

矿井瞬变电磁场井下人文噪声干扰物理模拟

张 欢, 彭刘亚

(中国矿业大学 资源与地球科学学院, 徐州 221008)

摘 要: 矿井瞬变电磁测量在煤矿井下巷道中进行, 干扰因素有别于地面瞬变电磁法。矿井瞬变电磁测量中的主要噪声为井下人文设施。本文依据物理模拟相似性准则, 采用物理模拟方法, 研究了瞬变感应电磁场在均匀全空间条件下及巷道空间影响下的分布特征, 通过巷道内有无干扰因素对比总结出巷道空间内铁轨、锚网及工字钢对感应场的影响规律。结果表明, 铁轨、锚网及工字钢的存在均使巷道内的探测信号增大, 而且线圈处于巷道不同位置探测时受到的影响也不相同。通过对人文设施异常规律的总结, 为以后的矿井物探工作提供一定的理论参考。

关键词: 瞬变电磁响应; 噪声; 物理模拟

中图分类号: P631.322

文献标识码: A

收稿日期: 2010—10—21

Effect of Human Noise of Physical Simulation Experiments on Mine Transient Electromagnetic Surveying

Zhang Huan, Peng Liuya

(School of Resources & Geosciences, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Mine transient electromagnetic surveying method is used in roadway, so interference factor is different from ground transient electromagnetic method. The noise of mine transient electromagnetic surveying comes from human installation under the mine. This paper, based on the similarity criterion of physical simulation, studies the distribution features of the transient electromagnetic field in the full space and under the influence of the roadway by physical simulation experiment, and by comparing whether the interference factors existing in the roadway space sums up the effect law of rail, metal netting and double T-iron on the induction field. The results show that the rail, metal netting and double T-iron in the roadway increase the signal detected, and the effect of the detection at different locations is different. The results of the research provide a theoretical guidance for future work of mine transient electromagnetic method.

Key words: transient electromagnetic response; noise; physical simulation experiment

1 引 言

我国经济持续高速发展与国家安全战略离不

开能源和矿产资源的强有力支撑, 而地下开采方式是目前我国获得多种能源资源与矿产资源的的重要途径。煤炭是我国重要的基础能源和重要原料, 在国民经济中占有重要的战略地位。近年来,

我国煤炭需求迅速上升,煤炭产量快速增长。与此同时,煤炭企业的安全生产问题越来越突出,如何做到安全生产已经成为生产过程中的主要研究问题。目前,矿山建设与生产过程中的主要安全灾害有水害、瓦斯、煤尘及采空区隐患。长期以来,安全事故给国家和人民带来的人身伤亡和经济损失极为惨重。尤其是近几年,矿井安全事故频繁发生,给人民生命财产造成重大损失,严重影响和制约着矿山的安全生产。为了解决这个问题,使事故的发生概率降到最低,近年来,矿井物探方法尤其是矿井瞬变电磁法已广泛应用于寻找井下典型地质构造,如断层、陷落柱、采空区等,并取得了不错的效果^[1~5]。由于矿井瞬变电磁是在巷道内进行,导致在资料解释时只有考虑巷道及巷道内人文设施的影响才能使结果更接近于实际情况,因此弄清这些干扰因素产生的干扰,对于提高资料解释的精度有着举足轻重的作用,更限度地避免矿井安全灾害^[6]。

在电磁法勘探中,物理模拟是研究野外条件下电磁响应特征的重要手段。由于野外地质地理以及人文条件较为复杂,岩(矿)石物理性质变化很大,很多目的物的响应无法用数学解析式表示,使用高性能的电子计算机,采用有限元、有限差分等近似数值解法,虽然大大提高了解题的范围,但仍存在一些不易解决的问题。另一方面由于无严格的解析解与近似解作对比,因此还需要借助于物理模拟的方法来验证近似解的正确性和近似程度。

本文依据物理模拟的相似性准则,主要利用物理模拟的方法研究了瞬变感应电磁场在均匀全空间条件下及巷道空间影响下的分布特征,并总结出巷道空间对感应场的影响规律;对巷道内的人文设施进行的影响进行了物理模拟,在此基础上得出巷道内人文设施对矿井瞬变电磁场探测信号产生的影响。

