

山东泰安羊娄岩溶地面塌陷的高密度电法探测应用

郭栋栋¹, 赵俐红²

(1. 中化地质矿山总局泰安地质勘察院, 山东 泰安 271000; 2. 山东科技大学, 山东 青岛 266510)

摘要:地面塌陷因近期发生频繁越来越受到人们的关注,而大多数塌陷皆是岩溶所致,如何搞清楚此类地质灾害的预防和发生显得尤为紧迫。随着科学技术的进步,以阵列布设多电极的高密度电法越来越准确的反映地下断面的电性分布特征,尤其适合近地面一定区域范围内以塌陷为主的地质探测。本文以泰安羊娄岩溶地面塌陷为例较详细地介绍了关于高密度电法在岩溶地面塌陷探测中的应用并作出了相应的推断。

关键词:岩溶地面塌陷;高密度电法;泰安羊娄;综合利用效果

文章编号:1003-8035(2012)04-0104-05

中图分类号:P631

文献标识码:A

0 引言

岩溶地面塌陷,是一种常见的由于易溶性岩石遇到活跃的岩溶水系而致上覆岩(土)体溶蚀冒落形成的一种地质灾害现象^[1],多发生在人口相对较多、经济较发达的城镇或工矿区。伴随着2003年泰安羊娄大塌坑的出现,该区岩溶地面塌陷灾害越来越受到人们关注,是北方岩溶地面塌陷的典型实例。目前为止,高密度电法是最适合探测岩溶发育状况的物探方法之一,它兼具剖面法与电测深法的效果,并具点距小和数据采集密度大等特点,能直接反映研究区基岩的起伏状态^[2]。本文拟用高密度电法研究泰安羊娄地区的岩溶地面塌陷情况,探讨高密度电法在岩溶地面塌陷方面的应用效果。

1 方法原理

高密度电阻率法同常规电阻率原理完全相同,但它采用了多电极高密度一次布极并实现了跑极和数据采集的自动化^[3],对于近地面浅层电性差异明显的地层具有非常好的效果。岩溶地面塌陷多成因于地层浅部的岩溶发育区,与地下水的活动密切相关^[4-5],而这些区域的灰岩、岩溶水、溶洞及第四系盖层的电性异常又非常突出。研究发现,高密度电法测量的二维地电断面不仅能较直观地反映基岩界线,而且还能够推断与围岩存在电性差异的断裂构造^[2]。通过在研究区的高密度一次布极获得该区的视电阻率情况,并对其进行格式转换、预处理、地形校正、正演和反演计算,得到该区的视电阻率成像色谱图^[3]。根据反演得到的电阻率色谱图,获取地层中的电阻率分布情况,最后结合该区的实际地质情况推断地层、

圈定构造、确定岩溶发育带等。

2 研究区概况

泰安市羊娄地区,西起滂河断裂,东到东羊娄村以东,北至宅子断裂,南至汶河。该区本为裂隙岩溶水源地,岩溶塌陷地质灾害发育频繁,多年被山东省划为地质灾害防范重点。区内地层有太古界前震旦系泰山群变质岩;下古生界寒武系、奥陶系碳酸盐岩、页岩;新古生界第三系砂岩、砾岩、泥岩、泥灰岩、粘土岩及第四系松散岩类^[6]。

测区内地势平坦,高程约130.0m,自然坡降低,地质条件较复杂。主要表层岩性为第四系粘性土、砂土,第三系泥岩,奥陶系灰岩、泥灰岩及白云质灰岩组成。区内形成电性异常的因素主要有由岩性差异、岩溶发育、断裂构造造成的岩性破碎程度以及地下水的富集程度。其中水的电性在本区起着主导作用,因此,本区电阻率测量主要是测水的电性。

3 高密度电法在研究区的应用

为搞清楚区内近地面各地层岩土体电性分布特征,作者在工作区内地表有明显塌陷位置处布设了一条高密度电法试验测线。将所得原始数据制成等值线图1,经反演成示意图2。

研究表明:在地下水潜水位以上,较大面积空洞的电阻率值最高,泥岩、粘性土最低;地下水潜水位以下,

收稿日期:2012-04-18;修订日期:2012-08-14

作者简介:郭栋栋(1986—),男,山东聊城人,助理工程师,研究方向为物探电法勘探研究。

E-mail:guodongdong5812@163.com

洞穴、断层破碎带内电阻率最低,岩溶不发育地段电阻率值最高(图 1 和图 2)。经物性测试:第四系松散岩类标本电阻率一般在 $50\Omega\text{m}$ 以内变动,完整的灰岩标本则反映为 $200\Omega\text{m}$ 以上。当有土洞在时,电阻率在 $110\Omega\text{m}$ 左右变化;灰岩的溶蚀溶洞反映为同步起伏及低电性特征的继续延伸。土洞充水后电阻率表现为

