

弹性波频谱分析对比法检测浆砌片石挡墙质量

钟 世 航

(铁道科学研究院 北京 100081)

摘 要 :大量的浆砌片石挡墙需要做快速质量检测 ,作者比较了弹性波速、瑞利面波和弹性波频谱分析 3 种方法后 ,认为后者分辨率高 ,方法简单 ,并做了几百个点的实测 ,获得成功。

关键词 :铁路浆砌片石挡墙 ;质量检测 ;频谱分析 ;弹性波

中图分类号 :P631.4 文献标识码 :A 文章编号 :1000 - 8918(2002)03 - 0236 - 04

用水泥砂浆将片石粘结而构成的浆砌片石挡墙 ,是铁路和公路边坡支挡的重要圬工工程 ,许多高填路基也用重力式浆砌片石路肩挡墙支挡 ,中间填土石而构成。由于建造浆砌片石挡墙技术不复杂 ,沿线路工作量较大 ,往往采用民工队包工承建的办法 ,这就使得挡墙质量很不稳定。不同的承建队建筑的挡墙质量相差甚远。而挡墙是隐蔽工程 ,其外表面一般都被修筑得整齐美观 ,验收时难以发现其内部的隐患 ,监理工作也难免有被钻空子的时候 ,因而 ,不乏通车后挡墙坍塌 ,甚至发生过列车在铁路高填路基段行车时 ,挡墙突然坍塌 ,车头翻下十几米高坡的车毁人亡重大事故。随着我国基础设施的大规模建设 ,浆砌片石挡墙的质量问题愈益引起人们注意。

90 年代初 ,笔者曾为图珲铁路挡墙评价及加固设计在 30 km 的线路范围内进行了总延长 5 km 的挡墙检测 ,解决了方法技术问题并取得了好的结果。但尚感工作量小 ,拟再做一些工作后总结成文 ,却因各种原因未得机会。鉴于大量挡墙检测提到日程 ,故先将有关资料、技术在本文中给出 ,供同行参考 ,促使这项技术更快地发展。

1 浆砌片石挡墙质量问题所在及无损检测的地球物理技术方案

浆砌片石挡墙的质量不好 ,主要反映为粘结片石的水泥砂浆的质量不好。一种情况是粘结的水泥砂浆不饱满 ,甚至由于采用干砌后灌浆的方式 ,使得片石间的粘结极差 ;一种情况是水泥砂浆的质量不好 ,没有粘结性 ,其原因是水泥量过少或冬季施工保

温不好。它们的物理表现是在坚硬、密度大的片石间夹有空洞(无水泥砂浆)或近似空洞(水泥砂浆质量太差)。表现在地球物理性质上是波阻抗的不均匀、波速的降低。为此 ,可考虑选择 3 个方案。

1. 利用弹性波速降低来判定质量不好的挡墙。可以选用直达波法、瑞雷波法(稳态或瞬态)。这是基于片石和质量好的水泥砂浆的波阻抗高 ,质量不好的水泥砂浆或空洞的波阻抗低 ,质量差的挡墙段必然导致弹性波波速降低。

2. 利用雷达波的波速增高来判定劣质段。

3. 利用宽频带的弹性波穿过不同质量挡墙后频谱发生变化 ,将激震子波与反射波的频谱相对比 ,而判定挡墙质量。

为此 ,作者在现场试验了 1、3 两种方法 ,结论是两种方法均可行。但基于波速变化的方法灵敏度较低 ,而且片石本身的材质(如灰岩、花岗岩、砂岩等)水泥的品牌及砂浆的配比等可较大地影响波速 ,因此 ,只能以同一种材料的挡墙作为一个单元体来制定检测标准。故作者未继续深入研究这些方法 ,而选用了方案 3。

2 频谱分析方法检测挡墙质量的原理

采用锤击激发方式在挡墙外表面产生弹性波 ,在激发点旁设宽频检波器接收。首先接收到的是直达波 ,然后接受到挡墙内表面的反射波。在激震点旁的直达波反映的是激震子波。如果向挡墙内的入射波及内面反射波在其旅行路程中经过的水泥砂浆饱满密实 ,则反射波的频谱与激震子波没有什么变化。如果波的旅行途中有“空洞”存在 ,波的高频成

分就会被散射,低频成分可以透过,所接收到的反射波中低频成分比例就会增多。“空洞”越多,反射波中的高频成分损失得越多。将反射波的频谱与激震子波的频谱对比,就可以判定挡墙的质量。实际上,研究频谱的变化是利用波的动力学特性。众所周知,它比应用运动学特性可能灵敏度更高,而且是测点自身的激震子波与反射波相对比,不同测点使用的片石、水泥砂浆等的材质不同不存在什么影响。

