

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.
DOI: 10. 11932/karst20190512

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

高强山^{1,2,3,4}, 彭韬^{1,4}, 付磊⁵, 王世杰^{1,4}, 曹乐^{1,3}, 程倩云^{1,3}

(1. 中国科学院地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081; 2. 中国科学院地球化学研究所, 月球与行星科学研究中心, 贵阳 550081; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100; 5. 贵州省水土保持技术咨询研究中心, 贵阳 550021)

摘要: 表层岩溶带是岩溶研究的重要对象, 以往研究以剖面调查半定量为主, 文章利用探地雷达属性技术对其发育情况进行定量研究。选取3个表层岩溶带的典型剖面(浅裂隙土、深裂隙土、厚土层覆盖), 并采集探地雷达数据, 通过提取相干体属性和均方根振幅属性来挖掘雷达数据中的潜在信息, 用于区分介质组构和识别发育深度界面。结果表明, 均方根振幅属性较好地分出了浅裂隙土型和深裂隙土型的岩土介质, 厚土层覆盖型的犁耕层与非犁耕层土壤介质; 相干体属性能较好地识别出表层岩溶带和下部完整基岩, 量化其发育厚度。

关键词: 岩溶; 表层岩溶带; 探地雷达; 属性技术

中图分类号: P631; P642.25 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2019)05-0759-07 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 前言

表层岩溶带(epikarst zone)是表层碳酸盐岩在强烈的溶蚀作用下形成的各种犬牙交错的岩溶个体形态和微形态构成的不规则带状组合层^[1]。由法国地质学家最早提出^[2], 随后被进一步阐释为“皮下层”(Subcutaneous), 即岩土界面之间的岩溶形态^[3]。表层岩溶带作为岩溶关键带区别于其他区域地球关键带的近地表岩土结构标志层, 处于岩石圈、土壤圈、生物圈、水圈、大气圈交汇的地带, 在水分与养分下渗、赋存、滞留、植被水分养分利用等方面具有重要作用, 是岩石-土壤-植被系统中生物地球化学过程最为活跃的关键地带, 对研究全球环境变化、碳循

环、水循环及调蓄等方面具有重要的意义^[4]。在我国, 以袁道先为首的学者首先使用“表层岩溶带”这一术语, 在水文水化学方面取得了大量的研究成果, 成为现代岩溶学的重要内容^[5-9]。

表层岩溶带的形成与地质、气候、水文、生物等因素密切相关, 是岩溶作用与全球的碳、水、钙循环作用的具体表现^[10]。地质因素涉及到可溶岩(碳酸盐岩为主)的岩性、地层组合, 构造运动、地质历史等, 气候因素包括降水、气温、土壤、空气中的CO₂等因素与溶蚀速率、岩溶形态组合之间的联系, 水文条件包含水岩反应过程, 和岩溶形态与地质条件的水力联系等, 生物条件有分析植被和微生物在岩溶形成、演化等方面所发挥的作用^[11]。表层岩溶带作为

基金项目: 科技部重点研发计划项目(2016YFC0502602)、国家自然科学基金(41571130074和41403112)、喀斯特科学研究中心联合资助项目(U1612441)和中科院其他项目(132852KYSB20170029)共同资助

第一作者简介: 高强山(1989-), 博士研究生, 主要从事喀斯特关键带结构研究。E-mail: qsgao2016@163.com。

通讯作者: 彭韬(1984-), 博士, 从事生态环境地球化学、土壤侵蚀与水土保持学研究。E-mail: pengtao@vip.gyig.ac.cn。

收稿日期: 2018-02-04

岩溶作用过程中最为活跃的一个部分,也是岩溶关键带的物质储存和循环及其迁移转化过程中最为频繁敏感的关键区域,在岩溶地区水分、养分物质循环、碳汇过程、表层水资源利用等生态系统功能方面发挥十分重要的作用。

目前对表层岩溶带研究手段主要以剖面调查为主,半定量化刻画表层岩溶带发育形态,利用表层岩溶泉定位动态监测、同位素示踪等地球化学指标进行水文水化学动态监测^[12],分析表层岩溶带结构、水岩反应过程及其与水文和气候因子的联系^[5,11,13-14],再根据实际数据设计模型,如水文模型有黑箱模型、概念模型和分布式模型等^[15]。但以往的表层岩溶带研究工作,受限于技术手段,缺乏对表层岩溶带结构的定量刻画与认知,同时,对于表层岩溶带界面发育深度也难有可靠的技术手段定量化,导致在结构信息不清基础上开展的物质循环研究和模型研究结果存在很大不确定性。

