

地震波法与超前钻探法在隧道竖向岩溶发育带中的应用

兰 平

贵州兴桥试验检测有限公司 贵州 贵州 550000

摘要: 岩溶发育的不确定和复杂性导致的不良地质灾害频发, 给隧道施工带来极大风险。为保证隧洞施工的安全, 必须进行超前地质预测工作, 但单一的雷达法预报手段存在预报距离短、临兆储备不足等缺点, TSP 预报系统单次预报距离可达 150 米, 其对于裂隙、岩溶等预报效果较好。结合隧洞施工, 通过 TSP 和超前勘探的综合预测手段对前方岩溶破裂带做出了明确判断, 有效保证了隧洞施工安全性。

关键词: 隧道; TSP; 岩溶; 超前地质预报

一、前言

由于当前交通工程的大力发展, 公路、铁道、水利等重要工程都需要修筑隧洞以跨越高山地, 而隧洞施工中穿越的不良地质灾害容易引起坍塌、涌水突泥、瓦斯保护爆破、软岩大变形等事件, 所以对进行隧洞地质的超前预测, 对于减少盲目施工, 保证建筑设备和人员安全, 都有着重要意义。

隧洞的超前性地质预报, 是指运用钻孔和现代物探设备等技术手段监测隧道、隧洞、地下室厂房等地下水工程建设中的岩石体在施工之前方的地质状况, 并力图在工程建设前及时了解前方的岩石体构造、特性、状况, 包括地下水、瓦斯等的赋存状况、大地应力状况等地质信息的一个技术手段。

经统计分析, 从二零零一年至二零一零年的十年间, 在全国道路、水电等领域隧道施工出现的重大安全事故九十七起, 由突水突砂引起的严重水文灾害占百分之七十七点三, 人员死亡近千人, 大批设备报废, 部分隧洞工程被停建或改线, 对环境损害严重, 经济损失较重大^[1-2]。

为比较有效的了解隧洞施工过程中掌子面前方的地质状况, 以达到降低或避免施工期水文灾害、保证施工安全的目的, 自 20 世纪 70 年代起就重视对隧洞施工过程的超前地质监测理论、科学技术探讨和设计实施等工作^[3]。但因为岩溶发育的不确定性以及隐蔽性, 西南岩溶发育地区隧道开挖揭露岩溶涌突泥事故频发, 针对这一特殊的不良地质情况, 国内众多学者通过工程实际, 针对超前地质预报开展了大量的实践和研究, 取得丰硕成果, 形成了从单一到综合, 从灾害预测到发育机理分

析的一体化的综合预报体系。而在综合预测系统阶段规划中, 以 TSP、TST 等预测系统为代表的中长距离预测技术由于具备了预测距离较远, 施工简便, 精度高, 成果丰富, 对掌子面施工影响较小等一系列优势, 已成为实际施工中隧道内超前性地质预测的一种普遍方式, 在综合预报体系中起着举足轻重的作用, 其在岩溶隧道的预报应用中得到广泛使用并取得较为良好的效果^[4-10]。

二、地震波法施工超前地质预报技术

2.1 基本原理及方法

地震波反射法 (TSP 法) 是使用震中波反射回波方式测定的基本原理。TSP203 地质超前性预测系统, 是运用抗震波在不平衡地貌统中形成的反射波特征来预测隧洞掘进面前方和周边及邻近区地质学活动情况的, TSP 方案属于多波长多分量高分辨率抗震反射法。将抗震波作用在工程设计的震源点 (一般在隧洞的左或右侧墙, 大概二十四个炮点) 用小量爆破炸药触发后形成, 在抗震波作用出现的岩石波阻抗差异界面 (如断层、破裂带和岩性结构改变等) 后, 一部分的地震信息反弹了回来, 一部分信号透射, 进入到前方介质。反射的地震事件信息将被高敏感度的地震检测仪收到, 数据结果信息经过 TSPwin 软件数据处理后, 就能够掌握隧道工作面及前方

