

土木工程结构健康监测技术研究与应用

卞正荣

上海隧道工程质量检测有限公司 上海 201109

摘要: 土木工程结构健康监测技术是保障工程结构安全、提高结构使用寿命的关键技术之一。本文详细介绍了土木工程结构健康监测技术的研究现状、关键技术、应用领域以及未来发展趋势,旨在为相关领域的研究和实践提供参考和借鉴。

关键词: 土木工程; 结构健康监测; 技术研究; 应用

引言

土木工程结构在使用过程中会受到各种因素的影响,如荷载、环境、材料老化等,这些因素可能导致结构的损伤和破坏。为了保障结构的安全性和使用寿命,需要对其进行健康监测。土木工程结构健康监测技术是一种通过对结构进行实时监测和数据分析,评估结构状态和安全性的技术。该技术的研究和应用对于提高土木工程结构的安全性和可靠性具有重要意义。

1 土木工程结构健康监测技术研究现状

目前,土木工程结构健康监测技术备受国内外研究者的关注,成为了一个研究热点。研究者们利用各类传感器、数据采集和信号处理技术,成功实现了对结构状态的实时追踪与数据分析。随着人工智能技术的持续进步,此技术也在逐步优化。当前研究焦点主要集中在传感器技术的革新、数据采集与传输效率的提升,以及信号处理与数据分析方法的完善等方面。

2 土木工程结构健康监测关键技术

2.1 传感器技术

2.1.1 加速度传感器: 加速度传感器可以测量结构在地震、风等外部激励作用下的加速度响应。它具有灵敏度高、动态范围宽、响应速度快等优点。加速度传感器广泛应用于高层建筑、桥梁、大坝等土木工程结构的振动监测中。通过监测结构的加速度响应,可以评估结构的动力特性和稳定性,及时发现结构的损伤和安全隐患。

2.1.2 位移传感器: 位移传感器可以精确测量结构的变形和位移量。它具有测量精度高、稳定性好、长期可靠性高等优点。位移传感器常用于监测桥梁、隧道、地铁等土木工程结构的变形和沉降情况。通过实时监测结构的位移变化,可以判断结构是否发生异常变形或沉降,为结构的维护和管理提供重要依据。

2.1.3 应变传感器: 应变传感器可以测量结构在受力状态下的应变变化情况。它具有灵敏度高、测量精度高、适用于各种材料等优点^[1]。应变传感器广泛应用于各

种土木工程结构的应力应变监测中,如钢结构、混凝土结构等。通过监测结构的应变变化,可以评估结构的受力状态和安全性,及时发现结构的损伤和裂纹等问题。

2.2 数据采集与传输技术

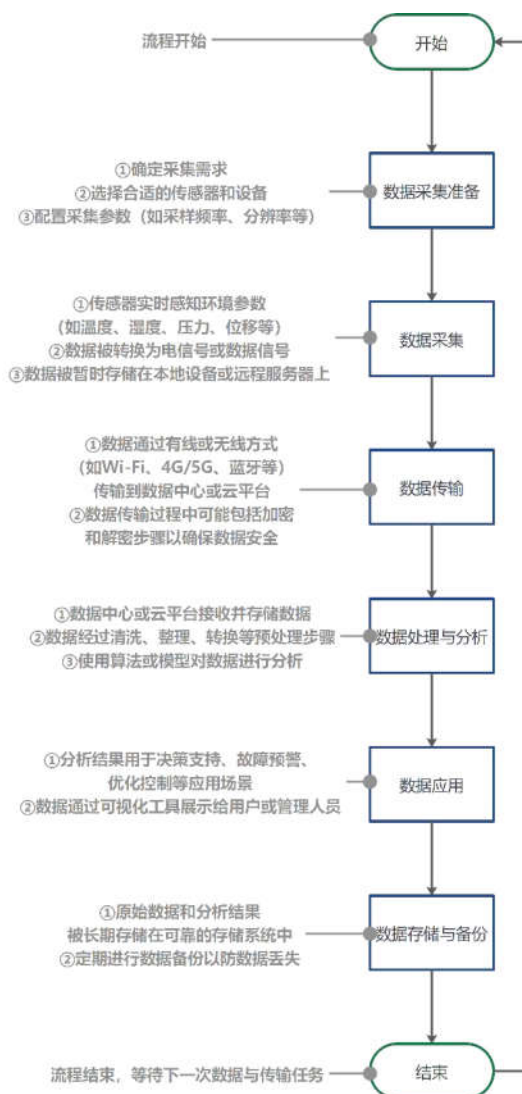


图1 数据采集与传输技术实现方法, 图示

2.2.1 数据采集的实现方法

数据采集设备通过与传感器连接，实时接收传感器捕捉到的原始数据。这些数据可以是结构的振动、变形、应力应变等关键参数。为了确保数据的准确性和完整性，数据采集设备还需要进行定期校准和维护。校准可以确保设备的测量准确性，而维护则可以延长设备的使用寿命并减少故障率。

