

罗尧东,代群威,董发勤,等.九寨沟“8·8”地震背景下火花海钙华坝体无损探测分析[J].中国岩溶,2021,40(1):147-156.  
DOI:10.11932/karst20210116

## 九寨沟“8·8”地震背景下火花海钙华坝体无损探测分析

罗尧东<sup>1</sup>,代群威<sup>1,2</sup>,董发勤<sup>1</sup>,王富东<sup>1</sup>,赵学钦<sup>1</sup>,廖传康<sup>1</sup>,崔杰<sup>1</sup>,  
李琼芳<sup>3</sup>,王安平<sup>4</sup>

(1.西南科技大学环境与资源学院,四川绵阳621010;2.西南科技大学核废物与环境安全国防重点学科实验室,四川绵阳621010;3.西南科技大学生命科学与工程学院,四川绵阳621010;4.四川省煤田地质局,四川成都610000)

**摘要:**为研究震后九寨沟钙华景区的溶洞、裂隙、暗流等地质特性,丰富钙华景区岩溶洞穴无损探测技术,探讨了多物探技术在多孔疏松钙华地区作业的可靠性。首次运用地质雷达法及高密度电法相结合的无损探测技术,在九寨沟景区火花海特定区域进行了现场勘查和无损探测试验。结合对比两种无损探测成果与测区内出露地质剖面3组勘探数据,结果发现:高密度电法与地质雷达法相结合,两者能优势互补,相互佐证,在解决钙华区域浅部溶洞、暗流、裂隙等工作中,对探测目标体具有极高的识别度。两种方法探测数据与震后出露剖面地质特征保持极高的一致性,验证了两种无损检测方法在多孔疏松介质条件下数据的真实可靠性,解决了多物探技术在多孔疏松介质地区施工的疑点和难点,丰富了工程物探领域技术。

**关键词:**多孔疏松介质;九寨沟;地质雷达法;高密度电法

**中图分类号:**P631;P642.25 **文献标识码:**A

**文章编号:**1001-4810(2021)01-0147-10 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



### 0 引言

九寨沟风景区以其独特的自然景观和地质遗迹景观,被列入“世界文化与自然遗产名录”<sup>[1]</sup>、世界生物圈保护区、“绿色环球21”三项国际桂冠和国家地质公园与自然保护区、AAAAA级风景名胜区。因其构造地理位置处于青藏高原向四川盆地两大地貌形态变化最大的过渡地带和裂点线上,其一度成为地震地质灾害多发区域<sup>[2-5]</sup>。

2017年8月8日21时19分46秒,四川省阿坝州九寨沟县发生里氏7.0级大地震,震中位于九寨沟景区核心地带,震烈度最大达IX度,加之在“5·12”地震

基础上的重叠影响,此次地震引发了一系列第四纪不良地质作用<sup>[6-7]</sup>,如崩塌、地裂隙、沉陷、滑坡、泥石流等都对九寨沟火花海、熊猫海、诺日朗瀑布等核心景点的地学景观造成了重大损毁。

钙华环境地质与退化保育研究团队依托“九寨沟风景名胜区管理局九寨沟核心遗产点水文地质条件应急监测评估及修复技术研究”应急项目,以不破坏景点任何自然景观、地学景观及结构为前提,首次利用多种无损探测技术对震后九寨沟火花海钙华坝体进行了勘探,初步摸清了地震对九寨沟核心景点火花海钙华坝体的破坏程度及地质特征,为后期治理修复火花海钙华坝体提供可靠的勘察数据。通过

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41877288,41973053,41572035)

第一作者简介:罗尧东(1983—),男,硕士,讲师,研究方向:岩土工程无损检测技术。E-mail:uaodong@qq.com。

通信作者:代群威(1978—),男,博士,教授,研究方向:环境污染调控与生态修复。E-mail:qw\_dai@163.com。

收稿日期:2020-09-20

分析研究文献[8-11]中提到的单一物探及综合物探技术在岩溶钙华地貌地区无损勘探的特有理论和实践技术方案,结合本项目的特殊性,解决了综合物探技术在多孔疏松介质地区施工的疑点和难点,将对丰富工程物探领域技术具有重要意义。

### 1 研究区概况

九寨沟属岩溶地形地貌,其景点火花海内地层主要成分为碳酸盐岩,区域地下与地面坝体多存在水流通道暗流、空洞或裂隙,而四周多为陡壁或悬

崖,火花海坝体、海内钙华丘及上下叠瀑坝体均具有多孔、疏松、轻质等特点<sup>[12]</sup>。

#### 1.1 水文地质特征

九寨沟的地下水径流系统受地层岩性、构造等因素控制,即主要通过NW向构造和灰岩、白云岩与砂、板岩接触带运移<sup>[13]</sup>。地面景观水主要因高程差自上而下跨沟谷、跨流域纵向径流,区内降水以及地下水流呈现周期性稳定补给,使钙华景观体处于相对稳定状态(图1)。

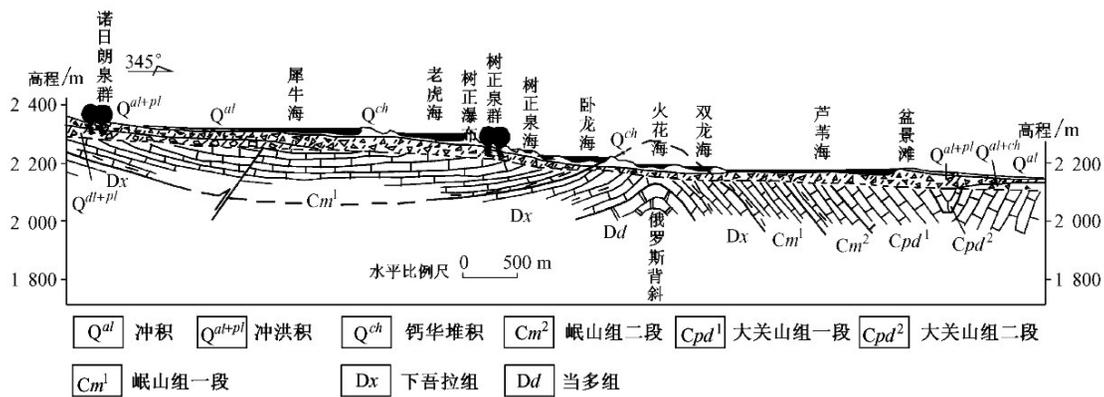


图1 树正沟地质剖面示意图<sup>[13]</sup>

Fig. 1 Sketch map of the geological section of Shuzhenggou

#### 1.2 地球物理特征

九寨沟钙华地质体,在其特有的区域水文地质及生物作用下,呈现出多孔、疏松、轻质等特性。同时,自然灾害亦导致九寨沟钙华体内或含有植被、枯木、巨石等异物。因孔隙、枯木、巨石等物性差异较大,这就为高密度电法和地质雷达法的无损勘探工作提供了有利条件和工作前提。溶洞在充水和枯水状态下,在高密度电法图谱中,其视电阻率分别呈现出低阻和高阻异常圈闭或异常带;在地质雷达法图谱中,充水溶洞会呈现电磁波能量衰减极强,出现强反射界面,而枯水溶洞电磁波能量衰减较小,呈现弱反射界面<sup>[14-17]</sup>。

