

doi: 10.11720/wtyht.2017.4.22

卜传新,肖新星,王红,等.消除全空域效应:原理、装置与应用实例[J].物探与化探,2017,41(4):724-729.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.22

Bu C X, Xiao X X, Wang H, et al. The elimination of the whole airspace effect: Principle, apparatus and application example[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(4): 724-729. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.22

消除全空域效应:原理、装置与应用实例

卜传新,肖新星,王红,吴颀

(湖南省有色地质勘查局 二四七队,湖南 长沙 410129)

摘 要:如何消除“全空域效应”是电磁勘探中的难题,国内外学者试图从基础理论、数据处理、测线布设等方面入手来解决,但存在求解条件苛刻、计算繁杂、技术实现困难、成本高等问题。文中提出了用屏蔽装置直接消除全空域效应以逼近地面式测量的新思路,研制了相应的装置,给出了使用方法和应用实例,取得了良好的实践效果。

关键词:全空域效应;矿井瞬变电磁法;屏蔽装置;地面式测量

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)04-0724-06

0 引言

用电磁法进行“攻深找盲”是国内外危机矿山勘查找矿的一般技术路线,具有投入少、见效快、效率高的特点,特别是井下物探,离探测目标体近、信噪比强、人为干扰小等,可大大降低勘探的盲目性。因受巷道环境限制,目前使用的直流电法、音频电透技术、探地雷达、矿井瞬变电磁法等存在各种各样的问题。矿井瞬变电磁法具有众多优势,能穿透高阻屏蔽层,有较好的纵横向分辨能力和对低阻地质体的敏感度,井下工作时适应性强、信噪声比高、探测深度大、体积效应和旁侧影响小,应用广泛。然而,在实际工作中,“全空域效应”和“巷道效应”严重影响了该方法的数据采集、信息处理和勘探效果,甚至造成目标体预测的错误,消除“全空域效应”和“巷道效应”,对于提高目标体的预测精度,以及在隧道施工、矿山开采中对水、不良地质灾害的超前预测具有极其重要的意义。

对于“全空域效应”的消除,国外报道的成果较少,而国内相关研究十分活跃,取得了不少理论成果。在理论研究方面,于景邨^[1-2]导出了全空间瞬变电磁场和全空间视电阻率表达式,简要分析全空

间瞬变电磁场特征,建立了时间—深度换算数学模型,研究了巷道内各种人文设施产生噪声的瞬变电磁响应特征;杨海燕、邓居智、张华等^[3]研究了矿井瞬变电磁法全空间视电阻率解释方法,推导出全空间晚期和全区视电阻率公式;代刚、漆泰岳、谭代明^[4]将瞬变电磁法和电磁场的有限元计算方法联合起来,运用于地下洞室全空域瞬变电磁法探水数据反演计算;谭代明、漆泰岳^[5]以数值模拟方法研究全空间感应涡流的传播规律,及瞬变响应与围岩电阻率和时间的函数关系;梁庆华^[6]研究矿井瞬变电磁法的倍数现象,推导出矿井瞬变电磁法深度估算公式,对矿井瞬变电磁法数据处理软件及三维可视化进行研究;蒋宗霖、于景邨、孙伟涛^[7]建立井下瞬变电磁场模型,研究矿井低阻体对电磁场全空间分布的影响规律,提出全空间地质体校正系数;杨海燕^[8]对全空间介质中的巷道影响以及典型地质—地球物理模型的瞬变电磁响应进行了研究;李智文^[9]研究了几种矿井常见干扰噪声的瞬变电磁特征,提出相应的处理方法,指导矿井瞬变电磁法勘探的成果处理。

在技术方法方面,李貅^[10]讨论了地表发射、地下接收装置的难点,建立了相应的观测系统研究隧道中瞬变电磁法的传播规律,建立了隧道探测的瞬

收稿日期: 2016-10-28

作者简介: 卜传新(1963-),男,湖南浏阳人,高级工程师,主要从事地球物理方法地质找矿、工程勘察、地质灾害预测预报等工作。

Email: 1138887377@qq.com

万方数据

变电磁法快速成像方法和工作方法;岳建华、杨海燕、胡博^[11]分析了瞬变电磁场在均匀介质中的传播规律;胡兵、于景邨、刘振庆等^[12]模拟低阻屏蔽体瞬变电磁响应特征,结果表明:沿探测方向浅部存在低阻体或低阻薄层时,深部低阻体的瞬变电磁响应会受到表层的低阻屏蔽而被压制或掩盖,在感应电位多测道剖面图上表现为单一低阻体的响应形态及规律,使得隐伏在浅部低阻干扰体背后的目标体难以识别和分辨。

