

探地雷达技术在探测边坡破碎带中的应用

邓居智¹ 刘庆成¹ 陈德明² 魏祥荣³

(1. 东华理工学院探测与信息技术系, 江西 抚州 344000; 2. 抚州市临川区电视台, 江西 抚州 344000; 3. 核工业二七零研究所遥感信息技术中心, 江西 南昌 330200)

摘要:探地雷达是利用高频电磁脉冲的反射对地下目标体及地质现象进行探测的一种高效浅层勘探方法, 随着电子技术和计算机技术的不断发展, 该技术的应用领域不断扩大。本文从探地雷达的基本原理出发, 结合在浙江省金丽温高速公路某段边坡探测的应用实例, 详细分析了破碎带的雷达图像特征。通过理论与实践的相互结合, 证实利用探地雷达进行边坡破碎带探测是科学可行的, 拓宽了该技术在岩土工程勘察中的应用, 进一步表明该技术具有较强的推广潜力。

关键词:探地雷达; 边坡; 破碎带; 岩土工程

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2251(2003)03-264-03

改革开放以来, 我国公路建设突飞猛进, 特别是进入21世纪后, 国家和各级地方政府投入了大量资金用于建设我国的高速公路。在我国南方山区和丘陵地区修建高速公路或铁路时, 经常会碰到边坡滑坡问题, 影响边坡稳定性的因素相当复杂, 总的讲可分为地质因素和非地质因素两大类。前者是滑坡发生的物质基础, 是内因; 后者为滑坡的发生提供了外部动力因素或触发条件, 是外因。岩石破碎带就是影响边坡稳定性的一个主要因素, 设计部门在设计边坡防护方案时, 如果仅仅依据为数不多的钻孔资料很难得出较好的防护方案, 他们更希望勘察单位能够提供边坡内有无破碎带以及破碎带的破碎程度。然而, 在边坡上进行勘察不仅地形陡滑而且地形变化较大, 常规的物探方法很难开展, 与其它物探方法相比, 探地雷达具有快捷、准确、分辨率高、图像直观以及受场地条件约束小的特点, 是探测边坡破碎带的有效方法之一, 本文拟对探地雷达技术在探测边坡破碎带中的应用进行探讨。

1 探地雷达基本原理

与探空或通讯雷达技术相类似, 探地雷达 (Ground Penetrating Radar, 简称 GPR) 也是依据高频电磁波在地下介质传播的理论, 以宽频带短脉冲电磁波经由地面的发射天线将其送入地下, 经地下

地层或异常体反射回地面后, 由接收天线接收其反射电磁波信号。通过对返回电磁波的时频特征和振幅特征进行分析, 便能了解到地下地质特征信息, 从而达到工程地质勘察的目的 (邓居智, 2001a; 2001b)。探地雷达工作时, 由地面通过天线 T 将高频电磁波以宽频带短脉冲形式送入地下, 经地下地层或目标体反射后返回地面, 为另一天线 R 所接收 (图1)。脉冲波行程需时: $t = \sqrt{4z^2 + x^2} / v$ 。当地下介质中的波速 v 为已知时, 可根据测到的精确的 t 值 (ns, $1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ s}$) 由上式求出反射体的深度 (m)。式中 x (m) 值在剖面探测中是固定的; v 值 (m/ns) 可以用宽角方式直接测量, 也可以根据 $v \approx c/\sqrt{\epsilon}$ 近似算出 (李大心, 1994; 王惠濂, 1993)。

