

·地质与勘测·

TSP203 隧道喀斯特超前地质预报技术研究

张伟, 杨震中

(中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550081)

摘要:近年来,随着国民经济的快速发展,我国广大的喀斯特地区正在修建大量的隧道工程,面临的施工问题也日益复杂。如何提高喀斯特地区隧道地质预报准确性已经成为迫切需要解决的课题。本文依托新建贵广铁路某隧道超前预报工作为工程背景,对TSP203预报中的一些问题进行了探讨,提出了以TSP203岩石物理力学参数曲线为主要解释依据,并结合纵波(P波)的深度偏移图进行综合分析解释的方法,能有效提高TSP203的预报准确率,对类似工程有一定的借鉴意义。

关键词:地质学;隧道超前地质预报;TSP203;岩石物理力学参数;P波;深度偏移图

中图分类号: TU195⁺.1; P631.3⁺3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1007-0133(2012)02-0006-04

0 引言

随着我国经济的快速发展,特别是西部大开发以来,高标准的高速公路、高速铁路以及大型水利水电工程的建设使隧道工程线路越来越长,埋深越来越大,随之产生的地质灾害也越来越严重,尤其是喀斯特地质灾害。作为线状工程的隧道由于勘察手段、时间的限制,在设计阶段很难全面摸清隧道沿线的地质情况,为了避免或减少因未勘明的不良地质体引发的事故,在隧道开挖过程中,超前地质预报技术得到了广泛的应用。

本文依托新建贵广铁路某隧道超前预报工作为工程背景,对TSP203预报中的一些问题进行了探讨,提出了以TSP203岩石物理力学参数曲线为主要解释依据,并结合纵波(P波)的深度偏移图进行综合分析解释的方法,能有效提高TSP203的预报准确率,对类似工程有一定的借鉴意义。

1 TSP203 预报技术的基本原理

瑞士安伯格测量技术有限公司TSP203超前预报系统属中距离预报。其基本原理是利用地震波在不均匀地质体中传播产生的反射波特性和来预报隧道掌子面前方及周围临近区域的地质情况。该方法通过小药量激发产生的地震波在岩体中传播,当遇到波阻抗差异界面时(例如断层、岩石破碎带和岩性变化等),一部分地震信号反射回来,一部分信号透射进入前方介质,反射的地震信号被高灵敏度的三分量传感器接收。由于地震波的传播时间与反射界面的距离成正比,故而能提供一种直接的测量手段。该方法属多波多分量探测技术,主要探测隧道掌子面前方100~150 m范围内是否存在较大规

模的含水喀斯特管道、断层、构造破碎带等不良地质缺陷,宏观上指导隧洞施工掘进。

2 TSP203 的资料处理

TSP203的资料处理是一个非常重要的环节,各参数的设置是否合理直接关系预报的准确性。虽然TSP203的处理软件高度智能化,许多参数能够自动生成,但在实际预报过程中使用这些自动生成的参数必须谨慎,原因有2点:一是这些参数的自动生成与原始数据的质量有关,对于原始数据质量较高的数据可以直接使用,但对于原始数据质量不是很好的时候就必须手动设置这些参数;二是这些参数的生成往往适用于大部分岩石,但是对于特定的某种岩石精度却无法保证;因此,在数据处理过程中,必须有针对性的对一些参数进行手动设置。本节就TSP203资料处理中的滤波与纵横波波速比 V_p/V_s 的参数怎样设置和怎样判别设置的参数是否合理进行探讨。

2.1 带通滤波参数的设置及合理性判别

带通滤波是TSP203数据处理中最为关键的一步,也是最难的一步,怎样合理设置滤波参数是广大预报工作者最为头疼的问题,作者曾经对TSP203的主频进行了大量的研究与总结,希望能够得到1组相对比较固定的滤波参数,但最终失败告终。其原因是地震波的频率不只与岩性、岩体的完整性有关,还与炸药的爆破速度、药量大小以及爆破孔是否充水等条件有关。这些因素决定了每

