

doi: 10.11720/wtyht.2019.1135
邓中俊,杨玉波,姚成林,等.综合物探在地面塌陷区探测中的应用[J].物探与化探,2019,43(2):441-448.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1135>
Deng Z J, Yang Y B, Yao C L, et al. The application of integrated geophysical method to the detection of ground subsidence area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(2): 441-448. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1135>

综合物探在地面塌陷区探测中的应用

邓中俊,杨玉波,姚成林,贾永梅,李春风
(中国水利水电科学研究院,北京 100042)

摘 要: 在某地面塌陷区探测中,为准确判定塌陷回填区内是否存在空洞,根据地质条件和现场状况,选用可控源音频大地电磁测深(CSAMT)和瞬变电磁法进行综合探测。对典型断面图上低阻异常特征的分析结果表明,两种探测方法结果一致,但各有特点:CSAMT 法探测深度大,对异常区的判断较为准确,但分辨率相对较低;瞬变电磁法分辨率优于 CSAMT,但探测深度较浅,受目标深度内介质的物性影响较大,且浅部有盲区。异常区钻孔验证结果显示,探测结果准确可靠,表明综合物探方法应用于塌陷回填区的探测是准确、有效的。

关键词: 综合物探;CSAMT;瞬变电磁法;地面塌陷;地质灾害调查

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)02-0441-08

0 引言

2016 年 8 月,中部某省某公路北侧农田发生地面塌陷,塌陷面积约 70 m²。事件发生后有关部门组织了专业队伍,对塌陷路段实施注浆回填,经专业部门现场勘测,相关数据正常。2016 年 11 月,该路段原塌陷处发生第二次塌陷,塌陷区东西宽 26 m,南北长 30 m,深 10 m,塌陷范围扩大至公路路面(图 1),造成正在公路行驶的两辆轿车坠入塌坑。事后相关单位对塌陷坑进行了二次回填,并在回填结束后开展了连续沉降监测。为避免再次塌陷,需要对塌陷区下方的地质情况以及塌陷坑内的回填料进行探测,确保地基及回填物坚固和密实,并尽快恢复路面交通,减小损失。

笔者利用综合物探对塌陷区进行了探测,主要任务是对长约 50 m、宽约 30 m 的塌陷区进行无损探测,查明沉降坑 0~165 m 深度范围塌陷区回填渣土内空洞分布赋存情况,探测结果显示沉降坑内存在部分低阻异常区,后经钻孔验证,并结合工程地质资料综合分析,认为该塌陷区范围内未发现空洞和不密实区。经过一年多的连续沉降监测和恢复治理,



图 1 地面塌陷现场

Fig.1 Scene of ground subsidence

路面交通已基本恢复。

1 工程地质

塌陷区位于一铁矿开采区内。该区在距地面深度 165 m 以下为铁矿老开采区,在地面二次塌陷前已采取井下充填和地表勘查钻孔充填相结合的综合治理措施,经多方验证,井下采空区确认已回填密实,因此。此次二次塌陷非井下采空区塌陷造成。

塌陷区及周边地层岩性主要有寒武系、奥陶系、

石炭系、二叠系岩石和第四系覆盖层,矿体围岩主要是奥陶系的白云质灰岩、钙质白云岩、泥质灰岩和接触带及其附近的闪长斑岩等;夹石多为蚀变闪长斑岩及灰岩。矿区围岩蚀变主要有钠长石化、矽卡岩化、绿泥石化、钙铁石榴化、高岭土化等。

该区域位于弧形构造的顶端由 NEE 转弯部位,区域内褶皱、断裂均较发育,已发现有 NNE 向 F1、F2 断层和 NE 向 F3 断层。地表主要为全新世早期沉积物,厚度由南向北有增厚趋势,一般 12.40~14.47 m。上部为杂填土,主要成分为混凝土、沥青、碎石及建筑垃圾;中部为黄褐色粉质黏土,有薄层细砂,厚度 20~30 cm;底部为黏土层含钙质结核和铁锰质结核。

此外,塌陷区周边紧邻一大型淡水湖,地下水位较高,该探测区域位于城镇周边,周围民房密布,高压线较多,测区一半位于公路上,一半农田,地形总体平坦。

2 探测方法

常见的工程物探方法主要有人工地震法、电法和电磁法。人工地震法的探测深度主要与地面激发震源和所布连续测线的长度相关,激发能量越大,地面连续测线长度越长,探测深度越大^[1-2]。而本探

