

探究超前地质预报在不良地质隧道施工中的应用

郁广科

中铁十五局第四工程有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i1.6500

[摘要] 近年来隧道工程突泥突水事故频发, 究其原因是施工单位在开挖过程中超前地质预报手段不到位。本文以花园隧道 YK141+590.0~YK141+620.0 段工程地质勘探为例, 简要阐述超前地质预报, 对岩性、地质构造、不良地质及地下水发育情况进行预报, 总结掌子面前方水文地质情况, 复核设计地勘报告, 给出施工措施及建议, 确保开挖施工安全。

[关键词] 隧道工程; 超前钻探地质预报; 不良地质

Explore the application of advanced geological forecast in the construction of bad geological tunnel

Yu Guangke

China Railway 15th Bureau No.4 Engineering Co., LTD

In recent years, the accidents are frequent in the process of the excavation. In this paper, taking the engineering geological exploration of garden tunnel YK 141 + 590.0 ~ YK 141 + 620.0 as an example, it briefly expounds the advance geological forecast, forecast the lithology, geological structure, bad geology and groundwater development, summarize the hydrogeological situation in front of the palm surface, review the geological exploration report of the design, and give construction measures and suggestions to ensure the safety of excavation and construction.

[Key words] tunnel engineering; geological forecast of advance drilling; bad geology

引言

为保证隧道施工安全, 开挖前对掌子面前方及外轮廓 10 米的施工影响区域进行超前地质预报, 一般手段包括大地电磁法、TSP 超前预报、红外探水、地质雷达、超前钻探、加深炮孔等方法, 长距离、中长距离、短距离预报, 预报结果相互验证, 收集第一手地质资料, 为安全施工穿越不良地质奠定坚实基础。

1 工程概况

花园隧道为双线分离式隧道, 设计时速 80km/h, 车道净宽 10.25m, 净高 5.0m, 设计荷载公路 I 级。由南西向北东斜向展布, 隧道整体走向约 52°, 总长 3124m, 隧道最大埋深约 480m, 隧址区位于四川盆地东部, 古生界-新生界地层均有出露, 线位区地层区划隶属于华南地层大区 (I 级) —扬子地层区 (I¹) —上扬子地层分区 (II²) —西阳小区。隧址区主要出露奥陶系地层, 为沉积岩类, 地表第四系土层覆盖, 穿越学堂坳断层破碎带, 存在岩溶、裂隙水发育等不良地质情况。

2 测区设计地质情况

测区 YK141+590.0~YK141+620.0 的构造基本为北东向的构造线及伴生的断裂。据勘察报告知, 围岩为中风化 0^m 页岩, 岩体较破碎~完整, 节理裂隙微发育, 自稳性好, 地下水出水状态以点滴状为主。

3 超前地质预报

3.1 超前钻探技术

3.1.1 技术要求

为科学及合理的布设超前探孔数量及长度, 应结合相关规范、实际揭示隧道掌子面、地质预报成果等因素综合考虑, 提出以下技术要求:

断层、节理密集带及富水岩溶发育区每循环 3 个孔, 水平角 5°, 仰角 3°。

进行连续钻探, 每循环长度 1#主孔 40m, 23#辅孔 30m, 钻进里程应重叠 5~10m; 遇重大不良地质段段实施中、长距离钻探 50~150m; 如以排水为主可适当缩减钻深。

由于武隆地区地质情况复杂, 隧道地质结构不连续, 变化多端, 如根据统一的钻孔布设要求易造成超前预报费用的增加, 在预测的不良地质段内根据预测情况查明地质情况, 及时灵活调整超前探孔数量、位置和孔深不仅是最科学和合理的方案。

3.1.2 现场工作要求

(1)超前钻探过程中应在现场做好记录, 包括钻孔位置、开孔时间、终孔时间、孔深、钻进速度、推进力、扭矩等随钻孔深度变化情况、冲洗液颜色和流量变化、涌砂、空洞、振动、卡钻位置、突进里程、冲击器声音的变化等。

(2)超前钻探过程中应及时鉴定岩芯、岩粉, 判定岩石名称, 对于断层带、溶洞填充物、煤层、代表性岩土等应拍摄照片备查, 并选择代表性岩芯整理保存, 重要工程钻探过程

