

# 智能监测技术在桥梁施工变形控制中的应用研究

彭旭<sup>1</sup> 陈玉华<sup>1</sup> 尹夕鸣<sup>2</sup> 蒋凌杰<sup>2</sup>

1. 广西新发展交通集团有限公司 广西南宁 530000

2. 广西交通工程检测有限公司 广西南宁 530200

**摘要:** 随着交通基础设施建设的不断发展,桥梁工程的规模和复杂性日益增加。在桥梁施工过程中,变形控制是确保工程质量、安全和耐久性的关键因素。智能监测技术的应用为桥梁施工变形控制提供了高效、精确的手段。本文深入研究了智能监测技术在桥梁施工变形控制中的应用,分析了其应用的重要性,详细阐述了具体应用,并提出了相应的优化措施。

**关键词:** 智能监测技术;桥梁施工;变形控制

## 引言

桥梁工程是现代交通体系的重要组成部分,其施工质量直接关系到交通运输的安全与效率。在施工过程中,由于各种因素的影响,如地基沉降、结构自重、施工荷载、环境因素等,桥梁结构会发生变形。如果变形超出允许范围,将会导致结构开裂、倾斜甚至倒塌,给工程带来严重的安全隐患和经济损失。传统的变形监测方法存在效率低、精度有限、实时性差等缺点。而智能监测技术的出现,为解决这些问题提供了新的途径。

## 一、智能监测技术在桥梁施工变形控制中的应用的重要性

### (一) 提高施工安全性

#### 1. 实时监测

智能监测技术能够实时获取桥梁结构的变形数据,如位移、沉降、倾斜等。施工人员可以及时了解结构的变形状态,一旦发现变形异常,能够迅速采取措施,避免安全事故的发生。例如,在桥梁基础施工过程中,通过在地基中埋设传感器,可以实时监测地基的沉降情况。如果沉降速率过快,可能预示着地基存在不稳定因素,施工人员可以暂停施工,对地基进行加固处理。

#### 2. 风险预警

智能监测系统可以根据预设的变形阈值,对桥梁施工中的变形风险进行预警。当变形数据接近或超过阈值时,系统会自动发出警报,提醒施工人员和管理人员注意。这有助于提前做好应对准备,降低施工风险。例如,

对于高墩桥梁施工,当桥墩的倾斜度达到预警值时,预警系统可以及时通知相关人员,采取调整模板、加固支撑等措施,防止桥墩进一步倾斜。

### (二) 保证工程质量

#### 1. 精确测量

智能监测技术采用先进的传感器和测量仪器,具有高精度的特点。在桥梁施工中,可以精确测量结构各部位的变形情况,为施工质量控制提供准确的数据支持。例如,在路面施工中,通过使用激光测距传感器监测路面的平整度,能够及时发现路面不平整的部位,进行调整和修复,保证路面的施工质量。

#### 2. 全过程监控

智能监测技术可以对桥梁施工的全过程进行变形监控,从基础施工到上部结构施工,再到竣工验收。通过对整个施工过程的变形数据进行分析,可以及时发现施工中的质量问题,追溯问题产生的原因,采取有效的改进措施。例如,在桥梁梁体预制过程中,通过监测梁体的变形,可以确保梁体的尺寸和形状符合设计要求,避免出现梁体扭曲、变形等质量问题。

### (三) 优化施工方案

#### 1. 提供数据支持

智能监测技术所获取的变形数据可以为施工方案的优化提供依据。施工单位可以根据实际的变形情况,调整施工顺序、施工工艺和施工参数。例如,在软土地基上桥梁施工时,通过监测地基的沉降和侧向位移,了解地基的固结情况,从而合理安排路基填土的速率和高度,优化施工方案,提高施工效率。

## 2. 模拟分析

智能监测数据可以与数值模拟相结合,对桥梁施工过程中的变形进行模拟分析。通过对比实际监测数据和模拟结果,可以验证施工模型的准确性,进一步优化施工方案。例如,利用有限元软件对桥梁结构的施工过程进行模拟,将智能监测得到的应力和变形数据输入到模拟模型中,对模型进行修正,使施工方案更加科学合理。

## 二、智能监测技术在桥梁施工变形控制中的具体应用

### (一) 传感器技术

#### 1. 应变传感器

应变传感器是用于测量结构应变的一种传感器。在桥梁施工中,应变传感器可以安装在混凝土结构内部或钢结构表面,用于监测结构在施工过程中的受力变形情况。例如,在桥梁的梁体、桥墩等部位安装应变传感器,可以实时获取结构的应变数据,判断结构是否处于安全受力状态。当应变超过设计允许值时,可能意味着结构存在超载或局部应力集中的情况,需要及时调整施工荷载或对结构进行加固。

