

# Transient Electromagnetic Instrument Is Widely Used for Detecting Water in Advance in a Coal Mine

Denglong Zhang

Weiyi Mining Industry Limited Company, Kuche Xinjiang  
Email: zdlstk@163.com

Received: Mar. 11<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 7<sup>th</sup>, 2020; published: Apr. 14<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Based on the fact that coal bed has a shallow buried depth in a Coal Mine, atmospheric precipitation, river supply aquifers by side direction, large goaf area and water accumulation are complex, especially during the rainy season. Firstly, geophysical prospecting is carried out in front of the construction roadway with the mine transient electromagnetic instrument. For the low resistivity anomalous areas detected, the comparative analysis is made on the basis of previous geological data and data collected from nearby excavation. Then drilling is used for verification, so as to find out location and scope of geological structure and water-rich near the roadway. The advanced detection results are scientifically interpreted for the geophysical exploration and drilling of roadways to analyze the influence of meteoric precipitation and surface rivers on the water-bearing concealed water-bearing structure and water-rich property of the roof originating from atmospheric precipitation and the river. Practical application shows that the results of the geophysical exploration and drilling are in good agreement, the geological structure and water-rich area obtained by "two explorations" will provide more accurate and reliable scientific basis for working out safety technology measurement and prevention of water bursting risk in tunneling roadways. At the same time, it can provide some reference for water prospecting under similar conditions.

## Keywords

Transient Electromagnetic Instrument Geophysical Prospecting Treatment Measures Safe Excavation

---

# 瞬变电磁仪在煤矿超前探水中的应用

张登龙

伟晔矿业有限公司, 新疆 库车  
Email: zdlstk@163.com

收稿日期: 2020年3月11日; 录用日期: 2020年4月7日; 发布日期: 2020年4月14日

## 摘要

基于新疆天山南麓某矿煤层埋藏浅, 大气降水向井下入渗、地面河流对含水层侧向补给, 尤其雨季井下水害严重威胁安全生产的水文地质特点, 先采用矿用瞬变电磁仪对施工巷道前方进行物探; 对探测出的低阻异常区, 结合已有勘探地质资料及附近采掘收集的资料进行对比分析, 然后设计钻孔、采用钻探进行验证, 确定掘进巷道附近的富水异常区位置和范围; 并对“两探”超前探测结果依据已有资料加以科学地解释, 进而分析大气降水、地面河流对前方施工巷道顶底板含水隐伏含(导)水构造及富水性的影响。实践应用表明, “两探”方法得出的巷道掘进前方含水异常区段赋水性和突水构造, 可为掘进巷道防治水措施编制及突水风险防范提供更准确可靠的科学依据; 可为相似条件下的探放水提供一定的参考。

## 关键词

瞬变电磁仪, 物理探测, 处理措施, 安全掘进

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 概述

煤矿生产过程中会受到多种因素的影响, 其中矿井水害长期以来一直是制约煤炭安全高效开采的主要因素之一。新疆库车县伟晔煤矿既有大气降水通过地层露头、地表采动裂隙及火烧区向井下入渗, 也有克孜库坦河流经第四系含水层对煤层顶底板含水层侧向补给, 更有断层导水及往年小煤窑留下的采空区困扰采掘生产; 尤其在雨季, 井下涌水量大增, 水害十分严重[1]。为了避免邻近榆树泉矿透水悲剧的重演, 保证采掘安全, 杜绝水害事故发生, 依据《煤矿安全规程》及《煤矿防治水细则》“物探先行、钻探验证”的防治水要求, 做到“两探”互相验证, 将掘进巷道前方探测预报常态化, 已成为矿井日常地质防治水管理工作中的一个重要环节[2] [3]。

瞬变电磁法是重要的物探手段之一, 常用来查明含水地质体, 如煤矿断层破碎带含水层、采空区、不规则水体、岩溶洞穴、陷落柱和导水通道等。巷道掘进时, 用来探明巷道前方隐伏含水体, 做好巷道掘进前预测预报工作, 确保巷道快速掘进、安全掘进, 有效遏制煤矿重特大水害事故的发生。