### 2 研究方法

#### 2.1 地质雷达法

##### (1) 雷达测试参数

本次地质雷达探测采用美国劳雷公司研制的SIR-20型探地雷达配备40 MHz低频组合天线(图

2),发射部分/接收部分总长度均为240 cm,脉冲宽度为25 ns,40 MHz发射天线电子单元两侧各120 cm,左右对称,收发天线间距2 m。据文献[18-20]中可知,因电磁波在介质中传播,其传播特征与介质的介电常数、磁导率、电阻率有关,而雷达波是高频电磁波,波速稳定,对于非导电、非磁性介质来说,电磁波的传播主要取决于介电常数。各个测点介质的介电常数不一,预设介电常数值为6.5(后期根据实地勘探情况作修正),其余测试参数见表1。

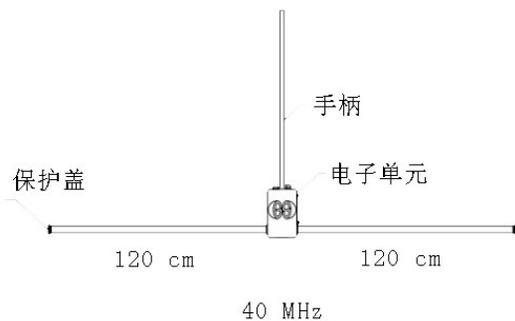


图2 40 MHz低频组合天线示意图

Fig. 2 Map showing 40 MHz low frequency combined antenna

表1 地质雷达仪器参数表

Table 1 Parameters of GPR

低频组合天线型号	中心频率/MHz	数据采集模式	测程/ns	样点数	数据位数	增益点数	垂向低通滤波器/MHz	垂向高通滤波器/MHz	每秒扫描数	叠加(扫描)	发射率/KHz	天线最小间隔/m	延时/ns
MLF 240 cm	40	点测	500	1024	16	5	90	15	16~32	32	12	2	110

(2) 数据处理方法<sup>[19]</sup>

地质雷达探测数据利用RADAN6.6软件对数据进行常规处理,通过调整地面时间零点,静态校正,高程修正,增益调节,叠加去噪,背景去除,一维垂直滤波,希尔伯特变换,地质雷达成果由多次交互解译获得。

2.2 高密度电法

(1) 高密度电法参数

电极距:3 m,电极数:120根,供电电压:300 V,隔离系数:温纳装置1~39。本次探测工作采用温纳装置进行数据采集。

(2) 高密度电法数据处理方法

在反演软件处理之前,对转换后的数据进行编辑,删除畸变值、剔除坏点,保证数据点的有效性,并对深度阻尼系数,收敛极限、迭代次数等反演参数进行设置(图3)。本次选择的深度阻尼系数为1.2,收敛极限为5%,迭代次数为5次,反演节点为4,达到了反演目的精度,反演方法采用最小二乘反演。

2.3 探测方案及测线部署

为准确了解火花海特定区域工程地质情况,结合现场工作环境,采取了综合和单一无损探测手段相结合的手段,在火花海先后共布设探测剖面31条,其中雷达测线29条(图4粉红色井字形网格线),电法测线5条,因地形地质条件较差,部分测线数据不完整或质量不佳,仅供其他探测数据解释作参考。

经过多次试验,为达到更好的现场比对效果确定了最终布线原则:

(1)综合布线:在开阔区,即测线布设位置周边无遮挡或干扰,采取高密度电法与地质雷达法测线重合布设;

(2)单一布线:地质雷达法和高密度电法测线,根据地貌环境以及典型地质剖面来布置,两种测线均选择利于地质剖面观察的位置附近布设;

(3)在水文地质条件差、工程稳定性差、灾害易发位置,同时采用两种方法探测。

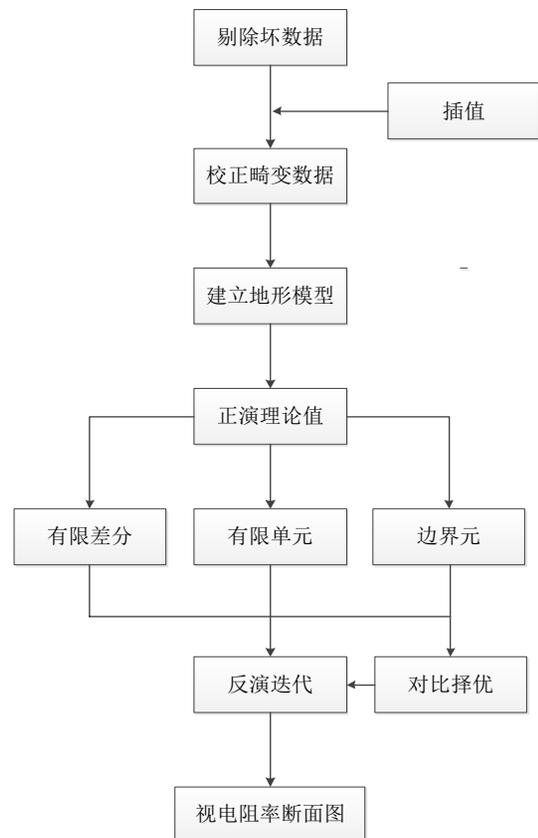


图3 高密度电法数据处理流程图

Fig. 3 Flowchart of data processing of high-density resistivity method



图4 火花海无损探测测线布置示意图

Fig. 4 Map showing layout of non-destructive detection survey line in sparkling lake

### 3 结果与分析

#### 3.1 成果解译及分析

##### (1) 高密度电法勘探

根据规范中视电阻率的均方相对误差要求,按式(1)对测线进行质量检查,采用同一测点、不同操作员、不同日期、重新布设电极后的原始数据进行计算<sup>[21]</sup>。

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\rho_{ai} - \rho'_{ai}}{\rho_{ai}} \right)^2} \quad (1)$$

