

综合物探方法在检测桥墩及墩基础中的应用^①

何继善 柳建新

(中南工业大学资源环境与建筑工程学院, 长沙 410083)

摘 要 详细介绍了在检测深圳罗湖铁路桥桥墩材质和墩基础检测中使用的几种工程物探方法, 总结了这些方法的应用经验和体会, 说明了在一些工程检测中使用综合物探方法可以取得较好的应用效果。

关键词 桥墩 墩基础 超声检测 工程地震 拾震器

中图法分类号 P631

近年来无损检测技术发展非常迅速, 其应用领域也在不断拓广^[1], 本文介绍了作者在深圳罗湖铁路桥桥墩及桥基检测中应用综合地球物理方法进行无损检测的经验与体会。

深圳罗湖铁路桥启用于 1904 年^[2], 桥身为钢架结构, 有南、北两个各长 12 m、宽 2.1 m 的桥墩。从外部看, 桥墩由红砖砌成, 内部是否含有别的材质, 尚无资料可查。北墩(深圳侧)处于深圳河床的一级台阶之上, 北面距河岸约 2 m, 南面距河水约 3 m, 平时为一旱墩。南墩(香港侧)南面下部与南河岸相连, 北面下部浸入水中, 其顶面到承台表面的高度约 4.5 m。为了查明桥墩内部材质及是否出现裂痕等情况, 进而判断深圳河治理工程是否对其产生影响, 应深圳河治理办公室的邀请, 我们于 1996 年 4 月对其进行了检测。由于所有的检测工作必须保证在不影响铁路的正常运行、不会给桥墩和桥基造成损伤、不能危及铁路的运行安全的前提下进行, 对此我们在检测时采取了无损探测方法与技术。

1 探测方法与技术

1.1 探测方法

为了解决以上问题, 我们采用了多种物理

检测方法。工作中投入的方法有超声波透射法和工程地震法两大类, 其中工程地震法又包含反射波法、透射波法、水下及地下反射波法、瑞利波法等。

1.1.1 工程地震法的原理与应用

此次检测工作采用的工程地震法就其本质而言可以称为应力波透射法、反射法。其原理是: 通过锤击被测物体的某一表面, 使之产生应力波, 此波在传播到被测物体的相对表面的过程中会发生透射和反射。若用速度(或加速度)拾震器, 在相对面接收、记录其透射应力波, 研究其到达时间和波形特征^[3]以查明被测物体内部情况的检测方法便称为透射波法; 若将拾震器置于锤击点附近, 以接收、记录初始震动波及被测物体界面的反射波, 根据其到达时间和波形特征推断反射面的位置及性质, 进而查明被测物体内部情况的检测方法则称为反射波法^[4, 5]。水下、地下反射波法与一般反射波法的不同之处在于激振和接收位置均位于水下或地下被测物体的某一表面。