2 物理模型试验设计

2.1 实验材料

根据相似性准则,本文选定了物理模型所选用的材料及参数^[7,8]:

1)利用铜棒模拟陷落柱:长铜棒直径:5.3cm,长:40cm;短铜棒直径:2.5cm,长:30cm;

2)采用重叠回线装置,其中,发射线圈:20cm

×20cm,75匝,采用0.51mm的漆包线绕制;接收线圈:20cm×20cm,80匝,用0.31mm的漆包线绕制;

3)锚网:试验中用长为60cm,宽25cm的筛网模拟矿井下的金属锚网,网孔边长为2cm正方形;

4)工字钢:试验中选用宽为2cm,长为25cm的薄铁片模拟工字钢,在巷道空间两侧和顶部间隔5cm布置;

5)铁轨:试验中用两根长约1m,横切面为1cm²的金属条模拟铁轨。

2.2 物理模型设计

矿井地质模型为水平层状,相对顶、底板来说煤层可视为高电阻率介质。

具体方法为:在干扰较小的空旷广场内挖掘一个实验坑地,制作均匀空间下的矿井地质模型(图1),通过调节土壤的水分来控制均匀介质电阻率保持在较小的范围。巷道中的各种干扰体,如金属锚网、工字钢支护及铁轨等金属体,在物理模型中均按一定的比例进行缩放。

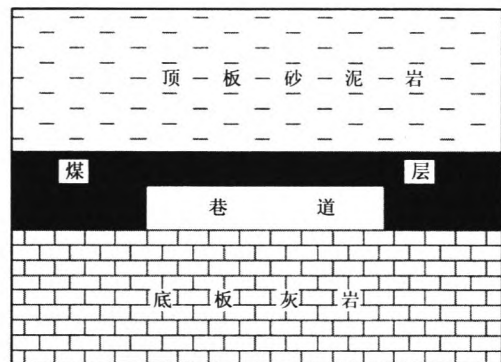


图1 矿井地质模型

Fig.1 Mine geological model

为了得到各项因素的影响,本次模拟实验共设计4个模型(图2):

模型一 巷道空间内无任何金属干扰

模型二 巷道空间内有铁轨

模型三 巷道空间内有锚网

模型四 巷道空间内有工字钢支护

2.3 矿井瞬变电磁法施工方法

由于受巷道迎头空间的限制,矿井瞬变电磁法的发射和接收线圈的几何尺寸受到了一定的制约,只能采用多匝小回线的发射和接收装置形式。即边长为2~3m。(本次模拟实验中所用线圈边长为20cm)测点布置在巷道迎头空间位置(图3)。

