

矿井瞬变电磁法在煤矿采空区背斜构造富水性探测中的应用

龙自阳

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司能源工程公司 宁夏银川 750011

摘要: 井下工作面开采时受各类水害因素影响, 而采空区积水是工作面的主要充水水源, 受不同地质构造影响, 其积水分布范围又有所不同。本文以石槽村煤矿 211002 工作面为例, 在对工作面充水水源分析的基础上, 阐述了瞬变电磁探测原理, 对工作面顶板上部 6 煤采空区富水性分布情况进行了探测并圈定了富水异常区。通过钻孔验证, 表明本次探测成果较为可靠。

关键词: 瞬变电磁法; 采空区; 低阻异常区; 背斜轴; 钻孔验证

Application of mine transient electromagnetic method in water rich detection of goaf anticline structure

Ziyang Long

Energy Engineering Company of National Energy Group Ningxia Coal Industry Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750011

Abstract: The underground working face is affected by various water hazard factors, and the water in the goaf is the main water source of the working face. Affected by different geological structures, the distribution range of water is different. Taking 211002 working face of the Shizuocun Coal mine as an example, this paper expounds the principle of transient electromagnetic detection on the basis of the analysis of the water source of the working face, and explores the distribution of water-rich water in the goaf of 6 coal at the top of the working face roof and determines the abnormal water-rich area. Through drilling verification, it shows that the detection results are reliable.

Keywords: Transient electromagnetic method; Goaf; Low resistivity anomaly area; Anticlinal axis; Borehole verification

水害是工作面回采时的主要安全隐患, 在工作面回采前必须对工作面充水水源有效进行疏放, 保证煤矿安全开采。目前在井下探测工作面水害常用的物探方法有瞬变电磁法^[1]、并行发法^[2]、音频电透视法^[3]等, 瞬变电磁法^[5]由于对地下水等良导体较为敏感、施工方法简单高效、探测成果较为直观, 是目前探测工作面顶底板富水性分布情况常用的一种物探方法。随着国内外专家的不断研究, 其算法、数据处理方法^{[4]、[6]}、设备抗干扰能力、探测深度等均得到了不同的发展, 探测精度也有了较大的提升。

一、项目区概况

石槽村煤矿位于宁夏回族自治区宁东煤田鸳鸯湖矿区中部, 其中 211002 工作面为石槽村煤矿 21 采区 10 煤第一个回采工作面, 工作面标高 +833 ~ +891m, 地面标高 +1413 ~ +1428m。该工作面走向长 1207m, 倾向长 285m (平距), 煤厚 3.8 ~ 4.7m, 平均煤厚 4.2m。煤层伪顶为泥岩, 直接顶为粉砂岩, 老顶为细砂岩。工

作面顶板上部 33-45m 为 210602 工作面采空区, 210602 工作面巷道与 211002 工作面巷道平面投影位置几乎重合, 切眼位置比 211002 工作面短 (见图 1)。

211002 工作面主要充水水源有 6 ~ 10 煤间粗砂岩裂隙孔隙承压含水层水、构造水和工作面顶板上部 6 煤采空区积水。6 ~ 10 煤间粗砂岩裂隙孔隙承压含水层水为 10 煤老顶为弱含水层, 不具可疏性, 对工作面影响不大; DF23 正断层位于工作面中部, 根据工作面回风顺槽及主运顺槽揭露情况, 断层无破碎带, 无导水现象; 工作面顶板上部 210602 采空区, 由于受鸳鸯湖背斜影响, 在背斜西侧和东侧形成低洼点, 可能存在积水, 为工作面的主要充水水源。

目前顶板导水裂隙带发育高度的计算主要依据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》(2017 年版) 和《矿区水文地质工程地质勘探规范》(GB 12719-1991) 中提供的公式。根据公式进行计算, 考虑到工作面回采期间的安全, 211002 工作面“两带”高度取经验公式计算值中的较大值, 即 211002 工作面垮

