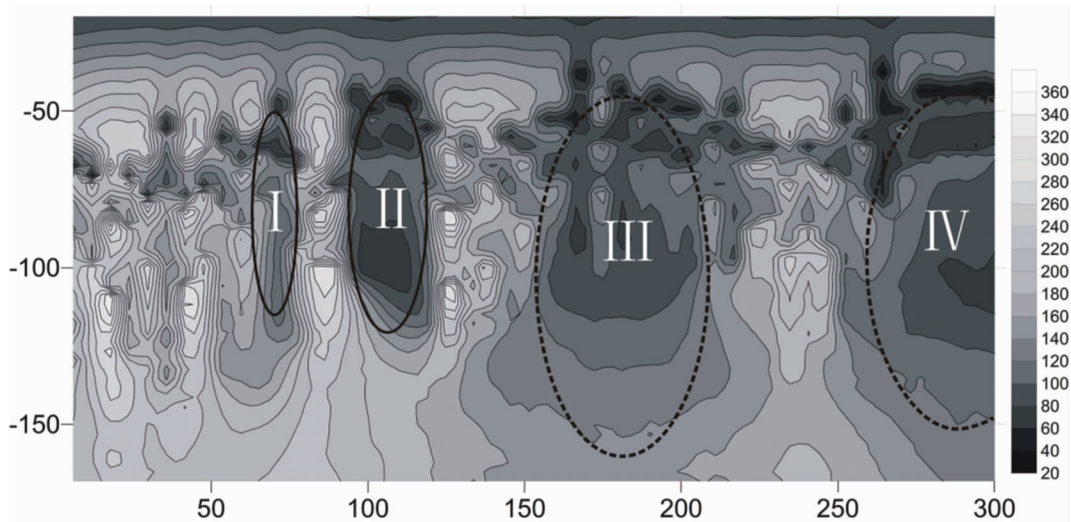


图 5 坑道底板瞬变电磁电阻率剖面图

Fig. 5 The transient electromagnetic resistivity section of tunnel floor

的视电阻率剖面图。电阻率低阻、高阻分区明显,存在 4 个低阻异常区。根据全空间法线方向的解释原则和 3150 坑道上部已知的地质资料综合分析认为: I、II 号低阻异常与已知未采矿脉 KT1、KT1-1 位置完全吻合, I 号异常水平方向范围较窄、规模有限。

分析认为 KT1 号矿脉下延到 3150 坑道水平高度位置已处于逐渐收窄过程,矿脉下延深度有限; II 号异常形态明显独立,且规模比 I 号异常大,反映 KT1-1 矿脉向底板下方延伸依然稳定。III、IV 号异常形态范围较 I、II 异常规模大,且 IV 号异常受设计剖面长度的限制形态表现不完整。已有地质找矿资料表明,地表至 3150 坑道水平高度未发现矿脉存在,而瞬变电磁电阻率剖面图所示 III、IV 号异常均具有很好的规模和向下延伸的趋势,认为这是两个隐伏于 3150 坑道底板下方的矿体所致异常,具有非

常好的找矿远景。

4 结论

(1)小线框大电流、多匝接收与发射重叠回线装置的瞬变电磁工作方法在矿山坑道勘探找矿是非常有效的,该方法灵活、装置轻便、功率较大、施工简便、工作效率高,有效勘探深度可以达到 170 m,是矿山寻找接替资源量的有效方法之一。

(2)坑道里进行瞬变电磁法勘探,完美体现了瞬变电磁法的特点,即对低阻体有非常高的灵敏度反应,高阻地质体又易于穿透,能够清晰地探测坑道底板下方的物性差异及相对位置,且分辨率高、多解性少。

(3)瞬变电磁方法本身的工作特点即发射一次

电磁场和采集二次电磁场数据之间存在关断采集时间差,时间差的存在造成浅表干扰信号无反应,这一方法本身的地表劣势转化为坑道里的优势,即坑道内轨道及管线的影响因时间差的存在,保证停电作业时它们的干扰影响可以忽略不计。

参考文献:

- [1] 张胜业,潘玉玲.应用地球物理学原理[M].武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [2] 朴化荣.电磁测深法原理[M].北京:地质出版社,1990.
- [3] 方文藻,李予国,李貅.瞬变电磁测深法原理[M].西安:西北工业大学出版社,1993.
- [4] 牛之琰.时间域电法原理[M].长沙:中南大学出版社,2007.
- [5] 于景邨.矿井瞬变电磁法勘探[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- [6] 李貅.瞬变电磁测深的理论与应用[M].西安:陕西科学技术出版社,2002.
- [7] 王华,梁庆九.瞬变电磁数据采集、解释软件系统研制[J].工程地球物理学报,2005,2(6):425-430.
- [8] 杜木民,李玉宝.井下瞬变电磁探水技术初探[J].河北煤炭,2006(3):1-3.
- [9] 阴健康,闫述,陈明生.瞬变电磁法小发射回线探测装置及其应用[J].煤田地质与勘探,2007,35(3):66-68.

Application of transient electromagnetic method to ore prediction in the tunnel of Yangla copper deposit

YANG Mingguo, YANG Zhen

(China university of geosciences (Wuhan) institute of resources, Wuhan 430074, China)

Abstract: Along with the continuous reduction of the known mineral reserves the method of prospecting unknown ore according the known ore has been applied to prospecting in the periphery and to depth of the known ore deposit and become an important mean to extend the service life of mines. Geophysical exploration in the existing tunnel of mines has the advantages of a little investment and quickly obtaining effect. Transient electromagnetic method (TEM) is flexible, rapid and effective and is gradually has been paid much attention. Small line frame and large current TEM survey is carried out at the existing tunnel floor of Yangla copper deposit and the result shows that it is quite effective and provides a new way for ore prospecting.

Key Words: TEM; tunnel floor; Yangla copper deposit; Yunnan province