近几年,由于电磁法勘探和探地雷达技术对介质的无损性,操作方便且浅层分辨率高等优势,逐渐应用到地质勘查、环境监测、极地研究和考古调查等方面^[16],也逐渐被应用到表层岩溶带,其中电磁法勘探主要用于寻找和确定地下水位置^[17-18],探地雷达技术更多的应用于分析表层岩溶带的地质构造和地层分布特征等^[19-22]方面的初步探索,效果较好。

但目前,对表层岩溶带结构定量化研究仍处于起步阶段,往往是对雷达数据做常规处理后就直接进行解释,缺乏对数据中的丰富地质信息做深入挖掘,导致对分析结果影响较大,数据利用不充分,未有效发挥定量化解释的功能。基于以上情况,本文选取了3个具有不同典型特征的表层岩溶带剖面,基于探地雷达属性技术,提取了可区分不同介质的均方根振幅属性,以及突出介质结构变化的相干体属性,深入挖掘数据的潜在信息,减少对解译人员主观经验的依赖,探讨了其效果及适用性,为定量研究表层岩溶带的发育特征提供借鉴。

1 研究区概况

本研究的三处典型剖面根据表层岩溶带发育岩土组构差异(浅裂隙土、深裂隙土、厚土层覆盖)选取,都位于普定县马官镇政府附近(26°13'13"N,105°45'21"),属亚热带季风湿润气候,岩溶形态发育强烈,年平均降雨量1300mm,5-10月为雨季,占全年总降雨量的83%~88%,年平均温度15.1℃,年平均

日照时数约1164.9h。马官镇地区出露岩石主要为三叠系关岭组中段的泥质灰岩夹少量泥页岩,岩溶地貌以峰丛洼地、峰丛谷地为主。

2 研究方法

2.1 常规处理方法流程

探地雷达设备为Mala公司的ProEX主机和500MHz的屏蔽天线,天线固定间距0.18m,探测深度一般为3~5m。数据采集过程中由GroundVision软件进行实时成像和监视,8次自动覆盖,各个剖面采集参数如表1所示。利用REFLEXW软件对数据进行常规处理,1)由movestarttime模块手动切除记录中的直达波,2)subtract-DC-shift模块消除仪器自身产生的零漂现象,同时对低频信号的伤害很小,3)由energydecay模块对信号进行能量补偿,既突出层信号,也突出缺陷,并保留原信号的相对振幅强弱,4)由subtractingaverage模块去除水平干扰信号,5)由bandpassbutterworth模块进行带通滤波,主要是去除高频干扰,6)由runningaverage模块消除毛刺噪声等噪声干扰。

表1 不同剖面采集参数信息

Table 1 Parameters collected on profiles

剖面 编号	采样频 率/MHZ	时窗/ns	采样点 数/个	道间距/ m	测量长 度/m
1	7695.4	119.3	918	0.019	9.030
2	7695.4	119.3	918	0.019	6.615
3	9894.1	92.4	914	0.019	10.950

2.2 属性分析方法

均方根振幅属性是地震资料解释和地质雷达资料解释中常见的一种属性解释方法。均方根振幅属性的提取方式是将振幅平方的平均值再开方,数值都会变为正值,强化振幅的强弱对比。在地震资料解释中被用于识别储层中的砂泥岩^[23],计算薄砂层厚度,识别亮点、暗点等。均方根振幅属性反映信号在不同介质中传播的能量变化,在地质雷达资料解释中已经被用于识别目标体与围岩的不同介质^[24-25]。在定量研究表层岩溶带方面,均方根振幅属性可以帮助区分不同介质。

