

文章编号: 1008-844X(2007)03-0071-03

浅层地震反射波法在岩溶区公路桥位勘察中的应用

邓超文

(广东省公路勘察规划设计院, 广东 广州 510507)

摘 要: 结合富湾大桥的勘察实践,介绍了浅层地震反射法在岩溶公路桥位勘察中的地质效果,说明浅层地震反射法可有效探明岩溶的发育程度和分布范围,为桥位的选择及桥型方案的比选提供必要的地质依据。

关键词: 浅层地震反射法; 岩溶; 公路桥位; 勘察

中图分类号: U 442.4

文献标识码: B

工程物探作为一种地质勘探手段,广泛地应用于地质、铁路、水电及建筑等行业,发挥的作用越来越大。近年来,工程物探的应用领域日趋扩大,公路交通系统在这方面起步较晚,但采用物探技术解决公路工程地质问题取得了一些成果,展示了工程物探在公路工程地质工作中的应用前景。碳酸盐在我国分布十分广泛,尤其是在南方地区,随着公路建设的迅速发展,在岩溶发育区特别是隐伏岩溶区进行公路建设变得越来越不可避免,所遇到的岩溶地质勘察问题也会愈来愈频繁。由于岩溶区特殊的地质条件,单一的钻探手段难以查明岩溶的情况。本文以富湾大桥为例,介绍浅层地震反射波法在岩溶公路桥位勘察中的地质效果。

1 地质概况

富湾大桥为广明高速公路西樵至更楼段的一座特大桥,位于高明市富湾镇沧江水泥厂附近,地处河谷地带,横跨西江主干流,河流流向由北向南,桥位区河道平直,河面宽度约 1 200 m,水深约 1.8 ~ 14.6 m,水底高程 - 0.8 ~ - 13.5 m,西岸属一级阶地,地面高程一般为 8.90 ~ 15.50 m;东岸开阔的三角洲平原区,地面高程 4.20 ~ 7.10 m。

区域地质资料表明,桥位区位于北西走向西江推断断裂和北东向恩平 - 新丰褶皱构造带南西段苍城 - 恩平 - 海陵岛和鹤城 - 金鸡大断裂交汇处附近,受其影响,桥位区岩性变化复杂,西岸由泥盆系砂岩组成,东岸由第四系全新统海陆交互相松散沉积层和第三系红色岩系组成,河床岩性复杂,主要由第四系全新统海陆交互相松散沉积层和石炭系泥灰

岩、灰岩组成。

2 浅层地震反射勘探技术

2.1 原理

浅层地震反射波勘探是利用介质的弹性差异探测地下目标物的一种物探方法。反射波法是在离震源较近的若干观测点上,测定地震波从震源到不同弹性的地层界面上反射后回到地面的旅行时间,测线不同位置上的法线反射时间的变化反映了地下地层的构造形态,从而达到划分地质层位或断层、采空区和岩溶等地质情况。

2.2 地球物理特征

由于灰岩分布在桥位区的河床,本次勘探集中在水域部份,通过试验工作,水域地层具有如下地球物理特征: 江水纵波速度为 1 450 ~ 1 480 m/s,覆盖层的纵波速度为 1 600 ~ 1 800 m/s,基岩的纵波速度大于 2 000 m/s。波速资料表明主要层位波速差异较大,存在波阻抗差异面,即存在的地层界面 $\rho_1 v_1$ - $\rho_2 v_2$ (ρ 为密度),而岩溶洞穴的波速远比围岩小得多,因此开展水域地震反射波勘探具备了良好的地球物理前提。

2.3 测线布置和技术方法

各测线的布置是根据拟建大桥的桥位及桥墩位置而布设。物探测线在顺江方向桥墩位置布置 21 条测线(7 个剖面,每个剖面 3 条测线),在横江方向的桥位轴线(k38 + 282.5 ~ k39 + 372.0)及桥位左右侧 30 m 各布置 1 条测线(共 3 条),见图 1。水域地震反射波测量定位工作采用 GPS 导航和 GPS 差分定位。采用数字映象剖面采集方法技术,利用