作者是对比二者在功率谱中优势频率的变化和低端频的变化,以 2 个参数来作挡墙内部质量评定的。

3 现场资料采集

采用 FY-20 陆地声纳仪(现已改进投产为第 4 代仪器 LSD-1 型)及配套的压电式超短余振检波器。检波器在 3 Hz ~ 4 kHz 范围内,其频率特征曲线为与横轴(频率)平行的直线,即在所测频率范围内,不存在频率失真干扰。仪器接收时选用 50 Hz ~ 4 kHz 带通频段。接收系统为无余振系统,即所测的反射波与子波相同,约为 1.5 个周期。用锤击震源,震—检距约为 20 cm,不作垂直叠加。检波器用黄油与墙面耦合,用手按紧即可。

4 资料处理及应用

4.1 资料处理

对每一测点的时间曲线,取其前段(0 ~ 2 ms)及中间的反映挡墙内面的反射波段(3.5 ~ 5.5 ms,挡墙厚 2 ~ 3 m)分别作 FFT 变换,绘出功率谱图,选出低端频率(f_d)和优势频率(f_u) (有不止一个优势频率者则取几个值),进行对比。

4.2 资料应用

根据对比结果划分为 8 个级别。A 级: f_d 和 f_u 均无变化;B 级:反射波的 f_d 和 f_u 低于激震波 10% ~ 20%;C 级:反射波的 f_d 和 f_u 低于激震波 20% ~ 50%;D 级:反射波的 f_d 和 f_u 低于激震波的 50% 以上。处于以上 4 个级别边缘状态者,又可分为 A-B 级、B-C 级及 C-D 级,C 级再分为 C_1 和 C_2 级。

为了掌握这些分级的实际含义,选择了代表 A、B、C、D 4 个级别的典型点段共 7 处凿开挡墙由专家(包括浆砌片石挡墙标准图设计者和有关的院士)作目测观察,并选了 12 处作了陆地声纳小剖面。小剖面各长 1 m,测点距 5 cm。陆地声纳小剖面上可以反映在这 1 m 长范围内有无或有多少个空洞。空洞的同相轴为典型的双曲线。可以看到:A 级者无空

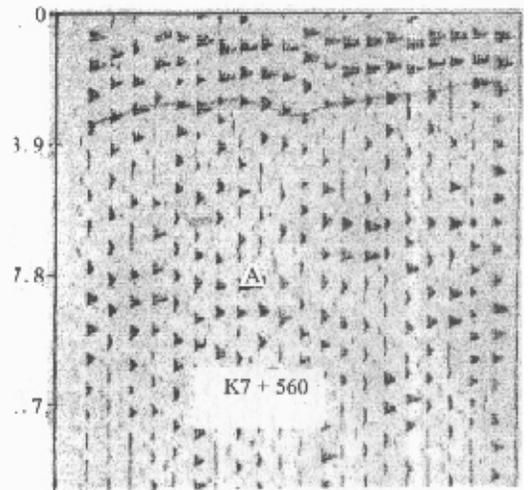


图 1 A 级段时间剖面

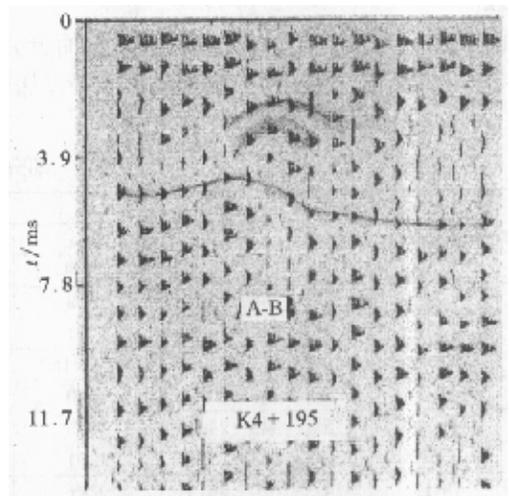


图 2 B 级段时间剖面

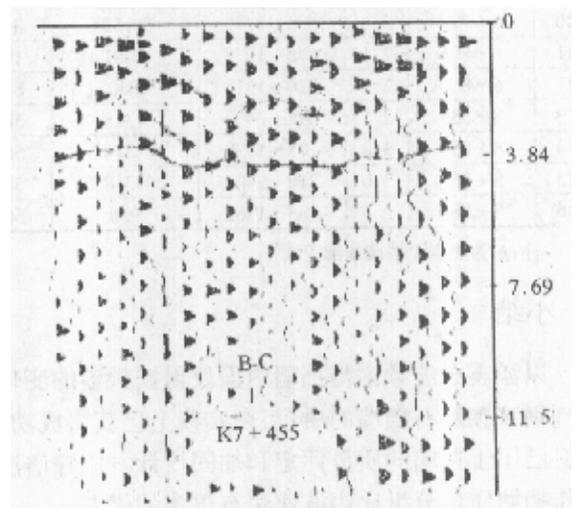


图 3 C_1 级段时间剖面

洞;B 级者有 2 个空洞;C 级者有 3 ~ 6 个空洞;D 级者有 6 个以上空洞。图 1 ~ 5 为几张不同级段的似 t_0 时间剖面。这些结果与凿开挡墙的观察结果完

