

## 可控源地震横波反射法在浅层地质灾害调查中的应用

## Application of Controllable Source Seismic Transverse Wave Reflection Method in Shallow Geological Disaster Survey

王义利 何培良 万永昌

Yili Wang Peiliang He Yongchang Wan

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:** 隐伏的岩溶发育会造成地面塌陷等地质灾害, 极具隐蔽性。论文以中国江苏某隐伏岩溶区为试验区, 利用可控源横波反射法探测溶洞的可行性进行了试验。试验结果表明, 横波反射法分辨率高、分层能力强, 是探测和评价隐伏岩溶的高效手段。

**Abstract:** The development of hidden karst will cause geological disasters such as ground collapse, which is very hidden. Taking a concealed karst area in Jiangsu, China as the experimental area, this paper tests the feasibility of using controllable source shear wave reflection method to detect karst caves. The test results show that the transverse wave reflection method has high resolution and strong stratification ability, it is an efficient means to detect and evaluate hidden karst.

**关键词:** 地震横波反射; 可控震源; 岩溶探测; 活断层探测

**Keywords:** seismic transverse wave reflection; controllable source; karst detection; live fault detection

**DOI:** 10.12346/se.v4i1.6378

## 1 引言

隐伏的岩溶发育会造成地面塌陷、地裂缝和地面沉降等地质灾害, 极具突发性和隐蔽性。查明隐伏岩溶区主要地质灾害的分布范围、规模、结构特征, 分析评价其危害程度及发展趋势, 划定地质灾害易发区、危险区, 是城市加速发展的重大需求。

以往的断层、溶洞探测中大多倾向于地震纵波反射法勘探, 该方法具有探测深度大、施工效率高等优点, 在划分具有一定厚度的沉积地层层序以及利用多次覆盖技术压制干扰、提供地震资料的信噪比方面效果较好<sup>[1]</sup>。但在覆盖层较薄地区, 由于目的层埋深浅, 反射窗口小, 且震源干扰波较强、面波发育及反射信号弱, 难以取得高信噪比资料<sup>[2-3]</sup>。而横波具有速度低、波长短等特点, 在纵横向分辨率上比纵波勘探有优势, 对浅部松散层分层具有较好效果。

论文以中国江苏宜兴岩溶探测为例, 在对工区地质条件综合分析的基础上, 运用了地震横波反射法和可控震源, 取得了高质量地震剖面数据, 确定了溶洞的整体形态、位置及

上断点埋深情况, 获得高分辨率的地层结构和溶洞成像结果, 为隐伏溶洞的识别和评价提供了可靠依据。

## 2 测区地球物理特征

据区内基岩与覆盖层地质资料及收集前人的速度资料分析, 将区内的各主要地层岩性有关速度参数归纳见表1。

表1 横波速度参数表

地层	岩性	横波速度 (m/s)
第四系(Q)	杂填土、粉质黏土、黏土	150~280
	黏土、粉细砂	300~320
	含砾石黏土	350~400
新近系(N)	石灰岩、页岩、灰岩	450~700
白垩系(K <sub>2p</sub> )	紫红色细砂岩、粉砂岩、下部砂砾岩、角砾岩	650~1250
侏罗系(J <sub>2h</sub> )	凝灰岩、角砾岩、集块岩, 英安岩、角砾熔岩、流纹岩、凝灰岩、砾岩	700~1400

【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。

### 3 数据采集和处理

本次地震勘测工作采用了以可控震源为主，人工激发为辅的工作思路，对于基岩埋深比较浅的区域，适当布置了人工激发测线。对于基岩埋深较大的，地震勘测工作采用了大排列横波反射法；地震横波反射法的激发震源采用大能量的可控震源，采用中间等边接收观测系统，观测系统具体参数通过试验确定。测区布设 5 条测线，检波点道距均为 2m<sup>[2]</sup>。

震源采用 WTC5060TZY 型纵横波两用可控震源车。该震源的最大振动出力 29.6kN，振动频率范围 6~250Hz。经对比分析扫描频段 10~100Hz 能较好地兼顾第四系及基岩信号，效果较好，最终确定可控震源车扫描频段范围为 10~100Hz。

为达到识别溶蚀区域和溶洞的目的，需要对地震数据进行精细处理，除常规处理外，还包括地表静校正、预测反褶积、多次速度分析、剩余静校正、叠后去噪等特殊处理，以期达到突出有效波、压制干扰波之目的，形成最终反射地震时间剖面图。