#### 2. 位移传感器

位移传感器能够测量结构的位移变化。在桥梁施工中,位移传感器可用于监测桥梁的梁体位移、桥墩沉降和路基沉降等。例如,在高架桥施工中,通过在桥墩顶部安装高精度的位移传感器,可以精确测量桥墩在施工过程中的沉降量。对于路基施工,沿路基纵向和横向布置位移传感器,可以监测路基在填土过程中的水平和垂直位移,防止路基发生不均匀沉降。

#### 3. 倾斜传感器

倾斜传感器主要用于测量结构的倾斜角度。在一些高墩桥梁、高塔结构的施工中,倾斜传感器发挥着重要作用。例如,在斜拉桥的主塔施工过程中,在主塔塔身安装倾斜传感器,实时监测主塔的倾斜情况。一旦主塔倾斜度超出允许范围,通过调整模板支撑系统或调整索力等措施进行纠正,确保主塔的垂直度符合设计要求。

### (二) 卫星定位技术(GPS)

#### 1. 定位原理

GPS是一种全球卫星定位系统,通过接收卫星信号来确定地球上物体的位置。在桥梁施工变形控制中,利用GPS技术可以对大型桥梁结构进行高精度的定位和变形监测。GPS测量具有全天候、高精度、自动化

等优点。

#### 2. 应用实例

在跨海大桥的施工中,由于桥址位于海上,传统的测量方法受到限制。GPS技术可以在海上准确地确定桥墩、桥塔等结构的位置,并实时监测其在施工过程中的位移和沉降。例如,杭州湾跨海大桥在施工过程中,广泛应用GPS技术对大桥的各个施工部位进行定位和变形监测,确保了大桥的顺利建设。

### (三) 激光扫描技术

#### 1. 扫描原理

激光扫描技术是一种非接触式的测量技术,它通过发射激光束并接收反射光来获取物体表面的三维坐标信息。在桥梁施工中,激光扫描技术可以快速、精确地获取桥梁结构的三维模型,进而分析结构的变形情况。

#### 2. 应用实例

在隧道施工中,激光扫描技术可以对隧道的开挖轮廓进行实时扫描,获取隧道壁面的三维数据。通过对比不同施工阶段的扫描数据,可以分析隧道壁面的变形情况,及时发现超挖或欠挖现象,并对隧道的支护结构进行评估。在桥梁的外观检测中,激光扫描技术可以获取桥梁的三维外观模型,用于检测桥梁表面的平整度、裂缝等缺陷,同时也可以分析桥梁在施工过程中的整体变形情况。

### (四) 物联网技术

#### 1. 数据传输与集成

物联网技术将各种传感器连接起来,实现数据的数据传输和集成。在桥梁施工变形控制中,通过物联网技术,可以将分散在不同位置的传感器采集到的数据实时传输到监测中心。例如,在一个大型的桥梁施工项目中,可能不同的桥墩、梁体、路基等部位安装了大量的传感器,物联网技术可以确保这些传感器的数据能够及时、稳定地传输到统一的监测平台,方便管理人员进行集中分析和处理。

#### 2. 远程监控

物联网技术还支持远程监控功能,使施工管理人员能够通过互联网在任何地点实时掌握桥梁施工的变形情况。这一功能主要体现在三个方面:一是远程访问,即授权用户可通过手机、平板或电脑随时随地登录监测系统,查看最新的变形数据和趋势分析;二是实时预警,当监测数据超出设定阈值时,系统会自动推送报警信息至相关责任人,确保问题能被第一时间发现与处理;三

是决策支持，在线数据平台可结合历史数据与当前工况生成可视化报告，辅助管理者科学研判施工状态。例如，项目总工程师即使在外地出差，也能通过移动终端全面了解桥梁梁体挠度变化、路基沉降速率等关键指标，并据此远程协调现场资源，及时调整施工方案。

### 三、智能监测技术在桥梁施工变形控制中的优化措施

#### (一) 传感器优化

##### 1. 传感器选型优化

传感器的选型是智能监测系统构建中的首要环节。根据桥梁施工所处的自然环境、工程类型以及监测目标的不同，应科学选择具有针对性功能的传感器设备。例如，在高湿度或水下环境中，优先选用IP67以上防护等级的防水型传感器，以确保长期运行稳定性；在温差变化剧烈的地区，则需选用具备温度补偿功能的传感器，减少因热胀冷缩引起的测量误差；对于需要毫米级甚至亚毫米级精度的变形监测任务，如桥梁主梁挠度监测或隧道收敛变形监测，应选择高分辨率的光纤光栅传感器或静力水准仪等精密设备。此外，还需综合考虑传感器的成本效益和安装维护便利性，优先选用兼容性强、布设便捷、后期更换简便的产品，从而提高整体系统的经济性和可操作性。