测区域处于城乡结合部,周围民房密布,较大能量的激发震源对附近居民的生活影响较大,且探测区域周边无法连续布置长度较长的测线。由于本次探测目标深度超过 165 m,且探测区域位于城镇边缘,常见的电法如高密度电法和大地电磁测深法,由于探测深度的限制和抗干扰能力较差^[3-7],在本次探测中也不宜采用。

综上分析,并根据现场踏勘的实际情况和以往的探测经验^[8-15],本次探测拟采用瞬变电磁法和可控源音频大地电磁法。其中,瞬变电磁法采用纳米瞬变电磁装置来提高浅部的探测精度,主要探测深度 0~40 m 区域,选用的仪器设备为美国生产的 GDP-32^{II}型瞬变电磁仪;CSAMT 法主要探测深度 40~165 m 区域,选用加拿大凤凰公司生产的 V6 型可控源音频大地电磁仪。

3 测线布置

探测的目标区域为 50 m×30 m 的矩形区域,目标区域面积为 1 500 m²。由于目标区域位于 F2 断层附近,现场探测时,根据现场地形情况,结合地质资料和探测效果,共布置了 8 条测线,测线方向近似与断层方向正交,实现塌陷区域全覆盖。测线间距为 5 m,测线布置见图 2 所示。

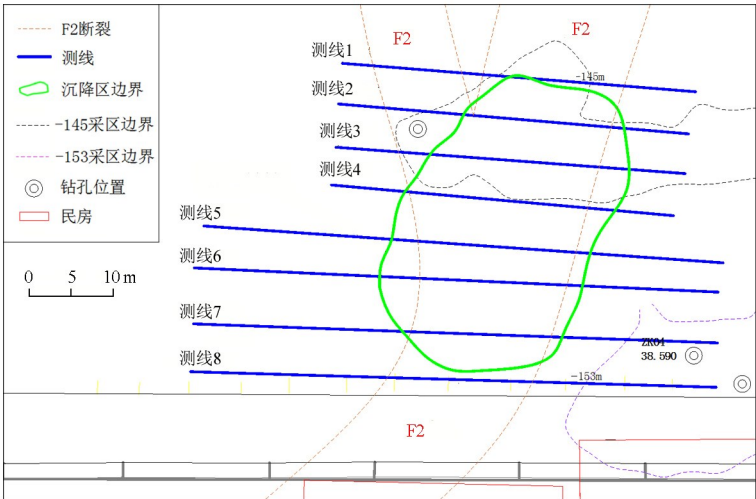


图 2 测区及测线布置示意
Fig.2 Survey area and line survey

CSAMT 探测布置:发射区根据接收点排列的测线方向,并结合现场实际地形,布置在测区的正北方向,发射极沿 EW 向布置,方向与接收测线方向平行,中心点距离接收区 1 200 m,发射供电电极距离 500 m,中间用电缆连接,采用市电 220 V 交流供电;

接收区采用 5 m×3 m 的网格,即测线距离 5 m,测点距离 3 m,实际布置时根据现场情况局部有微调,共 140 个测点,埋设 148 个测量电极。
瞬变电磁法布置:采用 NanoTEM 采集方式,发射接收采用矩形小回线源装置,测点距为 2 m,测线

1~测线 4 每条测线设置 20 个测点,测线 5~测线 8 每条测线布置 30 个测点,共计 212 个测点。

由于测区正上方有高压输电线,经过现场测试,发现高压输电线对数据的影响较大。为保证数据质量和探测效果,在 CSAMT 和瞬变电磁法现场数据采集的时间段内,采取了输电线停电的防干扰措施。此外,现场数据采集时,还在首尾电极与测站处用红布条标记,并用厚层黏土与浓盐水解决了电极接地条件差的困难。

4 资料解释及成果分析

CSAMT 数据经预处理后采用 CSAMT-SW V2.0 软件系统进行校正和反演,瞬变电磁法数据采用自主开发的矩形小回线源正演和反演软件进行处理,通过处理、计算和分析,分别得到了各条测线的电阻率剖面。根据两种探测方法自身的特点、周边环境的限制以及探测效果的实际情况,异常解释以 CSAMT 探测结果为主,瞬变电磁探测结果为辅。数据处理过程中,由于不同的探测方法设定的边界条件不完全一致,且两种方法的正、反演方法不同,导

