第 21卷第 10期
2006年 10月

地球科学进展
ADVANCES IN EARTH SCIENCE

Vol. 21 No. 10
Oct., 2006

文章编号: 1001-8166(2006)10-1033-06

中国隧道及井巷地震波法超前探测技术研究分析*

张平松[1,2],吴健生[1]

(1.同济大学海洋与地球科学学院,上海 200092; 2.安徽理工大学资源与环境工程系,安徽 淮南 232001)

摘 要:自 20世纪 90年代以来,反射地震波法作为一种主要的超前探测技术在我国国内隧道及井巷工程中取得了诸多成功应用的探测实例,同时在应用中不同探测方法也存在不少问题。文章结合国内外超前探测中应用较为广泛的 TSP法、负视速度法、HSP法、TRT法、ISIS系统等反射波探测技术加以阐明,分析了国内超前探测技术应用与研究的现状,指出隧道及井巷超前探测数据采集与处理过程中存在的不足,并进一步提出超前探测研究在正反演理论、数据采集、偏移成像技术等方面应该注意的问题,超前探测的目标是要建立和完善一套实时的巷道前方地质体的动态监测与预报系统。

关 键 词:反射波法;超前探测;数据采集;偏移成像

中图分类号: P631 **文献标识码**: A

1 引 言

影响隧道及井巷工程掘进安全的地质因素较多,其中断层构造、破碎带、软弱层及含水体是最主要的异常体,因此必须能够对此进行超前探测与预报,为工程掘进提供可靠的技术保障。目前用于隧道及井巷超前探测的方法较多,但仍未有一种方法可以对掘进前方所遇到的地质异常体进行全面有效的判断与预报。应该说在所有的探测方法中,地震反射波法是最可靠、探测距离最远的物探手段之一。但由于隧道及井巷超前预报工作受观测条件的限制以及三维空间岩体内不同方向的反射波影响,使得超前地质解释同样存在很大的困难。从 20世纪 90年代初,我国铁道系统就开始进行反射波法超前探测系统及数据处理方法技术的研究,并取得了较好的成果。经过近 20年的发展,目前的反射波法超前探测技术研究状况如何,值得所有地球物理工作者去思考和总结。我国当前正在进行大规模的基础设施建设,其中包括大量的铁路、公路、地铁、引水等隧道(洞)建设,隧道钻孔机(TBM)的施工应用也正在兴起,加上各种矿山开采巷道,尤其是大量的煤矿掘进巷道,地面勘探资料较少,这样隧道及井巷工程施工过程中对前方地质条件的不可预见性增强,所造成的掘进头遭遇断层构造、煤与瓦斯突出、老空区、软弱岩层坍塌、突水等事故频频发生,带来了大量的人员和经济损失。应该说这些问题对地质地球物理工作者提出了更加严峻的挑战,提高对超前探测方法技术的准确性、可操作性、适用性以及长距离预测研究是所要解决的重要问题。文章结合国内外的隧道及井巷工程反射波超前探测方法技术研究成果进行讨论与分析,并对其未来的发展提出自己的思考和认识。

2 隧道及井巷工程反射波超前探测技术研究方法

对于隧道工程勘察及矿山开发勘探阶段,一般都要进行工程地质测绘、水文地质调查、综合地球物理勘探、深孔钻探等大量地面调查和勘探测试工作。这样可基本查清隧道及井巷区域内的工程地质和水文地质条件,为设计部门提供基础的地质资料进行

收稿日期: 2006-04-04;**修回日期**: 2006-07-24.

作者简介:张平松(1971-),男,安徽六安人,副教授,博士研究生,现从事地质工程及地球物理勘探教学与科研工作.
E-mail: pszhang71@163.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

工程设计。但由于隧道及井巷多为隐蔽工程,且深埋于地下,其岩体的工程地质、水文地质条件复杂多变。加上隧道工程的山地条件增多,井巷工程的开采深度加大,通常在工程勘探阶段查明其相关的岩体特征以及可能存在的不良地质体的位置、规模和性质是极其困难的。因此,这些问题都必须依靠掘进过程中的地质超前预报来解决。目前用于超前探测的方法主要有直接钻探法、地震波法、井巷电阻率法、电磁波法等。其中反射地震波法是应用最多的一种方法,具体来说,依据反射波原理超前探测的方法主要有隧道地震剖面系统、隧道垂直地震剖面法、水平声波剖面法、真反射成像法、综合地震成像系统以及陆地声纳法等[1~3],下面就各方法简介如下。

