

综合物探方法在福建高速公路隧道勘察中的应用

杨 勇

(中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉, 430074; 福建省物探工程勘察院, 福州, 350011)

摘 要 在高速公路勘察前期, 物探勘察能为高速公路线路的设计及其它勘察工作的布置提供基础资料。根据不同的地质条件以及勘察要求选择合适的物探方法, 能达到事半功倍的效果。通过具体实例说明几种物探方法在福建省境内高速公路隧道勘察中的应用效果、存在问题及解决方法等。

关键词 隧道勘察 综合物探方法 应用 高速公路

福建省位于中国东南沿海, 面积 12 万多 km^2 , 是个多山的省份, 且有多组构造叠加, 地质条件较复杂。因此, 高速公路勘察前期需要查明所经线路上的地质构造情况。物探勘察可快速、经济、有效地评价隧道的工程地质条件, 为线路设计及下一步勘察工作的布置提供可靠依据。

1 物探方法选择

在高速公路勘察中, 采用物探方法的主要目的是查明地层情况、隧道(或桥梁等)所在地段构造分布情况、岩溶分布范围等, 常用的物探方法有浅层地震(反射、折射)、电法(常规、高密度)、磁法、大地电磁、超声波测井、瞬态瑞雷波勘探以及放射性测量等。针对不同的勘察任务及地球物理条件应选择合适的物探方法, 方能取得良好的勘探效果, 达到勘察目的。

(1) 查明基岩中断裂破碎带位置、隧洞处断裂构造破碎带分布等, 可选择地震波法、电法、磁法。

(2) 解决岩土分层问题, 可选择地震波法、瞬态瑞雷波勘探。

(3) 查明岩石波速, 可选择地震波法、超声波测井。

(4) 查明石灰岩地区岩溶分布情况, 可选择电法。

(5) 查明岩体放射性, 可选择伽马放射性测量。

(6) 找寻潜在的滑动面, 可优先选择瞬态瑞雷波勘探, 其次还可选择地震波法、电法。

(7) 划分围岩类别, 可选择地震波法及超声波测井等。

以上方法应根据勘探目标体的深度、物性差异, 选择合适的技术参数, 如电法, 当勘探深度增加时电极距相应加大; 目标体较浅时宜选择高密度电法, 较深则可选择大地电磁法。

收稿日期: 2009-12-08

作者简介: 杨 勇 (1977-), 男, 物探工程师, 应用地球物理专业。

2 各种物探方法应用效果

2.1 浅层地震折射

浅层地震折射法是利用人工震源激发的地震波在地下介质传播，当穿过不同波阻抗的分界面时，地震波改变了原来的传播方向而产生了透射，当下层大于上层介质的波阻抗时，在入射角大于或等于临界角的条件下，透射波将会沿着分界面以下层速度“滑行”，这种“滑行波”也将引起界面上层质点的振动，并以折射波的形式传至地面，用地震仪测量其到达地面观测点的时间和震源距，并找出其之间的函数关系，可获得折射界面的空间分布状态（包括介质的界面速度和埋深）^[1]。

折射波法一般用来探测覆盖层厚度、基岩起伏、断层产状、地下水分布及古河道等水文工程地质问题。在高速公路前期勘察中主要用于划分覆盖层厚度及低速带等，图 1 是在三阳隧道某段的浅层折射波法处理的成果资料。该隧道所处地层主要为粉砂岩，含少量石灰岩。前期物探资料，该区域内土层与全风化岩层波速一般为（500~1 500）m/s；强风化岩层、构造破碎带与裂隙密集带波速一般为（1 500~3 000）m/s；弱（微）中风化岩层波速一般为（3 000~4 500）m/s；弱（微）风化岩层波速一般大于 4 500 m/s。上述各岩土层之间的波速差异，满足了开展浅层地震勘察波折射法的地球物理前提。通过折射波法在 ZK51+336~ZK51+443 段发现存在低速带，并划分出了碎块状强风化层。为验证该低速带的存在，在该段重新布置了钻孔（DFK89B），最后证实了该处确实存在断层破碎带，其厚度超过了 16 m。