在仪器设备方面,岳建华、甘会春、刘树才^[13]就“矿井瞬变电磁法应用中多匝回线自互感、视电阻率换算、全空域效应”等问题进行了系统分析与总结;杨海燕、岳建华、刘志新^[14]研究了多匝回线装置电感效应,推导了线圈互感信号振幅的表达式以及单匝和多匝回线的电感公式,为瞬变电磁早期场的附加效应进一步研究打下基础和提取早期数据的研究提供参考;闫述、陈明生等^[15]研究了小线圈应用于井下探测的可行性以及探测深度等问题,提出“小线圈能探测大深度”的观点。

1 存在问题

矿井瞬变电磁法存在的主要问题有:①全空域效应、多解性、探测深度计算公式、探测深度取值的原则等研究亟待深入;②缺乏单一三维地电模型和多个三维地电模型的全空间瞬变电磁响应特征的研究,影响了对地电模型的响应时间或位置(深度)的预测^[1];③缺乏适应各种工作装置的数据资料处理和解释系统智能型软件;④缺乏类似于探地雷达的屏蔽装置,无法消除或压抑全空域效应和巷道效应;⑤缺乏识别和消除回线自感互感信号、调节信噪比强度的智能化电测系统。其中,最关键的是屏蔽装置。

2 矿井瞬变电磁法屏蔽装置研制

2.1 全空域效应及消除“全空域效应”原理

全空域效应,简而言之就是全空域均存在着某种数据信息或信号,采集的某种数据信息或信号是全空域该数据信息或信号的叠加,其产生的影响是即掩盖或压抑有用异常,产生虚假异常,严重影响勘探效果,又令人无法判别异常源归属于哪个象限空间,识别异常真伪。

消除“全空域效应”是基于矿井瞬变电磁法研究的。矿井瞬变电磁法的基本原理与地面瞬变电磁

法基本一致,不同的是矿井瞬变电磁法是在地下数百米甚至上千米深度的巷道内进行。地面瞬变电磁法一般为半空域瞬变响应,这种瞬变响应来自于地表以下半空域介质;矿井瞬变电磁法为全空域瞬变响应,这种瞬变响应来自于全空域介质,即“烟圈效应”(图1)。

将“屏蔽装置”安装在矿井瞬变电磁法的发送回线上,令发送回线只向探测方向发送电磁场(波),或安装在接收回线上,令接收回线只接收探测方向传播来的二次电磁场(波),如此,发送回线发送的电磁场(波)只分布在探测半空域而不是全空域,并感应该半空域介质产生二次电磁场(波),接收回线接收的就是这个半空域介质被感应生成的二次电磁场(波)而不是全空域的二次电磁场(波),即消除“全空域效应”原理。

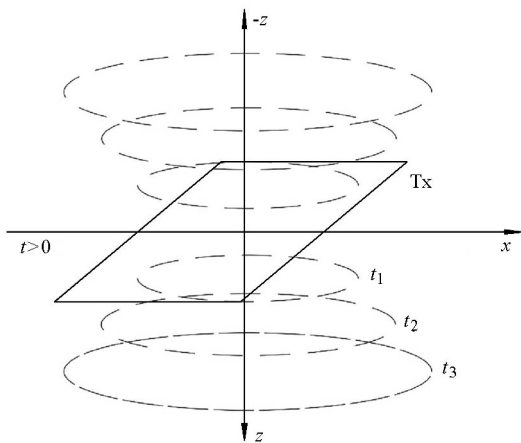


图1 瞬变电磁场传播示意

2.2 屏蔽装置

借鉴探地雷达中的屏蔽天线,研制屏蔽装置,使得发送回线只向探测方向发送电磁场,接收回线也只接收来自探测方向的二次感应电磁场,即消除或压抑了“全空域效应”,在“全空域效应”和“巷道效应”的井下场所实现地面式测量。