此次工程地震法的工作示意图见图 1。

1.1.2 超声波透射法原理与应用

超声波透射法的基本原理是用发送换能器从被测物体的某一表面向其体内发送超声波, 用接收换能器在相对表面接收所发送的超声

① 收稿日期: 1999-03-16 何继善, 男, 教授, 中国工程院院士

波, 计算分析所接收超声波的到达时间和振幅的变化规律^[6], 从而了解被测物体内部的均匀性、缺陷的性质和存在部位, 其工作示意图见图 2。

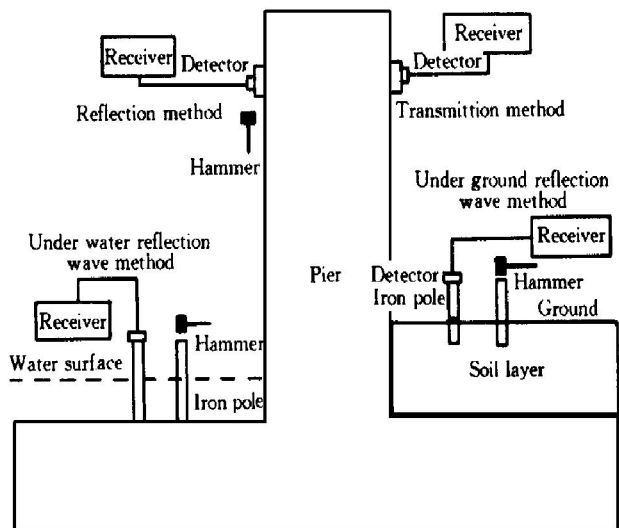


图 1 工程地震法检测示意图

Fig. 1 Sketch of engineering seismic method

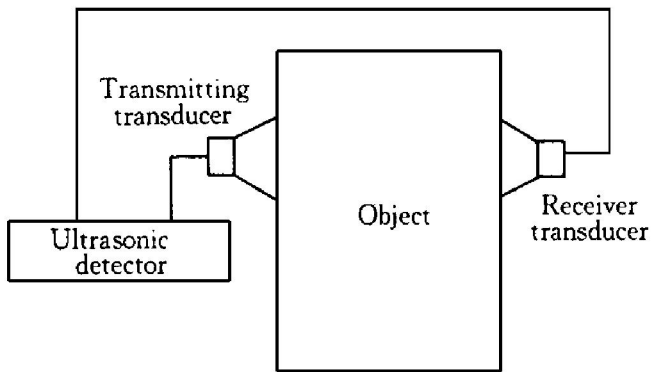


图 2 超声波法检测示意图

Fig. 2 Sketch of ultrasonic method

1. 1. 3 瑞利波法原理与应用

瑞利波法是利用瑞利波 (面波) 在地下不均匀介质中传播的频散效应对物体进行探测的一种物理方法。当我们锤击地面时会产生各种频率的应力波, 其中频率较高的波集中在地表浅部, 而频率较低的波逐渐向深部穿透。一般认为各种波的穿透深度为其波长的 $1/2$ 。故我们在工作中将两个拾震器安放于地表并逐渐改变其间距 D 和激震距 L , 记录锤击波的波形, 通过计算互功率振幅谱和相位谱, 就可以获得振动波的主频和相位差, 从而获得该主频的相

速度及探测的深度, 进而了解该处地层的情况。其工作示意图见图 3。

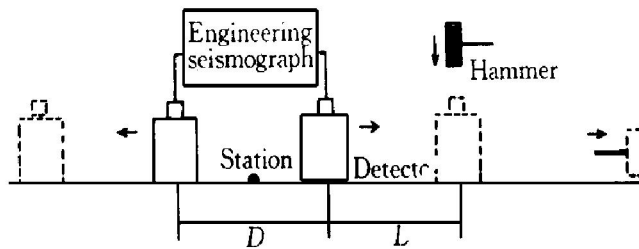


图 3 瑞雷波法检测示意图

Fig. 3 Sketch of R-wave method

1. 2 探测技术

测线测点布置见图 4 和图 5。北墩的线距为 $0.75 \sim 0.8 \text{ m}$, 基本点距 0.4 m 。南墩线距为 $0.75 \sim 1 \text{ m}$, 基本点距 0.8 m 。由于受场地的限制, 超声波法和瑞利波法仅在北墩布置了一些工作。