2.1 隧道地震超前预报系统

隧道地震超前预报系统(Tunnel Seismic Prediction, TSP系统;最新款为 TSP-203型),是由瑞士安伯格(Amberg)测量技术公司研制的一套先进的地质超前预报探测系统[4,5],我国是从 20世纪 90年代引进这套设备,目前主要用于隧道部门,因仪器设备不防爆未在煤矿超前探测中应用。TSP和其它反射地震波方法一样,采用了回声测量原理,通过分析反射地震波信号的运动学和动力学特征,对断层、岩石破碎等不良地质体的位置、规模、产状及岩石力学参数进行计算与界面提取成图。其成果解释依据:正反射振幅表明硬岩层,负反射振幅表明软岩层;若 S波反射较 P波强,则表明岩层饱含水;若 V_p/V_s增加或泊松比突然增大,常常由于流体的存在而引起;若 V_p下降,则表明裂隙度或孔隙度增加;该方法有效探测距离在 200 m左右。

2.2 负视速度法、垂直地震剖面法

地震负视速度法类似于 TSP法,20世纪 90年代初由曾兆璜提出,或称隧道垂直地震剖面法(TVSP)[6,7]。它利用地震波在不均匀地层中产生的反射波特征,来预报隧道施工开挖面前方及周围区域的地质情况。同样在隧道洞室侧壁的一定范围内布点进行激发与接收反射波,反射界面与测线直立正交时,所接收的反射波与直达波在记录图像上呈负视速度。其延长线与直达波延长线交点即为反射界面的位置。当所得记录中没有明显反射波时,可预测开挖面前方的岩质是均质的。通常负视速度法是测试面与所要探测的地质界面相互垂直,这种方法对与巷道夹角大于 70的异常界面适用性强。

负视速度法的数据处理是根据几何原理进行,未能对此深入研究。因为三维空间反射界面较多,单纯几何分析时距关系很难进行复杂构造判断。而 TSP法在资料处理上不是采用走时曲线分析方法,而采用深度偏移成像技术,对探测区域内前方一定范围内地质条件进行成像,同时综合纵、横波特征,能全面利用地震波信息。

2.3 水平声波剖面法

水平声波剖面法(Horizontal Seismic Profiling, HSP),最早由日本 OYO公司在 20世纪 50年代用于隧道前方地质探查[8]。其工作原理与地表反射地震类似,是分析反射波走时计算地层界面位置。HSP施工布置在距隧道迎头 50~70 m范围内,同样在一侧帮取 2 m左右深裸孔放置炸药,激发地震波,24个左右高频传感器接收地震波。HSP数据处理经过波场分离和叠前偏移可获得清晰的成像结果。图 1为 HSP法偏移结果的三维切片。

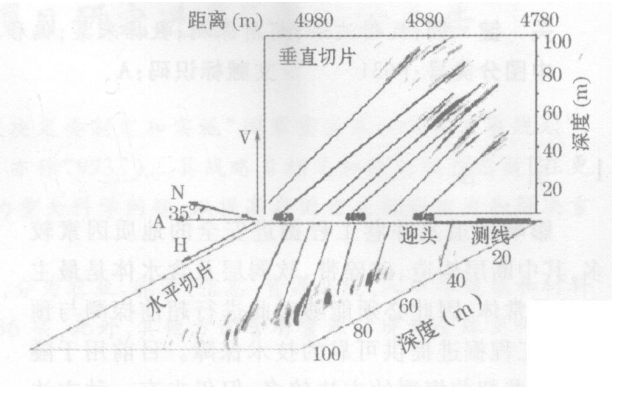


图 1 HSP法二维切片图

Fig. 1 2D slice of HSP

国内根据其原理有多种变通布置方法,如地震横排列法,是在巷道对等位置两边布置激发与接收系统,将发射源和接收换能器布设在隧道两侧的浅孔内,发、收位置均在平行于隧道地面的同一水平面上,构成“水平声波剖面”。这种方法的特点是各检测点所接受的反射波路径相等,因此反射波组合形态与反射界面形态相同,通常是直达波呈双曲线形态,反射波呈直线形,其图像直观。其另一优点是对反射界面倾角没有限制,适用的范围比负视速度法广泛。

