

泥水平衡盾构施工管理系统研发及应用

程学武¹,江玉生²,孙正阳²

(1.北京铁路局 地下直径线工程建设指挥部,北京 100005;2.中国矿业大学(北京) 力学与建筑工程学院,北京 100083)

摘要:阐述了目前泥水平衡盾构的主要研究方向,分析了泥水平衡盾构施工过程中事故风险的诱发因素,并以此为基础,针对泥水平衡盾构的特点,设计研发了其施工管理系统。该系统在天津地下直径线工程中的成功应用,证明该系统不仅可以实时、有效、真实地监控泥水平衡盾构的施工状态,而且可以有效地预测和规避施工中的风险事故,保证施工安全。

关键词:泥水平衡盾构;系统;施工管理;研发;应用

中图分类号: U455.43 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7767(2017)06-0099-06

R&D and Application of Management System in Slurry Balanced Shield Construction

Cheng Xuewu, Jiang Yusheng, Sun Zhengyang

盾构法作为一种先进的隧道修建方法,被广泛应用于城市地下隧道建设中。根据工作面平衡方式不同,可将盾构分为土压平衡盾构、泥水平衡盾构、敞口式盾构等。其中,土压平衡盾构由于地层适应性好,在城市地铁隧道(直径6 m)施工中应用较为广泛;泥水平衡盾构主要应用于大直径隧道的建设^[1],例如北京地下直径线、天津地下直径线、南京长江隧道等。

1 泥水平衡盾构的研究内容

目前,业界对泥水平衡盾构的研究主要集中在以下3个方面:

1)选型及适应性。选型通常是针对某一特定工程进行盾构设备的选择分析,其内容主要包括盾构类型及设备参数等。例如:北京铁路地下直径线的盾构选型研究^[2-3]、武汉长江隧道的盾构选型研究^[4]、超大直径的海底隧道选型研究^[5]等。这些研究结果表明,泥水平衡盾构对大直径(大于10 m)地下穿江越河隧道的适应性较好。

2)泥膜形成机理。施工过程中,由于泥水平衡盾构泥膜的形成直接影响隧道施工的进度及工作面的稳定,因此对泥膜形成机理进行研究十分必要。韩晓瑞等对泥浆性质对泥膜形成质量的影响进行了研究,结果表明:泥浆颗粒级配及密度相同时,泥浆黏度高,物理稳定性好,泥膜形成容易,且形成的泥膜薄、致密,滤

水量也小^[6]。刘成等分析了泥膜形成的二维理论,确定了新的泥膜形成本构关系模型,给出了泥膜滤失量和厚度分别与位置、时间、重度比、盾构直径等因素的关系^[7]。吴迪等进行了砂性土层泥浆成膜性能试验,并结合工程实例对泥浆的配比进行了调控,得出了有意义的结论^[8]。

3)施工技术和信息化管理。邢慧堂以南京长江隧道为例,以参数控制为主,提出了一系列保证施工的安全措施,体现了施工过程中信息化管理的重要性^[9]。

通过对泥水平衡盾构控制系统进行研究,笔者以施工中的控制技术及相关参数为基础研发了泥水平衡盾构施工管理系统,并在天津地下直径线工程中得到了成功应用,效果良好。

2 盾构施工管理系统的需求分析

盾构法是目前隧道修建工法中机械化、信息化程度最高的一种工法。盾构施工过程中,盾构掘进、管片拼装、渣土运输等相关操作均由技术人员通过盾构施工控制计算机(以下简称盾构计算机)完成,而各种传感器获取的施工状态数据也会反馈至盾构计算机,并以直观的形式呈现出来,保证了施工人员对盾构状态及施工安全的即时把控。

盾构施工过程中的风险事故诱发因素可分为2类:设备本身故障和施工管理强度较低。

2.1 设备本身故障

盾构设备作为隧道施工的主要工具,其自身状态对隧道施工的安全、质量和工期有较大影响。判断盾构设备的实时状态、发生故障前对盾构设备进行检修、故障发生后及时对故障部件进行修复都是保证隧道施工正常进行的重要前提。

