

隧道地震波超前预报的数据采集技术

林朝旭

(福建省建筑设计研究院, 福建福州 350001)

摘要:从实用技术角度介绍隧道地震波超前预报的工作原理与数据采集技术。从激发装置、接收装置及参数选定三个方面探讨数据采集技术的重要性,并详细阐述在坚硬岩、硬岩及软岩隧道预报的采集参数选定方法,并通过工程实例说明如何获得高质量的地震波预报原始数据。

关键词:隧道地震波技术;TSP;激发装置;接收装置;采集参数

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2010)05-0664-04

随着我国基础建设规模的扩大,隧道工程已经成为公路、铁路和水利水电等大型项目中的重要工程,隧道地震波地质预报技术(英语为 Tunnel Seismic Prediction,简称 TSP 技术)在隧道施工中的应用也日益加大。相对于常规的地震勘探技术,TSP 技术具有一些特殊的技术特点。地震波地质预报是利用地震波在不均匀地质体中传播时产生的反射波特性,来预报隧道掘进前方及周围临近区域地质情况^[1]。通常在掌子面后方隧道侧壁的一定范围内布置激发点及接收点,接收点左右对称各 1 个,激发点一般 24 个,采取炮点检波点互换方式得到共接收点记录(图 1)。目前国内有瑞士安百格测量技术公司的 TSP203 型、北京市水电物探研究所研发的 TGP206 型等仪器在应用。由于从事勘测的人员知识结构参差不齐,数据采集及成果解释的质量难以保证。笔者根据多年从事地震波勘探工作经验,结合近几年完成隧道地震波地质超前预报的工作实践,从激发装置、接收装置及参数选定三方面对隧道预报现场数据的采集技术进行探讨。

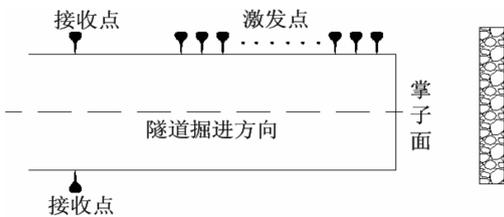


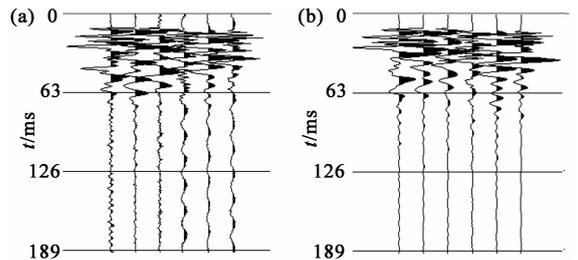
图 1 数据采集观测系统俯视示意

1 激发装置

1.1 震源类型

激发装置包括震源类型与触发方式。要求震源

能量大,频率高,和采用小药量爆炸震源在业内已达成共识,但高质量的震源信号还与岩体的围岩质量、起爆时炮眼内是否注满水有关。同等条件下,水中起爆和无水起爆相比较,其地震波的传播距离前者是后者的 1.5~2 倍,地震波频率前者比后者高 1.5~3 倍^[2],在充满水条件下可有效压制管波的干扰能量。



