

地铁隧道应急响应中的自动化监测技术研究

边俊杰

深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心

摘要：地铁作为城市公共交通的重要组成部分，其安全运营对城市交通系统和城市居民的日常生活产生深远影响。随着地铁系统的不断扩建和老化，地铁隧道安全问题愈发突出，而传统的监测手段已无法满足现代地铁安全管理的需求。因此，自动化监测技术应运而生，其能够实现地铁隧道全方位、实时的监测与预警，显著提高地铁隧道的安全性和运行效率。本文将深入探讨自动化监测技术在地铁隧道安全管理中的应用，并分析其面临的挑战和未来发展趋势，以期对地铁隧道安全提供有效的技术支持和解决方案。

关键词：地铁隧道；应急响应；自动化监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.054

引言

地铁作为城市重要的交通系统，其运作效率与安全性对城市日常生活与经济活动具有深远影响。然而，随着城市地铁系统的迅速扩张与老化，地铁隧道的安全问题逐渐显现，给乘客安全带来潜在威胁。尤其是地铁隧道的运营压力和结构老化问题，进一步增加了地铁的安全隐患，这对监测技术提出了更高的要求。在这种情境下，传统的地铁隧道监测手段，如手动巡视和基础的传感器监测，已显示出其局限性，如监测范围狭窄、数据处理能力有限等，难以满足现代化城市对地铁安全管理的全面和实时需求。因此，发展和应用更为先进的自动化监测技术，如基于智能传感器和大数据分析的监测系统，变得尤为重要和迫切。该技术不仅可以增强地铁隧道的监测全面性与实时性，而且通过精确数据分析，能够提早发现隐患并迅速响应，从而有效提升地铁运营的安全性和效率。

一、现状分析

随着城市地铁系统的不断扩张和运营，地铁隧道的安全问题日益凸显。地铁隧道作为城市重要的交通设施，其安全性直接关系到乘客的出行安全和城市的运行秩序。然而，传统的地铁隧道监测手段存在一定的局限性和不足之处，无法完全满足对隧道安全状态的全面监测和实时预警需求。因此，自动化监测技术在地铁隧道安全中的应用日益成为关注焦点。

首先，地铁隧道安全问题的突出性主要表现在日益增长的运营压力和隧道结构老化等因素的综合影响下。随着地铁网络的扩建，隧道长度和数量的增加，地铁系统的安全风险也在不断上升。同时，许多地铁隧道采用了传统的手动巡检和传感器监测方式，存在监测范围狭窄、数据获取不及时等问题，难以及时发现隐患和异常情况。

其次，目前地铁隧道监测手段的局限性主要体现在监测范围窄、监测手段单一和数据处理能力有限等方面。传统的监测手段难以覆盖隧道的各个角落，监测数

据的采集和分析过程较为繁琐，难以做到实时监测和快速响应。这些局限性严重制约了地铁隧道安全监测的效果和精度。

最后，自动化监测技术在地铁隧道安全中的应用现状显示出了其巨大的潜力和优势。通过应用先进的传感技术、无人机巡检、视频监控和数据分析等手段，自动化监测系统可以实现对地铁隧道全方位、实时的监测与预警。例如，利用智能传感器和大数据分析，可以实现对隧道结构、空气质量、温度湿度等多方面因素的监测，及时发现问题并采取有效措施，提升地铁隧道的安全性和运行效率。

综上所述，地铁隧道安全问题日益突出，传统监测手段的局限性和不足使得自动化监测技术的应用显得尤为重要。通过引入自动化监测技术，可以有效提升地铁隧道的安全水平，保障乘客的出行安全，为城市地铁系统的可持续发展提供技术支持和保障。

二、技术介绍

自动化监测技术在地铁隧道安全管理中扮演着日益重要的角色。本节将深入介绍自动化监测技术的基本原理和分类，通过分析典型的地铁隧道自动化监测技术应用案例，以及与传统监测手段的对比，揭示其在提升地铁隧道安全性和运行效率方面的优势。

（一）自动化监测技术的基本原理和分类

自动化监测技术，以其基于先进的传感器、数据采集与处理和通信技术的核心构成，致力于对地铁隧道运行状态进行全面的实时监控、异常识别和预警。这项技术的核心在于精心部署一系列传感器设备于地铁隧道之内，它们负责细致地收集各种关于隧道环境和运行条件的参数数据。而后，这些数据会被送往先进的数据处理系统中，通过复杂而精确的算法进行深入的分析 and 识别，旨在从中发现任何可能影响地铁隧道安全的异常信号。通过这样的机制，自动化监测技术实现了对地铁隧道安全状况的全方位感知，为地铁的安全运营提供了坚实的技术支持。