盾构设备发生故障前通常存在一定的预兆,最为直观的表现是盾构施工参数产生异常。例如:对于地质条件相似的区间,若盾构掘进总推力发生较大变化,可以考虑对刀具的磨损情况进行一定程度的检修,分析是否由于刀具磨损严重导致盾构推进困难;在地质条件不发生重大变化的情况下,盾构掘进时扭矩突然大幅度提升,可考虑是否盾构主驱动发生故障。

总的来说,通过对盾构设备参数进行监控和分析,可在一定程度上帮助施工人员判断是否存在发生设备故障的可能性,并避免风险事故发生。

2.2 施工管理强度较低

在隧道建设过程中,绝大多数事故都是由于施工人员对潜在风险的认识不足、施工风险管控手段不到位以及项目部管理强度较低造成的。为了避免此类事故发生,除了提高施工人员的安全意识、施工技术外,强化施工管理也很重要。

保证施工安全不仅是对施工人员的要求,同时也是对工程建设方的要求。但工程建设方对施工现场的把控程度通常较低,因此必须增加施工管理强度,以防事故发生。

盾构施工管理系统既可全面了解盾构设备的实时运行状态,又可实现施工各方对施工参数的实时把控,保证了盾构施工的安全。

3 盾构施工管理系统研发

盾构掘进过程中,施工参数首先传至盾构计算机中进行处理,并转换为相应的界面语言,以便于技术人员根据该参数操作盾构机,同时该参数会以文件的形式储存在盾构计算机中。因此,通过盾构施工管理系统,不仅可以进行数据文件的提取、远程传输、分析整理和界面化显示等操作,而且实现了对盾构施工的远程实时监控和管理。

3.1 数据传输

数据传输作为系统研发的重要组成部分,如何将盾构计算机中的数据完整、实时、正确地进行传输是其研发的关键。数据的传输过程主要分为3步,见图1。

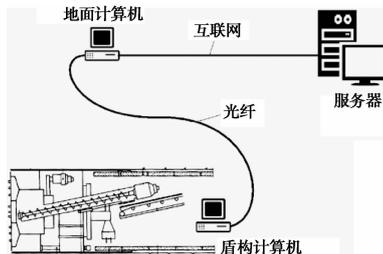


图1 数据传输过程

- 1)在盾构计算机中安装自主编制的软件,对数据文件进行抓取;
- 2)利用网络将数据文件传输至已经安装数据文件接收软件的地面计算机;
- 3)地面计算机通过自主编制的转换软件,转换加密数据文件后,再将其传输至服务器。

3.2 数据处理及显示

数据上传至服务器后,服务器对数据进行处理,处理过程中重点关注施工关键参数(如泥水压力、切口水压、刀盘扭矩、总推力等),处理完成后的数据储存在服务器内。用户通过互联网对服务器进行访问,实现对盾构施工的实时监控和管理。

客户访问服务器时的界面设计是该系统研发的另一重点。研发时,应首先明确用户对系统的需求。经分析可知,用户需求的系统功能主要包括:①盾构施工状态及关键参数实时监控功能;②盾构施工参数的储存分析功能和参数异常时的预警功能;③统计指定环号(或连续多环)的材料消耗、时间等主要施工参数并绘图(柱状图、饼图及折线图)、导出报表(EXCEL、WORD、PDF格式)功能;④根据施工情况,结合周边环境,可对风险源分级和处置情况进行动态调整评估,并形成日报、周报、月报电子版;⑤在电子地图上对线路、站点的相关信息数据进行集成展示,并具地图放大、缩小、测距等功能。

