

文章编号: 1005-0523(2016)04-0018-06

综合超前地质预报在壁板坡隧道的应用

王薇¹, 曾鹏², 肖粤秀¹, 杨新安¹

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 中铁五局集团第四工程有限责任公司, 广东 韶关 512031)

摘要: 针对壁板坡隧道存在多种特殊岩土和不良地质, 易引发坍塌、突水、软岩变形等多种地质灾害的实际, 提出了一种分级式超前地质预报管理机制。综合采用地质调查法、地震反射法、地质雷达法、红外探测法和超前水平钻法的超前地质预报方法, 具有地质与物探相结合、长短距离相结合、物性参数互补的特点, 能够比较准确地预报地质条件, 减少占用工作面时间, 加快施工进度。通过工程实际说明该方法取得较好的预报结果, 为该类工程问题提供了有效的技术手段。

关键词: 复杂地质; 特长隧道; 超前预报; 分级管理; 综合地质预报技术

中图分类号: U25

文献标志码: A

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.04.003

随着探测技术与隧道工程技术的发展, 采用包括物探在内的多种技术对隧道掘进前方地层与地质(特别是断层、岩溶等高风险点)进行探测, 成为工程中的普遍做法^[1-4]。为克服单一预报技术的局限性, 有研究者提出了采用综合超前地质预报的方法。张兵强等^[5]运用 TSP(地震反射法)、TRT(反射层析成像法)、超前水平钻等方法对米溪梁隧道的围岩地质进行综合预报, 有效地预测了 F4-6 断层破碎带。马怀鹏等^[6]以地质分析为核心, 采用地质雷达法和瞬变电磁法长短距离相结合、超前水平钻验证的方法, 确定了断层的影响范围及走向。周东等^[7]基于“洞内外相结合、综合参数、长短结合、加密探测”的原则, 采用陆地声呐法、地质雷达法、微分电测法、TEM(瞬变电磁法)相结合的方法预报了断层的位置、富水情况和充填物性质。

综合超前预报法采用多种预报技术组合, 相互补充, 相互验证, 能够显著提高预报的准确性和可靠性。但以往工程实践中, 并没有根据不同的地质条件, 相应地采取不同等级的地质预报方法, 产生地质条件较好的区段也实行了多种预报方法的情况, 造成不必要的资源浪费。本文主要介绍壁板坡隧道的综合超前地质预报体系, 提出实行分级管理的思想, 论证地质调查、TSP、地质雷达、红外探测与超前钻探相结合的超前地质预报方法的合理性及其预报结果的可靠性。

1 工程概况

壁板坡隧道位于云南与贵州接壤的高原, 是沪昆客运专线最长的山岭隧道, 也是全线控制性工程之一。隧道全长 14.756 km, 最大埋深 735 m, 全隧施作平行导坑, 长度为 14.717 km。

隧道穿越地层为石炭系下统大塘组(C₁d)~三叠系下统永宁镇组(T₁yn₁), 岩性以灰岩、白云岩、玄武岩和泥质白云岩为主。隧道洞身介于燕子岩-小竹箐背斜与弥勒-富源大断裂间的单斜断块地层中, 多次穿越断层破碎带, 构造裂隙发育。隧址区岩性属碳酸盐类, 地下水活跃, 具有岩溶发育的条件, 且地表局部分布有溶蚀洼地、落水洞、漏斗等岩溶形态, 推断隧道洞身可能穿越岩溶。此外, 隧道洞身可能通过石炭系大塘组万寿山段含煤地层, 存在瓦斯的风险。

收稿日期: 2016-03-17

作者简介: 王薇(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为隧道及地下工程。

通讯作者: 杨新安(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为隧道工程, 城市地下工程。

壁板坡隧道存在断层破碎带、岩溶、煤层瓦斯等多种特殊岩土和不良地质,易发生坍塌、突泥涌水、软岩大变形等地质灾害;因此,需要实施综合超前地质预报,预报工作面前方的围岩类别并判断其稳定性,为降低施工风险和制定合理的施工方案提供可靠依据。

2 综合超前地质预报

壁板坡隧道施工中,在分析既有地质资料的基础上,采用洞内探测与洞外地质调查相结合、物探方法与钻探方法相结合、长距离与短距离相结合,开展了多层次、多手段的综合超前地质预报。

2.1 超前地质预报方法

1) 地质调查法。地质调查法主要通过地层层序对比、地层分界线及构造线、地下和地表相关性分析、临近隧道内不良地质体的前兆分析等,利用地质理论、地质作图等工具,推测开挖工作面前方可能揭示的地质情况。该方法只适用于地质构造不太复杂的地区^[8]。