业内人士知道, 就巷道掘进突水的超前预测来说, 其常规的钻探方法探测准确, 但只能探测钻孔及其周围的地质状况, 增多钻孔又会增加劳动强度、延长钻探时间、施工成本高, 不能完全预测工作面前方的含水情况, 探水后还不是很清楚, 并且钻探钻孔易成为导水通道, 在施工中存在潜在的诱发突水危险[4]。瞬变电磁法作为近年来发展起来的超前探水技术, 具有体积效应小、方向性强、施工便捷、探水距离远、对高阻围岩内的含水构造有较高的分辨能力[5] [6], 当煤岩层完整性受到较大破坏, 或存在较多的裂隙空隙, 煤岩层电阻率会显著升高, 或者呈现出一定的波动性; 若上述裂隙区被水充填, 煤岩之间原来几乎绝缘的空隙再次被连接, 煤岩的电阻率显著下降, 这样就会使得富水区域表现出明显的低电阻特性, 能够较准确地探查采掘工作面前方富水异常区域和含水地质异常体及其含水性, 为井下水害预报和防治提供有效的技术指导[7]。为此, 日常防治水工作时先进行瞬变电磁法超前探测, 然后对低阻异常区进行打钻探查验证。

## 2. 测区位置及基本情况

### 1) 测区位置

新疆库车县伟晔煤矿地处库拜煤田阿艾矿区中部,克孜库坦河东侧;矿井生产规模 0.6 Mt/a。本次物探是在东翼皮带机道中布置测点,测定目标是下 10 煤层架子道;下 10 煤层架子道与东翼皮带机道平行、两巷平距 40 m (如图 1)。

### 2) 测区地质

测区下 10 煤层架子道东边为 F4 断层(H=25 m),西边为 F1 断层(H=16.5 m),根据附近巷道揭露资料,测区前方会相继遇到 F3 断层(H=1.5 m),F2 断层(H=3 m) (图 1)。

测区煤层稳定、结构简单,厚度平均为 2.76 m,顶板岩性为厚层中砂岩;底板为灰白色中砂岩。

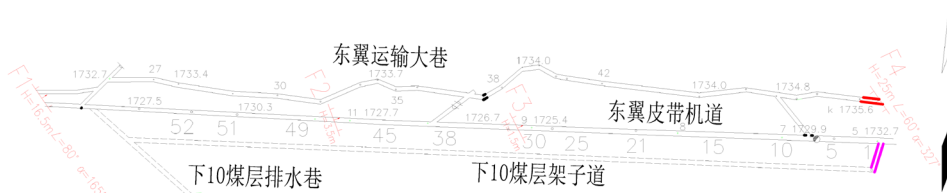


Figure 1. Diagram about arrangement of testing point and detection direction

图 1. 测区位置及测点布置示意图

### 3) 测区水文地质

本矿区域属北温暖带大陆性干旱气候,雨季(七、八月)常降暴雨,地表基岩裸露区,风化裂隙发育,局部有采动裂隙;在西南露头,中部南北向及西南角均有大面积火烧区发育,有利于大气降水向井下入渗补给。第四系含水层富水性水随季节变化波动较大,径流方向为由北西南东。

另外,克孜勒库坦河水经第四系含水层补给基岩含水层,为本测区主要地下水补给源之一。

总之,该掘进巷道前方表现为顶板砂岩裂隙淋涌水,直接水源是火烧区或基岩含水层受 F1、F4 断层切割破坏,其中的储水向煤层顶底板入渗补给,特别是在 F3、F2 小断层附近煤层顶板含水会沿断层面下渗。

## 3. 矿用瞬变电磁法勘探原理[8] [9] [10]

瞬变电磁法始于国外,上世纪 50 年代,美国、苏联、加拿大、澳大利亚等国开始研究和进行试验,特别是前苏联在 70~80 年代开展过大面积的瞬变电磁法探测工作。进入 80 年代后,瞬变电磁仪发展迅猛,在矿产勘探、油气勘探、工程勘查、考古探测和军事探测等诸多方面均已广泛应用。国内在 90 年代末开始应用于井下,主要来自大专院校、研究所和仪器生产厂家;近十几年,国内瞬变电磁仪发展迅速,共有 5 次更新升级,目前商品化仪器大约有十几种,已在井下探水中得到广泛的应用。从现场应用来看,瞬变电磁仪测试结果往往对巷道掘进前方低阻异常有不同程度的放大,这给钻孔的定位定向设计带来了困扰,不利于物探与钻探的紧密结合,影响了“两探”精度。

