

隧道施工安全预警中的自动化监测技术

刘馨泽

(中铁十九局集团有限公司, 北京 100176)

摘要: 深入探讨自动化监测技术的发展现状和趋势, 分析其在隧道施工中的应用价值, 重点介绍隧道施工中常用的自动化监测技术, 如传感器网络、激光扫描和无人机监测等。分析自动化监测技术在隧道施工管理中可能面临的挑战, 如数据处理与分析、系统可靠性等问题, 并提出了相应的解决策略。对自动化监测技术在隧道施工安全预警中的实践应用深入研究, 以期为地铁隧道工程提供一些参考。

关键词: 隧道施工; 安全预警; 自动化监测; 数据处理

0 引言

地铁隧道作为地铁网络的重要组成部分, 在建设和运营中的安全问题备受关注。隧道施工过程中, 地质条件的复杂性、施工工艺的多样性, 以及隧道结构与城市地下管线等基础设施的相互影响, 使得隧道工程的安全风险不容忽视。

自动化监测技术以其高效、精准、实时的特点, 为隧道施工安全提供了全新的解决方案。应用该技术不仅有助于发现潜在的安全隐患, 还可以在事故发生前及时预警, 从而保障施工人员和市民的安全。本文对自动化监测技术在隧道施工安全预警中的实践应用展开深入研究, 以期为地铁隧道工程提供一些参考。

1 自动化监测系统工作特点及原理

1.1 自动化监测技术的特点

目前地铁施工环境复杂, 人为监测工作开展, 存在一定的局限性。自动化监测技术使用先进的传感器和仪器, 可以实现高精度的数据采集和测量, 减少了人为误差的影响, 提供了更准确的监测结果。自动化监测技术可以实时采集和传输数据, 使监测数据能够即时反映施工过程中的变化和动态, 便于及早发现异常情况。它可以适应复杂的施工环境和多变的地质条件, 同时监测多个位置, 实现分布式监测。

在施工过程中, 自动化监测系统可以设置预警阈值, 当监测数据超过设定值时自动触发报警, 便于人们及时采取措施应对潜在风险, 不仅有利于减少人工监测所需

的人力和时间, 提高工作效率, 同时还降低了监测人员的风险。自动化监测技术能够产生大量的数据, 通过系统对多种数据进行综合分析, 可使工程人员全面了解施工现场的状态和趋势, 做出更明智的决策。自动化监测系统可以根据需要进行定制和调整, 以适应不同施工环境和项目的特点^[1]。

1.2 系统基本原理

地铁自动化监测系统通常由多个组件和模块组成, 这些组件和模块协同工作, 从而实现对隧道施工过程的全面监测和管理。数据采集系统是自动化监测系统的核心部分, 它负责在施工现场收集各种监测数据, 如振动、位移、变形、温度等数据。这些数据由各种传感器和测量设备采集, 并通过数据采集单元传输到后续处理模块。

传感器和测量设备安装在地铁隧道内和周围的关键位置, 用于实时监测各种参数, 如地质变化、结构变形、环境条件等。数据传输和通信系统包括有线和无线通信设备, 用于将数据从传感器传送到中央监测中心。中央监测中心收集、存储和分析来自各个传感器的数据, 通过特定的软件平台对采集到的数据进行处理、分析和可视化, 并可绘制历史曲线、检测异常情况、生成报表, 以供工程人员参考。

基于预设的监测指标和阈值, 自动化监测系统可以实时监测数据, 并在出现异常情况时触发预警和报警, 通过各种通信方式(短信、邮件、警报声等)通知相关人员。通过将监测数据与地理信息系统集成, 可在地图上显示监测数据的位置和状态, 帮助工程人员更好地理

解和分析数据。工程人员通过网络远程查看实时监测数据和报警信息，可对系统进行管理。

工程资料管理模块用于管理与施工相关的各种资料，包括设计文件、施工计划、监测报告等，可实现各方之间的信息共享和协作。地铁自动化监测系统的基本组成部分涵盖数据采集、传输、分析、报警、可视化和管理方面，以实现地铁隧道施工过程的全面监测和安全保障。自动化监测系统组成如图 1 所示。