确定了客户需求后,即可进行系统框架构建。系统框架见图2。

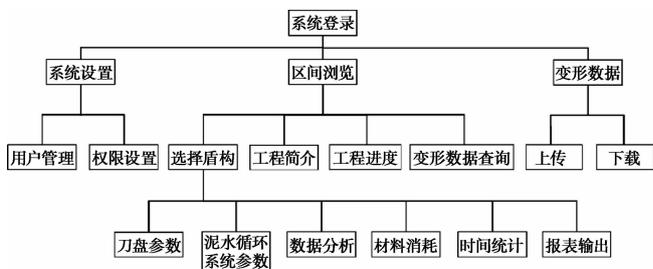


图2 系统框架图

4 系统界面

在构建完成的系统框架基础上进行系统界面设计,除了需要满足系统的各项需求外,还要保证界面的美观性。

4.1 盾构刀盘及姿态参数监控

盾构刀盘及姿态参数监控界面作为施工管理系统的主要部分,需要具有可实时、完整、准确地了解盾构施工状态、关键参数等信息的功能。盾构刀盘及姿态参数监控界面见图3。

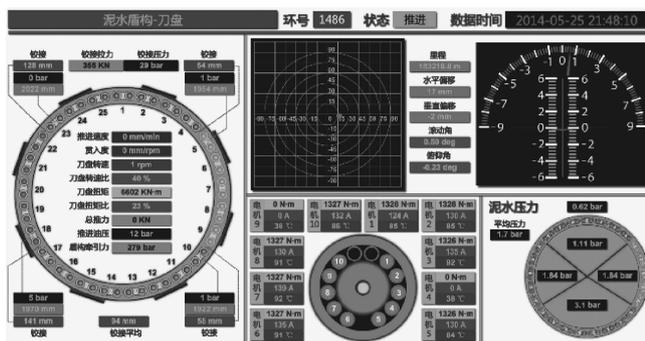


图3 盾构刀盘及姿态参数监控界面

参数监控界面可实时地显示盾构施工状态及位置、土仓压力、泥水压力、掘进速度、刀盘转速等盾构施工的关键信息。技术人员通过该界面可快速地了解盾构施工信息,并通过对参数的分析来判断施工状态,对施工做出指导。

刀盘参数界面主要显示以下参数:推进环号、工作状态、各土压传感器压力、推进速度、刀盘转速、贯入度、刀盘扭矩、总推力、推进油压、推进千斤顶行程、推进千斤顶油压、同步注浆累计量、同步注浆A液量、同步注浆B液量、同步注浆量、同步注浆压力、同步注浆A液压力、同步注浆B液压力、主液压油箱温度、刀盘齿轮箱温度等。该界面可根据实际盾构设备型号,对刀盘的形式、各个传感器的位置等进行调整,并在保证参数完整的情况下,做到参数显示直观、界面设计合理。

盾构姿态作为影响隧道完成质量的重要因素,在施工中必须严格把控。该系统盾构姿态监控界面主要显示以下参数:盾前XYZ坐标、盾中XYZ坐标、盾后XYZ坐标、滚动角、俯仰角、水平偏角、垂直偏角、盾前水平偏差、盾前垂直偏差、盾中水平偏差、盾中垂直偏差、盾后水平偏差、盾后垂直偏差以及盾构施工近10环的纠偏量。其中,盾构姿态坐标以行业内常用的模式

显示,整个界面美观、人性化。

4.2 泥水循环及盾尾密封参数监控

泥水循环系统的工作状态是影响泥水平衡盾构施工的重要部分。对泥水循环系统进行实时监控,可及时发现施工中出现的问題,确保施工安全。泥水循环参数监控界面见图4。通过该界面,可获取泥水循环系统的相关数据,包括阀门的开关状态、泥水注入压力、泥水密度、泥水流量等。

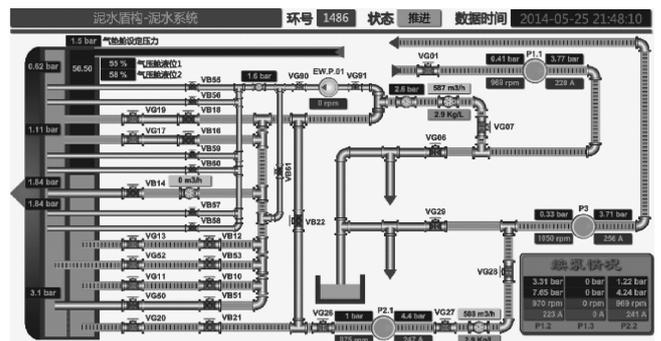


图4 泥水循环参数监控界面

盾尾密封作为封堵同步注浆的重要手段,在盾构施工中发挥着重要的作用。盾尾密封参数监控界面见图5。



图5 盾尾密封参数监控界面

4.3 施工管理

该系统以施工中的相关数据为基础,通过应用一系列施工管理措施,实现了盾构施工过程的精细化管理。

4.3.1 材料消耗统计

材料消耗统计界面可对每环消耗的材料进行统计,极大地方便了项目管理人员把控成本和质量。材料的消耗主要包括:同步注浆量、渣土改良剂用量、盾尾油脂用量等。材料消耗统计界面见图6。