收稿日期: 2007-04-09

作者简介: 邓超文(1973-),男,工程师,主要从事高速公路工程地质勘察及研究工作。

SW S数字剖面仪具有 12通道高速采集的功能,与 ZY-2 船载连续冲击 (冲击时间间隔为 1 s)震源配合,采用 12道漂浮电缆接收方式 (道间距 1.0 m),

频率范围为 10 ~ 2 000 Hz,有利于在具有波场特征的记录上识别有效波与多次波等干扰波。实现高密点距采集波场记录的方法。

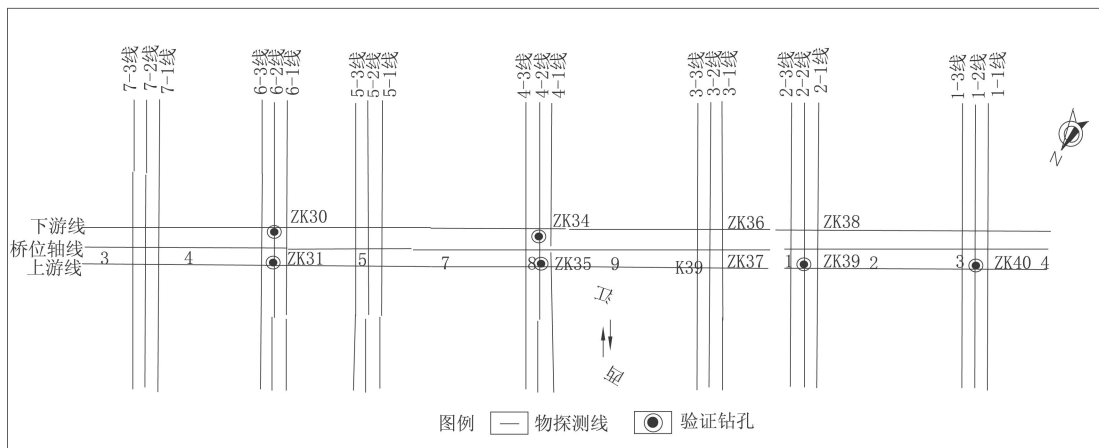


图 1 物探测线及验证钻孔布置示意图

3 资料处理与成果解释

3.1 资料处理

水域地震反射波方法资料的处理分 2步进行:第 1步为采集记录的回放与存储;第 2步为资料的数据处理。

水域地震反射波方法数据处理和成图解释流程如下:

- 1) 数据处理:解编 动平衡记录时间补偿 坏道剔除 频谱分析 滤波 速度分析 抽道集 噪音处理 反褶积 滤波 动校正 CDP迭加 多次波消除 偏移 深度衰减补偿 长 PCX文件制作 绘制彩色反射波时间剖面图;
- 2) 计算各地震道坐标、距离:航迹归一 道与坐标对应点输入 计算各道坐标、离起点距离;
- 3) 确定时间剖面图上的各同相轴,转换成同相轴时间数据文件;

4) 时深转换,将时间数据文件转换成深度数据文件,形成 Autocad图形文件,绘成地质解释剖面图。

3.2 物探资料解释及地质成果

依据顺江 21条测线和横江 3条测线的地震反射时间剖面图,进行对比分析,根据岩溶在时间剖面图上的表现特征,判断桥位区的岩溶主要分布在 k38 + 768 ~ k39 + 294路段,顺江 2号和 3号测线在该范围内。具体解释结果如下:

3号线经过 ZK36[#]孔 (k39 + 010 左 15 m)、ZK37[#]孔 (k39 + 010 右 15 m),在时间剖面图上 (见图 2)可看到,ZK36[#]孔、ZK37[#]孔对应线之间有一些