落带高度 39.56m, 导水裂隙带高度 67.58m。因 6 煤至 10 煤层间距约 33-45m, 因此 10 煤回采垮落带及导水裂隙带能够导通上覆采空区, 所以有必要对工作面顶板上部 6 煤采空区的富水情况进行探测。

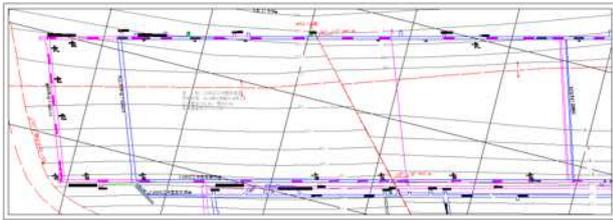


图 1 石槽村煤矿 211002 工作面平面布置图

二、矿井瞬变电磁法原理与工作方法

2.1 矿井瞬变电磁法原理

瞬变电磁法 (TEM) 属时间域电磁测深法, 又称“纯异常场法”, 它是利用阶跃波形电磁脉冲激发, 利用不接地回线向地下发射一次场, 在一次场的间歇期间 (断电后), 测量由地下介质产生的感应二次场随时间的变化来达到寻找各种地质目标体的一种地球物理勘探方法。

基本原理是在发射回线上供一个电流脉冲方波, 在电流下降的瞬间, 产生一个向发射回线法线方向传播的一次磁场, 在一次磁场的激励下, 地质体将产生涡流, 其大小取决于地质体的导电程度。在一次场消失后, 该涡流不会立即消失, 它将有一个过渡 (衰减) 过程。该过渡过程又产生一个衰减的二次磁场, 由接收回线接收二次磁场, 该二次磁场的变化将反映地质体的电性分布情况, 并由接收机记录、处理, 进而来解决有关地质问题。其本质是基于导电介质在阶跃变化的激励磁场激发下引起的涡流场问题。如图 2 所示。

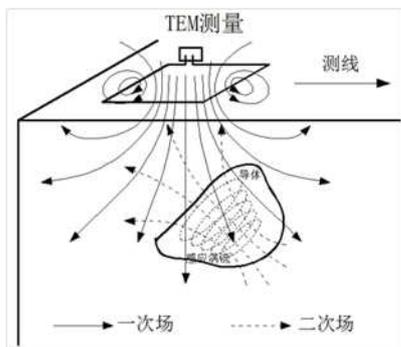


图 2 瞬变电磁法探测原理示意图

2.2 工作方法

本次探测采用 YCS2000 (A) 矿用瞬变电磁仪进行探测, 该仪器为重叠回线装置, 发射、接收线框同面共中心, 接收线框尺寸相对较小, 纵横向分辨率较高, 受外部环境干扰较弱, 是一种较为常用的井下工作装置。

根据工作面巷道标高和实际现场情况, 在 211002 工作面切眼附近以 210602 工作面切眼在 211002 工作面的投影位置为起始点分别在回风顺槽、运输顺槽沿停采

线方向布置测点 900m, 每隔 10m 布置一个测点, 每条巷道分别为 91 个测点。为了对探测区域内 6 煤采空区易积水位置进行有效覆盖, 在工作面回风顺槽布置 4 个方向 (见图 3), 分别为 30°、45°、60°、90°, 在运输顺槽布置 3 个方向, 分别为 45°、60°、90°, 共计 7*182=1274 个数据体。

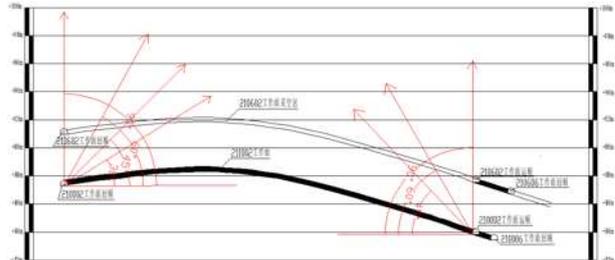


图 3 工作面探测角度布置示意图

三、探测结果分析

3.1 回风顺槽探测数据分析

从工作面回风顺槽瞬变电磁探测视电阻率断面图中 (见图 4) 可以看出:

