

综合超前地质灾害预报方法 在椿树垭隧道中的应用

余世根, 张光武, 柳海波

(武当山至神农架公路十堰段改扩建工程项目部, 湖北 十堰 442101)

摘要: 由于地质条件的复杂性, 隧道工程在开挖过程中面临着断层、溶洞、涌水、涌泥等各种地质灾害。隧道超前地质预报能够探测隧道前方不良地质条件, 优化隧道开挖和支护设计方案, 确保工程安全快速施工。但目前各种预报方法都有其不足之处。单一预报方法预报精度较低, 不能保证安全施工要求。隧道综合超前预报方法能发挥多种预报手段的优点, 提高预报精度, 当预报方法与地质条件相适应时更是如此。结合椿树垭隧道工程实际, 采用工程地质调查分析、TSP、GPR等手段进行综合超前地质预报, 并通过与开挖情况对比, 分析综合超前地质预报系统的合理性, 同时提出改进意见, 为相关工程提供借鉴。

关键词: 隧道; 综合超前地质预报; 工程地质调查分析法; TSP; GPR

中图分类号: P631.5

文献标识码: A

收稿日期: 2010-03-16

Application of Comprehensive Geological Disaster Prediction in Chunshuya Tunnel

Yu Shigen, Zhang Guangwu, Liu Haibo

(Engineering project department of Wu - Shen Road in Shiyan, Shiyan Hubei 442101, China)

Abstract: As the complexity of the geological conditions, various geological disasters such as fault, rock burst, karst caves and so on in the tunnel excavating will be faced. Tunnel geological prediction can explore the geological disasters in advance and then optimize the excavation and the scheme so as to ensure the construction safe and efficient. However, all the prediction methods have their disadvantages, for the accuracy of a single method is low, which can't meet the requirements of safe construction. However, tunnel comprehensive geological prediction can make good use of the advantages of multiple methods to improve the accuracy, especially when the methods go with the geological conditions. Taking the Chunshuya Tunnel as an example, this paper makes a comprehensive geological prediction using geological engineering survey, TSP, GPR and other methods. By comparing the excavating condition, it analyzes the comprehensive geological prediction method. Meanwhile, it puts forward some suggestions.

Key words: tunnel; comprehensive geological prediction; geological analysis; TSP; GPR

1 引言

由于地质条件的复杂性,隧道施工过程中面临着岩溶、涌水涌泥、断层破碎带等各种地质灾害。超前地质预报技术可以探测开挖面前方一定范围内的地质条件及不良地质灾害,对保证隧道安全施工有着重要意义。目前超前地质预报采用的技术方法主要为物理探测方法、工程地质调查分析法和超前地质钻探法,但各种超前地质预报方法都有缺其缺陷,并且不同方法对不同的地质灾害也有不同的预报效果。采用单一的方法在精确度和准确性方面并不十分可靠^[1]。综合超前地质预报根据各种方法的适用条件和可能出现的不利地质灾害选取不同的方法组合,结合了各种方法的优点,使各种方法相互验证、相互补充,大大提高了超前地质预报的探测精度^[2,3]。

2 工程概况

椿树垭隧道是武(武当山)神(神农架)公路改扩建项目中的重要工程,进口位于十堰市房县银坪乡龙洞沟,出口位于神农架林区红花乡沈家湾。隧道设计为单洞式隧道,展布方向 187°左右。起止里程桩号 K1535+003~K1537+108,全长 2105m。隧道最大埋深约 525m。

椿树垭隧道属构造侵蚀溶蚀中山地貌,区内最高峰海拔高度 1783.0m,相对高差 500~600m,自然坡度 30°~50°,“U”型冲沟较发育,植被较茂密。隧道大地构造位置处于扬子准地台,区内大致以阳日—九道一线为界又划分为北缘拗陷褶皱带以及八面山褶皱带。从地质力学上分析,测区位于新华夏系一级大型隆起带。隧址区未发现大的断裂构造。

隧道依次穿越震旦系上统灯影组(Z_2dn)、陡山沱组(Z_2d)和神农架群乱石沟组(Pt_2l)地层。其中震旦系上统灯影组(Z_2dn)岩层主要为灰岩、白云岩;震旦系上统陡山沱组(Z_2d)岩层主要为炭质页岩夹泥质白云岩;神农架群乱石沟组(Pt_2l)岩层主要为泥质白云岩,主要矿物成分为白云石和方解石及黏土矿物。

