

吴亚楠. 高密度电阻率法在莱芜市泉河地区岩溶地质勘查中的应用[J]. 中国岩溶, 2018, 37(4): 617-623.
DOI: 10. 11932/karst20180416

高密度电阻率法在莱芜市泉河地区 岩溶地质勘查中的应用

吴亚楠

(山东省第五地质矿产勘查院, 山东 泰安 271000)

摘 要:岩溶不仅会导致基岩面起伏很大,而且会产生较多的溶蚀带、溶洞、土洞等岩溶地质特征,灰岩分布区发生的地面塌陷等地质灾害,对建筑物安全及社会经济发展造成了严重的危害,高密度电阻率法是岩溶地质调查的重要物探手段。文章根据高密度电阻率法的基本原理及特点,对莱芜市泉河地区进行了岩溶地质勘查,通过对视电阻率二维成像图异常形态、高低阻等的反演分析,推断了该地区岩溶分布范围、大小和埋深。经钻探验证,推断结果与钻探资料吻合,为该地区岩溶塌陷地质灾害防治提供参考价值。

关键词:高密度电法;岩溶;地质勘查;莱芜市泉河

中图分类号:P631.3

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2018)04-0617-07

0 引 言

20 世纪 80 年代以来,由于大量开采岩溶水、鄂庄煤矿和榭林电厂废水排放,莱芜市泉河地区岩溶塌陷加剧,塌陷多位于西泉河村东侧及东南冲沟附近,呈 NNW 向,并造成了严重的经济损失及社会危害^[1-2]。因此探明工作区内岩溶分布特征,对本区的防灾减灾工程具有重要意义。目前岩溶地质勘查最常用的方法为地球物理勘探。董浩斌等^[3]研究了高密度电法的应用与发展现状;刘晓东等^[4]研究了高密度电法在勘查基岩断裂带、岩溶区等方向的应用,效果较好;邵长庆等^[5]分析了高密度电法在地下水的空间分布上的规律,为地面塌陷研究提供了进一步的认知依据;朱清耀、王建军等、江玉乐等在探测岩溶发育问题时均采用了高密度电阻率法,取得了较好的勘探效果^[6-19]。前人的努力和实践证明,高密度电阻率法在岩溶勘查中是非常高效可行的。2014 年 9 月,

山东省地质矿产勘查开发局第五地质大队在该地区开展了物探工作,以期查明该地区覆盖层特征、岩溶发育深度及分布规律,为该地区岩溶塌陷防治工作提供参考依据。

1 地质概况及地球物理特征

莱芜市泉河地区位于泰山东麓,地貌为山前冲洪积平原,地势平坦,区内大部分地区被第四纪堆积物覆盖,上部为黄土,一般 0~5 m,下部为含水砂砾层,厚 0~12 m;下伏地层岩性主要为奥陶系马家沟组青灰色厚层微晶灰岩、古近系大汶口组泥岩、砂岩。区内断层构造发育,主要有侯家沟东断层和西泉河断层,两断层性质基本相同,断层被古近纪第四纪覆盖,走向为 25°,倾向 SE,倾角 80°,属压扭性断层。区内形成电法异常的主要因素是岩性差异、岩溶发育、断裂构造造成岩性破碎程度以及地下水的富集程度^[1-2]。

资助项目:山东省国土资源厅,山东省泰莱盆地岩溶塌陷地质灾害调查与防治(鲁勘字 2012658);泰安市国土资源局,泰安市泰山区旧县地区岩溶地质灾害调查项目(ZZTA-201505001)

第一作者简介:吴亚楠(1987-),女,工程师,主要从事水文地质与环境地质勘查工作。E-mail:59097677@qq.com。

收稿日期:2017-05-29

第四系视电阻率一般小于 $50\ \Omega\cdot\text{m}$, 完整的灰岩, 则反映为 $100\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$ 及以上, 完整的地层发育所获得的视电阻率等值线断面图反应视电阻率呈层状形态, 视电阻率整体连续性较好, 当有构造、破碎及岩溶发育等存在时, 视电阻率断面上视电阻率曲线出现明显的错动, 引起局部的突变现象^[6-12], 通过分析视电阻率曲线形态, 推断相应地质内容, 寻找岩溶发育区, 这种较明显的视电阻率差异成为本次工作的地球物理前提。