根据应用范围和技术特点，自动化监测技术可分为结构监测技术、环境监测技术和运行监测技术等多个分类。其中，结构监测技术主要针对地铁隧道结构的安全性进行监测，包括地表沉降、隧道变形、裂缝等；环境监测技术则关注地铁隧道内部环境的变化，如温度、湿度、气体浓度等；而运行监测技术主要用于监测地铁列车的运行状态和安全性能。

（二）典型的地铁隧道自动化监测技术应用案例

本方案主要针对沙井南环路西延段（海滨大道-锦程路）地铁12号线隧道保护监测进行编制，主要监测内容为车站结构及道床位移监测、站厅层主体结构及出入口附属结构位移监测、三维激光扫描和现状调查。

1. 监测范围为根据相关规范及设计文件，受本工程

影响的地铁隧道保护监测范围为12号线科技馆站~海上田园东站区间，左线、右线正线各115米，监测里程为DK38+971.256~DK39+086.256。

2. 监测对象为受施工影响范围内的地铁隧道结构及道床、主体结构及附属结构，地铁隧道局部变形或整体变形的准确位置、大小量值、变形方向和变化速率。

3. 监测项目包括：

- (1) 车站结构及道床位移监测（自动化监测）；
- (2) 站厅层主体结构及出入口附属结构沉降监测（人工监测）；
- (3) 隧道结构现状调查；
- (4) 隧道结构三维激光扫描。

车站结构及道床位移监测断面间距5m，共布设24个断面，每个断面布设4个监测点，共96个监测点；站厅层主体结构断面间距根据现场立柱实际间距情况而定，暂定10个断面，每个断面布设3个监测点，共30个监测点；地铁出入口附属结构监测断面间距10米，共布设8个断面，每个断面布设2~3个监测点，共22个监测点；地铁站厅层及出入口的沉降监测点布设需经地铁运营同意后实施，如无法布设，将取消监测项目中的第（2）项人工监测内容。监测断面平面布置示意图见附图，监测断面测点布置示意图如图1~图3所示。