2.4 真反射成像法

真反射层析成像(True Reflection Tomography, TRT)是由美国 NSA工程公司 20世纪 90年代后期开发完成,目前在欧洲、亚洲开始应用,其中日本、澳大利亚和香港隧道工程中应用最多[9]。TRT方法在观测方式和资料处理方法上与 TSP法有很大不

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

同。在观测上,它采用的是空间多点接收和激发系统。检波器和激发的炮点呈空间分布,布置在巷道迎头、顶板及两个侧帮上,以充分获得空间波场信息,提高对前方不良地质体的定位精度。在资料处理方法上是通过速度扫描和偏移成像。该方法对岩体中反射界面位置的确定、岩体波速和工程类别的划分等都有较高的精度。图 2为 TRT法在 Uterwald隧道的观测系统布置图,其中 A1～A10为接收点位置,且 A4、A9在隧道顶上; S1～S6为激发点位置,且 S1、S2布置在迎头;图 3为 TRT成像结果图。

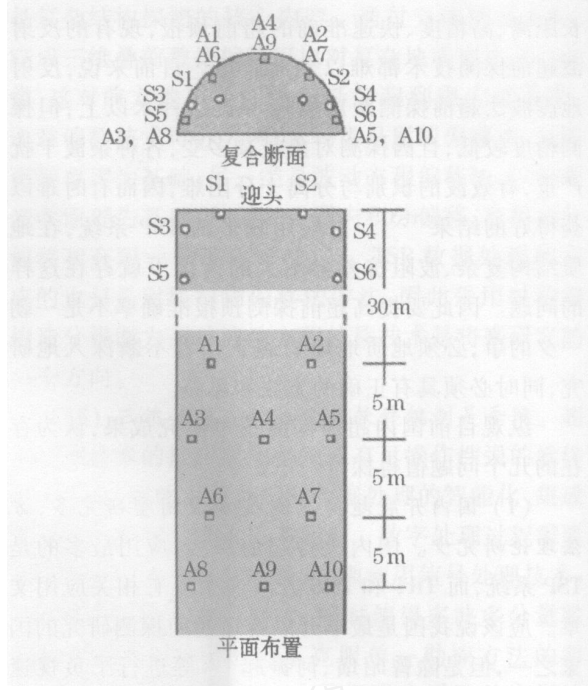


图 2　TRT法观测布置图

Fig. 2　Observation layout of TRT

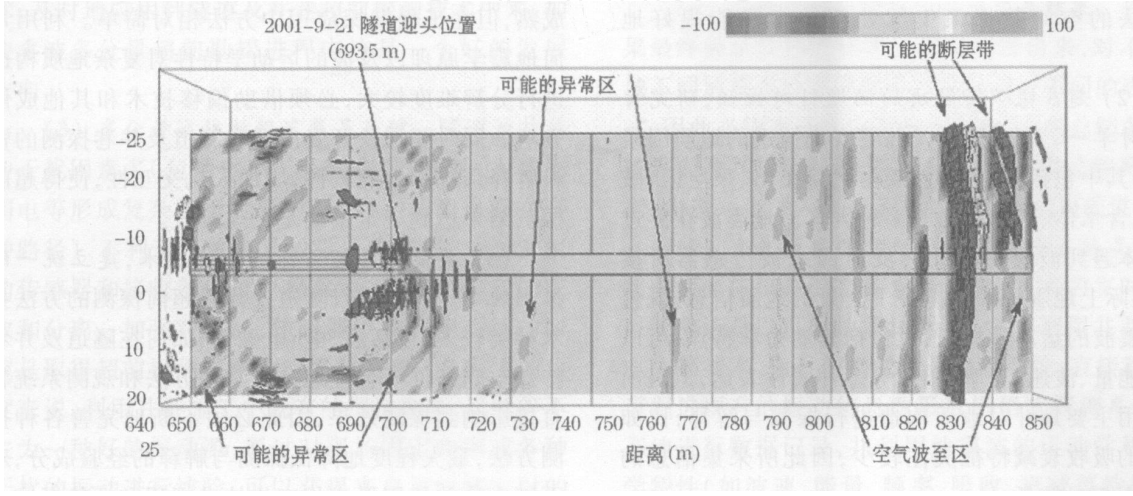


图 3　TRT方法成像结果图

Fig. 3　Imaging result of TRT

2.5　综合地震成像系统

综合地震成像系统 (Integrated Seismic Imaging System, ISIS),是 1999年由德国 GFZ公司与基尔大学合作完成的一套地震测试系统[10]。它将 3个相互垂直状态的检波器,利用粘固剂固定在锚杆上,按一定间距安装在隧道的墙面上。并利用 TBM作为震源激发地震波,从而接收地震记录。数据处理是采用 Fresnel-Volume偏移成像技术完成的。该方法可对隧道及井巷工程掘进前方以及顶部的复杂地质构造进行较为全面的预报。

2.6　陆地声纳法

陆地声纳法 (也叫高频地震反射法)是钟世航 1992年提出的,其实质是垂直地震波反射法[2]。该方法在隧道掌子面上采用极小偏移距,单点采集高频地震反射信号形成连续剖面,通过十字形观测系统和宽频带脉冲接收技术,预报掌子面前方断层及其它地质界面的位置和产状。该方法优点是分辨率高,但需占用掌子面。此方法在羊寨隧道和铝厂隧道超前探测时,成功地探查出掌子面前方 40～80 m距离范围的溶洞。

