

可控源电磁法在岩溶地质灾害探测中的应用

Application of Controllable Source Electromagnetic Method in Karst Geological Disaster Detection

王义利 何培良 李弘扬 王龙

Yili Wang Peiliang He Hongyang Li Long Wang

河北省地质工程勘察院 中国·河北 保定 071000

Hebei Geological Engineering Exploration Institute, Baoding, Hebei, 071000, China

摘要: 地面塌陷、地裂缝和地面沉降等地质灾害是隐伏岩溶区地下空间开发过程中常见的地质灾害,具有隐蔽性和突发性。开展隐伏岩溶区地下空间结构探测研究能有效指导地下空间开发,避免地质灾害发生。岩溶区的断层破碎带、溶洞和地下水侵入是主要的不良地质体,可控源音频大地电磁法(CSAMT)能有效刻画地下的电阻率分布,从而识别这些低阻地质体。本研究在江苏低山丘陵隐伏岩溶区开展了4条CSAMT测线的探测试验,反演结果能有效识别地表600m以内的不良地质体分布,并与钻探结果和区域地质特征具有很好的一致性。本研究开展的工作表明CSAMT方法是识别岩溶区不良地质体的有效手段。

Abstract: Geological disasters such as ground collapse, ground fissure and ground subsidence are common geological disasters in the process of underground space development in hidden karst areas, which are hidden and sudden. The exploration and research of underground space structure in hidden karst area can effectively guide the development of underground space and avoid geological disasters. Fault fracture zone, karst cave and groundwater intrusion in karst area are the main adverse geological bodies. Controllable source audio frequency magnetotelluric method (CSAMT) can effectively describe the underground resistivity distribution, so as to identify these low resistivity geological bodies. In this study, the detection tests of four CSAMT survey lines were carried out in the hidden karst area of low mountains and hills in Jiangsu Province. The inversion results can effectively identify the distribution of adverse geological bodies within 600m of the surface, and are in good agreement with the drilling results and regional geological characteristics. The work carried out in this study shows that CSAMT method is an effective means to identify adverse geological bodies in karst area.

关键词: 岩溶探测; CSAMT; 电磁测深

Keywords: karst detection; CSAMT; electromagnetic sounding

DOI: 10.12346/se.v3i4.6369

1 引言

中国岩溶分布广泛,岩溶区受自然和人为作用影响容易发生地面塌陷,城市地下空间开发和建设中,溶洞、暗河等不良地质现象对地下空间影响巨大^[1]。隐伏岩溶区地下空间结构探测技术能有效指导地下空间开发和利用,大幅减少地质灾害的发生。目前,隐伏岩溶的探测方法主要有高密度电法、浅层地震法、电磁法等^[2-3]。

可控源音频大地电磁法(CSAMT)是一种频率域电磁测深方法,利用接地导线(电偶极子)向地下供不同频率的交流电流,同时在远场测量电场和磁场分布。偶极子场源感应产生的电磁场携带地下介质的电阻率信息。观测数据反演得到目标区地下的电导率分布,从而给出合理的地质解释。