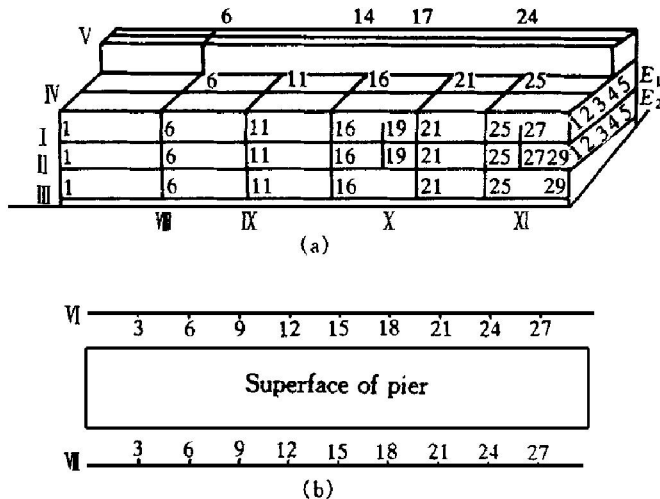


图 4 罗湖铁路桥北墩检测工作布置图

Fig. 4 Survey of north pier of Luohu Railway Bridge

1. 2. 1 工程地震法和瑞利波法

工作中使用的仪器为中国科学院声学所研制的 SL- II 和 SL- IV 型振动测试分析仪, 拾震器是清华大学附属仪器厂生产的 XZ- 4 型速度传感器。采样频率为 20 kHz (SL- II)、 100 kHz (SL- IV), 触发电平为 1000 mV , 采样点数 2000 , 数据处理点数 1000 。速度传感器的灵敏度为 $200 \text{ mV} / (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$, 进行瑞利波检测时将该仪器的工作方式选为 C。为确保

检测质量，每个测点均读取三次波形相同的数据。

1. 2. 2 超声波法

超声波法主要布置在北墩的南、北两个侧面，测线与工程地震法的Ⅰ，Ⅱ，Ⅷ，Ⅸ，Ⅹ和Ⅺ线重合。

工作中采用的仪器是汕头超声电子集团公司超声仪器厂生产的 CTS- 45 型非金属超声波检测分析仪及配套的 25 kHz, 12. 5 kHz 的换能器，该仪器具有自动读取首波到达声时及声幅的功能，最小声时分分辨率为 0. 1 μs，最小声幅分辨率为 0. 1 dB。工作中使用的采样频率为 2000kHz，并使用 2 次 3 点滤波的方式消除随机干扰，每个测点均读取 3 次波形相同的数据。

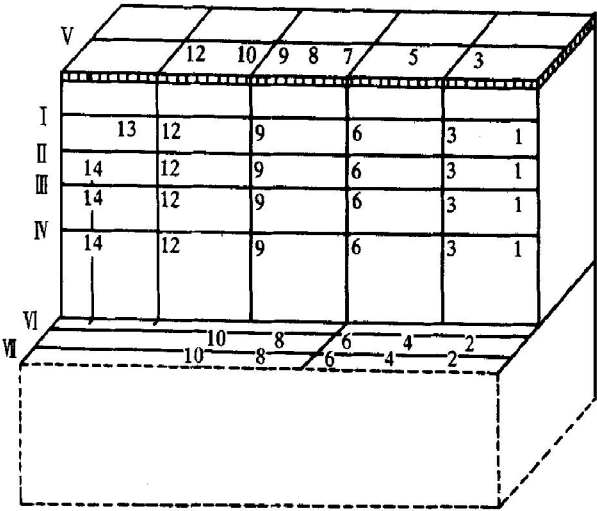


图5 罗湖铁路桥南墩检测工作布置图
Fig. 5 Survey of south pier of Luohu Railway Bridge

2 检测结果与解释

由于在南、北两墩所使用的检测方法基本相同，因此本文仅分析北墩的检测结果。

在北墩我们采用了上述各种检测方法，工程地震中的透射波法主要用来确定桥墩长、短轴方向上的平均波速，反射波法用于发现和确定墩内可能存在的波阻抗界面和缺陷位置，超声波透射法用于精确地确定纵波速度与发现可