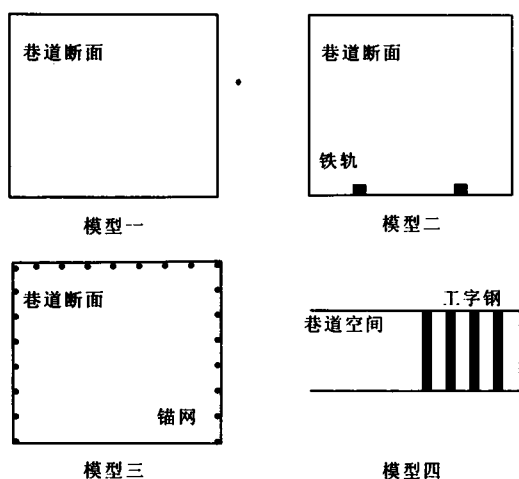


图2 矿井瞬变电磁模拟实验模型设计

Fig. 2 Transient electromagnetic simulation model design

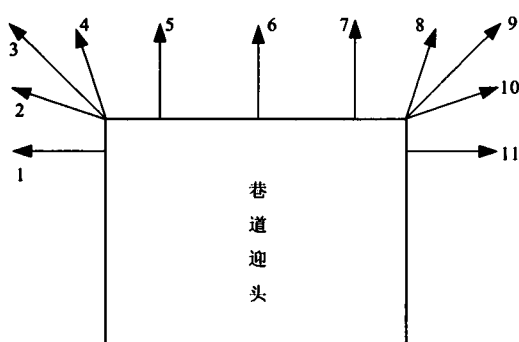


图3 超前探测测点布置示意

Fig. 3 Sketch map of advanced detection

从巷道迎头左侧开始,首先使发射、接收天线的法线垂直巷道左侧面进行测量(图3中的1号测点),然后旋转天线,使天线的法线方向与巷道

的左侧分别成 60° 、 45° 和 30° 的夹角进行探测(图3中的2,3和4号测点);当天线的法线方向与巷道迎头界面垂直时,根据其主迎头断面的宽度布置2~3个测点(图3中的5,6和7号测点);到巷道迎头右侧时再旋转天线,使法线方向与巷道右侧分别成 30° 、 45° 、 60° 和 90° 的夹角进行探测(图3中的8,9,10和11号测点)。即在多个角度采集数据,从而获得尽可能完整的前方空间信息,故称之为扇形测深技术。

3 矿井瞬变电磁场物理模型实验分析

通过对所做的4个实验模型得到的多测道剖面图进行分析对比,分别得到巷道及巷道内人文设施对井下瞬变电磁响应的影响^[9,10]。

3.1 巷道的影响

由于图4~图6的横坐标表示的是线圈处于巷道的不同位置,其中点5、6、7表示此时线圈位于巷道的迎头位置。图7的横坐标与铜棒距线圈的距离相对应。为了得到巷道的影响,取图4中横坐标为5、6、7时的数据与图7中横坐标为1时的数据对比;图5中横坐标为5、6、7时的数据与图7中横坐标为2时的数据对比;图6中横坐标为5、6、7时的数据与图7中横坐标为3时的数据对比。通过对比可以发现,由于巷道的存在减弱了异常体的响应特征。但是从总体上来说瞬变电磁响应随着铜棒远离而逐渐减小的趋势没有发生变化。另外,通过对图4~图6的分析,可以发现当线圈在巷道迎头处时的感应特征大于线圈在巷

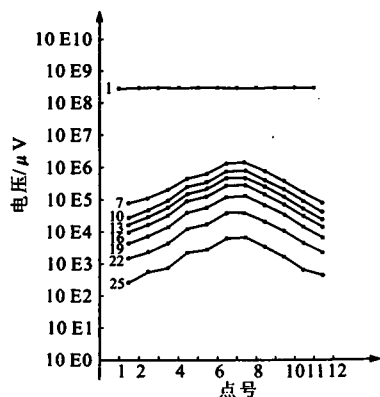


图4 铜棒位于巷道迎头前方10cm处时响应特征
Fig. 4 The response characteristics of copper rod located 10cm advance the roadway

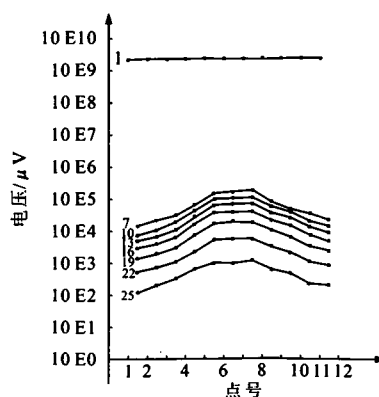


图5 铜棒位于巷道迎头前方20cm处时响应特征
Fig. 5 The response characteristics of copper rod located 20cm advance the roadway

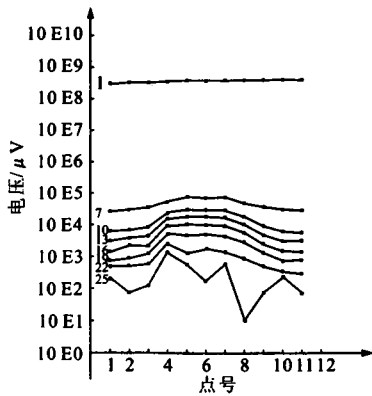


图6 铜棒位于巷道迎头前方30cm处时响应特征
Fig. 6 The response characteristics of copper rod located 30cm advance the roadway

