瞬态面波和地震折射法在隧道勘察中的综合应用

唐世庚,陈燕,梁志文,薛桂花
(中国冶金地质勘察工程总局 第三地质勘察院 物勘院,山西 临汾　041000)

摘 要: 瞬态面波勘探技术是近几年快速发展起来的高新技术,在工程勘察中得到广泛应用,效果良好。笔者结合工程实例,介绍了在地震折射勘探中同时采集面波信号,在资料处理时利用面波组份进行分析,配合折射资料对测区覆盖层、强风化层、中风化层及弱风化层厚度进行划分,同时相互映证解释基岩面的埋藏情况。

关键词:隧道勘察;瞬态面波;频散;地震折射
中图分类号: P631.4　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000 - 8918(2004)06 - 557 - 04

在公路隧道勘察中,一般都需查明覆盖层、风化层厚度,基岩面的埋藏情况、构造的分布情况及隧道围岩类别情况。2002 年,我们在青岛—银川高速路山西段汾阳薛公岭隧道(k28 + 150)～(k30 + 300)段做了勘察工作。按设计的要求,除需查明构造的分布情况和对隧道围岩类别进行划分外,还需详细查明覆盖层、强风化层、中风化层和弱风化层的厚度以及基岩面的埋藏情况。为此,初步确定采用地震折射法和高密度电法,但考虑到需详细划分覆盖层、强风化层、中—弱风化层的厚度,若用地震折射法,一般的观测系统很难达到要求。我们向设计单位提出用瞬态面波法(简称面波法)来进行勘察,设计单位采纳了此建议。

1　概况

薛公岭隧道位于山西省汾阳市境内。隧道进出口高程分别为 1 575.98 m 和 1 526.53 m,地面高程最大为 1 688.10 m,最大高差 161.57 m,隧道全长为 2.15 km。整个隧道属山岭区地貌单元,隧道沿线出露地层主要为奥陶系中马家沟组第二段(O_{m^2})白云质灰岩,第三段(O_{m^3})角砾状泥灰岩和泥质白云岩,第四段(O_{m^4})白云质灰岩。

2　工作原理

面波是在弹性分界面处由纵波和横波相互干涉而形成,并沿界面传播,波动现象集中在界面附近的一种合成弹性波。其沿自由表面传播,传播速度低,波长不同,其穿透深度不同。它与横波波速具有相关性,并在地震记录上呈扇形分布等特点。利用面波进行勘探,主要利用的是面波的频散特性和面波穿透深度与波长的关系。

在均匀介质中,面波波长 λ 与振动频率 f 无关,不会发生频散现象。在层状介质中,λ 与 f 互为函数关系,面波在传播过程中会发生频散,该特性是利用面波进行勘探的理论基础。由于面波法同时应用了波的动力学和运动学特征,而常规弹性波法主要利用波的运动学特征,且要求各层的波阻抗有较大的差异。因此,面波对介质的反映更为细微。

一般认为,对于波长为 λ 的面波,其对 $1/2\lambda$ 深度范围内的物质最为敏感。经计算得出面波水平振幅和垂直振幅随单位波长深度的变化规律表明:当深度 z 为 λ 的一半时,面波的大部分能量已损失,当深度 z 与波长 λ 相当时,其能量迅速衰减,因此可以认为面波的勘探深度为一个波长。这一事实说明面波某一波长的波速主要与深度小于 $1/2\lambda$ 的地层物性有关,该特性为面波勘探提供了依据。

3　野外施工

野外施工沿隧道中轴线进行勘察,工作布置全部按地震折射法确定,不同之处是采用了 10 Hz 低频检波器,利用了仪器上的面波采集模块。

3.1　仪器设备及参数的选择

勘测使用北京水电物探研究所生产的 SWS 型多波列数字图像工程勘探与检测仪。该机具有较强的人机对话功能,动态范围大,操作灵活,现场处理方便,在野外即可随时处理资料,以便了解地层的分

收稿日期:2003 - 05 - 26

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

布情况,现场指导施工。本次施工中采用 24 道接收,采样间隔 0.5 ms,采样点 2 048。

3.2 震源的选择

对于用同一排列能同时采集到丰富的面波和清晰的折射初至,震源应满足以下 2 方面的要求:①必须能激发宽频谱的地震波;②具有相当的能量。根据上述要求,施工选择了炸药震源。药量选择近炮 0.5 或 1 kg,远炮 1 或 2 kg。炸药包制成圆形,孔中激发,孔深 0.5 或 1 m。

3.3 观测方式

施工全部采用追逐相遇观测系统。实测前进行试验工作,利用展开排列法了解测区各种波在时域的分布规律,以便确定合适的道间距、偏移距。本次勘察选取道间距 4 m,偏移距近炮零偏移,远炮大于 80 m。