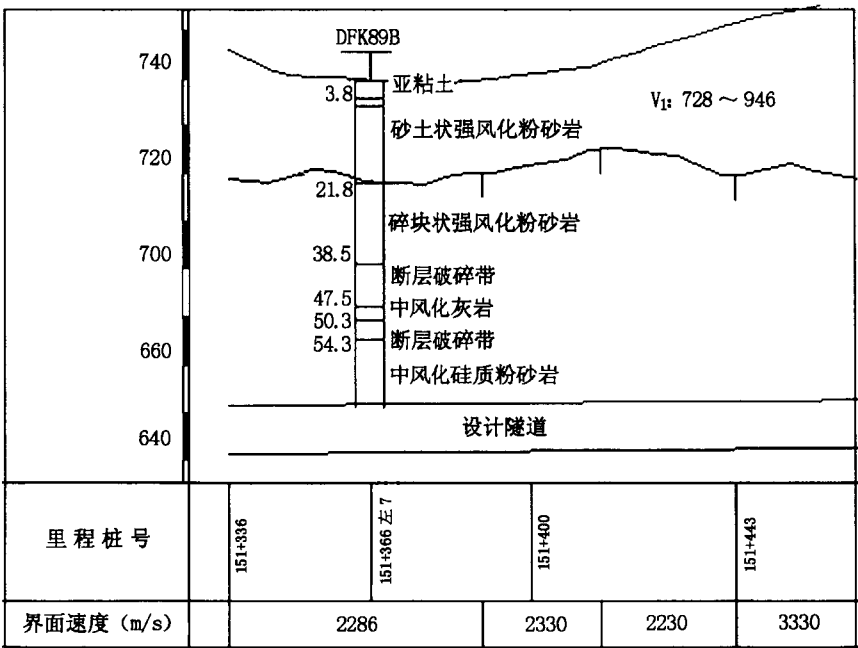


图 1 三阳隧道某段浅层折射波法解释剖面图

Fig. 1 Diagram showing the interpretative results of a segment of the Sanyang tunnel by the shallow refraction method

2.2 超声波测井

在福建高速公路勘察中超声波测井主要是单孔纵波测井,仪器均采用单发双收的工作方式,由发射探头向孔内发射高频弹性脉冲波,由于孔内清水或泥浆的波速(V_1)一般小于围岩的波速(V_2),因此脉冲波遇井壁发生折射,2个接收探头分别测量首波的初至时间,通过2接收探头之间的距离(ΔL)及接收时的时差(Δt),从而计算求得该段围岩的波速值^[2]。不同岩石具有不同的波速,通过声波测井可以详细、准确的划分地层。地层中岩石的破碎、节理裂隙发育及溶蚀孔洞的发育同时也不同程度影响到声波波速,因此还可以通过测定岩体的纵波波速、完整系数和裂隙系数、风化系数以及衰减系数来评价岩体的完整性以及稳定性等。声波测井结果(图2),可以明显看出在断层破碎带处波速较小,与碎块状粉砂岩的波速接近,在两段破碎带之间夹了一层灰岩,波速明显变大。通过图中的曲线可以看出,不同岩性之间的波速是不一样的,同一岩性的强风化与中风化之间也存在明显差异,断层破碎带波速变化明显。

2.3 高密度电法

高密度电法是集电剖面法和电测深法为一体的一种地学层析成像技术。与传统电阻率法对比具有成本低、效率高、信息丰富、解释方便等特点^[2]。通过密集采样提高采样率和“多次覆盖”方法提高信噪比,其测量结果为二维视电阻率断面,能了解地下一个面状信息,通过合理布置测线,能三维勾划地质体,从而达到立体勘探,可有效判定岩溶大小、断层破碎带的追索等问题。

图3是在某路基勘探中发现的溶洞区,该路段以白云质灰岩及其风化物为主,覆土层在5 m左右,强风化层厚度在10 m左右,岩层比较破碎,风化强烈,山坡植被茂盛,地下水较丰富。从110~170 m为异常区,经钻孔验证110~170 m溶蚀发育区位于地下20至40 m,其中2个钻孔在深度35 m附近有发现溶洞;210~260 m溶蚀发育深度较浅,位于0~20 m,其中240右10 m处地面已发生塌陷,另有2个钻孔见有溶洞,深度分别为6.6~7.8 m和10.75~16.10 m。

2.4 瞬态瑞雷波法

瞬态瑞雷波法是用锤击使地面产生一个包含所需频率范围的瞬态激励,当在地面施加一瞬间冲击力后,地面表层就有许多简谐波叠加而成瑞雷波传播。由于瑞雷波速度同剪切波速度及岩、土力学参数有着密切的关系^[3],因此可用于探查覆盖层厚度、划分松散地层沉积层序;探查基岩埋藏和基岩界面起伏形态,划分基岩的风化带;探查构造破碎带;探查滑坡体