式中: $\rho_{ai}$ 为第*i*点原始观测数据; $\rho'_{ai}$ 为第*i*点系统检查观测数据; $\bar{\rho}_{ai}$ 为 $\rho_{ai}$ 与 $\rho'_{ai}$ 的平均值;*n*为参加统计计算的测点数。本次检测检查点82个,视电阻率相对均方误差为4.11%,数据测点优良率为96.3%(一级数

据点占比),检查点的视电阻率的均方误差满足规范要求,数据质量可靠。

根据现场情况,利用高密度电法对火花海坝体开展了1、2、3三条测线剖面测量,对火花海钙华内坝(靠近火花海观景台)底部进行了4、5两条测线探测(如图4黄色测线),分别探究火花海坝体及火花海内底部地质特征。

因2号测线剖面探测位置上下游坝身地质结构清晰可见,现场踏勘资料可作为2号测线解释依据,遂使用RES2DINV软件对测线2数据进行反演,成果如图5所示,低阻区因导电较好,视电阻率低,表现为反演图中颜色色卡靠最左,呈现为深蓝色,现场情况实则为此区域含水空腔或暗流,导电性强;反之反演图像视电阻率越高,色卡越靠右,呈现为深红色,现场表现为无水空洞或裂缝<sup>[22]</sup>。

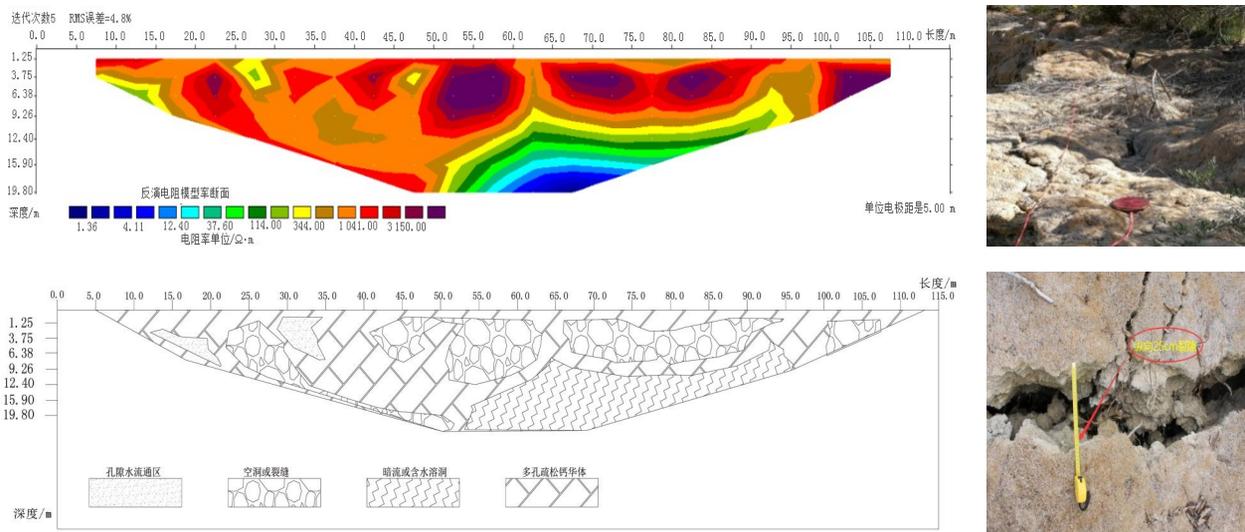


图5 火花海大坝电法测线2成果图

Fig. 5 Results of detection survey line 2 of high-density resistivity method in sparkling lake dam

从2号高密度电法剖面结果来看,火花海一叠瀑坝体上部有5个典型的高阻无水溶洞或连续裂隙群,结合现场踏勘可知,所探测坝体横纵向均有10~40 cm的明显缝隙,火花海上游与叠瀑之间坝体存在横向和纵向贯穿性裂隙群(图5右,叠瀑坝体坝基下沿裂隙尤为明显,该坝体因地震垮塌后最窄处仅3.5 m,震后该坍塌坝体较为陡峭,且表面钙华较疏松,内坝亦存在多处横向缝隙)。

火花海高密度电法测线2(图5右下角)呈现一低阻区,推测为含水溶洞,其低阻区在测线上的水平位置及深度,与坝体现场下游坝底位置出现的泉涌十分吻合(图6)。



图6 火花海高密度电法测线2坝底泉涌

Fig. 6 Sparkling lake dam spring of detection survey line 2 of high-density resistivity method

从图 7 可见,火花海叠瀑坝体高密度电法测线 3 沿测线方向 60~80 m 段,地下 10~20 m 之间存在低阻区,100~120 m 之间是地震塌陷区域,叠瀑上游的水流主要流经该段;水平方向 125~150 m 段,地下 10~40 m 内可见强高阻区,极可能为无水空洞;125~145 m 段,地下 9 m 左右存在低阻区,考虑为地下暗流通道。

高密度电法测线 3 现场踏勘图如图 7 右,为火花海叠瀑坝体典型裂隙图(电法测线 3 现场),可见上游水流经叠瀑坝顶裂隙汇聚到坝体溶洞内,再由溶洞输送至下游,这与图 7 中左上侧高密度电法测线成果是一致的,即坝顶上部低阻区主要集中在地下 10 m 以上,10 m 往下可能为基岩或无水空洞。

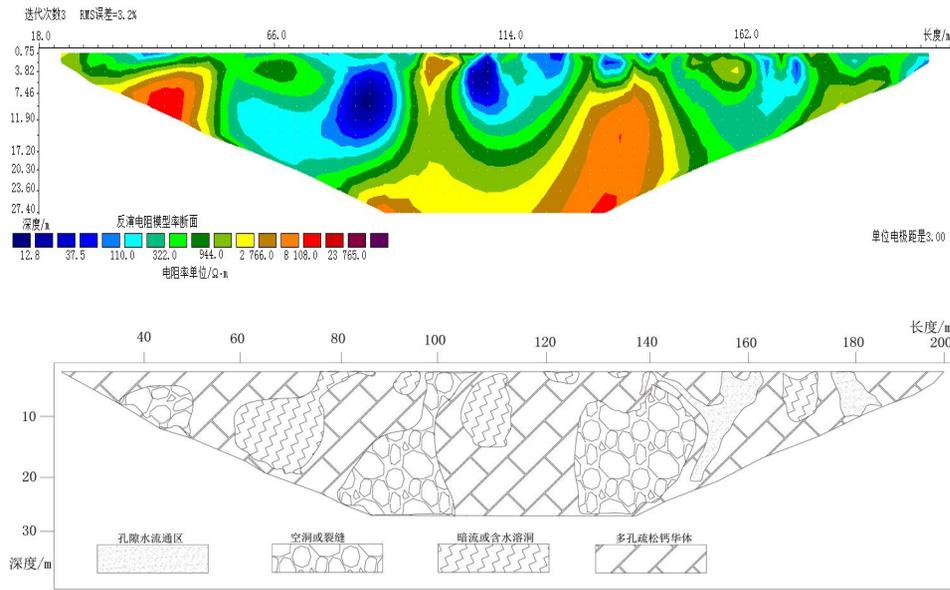


图 7 火花海高密度电法测线 3 及坝顶灌水裂隙

Fig. 7 Results of detection survey line 3 of high-density resistivity method in sparkling lake and the top of dam irrigation crack