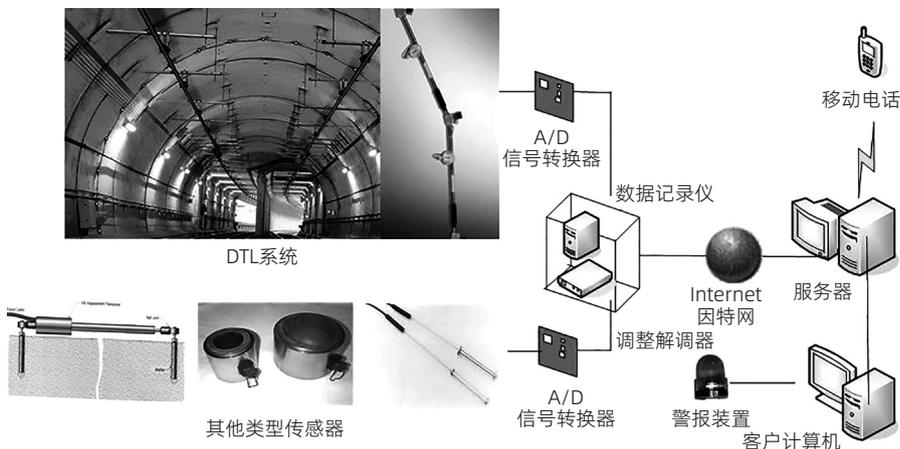


图1 自动化监测系统架构

2 自动化监测平台

2.1 全站仪

地铁隧道施工时，需要使用徕卡 TS 系列全站仪进行监测。该全站仪具有自动化监测功能和高精度测量技术，能够在不同环境和条件下实现高效和精确的测量。其可以自动调整焦距，有利于减少人工操作，提高测量的便捷性。

其配装监测正倒镜，可在不同高度的测量中方便地进行切换，适应不同的测量任务。全站仪能够自动记录测量数据，实现实时数据采集和分析。在实践运用中，可将测量数据上传到计算机或云端，方便后续处理和管理^[2]。

2.2 反射棱镜设备

反射棱镜是一种接收全站仪发射的测量信号，并将信号反射回去进行测量的装置。在地铁隧道工程中，工作人员需要根据设计要求和实际需要，在合适的位置安装反射棱镜。通常是需精确测量的点，如隧道控制点、变形监测点等。安装好反射棱镜后，工作人员需要确保其角度调整正确，反射面朝向全站仪或工作基站，以便准确地接收测量信号。全站仪发射激光束或测量信号，通过反射棱镜接收信号并计算出测量结果。

2.3 计算机

GPRS (General Packet Radio Service) 是一种无线通信技术，用于将电子计算机与全站仪通过 GPRS 系统连接，使数据实时传输到中央监测中心或远程服务器，实现实时监测和数据分析。该技术可实现自动化地存储，综合各类观测并进行处理数据，有利于减少人为误差。

数据的实时传输和自动化处理，使得工程人员能够随时监测施工过程 and 变化情况，及时做出决策和调整。自动化监测系统能够将大量的监测数据自动存储起来，提取有用的信息生成监测报表，便于技术人员了解隧道

施工的状态，为施工过程的管理和决策提供支持。

2.4 监测软件

Smart 监测软件是专为监测工程设计的软件，全站仪提供准确的测量数据，Smart 监测软件对数据进行实时处理和监测。应用 Smart 监测软件和全站仪，可实现全方位自动监测，包括隧道的形状、位移、变形等方面的数据。可根据需要创建数据表，将各类监测数据按照规定的格式和标准进行存储，以备将来分析和查阅。在监测工作中，循环计划管理可以确保不同设备的监测循环时间不重叠，合理规划，避免干扰和冲突^[3]。

2.5 监测数据分析

利用 Smart 分析软件从自动化监测系统中获取原始数据，并进行一系列数据处理、计算和分析操作，可以提取有用的信息，包括异常数据筛选、数据平滑、计算平均值等。同时可使用编码程序，对不同类型的数据进行分类、标记异常数据、计算变化速率等操作。

在监测中，使用平差软件可以排除测量误差，获取更准确的数据。在数据分析过程中，可以识别和筛选出异常数据，比如测量误差较大或不符合预期的数据。基于分析后的数据，可计算出周期监测数据的平均值、变化趋势等。在数据分析的最后阶段，结合施工实际需要，对监测报告进行综合分析，有利于理解数据的意义，发现可能存在的问题或趋势。

3 隧道施工安全预警中的自动化监测技术

3.1 监测位置确定

在明确监测位置时，需要进行截面监测处理。在地铁隧道检测位置的正交横截面上设置监测点，捕捉截面内的变化情况。通过在正交横截面上加设大量监测点，可以更全面地监测隧道各个部位的变化情况，获得更准确的数据。

以某地铁隧道施工为例,根据设计需求需要隔10m设置一个监测截面,总共30个截面。每个截面内需要设置5个监测点,且这些监测点应位于道床沉降处和拱顶等关键位置。在地铁隧道施工监测中,将监测区域的基准点划分为4个,基准点可以位于不同位置,涵盖不同的监测范围。选择基准点时,要考虑到里程方向以及偏离变化大的位置,以确保基准点能够有效参考监测数据。根据工程设计将全站仪位置,确定在特定的位置。