YCS-2000A 矿用瞬变电磁仪(以下简称瞬变电磁仪)是为煤矿井下含有瓦斯、煤尘爆炸性危险环境中探测含水和导水地质小构造而设计制造的勘探仪器。它是根据电磁感应原理,以地壳中岩(矿)石的导电性与导磁性差异为主要物质基础;它是由发射回线和接收回线两部分组成,工作过程分为发射、电磁感应和接收三部分。在导电率为  $\sigma$ 、导磁率为  $\mu$  的均匀各向同性地质体表面,敷设面积为  $S$  的矩形发射回线,在发射回线中通以阶跃电流  $I$ ,电流断开之前,发射电流在回线周围的大地和空间中建立起一个稳定的磁场。当发射电流突然由  $I$  下降到零,根据电磁感应理论,发射回线中电流突然变化必将在其周围产生磁场,该磁

场称为一次磁场。一次磁场在周围传播过程中，如遇到地下良导电的地质体，将在其内部激发产生感应电流，又称涡流或二次电流。由于二次电流随时间变化，因而在其周围又产生新的磁场，称为二次磁场。由于良导电地质体内感应电流的热损耗，二次磁场大致按指数规律随时间衰减，形成瞬变磁场，二次磁场主要来源于良导电地质体的感应电流，如图 2 所示。因此它包含着与地质体有关的地质信息，二次磁场通过接收回线观测，并对观测的数据进行分析和处理，对地下地质体的相关物理参数进行解释。

