

矿井水害探测中钻孔瞬变电磁仪的应用研究

张 康*

(晋能控股集团晋圣矿业投资有限公司,山西 晋城 048000)

摘 要:为进一步提升矿井水害探测的精准度与探测效率,针对矿井锚杆、锚索等金属设备易影响常规探测的问题,提出了可采用钻孔瞬变电磁仪来进行矿井地质探测的策略,介绍了钻孔瞬变电磁探测技术的探测原理,所用到的探测设备及探测方法,分析了探测异常响应特征及探测数据的处理方法,并结合具体的探测实例进行了应用分析,取得了较好的应用效果,探测精度更高,探测速度更快,满足了矿井的高效探测需求,促进了矿井地质探测工作的提质增效。

关键词:水害探测;钻孔瞬变电磁仪;原理;应用;效果

中图分类号:P631 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2025)03-0180-04

井下水害一直是矿井内的常发灾害,而瞬变电磁探测技术则是防治该灾害的重要手段,并且无论在矿井的掘进面还是工作面中都取得了很好的成绩和效果,有效预防了水害的发生。矿井下工作面内不可避免会存在数量众多的金属支护设备,这就给瞬变电磁探测工作带来了很强的干扰,后果就是所采集到的数据的准确性不高,无法准确预测井内水害的发生。而新型的钻孔瞬变电磁探测技术则是把探测设备送入预先打好的钻孔中,这样就可以免受矿井内金属支护设备对电磁的扰动,而且由于位置优势与传统形式下的瞬变电磁探测能够更加接近异常体,因此所探测的信号也就更为强烈、准确。经过优化后的钻孔瞬变电磁探测技术实现了钻探手段“一孔之见”,该技术能够探测到孔径旁的所有隐藏水害,从而为水害防治工作提供数据支持^[1]。不仅如此,该技术还支持“长掘长探”的工作模式,该模式是借助了该技术能够探查到孔径径向的潜伏水害的优势并和定向钻进技术相结合,通过该模式能够对巷道掘进方向的煤层情况以及储量还有地质灾害隐患进行综合探测。

1 钻孔瞬变电磁技术方法原理

钻孔瞬变电磁探测技术是在地井瞬变电磁探测技术的基础上演化出来的,这两种技术的原理都是靠不同介质传播出的电磁信号差来进行判断的,具体原理就是向地层发出一次场电磁波,并借助专门仪器接收地层反射回来的二次场电磁波,通过对所收集到的二

次场信号进行归纳分析,依据时间推移信号的衰弱情况来分析地层内的情况及可能存在的异常体。而钻孔瞬变电磁技术的原理则是借助钻机将探测器持续向前推进,并且每隔一定的间隔距离就进行标记,最后再借助孔口处的防爆手机记录时间,在每个标记处进行测量。将获得的数据进行整理后运用Z分量数据分析计算存在异常情况的位置,得出数据后,再由X、Y与Z分量的交点,分析出异常体核心所处的位置,图1展示的是依据探测器所收集到的电阻差异所绘制半径为20~30m的圆柱体探测区域图。

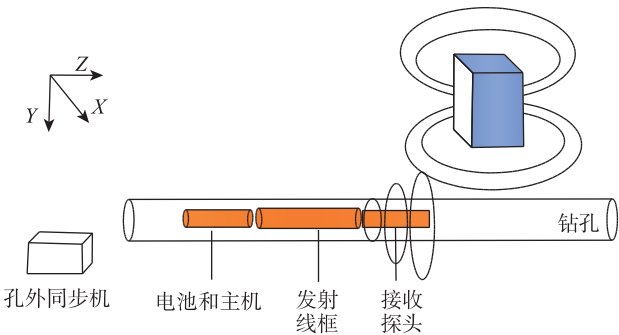


图1 钻孔瞬变电磁系统探测施工示意

和传统的瞬变电磁法相比钻孔瞬变电磁法的探测精度更高、探测范围更大、定位更加准确。

2 仪器架构及技术指标

钻孔瞬变电磁仪由两部分构成,分别是孔内三分量测量探管和孔口装置(见图2)。这两个装置分别有

* 收稿日期:2023-10-08
作者简介:张康(1996-),男(汉族),山西吕梁人,助理工程师,现从事地测防治水工作。

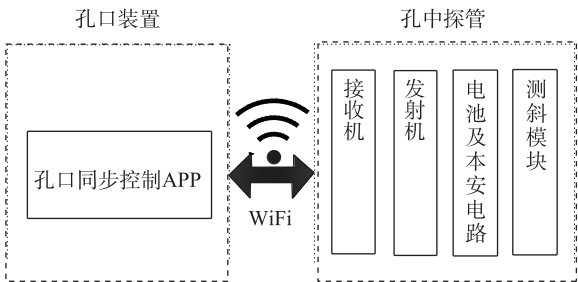


图2 矿用钻孔瞬变电磁仪组成框图

着不同的功能,孔中探管主要负责以钻孔为中心向周围发射一次电磁场,再由三分量天线接收地层传递回来二次场电磁。而孔口装置则配合终端处的控制软件来控制发出电磁波的频率,除此以外还负责分析收集到的电磁参数和数据。