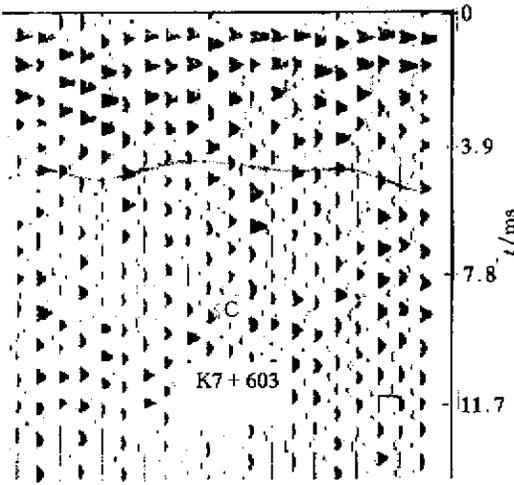


图 4 C₂ 级段时间剖面

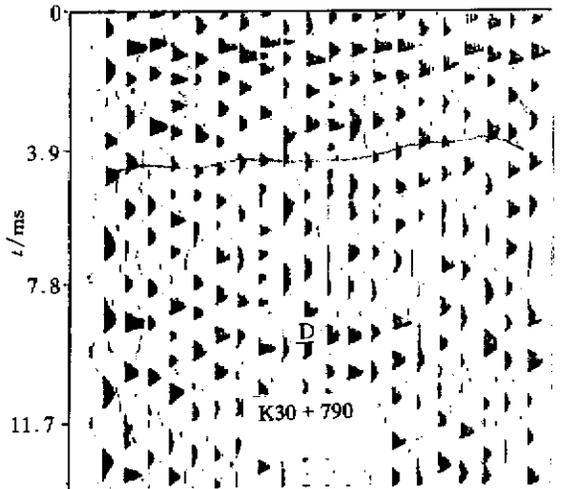


图 5 D 级段时间剖面

全一致。

由于挡墙质量并无验收分级标准,因而分 A、B、C、D 等 8 个级别,以便对是否必须进行工程加固作

出判断。根据凿开后观察的专家意见,A、B 二级可列入合格之列,C、D 级则应做加固。表 1 是检测的各段中的部分分级资料。

表 1 部分测段频谱变化及质量分析

点号	里程/km + m	h/m	时间曲线的频谱特征						挡墙浆砌片石质量分级
			震源激震		挡墙内面反射波		频率降低		
			主频范围/Hz	优势频率/Hz	主频范围/Hz	优势频率/Hz	低频端	优势频率	
1	4 + 20	2.0	388 ~ 2325	1310	349 ~ 1628	1201	10%	8%	B
2	4 + 30	3.0	620 ~ 1938	1201	232 ~ 2402	1060	63%	12%	D
3	4 + 40	5.0	697 ~ 2403	1782 ;1162	426 ~ 2480	1720 ;1060	39%	9%	C ₁
4	4 + 50	6.5	465 ~ 2003	1500	310 ~ 2441	1370 ;1040 ;736	33%	51%	D
5	4 + 60	6.5	543 ~ 2403	1500	465 ~ 2441	1350 ;1080	14%	28%	C ₁
6	4 + 70	7.0	388 ~ 2325	1201	504 ~ 2441	1201	0	0	A
7	4 + 193	8.4	620 ~ 2015	930	504 ~ 1740	930	19%	0	A - B
8	4 + 210	10.3	620 ~ 2240	1780 ;580	891 ~ 1705	1375	0	0	A
9	4 + 215	9.0	388 ~ 2635	1550 ;901	388 ~ 2480	1356	0	0	A
10	6 + 790	2.0	698 ~ 1473	1163	348 ~ 1143	1123	50%	3%	C ₂
11	6 + 805	2.6	698 ~ 1938	1201	194 ~ 1434	1210 ;736	73%	39%	D
12	6 + 890	2.5	820 ~ 1318	830	858 ~ 1201	830	0	0	A
13	8 + 835	2.5	698 ~ 2403	1318	504 ~ 2015	1370	10%	0	B
14	8 + 850	3.0	775 ~ 1938	1318	504 ~ 1860	1124 ;775	35%	41%	C ₂
15	8 + 865	3.0	310 ~ 2403	2093 ;853	310 ~ 2480	1860 ;750	0	12%	B
16	8 + 880	2.5	388 ~ 1782	930	504 ~ 1511	930	0	0	A