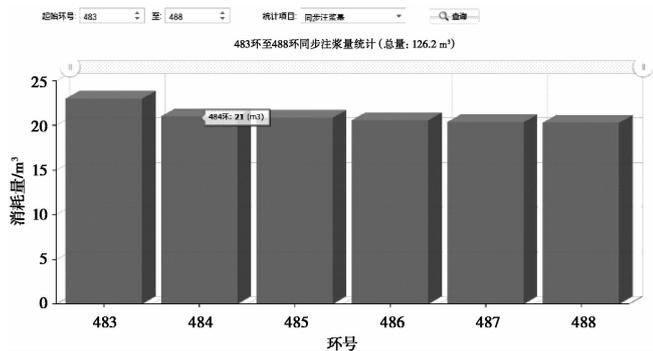


图6 材料消耗统计界面

4.3.2 施工进度统计

施工进度统计界面可对盾构每天掘进的环数进行统计,同时还可以日、周、月为统计周期对盾构施工进度进行统计。施工人员可依据该统计数据进行施工计划制订及技术优化。施工进度统计界面见图7。

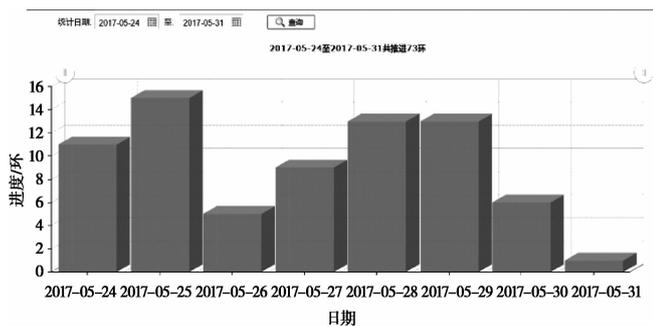


图7 施工进度统计界面

4.3.3 施工效率分析

施工效率分析界面可对盾构每环的工作时间进行统计,包括推进时间、拼装时间、停止时间等,并以此为基础,帮助技术人员优化施工工序、完善施工计划。其报表输出界面可对统计界面的信息进行输出,并形成WORD、EXCEL等常用格式的文件。施工效率分析界面见图8。

4.3.4 施工参数分析

施工参数分析界面可以按照时间或环号显示盾构的所有参数数据,其参数选取是以参数的量纲作为依据,且最多可同时显示2种数据,以方便技术人员对参数之间的关系进行对比。施工参数分析界面见图9。

