

盾构施工隧道超前地质预报技术研究

Research on Advanced Geological Prediction Technology of Shield Tunnel

姜在明

Zaiming Lou

中国电建市政建设集团有限公司 中国·天津 300384

Power China Stecol Corporation Tianjin, 300384, China

摘要: 为进一步防控在中国岩溶地区修建隧道时遇到施工坍塌、涌水等地质灾害,利用多种超前地质预报技术对盾构隧道地质情况进行探明,结合电磁法、钻孔与跨孔 CT 技术、地震仪和分布式光纤声波传感技术分析出超前地质预报技术对具体工程的实用性。论文以深圳市盾构隧道岭工作井及龙城站~龙岭工作井区间为例,开展了多种超前地质预报技术研究,探测结果表明:实际情况与预报情况基本一致,为类似隧道的超前地质预报的应用提供参考及借鉴。

Abstract: In order to further prevent and control geological disasters such as construction collapse and water inrush when constructing tunnels in karst areas in China, a variety of advanced geological prediction technologies are used to explore the geological conditions of shield tunnels, and the practicality of advanced geological prediction technology for specific projects is analyzed by combining electromagnetic method, drilling and cross-hole CT technology, seismometer and distributed optical fiber acoustic wave sensing technology. Taking the section between Shenzhen shield tunnel ridge working shaft and Longcheng station ~ Longling working shaft as an example, a variety of advanced geological prediction technologies are carried out, and the detection results show that the actual situation is basically consistent with the forecast situation, which provides reference and reference for the application of advanced geological prediction of similar tunnels.

关键词: 岩溶地区; 地质预报; 隧道

Keywords: karst region; geological forecasting; tunnel

DOI: 10.12346/etr.v5i4.7870

1 引言

随着中国发展需求的不断扩大,对于地下空间的开发使用也越来越频繁。在地下空间的开发过程中隧道盾构机被频繁的使用,由于地质的复杂性,施工极易受到外部环境的影响而造成巨大的经济、人员损失。为了保证盾构机施工过程的安全,及时的探明盾构前方的地质因素并进行及时的治理尤为重要^[1,2]。

王小敏^[3]等人用物探方法:弹性波法和地质雷达法等,以新高坡一级风险隧道为例,开展超前地质预报实践工作,通过隧址区地质环境条件调查及隧道岩溶地层发育程度评价,合理选取综合超前地质预报方案,准确预报了隧道对应里程段的不良地质现象。王保军^[4]利用瞬变电磁和地质雷达对永兴一号隧道 DK278+402.7~DK278+482.7 段开展超前

地质预报,确定了岩溶区的位置和填充状态,利用超前钻孔对预测结果进行了复核,最后通过开挖结果验证了岩溶区预测的准确性。

由于盾构机施工环境地质的复杂性,通过单一手段进行地质的超前探明存在局限性。论文依托具有富水强发育岩溶性质的盾构隧道龙城站~龙岭工作井区间采用电磁法、钻孔与跨孔 CT 技术、地震仪和分布式光纤声波传感技术四种方法相结合,通过多种精准的探明方法确保施工安全,为实际的施工项目提供指导意见。

2 工程概况

项目包括龙岭工作井及龙城站~龙岭工作井区间。隧道主要下穿碧新路高架、地铁 16 号线、星景城会所,侧穿龙

【作者简介】姜在明(1989-),男,中国山东淄博人,本科,工程师,从事隧道工程研究。

园印象小区、联安金属加工行、新生绿谷；区间隧道线间距11~17.6m。盾构隧道从龙岭工作井出发后经过两个半径为1300的平面曲线，穿过田祖上水库，后经一个半径为650m和一个半径为800m的平面曲线向西南方向转入碧新路地下敷设，后向西转入盛龙路地下敷设，到达龙岭工作井东端沿盛龙路地下敷设，小净距到达龙城站东侧接收端，左线全长为4748.8m，右线全长为4749.8m（见图1）。