具体的施工流程有

- ①正式开始探测前先给仪器通电,并经由孔口装备向下发出参数指令;
- ②将测量探管输送到钻孔中预先指定的位置,并记录该点的深度以及到达时间后进行测量工作;
- ③在测量结束后,从钻孔中抽出仪器,将数据输送到孔口装置处并对数据进行分析 and 匹配。

图3展示的是钻孔瞬变电磁仪所使用的 Android 操作系统,该系统属于智能终端系统,而且还支持在手机 APP 上对电磁的参数进行调整。在探管测量工作结束后,智能终端就会下达数据回读指令,并对数据进行存储。

该仪器所运用到的主要技术参数如下:

- ①钻孔需要由直径不小于 73mm 的钻杆钻孔;
- ②单次运行时长大于

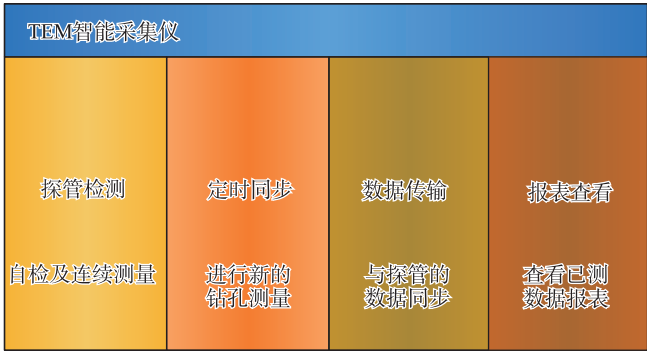


图3 矿用钻孔瞬变电磁仪孔口同步控制 APP 操作界面

8h;③可选的发射频率为 2.5Hz、6.25Hz、12.5Hz 及 25Hz;④发射电压 6V;⑤发射的电流不能超过 3A;⑥采样的功率最大值为 2MHz;⑦接收机所接收的范围须大于 130dB。

3 数据处理

3.1 异常响应特征

位于孔中 TEM 探测发出和接收信号的位置是固定的,所以不能全方位发射电磁或者改变接收电磁的位置,因此要想确定异常体的位置就需要从三分量接收的信号入手,根据反馈信号绘制如图4的象限模型,借助钻孔的位置来绘制空间象限,该象限模型由 1~4 四个象限构成,在每个格内装设异常体共 16 个,可以得到 16 组异常响应,详情见图5。根据在正常情况下的模拟能得出,在水平方向上异常响应呈现“S”状,而在垂直方向上则表现为单峰状,基于此,在分析异常体的位置时可以参考水平分量结果。