在顶板 30° 方向, 视电阻率值整体较大, 整体呈现相对高阻, 电性横向连续性较好, 在纵向方向 10-70m 范围对应 6 煤与 10 煤间岩层, 视电阻率值在 35-70 $\Omega \cdot m$ false; 在纵向方向 70-120m 范围对应 6 煤顶板上部岩层, 视电阻率值在 60-110 $\Omega \cdot m$ false, 视电阻率值相对较高。该探测角度无明显相对低阻异常区。

在顶板 45° 方向, 视电阻率值相对较大, 分层较为明显, 在纵向方向 10-60m 范围对应 6 煤与 10 煤间岩层, 视电阻率值在 20-70 $\Omega \cdot m$ false, 存在相对低阻异常区, 分布范围较小; 在纵向方向 60-120m 范围对应 6 煤顶板上部岩层, 视电阻率值在 60-110 $\Omega \cdot m$ false, 视电阻率值相对较高。该探测角度在横向方向 150-200m、390-420m 存在两处低阻异常区, 但不明显。

在顶板 60° 方向, 视电阻率值相对较小, 分层明显, 存在相对低阻异常区且范围较小, 在纵向方向 10-50m 范围对应 6 煤与 10 煤间岩层, 视电阻率值在 20-65 $\Omega \cdot m$ false, 存在明显的相对低阻异常区; 在纵向方向 50-120m 范围对应 6 煤顶板上部岩层, 视电阻率值在 60-110 $\Omega \cdot m$ false, 视电阻率值相对较高。该探测角度在横向方向 100-370m、400-570m、680-890m 存在三处明显的低阻异常区。

在顶板 90° 方向, 视电阻率值相对较小, 分层明显, 存在相对低阻异常区且范围较大, 在纵向方向 10-45m 范围对应 6 煤与 10 煤间岩层, 视电阻率值在 10-25 $\Omega \cdot m$ false, 存在明显的相对低阻异常区, 在纵向方向 45-120m 范围对应 6 煤顶板上部岩层, 视电阻率值在 25-110 $\Omega \cdot m$ false, 视电阻率值相对较高。该探测角度在横向方向 60-440m、480-620m、770-800m 存在三处

明显的低阻异常区。

从图 4 中可以看出, 随着探测角度的增大, 视电阻率值整体逐渐减小且低阻异常区逐渐凸显, 异常区范围逐渐增大。说明受鸳鸯湖背斜影响, 在靠近工作面回风顺槽位置顶板上部 6 煤采空区附近疑似存在积水。

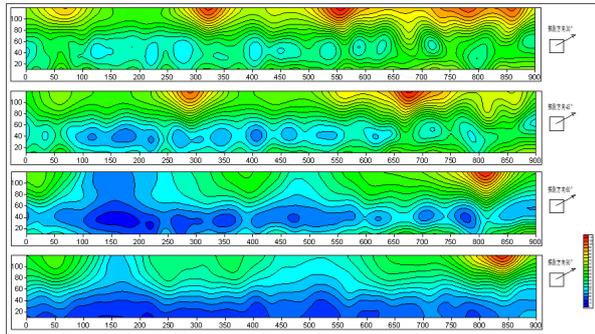


图 4 工作面回风顺槽瞬变电磁探测视电阻率断面图

3.2 运输顺槽探测数据分析

从工作面回风顺槽瞬变电磁探测视电阻率断面图中 (见图 5) 可以看出:

在顶板 45°、60°、90° 三个方向所探测的视电阻率值变化较为相似, 视电阻率值分布较为均匀, 为 50-95 Ω·m false 之间, 在纵向方向随着距离的增大视电阻率值相对逐渐增大。该三个角度视电阻率整体呈现相对高阻, 电性横向连续性较好。该角度探测范围内未发现明显的低阻异常区域。