##### 2. 传感器布局优化

合理的传感器布置策略直接影响监测数据的有效性和代表性。首先，应基于结构受力特性与力学模型，识别关键监测区域。对于桥梁工程，桥墩基础部位是沉降监测的重点区域，梁体跨中和支座位置则是挠度与位移变化最显著的部位，应在这些区域合理布点；对斜拉桥或悬索桥而言，索塔连接区及拉索锚固区也应纳入重点监控范围。其次，针对路基工程，应重点关注地基承载力薄弱区、填挖交界处及边坡顶部与坡脚等易发生滑移与沉降的位置。同时，还应结合现场施工工序动态调整布点策略，例如在软土路基施工初期增加沉降监测密度，后期则侧重水平位移监测。通过科学布设传感器网络，实现对结构变形全过程的精准捕捉与全面掌控。

#### (二) 数据处理与分析优化

##### 1. 数据清洗

在智能监测过程中，传感器采集到的数据可能会受到噪声、干扰等因素的影响。因此，需要对采集到的数据进行清洗，去除异常数据和错误数据。例如，采用滤

波算法对采集到的位移数据进行处理，去除由于环境振动等因素引起的噪声数据，提高数据的质量。

##### 2. 数据分析方法优化

采用先进的数据分析方法，如机器学习、大数据分析等技术，对智能监测数据进行深入分析。机器学习算法可以根据历史数据建立变形预测模型，对桥梁结构的未来变形进行预测。大数据分析可以挖掘数据之间的内在联系，为变形控制提供更多的决策依据。例如，通过对大量的桥墩沉降数据进行分析，利用机器学习算法建立沉降预测模型，提前预测桥墩的沉降趋势，以便采取有效的预防措施。

#### (三) 监测系统的集成与协同优化

##### 1. 多技术集成

将不同的智能监测技术进行有机集成，充分发挥各自的技术优势，是提升桥梁结构变形监测精度和全面性的关键手段。例如，GPS定位技术可提供高精度的三维坐标信息，适用于对整体结构位移趋势的宏观把控；应变传感器则擅长捕捉结构内部应力变化，反映材料层面的受力状态；而位移传感器可用于监测局部构件的微小形变，从而实现从宏观到微观、从整体到局部的全方位监测体系。在此基础上，还可融合光纤传感技术以增强耐久性和抗干扰能力，或引入无人机航拍与激光扫描技术，获取结构表面形变的可视化数据。通过系统集成与数据融合，不同技术之间形成互补，不仅提升了监测系统的可靠性，也为后续的数据分析提供了更丰富、多维度的信息支撑。

##### 2. 多方协同

在实际工程应用中，推动施工单位、监测单位、设计单位和科研机构之间的高效协同，是保障智能监测系统稳定运行和持续优化的重要基础。首先，施工单位需严格按照技术规范完成传感器布设与现场调试，确保采集数据的真实性和连续性；其次，监测单位应依托专业平台开展数据处理、模型构建与趋势预测，及时反馈异常情况；同时，设计单位要结合监测结果动态调整设计方案，提升结构安全性与经济性；科研单位则应聚焦前沿技术研发，探索人工智能、边缘计算等新技术在变形控制中的创新应用，并将研究成果反哺工程实践。此外，建立跨部门沟通机制和信息共享平台，有助于打通数据链路，提高决策效率。通过明确分工、强化协作，形成“技术—管理—应用”闭环，才能真正发挥智能监测技术在复杂工程环境下的综合效能。

## 结论

智能监测技术在桥梁施工变形控制中具有不可替代的重要作用。通过提高施工安全性、保证工程质量和优化施工方案等方面体现了其应用价值。在具体应用中,传感器技术、卫星定位技术、激光扫描技术和物联网技术等为变形控制提供了多种手段。为了进一步提高智能监测技术的应用效果,需要从传感器优化、数据处理与分析优化、监测系统的集成与协同优化以及人员培训与管理优化等方面采取措施。随着科技的不断发展,智能监测技术将不断创新和完善,为桥梁施工变形控制提供更加高效、精确的解决方案,推动桥梁工程建设向更加安全、高质量的方向发展。

## 参考文献

- [1] 孙庆华. 高速铁路桥梁过渡段变形控制中搭板的应用研究[D]. 北京交通大学, 2023.
- [2] 杨兴宝. 跨河双层多幅钢箱梁桥施工及质量控制关键技术研究[J]. 建筑机械, 2024(11): 256-261.
- [3] 赵飞. 湿陷性黄土对深基坑变形的影响及控制技术研究[J]. 混凝土世界, 2023(11): 72-75.
- [4] 朱克南, 杜立辉, 侯海明, 等. 浅埋偏压隧道大变形监测分析及施工处治技术研究[J]. 北方交通, 2023(6): 70-74.
- [5] 冯斌. 山岭重丘区高应力软岩大变形隧道施工技术研究[J]. 交通科技与管理, 2023(4): 0141-0143.