

高密度电阻率法在随州市长岗镇地质灾害调查中的应用

耿德祥, 李楠鑫, 宗 威

(湖北省地质局 地球物理勘探大队, 湖北 武汉 430056)

摘 要:近年来由于前期对地质环境破坏等原因,造成地质灾害频频发生,对人民的生命财产安全产生了严重的伤害与威胁。目前发生的地质灾害主要以地面塌陷,滑坡,崩塌,泥石流,岩溶等为主,而高密度电法是一种常用勘察技术,数据采集密度大,探测精度高,被广泛应用于地质灾害调查中。对此,文中首先对高密度电法进行介绍,然后以随州市长岗镇地质灾害调查为研究对象,利用高密度电阻率法圈定地下岩溶、滑坡等不良地质体的分布特征,查明整个区的地质岩溶发育和滑坡情况,为后期地质灾害的有效治理和稳定性评价提供。

关键词:高密度电阻率法;地质灾害调查;岩溶;滑坡;随州市长岗镇

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0107-03

引言

高密度电阻率法属电法勘探范畴,它是以岩、矿石之间电学性质的差异为基础,通过观察和研究与这些差异有关的电场和电磁场在空间或时间上的分布特点和变化规律,来查明地下地质构造和寻找地下电性不均匀体的一类物探方法。

长岗镇隶属于湖北省随州市,位于随州市西南部,东边与三里岗镇交界,北边与洪山镇接壤,南边与钟祥市、京山县相邻。随州市长岗镇地质构造复杂,断裂发育,岩性复杂,变质岩、沉积岩及火山岩有分布,地层时代跨度大,受构造影响,岩体总体较破碎,抗风化能力差,在强降雨和其它自然因素下,极易发生地质灾害。随州市长岗镇地质环境较脆弱,岩溶塌陷、滑坡地质灾害频发,威胁人民生命财产安全,严重影响了当地居民的正常生活。

文中采用高密度电阻率法对随州市长岗镇进行了地质灾害调查,较好地探明了工作区岩溶发育区深度、分布及不稳定斜坡分布范围等特征,探测效果较好,为后续地质灾害调查、治理等提供了有效的基础资料,可为类似地质灾害调查提供借鉴与参考。

一、方法原理

高密度电阻率法是一种常见的物探方法,其广泛应用于地质找矿、水文地质、采空区及岩溶等探测工作。高密度电阻率法探测岩溶是基于岩溶与周围岩体电阻率差异的物理特性来确定某一区域岩溶发育情况。

当人工向地下 A、B 电极加载直流电场 I 时,通过测量预先布置 M、N 极间的点位差 ΔV ,求出此预先布置点间的视电阻率值,通过研究地下一定范围内大量丰富的空间电阻率变化,来探测地质结构及地下岩溶发育情况。高密度电阻率法岩溶探测的工作原理如图 1 所示。

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不良地质体,也可在文物勘探中探测墓穴等。

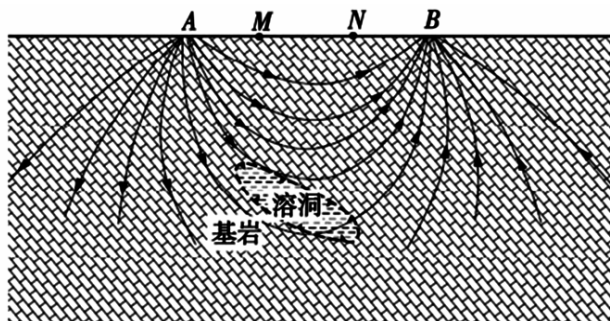


图 1 高密度电阻率法岩溶探测原理示意图

二、应用实例

1. 工区地质构造

随州市长岗镇位于秦岭褶皱系加里东褶皱带南缘、扬子准地台台缘褶皱带北缘,二构造交接之地。自北向南分属北淮阳火山弧、桐柏——大别基底杂岩、白桑关——殷店高压变质岩系折返带、随南陆缘裂谷、过渡湾——大洪山前陆冲断带、阳日湾——京山前陆褶皱冲带;从总体上看,以构造类型来划分区内可分为褶皱和断裂两类构造形式,区内褶皱、断裂较发育。

工作区内大洪山倒转复式背斜,襄广断裂为其北界,南以随县白鹤湾-徐家湾-钟祥周家河-邵台-京山长岭一线为界;东到京山的周关、古井、官田畈;西至玉石山。出露地层为元古界神农架群、青白口系、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系,褶皱断裂发育,基性岩浆岩出露较广泛,复式背斜的南缘零星分布有超基性金伯利岩,呈脉状产出。