3　我国反射波法超前探测技术研究现状分析与认识

3.1　现状分析

各种反射波勘探方法都有自己的特点,在不同的工程应用中均取得了成功的实例,但是受物探方法本身的技术限制,以及在有限的场地条件下进行

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

长距离、高精度、快速准确的超前预报,现有的反射波超前探测技术都难以全面满足。目前来说,反射地震波法超前探测距离虽然可长达百米以上,但探测精度较低,且因探测对象复杂多变,各种杂波干扰严重,有效波的识别与分离十分困难,因而有时难以获得好的结果[1~3]。对应用较多的 TSP系统,在地质结构复杂、波阻抗差异不大的情况下就存在这样的问题。因此要提高超前探测预报准确率不是一朝一夕的事,必须地质地球物理工作者不断深入地研究,同时必须具有正确的方法和思路。

纵观目前国内超前探测技术研究成果,认为存在的几个问题值得探讨一下。

(1) 国内开展超前探测技术应用型研究多,方法理论研究少。国内进行超前探测,应用最多的是 TSP系统,而 TRT和 ISIS方法还未见有相关应用文章。应该说我国是最早开展隧道超前探测研究的国家之一,但是除曾昭璜、何振起[6,7]等进行了负视速度法的理论及处理算法研究外,对隧道及井巷中超前探测技术原理开展的研究很少,特别是对反射地震波法的空间数据采集与处理技术没能很好地深入。

(2) 超前探测所解决的问题针对性强,研究目标相对单一。影响隧道及井巷安全掘进的地质因素较多,其中包括断层构造、煤与瓦斯突出、采空区、破碎带、含水体、矿山压力等多种因素。地震波在穿过煤岩体遇到波阻抗界面后反射回来被传感器所接收,实际上地震记录中携带了大量的地质信息,既包括地震波的运动学特征,也包括其动力学特点,可以通过能量、波速、频率、相位等多种属性表达,但目前的应用主要是针对地质构造进行探测与解释,比如对波的吸收衰减特征关注较少,因此所采集信息的利用率相对较低。

(3) 超前探测应用面相对较窄,不能完全适应国内市场需求。可以这样说,国内的超前探测应用多半是在隧道工程中完成的,而对于技术应用急需的矿山井巷地质条件的预报基本上没有大的起色。煤矿巷道掘进包括岩石和煤层巷道,所遇到的地质问题相对更为复杂,同时涉及到仪器设备的安全与防爆,国家发改委已把煤矿巷道掘进超前探测作为近几年科技攻关的内容,因此这将是未来研究的一个大方向。对于软土隧洞、地铁开挖中所遇到的地质问题也未有反射波探测的相关研究文章。