监理应进行旁站。

(3)在富水地段进行超前钻探时必须采取防突措施;测站孔内水压时,需安装孔口管,接上高压球阀、连接件和压力表,压力表读数稳定一段时间后即可测得水压。

3.1.3 超前水平钻施工

我项目采用卡萨 C6 多功能钻机对掌子面进行超前钻探。



图1 钻孔施工图

该设备可准确记录钻进速度、扭矩、推进力、钻进速度,结合数据自动生成分析图形、现场记录排碴情况和掌子面地质观测的信息,通过综合分析判断,确定围岩级别与设计是否一致。参考优先度为:钻进速度 > 扭矩(旋转压力) > 推进力 > 旋转速度。)所有生成的参数均是相对于钻进掌子面的围岩状况的相对值,参数的绝对值仅在相近区域有一定参考性;由于钻进里程前 0-2m 范围内通常为开孔作业,多夹杂手动操作,因此通常以掌子面向内钻进 0-2m 后的位置作为掌子面参考基准。

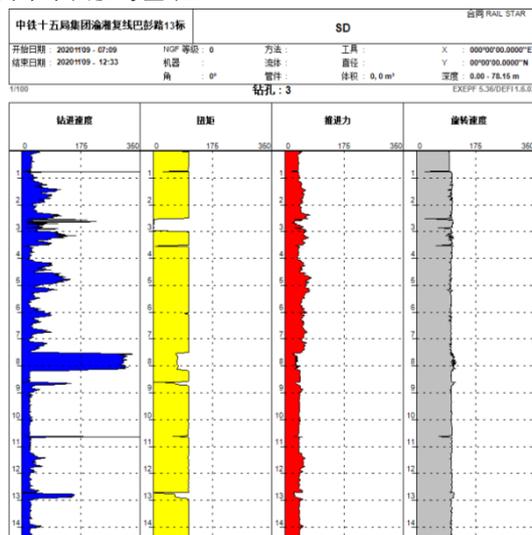


图2 超前钻探成果图

3.1.4 成果解释

YK141+590.0~YK141+630.0 段钻进时排屑为细颗粒,推测围岩为中风化页岩。钻进时参数基本呈平稳状,结合电子数据知岩层局部无夹层,硬度与掌子面接近。钻探过程中钻进速度、扭矩及旋转速度均匀间隔变化且幅度基本一致,结合电子数据知较破碎~完整,裂隙很发育。全程有较明显的返水特征,返水压较大,即地下水发育。该段完整性及自稳性一般,岩层内地下水发育。综合以上结果分析,可知各孔预

测围岩变化趋势大体一致,但仍有所不同。

3.2 TSP 超前预报

TSP 作为一种地震波反射法中长期的预报,其预报范围一般界定为 100~150m,其目的除了为短期预报提供指导意义外,还同时能够为施工单位制定一个相对长期的施工计划提供科学的依据。

3.2.1 基本原理

由微爆破引发的地震信号分别沿不同的途径,以直达波和反射波的形式到达传感器,与直达波相比,反射波需要的传播时间较长,TSP 系统由测得的从震源直接到达传感器的纵波传播时间换算成地震波传播速度

$$V_p = \frac{X_1}{T_1}$$

式中: X_1 ——爆破孔到传感器的距离, T_1 ——直达波的传播时间。

在已知地震波的传播速度下,就可以通过测得的反射波传播时间推导出反射界面与接受传感器的距离,以及在隧道断面的距离,其理论公式为:

$$T_2 = \frac{(X_2 + X_3)}{V_p} = \frac{(2X_2 + X_1)}{V_p}$$

式中, T_2 ——反射波传播时间; X_2 ——爆破孔与反射界面的距离; X_3 ——传感器与反射界面的距离。

地震反射波的振幅与反射界面的反射系数有关,在简单的情况下,当平面简谐波垂直入射到平面上时(如图 5.2-1 所示),其上的反射波振幅和透射波振幅分别为:

$$\frac{A_r}{A_i} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} = R$$

$$\frac{A_t}{A_i} = \frac{2\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} = 1 - R$$

其中, A_i —入射波振幅; A_r , A_t —反射波和透射波振幅; V_1 , V_2 —反射界面两侧介质的速度; ρ_1 , ρ_2 —反射界面两侧介质的密度; R —界面的反射系数。

由图 5.2-1 可知,当入射波振幅 A_i 一定时,反射波振幅 A_r 与反射系数 R 成正比;而反射系数与反射界面两侧介质的波阻抗 ρ_1 有关,其主要由界面两侧介质的波阻抗差决定,波阻抗差的绝对值越大,则反射波振幅 A_r 就越大,当介质 II 的波阻抗大于介质 I 的波阻抗,即地震波从较为疏松的介质传播到较致密的介质时,反射系数 $R > 0$,此时,反射振幅和入射振幅的符号相同,反射波和入射波具有相同的极性;反之,如果地震波从较为致密的介质传播到较疏松的介质时,此时,反射系数 $R < 0$,则反射振幅和入射振幅的符号相反,因此反射波和入射波的极性相反,从而可清楚的判断地质体的变化。

