

133

波形之间的差异。

3 探地雷达检测资料的分析与解释

3.1 块石铺盖层厚度的检测资料分析与解释

为了确定深圳湾滨海大道某一段块石铺盖层厚度,沿垂直于道路走向的方向布置雷达剖面,雷达测线间距为 20 m。图 1 所示为其中的一条雷达检测剖面的记录。图 1 中横座标为水平位置,从 5 m 起到 79 m 止,相当于被检测道路的路面宽度;左边纵座标代表雷达反射波的双程走时,以纳秒(ns)为单位;右边纵座标为深度,以米(m)为单位。深度是根据所测定的反射波的双程走时和地层介质的平均雷达波速度来确定的。根据实际测定,块石铺盖层的平均雷达波速度约为 0.095 m/ns。图 1 中右边深度轴所标刻度间隔不均匀,这是因为在作雷达反射剖面法测量时,发射与接收天线有一定距离(称为偏移距),在标定深度时,必须对发射天线与接收天线之间存在的偏移距所引起的深度偏差进行校正。

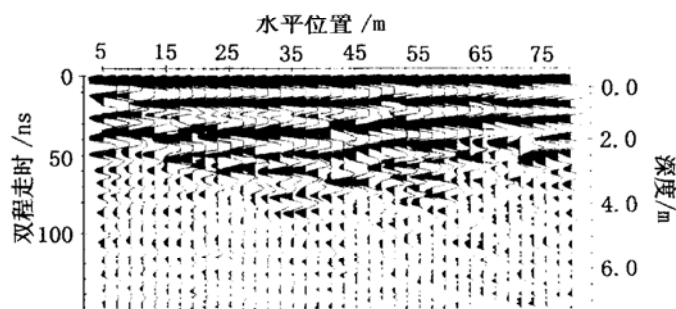


图 1 深圳湾滨海大道块石层厚度检测探地雷达记录

Fig. 1 GPR record of the detection for thickness of block stone layer

图 1 中近地表的两条水平同相轴为空气中的直达波(自空气中从发射天线直接收天线的波)和地面波(沿空气与地表介质之间的接触面传播的波)所形成的同相轴,二者在时间轴上的延续时间约为 20 ns。自 20 ns 以后的波形特征才能反映地下介质的结构特征。从图 1 中可以看出,剖面浅部的雷达波幅度高,深部幅度低,高幅度与低幅度波形分界明显。高幅度的雷达波为块石铺盖层中的反射,它反映了块石层的物性结构的不均一性程度大,块石层内电性差异显著的特点。剖面的波形特征显示剖面中部(30~60 m 之间)块石垫层厚度较大,平均厚度约为 3.5 m;剖面两端块石层厚度较小,平均厚度左端约为 2.6 m,右端约为 2.8 m。中部块石层厚度大,两侧厚度小的“锅底”形态特征与实际情况相符。因为在块石层铺垫过程中,先将石料填在中部,并将淤泥逐渐排挤到道路两侧,这样必然会导致中部块石层厚度大,两侧薄的特征出现。

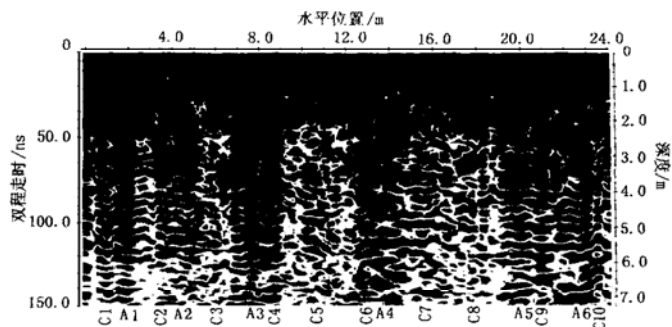
从图 1 中还可看出,浅部块石层中的反射波同相轴具有一定的连续性,且呈缓倾斜,这反映了在施工过程中所形成的块石层具有层理结构特征。在块石层与底部淤泥层的交界面上的雷达反射同相轴不连续,这反映出这一界面本身是一个很不规则的界面。深部淤泥层中的雷达波幅度明显偏低,波形同相轴近于水平,这反映了淤泥层介质物性均一,层理呈水平的特征。由于淤泥层电阻率低,对雷达波具有较强的衰减吸收作用,因此,雷达波在淤泥层中的穿透深度极为有限。