(4) 对隧道及井巷探测条件以及推广性仪器设备的研究基本上是空白。隧道及井巷超前探测条件有限,同时地下空间数据采集具有复杂性。如何充分利用巷道中的实际空间条件,合理避开井下各种干扰因素,尽可能全面地收集反射波信息,是为后续数据反演与成像提供基础。当然这里还应注重数据采集的实用性,应尽量避免与工程施工的冲突。但实际探测中所引进的成套设备都是按一定的技术要求流水操作,这往往左右了我们的思维,不利于国内超前探测技术的深入研究和技术进步。

同时应该看到,制约国内 TSP等技术推广的一个重要原因是仪器设备的费用昂贵,包括每一次探测的成本都是很高。事实上安徽理工大学技术人员专门对 TSP数据采集设备与 KDZ1114-3型矿井地质探测仪进行对比,两者在数据质量上没有大的差别,关键是国外技术工艺先进,数据处理软件功能完善。因此要发展超前探测技术,大力开发和完善自主产权的适用性强的探测仪器设备至关重要,重点不在于引进,应该是借鉴。

(5) 反射地震波数据处理方法简单,软件可操作性差。反射波数据处理在石油及煤田勘探中技术成熟,但在工程勘探应用中方法相对简单。利用几何地震学原理以及波的运动学特性对复杂地质构造进行分辨难度较大,必须借助偏移技术和其他成像方法。同时要加快开发出适合隧道及井巷探测的资料解释系统和处理软件,增加人机交互性,使得超前探测结果达到半定量或是更高阶段。

(6) 要能完善超前探测方法技术,建立统一的探测规范。目前进行隧道及井巷超前探测的方法技术种类较多,包括震、电、电磁等,如何在隧道及井巷特殊空间条件下合理地选择物探方法和观测系统将直接影响到探测效果,因此必须不断地完善各种探测方法,最大程度地降低探测与解释的经验成分,对不同方法的使用形成相应的技术规程和评价标准。

3.2 几点认识

针对国内隧道及井巷超前探测技术的现状,笔者认为对于地质地球物理工作者有许多工作要做,而且必须加强对超前探测技术理论的深入研究,紧密结合地震探测技术的发展,才能取得我国超前探测技术的新进展。

(1) 正、反演理论研究是超前探测的基础。物探方法本身是一种间接的观测方法,是通过物理学原理和仪器获得已知岩层或模型的物性参数及其规律,再根据已建立的物性规律 (数学物理模型)去解释野外实际观测的参数值,然后再将物探成果 (物性剖面、断面、平面图等)解译成地质成果。这里正

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

反演理论研究是基础。就隧道及井巷超前探测来说,对不同地质条件下反射波的基本特征理论研究不够深入,尤其是对煤矿掘进过程中不同地质模型的正演计算、波路特征理解不透彻。煤巷掘进时来自顶、底板岩层、前后方地质异常体的反射波使得地震记录相对复杂,因此通过实际模型或水槽模拟等手段,加强对不同地质界面的特征模式研究与识别至关重要。对地质目标体的反演计算可采用多种计算方法,包括有限差分法、积分方程法、有限单元法和边界单元法等。目前对全空间的二维、三维模型进行模拟和反演已趋于成熟,而对于井巷条件下的三维地质物理模型的模拟和计算尚须进一步深入地研究。

(2) 高精度地震仪器设备是保证。目前探测技术本身正在飞速地发展,同时电子科技也在不断地进步,因此紧跟国际勘探形势,加快国内地震勘探仪器设备的研制,特别是矿井中便携防爆地震仪器设备的研制尤为重要,这是获得高质量数据采集的前提和保证。同时要努力借鉴地面地震勘探中的新技术,及时地应用到隧道及井巷超前探测技术中来,加快多波多分量超前勘探进程应该是一个好的发展方向。