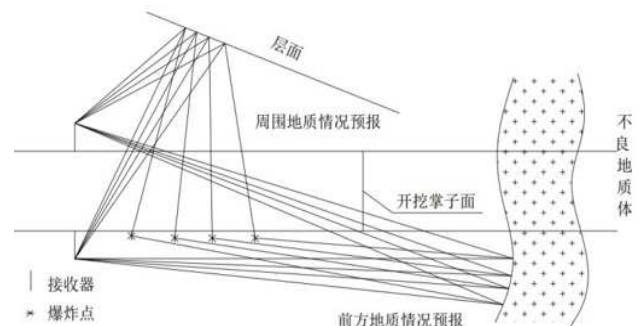


图 1 隧道地震波法 (TSP) 预测原理示意图

作者简介: 兰平, 1988.9, 男, 畲族, 江西吉安, 大学本科, 工程师, 从事隧道检测、桩基检测 12 年。

不良地质体的特性(软弱带、破裂带、断层、含水等)和情况及规模。

2.2 判断准则

利用TSPwin软件数据,就能够获取P波、SH波、SV波的时间截面、深度位移截面、所获取的反光层、岩石物理力学基本参数、各反射层能力尺寸等结果,包括反射层在测量区域内的2D或3D空间布置。

对处理成果的分析,根据以下原则进行:

①两界面阻抗差绝对值越大、阻抗和越小,则反射系数越大,反射波振幅越大。

②正的反射系数表示正反射振幅,即代表波传播方向上前面地层软,后面地层硬;负的反射系数表示负反射振幅,即代表波传播方向上前面地层硬,后面地层软。

③S波反射系数大,既S波反射振幅大时,则岩层可能饱含水。

④流体因子系数 V_p/V_s 的变化揭示着波传播过程中流体的变化。

⑤若纵波速度降低,则表明岩石裂隙发育,岩石破碎程度增加,岩石空隙比增大,岩石质量指标降低。

三、工程实例

3.1 工程地质概况

某隧洞现场的自然地貌形态结构和岩性状态组合限制很大,总体设计上呈现“撮箕”型地形特征,由二叠系中统栖霞地区和茅口组灰岩构成的向斜二翅和扬起端山岭,在山岭边缘的软质岩区受表面风化剩蚀作用,呈带状的浅切槽谷地貌。因隧洞贯穿于向斜核部,故隧址区起地势起伏变动较大,基岩大部裸露,植物数量稀少。隧址区内地面平均海拔介于377.0~1596.8m,相对高差达1219.8m,中轴线通过段的地面高度一般在55.1~15816m左右,相对高差10265m。该地貌类型为溶蚀-构造中山地形。隧址区内地貌结构异常复杂,以北北东向褶皱和断层形成了基本结构格局。与隧道轴线有关的主要褶皱有松坎向斜,主要断层有楠木园断裂(F1)、白毛坪断层(F2),还有断层F3、F4、F5等均为非活动性断层。

隧道穿越的碳酸盐岩土壤地层主要有二叠系上统长兴组(P_3c)灰岩,三叠系下统夜郎组第2段(T_1y^2)灰岩夹粉砂质泥石,三叠系下统茅草铺第一、二段(T_1m^{1-2})灰岩、白云质灰岩夹泥质白云岩。

据地表物探结果显示,在ZK60+930~ZK61+020(YK60+940~YK61+010)段有明显的低阻异常带,推测为竖向岩溶发育区可能存在大量地下水,隧道建设中揭示隐伏岩溶(溶洞、岩溶裂缝、落水洞、岩溶漏子、岩

溶管线等)的可行性极大,但建设危险性却极高,开挖时揭示的隐伏断裂溶洞极易形成涌流、突泥和冒顶等危险。

3.2 TSP探测

本次预报的主要仪器设备是TSP203PLUS型地质超前预测仪,掌子面里程桩号为YK60+636,在YK60+699左右二个边墙上依次布置了接收器1、2,距离第一炮点18m;在YK60+636~YK60+699线路左侧边墙上布置二十三炮孔,炮孔距离地面1.2m~1.5m,炮孔深度1.0~1.5m,最后一个炮点离掌子面距离为12m。

