

GPR 和 TSP 方法用于某隧道工程地质超前预报研究

赵风雷

(长江空间信息技术工程有限公司(武汉)测绘信息工程院 湖北武汉 430019)

摘要:本文基于笔者多年从事地质超前预报的先骨干工作经验,以笔者参与的某隧道工程地址超前预报为研究对象,分析了GPR&TSP联合探测方法在该隧道的具体应用,全文从四个层次逐层深入,探讨了GPR和TSP的相关原理及研究进展,全文是笔者长期工作基础上的理论升华,相信对从事相关工作的同行有着重要的参考价值和借鉴意义。

关键词:GPR TSP 隧道工程 地质超前预报

中图分类号:TB22

文献标识码:A

文章编号:1674-098X(2010)01(c)-0103-02

1 地质雷达(GPR)和TSP简介

地质雷达(Ground Penetrating Radar简称GPR)和TSP都是目前在隧道超前地质预报中的常用方法。两种方法各有所长:GPR是短距离预报手段每次探测距离在35m左右,TSP是长距离预报手段预报距离可以达到150m左右;二者探测精度也有所不同,TSP了解大致的地质情况,在此基础上运用地质雷达进行复核,准确查明不良地质情况,长短结合,这是目前运用这两种探测技术进行超前预报的普遍做法。

1.1 地质雷达(GPR)的发展应用情况简介

地质雷达在矿山工程中用于探测采空区、地下水防突层厚度、渗水裂隙、破碎带、断层、溶洞、自然区、瓦斯突出、巷道围岩(扰动区)松动圈以及采场充填体缺陷等工程灾害隐患;在水利水电工程中主要用于探测堤坝工程灾害隐患和坝基灾害调查;在地质工程与岩土工程勘察中主要用于建筑物滑坡灾害调查、基岩面探测、地基夯实加固检测、地基勘察(如地质异常、旧基础、溶洞、采空区等地质隐患探测)、溶洞灾害探测、地层分层、地质结构灾害和地下水灾害隐患探测以及地质灾害评估;在公路工程中主要用于公路路面厚度检测、公路路面密实度、地基勘察、公路路面与路基病害调查。

在隧道工程中的地质雷达的应用较晚,在运营期它用来进行隧道病害诊断,施工期用来做质量检测对二次衬砌厚度进行评估等,另外一方面重要的应用就是施工期的超前地质预报中,近几年的应用已经获得了良好的效果并取得了很多有益的成果。

1.2 TSP简介

TSP(Tunnel Seismic Prediction)是瑞士安伯格测量技术公司于20世纪90年代初期研制开发的一套超前预报系统。该系统专门为隧道地质超前预报设计,对隧道施工、地下矿藏和洞穴都能开挖提供有效的帮助。自1994年TSP系统进入国际隧道建筑市场以来,TSP的工程应用已经超过10年。20世纪90年代初,瑞士的特长铁路隧道、20km长的费尔艾那隧道采用TBM施工技术,为了配合TBM施工,TSP探测技术首次投入费尔艾那隧道施工中,对保证TBM施工安全起到了积极的作用。随后,TSP测量技术被世界各地的隧道工程界普遍接受并得到广泛应用。

自1994年TSP系统进入国际隧道建筑市场到今天为止,已经成功地在全球诸多

国家如瑞士、瑞典、意大利、法国、伊朗、日本、韩国、等国家的公路和铁路隧道、输水隧洞、煤矿巷道等进行了上千次卓有成效的地质超前预报工作并且得到了中国的隧道工程技术人员广泛认同,并成功地应用于国内的公路和铁路隧道、输水隧洞和煤矿巷道等工程中。

2 GPR和TSP综合超前地质预报分析

电磁波传播特性要求地质雷达资料处理在相当程度上有别于弹性波的方法,这方面存在许多值得研究的课题,如地质雷达波的衰减特性与地震波有很大区别,地质雷达波与地震波在地下介质中的传播特性也明显不同。对不同隧道工程地质条件,充分考虑其地球物理特征,选择多种有效的地球物理方法进行综合勘探,结合地质构造特点对观测资料进行综合分析和解释,有助于最大限度地消除资料解释的多解性。