相干体属性最早于1995年提出^[26],最初用于地震数据体解释,识别地下的裂缝、断层等。基于经典互相关算法,定量描述信号间的相似程度,突出信号

的波形特征。数值越大,信号越相似,表明剖面完整性程度高,裂隙、断裂等发育程度低,数值越小,信号越不相似,表明介质结构的破裂程度越高。因此,该属性可帮助分析表层岩溶带结构中的裂隙等发育程度。二维简化公式如下:

$$\rho_x(x_i, t, \Delta t_x) = \frac{\sum_{\tau=-\omega}^{\omega} u(x_i, t - \tau)u(x_{i+1}, t - \tau - \Delta t_x)}{\sqrt{\sum_{\tau=-\omega}^{\omega} u^2(x_i, t - \tau) \sum_{\tau=-\omega}^{\omega} u^2(x_{i+1}, t - \tau - \Delta t_x)}} \quad (1)$$

式中 u 表示雷达数据, ω 为时窗, Δt_x 表示延时。

3 结果与讨论

3.1 三种典型剖面表层岩溶带发育特征

3.1.1 1号剖面:浅裂隙土型(图 1a)

1号表层岩溶带剖面位于马官镇政府广场出口的一侧,具有浅裂隙土发育特征。图 1 中依次为现场照片(a),地质素描图(b),常规处理的雷达图像(c),均方根振幅属性(d)和相干体属性(e)。素描图简要地展示了岩性、裂隙与层位大致发育特征,同时标注了宽度、长度和深度信息。1号剖面表层岩溶带溶蚀强烈,岩石与土壤犬牙交错镶嵌分布,基岩出露的地表无土层覆盖,照片中榔头所指的位置为雷达探测时的标记点。层位 A(图中标记虚线位置),以上为岩土混合介质,裂隙广泛发育,裂隙土渗漏冲填裂隙对应的最大深度为 2 m,层位 A 以下无土壤充填,基岩完整性好。

3.1.2 2号剖面:深裂隙土型(图 2a)

2号表层岩溶带剖面位于马官镇政府广场一侧的水泥路边,与 1号剖面位置很近,具有深裂隙土发育特征。剖面有 B、C、D 三层层理,中部标记处(椭圆点)发育一条深度达 3 m 的溶蚀主裂隙,到达 D 层层理位置且被渗漏土壤充填,主裂隙左右两侧基岩出露地表,无土覆盖,左侧基岩发育少量溶蚀裂隙且有一条被土壤填充,主裂隙右侧裂隙发育较多,清晰可见一条方解石脉体发育。D 层界面之下裂隙发育少,基岩完整。距离地表 4 m 处为一浆砌块石水泥花台。

3.1.3 3号剖面:厚土层覆盖型(图 3a)