电磁场是相互联系、相互依存、互为因果的电场和磁场统一体,以电场→磁场→电场…形态变换,直至因传播介质的热损耗致电磁场(波)能量消耗完毕而停止传播;电磁场以“波”的方式传播,且有方向性;电磁场(波)可由通有强弱变化电流的导体产生,也可由导体接收^[16]。

依据电磁场(波)产生、传播、接收机理和特性,笔者用良导电性材料研制出一套可同步接收和消耗归零电磁场(波)能量的装置,阻止电磁场(波)继续向前传播。该装置即所谓的“屏蔽装置”,以“一种勘探装置”名称获得由中华人民共和国国家知识产

权局授予的“实用新型专利证书”,专利书号:第5258380号;专利号:ZL 2016 2 0021670.6。

2.3 屏蔽装置的使用方法

不加控制的发送回线发送的电磁场(波)以及被激励的介质产生的二次电磁场(波)具有全空域传播即漫射的特点。如果将研制的屏蔽装置共轴安装在发送回线上方(图2),即可屏蔽向上传播的电磁场(波),只允许电磁场(波)向下传播且激励下方介质产生二次电磁场(波)。同理,如果将研制的屏蔽装置共轴安装在接收回线上方及四周旁侧,即可屏蔽从上方及四周旁侧传播来的电磁场(波),只接

收由下方传播来的电磁场(波)。也就是说,只要将屏蔽装置安装于探测方向的反向,即可屏蔽向反向传播电磁场(波)或接收来自反向的电磁场(波)。

屏蔽装置与发送回线或接受回线之间须有一定的距离。

3 应用实例

以青海某铅锌矿某巷道为例说明屏蔽装置的有效性。

3.1 巷道简况

巷道的近围岩地层主要为上奥陶统 O_3tn^{a-2} ; 外圍岩地层主要为 O_3tn^c 、 O_3tn^b 、 O_3tn^{a-1} 、 Pt_1dk^c 等。已探明的铅锌矿体、黄铁矿体赋存在巷道的顶板、底板、左右侧帮近围岩地层,巷道还贯穿部分黄铁矿、铅锌矿体(图3)。

巷道顶板、左右侧帮有稳定围岩的喷锚钢丝网。本次矿井瞬变电磁法勘探行进方向右侧帮距底板约1.4 m 高处有 $\varnothing 80$ 铁质水管,顶板有照明电线、悬挂通风管道铁件铁丝等,小段积水,最深处约20 cm。勘探巷道上部有2条生产巷道,直线距离小于300 m。