5 工程实例

该系统研发完成后,先后在北京地下直径线和天

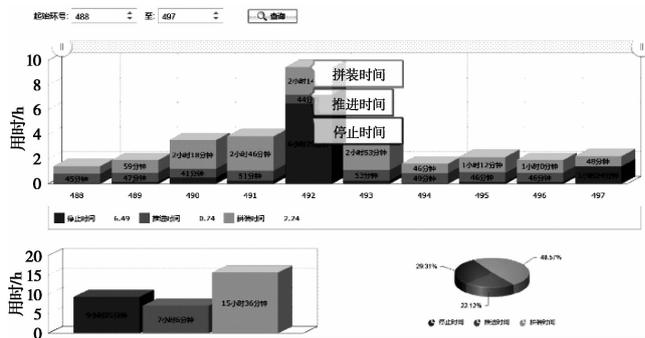


图8 施工效率分析界面

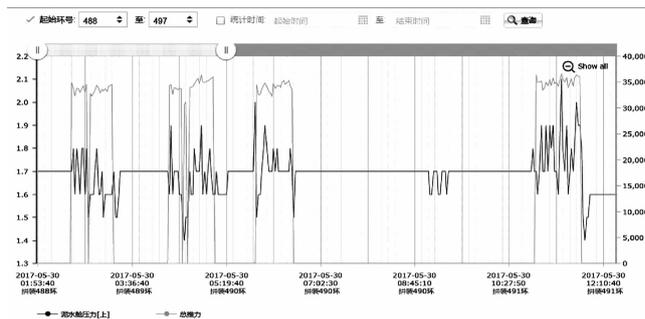


图9 施工参数分析界面

津地下直径线的修建过程中进行了应用。现以天津直径线工程为例,对其应用效果进行介绍,以期今后类似工程的应用提供参考和借鉴。

5.1 工程概况

天津地下直径线工程连接天津西站与天津站,是津秦客运专线与京沪高速铁路的连接线,全长5005m,其中盾构隧道长2146m,隧道埋深9~32m,采用1台直径11.97m的泥水平衡盾构施工。该盾构隧道结构为圆形断面,衬砌采用通用楔形环管片,管片外径11.6m,环宽1.8m,厚0.5m。盾构隧道穿越的地层主要为粉土和粉质黏土层,局部夹粉细砂。该工程隧道范围内的潜水埋藏较浅,埋深为0.30~3.96m,承压水埋深为3.73~7.85m,含水层为粉细砂层和粉土层。该工程盾构区间地质剖面见图10。

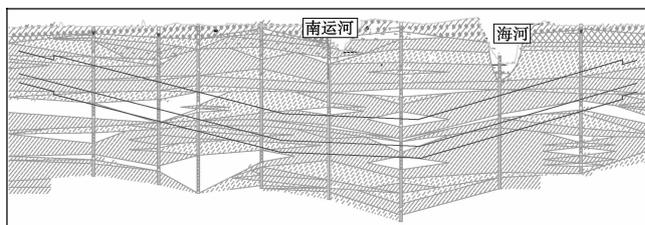


图10 盾构区间地质剖面图

5.2 应用

该工程盾构组装完成后,项目组就完成了盾构施工管理系统相关硬件的配置,同时也完成了项目部计算机及数据服务器的配置和各个计算机之间的数据连接工作。盾构施工过程中,该系统详细记录了相关参数。现选取 557~607 环作为主要分析段,以千斤顶推

力、刀盘扭矩、排出泥水密度、供入泥水密度等数据为例进行应用情况展示。该盾构记录的原始数据为 1 次/min,由于施工过程中各个参数变化频率较大,因此在绘制示意图时采用了散点图形式。对于同一环来说,某个值的数据点越多,对应该点的颜色越深,反之亦然。盾构施工参数见图 11。