3号表层岩溶带剖面具有厚土层覆盖特征,位于马官镇政府广场公路斜对面的坡耕地。基岩完全被

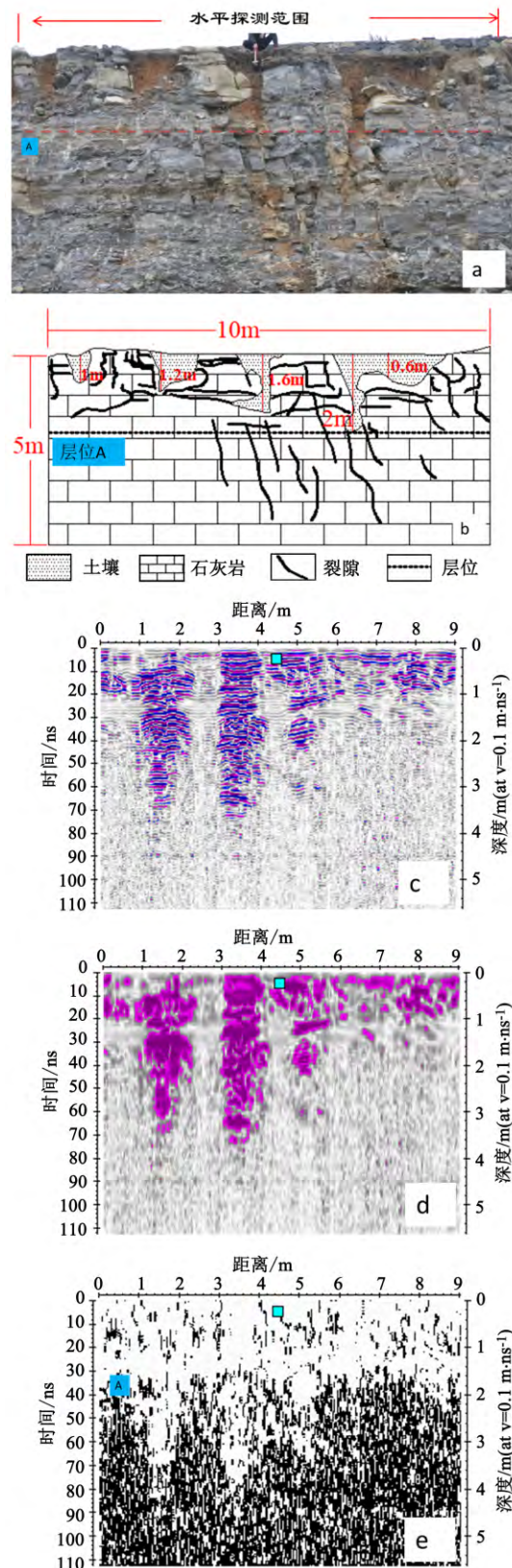


图 1 1号典型剖面现场照片(a)、地质素描图(b)、雷达解译图像(c)、均方根振幅属性(d)、相干体属性(e)

Fig 1 (a) Photograph of No. 1 typical profile. (b) Geologic sketch, (c) GPR image, (d), RMS amplitude attribute, (e) and coherence attribute

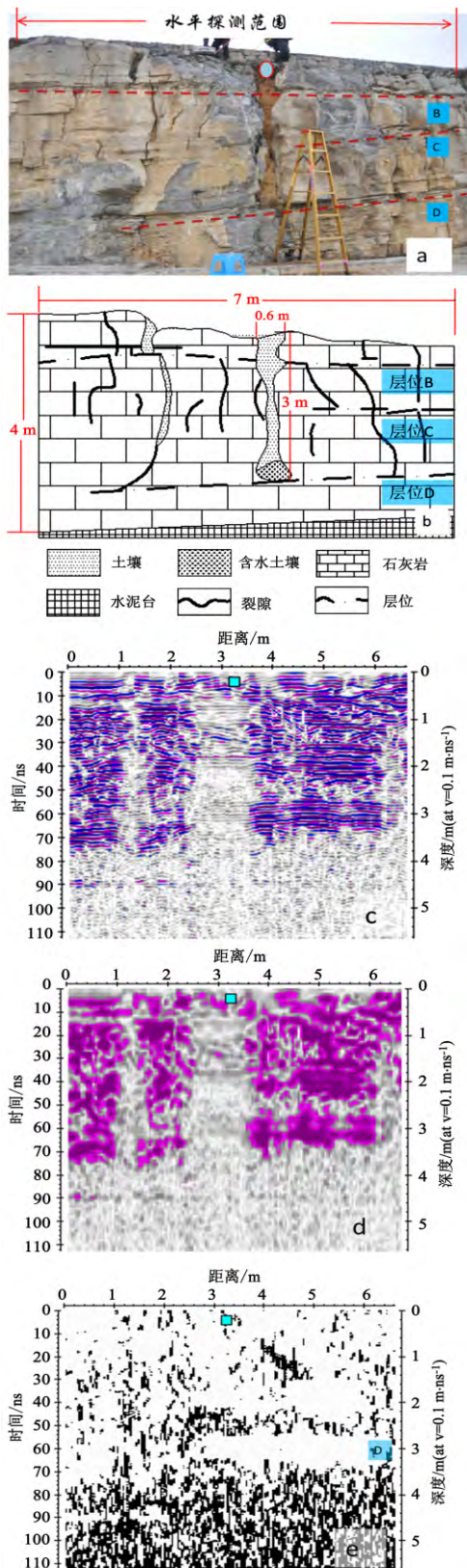


图2 2号典型剖面现场照片(a)、地质素描图(b)、雷达解译图像(c)、均方根振幅属性(d)、相干体属性(e)

Fig 2 (a) Photograph of No. 2 typical profile. (b) Geologic sketch, (c) GPR image, (d), RMS amplitude attribute, (e) and coherence attribute

