

# 智能机器人在隧道安全预警中的应用

## Application of intelligent robot in tunnel safety early warning

陈章元 王少强

Zhangyuan Chen Shaoqiang Wang

中交一公局第四工程有限公司 广西 南宁 530033

The Fourth Engineering Co Ltd ofCCCC First Engineering Co Ltd Nanning Guangxi 530033

**摘要:**近些年来我国国力的不断提升和科技的提高,瞬变电磁仪和三维激光扫描仪在各个领域的应用也越来越广泛,传统人工瞬变电磁仪探水和监控量测作业需要分开进行,作业时间长,效率慢,采集数据需要专业人员进行分析;使用智能机器人作业仅需一人操作,探测精度更加精确,使用智能机器人进行监控量测,大大提高了施工效率,节省了人工劳动力。

**Abstract:** In recent years, with the continuous improvement of China's national strength and science and technology, the application of TEM and 3D laser scanner in various fields is more and more extensive, the traditional manual transient electromagnetic instrument water detection and monitoring measurement work needs to be carried out separately, the operation time is long, the efficiency is slow, and the data collection needs professional personnel for analysis; the use of intelligent robot operation only needs one person to operate, the detection accuracy is more accurate, the use of intelligent robot for monitoring measurement, greatly improves the construction efficiency, saves manual labor.

**关键词:** 智能机器人;瞬变电磁探水;三维激光扫描

**Keywords:** Intelligent robot; Transient electromagnetic water exploration; Three dimensional laser scanning

**DOI:** 10.12346/etr.v3i4.3273

## 一、引言

瞬变电磁仪可以实现对掌子面前方围岩水源分布进行精确探测,三维激光扫描仪可以实现隧道全景扫描,对于优化隧道超欠挖、隧道变形收敛观测和掌子面地质素描有很大的提升,基于三维激光扫描仪及瞬变电磁仪人工操作具有效率低,准确度不高等缺陷,依托国家示范课题《复杂地质环境下山岭隧道工程施工安全预警技术与装备研究及应用示范》,研发隧道智能机器人,实现隧道富水区域的自动化监测以及隧道自动化监控监测。

## 二、工程概况

桐梓隧道穿越地质复杂,煤层采空区、高瓦斯、高地应力、地温、岩溶均有存在,且穿越3条断层破碎带,主洞隧道最大涌水19.2万 $\text{m}^3/\text{d}$ (全隧),斜井最大涌水2.89万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,隧道突泥、突水、暗河、溶洞、瓦斯、高地应力等特殊地质施工都存在,为进一步保证隧道施工安全,超前地质预报和监控量测工作极为重要。传统的监控量测方法在监测布点时有一定

限制,布点数量增多工作量相对应加大,监测时长也相应增加,布点数量过少不能良好的反应出围岩收敛情况及变形趋势,不利于隧道结构监控量测数据的分析,隧道中可视度差、复杂的环境对于传统监控量测方法也有一定影响。隧道超前地质预报包括物探和超前钻探等方法,在隧道探水方面主要采用红外线探水仪、瞬变电磁仪等方式进行预探预报,传统的瞬变电磁仪探水主要由人工进行操作,操作时间长,且容易受到人为因素的影响而导致超前探水结果不准确,不能很好的指导隧道安全施工。

## 三、应用情况

### (一)瞬变电磁仪测水

人工操纵智能机器人在靠近掌子面2-3m处就位,通过遥控器操作瞬变电磁仪探测系统对掌子面前方100米范围内三维空间进行自动化探水作业,机器人根据编程程序自动调整探测线圈角度(瞬变电磁法,共计布置5条扫描断面,以掌子面现有掘进方向为基准,分别为斜向上45°顶板方向,斜

**【作者简介】**陈章元(1997~),男,汉族,贵州毕节人,助理工程师,本科。王少强(1989~),男,汉族,山西运城人,助理工程师,专科。

向上 22.5°方向、水平方向、斜向下 22.5°底板方向、斜向下 45°底板方向。施工测线范围为横向-60°~60°,扫描断面覆盖夹角为 120°),实现探水数据全自动化采集工作,工作时间为 20 分钟左右,作业完成会生成数据分析报告自动上传至云平台。通过数据成果分析报告可以精确得出前方水源分布情况,对于现场施工做出精准指导,避免突水、突泥等情况发生。