从图中可以看出, 随着探测角度的增大视电阻率值存在相对逐渐减小的趋势, 但不存在明显的相对低阻异常区。说明受鸳鸯湖背斜影响, 在靠近工作面运输顺槽位置顶板上部 6 煤采空区附近可能没有积水。

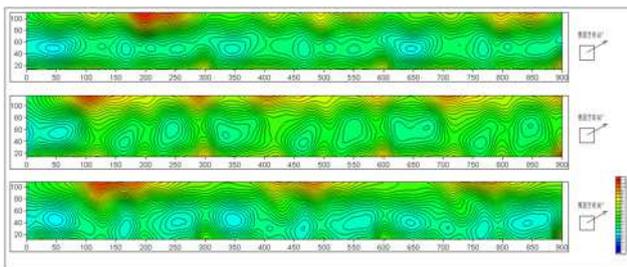


图 5 工作面运输顺槽瞬变电磁探测视电阻率断面图

3.3 工作面顶板上部 6 煤采空区处探测数据分析

为了能够准确直观的对工作面顶板上部 6 煤采空区富水性分布情况进行分析, 根据回风顺槽和运输顺槽不同探测角度的视电阻率断面图, 按照 6 煤采空区在不同探测角度的位置高度提取相关数据, 通过反演得到工作面顶板上部 6 煤采空区的视电阻率断面图 (见图 6), 从中可以看出:

211002 工作面顶板上部约 45m 处 6 煤采空区瞬变电磁探测视电阻率断面图整体视电阻率值较大, 视电阻率值为 15-60 Ω·m false。在工作面顶板上部靠近工作面回风顺槽约 45m 范围内处位于鸳鸯湖背斜西翼存在 A、

B、C 三处明显的相对低阻异常区, 横向位置分别位于 80-310m、450-600m、780-820m, 纵向位置位于 245-285m, 具有一定的富水性, 横向联通性较好, 分布范围较大。分析认为该低阻异常区为上部 6 煤采空区局部积水所致。

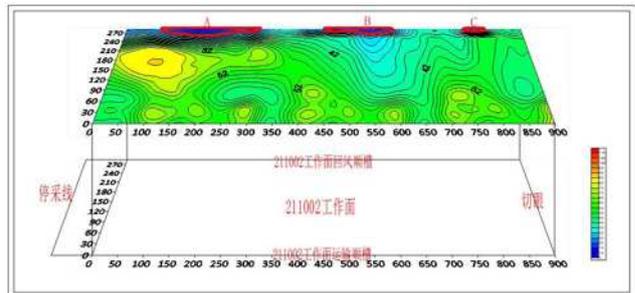


图 6 211002 工作面顶板上部约 45m 处 6 煤采空区瞬变电磁探测视电阻率断面图

四、钻孔验证

根据所探测 211002 工作面顶板上部 210602 工作面采空区富水异常区域, 在回风顺槽共设置 4 个钻场 10 个钻孔对所探测的低阻异常区进行验证, 钻孔施工层位均为 210602 工作面回风顺槽底板。为了对本次探测成果的可靠性进行验证, 在运输顺槽设计 2 个钻场 4 个钻孔, 对鸳鸯湖背斜东翼靠近 210602 工作面运输顺槽位置进行钻孔验证。所设计钻孔在纵向位置对异常区域进行全覆盖, 保证对富水异常区域进行全面疏放及验证。其中 F2-1、F2-3、F1-2、F4-1、Z2-1 终孔位置为 210602 工作面采空区, F2-2、F2-4、F3-2、F4-2、F5-1 终孔位置为 210602 工作面回风顺槽底板, Z1-1、Z1-2、Z2-2 终孔位置为 210602 工作面主运顺槽底板。

根据钻孔设计, 所设计钻孔均施工至设计终孔位置。在 211002 回风顺槽位置所施工的钻孔均不同程度出水, 其中在异常区 B 位置涌水量最大, 异常区 A、C 的涌水量相对较小, 终孔位置靠近 210602 工作面回风顺槽的钻孔涌水量相对较大, 在 211002 主运顺槽施工的钻孔无水。经钻孔验证表明本次探测成果可靠, 受鸳鸯湖背斜影响仅在背斜西翼存在 6 煤采空区积水, 通过对 211002 工作面水文地质条件进行分析, 鸳鸯湖背斜东翼 6 煤采空区积水通过下区段 210606 工作面巷道排出。