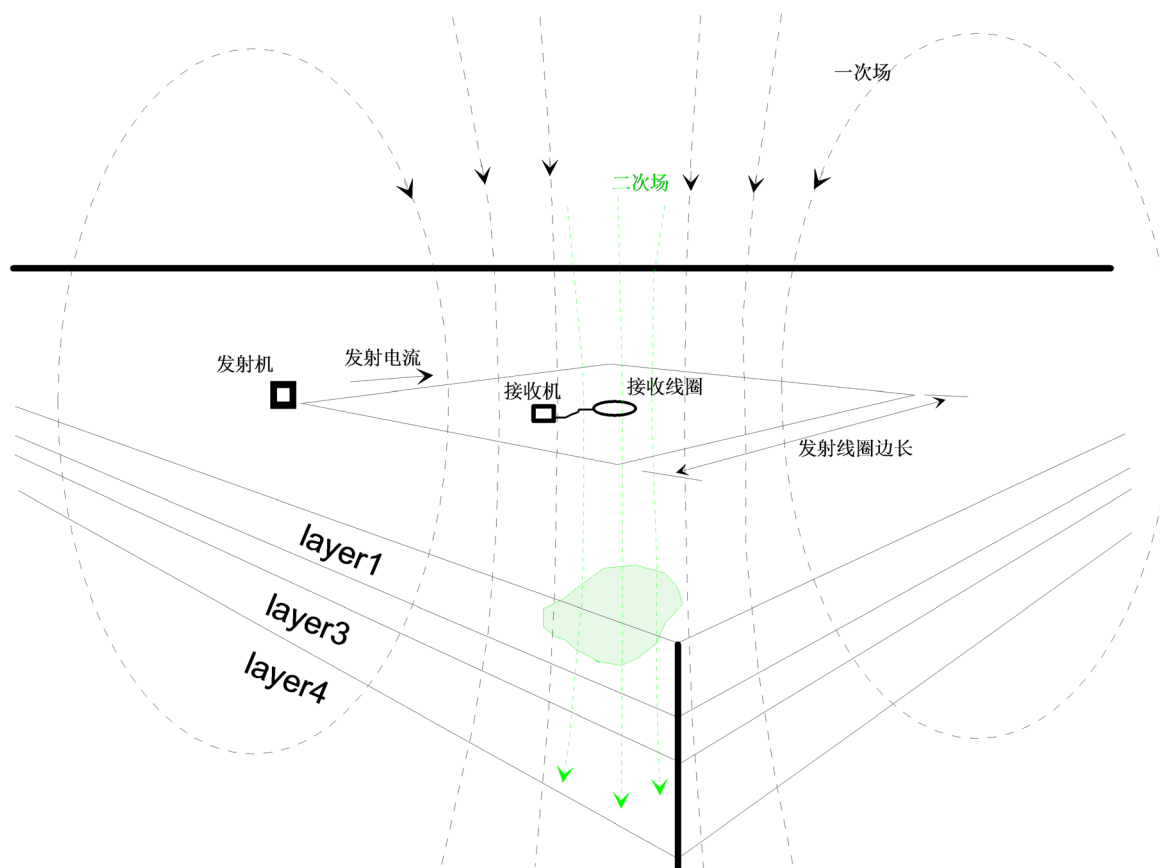


Figure 2. Schematic diagram of working principle of The TEM instrument  
图 2. 瞬变电磁法工作原理示意图

#### 4. 勘探工程布置

本次在与下 10 煤层架子道平行的东翼皮带机道中由东向西，每 10 m 布置一个测点，共完成 52 个物探测点(图 1)，每个测点分别对架子道前掘方向煤层、下 45°方向底板及上 45°方向顶板进行探测[11] [12]，各完成 52 个物理点勘测，形成 3 条测线、每条测线长 520 m (图 3)。经过数据处理，给出了每条测线探测的等视电阻率剖面图，最后结合地质资料，把物探异常转化为地质异常。

#### 5. 数据解释

在视电阻率剖面图上，横坐标为测线坐标，零点为探测起始位置，即架子道开口位置，终点为本次探测终点位置，纵坐标为探测深度的视电阻率值；剖面图形象地表示不同巷道地段视电阻率的变化情况。图中用蓝色表示相对低的电阻率值，砖红色表示相对高的电阻率值。一般泥岩、粉砂岩、中粗砂岩的电阻率值依次增高，灰岩电阻率更高；顺地层方向岩性变化一般较小，表现为电阻率较均匀[13]。

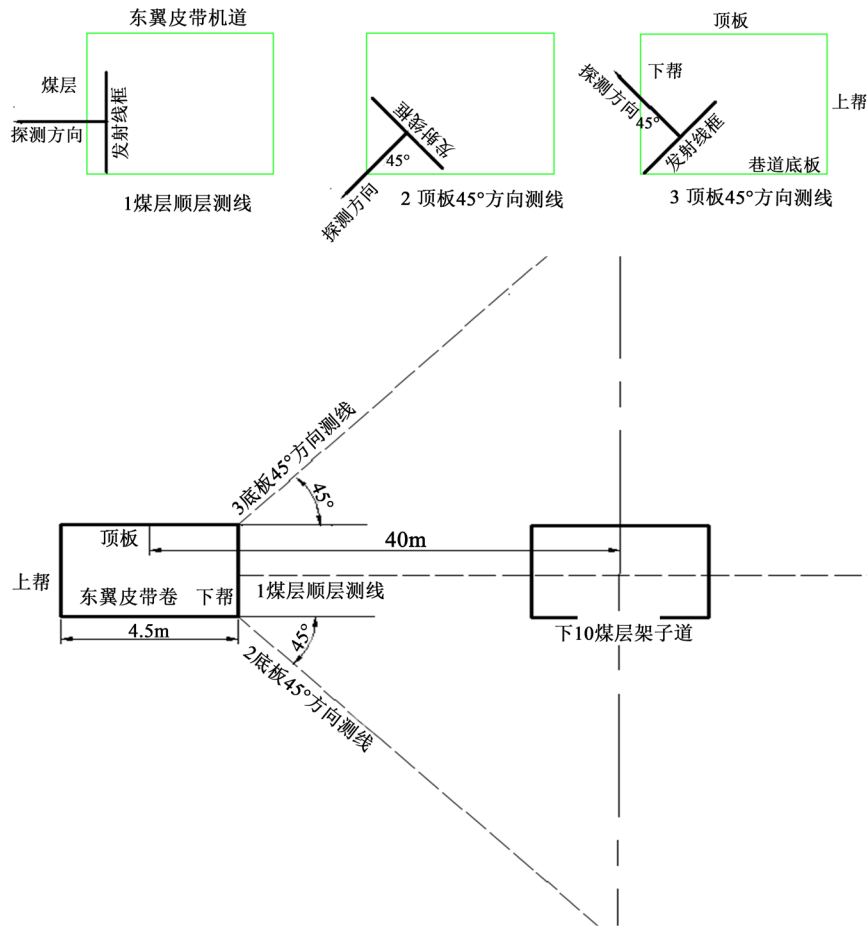


Figure 3. Diagram about arrangement of testing line and detection direction  
图 3. 瞬变电磁法测线布置及探测方向示意图

