

文章编号:1671-8585(2008)02-0154-04

综合物探在厦成高速岩溶地质调查中的应用

赵卫楚¹,熊章强²,曾茂宗¹,陈持逊³

(1. 江西省交通设计院,江西南昌 330002; 2. 中南大学信息物理工程学院,湖南长沙 410083;
3. 湖南省核工业地质局,湖南长沙 410011)

摘要:岩溶是高速公路、铁路等基础设施建设的重大地质隐患,用地球物理方法对岩溶进行探测是岩溶地质调查的重要手段。岩溶洞穴与其围岩之间一般存在较明显的密度、速度和电性等物理性质的差异,采用地震映像法、瞬态瑞雷面波法和高密度电法等综合物探手段对厦成高速公路瑞金至赣州段进行了岩溶地质调查。结果表明,这些方法的综合应用有效查明了灰岩地区岩溶的分布范围、埋藏深度和发育情况。

关键词:地震映像法;瞬态瑞雷面波法;高密度电法;岩溶调查

中图分类号:P631.4

文献标识码:A

厦成高速公路是连接东部和中西部的重要通道,是由世界银行贷款建设的一条国家级重点高速公路,东起厦门,西至成都,途经江西、湖南等省,其中江西瑞金至赣州段均为灰岩地区,区内溶蚀现象较为普遍。截止 2005 年底,在瑞金沙州坝镇超过 20 km² 的范围内,已发生岩溶塌陷 250 余处。溶蚀导致了基岩面起伏的增大,而且较多的溶洞严重地影响了工程施工和高速公路运行的安全,因此必须查明断层、溶蚀带及溶洞、土洞等不良地质现象的分布情况。

岩溶经常形成厚块状可溶性的碳酸盐岩地层,在地下水动力条件作用下,多沿岩层层面或断层破碎带发育成溶洞。一般说来,岩溶洞穴与其围岩之间存在较明显的密度、速度和导电性等物理性质的差异。因此,可利用综合物探方法来调查岩溶的分布范围、埋藏深度和发育情况等。本文介绍了采用地震映像、瞬态瑞雷面波和高密度电法等综合物探方法进行岩溶地质调查的应用效果。

1 工区地质与地球物理条件

1.1 地质概况

工区位于瑞金县云石山乡沿坝大桥段和于都县禾丰镇黄竹高架大桥段,是岩溶塌陷频发区域。两段桥区均位于冲积平原地区,地形平坦开阔,地表多为水田。根据钻探结果可知,场地土层自上往下依次为:①第四系亚粘土层;②第四系卵砾石土和角砾土层,卵砾石成分以石英为主,浑圆状,角砾土主要为灰岩角砾,棱角状,粒径 2~5 cm 不等;该层在桥区范围内广泛分布;③二叠系下统茅口组(P_{1m})灰岩、硅质岩层,埋深相差较大,从数米到 20

多米不等,该层裂隙发育,溶蚀现象明显,有溶沟(槽)、“鹰嘴岩”等,溶洞发育。说明该场地地下水沿裂隙溶蚀通道活动强烈。

1.2 地球物理条件

桥区内基岩与第四系卵砾石层、岩溶与基岩、可溶岩与非可溶岩之间存在明显的电性差异。由现场实测资料可知:砂砾层的纵波速度为 520~900 m/s,视电阻率一般为 200~500 Ω·m;未风化的灰岩层的纵波速度为 3 800~4 800 m/s,视电阻率一般大于 800 Ω·m;充水或充填其他物质的溶洞或轻度溶蚀区的纵波速度一般为 1 500~2 800 m/s,视电阻率一般为 30~200 Ω·m。分析以上数据可知:灰岩与砂砾层是良好的地震反射界面和电性界面,岩溶和围岩间是良好的纵、横波速度界面和电性界面。以上物性参数特征表明,采用地震映像法、瑞雷面波法和高密度电阻率法探查灰岩埋深和溶洞分布^[1,2],具备良好的地球物理前提。

2 物探方法原理及工作方式

2.1 地震映像法

地震映像法的原理和主要特性与地震反射波法勘探基本相同,通常是在最佳窗口内选择一个最佳共偏移距,然后移动震源(一般采用 18~24 磅(1 磅≈0.453 6 kg)铁锤锤击作为震源),保持所选定的偏移距进行单道接收。当地下存在一定范围

