

高密度电阻率法在平阴县 岩溶地质灾害调查中的应用

郭国强, 曹春国, 王阳, 何玉海, 于义文, 张超

(山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要:平阴县地处泰山山脉西延余脉与鲁西平原的过渡地带,地势南高北低,中部隆起,属浅切割构造剥蚀低山丘陵陵区。其县城及周边岩溶较发育,给当地居民住宅及生产生活造成一定影响。为查明岩溶地质灾害塌陷等造成的不良影响,利用高密度电阻率法圈定地下岩溶、溶洞等不良地质体的分布范围及第四系的大致厚度,应用效果较好。

关键词:高密度电阻率;岩溶塌陷;地质灾害;平阴县

中图分类号:P613.3⁺22;P642.25

文献标识码:B

平阴县岩溶塌陷主要发生在平阴县城周围及孝里一带。近几年,在平阴县及其周围发现多处墙面裂缝和水井坍塌现象,其县城北部西土寨村和平阴县城南部孝直镇张平村都出现不同程度的水井和房屋开裂及坍塌现象。其中最大一起岩溶塌陷在孝直镇张平村(该次地灾调查地块5),塌陷坑呈椭圆形,南北长20 m,东西长25 m,可见深度3 m。严重影响了当地居民的正常生活,为防止灾情进一步扩大,采用高密度电阻率法,快速查明了工作区岩溶塌陷的基本情况,取得了较好的应用效果。

1 工作区地质概况

工作区主要出露第四系、奥陶系。工作区大部分区域被第四系覆盖,地层从新到老依次为第四纪黄色粉砂质粘土及少量的粘土、砾石等,厚度在0~30 m之间;奥陶纪碳酸盐岩由豹状薄层灰岩、条带状白云质灰岩组成,岩溶发育。

工作区处于Ⅲ级构造单元鲁西断块隆起之次一级构造单元泰山断凸带的W翼。区内地层呈单斜构造,倾向NW,倾角5°~8°,局部10°~15°。断裂主要发育数条NE向、NW向张性或张扭性断裂,断

裂带附近岩溶较发育。

工作区内有较大面积的厚层石灰岩出露地表,风化严重,裂隙发育。该层石灰岩下伏红色纸状页岩,具有不透水性,是良好的隔水层,因此地下水在厚层石灰岩裂隙岩溶中流动,最后沿岩溶裂隙涌出。

2 高密度电阻率法的特点

高密度电阻率法是集物探剖面及电测深为一体,在地面设置的测点较密,获得的地质信息较丰富,一次可完成纵横二维勘探过程的一种勘探方法^[1]。采用程控式电极转换开关和高密度数字电测仪,因此,在一条剖面上便可以采集不同装置和不同极距的大量数据,将这些数据送入微机做适当处理,便可以获得相应的等值线断面图。

该方法对同一个测点可进行多次测量,测量次数通过输入预置周期次数实现,适用于干扰大的地区。在测量时,对允许的最大接地电阻可以通过预置给定终止条件参数来实现,提高了测量数据可靠性。因此该方法具有数据量大,地质信息多,观测精度高,自动化程度高,采集数据及成图解译直观可靠等特点。如寻找地下岩溶、溶洞和基岩裂隙构造等

