

doi:10.11720/wtyht.2015.4.34
胡博文,陈立,么红超,等.综合物探在煤巷道断裂施工段富水性判别中的应用[J].物探与化探,2015,39(4):867-871.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.34
Hu B W,Chen L,Yao H C,et al.The application of integrated geophysical exploration to the hydrogeology discrimination of the large fracture tunnel construction period[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2015,39(4):867-871.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.34

综合物探在煤巷道断裂施工段富水性判别中的应用

胡博文^{1,2},陈立²,么红超²,张发旺³,张瑾¹,赵森¹

(1.石家庄经济学院,河北 石家庄 050031; 2.中国地质科学院 水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050061;3.中国地质科学院 岩溶地质研究所,广西 桂林 541004)

摘 要:在煤巷道穿越断裂施工时,往往选用经济高效的综合物探技术判别其富水性,但随着综合物探技术应用的推广,逐渐发现其勘探精度始终不高。结合山西古城煤矿煤巷道施工过程,开展综合物探技术实地研究,通过试验选择物探方法,并结合水化学同位素验证,清楚地揭示了煤矿巷道施工段富水性情况,弥补了综合物探勘探精度不高的缺陷。研究表明:选用综合物探技术并结合水化学同位素验证,在一定程度上能降低煤巷道施工建设中的隐患发生,对相同或类似情况煤巷道工程建设起到示范作用。

关键词:综合物探;水化学与同位素验证;大型断裂;富水性;煤矿巷道水害

中图分类号: P631;P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)04-0867-05

全国煤矿突水统计资料表明 80% 的突水与断层直接相关,因此,在煤层开采过程中一般都对断层按规程留设防水煤岩柱处理,特别是大的断层破碎带往往作为矿井边界加以保护,对于巷道穿越大型断裂的特殊情况则必须认真调查、深入研究。在大型断裂煤巷道穿越施工时将可能同时受到上方顶板松散层水、风化裂隙水及地表水和下方底板高承压水双重威胁,其开拓过程中防治水的难度很大,这也一直是国内外煤巷道建设防治水的难题^[1-4]。为了解断裂富水性,可选择的方法很多,如钻探方法、工程地质调查法、综合物探方法、探槽揭露以及水化学同位素方法等,各种方法在不同方面都有其优越性,在煤巷道穿越断裂施工判别富水性时往往选用综合物探工作方案。考虑到综合物探精度不高问题,笔者结合施工实例,深入分析了综合物探技术与水化学同位素方法结合在大型断裂煤巷道施工段富水性判别中的应用。

1 工作区概况

1.1 地质概况

山西古城煤矿属华北地层区山西地层分区长治

小区。地层出露由东向西,由老到新为:上元古界震旦系,古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系,中生界三叠系,新生界古近系、新近系、第四系。仅西南端及西部沟谷内零星出露二叠系上统上石盒子组、石千峰组地层,其余大部分均被新生界黄土所覆盖。含水层为太原组石灰岩含水层组,以及下伏奥灰岩溶裂隙含水层。构造相对简单,主要以宽缓褶皱为主,主体部分为新生代叠加的长治新裂陷。

1.2 水文地质概况

工作区位于太行山中段西侧上党盆地的中南部,地貌形态以盆地为主,地形标高在 901~1 065 m 之间。区内主要河流是漳河,属海河水系,从盆地北部流出,进入海河流域卫河支流。

2 综合物探工作方案

2.1 可控震源浅层地震勘探

经实地踏勘与协商,布设地震勘查测线 11 条(图 1),测线部署尽量沿乡间柏油路和土路。地震测线从南至北依次编号为 01~04,从东至西依次编号为 05、0501、06、0601、07、08,其中为了更好地测量煤巷道的位置及其导水性能,在 06 号测线与 07