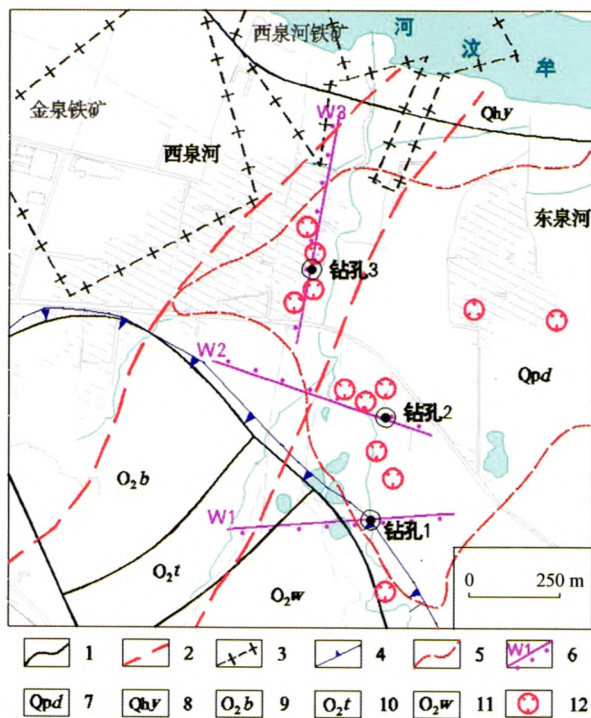


图 1 莱芜市泉河地区地质环境图

Fig. 1 Map showing geological environment of Quanhe, Laiwu City

- 1—地质界线 2—推测断层 3—铁矿区 4—古近纪缺失界线
5—“天窗”范围 6—物探线 7—第四纪大站组 8—第四纪沂河组
9—奥陶纪北庵庄组 10—奥陶纪土峪组 11—奥陶纪五阳山组
12—岩溶塌陷点

2 工作原理和方法

2.1 高密度电阻率法原理

高密度电阻率法是集物探电剖面及电测深为一体的, 采用高密度布点, 进行二维地电断面测量的一种地球物理勘探方法^[3,20]。在查找岩溶与地下岩性方面, 该法能够取得较好的地质勘查效果, 尤其是识别岩溶发育, 其电阻率较围岩往往相差较大, 电性异常反映明显^[8-13]。

2.2 使用仪器

高密度电阻率法测量仪器使用重庆地质仪器厂生产的 DUK-2A 高密度电法测量系统, 野外数据采集采用温纳装置。该仪器设有 RS-232 串行接口, 通过相应的软件可直接将存储的数据传入计算机内, 进行各种方法的数字化解释^[6]。

3 资料解译与推断

3.1 数据处理

3.1.1 剔除突变值

实际工作中, 由于电极接触不好或其它各方面的干扰, 使数据断面出现一些虚假点或突变点, 进而造成电阻率拟断面图的虚假异常, 难以对其进行准确解释。在野外无法改善电极接触条件时, 先将数据记录下来, 后剔除数据断面中的虚假点或突变点^[6]。

3.1.2 数据平滑处理

在数据测量过程中, 有时会受到一些随机噪声的影响, 为消除这些随机干扰的影响, 对所采集数据进行后期检查, 如发现存在噪声干扰情况, 采用数据滑动平均方法进行数据处理。

3.1.3 整理成图

本次工作主要采集参数为视电阻率, 绘制成果图为高密度视电阻率等值线断面图。通过研究不同测线等值线断面图, 分析控制范围内和勘探深度内电性变化特征, 通过电性特征间接反映地层、构造发育情况推断岩溶发育情况, 结合不同测线成果资料, 进行综合解译。