3.2.2 观测系统布置

通过在掘进面后方一定距离内的钻孔中进行微型爆破来发射地震波信号,爆破的地震波在岩体中以球面波的形式向四周传播,其中一部分向隧道前方传播,当波在隧道前方遇到一界面时,将有一部分波从界面处反射回来,界面两侧岩石的强度差别越大,反射回来的信号也越强。TSP 测量系统中使用了两对三分量高灵敏度传感器,高灵敏度传感器按放在特制金属管内放入钻孔中,分别以平行、垂直和径向隧道轴线的方向,能保证接收由各种不同角度反射回来的反射信号;使用两对水平和垂直布置的传感器还能有效地减小干扰信号的影响。对炮

孔的数量、深度、间距、倾角、高度及传感器的安装都有严格的要求。

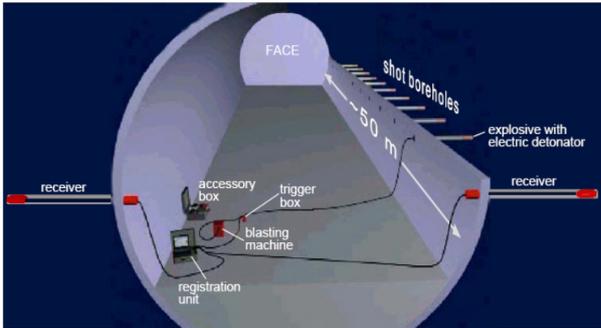


图3 TSP观测系统布置图

隧洞每掘进 100m 预报一次，预报有效距离为 100~150m，重复 20~50m。每次预报时，在隧洞左、右壁各布置 1 个接收孔，在洞壁一侧布置 21~24 个爆破孔。接收孔距掌子面 40~50m 左右，距第一个爆破孔 15~20m。爆破孔间距为 1.5m 呈直线分布。

3.2.3 数据采集控制

数据控制一般在检查地震道显示的特征时进行。将光标移至任何信号处，在上面的标题栏都会显示对应的直达波传播时间。从接收器往掌子面方向依次放炮，偏移距递增，在测量记录过程中数据控制功能将对检查正确的炮点顺序十分有效。

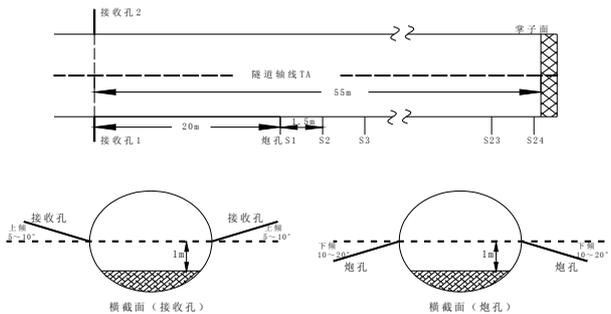


图4 TSP203 观测、接收系统平面示意图

3.2.4 成果解释

YK141+590~YK141+620 段，Vpr=3700，Vshr=2000，该段

围岩波速较低，反映围岩强度较低；围岩波速响应与前一段降低，反映围岩变软；偏移图像中红蓝条纹较多，但较杂乱不典型，反映围岩内部小型构造发育；该段胃炎以页岩为主，围岩节理裂隙发育，层状构造，完整性和稳定性一般。

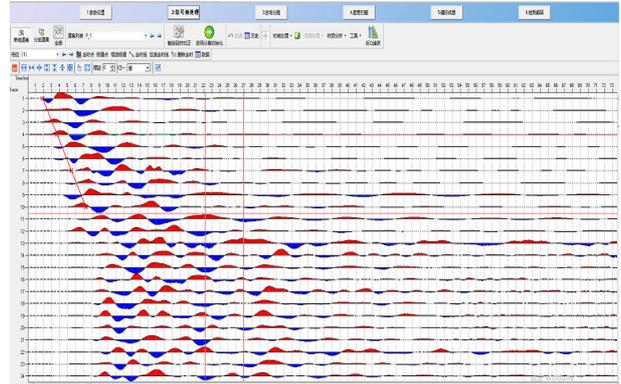


图4 TSP 预报成果图

3.3 地质雷达

地质雷达预报距离一般在 20~30m，它是预报技术体系中的攻坚力量。如果说地震波反射超前预报具有战略意义，而地质雷达超前预报则具有战术的特点。做好地质雷达超前预报对确保超前地质预报的准确率具有决定性的作用。