### 4 浅层地震勘探反射波法岩溶溶洞的识别

地震探测方法有效性归纳为以下几点：

①第四系覆盖层与下伏基岩间存在较为明显的速度差异，可构成良好的反射界面。

②基岩主要是以石灰岩、灰岩为主，局部存在页岩和侵入性花岗岩，其中石灰岩和灰岩中的地震横波速度小于页岩和花岗岩，地震反射波同相轴的变化较大，借助地震反射图像可以识别地层岩性变化。

③第四系内各层位间因不同的岩性组合具有一定的速度差异，当界面稳定、干扰较小时，也可形成一定的反射界面。第四系厚度较小，第四系因此纵波探测效果欠佳，横波反射探测效果较好。

④当断裂引起基岩垂向错动或明显破碎时，地震反射波组将相应地出现错动、缺失或能量减弱等异常特征；若断裂错断覆盖层内界面时，其反射波组亦会出现相应的异常特征。

⑤当基岩内部存在岩溶发育区时，地震反射波组将相应地出现截断，缺失，反射能量减弱等异常特征，借助地震反射图像可以识别。

### 5 试验结果

根据以上的解释原则，结合地质、钻孔资料对横波反射地震勘测资料进行综合地质解释，对可能存在的岩溶和溶蚀破碎带的位置、规模予以论证。典型的地震剖面分别如图 1、图 2、图 3 所示。

YX-10 测线解释剖面图像显示第四系覆盖层厚度在 18~28m 之间，基岩面总体平滑，起伏较小，南深北浅。在地震剖面 CDP180~310、埋深在 40~48m 的区域，基岩内部反射波同相轴呈现明显的错断、紊乱，成层性差，与两侧基岩的反射波组存在明显差别，推断该异常区基岩完整性差，岩体较为破碎。在地震剖面 CDP330~570、埋深在 22~45m 的区域，基岩内部反射波同相轴振幅变弱，呈低频低速特征，底界面振幅强，推断该区域为充填性溶洞发育区，为薄覆盖型岩溶；该处溶洞发育区深度 30m 的位置，存在一层较强的反射波同相轴，推断为溶洞中的薄层岩体盖板，同属于薄覆盖型溶洞。钻孔 WXYXZK07（孔深 50m）揭示基岩裂隙较发育，存在溶洞，其中 23.0~28.0m 为溶洞，填充物为棕红色的粉质黏土，局部可见强风化碎屑，属于薄覆盖性溶洞；28.8m 以下为大溶洞，地震剖面显示溶洞底界面超过 50m，推断为覆盖性溶洞。在地震剖面 CDP60~170、埋深在 30~40m 的区域，基岩内部反射波同相轴振幅变弱，呈低频低速特征，底界面振幅强，地震波呈现多次反射现象，推断该区域为充填性溶洞，为薄覆盖型岩溶。

