

# 地铁隧道结构变形监测技术研究

王曙光

中国水利水电第七工程局有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i11.5884

**[摘要]** 随着城市化进程的加快,地铁作为城市公共交通的重要组成部分,其网络规模不断扩大,隧道结构的复杂性也随之增加。对隧道结构进行实时、准确的监测,及时发现潜在的结构问题,对于预防和减少事故的发生具有重要意义。针对于此本文首先分析了地铁隧道结构变形机理,随后对地铁隧道结构变形监测技术展开相关应用研究,并针对技术应用中存在的相关问题,如经济成本与维护成本较高、应急响应机制的不足等问题,提出了相应的优化策略。期望通过这些优化策略的应用,能为地铁隧道结构的变形监测提供帮助。

**[关键词]** 地铁隧道; 隧道结构变形; 变形监测技术

中图分类号: U455.91 文献标识码: A

## Research on Deformation Monitoring Technology for Subway Tunnel Structure

Shuguang Wang

China Water Resources and Hydropower Seventh Engineering Bureau Co., Ltd.

**[Abstract]** With the acceleration of urbanization, the subway, as an important component of urban public transportation, has continuously expanded its network size and increased the complexity of tunnel structures. Real time and accurate monitoring of tunnel structures, timely detection of potential structural problems, is of great significance for preventing and reducing accidents. In response to this, this article first analyzes the deformation mechanism of subway tunnel structures, and then conducts relevant application research on subway tunnel structure deformation monitoring technology. Corresponding optimization strategies are proposed to address the related problems in the application of technology, such as high economic and maintenance costs and insufficient emergency response mechanisms. It is expected that the application of these optimization strategies can provide assistance for deformation monitoring of subway tunnel structures.

**[Key words]** subway tunnel; Deformation of tunnel structure; Deformation monitoring technology

## 引言

当前,地铁隧道结构变形监测技术已取得了一定的进展,但仍然存在诸多挑战。例如,监测设备的安装和维护成本较高,数据处理和分析的智能化水平有待提升,以及在极端情况下的应急响应机制尚不完善等。这些问题的存在,不仅增加了运营成本,也可能影响到监测数据的准确性和及时性,进而影响到隧道结构安全评估的可靠性。

### 1 地铁隧道结构变形机理分析

#### 1.1 地铁隧道结构特点

在当前的地铁隧道建设中,施工人员通常采用圆形或矩形断面设计,以确保结构的稳定性和承载力。圆形断面因其均匀的受力特性,得到了当前隧道施工中的广泛应用,它能够有效分散来自隧道内外的压力。而矩形断面则多用于站台和换乘区域,以适应空间布局和人流疏散的需要。同时当前的地铁隧道建造

材料多为钢筋混凝土,这种材料具有良好的耐久性和抗压性能,能够承受长期的使用和复杂的地质条件。在一些特殊地段,如穿越河流或软土层时,还会采用盾构法施工,使用预制的钢筋混凝土管片拼装成隧道,以提高施工速度和安全性。

#### 1.2 影响地铁隧道结构变形的因素

影响地铁隧道结构变形的因素众多,其中地质条件是首要考虑的因素之一。这是由于不同的地质结构,如粘土、砂土、岩石等结果会对隧道的支撑和稳定性有着不同的影响。对于粘土层结构来说,可能会因吸水膨胀而导致隧道上浮,而砂土层则可能在地下水流动的作用下发生液化,对隧道结构造成破坏。而岩石层虽然相对稳定,但内部往往可以有潜在的裂隙和断层导致隧道变形。

#### 1.3 地铁隧道变形的类型与特征

随着城市地铁网络的迅速扩展,地铁隧道在建设和运营过

程中面临的变形问题日益凸显。在隧道的变形常见类型中,沉降变形是最常出现的问题。该问题的产生往往是由于隧道上方土体的固结和地下水位的变化,使得隧道结构会逐渐下沉。这种沉降在隧道施工初期尤为明显,但若控制不当,可能会持续影响隧道的长期稳定性和使用安全。而隧道的侧向变形也不容忽视,其主要是由于隧道在开挖过程中,会导致周围土体的应力状态会发生改变,进而使得隧道侧壁向内或向外移动,从而导致隧道侧向变形现象。

## 2 地铁隧道结构变形监测技术要点

### 2.1 监测系统设计原则

在城市轨道交通的快速发展之下,使得社会对于地铁隧道结构的安全性越来越关注。所以相关部门为了确保地铁隧道在运营过程中的安全稳定,监测系统的设计原则必须遵循高精度、实时性、可靠性和易维护性。在具体实施过程中,监测系统的设计应包括多个层面。首先是数据采集层,包括各种传感器和数据采集单元,它们负责收集隧道结构的变形数据。其次是数据传输层,负责将采集到的数据安全、快速地传输到中央处理系统<sup>[1]</sup>。