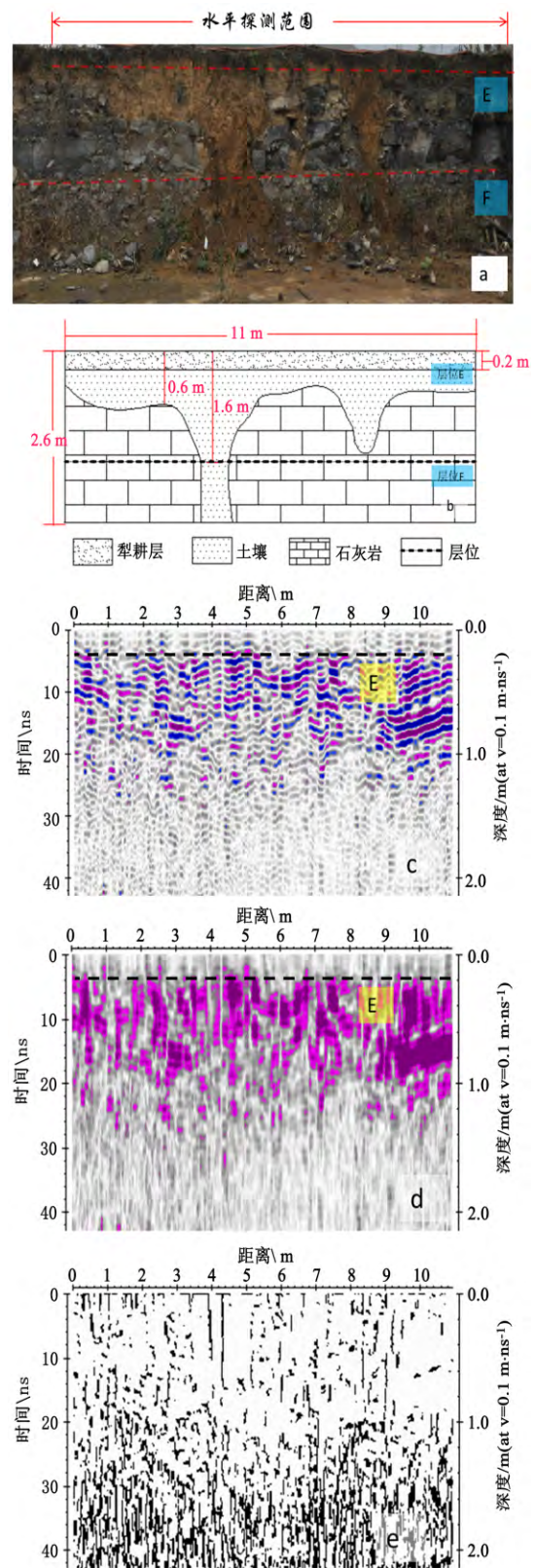


图3 3号典型剖面现场照片(a)、地质素描图(b)、雷达解译图像(c)、均方根振幅属性(d)、相干体属性(e)

Fig 3 (a) Photograph of No. 3 typical profile. (b) Geologic sketch, (c) GPR image, (d), RMS amplitude attribute, (e) and coherence attribute

土壤覆盖,厚度超过60 cm,最深达到2.6 m。坡耕地土壤有约20 cm厚的犁耕层,与下部土壤之间的界面标记为层位E,1.6 m处发育层理标记为层位F。E和F层位之间裂隙发育,F层以下基岩较完整。

3.2 三种典型剖面的探地雷达结构成像

常规处理的雷达图像(图1c、图2c和图3c)中,粉红色代表强正振幅,蓝色为强负振幅,灰白部分为弱振幅。

均方根振幅属性图像(图1d、图2d和图3d)中彩色部分代表强振幅,反映信号的高能量,灰白部分为低振幅,代表低能量。电磁波在不同介质中传播,信号能量衰减速率不同,可根据振幅强弱区分不同的介质。与常规处理的雷达图像对比,在区分不同介质方面,均方根振幅属性的代表颜色更加单一,效果更加直观。

相干体属性图像(图1e、图2e和图3e)中,白色为相干体的高值,可反映介质结构完整性好,黑色是低相干值,可反映介质结构的不连续,完整性差。与常规处理的雷达图像比较,更有利于分析介质结构的完整与破碎程度。

图1和图2中的浅蓝色小方块为对应的标记点。

3.2.1 1号剖面:浅裂隙土型

在均方根振幅属性成像(图1d)中,振幅反应介质变化差异,裂隙土的位置以弱振幅信号为主,强振幅达到的深度较浅;在岩石部分位置,强振幅信号达到的深度接近4 m。可见振幅强弱可以用来解释岩土两种介质的分布。