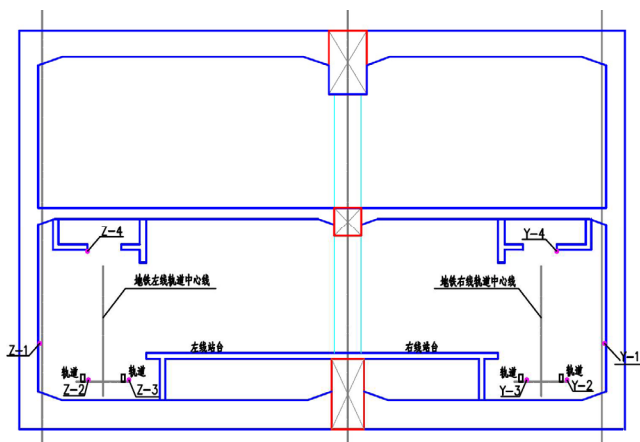


图1 地铁12号线车站结构及道床监测断面测点布置示意图

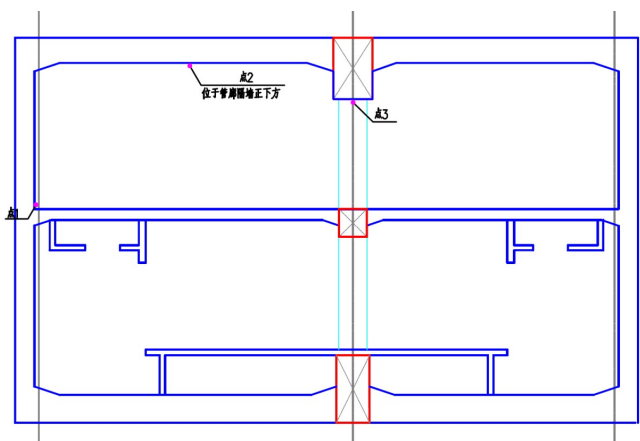


图2 地铁12号线站厅层主体结构监测断面测点布置示意图

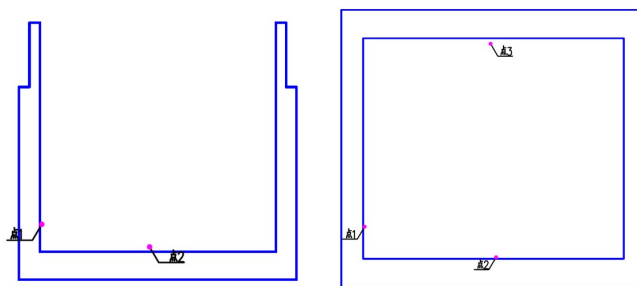


图3 地铁12号线出入口附属结构监测断面测点布置示意图

4. 监测周期暂定11个月。

5. 监测频率

(1) 轨道变形人工监测频率：支护结构施工阶段，1次/3天；开挖及地下结构施工阶段，1次/3天；回填完成后，1次/7天；当出现工程事故或其他因素造成监测项目变化速率增大，应加大监测频率；当影响地铁的工程部分停工，频率可减小。

(2) 轨道变形自动化监测频率：支护结构施工阶段，1次/1天；开挖及地下结构施工阶段，3次/天；回填完成后，1次/3天；当出现工程事故或其他因素造成监测项目变化速率增大，应加大监测频率；当影响地铁的工程部分停工，频率可减小。

(3) 当有危险事故征兆时，应连续监测；当出现下列情况之一时，应增加监测频率，直至危险或隐患解除为止，并及时向施工、监理和设计人员报告监测结果：

- 1) 监测项目的监测值达到报警标准；
- 2) 监测项目的监测值变化量较大或者速率加快；
- 3) 隧道结构出现异常情况时（如开裂、渗漏等）。

6. 监测预警值

依据相关规范，本次监测项目控制值如表4：

表4 各监测项目的预警值及控制值

序号	监测项目	预警值	报警值	控制值
1	水平位移	6.0mm	8.0mm	10.0mm
2	竖向位移	6.0mm	8.0mm	10.0mm

本项目水平及竖向位移变形量暂按10mm作为控制指标。当实际变形值达到安全控制指标的60%时，应向相关单位发出预警；当达到安全控制指标的80%时，须发出报警。且当首次报警后，若测点以较大的速率继续变形，应视情况继续报警，评估机构应开展工程后续施工安全评估，各方应立即启动应急预案，并采取有效措施确保地铁设施安全和运营安全。

综上所述，通过自动化监测技术，大大的提高了监测效率，使该项目平稳运行。

三、挑战与问题

自动化监测技术在地铁隧道环境中虽然具有巨大潜力，但也面临着一系列挑战和限制。

(一) 地铁隧道环境的复杂性

地铁隧道环境的复杂性构成了自动化监测技术面临的一大挑战，其中高温、高湿、尘埃及其他恶劣工况条件对传感器性能和数据准确性产生严重影响，显著增加

了监测系统设计和维护的难度。在地铁运营的不断过程中，这些隧道内部环境条件的多变性和恶化，如温度和湿度的剧烈波动，都可能导致传感器读数不稳定，从而影响监测数据的可靠性。特别是随着地铁系统的日益老化，隧道结构可能出现裂缝和渗水等现象，这些问题在没有及时发现和处理的情况下，会进一步加剧监测技术的应用难度和挑战性。此外，地铁隧道内部尘土飞扬和可能的化学腐蚀环境，也对传感器的长期稳定运作构成威胁，需要对监测设备进行特殊设计和保护措施，确保其在如此恶劣的工作条件下依然能够正常工作。因此，地铁隧道内的极端和复杂环境条件，要求自动化监测技术不断进步和改进，以确保其在挑战面前能够稳定可靠地运作，提供准确有效的监测数据。

（二）地铁隧道的封闭性

地铁隧道的封闭性和狭窄空间限制了传感器设备的部署和维护，成为自动化监测技术面临的重要挑战之一。传统传感器难以适应地铁隧道独特的工作环境，受到振动、腐蚀或尘埃的影响，导致监测数据不稳定或失真。因此，选择和设计适应地铁隧道环境的可靠传感器设备变得至关重要，需要克服空间限制和恶劣条件带来的种种困难。在这样的环境中，确保传感器设备的稳定性和可靠性成为一项挑战，需要解决传感器受到的环境干扰对数据准确性的影响，以及如何在有限空间内进行有效的部署和维护。