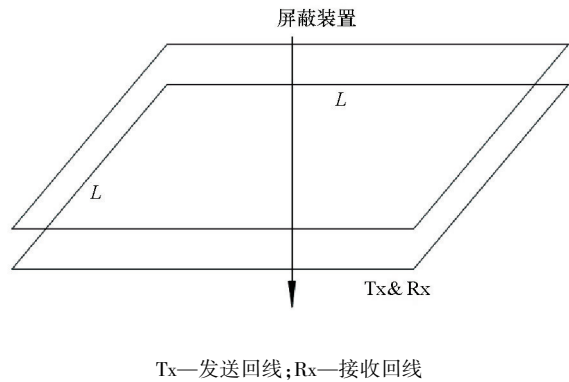


图2 发送、接收线框与屏蔽装置空间位置示意

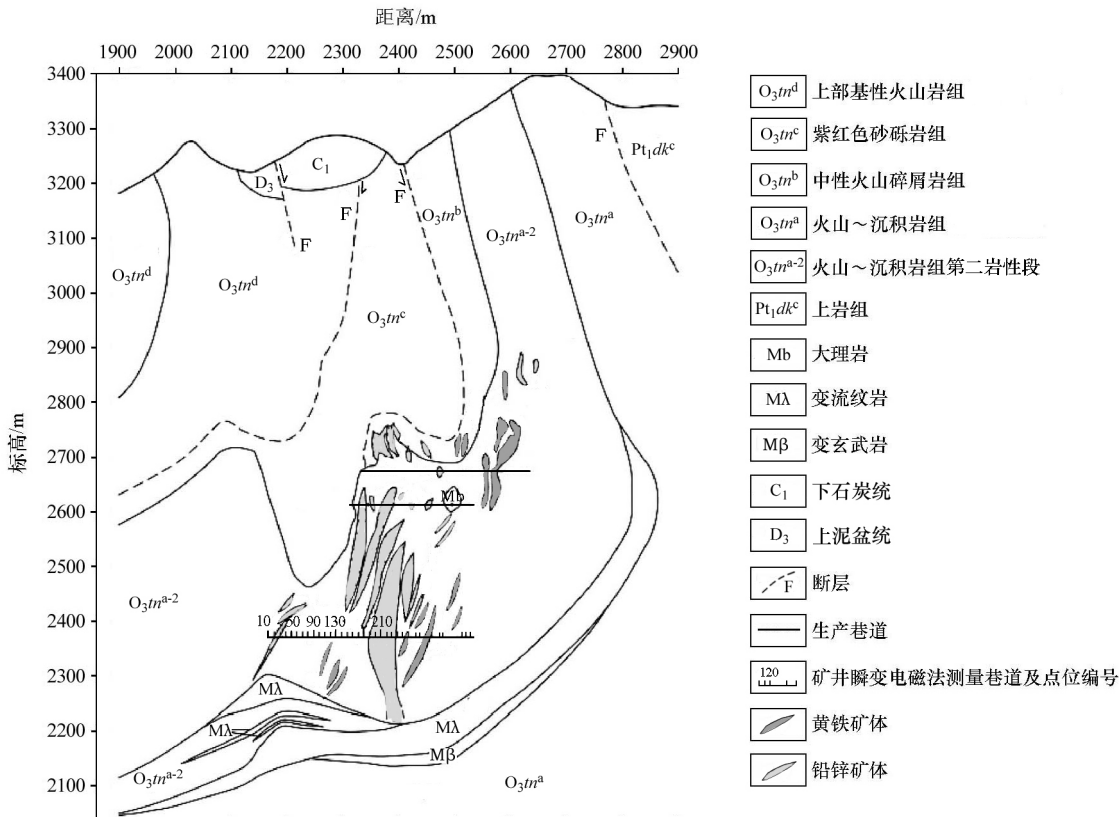


图3 青海某铅锌矿某巷道地质剖面

3.2 地球物理基本特征

表 1 可见,围岩与铅锌矿、黄铁矿之间存在明显电性差异,为本巷道开展矿井瞬变电磁法勘探提供了物性前提。 O_3tn^{a-2} 、 O_3tn^{a-1} 岩段夹含炭质地层以及黄铁矿体,是本次电阻率方法探测铅锌矿的主要干扰源。

表 1 实测地层、矿石视电阻率统计

序号	地层	$\rho/(\Omega \cdot m)$		
		极小值	极大值	几何平均值
地层	O_3tn^c	1417	8604	3977
	O_3tn^b	1482	24037	4597
	O_3tn^{a-2}	55	12487	1501
	O_3tn^{a-1}	6	13491	902
	Pt_1dk^c	302	3438	1266
矿石	黄铁矿	13	1145	147
	铅锌矿	17	707	58

3.3 结果与对比

资料整理按以下流程进行:数据整理、数据预处理;视电阻率换算;时深换算;绘制成果图;异常圈定和确定;结合已知地质资料综合解释对比。有“屏蔽装置”和无“屏蔽装置”矿井瞬变电磁法采集的数

据,均用 CUGTEM-8 瞬变电磁仪配备的地面瞬变电磁法数据处理软件系统处理。视电阻率计算公式:

$$\begin{aligned} \rho_s &= [\mu_0/(4\pi t)] \times \{ [2\mu_0SNsn]/[5t(V/I)] \}^{2/3} \\ &= 6.32 \times 10^{-12} \times (S \times N)^{2/3} \times (s \times n)^{2/3} \times \\ &\quad (V/I)^{-2/3} \times t^{-5/3} \end{aligned}$$