3.2 典型剖面解译与钻孔验证

为了验证此次勘察资料解译的可靠性, 在物探解译为溶洞的地方布置钻孔进行验证。

3.2.1 西泉河地区 1 号线

(1) 物探资料

从图 2 可见, 浅部视电阻率偏低, 推断为第四系覆盖层反应, 从该断面图看不同位置第四系厚度不同, 东部覆盖厚, 西部覆盖较薄, 厚度在 $10\sim 15\text{ m}$, 局部因富水性不同, 数值产生一定变化, 富水性强的位置视电阻率数值偏低。中深部视电阻率增大, 推断为下伏灰岩反应, 从断面图看灰岩面波动较大从断面 $150\sim 420\text{ m}$ 不同深度均存在电性突变和起伏, 局部位置视电阻率等值线波动较大反应基岩存在较明显破碎迹象。断面 $180\sim 270\text{ m}$ 位置出现一视电

阻率梯度带,下伏灰岩面明显抬升,推断为断裂构造引起地层错动,东侧下降西侧抬升,断裂两侧基岩破碎明显,引起局部富水性增强,对灰岩侵蚀性增大,构成岩溶发育环境,推断该位置及两侧 50 m 范围内岩溶发育。深度 100 m 以下基岩反应较完整,无明

显不良地质现象,说明基岩破碎位置主要位于中、浅部,随着深度的增加,基岩完整性增强,岩溶发育减弱。

结合已有地质资料,绘制地质推断解释剖面,如下图:

