

地铁土建运维中隧道结构监测与维护策略研究

王剑飞

重庆市轨道交通(集团)有限公司 重庆 401120

摘要: 本文聚焦于地铁土建运维中的关键环节——隧道结构监测与维护策略。通过对地铁隧道结构特点及常见问题的分析,阐述了先进监测技术的应用,包括高精度传感器、实时数据传输与智能分析系统。探讨了维护策略的制定原则,强调预防性维护和针对性修复的重要性。结合实际案例,对监测数据在维护决策中的作用进行了深入研究,旨在为提高地铁隧道结构的安全性和可靠性提供科学有效的方法和策略,促进地铁运营的长期稳定与可持续发展。

关键词: 地铁; 隧道结构监测; 维护策略

1 地铁隧道结构与设计特点

地铁隧道作为城市地下交通的重要组成部分,其结构和设计具有诸多独特的特点。从结构方面来看,地铁隧道通常采用混凝土或钢混结构,以确保足够的强度和稳定性。常见的结构形式有圆形、矩形和马蹄形等。圆形隧道结构受力均匀,能够较好地承受周围土体的压力;矩形隧道则在空间利用上具有优势,适用于浅埋和特定的线路走向。在设计特点上,首先要考虑的是地质条件。不同的地质环境对隧道的结构设计和施工方法有着重要影响。例如,在软弱地层中,可能需要采用加固措施或特殊的支护结构。其次,防水设计至关重要。地铁隧道处于地下环境,必须有效地防止地下水的渗透,以保障隧道的安全和正常使用。通常会采用防水卷材、防水涂料等多种防水措施。另外,通风和照明系统的设计也是关键。良好的通风能够保证隧道内空气的新鲜度,为乘客和工作人员提供舒适的环境;而合理的照明设计不仅能满足基本的视觉需求,还能营造出安全、宜人的氛围。例如,一些地铁隧道在设计时会设置专门的通风井和通风设备,根据隧道的长度和客流量来调整通风量。在照明方面,采用节能且高效的灯具,并根据不同的时间段和区域进行智能控制。

2 地铁隧道结构监测技术与方法

2.1 隧道结构监测指标体系构建

地铁隧道结构监测指标体系的构建是保障隧道安全运行的重要基础。这一体系需要综合考虑隧道的结构特点、地质条件、施工工艺以及运营环境等多方面因素。变形指标是关键之一,包括隧道的沉降、水平位移、收敛变形等。沉降监测能够反映隧道整体的垂直位移情况,水平位移则有助于了解隧道在水平方向上的移动趋势,而收敛变形则直接体现了隧道横截面的变化^[1]。应力应变指标对于评估隧道结构的内力状态至关重要。通过

监测混凝土的应力应变,可以提前预警结构可能出现的破坏。还需要考虑裂缝的开展情况,包括裂缝的长度、宽度和深度等。这些指标的综合构建,形成了一个全面、系统的监测体系,为后续的数据分析和安全评估提供了有力的支持。例如,在某地铁隧道工程中,由于穿越了复杂的地质层,构建的监测指标体系不仅包含了常规的变形和应力应变指标,还特别增加了对地下水位变化的监测,因为地下水位的波动可能对隧道结构产生额外的压力。

2.2 指标体系构建与解析

在构建隧道结构监测指标体系时,需要对每个指标进行详细的解析和定义。以变形指标中的沉降为例,需要明确监测点的布置原则、监测频率以及沉降的允许限值。对于水平位移,要确定测量方法和精度要求。应力应变指标的解析则涉及到传感器的选型、安装位置以及数据采集的方式。指标之间往往存在着相互关联和影响。例如,较大的变形可能会导致应力应变的增加,而应力应变的变化又可能进一步加剧变形。通过对指标体系的深入解析,可以更好地理解隧道结构的行为和响应规律,为监测数据的分析和解释提供依据。比如,在一项隧道监测项目中,通过对变形和应力应变指标的同步分析,发现隧道某段在施工过程中出现了变形增大和应力集中的现象,及时采取了加固措施,避免了潜在的安全隐患。

2.3 变形监测技术

变形监测是地铁隧道结构监测中的重要内容。常用的变形监测技术包括全站仪测量、水准仪测量、GPS测量以及激光测距等。全站仪测量具有高精度、多方向测量的优点,适用于隧道的水平位移和垂直位移监测。水准仪测量则在沉降监测中应用广泛,能够提供较为准确的垂直位移数据。GPS测量技术具有不受通视条件限制、全

全天候作业的特点,适用于大范围的隧道变形监测。激光测距则可以快速、准确地测量隧道的收敛变形。还有一些新兴的变形监测技术,如测量机器人和三维激光扫描技术。测量机器人能够实现自动化监测,提高监测效率和数据的连续性。三维激光扫描技术可以快速获取隧道的三维点云数据,全面、直观地反映隧道的变形情况。例如,某城市地铁隧道在穿越既有建筑物下方时,采用了测量机器人进行实时变形监测,及时发现了隧道的微小变形,并采取了相应的控制措施,确保了既有建筑物的安全。