能存在的缺陷。表 1 为该墩不同方法测出的纵波速度统计结果^[7, 8]，图 6 为超声波检测的声幅与波速曲线。

表 1 北墩纵波速度统计表

Table 1 Statistic results of average velocity of compressional wave on north pier								
Line No.	St. No.	Transmission Wave Method		Reflection Wave Method		Ultrasonic Method		
		Average Velocity / (m·s ⁻¹)	Deviation ratio	Average Velocity / (m·s ⁻¹)	Deviation ratio	Average Velocity / (m·s ⁻¹)	Deviation ratio	
I	29	2 754	0. 036	2 717	0. 04	2 734	0. 02	
II	29	2 677	0. 02	2 702	0. 01	2 710	0. 012	
III	29			2 712	0. 01	2 730	0. 03	
Ⅷ-Ⅺ	16	2 816	0. 05			2 724	0. 01	
E1, E2	10	2 706	0. 029					
Red Brick wall	33			2 711	0. 01			
Concrete	16	4 410	0. 012					

超声波法检测的直接参量为首波声时 T 和首波振幅 (dB)，间接参量声速 V_s 可通过下式得到：

$$V_s = \frac{1}{T_1} = \frac{L}{T - T_0}$$

式中 T_0 称为零时，它是仪器和换能器的固有常数，可预先通过测试得到。

应用超声波探测结果解释墩体内部可能存在的缺陷的方法详见参考文献 [9]。该文作者首次提出了用超声波判断被测物体各类缺陷的定性定量推断公式，并已编出自动推断程序，这不仅大大地推动了国内外超声波透射法对桩身缺陷的检测和自动推断的研究，还可推广到各类混凝土建筑物或构筑物的检测。本次超声波检测资料的解释就利用了该文作者的一些早期研究成果。

从表中可以看出，各测线波速的离差系数均不大于 0. 05，有些还小于 0. 01。这说明墩体材质的均匀性很好，不存在明显的缺陷。

透射波法平行短轴和平行长轴观测时得到的平均波速基本接近，前者的总平均值为 2 715. 5 m/s，后者则为 2 706 m/s，两者相差仅 9 m/s，远小于仪器对波速的观测误差，因此可以认为两者的实际波速是一致的。这一结论充分表明桥墩是由红砖砌成。假设红砖只是桥

墩的外围,其内部为其它材料(如混凝土,该桥墙垛混凝土波速为 4410 m/s),则红砖在长、短轴方向所占的比例相差很大,故在两个方向测得的波速也应有较大的差别。只有在内部材料的波速和外围红砖的波速基本一致时才有可能获得上述结果。

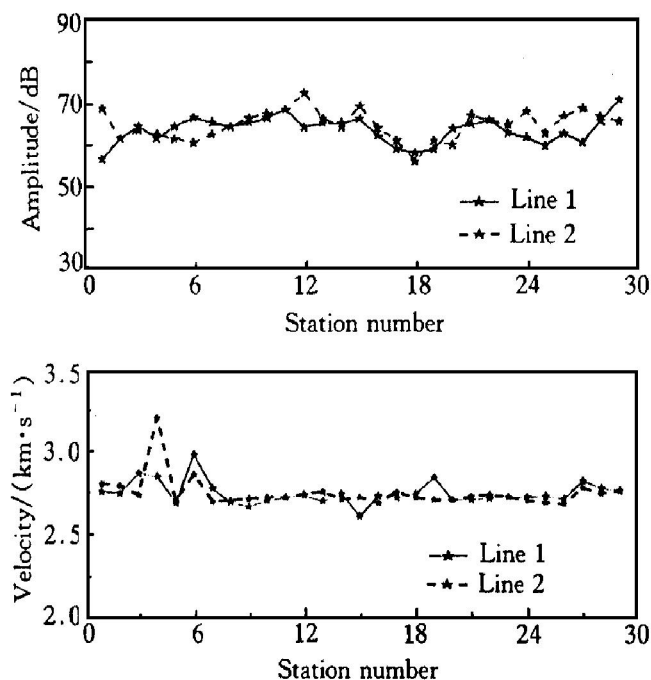


图6 北墩1、2线超声波检测声幅与声速曲线

Fig. 6 Amplitude and velocity curve of ultrasonic testing of line 1 and line 2 in north pier