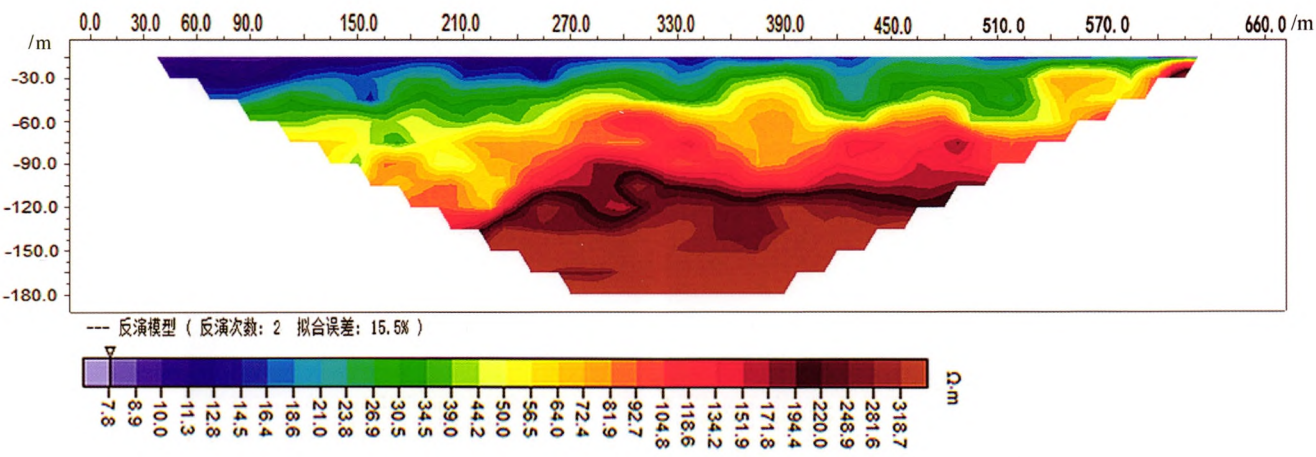


图 2 高密度 1 线视电阻率反演图

Fig. 2 Inversion section of high resistivity of survey line 1

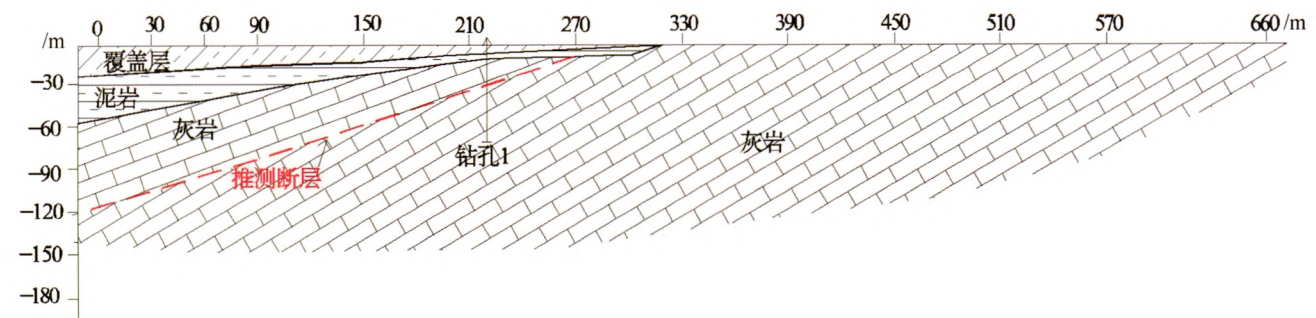


图 3 高密度 1 线地质推断解释剖面图

Fig. 3 Geological interpretation profile of survey line 1

(2) 钻孔验证

于 1 号线所布置的钻孔 QK1 显示,0~3.1 m 为杂填土;3.1~5.2 m 为粉质黏土;5.2~8.8 m 为红褐色泥岩,节理裂隙不发育;8.8~40 m 为青灰色石灰岩,岩芯破碎呈碎块状、短柱状,见蜂窝状溶孔,9.6~11.2 m 为溶洞,无填充。见照片 1,结果表明与物探解译成果基本相符。

3.2.2 西泉河地区 2 号线

(1) 物探资料

由图 4 可见,断面控制 270~480 m 范围内,视电阻率曲线形态不规则,成层性很差,局部出现明显低阻电性异常,多呈漏斗状向下延伸,反应该范围内灰岩完整性较差,破碎迹象明显,破碎位置溶洞发育,溶

洞多被粘土充填且富水性较好,引起局部漏斗状低阻异常。尤其是 330~450 m 范围内,低阻异常发育规模较大,且具有向下延伸趋势,该位置基岩被侵蚀、破坏严重,推断该位置存在一小规模断裂构造,引起基岩破碎。270~320 m 范围内视深度 60 m 以上存在一较明显低阻漏斗状异常,推断受东侧断裂影响,局部基岩破碎被侵蚀,引起局部富水性增强。

南部表层局部位置出现较明显低阻区与围岩直接接触,推断为小范围岩溶发育,溶洞充填引起局部视电阻率明显降低,中部两处异常依然存在,且与围岩相差明显,推断该位置岩溶发育。