$30\Omega\text{m}$ 以下,当有构造存在时,视电阻率断面上曲线呈现明显的错动、局部的突变现象;当溶洞在潜水面以上时,反映为相对的高阻电性特征。松散的第四系覆盖物与活跃的岩溶水系间存在较大电阻率差异,充填的岩溶水与围岩间亦存在较大电阻率差异。

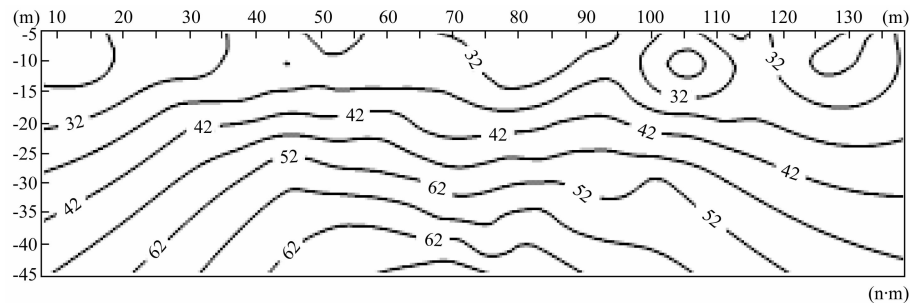


图 1 泰安市羊娄—旧县局域岩体剖面视电阻率等值线测验示意图

Fig. 1 Taian Yang Lou-Jiuxian measured contour schematic diagram of high-density resistivity method

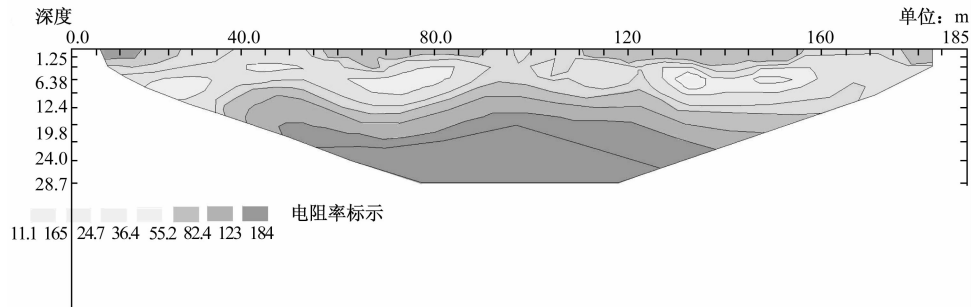


图 2 泰安市羊娄—旧县高密度电阻率方法所测实验线剖面视电阻率反演检测示意图

Fig. 2 Taian Yang Lou-Jiuxian inversion contour schematic diagram of high-density resistivity method

综上,在该区域内开展高密度电法工作对于能否查清区域内岩层剖面的前提是具备的。

结合区内实际地形条件,依据羊娄村路面的分布情况设计了 20 条高密度电法剖面(图 3)。采用对称四极测深滚动装置,点距 5m ,MN 一个间距,电极距 60m 。数据采集完成后,对所得原始数据进行对比,剔除,拼接得到剖面初始数据,利用 Res2dinv 软件平滑,正演,反演等值线成像后得到反演剖面色谱图(图 4)。利用 PS 将这些反演剖面色谱图进行地层回模拟,最后结合前人的研究成果和相关地质资料分析解释。

野外数据采集时地下水水位在 4m 左右,正值丰水期地下溶洞内多充水饱和。由高密度电法剖面直

观示意图(图 4)看出,该区第四系盖层、砂层及灰岩的电阻率变化均匀清晰、差异明显,能够较好反映出区内溶洞和土洞的具体位置。第四系粘土电阻率表现为 $10\sim 50\Omega\text{m}$ (呈蓝色或淡蓝色局部绿色或浅红色),深度 $0\sim 20\text{m}$ 不等;砂层表现为 $50\sim 200\Omega\text{m}$ 之间(呈绿色或浅红色),深度 $5\sim 30\text{m}$ 不等;灰岩则表现为 $200\Omega\text{m}$ 以上(呈红色或深红色),深度在 $8\sim 50\text{m}$ 不等,可以较好的分辨出区内第四系、砂层、灰岩间的界面。钻孔资料(图 5 和图 6)直接验证了以上推断。