如果探测空间不受富水区和导水构造影响，地质体电阻率有序变化，视电阻率等值线变化稳定，呈似层状分布；当探测范围有充水裂隙、受断层切割导致破碎带含水或有水患异常时，视电阻率降低，等值线分布表现为扭曲、变形或呈密集条带等形状。由此，根据不同测线的电阻率分布情况、测区地质资料及钻孔、断层、煤层等采掘时收集的资料，推断探测空间是否存在含水异常体。

下面对 3 条测线视电阻率剖面图成果资料作简要分析：

1) 架子道煤层顺层方向视电阻率剖面图资料解释[14]

从该图 4 中看出，在 28#~46#测点处有一蓝色显示区域，为低阻异常区，井下位于 F3 与 F2 两小断层之间，判断有导水裂隙、含水构造或异常含水区域等水害隐患。

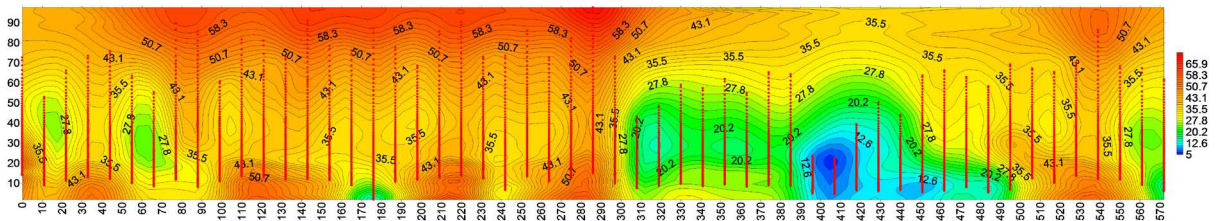


Figure 4. Apparent resistivity profile of coal seam bedding (Sampling frequency 12.5 Hz)  
图 4. 煤层顺层方向视电阻率剖面图(采样频率 12.5 Hz)



## 2) 架子道下 45°方向底板视电阻率剖面图资料解释

图 5 示为架子道下 45°方向底板探测成果, 获得低阻异常蓝色区 2 处, 其中:

蓝色区域较大一处低阻异常区, 位于架子道探测起始位置 28#~39#测点处, 异常区位于架子道底板深度最近距离约 20 m 处; 有可能是东翼皮带巷 F3 断层段局部积水下渗引起的低阻反应, 大块蓝色区域可能是积水顺断层面下渗的结果。

蓝色区域较小一处低阻异常区, 位于架子道探测起始位置 43#~45#测点处, 异常区位于架子道底板深度最近距离不足 10 m 处; 有可能是皮带机道 F2 断层段局部积水下渗引起的低阻反应, 局部可能是积水顺断层面下渗的结果。

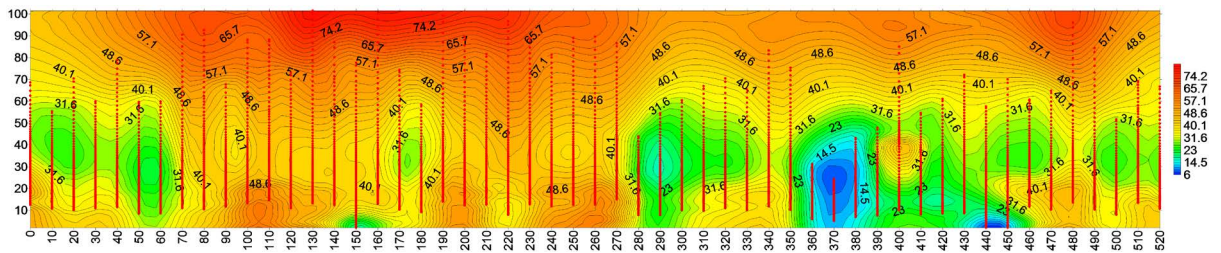


Figure 5. Apparent resistivity profile of lower 45 degree directional bottom plate (Sampling frequency 12.5 Hz)