在相干体属性成像(图1e)中,30 ns(层位A)以上连续性好的白色区域,白色部分为相干体高值,反映介质结构完整性好,应为无裂隙发育基岩,白色区域内所含黑色不连续线段,代表低相干值,反映介质结构的不连续,完整性差。层位A作为表层岩溶带下漏土壤的分界线,分界线之上以白色为主,高相干值(白色)占主导,穿插分布低相干值(黑色不连续线段),表明裂隙发育广泛,溶蚀作用强烈。根据雷达电磁波传播原理^[27],当电磁波未遇到介质变化产生的电阻抗反射界面时,电磁波难以返回,雷达仪器接收的是随机干扰信号,其振幅弱、相似度以低值为主。分界线之下对应的信号以弱振幅(图1d)、低相干值为主,说明基岩完整,裂隙少,缺乏反射界面,雷达接收的主要是随机干扰信号。可见利用相干体属

性解释比常规处理雷达数据更能直观地反应表层岩溶带发育界面,有效获取表层岩溶带发育厚度信息。而界线之下出现3个较大白色区域(图1d中对应3个强振幅区域)的原因是由于探测位置岩石裸露直接接触雷达,信号衰减慢所致。

3.2.2 2号剖面:深裂隙土型

在均方根振幅属性图像(图2d)中,深裂隙土位置(标记点)对应图中宽为1 m左右的弱振幅区域,其左侧充填土壤的裂隙对应1 m位置下方较窄的弱振幅区域,强振幅对应周围的岩石,同样说明振幅强弱可用于解释岩土介质。均方根振幅属性识别的深裂隙土地面宽度为1 m左右,大于实际宽度0.6 m。原因主要在于,雷达天线间距为0.18 m,采集时在土壤两端存在信号岩石部分激发、土壤部分接收与土壤部分激发、岩石部分接收的情况,使得两端宽度增加0.36 m左右。说明利用振幅强弱解释岩土介质在横向上受到天线间距的影响,有待进一步矫正。

在相干体属性成像(图2e)中,分界线——层位D清晰可见,层位D界面以上白色区域为主,代表岩土介质裂隙发育的表层岩溶带,界面以下基岩完整,反射界面较少,以低相干值为主,与1号剖面的类似,雷达接收的主要是随机干扰信号,相似度低、振幅弱。而90 ns出现的水泥花台反射信号与剖面实际情况相符,说明黑色区域随机信号并非信号衰减殆尽所致,而是缺少反射界面所致,证明了分界面以下的基岩完整。可见,相干体属性不仅在考古调查中表现出很高的准确度^[28-29],而且在表层岩溶带发育分界线的识别上也可表现出很高的准确度,有效获取表层岩溶带厚度信息。

3.2.3 3号剖面:厚土层覆盖

在均方根振幅属性图像(图3d)中,强弱振幅与岩土介质不再对应,而是与土壤层中的犁耕层土壤和犁耕层下部紧实土壤对应。20 cm(图中黑色虚线)之上以弱振幅为主,对应犁耕层土壤,孔隙度高,以弱振幅信号为主,犁耕层下部土壤紧实,以强振幅信号为主。

在相干体属性的图像(图3e)中,在30 ns左右,低相干值(黑色)开始占据主导地位,表明在该深度以下基本是无效随机干扰信号,一方面原因是可能该深度以下基岩完整缺乏反射界面,另一方面可能剖面覆盖土层较厚,雷达信号衰减殆尽。

因此,在厚土覆盖的区域雷达属性信息可反应土层性质差异和岩土混合介质厚度信息。

3.3 探地雷达表层岩溶带成像方法与适用范围

基于以上研究工作,我们认为探地雷达技术在常规数据处理方法上,再增加属性提取技术,可有效分析表层岩溶带岩土组构介质和表层岩溶带发育界面深度,但也存在一定适用范围和局限,如图4所示为均方根振幅属性和相干体属性提取流程。

均方根振幅属性的适用情况为:土壤覆盖厚时,利于区分土壤中的不同介质;土壤覆盖薄(<60 cm)或基岩出露的地表无土覆盖,且存在裂隙土镶嵌分布情况时,适合区分岩土介质,但横向精度受天线间距影响,需进一步矫正。