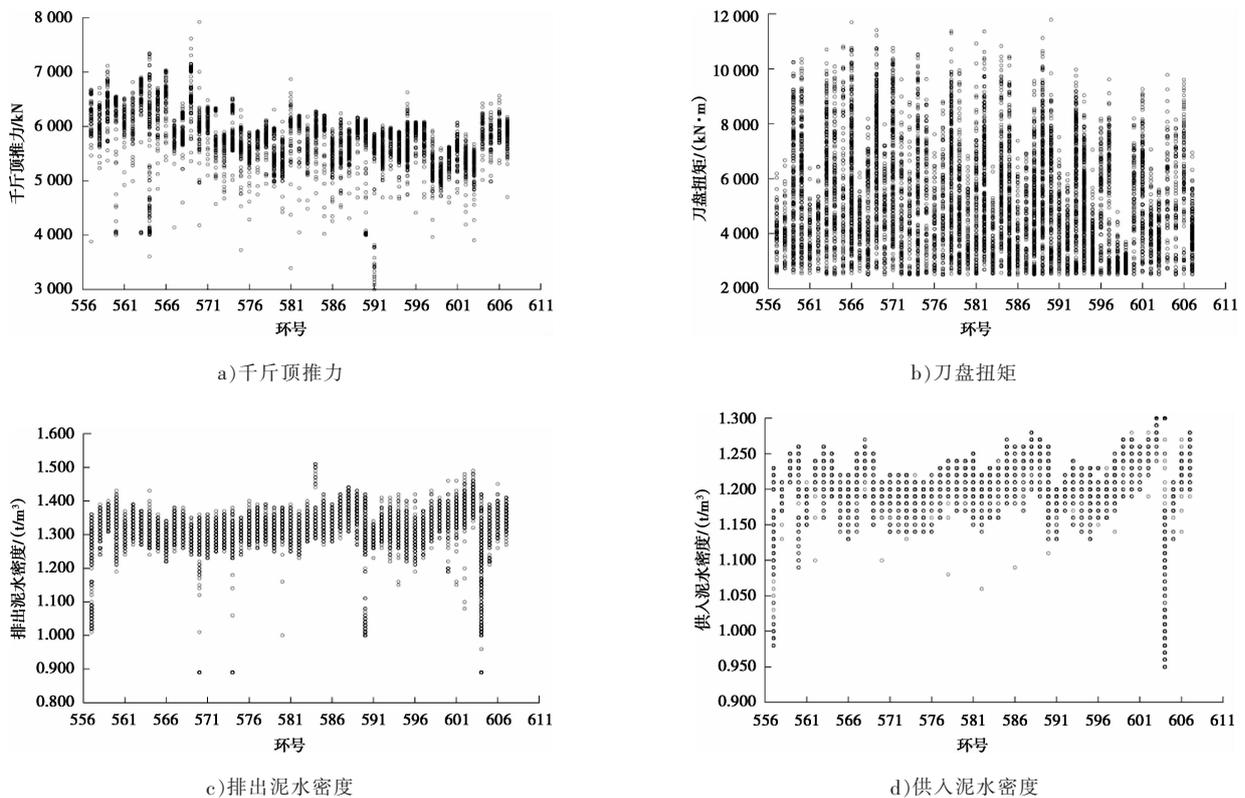


图 11 盾构施工参数

5.3 效果分析

该工程盾构施工段自 2010 年 11 月 24 日开工建设,至 2012 年 3 月 24 日完工,整个工程历时 490 d,日均掘进 4.4 m,且盾构施工顺利,全程一次性掘进,中途未换刀。

施工过程中,技术人员多次通过该系统发现施工参数异常,经及时采取相应的控制措施,保证了盾构施工的安全。

6 结语

以施工过程中的风险分析为基础研发的泥水平衡盾构施工管理系统,成功地在天津地下直径线工程中得到了应用。该系统的研发与应用主要取得了以下成果:

1)满足了工程技术人员不在现场也可对盾构施工

进行实时监控的要求,为技术人员及时获取现场施工信息、指导现场施工进度、调整施工方案提供了依据;

2)实现了盾构施工数据的自动化采集、储存、处理及显示,为总结施工经验、优化施工方案、提高施工技术提供了依据;

3)满足了工程相关各方对工程管理的要求,同时该系统的预警功能还对现场施工具有很大的辅助作用,保证了施工现场的安全。MET

参考文献:

- [1] 肖明清. 国内大直径盾构隧道的设计技术进展[J]. 铁道标准设计, 2008(8):84-87.
- [2] 叶康慨. 北京铁路直径线大断面地下隧道盾构机选型研究[J].

(下转第 164 页)

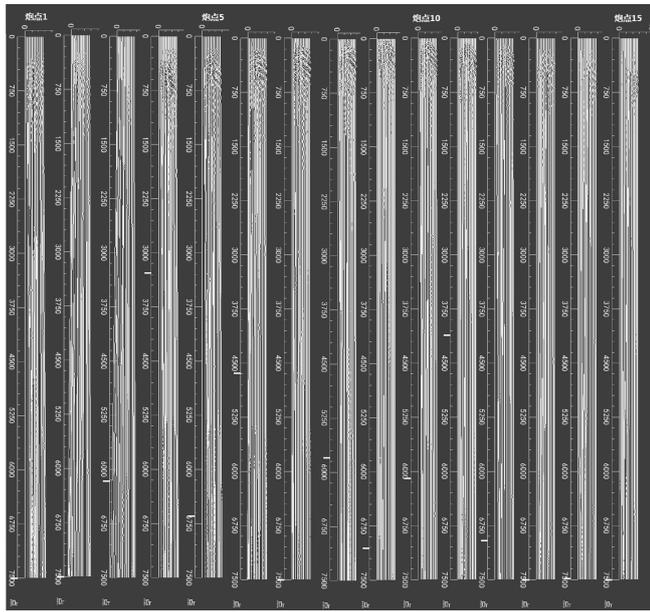


图7 炮点1~15的地震波波图形

反射界面。由于溶洞内一般充填空气或者松散黏土,地震波会发生负反射,在地震剖面图中会出现相位不连续的现象,而在图7的实际剖面中,并未出现该现象,因此可以判定山体存在溶洞的可能性较低。