为验证CSAMT在中国东部地区岩溶探测的有效性,在中国江苏无锡某区进行了试验,主要目标是探明岩溶发育区域内第四系覆盖层下方隐伏溶洞的发育特征,包括隐伏断裂

【作者简介】王义利(1987-),中国河北保定人,硕士,工程师,从事地球物理勘查研究。

产状、位置和性质，岩溶和溶蚀破碎带的位置、规模和性质，兼顾第四系地层的分布状态和基岩面形态。

2 研究区基本条件

研究区位于江苏无锡地区，隐伏岩溶发育。研究区位于内第四系物性特征为：电阻率总体上低但变化较大，从黏土至砂砾石层，电阻率由 $6\Omega \cdot m$ 至 $60\Omega \cdot m$ 。其分层电性表现为：上更新统八里砂砾层 (Qb) 是以砂砾石为主，其电阻率最高 ($30\sim 60\Omega \cdot m$)；全新统如东组 (Qr) 是以粉细砂为主，电阻率次之 ($15\sim 35\Omega \cdot m$)；中上更新统下属组 (Qx) 则以粉质黏土为主，其电阻率最低 ($6\sim 15\Omega \cdot m$)；灰岩电阻率表现为 $> 5000\Omega \cdot m$ ，断裂带及岩溶发育区由于充水充泥作用，其电阻率表现低电阻率表现，其值 $< 400\Omega \cdot m$ 。第四纪覆盖层下方岩体为灰岩，经受多次构造运动作用，位于苏锡常断裂带，主体呈北西走向。构造对岩溶发育和空间展布具有重要的控制作用^[2]。

从以上物性资料可以看出，地层中若存在断裂破碎或溶蚀区，破碎带或溶蚀区中不论充填水或是其它泥质成分都将导致电阻率下降而与围岩存在一定的电性差异，这也为开展 CSAMT 法提供了地球物理前提。

3 可控源大地电磁法应用

3.1 数据采集

CSAMT 的成功应用需要满足一定的技术要求。发射电流要足够大，以使观测数据有较高的信噪比。人工场源的有效辐射范围在两条线 60 度夹角范围内，测区的测线方向与发射源平行布置。加大供电电流或者供电电极间距可以提高信噪比，但受地形影响，电极距设为约 2km。供电电流强度为 10A。发射频率范围为 9000Hz~10Hz。测线距离场源

的距离应大于三倍的趋肤深度，通常为 4~10km，保证在梯形范围内^[3]。为保证测线探测精度，设置了交叉测线相互验证。为探明调查区内的溶洞和构造分布，共布置 4 条测线，测点距离为 50m，总长度 12.65km。

3.2 数据处理

在远场近似条件下，将地下介质视为均匀水平介质，视电阻率可以用正交的电场和磁场分量确定。观测与场源平行的电场水平分量 E_x 和场源正交的磁场水平分量 H_y ，计算卡尼亚视电阻率 ρ_a 。其计算公式为：

$$\rho_a = \frac{1}{5f} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2}$$

其中， f 表示频率。

电场和磁场之间的相位差，或阻抗相位的计算公式为：

$$\phi = \phi_E - \phi_H$$

又根据电磁波的趋肤效应理论，导出了趋肤深度公式：

$$H = 356 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

3.3 数据反演和解释

3.3.1 HQ1 号剖面解释

HQ1 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图见图 1。

根据反演成果剖面图可知，HQ1 剖面电性自上至下分为三层结构，第一层最大底深为 105m，电阻率值小于 $200\Omega \cdot m$ ；第二层最大底深为 200m，电阻值小于 $400\Omega \cdot m$ ；其下表现为高阻。结合区域地质及周边钻孔资料，推断第一层为粉质黏土层反应；第二层为风化岩层反应；其下为基岩层。其中，在剖面 10450~10650 点、12250~12350 点处存在两处电阻率等值线垂向变化梯度带，推断为断层破碎带表现，用红色虚线标出，编号为 F1、F2。在水平位置 10450~10650 点、11450~11950 点处，存在电阻率等值线向下凹型变化区域，推断为溶蚀发育反映，用蓝色虚线标出。