收稿日期:2011-11-16

作者简介:张伟(1982—),男(土家族),贵州省德江县人,工程师,从事隧道超前地质预报工作。

次采集的 TSP 数据的主频都是不同的。既然每次采集的 TSP 数据的主频不同,自然每次预报的滤波参数就应该不同,怎样确定滤波参数就成为预报的关键。

图1、图2为某隧道 TSP 预报的不同时窗的频谱图,其中图1的时窗为0~250 ms,图2的时窗为0~150 ms。从图1可知,频率在100~700 Hz和1400~1800 Hz两段的振幅较大,但图2中1400~1800 Hz频率范围内的振幅很低。根据波的传播原理,时间越长高频信号衰减速度就越快,也就是说,如果图1中1400~1800 Hz频率范围内的信号为有效信号,那么图2中1400~1800 Hz频率范围内的振幅应该较图1中1400~1800 Hz频率范围内的振幅大,因为图2的时窗较图1的时窗短,但实际图2中1400~1800 Hz频率范围内振幅却很小,由此可以判断1400~1800 Hz频率范围内的信号为干扰信号。在进行滤波处理时,应该把该信号滤掉。

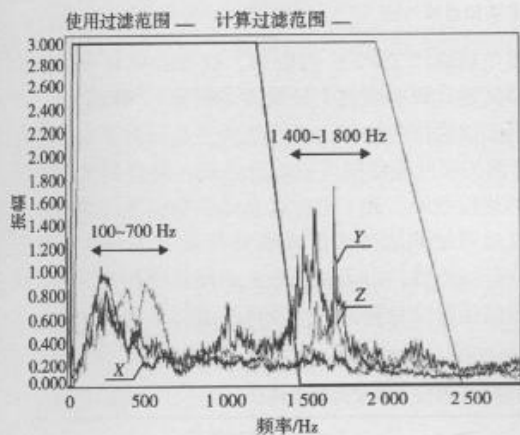


图1 窗口长度为250 ms的TSP频谱图

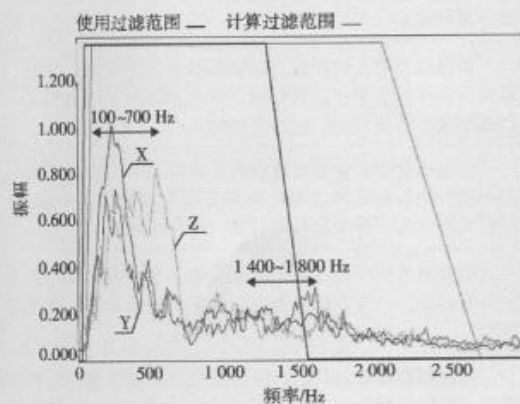


图2 窗口长度为150 ms的TSP频谱图

图3为某隧道的TSP203数据的频谱图,从图3中可知,有2段的振幅较大,频率分别为50~1100 Hz和1100 Hz~1600 Hz,其频率情况与图1相似;但通过选取80 ms时窗,见图4,其频率基本无变化,说明2段的频率都是有效频率,在进行滤波处理时,如果把1100~1600 Hz段的频率滤掉,那将得不偿失。