3 方法原理

1) 工程地质调查分析法是通过区域地质资

料分析、隧道轴线地表和洞内工程地质调查,了解隧道所处地段岩层地质年代、结构构造,借助岩层岩性和层位预测法、地表地质界面投射法及投射公式^[4]等推断前方的地质情况,预测隧道掌子面前方的不良地质现象可能的类型、部位、规模。岩层岩性和层位预测法是在掌子面和隧道两壁出露的岩层与地表某段岩层确认为同一标志层的前提下,用地表岩层的层序预报掌子面前方将要出现的岩层;地表地质界面投射法关键是求得等厚倾斜地质体在隧道剖面上的水平距。在求得这个水平距之后,只要用隧道中实见的、等厚倾斜地质体前一个界面的里程,加上(大里程方向)或减去(小里程方向)等厚倾斜地质体的水平距,即可求得该地质体在隧道中的位置和规模。它适用于等厚的、具有平行双界面的倾斜地质体,如倾斜岩层。

2) TSP 法是通过小药量爆破所产生的地震波信号沿隧道方向以球面波的形式传播,在不同的岩层中地震波以不同的速度传播,在其界面处被反射,并被高精度的接收器接收。通过计算机软件分析前方围岩性质、节理裂隙分布、软弱岩层及含水状况等^[5,6]。

TSP 是一项较为成熟的长距离超前预报技术,具有体积小、精度高、操作简单方便、预报距离长(可达 100~150m)、对隧道施工影响小、探测范围广、报告提交及时等优点^[7~9]。在预报溶洞、软弱地层的分布、断层及其影响带和裂隙发育带等方面有许多成功的案例。

3) 地质雷达是基于地下介质的电性差异,向地下发射高频电磁波,并接收地下介质反射的电磁波进行处理、分析、解释的一项工程物探技术。

地质雷达是短期超前地质预报的主要探测设备,能十分清楚地显现探测面前方一定范围内的溶洞、水体等不均匀体的分布情况和岩性变化情况。特别是对含水带、破碎带具有较高识别能力。在富水地层以及溶洞发育地区,地质雷达是一种很好的预报手段。

4 综合超前地质预报的应用

在椿树垭隧道工程实例中,地质调查显示局部岩溶发育,无大的溶洞、地下暗河,岩层层理较明显,岩性分界特征较清晰,主要施工地质问题为软弱夹层、破碎带、局部涌水和小溶洞。据此,采用地质调查分析法、TSP 和地质雷达的综合超前

地质预报技术对掌子面前方地质构造、围岩级别和地下水等方面进行预测。本次预报范围为 K1537+002~K1536+852, 全长 150m。

地质分析法的应用

要确定地表地质界面在隧道中的准确位置, 就一定要将真倾角转为隧道走向剖面上的视倾角来进行投射。如果用真倾角将地面的地质界面向隧道投射, 将出现很大的误差, 因为地面的地质界面是以视倾角与隧道相交的。真倾角与视倾角的转化如(1)式。

$$\tan \alpha = \tan \beta \sin \gamma \tag{1}$$

式中 α 代表地质界面(包括岩层层面、断层面等)视倾角, β 代表真倾角, γ 代表地质界面走向与隧道隧洞剖面方位的夹角。

地表地质界面投射法及投射如(2)式。

$$l = L \cdot \frac{h}{\tan \beta \sin \gamma} \tag{2}$$

式中, l 代表等厚倾斜地质体在隧道剖面上的水平距; L 代表等厚倾斜地质体两个地表界面与地表隧道中心线交点之间的水平距; h 代表等厚倾斜地质体两个地表界线与地表隧道中心线交点之间的高差; β 代表等厚倾斜地质体的真倾角; γ 代表等厚倾斜地质体走向与隧道方位之间的夹角。

根据现场地质调查, 实测震旦系上统陡山沱组页岩岩层产状 $0^\circ \sim 55^\circ$, 隧道轴线方向(沿掘进方向) 30° , 岩层走向与隧道剖面方位夹角为 60° 。