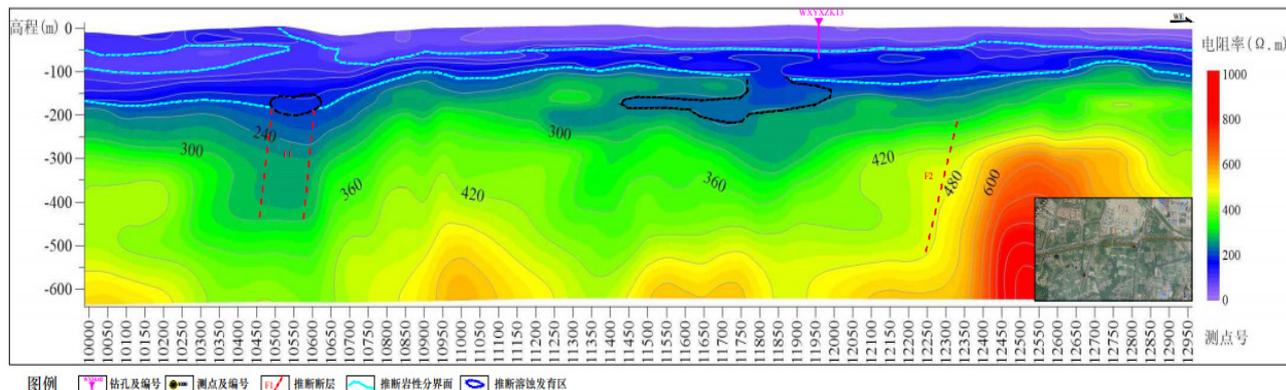


图 1 HQ1 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图

3.3.2 HQ2 剖面解释

HQ2 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图见图 2。

根据由反演成果剖面图可知, HQ2 剖面电性自上至下分为三层结构, 第一层最大底深为 75m, 电阻率值小于 $200\Omega \cdot m$; 第二层最大底深为 200m, 电阻值小于 $400\Omega \cdot m$; 其下表现为高阻。

结合区域地质及周边钻孔资料, 推断第一层为粉质黏土层反应; 第二层为风化岩层反应; 其下为基岩层。其中, 在剖面 11800~11900 点处存在一处电阻率等值线垂向变化梯度带, 推断为断层破碎带表现, 用红色虚线标出, 编号为 F1。剖面整段受人文干扰较严重, 虽经圆滑及静校正处理, 但该剖面与相邻剖面趋势差距较大。

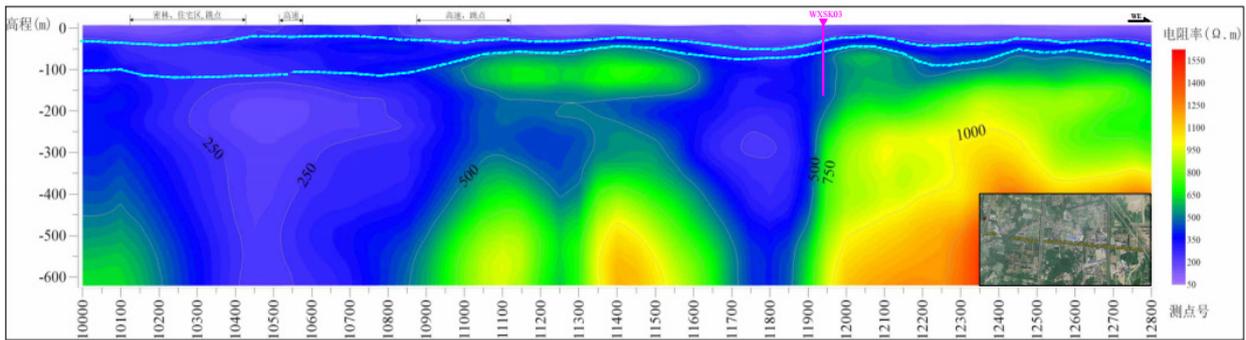


图 2 HQ2 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图

3.3.3 HQ3 号剖面解释

HQ3 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图见图 3。

根据由反演成果剖面图可知, HQ3 剖面电性自上至下分为三层结构, 第一层最大底深为 125m, 电阻率值小于 $200\Omega \cdot m$; 第二层最大底深为 350m, 电阻值小于 $400\Omega \cdot m$; 其下表现为高阻。结合区域地质及周边钻孔资料, 推断第一层为粉质黏土层反应; 第二层为风化岩层反应; 其下为基岩层。其中, 在剖面 11000~11100 点、12050~12100 点、13225~13300 点处存在三处电阻率等值线垂向变化梯度带, 推断为断层破碎带表现, 用红色虚线标出, 编号为 F1、F2、F3。