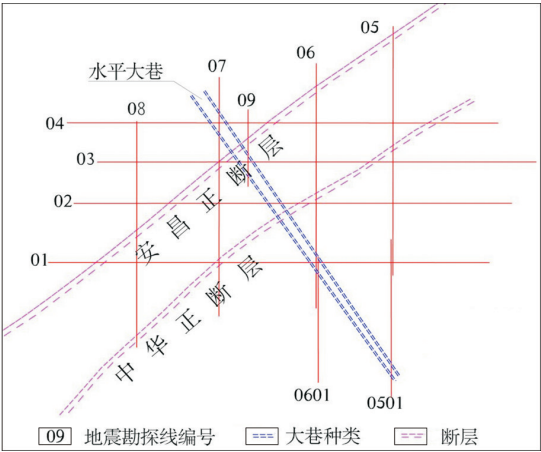


图 1 地震勘探线布设示意

号测线之间加做一条 09 号测线。测线总物理点数 476 炮,测线总长度 13.685 km。

2.2 可控源音频大地电磁法

电阻率是表征地下岩矿石富水性特征较好的一个参数,当地下地层构造富水较好时,测量的电阻率数值一般比较低,当测量到完整的不富水岩石时,电阻率数值会比较高。该工作区地层岩性变化和构造特征具备了地球物理前提条件。

EH-4 系统采用高频测量装置,频率范围 10 Hz~100 kHz,TM 测量方式,电偶极距 30 m (连续剖面)。本次勘查工作部署 16 条测线,总长度 11.36 km。

2.3 综合物探结果及分析

2.3.1 可控震源浅层地震勘探结果及分析

统计 11 条地震勘探剖面数据处理得到的所有的地震时间剖面,对比勘探深度范围,依据标准地震反射波组速度分析和深度计算结果,工作区地层由浅到深可以划分出 5 个标准地震反射波组。其标准反射层与地质层位的对应关系见表 1。

地震地质解释剖面(图 2、图 3)表明,本区断层有如下特点:断层的走向,绝大部分为 NE 向,少部

表 1 标准地震反射波组与地质层位对应关系

地震反射波组	地层(底界)	地层符号
T ₁	第四系	Q
T ₂	二叠系石千峰组	P ₂ sh
T ₃₋₃	二叠系上石盒子组上段	P ₂ s ³
T ₃₋₂	二叠系上石盒子组中段	P ₂ s ²
T ₃₋₁	二叠系上石盒子组下段	P ₂ s ¹
T ₄	二叠系下石盒子组	P ₁ x
T ₅	二叠系山西组	P ₁ s
	石炭系	C