高密度电法测线 4 中,深度 6 m 以上视电阻率极低,与坝体周围水域有关,导致坝体表面含水率低。但从成果图(图 8)的深部来看,高阻区域从地表由浅入深,直至本次探测深度范围最深处,再结合钙华坝体多孔疏松特性进行综合分析,排除无水溶洞,基本确定为深部基岩。高密度电法测线 5 中,调查发现坝体表层具有多处裂隙,因浅部藻类植物大量存在,导致浅表钙华体呈现松软及多孔特性。从而导致电极与地下介质接触面积降低,接地电阻值升高,通过加入盐水以及使用改进电极解决了多孔疏松钙华介质条件下的探测难点,顺利地完成了探测。

从图 9 可见,深度 4 m 以上视电阻率极低,主要为坝顶裂隙和疏松多孔介质导致。在测线中部 24 m 位置,深 4.2 m 以下可能存在含水溶洞,这与地质雷达测线中该位置所示电磁波强反射的特征相吻合。

高密度电法测线 1 成果图(图 10)中,测线靠右 180 m 位置,存在一低阻区,该区域正好与测线 5 中深度为 4.2 m 左右的低阻区重合,从溶洞深度及水平位

推测,应为同一贯通火花海与双龙海坝体的含水溶洞。

(2) 地质雷达法勘探

因地质雷达施工受到地形地貌影响,本次探测只对火花海内地表进行探测,通过地质雷达数据处理分析,结果显示:沿火花海观景台道路一侧(图 4 西侧),火花海地下存在较多孔洞群和暗流(图 11)。

地质雷达探测剖面成果中,地下 10 m 左右深度均存在渗流或较丰富的含水层,表明上游流经水从地表往下游排走之外,有少部分从地下通道中往下游渗流。

从图 11b 可见,火花海底部地面以下 10 m 深度含水丰富,部分测线存在地下暗流和空洞,尤其是地质雷达测线 2 的雷达剖面图中较为明显,该测线有一黑色线条部分,经推测为含水层或漏水带。其极有可能是钙华层与非钙华层渗流分界,此推断与火花海地表已垮塌处的剖面地质形态相吻合(图 12)。

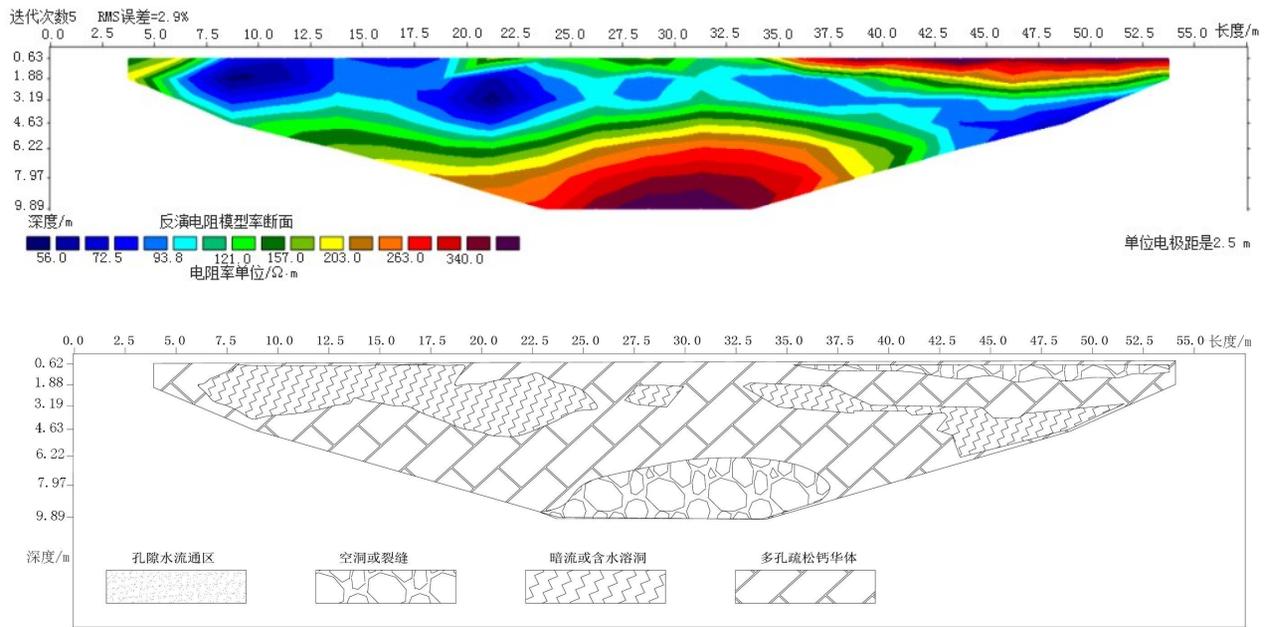


图8 火花海河床高密度电法测线4视电阻率图

Fig. 8 Apparent resistivity map of detection survey line 4 of high-density resistivity method in the riverbed sparkling lake