根据式(1)得:

$$\tan \alpha = \tan 55^\circ \sin 60^\circ = 1.24 \tag{3}$$

$$= 51^\circ$$

倾斜岩层两个地表界面与地表隧道中心线交点之间的水平距 $L = 5\text{m}$, 等厚倾斜岩层两个地表界线与地表隧道中心线交点之间的高差 $h = 1.8\text{m}$ 。

根据式(2)得:

$$l = 5 \cdot \frac{1.8}{\tan 55^\circ \sin 60^\circ} = 3.5\text{m} \tag{4}$$

根据计算结果可以推测, 掌子面前方岩层产状约 $0^\circ \sim 51^\circ$ 。倾斜岩层在掌子面前方延伸约 3.55m。

根据图 1 所示, 页岩出露位置处, 隧道埋深约 60m, 岩层视倾角为 51° , 故可以推算页岩在掌子面前方的位置约为:

$$a = 60 \times \cos 51^\circ = 48.5\text{m} \tag{5}$$

掌子面桩号为 K1537+002, 故页岩的位置在 K1536+953.5~K1536+950 段。

隧道开挖掘进至 K1537+002 处(图 2), 通过地表地质调查, K1537+050~K1537+002 段地表有基岩出露, 岩性为震旦系灯影组白云岩、白云质灰岩, 微风化, 岩质坚硬; K1537+002~K1536+997 段地表岩性为震旦系上统陡山沱组炭质页岩, 呈黑色, 强度较低, 薄层状结构, 中等风化; K1536+997~K1536+852 段地表岩性为神农架乱石沟组泥质白云岩, 微风化, 岩质坚硬。根据隧道洞内地质编录, 隧道 K1537+050~K1537+002 段围岩岩性为震旦系灯影组白云岩、白云质灰岩, 薄至中层状结构, 灰色, 微晶结构, 岩质坚硬, 与地表岩性相同, 属同一地层年代。