3.3.1 基本原理

地质雷达 (Ground Penetrating Radar) 是由雷达信号发生器产生频率相对稳定的电磁波，通过雷达主控制器对信号脉冲宽度、相位、衰减度、指数增益等一系列技术参数进行调谐调频，并进行信号样点数字化、信号叠加处理，然后由主控制器通过信号高保真电缆和屏蔽天线将信号以一定的方向角向探测方向发射，电磁波遇到有电性差异的目的体后会发生反射，反射回来的电磁波被天线再次接收，并返回到雷达的信号接收处理器内，经处理后的雷达信号分两路传送：一路直接传送给雷达显示器，通过“四色原理”将雷达信号以彩色形式直接显示在视频显示器上，其显示速度与天线运行速度保持同步；另一路进入数据存储存储器中，内存将所有技术参数连同雷达信号资料进行保存，以便进行回放和更深入一步的处理。所有雷达的专业处理、反演解释软件均可安装在通用计算机上来完成，雷达主控制器、内存可直接与通用计算机进行数据通讯，将雷达数据传到计算机中进行更高级的处理和解释。如图 5.3-1 所示。

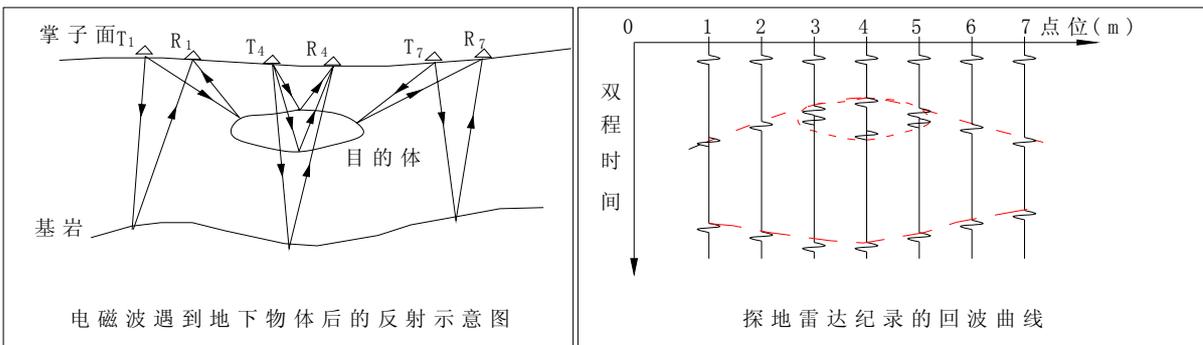


图5 地质雷达反射探测原理图

3.3.2 表面雷达测线布置

隧道每掘进 25m 探测一次，每次重复 5~10m。采用 100MHz 天

线，根据隧洞地质条件的复杂程度，剖面采用“一”字型布置。

3.3.3 成果解释

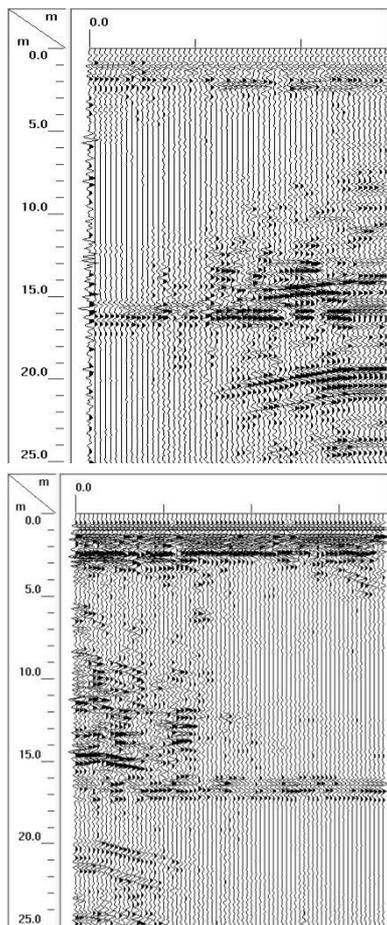


图6 一字型测线预报成果

本次雷达预报探测范围 YK141+590~YK141+620 段计 30 米,从测线结果来看:在掌子面前方 15m 的区段内,电磁波反射信号同相轴不连续,信号频率较高,幅值较低,初步判断推测 YK141+590~YK141+620 段围岩岩体与当前掌子面相似,完整性较好;在掌子面前方 15~30m 的区段内,电磁波反射信号较强,同相轴较连续,信号频率低,幅值强,推测该段落可能存在溶洞和断层破碎带。