3.2 调整距离差分

在变形监测中,选择两个基准点,并确保它们的位置不会发生改变。第一个基准点用于确定监测位置距离基准点的斜距,将其设为“ S_1^0 ”。进行变形监测时,将测量的斜距设为“ S_1' ”,与另一个基准点的斜距设为“ S_2' ”。为了得出准确的变形信息,需要计算改正比例参数 ΔS ,然后代入公式(1)计算:

$$\Delta S = \frac{\left(\frac{S_1' - S_1^0}{S_1'} + \frac{S_2' - S_2^0}{S_2'} \right)}{2} \quad (1)$$

式中: ΔS 为改正比例参数; S_1 和 S_2 为测量的斜距。如果测站至变形位置的实际斜距为 $S'P'$,代入公式(2)可得气象查分调整斜距:

$$SP = S'P' - \Delta S \cdot S'P \quad (2)$$

3.3 计算平距与高差差分调整

在单向极坐标测量中,受气压等因素的影响,测量数据可能产生较大误差。为了校正这些误差,需要进行差分调整计算。差分调整计算是为了将测量点与基准点之间的高差数据进行校正,获得更精确的高差信息。设基准点与监测点高差为 h_1^0 和 h_2^0 ,2个基准点与检测站之间的实际高差为 h_1' 和 h_2' ,代入公式(3)计算:

$$h_n' = S_n \sin \alpha_n + i_n - I_n \quad (3)$$

其中: α_n 为垂直角度; i_n 为全站仪实际高度; I_n 为反射棱镜高度; S_n 为平均偏离真值。根据公式(4)可得出相对准确的高差调整参数 k :

$$k = \frac{\left(\frac{h_1' - h_1^0}{S_1^2 \cos^2 \alpha_1} + \frac{h_2' - h_2^0}{S_2^2 \cos^2 \alpha_2} \right)}{2} \quad (4)$$

根据实际基准点情况,通过使用上述公式,可以计算出高差改正参数。在测量时间较短等情况下,可以确认高差调整参数对于变形点与基准点具有相同的影响。可以通过公式(5)计算监测站与变形点之间存在的高差调整参数:

$$h_p = S_p \sin \alpha_p + k S_p^2 \cos^2 \alpha_p + i_p - I_p \quad (5)$$

式中: i_p 为变形点全站仪实际高度; I_p 为变形点棱镜高; α_p 为变形点垂直角。

计算出变形点与监测站之间的斜距、高差等参数后,需要通过公式(6)计算变形点至监测站的平距参数:

$$D_p = \sqrt{S_p^2 - h_p^2} \quad (6)$$

3.4 计算变形点位置

对所有差分改正数据信息进行整理和分析后,通过极坐标计算等级,可以在较短时间内获取具有较高精确性的各个周期变形点的位置。可以通过公式(7)计算变形点位置:

$$\begin{cases} X_p = D_p \cos H_\varphi + X^0 \\ Y_p = D_p \sin H_\varphi + Y^0 \\ H_\varphi = h_p + H^0 \end{cases} \quad (7)$$

式中: H_φ 为变形点与监测站之间的方位角; $D_p \cos$ 为差分改正参数; X^0 、 Y^0 、 H^0 为变形点与监测站的实际距离; X_p 和 Y_p 分别表示变形点的水平坐标和垂直坐标。

3.5 平差处理方法

在进行平差计算时,将经过高差差分处理和距离处理后的观测数据作为输入,进行三维坐标的计算和绘制。处理的观测数据包括差分改正数据、实际距离、方位角等信息。通过适当的数学运算和计算,可以得到变形点的三维坐标信息。将其绘制出具有较高精度的三维坐标图,便于更准确地了解变形点的位置和变化情况^[4]。

4 结束语

随着技术的不断进步,自动化监测系统在隧道施工安全预警中扮演着越来越重要的角色。通过对多个角度、多个维度对施工过程进行全面监测,无论是地质变化、结构位移还是其他异常情况,都能够及时捕捉。

智能化的监测提高了预警的准确性,为施工团队提供了有效的工具,有利于决策的科学性,也为保障工程质量和人员安全提供了有力保障。随着技术的不断发展,相信自动化监测技术将继续在地铁隧道施工中发挥着越来越重要的作用,为城市发展和交通建设贡献更多的智慧和平安。

参考文献

- [1] 何旭基. 隧道施工安全管理与风险预警技术应用[J]. 工程建设与设计, 2022(5):222-224.
- [2] 李解. 城市轨道交通施工安全风险知识支持机制及方法研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2018.
- [3] 何水源. 浅析高速公路隧道施工安全管理及应急处置能力[J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(7):180-181.
- [4] 付远钊. 研究高速公路隧道施工安全管理及应急处置能力[J]. 交通科技与管理, 2021(12):89-90.