2.4 应力应变监测技术

应力应变监测对于了解地铁隧道结构的内力状态具有重要意义。常用的应力应变监测技术包括电阻应变片测量、光纤光栅传感器测量和振弦式传感器测量等。电阻应变片测量技术成本较低,但在长期监测中稳定性相对较差。光纤光栅传感器具有测量精度高、抗干扰能力强、可分布式测量等优点,适用于对隧道结构关键部位的应力应变监测。振弦式传感器则具有稳定性好、可靠性高的特点,常用于较大范围的应力监测。在实际应用中,通常会根据隧道结构的特点和监测需求,选择合适的应力应变监测技术或多种技术相结合。例如,在隧道衬砌结构的监测中,可能会在关键截面同时布置光纤光栅传感器和振弦式传感器,以获取更全面、准确的应力应变数据^[2]。

2.5 其他监测技术

除了变形和应力应变监测技术外,还有一些其他的监测技术在地铁隧道结构监测中发挥着重要作用。例如,隧道内的温度和湿度监测。温度的变化可能会导致隧道结构材料的热胀冷缩,从而影响结构的稳定性;湿度的变化则可能会引起混凝土的劣化和钢筋的锈蚀。通过对温度和湿度的监测,可以及时采取相应的防护措施。声波检测技术可以用于检测隧道结构内部的缺陷和损伤,如混凝土的空洞、裂缝等。地质雷达技术能够探测隧道周围的地质情况,提前发现潜在的地质灾害风险。还有视频监控技术可以实时观察隧道内的施工和运营情况,为安全管理提供直观的依据。而无损检测技术,如超声波检测和磁粉检测,可用于对隧道结构中的钢结构部件进行质量检测和缺陷评估。

3 地铁隧道结构维护与加固策略

3.1 结构损伤评估与诊断

地铁隧道结构的损伤评估与诊断是维护与加固工作的首要环节。这需要综合运用多种技术手段和方法,对隧道结构的现状进行全面、细致的分析。

通过外观检查可以直接发现隧道表面的裂缝、剥落、渗漏水等明显的损伤迹象。对于裂缝,需要测量其长度、宽度和深度,并观察其发展趋势。剥落和渗漏水的位置、范围和严重程度也需要详细记录。利用无损检测技术,如超声波检测、地质雷达检测等,可以探测隧道结构内部的缺陷和损伤。超声波检测能够检测混凝土的强度、内部缺陷以及钢筋的分布和锈蚀情况;地质雷达则可以对隧道周围的地层状况进行探查,判断是否存在空洞、疏松等问题。还需要对隧道结构的变形进行监测,包括沉降、水平位移和收敛变形等。通过长期的监测数据,可以分析变形的规律和趋势,评估结构的稳定性。例如,在某地铁隧道的损伤评估中,外观检查发现了多处混凝土表面的裂缝,经过超声波检测进一步确定了裂缝深度和内部混凝土的损伤程度,同时结合变形监测数据,综合判断出结构的损伤情况和潜在的安全隐患。

3.2 维护与加固措施选择

在明确了地铁隧道结构的损伤情况后,需要选择合适的维护与加固措施。维护措施主要包括日常的清洁、排水系统的清理和维护、防水层的修补等,以防止损伤的进一步发展。加固措施则根据损伤的类型和严重程度有多种选择。对于轻微的裂缝,可以采用表面封闭法或灌浆法进行处理;对于较大的裂缝或结构的薄弱部位,可以采用粘贴碳纤维布、钢板等增强材料的方法来提高结构的承载能力^[3]。如果隧道结构的变形较大或出现不均匀沉降,可能需要采用地基加固的方法,如注浆加固、高压旋喷桩等。对于严重受损的隧道区段,甚至可能需要进行局部的拆除重建。在选择维护与加固措施时,需要综合考虑多种因素,如施工难度、成本、对运营的影响等,新技术和新材料的应用也为地铁隧道的维护与加固提供了更多的选择。例如,新型的化学灌浆材料具有更好的粘结性能和耐久性,能够提高加固效果。

3.3 维护与加固效果评价

对地铁隧道结构维护与加固的效果进行评价是确保工作质量和保障隧道安全的重要环节。可以通过对比加固前后的监测数据来评估结构的变形、应力应变等参数的变化情况。如果变形得到有效控制,应力应变趋于稳定,说明加固措施取得了良好的效果。对加固后的结构进行再次的无损检测,查看裂缝是否不再发展、内部缺陷是否得到修复等。还可以通过现场检查,观察加固材料的粘结情况、外观质量等。长期的跟踪监测也是评价加固效果的重要手段。通过持续一段时间的监测,观察结构在运营条件下的性能表现,验证加固措施的耐久性和可靠性。例如,某地铁隧道在加固完成后,经过一