### 2.2 监测设备与仪器选择

相关部门在地铁隧道结构变形监测技术的设备与仪器选择时,应重点考虑设备的精确性和稳定性。可以选择高精度的全站仪和激光扫描仪,因为这两种设备可以实时监测隧道结构的微小变化。具体而言全站仪能够提供三维坐标数据,而激光扫描仪则可以捕捉隧道表面的细节变化。除此之外为了确保数据的连续性,还应选用自动化程度高的数据采集系统,以及具备远程传输功能的传感器网络。这些设备共同构成了一个综合的监测体系,能够对地铁隧道的结构变形进行全天候、全方位的监控。

### 2.3 监测数据采集与处理方法

地铁隧道结构变形监测技术是确保地铁安全运营的重要手段。在常见的监测数据的采集与处理方法应用中,首先是监测设备的布置。一般在地铁隧道的关键部位,如拱顶、侧壁、接缝等通过安装高精度的传感器,如光纤光栅传感器、倾斜仪、应变计等传感器能够实时监测隧道结构的位移、倾斜、应变等参数。其次是数据采集。可以通过数据采集系统,定期或连续地收集传感器的监测数据。数据采集系统通常包括数据采集器、传输线路和中央处理单元。例如光纤光栅传感器采集的数据通过光纤传输至数据采集器,再由采集器通过无线或有线网络发送至中央处理单元。接下来是数据处理。中央处理单元对接收到的数据进行初步的整理和分析,如数据的去噪、滤波、异常值剔除等。然后利用专业的分析软件进行进一步的数据分析,如趋势分析、阈值判断等<sup>[2]</sup>。

### 2.4 监测数据的分析与评估

当地铁隧道机构监测技术的监测数据产生之后,工程师和专家们需要即刻着手对这些数据进行深入分析与评估。这就要求他们利用先进的数据处理软件对收集到的变形数据进行清洗

和整理,进而去确保数据的准确性和可靠性。随后通过对比历史数据和实时数据,专家们能够识别出隧道结构的变形趋势和模式。分析过程中专家们特别关注那些超出正常范围的变形数据,这些数据可能预示着潜在的安全风险。为了更准确地评估这些变形数据,他们运用了多种分析方法,包括时间序列分析、统计分析以及数值模拟等。通过这些方法,专家们能够对变形数据进行多维度的解读,从而对隧道结构的健康状况做出全面的评估。

## 3 地铁隧道结构变形监测技术应用中的阻碍

### 3.1 数据采集与处理的挑战

随着现在城市地铁网络的迅速扩张,使得研究人员对隧道结构的安全性要求越来越高。然而在地铁隧道结构变形监测技术应用中,数据采集与处理面临着诸多挑战。这些问题产生的原因主要是由于地铁隧道内的空间狭小,使得安装和维护监测设备较为困难,这限制了监测设备的布置密度和维护的便捷性。除此之外地铁隧道的变形监测需要长期、连续的数据记录,以确保能够及时发现潜在的安全隐患。但目前数据存储和传输技术尚未完全满足这一需求,数据丢失或延迟传输的情况时有发生<sup>[3]</sup>。

### 3.2 环境干扰因素的复杂性

地铁隧道一般所处的环境较为复杂多变,其中包括地下水位的波动、周边建筑的施工振动、以及地铁自身运行引起的震动等。当这些问题发生时都会对监测设备的稳定性和准确性造成影响。例如地下水位的上升或下降会导致隧道周围土壤的膨胀或收缩,进而影响隧道结构的稳定性。而周边建筑施工产生的振动可能会干扰监测设备的正常工作,导致数据失真。除此之外由于气候变化而导致的地铁隧道内的温度和湿度变化也会对监测设备的性能产生影响,尤其是在极端气候条件下,设备的稳定性和可靠性可能会受到严峻考验。

### 3.3 经济成本与维护问题

当前部分城市由于资金短缺等问题,无法投入足够的预算来升级或维护现有的监测系统。这不仅影响了监测技术的推广和应用,还可能导致现有系统的维护不足,从而增加了隧道结构发生事故的风险。所以经济成本是地铁隧道结构变形监测技术应用中的一个重要阻碍。先进的监测设备和系统往往需要较高的初始投资,这对于预算有限的地铁运营公司来说是一个不小的负担。此外监测系统的日常维护和数据处理也需要持续的资金支持。在经济不景气的背景下,许多运营公司不得不削减这部分开支,导致监测系统的运行效率和准确性下降。

### 3.4 应急响应机制的不足

应急响应机制是地铁运营安全的重要保障。然而在实际操作中,应急响应机制仍存在一些不足之处。例如在当前的地铁运行管理中,相关应急演练的频率和质量有待提高。存在一些地铁运营单位虽然定期进行应急演练,但演练的针对性和实战性不强,无法完全模拟真实情况下的应急响应过程,导致应急队伍的反应速度和处理能力无法得到充分检验。其次应急资源的配置