2. 工区灾害隐患

地面塌陷群位于随州市长岗镇。地理坐标: 东经

收稿日期: 2022-09-09

作者简介: 耿德祥 (1991-), 男, 硕士, 湖北省地质局 地球物理勘探大队, 工程师, 主要从事地球物理学研究。

112° 58′ 04″，北纬 31° 31′ 51″。塌陷群共 19 个塌陷坑，分布面积 0.49km²，影响范围 1.75km²。陷坑平面形态多呈“椭圆形”、“圆形”或者“方形”，坑口最大规模为 690m²，最小规模为 2m；坑的最大深度为 5.5m，最小深度为 2m。塌陷坑平面分布形态呈“串珠状”。具体位置见图 2。

塌陷区分布于山间凹地，地层岩性分别为：1、第四系冲洪积层，岩性为含卵砾石粉质粘土，土石比 7：3-4：6，结构松散，厚 6~15m 不等；2、第四系残坡积层，岩性为含碎石粉质粘土，厚 0.5~5m；3、下伏基岩为震旦系上统灯影组的灰岩、白云岩、含磷页岩等，产状 10° < 52°。岩石岩溶较发育，2021 进行风险普查时，在该区施工了 5 个钻孔，5 个钻孔都见到溶洞，溶洞高度一般 2~3m，最大高度达 17m，最小高度 0.3m，多数未充填，个别钻孔溶洞呈串珠状分布，地下水类型主要为孔隙水、岩溶裂隙水，补给来源以大气降水为主，降水渗入后沿裂隙溶洞向地下岩溶管道中汇集，一部分顺晴河流出排泄于地表河流，部分地下水以泉的形式排泄。

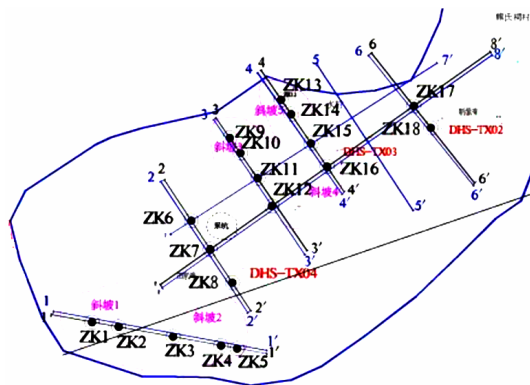


图 2 长岗镇已塌陷岩溶分布及斜坡（斜坡 1~5）分布图

3. 塌陷成因分析

(1) 自然因素

该地区碳酸盐岩广布且断裂构造发育，岩溶作用强烈，当大气降水和地表水的入渗引发地下水位发生变动时，易发生岩溶型地面塌陷。根据区域地质资料塌陷区紧邻襄广断裂带，其中北东方向的一条断层的走向为 225°，构造发育为水力联系提供了通道。连续干旱和降雨交替，导致地下水出现较大变化，使地下水渗流潜蚀作用加强，加快了岩溶地面塌陷。

(2) 人类工程因素

该区储藏有比较丰富的磷矿资源，磷矿开采已久，由于矿坑疏排水，地下水位大幅下降，地表原有的地下水排泄点（主要为泉）部分消失或流量减小，地下水径流条件改变（由原来的向岩溶管道排泄改为向井巷中排泄），水力梯度增大，动水压力增加，地下水渗流潜蚀作用加强，加快了岩溶地面塌陷的形成过程。

4. 高密度电阻率法探测应用

(1) 地球物理特征

工作区基岩主要为厚—中厚层坚硬强岩溶化碳酸盐工程地质岩组，具有较高的电阻率，与上覆第四系残坡积土存在较大的电性差异，同时，完整的基岩与断层破碎带之间有着明显的电性差别，这为高密度电法提供了良好的地球物理前提。但是测区中心地带水田分布较广形成低阻屏蔽效应对探测结果有一定的影响。

(2) 测线布置及工作量

采用高密度电阻率法勘探，使用仪器为 N2 高密度电阻率法系统。根据工作安排，结合现场地形情况，工作区内共布置 8 条测线见图 3，主要工作量见表 1。

表 1 高密度电阻率工作情况

测线号	装置类型	测线长度/m	电极距/m	测量层数
1	温纳	1,484	6	30
2	温纳	936	6	30
3	温纳	770	6	30
4	温纳	840	6	30
5	温纳	1,183	6	30
6	温纳	1,120	6	30
7	温纳	2,152	6	30
8	温纳	2,720	6	30