2) 地震反射法(TSP)。TSP 是利用地震波的反射原理,当地震波遇到岩石波阻抗差异界面时,一部分信号反射回来,一部分信号透射进入前方介质;反射的地震信号将被高灵敏度的地震检波器接收。数据通过 TSPwin 软件处理,便可了解隧道工作面前方不良地质体的性质、位置及规模。TSP 法适用于极软岩至极硬岩的任何地质情况,对断层、软硬岩接触面等面状结构较为敏感,单次预报距离一般为 100~150 m,属于长距离预报方法,预报精度一般。

3) 地质雷达法(GPR)。地质雷达利用发射天线发射高频电磁波,当电磁波遇到电性(介电常数、电导率、磁导率)差异界面时就会发生折射和反射现象,接收天线接收并记录下电磁波信号,经过相应的数据处理,就能推断前方地质情况^[9-10]。地质雷达适宜于岩溶、采空区探测,对水的识别能力较高,探测距离一般在 30 m 以内,属于短距离预报,预报精度较高。

4) 红外探测法。物体的小连续性缺陷会对热传导性能产生影响,导致物体表面红外辐射能力发生差异。红外探测法就是利用这种差异,通过研究红外辐射异常场的分布规律,推测前方隐伏的断层、溶洞、地下暗河和淤泥带。红外探测法适用于探测前方是否有水及水体存在方位,但无法确定具体位置和方位。每次预报有效探测距离为 20~30 m,属短距离预报法。

5) 超前钻探法。超前钻探法是在隧道开挖面上,利用水平钻机对前方围岩进行钻探,根据钻进的时间、进尺、岩芯和钻孔回水情况等来预测工作面前方围岩的位置和性质。单次的预报距离一般为 30~40 m。超前水平钻法与物探方法相比是一种直接的方法,能够直观地确定开挖面前方的围岩情况^[11]。这种方法简单可行、快速实用,但对施工干扰较大、成本高。

2.2 综合超前地质预报体系

壁板坡隧道超前预报实行分级管理,由高到低分为 A,B,C,D 4 个等级,等级越高表明地质条件越差,需要采用的预报方法越多,要求的预报精度也越高,其预报流程如图 1 所示。分级管理可在满足地质预报要求的同时,减少物探、钻探等预报占用工作面的时间,节省人力物力资源,加快施工进度。

综合超前地质预报体系中,地质调查法是基础;TSP 法测距长、干扰相对少,但精度不高;地质雷达、红外探测可准确测定短距离内的空洞和水体情况,可补充 TSP 的不足;超前钻探可以直接揭示地下水及围岩物理力学性能,但干扰大、费用高。

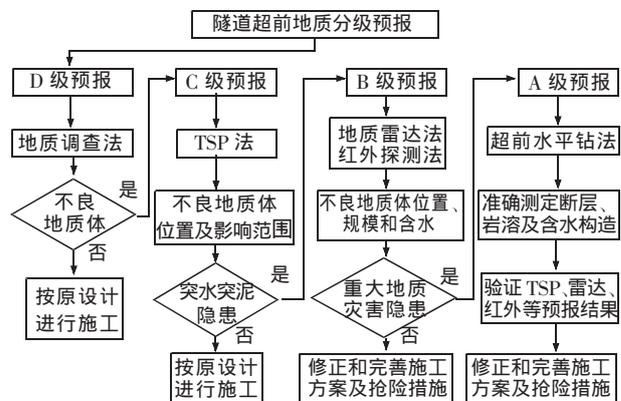


图 1 壁板坡隧道超前地质预报流程图

Fig.1 Flow chart of advance geological forecast in Bibanpo tunnel

3 综合超前地质预报的应用

针对不同的地质条件和预报精度要求,采用不同的预报方法的组合,以C级预报和A级预报为例说明壁板坡隧道分级式管理的综合超前地质预报体系。

3.1 C级预报

以9#横通道正洞左线DK982+756~+896段超前地质预报为例,说明壁板坡隧道的C级超前地质预报。

3.1.1 地质调查法

根据地质勘探,该段隧道上覆玄武岩夹凝灰质粘土岩,下伏茅口组灰岩,埋深约270m,具有承压水,可能存在岩溶等不良地质,需要采取TSP法进行超前地质预报。

3.1.2 TSP法

对DK982+755~+896段采取TSP法进行预报,其预报成果图见图2。根据图译,DK982+756~DK982+792段围岩较破碎、节理裂隙较发育;DK982+792~DK982+835段围岩破碎、节理裂隙发育,含水,围岩稳定性较差;DK982+835~DK982+861段围岩较破碎、节理裂隙较发育;DK982+861~DK982+896段围岩较完整~较破碎、节理裂隙较发育,整体性较好。