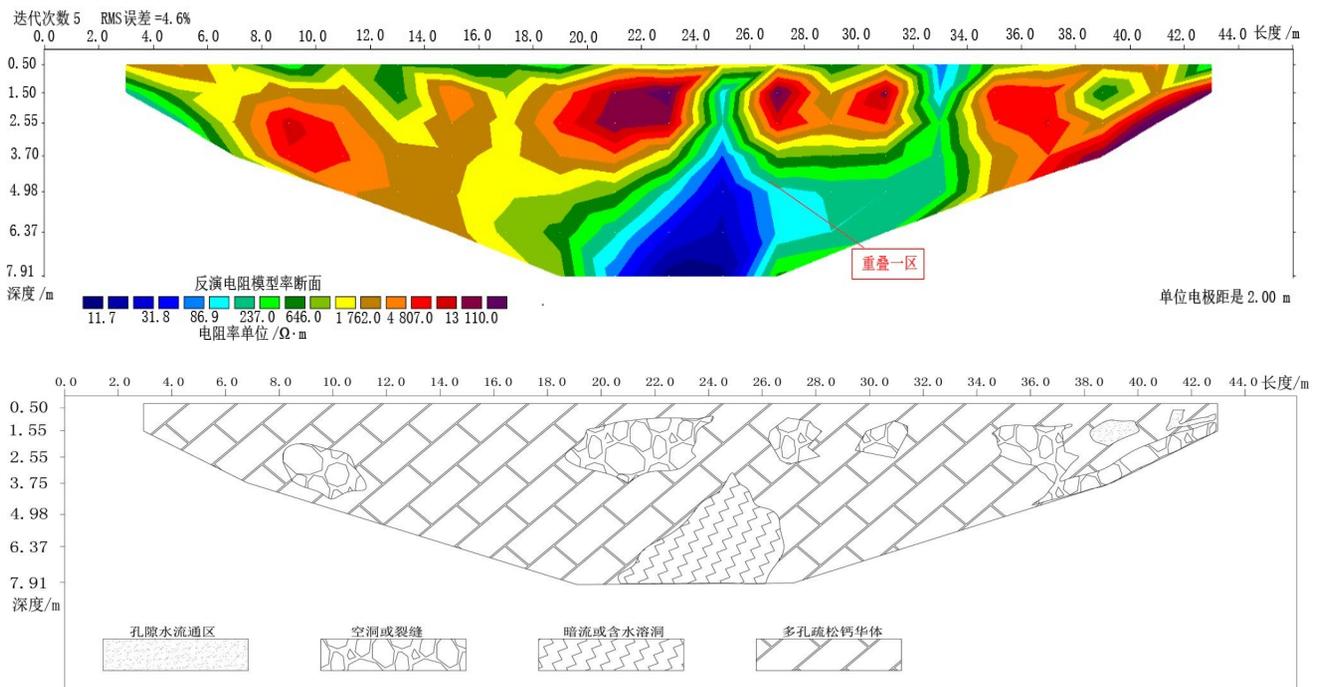


图9 火花海河床高密度电法测线5视电阻率图

Fig.9 Apparent resistivity map of detection survey line 5 of high-density resistivity method in the riverbed sparkling lake

### 3.2 解译成果对比

上小节利用现场踏勘与探测数据相结合,证明了单一探测方法与现场情况吻合度较高,但对于某些未出露剖面而言,则需要将两种探测数据相结合来评定解译结果的真实可靠性。

由图13中高密度电法测线与地质雷达剖面数据

对比可见,地质雷达与高密度电法异常点的解释,在空洞、暗流识别上基本一致,雷达测线富水区与高密度电法低阻区,在共同测线上的位置几乎是重合的(图13,图14中红色箭头所指区域)。由地质雷达测线4与高密度电法测线5可见,地质雷达测线4中6~12 m深度范围有富水区,在高密度电法测线5中4~

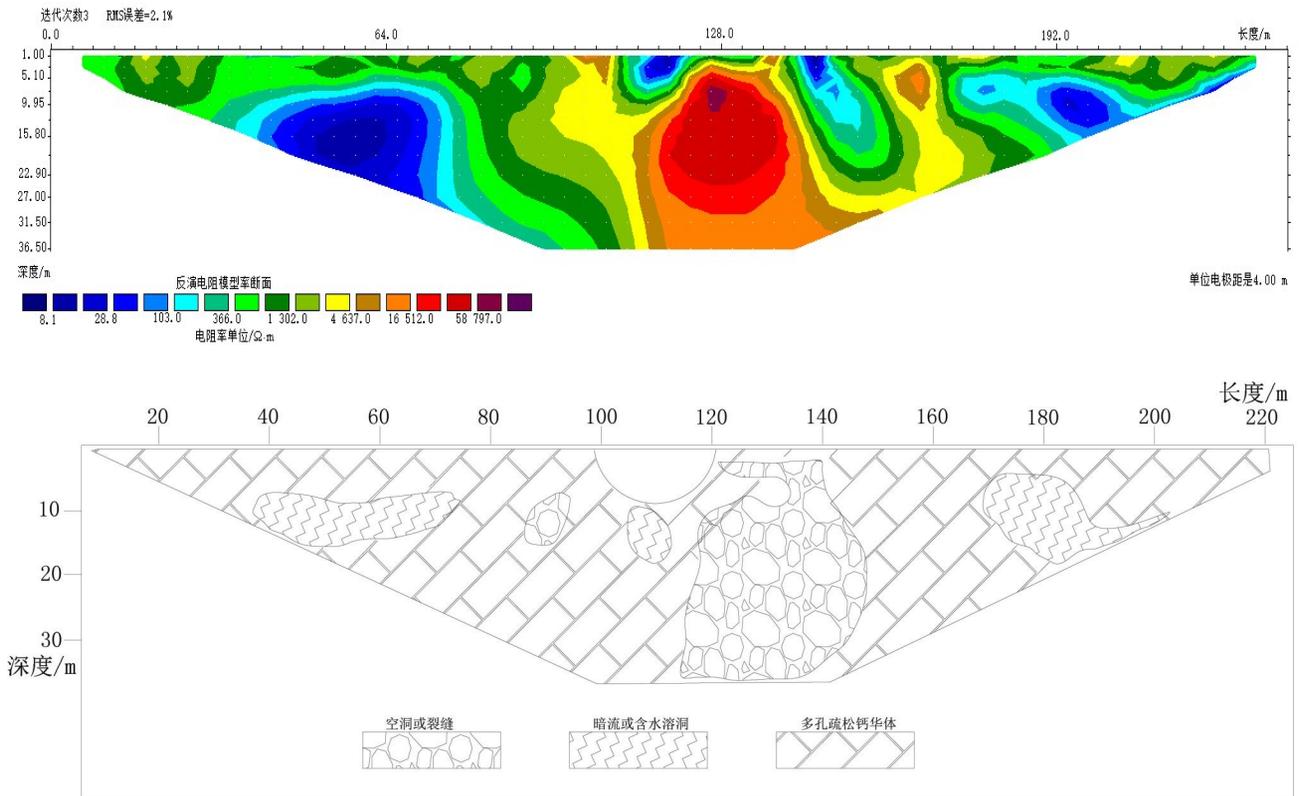


图 10 火花海高密度电法测线 1 成果图

Fig. 10 Results of detection survey line 1 of high-density resistivity method in sparkling lake dam