3 超前地质预报技术

3.1 电磁法

本次超前探水采用CFC（Complex Frequency Conductivity）探测系统，是复频电导率方法的简称，它属于电磁波探水技术。岩体是具有电导率与电容率的复频电导介质。含水后复频电导率增大，本征阻抗降低。电磁波遇到本征阻抗变化的界面就会发生反射。使用100KHz~10MHz中频段的电磁波，根据反射与相干原理，实现掌子面前方围岩含水位置与含水量的预报。CFC探水采用偶极子天线发射与阵列接收。埋设于两侧围岩中，可有效地避免隧道内金属机具等电磁干扰。采用4~5对电极阵列接收，具有方向性，使掌子面前方的信号得到加强，侧向的信号被削弱。所有接收点的反射数据联合成像，获得围岩含水性的分布与电磁波速和介电常数，作为含水性预报的依据。

本次预报范围DZ996里程DK54+748拼装环601前方100m，对应拼装环号为601~655.7。该范围内围岩平均相对介电常数3.698，总体上含水较少，构造弱发育。具体依据CFC成果可划分为7个区域，其中有1个富水区，1个弱富水区，2个含水区，3个无水区。建议加强掘进参数控制及管片拼装质量控制，加强沉降与防水控制。

3.2 探孔

钻探和物探揭露溶洞洞高范围为0.60~27.7m，平均4.5m，一般为2.0~5.0m。跨孔CT通过观测弹性波穿越地质体时走时、能量（幅值）和波形等的变化，经计算机处理重建地质体内部结构图像的一种跨孔物探方法，是现代地震数字观测技术与计算机技术相结合的产物。地震跨孔CT技术观测方式是一孔激发，另一孔多道接收，也可以一孔激发多孔接收。跨孔弹性波CT法结合钻探的结果如图2所示，共发现溶洞266个，其中物探推断钻探未揭示的溶洞106个，揭露最大洞高的CT剖面（钻孔）为LPRM338为27.7m。物探揭露溶洞洞跨：0.4~25.0m洞跨平均值为4.3米，最大值为25米。溶洞洞顶埋深8.6~59.8m，对应高程25.1~28.6m，溶洞洞底埋深4.6~64.9m，对应高程29.9~28.6m，顶板厚度0.0~35.77m。各段落地下水发育情况差别大，具体表现为：溶洞及裂隙不发育的钻孔出水量少，个别出现一抽就断的现象。溶洞及裂隙发育段落出水量较大，钻孔抽水表现为抽不干，在附近重新开孔后抽水水量又较小。岩溶区地下水与裂隙大小密切相关，部分地区基岩裂隙及岩溶发育，连通性较好。

3.3 便携式地震仪

通常将三个方向的检波器装在一个外壳内，称三分量检波器。其中，有一个是垂直方向的（接收P波），两个是水平方向的（分别接收SV波和SH波），且要求三个检波器的特性一致。三分量震源可以用垂直可控震源和水平可控震源分别激发，在不能使用可控震源的地区，高精度便携式地震仪所记录的信号中获取瑞雷波的频散，可成功获得高精度地层结构。