倾斜同相轴,反映地层和岩性发生变化,在剖面时间 47 m s附近的 ZK37[#]孔位置有数个较明显的绕射弧,反映溶洞的顶界面和形态;2号线上 ZK38[#]孔 (k39 + 120 左 15 m)、ZK39[#]孔 (k39 + 120 右 15 m)也有相似的倾斜同相轴和绕射弧现象。根据这些特征,结合倾斜同相轴反映的基岩岩性的变化规律以及反射波能量的大小,推断桥位轴线及上、下游线的岩溶发育区范围与圈定岩溶,分别见地震反射波解释成果图见图 3 ~图 5。

解释成果图中,上游线推断了 7个发育岩溶,位置在里程桩号 k38 + 768 ~ k39 + 293,高程变化在 - 35.3 ~ - 54.0 m之间。中轴线推断了 3个发育岩溶,位置在里程桩号 k39 + 039 ~ k39 + 220,高程变化在 - 32.2 ~ - 55.3 m之间。下游线推断了 2个发育岩溶,位置在里程桩号 k39 + 060 ~ k39 + 294,高程变化在 - 32.7 ~ - 47.8 m之间。

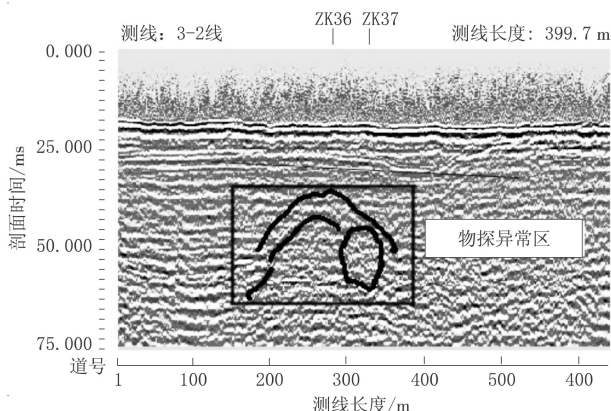


图 2 顺江测线 3-2地震反射时间剖面图

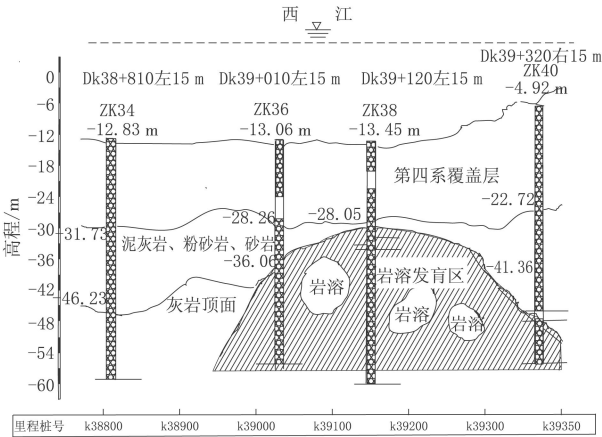


图 3 桥位轴线左侧 30 m(下游线)水域地震反射波解释成果图

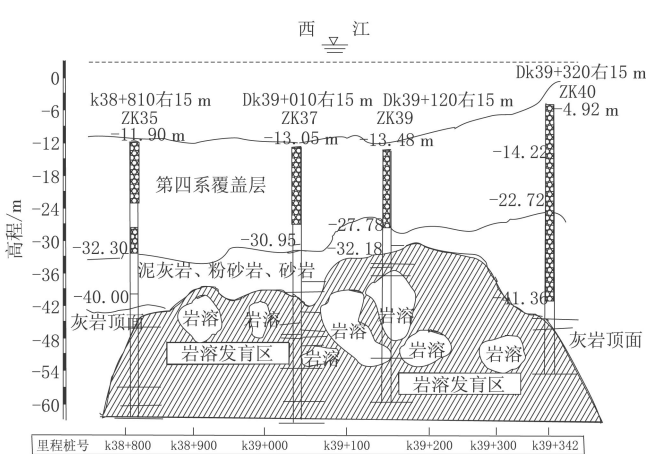


图 5 桥位轴线右侧 30 m(上游线)水域地震反射波解释成果图

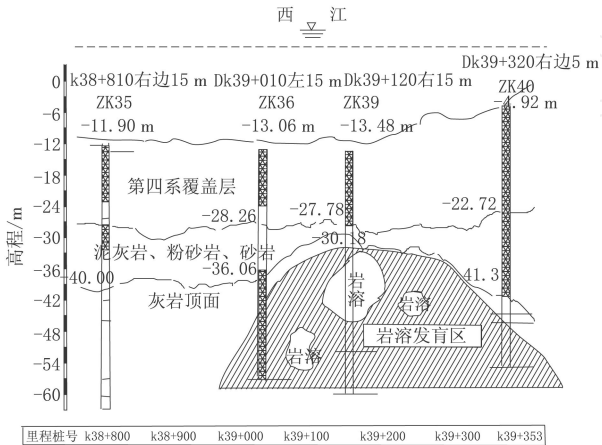


图 4 桥位中轴线水域地震反射波解释成果图

3.3 解释成果验证

物探的解释成果表明桥位区的岩溶主要分布在 k38 + 768 ~ k39 + 294 路段 (岩溶发育区)。为了验证物探的解释成果的准确性,结合初步布设的桥墩位置,在推断的岩溶发育区和非岩溶发育区及二者交界处,布置少量钻孔 (见图 1),进行钻探。钻探工程揭露表明,实际的地质情况与物探推断的结论基本相符,见表 1。经地质钻孔的验证,说明了物探工作在在岩溶地区是有独特的效果,成果资料具有较高的可信度。

表 1 钻探与物探成果对比

验证 钻孔	钻 孔 位 置	溶洞标高 / m		高度 / m	溶洞顶板岩性及厚度 / m	对应测线	物探解释 成果	验证钻孔 成果
		顶板	底板					
ZK30	k38 + 610 左 15 m					6号测线	非岩溶发育区	岩溶不发育
ZK31	k38 + 610 右 15 m							