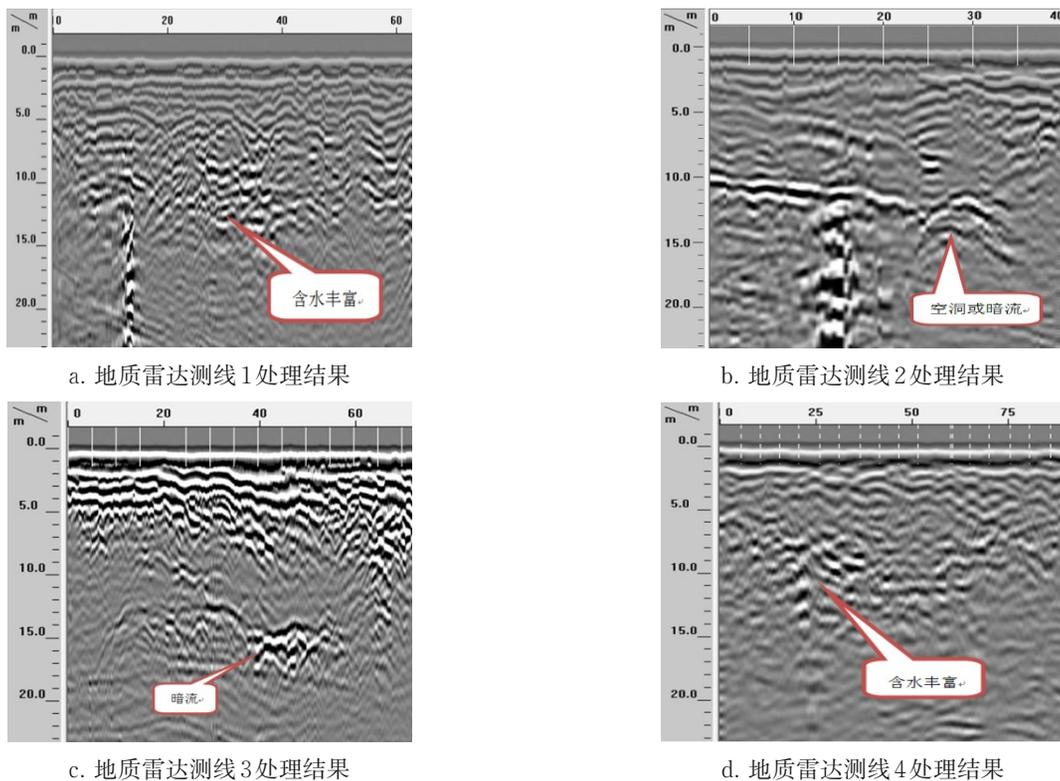


图 11 地质雷达探测典型剖面系列图

Fig.11 Typical profile series of ground penetrating radar method

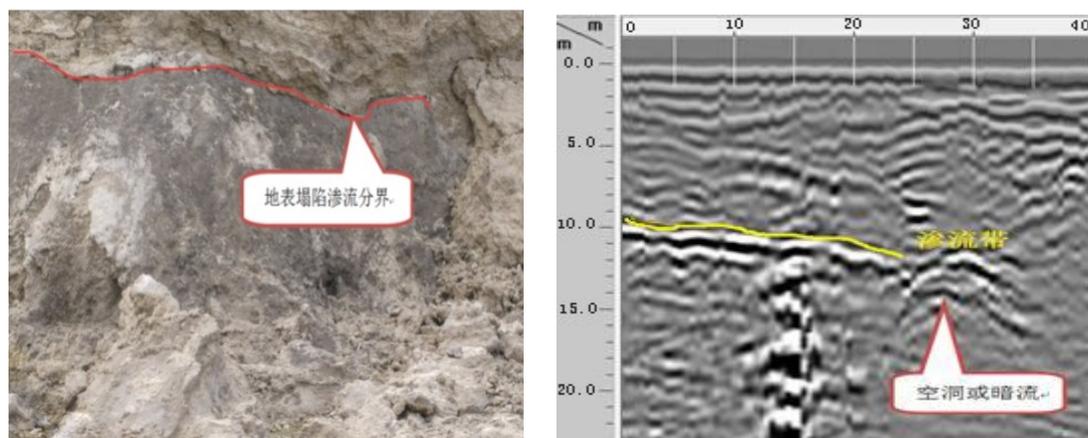


图 12 地表渗流带分界线与雷达数据对比图

Fig. 12 Comparison of the boundary line of the surface seepage zone and the radar data