致同一测线两种方法出现不完全一致的结果。资料解释时,需结合两种方法各自的特点,同时参考地质资料和以往的探测经验,综合分析得出结论^[1-3]。

此外,根据现场查勘结果以及已有地质资料和塌陷区附近钻孔的情况,综合分析后认为测区位于大型淡水湖附近,地下水位较高。塌陷区周边钻孔资料发现花岗(蚀变)闪长斑岩,蚀变强烈,呈高岭土化,岩粉呈泥状或淤泥状,部分钻孔在上述岩层内还发现了出水现象,表明 F2 断层充水的可能性较大,故认为未充填空洞内充水的可能性较大。如果空洞内充水,在电阻率断面图中一般显示为低阻区。此外,根据以往的经验,地下空洞在电阻率剖面图中一般呈现近圆形或椭圆形的高阻封闭圈,而根据对本次两种物探方法探测结果图的分析,在目标探测深度内发现的高阻区视电阻率值总体不高,形态呈条带状分布,与一般未充填空洞形成的高阻区有差别,因此,为识别空洞区,将数据解释的重点放在低阻异常。

图 3、图 4 分别为测线 3 和测线 5 的探测结果示例。综合分析 7 条测线的结果,CSAMT 法的有效探测深度基本保持在 200~250m,而瞬变电磁法的有