* 收稿日期:2011-12-16;修订日期:2012-02-13;编辑:陶卫卫

地调项目:平阴县1:5万地质灾害调查岩溶地质调查,国土资发[2011]130号。

作者简介:郭国强(1980—),男,山东金乡人,工程师,主要从事物探技术的应用与研究;E-mail:gsr211@163.com。

不良地质体,也可在文物勘探中探测墓穴等^[2]。

3 资料解译

该次岩溶地质灾害调查共分 5 个地块,共布设高密度电阻率测深剖面 14 条(图 1)。

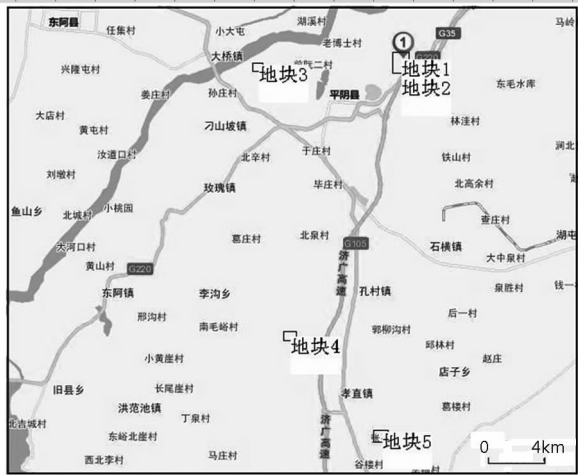


图 1 工作区各地块位置关系图

工作区各剖面的共同特征为:浅部等值线值低,深部等值线值高;等值线在岩溶发育区等值线波动起伏较大,杂乱无章;等值线在无明显岩溶发育及远离岩溶发育区等值线较平缓。以岩溶发育影响强烈的地块 5(图 2)和无明显岩溶发育影响的地块 3(图 3)为例进行分析:

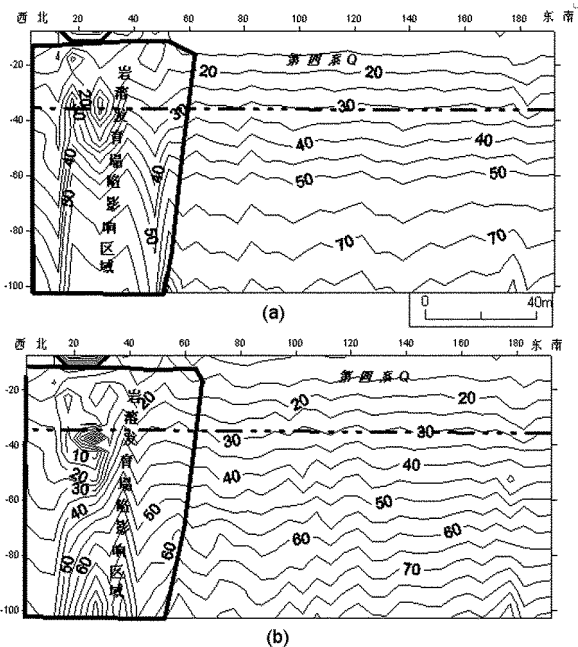


图 2 岩溶地质灾害调查地块 5 视电阻率断面图 (a)5-1 线视电阻率断面图;(b)5-2 线视电阻率断面图

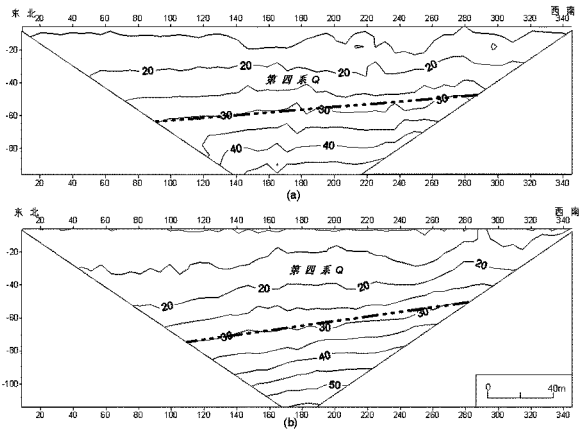


图 3 岩溶地质灾害调查地块 3 视电阻率断面图 (a)3-1 线视电阻率断面图;(b)3-2 线视电阻率断面图

地块 5 工作区内有一大塌陷坑(25 m×20 m×3 m 左右,无水,老井塌陷)和 3 个小塌陷坑(2 m×2 m×0.5 m 左右,常年不断水)。5-1 线和 5-2 线布极方式都为单边三级装置,NW 走向,点距 5 m,线距 8 m,两剖面线实测长度均为 195 m,都穿过大塌陷坑和其中一个小塌陷坑,两剖面横向从 60 点往点小方向电阻率等值线波动较大,呈间断“V”字型或斜坡状异常特征,如图 2(a),(b)黑色加粗封闭实曲线所示,该异常区域为岩溶发育塌陷影响区域;纵向整体上主要分为上下 2 种电性地层,浅部是第四纪粘土组成的低阻地层,底部为奥陶纪所形成的风化石灰岩高阻层,地层岩性界限反应明显,第四系视厚度在 30~40 m,如图 2 中黑色虚线(电阻率值在 30 Ωm 左右)。