综合地球物理勘探解释可以是利用反映介质相同或相似特性的不同方法之间的综合解释,如地震反射资料、折射资料和天然地震资料的综合解释,也可以是反映介质不同特性的不同方法之间的综合解释,如地质雷达资料、TSP资料的综合解释。

GPR方法是利用隧道前方岩石介质界面的电磁特性差异而产生的电磁反射波进行隧道超前预报,其发射的是高频的电磁脉冲,在复杂的地质环境下,电磁波的衰减很快。在岩性较好情况下该方法仅适用于预报隧道掌子面前方50m范围内的地质情况,一般用来探测开挖面前方10~30m范围内及隧道周围的地质状况,属于短期超前地质预报的范畴。由于利用了高频电磁波,所以GPR分辨率比TSP要高,相应地,其地质异常定位比TSP精确。另外,由于电磁波透过空洞或溶洞以后能够继续向前传播,而地震波勘探时,前面的较大的溶洞往往会将后续地质异常遮住,形成探测盲区。

因而,GPR对空洞及溶洞的探测效果要好于TSP,TSP方法基于地震波在岩石介质中的传播特性,不受岩石电磁特性的影响。由于采用爆破激发地震波的形式,传播范围较远,一般在100~200m间,属于长期地质预报的范畴。由于地球物理界对地震波反射法进行了长期的研究,积累了丰富的理论成果和实际经验。因而地震波方法至今仍是超前地质预报地球物理方法中的主流方法。能较准确地识别和预测隧道掌子面前方及其周围的工程地质和水文地质情

况。TSP资料也很方便的得到岩石力学参数,应用于隧道围岩分类中。其局限性在于探测成果的多解性,在探测成果图中,断层、节理、软弱岩层界面或其他界面,都以相近的异常带的形式出现,差别甚小。经验不足或解译水平不高的条件下,很难判断哪些是属于断层形成的异常带,哪些是属于其他界面形成的异常带。

3 某隧道工程地质条件

隧道跨越了某大断裂的次生带区,洞内岩性变化频繁,地下水极为丰富。隧道经历了自稳性极差的炭质板岩、泥岩、溶洞、溶缝极为发育的灰岩及较为富水的砂岩及断层破碎带含瓦斯地层等不良地质构造。隧道两次穿越南溪河的冲积层,线路在较长地段顺冲沟而行,隧道围岩多属Ⅲ、Ⅳ类,强度较低,自稳能力差,且岩性经常变化,地质条件较为恶劣,施工难度极大。

3.1 地层岩性

隧道围岩属上三叠统一碗水组地层,少量属路马组地层,岩性相对比较复杂,硬岩有板岩,含炭质板岩、弱变质灰岩;超基性侵入岩体,软质岩有砂岩、泥岩。由于受哀牢山大断裂及次一级构造的影响,隧道基本上出露灰岩、深灰色板岩和炭质板岩。表层强风化破碎,围岩范围内板岩基本上呈现出弱风化碎块状或块状,节理裂隙发育,不均匀风化,弱变质深灰色灰岩及超基性侵入岩体为弱风化大块状,隧道围岩出现的浅黄色砂岩和紫红色泥岩属软质岩类。

地层岩性对隧道施工中地质灾害的产生具有决定性作用,特别是塌方的发生主要与岩性有关。90%以上的塌方发生在炭质板岩中。而在灰岩和砂岩中,主要表现为掉块现象,仅局部地段出现塌方。涌水的发生也与岩性有关,砂岩中一般是线状流水,板岩中一般为多处同时渗水,灰岩中则一般为线状或股状水流。由于岩性界面往往是富水部位,因而在岩性发生变化的部位也是涌水易出现的位置。

3.2 地质构造

安定向斜:由三迭系上统路马组和一碗水组组成,轴部向西北端昂起,东南段延展幅宽达24km,岩层倾角40~60°,次级褶皱发育,受走向断裂的干扰破坏,地层重复而构造重迭,递错,使向斜支离破碎,残缺不全。