a—炮眼深度 1 m;b—炮眼深度 2 m

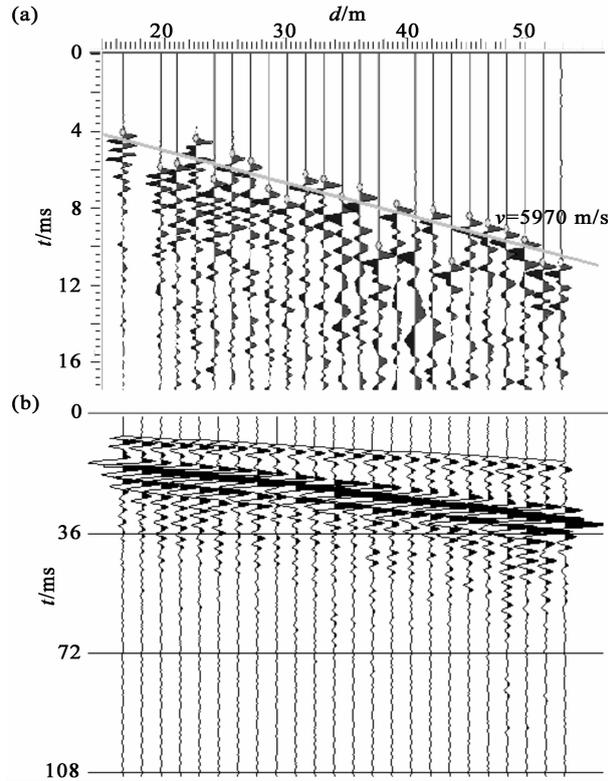
图 2 不同炮眼深度的 TSP 原始波形对比

图 2 为某隧道不同炮眼深度爆炸采集的原始波形,图中右侧记录的信噪比与地震波频率均明显高于左侧。众所周知,由于爆破震动和应力的释放过程使洞壁岩体松动,裂隙进一步发育,在洞壁浅部引爆,地震波传播衰减大,有效波的信噪比大为减低。为压制管波与背景噪音,在实际工作中炮眼深度一般为 2 m,炮眼钻孔方向下倾 5°~10°,药量 70~150 g,同时保持炮眼中充满水条件下爆破激发地震波。

1.2 触发方式

触发时间精度关系到地震波的读时精度和速度的准确性,瑞士进口的 TSP203 仪器采用起爆器触发电路的脉冲信号作为同步信号触发仪器开始采集。厂家宣称脉冲触发的精度为 10 μs,实际爆炸时

间由于存在电雷管的启爆延迟,其触发的时间差不小于 $1 \sim 3 \text{ ms}$ ^[3]。图 3a 为采用起爆触发电路的共接收点记录,图中相邻地震道初至信号的跳变为电雷管延迟造成。如果以花岗岩波速为 $5\,500 \text{ m/s}$ 计算,预报距离误差会有 $3 \sim 8 \text{ m}$,用于高速岩体计算预报距离时误差还要大一些。



a—起爆触发电路;b—爆炸开路触发方式

图 3 不同起爆触发电路的共接收点记录

北京市水电物探研究所研制生产的 TGP206 仪器采用药卷爆炸炸断同步信号线的开路触发方式,做到了药卷爆炸时同步触发仪器采集,克服了电雷管启爆延迟造成的误差,实践证明对于保证采集地震波信号的时间准确是有效的。图 3b 为采用爆炸开路触发方式采集的记录,图中直达纵波的初至时间呈线性规律。

2 接收装置

接收传感器是地震数据采集最为关键的设备之一,其性能直接关系到地震数据的质量和地震波成像的精度。三分量检波器必须具有高保真、高指向性能和较宽频带响应等特点,保证地震波波形完整、纵横波信息丰富明确。安装传感器的钻孔应垂直洞壁,尽可能保持水平,孔径应略大于传感器的口径,深度与炮眼深度一致。为了避免检波器在受震条件下产生自震干扰,应保证传感器与孔壁岩体直接耦合好。TSP203 仪器的接收装置要求套管与钻孔固结牢固,而目前多数使用者不了解该措施对采集数据的作用,为了节省成本盲目采取套管不固结反复使用的做法,造成采集的地震波记录信噪比差和存在套管自震等干扰波。而 TGP206 仪器采用黄油直接耦合,很好地解决了自震干扰问题。同时要严格按照传感器的方向要求安装传感器,保证三分量检波器正确的空间位置;为了降低管波干扰,应使用孔口减震器将接收孔孔口密封。

3 采集参数

3.1 炮距

TSP 技术采取炮点、检波点互换方式得到共接收点记录,所以炮距的物理意义就是常规地震勘探中的道距。与常规地震勘探相比,隧道地震波沿岩体传播,速度快频率高,记录的延时误差与人为的读数误差对解释成果的影响更大。假定地震波读时误差范围在 $0.1 \sim 0.4 \text{ ms}$,分析表明,同一炮距条件下预报误差随岩体速度增大而增大,同一岩体条件下预报误差随着炮距的增大而减小(表 1)。但炮距过大需要更大的药量与更长的操作平台,而药量的加大容易造成洞壁受震破坏和高频信号的衰减,因此大于 2 m 的炮距不宜采用。综上所述,为减少误差,提高预报精度,坚硬岩与硬岩隧道炮距宜选大,可选

