

城市桥梁管理及检测中 GIS+BIM+ 图像智能识别技术的融合应用

文 / 路 安徽省建设工程测试研究院有限责任公司

摘要：随着城市桥梁规模的扩大和服役年限的增长，传统管理方法面临效率低、数据分散、实时性不足等挑战。本文提出一种基于 GIS（地理信息系统）、BIM（建筑信息模型）与图像智能识别技术的融合应用框架，通过集成空间地理信息、三维模型数据与自动化检测技术，构建桥梁全生命周期数字化管理体系。结合实际案例验证，该框架可显著提升桥梁管理效率、病害识别精度及决策支持能力。

关键词：城市桥梁；GIS；BIM；图像智能识别；数字孪生；全生命周期管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.070

引言

城市桥梁作为交通网络的关键枢纽，承担着连接城市各个区域的重要任务，其安全性和稳定性直接关系到城市交通的顺畅与公众的生命财产安全。随着城市化进程的加速，桥梁数量不断增加，其安全管理需求也日益凸显。传统的桥梁检测方法存在诸多局限性，如人工依赖度高、数据整合困难以及时效性差等问题，已难以满足当前桥梁安全管理的需求。传统检测方法通常依赖于人工目视观察和简单的测量工具，这种方法不仅效率低下，而且难以全面准确地反映桥梁的实际状况。此外，由于数据整合困难，传统方法往往难以形成系统的桥梁安全管理体系，导致管理决策缺乏科学依据。同时，由于检测周期长，时效性差，难以及时发现和处理桥梁存在的安全隐患。为了解决这些问题，推动桥梁管理向数字化、智能化转型已成为必然趋势。GIS（地理信息系统）的空间分析能力、BIM（建筑信息模型）的精细化建模能力以及图像识别的自动化检测技术在桥梁安全管理中展现出巨大的潜力。GIS 技术能够对桥梁相关的空间数据进行分析，为管理决策提供准确的地理信息支持；BIM 技术则能够实现桥梁设计信息的集成与共享，提高设计精度和管理效率；而图像识别技术则能够实现对桥梁的实时监测和病害识别，为桥梁的维护和管理提供重要支持。这三种技术的优势互补，为桥梁安全管理提供了全新的解决方案。通过数字化手段，可以更直观地了解桥梁的结构特点、受力状态及运营状况，为桥梁的维护与管理提供科学依据。同时，数字化、智能化的桥梁管理系统还能够实现数据的实时更新和共享，提高管理决策的时效性和准确性。因此，推动桥梁管理向数字化、智能化转型，对于提升城市桥梁的安全性和稳定性具有重要意义。

一、GIS+BIM+ 图像智能识别技术研究现状

（一）GIS 在桥梁管理中的应用

GIS 技术以其强大的地理空间数据处理和分析能力，在桥梁管理中发挥着重要作用。通过 GIS 技术，可以建立全面的桥梁信息数据库，包括桥梁的空间分布、基本信息、设计参数、结构评估、维修历史等，为桥梁管理决策提供数据支持。在桥梁空间分布可视化方面，GIS 技术能够直观地展示桥梁的地理位置和分布情况，帮助管理者更好地了解桥梁网络的布局和特点。同时，GIS 技术还能对桥梁的环境影响因素进行分析，如洪水风险、地质风险等，为灾害预防和应急准备提供依据。此外，GIS 技术还能够支持桥梁的日常巡查和维护工作。通过设定巡查路线和巡查计划，GIS 技术能够辅助管理人员进行高效的巡查安排，确保桥梁的每一处都能得到及时的检查和维护。在桥梁维修管理方面，GIS 技术也能够记录每一次维修活动的详细信息，包括维修时间、维修内容、维修成本等，为后续的维修决策提供参考。通过 GIS 技术的这些应用，可以实现对桥梁信息的全面管理和高效利用，为桥梁的安全运营和长期维护提供有力支持。

（二）BIM 技术的桥梁建模与信息集成

BIM 技术以其强大的信息集成能力和可视化特性，为桥梁工程的设计、施工、运营管理等环节带来了革命性的改变。在桥梁建模方面，BIM 技术能够构建精确的三维模型，展示桥梁的结构和细节，提高设计的精确性和可理解性。通过 BIM 技术，设计师可以参数化地调整桥梁设计，快速响应设计变更需求。此外，BIM 技术还能实现桥梁全生命周期信息的集成与存储，包括设计、施工、运维等阶段的数据，为桥梁的资产管理、故障预测与维护提供有力支持。