段时间的监测和检查,发现沉降变形明显减小,裂缝不再扩展,无损检测也显示结构内部的缺陷得到了有效修复,从而证明了加固措施的成功。

4 地铁隧道结构监测与维护管理体系构建

4.1 管理体系框架设计

地铁隧道结构监测与维护管理体系的框架设计是确保整个体系有效运行的基础。这一框架通常涵盖了多个层面和环节。明确管理的目标和原则至关重要。目标应包括保障隧道结构的安全性、可靠性和耐久性,减少故障和事故的发生,提高运营效率等。原则方面,应遵循科学性、系统性、预防性和经济性等。在组织架构上,需要建立一个分工明确、职责清晰的管理团队。包括决策层、管理层和执行层。决策层负责制定战略和方针政策;管理层负责协调资源、监督执行;执行层则负责具体的监测和维护工作。制定完善的管理制度和流程。从监测计划的制定、数据采集与分析,到维护方案的设计与实施,都应有明确的规定和操作流程。

4.2 信息化管理平台搭建

信息化管理平台的搭建是提升地铁隧道结构监测与维护管理水平的关键手段。这一平台应具备数据采集、存储、处理和分析的功能。通过各种传感器和监测设备,实时采集隧道结构的相关数据,如变形、应力应变、温度湿度等,并将其传输到平台进行存储。利用大数据和云计算技术,对海量的数据进行快速处理和分析,提取有价值的信息。平台还应具备可视化功能,以直观地展示监测数据和分析结果。通过三维模型、图表等形式,让管理人员能够清晰地了解隧道结构的状态。同时信息化管理平台应与其他相关系统进行集成,如地铁运营调度系统、应急管理系统等,实现信息的共享和协同工作。

4.3 预警与报警系统

预警与报警系统是地铁隧道结构监测与维护管理体系中的重要组成部分。预警系统通过对监测数据的分析和处理,当某些指标达到预设的预警阈值时,发出预警信号,提醒管理人员关注隧道结构的变化,采取相应的预防措施。预警阈值的设定应基于科学的分析和工程经验,既要避免误报,也要确保能够及时发现潜在的问题^[4]。报警系统则在隧道结构出现严重异常或超过安全限值时启动,发出紧急报警信号,通知相关人员立即采取应急措

施,保障人员和设施的安全。例如,如果隧道的变形速率超过了一定限度,预警系统会发出黄色预警,提示加强监测和分析;当变形达到危险程度时,报警系统会发出红色警报,启动应急预案,如疏散人员、停止运营等。预警与报警系统应具备多种通知方式,如短信、电子邮件、声光报警等,确保信息能够及时传达给相关人员。

4.4 运维人员培训与考核

运维人员的专业素质和能力直接影响着地铁隧道结构监测与维护管理的效果。对运维人员进行系统的培训和严格的考核是十分必要的。培训内容应包括隧道结构的基础知识、监测与维护技术、安全操作规程、应急处理等方面。通过理论学习和实际操作相结合的方式,让运维人员熟练掌握相关技能。定期进行考核,评估运维人员的知识水平和技能掌握程度。考核结果与薪酬、晋升等挂钩,激励运维人员不断提高自身素质。例如,组织运维人员参加模拟演练,模拟隧道结构出现紧急情况,检验他们的应急处理能力和团队协作能力,并根据演练结果进行针对性的培训和改进。鼓励运维人员参加行业内的培训和交流活动,了解最新的技术和管理经验,不断提升自身的专业水平。

结束语

地铁土建运维中隧道结构的监测与维护是一项复杂而关键的任务。通过本文的研究,明确了有效的监测技术和科学的维护策略的重要性。未来,应持续关注技术创新,不断完善监测系统,提高维护工作的精准性和及时性。同时,加强各部门之间的协作,形成合力,共同保障地铁隧道结构的安全稳定。相信随着研究和实践的不断深入,地铁土建运维水平将不断提升,为广大乘客提供更加安全、便捷的出行服务。

参考文献

- [1]李伟,张明.地铁隧道结构健康监测技术研究进展[J].土木工程学报.2020.53(10):1-12.
- [2]王刚,刘军.地铁隧道结构维护与加固技术研究[J].现代隧道技术.2021.58(4):17-24.
- [3]张晓峰,陈祥.地铁隧道结构监测数据处理与分析方法研究[J].铁道科学与工程学报.2022.19(1):226-233.
- [4]陈晓燕,赵阳.地铁隧道结构运维管理体系构建与实践[J].都市轨道交通.2023.36(2):103-108.