

Application and practice of BIM+GNSS technology fusion in deformation monitoring of large-scale bridge engineering

Tai Zhang

Tianjin Geophysical Exploration Center, Tianjin, 300000, China

Abstract

This paper focuses on the integration of BIM and GNSS technologies in the deformation monitoring of large bridge projects. It begins by analyzing the core principles of these two technologies, the monitoring needs of bridges, and the limitations of traditional methods, highlighting the necessity of integrating these technologies. The paper then outlines a framework for this integration, covering data collection, transmission, analysis, early warning, and visualization. It further explores key technologies such as data spatiotemporal alignment and preprocessing. Finally, it discusses the application value of this integrated technology in enhancing monitoring accuracy, reducing maintenance costs, and supporting full lifecycle management. The research indicates that the integration of BIM and GNSS technologies offers an efficient and intelligent solution for deformation monitoring in large bridge projects, which is crucial for advancing the technological development in the bridge engineering field.

Keywords

BIM technology; GNSS technology; large-scale bridge engineering; deformation monitoring; data fusion

BIM+GNSS 技术融合在大型桥梁工程变形监测中的应用与实践

张太

天津市地球物理勘探中心, 中国·天津 300000

摘要

本文关注BIM与GNSS技术在大型桥梁工程变形监测中的融合应用。首先剖析两项技术核心原理、桥梁监测需求及传统方法局限,说明技术融合必要性;然后构建融合框架,包括数据采集、传输、分析预警与可视化各层;接着深入探究数据时空对齐、清洗预处理等关键技术;最后阐述该融合技术在提升监测精度、降低运维成本、支持全生命周期管理等方面的应用价值。研究显示,BIM+GNSS技术融合为大型桥梁工程变形监测提供了高效、智能的解决方案,对推动桥梁工程领域技术发展意义重大。

关键词

BIM技术; GNSS技术; 大型桥梁工程; 变形监测; 数据融合

1 引言

随着社会经济快速发展,大型桥梁工程在交通网络中地位越发重要。这些桥梁跨越江河湖海,承载巨大交通流量和荷载,其结构安全直接关系到人民生命财产安全与区域经济发展。桥梁在长期运营中,受自然环境、交通荷载等多种因素影响,必然会产生结构变形。一旦变形超出安全范围,就会引发严重安全事故。所以,对大型桥梁工程进行精准、实时的变形监测十分关键。

【作者简介】张太(1995-),男,中国河北保定人,本科,助理工程师,从事工程测量研究。

2 BIM与GNSS技术基础理论

2.1 BIM技术核心原理

BIM技术是一种基于数字化三维模型的集成化管理系统,它以数据为核心,把建筑工程在全生命周期中的各种相关信息进行整合,构建出一个三维的可视化模型。这个模型不仅包含建筑物的几何形状、尺寸等空间信息,还涵盖建筑材料性能、施工进度、运营维护等多方面信息。在桥梁工程中,BIM技术可以在设计阶段帮助工程师优化方案,通过对桥梁结构的力学分析和可视化展示,提前发现设计缺陷;在施工阶段,可用于管理施工进度、调配资源,保证施工过程高效有序;在运营阶段,能为桥梁的维护、检修提供全面信息支持。

2.2 GNSS技术核心原理

GNSS技术是通过接收卫星发射的信号,经过计算确

定地球上某一点的三维坐标（经度、纬度、高度）的定位技术。目前全球比较知名的 GNSS 系统有美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国的北斗卫星导航系统（BDS）以及欧盟的伽利略卫星导航系统（Galileo）。在桥梁变形监测中，GNSS 技术通过在桥梁关键部位布设监测点，利用接收机接收卫星信号，实时获取监测点的位移变化信息。因为卫星信号覆盖范围广、不受地形和气候条件限制，GNSS 技术能够实现桥梁的全天候、高精度监测，及时发现桥梁结构的微小变形^[1]。

2.3 大型桥梁工程变形监测需求

大型桥梁工程在建设和运营过程中，面临复杂的环境和荷载条件，对变形监测有严格要求。在建设阶段，需要监测桥梁基础沉降、桥墩倾斜、主梁线形变化等，保证桥梁结构按设计要求施工；在运营阶段，要实时监测桥梁在交通荷载、风力、温度变化等因素作用下的变形情况，及时掌握桥梁结构的健康状态。此外，还需要对桥梁变形数据进行长期积累和分析，为桥梁的维护、加固提供科学依据。具体来说，监测数据需具备高精度、实时性和连续性，以满足桥梁工程安全管理的需求。