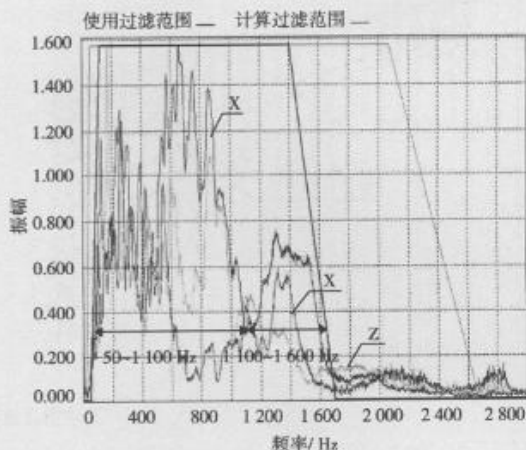


图3 窗口长度为250 ms的TSP频谱

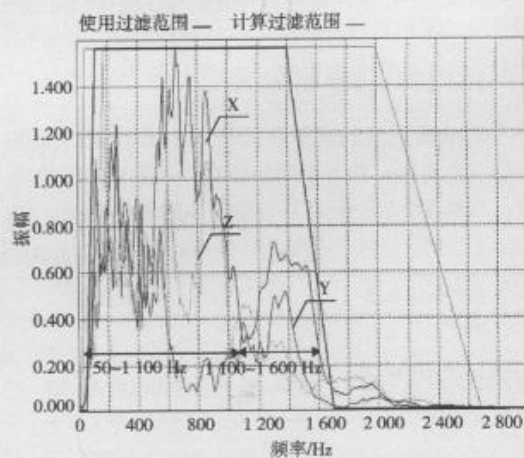


图4 窗口长度为80 ms的TSP频谱

因此在实际工作中,应通过选取不同的窗口长度来区分有效信号和干扰信号,从而确定带通滤波参数。要获得合理的滤波参数,还必须对隧道内常见干扰波的特征有所了解,同时对地震波的传播特性也须进行深入研究。

2.2 纵横波波速比 V_p/V_s 的设置及合理性判别

纵横波波速比 V_p/V_s 的值直接影响对横波的后续分析,同时 V_p/V_s 值也是评价岩体是否含流体的一个重要指标。系统默认 $V_p/V_s = 1.73$, 这是一个世

界范围内获得的经验值,普遍适用于大部分岩石,但是对于特定的某种岩石,精度却无法保证,因为该值不仅与岩性有关,还与岩体的孔隙度、孔隙中的充填物、埋藏深度和地质年代有关。如图5,虚

线为横波的实际线,实线为横波的拾取线。如果 V_p/V_s 取1.75时,直达横波的拾取曲线与横波的实际曲线相差较大,而当 V_p/V_s 取1.85时,拾取曲线与横波的实际曲线基本重合。

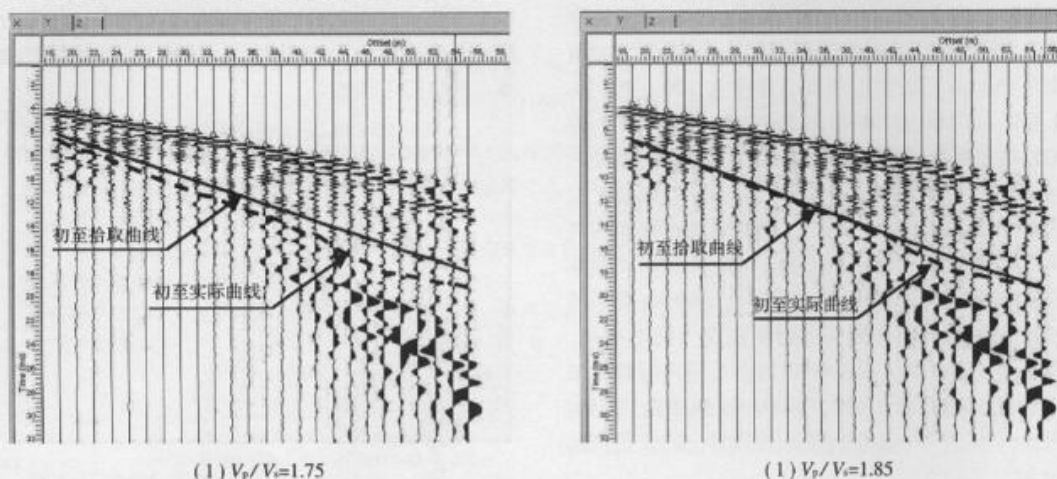


图5 直达横波拾取线与实际曲线对比

为此, V_p/V_s 的确定需建立在区域地质和地面物探资料以及该工区不同地层岩性 V_p 和 V_s 的试验测试值基础上,必须对 V_p/V_s 的默认值根据不同地质环境、不同岩性进行多次拟合修改。