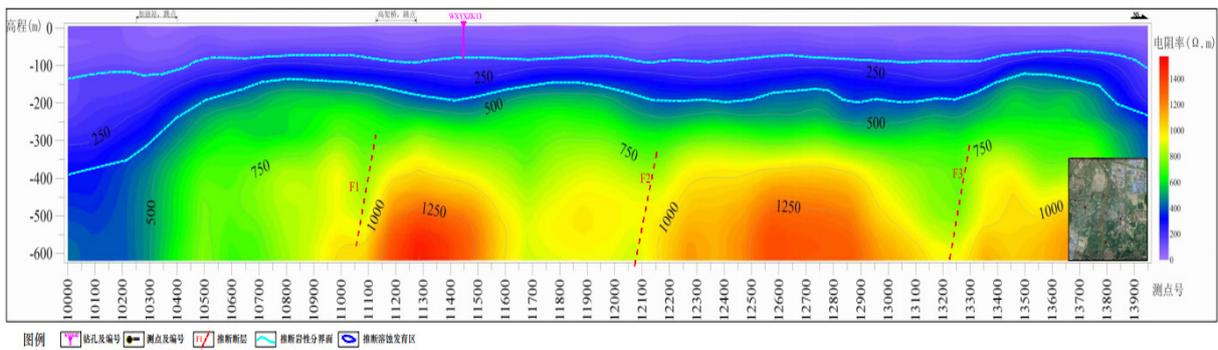


图 3 HQ3 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图

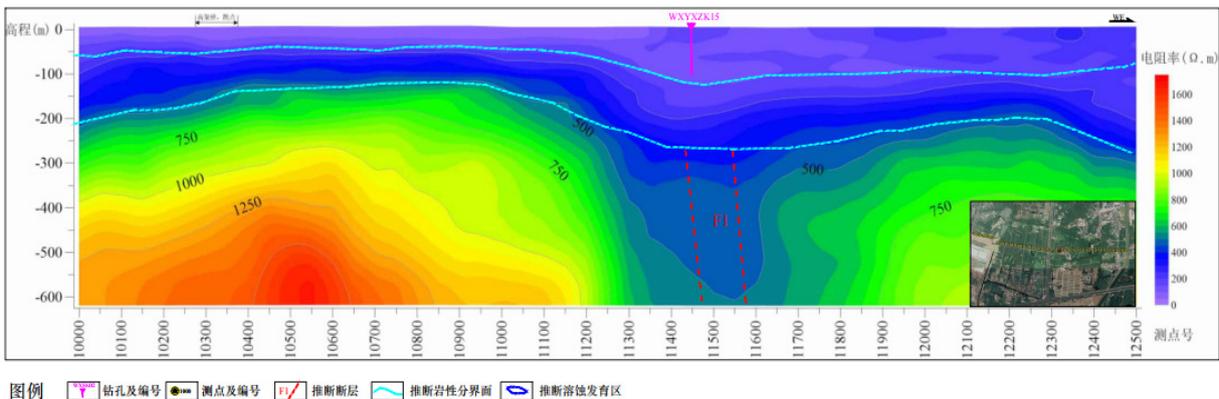


图 4 HQ4 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图

(下转第 83 页)

值与作用,积极学习先进知识和技能,适应现代化测绘工作的要求,为房地产建设项目的推进奠定人才保障。提高工作人员的自主学习意识,针对相关技术标准、数据处理方法进行深入学习,以便在实践中落实“多测合一”模式的基本要求。注重对“多测合一”模式的有效宣传,促进各个部门之间的密切协同,使其明确各自的职责内容及范围,以便在相互配合当中共同提高测绘工作实效性^[7]。建立完善的人才引进机制,吸引更多综合素质过硬的专业人才,构建高水平的测绘工作队伍。此外,还应该建立完善的激励机制,强化对人才的激励作用,提高工作积极性与主动性。