式中: S 与 s 分别为接收回线和发送回线面积, N 与 n 分别为接收回线和发送回线匝数, t 为二次场衰减时间, V/I 为接收的归一化二次场电位场。

图 4 为青海某铅锌矿某巷道有、无“屏蔽装置”的矿井瞬变电磁法多测道感应电位剖面,图 5 为视电阻率等值线拟断面图。由图 5 可见:

- 1) 无“屏蔽装置”的视电阻率总体比有“屏蔽装置”的视电阻率高,且在 2 倍左右。
- 2) 无与有“屏蔽装置”之间的探测盲区深度有差异,无屏蔽装置的比有屏蔽装置的大。
- 3) 图 5a 的视电阻率相对高阻、低阻异常区带的规模、形态等与对应已知地质体吻合较差,而图 5b 则与已知地质体吻合较好。
- 4) 图 5b 可圈出低视电阻率异常区带 6 个,图

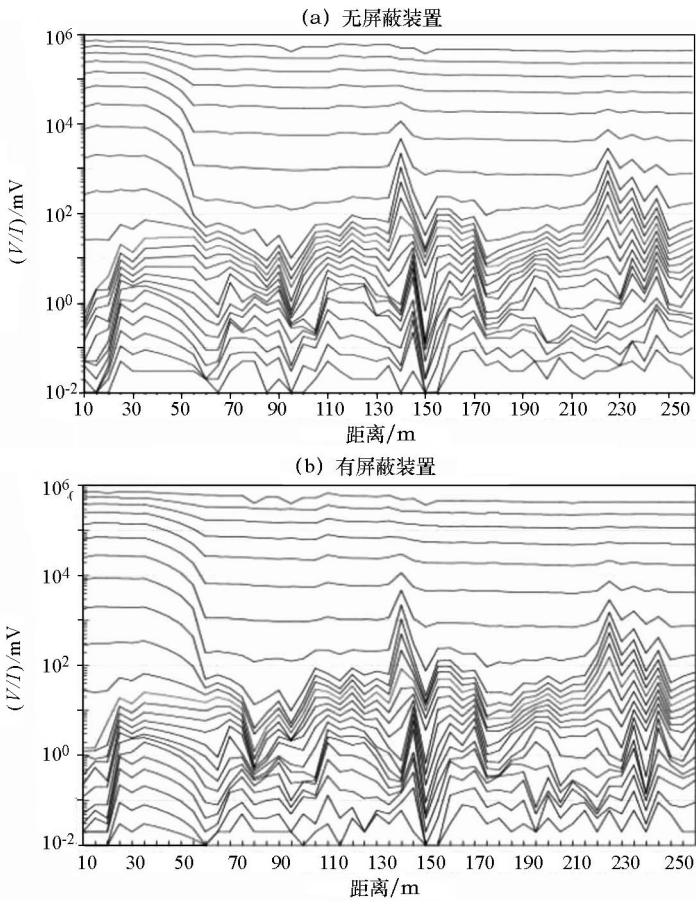


图 4 青海某铅锌矿某巷道有无屏蔽装置的多测道感应电位剖面对比

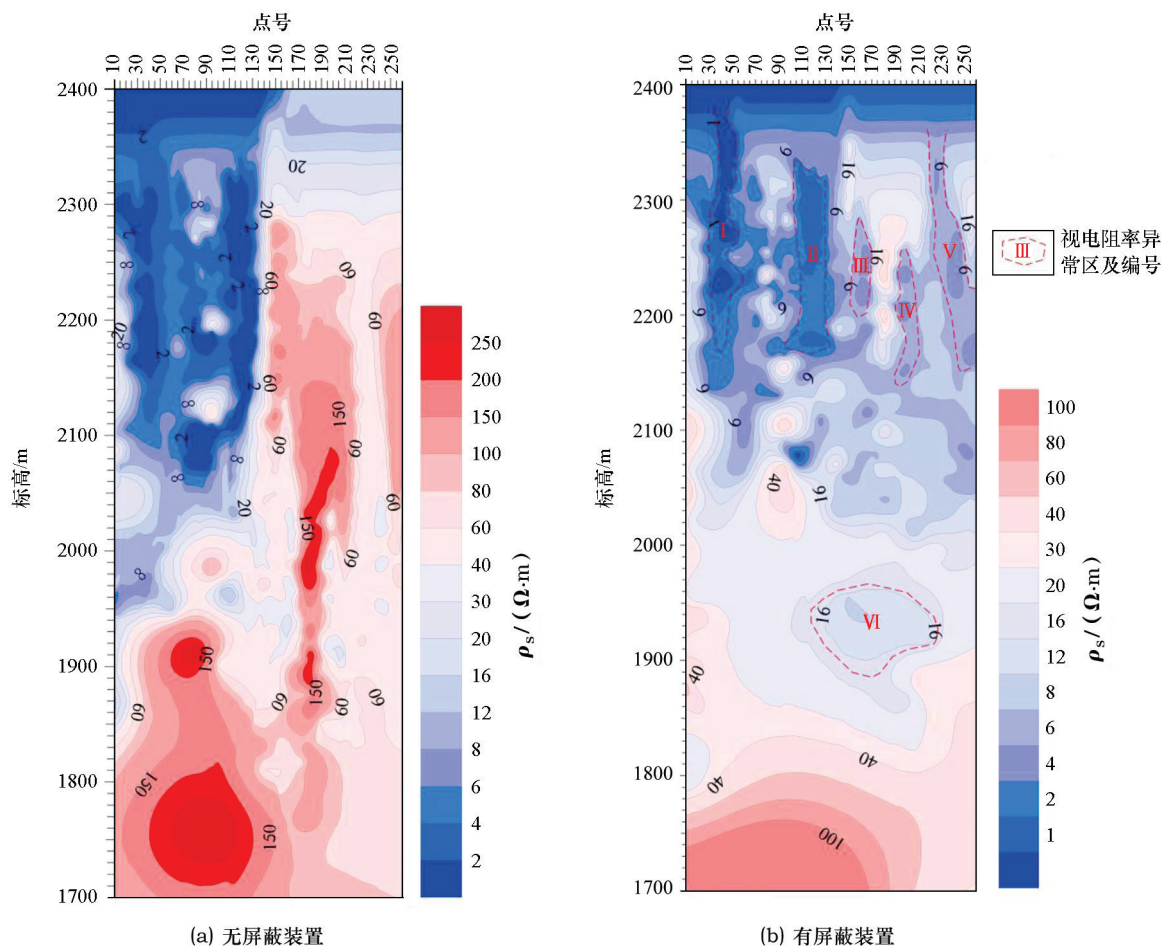


图 5 青海某铅锌矿某巷道视电阻率等值线拟断面

5a 只能圈出 3 个,图 5b 的Ⅲ~Ⅵ异常在图 5a 的相应位置不明显或没有点滴痕迹,证实“全空域效应”下,沿探测方向低阻体的瞬变电磁响应会受全空域介质尤其低阻体压制或掩盖,使目标体难以识别和分辨。