收稿日期:2007-06-23;改回日期:2007-11-20。

第一作者简介:赵卫楚(1963—),男,教授级高工,1985 年毕业于华东地质学院,1994 年第二本科毕业于同济大学,长期从事高速公路地质勘察及路桥隧的设计。

基金项目:江西省科技厅和江西省交通厅科技攻关项目联合资助。

的空洞(溶洞)时,根据弹性波惠更斯原理,在空洞的位置上会产生绕射波,同相轴的特征表现为“眼球型”。因此可根据反射剖面,分析绕射波特征,判断空洞情况。由于是在最佳窗口内选择共偏移距,因此不受振幅和相位变化的影响^[3,4],在现场可显示出似 t_0 时间剖面。为了提高工作效率,通过现场试验,我们采用一次激发、三道接收的方式,道间距为 2 m,偏移距为 10 m,测线位于中间,激发和接收分列两边,然后平行测线方向移动震源和检波器,每次移动 3 m。

地震映像法的优点是:数据处理简单,不需作动校正。因此,不存在由于动校正造成的波形拉伸畸变或近地表宽角反射波引起的畸变。通常把野外采集的地震波形记录在计算机上经过滤波等数据处理后再进行压密,对反射能量用不同的、可变换的颜色表示,直观地反映地质体的变化和形态。

2.2 多道瞬态瑞雷面波法

瑞雷面波是一种沿介质自由表面传播的地震波,它的理论基础可概括为:在层状介质中,瑞雷波具有频散特性,即不同频率的波具有不同的传播速度;由半波长理论可知,瑞雷波的探测深度为一个波长;瑞雷波的频率不同,其穿透介质的深度也不同,频率越高的波穿透深度越小,因此,可通过改变频率来测定不同深度介质的平均瑞雷波速度 v_R ; 岩石的瑞雷波传播速度与横波速度基本相等,在岩石中,两者误差不超过 8%,在土体中,两者只有 5% 左右的误差^[5],因此可通过测量瑞雷波传播速度来得到介质的横波速度。频散曲线的特性及其变化规律与地质条件密切相关,通过频散曲线进行反演计算,可以得到地下某一深度范围内的地质构造情况和异常体的横波速度值,并由此确定构造和岩溶等的发育情况。

野外工作中,采用 SE2404X 浅层地震仪记录瞬态瑞雷面波,采用 24 道检波器,道间距 2 m,偏移距 10 m,落重震源方式,以 50 kg 重锤提升 1 m 左右自由落重锤击地面激发面波,工作原理如图 1 所示。资料处理主要包括面波分离、计算频散曲线

和反演横波速度,在此基础上作横波速度等值线图。分析认为,地质上若存在岩溶洞穴,在面波频散曲线图上将表现为“之”字型曲线,在速度等值线图上将表现为低速现象。

2.3 高密度电阻率法

高密度电阻率法实际上是多种排列的常规电阻率法与资料自动反演处理相结合的综合方法,它仍然是以岩土体导电性差异为基础的一类电法勘察,通过观测和研究人工建立的地下稳定电流场的分布规律来解决地质问题。只不过电极布设一次完成,能有效地进行多种电极排列方式的测量,从而可以获得较丰富的地电结构信息,数据的采集基本实现了自动化。该方法具有点距小、数据密度大、工作效率高的特点,能较直观、有效、准确地反映地质体电性断面情况。高密度电法测量结果为地层二维视电阻率断面图。

高密度电法数据采集系统由高密度电极系、多路电极转换器和主机组成。野外工作中,采用 WD-JD-2 多功能数字高密度电法仪进行 α 装置数据采集,60 个电极工作,电极距 3 m。根据野外实际情况进行试验确定参数后,通过主机控制电极转换器形成供电、测量及数据采集的全自动控制。数据采集完成后,将原始数据传入计算机进行数据转换、地形校正等预处理,然后绘制等值断面图,再经二维反演并结合工区地质资料进行综合推断解释,输出二维地电断面图,至此完成整个采集与处理全过程(图 2)。