图 3 为地块 3 工作区 3-1 线和 3-2 线视电阻率断面图,工作区有 2 个小塌陷坑(面积 1 m×1 m,深度小于 0.5 m)。2 条剖面都为温纳装置,NE 走向,点距为 6 m,线距 15 m,实测长度都为 342 m,两剖面向上视电阻率等值线平缓,无明显波动异常和岩溶发育塌陷影响,纵向整体上主要分为上下 2 种电性地层,浅部是第四纪粘土组成的低阻地层,底部为奥陶纪所形成的风化石灰岩高阻层,地层岩性界限反应明显,第四系视厚度在 50~60 m,如图 3 中黑色虚线(电阻率值在 30 Ωm 左右)所示。

综上所述,电阻率是高密度电阻率法的基本物性参数,该方法所有推断解释都是基于电阻率参数的相对差异进行的。通过对测区地下岩层电性特征的探测,获得深部地质结构的纵向地电断面资料。

通过视电阻率断面图将反映出不同电阻率异常特征的空间分布位置等物理信息。主要成果有:①推断了第四系的视厚度(即灰岩的埋深),平均厚度在 30~60 m。②圈定了岩溶发育塌陷影响区域的位置。③确定了钻孔位置,图 2(a)横向 32 点为其中 1 处钻孔位置,钻孔处岩溶较发育。

4 探测岩溶塌陷区的地质效果

工作区内形成电法异常的主要因数是岩性差异、岩性发育程度、断裂构造破碎程度以及地下水的富集程度。其中水的电性在该工作区起着主导作用,因此该区物性测量主要为水的电性测量。根据测量结果:在地下动水位以上,溶洞的电阻率值最高,泥岩、粘性土最低;地下动水位以下,洞穴、断层破碎带内,其电阻率值最低,岩溶不发育地段,电阻率值最高。

该次高密度电阻率法工作布极采用温纳装置和单边三极装置(在实验的基础上选定的),点距 5 m,把所有电极都固定在剖面上,然后用多心电缆把电极连接到电极转换开关上,通过微机程控,实现布极方式、极距和测点的自动扫描,所有测点的记录都将自动存储在仪器内。然后将数据送入微机作适当处理,变可获得相应的等值线断面图^[3]。

从等值线断面图、野外调查及钻探揭露情况分析地质灾害成因、分布特征及稳定性评价。

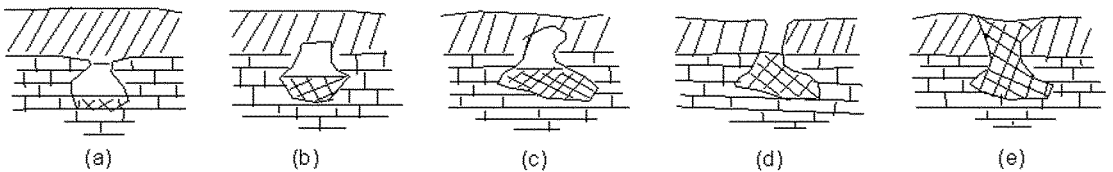


图 4 地表塌陷过程示意图

(a)土洞未形成以前;(b)土洞初步形成;(c)土洞向上发展;(d)地表塌陷;(e)形成蝶形洼地

4.2 地表塌陷的分布特征

根据我国大量的实例分析,地表塌陷的分布具有以下特征^[5]。

(1)地表塌陷在裸露基岩区极为少见,主要分布在覆盖性岩溶区,当松散覆盖层的厚度较小,地表塌陷较为严重。一般来说,覆盖层厚度小于 10 m 者,塌陷严重;厚度大于 30 m 者,塌陷极少。

(2)地表塌陷多发生在岩溶发育强烈地区,如在断裂带附近、褶皱核部、硫化矿床的氧化带、矿体与

4.1 岩溶塌陷成因分析

岩溶地表塌陷是一种特殊的水土流失现象,据研究岩溶塌陷的形成须具备 2 个条件。

(1)下伏基岩岩溶发育强烈,大量的岩溶裂隙形成了空间通道。塌陷坑下部常有溶隙和溶洞等与之相沟通,使上覆土层被剥落,坍塌物的堆积有足够的空间。塌陷发生的强度与下伏基岩岩溶发育程度相适应,所以岩溶的发育与分布决定地表塌陷的产生与分布。根据 14 条勘探线、野外调查及钻探揭露情况分析,工作区岩溶发育程度较强:①地块 1 地表见 2 个塌陷坑,地块 2 地表见 1 个较大塌陷坑,地块 3 和地块 4 地表无明显塌陷坑,地块 5 有大小 4 处塌陷坑。②施工钻孔 14 个,见岩溶钻孔 10 个,钻孔见岩溶率 71.4%。