结合已有地质资料,绘制地质推断解释剖面,图 5。



照片 1 钻孔 QK1 部分岩芯照片
Photo 1 Core pictures of drill hole QK1

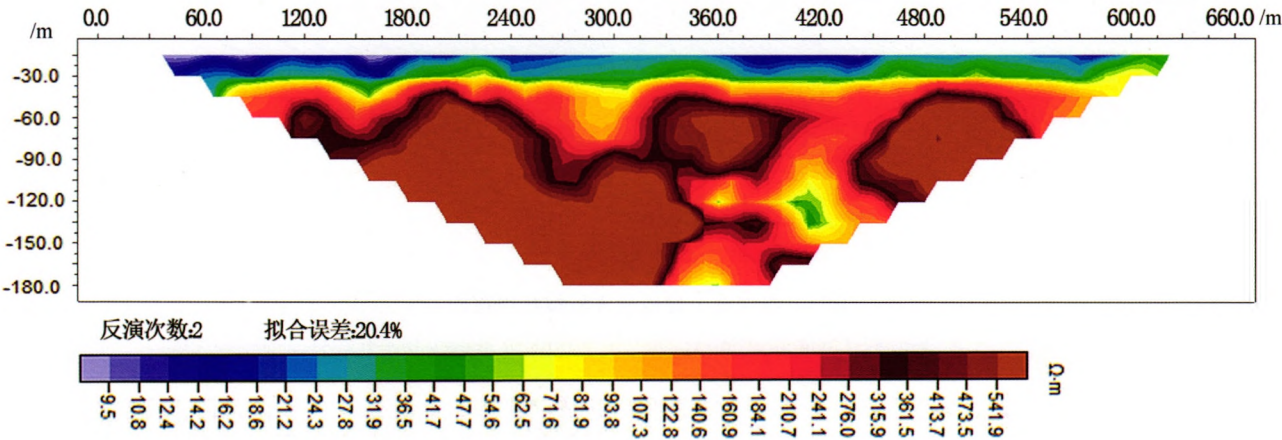


图 4 高密度 2 线视电阻率反演图
Fig. 4 Inversion section of high resistivity of survey line 2

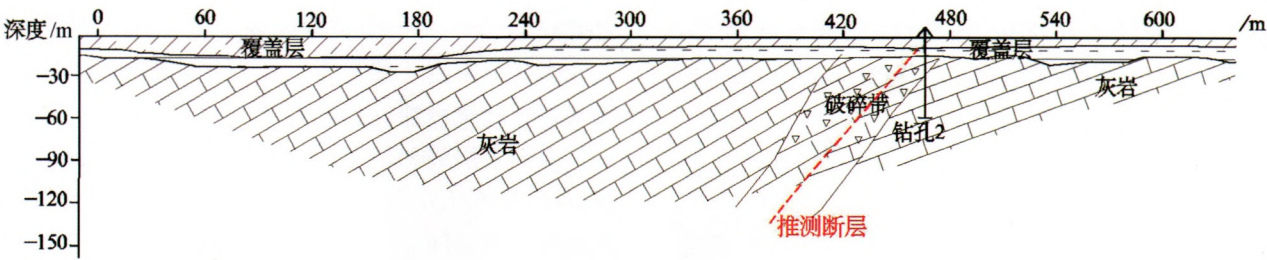


图 5 高密度 2 线地质推断解释剖面图
Fig. 5 Geological interpretation profile of survey line 2

(2) 钻孔验证

于 2 号线所布置的钻孔 QK2 显示,0~0.2 m 为杂填土;0.2~6.1 m 为粉质黏土夹砂;6.1~13.4 m 为红褐色泥岩;13.4~26.2 m 为青灰色石灰岩,节理裂隙十分发育,岩芯呈段状;26.2~27.2 m 为黏性土全充填的溶洞,见照片 2;30.5~48.2 m 为青灰色石灰岩,岩芯破碎呈直径 5~8 cm 的碎块状。

由此可见,高密度电阻率法所解译的异常与钻探

结果基本上是吻合的。

3.2.3 西泉河地区 3 号线

(1) 物探资料

该线控制范围内,表层及浅部视电阻率等值线起伏较大,形态波动严重,局部位置出现明显低阻异常区。测线南部第四系覆盖层较厚,实际踏勘位于河边树林中,表层富水性较好,引起相同深度与其他位置相比视电阻率偏低。



照片 2 钻孔 QK2 部分岩芯照片

Photo 2 Core pictures of drill hole QK2

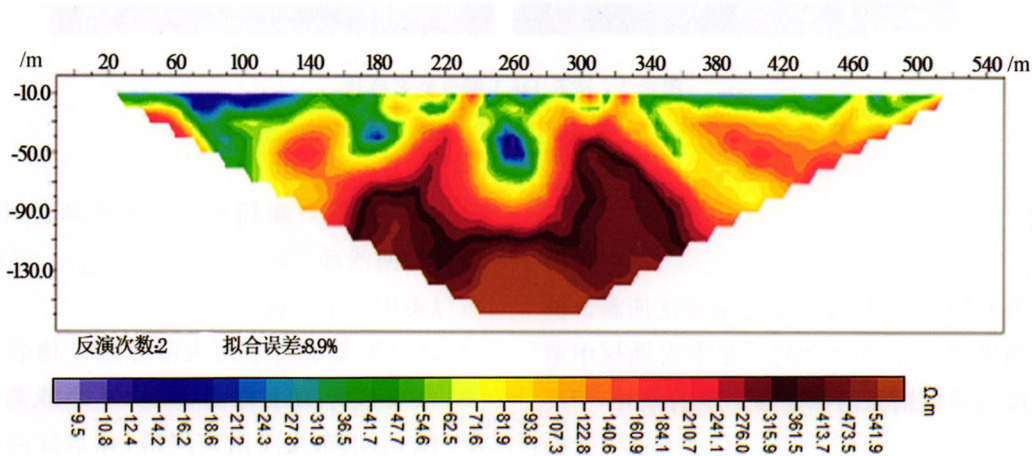


图 6 高密度 3 线视电阻率反演图

Fig. 6 Inversion section of high resistivity of survey line 3

第四系下伏灰岩,灰岩面波动起伏较大,局部位基岩形态破碎,引起富水性增大,视电阻率降低,在这样的位置,受地下水侵蚀影响严重的灰岩容易引起岩溶发育,应引起相应重视。在 330~450 m 范围内低阻异常发育规模较大,且具有向下延伸趋势,该位置基岩被侵蚀、破坏严重,推断该位置存在一小规模断裂构造,引起基岩破碎。270~320 m 范围内视深度 60 m 以上存在一较明显低阻漏斗状异常,推断受东侧断裂影响,局部基岩破碎被侵蚀,引起局部富水性