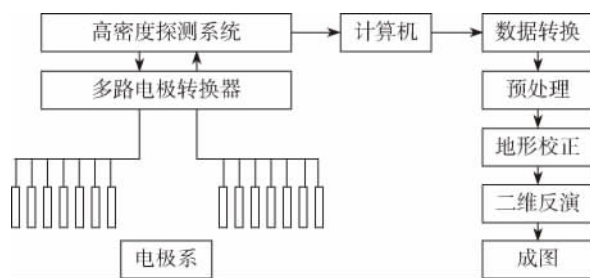


图 2 高密度电法工作流程

3 岩溶勘察的效果分析

3.1 应用地震映像法和瑞雷面波法探查重叠型和开口型溶洞

桩号 K34+400—K34+620 段为沿坝大桥所处位置,经钻孔揭示,地下多处存在溶洞,分别用地震映像法和瞬态瑞雷面波法沿桥基轴线布置了 4 条剖面。通过现场试验,地震映像法采用参数为:道间距 2 m(地下共反射点间距 1 m),偏移距为 10 m,采样间隔 0.2 ms,记录长度 200 ms,18 磅铁锤锤击方

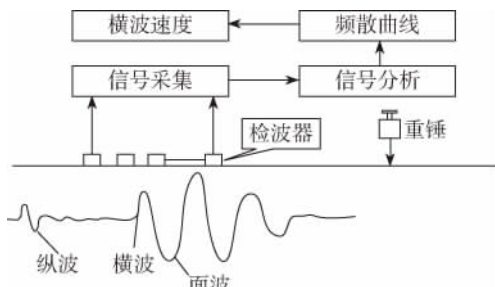


图 1 瞬态瑞雷面波法测试原理

式激发;瞬态瑞雷面波法采集参数为:接收道数24道,道间距2 m,偏移距6 m,采样间隔0.5 ms,记录长度512 ms,检波器频率4 Hz,50 kg重锤落重激发。图3a和图3b分别为桩号K34+540—K34+600处地震映像法时间剖面 and 瞬态瑞雷面波法横波速度深度剖面。从图3a可见,在23 ms左右处的反射波同相轴连续性较好,较好地反映出基岩面的起伏情况,在K34+544—K34+549段分别在25 ms和52 ms处的弧形同相轴“眼球型”特

征较明显,且顶板能量较强,推断是上下两个溶洞重叠的反映。另外,从图3b可见,在K34+544—K34+549段横波速度等值线图速度明显偏低,从横波速度异常上反映了这两个溶洞的存在。在图3a中在桩号K34+560—K34+567段,对应时间小于60 ms处,反射波同相轴似已断开,反射零乱,而底板同相轴能量相对较强,并出现尾部振荡,在图3b中同样可见速度明显偏低(<250 m/s)的等值线,这可解释为存在溶蚀凹陷或者“开口型”溶洞。