表 1 不同岩体速度在不同炮距下的预报误差分析

岩体波速/(m/s)	炮距/m	排列长度/m	首尾道理论时差/ms	读时误差范围/ms	计算速度范围/(m/s)	相对误差范围/%
7000	0.5	11.5	1.643	0.1~0.4	7454~9253	6.48~32.18
	1	23	3.286	0.1~0.4	7220~7970	3.14~13.86
	1.5	34.5	4.929	0.1~0.4	7145~7618	2.07~8.83
	2	46	6.571	0.1~0.4	7108~7454	1.55~6.48
5000	0.5	11.5	2.300	0.1~0.4	5227~6053	4.55~21.05
	1	23	4.600	0.1~0.4	5111~5476	2.22~9.52
	1.5	34.5	6.900	0.1~0.4	5074~5308	1.47~6.15
	2	46	9.200	0.1~0.4	5055~5227	1.10~4.55
3000	0.5	11.5	3.833	0.1~0.4	3080~3350	2.68~11.65
	1	23	7.667	0.1~0.4	3040~3165	1.32~5.50
	1.5	34.5	11.500	0.1~0.4	3026~3108	0.88~3.60
	2	46	15.333	0.1~0.4	3020~3080	0.66~2.68

2 m;软岩与较软岩隧道地震波衰减快,炮距宜选小,可选 1 ~ 1.5 m。

3.2 偏移距

偏移距是炮点与接收点的最小距离,与预报距离有关,在激发能量满足条件下,偏移距增大时,管波到达时间随之增大,推迟它对有效反射回波的影响,增大了预报距离。另外偏移距过小,P波、S波的到达时间相差太小无法分辨,直接影响S波(后续波)的读时精度和速度的准确性。笔者根据多年的地震波工作实践,总结了灰岩、花岗岩及泥岩在不同偏移距下的预报情况,3种岩性依次代表了坚硬岩、硬岩及软岩。根据工作经验,一般在P、S波的到达时差大于2个周期条件下,在时间域中才能明显分离。表2中灰岩与花岗岩在偏移距大于30 m时才能满足以上条件,而泥岩在4种偏移距情况下均能满足,但泥岩的预报距离明显小于灰岩与花岗岩,预报距离随偏移距增大有明显加大。由于地震波能量在软岩传播过程中衰减快,加大偏移距需要更大的药量,而药量的增加可能造成洞壁的破坏和 高频信号的衰减,这是一对矛盾。综上所述,坚硬岩与硬岩隧道偏移距宜选大,可选 35 ~ 50 m;软岩与较软岩隧道在没有管波干扰条件下偏移距宜选小,可选 15 ~ 25 m,在管波干扰条件下应综合考虑预报

距离适当加大偏移距,可选 20 ~ 30 m。

3.3 采样率与采样点数

对大量现场资料分析证实,一般软岩的地震波(小药量爆破激发)频率为 200 ~ 600 Hz,硬岩为 400 ~ 1 500 Hz^[3]。根据抽样定理,抽样间隔 Δ 与谐振最大频率 f_{max} 必须满足 $\Delta < \frac{1}{2f_{max}}$ 。以最高频率 1 500 Hz 计算,只要小于 0.333 ms 即可,考虑读数精度一般采用高采样率采集,即选用 0.05 ~ 0.1 ms,采样点数与预报距离有关,预报距离在 100 ~ 200 m 范围采样点数选 2 048 ~ 4 096。

4 工程实例

图4为某灰岩隧道使用TGP仪器采集的记录,采集参数:炮距2 m,偏移距40 m,采样率0.05 ms,采样点数:4 096。炸药与传感器的安装深度均为2 m,且在炮眼充满水的条件下起爆激发地震波。图中地震波能量大,信噪比高,P、S波分离清晰,管波被有效压制。这样高质量的原始数据为隧道超前地质预报的预报精度提供了有力保障。

5 结束语

(1)采用起爆触发电路方式存在电雷管的启爆

表2 灰岩、花岗岩及泥岩在不同偏移距下的预报距离分析

岩性	f/Hz	2T/ms	$v_p/(ms)$	$v_s/(ms)$	偏移距/ms	P、S波时差/ms	管波到达时间/ms	P波预报距离/m	S波预报距离/m
灰岩	500	4	6000	3400	20	2.5	58.8	186	110
					30	3.8	88.2	280	165
					40	5.1	117.6	373	220
					50	6.4	147.1	466	275
花岗岩	400	5	5000	2850	20	3.0	58.8	157	94
					30	4.5	88.2	236	141
					40	6.0	117.6	314	188
					50	7.5	147.1	393	235
泥岩	300	6.7	2300	1050	20	10.4	58.8	78	41
					30	15.5	88.2	116	61
					40	20.7	117.6	155	82
					50	25.9	147.1	194	102