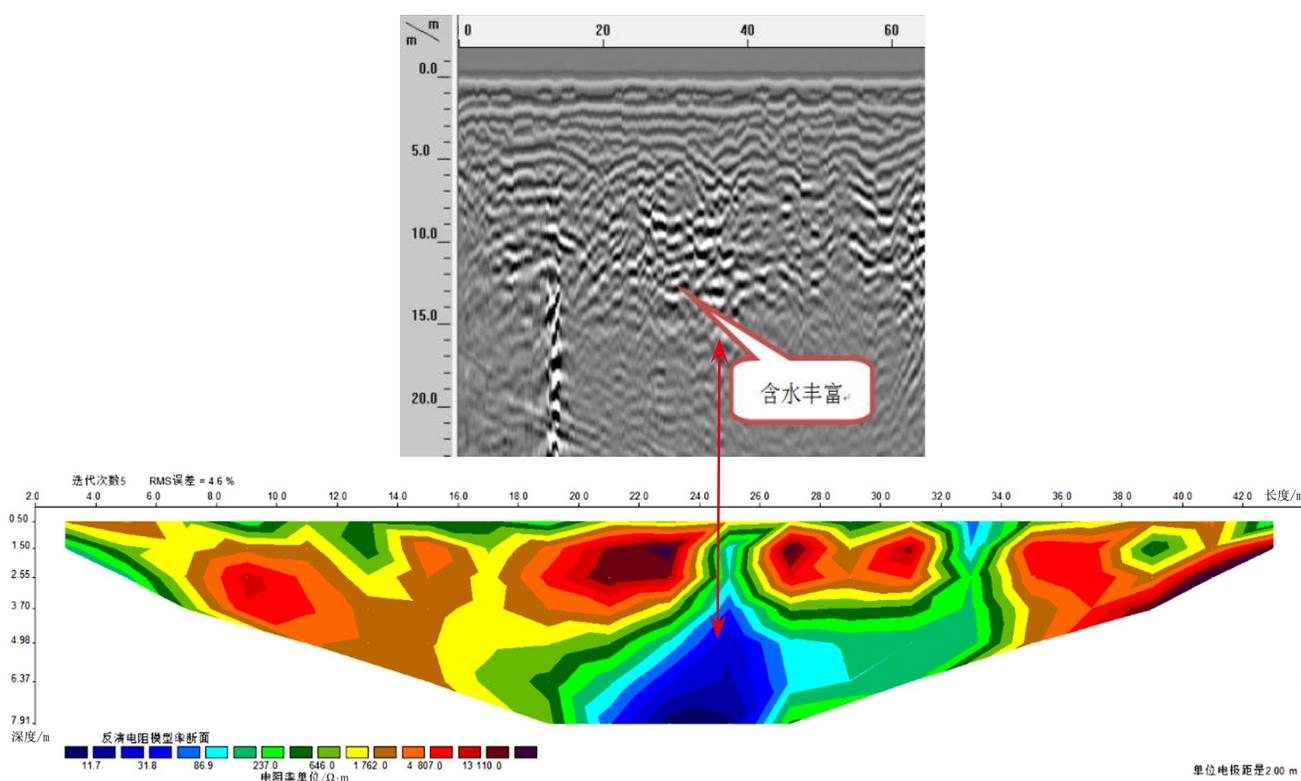


图 13 雷达测线 4 与电法测线 5 对比图

Fig. 13 Comparison of radar survey line 4 and electrical survey line 5

9 m 深度也同样存在较明显的低阻异常,也表现为含水丰富。

由地质雷达测线 2 与高密度电法测线 4 对比图(图 14)可见,雷达中空洞形状比较明显,深度在 10~13 m 之间,该点应为溶洞,但不明确是否含水,但在高密度电法剖面相应位置,呈现明显高阻,可判断该处空洞为无水空洞。

图 14 中地质雷达信号反射强烈区与高密度电法

低阻蓝色区相吻合,呈现出竖井形式,含水丰富,与高密度电法测线中 1~6 m 低阻吻合得较好。但雷达中 15 m 深度存在暗流,这在高密度电法有效深度范围内未显示出异常。

### 4 结 语

通过两种物探方法以及勘查现场已知剖面 3 方面对比佐证可知:

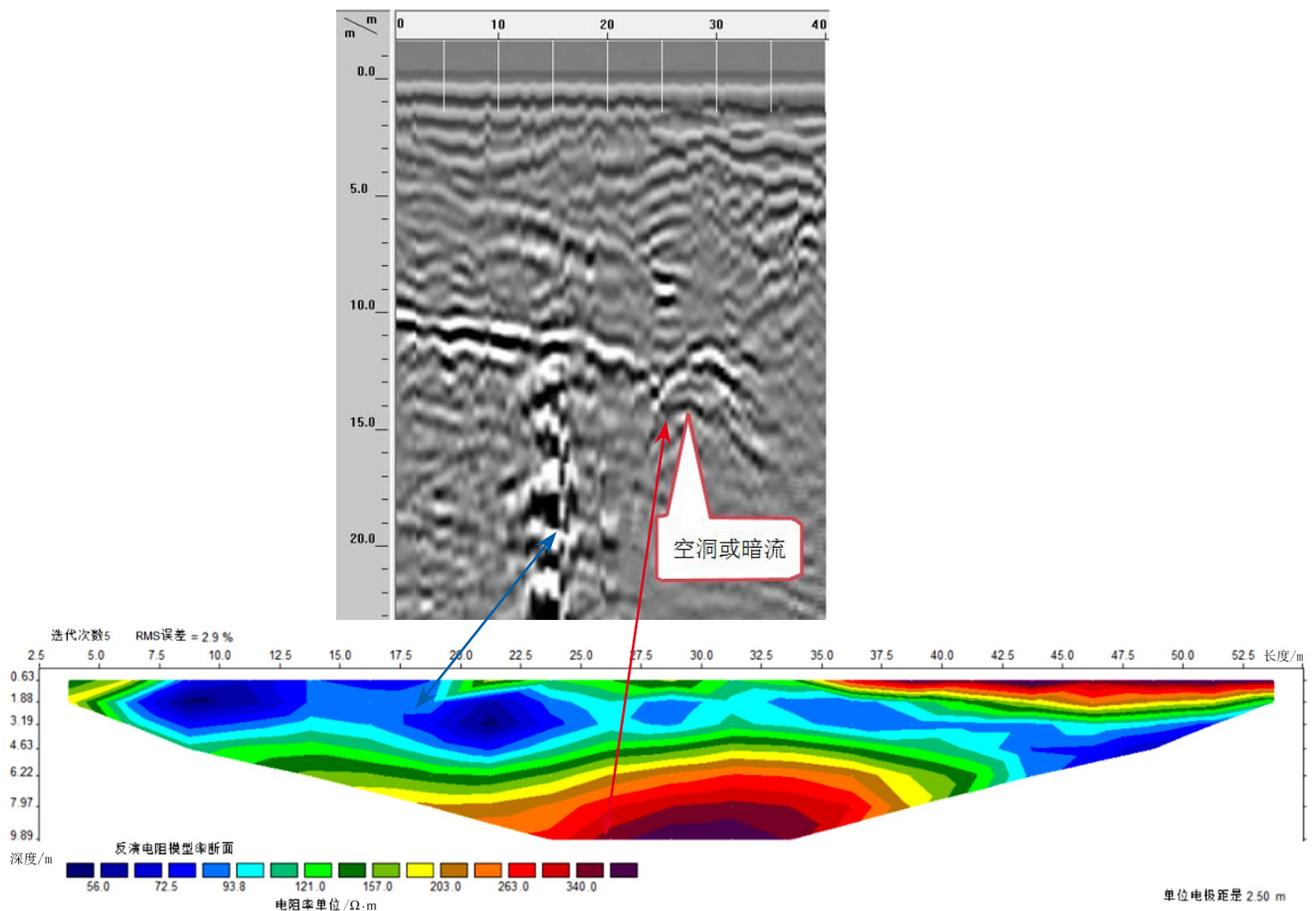


图14 雷达测线2与电法测线4对比图

Fig. 14 Comparison of radar survey line 2 and electrical survey line 4

(1)地质雷达在解决钙华区域浅部溶洞、暗流、裂隙、断层工作中,具有极高的识别度,能高精度探测土质层与钙华砂层介质分界面。但在使用非屏蔽天线探测时,也会受到探测地形限制,高山、大树、高压电线等将对探测结果产生较大干扰;

(2)高密度电法在钙华区域探测,可以不受地形条件限制。但因钙华海绵地质体伴有多孔疏松特性,导致供电电极与介质体接触面小,易造成接触不良,供电电阻高的异常点,可采取多电极共同插入测点或改用特制超长尺寸电极进行探测。同时,测线上某些测点位置,因特殊的环境地质条件亦会遇到较密实坚硬的钙华体,电极无法扎入,探测过程中,采用自制简易手摇钻钻孔,再采用单点电极浇灌一定导电率的盐水,以增加接触面积和导电性;