图 5. 架子道下 45°方向底板视电阻率剖面图(采样频率 12.5 Hz)

## 3) 架子道上 45°方向顶板视电阻率剖面图资料解释

图 6 示为架子道上 45°方向顶板探测成果, 获得蓝色显示低阻异常区域 3 处, 其中:

第一处蓝色区域低阻异常区, 位于架子道探测起始位置 28#~31#测点处, 异常区位于架子道顶板深度最近距离约 40 m 处; 有可能是顶板砂岩含水层引起的低阻反应。

蓝色区域较大一处低阻异常区, 位于架子道探测起始位置 35#~39#测点处, 异常区位于架子道顶板深度最近距离约 45 m 处; 有可能是顶板砂岩含水层水, 也有可能是 F3 断层附近的导水裂隙、含水构造或异常含水区域引起的低阻异常区。

蓝色区域较小一处低阻异常区, 位于架子道探测起始位置 44#~49#测点处, 异常区位于架子道顶板深度最近距离约 40 m 处; 有可能是顶板砂岩含水层水沿 F2 断层面下渗引起的低阻反应区, 也有可能是 F2 断层附近的含水构造带引起的低阻异常区。

另外, 两处蓝色低阻异常区, 位于架子道探测起始位置 8#和 16#测点处, 异常区位于架子道顶板深度最近距离约 15 m 及 45 m 处。

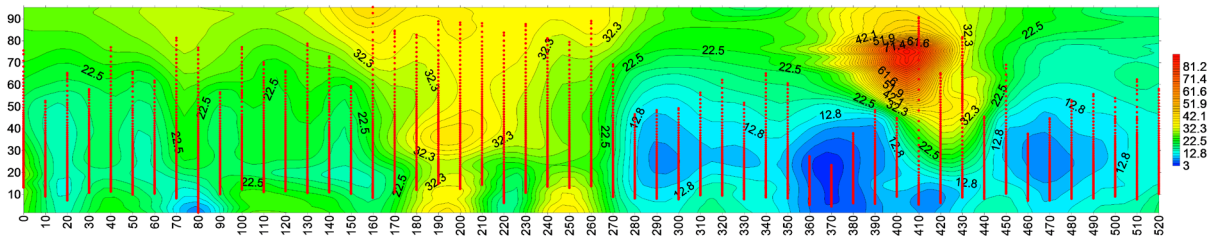


Figure 6. Apparent resistivity profile of upper 45 degree directional roof (Sampling frequency 12.5 Hz)

图 6. 架子道上 45°方向顶板视电阻率剖面图(采样频率 12.5 Hz)

## 6. 钻探验证

综合以上巷道超前物探结果, 在架子道 29#~47#物探测点处上 45°方向顶板视电阻率剖面图有一蓝色

显示区域(图 6), 为低阻异常区; 结合煤层顺层、下 45°方向底板及实际地质情况分析, 该区域位于 F3 与 F2 两小断层之间, 推断为富水异常区及断层带含水区。为此, 在东翼皮带机道 29#、37#及 47#等 3 个物探测点处, 每处设计 2 个 60 m 深的钻孔对物探 45°方向顶板及煤层顺层方向低阻异常区, 打钻验证物探结果。

对 8#、16#物探测点处, 在东翼皮带机道每处设计 1 个 60 m 深的钻孔对物探 45°方向顶板方向低阻异常区, 打钻验证物探结果。钻孔布置如图 7 所示。