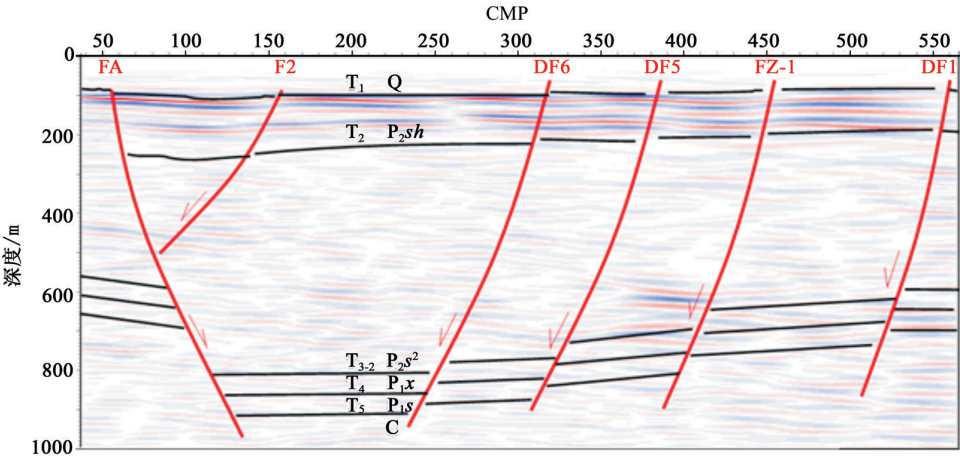


图 2 01 线地震地质解释剖面

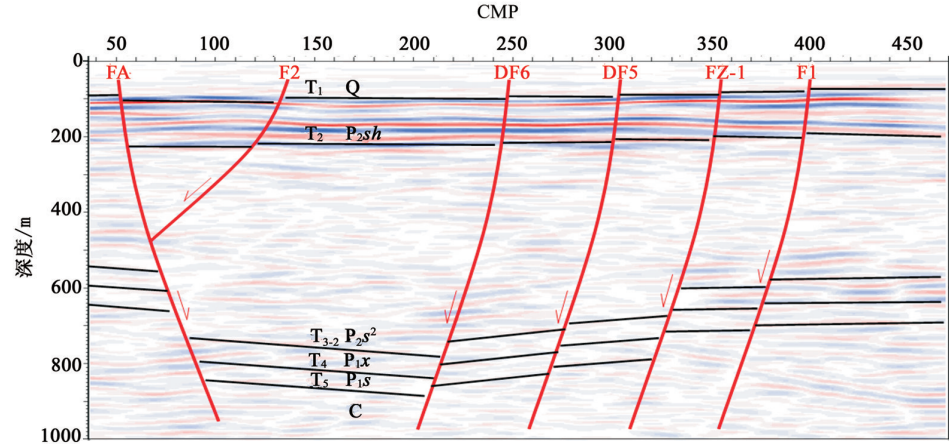


图 3 06 线地震地质解释剖面

分为 NW 向,断层倾角在 80°左右;区内断裂构造延展长度一般较长,断层的平面形态多数较平直,断层大部分集中于勘探中北部,呈条带状分布,地层倾向大多数与断层倾向一致。查明了研究区二叠系内部及其上步覆盖的第四系主要地震反射标准层和断裂构造格局,为了解断层导水性提供基础。

2.3.2 可控源音频大地电磁法结果及分析

对 EH-4 电法勘探结果(图 4、图 5)分析可知,3 线安昌断层位置富水性较差,但是剖面后端有一处小的构造存在,该断层具有一定的导水能力,富水性较好,使得上部各个含水层之间有水力联系,可能在地堑内部富集一定量的水。11 线勘查成果显示,两条断层形成的地堑内,电阻率较低,可能富含有一定的水,特别在中华断层附近,高阻砂层可能有一定的水

量,断层两端电阻率差异较大,使得该断层导水性远远大于安昌断层的导水性,安昌断层两端的电阻率差异较小,它的导水较弱,连通能力较差。从整体上看,第四系地层厚度小于 100 m,该地层电阻率相比二叠系地层电阻率数值要小,横向上第四系多呈水平层状。在富水区方面,工作区内整体上富水性较差,安昌断层、中华-1 断层、中华断层附近以及安昌断层和中华断层所造成的地堑区域内具有一定的富水性,两大断层具有一定的弱导水性,引起一些含水层之间相互连通。安昌断层以北和中华断层以南,除了局部一些小的断层导水外,大部分区域隔水层较好,不利于水力的上下联系。在断层的上盘一般富水性较好,下盘富水性较差,浅层的小断层对煤巷道建设影响较小。勘探区域总体来说富水性较差。

