

探地雷达在探测墩下隐伏岩溶中的应用^{*}

李大虎

(成都理工大学 信息工程学院,成都 610059)

摘要:介绍了探地雷达工作原理、工程物探仪器设备及工作方法。岩溶的空间分布和物性特征为探地雷达进行岩溶地球物理探测提供了基本前提条件。在已有的探测实例中应用探地雷达方法基本查明了岩溶的分布范围和充填性质,从而为岩溶区的岩土工程勘察和评价提供了有效手段及依据。

关键词:探地雷达;岩溶;灰岩

中图分类号:P631

文献标识码:A

文章编号:1671-0924(2009)02-0050-05

Application of Ground Penetrating Radar in Detecting Hidden Karst under Pier

LI Da-hu

(College of Information Management, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: This paper introduces the working principles of ground penetrating radar, engineering geophysical prospecting equipment and working methods. The space distribution and physical characteristic of karst have supplied a basic prerequisite for karst prospecting with Ground Penetrating Radar (GPR). This article gives prospecting examples about application of GPR, and finds out distribution and filling characteristics of karst, and supplies effective measures and foundation for geotechnical engineering prospecting and evaluation in karst area.

Key words: ground penetrating radar; karst; lime rock

岩溶(又称喀斯特)是可溶性岩层在水的化学和物理溶(浸)蚀作用下,产生沟槽、裂隙和空洞,以及由于空洞顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称。岩溶发育首先应有可溶性岩层,包括碳酸盐类岩石(如石灰岩、白云岩)、碳酸盐类岩石(如石膏)和卤素类岩石(如岩盐)等,其

次具有溶解力(如含 CO_2)和足够流量的水,同时还要有地表水下渗和地下水流动的通道。通常在厚层、质纯、粒粗的灰岩中发育强烈、规模大,当层薄、质杂、致密时发育程度明显减弱。在与非(弱)可溶岩接触处(如灰岩层顶部)及各类结构面处(如节理、裂隙、破碎带)的岩溶常常较晚发育。在

* 收稿日期:2008-09-04

作者简介:李大虎(1982—),男,安徽人,硕士研究生,主要从事工程地球物理探测方面的研究。

覆盖型岩溶分布区,由于水对覆盖土层的潜蚀作用,常产生土洞和塌陷。土洞一般多见于粉性土层中的地下水位变化幅度带以内。

岩溶勘察宜采用工程地质测绘和调查、物探、钻探等多种手段结合的方法,查明工程范围及有影响地段的各种岩溶洞隙和土洞的位置、规模、埋深,以及岩溶堆填物性状和地下水特征。就单个洞体本身来说,洞体的形态、大小、堆填物性质以及顶板厚度常常是岩土工程评价中最关心的要素。由于岩溶发育区的洞(缝、隙)与其围岩(灰岩等)及围岩与其上覆地层之间往往具有明显的物理性质,且洞(缝、隙)的发育往往具有一定的规律性,所以物探技术可以在岩溶的勘察中发挥作用。近年来常用方法有浅层地震法、高密度电阻率法和探地雷达方法。钻探往往以点代面,而利用物探手段可以弥补钻探的不足,较准确地反映溶洞的形态、规模和整体形态,因此,一般先采用物探手段进行勘察。其中探地雷达方法因具有快速方便和环境适应能力较强的特点,在地质地球物理条件适宜的前提下,往往成为众多方法中的首选。

1 探地雷达工作原理

探地雷达(ground penet rating radar ,GPR)方法是一种用于确定地下介质分布的光谱(1MHz ~ 1GHz)电磁技术。它是利用高频电磁脉冲波的反射来探测目标体的,通过发射天线向地下或目标体发射高频宽频带短脉冲电磁波,当电磁波向地下

介质传播过程中遇到不同的波阻抗界面时,将产生反射波和透射波。反射和透射遵循反射与透射定律。反射波能量大小取决于反射系数 R ,反射系数的数学表达式为

$$R = [(\epsilon_1)^{1/2} - (\epsilon_2)^{1/2} / (\epsilon_1)^{1/2} + (\epsilon_2)^{1/2}] \quad (1)$$