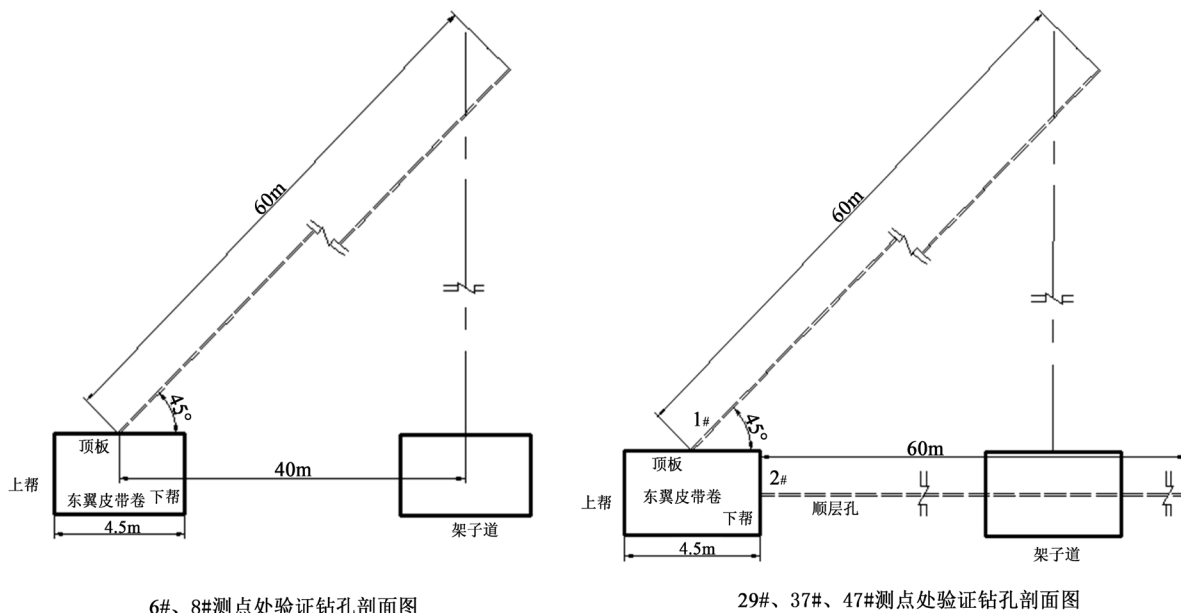


Figure 7. Layout chart about verify borehole  
图 7. 验证钻孔布置图

打钻验证结果, 29#测点处 1#孔出水 1.5 m<sup>3</sup>/h, 1 周后变为 0.1 m<sup>3</sup>/h; 37#测点处 1#孔出水 1 m<sup>3</sup>/h, 1 个月后变为 0.1 m<sup>3</sup>/h; 47#测点处 1#孔出水 0.5 m<sup>3</sup>/h, 1 个月后变为滴水; 其它孔无出水现象。分析水源为顶板砂岩裂隙水, 且补给水源水量不大。

8#测点及 16#测点处 1#孔有滴水现象。如下表所示。

这些与物探视电阻率低阻异常区吻合, 物探结果得到较好的验证。

打钻验证情况一览表

物探测点	8#		16#		29#		37#		47#	
孔号	1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#
钻孔情况	孔深 60 m		孔深 60 m		孔深 60 m		孔深 60 m		孔深 60 m	
	倾角 45°		倾角 45°		倾角 45°		倾角 45°		倾角 45°	
出水情况	滴水		滴水		1.5 m <sup>3</sup> , 一周后 0.1 m <sup>3</sup>		未出水		1 m <sup>3</sup> , 一个月后 0.1 m <sup>3</sup>	
							未出水		0.1 m <sup>3</sup> , 一个月后滴水	
									未出水	

## 7. 结论与建议

### 7.1. 勘探结论

根据以上“两探”结果,分析推断下10煤层架子道掘进至该段时,顶板可能会有裂隙渗水和淋涌水现象。

其直接水源为顶板砂岩裂隙水,进一步分析上部空间水源可能为地面河流及大气降水,通过基岩露头、火烧区及采动裂隙对第四系含水层、基岩含水层补给,火烧区和基岩含水层被位于架子道东西的F1、F4两断层截断,其中的储水向煤层顶板砂岩裂隙入渗补给,架子道F3与F2两小断层段,赋水较为丰富。