3.4 数据采集

数据采集完全按追逐相遇观测系统进行,只是在记录数据时用操作菜单中的面波采集模块,这样做的原因是资料处理时面波软件和地震软件均可共享数据。若用地震采集模块采集记录,数据将不能被面波处理软件识用。

数据采集过程中应随时对记录进行监视,不可出现空道、坏道现象,所有记录必须初至清晰,面波组分明显分布。可见,若要想同时采集清晰的初至折射波和丰富的面波,在技术要求上要比单纯的折射勘探全面一些。

4 资料处理

面波的资料处理软件为仪器配套的 FKSWS-Ⅲ版本处理系统,具体介绍如下。

(1)单点频散曲线的获得和解释。对于单炮地震记录,首先在其时域的波列图上拾取面波成分(图 1)并通过傅氏变换到 f-k 域(频率-波数),在 f-k 域中拾取面波基价模态能量轴,完成面波的 2 次提取,由此可得到单点的频散曲线。根据实测曲线形态、斜率、拐点的变化规律进行地层分层,由公式

$$v_{ri,n} = (v_{rn}H_n - v_{rn-1}H_{n-1})/(H_n - H_{n-1})$$

计算。式中,$v_{ri,n}$为第 n 层的面波层速度;$H_n - H_{n-1}$为层厚;v_{rn},H_n 为第 n 层底界面以上面波平均速度与界面深度;v_{rn-1},H_{n-1}为第 $n-1$ 层底界面以上面波平均速度与界面深度。

根据公式获得的地层速度-深度模型,用 FKSWS-Ⅲ版本处理系统做正演计算,用理论频散曲线和实际频散曲线进行拟合,使其达到最佳的拟合状

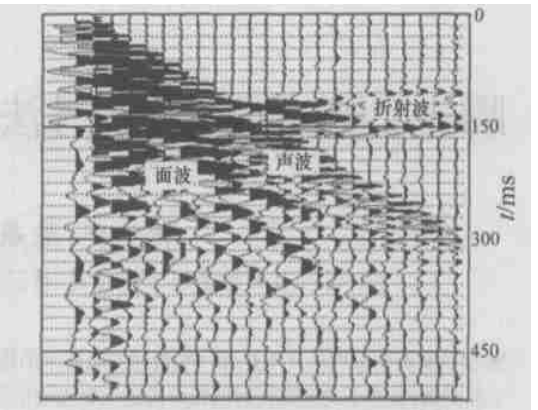


图 1 面波在地震记录中的分布

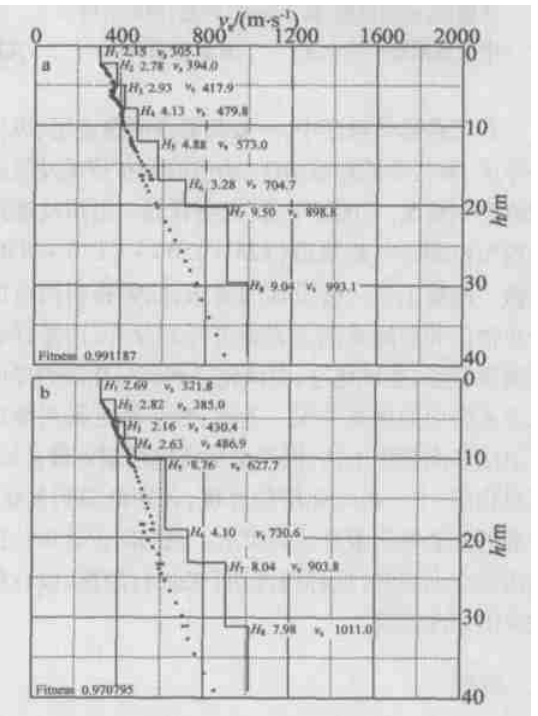


图 2 单点的面波成果

a—正向近炮第一点;b—反向近炮第一点

态,并进行地质分层,可得到单点面波成果(图 2)。

(2)剖面的生成。利用各个面波点的地层结构成果,按照地层速度参数的相近性将剖面上各个面波点速度相近的部位连接起来,便可得到面波勘探的等速剖面。关于对各层的划分标准,由于没有钻孔资料,在利用地调资料和经验的同时,主要靠面波速度以及参考由地震折射所获得的界面深度和速度来进行划分。