式中: ϵ_1 和 ϵ_2 分别表示反射界面两侧的相对介电常数。

由式(1)可知:反射系数的大小主要取决于反射界面两侧介质的相对介电常数的差异。差异越大反射系数越大,反射波信号越明显。经过地下地层界面或目标体的表面反射后返回地面,为接收天线所接收。电磁波在介质中传播时,其路径、电磁场强度与波形将随所通过的介质电磁性质及目标体的几何形态变化而变化,因此,根据接收到波的旅行时间、波幅与波形等信息,即可探测地下介质或目标体的结构、构造及目标体的埋藏深度等(见图2)。

图1 地质雷达原理示意图

图2 雷达探测过程示意图

2 工程物探仪器设备及工作方法

2.1 仪器设备

本次物探勘察属于浅层工程地质精细测量,对工作布置不但要求作详细的安排,测量仪器的精度、分辨率和稳定性等也同样有较高的要求。本研究使用当今世界上技术领先的地质雷达——瑞典 MALA 公司 RAMAC 系列 CUII 型主机,配以 50 MHz 超强地面耦合天线。该雷达的主要特点有:高集成化,真数字式,高速,轻便;天线与主机之间采用光纤连接,频带宽,速度快,数据质量好,抗干扰能力强,因此发射机、接收机及主机之间不会相互干扰;由于采用高压窄脉冲技术,其发射脉冲源与天线一一对应,因此穿透能力强。

2.2 工作方法

探地雷达具有不同的野外工作方法,根据实际工区地质、地形条件的不同,测量方式可以选择剖面法、多次覆盖法及宽角法等。实际工作中,测量参数如分离距、时窗及天线中心频率等也可以根据不同要求进行选择。选择不同的参数可以得到不同分辨率及不同探测精度的雷达图形。一般情况下,在正式进入工区以前,应有目的地进行前期参数选择试验,以达到最佳探测效果。在进入工区探测后,应根据实际需要布置测线与测点,并且测线与测点尽可能地通过所测目的物。在不明显的目的物上方进行测量时,线距与点距应尽可能地加密,以利于后面的资料解释与处理。一般情况下,除个别墩台特殊考虑,每个墩位各布置 3 或 5 条物探测线,其中 C 测线通过左右桩中心点。5 条测线中,A、B 测线与 D、E 测线以 C 测线呈对称布置,线距 0.5 m,测点间距 0.25 m,使用天线沿每条测线进行逐点探测(见图 3)。

根据现场试验资料结合钻孔数据对比试验校对采集参数(采样范围、采样点数、扫描率、迭加次数等),并精确确定各层介质的介电常数或电磁波速。本次勘探,采用 50 MHz RTA 天线和点测方法,采样率选 574 MHz,时窗范围为 0~1 000 ns。

图 3 测线布置示意图

3 资料处理与异常推断解释

3.1 资料处理

运用欧洲经典物探软件 Reflexw 对采集的数据进行分析。数据处理流程如图 4 所示,最后输出雷达实时波形剖面。

图 4 数据处理流程

3.2 异常推断解释

在完整灰岩上雷达实时波形剖面反射波同相轴振幅较小,在溶洞上雷达实时波形剖面反射波同相轴振幅明显增大,且反射波同相轴的形态会发生变化。当溶洞规模相对其埋深较小,呈三度体形态,或岩溶为二度体形态。当雷达测线近于垂直其长轴方向时,雷达波形剖面反射波呈双曲线形态的绕射波特征。当岩溶规模较大时,雷达波形呈层状或不规则强反射特征。当遇到体积较大的溶洞(大于 2 m × 2 m × 2 m),溶洞内充填有水或充填物含水率较高时,雷达波被强烈吸收,振幅急剧衰减,出现速度陷阱。

4 应用实例

4.1 地层岩性

本次勘察查明,在钻探所达深度范围内,场地上部松散层除局部为第 4 系填筑土外(Q_4^{me}),均为第 4 系全新统冲积层(Q_4^{al}),下伏基岩为二叠系孤

峰组(P_1g),构造为角砾岩、硅质页岩和灰岩及少量粉砂岩,局部呈互层状.受构造影响,下伏基岩地层分布较零乱,详细见各桥墩桩位勘探资料.