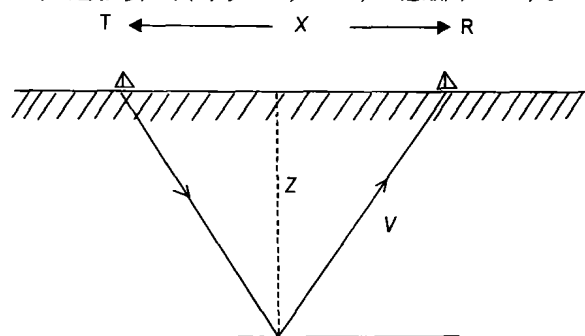


图1 雷达反射探测原理图

Fig. 1 Sketch map of reflect detecting principle

收稿日期: 2002-09-11

作者简介: 邓居智 (1973—), 男, 硕士, 主要从事工程与环境地球物理的教学与科研工作。

其中 c 为光速 ($c = 0.3 \text{ m/ns}$), 为地下介质的相对介电常数值。后者可利用经验数据或现场测量获得。

探地雷达在野外测量时,可采用剖面法(CDP)和宽角法(WARR)两种方式。通常采用前一种测量方式,这种方式测量时发射天线和接收天线以固定间距($TR = z = D$)沿探测线同步移动,记录点位于 TR 的中点。对于宽角法,采用一个天线固定,移动另一个天线的方式,或者两天线同时由一中心点向两侧反方向移动,此时记录的是由雷达波脉冲通过地下各个不同介质层的双程传播时间,它反映地下成层介质的速度分布,所以它常用来测定地下地层的雷达波传播速度。其图形是以天线间距为横坐标,双程走时为纵坐标,图形以同相轴呈倾斜形态显示,速度大者较缓,速度较小者较陡。

2 探地雷达用于破碎带探测的可行性

雷达波的穿透能力取决于介质的衰减系数 $\beta = 60\pi\sigma/\sqrt{\epsilon}$, 其值越小, 雷达波的穿透深度越大。由上式可知, β 值随介质的相对介电常数 ϵ 的增大而减少, 随介质电导率 σ 的增大而增大。由于使用了高频、宽频带、短脉冲和高速采样技术, 探地雷达的探测精度高于其他种类的地球物理勘探手段。同时, 探地雷达技术仍是一种地球物理方法, 能否有效地应用地球物理方法解决地质问题, 主要取决于该方法的地球物理前提存在与否, 即所要探测的目的体与其周围介质是否具有明显的物性差异(刘传孝, 2000)。对于利用探地雷达探测边坡破碎带, 关键在于破碎带与周围岩石之间是否存在明显的波阻抗差异。在完整岩石与破碎带接触界面的两侧, 由于破碎带内岩石的孔隙度和含水率均比完整岩石要大, 而孔隙度和含水率对介质的 σ 和 ϵ 均有较大影响, 这就造成接触带两侧存在一定的波阻抗差异, 致使电磁波在穿过界面进入破碎带内后其反射波能量增强、波形幅值增大, 穿过破碎岩层时视其胶结程度而使得波形比较杂乱。因此, 根据探地雷达的波形特征及相关地质资料, 可以判明破碎带的厚度以及它与完整岩石的界面。

3 雷达探测破碎带实例

3.1 测区概况

测区位于浙江省金丽温高速公路 17 标段 K81 + 650 ~ K82 + 000 范围内, 该段所处的构造单元属

华南褶皱系丽水—宁波隆起区, 路堑西侧为坡度陡倾的山体, 自然坡度 $35^\circ \sim 42^\circ$ 为主, 东侧为沟谷, 山间河流, 该路段为半挖半填路段, 最高处边坡高度约 50 m。边坡岩石为上侏罗统凝灰岩, 岩性单一, 表层风化较严重, 地层产状 $230^\circ \angle 40^\circ$ 。区域上有一走向北东向 ($NE37^\circ$) 断裂带和另一北东东向 ($NEE65^\circ$) 断裂带, 测区路段正好位于两条断裂的交汇处, 受其挤压影响, 西侧边坡岩石破碎。

3.2 参数选择

野外数据采集时采用美国“地球物理测量系统公司”生产的 SIR-2 型探地雷达, 使用主频为 20 MHz 的分离天线, 电磁波在该地区的传播速度取经验值 $v = 0.12 \text{ m/ns}$, 时窗 $W = 1\,000 \text{ ns}$, 采用点测方式, 收、发天线之间的距离为 2.5 m, 测量点距为 0.5 m, 数据采集时每个点进行 256 次迭加, 以补偿低频天线能量较弱的不足, 保证采集到有效的探地雷达信号以便进行正确的地质解释。

3.3 雷达探测成果

图 2 是该测区范围内的一条雷达探测图像, 从图中可以看出, 在双程时间为 550 ns 附近有一明显的分界面。在分界面以上, 雷达波波形杂乱且电磁波能量较强, 波形特征上表现为雷达波振幅较大, 这表明界面以上岩石较破碎; 而在分界面以下, 雷达波波形特征表现为有规律且振幅较弱, 表明在分界面以下的岩石较完整。为此, 取雷达波的传播速度 0.12 m/ns , 得出该测线上破碎岩石与完整岩石的分界面埋深大致为 32 m; 同时, 由图中还可以看