块石铺盖层厚度检测的其余各剖面的地质雷达记录具有基本相似的特征。

3.2 强夯块石墩质量检测资料的分析与解释

强夯块石墩的施工是在一定的已知厚度的块石铺盖层上进行的。设计上要求各块石墩中心点之间距是一定的。用地质雷达方法对强夯块石墩施工质量作检测时,可以各块石墩中心点连线作测线,采用反射剖面法进行测量。图 2 为深圳湾某工区的强夯块石墩质量检测的一条地质雷达剖面的图像。该剖面所用天线的中心频率为 100 MHz(此频率为分辨率与探测深度的折衷选择),测点距为 0.2 m,接收天线与发射天线距为 1.0 m。图 2 的底部 C1, C2, ..., C10 为测线所经过的块石墩中心点位置及墩的编号(即设计墩位);而 A1, A2, ..., A6 为雷达图像所反映出的地下空间存在的块石墩的实际位置及其编号。从图中可以看出,地质雷达图像对剖面所经过的各块石墩的空间分布与形态反映清晰。图像所显示的块石墩在水平方向的位置大致如下: A1 为 0.8~2.0 m; A2 为 3.3~5.2 m; A3 为 6.8~9.0 m; A4 为 12.6~14.4 m; A5 为 19.0~21.0 m; A6 为 21.2~23.5 m;从图 2 可以看出,实际施工墩位与设计墩位在空间位置上相差甚远,在 C1, C2, C3, C4 四个设计墩位处实际只存在三个墩; C5, C7, C8 三个墩缺失; C6 墩存在,即为 A4,位置略有偏移; C9, C10 墩也存在,即为 A5, A6 墩,这两个墩几乎连结在一块。设计要求每个墩的直径为 1 m,而雷达图像所反映出的墩宽平均为 1.8 m。由于地质雷达在探测过程中,接收天线与发射天线存在一定间距,加上测点距有限(为 0.2 m),雷达图像所反映的块石墩宽度可能会略大于其实际宽度。雷达图像所显示的各块石墩的垂向长为 6~7 m。墩长的标定是由块石的平均雷达波速与雷达波的双程走时确定的,此处所采用的波速为 0.095 m/ns,为块石层的波速,这一波速与块石墩墩身介质的平均雷达波速度会存在一定差异。这是因为墩身介质除了由块石构成以外,还可能夹有一定量的淤泥,地下水位以下的墩身介质空穴内充满水等,这些因素的影响会导致块石墩介质的平均雷达

波速度比浅部块石铺盖层内的雷达波速度要低^[3]。根据经验,二者之间的平均雷达波速度差异为15%~20%。因此,雷达图像所显示的墩身长度比实际长度要大些。根据钻探资料揭示,该区的淤泥层底板埋深在5 m左右,因此,根据雷达图像所显示的墩身长度可以判断,各块石墩已基本着底。此外,从图2的雷达图像还可以看出各块石墩墩身近于垂直;在墩与墩之间有杂乱反射波存在,这反映了各块石墩之间的淤泥内部有块石分布,这些块石是在夯击过程中被挤入夯击点位附近的淤泥中去的。图2中的雷达图像还显示该剖面所处位置浅部块石铺盖层厚度为2 m左右,这与实际铺垫块石层厚度相符。



C1, C2, ..., C10 为设计墩位及其编号;