相干体属性的适用情况为:可有效区分存在多反射界面(如岩石含裂隙、土壤高孔隙度)和缺少反射界面的完整基岩,可较好地定量刻画表层岩溶带发育厚度。但对于表层岩溶带内部本身介质差异(裂隙土、裂隙、岩石)产生的信号差异无法识别。



图4 均方根振幅属性(左)与相干体属性(右)成像方法流程图
Fig 4 Flowchart of imaging GPR RMS amplitude attribute (left) and coherence attribute (right)

4 认识与结论

利用探地雷达属性技术对表层岩溶带结构的发育特征进行定量研究,探讨均方根振幅属性区分介质的效果,和相干体属性对分界线层位的识别效果,总结相应的方法和适用性,获得以下认识:

(1)属性技术能够挖掘出常规处理雷达数据中未发现的更多潜在信息,有利于定量研究表层岩溶

带的发育特征。

(2)均方根振幅属性在具有基岩裸露无土覆盖且有裂隙土镶嵌分布的情况下,强弱振幅变化可较好地对应岩土介质变化,但弱振幅宽度大于裂隙土实际宽度,需进一步矫正;在土壤覆盖厚时,强弱振幅对应土壤层内部的性质变化差异。

(3)相干体属性可有效识别多反射界面(如岩石含裂隙、土壤高孔隙度)和缺少反射界面的完整基岩,可较好地定量刻画表层岩溶带发育厚度。

总体来说,探地雷达在刻画岩土地下结构方面已显现出一定优势,可作为地下结构研究的有效技术手段,属性提取技术在原有分析方法上,再深入挖掘数据信息,但也出现了一些新的问题,需要进一步解决和研究。此次研究工作只使用了500 MHz天线,以上认识与结论有待其它频率的天线做进一步验证。均方根振幅属性区分出的裂隙土宽度受制于天线的间距,有待探索是否存在相应的校正方法。是否存在其它更适合于表层岩溶带定量研究的属性技术有待继续探索。

致谢:感谢洪冰研究员和彭海军博士提供的探地雷达设备和技术支持

参考文献

- [1] 蒋忠诚,袁道先. 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义[J]. 地球学报,1999,20(3): 302-308.
- [2] Mangin A. Contribution a l' etude hydrodynamique des aquiferes karstiques [J]. Anndles de Speleologie, 1974, 29 (1): 283-332.
- [3] Williams P. W. Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst [J]. Z. Geomorph. N. F., 29 (4): 463-482.
- [4] 彭韬,周长生,宁茂岐,等. 基于探地雷达解译的喀斯特坡地表层岩溶带空间分布特征研究[J]. 第四纪研究,2017, 37 (6):1262-1270.
- [5] 覃小群,蒋忠诚. 表层岩溶带及其水循环的研究进展与发展方向[J]. 中国岩溶,2005,24(3):250-254.
- [6] 袁道先,戴爱德. 中国南方裸露型峰丛山区岩溶水系统及其数学模型的研究[M]. 南宁:广西师范大学出版社,1996.
- [7] 蒋忠诚. 中国南方表层岩溶带的特征及形成机理[J]. 热带地理,1998,18(4):322-326.
- [8] 劳文科,蒋忠诚,时坚,等. 洛塔表层岩溶带水文地质特征及其水文地质结构类型[J]. 中国岩溶,2003,22(4):258-266.
- [9] 刘再华. 表层岩溶带的水温特征及其与下部包气带的对比:以桂林岩溶水文地质试验场为例[J]. 中国岩溶,1991,10 (4):277-282.
- [10] 袁道先,刘再华,等. 碳循环与岩溶地质环境[M]. 北京:科学出版社,2003.