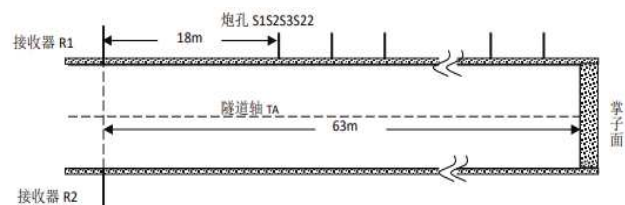


图2 预报系统示意图

出口右幅的YK60+636掌子面,揭露围岩岩性主要为深灰~红棕色中厚层状的富锂中风化白云质灰岩间夹泥质白云岩,地层结构产状: $230^\circ \angle 60^\circ$,岩性较坚硬~较软;节理裂缝明显发育,局部裂缝之间夹少量泥岩;岩体破碎;围岩自稳力较弱,无保护时拱顶等情况容易发生落块、塌陷等。

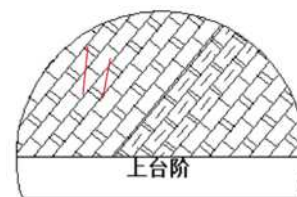


图3 掌子面地质素描

收集的TSP信号,利用TSPwin软件加以数据分析,即可获得从P波、SH波、SV波的时间截面、深度偏移截面和反射面提取的岩块物理性质和力学参数的结果。

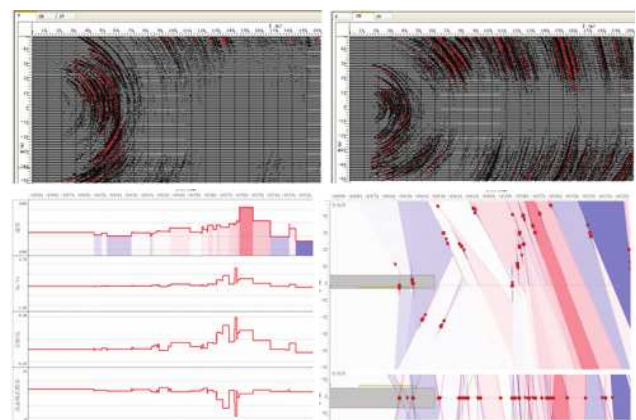


图4 探测成果图

前方地震反射波大致可将其分成2个不同特征的反射区,对探测成果进行综合分析如下表所示。

表1 TSP预测成果表

桩号范围	探测长度(m)	成果判译
YK60+636 ~ YK60+589	47	纵波波速大致相似,大约为2800m/s,但H波的深度位移图像显示正负反射功能都较弱,以正反射居多,且反射界面也比较稀疏。推断该区域的围岩与掌子面围岩基本相似,为白云质灰岩夹泥质白云岩,节理裂缝明显发育,岩块破碎,其YK60+618~YK60+610区域的纵波波速和动态杨氏模量起伏很大,认为有岩溶景观的发育,地下水也稍发育。
YK60+589 ~ YK60+520	69	H波的深度偏移,图像显示正负反射均较强且交叉鲜明,以负反射居多,界面也较紧密。推断该区段的巷道围岩节理裂缝发育,岩体破裂,其中YK60+589~YK60+558、YK60+536~YK60+530等区域纵波波速和动态杨氏模量跌落幅度都很大,因此推断有喀斯特发育,YK60+580~YK60+556区域地下水比较发育。

3.3 超前水平钻探预测

表2 超前钻探钻孔参数设计

钻孔编号	水平角	竖直角	钻孔深度
1	0°	2°	98.80m
2	←5°	0°	98.00m
3	→5°	0°	98.00m

超前地钻探法是一门传统而安全、最直接有效的工程地质监测与预报方法,是隧道工程建设中的关键工序,是对其他检测手段成果的检验与补充。超前钻孔技术可以最直观地发现掌子面前方的地貌特点,而且准确性也非常高。其在推测富水软弱断裂带、富水岩溶景观发育区域、深煤层开采及瓦斯保护发育区域、在施工过程中可能出现的涌流、突泥及瓦斯保护发育突出等地区、重大物探异常区常取得较为直观、准确的效果。针对当前的掌子面地质状况,共设计钻孔三个,中央钻孔水平于线路斜面,周边钻孔则依次向外插成放射状,终孔周边探测范围超出隧道界限外8米。现场资料对钻孔启钻、终钻时间,钻孔长度;冲洗液及返水色泽、气味;岩屑的尺寸、外形、色泽;卡钻、跳钻等异常情况都进行了