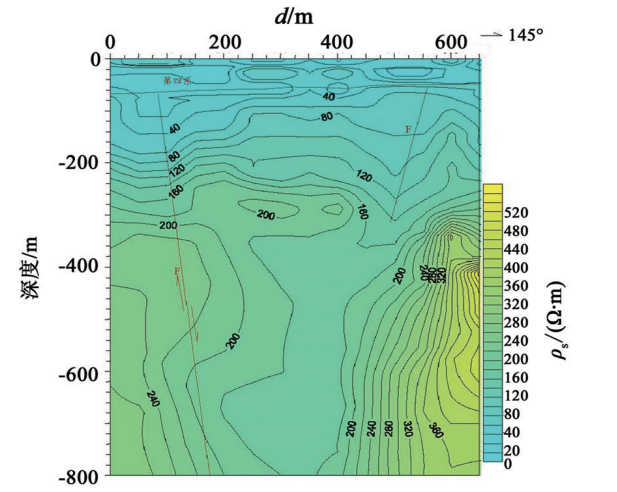


图 4 3 线 EH-4 勘测结果

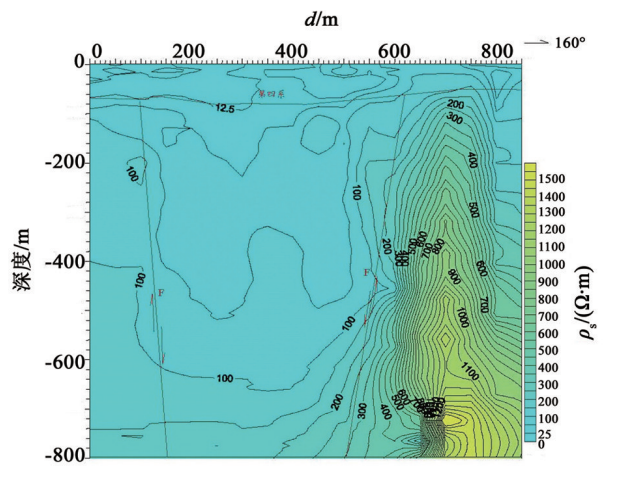


图 5 11 线 EH-4 勘测结果

3 水化学、同位素验证分析

3.1 水化学

研究区的奥陶系灰岩为埋藏型,覆于其上的石炭系、二叠系和三叠系岩层含水性比较弱,在区域岩溶含水层的顶部形成了相对隔水层。随着灰岩埋深的逐渐增大,含水层的补给来源从南北两侧的绕流为主补给过渡到上部含水层的越流补给,但总的补给量非常少,岩溶水呈滞留状态。研究区内岩溶含水层含水介质为碳酸盐岩与硫酸盐岩的混合建造。在岩溶发育过程中,由于石膏的溶解度远大于方解石和白云石,使得灰岩地层中的石膏不断溶解,而方解石往往处于过饱和状态而出现沉淀,这使得长期赋存于灰岩地层中的地下水的水化学组分以 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 为主的 $\text{SO}_4^{2-}-\text{Ca}^{2+}$ 型地下水。

如果在地层中发生了奥陶系灰岩水沿断裂或陷落柱向上对二叠系含水层的顶托补给,较低矿化度的 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ 型二叠系地下水水质势必受到较高矿

化度的 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ 型奥陶系灰岩水的影响,这一过程中,将发生 CaCO_3 的沉淀,而使水化学类型变为 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ 型,或者至少水中的 SO_4^{2-} 含量出现明显升高。但笔者采集的所有二叠系地下水样品中只有 PS6 样品为 $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 型,其他样品均为 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ 型,这说明研究区内奥陶系灰岩水对二叠系地下水的补给可能性不大。

针对 PS6 取样点的进一步分析发现,该水井未进行第四系止水,串通了第四系含水层,因此其水化学类型与其他二叠系取样点不同,根据井附件巷道揭露构造分析其接受奥陶系灰岩水的可能性不大。结合奥陶系含水层地下水流程图,奥灰水经两个地堑阻水作用沿地堑向东部潞城方向汇集,通过图 6 可知 540 巷道位置并未发现顶板淋水 SO_4^{2-} 含量发生明显变化(PS12~PS16),作为区域奥灰水的特征 SO_4^{2-} 的含量一直维持在低水平,从而证明大断裂在垂向上是不导水的,沿走向导水性也很差。PS12~

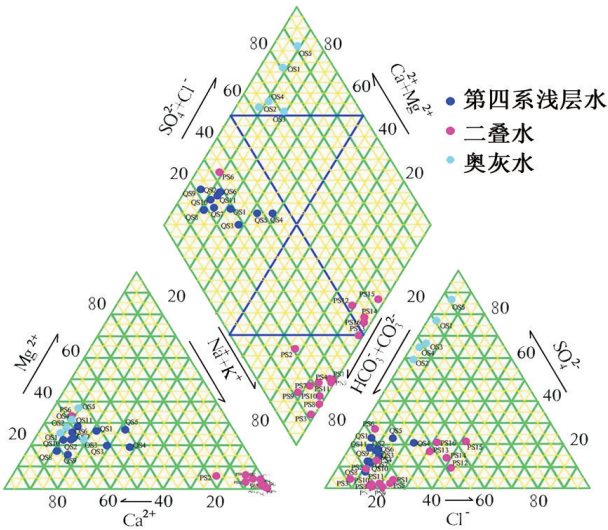


图6 古城矿区及周边不同地层地下水水化学三线图

PS16 水样取自王庄煤矿 540 斜巷穿越该地堑时及以后的一年内水样检测结果,P7~P11 是 540 斜巷工程完工一年后 540 斜巷及附近顶板的水样监测资料。结果显示,工程完工一年后,断层附近顶板水质发生了一些变化,主要表现为 HCO_3^- 浓度上升, Cl^- 含量降低,水质类型逐渐向区域二叠系靠近。分析认为,大断裂导富水性性质不良,且处于滞留区,断层内地下水经过与断层破碎带内岩石的长期化学反应,水中 Cl^- 的含量上升至 40% 左右,而工程进行过程中(2007~2008 年)大断裂中长期积累的水经过矿山工程放水基本转换成了二叠系砂岩补给过来的地下水,从而使断裂中的积水与整个长治盆地的二叠系水水质类型形成了统一。大断裂内水样经过一年多的时间才完成水质转变也证明了其本身导水性很弱。