ZK34	k38 + 810 左 15 m	- 36.73	- 37.13	0.40	微风化角砾状灰岩、厚 2.10 m	4号测线	非岩溶发育区	岩溶轻微发育
ZK35	k38 + 810 右 15 m							
ZK36	k39 + 010 右 15 m	- 39.45	- 45.65	6.20	微风化灰岩、厚 0.40 m	3号测线	岩溶发育区	岩溶发育
ZK37	k39 + 010 右 15 m	- 47.35	- 48.05	0.70	微风化角砾状灰岩、厚 1.70 m			
		- 48.85	- 53.55	4.70	微风化灰岩、厚 0.8 m			
ZK38	k39 + 120 左 15 m	- 33.15	- 33.95	0.80	微风化灰岩、厚 5.1 m			
		- 32.18	- 32.88	0.70	微风化灰岩、厚 2.0 m	2号测线	岩溶发育区	岩溶发育
ZK39	k39 + 120 右 15 m	- 34.28	- 34.98	0.70	微风化灰岩、厚 1.4 m			
		- 36.58	- 51.78	15.20	微风化灰岩、厚 1.6 m			
ZK40	k39 + 320 右 15 m	- 44.52	- 46.42	1.90	微风化灰岩、厚 3.16 m	1号测线	非岩溶发育区	岩溶轻微发育

(下转第 191 页)

填筑土和低液限红粘土厚度分别为 12.5 m、5.3 m。

各土层的物理力学指标为:

填筑土: $\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$; $c = 15 \text{ kPa}$, $\varphi = 15^\circ$ 。

红粘土: $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$; $c = 30 \text{ kPa}$, $\varphi = 3^\circ$;挡墙与土层之间的摩擦系数为 0.25。

微风化岩: 岩石饱和单轴抗压强度为 51 MPa, 锚固体与其摩擦力取值为 550 kPa。

3.3 加固工程设计计算

1) 土压力计算。

按式 (1) 计算作用于墙后土压力大小, 其分布图见图 1 所示。计算中, 不考虑红粘土以下微风化岩的土压力。

2) 锚杆锚固长度计算。

首排锚杆布设于墙顶以下 2 m 处, 以下每隔 2 m 布设 1 排锚杆, 共设计 8 排锚杆, 锚头以肋梁拉结。沿挡墙纵向锚杆间距均为 2 m, 也以肋梁拉结。锚杆的倾角为 15° 。