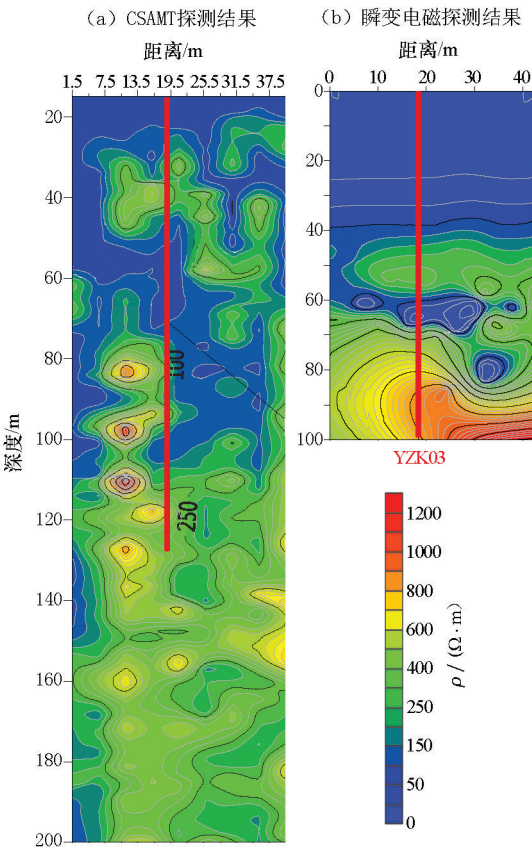


图 3 测线 3 两种方法的反演电阻率断面

Fig.3 Contrast diagram of detection results of line 3 万方数据

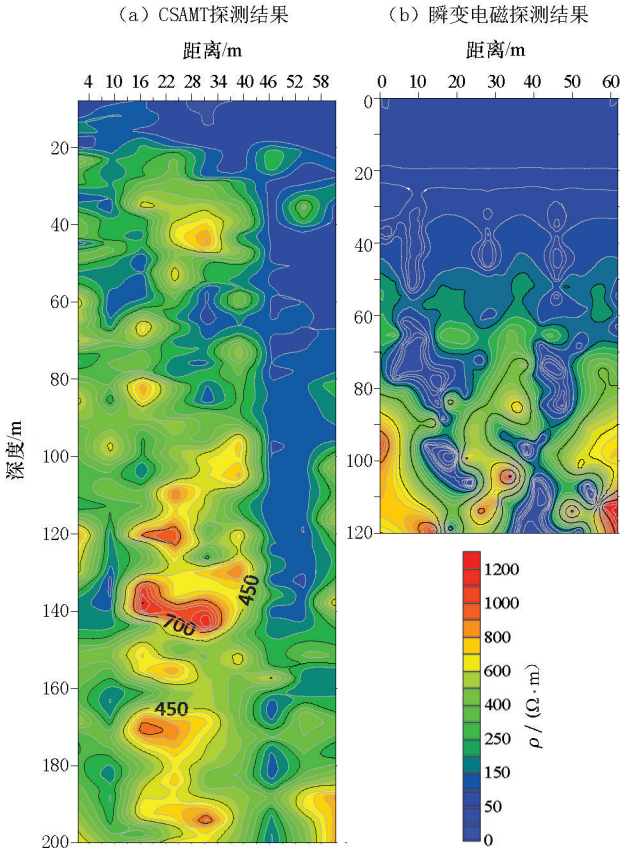


图 4 测线 5 两种方法的反演电阻率断面

Fig.4 Contrast diagram of detection results of line 5

效探测基本在 60~120 m,其中测线 1 至测线 5 的探测深度为 100~140 m,而测线 6~测线 8 的探测深度为 50~75 m。总体而言,CSAMT 的探测深度比瞬变电磁法深,且不同测线由于地层地质情况不同,探测深度差异较大。

根据图 3a 所示,在测线 3 距离 1.5~4.5 m 之间发现一低阻条带,从地面一直延伸到 200 m,推测与地质构造有关,可能是断裂带所致;测线 3 距离 16~22 m 范围内有一低阻区,深度位于 45~70 m 之间,此低阻区向下与左端的低阻条带相连,解释为与地下水与黏土充填有关;此外,在断面右端距离 34~40 m、深度 32~36 m 处也有类似的低阻区,解释产生原因类同。测线 3 的瞬变电磁法结果(图 3b)显示探测深度为 0~100 m,其中有效探测深度区间为 40~100 m。图中在深度 60~66 m 区间内存在连续低阻异常区,主要的低阻区在距离 15~31 m、深度 60~66 m 区域内,同 CSAMT 的探测结果基本一致。此外,在距离 31~36 m、深度 76~82 m 也存在范围相对较小的低阻区。

根据图 4a 所示,在测线 5 距离 45~60 m 之间是低阻垂直延伸带,向下延伸至 150 m,其电阻率值小于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,而测线 5 左侧断面的电阻率大于 $200\ \Omega\cdot\text{m}$,水平方向呈明显不连续分布,推断为断裂带通过处。此外,在距离 45~60 m、深 30~70 m 之间为一低阻异常区,推测与黏土或地下水有关。测线 5 的瞬变电磁结果(图 4a)显示探测深度为 0~120 m,

其中有效探测深度区间为 30~120 m。图中电阻率等值线图的整体形态同 CSAMT 结果图一致,在距离 9.5 m 和 40.5 m 处均发现了自上而下呈垂直带状分布的低阻异常,垂直深度延伸至 120 m,水平方向分布不连续;主要的低阻区在距离 7~10 m、深度 68~72 m 和距离 42~49 m、深度 55~76 m 区域内。这些都同 CSAMT 的探测结果基本一致。

分析结果表明,两种探测方法在同一测线上局部区域处均发现了低阻异常,且异常区在水平和深度方向的位置基本一致。其他 6 条测线的结果与此类似。根据对两种物探方法探测结果的分析,在目标探测深度内发现的高阻区电阻率值总体不高,与一般未充填空洞形成的高阻区有差别。推断该异常可能与黏土充填或地下水有关。

将各测线的电阻率断面低阻异常区位置展布在平面上,得到如图 5 所示的 3 个低阻异常分布区,编号为 I、II、III。可以看出,低阻异常主要分布在测区东西两边区域。另根据已有的钻孔资料,发现塌陷区周边的各钻孔在不同深度均发现了花岗岩闪长斑岩,岩性描述中均有“高岭土化”、“岩粉呈淤泥状、泥状”等描述,说明在地下水位发生变化时,上述透水地层含水率高的概率较大。此外,结合该区域地质资料分析,推测该部位可能位于 F2 断层周边,由于断层的影响导致不同部位的地层地质差异较大。