增强。

结合已有地质资料,绘制地质推断解释剖面,图 7。

(2) 钻孔验证

于 3 号线所布置的钻孔 QK3 显示,0~1.2 m 为杂填土;1.2~7.3 m 为粉质黏土夹砂;7.3 m 以下至孔底 47 m 均为青灰色石灰岩,上部岩芯破碎呈碎块状、短柱状,柱长约 3~8 cm,12.7~13.7 m、21.1~21.8 m 为溶洞,无填充。见照片 3,与解译成果大体相符。

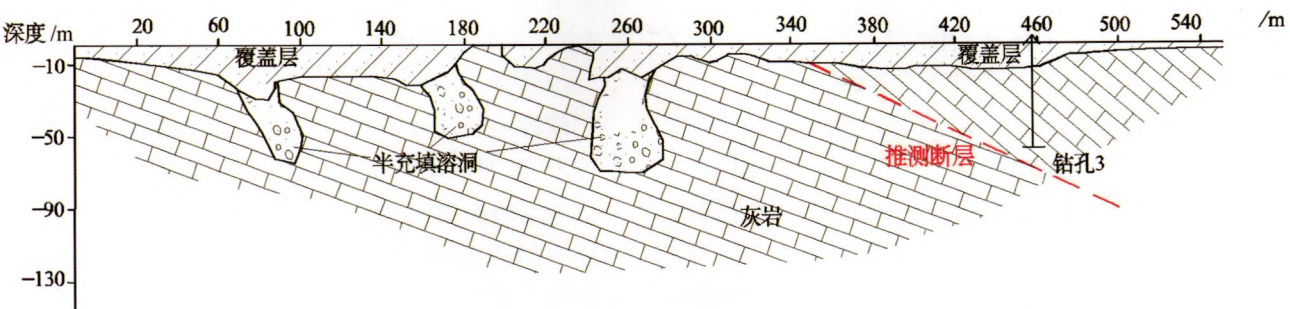


图 7 高密度 3 线地质推断解释剖面图

Fig. 7 Geological interpretation profile of survey line 3



照片 3 钻孔 QK3 部分岩芯照片

Photo 3 Core pictures of drill hole QK3

4 讨论

由钻探资料验证可见,高密度电阻率法所解译的异常与钻探结果基本上是吻合的。在本次勘探中解译的溶洞深度与钻探揭露的深度有一定的差异,主要原因为:

(1)物探解译的是整个断面的物性参数,是根据异常区与围岩之间的电阻率差异来判断的。对整个断面而言,电阻率的变化是一个渐变的过程,对钻探而言,只是针对一个点,很难把握这个点在整个断面中的准确变化情况,只能把握大体情况;

(2)仪器本身存在系统误差,处理软件也存在拟合误差。

5 结论

由于赋存在碳酸盐岩地层中的岩溶大多数被第四系覆盖,所以物探方法是岩溶勘查中行之有效的

手段。由于高密度电阻率法分辨率高、工作效率高,所以是探测浅部岩溶常用的方法之一。通过本次探测,可以得出以下结论:

(1)莱芜市西泉河大部分地区地表被第四系覆盖,主要成分为上部黏性土,下部砂类土。厚度约 3~18 m,由东北向西南渐薄,在本区西南部见灰岩裸露地表。

(2)本区下伏基岩面起伏波动较大,局部基岩形态破碎。地表以下 30 m 以内的浅层岩溶较发育,特别是在断层附近,基岩破碎,裂隙十分发育,富水性增强,局部发育中空或黏土半充填的溶洞。

(3)高密度电阻率法能够较准确的查明岩溶发育的位置、埋深等参数,与钻探配合使用,可以大大减少钻探工作量。该法解译的溶洞深度与钻探揭露的深度虽然有一定差异,但总体上把握的是比较准的,证明了高密度电阻率法在岩溶探测方面是可行的。

因此探明工作区内岩溶分布特征,对本区的防灾减灾工程具有重要意义。

参考文献

[1] 刘妍芬,王振涛,高峰,等. 莱芜市泉河地区岩溶塌陷特征及成因分析[J]. 山东国土资源,2012,28(9):18-20.