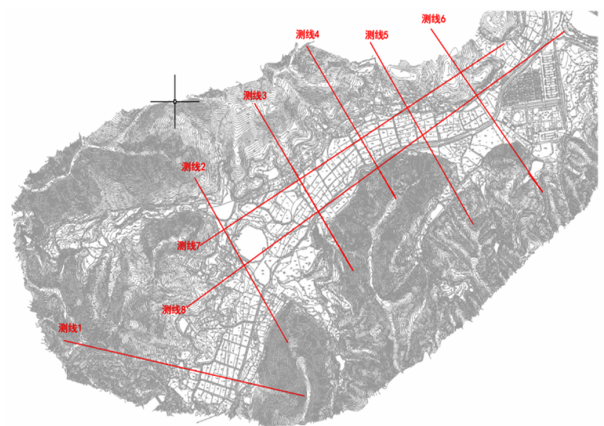


图 3 高密度电阻率法探测测线布置平面图

(3) 资料解释

对采集的数据，首先使用 Surfer 软件和二维电阻率反演成像软件进行数据预处理，同时输入测线地面高程数据，作地形校正，然后根据经验在软件中合理设置解释所必须的参数，最后运行软件进行反演解释。在解释过程中随时调整参数，以便使结果真实合理，计算结果用等值线图和电阻率图表现，两者结合，综合解释。

5. 地质解释及分析

在随州市长岗镇地质灾害调查高密度电阻率法工作中，共进行 8 条测线进行测量，均取得了较好的效果。下面以物探剖面 3 线为例进行解释。

本次物探剖面 3 线高密度电阻率法勘探，根据理论计算及实践经验，本次电法勘探反映的最大深度在 200m 左右。根据高密度电阻率数据反演软件反演结果，并结合地质调绘资料，物探测线 3 布置范围内视电阻率图及地质解译图分别见图 4、图 5。

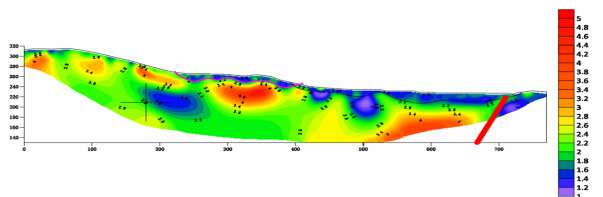


图 4 物探剖面 3 线高密度电阻率图

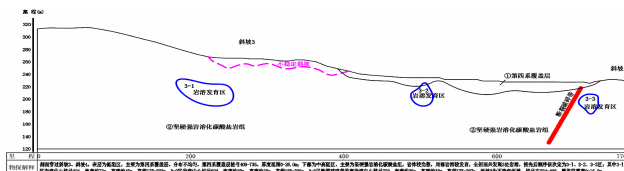


图 5 物探剖面 3 线地质解释

地质解释如下：

该测线剖面经过斜坡 3、斜坡 4，表层为低阻区，主要为第四系覆盖层，分布不均匀，第四系覆盖层桩号 409-735，厚度范围 0-26.0m；下部为中高阻区，主要为坚硬强岩溶化碳酸盐组，岩体较完整，局部岩溶较发育，全剖面共发现 3 处岩溶发育区，按先后顺序依次定为 3-1、3-2、3-3 区；其中 3-1 区岩溶中心桩号 224，宽度约 73m、高度约 45m、高程 178~223m，3-2 区岩溶中心桩号 504，宽度约 29m、高度约 38m、高程 188~226m，3-3 区发育断裂破碎带发育岩溶，岩溶中心桩号 722，宽度约 26m、高度约 32m、高程 175-207m；斜坡 3 为不稳定斜坡，桩号在 224-406，覆盖层厚度 0~16.0m。根据本次高密度电阻率法探测的结果，进行钻孔验证，说明本次高密度电阻率法进行地质灾害调查是成功的。