隧道范围内有断裂穿过。断裂延伸30-

(下转105页)

统。

分布式数据库系统是在分布式环境下实现一个经典的集成库,它有一个全局概念模式,各个节点只能通过这个全局模式访问其它节点的数据库。分布式数据库系统为用户提供了对多个数据库的透明访问,即用户不用指明所要访问的数据库即可获取目标数据。但在很大情况下,由于节点的异构性,想要构造一个全局的数据库模式是不容易的。

联邦数据库系统是由一组相互协作的同时保持自治的多个成员数据库系统组成,这些成员数据库系统可以不同程度地集成。联邦数据库系统强调在自治的数据库实现部分的、有控制的信息的共享和交换,一个成员数据库系统在加入联邦之后,能够继续进行其局部操作。联邦数据库系统与分布式数据库系统的区别在于,分布式数据库要求一个集成所有成员数据库局部模式的全局模式,而联邦数据库的联邦模式不一定是各个成员数据库的局部模式的全集,比分布式数据库系统的全局模式更易于构建。总的来说,联邦数据库系统具有成员数据库自治和没有全局数据模式两大特点,这同时也是联邦数据库系统的优势所在。鉴于此,网格数据库系统也应该采取联邦模式。

Internet 从Web发展到网格之后,分布式的数据库系统也相应地发展到网格数据库系统。

相对于Web环境下的分布式的数据库系统,网格数据库系统具有以下优势:已有数据库资源的网格化;更多组织共享使用

网格数据库,提高资源的利用率:网格数据库服务化,使用资源更方便:通过协同工作,提高数据库的处理能力,完成大规模的数据库处理需求;数据库的可用性和可靠性同时提高。

3.2 网格数据库体系结构

建立网格数据库系统的基本原则是:以基于服务的方式访问已有的数据库;独立于各种数据库:与其他的Web服务和网格服务共存:与网格认证与授权机制相衔接。

网格数据库是网格技术与数据库技术的结合产物,它的体系结构也必然遵循网格的五层沙漏模型:构造层、连接层、资源层、聚合层和应用层,如图1所示。

在构造层和连接层,网格数据库的功能与一般的网格应用没有特别的区别。

在资源层,网格数据库通过信息协议管理资源的结构和状态信息,包括数据库的配置(类型、性能)、负载和使用策略等;通过管理协议磋商对资源的访问,包括分配、预留、监视和控制。

聚合层的功能包括:协同分配、调度及代理服务,比如一个数据库建立多个副本,OLTP在正本中执行,OLAP在副本中执行,提高性能,平衡负载;数据库复制服务,优化数据库的访问性能,以及用于负载平衡、灾难恢复;监视和诊断、故障恢复服务;元目录服务GUS,由多个GRIS构成。

在应用层,通过API/SDK访问汇聚层和资源层的服务,调用Grid Database Service执行交易或查询、报表、数据抽取、装载等。

空间数据网格体系结构中对网格数据库的访问属于网格数据库应用层的服务。

3.3 数据访问与集成服务

网格数据库的数据服务的创建和使用模式如图2所示。客户端 Client指一个网格服务或应用程序,在空间数据网格中指数据的请求者。客户端从网格服务注册中心获取网格数据服务工厂的GSH (Grid Service Handle),并向网格数据服务工厂请求网格数据服务,网格数据服务根据客户端的数据请求从数据库中获取数据,并将数据返回客户端。

网格数据库服务注册(Grid Database Service Registry, GDSR)是一个永久服务,为网格环境下的多个用户所共享。GDSR提供GDS (Grid Database Service)和GDSF(Grid Database Service Factory)的专门注册服务,属于GRIS的一个接口,通过查询GDSR,可发现提供特定服务或功能或数据源的GDSF和GDS。

参考文献

- [1] 边馥苓,朱国宾,余洁,等.地理信息系统原理和方法.北京:测绘出版社,1996.
- [2] 李德仁,关泽群.空间信息系统的集成与实现.武汉:武汉测绘科技大学出版社,2001.

