

瞬态瑞利波法在检测填筑材料干密度中的应用

刘超英, 梁国钱, 孙伯永

(浙江省水利水电河口海岸研究设计院, 浙江 杭州 310020)

摘要 介绍了瞬态瑞利波法检测填筑材料干密度的基本原理, 以瞬态瑞利波法在西险大塘加固工程套井填筑粘土防渗墙回填材料干密度检测中的应用为实例, 介绍了瞬态瑞利波检测填筑材料干密度的方法. 检测结果表明, 该检测方法具有速度快、方便、经济、准确等特点.

关键词 瞬态瑞利波法; 填筑材料; 干密度; 对比试验; 无损检测

中图分类号: TV223.4⁺3

文献标识码: B

文章编号: 1006-764X(2002)07-0063-02

东苕溪防洪工程西险大塘加固工程套井填筑粘土防渗墙, 墙顶距堤顶 0.60 m 左右, 套井深 8 m, 直径 1.20 m, 套井排数为 2 排. 防渗墙填筑材料为黄粘土. 防渗墙粘土土工试验的主要物理力学指标为: 干密度 $1.53 \sim 1.68 \text{ g/cm}^3$, 含水量 $22.2\% \sim 23.5\%$, 渗透系数 $3.24 \times 10^{-6} \sim 1.04 \times 10^{-6}$.

为了保证堤防工程的安全, 套井填筑粘土防渗墙的质量是十分重要的. 而评价套井填筑粘土防渗墙的重要指标之一为回填土料的干密度. 该指标以往主要采用钻探取样和常见的土工试验方法, 对防渗墙墙体有或多或少的破坏^[1], 为此, 发展一种现场原位无破损的检测方法是非常有意义的. 我们结合西险大塘加固工程套井填筑粘土防渗墙质量检测, 开展了瞬态瑞利波法在防渗墙回填土料干密度检测中的应用研究. 检测实践表明选用该项检测技术具有快速、无损、经济、准确等特点, 并可以推广到大坝、堤防、水闸等水利工程中填筑材料干密度的检测.

1 检测方法的基本原理

运用瞬态瑞利波法检测填筑材料干密度主要是通过现场对填筑材料进行瞬态瑞利波测试, 利用瑞利波波速的频散特性和瑞利波传播速度与介质密度的相关性计算干密度. 前者根据实测频散曲线划分层位, 并计算出各层的速度值. 后者则是利用已求得的各层瑞利波速度值与介质干密度的相关性关系计算介质各层的干密度.

1.1 瞬态瑞利波法原理

瞬态瑞利波法检测原理是在地面上产生一瞬时冲击力, 以此产生一定频率范围的瑞利波, 不同频率

的瑞利波叠加在一起, 以脉冲的形式向前传播, 由距震源一定距离的多道检波器接收. 经信号采集、仪器记录, 利用瑞利波处理软件对所记录的瑞利波信号, 在时间域开窗提取和 F-K 域进行瑞利波提取, 把各个频率的瑞利波分离出来, 从而获得瑞利波速度随深度的变化曲线, 即瑞利波频散曲线. 频散曲线的变化规律与地下地质条件存在着内在联系, 通过对频散曲线进行解释, 可获得地下某一深度范围内的地质构造情况和不同深度的瑞利波速度值, 而瑞利波速度值的大小与介质的物理特性有关, 据此可对岩石的物理性质做出评价^[2].

1.2 瑞利波速度与介质密度相关关系的建立

利用瑞利波传播速度计算填筑材料的密度, 首先是运用如下公式^[3]:

$$v_R = (0.92 \sim 0.95) \sqrt{G/\rho} \quad (1)$$

式中: v_R 为瑞利波速度, m/s; G 为剪切模量, Pa; ρ 为密度, kg/m^3 . 分析式(1), 似乎是当密度 ρ 增大时, 波速 v_R 应降低, 其实不然, 因为对于土体介质, 密度 ρ 是介质孔隙度的函数, 孔隙度减小, 密度 ρ 增大; 同时, 剪切模量 G 也将增大, 且 G 增大速度要比 ρ 的增大快得多, 结果导致 ρ 增大, 波速 v_R 也相应增加. 因此可以对特定的介质建立 v_R 与 ρ 的相关关系式.