（三）图像智能识别技术的进展

随着无人机和摄像头等图像采集设备的普及，以及

深度学习等人工智能技术的不断发展,图像智能识别技术在桥梁病害识别方面取得了显著进展。通过无人机或摄像头采集桥梁的图像数据,利用深度学习算法对图像进行分析和处理,可以自动识别出桥梁的裂缝、变形等病害,提高病害检测的效率和准确性。这种技术不仅有助于及时发现和处理潜在的安全隐患,还能为桥梁的维修和养护提供科学依据。此外,图像智能识别技术还能够结合历史图像数据进行对比分析,监测桥梁病害的发展情况。通过对同一位置不同时间点的图像进行比对,可以量化病害的变化速度和趋势,为制定针对性的维修计划提供数据支持。随着技术的不断进步,图像智能识别技术在桥梁管理中的应用前景将更加广阔。

(四) 现有融合研究的不足

尽管 GIS、BIM 和图像智能识别技术在桥梁管理中各自发挥着重要作用,但当前的融合研究仍存在一些不足。首先,多源数据的协同性较差,不同来源的数据之间难以实现无缝对接和共享,影响了数据的利用效率和决策支持能力。其次,动态更新能力较弱,难以实时反映桥梁的实际情况和变化。最后,智能化决策支持不足,缺乏基于大数据和人工智能的决策支持系统,难以为桥梁管理提供更加科学、合理的决策方案。此外,现有融合研究在数据处理和分析方面也存在局限性,对于复杂多变的桥梁病害情况,算法的适应性和准确性有待提高。同时,不同技术之间的兼容性和互操作性仍需进一步加强,以确保系统的稳定性和可靠性。针对这些不足,未来的研究应着重于提高多源数据的协同性和动态更新能力,加强智能化决策支持系统的研发,以实现 GIS、BIM 和图像智能识别技术在桥梁管理中的深度融合和高效应用。

二、技术融合框架设计

(一) 总体架构

数据层:本框架的数据层主要涵盖 GIS 地理数据、BIM 模型数据、图像检测数据以及物联网传感器数据。这些数据构成了框架的基础,为后续的处理和应用提供了丰富的信息源。处理层:在处理层,主要进行多源数据的融合以及 AI 模型的训练。多源数据融合包括空间坐标对齐和语义映射,以确保不同来源的数据能够无缝集成。AI 模型训练则专注于病害分类,通过机器学习算法提高病害识别的准确性和效率。应用层:应用层是框架的最终输出,包括可视化平台、风险评估、维修决策以及应急预案。这些应用能够基于处理层提供的数据和分析结果,为用户提供直观、实用的决策支持。

(二) 关键技术

GIS+BIM 空间集成:通过坐标转换技术,实现 BIM 模型与 GIS 地图的精准叠加。这涉及 IFC 与 Shapefile 等格式的互操作,以确保数据的兼容性和准确性。这一技术的实现,为桥梁等基础设施的空间信息管理和分析提供了有力支持。图像智能识别与 BIM 模型联动:利用图像智能识别技术,对桥梁等基础设施进行病害检测。检测结果能够自动关联到 BIM 模型中的相应构件,从而实时更新模型状态。这一技术的应用,提高了病害检测的效率和准确性,为后续的维修和养护提供了有力依据。动态数据驱动的数字孪生:结合物联网传感器实时采集的数据(如应变、位移等)以及历史检测结果,模拟桥梁等基础设施的健康状态演变。这一技术的实现,为桥梁等基础设施的健康监测和管理提供了全新的视角和方法,有助于及时发现潜在风险并采取相应措施。

三、应用案例分析

(一) 工程概况

目标工程为某城市的公共交通基础设施建设项目,在城市建成区建设大型立交桥。设计建设里程 K10+566.350~K11+681.45,立交桥整体长度 1123.1m。上方跨越一条铁路。立交桥跟铁路下行线正交,交角 90°;主桥采用 2m×45mT 构,计划以平面转体法建造。引桥设计为 35m、40m,采用装配式预应力混凝土箱梁,预制架设施工,先进行简支然后以连续结构体系施工建设。该立交桥设计时速为 100km/h,设计荷载为公路 I 级。为了确保该立交桥的建设质量和运营安全,项目团队采用了 GIS+BIM+图像智能识别技术的融合应用方案,对立交桥的建设过程进行了全面的管理和监测。通过 GIS 技术,项目团队实现了对立交桥地理位置、周边环境、交通状况等信息的精确掌握;通过 BIM 技术,建立了立交桥的三维模型,实现了对桥梁结构、材料、施工工序等信息的集成管理;通过图像智能识别技术,对立交桥的施工过程和运营状态进行了实时的病害检测和状态监测。这一系列技术的应用,为立交桥的建设和运营提供了有力的技术支持和保障。

(二) BIM 模型

为了更好地进行施工方案设计,项目使用了 BIM 仿真模型对立交桥进行模拟,使用 CATIA 程序实施建模,输入立交桥图纸数据,并利用模型计算出工程量,模型精度设计为 LOD300。该模型包含了桥梁的所有主要构件,如桥墩、桥面、支座等,并确保各构件之间的几何关