4.2 地质构造

从大地构造位置来看,桥位区地处扬子准地台、下扬子台坳、沿江拱断褶带的安庆凹断褶束.区内褶皱构造主要为铜陵到贵池一带的“S”型复式褶皱,断裂构造中除发育与褶皱相伴生的断层外,燕山期形成的北东向断裂、南北向断裂、北西向断裂也很发育,长江的河道就是循这几组断裂而伸展.该区域第四纪以来新构造运动主要以振荡式差异升降运动为主.早更新世地壳相对稳定,并略有升降,末期发生不等量的上升运动;中更新世地壳表现为缓慢上升运动,末期地壳渐趋稳定;晚更新世早中期略有沉降,而末期则普遍略有上升,总体地壳趋向稳定;全新世早期地壳以沉降为主,中晚期略有抬升,地壳总体相对稳定.

4.3 地球物理特征

从物理性质来看,灰岩常表现为高阻(低导)和弱吸收,粘土表现为低阻(高导)和强吸收,粉砂和砂砾地层则介于两者之间.此外,水的介电常数高(阻止电磁波传播能力强),空气的介电常数低(阻止电磁波传播能力弱).由钻探揭露可知,溶洞内充填物为粘土,部分呈流塑状,溶洞与完整围岩的物性差异十分显著.影响雷达电磁波传播的主要物性参数是介质的相对介电常数和电导率,这主要决定于岩土层的含水率.本区具备地质雷达探测溶洞的地球物理前提条件.图5~图9为各剖面雷达图像.

图6 B剖面的雷达图像

图7 C剖面的雷达图像

图8 D剖面的雷达图像

图9 E剖面的雷达图像

图5 A剖面的雷达图像

结合地质雷达图像特征,得出的综合勘察结果表明,场地和地基稳定,适宜进行本工程的建

设.施工图圈定的4段(含水域)岩溶区岩溶、溶洞普遍发育,其中最发育区域主要有2段,分别是:里程K94+676.5~K94+721.5的10#、11#墩和K95+226.5~K95+298.5的27~30#墩,其溶洞发育具有以下特点:空间上溶洞规模大,深度大,呈串珠状,平面上分布呈蜂窝状,总体上为溶洞群,溶洞一般为未充填或半充填,少数为全充填,充填物为软塑状粘性土,钻探中漏水、漏浆严重,已探明的溶洞最大发育深度达77.6 m.例如左线29-1#桩,第四系覆盖层厚17.5 m,溶洞发育从18.0~77.60 m,呈串珠状,溶洞间岩层厚1.45 m,单洞最大高度达43.20 m,溶洞为充填状,充填物为软塑粘性土.左线29-2#桩,第四系覆盖层厚14.10 m,溶洞发育从14.20~71.85 m,呈串珠状,溶洞间岩层厚0.10~0.60 m,单洞最大高度达25.15 m,溶洞为充填状,充填物为软塑状或硬塑状粘性土.

5 结论

1) 理论与实践证实,探地雷达因其使用宽频带、短脉冲电磁波为震源,具有比其他的地球物理方法更高的分辨率,不但具有快速、非破损、经济等优点,而且还可形象地揭示溶蚀异常的空间展布形态,在岩溶地质勘察中能够取得较好的应用效果,适宜覆盖层较薄或裸露岩层,埋藏于地表以下20~30 m以上范围内的目标体的探测.

2) 在雷达剖面中,岩溶地质异常的波阻特征与围岩之间差异较大,从雷达剖面上不但可以识别如溶洞、溶沟或溶槽这样的单个目标体,而且对溶蚀现象也有不同的反映.

3) 对于岩溶探测来说,灰岩内部岩性不均匀或脉冲充填体,以及节理、裂隙、破碎带等结构面产生的反射波实际上构成了干扰异常波组.但必须注意的是这些结构面处往往又是岩溶发育带.这正决定了应用探地雷达进行岩溶探测的复杂性和困难性.

参考文献:

- [1] 李大心. 探地雷达方法及应用[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [2] 万志清,秦四清,祁生文. 桂林市岩溶塌陷及防治[J]. 工程地质学报,2001,9(2):199-203.
- [3] 葛双成,邵长云. 岩溶勘察中的探地雷达技术及应用[J]. 地球物理学进展,2005,20(2):476-481.
- [4] 刘增强. 利用探地雷达技术探测煤层露头区灰岩岩溶裂隙[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2002,21(4):96-98.
- [5] 戴前伟. 探地雷达在高速公路桥址溶洞探测中的应用[J]. 勘察科学技术,2002(4):61-63.
- [6] 朱德斌,邓世坤,覃建波. 探地雷达探测潜在喀斯特地面塌陷区的可行性研究[J]. 工程勘察,2005(5):65-68.

(责任编辑 陈松)