3.4 措施及建议

根据上述三种超前地质预报方法综合判定 YK141+590~YK141+620 段围岩情况推断围岩为 V 级,本次预报段围岩整体稳定性一般。围岩主要以破碎页岩为主,节理裂隙发育,层间结合较差;可能存在溶洞和断层破碎带,地下水发育,富水状态以点滴状为主;建议开挖达到预报循环里程后及时进行下一循环预报作业,以保证施工的安全;开挖时应严格遵循“短进尺、少扰动、快循环、勤测量、及时闭合成环”的原则,开挖后及时立架及喷射混凝土,避免发生的坍塌。同时应加强围岩变形的监测。

4 控制措施

4.1 质量控制

为确保预报成果的精度达到合同要求,为施工提供具有参考价值的预报资料,工作中严格按照《工程物理勘探规范》(TB10013-2010)及本单位的质量保证体系开展工作(图 10-1),加强仪器的维护和保养,在外业工作中,保证仪器设备运行正常、重复观测精度合格,及时组织人员依次对野外方

法、仪器日记记录、原始资料等进行检查,并确定合格后,进入下道工序。为进一步准确分析和解释物探测试资料,地质工作人员要及时收集第一手资料,根据所揭露的地质现象,结合前期勘察资料,并通过已挖洞段预报结果与开挖实际情况对比分析,最后对掌子面前方预报资料进行合理的解释,确保预报成果的真实性和准确性,以指导现场施工。

4.2 安全措施

牢固树立“质量第一、安全第一”思想,在注重质量、安全意识教育的同时,制定了较为完善的现场安全防范措施和事故应急预案,测试人员进出施工作业区时,随时注意各工作面的施工情况,加强安全监视,作业时,严格按相关工种规程规范对安全方面的要求进行作业,注意文明施工。

(1)超前地质预报人员应认真学习、执行隧道施工安全规程,上岗前必须经过安全生产教育,并应在技术熟练人员的指导下工作。

(2)进入隧道工作必须穿戴合体的工作服、防高压电的雨靴、安全帽和防尘口罩等防护用品。

(3)地质预报工作开始前应观察操作空间上方、周围有无安全隐患,特别是钻探掌子面附近是否还有危石存在,确保预报人员的安全。

(4)严禁上班前和工作中饮酒。

(5)高空作业要求平台架一定要牢固,平台周围设置防护栏,人员在钻架上作业时系安全带。

(6)为便于控制超前钻孔揭露岩溶水时的水流及采取措施,孔口应安设孔口管和闸阀,但孔口管必须安设牢固,防止水压将孔口管冲出伤人。

(7)地震波反射法现场采集数据使用灵敏度很高的高爆速炸药,危险性较大,炸药和雷管必须由持有爆破证的专人领用,应由专业爆破工操作,非专业人员严禁从事爆破作业。

5 结论

采用 TSP 隧道地震波反射法、地质雷达、超前水平钻探等手段进行综合预报的方法,各种方法应由面到点、由粗到细、相互印证,各种方法施作位置可根据施工现场情况调整。根据超前地质预报情况和探孔的出水情况,综合判定不良地质体位置、规模、初步确定处理方案,包括确定注浆与否和注浆方式,超前支护、初期支护参数、预留变形量等。上述三种超前地质预报手段,是对岩性、地质构造、不良地质及地下水发育情况进行预报,结论更直观,总结掌子面前方水文地质情况,根据结果判定围岩级别是否与设计相符,或正常施工,或沟通设计加强支护手段。

(1)探明隧道开挖掌子面前方的工程地质及水文地质条件,沟通监理单位、设计单位、建设单位,确定围岩级别,优选支护参数,指导工程施工的安全顺利进行。

(2)降低地质灾害发生的几率和危害程度。

(3)为优化工程设计提供地质依据。

(4)为编制竣工文件提供地质资料。

[参考文献]

- [1]《花园隧道专项施工方案》、《花园隧道超前地质预报方案》、《渝湘高速公路复线施工图设计(隧道)第四册 第二分册》。
- [2]段双喜.超前钻探在超前地质预测预报施工中的应用。
- [3]王国丰.超前地质预报技术在软岩隧道施工中的应用[D].