2.4 传统监测方法的局限性

传统的桥梁变形监测方法主要依靠人工测量和简单的仪器设备。全站仪测量和水准测量等方法虽然在一定程度上能获取桥梁的变形数据，但存在很多局限。第一，人工测量效率低，需要耗费大量人力和时间，难以实现对桥梁的实时监测；第二，测量精度容易受测量人员操作水平、天气条件等因素影响，数据的可靠性和准确性难以保证；第三，传统监测方法只能获取离散的监测点数据，无法全面反映桥梁结构的整体变形情况。随着大型桥梁工程规模不断扩大和结构复杂性增加，传统监测方法已难以满足现代桥梁工程变形监测的需求。

3 BIM 与 GNSS 技术融合框架构建

3.1 融合框架总体设计

BIM 与 GNSS 技术融合框架以实现大型桥梁工程变形监测的智能化、高效化为目标，采用分层架构设计，包括数据采集层、数据传输层、分析预警层和可视化层。各层之间相互协作，形成一个完整的监测系统。数据采集层负责获取 GNSS 监测数据和 BIM 模型数据；数据传输层把采集到的数据传输到分析预警层；分析预警层对数据进行处理、分析和预警判断；可视化层则把分析结果以直观的方式展示给用户，为桥梁工程的安全管理提供决策支持^[2]。

3.2 数据采集层设计

在数据采集层，主要包括获取 GNSS 监测设备和 BIM 模型数据。GNSS 监测设备的布设需要根据桥梁的结构特点和监测需求进行合理规划，在桥梁的桥墩、主梁等关键部位设置监测点，安装 GNSS 接收机，实时采集监测点的三维坐标数据。同时，利用 BIM 软件建立桥梁的三维信息模型，

整合桥梁的设计图纸、施工记录、材料属性等信息，为后续的数据融合和分析提供基础。此外，还可以结合其他传感器，如应变传感器、温度传感器等，获取更多与桥梁变形相关的信息。

3.3 数据传输层设计

数据传输层负责把数据采集层获取的数据快速、准确地传输到分析预警层。考虑到桥梁工程现场环境复杂，数据传输方式可采用有线传输和无线传输相结合的方式。对于距离较近、环境相对稳定的监测点，可采用光纤、网线等有线传输方式，确保数据传输的稳定性和可靠性；对于距离较远、布线困难的监测点，可采用 4G、5G 等无线通信技术进行数据传输，实现数据的实时上传。同时，为了保证数据传输的安全性，需对传输数据进行加密处理，防止数据泄露和篡改。

3.4 分析预警层设计

分析预警层是整个融合框架的核心部分，主要负责对采集到的数据进行处理、分析和预警判断。首先，对 GNSS 数据和 BIM 模型数据进行时空对齐和清洗预处理，去除噪声和异常数据；然后，运用数据关联分析技术，把 GNSS 监测数据与 BIM 模型中的结构信息进行关联，建立变形数据与桥梁结构之间的关系；接着，通过动态模型更新技术，根据实时监测数据对 BIM 模型进行更新，反映桥梁结构的实际状态；最后，依据设定的预警阈值，利用预警阈值动态调整技术，对桥梁变形情况进行实时预警判断。当监测数据超过预警阈值时，及时发出预警信息，提醒相关人员采取措施^[3]。

4 BIM 与 GNSS 数据融合关键技术

4.1 数据时空对齐技术

由于 GNSS 数据和 BIM 模型数据在时间和空间上存在差异，需要进行时空对齐处理。在时间对齐方面，对 GNSS 监测数据和 BIM 模型更新时间进行统一，确保数据的时效性一致；在空间对齐方面，将 GNSS 监测点的坐标转换到 BIM 模型的坐标系下，实现数据的空间统一。通过建立统一的时空基准，使两种数据能够准确匹配，为后续的数据融合和分析奠定基础。

4.2 数据清洗与预处理技术

GNSS 监测数据在采集过程中容易受到噪声、多路径效应等因素的影响，存在异常数据和噪声。数据清洗与预处理技术主要包括数据滤波、异常值检测和修复等操作。采用卡尔曼滤波、小波滤波等算法对 GNSS 数据进行滤波处理，去除噪声；运用统计学方法和机器学习算法检测异常值，并根据相邻数据和历史数据进行修复，提高数据的质量和可靠性。同时，对 BIM 模型数据进行完整性和准确性检查，确保数据的可用性。