和管理不够科学。一些地铁站的应急物资储备不足,或者应急设备老化、损坏,无法在紧急情况下发挥作用。此外应急信息的传递和沟通机制不够顺畅,导致在紧急情况下信息传递不及时,影响了应急措施的实施效率<sup>[4]</sup>。

#### 4 地铁隧道结构变形监测技术应用的优化策略

##### 4.1 采用无线传感器网络技术

随着城市地铁网络的迅速扩张,对地铁隧道结构的安全性要求越来越高。为了确保运营安全,采用先进的监测技术显得尤为重要。无线传感器网络技术(WSN)因其独特的优势,在地铁隧道结构变形监测中得到了广泛应用。例如在某一线路的隧道监测项目中,相关部门可以通过部署无线传感器网络,实时收集隧道内部的温度、湿度、位移等关键数据。同时这些传感器节点还能够自组织成网络,通过无线通信将数据传输至中央监控系统。除此之外由于这些无线传感器网络具有布设灵活、成本较低、易于扩展等优点,使得监测覆盖范围更广,数据采集更为密集,从而提高了监测的准确性和可靠性。

##### 4.2 选用具有高抗干扰能力的传感器

相关部门为了解决地铁隧道中变形监测技术应用时的数据不稳定问题,他们决定选用具有高抗干扰能力的传感器。这些传感器能够在复杂的地下环境中,如电磁干扰、温度波动和湿度变化等技术的应用可以提供更稳定和准确的监测数据。地铁运营部门通过采用先进的滤波算法和信号处理技术,进一步提高了数据的准确性和可靠性。除此之外相关部门在传感器的使用中,还优化了传感器的布局和安装方式。他们根据地铁隧道的具体结构和地质条件,设计了合理的监测点布置方案,确保关键部位的变形能够被有效捕捉。同时改进了传感器的安装工艺,使其更加牢固和稳定,减少了因设备松动或损坏导致的数据异常。

##### 4.3 引入智能维护系统

在科技的不断进步之下,使得当前智能维护系统在地铁隧道结构变形监测中的应用越来越广泛。在具体的地铁维护运行当中,智能维护系统通过集成先进的传感器技术、无线通信技术、数据分析和处理技术,实现了对隧道结构状态的实时监控和预测性维护。例如北京市地铁相关部门,就在对既有线路进行升级改造时引入了智能监测系统,通过在隧道内安装高精度的光纤传感器,实时监测隧道的位移、倾斜和裂缝等变形情况。这些

数据通过无线网络传输至中央控制室,由专业软件进行分析处理,一旦发现异常情况,系统会自动报警并提供相应的维护建议<sup>[5]</sup>。

##### 4.4 建立完善的监测数据异常响应机制

当地铁隧道结构变形这一问题发生时,及时准确地获取变形数据并采取相应措施至关重要。所以相关部门为了进一步提升监测技术的应用效果,建立完善的监测数据异常响应机制显得尤为必要。这就要求相关部门在具体的策略实施过程中,应建立一个实时数据监控中心。该中心需要负责收集和分析来自各个监测点的数据。通过先进的数据分析软件,可以实现对数据的实时处理和异常情况的快速识别。同时还需要制定明确的响应流程和应急预案。一旦监测数据出现异常,监控中心应立即启动预设的响应流程,通知相关部门和人员。

#### 5 结语

综上所述,地铁隧道结构变形监测技术是确保城市轨道交通运营的关键技术之一。通过对隧道结构变形机理的深入分析,结合先进的监测设备与技术,可以有效预防和控制隧道变形,保障乘客和运营人员的安全。未来随着科技的不断进步和监测技术的持续创新,地铁隧道结构变形监测将更加智能化、精准化,为城市轨道交通的安全运营提供更加坚实的保障。

#### 【参考文献】

- [1]汪二超.复杂岩溶地层条件下地铁盾构隧道施工关键技术研究[J].山西建筑,2024,50(22):149-151+156.
- [2]张齐,陈圣刚.深基坑建筑工程与地铁隧道区间同步施工安全评价研究[J].山西建筑,2024,50(22):64-68+88.
- [3]李永波,马青青,王丽敏,等.顶管施工对既有地铁结构变形和内力的影响分析[J].天津建设科技,2024,34(05):26-31.
- [4]王伟,邓松峰.深厚软土区邻近地铁深基坑工程关键技术研究[J].江苏建筑,2024,(05):120-126.
- [5]张明栋,王水清.基于移动式三维激光扫描系统在隧道变形监测中的应用[J].经纬天地,2024,(05):86-90.

#### 作者简介:

王曙光(1986--),男,汉族,湖北省荆门市人,本科,高级工程师,从事的研究方向:工程测量、安全监测。