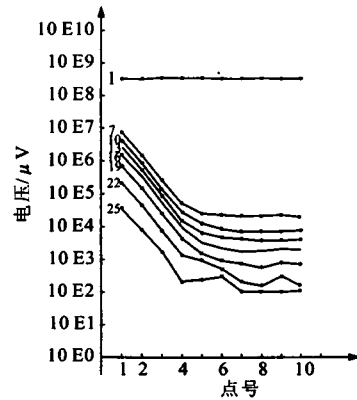


图7 地面上处于不同位置时的响应特征
Fig. 7 The response characteristics of copper rod of different distance on the ground

道两侧时,说明在矿井瞬变电磁法测量的过程中,所接收到的感应信号主要是天线所在巷道一侧介质的反应,即测量的感应信号主要来自天线所在巷道一侧地层介质。由于巷道空间的存在使接收的感应信号值减小,因此在巷道其他位置,异常体所产生的异常响应相对较小。

3.2 铁轨的影响

通过比较图8与图9可知,铁轨的存在使巷道内所有位置的探测信号普遍增大,而且随着时间推移在有铁轨时信号较好。但是在探测过程中探测线圈处于不同位置及不同时间所受到的影响不同,从图上可以看出在开始采集信号时,巷道迎头处受到铁轨的影响要明显大于两侧,因此线圈位于迎头处的探测信号要大于线圈位于两侧时,呈现出从巷道迎头位置到巷道两侧递减的趋势;经过一段时间后,巷道内各个位置受到铁轨的影

响基本相同,因此巷道内所有位置的探测信号基本相同。说明在井下,在巷道迎头位置勘探受到铁轨的干扰强度要大于线圈在巷道两侧的勘探,而且巷道的存在使巷道内的探测信号普遍增大。

3.3 锚网的影响

通过比较图8与图10可知,锚网的存在使巷道内所有位置的探测信号普遍增大,而且其增大幅度要大于由于铁轨存在而产生的影响,同时改善了数据质量,使数据不像原来一样杂乱无章。另外,从图上可以看出不同位置所受到的影响不同,巷道迎头处受到锚网的影响要小于两侧,因此线圈位于迎头处的探测信号要小于线圈位于两侧时,呈现出从巷道迎头位置到巷道两侧递增的趋势。说明在井下,在巷道迎头位置勘探受到铁轨的干扰强度要小于线圈在巷道两侧的勘探,而且巷道的存在使巷道内的探测信号普遍增大。

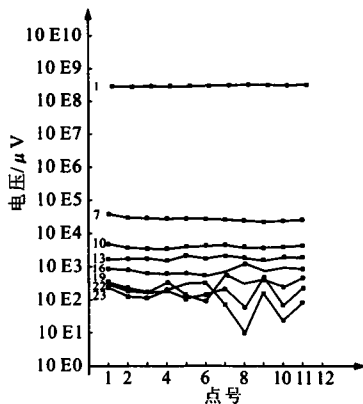


图8 周围无异常体时巷道内的探测信号
Fig. 8 Detection signal in roadway when no anomalous body around

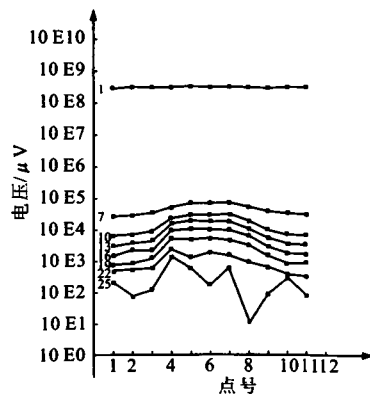


图9 周围无异常体巷道内有铁轨时的探测信号
Fig. 9 Detection signal of rail in roadway when no anomalous body around