根据TSP的预报,DK982+756~+896段围岩条件较好,不存在突水突泥的可能性,不需要采用地质雷达、红外探测等进一步的探测。

3.1.3 实际揭露

如图3所示,开挖揭示DK982+755~+896段围岩为弱风化灰岩,岩体较破碎,节理裂隙较发育,岩质坚硬,围岩无渗水,自稳性较好,与超前地质预报一致。

3.2 A级预报

以3#横通道正洞右线YDK979+150~+190处的超前地质预报为例,说明壁板坡隧道的A级超前地质预报。

3.2.1 地质调查法

根据地质勘探,该段穿越二叠系下统梁上组砂岩、泥页岩夹煤层,可能遇到软质岩变形问题。工作面YDK979+150位于合分修的分界点,埋深约600m,工作面岩性以弱风化灰岩为主,节理裂隙较发育,需要采取物探手段进行超前地质预报。



图3 DK982+890处掌子面围岩
Fig.3 Rock of tunnel face at DK982+890

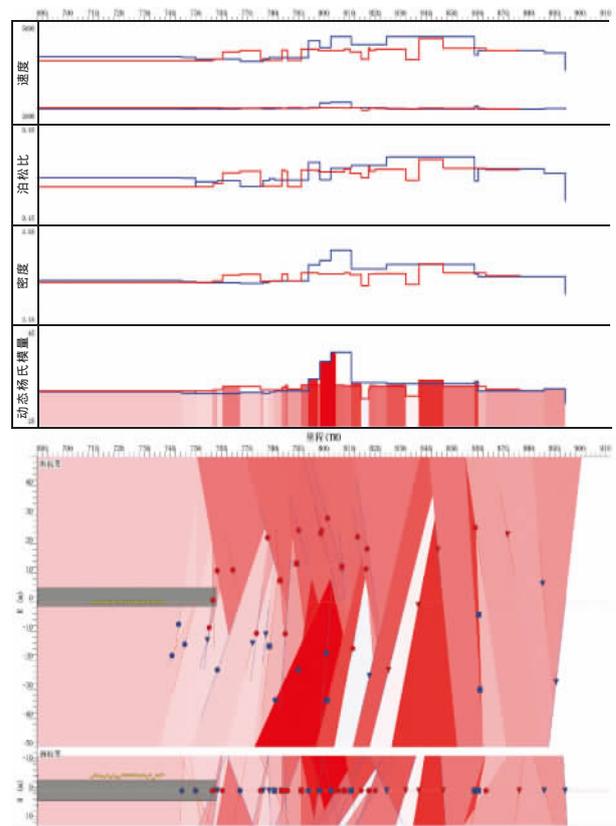


图2 DK982+756~+896段TSP预报成果图
Fig.2 TSP prediction result of DK982+756~+896

3.2.2 TSP 法

对 YDK979+150~+260 段采取 TSP 法进行预报,其预报成果图见图 4。根据图译,YDK979+150~+182 段围岩破碎、裂隙较发育、岩溶弱发育;YDK979+182~+226 段围岩破碎~极破碎、裂隙局部强烈发育,围岩稳定性差,局部夹层,岩溶中等发育,富水;YDK979+226~+260 段围岩较破碎~破碎,岩溶弱~中等发育,含水,围岩稳定性较差。

3.2.3 地质雷达法

对 YDK979+160~+190 段采用地质雷达进行地质预报,雷达电磁波反射振幅强烈,频率低,推测该段围岩破碎、裂隙发育、稳定性差,易坍塌或掉块,与 TSP 预报的结果一致。

3.2.4 红外探测法

对 YDK979+150~+190 段实施红外探测,红外探测曲线图如图 5 所示,红外辐射长强值沿隧道走向有上升趋势,且工作面上红外辐射场强最大差值为 $6 \mu W \cdot cm^{-2}$,推测工作面前方围岩含水。

3.2.5 超前水平钻进

根据 TSP、地质雷达和红外探测的预报,YDK979+150~+190 段围岩破碎、裂隙发育、岩溶弱发育且含水,施工前采用超前水平钻进进一步验证,其钻孔情况如表 1 所示,该段围岩岩质软弱,为灰岩,少量渗水。