(3) 多分量立体数据采集是关键。隧道及井巷中干扰因素多 (包括生产、运输、爆破、振动、大功率用电等形成复杂的干扰源,即使同一场源也存在多种路径),不利于有效信号的激发和采集,采用常规的传感器和接收条件难以确保可靠、有用信息的获取和分离。加强对震源、传感器以及观测系统的研究是取得超前探测成果的前提和关键。从震源的角度来说,利用井巷施工中现有的掘进设备、风锤等不失为一种好的振动源,通过对现场固定频率或各种干扰的振动进行滤除,可以获得来自目标体反射的各种有效波。对于传感器,采用多分量多波接收,可以增大数据信息量[11],通过现有分量对不同方向地震波进行记录合成也是一种新的思路。观测系统同样不能忽视,在不影响掘进生产的同时,综合利用迎头、两侧帮以及巷道顶底部岩层条件,采用三维立体数据采集应该是发展的方向 (TRT法中采用),但必须使成像技术跟上要求。

(4) 叠前数据偏移成像技术是核心。由于隧道及井巷工作面的尺寸相对探测对象的距离来说要小得多,因此井巷内的地震波场是一种复杂的三维波场。在这种情况下,偏移成像和物性结构反演成像相互迭代是解决问题的重要途径,速度参数的获取是复杂结构探测的核心内容。通过立体数据采集,完成三维叠前数据偏移可以对复杂地质构造进行成像,这对前方地质条件的判断会起到很大的帮助。通常偏移技术可分为两类,一类是射线偏移法,以惠更斯原理为基础;另一类是波动方程偏移法,以物理光学原理为基础,包括克希霍夫积分偏移、有限差分偏移和有限元偏移等方法[12]。TSP数据处理所完成的也只是射线扫描偏移法方法,因此采用对精细构造分辨能力高的波动方程偏移技术是将来研究的一个方向。

(5) 三维互动式数据处理软件编制是手段。超前探测技术的推广应用必须要有可操作性强的软件作为手段,因此对超前探测数据处理的智能化、集成化是软件编制的重点思考问题。数字处理过程需要充分考虑井巷中数据质量,合理利用信号处理技术,不断提高信噪比和分辨力,同时使得多波多分量数据得以利用和综合。为了克服单一勘探方法的弱点,尽可能考虑与其他方法数据联合反演的实用性及数据接口。

(6) 探测应用与解释理论研究是结果。探测结果最终都是以地质解释的成果呈现出来,对不同区域不同地质条件反射波特征可能会有不同的表现形式,因此必须通过实际探测与应用,不断总结各种地质界面及其特征异常等的反应,找出理论解释的依据,为进一步深入研究及不同区域的应用提供基础。

(7) 立体数据信息超前预报监测系统是目标。超前探测应该是综合信息的反映,未来的实时监测系统应该是以反射地震波为主,综合利用井巷直流电法等技术,通过便携式信号接收系统,直接利用巷道掘进现有的振动信息源形成网络式观测系统,动态地进行数据记录,并利用地震波的运动学和动力学特性 (如波速、能量、频率、吸收、衰减等特征)进行处理与解释,结合井巷区域地质条件对掘进头前方的各种地质信息进行反演,能够对地质构造、地下水、瓦斯、采空区、岩体压力等复杂地质特征进行动态监测与预报,并能通过地面监控中心对前方地质条件进行实时处理。

4　结　语

反射波法各种超前探测技术在我国隧道及井巷工程中发挥着巨大的指导作用,为巷道掘进及安全生产提供了重要的技术保障。但我们必须面对现实,认真总结和分析国内外该领域探测技术研究现状,努力寻求我国超前预报技术的新发展和新飞跃。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

总的来说,要进一步提高对地质灾害的探测及超前预报的准确性和精度,就必须发挥自我优势,紧跟探测技术的发展,加强对地下地质地球物理性质和井巷条件各种空间响应进行全面、深入的研究,充分发挥现代数学分析方法、信号采集与数据处理技术的作用,结合隧道及井巷条件从理论上进行相应的数学模拟和正反演计算,在室内或已知探测点进行各种方法的试验研究,获得各种观测方法的应用条件和最佳观测系统,以找出针对不同地质地球物理模型的有效、快速的判测方法。全面利用现有地质资料及各种信号手段,走多方法、多参数、多角度的综合地球物理勘探之路,完善超前探测结果的地质解释工作,努力实现对隧道及井巷工程掘进中的实时与动态监测。

参考文献 (References) :

[1] Zhao Yonggui, Liu Hao, Sun Yu, *et al*. Research progress in tunnel geological prediction[J]. *Progress in Geophysics*, 2003, 18(3): 460-464. [赵永贵,刘浩,孙宇,等. 隧道地质超前预报研究进展[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(3): 460-464.]