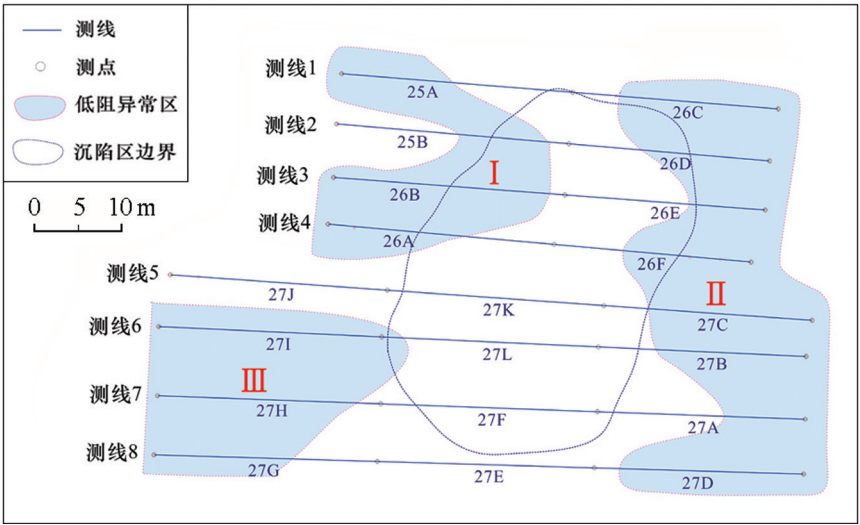


图 5 综合物探解释成果

Fig.5 Comprehensive geophysical results map

综上所述,两种物探方法的探测结果表明,在探测区域内,距地表深度 165 m 范围内,地层总体密实,但在局部发现了低阻异常区,异常区主要分布在

沉降坑周边。造成地层低阻异常的原因有多种,包括含水黏土、充水空洞和人工填筑等,为了准确判定探测结果中低阻异常的原因,需进行钻孔验证。

5 结果验证

为了查明低阻异常的产生原因,排除低阻区内可能存在的充水、泥质填充空洞,拟从测线结果图中挑选典型的低阻区进行钻孔验证。由于探测区域位于 F2 断层附近,不同部位的地层地质差异较大,综

合以上资料分析,决定布置 4 个验证钻孔,其中 YZK01、YZK02 和 YZK03 均为低阻异常验证孔, YZK04 为高阻异常验证孔,孔位布置见图 6。

钻探结果显示,此次 4 个验证钻孔在施工过程中均未发生掉钻现象,表明验证区域范围内未发现异常空洞。表 1、表 2 分别为 4 个验证孔的工作量统计和岩心岩性描述。

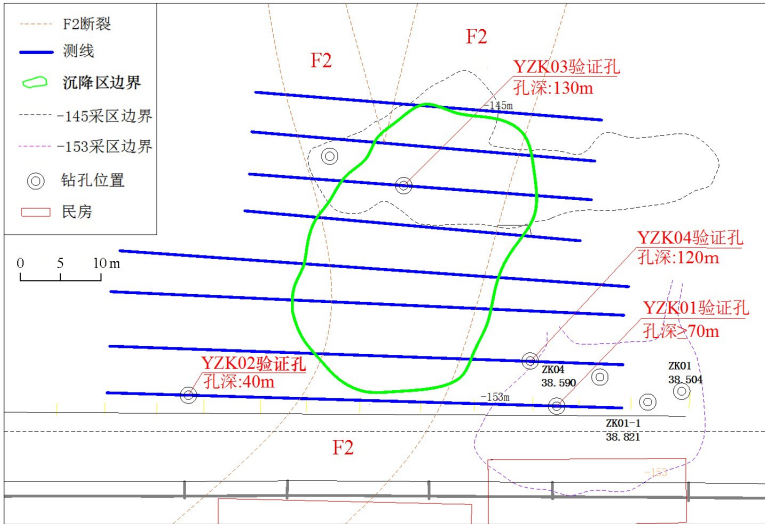


图 6 验证孔孔位布置
Fig.6 Schematic diagram of verifying holes

表 1 钻孔验证工作量统计

Table 1 Drill verification workload statistics table										
孔号	测线(距离)	终孔深度 /m	第四系			基岩			注浆量	
			厚度/m	岩心长/m	采取率/%	厚度/m	岩心长/m	采取率/%	水泥/t	粉煤/t
YZK01	测线 8(55 m)	85.14	12.4	4.5	36.3	80.64	52.6	65.2	65	49.29
YZK02	测线 8(10 m)	40.06	12.69	6.5	51.2	27.37	22.3	81.5	172.425	0
YZK03	测线 3(19 m)	130.97	109.3	82.15	75.2	21.67	17.4	80.3	3470.481	225.15
YZK04	测线 7(46 m)	120.35	14.47	—	—	105.88	83.9	79.2	132.354	12.6