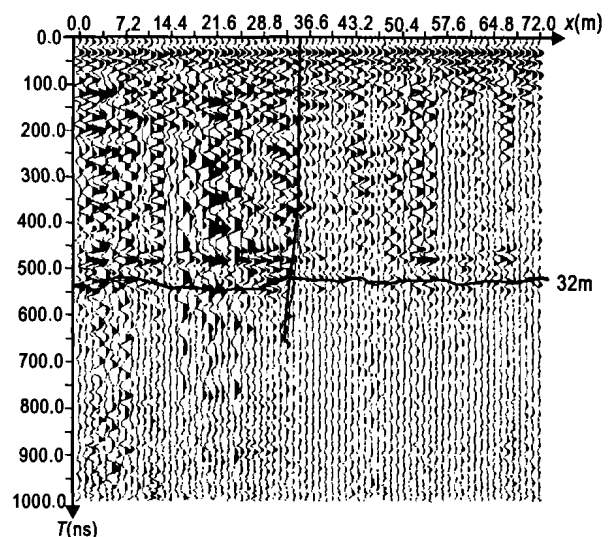


图2 雷达探测结果及其解释

Fig. 2 Detect result of GPR and its interpretation

到,以测线中部约 35 m 处为界,在其左侧雷达波形反射能量比其右侧的要强,这说明 35 m 左侧的上部岩石的破碎程度比 35 m 右侧的要强,依据此规律解释的雷达探测结果与钻孔资料非常吻合,这样不仅减少了大量的钻探工作量,还为设计部门进行边坡防护设计提供了重要依据。

4 结论

探地雷达是一种以电磁波理论为基础,高效、轻便、精确的地球物理勘探新手段,从文中的应用实例来看,在界面两侧存在波阻抗差异的情况下,利用探地雷达探测岩石破碎带可以取得较好的探测效果,综合本次研究,得出如下结论:

(1) 在 40 m 的探测深度范围内,利用探地雷达探测岩石破碎带可以保证足够的探测精度。

(2) 探地雷达为便携式设备,具有易于操作和抗干扰能力强等特点,适合在已被揭露的边坡上进行探测,通过研究和探测实例表明利用探地雷达探测边坡破碎带可以取得较好的效果,为今后解决类

似问题提供了新的思路。

(3) 影响边坡稳定性的因素较多,断裂破碎带仅为其中的一种,因此在设计边坡防护方案时不能只依靠雷达探测资料,还应综合其它物探、地质、岩土以及水文等资料。

本研究得到了浙江大学防灾工程研究所的帮助,在此表示感谢!

参考文献

- 邓居智. 2001. 探地雷达在岩溶探测中的应用[J]. 物探与化探, 25(6): 474 ~ 476.
- 邓居智. 2001. 探地雷达资料处理软件系统研究[D]. 华东地质学院.
- 李大心. 1994. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社.
- 刘传孝. 2000. 探地雷达方法应用于煤矿井下断层探测[J]. 工程地质学报, 3: 361 ~ 363.
- 王惠廉. 1993. 探地雷达概论[J]. 地球科学, 18(3): 249 ~ 256.

Application Research of GPR in Detecting Fracture Zone of Border Slope

DENG Ju-zhi¹, LIU Qing-cheng¹, CHEN De-ming², WEI Xiang-rong³

(1. Department of Detect and Information Technology, East China Institute of Technology, Fuzhou, JX 344000; 2. TV station of Linchuan, Fuzhou, JX 344000; 3. Sensing Information Technology center of 270 Research Institute, Nanchang, JX 330200)

Abstract: Ground penetrating radar is an effective shallow exploration method which use the reflection of high frequency electromagnetism pulse wave to detect the object and geologic phenomena under-ground. With the development of electron and computer technique, the application domain of this method is keeping enlarge. Based on the working principle of GPR and compbine with the application case in Zhe Jiang province, this paper analyzed the GPR image character of border slope. A conclusion is obtained that the ground penetrating radar is a scientific method to probe fracture zone via theory and practice. Moreover, the apply field of this method is developed in civil engineering.

Key Words: ground penetrating radar; border slope; fracture zone