国内外的大量试验研究已证明^[4], ρ 与 v_R 间的相关关系可用下列幂函数的形式表示:

$$\rho = A v_R^B \quad (2)$$

2 检测方法

2.1 瞬态瑞利波测试及处理

运用 SWS-1G 型工程勘探与检测系统对西险大

塘加固工程套井填筑粘土防渗墙进行瞬态瑞利波检测.在朝背水坡一排防渗墙中心线上布置测线.道距为1 m,偏移距为5 m.在实测工作中,把检波器对称埋置在检测点的两侧,震源点和检波器排列在一条直线上.检波器频率为4 Hz,震源采用18磅大铁锤.仪器主要工作参数为:采集道数为12道,采样间隔为0.5 ms,采样点数为1024点,通频带宽为全通.瞬态瑞利波测试系统由震源、检波器、信号传输线、SWS-1G型面波仪组成.系统布置见图1.

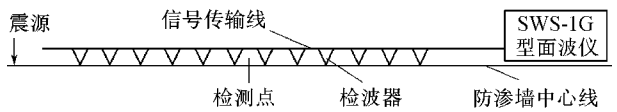


图1 瞬态瑞利波检测系统布置示意图

利用瑞利波处理软件对现场所记录的瑞利波信号在时间域开窗提取和F-K域进行瑞利波提取,把各个频率的瑞利波分离开来,从而获得瑞利波速度随深度的变化曲线,即瑞利波频散曲线.利用实测的各测点的频散曲线进行层位划分,并计算出各测点的各层瑞利波速度值 v_R .

瞬态瑞利波测试数据处理流程示意图见图2.

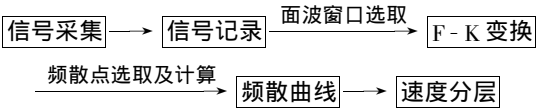


图2 瑞利波测试数据处理流程示意图

2.2 瑞利波速度与回填土料干密度相关关系的建立
在现场所进行的瑞利波检测点中选取4个点进行造孔取样,在室内做干密度试验.对介质各层瑞利波速度值与干密度值(ρ_d)进行对比分析,运用线性回归建立了 v_R 与 ρ_d 相关关系.回归分析建立 v_R 与 ρ_d 相关关系的原始数据见图3.对于桩号36+250~36+350段套井填筑粘土防渗墙回填土料建立的 v_R 与 ρ_d 的关系式如下:

$$\rho_d = 0.582 v_R^{0.189} \tag{3}$$

式(3)相关系数为0.92,由式(3)可知,实测出 v_R 就可以换算出干密度 ρ_d .

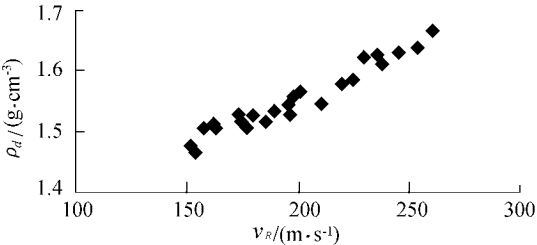


图3 回归分析建立 v_R 与 ρ_d 相关关系的原始数据

3 检测结果及分析

通过对现场采集的数据进行处理,获得了各测

点的瑞利波频散曲线.其中36+255测点瑞利波频散曲线见图4.