## (二)三维激光扫描监控量测

### 1、外业数据采集

使用三维激光扫描仪进行测量,每隔三十米设置一站,第一站先布好标靶纸,用全站仪获取标靶纸的绝对坐标,辅助后期数据处理的绝对坐标转换,每站之间用标靶球进行拼接(标靶纸要 3-4 个,隧道两侧均匀布设,严禁在同一侧布设,以确保数据处理无误)。标靶球下方带有强力磁铁,可固定在隧道稳定钢结构上。

### 2、数据拼接

SCENE 数据处理软件可以实现对仪器采集原始数据的快速处理,并导出为第三方处理软件可以使用的数据格式,如下图所示是该软件的操作界面,界面中显示的为处理之后的桐梓隧道点云数据,站间距 30m 左右,共采集 3 站数据,耗时 25 分钟左右,站与站之间的数据拼接使用标靶球定位点,精度误差在 2.2mm。数据拼接完成之后导出点云为第三方数据处理软件专用格式。

### 3、数据处理

根据设计院提供的图纸,利用道路设计要素画出隧道三维轴线,并把对应隧道轮廓线套在隧道轴线上形成三维隧道轮廓图。设计隧道轮廓线准备完成以后利用 3DReshaper 数据处理软件对隧道超欠挖进行分析。先将数据拼接完成之后导出的点云数据导入数据处理软件,可以对每一期测量数据进行颜色改变,便于区分。由于三维激光扫描仪是全景扫描,故形成的点云数据会存在很多干扰物(如车辆、人、隧道标识牌等)所以接下来要在云命令栏中进行噪点去除工作。如下图所示是噪点去除完成之后的图像。噪点去除完成以后将隧道设计轮廓图导入,进行模型封装、设计模型制作工作,数据处理完成可以对数据与上一期数据相对比来确定围岩收敛变形值,使用 3D Reshaper 数据处理软件便利之处在于隧道超欠挖可以通过颜色、数据三维成图直观表现出

来,对现场施工提供有利指导,在这里可以设置断面切片距离,起始里程桩号,超欠挖颜色设置,对比结果可直接导出为 dxf 格式。因为测量数据会存在一定误差,所以数据分析对比可根据精度需求来设置不同阈值,通过颜色来区分围岩变形等级。通过 3D Reshaper 数据处理软件可以精确得到隧道围岩收敛变形情况,如下图为输出为 DXF 格式作为检测成果资料。可根据需求导出为详细的断面对比分析文件 DXF 格式或者是以报告形式输出为 PDF 格式。

## 四、结论

隧道智能机器人安全预警系统主要是由瞬变电磁探水系统和三维激光扫描监控系统两个部分组成,隧道超前探水系统主要采用瞬变电磁仪对隧道掌子面前方水源进行探测,上传到机器人主控程序,由机器人自动解析、预测前方水源分布情况图,项目技术人员根据探测结果采取对应措施,避免涌水突发情况的发生;隧道三维激光扫描监控系统搭载三维激光扫描仪,基于三维激光扫描仪获取的激光点云数据能够准确对隧道进行全景扫描,其观测成果能表现出测量空间范围内多方位的净空变形,数据可自动上传至云平台,通过对监测数据的解析可导出多个监测点的相对变化值和净空变形值,同时也能对隧道超欠挖进行分析,智能机器人在兰州至海口国家高速公路重庆至遵义段(贵州境)扩容工程第 T8 合同段桐梓隧道中应用,可对隧道掌子面前方富水区域进行自动化超前探测,并提前采取措施避免突泥涌水事故的发生,确保隧道施工安全,机器人探水通过编程进行自动化数据采集,全程无需人工进行操作,探测精度高,避免了人工探测时人为因素影响探测角度进而影响预报精度。通过三维激光扫描仪对隧道进行全方位扫描数据分析,相比传统人工 5 米一个断面监测范围更广更全面,数据分析更加精确,便于开挖过程中实时分析超欠挖数据,动态调整施工工艺,对欠挖部位可以及时处理,保证二衬厚度满足要求。

## 参考文献

- [1] 李长青. 隧道三维信息化监测技术与工程应用 [J]. 测绘通报, 2015(06):75-78.
- [2] 胡雄武. 巷道前方含水体的瞬变电磁响应及探测技术研究[D]. 安徽理工大学, 2014.
- [3] 史友峰. 三维激光扫描技术在测量中的应用研究[D]. 长安大学, 2007.