表 2 验证孔心样岩性描述成果

Table 2 Sample lithology description results					
孔号	深度范围/m	岩性描述	孔号	深度范围/m	岩性描述
YZK01	0~3.00	杂填土	YZK03	0~22.83	杂填土
	3.00~12.40	粉质黏土		22.83~40.70	商品混凝土
	12.40~13.60	强风化闪长玢岩		40.70~43.90	粉质黏土
	13.60~24.50	中风化闪长玢岩		43.90~45.00	商品混凝土
	24.50~85.14	蚀变闪长玢岩		45.00~55.10	杂填土
YZK02	0~3.20	杂填土		55.10~57.50	商品混凝土
	3.20~12.69	粉质黏土		57.50~109.30	杂填土
	12.69~16.70	中风化花岗斑岩		109.30~110.70	蚀变花岗斑岩
	16.70~35.21	花岗斑岩		110.70~130.97	闪长斑岩
	35.21~40.06	高岭土	YZK04	0~3.0	杂填土
				3.0~14.47	粉质黏土
				14.47~20.60	中风化花岗斑岩
				20.60~65.20	蚀变花岗斑岩
				65.20~76.50	中风化闪长玢岩
				76.50~112.60	蚀变闪长玢岩
				112.60~120.35	闪长玢岩

图 7b 所示的测线 8 瞬变电磁剖面在深度 25 ~ 33 m 范围为低阻区,对应 YZK01 柱状图 27~31.5 m 为蚀变闪长玢岩(表 2),局部少量轻微高岭土化蚀变,岩心呈粉砂状;图 7a 中, YZK01 在 55~79 m 为深蓝色的低阻区,对应 YZK01 柱状图 54~57.1 m 为蚀变闪长玢岩,局部高岭土化蚀变,岩心呈粉砂状。 YZK02 在深度 34~45 m 为低阻区,对应 YZK02 柱状图 35.21~40.06 m 为高岭土,岩心完整,高岭土化蚀变强烈。可见,物探结果图中低阻基本由高岭土化蚀变造成。

YZK03 位于测线 3 上(见图 3)。图 3a 中深度 108~200 m 位置为高阻区,对应 YZK03 柱状图(表 2) 109.3~130.97 m 为蚀变花岗斑岩和闪长玢岩;0~

108 m 范围内的低阻区,特别是 55~65 m 范围,对应柱状图中基本为杂填土、商品混凝土等。由于地下水位较低,杂填土内含水率高,导致电阻特性反应为低阻,这一现象在瞬变电磁剖面中也有体现。

在 YZK04 所在的测线 7 的成果图(图 8)中, CSAMT 剖面 and 瞬变电磁剖面中深度 0~17 m 范围为低阻区,对应 YZK04 岩心为杂填土及粉质黏土,且在该深度范围曾发生塌孔、漏水等现象;深度约 18~150 m 范围为高阻区,对应 YZK04 为花岗斑岩及闪长玢岩,说明高阻异常基本由花岗斑岩和闪长玢岩引起。