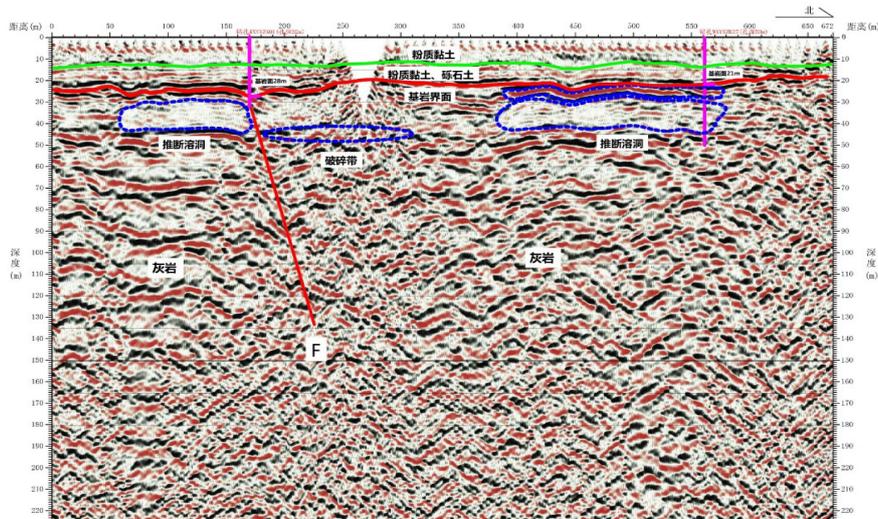


图 1 YX-10 测线地震横波反射剖面图

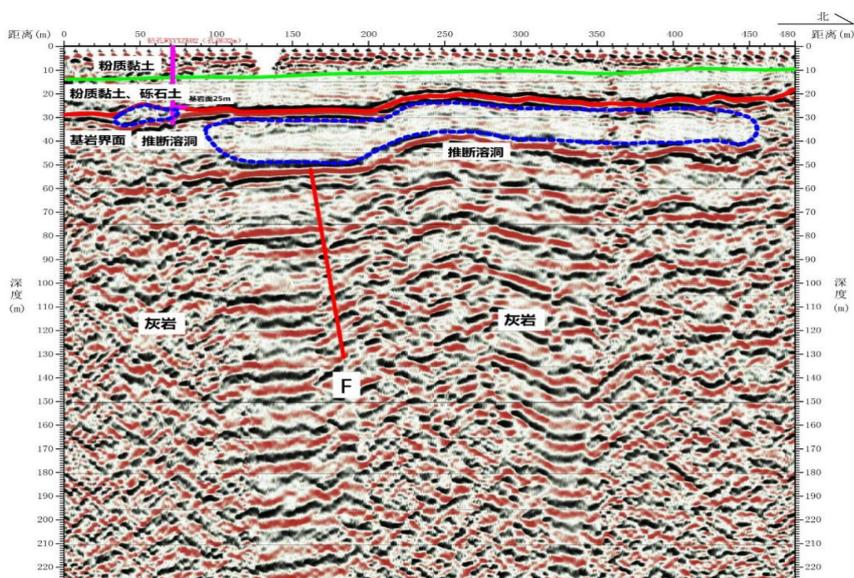


图 2 YX-11 测线地震横波反射剖面图

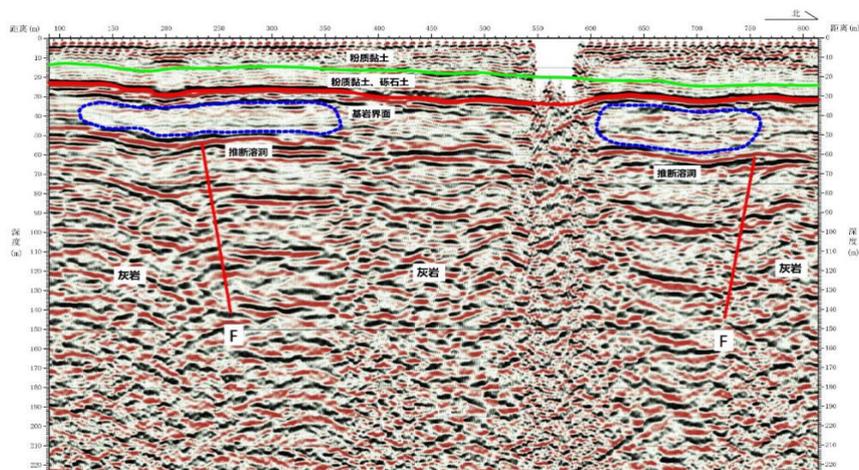


图 3 YX-12 测线地震横波反射剖面图

YX-11 测线解释剖面图像显示第四系覆盖层厚度在 16~30m, 基岩面总体平滑, 南深北浅, 有一定的起伏小。在地震剖面 CDP150 位置, 基岩内部地震反射波组明显错断, 推断存在 1 个南倾断层, 断层两侧基岩内部地震波反射波组南侧近水平展布, 北侧明显扭折, 振幅和波形存在明显差别, 该断层属于基岩内部断层。在地震剖面 CDP35~75、埋深在 25~33m 的区域, 基岩内部反射波同相轴呈现明显错断现象, 振幅变弱, 波形变粗, 钻孔 WXYXZK02 (孔深 32m) 揭示基岩裂隙发育, 呈碎块状, 其中 27.0~31.4m 为溶洞, 填充物为粉质黏土和少量强风化岩屑。根据钻孔结果并结合地震反射波组分布特征, 推断该区域为溶洞, 为薄覆盖型岩溶。在地震剖面 CDP170~450、埋深在 23~50m 的区域, 基岩内部反射波同相轴振幅变弱, 呈低频低速特征, 地震反射波组