5 资料解释

从单张记录的面波分布看,其能量主要分布在 1～20 道范围内,这说明在进行面波点的选取时应在该范围内。面波点的选取主要从正反两个近炮排

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　折射法与面波的解释结果对比　　m/ s

点　号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
面波法	地形剖面	1590	1588	1586	1584	1582.8	1582	1582.9	1583.2	1584.4	1586.2	1586	1584.5
	全风化层	1581.5	1579.8	1580.5	1580.4	1582.3	1584.6	1583.9	1582.3				
	强风化层	1574.3	1573	1571.4	1573.5	1574.2	1574	1571.5	1571.5				
	中风化层	1565.6	1565.3	1562.4	1560.3	1560	1559.5	1561.6	1562.3				
	弱风化层	1562.4	1561.2	1559.4	1557	1555.2	1555.6	1558	1558.4				
折射法	全风化层	1587.7	1585	1583.4	1582.5	1581.2	1580.3	1580	1580.1	1581.7	1584.7	1584.3	1582.7
	未风化层	1564.3	1565.1	1564.8	1563.3	1562.7	1561.7	1560.4	1558	1555.8	1556.4	1557.3	1558.8
点　号		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
面波法	地形剖面	1583.5	1583.7	1585.2	1588	1588.5	1588	1587	1586	1585	1584	1583	1583
	全风化层	1580.3	1580.9	1583.5	1586.5	1587.5	1586	1584.3	1584				
	强风化层	1573	1573	1576	1577.3	1576.5	1576.5	1576.7	1577.3				
	中风化层	1562.5	1565	1566.5	1570.6	1570.6	1568.5	1568	1565.2				
	弱风化层	1560.5	1560.3	1564	1565.5	1565.4	1561.8	1564	1561.5				
折射法	全风化层	1580.5	1580.7	1582.7	1586	1587.4	1586.5	1584.5	1584.2	1583.2	1582.4	1581.7	1580.8
	未风化层	1560	1561	1563.2	1564.9	1565.9	1562.8	1563.1	1561.9	1558.7	1555.8	1555.3	1556

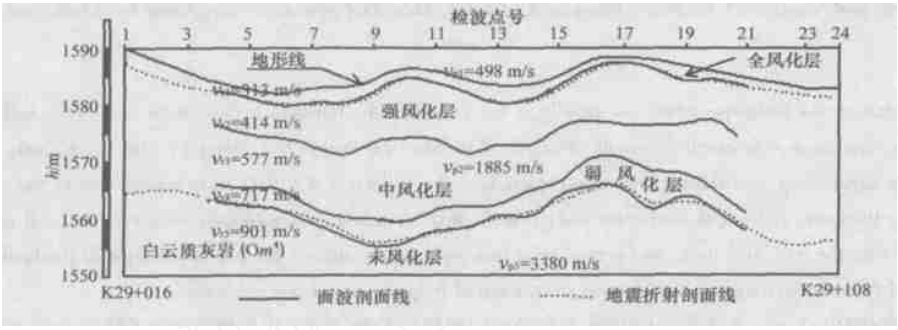


图 3　(k29 + 016) ～(k29 + 108) 段地层物探综合解释成果

列中获取,为保证数据的有效性,经多次试验确定所选取的道数不能少于 4 道,于是我们选取了 8 道作为单点面波的解释区域。具体取点的方法是:正向近炮 1～8 道为第一个面波点,2～9 道为第二个面波点,依次类推可取到 13～20 道,共计 13 个点,点距 4 m。反向近炮取点方法一样,只不过是从第 24 道开始,即 24～17 道为第一个点,12～5 道为第 13 个点。这样,正反两近炮均能取到 13 个点,并且中间有 9 个重复点,正好用来映证解释。

折射法的解释采用 t_0 时间差数法,面波的解释按本文第 5 节方法完成。解释成果统计见表 1(以一个排列为例)。

利用面波频散剖面进行速度分层解释如下(程序已自动将面波速度 v_r 转换为横波速度 v_s):①全风化层,层厚 1.0～3.2 m,v_s 为 305～321 m/ s;②强风化层,层厚 5.5～11.0 m,v_s 为 401～429 m/ s;③中风化层,层厚 5.9～14.7 m,v_s 为 526～628 m/ s;④弱风化层,层厚 2.0～6.7 m,v_s 为 705～731 m/ s;⑤未风化层(基岩)为白云质灰岩,v_s > 900 m/ s。

由上述数据资料绘成物探综合解释地质剖面(图 3)。从图中可以看出,由面波法和折射波法所得到的强风化界面和未风化界面吻合较好,两者差值强风化界面最大 0.8 m,未风化界面最大 1.1 m。综合两种方法的解释成果向设计单位提供的资料,后经钻探验证除在地形复杂地段误差较大外(最大误差 2.2 m),其余资料吻合较好,误差均在 1.1 m 以内,获得了设计单位、施工单位和监理单位的好评,并因此而减少了 30 %的钻探工作量。