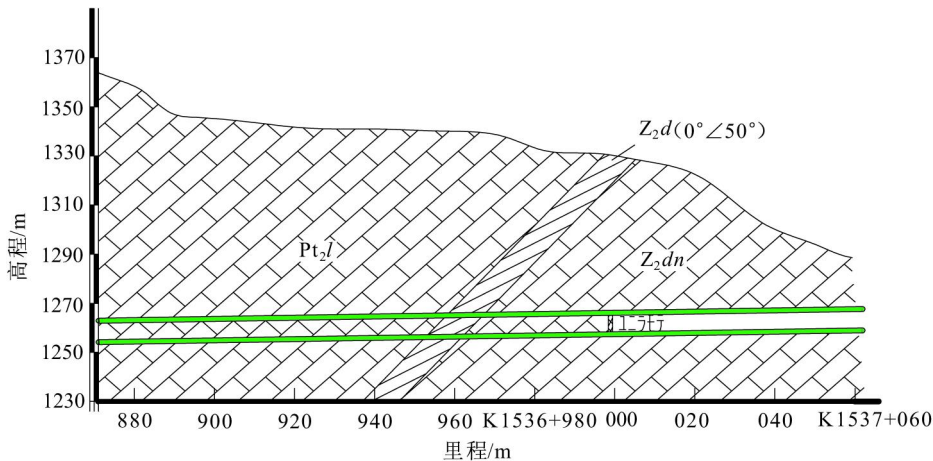


图 1 隧道纵断面示意

Fig. 1 Sketch of the tunnel vertical section

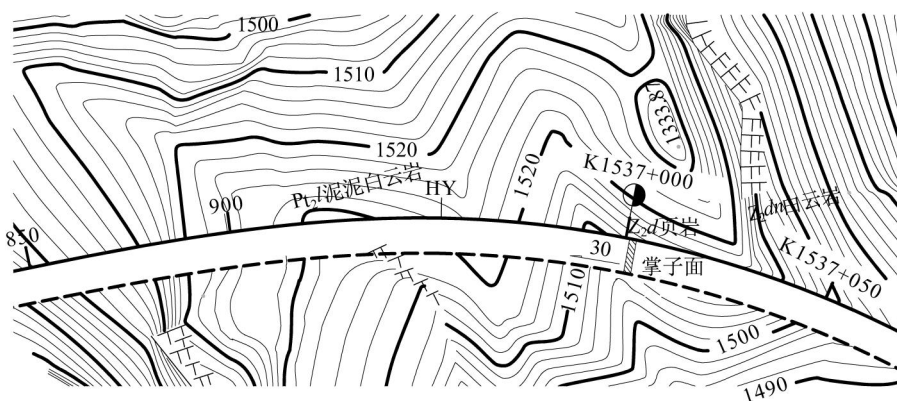


图 2 隧道平面示意

Fig.2 Sketch of the tunnel horizontal section

根据岩层岩性和层位预测法预测:掌子面开挖前 K1537+002 ~ K1536+953.5 为震旦系灯影组白云岩,岩质坚硬,有利于隧道稳定;K1536+953.5 ~ K1536+950 为震旦系上统陡山沱组页岩,岩石较软,遇水软化,不利于隧道稳定;K1536+950 ~ K1536+852 段为神农架乱石沟组泥质白云岩,岩块强度较高。

的应用

TSP 对波形图的分析应遵循以下准则: 出现较高的反射振幅、较大的反射系数和较小的弹性阻抗,表示反射界面的岩石密度和波速较高;若 S 波反射较 P 波弱, 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,则表明裂隙或孔隙度增加。

TSP 预测范围为 K1537+002 ~ K1536+852,共 150m。探测成果图如图 3 所示,根据以上的探测和解译工作,可以得到如下结论:

1) K1537+002 ~ K1536+947 段,P 波波速较低,基本保持不变,反射界面总体较少,不明显,其中在 K1536+954 ~ 951 段,反射界面较强烈。

推测该段节理较发育,节理微张,节理裂隙含水,含水量较低, K1536+954 ~ 951 发育小规模构造破碎带、夹层或张开裂隙,岩体破碎,易掉块。

2) K1536+947 ~ K1536+903 段,P 波波少,分布集中。推测该段岩体较完整、稳定,节理裂隙稍发育,局部发育。局部节理发育段岩体破碎,易掉块,完整性较差。

3) K1536+903 ~ K1536+852 段,P 波明显上升, V_P/V_S 有明显升高。反射界面整体较弱, K1536+883 处较强烈。推测该段岩质坚硬,围岩

较完整、稳定,节理裂隙稍发育。其中在 K1536+883 处,节理较发育,围岩破碎,稳定性较差,易产生小规模塌方。

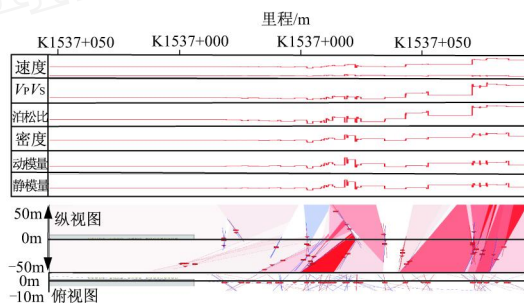


图 3 TSP 探测解译成果

Fig.3 The image of TSP predication

地质雷达的应用

本次地质雷达探测距离为 20m,里程桩号范围为 K1537+002 ~ K1536+982,探测范围内共发现 3 处大小一不形态各异的雷达反射异常(图 4 圈定范围),推测其为含水破碎带或软弱夹层。

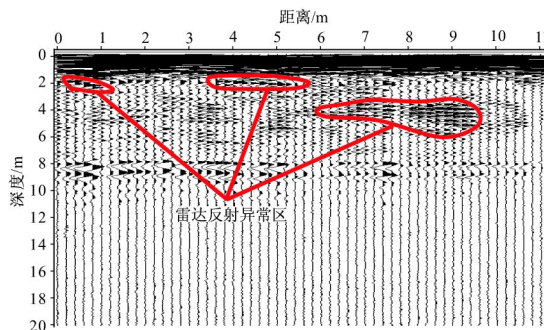


图 4 雷达探测解译成果

Fig.4 The image of radar prediction

综合预测结论

1) 总体而言,预测段岩体较完整、稳定,岩性以弱风化白云岩、灰岩为主,岩质坚硬,局部发育薄层炭质页岩夹层,受构造作用影响,局部岩体破碎,完整性较差,易掉块,欠稳。