### 7.2. 存在的问题与处理建议<sup>[15]</sup>

1) 从YCS-2000A瞬变电磁仪探测结果、钻探验证结果及附近实际采掘收集的资料对比分析,对架子道在F3、F2断层段时出现的低阻异常区,需要重点关注;在架子道掘进至该段时,利用瞬变电磁仪在巷道迎头,随掘进对巷道前方富水异常区进行跟踪探测,其控制距离为110m左右,现场可掘进80m保留30m安全距离;对探测出的低阻异常区,结合地质资料分析,设计钻孔、打钻验证,必要时进行疏放水,确认安全后方可前掘。

2) 金属干扰问题不可避免,本次在东翼皮带机道中测试,既有皮带机影响又有锚杆锚索影响,干扰复杂、严重,使探测结果存在一定的偏差。所以,我们需要深入学习,采取措施减少干扰,如机械设备处于断电停运状态,尽量减少人文电磁噪声,尽量专人专设备操作;并对实际探测数据进行校正。

3) 加强对架子道掘进工作面的水情观测及排水工作,安装足够排量的排水泵及排水管路,在掘进头低凹处挖掘泵坑,及时排除巷道积水。掘进过程中若遇淋涌水,应进行截水,工人穿雨衣,并加强顶板观察。如遇断层、小构造或顶板发生异常变化,应及时敲帮问顶,短掘短支,加强支护。

4) 在雨季前,应加强地表巡查,发现采动裂缝及时用土回填碾压;对地面基岩露头及火烧区周围挖筑拦洪水沟。同时加强对河水流量监测,发现问题及时汇报领导处理。遇强降雨天气执行《雨季三防应急预案》紧急撤人。

总之,本次矿用瞬变电磁法物探按照“物探先行、钻探验证”的“两探”程序开展工作,坚持“有疑必探,先探后掘”的探放水原则,提高了防治水安全保障水平。架子道施工实际表明,物探及钻探结果与井下实际情况吻合,“两探”都得到了验证,瞬变电磁法在矿井井下探水应用效果良好,可以作为大面积探水的首选方法,可为矿井井下水害预报和防治提供便捷经济有效的技术指导。

## 参考文献

- [1] 侯运炳,何尚森,曹曙雄.瞬变电磁法在某煤矿边界探水的应用[J].煤炭技术,2017,36(5):125-128.
- [2] 张平松,程桦,吴荣新,郭立全,胡雄武.巷道掘进瞬变电磁法跟踪超前预报分析[J].地下空间与工程学报,2013,9(4):919-923.
- [3] 胡雄武,张平松,严家平,郭立全.坑道掘进瞬变电磁超前探水解释方法的改进研究[J].岩土工程学报,2014,36(4):654-661.
- [4] 许时昂,孙松,韩鹏飞,胡雄武,张平松.瞬变电磁重叠覆盖超前探水模拟测试研究[J].工程地球物理学报,2014,11(1):40-43.
- [5] 韩进国,陈琦,曾友强,杜利明,王璐,张扬.井巷瞬变电磁法在某金矿超前预报中的应用[J].地质与勘探,2018,54(2):344-347.
- [6] 段金红.瞬变电磁法探测老空区富水性技术的实践应用[J].内蒙古煤炭经济,2018(12):136-140.
- [7] 武军杰.瞬变电磁法在新疆东天山天宇铜镍矿区的应用效果[J].地质与勘探,2015,51(5):970-976.
- [8] 胡雄武.巷道前方含水体的瞬变电磁响应及探测技术研究[D]:[博士学位论文].淮南:安徽理工大学,2014.



- [9] 谭代明. 隧道超前探水全空间瞬变电磁理论及其应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [10] 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: 35-36.
- [11] 吴超凡, 邱占林, 金其中. 灰岩巷道中矿井瞬变电磁法探水效果分析[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(5): 67-70.
- [12] 张平松, 程桦, 吴荣新, 郭立全, 胡雄武. 巷道掘进瞬变电磁法跟踪超前预报分析[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(4): 919-923.
- [13] 朱亚军, 王艳新. 高密度电法和瞬变电磁法在地下岩溶探测中的综合应用[J]. 工程地球物理学报, 2012, 9(6): 738-742.
- [14] 郭有刚, 刘峰, 王斌武. 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, 2011, 7(2): 151-154.
- [15] 范亮, 荣毅. 瞬变电磁法在煤矿采空区的应用研究[J]. 工程地球物理学报, 2011, 8(1): 29-33.