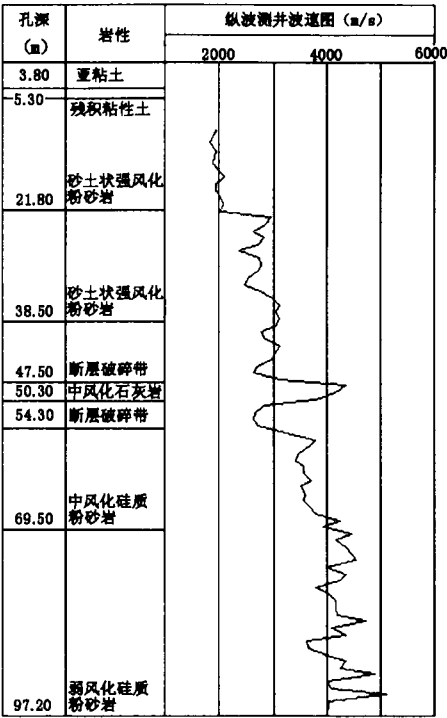


图2 三阳隧道(DFK89B)钻孔声波测井解释图

Fig. 2 Diagram showing the interpretative results of the sonic logging in the Sanyang tunnel

的滑动带和滑动面的起伏形态等^[4]。在高速公路勘察中，面波一般用来探查高边坡的滑动面及隧道进出口的覆盖层厚度（或构造破碎等），图 4 为定安隧道出口瞬态面波解释图，通过与少量钻孔资料对比，解释隧道出口的地层分布情况。

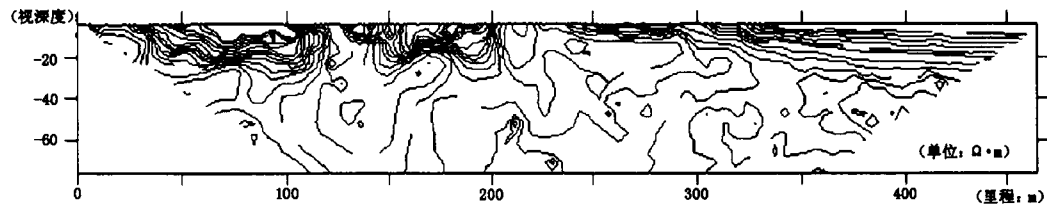


图 3 某路基高密度电法视电阻率剖面图

Fig. 3 Sectional drawing of the apparent resistivity by the high-density electrical method in a roadbed surveying

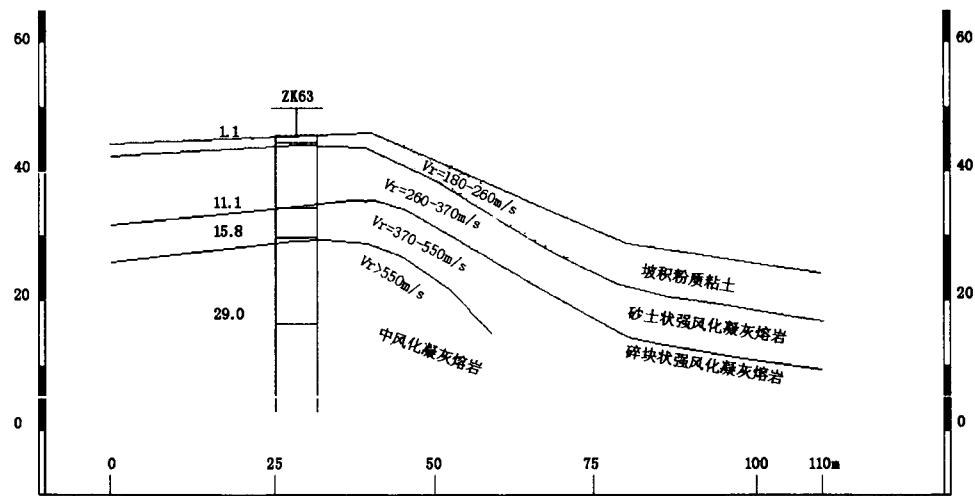


图 4 定安隧道出口瞬态面波解释图

Fig. 4 Diagram showing the interpretative results of the transient interface waves in the outlet of the Dingan tunnel

2.5 大地电磁法

大地电磁法是通过观测地面电磁场，研究地下岩石电阻率分布规律的一种物探方法。大地电磁场具有很宽的频率范围，当其入射到地下时，一部分被介质吸收衰减；一部分反射到地面的电磁场信息，反映了地下介质电性特征。因此，可通过对地表电、磁场分量的观测，研究其地下地质结构以及地下岩石电阻率的分布规律等。频率不同的大地电磁场，在振幅强度、振动形式及分布特征等方面各有特点。在高速公路勘察中，主要通过对隧道剖面电阻率的测量，以查明隧道洞身的深部构造分布情况。图 5 是东岱隧道大地电磁测深二维电阻率剖面图，在里程 K12+440~K12+550 以及里程 K12+780~K12+900 发现 2 处低阻异常，在 K12+470 布置钻孔（ZK75），经钻孔验证发现该处岩石破碎，上部为凝灰熔岩，下部为花岗岩。