3.2 数据处理流程

完成了瞬变电磁的施工后,要先对垂直层面上的电阻率进行测试,根据测量结果标出异常区域,并分析该区域的电阻范围和异常值,最后在水平方向上进行

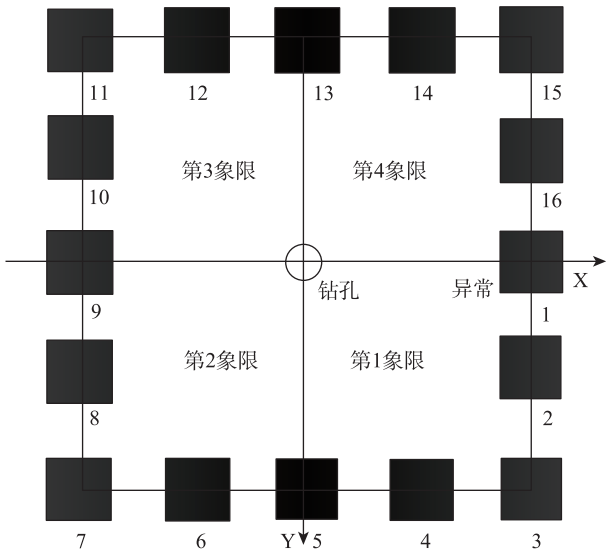


图4 模型二异常深度截面图

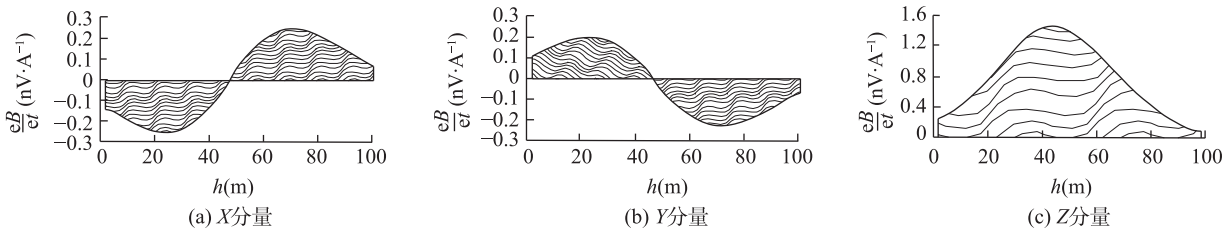


图5 模型二的三分量响应

测量,找出水平方向上的异常值,将水平和垂直方向结合起来最终确定异常空间的位置。矿井内测得的瞬变电磁感应为全空间瞬变响应,据此可以将视电阻率公式定义如下:

$$\rho_i = C \times \frac{\mu_0}{4\pi t} \times \frac{2\mu_0 S N s n}{5t(V/I)} \quad (1)$$

式中: ρ_i ——计算得出的视电阻率;

T ——测试花费的时间;

I 、 V ——发射出的电流和所感应到的电压值;

n 、 s ——接收线圈的匝数和面积;

N 、 S ——发射线圈的匝数和面积;

μ_0 、 C ——真空导磁率和全空间系数值。

当通过钻孔运用TEM技术对地层进行探测时,接收到传递回来的二次场信号是矢量场,根据水平涡流场的空间特点和原理可以将钻孔所观察收集到的数值进行分类,详情如下,分别是2个水平分量(V_x , V_y)的矢量和(V_{xy}),而且数值方向一定位于异常体上方的等效涡流中心区域,所以可以通过计算出气方向从而进一步确定异常体的具体区域和位置。

运用钻孔瞬变电磁法探测异常体时,其具体原理就是先根据数据反馈结果对水平方向上的异常值进行总结概括,通过这一步可以先将异常体所处的象限确定下来,随后再借助其和矢量的交点来确定异常体的确切位置和方位角。但是由于探测仪位于孔洞中,所以会受孔洞的大小影响,在水平数值和垂直数值的接收有一定差异,水平数据接收较差,所以在确定矢量交点时可以选取以往准确度较高的测道数值进行分析,以获得更准确更精细的定位^[2]。

4 应用实例

在山西某矿19联巷定向钻孔中实地试验了上文所介绍的钻孔瞬变电磁技术,具体实验区域是三(下)盘区施工81313胶带巷、81314辅运巷0~548m段巷道底板,经过对该区域的各项数据进行分析后,为避免在掘进时发生突水事故,所以具体设置了5个定向钻孔,这5个被分为了3个主孔和2个分支孔,并将终孔层定在10号煤中,在81313胶运巷和81314辅运巷开展探水工作时也能同时对下一组巷道开展瓦斯预抽工作,图6为5

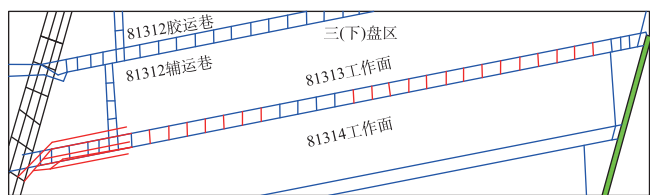


图6 试验施工现场平面

个定向钻孔的分布图,此次钻孔瞬变电的具体实验是在间距为80m的1号孔和3-1号孔开展的。

为了减少钻孔瞬变电受巷道内部的金属架或钻机的影响,在1号测量孔内自20~515m这个区间内,共设置了167个集测点,且每个测点间的距离为3m,所以该孔内的实际测量长度为20~515m。图7展示的是1号孔完成钻孔瞬变探测工作后根据数据绘制出的剖面图,从图7中不难看出在钻孔周围的地层电阻分布均匀无明显变化,我们可以将其称为均一,而发生变化的电阻区域主要集中在90~150Ω·m,对该区域数据分析后可以得出钻孔旁并未出现明显的低阻区;而在200~240m深度区域内,存在着一处明显的高阻区,该高阻区的电阻率没有依照层状的分布规律分布,而且数值与其他区域相比明显突出,由此可以分析判断该区域内存在地质构造差异。