5)图 5b 标高 1700~2100m 的视电阻率等值线总体展布和走向与图 3 相应标高的地层展布和倾向基本相同,吻合较好。

3.4 钻孔验证

根据已有资料,图 5b 中的Ⅰ、Ⅴ号异常为铅锌矿脉(体),Ⅱ号异常为黄铁矿脉,Ⅲ和Ⅳ号异常为含炭质地层+断层破碎带+黄铁矿+铅锌矿等的单体或组合体。

钻孔揭露证明,Ⅰ号异常为含炭质地层+铅锌矿脉,Ⅵ号异常为含炭质地层+数条铅锌矿薄脉,铅锌矿脉+含炭质地层的总视厚度与圈定的Ⅵ号异常厚度基本一致。

4 结论

通过青海某铅锌矿山某巷道进行的矿井瞬变电磁法勘探成果对比及钻探验证,证明了本文的屏蔽装置可消除或压抑全空域效应和巷道效应,使(矿井)瞬变电磁法于全空域效应场所实现地面式测量。

该屏蔽装置适用于所有的电磁法类勘探方法,可消除或压抑全空域效应和巷道效应,提高数据信息采集和成果解释质量,扩展瞬变电磁法及其他电磁法的应用领域,将在地表或矿井(山)深部探测,侧帮地质构造和矿产资源探测,城市地下构(建)筑物及各类管道、人防工程的探测,堤坝病险隐患等工程检测,工程地质、水文地质、地质灾害等勘察方面得到广泛应用。