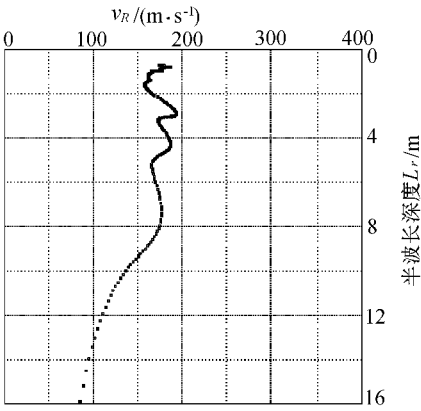


图4 36+255测点瑞利波频散曲线

根据各测点的频散曲线进行速度分层,计算出各层 v_R 值,然后根据所建立的 v_R 与 ρ_d 的相关关系,计算出各检测点各层介质的干密度.其中36+255和36+330测点各层介质瑞利波波速及干密度计算结果分别见表1和表2.

表1 36+255测点各层瑞利波速度及干密度计算结果

层位	层厚/m	层底埋深/m	瑞利波波速 $v_R/(m \cdot s^{-1})$	干密度 $\rho_d/(g \cdot cm^{-3})$
1	0.71	0.71	177	1.543
2	1.02	1.73	148	1.492
3	1.30	3.03	220	1.607
4	1.68	4.71	164	1.522
5	3.98	8.69	152	1.500

表2 36+330测点各层瑞利波速度及干密度计算结果

层位	层厚/m	层底埋深/m	瑞利波波速 $v_R/(m \cdot s^{-1})$	干密度 $\rho_d/(g \cdot cm^{-3})$
1	0.75	0.75	156	1.507
2	0.98	1.73	163	1.520
3	2.01	3.74	261	1.660
4	1.77	5.51	216	1.602
5	1.76	7.27	196	1.572
6	1.51	8.78	127	1.469

计算结果表明,西险大塘加固工程套井填筑粘土防渗墙回填土料各测点各层介质的干密度值范围为1.370~1.677 g/cm³,平均值为1.551 g/cm³,大多数层位干密度值在1.500 g/cm³以上,只有少数层位在1.500 g/cm³以下.西险大塘加固工程套井填筑粘土防渗墙回填土料干密度值设计要求控制在1.500 g/cm³以上,瞬态瑞利波法检测回填土料干密度值结果合格率为94.5%.

4 结 语

西险大塘加固工程套井填筑粘土防渗墙回填材料干密度检测结果为回填土料干密度值基本满足设计要求,少数干密度值较低,不能满足设计要求.

(下转第74页)