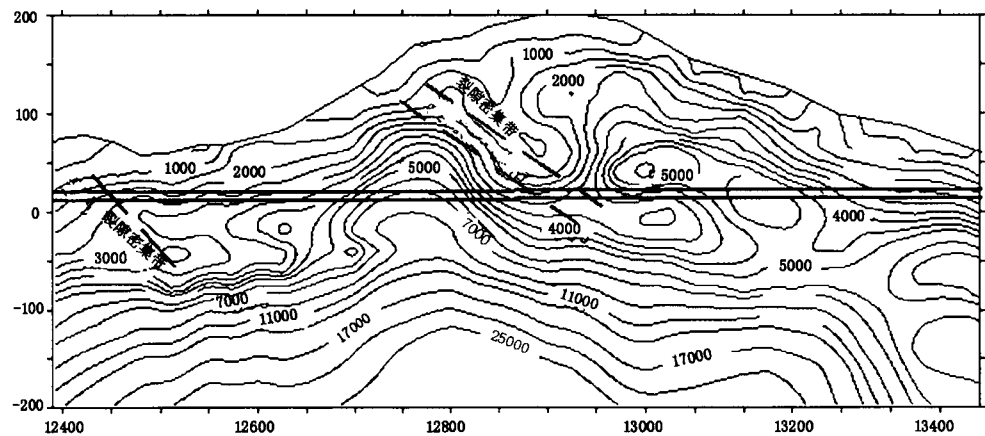


图 5 东岱隧道大地电磁测深 (MT) 二维电阻率解释图

Fig. 5 Diagram showing the two-dimension specific resistance by the telluric electromagnetic sounding in the Dongdai tunnel

2.6 放射性测量

高速公路勘察中的放射性测量指对高速公路设计线路采用伽马测量法，测量地表岩石或覆盖层中放射性核素产生的伽马射线，根据射线强度（或能量）的变化，发现伽马异常或伽马射线强度（或能量）的增高地段^[5]，并预测隧道工程在施工和运营过程中，可能产生的辐射环境影响范围和程度，为施工人员的辐射防护措施和工程的环境治理提供依据。同时通过对 γ 射线的测量，还可大致查明地质构造位置以及发现矿产资源等。

图 6 是在吴坑隧道中的测量结果，该线路上覆盖层较薄，局部见花岗岩出露，地表测量辐射剂量率较稳定，伽马辐射剂量率在 (253~364) nGY/h，在基岩出露部位伽马辐射剂量率较高，强度在 (422~468) nGY/h，根据经验及考虑隧道的 4π 空间效应，隧道内强度比隧道外略高，对施工人员须做好防护工作。

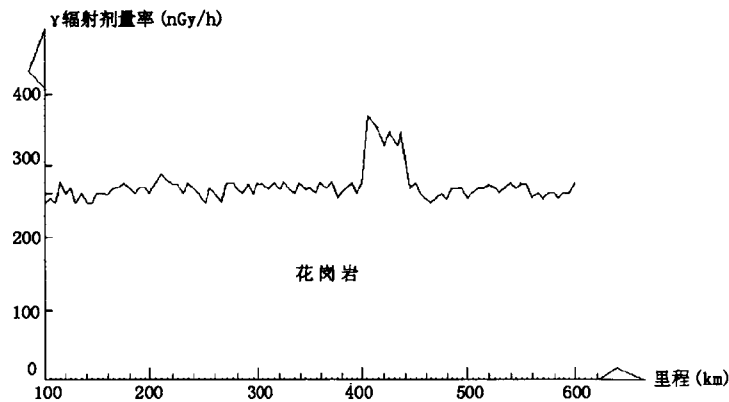


图 6 吴坑隧道辐射剂量率剖面图

Fig. 6 Diagram showing the radiation dose rates of the Wukeng tunnel

3 存在问题及解决方法

虽然各种物探方法在高速公路勘察中都取得了较好的效果,但同时也存在一定的局限性,各种方法的运用都必须具备相应的地球物理前提,同时还受地质条件的影响,当情况复杂时将影响解释精度。