地下水电阻率不大于 $10\Omega\text{m}$,充水的溶洞一般反映为深层直立三角状低阻闭合区域,而水洞或潮湿的土洞反映为第四系内倒立的三角状低阻闭合区域,可

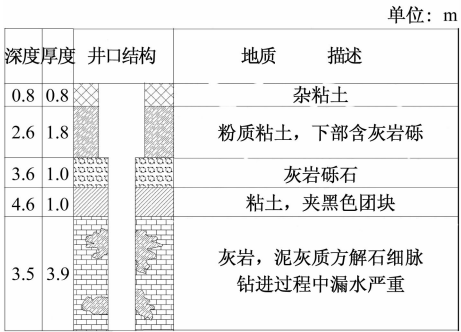


图 6 ZK2 资料图

Fig. 6 The graph of ZK2 information

4 讨论

综上,岩溶溶洞的发育与地下水依附紧密。

在岩溶塌陷前,上覆地层受地下水向上的浮托力和自身的重力使地层岩体间受力保持平衡。当抽排岩溶水而致地下水水位猛烈骤降时,溶蚀物颗粒或砂砾被地下水搬运而致彼此关联的溶洞群失去了地下水的浮托力呈“拱桥”形,改变了原有地层间的受力平衡关系使上覆岩土体悬空,且空洞受气压影响对上覆地层有吸附作用,形成了塌陷发生的先决条件。

当自然降水量增多时,上覆岩体在承受自身重力的前提下持续受大气降水的荷载力再次改变了岩体间的受力平衡;随地下水水位的回升,上覆岩土体此时受地下水向上的浮托力,且空洞受气压影响对上覆岩体有顶托作用。由此可见,短期内地层间岩体的受力关系改变频繁,上覆岩体在不同时期内反复受到向上、向下的推力作用是该区岩溶地面塌陷发生的最直接因素。伴随着地下水水位的上下波动,岩性间电阻率也相应发生较大波动变化,由此可以得出:地下水的大幅升降是短期内加速岩溶塌陷的地质前提。

使用物探手段能够为岩溶地面塌陷这种地质灾害提供科学的论据。结合岩溶塌陷的实际地质情况,我们可以归结出各种地质反映信号以静态或动态地分析地下岩溶塌陷的发育程度、变化特征、成熟状态。由于岩溶塌陷的形成方式和发育状态的不同,自然界的岩溶塌陷在实际存在中呈现着千奇百怪的特性,要推断好这些地层特性,地层与地下水间叠合依托关系特别是岩溶发育导致地下空洞所引起的地面起伏变化时间及程度的预测,单一靠表层的地质反映不能满足查清地下岩溶分布的确切条件。物探方法引用了地层间的物性差异的规律,对地下岩层间很好的定位是重要的

控制检测方法。它对先前地层的推测起到了检验效果,一般而言在判读岩溶塌陷时都对地表进行地质分析推断其发育来源,空洞形成时间,发育状况,是否受近代人类活动的影响等提出各种理论方案,对区内实施物探方法就是对先前地质推断的一个基本总结和验证。这种总结和验证是从科学的角度出发的,提高了对地质推断逻辑的严谨性。针对岩溶塌陷的发育程度来说,其不同的发育时期对应着不同的发育状况,其岩性的空间定位必然也发生变化,高密度电阻率法提供了科学的数据基本把握了地下地层及地下水的接触关系,为判定岩溶塌陷的发育程度及走向趋势提供了有力证据。伴随地下水水位的监测,系统的利用物探手段对岩溶塌陷监测有利于这种地质灾害的预警工作。

参考文献:

[1] 贺可强,王滨,杜濡林. 中国北方岩溶塌陷[M]. 北京:地质出版社,2005.
HE Keqiang, WANG Bin, DU Rulin. Karst collapse in North China[M]. Beijing: Geological Publishing Press, 2005.

[2] 傅良魁,应用地球物理教程—电法勘探[M]. 北京:地质出版社,1991.
FU Liangkui. Physical Geography Application Course-Electrical Prospecting [M]. Beijing: Geological Publishing Press, 1991.

[3] 李金铭,地电场与电法勘探[M]. 北京:地质出版社,1991.
Li Jinming. Geoelectric Field and Electrical Prospecting [M]. Beijing: Geological Publishing Press, 1991.