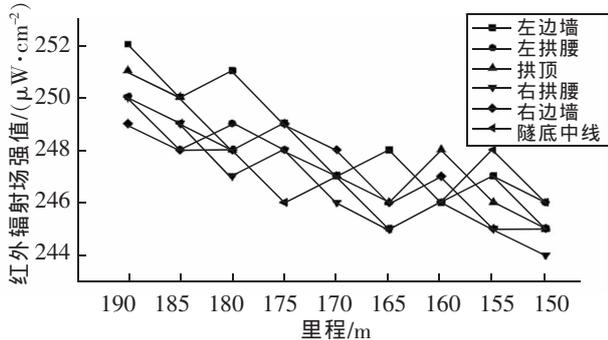


图 5 YDK979+150~+190 段红外强度曲线图

Fig.5 Infrared intensity curve of YDK979+150~+190

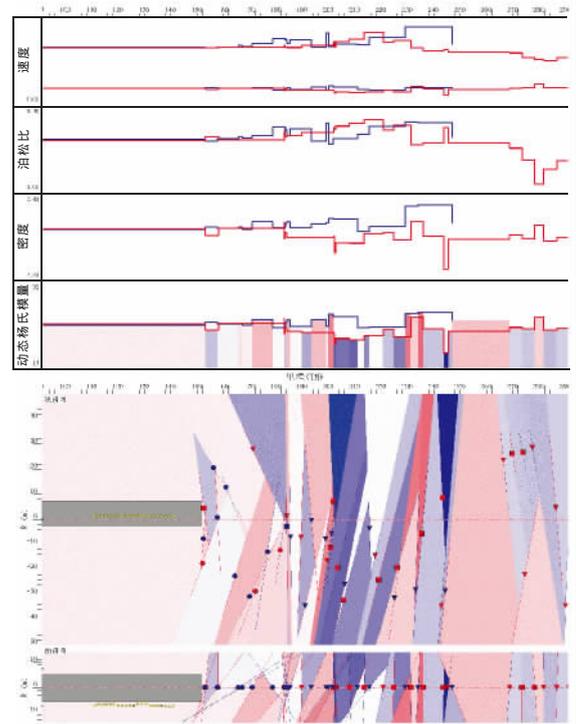


图 4 YDK979+150~+260 段 TSP 预报成果图

Fig.4 TSP prediction result of YDK979+150~+260

表 1 YDK979+150~+190 段超前水平钻钻孔情况

Tab.1 Advance boreholes situation of YDK979+150~+190

钻孔编号	平均钻孔速度/ ($m \cdot min^{-1}$)	钻孔压力/ MPa	钻进特征及地质情况
3#	0.183	1.77	钻进深度 0~8.6 m: 钻头与掌子面接触的冲击压力及速度变化比较快,送水流量及送水压力较大,打击能和打击数比较平稳,流出的岩渣岩质坚硬,裂隙较发育,为灰岩;钻进深度 8.6~35.2 m: 钻进速度平稳,扭矩、打击能、水流量、水压正常,孔内流出的岩渣岩质坚硬,裂隙发育,为灰岩,少量渗水
4#	0.184	1.84	钻进深度 0~9.9 m: 钻头与掌子面接触的冲击压力及速度变化比较快,送水流量及送水压力较大,打击能和打击数比较平稳,流出的岩渣岩质坚硬,裂隙较发育,为灰岩;钻进深度 9.9~35.26 m: 钻进速度平稳,扭矩、打击能、水流量、水压正常,孔内流出的岩渣岩质坚硬,裂隙较发育,为灰岩,少量渗水
5#	0.137	1.90	钻进深度 0~9.2 m: 钻头与掌子面接触的冲击压力及速度变化比较快,送水流量及送水压力较大,打击能和打击数比较平稳,流出的岩渣岩质坚硬,裂隙较发育,为灰岩;钻进深度 9.2~35.22 m: 钻进速度平稳,扭矩、打击能、水流量、水压正常,孔内流出的岩渣岩质坚硬,裂隙较发育,为灰岩,少量渗水

3.2.6 实际揭露

实际开挖时,发现 YDK979+150~+190 段岩性为中~厚层状灰岩,围岩较破碎,裂隙较发育,围岩含水,与超前地质预报一致。在 YDK979+194 拱顶偏左处揭示一溶洞,见图 6,环向宽约 3 m,纵向长约 2 m,向上 2 m 后分为 2 个小的溶洞,且有少量水流出,水质浑浊。对该溶洞的出水量进行观测,见图 7,出水量随时间先增加后减小,直至为 0,最大流量为 $170 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。