6　结束语

通过上述实践,我们认为在进行地震勘探的同时若能兼顾面波的采集,不仅能达到配合地震解释提高成果精度的目的,也能弥补单一地震勘探观测系统所不能解决的地质问题。这一方面提高了生产质量和野外施工的效率,又降低了成本。

由于该方法在以往的勘察工作中很少使用,通过本次探索性生产,总结出在野外施工中应注意以下问题。

(1)在保证能出现清晰的折射初至情况下,尽量采用频率较低的检波器。

(2)道间距不能过大,一般不宜大于 5 m,否则易产生假频现象。

(3)并不是每个排列都能获得清晰的折射初至和丰富的面波,当面波成分较少时可适当调整排列长度和激发方式来完成,地形复杂地段可改变剖面

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

方向另外布置面波测点。

(4)解释区域(道数)应通过不同的排列多次试验来确定,建议不要少于 4 道。

(5)由于在两个相邻排列之间存在面波解释的盲区(盲区的长度由面波解释区域的道数决定),可在盲区内布置一小排列来解决。

参考文献:

[1] 王振东. 浅层地震勘探应用技术[M]. 北京:地址出版社,1994.

[2] 杨成林. 瑞雷波勘探[M]. 北京:地质出版社,1993.

[3] 蔚贵宏. 瞬态面波在西藏水库勘察中的应用[J]. 工程勘察,2000,(2).

AN INTEGRATED APPLICATION OF TRANSIENT SURFACE WAVE AND SEISMIC REFRACTION METHODS TO TUNNEL EXPLORATION

TANG Shi-geng, CHEN Yan, LIANG Zhi-wen, XUE Gui-hua

(Institute of Geophysical Exploration, No. 3 Academy of Geological Exploration, China Geological Exploration Bureau for Metallurgical Industry, Linfen 041000, China)

Abstract: As a high and new technique developed rapidly in recent years, the transient surface wave exploration technique is widely used in engineering exploration with excellent results obtained. With practical engineering examples, this paper deals with the collection of surface wave signal along with seismic refraction exploration, the utilization of surface wave components to make analysis during data processing, the thickness division of overburden bed, strongly-weathered bed, intermediately-weathered bed and weakly-weathered bed in combination with the refraction data, and mutual reflection and interpretation of the burial condition of the bedrock surface.

Key words: tunnel exploration; transient surface wave; dispersion of frequencies; seismic refraction

作者简介: 唐世庚(1974-),男,贵州遵义人,1996 年毕业于中国地质大学(武汉)应用地球物理系物探专业,现在从事专业技术工作,发表文章多篇。

·企业风采·

重庆地质仪器厂

重庆地质仪器厂是原地质矿产部直属专业从事地球物理勘探仪器研制、生产的国家重点企业,是中地装备集团物探仪器的生产基地。30 多年来企业聚集了国内地勘仪器研制和生产的优秀人才,吸收国际先进的电子仪器制造技术,开发生产了地震、电法、测井、检波器、放射性测量等 5 个门类各种型号的地质仪器。这些仪器广泛应用于地质找矿、工程勘查、地震监测、寻找地下水等领域。我厂依靠严格的企业管理、可靠的产品质量,于 2001 年获 ISO9001 国际质量体系认证。

目前,我厂生产的物探仪器有:

电法仪器: TEM-1 瞬变电磁测量系统;DDS-3 甚低频电磁仪;DUK 系列高密度电法测量系统、DZD 系列多功能直流电法仪、DDC-6 型电子自动补偿仪、DJF$_5$-10 型 5 kW 时间域激电仪发射机、DJF$_{10}$-10 型 10 kW 时间域激电仪发射机、DJS-8 型激电仪接收机、DZ-3 型 3 kW 整流电源。

地震仪:DZQ6A、DZQ6B 型 6 道工程地震仪(面波仪)、DZQ24～48 道地震仪(面波仪)。

检波器:1～100 Hz,有垂直检波器、水平检波器、井中检波器、垂直水平合成三分量检波器及高灵敏度、高阻尼检波器。

测井仪器:JGS-1 智能工程测井系统;绞车:300 m 手摇绞车,300～2000 m 变频控制自动绞车;探管:贴壁组合探管,密度、声波、井温、三侧向、磁化率、电极系、井径、能谱等探管。

放射性仪器: HFS-6 型 α 射线快速测量仪、FD-803A 型 γ 射线检测仪、HYX-6 微机 X 射线荧光仪、FD-256A 多道能谱仪。

重庆地质仪器厂竭诚为客户服务,欢迎来电、来函咨询与洽谈。

地　　址: 重庆市沙坪坝区半边街 2 号,400033
电　　话: 023-65291554;13908371410
传　　真: 023-65291557
网　　址: http://www.cgif.com.cn
电子信箱: cdy@cgif.com.cn

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net