详细的记录。

依据钻孔分析资料,段内岩性仍以白云质灰岩夹泥质白云岩为主,但钻孔至桩号YK60+592时发生了频繁卡钻、跳钻、堵孔,而按照钻孔评价标准,卡钻代表围岩破裂,常表示为岩体充填破裂;跳钻代表围岩软弱,常显示为淤泥质充填破裂带或为充填式溶洞;塌孔代表围岩软弱或破裂,常表示为该处节理裂缝已形成,且岩体强度及自稳能力不足,开挖处已出现塌陷。由此准则推测YK60+636~YK60+592区段与当前掌子面相似,自YK60+592起进入岩溶破碎带,钻进至YK60+566处返水量增大,含泥量较大,夹有碎屑,至YK60+538处水压较大,钻进困难,超前水平钻探在此阶段起到探测水量及卸压作用。

3.4 综合探测结论及验证

综合TSP预报系统和超前水平钻探结果,YK60+636~YK60+592区域的岩性构造以白云质灰岩夹泥质白云岩居多,岩块比较碎裂,节理裂缝明显发育,围岩自稳功能较弱。YK60+592~YK60+520段都是岩溶含水破碎带,围岩的自稳能力极差,隧道施工至该区段极易发生涌水突泥事故,应采用有效措施,降低该区段施工风险。建议在YK60+597处停止施工,补充进行地质雷达法和超前水平钻探加密探测,进一步降低施工风险。

从开挖揭露情况来看,施工至YK60+598时掌子面出现渗水,节理裂隙夹泥,开挖至YK60+573,在施作炮孔时,揭露炮孔涌水,水质浑浊,极易堵孔。说明采用TSP和超前水平钻探的预报组合在岩溶破碎带预测中结果基本准确,实际揭露桩号与预测桩号稍有出入,但通过掌子面地质跟踪可有效避免。

四、结论

(1) TSP探测适用于裂隙等构造体的探测,在隧道施工临近大规模异常体时,采用TSP预报系统可有效明确异常体的范围,为实施下一步预报手段提供参考和指导。

(2) 超前水平钻探具备直观准确的优点,在前期进行长距离物探探测的基础上,可进一步明确物探探测结果的准确性,利用超前水平钻探进行修正后的探测结果与实际较为符合,同时针对高压富水区段,可通过超前水平钻探评估施工风险。

(3) 初步从设计文件分析,隧址区域岩溶较强发育,并具有多个岩溶的低阻异常带,故隧洞开挖工程建设前期须确定危险性级别,对隧道的不良地质风险进行了分类,并综合运用各种预测手段,在建设过程中应注意超

前的地质钻探及临兆试验效果。

参考文献:

- [1]李术才, 李晓昭, 靖洪文, 等. 深长隧道突水突泥重大灾害致灾机理及预测预警与控制理论研究进展[J]. 中国基础科学, 2017.3: 27-43
- [2]王梦恕. 我国隧道技术现状和未来发展形势[J]. 安徽建筑, 2015, 22 (04): 9-13
- [3]李术才, 刘斌, 孙怀凤, 聂利超, 钟世航, 苏茂鑫, 李貅, 许振浩. 隧道施工超前地质预报研究现状及发展趋势[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33 (06): 1090-1113.
- [4]兰福军, 张庆明, 段永胜, 刘星星, 王羽, 王不凡. 岩溶环境隧道涌水超前预报集成系统技术研究[J]. 重庆建筑, 2021, 20 (01): 44-46.
- [5]菅永明. TSP及TEM结合法在隧道超前地质预报中的应用[J]. 国防交通工程与技术, 2021, 19 (01): 76-79.
- [6]朱贤德. TSP三维地质超前预报系统在富水破碎带隧道施工中的应用及问题探讨[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2020, 21 (02): 14-17.
- [7]齐欣祎. 针对隐伏岩溶的TSP超前探测图形识别特征的研究[D]. 石家庄铁道大学, 2020.
- [8]沈世伟, 谢合恩. TSP超前预报系统在泉太隧道中的应用[J]. 甘肃科学学报, 2020, 32 (02): 117-123.
- [9]韩侃, 王秉勇. TSP法超前预报数据分析及探测技术研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37 (03): 72-77.
- [10]李俊杰, 张红纲, 何建设, 荣鑫, 李剑强, 郭佳豪. TSP探测精度分析及其在过江隧洞超前预报中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47 (04): 193-200.