

# 基于 BIM + GIS 的在役桥梁智慧运管平台架构研究

黄颖<sup>1</sup> 许永吉<sup>2</sup> 刘冠国<sup>3</sup>

(1. 福建船政交通职业学院,福州 350007; 2. 福建省交通建设工程试验检测有限公司,福州 350008; 3. 苏交科集团股份有限公司,南京 211100)

**【摘要】**桥梁作为交通运输基础设施的“咽喉”,是交通安全的重要组成部分,随着信息技术的快速发展,以及我国拥有大型桥梁群的巨大规模,迫切需要建立桥梁群智能管养平台。本文将 BIM 与 GIS 集成技术应用到在役桥梁的智慧管养平台建设中,介绍了平台整体架构及主要功能。通过宏观地理空间与微观结构信息相结合,实时获取桥梁基础信息数据和状态监测信息,是运营、维护、提升桥梁实物资产的战略性和系统性的过程,重点是基于高质量的数据信息,通过工程和经济分析,确定检查、保养、修复、更换活动的结构性序列,使桥梁资产在全寿命周期内以最小的实际成本保持预期状态,大大提高了工作效率和管理水平。

**【关键词】**在役桥梁; BIM; GIS; 智慧管养; 轻量化

**【中图分类号】**TU17;P208 **【文献标识码】**A

**【版权声明】**文集数据被中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录,被本刊录用并在中国知网网络首发正式出版,严禁侵权转载。

## 引言

交通运输是兴国之器、强国之基,是促进社会大发展、大繁荣的重要前提。2019年9月,党中央国务院发布《交通强国建设纲要》,标志着我国由交通大国向交通强国迈进<sup>[1]</sup>。我国交通运输安全仍是交通强国建设的短板,已成为国家安全战略关注的重点,也成为国家安全生产战役的主战场。桥梁作为交通运输基础设施的“咽喉”,其安全性关系着交通网络的畅通与否,是交通安全的重要组成部分,也是社会安全生产的重要一环。

改革开放以来,我国桥梁建设取得了突飞猛进的发展,据统计,截至2019年底,我国公路桥梁总数已达到87.83万座,6063.46万m,比上年增加2.68万t,494.86万m,其中特大桥梁5716座(1033.23万m),大桥108344座(2923.75万m)<sup>[1]</sup>。我国新建桥梁总数已占全世界的47%,且建成了一批创造

世界记录的特大桥梁,苏通大桥、江阴大桥、杭州湾大桥、港珠澳大桥、西堠门大桥等一大批桥梁,在跨径、技术难度和技术质量方面均处于世界同类桥梁前列,同时,主持和参与了一批国际知名桥梁工程,如巴拿马运河三桥、新奥克兰海湾桥等,也荣获了多项著名国际大奖。“中国桥梁”取得的辉煌成就已越来越得到社会认可,已成为六张国家名片之一,有力服务了国民经济和社会发展大局。

随着我国大量桥梁建成通车,已建桥梁的桥龄增加,以及交通量和载重量的持续增长,桥梁养护和管理的压力日增,确保其结构健康、安全运营的形势已日益严峻。一方面,正如人有生老病死一样,桥也相同。根据欧美和日本等先进发达国家的经验教训:在经济腾飞时建造的桥梁性能衰退最快。我国最新统计数据显示,仅在目前近90万座公路桥梁中有约7万余座为四、五类危桥,危桥数量一直居高不下。另一方面,随着现代大跨桥梁设计与

**【基金项目】**福建省教育厅应用技术协同创新中心项目(编号:闽教科[2018]105号);福建省交通厅交通科技项目(编号:202033)

**【作者简介】**黄颖(1982-),女,博士,副教授,主要研究方向:预应力桥梁耐久性能、交通土建领域信息化技术应用研究。

建设水平提高,桥梁正向着更长、更轻柔、结构形式与功能日趋复杂方向发展。在役长大桥梁安全与健康国家重点实验室对我国 184 座有公开资料标明确定事故成因的桥梁垮塌事故进行了分析,如图 1 所示。同时根据实验室所收集的 248 座运营期桥梁垮塌事故资料,绘制我国典型桥梁垮塌事故分布图如图 2 所示。