2.2.2 数据传输的实现方法

为了实现高效、可靠的数据传输，需要构建专用的传输网络。这个网络可以采用有线或无线方式进行数据传输，具体取决于监测点的分布和传输距离。有线传输方式通常使用光纤或电缆作为传输介质，具有传输速度快、稳定性高等优点。但是，有线传输方式需要在监测点之间铺设线缆，施工成本较高且灵活性较差。无线传输方式则使用无线电波或卫星通信等技术进行数据传输。这种方式具有施工成本低、灵活性好等优点，但是传输速度可能受到环境因素的影响。在实际应用中，可以根据监测点的分布和传输距离选择合适的传输方式。

2.3 信号处理与数据分析技术

在信号处理方面，需要通过预处理技术如滤波、去噪等方法进行清洗。进一步，利用特征提取技术，可以从预处理后的数据中提取出反映结构状态的关键特征参数，如频率、振幅、相位等^[1]。数据分析方面，时域分析、频域分析和小波变换等方法是常用的技术手段。时域分析可以直接观察信号随时间的变化规律，揭示结构的动态响应特性；频域分析则通过傅里叶变换等工具将信号转换到频域，便于分析结构的固有频率和模态等特性；小波变换则是一种多尺度分析方法，能够在不同频

率和时间尺度上对信号进行局部化分析，特别适合处理非平稳信号。通过结合机器学习、深度学习等算法，可以对传感器数据进行更高级别的处理和分析，实现结构状态的智能识别和预警。

3 土木工程结构健康监测技术应用领域

3.1 桥梁工程中的应用

在桥梁工程中，结构健康监测技术扮演着至关重要的角色。该技术能够实时监测桥梁的振动、变形、应力等关键参数（表1），就像给桥梁装上了“心电图”和“血压计”。某桥梁工程沿河道南北走向，下穿快速路，现状河口宽约37m，规划河道蓝线宽度85m。桥现状老桥建于1998年，横向四幅设置，中间两幅为机动车道，双向6车道，两侧两幅非机动车及人行道桥。改建后地面桥与高架桥主跨采用整体式钢桁架结构，上层作为高架道路，下层为地面桥道路。钢桁架效果图及断面图如下图所示：

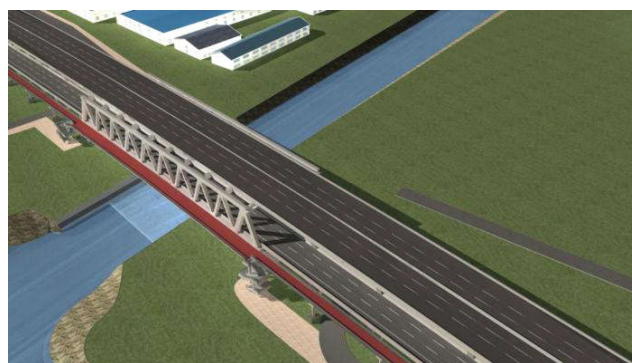


图2 钢桁架主桥效果图

该项目施工完成后采用了结构健康监测系统，监测数据示例如下表：

表1 桥梁结构健康监测数据示例

监测日期	监测时间	监测参数	实测值	预警阈值	状态评估
2023-05-01	08:00	振动幅度(mm)	0.6	1.5	正常
2023-05-01	08:00	最大变形(mm)	2.0	5.0	正常
2023-05-01	08:00	应力水平(MPa)	12.5	20.0	正常
2023-05-01	08:00	裂缝宽度(mm)	0.1	0.3	正常
2023-05-01	08:00	腐蚀速率($\mu\text{m}/\text{year}$)	15	50	正常
2023-05-01	14:00	振动幅度(mm)	0.8	1.5	正常
2023-05-01	14:00	最大变形(mm)	2.5	5.0	正常
2023-05-01	14:00	应力水平(MPa)	14.0	20.0	正常
2023-05-01	14:00	裂缝宽度(mm)	0.1	0.3	正常
2023-05-01	14:00	腐蚀速率($\mu\text{m}/\text{year}$)	17	50	正常