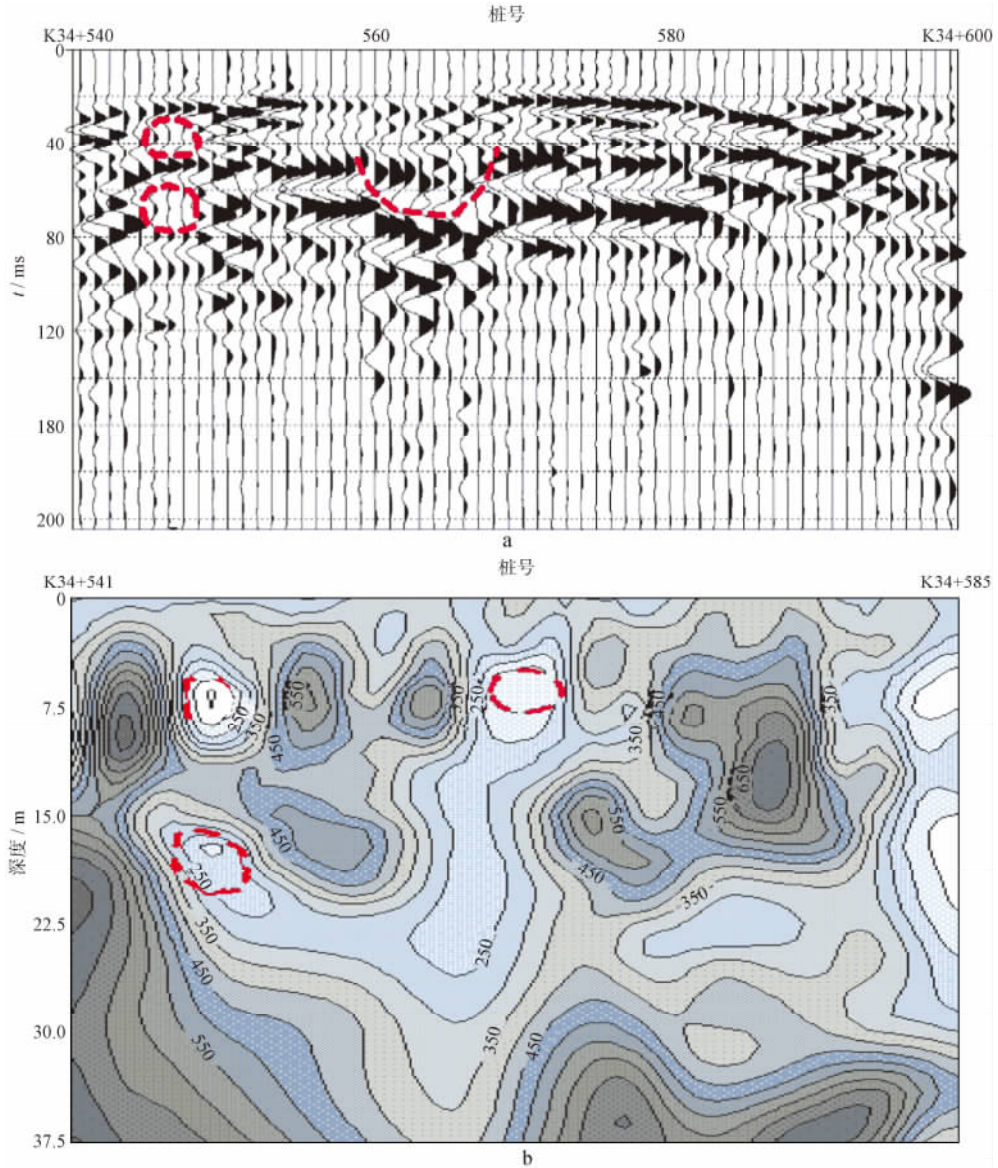


图3 地震映像法时间剖面(a)和瑞雷面波法横波速度深度剖面(b)

3.2 应用地震映像法和高密度电法探查断层及充填型溶洞

黄竹高架桥在于都县境内,所处位置桩号为K72+400—K73+620段。经地质调绘和钻孔揭示,地下介质大致分为两层,即:表层为砂砾石层,砾石成分以石英为主,浑圆状,厚度为粒径3~

50 cm不等,本层在桥区范围内广泛分布;下层为灰岩,埋深相差较大,钻孔揭示埋深在8.5~22.5 m之间。由于表层大部分路段均覆盖砂砾石层,下部均为灰岩,而砂砾石具有良好的透水性,地下水和地表水将通过缝隙通道给下部灰岩不断供水,使灰岩长时间处于水饱和状态而形成溶洞。

为了提高物探的勘探精度,采用地震映像法和高密度电法对溶洞进行综合探查,高密度电法采用温纳装置,由于溶洞埋深较大,极距设为3 m。图4a和图4b分别为地震映像法时间剖面和高密度电法反演深度剖面。从图4a可见,在桩号为K72+884—K72+892、时间相应为60~73 ms处的反射波同相轴具“眼球型”特征,且顶、底板同相轴能量均较强,而在顶、底板之间反射波频率降低。在图4b的

高密度电法深度剖面中,在和图4a相应桩号处明显可见一视电阻率小于 $20 \Omega \cdot \text{m}$ 的低阻异常。由此可推断,该处为一充填水或粘土等介质的低阻高反射系数的充填型溶洞。另外,在图4a中桩号为K72+899时间相应为60~80 ms处的反射波同相轴发生错断,解释该处为一断层,旁边的溶洞应当是由于断层影响而形成。后来经钻孔,验证了该解释结果,其深度误差在15%以内。