4.3 动态模型更新技术

随着桥梁工程的建设和运营，桥梁结构的状态会发生变化。动态模型更新技术根据 GNSS 实时监测数据，对

BIM 模型进行动态更新。当监测到桥梁结构发生变形时,及时调整 BIM 模型中的几何参数和物理属性,反映桥梁结构的实际状态。通过动态模型更新,使 BIM 模型能够实时跟踪桥梁结构的变化,为桥梁的安全评估和维护提供准确的模型支持。

4.4 多源数据关联分析技术

除了 GNSS 数据和 BIM 模型数据外,还可以结合其他传感器数据,如应变传感器、温度传感器等,形成多源数据。多源数据关联分析技术通过建立数据之间的关联关系,挖掘数据之间的潜在信息。例如,分析温度变化与桥梁变形之间的关系,找出温度对桥梁变形的影响规律;研究交通荷载与桥梁结构应力、变形之间的联系,为桥梁的荷载设计和运营管理提供参考。通过多源数据关联分析,能够更全面地了解桥梁结构的工作状态,提高变形监测的准确性和可靠性。

5 BIM+GNSS 融合技术在桥梁工程中的应用价值

5.1 提升监测效率与精度

BIM+GNSS 融合技术实现了对桥梁变形的自动化、实时监测,大大提高了监测效率。和传统人工测量方法相比,该技术能够快速获取大量监测数据,并及时进行分析处理,减少了人力和时间成本。同时,GNSS 技术的高精度定位能力和 BIM 技术的空间信息整合能力相结合,提高了监测数据的准确性和可靠性。通过对桥梁结构的全方位、实时监测,能够及时发现微小变形,为桥梁的安全管理提供有力保障。

5.2 降低运维成本

通过 BIM+GNSS 融合技术,能够提前发现桥梁结构的潜在问题,及时采取维护措施,避免问题扩大。和传统的事后维修方式相比,这种预防性维护策略可以减少桥梁的维修次数和维修成本。此外,该技术还可以优化桥梁的运维管理流程,提高资源利用效率,降低运营管理成本。例如,通过对监测数据的分析,合理安排桥梁的检修计划,减少不必要的人力和物力投入。

5.3 支持全生命周期管理

BIM 技术涵盖了桥梁工程从设计、施工到运营的全生

命周期信息,GNSS 技术则为桥梁的运营阶段提供了实时监测数据。两者融合后,能够实现对桥梁工程全生命周期的信息化管理。在设计阶段,通过 BIM 模型进行方案优化和模拟分析;在施工阶段,利用 BIM 技术进行施工进度管理和质量控制;在运营阶段,结合 GNSS 监测数据对桥梁结构进行健康评估和维护决策。通过全生命周期管理,能够提高桥梁工程的整体质量和使用寿命,实现资源的最大化利用。

5.4 推动智能化运维发展

BIM+GNSS 融合技术为桥梁工程的智能化运维提供了技术支持。通过实时监测和数据分析,能够实现对桥梁结构的智能诊断和预测,提前发现潜在的安全隐患。同时,结合人工智能、大数据等技术,对监测数据进行深度挖掘和分析,为桥梁的运维管理提供智能化决策建议。例如,利用机器学习算法对桥梁变形数据进行分析,预测桥梁结构的未来发展趋势,制定合理的维护计划。智能化运维的发展将提高桥梁工程的管理水平和运营效率,降低安全风险。

6 结语

BIM 与 GNSS 技术的融合为大型桥梁工程变形监测提供了一种创新的解决方案。通过对两项技术基础理论的研究,构建了科学合理的技术融合框架,突破了数据融合的关键技术,并阐述了该融合技术在桥梁工程中的应用价值。研究表明,BIM+GNSS 融合技术能够有效提升桥梁变形监测的效率和精度,降低运维成本,支持全生命周期管理,推动智能化运维发展,促进技术标准化与规范化。但是,该技术在实际应用中仍面临一些挑战,如数据安全问题、多源数据融合的复杂性等。未来,还需要进一步加强相关技术的研究和创新,完善技术应用体系,提高技术的可靠性和实用性,为大型桥梁工程的安全运营提供更有力的保障。

参考文献

- [1] 陶悦.BIM技术支持下桥梁工程的参数化智能建模技术分析[J].工业技术与职业教育,2023,21(02):35-39.
- [2] 苏乾.BIM虚拟施工技术在市政桥梁工程中的应用[J].上海建设科技,2023(02):32-35.
- [3] 李琳.基于BIM技术人才培养模式的《桥梁工程》教学探索[J].山西青年,2023(03):131-133.