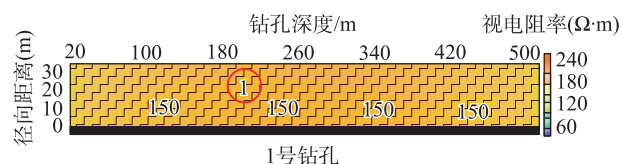


图7 1号孔钻孔瞬变电磁探测成果平面

为了更加准确地定位出该异常体的空间位置,结合上文提出的异常响应特点,通过对1号的异常水平分析可得出X分量纯异常为先正后负的反“S”形态,Y分量纯异常为先负后正的“S”形态,根据“S”形态变化可以分析出该异常体的位置在第3象限,也就是钻孔的左下方位置,随后再将分量矢量相结合找到两量的交点,得出该异常体的准确位置是165.2°。3-1号孔内共设置了168个采集点,首个采集点位于孔内20m处,并且每个采集点的间距为3m,实际测量深度为20~518m。图8展示的就是3-1号孔内钻孔瞬变探测后根据数据绘制的剖面图。可得3-1号孔内30m以内的电阻率没有明显变化,由此可以分析出在30m内不存在异常区和危险。

结合孔1和孔3-1的测量结果,经过综合分析后可以得出这两个钻孔30m范围内都不存在异常区,通过

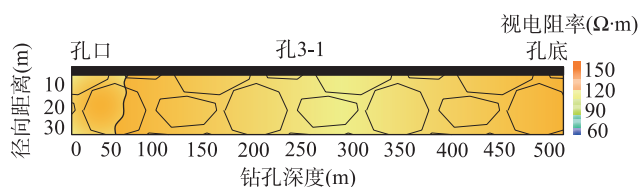


图8 3-1号孔钻孔瞬变电磁探测成果平面

探测深度不断加深、探测面积不断加大,对掘进区域进行了全覆盖探测;最后发现孔1探测数据中存在高阻异常情况,经过水平和垂直分析,最终确定了该异常区位于钻孔的左下方,具体位置是81313胶运巷底板下20m,距左侧外帮25m,通过对巷道走向以及该异常点位置分析,判定其不会威胁巷道。

5 结论

(1)矿用钻孔瞬变电磁仪可以将发射电磁的仪器以及接收电磁的仪器同时通过钻孔口送入钻道内,并每隔一定距离就设置一个探测点,如此解决了传统瞬变电磁探测易受巷道内金属仪器影响的问题,从而提高了采集数据的精确性,因为采集点分布较密集所以距离可能存在的异常体更近。综合保障了测量准确性。

(2)通过实际操作以及实验可以证明钻孔瞬变电

磁探测技术稳定且准确,通过探测所得数据并对数据进行分析后绘制了瞬变电磁探测剖面图,为判断是否存在异常体提供了有力的数据支撑,提高了巷道安全防护能力。

(3)目前随着掘进技术的不断发展,矿井越来越深、效率也越来越高,很多矿井已经实现了日掘进50~100m,故传统探测手段和技术已经无法满足探测需求,而钻孔电磁探测技术因能够实现探钻一体,所以为保障矿井安全提供了支持。

参考文献:

- [1] 王程,安又新,朱宏军,等.孔中瞬变电磁法在综放工作面底板破坏深度探测中的应用研究[J].煤田地质与勘探,2022,50(7):79-84.
- [2] 朱克仁,张鑫海.复采水文地质条件巷道瞬变电磁法探测及防治水技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(10):175-177.

(上接第179页)

部署,这样才能对一些特定地区的采矿活动进行更好的地质环境评价,从而使整个地质勘探系统得到进一步的完善。

4 结束语

总而言之,地质矿产勘查直接关系着社会经济的发展与人们的生活,为提高矿产资源勘查工作的质量与效率,并尽可能减少对生态环境的污染,要结合具体的条件,对矿产的勘探方式进行适当地选择,特别是对矿山周围的环境进行保护,同时要提升勘探工作的品质,为国家的矿产资源开发提供一个更好的发展方向,

促进绿色采矿技术的优化和创新。

参考文献:

- [1] 武捷.新形势下当前地质矿产绿色勘查及找矿技术的分析[J].能源与节能,2023(2):131-133,137.
- [2] 崔孺牛.新形势下浅析当前地质矿产勘查及找矿技术探究[J].中国金属通报,2022(23):55-57.
- [3] 郁恩平,陈依婷.新形势下当前地质矿产勘查及找矿技术的分析[J].世界有色金属,2022(21):64-66.
- [4] 靳春雷.新形势下当前地质矿产勘查及找矿技术的分析[J].世界有色金属,2022,47(11):67-69.
- [5] 董毓泉.新形势下当前地质矿产勘查及找矿技术的分析[J].世界有色金属,2022,47(4):81-83.