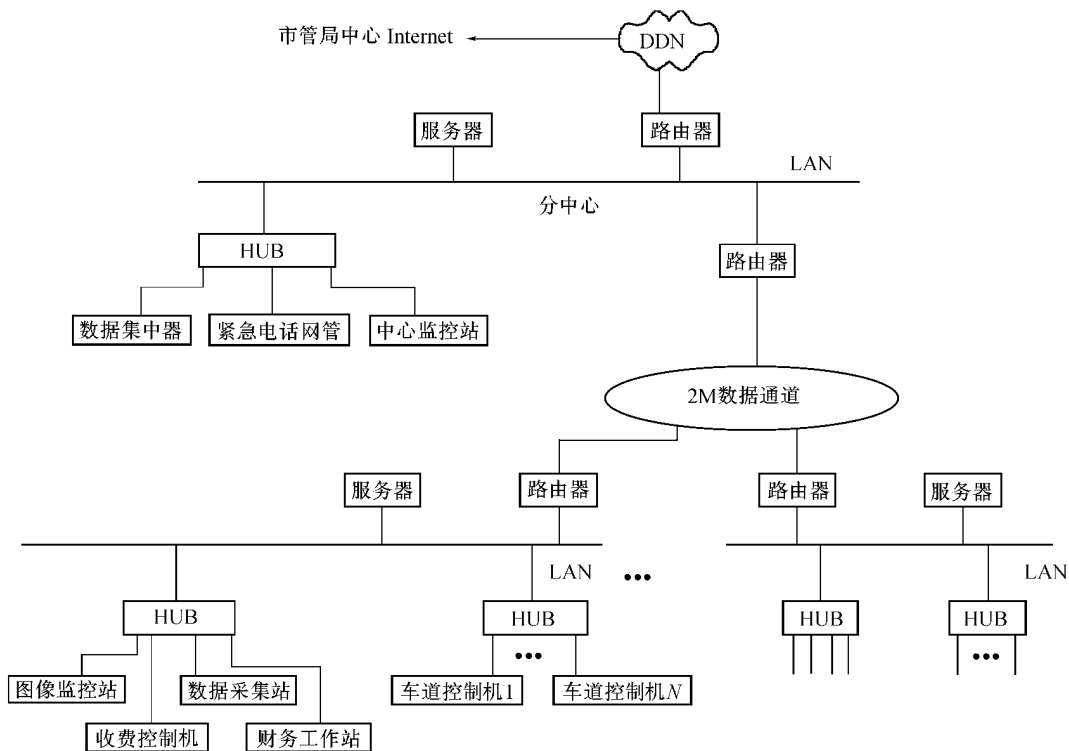


图 3 高速公路计算机网络结构

1.3 分布式高速公路信息控制系统网络结构

如图 3 所示,分布式 DEICS 网络分为 3 个层次:最低层为每个收费站局域网 LAN,既实现站一级信息控制,又接收并执行上一级的信息命令,同时监测各采集设备,收集数据并上传;中间层为管理分中心层次,它是整个高速公路的控制中心,执行所有的信息控制功能;处于最上层的高速公路管理局中心,执行宏观管理和监督分中心的工作,通过可视电话系统观看各站点图像,通过 Internet 查看、查询高速公路工作情况和信息传达等。

2 EICS 的关键发展技术展望

EICS 目前采用相关学科前沿和先进的技术,自动化水平较高,但在以下一些技术方面,仍需发展加以完善:①车型自动分类;②摄像机的视野;③车前端车牌的拍摄;④图像压缩;⑤通信宽带;⑥车辆检测器灵敏度、可靠性;⑦数据信息抽取、自学习和推理规则智能化;⑧图像识别与理解等。

目前研究热点之一的图像理解技术是对高速公路进一步实现自动化、智能化关键的技术领域。它是一门研究用计算机系统分析和解释图像,实现类似人类视觉系统理解外部世界的学科。如果这门学科充分发展,可以应用于高速公路车流量和车辆管理系统中,实现取代车辆检测器对车流量、车速准确测定乃至字符(如车牌)智能识别,另外利用图像理解技术进行图像压缩,可以保证信息完备,同时也大大降低了对通信带宽的要求。

另外,正在发展的新型宽带网络通信技术、分布式数据库、高性能新型传感器、信息抽取技术、知识管理理论和神经网络学习算法等相关学科,能进一步完成对高速公路大量、复杂的信息进行采集、传输、分类抽取、自学习和推理规则智能化工作,完成智能控制。

(收稿日期 2002-03-22 编辑:马敏峰)

(上接第 64 页)

检测填筑材料干密度理论分析及实际应用表明,通过检测各层介质瑞利波速度与现场取样、室内干密度试验结果进行对比分析,以建立瑞利波波速与干密度的相关关系,从而可实现对填筑材料干密度值的普测。该法有着充分理论依据,实践证明也完全是可行的。

尽管目前采用瞬态瑞利波测试技术检测填筑材料干密度尚处于研究开发阶段,但它的技术与经济优势是十分明显的,该法在工程质量无损检测中具有快速、方便、无损、经济、准确等特点,具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 牛运光.土坝安全与加固[M].北京:中国水利水电出版社,1998.206~208.
- [2] 王兴泰.工程与环境物探新方法新技术[M].北京:地质出版社,1996.
- [3] 吴世明.土介质中的波[M].北京:科学出版社,1997.135~215.
- [4] 杨成林,时福荣,李从信,等.应用瑞利波等方法对公路质量进行无损检测[J].物探与化探,1996(2):104~115.

(收稿日期 2002-03-27 编辑:熊水斌)