[2] Zhong Hongwei, Zhao Ling. Analysis of status-quo of forward prediction technology of Chinese tunnel works[J]. *People's Yangtze River*, 2004, 35(9): 15-19. [钟宏伟,赵凌. 我国隧道工程超前预报技术现状分析[J]. 人民长江, 2004, 35(9): 15-19.]

[3] Wang Qiren. Progress in the geophysical exploration research on underground geological hazards[J]. *Progress in Geophysics*, 2004, 19(3): 497-503. [王齐仁. 地下地质灾害地球物理探测研究进展[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(3): 497-503.]

[4] Amberg Measuring Technique Ltd. Comparison of Various Tunnel Geological Forecast Techniques[M]. 2003.

[5] Liu Zhigang, Liu Xiufeng. TSP application and development in tunnel lead forecast[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(8): 1 399-1 402. [刘志刚,刘秀峰. TSP(隧道地震勘探)在隧道隧洞超前预报中的应用与发展[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(8): 1 399-1 402.]

[6] He Zhenqi, Li Hai, Liang Yanzhong. Geological super-leading forecast during tunnel construction by utilizing seismic response analysis method[J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2000, (4): 81-85. [何振起,李海,梁颜忠. 利用地震反射法进行隧道施工地质超前预报[J]. 铁道工程学报, 2000, (4): 81-85.]

[7] Zeng Zhaohuang. Prediction ahead of the tunnel face by the seismic reflection methods[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1994, 37(2): 268-271. [曾昭璜. 隧道地震反射法超前预报[J]. 地球物理学报, 1994, 37(2): 268-271.]

[8] Inazaki T, Isahai H, Kawamura S, *et al*. Stepwise application of horizontal seismic profiling for tunnel prediction ahead of the face[J]. *The Leading Edge December*, 1999, 18(12): 1 429-1 431.

[9] Otto R, Button E A, Bretterebner, *et al*. The application of TRT (true reflection tomography) at the unterwald tunnel[J]. *Felsbau*, 2002, 20(2): 51-56.

[10] Born G, Giese R, Klose C, *et al*. ISIS-integrated Seismic Imaging System for the Geological Prediction Ahead of Underground Construction[C]. Norway: Eage 65th Conference and Exhibition, 2003.

[11] Jun Matsushima, Yasukuni Okubo, Shuichi Rokugawa, *et al*. Seismic reflector imaging by prestack time migration in the Kakkonda geothermal field, Japan[J]. *Geothermics*, 2003, 32: 79-99.

[12] Jon F Claerbout. Imaging the Earth's Interior[M]. Geophysics Department Stanford University, 1984.

Research and Analysis of Forward Prediction Technology Using Seismic Reflection Wave in Tunnel and Laneway in China

ZHANG Ping-song[1,2], WU Jian-sheng[1]

(1. School of Ocean and Earth Science of Tongji University, Shanghai 200092, *China; 2. Department of Resource and Environment Engineering of Anhui University of Science and Technology, Huainan* 232001, *China)*

Abstract: The detection and forecast for geological structure ahead of the tunnel and laneway is a very difficult problem in the world. Many applied researches based on the method of the seismic reflection wave have been done in our country from 1990, and many successful practical examples are obtained. At the same time, the detecting methods also have different problems. The main methods using reflection wave principle for forward prediction in the word include different forms, such as TSP, negative watching velocity, HSP, TRT, ISIS, and landsonar method, and so on. This article illustrates briefly the principle of different methods, and analyzes the status-quo of application and research of the forward prediction technology in China. The existing shortage in data collecting and processing of forward prediction ahead of tunnel and laneway is pointed out. The authors believe that the researches of the forward model and inversion theory, data collecting system in 3D complex space, migration imaging technology, *etc*, should be concerned in forward prediction and forecast. The aim of forward prediction is to establish and consummate the dynamic system of real time watching and forecasting for geological structures ahead of tunnel and laneway.

Key words: Seismic reflection wave; Forward prediction; Data collection; Migration imaging

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net