通过这些数据的分析，工程师可以及时了解桥梁的工作状态，发现裂缝、腐蚀等损伤情况，从而迅速采取维修和加固措施，确保桥梁的安全运营。此外，长期的

监测数据积累还可以为桥梁的剩余寿命和安全性能评估提供宝贵资料。通过对桥梁在不同环境、不同荷载下的响应进行分析，可以预测桥梁的未来性能变化趋势。

3.2 隧道工程中的应用

结构健康监测技术可以通过安装在隧道内部的传感器，实时采集隧道的振动、变形、应力等关键参数（表2），并将这些数据传输到监控中心进行分析和处理。一旦发现异常情况，监测系统就会立即发出预警，提醒管理

人员及时采取措施。此外，结构健康监测技术还可以对隧道的长期性能进行评估和预测。通过对历史数据的分析和挖掘，管理人员可以了解隧道的性能变化趋势，预测可能出现的安全问题，并制定相应的维修和加固计划。

表2 隧道结构健康监测技术关键参数与应用效果

监测参数	监测目的	监测方法	数据分析	应用效果
变形	检测隧道结构位移	位移传感器、激光测距	对比历史数据、变形速率分析	识别过大变形、沉降、偏移
应力	评估隧道受力状态	应变片、光纤光栅传感器	应力分布、变化趋势分析	预警过载、应力集中区域
裂缝	检测结构损伤情况	裂缝监测仪器、图像处理	裂缝宽度、深度、扩展速率	及时发现裂缝发展、指导维修
渗水	评估隧道防水性能	渗水监测仪器、水位传感器	渗水量、渗水速率分析	预警渗水问题、制定防水措施
气体浓度	检测隧道内有害气体浓度	气体传感器	气体浓度变化趋势分析	及时发现有害气体超标、保障人员安全

3.3 结构的设计和优化阶段的应用

在结构设计阶段，利用实时监测数据，设计师们可以更加准确地评估不同设计方案的优劣，从而选择出更加经济、安全、可靠的结构形式。同时，这些数据还可以为结构的优化设计提供有力支持，帮助设计师们找到更加合理的结构布局和截面尺寸，进一步提高结构的安全性和可靠性。此外，在结构的优化阶段，结构健康监测技术还可以帮助工程师们及时发现并解决潜在的设计问题，降低工程的造价和风险。通过实时监测数据的反馈，工程师们可以及时调整设计方案^[3]。

4 土木工程结构健康监测技术未来发展趋势

展望未来，土木工程结构健康监测技术将呈现出以下几大发展趋势。（1）智能化和自动化：通过引入先进的传感器、数据采集设备和人工智能技术，实现监测系统的智能化感知、自动化控制和精准预警。（2）多领域交叉融合：与物联网技术的结合可以实现监测数据的实时共享和远程管理；与云计算技术的融合则可以为海量数据的存储、处理和分析提供强大的计算能力和存储空间。（3）新材料、新工艺的结合：针对新型复合材料结

构的监测技术、针对大跨度空间结构的整体稳定性监测技术等都将未来研究的热点^[4]。

结语

土木工程结构健康监测技术作为保障工程结构安全和提高使用寿命的关键技术之一，在土木工程领域具有广泛的应用前景。本文对该技术的研究现状、关键技术、应用领域以及未来发展趋势进行了详细介绍和分析。相信随着科技的不断进步和发展，该技术将为土木工程领域的安全和可靠性提供更加有力的保障和支持。

参考文献

[1]王会萌.土木工程结构健康监测技术的应用及展望[J].房地产世界,2022,(03):137-139.
 [2]陈燚群.结构健康监测技术在土木工程的应用探究[J].黑河学院学报,2021,9(01):217-218.
 [3]周奎,王琦,刘卫东,张简.土木工程结构健康监测的研究进展综述[J].工业建筑,2022,39(03):96-102.
 [4]全明周.大型桩基承载力检测技术的应用分析[J].能源技术与管理,2020(3):150-153.