（三）数据处理与分析

数据处理与分析的难点也是自动化监测技术在地铁隧道中面临的挑战之一。地铁隧道监测系统产生的数据量庞大，包括结构变形、温湿度变化、空气质量等多个方面，如何高效地对这些数据进行处理、分析和挖掘，提取有用信息并作出及时预警，是一项复杂而关键的任务。此外，由于地铁隧道监测数据往往具有时空相关性和复杂的动态变化规律，传统的数据处理方法可能无法充分挖掘数据潜在的信息和规律，需要借助先进的数据挖掘和人工智能技术来解决这一难题。在地铁运营的实时性和安全性要求下，如何实现数据的快速处理和准确分析成为挑战。同时，数据质量的保障也是一个重要问题，尤其在恶劣环境下，可能出现数据异常或噪声，影响数据分析的准确性和可靠性。因此，解决数据处理与分析的难点，需要综合考虑数据质量、处理速度和分析精度，采用多种数据处理技术和算法，并不断优化和完善监测系统的数据处理流程，以确保监测数据能够准确反映地铁隧道的运行状态，并为安全管理提供可靠的决策支持。

（四）安全性和隐私保护问题

安全性和隐私保护问题是在地铁隧道应用自动化监测技术时需要重点关注的方面。考虑到地铁隧道作为城市重要的交通基础设施，其安全性和运行数据的保密性不容忽视。自动化监测系统在数据的传输、存储和处理过程中面临着众多挑战，必须采取严格的安全措施，以避免任何数据泄漏、篡改或被恶意攻击的风险。这些措施的有效实施对于维护地铁系统的安全运行至关重要。同时，监测技术的设计和应用还必须全面考虑乘客和地

铁员工的隐私保护，确保不会无意间侵犯他们的个人信息和隐私权。在实现高效监测的同时，平衡安全性和隐私保护的需求，是自动化监测技术面临的一大挑战，尤其是在地铁这种公共环境中，如何妥善处理这些敏感信息和数据，成了一个复杂且需要精心考量的问题。

综上所述，自动化监测技术在地铁隧道环境中面临诸多挑战和限制，需要综合考虑地铁隧道的特殊环境和安全需求，不断优化技术方案，提升监测系统的稳定性、可靠性和安全性，以确保地铁隧道的安全运行和乘客出行的安全。

四、发展趋势

智能化与大数据技术被视为地铁隧道监测未来的发展方向，其应用对于提升地铁隧道的安全管理具有重要意义。借助人工智能和机器学习技术，实现对隧道运行状态的实时监测和数据分析，这将极大地增强预警系统的准确性和响应速度。通过对大量监测数据的深度挖掘，可以预测和识别潜在的隐患，从而提前采取防范措施，确保乘客的安全与隧道的稳定运行。此外，随着5G通信技术的普及，数据传输速度的提升将进一步加强监测系统的实时性和可靠性。未来，自动化监测技术将更加侧重于智能化和自适应技术的融合应用，不断创新和优化监测策略，助力地铁隧道安全管理向更高效、精准、智能化方向发展。

结语

随着科技的不断进步和智能化水平的提升，自动化监测技术在地铁隧道安全管理中的应用显示出巨大的潜力和价值。尽管面临环境复杂性、封闭空间限制、数据处理与分析难度以及安全性与隐私保护等挑战，但通过引入先进的传感器技术、大数据分析及人工智能算法，自动化监测技术能够更加精准、高效地实现对地铁隧道安全状况的监测和预警。未来，随着技术的不断创新和应用的深入，自动化监测技术将在智能化、精准化和高效化方向上迈出更大的步伐，为地铁隧道安全管理提供更加坚实的技术支撑，保障城市地铁系统的可持续发展 and 乘客的安全出行。

参考文献

- [1] 刘燕岭. 自动化监测技术在地铁隧道施工中的应用探析[J]. 工程机械与维修, 2023, (05): 107-109.
- [2] 陈小鸿. 自动化实时监测技术在地铁隧道中的应用与分析[J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2022, 34(03): 8-13.
- [3] 武圆月. 地铁自动化监测项目管理与技术要点应用[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(08): 53-55.
- [4] 尚世强. 自动化监测技术在地铁中的应用分析[J]. 运输经理世界, 2021, (05): 65-66.
- [5] 张磊, 徐敏, 毕爽爽, 等. 长距离地铁隧道自动化监测技术工程实践与应用[J]. 岩土工程技术, 2024, 38(02): 187-195.

作者简介: 边俊杰, 1988.9, 男, 汉族, 河南省周口市, 本科, 工程师, 研究方向: 地铁隧道自动化监测。