- [11] 袁道先,蒋勇军,沈立成,等. 现代岩溶学[M]. 北京:科学出版社,2016.
- [12] 梁小平,朱志伟,梁彬,等. 湖南洛塔表层岩溶带水文地球化学特征初步分析[J]. 中国岩溶,2003,22(2): 103-109.
- [13] 严小龙,陈喜,张志才,等. 基于多元线性回归的表层岩溶泉流量预测[J]. 中国岩溶,2012,31(2):154-159.
- [14] 朱晓锋,陈洪松,付智勇,等. 喀斯特灌丛坡地土壤—表层岩溶带产流及氮素流失特征. 应用生态学报,2017,28(7): 2197-2206.
- [15] 常勇,刘玲. 岩溶地区水文模型综述[J]. 工程勘察. 2015,43(3):37-44.
- [16] 赵文轲,陈国顺,田钢,等. 探地雷达属性技术进展[J]. 地球物理学进展,2012,27(3):1262-1267.
- [17] 武毅,孙银行,李凤哲. 西南岩溶地区不同含水介质地球物理勘查技术. 中国岩溶,2011,30(3):278-284.
- [18] 李华,焦彦杰,吴文贤,等. 西南岩溶地区找水的地球物理方法探讨. 水文地质工程地质,2011,38(5):1-6.
- [19] 张志才,陈喜,程勤波,等. 喀斯特山体表层岩溶带水文地质特征分析:以陈旗小流域为例[J]. 地球与环境,2011,39(1): 19-25.
- [20] Zhao Ningyu, Liu Yi. Prediction method of Karst fissure water content before tunnel face based on GPR [J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 20(19): 11185-11198.
- [21] Steelman C M, Kennedy C S, Parker B L. Geophysical conceptualization of a fractured sedimentary bedrock riverbed using ground-penetrating radar and induced electrical conductivity [J]. Journal of Hydrology, 2015, 521(2): 433-446.
- [22] Al-fares W, Bakelowicz M, Guérin R., Dukhan M. Analysis of the karst aquifer structure of the Lamalou area (Hérault, France) with ground penetrating radar [J]. Journal of Applied Geophysics, 2002, 51(2): 97-106.
- [23] 张可宝,张红斌,赵玉光,等. 均方根振幅与岩性[J]. 石油地球物理勘探,2007,42(增刊):93-96.
- [24] Forte E., Pipan M., Casabianca D., Di Cuia R., Riva A. Imaging and characterization of a carbonate hydrocarbon reservoir analogue using GPR attributes [J]. Journal of Applied Geophysics, 2012, 87: 76-87.
- [25] Reïs J A,Castro D L,Jesus T E S, et al. Characterization of collapsed paleocave systems using GPR attributes [J]. Journal of Applied Geophysics, 2014, 103 (21): 43-56.
- [26] Bahorich M., Farmer S. 3-D Seismic Discontinuity for Faults and Stratigraphic Features: The Coherence Cube [J]. The Leading Edge, 1995, 14(10): 1053-1058.
- [27] 曾昭发,刘四新,冯晖. 探地雷达原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [28] Zhao Wenke, Forte E., Pipan M., Tian Gang. Ground Penetrating Radar (GPR) attributes analysis for archaeological prospecting [J]. Journal of Applied Geophysics, 2013, 97 (10):107-117.
- [29] Zhao Wenkai, Forte E, Fontana F, Pipan M, Tian G. GPR imaging and characterization of ancient Roman ruins in the Aquileia Archaeological Park, NE Italy [J]. Measurement, 2018, 113: 161-171.

Structure description and interface recognition on epikarst typical profiles using GPR technology

GAO Qiangshan^{1,2,3,4}, PENG Tao^{1,4}, FU Lei, WANG Shijie^{1,4}, CAO Le^{1,3}, CHENG Qianyun^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550081, China; 2. Lunar and Planetary Science Research Center, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550081, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Puding Karst Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences, Puding, Guizhou 562100, China) 5. GuiZhou Water and soil conservation technology research center, Guiyang, Guizhou 550021, China)

Abstract Epikarst is an important object in karst study. Previous research was mostly based on soil profile survey with semi-quantitative methods. We utilized ground penetrating radar (GPR) technology to conduct a quantitative study on this issue. Three typical epikarst profiles s of are chosen, which are characterized by shallow fissure soil, deep fissure soil and thick soil coverage. From the data collected through GPR technology, root mean square (RMS) amplitude and coherence attributes were extracted to mine the potential information of the GPR data for differentiation of medium structure and surface recognition. The results show that the RMS amplitude attribute permits to differentiate rock and soil of shallow and deep fissure soil types, cultivated and uncultivated layers in soil medium of thick soil cover type; while the coherence attribute can be used to recognize the epikarst and lower intact bedrock and quantify the thickness of the epikarst.

Key words karst, epikarst, GPR, attribute technology

(编辑 张玲)