[4] 骆荣,郑小战,易顺民. 广州花都区赤坭镇岩溶地面塌陷地质灾害现状及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(1):75-78.
LUO Rong, ZHENG Xiaozhan, YI Shunmin. Current situation and prevention measures of Guangzhou Huadu district Chini town Karst ground collapse geological disaster[J]. China Geological Disaster and Prevention Academic Journal, 2012,23(1): 75-78.

[5] 袁杰,高宗军,马海会. 论岩溶地下水位对岩溶塌陷形成的控制作用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2010,21(4):99-102.
YUAN Jie, GAO Zongjun, MA Haihui. Discuss about the control action of Karstic ground water on Karst collapse [J]. China Geological Disaster and Prevention Academic Journal, 2010,21(4): 99-102.

[6] 高宗军. 泰安岩溶地面塌陷形成机理与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2001,12(4):74-76.

GAO Zongjun. Formation mechanism and prevention measures of Taian Karst ground collapse [J]. China

Geological Disaster and Prevention Academic Journal, 2001, 12(4): 74-76.

Prospecting research of high density electrical method about karst ground collapse in Yanglou, Tai'an city Shandong province

GUO Dong-hong¹, ZHAO Li-hong²

(1. Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Tai'an city, 271000, China;

2. Shandong University of Science and Technology, Qingdao, 266510, China)

Abstract: The ground collapse has been attaching more and more concern because of its high frequency recently, and most collapses are due to karst. So it seems very urgent to make clear the prevention and happening causes of such geological disasters. Along with the improving of science and technology, the high density resistivity which arranges multielectrode in array can more and more correctly reflect the electrical distribution features of underground sections, and especially available for geological detections which mainly include collapses in a certain area near the ground. This article, takes karst ground collapse in Yanglou, Tai'an city for example, introduces in detail the application of high density resistivity in the karst ground collapse detection and gives a corresponding inference.

Key words: the ground collapse; the high density resistivity; taianyanglou; use effects

新书介绍

重大地质灾害防治理论与实践

本书由刘传正博士编著,由科学出版社正式出版发行。包括上下两篇。

上篇提出了地质灾害防治工程的基本理论方法体系,包括地质灾害的基本概念和基本属性、地质灾害与地质环境变化、地质灾害的调查与勘查评价、监测预警、防治工程论证与设计、地质灾害的应急响应和防灾减灾公共管理等。在理论上提出了地质灾害区域评价研究的“发育度”、“潜势度”、“危险度”和“危害度”等新概念及其分析评价方法;把采矿工程活动引发的山体开裂、崩塌和滑坡等划分为顺倾(向)型、反倾(向)型和斜倾(向)型,并分别建立了其数学力学模型;提出了地质灾害隐式统计(临界降雨量)、显式统计和动力模式区域预警原理,隐式统计和显式统计方法是 2003 年以来基于气象因素的全国地质灾害区域预警预报服务(CCTV-1)和多个省(自治区)开展类似工作的理论依据;介绍了中国第一个地质灾害监测预警试验区——四川雅安地质灾害监测预警试验区;提出了地质灾害防治工程方案论证的地质观与工程观及其工作原则和防治工程设计遵循的基本理念;总结了重大地质灾害应急响应的工作步骤和应急处置的技术路线,概括出地质灾害群测群防工作的“六个自我”原则和综合防灾减灾公共管理思路等。

下篇针对国家重大地质灾害防治工程——长江三峡链子崖危岩体防治工程开展了范例研究。自 1993 年以来,提出了链子崖危岩体具有南北强拉裂、东西弱拉裂和平面反时针转动的三维开裂变形破坏机制,岩体变形破坏的“视滑力”及其分析计算方法,创建了防治工程方案比选的目标函数方法,并成功的进行了链子崖危岩体地下采空区防治工程和“七千方”锚固工程设计;针对新发现的地质条件变化开展了大尺度(1m×1m)原位岩体力学模拟试验,及时计算调整了工程设计;通过 4 年多的施工和工程竣工后多年的运行检验,特别是 2003 年以来长江三峡水库多期蓄水(长江三峡水库 135m、145m、156m 和 172m 蓄水位)的考验、稳定性校核计算和多年变形与地压监测数据分析等,得出链子崖防治工程达到正常荷载下稳定系数大于 1.30(治理前为 1.062),特殊荷载下大于 1.15,工程治理效果达到了设计目标,长江三峡链子崖危岩体防治工程是成功的。

(中国地质环境监测院 刘传正供稿)