2) 探测范围内存在大的断层破碎带、大溶洞、含水等不良灾害体可能性较小,仅局部发育小规模构造破碎带。发育裂隙水与岩溶水,局部有股状出水。

3) 推测 K1536 + 954 ~ K1536 + 951 段和 K1536 + 883 段发育一软弱夹层,注意谨慎施工。

4) 在所预报范围内, K1537 + 002 ~ K1536 + 952 段围岩级别为Ⅱ级, K1536 + 952 ~ K1536 + 852 段为Ⅲ级。

5 预测精度分析

1) 开挖后,围岩主要为白云岩、灰岩,岩质坚硬,完整性较好,局部破碎;地下水主要为岩溶裂隙水,沿节理面渗出,成淋雨状。与探测结论基本一致。

2) 在 K1536 + 952 处,掌子面左侧拱腰位置出现一软弱夹层。夹层厚度 0.5 ~ 2m,产状约为 0° ~ 30° ~ 46°。岩性为炭质页岩,呈黑色硬塑状,强度较低,手捏即碎,遇水泥化。与探测结论一致。

3) 地质雷达预测结论表明,测线 0 ~ 1m 范围,掌子面前方约 2m 左侧(即 K1537 + 000)存在雷达低阻异常,推测其为出水点,规模较小。实际开挖时没有发现出水点。推测原因为:探测时掌子面沿节理裂隙有大量渗水并且掌子面表面平整性较差。建议以后采用地质雷达预报时,采取措施避免上述问题的影响,提高预报精度。

4) 部分小规模构造破碎带位置没有预测准确,推测原因为: TSP 探测过程中因受到洞外机械施工噪声影响及部分炮孔质量问题造成了信号采集质量差,从而产生一定误差。建议以后预报过程中,选择合适炸药量,降低周围噪音,提高炮孔质量及耦合质量,提高信噪比,得到良好的信号。

6 结论

以椿树垭隧道为实例,对综合超前地质预报

系统进行了应用和研究,得到以下结论:

1) 采用工程地质调查分析法、TSP 和地质雷达相结合的综合预报方法,对椿树垭隧道进行了超前地质预报,预测的页岩夹层和地下水发育状况均与开挖结果相吻合,取得了较好的效果。

2) 通过对比,部分破碎带位置及裂隙水发育点没有判断清楚。初步分析,产生这些误差的基本原因是 TSP 在探测过程中受到了外界噪音的干扰和部分炮孔采集信号质量差等因素影响,地质雷达在探测时受到掌子面渗水和掌子面凹凸不平的影响。在以后预测过程中,应尽量避免上述问题。预测不精确之处应该在施工过程中应根据实际开挖情况对围岩级别和施工工艺做出相应调整^[10]。

3) 在进行超前地质预报时,应该结合区域地质资料和隧道的工程、水文地质条件,选取与之相适应的超前地质预报方法,并使各种方法相互验证、相互补充,将有助于提高探测精度。

参考文献:

- [1] 张庆松,李术才,孙克国,等.公路隧道超前地质预报应用现状与技术分析[J].地下空间与工程学报,2008,4(4):766 ~ 771.
- [2] 孙克国,李术才,张庆松,等.TSP在岩溶区山岭隧道预报中的应用研究[J].山东大学学报(工学版),2008,39(4):7 ~ 11.
- [3] 张庆松,许振浩,李术才,等.岩溶隧道综合超前地质预报方法与工程应用[J].山东大学学报(工学版),2008,4(4):766 ~ 771.
- [4] 刘志刚,赵勇.隧道施工地质技术[M].北京:中国铁道出版社,2001.189 ~ 190.
- [5] 白哲.地质雷达在隧道超前预报中的应用[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [6] 陈建峰.隧道施工地质超前预报技术比较[J].地下空间,2003,23(1):5 ~ 16.
- [7] 冯永,李永鸿,杜文哲.TSP在隧道超前地质预报的应用研究[J].西北地震学报,2006,28(4):348 ~ 351.
- [8] 王保,李桂林,张立国,等.超前地质预测预报在隧道中的应用[J].铁道标准设计,2007(增刊1):220 ~ 222.
- [9] 薛翊国,李术才,张庆松,等.TSP203超前地质预报系统探测岩溶隧道的应用研究[J].地下空间与工程学报,2007,3(7):1187 ~ 1191.
- [10] 吕乔森,罗学东,任浩.综合超前地质预报技术在穿河隧道中的应用[J].隧道建设,2009,29(2):189 ~ 293.