5 结语

“多测合一”模式在房地产建设项目中的应用越来越多,可以有效改善测绘成果,避免出现较多的重复性测绘状况,降低成本的同时,提高测绘工作的效率,加快中国房地产行业的长远发展。但是,由于在实践中面临改革力度较低、市场混乱和专业人才缺失等问题,也会对“多测合一”模式的实际应用成效造成影响,难以达到预期测绘目标。为此,应

该通过加大改革力度、加强市场监管、优化房产测绘功能、细化测量流程和培养专业人才等方式,逐步完善“多测合一”模式,为房地产建设项目的顺利推进奠定基础。

参考文献

- [1] 牛传业,王文娟,牛天.“多测合一”在工程建设项目的的应用分析[J].建筑,2022(3):78-80.
- [2] 黄锦秀.倾斜摄影测量在“多测合一”测绘中的应用[J].福建建筑,2022(1):112-115.
- [3] 袁宝华,汪德生.“多测合一”背景下的房产测绘成果备案管理[J].中国房地产,2021(28):61-64.
- [4] 李海东.“综合测绘”在智慧城市中融合应用[J].智慧中国,2021(9):56-58.
- [5] 连夏晖.新时期房地产项目不动产登记中建筑面积问题的探讨[J].住宅与房地产,2020(36):9-10.
- [6] 徐艺文.刍议“多测合一”的相关问题及建议[J].低碳世界,2020,10(10):217-218.
- [7] 徐荣均.“多测合一”测绘服务工作开展现状分析[J].有色金属设计,2020,47(3):70-71+76.

(上接第 67 页)

3.3.4 HQ4 号剖面解释

HQ4 剖面 CSAMT 法反演剖面解释图见图 4。

根据由反演成果剖面图可知, HQ4 剖面电性自上至下分为三层结构, 第一层最大底深为 105m, 电阻率值小于 $200 \Omega \cdot m$; 第二层最大底深为 270m, 电阻值小于 $400 \Omega \cdot m$; 其下表现为高阻^[4]。结合区域地质及周边钻孔资料, 推断第一层为粉质黏土层反应; 第二层为风化岩层反应; 其下为基岩层。其中, 在剖面 11450~11600 点处存在一处电阻率等值线垂向变化梯度带, 推断为断层破碎带表现, 用红色虚线标出, 编号为 F1。

4 结语

本次 CSAMT 调查共推断层破碎带 3 处 (F1、F2、F3), 局部存在电阻率等值线向下凹型变化区域, 推断 2 处溶蚀发育区域, 第四系覆盖层下方隐伏溶洞呈椭球状, 主要受构造控制, 覆盖层厚的区域 (> 70m) 近北—北西向, 与地质构造特征基本一致, 验证了 CSAMT 方法的有效性。

研究在低山丘陵、隐伏岩溶区内进行了 CSAMT 勘探, 反演的电阻率剖面对比明显, 不同地质体界限明显。由于破碎带和溶蚀区域的充水特征, 溶洞等构造在电阻率剖面上表现为低阻特征, 且异常位置与钻孔数据对应, 表明 CSAMT 的反演结果与地质钻孔有很好的—致性。探明了地下的破碎带及局部溶蚀发育区分布, 所得结果证实利用可控源音频大地电磁测深法进行地质灾害评价的有效手段。

参考文献

- [1] 何军,刘磊,黎清华,等.隐伏岩溶区地下空间探测技术方法研究——以武汉市为例[J].水文地质工程地质,2020,47(6):47-56.
- [2] 刘伟,甘伏平,赵伟,等.高密度电法与微动技术组合在岩溶塌陷分区中的应用分析——以广西来宾吉利塌陷为例[J].中国岩溶,2014,33(1):118-122.
- [3] 王俊茹.浅层地震在岩溶塌陷及采空区勘测中的应用技术研究[J].工程勘察,2003(5):65-67+18.
- [4] 郭书兰,阎长虹,苑小辉,等.无锡地铁某区段岩溶发育特征及其控制因素分析[J].工程勘察,2019,47(3):72-78.