(上接103页)

90km不等,沿断裂带常见片理岩、糜棱岩、碎裂岩、挤压角砾岩及岩石破碎带等,并有超基性岩浆岩侵入,断面多倾向北东,局部倾角45°,为压扭性构造。

区内构造复杂,断裂和节理发育。据统计,隧道内围岩中主要发育四组构造,产状分别为143°/NE/74°, 80°/NW/79°, 172°/NE/28°和170°/NE/76°,其中以第一组最为发育。节理的长度一般50-250cm,局部地段长度达3m甚至10m以上。节理面一般较为粗糙,较长的节理面则较为平直光滑。

根据地表地质调查,下行线K255+180和上行线K255+210的地表为一常年流水河沟通过,见断层角砾岩,气孔构造的喷发岩,还有煌斑岩。上行线K255+280的地表为一山坳,两侧岩层产状杂乱。其中隧道下行线255+160~+282、上行线K255+200~+349位于两条断层的交会处,即断三角带。

3.3 水文条件

隧道磨黑端常年水位线高于隧道,上行线隧道洞顶距最高地下水位线为128m,下行线隧道洞顶距最高地下水位线为214m。路线区域内分布松散层孔隙水,碳酸盐岩岩溶水和基岩裂隙水三大类。基岩裂隙水分布最为广泛,其中以碎屑岩裂隙水为主。

松散层孔隙水:松散层孔隙水主要分

布于第四系冲洪积和残坡积层中,在砂性土中相对较丰富,接受大气降水补给,径流排泄不畅,常年滞水,而粘性土,水量相对贫乏。

碳酸盐岩岩溶水:区域出露的碳酸盐岩较少,只是在隧道部分出现了少量的灰色灰岩接受孔隙水及基岩裂隙水的补给,一般以溶洞的形式排泄。

基岩裂隙水:路线经过区域基岩裂隙水广布,各类碎屑岩、变质岩及岩浆岩均有出露。其中以碎屑岩裂隙水为主,上三迭统路马组,地下水赋存于泥质岩、粉砂岩夹砂岩中,面裂隙率7%~12%。常见泉水流量小于0.5升/秒;上三迭统一碗水组地下水赋存于灰紫、紫红色砾岩和砂砾岩夹泥岩、砂岩中,面裂隙率5%~13%。常见泉水流量0.2~3.0升/秒,基岩裂隙水接受大气降水,地表水和其他水源的补给,水力梯度大,排泄运移速度快,旱季地下水十分贫乏,岩体相对较干燥。

裂隙水对洞口滑坡和洞内崩塌的形成起重要作用。砂岩及灰岩中赋存有裂隙水,由于裂隙水压力的作用,水沿裂缝的楔入作用使岩体凝聚力降低,内摩擦角减小,力学强度降低,引起塌方。

隧道围岩的支护形式是以围岩类别来确定的。而由于地下水的作用,使开挖后决定岩体的稳定因素不仅仅是围岩类别,地

下水的作用成为影响岩体稳定的主要因素。隧道地段常年都有裂隙水从岩体里涌出,特别在岩性变化界面处涌水尤其突出。在炭质板岩地区,基岩裂隙水丰富。在石灰岩地区,由于贯穿性溶缝的存在,使得山体里的积水沿这些溶缝喷涌而出。砂岩地区由于其孔隙率大,地下水的储存相当丰富,虽没有灰岩地区的水量大,但砂岩地区的地下水也是相当的丰富,一般砂岩地区的地下水可达54~72m³/ha。

总之,隧道的水文地质条件相当复杂,从某种意义上说,水已经成为影响围岩稳定的最主要的因素。

4 某隧道GPR&TSP联合探测结论

隧道K255+689~K255+539段TSP探测时,因为TSP探测在该处纵波反射能量比横波弱,反射能量分别为3.67e-4,2.42e-3,呈现反射波振幅,所以预报K255+689~K255+574段为硬岩层,在K255+605附近富水。实际施工情况K255+689~K255+574段为硬质板岩和灰岩,在K255+600处涌水量大,大1000m³/h,施工中增加了排水设施,增强了支护。