按式 (3), 根据岩土孔壁与注浆体之间的极限粘结强度, 计算得各排锚杆锚固长度分别为 $L = 4.1 \text{ m}$, 12.3 m , 18.3 m , 18.3 m , 18.3 m , 18.3 m , 12.2 m , 12.2 m 。

锚固体与注浆体之间的极限剪应力 $\tau_u = 2 \text{ MPa}$, 按式 (4) 计算得的各排锚杆锚固长度 L 远小于 L_e 。

按破裂角为 $45^\circ + \varphi/2$ 计算, 可知各锚杆的自由长度分别为 $L_e = 4.4 \text{ m}$, 4.0 m , 3.4 m , 2.8 m ,

2.3 m , 1.7 m , 1.1 m , 0.5 m , 0.0 m 。

故各锚杆长度分别为 8.7 m , 16.3 m , 21.7 m , 21.2 m , 20.5 m , 20.0 m , 13.3 m , 12.7 m 。

锚杆大小计算略。

3) 锚固工程抗滑移验算。

按式 (6) 算得沿破裂角的抗滑力为 $F = 1474.0 \text{ kN}$, 滑动力为 $F = 111.5 \text{ kN}$, 据式 (7) 算得抗滑稳定系数 $G_f = \frac{F}{F} > 1$ 。

4) 锚杆工程抗倾覆验算。

由式 (8) 算得抗倾覆稳定系数 $G_t = \frac{M_a}{M_E} = \frac{13121.2}{3425.8} > 1$ 。

4 结论

山区挡墙出现病害的原因很多, 主要有地基软弱、墙身设计强度不够、施工质量差、排水不畅等。公路挡墙的破坏和带病工作, 严重地影响到山区公路的安全与运输畅通。工程实践表明, 锚杆 (索) 加固处理技术是一种有效的山区公路挡墙加固技术, 值得推广应用。

参考文献:

[1] 湖南省交通科学研究院, 湘西通县公路改造技术研究 [R]. 湖南省交通科学研究院, 2006。

(上接第 73 页)

4 结语

1) 根据已被证实的物探成果资料, 做出桥位区岩溶的发育与分布情况推断, 在桥位区 $k38 + 768 \sim k39 + 294$ 路段, 存在严重的岩溶发育带, 溶洞十分发育, 桥址向上游移动时溶蚀现象更为严重, 岩溶极其发育, 往下游溶蚀现象则减弱, 说明桥址的左右 30 m 范围仍为岩溶发育区, 但下游溶蚀现象及岩溶发育程度低、分布范围则较上游小。

2) 在岩溶发育区, 采用合理的物探方法, 辅以少量的钻探工作进行工程地质勘察, 能够快速查明岩溶的分布范围及其发育程度, 为桥址的选择、桥型方案的比选及桥墩的选定提供必要的地质依据。

3) 物探方法有其适用性, 反射波法是以反射波作为有效波, 其应用条件为存在波阻抗差异面, 即存在 $\rho_1 v_1 \neq \rho_2 v_2$ 的地层界面 (ρ 为密度)。

参考文献:

[1] 熊章强, 方根显. 浅层地震勘探 [M]. 北京: 地震出版社, 2002。
[2] 广东省公路勘察规划设计院. 广明高速公路西樵至更楼段工程地质勘察报告 [R]. 广州: 广东省公路勘察规划设计院, 2005。
[3] 广东省公路勘察规划设计院. 广明高速公路西樵至更楼段富湾特大桥水域震反射波勘探报告 [R]. 广州: 广东省公路勘察规划设计院, 2005。
[4] 谢开仲, 秦 荣, 王建军. 大跨度钢管混凝土拱桥地震分析, 中南公路工程, 2005, 30(2): 15-19。
[5] 丰 硕, 项贻强, 汪劲丰. 大跨径连续刚构桥的动力性能及地震响应 [J]. 中南公路工程, 2005, 30(4): 77-81。