特征与 CDP35~75 区域类似, 底界面振幅强, 地震波呈现多次反射现象, 与基岩的反射波特征明显差异, 推断该区域为充填性溶洞发育区, 为薄覆盖型岩溶。

YX-12 测线解释剖面图像显示第四系覆盖层厚度在 25~35m, 基岩面总体平滑, 近水平展布, 微小起伏。YX-12 测线中 CDP100~800 段的地震剖面图像, 在地震剖面 CDP230 位置, 存在一南倾断层, 断层两侧基岩内部地震反射波组特征存在明显差别, 断层南侧倾斜展布, 北侧水平展布, 属于基岩内部断层<sup>[3]</sup>。在地震剖面 CDP750 位置, 存在一北倾断层, 断层两侧基岩内部地震反射波组特征存在明显差别, 断层南侧波形变粗, 倾斜展布, 波形相对变细, 近水平展布, 该断层属于基岩断层。在地震剖面 CDP120~360、

(下转第 9 页)

参考站,全天观测所有可观测的卫星,通过无线传输设施将观测数据发送给观测站,观测站接收,然后利用专业软件进行实时差分定位计算,最终得到平面坐标。实时动态定位技术具有很大的优势,观测效率高,无通视性,节省了大量的测量时间和观测成本。

### 4.3 数字制图和地面测量

数字化测绘技术是在现代高科技技术和计算机制图原理的基础上,慢慢发展起来一个土地测量技术,它被运用到地籍测绘技术中去。在精准的数据采集下,还有硬件软件的控制中,机器所采集的信息都会被自动传输到系统当中经过处理后,绘制成基本草图,以便于绘图软件的编辑和绘图。目前的地籍测绘技术采用全站仪电子测速仪这一先进的测量仪器。数字制图为地籍测绘数据的准确性提供了保障。

## 5 结语

地籍测绘是对中国地理信息的多样性调查与全面掌握,地理国情是国家地理研究的基础,也是国家重要的地理事业

发展工作,宏观上通过对地理国情基础的掌握,进行全面的分析研究,构建具备多样性的地理国情特点,在地籍测绘方面多加以运用和完善,提升基础测绘工作的能力水平,并且不断推动地籍测绘工作在自然资源管理中的作用。提升国家地籍测绘工作流程的健全,结合全国各地不同地区的地理信息,开展有关地籍测绘相关的工作;通过专业的地理知识,与先进的科学技术结合起来运用到国家地籍测绘中,提升数字化测绘工作的水平并推动地籍工作的开展,实现数字化与测绘工作的协调发展。只有通过先进的地籍测绘手段,才能大大提高其在自然资源管理的有效利用率。

### 参考文献

- [1] 刘晓艳,宋彩春.测绘工程在自然资源管理中的应用[J].智慧城市,2017(1):220.
- [2] 彭迎.卫星定位技术在地形测绘中的应用[J].信息技术与信息化,2014(4):168-169.
- [3] 王丽,张利.测绘新技术在土地规划与管理中的应用[J].黑龙江科学,2013(9):256.

(上接第6页)

埋深在32~18m和CDP600~710、埋深在34~58m的两个区域,基岩内部反射波同相轴振幅变弱,呈低频低速特征,底界面振幅强,地震波呈现多次反射现象,与基岩的反射波特征明显差异,推断该区域为充填性溶洞发育区,为薄覆盖型岩溶。

## 6 结语

为探明江苏某典型隐伏岩溶区内,岩溶和溶蚀破碎带的位置、规模,在研究区内开展了可控源地震横波反射调查,成功查明了工区内基岩埋深情况、覆盖层结构及各分层的横波速度结构特征。

地震探测共计获得4个断层点,6处溶洞发育区,地震探测工区范围基岩分布多条断层,岩溶发育区和溶洞发育区

基本上分布在断层附近,溶洞属于薄覆盖性充填溶洞,岩体裂隙发育,岩石破碎,岩溶发育。基于可控源的浅层地震横波反射技术在岩溶区近地表结构探测中,经济快捷,重复性强,分辨率高,是探测隐伏岩溶的高效手段。

### 参考文献

- [1] 顾勤平,许汉刚,赵启光.厚覆盖层地区隐伏活断层探测的地震方法技术——以桥北镇—宿迁断层为例[J].物探与化探,2015,39(2):408-415.
- [2] 赵成彬,刘保金,姬计法.活动断裂探测的高分辨率地震数据采集技术[J].震灾防御技术,2011,6(1):18-25.
- [3] 刘保金,张先康,方盛明,等.城市活断层探测的高分辨率浅层地震数据采集技术[J].地震地质,2002(4):524-532.