3 TSP203 的资料解译

TSP203 的资料解译是 TSP203 超前预报的最重要的一个阶段,能否正确解译直接关系到预报的成败,虽然 TSP203 提供了一些基本的解译准则,但

要正确解译 TSP203 的资料,这些准则还永远不能满足,作者通过大量的理论研究和实践总结,提出了以岩体的物理力学参数为主要预报依据,结合 P 波的深度偏移图进行综合分析,能得到比较理想的预报效果。表 1 是作者总结出来的不同类型的不良地质缺陷岩体物理力学参数特征及 P 波深度偏移图特征。当然,由于物探方法的间接性和多解性,该方法还要结合隧道的地质环境进行综合分析。

表1 不同类型的不良地质缺陷岩体物理力学参数特征及深度偏移图特征

不良地质体类型	岩体物理力学参数特征	P 波深度偏移特征
断层及断层破碎带	岩体 V_p 、 V_s 、 ρ 、 E 均下降,如果含水,则 V_s 下降幅度比 V_p 大。	以强烈的负反射开始,以强烈的正反射结束,反射带内正负反射层杂乱,以负反射为主,单个负反射条带窄、延伸性差。
软弱夹泥充填型	岩体 V_p 、 V_s 、 ρ 、 E 均下降,且溶洞内波速变化较小。	以强烈的负反射开始,以强烈的正反射结束,反射带内正负反射层少、正负相间,以负反射为主,单个反射条带宽、延伸性好。
泥夹石充填型	岩体 V_p 、 V_s 、 ρ 、 E 均下降,高低变化频率随充填物内块石粒径变大而降低,随充填物内块石含量变大而升高。	正负反射层数量视充填物内块石粒径和含量的不同而不同,块石粒径和含量大则正负反射层较多而杂乱,以负反射为主,单个反射条带宽、延伸性好。
地下水充填型	岩体 V_p 、 V_s 、 ρ 、 E 均下降,且横波下降幅度比纵波大,内部波速变化较小; V_p/V_s 及 σ 升高。	以强烈的负反射开始,以正反射结束。反射带内正负反射层较少,以负反射为主,单个反射条带宽、延伸性好。
无充填型	岩体 V_p 、 V_s 、 ρ 、 E 均下降,且内部波速变化较小。	以强烈的负反射开始,以强烈的正反射结束,反射带内正负反射层少、正负相间,以负反射为主,反射带内单个反射条带窄、延伸性差。

4 工程实例

新建贵阳至广州铁路某隧道起止桩号为 DK99+840~DK106+210 m, 全长 6 370 m, 为一级高风险隧道。隧道沿线水文及工程地质情况复杂, 从进口到出口隧道分别通过奥陶系、志留系、泥盆系 3 套地层, 岩性分别为中至厚层白云质灰岩、中厚层砂质页岩夹薄层砂岩及灰岩、中厚层泥灰岩夹砂页岩。沿线穿越了 2 条规模较大的断层, 分别为硝洞 1 号断层、硝洞 2 号断层, 断层影响带宽 30~100 m 不等, 沿断层带可能存在涌水、涌泥、塌方等影

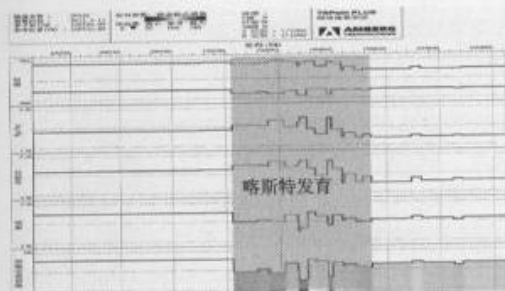


图6 DK100+782 m 掌子面 TSP203 岩石物理力学参数结果图

后经开挖证实: 该段的确为硝洞 1 号正断层及断层影响带, 带内出现了较大规模的涌水、涌泥。

5 结论

(1) TSP 作为目前中长距离最为广泛的预报手段, 能够较准确地反映掌子面前方预报范围内的岩体变化情况, 对具有一定规模的地质异常、岩层层面反映较为准确, 对岩层中是否含水的情况亦能准确判断。