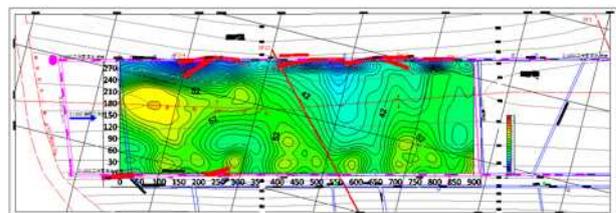


图 7 211002 工作面顶板上部约 45m 处 6 煤采空区低阻异常区钻孔验证设计图

表 1 211002 工作面钻孔验证施工情况一览表

位置	钻场位置	钻场	钻孔	仰角(°)	方位角(°)	孔深(m)	初始涌水量(m ³ /h)	终孔位置
211002 回风顺槽	211002 回风顺槽 3# 调向硐室	F2	F2-1	30	156	87	20	210602 采空区
			F2-2	30	346	85	30	210602 回风顺槽底板
			F2-3	35	136	85	1	210602 采空区
			F2-4	30	166	83	50	210602 回风顺槽底板
	SF13 测点北 25m	F3	F3-1	30	156	91	1	210602 采空区
			F3-2	30	346	98	170	210602 回风顺槽底板
	211002 回风顺槽 2# 调向硐室	F4	F4-1	30	156	97	5	210602 采空区
			F4-2	30	346	93	30	210602 回风顺槽底板
			F4-3	30	6	81	3	210602 采空区
	SF10 测点北 19m	F5	F5-1	30	346	92	10	210602 回风顺槽底板
211002 主运顺槽	211002 主运顺槽 Z13 测点南 30m	Z1	Z1-1	27	338	74	0	210602 主运顺槽底板
			Z1-2	27	341	73	0	210602 主运顺槽底板
	211002 主运顺槽 Z9 测点	Z2	Z2-1	35	331	69	0	210602 采空区
			Z2-2	35	346	71	0	210602 主运顺槽底板

五、结论

本次采用瞬变电磁法对 211002 工作面顶板上部 6 煤采空区富水性分布情况进行了探测, 综合工作面水文地质条件及探测结果进行了评价。受鸳鸯湖背斜轴影响, 在靠近 210602 工作面回风顺槽处存在三个明显的相对低阻富水异常区, 富水性较强, 为 6 煤采空区积水, 沿工作面倾向方向影响范围约 45m, 在 210602 工作面运输顺槽附近无采空区积水。经过钻孔验证表明该工作面物探探测成果较为可靠。

参考文献:

[1] 杨振威, 李贤庆, 凌标灿, 等. 瞬变电磁法在探测工作面顶板赋水性中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(1):62-66.

[2] 张晓岩. 音频电透法在探测煤矿工作面富水异常区中的应用[J]. 煤, 2018(3).

[3] 张卫, 吴荣新, 付茂如, 等. 三维并行电法在工作面顶板富水区探测中的应用[J]. 中国煤炭, 2011, 37(6):49-51.

[4] 杜庆丰. 管志宁. 何朝明. 瞬变电磁数据预处理方法探讨[J]. 物探与化探, 2006,(1):67-70.

[5] 张开元. 韩自豪. 周韬. 瞬变电磁法在探测煤矿采空区中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2007,(4):341-344.

[6] 陈本池. 牟永光. 孙吉定. 瞬变电磁法资料的快速反演成像技术与软件[J]. 物探与化探, 2000,(5):377-382,386.

作者简介: 龙自阳(1988-), 男, 工程师, 2011年毕业于中国矿业大学, 现任职于国家能源集团宁夏煤业有限责任公司能源工程公司, 研究方向为矿井地球物理探测。