注 :h 为测点距挡墙顶部距离

5 小结

以激震子波频谱与挡墙内面反射波频谱的变化来判别浆砌片石挡墙的质量,在实践上已获得成功,资料已用于挡墙的质量评定和加固设计。用频谱法来作挡墙质量分级比用波速法有更多的优点。

1. 灵敏度、分辨率较高。在尚未有挡墙质量分级标准的情况下以及对质量不佳的挡墙要进行加固的情况下,它有更好的适应性。

2. 由于是用每一测点本身激震的子波与反射

波作对比,水泥砂浆配比与片石材质等的干扰要小得多,有可能在此方法的基础上制定统一标准。

3. 用频谱分析法分级与少量陆地声纳短剖面探查挡墙中的空洞相结合,可以更直观地掌握频谱分析法所分级别的含义。

4. 频谱分析分级法的现场数据采集方法可能是各种方法中最简单省时的。

当然,必要的凿开观察验证和对比是必要的。希望这种方法能得到更多的实践,更趋成熟。

参考文献：

- [1] 钟世航. 应用物探方法检测隧道衬砌质量[A]. 隧道及地下工程学会第七年会暨西单车站工程学术讨论会论文集[C]. 北京, 1992: 355 - 359.
- [2] 钟世航. 隧道衬砌状态检测技术进展[J]. 铁路隧道及地下工程, 1993 (4): 341 - 347.
- [3] 钟世航. 陆地声纳法的原理及其在铁路地质勘测和隧道施工中的应用[J]. 中国铁道科学, 1995, 16(4): 48 - 55.
- [4] 钟世航. 极小偏移距高频弹性波反射连续剖面法探查岩溶及洞穴[A]. 中国地球物理学会第12届年会论文集[C]. 1995.
- [5] 钟世航. 陆地声纳法及其应用效果[J]. 物探与化探, 1997, 21(3): 172 - 179.

THE EXAMINATION OF THE QUALITY OF RETAINING WALL MADE OF MORTAR AND STONES BY MEANS OF COMPARING THE FREQUENCY SPECTRA OF ELASTIC REFLECTION WAVES

ZHONG Shi-hang

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The quality of large quantities of retaining wall made of mortar and stones should be examined rapidly. Based on the comparison of elastic wave velocity, Rayleigh surface wave and elastic wave frequency spectrum analysis, the author holds that the last technique has the merits of high resolution and simple operation. The tests made at several hundred points prove to be successful.

Key words: retaining wall made of mortar and stones; frequency spectrum analysis; elastic wave

作者简介: 钟世航(1940 -)男, 1962年毕业于北京地质学院物探系, 铁道部科学研究院研究员, 主要从事环境与工程地球物理的研究和实际应用的工作, 以及隧道及地下工程的理论、施工技术、设计、量测等的研究和实践, 已发表近70篇文章。2000年退休后在北方交大及中国工程总公司的隧道及地下工程研究实验中心任职, 并为中国地质大学(武汉)、华东地质学院兼职教授。钟世航工作室负责人。

· 简讯 ·

地震仪综合技术服务

· 定点地震仪技术升级、功能增强

此项内容为借用定点地震仪中故障率低的单元电路, 将我们研制的浮点模块与之有机结合, 构成操作方便、故障率低、性能价格比极高的浮点地震仪。该技术适用于所有定点地震仪(进口 ES-1210, 1225, ...; BISON-1580, ...; JOYO-1500, ...; MARK II; 国产 DZQ12-1 等型号)。

· 地震仪通道扩展

80年代中期, 地震仪一般为12道定点, 工作效率低。做CDP覆盖时, 叠加次数少, 信噪比不能提得较高, 且动态范围小。为解决这些问题, 我们做了以下工作: ①将原定地点地震仪升级为浮点; ②扩展为24道。

· CSA24道浮点地震仪

集多年改造地震仪经验, 汲取了国内外地震仪特长, 并将我们的创造溶入其中, 构成了性能价格比极高的 CSA24道浮点地震仪。

· 进口地震仪维修

自1997年成立地震仪维修部以来, 给用户直接、间接维修进口地震仪数台, 为用户节约了大量时间和可观的维修费用, 深受用户好评。

· 触发电路保护器

· 锤击开关

经我们改进的地震仪均能获得浅反射处理软件、瞬态瑞雷面波处理软件、地脉动测量、高密度高分辨率测量等不断升级的支持。

联系人 徐贵来 梅汝吾

北京安外小关核工业北京地质研究院 邮编: 100029

E-mail: guilaixu@163bj.com BP (010) 96300 呼 382787

Tel: (010) 64962690 64921115