图 6 YDK979+194 处溶洞
Fig.6 Karst cave at YDK979+194

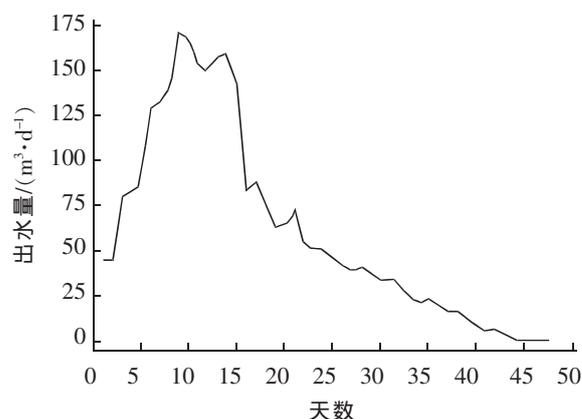


图 7 YDK979+194 处溶洞出水量
Fig.7 Water flow of karst cave at YDK979+194

4 结论

1) 针对复杂多变的地质情况,壁板坡隧道实行了以地质调查法为基础,结合 TSP 法、GPR 法、红外探测法和超前水平钻法的综合超前地质预报,具有地质与物探相结合、长短距离相结合、物性参数互补的特点。

2) 提出隧道超前地质预报的分级管理并在壁板坡隧道进行了应用,针对不同的地质条件,实行不同的预报方法组合,由 D 级到 A 级,层层递进。分级式超前地质预报管理方法是对综合超前地质预报的改进,能够减少物探和钻探占用工作面的时间,节省人力物力资源,加快施工进度。

3) 地质雷达及红外探测能预报富水情况,但仅限于有无含水体的定性预报,缺乏定量的参数,如位置、方位角、含水量大小等。为弥补该方面的缺陷,可考虑采用瞬变电磁等定量的预报技术。

参考文献:

- [1] 李为腾,李术才,薛翊国,等. 地质雷达在胶州湾海底隧道 F4-5 含水断层超前预报中的应用[J]. 山东大学学报:工学版, 2009, 39(4): 65-68.
- [2] 王延寿,谢婉丽,葛瑞华,等. TSP 超前预报法在秦安高风险隧道中的应用[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(34): 97-103.
- [3] 马若飞. 青岛胶州湾海底隧道 TSP203+超前预报应用探讨[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(1): 91-95.
- [4] 刘钦,李术才,陈翼. 红外探测技术在龙潭隧道 F2 断层段超前预报中的应用[J]. 工程勘察, 2015(4): 95-98.
- [5] 张兵强,桂刚,韩玉涛,等. 米溪梁隧道特殊地质环境下综合超前预报研究[J]. 西安科技大学学报, 2012, 32(3): 331-336.
- [6] 马怀鹏,陈建祥,唐连权. 综合法超前地质预报在天成山隧道中的应用[J]. 现代交通技术, 2104, 11(2): 41-44.
- [7] 周东,刘宗辉,吴恒,等. 综合超前地质预报技术在岭脚隧道的应用研究[J]. 现代隧道技术, 2015, 52(5): 171-177.
- [8] 李术才,刘斌,孙怀凤,等. 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(6): 1090-1113.
- [9] 陆礼训,邓世坤,冉弥. 探底雷达在隧道施工超前探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2010, 7(2): 201-206
- [10] 耿大新,李洪梅,郭俊,等. 地质雷达检测隧道衬砌常见病害模型实验研究[J]. 华东交通大学学报, 2014, 31(6): 7-12.
- [11] 张成良,刘磊,王国华. 隧道现场超前地质预报及工程应用[M]. 北京:冶金工业出版社, 2013: 102-104.

Application of Comprehensive Advanced Geological Forecast in Bibanpo Tunnel

Wang Wei¹, Zeng Peng², Xiao Yuexiu¹, Yang Xin'an¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. The Fourth Company of China Railway NO.5 Engineering Group Co., LTD., Shaoguan 512031, China)

Abstract: In view of the fact that there are many kinds of special rocks and bad geologies in the Bibanpo tunnel, which can easily cause geological disasters like collapse, water inrush, soft rock deformation, this study proposes a hierarchical management mechanism of geological prediction. The comprehensive advanced geological prediction by combining geological analysis, tunnel seismic prediction, ground penetrating radar, infrared detection with advance boreholes has such characteristics as the integration of geology and physical detection, the combination of long and short distance, and the complementarity of physical parameters, which can forecast the geological conditions accurately, reduce the occupation time and speed up the construction progress. The engineering practices show that the method has achieved good results and provided effective technical means for the same engineering problems.

Key words: complex geology; long tunnel; advanced forecast; hierarchical management; comprehensive geological prediction technique

(责任编辑 刘棉玲)