(2)上覆土层较松散,强度低,厚度小,为岩土体变形迁移提供了物质基础。强度高或厚的覆盖层中不易发现塌陷。土层的性质是影响塌陷的一个重要因素,因为土的颗粒级配,物理性质、水理性质和力学性质决定土体物质是否能被水流迁移,决定土洞的形成速度及稳定性。据野外调查及钻探验证,工作区土层主要为人工填土和砂质粘土为主,该土层结构松散易湿陷,强度低,分布厚度 0.5~30 m,一般在 20 m 以内,上覆土层薄。地表塌陷过程如图 4 所示^[4]。

碳酸盐岩接触部位等。

(3)在抽、排地下水的降落漏斗中心附近,地表塌陷最为密集。

(4)地表塌陷常沿地下水的主要径流方向分布。

(5)在接近地下水的排泄区,因地下水位变化受河水水位的变化频繁而强烈,故地表塌陷亦较强烈。

(6)在地形低洼及河谷两岸平缓处易于塌陷。

4.3 岩溶塌陷稳定性评价

根据岩溶塌陷的形成条件及主要影响因素,选

取了6个因数,按其对应塌陷发育影响各项大小分为3~4级,综合已有的实践经验,分别赋予经验指标(表1)。预测指标判别值:

$$N = K + S + H + W + F + G$$

表1 岩溶稳定性影响因数评价

因子	4	3	2	1
K 岩溶发育程度		强烈	中等	微弱
S 覆盖岩溶性结构		均一砂土,双层或多层底为砂砾石	双层或多层状粘性土—砂砾石	均一粘性土
H 覆盖层厚度	<5m	5~10m	<10~30m	>30m
W 岩溶地下水位	<5m 在基岩面附近波动	5~10m,在基岩面波动或土层中	>10m,在土层中;<10m,在基岩中	>10m
F 岩溶地下水径流条件		主径流带,排泄带	潜水和岩溶水双层含水量分布	径流区
G 地貌		岩溶洼地、谷地、盆地、平原;低阶地	丘陵或山前缓坡、岩溶台地、高阶地	谷坡

根据工作区岩溶发育程度强烈: $K=3$;覆盖层岩性结构为不均匀的人工填土及粉砂质粘土,取 $S=2$;覆盖层厚度0.5~30m(实际厚度),取 $H=2$;岩溶地下水位5~10m,暴雨后<5m,取 $W=3$;岩溶地下水径流条件属潜水和岩溶水双层含水量分布,取 $F=2$;工作区地貌多属岩溶山前缓坡,取 $G=2$ 。因此 $N=K+S+H+W+F+G=14$ 。

综上所述,工作区易发生岩溶地面塌陷,且可产生较多塌陷。该次地灾调查工作区属山区不均匀岩土组合地基,地质环境条件复杂。工作区地块1、地块2和地块5已经发生小型岩溶地面塌陷的地质灾害,地面塌陷处于孕育期,发育程度强,地质灾害发生的可能性大。其余地段岩溶地面塌陷发育程度弱,地质灾害发生的可能性小,危险性也小。因此未经处治,工作区地块1、地块2和地块5不易作建设用地使用。

5 结语

(1)根据高密度电法勘探的解译成果可知:地质应用效果非常显著,工作区内第四系电阻率值小于30Ωm,覆盖层分布不均匀,冲沟覆盖层普遍较厚,山前台地及坡度较陡处较薄,实际变化范围0~30m。

(2)高密度电阻率法勘探解译结果表明工作区浅表岩溶洞隙发育。

(3)高密度勘探结果总体与地质钻探结果一致。

$N=17\sim 20$ 极易塌陷,可产生大量塌陷; $N=13\sim 16$ 易塌陷,可产生较多塌陷; $N=9\sim 12$ 不易塌陷,可产生少量或零星塌陷; $N\leq 8$ 一般不塌陷,属稳定区,在少数条件下可能产生个别塌陷。