(2) 在进行 TSP203 资料处理时, 带通滤波的参数可采用不同窗口长度来确定, 以分辨有效信号, 而纵横波速比 V_p/V_s 的选取则需建立在区域地质和地面物探资料以及工区不同地层岩性 V_p 和 V_s 的试验测试值基础上。

(3) 在进行 TSP203 资料解译时, 应以 TSP203 的岩石物理力学参数曲线为主要解译依据, 并结合

响隧道施工安全的重大不良地质体。

图 6、图 7 分别为该隧道进口端 DK100+765 掌子面 TSP203 岩石物理力学参数结果图和 P 波的深度偏移图, 结合表 1 分析可知 DK100+782~DK100+834 m 段的岩石物理力学参数和 P 波的深度偏移图满足断层及断层破碎带特征, 同时也满足泥夹石及充水型喀斯特的特征, 结合地质分析, 最终解释该段为硝洞 1 号正断层及断层影响带, 喀斯特发育、岩体溶蚀破碎、含水量丰富, 施工过程中存在一定规模的涌水、涌泥、塌方。

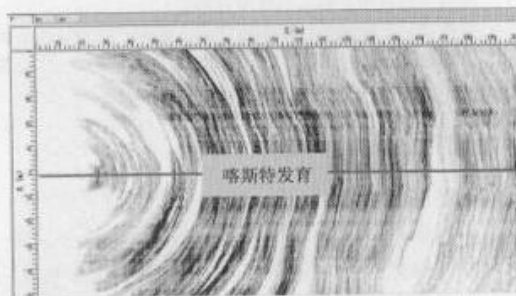


图7 TSP203 的 P 波深度偏移图

P 波深度偏移图进行综合分析解释, 才能有效提高 TSP203 的预报准确率。

(4) 影响目前 TSP203 预报准确性的因素很多, 除了本文提出的资料处理和解译外, 还应在数据采集过程中下足功夫, 良好的原始数据是进行资料处理与分析的基础。

参考文献:

- [1] 谭天元, 张伟. 深埋特长隧道超前地质预报体系综合技术研究[J]. 水力发电, 2008, (07).
- [2] 谭天元, 张伟, 等. 隧道工程超前地质预报中的综合物探技术[J]. 贵州水力发电, 2006, (06).
- [3] 徐贵辉. 复杂喀斯特地区隧道施工综合地质预报技术及工程应用[D]. 长沙, 中南大学硕士学位论文, 2010.
- [4] 许振浩, 李术才, 等. TSP 超前地质预报地震波反射特性研究[J]. 地下空间与工程学报, 2008, (04).

(责任编辑: 梁文龙)

(上接第 5 页)

积累, 代表了该院在碾压混凝土筑坝技术从引进、消化吸收至全面应用不同阶段的技术特点和水平。

在国家西部大开发和“西电东送”重点工程建设中, 贵阳院相继承担了乌江索风营、思林、沙沱、北盘江光照、清水河大花水、格里桥等工程碾压混凝土坝的设计, 大坝建设高度在不断攀升, 自然与环境条

件及设计施工条件越来越复杂, 建设要求也越来越高。勇于实践、开拓创新仍是贵阳院推动碾压混凝土技术进步的主旋律, 相信通过这些工程的建设, 必将创造出更多更好的碾压混凝土筑坝技术经验与成果, 为我国碾压混凝土筑坝技术的进一步提高与发展作出贡献!

(责任编辑: 唐成书)