以上钻孔验证成果表明,CSAMT 和瞬变电磁法联合解释的成果与钻孔验证的结果基本一致,低阻

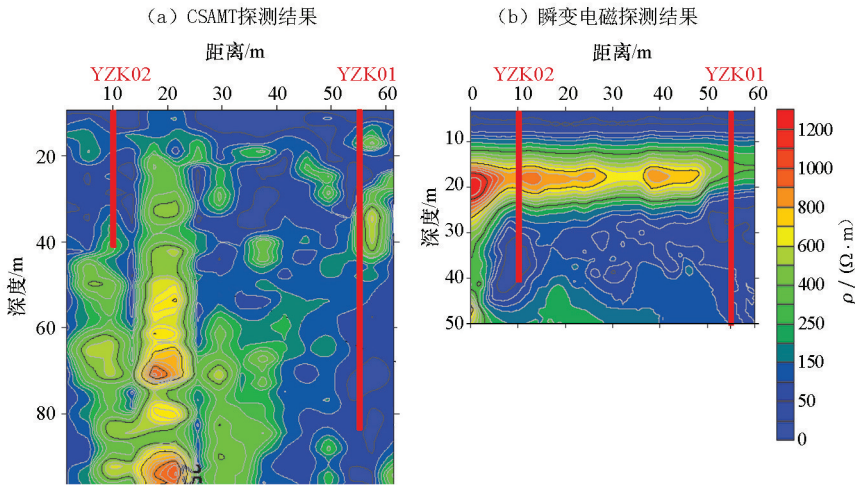


图 7 测线 8 探测结果及验证孔位置示意

Fig.7 Detection results and verifying hole position of line 8

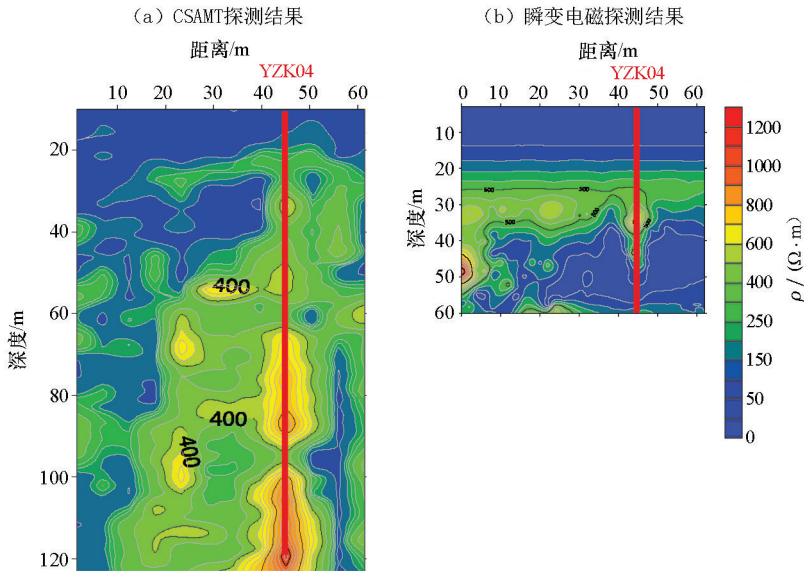


图 8 测线 7 探测结果及验证孔位置示意

Fig.8 Detection results and verifying hole position of line 7

区的物性为高岭土化蚀变和杂填土,而高阻区的物性基本为花岗斑岩和闪长玢岩。此外,通过分析验证钻孔的钻进过程和钻探成果,YZK01~YZK04四个钻孔均有泥浆量消耗现象,说明地层不完整,结构不密实,虽然未发现空洞,但在4个钻孔周边以及底部均有松散、裂隙发育部位,应该属于安全隐患,只是程度有所不同。泥浆的消耗量是地层完整程度的证明,消耗量越多,说明地层越破碎,密实程度越差。

6 结论与建议

1) 采用 CSAMT 和瞬变电磁相结合的探测方法能够在周边电磁干扰较强的环境下实现对地面塌陷区的准确探测,其中 CSAMT 法的探测深度大,有效深度可达 200 m,并且对异常区的判断较为准确,但分辨率相对较低,瞬变电磁法在浅部的分辨率优于 CSAMT,但探测深度受探测目标深度内介质的物性影响较大,可信深度基本在 100 m 范围内,而且浅部有 10~20 m 的盲区。

2) 在两种探测方法的数据处理和资料解释过程中,需要结合已有的地质资料来确定边界条件,并采用综合分析的思路来解释成果图,这样才能达到两种物探方法相互印证的效果,并确保探测结果的准确性,为后期的地质成果解释和验证钻孔提供可靠依据。

3) 在城镇周边和强干扰地区开展探测工作时,需要根据现场地形及地质条件综合考虑,灵活选择适宜的探测方法。数据采集时,也需要采取一定的抗干扰措施,以保证数据采集的质量。本次探测实践表明,CSAMT 和瞬变电磁法能够适应强干扰环境,探测结果经钻孔验证,取得了较好的效果。

参考文献 (Reference) :

[1] 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(S2):7-11.
Jia Y M, Yao C L, Deng Z J, et al. The application of controllable source audio magnetic method to detecting goaf in coal mine[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012,36(S2):7-11.

[2] 房纯纲,姚成林,贾永梅.堤坝隐患及渗漏无损检测技术与仪器[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
Fang C G, Yao C L, Jia Y M, et al. Techniques and instruments for nondestructive testing of dike hazards and seepage [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2010.

[3] 汤井田,何继善.可控源音频大地电磁法及其应用[M].长沙:中南大学出版社,2005.
Tang J T, He J S. Controlled source audio magnetotelluric method and its application [M]. Changsha: Central South University

Press, 2005.

[4] 王若,王妙月.可控源音频大地电磁数据的反演方法[J].地球物理学进展,2003,18(2):197-202.
Wang R, Wang M Y. Inversion method of controllable source audio magnetotelluric data [J]. Progress in Geophysics, 2003,18(2):197-202.

[5] 董杰,孟庆生,尹明泉,等.综合物探方法在采空塌陷区调查中的应用[J].物探与化探,2013,37(3):557-560.
Dong J, Meng Q S, Yin M Q, et al. Application of integrated geophysical methods in investigation of goaf subsidence area [J]. Geophysical and geochemical Exploration, 2013, 37(3): 557-560.