A1, A2, ..., A6 为实际墩位及其编号

图2 深圳湾某工区强夯块石墩质量检测探地雷达图像

Fig. 2 GPR image of the quality supervision of block stone piles

4 几点认识与建议

探地雷达是一种高分辨率的现代地球物理探测技术,它具有很强的抗干扰能力和较高的现场测试效率。该技术用于深圳湾地区软基处理工程中的质量检测能准确快速地测定块石铺盖层厚度;该方法用于强夯块石墩质量检测,可以较好地确定块石墩的形态及空间分布,有效地测定墩身长度,了解块石墩的着底情况。因此,探地雷达技术是类似的软基处理工程中质量检测的一种快捷的,有效的手段,值得推广。

在现场检测过程中,中心频率为100 MHz的天线既具有理想的分辨能力,又能得到合适的探测深度。因此,该种频率的天线是这类质检工作的最佳天线。就现场测试条件而言,要求测线两端及其附近一定范围内无施工机械设备存在;同时要求测线所在位置平坦,无杂乱块石堆积,只有这样才能避免地表物体所形成的侧面反射的干扰,获得高质量的检测资料。当检测强夯块石墩的质量时,必须采用过墩位中心点联线的反射剖面法进行测量,只有这样才能获得过墩位中心点联线的切面图。测点距以0.2 m为宜;选用0.1 m或更小的测点距会得到分辨率更高的雷达图像,但

检测工作量也会成倍增加。天线距以1.0 m或0.8 m,0.6 m为宜。

在块石墩质量检测方面有人提出采用“环形测量”法,笔者在深圳湾工地的强夯块石墩质量检测过程中也试过这种方法。所谓“环形测量”法就是在现场测试过程中以设计墩位为中心,在一定半径的圆环上以不同的方位摆放天线进行测量。笔者认为这种测试方法无可取之处。首先,“环形测量”法的不合理之处在于该方法将设计墩位当成实际墩位。根据本文前面所述的过墩位中心点联线的反射剖面法的检测结果可知设计的块石墩与强夯施工后实际存在的块石墩在空间位置上往往相差甚远,有的设计墩位上实际并无块石墩存在;其次,“环形测量”法在现场实施起来很不方便,较费时间,其所获得的检测资料也很不直观。因此,笔者建议在作强夯块石墩质检时,不必作“环形测量”。如有必要,可在相互垂直的两个方向上过墩中心点联线作反射剖面法测量,两个方向上的检测资料互相参照可为块石墩的质量评价提供更全面的信息。

最后一点是关于块石墩质检时墩身介质的平均雷达波速问题。墩身介质的平均波速难以直接测定。已经标定不含水块石层的平均雷达波速度为0.095 m/ns;当块石层含水时,随着含水率的增加,其平均雷达波速度下降。块石墩内含水率及淤泥含量的变化以及这些因素对雷达波速度的影响是一个比较复杂的问题^[4]。在有条件的工区,可以采取钻探手段对块石墩的平均波速进行标定。若条件不允许,可以对雷达波速度作适当估计。根据经验,当块石层中含水夹淤泥时,其波速可降低15%~20%,以此为依据,并结合工区地下水位深度对波速作适当估计,这样可以将块石墩的平均雷达波速度误差控制在较小范围内。

本文的检测资料是作者在深圳市深勘基础工程有限公司作探地雷达技术用于软基处理工程质量检测的培训工作时取得的。此项工作得到了该公司的黄汉盛工程师,卢道雄工程师及其他一些同志的大力支持与协助。在此一并致以衷心谢意。

参 考 文 献

- 1 邓世坤,王惠濂. 钱塘江护堤抛石铺盖的探地雷达试验. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(3): 344~351
- 2 黄南晖. 地质雷达探测的波场分析. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(3): 294~302
- 3 Timo Saarenketo. Electrical properties of water in clay and silty soils. Journal of Applied geophysics, 1998, 40(1~3): 73~88
- 4 Daniels D J. Surface-Penetrating radar. England: Short Run Press Ltd, Exeter, 1996