6. 工作区综合评价

通过对工作区内 8 条测线数据综合分析，并结合地质资料，对测区综合评价如图 6。

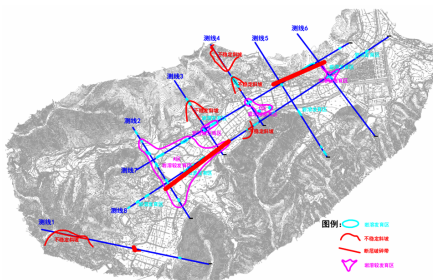


图 6 随州市长岗镇工作物探综合评价图

(1) 岩溶较发育区评述

通过对测区所有测线综合分析并结合地质资料，在整个测区分为 4 个岩溶较发育区（从西至东依次编号为 A-D），现对各区作如下综合评述：A 区，该区主要位于 2 号线、3 号线、7 号线、8 号线岩溶发育区，区内主要分布着房屋、农田、矿坑、河流，下部主要岩溶发育区为 2-2、2-3、2-4、2-5、2-6、3-3、7-1、7-2、8-4、8-5、8-6、8-7、8-9 区，其中最大的岩溶发育区 7-2，岩溶中心桩 7 线 494，宽度约 76m、高度约 46m、高程 123~169m；B 区，该区主要位于 3 号线、7 号线岩溶发育区，区内主要分布着房屋、农田、池塘，下部主要岩溶发育区为 3-2、7-3 区，其中最大的岩溶发育区 7-3，

岩溶中心桩 7 线 778，宽度约 65m、高度约 38m、高程 120~158m；C 区，该区主要位于 7 号线岩溶发育区，区内主要分布着农田、河流，下部主要岩溶发育区为 7-4 和两个已塌陷区域，其中岩溶发育区 7-4，岩溶中心桩号 7 线 1145，宽度约 52m、高度约 43m、高程 120~163m；D 区，该区主要位于 6 号线、8 号线岩溶发育区，区内主要分布着房屋、农田、河流，下部主要岩溶发育区为 6-1、6-2、8-15、8-16 区，其中最大的岩溶发育区 6-1，岩溶中心桩号 6 线 367，宽度约 56m、高度约 94m、高程 100~194m。

(2) 不稳定斜坡评述

测区内分布的斜坡主要为斜坡 1、斜坡 2、斜坡 3、斜坡 4、斜坡 5，其中测线 1 经过斜坡 2，测线 3 经过斜坡 3、斜坡 4，测线 4 经过斜坡 4、斜坡 5，测线 8 经过斜坡 4。通过对测区所有测线综合分析并结合地质资料，斜坡 1、斜坡 3、斜坡 4、斜坡 5 为不稳定斜坡，评述如下：斜坡 1 为不稳定斜坡，桩号在 1 线 123-389，覆盖层厚度 0~42.0m；斜坡 3 为不稳定斜坡，桩号在 3 线 224-406，覆盖层厚度 0~16.0m；斜坡 4 为不稳定斜坡，桩号在 8 线 1238-1299，覆盖层厚度 0~24.0m；斜坡 5 为不稳定斜坡，桩号在 4 线 11-271、343-478，覆盖层厚度 0-20.0m。

三、结论

(1) 高密度电阻率法作为一种勘探手段具有准确性高，保证生态环境安全及实效性，且适宜于较大面积地质灾害调查，为灾害治理提供区域性和地下结构的基础资料。

(2) 通过本次探测表明高密度电阻率法用于复杂岩性地区的岩溶塌陷和滑坡地质灾害是可行的，结合钻探资料及其它物探资料，探测的准确度较高。由于高密度电阻率法所具备的优点，使其能在复杂岩性地区的勘探中起到重要的作用。

(3) 通过高密度电阻率法圈定地下岩溶、滑坡等不良地质体的分布特征，查明整个区的地质岩溶发育和滑坡情况，为后期地质灾害的有效治理和稳定性评价提供。

参考文献

- [1] 程志平. 电法勘探教程[M]. 北京：冶金工业出版社，2007.
- [2] 唐辉明. 工程地质学基础[M]. 北京：化学工业出版社，2008.
- [3] 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术[M]. 北京：地质出版社，1996.
- [4] 胡猛. 浅谈高密度电阻率法在滑坡地质灾害勘察中的应用[J]. 科学中国人，2016，（15）：38.
- [5] 郑志龙，陈洋，王丽君等. 高密度电法在某高速公路岩溶隧道探测中的应用[J]. 地下空间与工程学报，2021，17（S2）：912-917+924.
- [6] 李媛，孟晖，董颖等. 中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析[J]. 中国地质灾害与防治学报，2004，（2）：32-37.
- [7] 张静，胡尊平，陶鹏飞等. 高密度电阻率法特点及在地质灾害中的应用实例[J]. 西部探矿工程，2022，34（9）：138-143.