4.4 小老峪数据解译

小老峪共布设检波器14个,间距1m,垂直山脊一字排开,共布设12个炮点,间距2m,同一激发点2次激发并叠加以提高信噪比。

在采得的12个地震剖面图中,出现图8的典型深层反射波共有10个(见图9)。

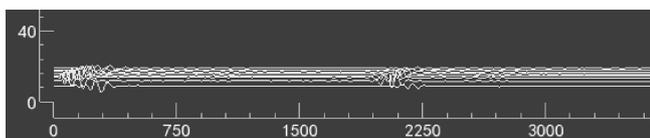


图8 小老峪采得的典型波普图(炮点5)

(上接第103页)

- 隧道建设,2006,26(6):20-23.
- [3] 张双亚,陈赓.北京铁路地下直径线盾构选型[J].铁道工程学报,2007,24(3):70-73.
- [4] 刘金祥,赵运臣.武汉长江隧道工程盾构机选型[J].隧道建设,2007,27(4):91-94.
- [5] 刘继国,郭小红.超大直径海底隧道盾构选型研究[J].现代隧道技术,2009,46(1):51-56.
- [6] 韩晓瑞,朱伟,刘泉维,等.泥浆性质对泥水盾构开挖面泥膜形成质量影响[J].岩土力学,2008,29(Sup1):288-292.

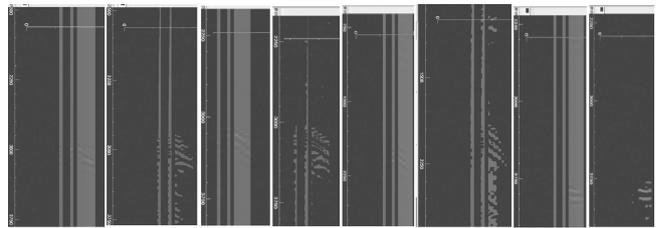


图9 小老峪部分地震波波图形及异常拾取

在剖面图中,深处出现了较大的弯曲形态,其特征疑是溶洞反映,位置距离山顶30m左右。由于受山顶地形限制,地震测线长度为13m,测点有限,不能很好地说明其规模,故判断其宽度在13m以上。

5 结语

地震反射波同相轴可以较好地反映出地层的起伏变化情况,通过对溶洞上边界的波阻抗界面的观测,我们可以较为容易地得到溶洞的空间位置及规模信息。溶洞探测为综合性难题,单一探测手段所能解决的问题有限,因此建议延长、加密测线,并需做进一步的工作加以验证。MET

参考文献:

- [1] 覃政教,钟晓群,陈滋康,等.浅层地震反射法探测隐伏土、溶洞的初步效果[J].中国岩溶,1992,11(1):56-62.
- [2] 叶英,侯伟清.基于任意排布的地震波地下工程空间探测方法:中国,201410423456.9[P],2017-05-10.
- [3] 侯伟清,叶英.基于地震CT的地铁工程钻孔详查技术研究[J].铁道勘察,2013(4):42-47.
- [4] 袁桂琴,熊盛青,孟庆敏,等.地球物理勘查技术与应用研究[J].地质学报,2011(11):1744-1805.

收稿日期:2017-06-09

作者简介:侯伟清,男,工程师,硕士,主要从事地铁施工管理及超前地质预报工作。

- [7] 刘成,孙钧,赵志峰,等.泥水盾构泥膜形成二维理论分析[J].岩土力学,2013,34(6):1593-1597,1628.
- [8] 吴迪,周顺华,温馨.砂性土层泥水盾构泥浆成膜性能试验[J].岩石力学与工程学报,2015(Sup1):3460-3467.
- [9] 邢慧堂.南京长江隧道泥水盾构穿越江中超浅覆土段施工技术[J].现代隧道技术,2010,47(2):68-73.

收稿日期:2017-07-31

作者简介:程学武,男,高级工程师,硕士,主要从事城市隧道及道路工程的施工管理工作。