综合分析,大断裂区域顶板二叠水与地表水和奥灰水的水化学特征差异较大,判断各含水层在纵向存在水力联系的可能性不大,说明安昌—中华大断层在纵向上几乎不导水,从水化学角度验证了综合物探结论的正确性。

3.2 地下水稳定同位素

对采集的 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 环境同位素水样进行分析,同位素取样点分布见图 7, δD - $\delta^{18}\text{O}$ 关系曲线见图 8。

不同部位的岩溶水点在 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 关系图中处于不同的位置,反映出岩溶水补给来源及径流条件的差异。从图 7 可以看出,在本研究区二叠系地下水的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 趋势线基本重合,均位于区域降水线的右下方,但二叠系水样集中分布于左下方, $\delta^{18}\text{O}$ 值在 10.8‰~11.6‰,奥灰水样则集中分布于右上方, $\delta^{18}\text{O}$ 值在 9.7‰~10.5‰。这提示两类地下水的补给区高程不同,二叠系砂岩水主要是从高远的山区

获得补给,奥灰水的补给高程则相对较低,这是由于本区二叠系含水层接受上部含水层补给条件差,以层内径流为主,而矿区岩溶水主要从北部接受文王山断层河流入渗补给。结合氡同位素的结果,本区二叠系砂岩水及奥陶系灰岩水 3H 均在 3TU 以下,是比较古老的地下水,说明两类地下水的补给路线均较长,径流缓慢。

奥灰水和二叠系地下水不同的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分布说明两类地下水补给来源不同,含水层之间水力联系微弱,表明安昌—中华大断裂垂向导水性差,这在一定程度上从侧面验证了综合物探所得结果的正确性。

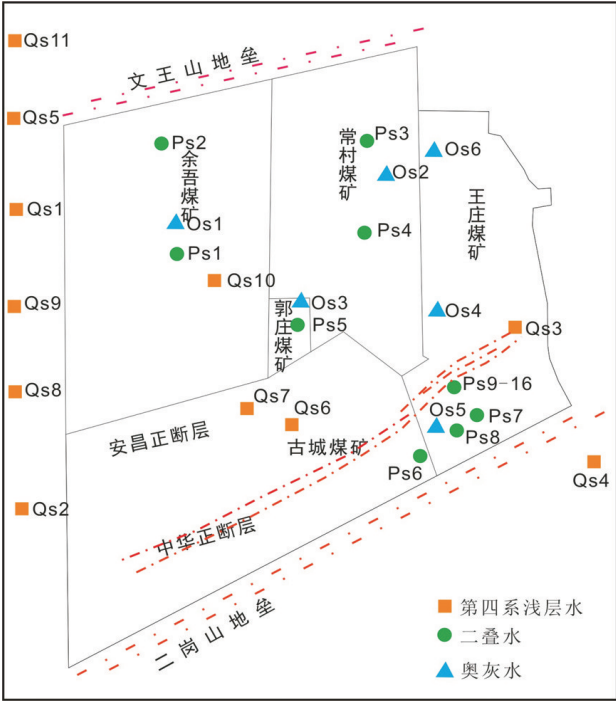


图7 同位素取样点分布

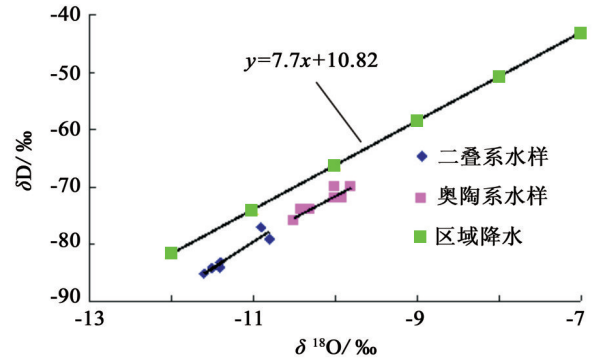


图8 研究区奥灰水与二叠系 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 的关系

4 结论

在探测资料反映较好的条件下,将综合物探的解释结果与水化学同位素的分析结果相互验证,推

断出了煤巷道施工路段的断层分布情况及导、富水性,为煤巷道开挖过程中防治水提供了有效依据,基本解决了煤巷道在大型断层地段施工建设防治水的难题,为地形断裂路段煤巷道安全施工提供了基本保障,对相同或类似情况煤巷道工程建设能够起到积极的示范作用。