[2] 张丽霞,熊大军,王集宁,等. 莱芜市岩溶塌陷原因分析与评价[J]. 山东地质,2002,18(2):32-35+48.

[3] 董浩斌,王传雷. 高密度电法的发展与应用[J]. 地学前缘,2003,10(1):171-176.

[4] 刘晓东,张虎生,黄笑春,等. 高密度电法在宜春市岩溶地质调查中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2002,13(1):73-76.

[5] 邵长庆,王生俊. 高密度电法评价岩溶地下水分布[J]. 城市地质,2011,6(2):31-34.

[6] 朱清耀. 高密度电法在岩溶地区工程勘察中的应用[J]. 福建工程学院学报,2005,3(3):238-242.

[7] 王建军,强建科,李成香,等. 高密度电法在地面塌陷勘察中的应用[J]. 资源环境与工程,2008,22(S2):99-101.

[8] 江玉乐,张楠,周清强,等. 高密度电法在岩溶路基勘察中的应用[J]. 物探化探计算技术,2007,(6):511-515,469.

[9] 何剑平,刘基. 高密度电法在岩溶路基勘察中的应用[J]. 地质装备,2007,8(2):29-32.

[10] 葛如冰,黄伟义,张玉明. 高密度电阻率法在灰岩地区的应用研究[J]. 物探与化探,1999,23(1):29-33.

[11] 林文太. 高密度电法在岩溶路基勘察中的应用[J]. 福建地质,2010,29(1):34-38.

[12] 贾同福,尹志勇,汤洪志. 高密度电阻率法在岩溶探测中的应用[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2011,34(1):94-96,100.

[13] 王士鹏. 高密度电法在水文地质和工程地质中的应用[J]. 水文地质工程地质,2000,27(1):52-56.

[14] 李桂龙. 高密度电法在岩溶地质勘察中的应用[J]. 中国西部科技,2011,10(15):17-18,24.

[15] 武毅,孙银行,李凤哲. 西南岩溶地区不同含水介质地球物理勘查技术[J]. 中国岩溶,2011,30(3):278-284.

[16] 郑智杰,甘伏平,曾洁. 不同深度岩溶管道的高密度电阻率法反演特征[J]. 中国岩溶,2015,34(3):292-297.

[17] 周文龙,吴荣新,肖玉林. 充水溶洞特征的高密度电阻率法反演分析研究[J]. 中国岩溶,2016,35(6):699-705.

[18] 喻立平,韦吉益,卢呈杰. 岩溶区不同土洞探测方法的对比研究:以桂阳高速公路 K23+100~K23+190 路段为例[J]. 中国岩溶,2008,27(3):278-282.

[19] 张欣,赵明阶,汪魁,等. 电法三维成像技术在隧道岩溶探测中的应用[J]. 中国岩溶,2016,35(3):291-298.

[20] 刘国兴. 电法勘探原理与方法[M]. 北京:地质出版社,2005.

Application of the high-density electrical resistivity method to karst geological exploration in Quanhe, Laiwu City

WU Yanan

(Shandong 5th Geo-Mineral Prospecting Institute, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract Karst can produce large undulating surfaces , as well as other geological features such as dissolution belts, karst caves, and soil cavities, which can lead to geologic hazard affecting the security of buildings. This paper briefly introduces the basic theory and features of the high-density Electrical Resistivity (ER) method which can be applied to exploration karst areas. Then a case study in Quanhe, Laiwu City is presented. Based on the interpretation of 2D image of the apparent ERs and their anomalies such as ER high and ER low , this paper infers the range, size and burial depth of karst in the study area, which accord with the results of exploratory drilling. The results of this work provide an important reference for the prevention and management of karst collapse geohazards in this region.

Key words high-density electrical resistivity, karst, geological exploration, Quanhe, Laiwu City

(编辑 张玲)