[6] 刘宝利.综合物探方法在地质灾害调查中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,1991,2(增刊):68-73.
Liu B L. Application of integrated geophysical methods in geological disaster investigation [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1991,2(S1):68-73.

[7] 穆海杰,王红兵. CSAMT 法在南水北调中线采空区探测中的应用[J].工程地球物理学报,2008,5(3):321-325.
Mu H J, Wang H B. Application of CSAMT method in the detection of goaf in the middle line of South-to-North Water Transfer Project [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008,5(3):321-325.

[8] 彭青阳.综合物探方法在地面塌陷勘察中的应用[J].工程地球物理学报,2017(1):31-36.
Peng Q Y. The application of integrated geophysical methods in the investigation of ground collapse [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2017(1):31-36.

[9] 包乃利,刘鸿福,余传涛,等.纳米瞬变电磁法在探测浅层铁矿采空区的实验研究[J].地球物理学进展,2013,28(2):952-957.
Bao N L, Liu H F, Yu C T, et al. The detection of mined-out area of shallow iron ore by nanometer transient electromagnetic method [J]. Progress in Geophysics, 2013,28(2):952-957.

[10] 薛国强,李貅,底青云.瞬变电磁法理论与应用研究进展[J].地球物理学进展,2007,22(4):1195-1200.
Xue G Q, Li X, Di Q Y. Progress in theory and application of TEM [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(4):1195-1200.

[11] 邓凯,沈云发,张玉池.综合物探方法在高速公路岩溶塌陷探测中的应用分析[J].工程地球物理学报,2012,9(1):54-57.
Deng K, Shen Y F, Zhang Y C. Application of integrated geophysical methods in karst collapse detection of Expressway [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2012,9(1):54-57.

[12] 熊志涛,赵德君,文美霞,等.综合物探方法在武汉市毛坦港塌陷勘察中的应用[J].资源环境与工程,2014,28(4):188-196.
Xiong Z T, Zhao D J, Wen M X, et al. Application of integrated geophysical prospecting methods in the subsidence exploration of Maotan Port, Wuhan [J]. Resources, Environment and Engineering, 2014,28(4):188-196.

[13] 赵成斌,刘保金,姬继法,等.综合物探方法在地质灾害调查中的应用研究[J].物探与化探,2001,25(6):464-468.
Zhao C B, Liu B J, Ji J F, et al. Application of integrated geophysical methods in geological hazard investigation [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2001,25(6):464-468.

[14] 王宾,韩晓南,王康东,等.综合物探方法在采空塌陷区地质灾害勘查中的应用[J].工程地球物理学报,2013,10(5):725-729.
Wang B, Han X N, Wang K D, et al. Application of integrated geophysical methods in geological hazard exploration in goaf subsidence area [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2013, 10(5): 725-729.

[15] 李学军, 窦硕娥, 曲海涛. 城市工程地球物理探测技术应用与发展趋势[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(5): 564-563.
Li X J, Dou S E, Qu H T. Application and development trend of urban engineering geophysical exploration technology [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008, 5(5): 564-563.

The application of integrated geophysical method to the detection of ground subsidence area

DENG Zhong-Jun, YANG Yu-Bo, YAO Cheng-Lin, JIA Yong-Mei, LI Chun-Feng
(China Institute of Water Resource and Hydropower Research, Beijing 100042, China)

Abstract: In the detection of a subsidence area, for the purpose of accurately determining whether there are holes in the backfill area, the CSAMT and the transient electromagnetic method shall be selected for integrated detection based on the geological and field conditions, and the analytical results show that the detecting results of the two methods are basically identical, as shown by analyzing the abnormal characteristics of the typical sectional profile, but each has its own characteristics: The depth of CSAMT method is deeper than that of TEM, and the judgment of the abnormal area is relatively accurate, the resolution of TEM is better than that of CSAMT, but the detection depth is shallow, the depth of exploration is easily affected by the physical properties of the medium within the target depth and the shallow has a blind area. The drilling through the abnormal areas of the judgement shows that the detection results are accurate, and that the integrated geophysical method is accurate and effective in the survey of collapse of backfill area.

Key words: integrated geophysical method; CSAMT; TEM; ground subsidence; geohazards investigation

(本文编辑:沈效群)