(3)高密度电法与地质雷达法在钙华区探测应用实例中,能完美解决探测盲区的关键问题。雷达法探测深度有限,精度高,受地形限制,高密度电法能解决深部问题,精度较低,不受地形限制,两者配合加深了对不同精度地质结构构造的认识,由粗到

精,由浅入深,与已知钙华出露剖面地质情况吻合度极高,从而获得了较满意的勘查效果;

(4)在本次钙华无损探测及其应用,高密度电法与地质雷达法有较好的优势互补作用,两种手段解释成果相互验证,吻合情况较为一致,但也存在一定差异。具体表现在深度上有两方面因素:一是地质雷达介电常数是经验值,在自然保护区无法实施钻孔验证;二是高密度电法在布点、反演过程中也可能存在点距误差和系统误差。但从地质雷达法和高密度电法两者对溶洞、暗流等的区分上,两种方法配合解释基本能达到探测目的,进一步证明了此探测方法的合理性和可靠性。

#### 参考文献

- [1] 杨俊义. 九寨沟黄龙地区钙华漏斗的特征与成因探讨[J]. 水文地质工程地质, 2004, 2(2): 90-94.
- [2] 安德军, 李庆忠, 姜跃斌, 等. 黄龙国家地质公园[J]. 国土资源情报, 2013, 6: F0003.
- [3] Zhu X W, Waltham T. Tiankeng: Definition and description [J]. Cave and Karst Science, 2005, 32(2): 75-79.

- [4] 朱学稳. 中国喀斯特天坑及其科学与旅游价值[J]. 科技导报, 2001, 19(10):60-63.
- [5] 朱学稳, 朱德浩, 黄保健, 等. 喀斯特天坑略论[J]. 中国岩溶, 2003, 22(1):51-65.
- [6] 曲瑞. 九寨沟景区地学景观与地震地质灾害的风险分析[D]. 成都:成都理工大学, 2019.
- [7] 邓贵平. 九寨沟旅游地学景观成因与保护[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [8] 曹锐, 冉瑜, 吕玉香, 等. 物探与水文地质分析结合在岩溶地区找水定井中的应用:以黔江区罗家坝ZK3井为例[J]. 中国岩溶, 2018, 37(2):280-285.
- [9] 程亚平, 蒋灵芝, 黎柳月, 等. 综合物探技术探测平果铝厂赤泥堆场岩溶发育特征[J]. 中国岩溶, 2016, 35(6):688-698.
- [10] 杜成亮, 甘伏平, 张远海, 等. 地球物理方法探索隐伏岩溶古河道:以湖南郴州万华岩为例[J]. 中国岩溶, 2018, 37(4):624-631.
- [11] 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.
- [12] 代群威, 党政, 彭启轩, 等. 钙华天然海绵地质体多孔特性及其对水循环调节意义:以四川黄龙为例[J]. 矿物学报, 2019, 39(2):219-225.
- [13] 甘建军. 九寨沟核心景区水循环系统研究[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(1):34-39.
- [14] 江为为, 郝天珧, 胥颐, 等. 中国中南地区综合地质地球物理研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(1):171-183.
- [15] 康彦仁. 岩溶塌陷的形成机制[J]. 广西地质, 1989, 2(2):80-90.
- [16] 蒙彦, 殷坤龙, 雷明堂. 水位波动诱发岩溶塌陷的概率分析[J]. 中国岩溶, 2006, 25(3):239-245.
- [17] 涂杰楠, 童立强, 王珊珊, 等. 南洞地下河流域南部岩溶石漠化空间分布特征分析[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5):566-573.
- [18] 陈筠, 池昌峰, 徐东升, 等. 探地雷达散射矩阵在估算地下管线方位角的应用[J]. 中国岩溶, 2020, 39(1):101-109.
- [19] 李俊杰, 朱红雷, 赵国军, 等. 地质雷达电磁干扰分析及在隧洞岩溶探测中的应用[J]. 中国岩溶, 2018, 37(2):286-293.
- [20] 高强山, 彭韬, 付磊, 等. 探地雷达技术对表层岩溶带典型剖面组构刻画与界面识别[J]. 中国岩溶, 2019, 38(5):759-765.
- [21] 罗润林, 邓海鹏, 李亚南, 等. 随机岩溶介质的电阻率正演模拟[J]. 中国岩溶, 2019, 38(1):117-123.
- [22] 汤克轩, 赵楠. 可溶岩地层的地球物理特征及其地质解释[J]. 中国岩溶, 2019, 38(4):578-583.

## Study on non-destructive detection technology on travertine dam in sparkling lake under the background of "8·8" earthquake in Jiuzhaigou valley

LUO Yaodong<sup>1</sup>, DAI Qunwei<sup>1,2</sup>, DONG Faqin<sup>1</sup>, WANG Fudong<sup>1</sup>, ZHAO Xueqin<sup>1</sup>, LIAO Chuankang<sup>1</sup>,  
CUI Jie<sup>1</sup>, LI Qiongfang<sup>3</sup>, WANG Anping<sup>4</sup>

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. Fundamental Science on Nuclear Waste and Environmental Safety Laboratory, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 3. School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 4. Sichuan Coalfield Geological Bureau, Chengdu, Sichuan 610000, China)

**Abstract** In order to investigate the geological characteristics of karst, fissures and underground currents in Jiuzhaigou valley travertine scenic spot after the earthquake, enrich the non-destructive detection technology of karst cave in travertine scenic area, and discuss the reliability of multi-geophysical exploration technology in porous and loose travertine area, in this paper, the non-destructive detection technology combining Ground Penetrating Radar (GPR) and high-density resistivity method was used to carry out field survey and nondestructive detection test in the specific area of the sparkling lake in Jiuzhaigou valley particularly. Comparing the two kinds of non-destructive detection results with three groups of exploration data of the exposed geological section in the survey area, it was found that the combination of high-density resistivity method and ground penetrating radar method can complement each other, support each other, and especially show a high degree of recognition for the detection target when solving the problems of shallow karst, underground current and fracture in the travertine area. The non-destructive detection data of the two methods are highly consistent with the geological characteristics of the exposed section after the earthquake, indicating the true reliability of the two non-destructive detection technology data under the condition of porous and loose media, as well as solving the doubts and difficulties of multi-physical exploration technology in the construction of porous and loose media areas, which is of great significance for enriching the field of engineering geophysical exploration technology.

**Keywords** porous and loose media, Jiuzhaigou valley, ground penetrating radar method, high-density resistivity method

(编辑 黄晨晖)