从图中可以看出各测线超声波的波速曲线比较平直,说明墩体材质均匀,无明显缺陷。

分析各测点的振动曲线图和波谱曲线图^[10]可知,除个别点由于局部不均匀引起的畸变外,绝大部分振动曲线,在对面反射波未到达之前无波形畸变,未发现具有成线或成片的曲线畸变为特征的裂隙性缺陷。

桥墩顶部的反射曲线都在 6.8 ms 、 11.35 ms 处出现同相反射波和反相反射波。按墩体平均波速计算,前者处在地面以下 6.54 m 处,为墩的承台底(或称污工砌体)与土层的界面反射,后者为处在地面以下 11.87 m 处的基岩顶面的反射。

在北墩南、北两侧地面所作的地下反射波

和瑞利波法所得到的结果基本一致。

3 结论

(1) 罗湖铁路桥桥墩为红砖砌成,且均匀性很好,红砖的纵波速度为 2700 m/s ,按一般经验公式计算,其抗压强度参考值为 15.5 MPa 。

(2) 不同方法所测得的纵波波速基本一致,说明此次工作所应用的不同方法观测的数据具有很好的可比性。因此在一些工程检测中应用多种方法不仅可以取得较好的效果,还能起到相互验证的目的。

(3) 墩顶面和地下、水下反射波法检测结果表明:自墩顶到墩的承台底部的高度约 9.3 m ,其间无明显的反射面存在,说明墩体无水平方向的裂缝;自墩顶到墩的承台底部的高度约 14.5 m 处为基岩顶面,其间土层比较均匀,无软弱地层,说明墩基础较稳定。考虑到桥墩承台底面在桥墩顶面 9.3 m 以下,即当时深圳河的正常水位面下约 5 m 处,处于深圳河治理河床以下,加上基岩和中间持力层稳定性好,我们认为深圳河治理工程对桥墩基础不会造成影响。

REFERENCES

- 1 Chen Jimao (陈积懋). Nondestructive Testing (无损检测), 1998, 7: 181.
- 2 Liu Jianxin (柳建新) *et al.* Report on Non-destructive Detecting Piers of Luohu Railway Bridge in Shenzhen (深圳罗湖铁路桥桥墩无损检测报告), 1996.
- 3 Wang Shijie (王士杰). Geotechnical Investigation and Surveying (工程勘察), 1999, 1: 13.
- 4 Wang Qingyu (王清玉). Geotechnical Investigation and Surveying (工程勘察), 1995, 1: 72.
- 5 Geng Guangxu (耿光旭). Geotechnical Investigation and Surveying (工程勘察), 1994, 4: 64.
- 6 Chen Rugui (陈如桂) *et al.* Geotechnical Investigation and Surveying (工程勘察), 1997, 5: 148.
- 7 Wang Bo (王波). Journal of Vibration, Measure-

- ment & Diagnosis (振动及其测试与识别学报), 1991, 9: 30.
- 8 Zhang Azhou (张阿舟) *et al.* Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis (振动及其测试与识别学报), 1991, 3: 1.
- 9 Xie Zuoji (谢祚济), Li Chaoqun (黎超群) and Xie Yi (谢毅). Nondestructive Testing (无损检测), 1998, 7: 189.
- 10 Liu Jianxin (柳建新) *et al.* The Curve of Report on Nondestructive Detecting Piers of Luohu Railway Bridge in Shenzhen (深圳罗湖铁路桥桥墩无损检测报告图集). 1996.

APPLICATION OF MULTIPLE GEOPHYSICAL METHODS IN NON-DESTRUCTIVE DETECTING

He Jishan and Liu Jianxin

*College of Resources, Environment and Civil Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China*

ABSTRACT A few of engineering geophysical methods were introduced, which have been used in non-destructive detecting of piers and basement of Luohu Railway Bridge in Shenzhen. It was summarized that the experiences about the application of these geophysical methods. It was also explained that multiple geophysical methods can get better result in geotechnical investigation and surveying.

Key words pier basement of pier ultrasonic testing engineering seismic detector

(编辑 何学锋)