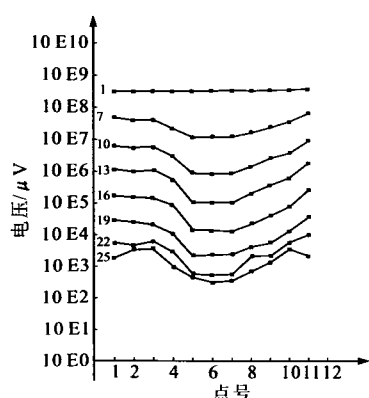


图10 周围无异常体巷道内有锚网时的探测信号
Fig. 10 Detection signal of metal netting in roadway when no anomalous body around

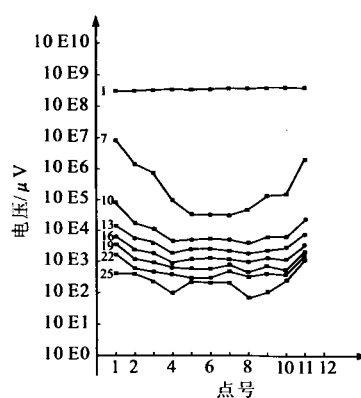


图11 周围无异常体巷道内有工字钢时的探测信号
Fig. 11 Detection signal of double T-iron in roadway when no anomalous body around

3.4 工字钢的影响

通过比较图8与图11可知,由于工字钢的存在会使巷道内所有位置的测量信号均增大。但是不同位置在不同时间所受到的影响不同,在开始采集信号时,两侧受到的影响要远远大于巷道迎头位置,因此线圈位于两侧处的探测信号要大于线圈位于巷道迎头时,呈现从巷道迎头位置到巷道两侧递增的趋势。另外,通过比较图11与图10可以发现工字钢存在时在巷道两侧探测与在迎头探测的差值要大于锚网引起的两侧与迎头的差值;但是在很短一段时间后,迎头位置与两侧的差值就不再那么大,而是与锚网类似。

4 结论

本文工作还对巷道空间中金属锚网、铁轨、工字钢及几种金属干扰体存在条件下对矿井瞬变电磁场的分布规律的影响进行了物理模型实验。

1)在均匀围岩介质中,巷道空间的存在使富水构造体的瞬变响应值减小。

2)巷道空间内的金属体(工字钢、铁轨及随机小金属体)会感应出涡旋电流场,使接收到的瞬变电磁响应信号值大大增加。巷道底板铁轨的存在,降低了对巷道底板下富水异常体探测的分辨能力。

3)在具体施工过程中,应灵活设计测点位置,使发射、接收天线装置远离这些随机的金属体,以突出富水异常体的瞬变电磁响应比例。

4)如果不能确定富水异常体在煤层附近的方位时,可调整天线的位置及方向,采用全空间探测

技术,即将天线分别放在巷道顶板、底板、巷道左侧及右侧进行探测。但在施工时,应避免巷道空间内不规则、随机小金属体的影响,以提高探测目标体响应信号的精度。

致谢 感谢刘志新副教授一直以来的悉心指导。

参考文献:

- [1] 姜志海,岳建华,刘志新. 矿井瞬变电磁法在老窑水超前探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(4): 291~304.
- [2] 王扬州,于景邨,刘建,等. 瞬变电磁法矿井超前探测[J]. 工程地球物理学报, 2009, 6(1): 28~32.
- [3] 刘志新,岳建华,刘仰光. 矿井物探技术在突水探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(1): 9~14.
- [4] 郭有刚,刘峰,王斌武,等. 瞬变电磁法在煤矿采空区勘探中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2010, 7(2): 151~154.
- [5] 梁建刚,黄宁. 瞬变电磁法在山西陷落柱的应用研究[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(5): 579~583.
- [6] 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.
- [7] 于景邨. 矿井瞬变电磁法理论与应用技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学资源与地球科学学院, 1999.
- [8] 刘志新. 矿井瞬变电磁场分布规律与应用研究[D]. 徐州: 中国矿业大学资源与地球科学学院, 2007.
- [9] 汤金云,于景邨,王扬州,等. 矿井瞬变电磁人文噪声干扰及处理技术研究[J]. 煤矿开采, 2008, 13(2): 32~34.
- [10] 于景邨,刘树才,王扬州. 巷道内金属体瞬变电磁响应特征及处理技术[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1403~1407.