注:表中预报距离均考虑管波的干扰,各种岩体的纵横波速度根据工程实例获得

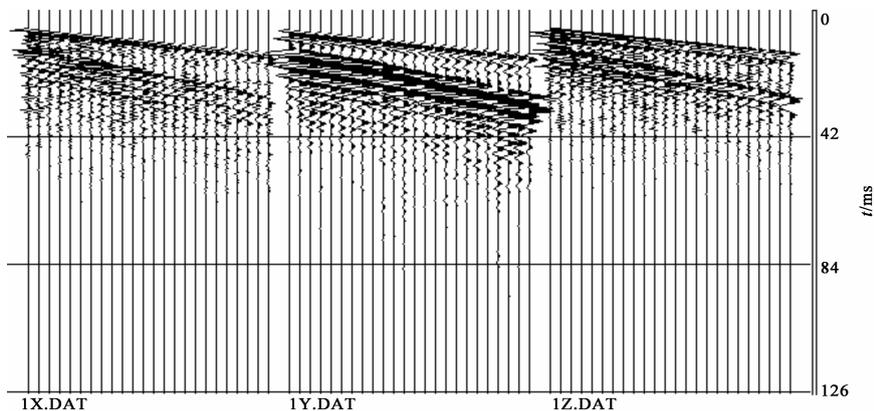


图4 灰岩隧道 TSP 共炮点记录

延迟,地震波的读时精度与解释精度都难以保证,而采用爆炸开路触发方式可以消除启爆延时的影响,提高资料的解释精度。

(2)为减少误差提高预报精度,坚硬岩与硬岩隧道炮间距宜选大,可选 2 m;软岩与较软岩隧道宜选小,可选 1~1.5 m。

(3)坚硬岩与硬岩隧道偏移距宜选大,可选 35~50 m;软岩与较软岩隧道在无管波干扰条件下偏移距宜选 15~25 m,在管波干扰条件下应综合考虑预报距离适当加大偏移距,可选 20~30 m。

参考文献:

- [1] 武威,岳建华,邓帅奇,等.煤巷地震超前探测合成记录的数值模拟方法研究[J].物探化探计算技术,2009,33(1):15.
- [2] The Advisory Committee on the Standardization. Application of Geophysical Methods to Engineering and Environmental Problems (SBN 4-938490-07-1) [M]. Published by the Society of Exploration of Geophysicists of Japan, 2004.
- [3] 刘云祯. TGP 隧道地震波预报系统与技术 [J]. 物探与化探, 2009, 33(2): 170.

A TENTATIVE TECHNICAL DISCUSSION ON DATA ACQUISITION FOR TUNNEL ADVANCED GEOLOGICAL PREDICTION

LIN Chao-xu

(Fujian Institute of Architectural Design and Research, Fuzhou 350001, China)

Abstract: From the angle of applied technology, this paper deals with the theory and data acquisition method of TSP tunnel advanced geological prediction, and discusses the technology of TSP data acquisition in the aspects of exciting configuration, receiver configuration and acquisition parameter. The method of parameter choice for extremely hard rock, hard rock and soft rock is also discussed. With case study, the means for getting high quality raw data is illustrated.

Key words: tunnel seismic prediction (TSP); exciting configuration; receiver configuration; acquisition parameter

作者简介:林朝旭(1973-),男,高级工程师,1996年毕业于华东地质学院,从事工程物探工作,公开发表学术论文数篇。

上接 642 页

simulation analysis, the authors established the seismic response model and revealed that the bioherm forward modeling of seismic profiles and the bioherm model have good similarity. 3D seismic data and drilling data were employed to make seismic facies and sedimentary facies analysis and, as a result, the "platform marginal reef-phase" phase belt formed at the end of the Changxing Formation was recognized. On such a basis, the shape and distribution characteristics of the bioherm were inferred. The wave impedance inversion and logging curves were also studied, and the results show that these two methods also have obvious effects in the prognostic work.

Key words: reef; numerical simulation; seismic facies; wave impedance inversion; logging

作者简介:胡伟光(1972-),男,工程师,从事地震资料处理、解释及储层反演方法研究工作,公开发表学术论文数篇。