3.1 浅层地震折射

首先,分辨率较低,地质情况比较复杂时资料解释误差大。透镜体和尖灭层对解释有一定影响,对于隐伏层有时相对误差可达 50% 以上^[5],对直立构造解释也会产生误导。其次,要求震源强度大,在靠近村庄或构(建)筑物时施工难度大。第三,该方法存在盲区,在施工时一定要在盲区外接收折射波。第四,同一排列中地形连续起伏时,可能产生穿透现象,直达波到达时间比折射波早,解释时也有很大的影响。因此,在采用折射波法施工时,需要有地震测井、钻孔资料及其它物探资料综合解释。对施工场地地质情况有充分的认识,选择合适的观测系统及排列参数,在初至区内追踪折射波。

3.2 超声波测井

孔内超声波测井多采用单发双收的探头,当井径不规则或井轴倾斜时将导致波到达 2 个接收探头过程中在泥浆部分花费的时间不同,从而出现误差。因此需要进行校正,应采用双发双收声系的井眼补偿声速测井仪,取其声时差平均值来消除上述影响。

3.3 高密度电法

第一,受到供电电流、电缆长度、测量灵敏度的影响,实际排列长度和勘察深度有限。当勘探深度加大时,分辨率随之降低,如提高分辨率则勘探深度又受到影响。第二,剖面两端的实际有效深度都小于最大深度,越靠近两端越浅。第三,受地形影响,包括测线上的地形及旁侧的地形,能较大程度影响到解释结果。第四,解释深度不能准确反映实际深度。因此采用该方法时,根据勘探目标体及任务要求,选择合适的观测装置、供电电流及电极间距、改善接地条件等。在一些地形、地物条件复杂的地区,应尽可能选择多条平行测线、多个方向的全方位勘探,并进行综合物探勘察等。同时,应根据钻孔资料来校正深度。

3.4 瞬态瑞雷波法

瞬态瑞雷波法勘探时,如果下伏地层存在地裂缝,可能导致频散曲线的基阶模式曲线出现截止或截断现象,或某些频率范围内没有导波的现象^[6],将对资料解释形成误导。因此在进行面波勘探的同时也应配合钻孔资料来解释。

3.5 大地电磁法

第一,受复杂地形影响较大,特别是深切沟谷会引起假的断层异常,当地形异常与断层异常相叠加时则较难解释。第二,陡坡地形也会引起地层扭曲。第三,地表不均匀体会引起较大的低阻异常,影响地质体引起的异常形态。第四,局部具有多解性。因此施工前应对隧道的地质构造、地层和岩性及物理特征有所了解,选择合适的装置参数,并尽量采用多种手段来综合勘察。

3.6 放射性测量

放射性测量受覆盖层厚度的影响,覆盖层厚则伽马射线强度相对较弱,因此解释资料时应综合考虑,对比较高放射性辐射剂量率且覆盖层较厚的地区应引起重视。

4 结语

在工程勘察中,任何一种物探方法都受到多种因素的制约,各种物探方法都有其先进的一面,又有受限制的一面,既有成功的例子,也有失败的教训。因此在实际生产工作中应根据勘探对象及目的选择合适的物探方法,尽可能采用多种物探方法进行勘探、综合解释,取长补短。同时还应该结合地质资料及钻探资料,提高资料解释的真实性和精度。

参 考 文 献

- 1 陈宏林,丰继林.工程地震勘察方法.北京:地震出版社,1998.
- 2 王兴泰主编.工程与环境物探新方法 新技术.北京:地质出版社,1996.
- 3 王俊茹编著.工程与环境地震勘探技术.北京:地质出版社,2002.
- 4 GJG/T 143—2004 多道瞬态面波勘察技术规程.
- 5 陈仲候等编.工程与环境物探教程.北京:地质出版社,1993.
- 6 杨天春等.地层中存在裂缝情况下的瑞利导波频散特征.物探与化探,2004,31(4).

Application of the Comprehensive Geophysical Exploration on the Tunnel Survey of a Freeway in Fujian Province

Yang Yong

(Resource Institute, China University of Geosciences, Wuhan, 430074;
Fujian Institute of Engineering Geophysical Prospecting, Fuzhou, 350011)

Abstract

On the previous period of a freeway survey, the geophysical prospecting reconnaissance can offer the base data for route design of a freeway and other investigation arrangement. If a comfortable geophysical method takes it's choice according to the different geologic conditions and survey requirement, it is able to get twice the result with half the effort. Based on the examples of a site investigation by some geophysical prospecting methods, the paper presents the applied effect, subsistent problems and solution in the freeway tunnel reconnaissance within Fujian Province.

Keywords tunnel reconnaissance, comprehensive geophysical prospecting method, application, a freeway