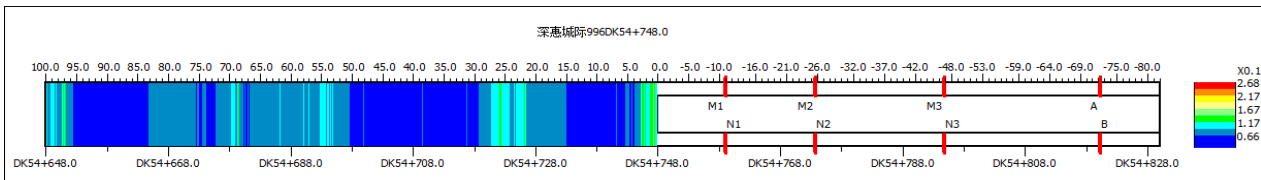


图1 围岩含水性及构造分区示意图

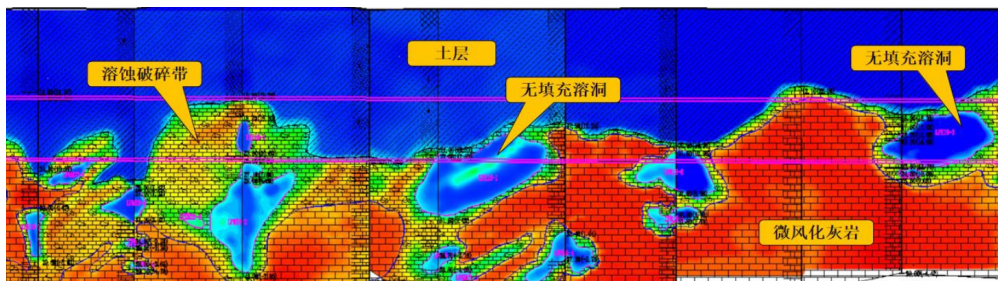


图2 CT 成像示意图

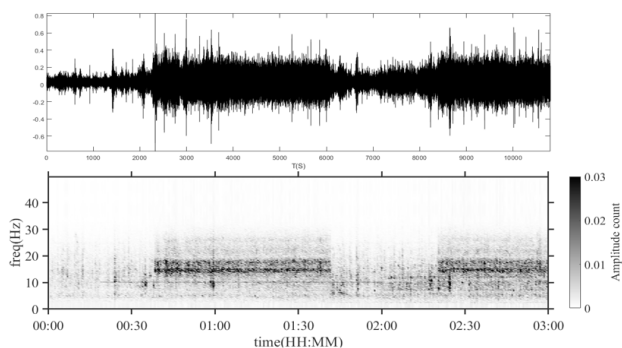


图3 信号时频分析结果

图3时频分析中,处理了随时间变化的高频能量变化,该变化与地铁盾构时间具有一致性。由于solo仪器数量的限制,该场地只能计算1D平均剖面信息,可以发现20~40m间处理想明显的速度降低,说明在该区域20左右开始出现明显的低速变化,在该区域地铁盾构深度越在30m左右,判定该低速变化由于地铁盾构引起。

3.4 光纤 DAS

分布式光纤声波传感技术(Distributed fiber Acoustic Sensing, DAS):利用相干瑞利散射光的相位而非光强来探测音频范围内的声音或振动等信号,不仅可以利用相位幅值大小来提供声音或振动事件强度信息,还利用线性定量测量值来实现对声音或振动事件相位和频率信息的获取。可利用光纤技术对盾构机前进方向地质结构的探测研究,对施工过程中极有可能发生涌水、突泥、塌方及地表塌陷等情况进行提前警示。共计布设约300m的分布式光纤用于监测盾构掘进的过程。

DAS信号记录清晰,相邻通道间记录相似性高,说明在有效区域内记录信号较好。图4DAS时频分析中,处理了随时间变化的高频能量变化,该变化与地铁盾构时间具有一致性。在10Hz以上有随盾构机掘进产生的强信号,可在钻空位置下发掘测到低速异常,该异常且与施工方提供的实际

地铁盾构深度一致,图4中通过对DAS信号进行频域相关成像计算,获得区域剖面信息,在A处地表呈现相对低速,B处地表相对高速,说明该地地表沉积层变化形态。

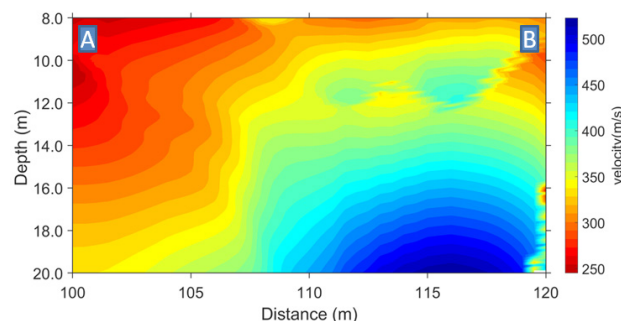


图4 20m长度的浅地表剪切波速度剖面

4 结语

论文以深圳市盾构隧道岭工作井及龙城站—龙岭工作井区间为例,开展了多种超前地质预报技术研究,探测结果表明:实际情况与预报情况基本一致,有效避免了施工事故,提升了探测岩溶隧道工程地质与水文地质条件的准确性,为类似隧道的超前地质预报的应用提供参考及借鉴。

参考文献

- [1] 孟庆锋.综合超前地质预报技术在大磅山隧道中的应用[J].工程建设与,2022(22):130-132.
- [2] 黄佩,焦玉勇,张国华,等.隧道超前地质预报检波器耦合介质理论及试验研究[J].地下空间与工程学报,2023,19(1):183-192.
- [3] 王小敏,李瑞林,王锋.岩溶隧道综合超前地质预报方法探究——以叙毕铁路新高坡隧道为例[J].地质灾害与环境保护,2023,34(1):46-51.
- [4] 王保军.岩溶区隧道超前地质预报探测系统与应用[J].铁道建筑技术,2023(3):148-151.