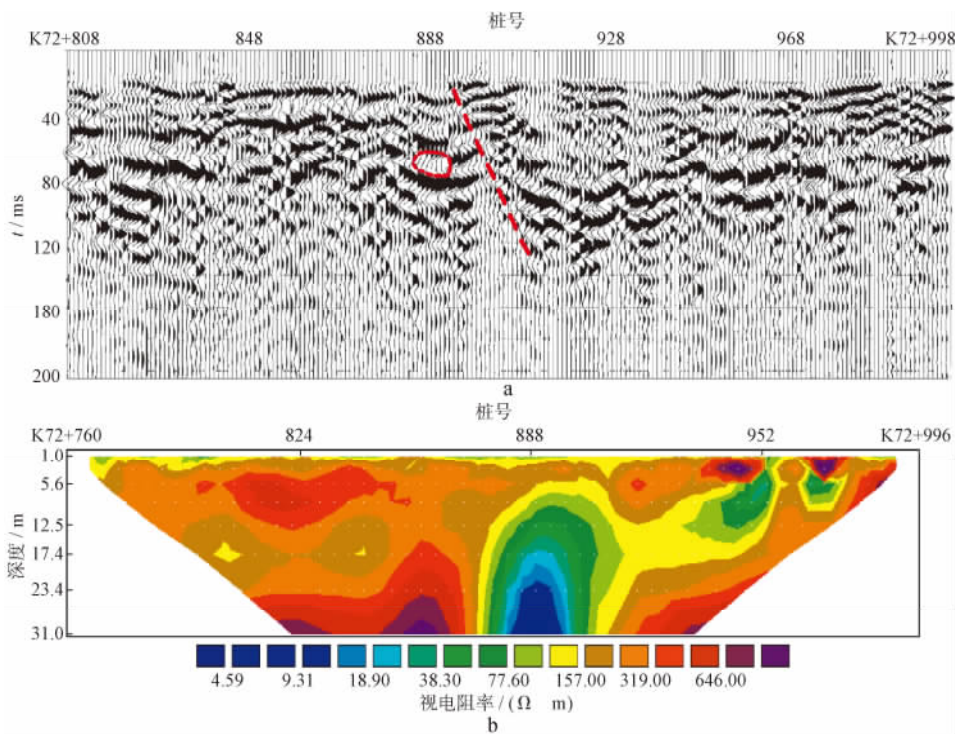


图4 地震映像法时间剖面(a)和高密度电法反演深度剖面(b)

4 结论

1) 地震映像法是一种新型的浅层地震勘查方法。它是在最佳窗口内选择一个最佳偏移距,有效地避开了直达波、面波和折射波的干扰,并且施工容易,资料处理简单(不需进行动校正和水平叠加等数据处理),分辨率较高,溶洞异常清晰。

2) 瞬态瑞雷面波法能利用频散曲线反演横波速度,并通过相邻道处理绘制出地质异常体的等值线图,等值线的位置、大小和形状反映了异常体(溶洞)位置、大小和形状,成果图直观可靠。

3) 高密度电法最大的特点是数据采集密度大,工作效率高,数据反演时自动化程度高,能较准确、较直观地反映岩溶、断裂等地下电性异常体的形态。

4) 由于物探方法的多解性,异常的辨认和解释有时是一件非常困难的事情,采用单一方法很难

达到较好的探测效果。因此,用地震映像法、瞬态瑞雷面波法和高密度电法等几种物探方法相互配合,取长补短,有效地提高异常的解释精度,这是高速公路建设中岩溶地质勘查的一条有效途径。

参考文献

- 1 侯卫生,刘江平.工程地震勘探新进展[J].勘探地球物理进展,2002,25(6):59~64
- 2 Liu Jiangping, Xia Jianghai, Luo Yinhe, et al. Extracting transient Rayleigh wave and its application in detecting quality of highway roadbed[J]. Progress in Environmental and Engineering Geophysics, 2004, 122~130
- 3 熊章强,张学强,谢尚平,等.高密度地震映像勘查方法及应用实例[J].地震学报,2004,26(3):344~348
- 4 刘江平,陈超,侯卫生.浅层地震映像法在堤坝无损检测中的应用[J].人民长江,2002,33(5):26~29
- 5 杨成林.瑞雷波勘探[M].北京:地质出版社,1993. 21~30