系和逻辑关系准确无误。通过建立高仿真模型，设计人员能够模拟施工方案每一个细节，并利用模型调整立交桥尺寸、形状与材料，效验图纸设计科学性。同时，该模型还能够自动生成施工图纸和材料清单，大大提高了设计效率。

（三）BIM+GIS 结合倾斜摄影融合成果展示

通过引入 GIS 技术实施数据采集与比对分析，可以把工程项目环境和建成部分实际数据引入 BIM 模型，从而丰富建筑模型内容，这可以让 BIM 模型依托于数据输入把公路隧道数字化信息实际值与仿真值进行比对，调整 BIM 模型设计上的数据误差，并可以利用模型对现场作业情况实施监控，对现场界牌水道整治情况进行监督，并就特定建筑物加强维护管理。BIM 技术与 GIS 技术的结合，可以利用无人机对目标区域实施拍摄，利用倾斜摄影像方式采集数据，并把数据以 xml 文件格式导入模型，以多角度空中测量为 BIM 模型补充数据信息。目标工程选择以大疆无人机进行目标区域实景拍摄，以倾斜摄影实施多角度无人机测绘，并把采集数据实时传输输入 BIM 模型。以 BIM 模型实施工程量计算，根据现场拍摄的实务信息，就土方或挖方位置实施精准土方量分析，得出土木施工作业量精准预测值。然后以 GIS 技术采集现场信息，对预测值合理性进行数据验证，采用 FBX 格式实施数据交互，一方面以无人机采集数据输入 BIM 模型，同时开展多阶段 BIM 设计，把结果输出再通过无人机反馈的实景数据实时模拟施工方案合理性消灭。以 GIS 技术与 BIM 模型技术的结合，构建项目工程数字化施工方案信息集合体，见图 1。图片里面的 PartA 是目标工程的 BIM 模型，PartB 是三维实景模型，PartC 是 GIS 地形图数据模型。通过查询能够发现立交桥等级规划是“大桥”，设计载荷最大 400t，整体长度 1123.1m，设计使用寿命 100 年，采用双向 4 车道进行建设，以挂篮作业法施工，车道设计时速 80km/h，立交桥设防烈度 9 度。



图 1 BIM+GIS+ 倾斜摄影模型融合效果

（四）管理平台应用成果

如果采用以往传统的设计方案，项目工程中一些构件有可能出现设计值跟实际值之间的差异，这会造成现场作业时为了现实需要不得不调整施工方案，而工程变更会影响施工进度，并带来人财物力投入上的损失。通过利用 BIM 模型实施施工方案的仿真，能够在尚未施工前利用高仿真模型精准显示所有建筑构件的细节。并以 BIM 模型技术模拟大型桥隧集群运维方面的所有常见情况，通过对设施运维效果实施数字化模拟、对所有构件实施科学性分析，通过 BIM 模型的仿真功能，可以对建筑项目的构建设计，材料投入等实施预测，发现设计上的问题提前介入进行调整。利用 BIM 虚拟技术，还可以模拟施工方案执行的效果，利用程序模拟施工方案的分步骤执行落实情况。利用 Project 生成每个阶段的施工进度，进而模拟施工方案执行效果，利用 BIM 模型实施四维施工管理。把 BIM 模型跟工程时间表进行联系，可以预先检验施工方案在计划进度上是否合理，以模拟工程进度实施施工方案科学性的修正调整。

结语

综上所述，GIS+BIM+ 图像智能识别的技术融合为城市桥梁管理提供了全维度、高精度的解决方案。通过案例验证，该模式在提升检测效率、延长桥梁寿命、降低运维成本方面具有显著优势，可为新型智慧城市建设提供参考。

参考文献

- [1] 宋子婧. 公路桥梁建养一体化信息管理研究 [D]. 南京: 东南大学, 2015.
 - [2] 王纪君. 基于 BIM+GIS 的桥梁在线监测系统的设计与实现 [D]. 西安: 长安大学, 2020.
 - [3] 马达. 基于 BIM 的连续刚构桥监测技术及系统研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.
 - [4] 梁柱. 多源信息融合的城市桥梁综合管理系统设计 [J]. 工程与建设, 2020, 34(3): 563-566.
 - [5] 袁泽瑶. 基于 Android 平台的人工桥梁检测系统研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
 - [6] 郭刚. 倾斜摄影测量在三维建模中的应用探究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018(17): 4573.
 - [7] 董凯. 无人机智能巡检在山西典型区域的应用研究 [J]. 电力系统装备, 2020(8): 2.
 - [8] 于海霞. BIM 技术在绿色建筑建设全过程中应用的研究 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2017.
- 作者简介: 孟路(1985.10-), 男, 汉族, 安徽固镇人, 高级工程师, 本科学历, 研究方向: 道路桥梁工程。