(4)测区某些地块地形起伏大,覆盖层不均匀,物性横向变化大,造成异常解释深度有一定变化。

(5)该方法成本低、效率高、信息丰富、解疑方便、对工作区的浅层地层分布,岩溶发育地带均可取的较理想的勘查效果。

(6)工作区岩溶裂隙发育强烈,上覆松散土层性质差,厚度薄,是造成工作区岩溶地面塌陷的最大因素。地质灾害时效性强,需尽快建立地质灾害检测应急系统,以防止地质灾害的进一步扩大。

另外,高密度电阻率法虽有其优越性,但也存在局限性和不足之处,如测线附近的电力设施,地下管线,沥青等绝缘地面都可能引起视电阻率曲线的畸变,影响探测成果的精度。采用该方法不能了解岩石的力学性质,因此需要配合钻探方可取得优质高效的灾害调查成果。

参考文献:

- [1] 邓居智,刘庆成,莫撼. 高密度电阻率法在探测大坎隐患中的应用[J]. 华东地质学院学报,2001,24(4):282-285.
- [2] 程志平. 电法勘探教程[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.
- [3] 鲁峰,戴忠全,张少妮. 高密度电阻率法在泰安市东羊楼村岩溶坍塌区的地质应用效果[J]. 山东国土资源,2006,22(8):49-50.
- [4] 杨明,荣玉伟,田洁,等. 沂蒙山区南龙口岩溶地面塌陷形成机制探讨[J]. 山东国土资源,2010,26(1):21-22.
- [5] 唐辉明. 工程地质学基础[M]. 北京:化学工业出版社,2008.

Application of High Density Resistivity Method in Investigation of Karst Geological Hazards in Pingyin County

GUO Guoqiang, CAO Chunguo, WANG Yang, HE Yuhai, YU Yiwen, ZHANG Chao

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Pingyin county located in the transition zone between the western offshoot of Taishan Mountain and the plain of western Shandong province. It is high in the southern part and low in the northern part. It belongs to the weathered hilly and mountainous region with a shallow cut structure. Karst is well developed in and around the county, which may have certain influence to local living houses and production. In order to find bad effects caused by collapse and other geological hazards, the distribution of underground karst, solution cavity, other bad geological bodies and approximate thickness of the Quaternary system in this area have been investigated by using high density resistivity method. This method can gain a good application effect.

Key words: High density resistivity method; karst collapse; geological hazards; Pingyin county

(上接第 27 页)

Study on Prospecting Shouguang Magnetic Anomaly

MA Zhaotong¹, YU Qianzhong², WANG Yumin¹, LI Tuxiong¹, ZHANG Jitao²

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. No. 4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261041, China)

Abstract: Shouguang magnetic anomaly is the second largest magnetic anomaly after Jining magnetic anomaly. As showed by the ZK401 hole implemented by No. 4 Exploration Institute of Geological and Mineral Resources, in the hole depth at 856.22~1600.87m, strata of Babudi formation in Mesozoic Cretaceous Qingshan group can be seen. It is a basaltic andesite - andesite stone combinations. Shouguang magnetic anomaly was formed by Mesozoic volcanic rocks with magnetic. According to characteristics of gravity anomaly and magnetic anomaly in Shouguang magnetic anomaly area, combining with geological and structural environment, through inversion of the spatial distribution of magnetic body shape, it is concluded that Shouguang magnetic body is a wedge - shaped volcanic basin between the summit to the valley in Paleozoic (Cambrian) strata. By using division model of volcanic apparatus, sub - volcanic rocks can be divided into volcanic eruption - sedimentary petrography lithofacies, subvolcano lithofacies, volcanic vent lithofacies and remelting - intruded rock lithofacies. According to the relation between the volcanic rock lithofacies and mineral products, it is thought that there maybe exit a large - scale magmatic rock iron ore in the deep of Shouguang volcanic rock. In the middle and the deep parts of volcanic vent lithofacies and the distribution regions of subvolcano lithofacies, there are rich minerals, such as gold, copper, lead, zinc and Mu, etc. Shouguang magnetic anomaly is the emphasis target section in prospecting in the future.

Key words: Magnetic anomaly; inversion magnetic anomaly; volcanic rock lithofacies and mineral products; prospecting direction; Shouguang in Shandong province