参考文献:

[1] 张合,扈本娜,刘国辉.综合物探方法探测城市隐伏活动断层的研究[J].工程地球物理学报,2012,9(6):776-780.
[2] 吴有信.综合物探技术在煤矿灾害防治中的应用[J].安全与环境工程,2009,16(2):95-100.
[3] 刘飞虎.综合物探方法在煤矿水文地质中的应用分析[J].煤矿现代化,2013(2):84-88.
[4] 武毅,刘国辉,潘和平,等.综合物探方法预测松散含水层涌水量技术研究[J].工程地球物理学报,2012,9(5):544-550.
[5] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.矿井井下高压含水层探水钻探技术规范[S].南京:凤凰出版社,2009:20-40.
[6] MT/T 673-1997.煤矿井下探放水技术规范[S].
[7] 国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S].北京:煤炭工业出版社,2000:134-156.
[8] 程书宏,刘仰光.五阳煤矿承压水探放水技术研究及设计[J].

煤炭科学技术,2008,36(2):98-100.
[9] 柴登榜.矿井地质手册[M].北京:煤炭工业出版社,1982:134-156.
[10] 刘振波,冯新顶,赵传语.全液压钻机在软硬岩长距离探放水钻孔中的应用[J].水力采煤与管道运输,2008(4):4-5.
[11] 周竹生,蒋婵君,郭有刚.浅层地震反射波法在煤巷道工程勘探中的应用[J].工程地球物理学报,2008,5(5):516-518.
[12] 蔡大江,白应甫.浅层地震反射波与折射波法同步勘测应用实例[J].工程勘察,1996(1):69-72.
[13] 薛荣俊,李选民.浅层地震在复杂断裂带探测中的应用研究[J].青岛海洋大学学报,1999,29(1):148-152.
[14] 赵德亨,田钢,王邦兵.浅层地震折射波法综述[J].世界地质,2005,24(2):188-193.
[15] 董泽义,汤吉,周志明.可控源音频大地电磁法在隐伏活动断裂探测中的应用[J].地震地质,2010,32(3):442-452.
[16] 贾永梅,姚成林,邓中俊,等.可控源音频大地电磁法探测煤矿采空区[J].物探与化探,2012,36(s):7-11.
[17] 韩浩亮,高永涛,胡乃联,等.可控源音频大地电磁法在金属矿山采空区探测中的应用研究[J].矿业研究与开发,2011,36(6):18-21.
[18] 张国鸿,李仁和,张良敏.可控源音频大地电磁法若干方法技术问题的探讨[J].安徽地质,2009,19(2):119-123.
[19] 吴璐苹,石昆法,李荫槐,等.可控源音频大地电磁法在地下水勘查中的应用研究[J].地球物理学报,1996,39(5):712-716.

The application of integrated geophysical exploration to the hydrogeology discrimination of the large fracture tunnel construction period

HU Bo-Wen^{1,2}, CHEN Li², YAO Hong-Chao², ZHANG Fa-Wang³, ZHANG Jin¹, ZHAO Miao¹

(1. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China; 2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, GAGS, Shijiazhuang 050061, China; 3. Institute of Karst Geology, GAGS, Guilin 541004, China)

Abstract: When the coal roadway crosses fracture construction, efficient integrated geophysical prospecting technology is often used to determine its water content. However, with the popularization of the integrated geophysical exploration technique, researchers have gradually found that its exploration precision is not high. In combination with the coal mine roadway construction in an ancient city of Shanxi, the authors selected the integrated geophysical prospecting method in combination with water chemical isotope verification and clearly revealed the hydrogeological condition of the coal roadway construction period, thus making up the defect of the integrated geophysical exploration whose accuracy is not high. It is shown that integrated geophysical exploration technique in combination with water chemical isotope can greatly reduce the hidden dangers in the coal roadway construction. The results achieved by the authors provide a demonstration for the same or similar coal roadway engineering construction.

Key words: complex geophysical exploration; water chemical isotope verification; large fracture; water abundance; coal mine tunnel water disaster

作者简介:胡博文(1986-),男,汉族,河北邯郸人,硕士研究生,主要从事矿山水文地质方面的研究工作。

E-mail:hubowen0808@126.com

通讯作者:张发旺,男,汉族,研究员,主要从事矿山水文、环境地质方面研究工作。E-mail:zhangfawang@karst.ac.cn