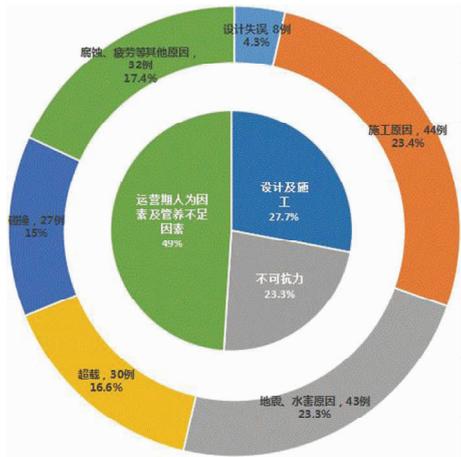


图 1 中国 184 起事故桥梁原因数据图

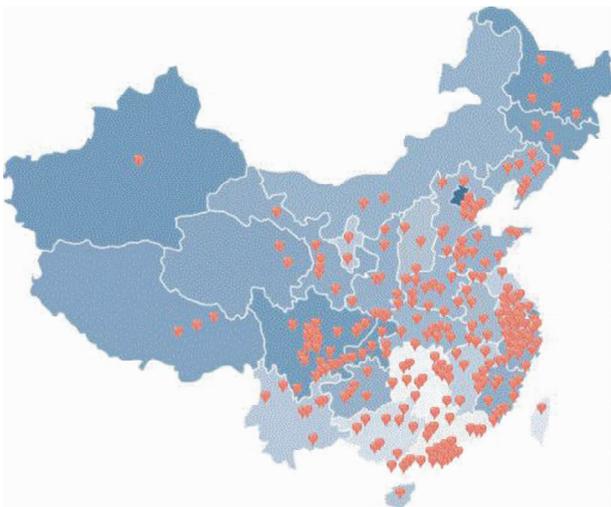


图 2 我国典型桥梁垮塌事故分布图

由图可见,就桥梁事故的具体原因来说,施工、碰撞、水害、设计失误、超载等,形成了事故的主要原因。然而,诱发桥梁事故的原因,往往是多种不利因素的共同作用。对于 184 起事故桥例,施工原因占 23.4%,其次为地震水害原因占 23.3%、超载占 16.6%,碰撞占 15%,还有腐蚀、疲劳等其他原因占 17.4%,设计仅 4.3%。总的来看,桥梁运营期人为因素和管养不足是造成桥梁事故频发的最主要

原因。在目前正由“大规模建设”向“建养并重”乃至“管养为主”转变的关键时期,桥梁运营期的安全问题已成为需要社会长期持续关注的重要研究方向。

我国当前桥梁安全问题形势依然严峻,桥梁结构安全隐患诊断领域技术仍然薄弱,其主要表现在:相比于欧美发达国家,我国在无损检测技术手段、检测数据的可对比性、可继承性、桥梁性能衰退模型研究等方面仍存在一定差距。总体来说,传统检测需要大量的人力物力,费时费力,费用昂贵,而且存在较多的测量盲点,亟需结合利用深度学习等先进技术对结构的服役状态进行智能检测,实现结构的外观与内部病害快速检测和精准评估;现阶段的健康监测技术虽然在及时预警方面起到了积极的作用,但是成本高昂且缺乏有效的海量数据处理方法,亟需开发一系列轻型化、高集成、长耐久的传感与采集、通讯设备,并利用数据挖掘、机器学习等大数据应用层相关技术使得健康监测系统具有更高效地自动化判别数据异常以及区分结构异常和系统异常;此外,在桥梁安全监管阶段均存在海量的检测数据,但由于检测系统的相对独立,监测数据和检测数据之间无法建立有效沟通机制和相互校验程序,导致数据利用率低,数据繁且无用,难以共同成为桥梁状态评估的理想数据来源,随着信息技术的快速发展,以及我国拥有大型桥梁群的巨大规模,迫切需要建立桥梁群智能管养平台,以实现桥梁检测、监测与试验检验一体化分析。由于数据资料来源丰富,格式及参数不一致,需要选择合适的数据中心平台进行综合处理,提高决策效率和可靠性。目前美国、日本、欧洲各国相继开发了桥梁管理系统(BMS)和隧道管理系统(TMS),以实现结构基本数据、日常检测、状态评估、维护对策等项目的信息化管理。然而,此类信息管理系统以结构管养检测信息为主,缺乏针对结构快速检测评估的高集成度综合管理能力,需要解决如何有效地实现多源数据融合、如何科学地实现智慧化决策等关键问题。

## 1 在役桥梁智慧运管平台研究现状

建筑信息模型(BIM)<sup>[2]</sup>可以集成了工程项目从设计、施工到管养全过程相关信息,依托三维可视化协同技术,实现多源数据融合互通,为在役桥梁

的智慧运管提供了丰富有效的数据支撑,而地理信息系统(GIS)对整个或部分地球表层空间中的信息进行宏观分析,清晰表达了结构物与地理环境的关系,具有极强的空间综合分析能力。依托 BIM 与 GIS 集成技术开发在役桥梁的智慧管养平台,可以实时获取桥梁基础信息数据和状态监测信息,是运营、维护、提升桥梁实物资产的战略性和系统性的过程,重点是基于高质量的数据信息,通过工程和经济分析,确定检查、保养、修复、更换活动的结构性序列,使桥梁资产在全寿命周期内以最小的实际成本保持预期状态,大大提高了工作效率和管理水平。

目前,无论是在科研方面或实际应用方面,BIM + GIS 技术的探索主要集中于桥梁工程的施工阶段,王强通过 SuperMap GIS 9D 搭建了基于 BIM + GIS 的设计阶段数字孪生系统,对 BIM + GIS 在桥梁初步设计中的应用进行了探索<sup>[3]</sup>。刘金岩等针对桥梁工程中 GIS 与 BIM 信息转化的问题,提出了包含不同细节层次的转换框架,实现了桥梁工程数据的集成<sup>[4]</sup>。秦利等人采用 C/S 系统架构,实现了基于 BIM + GIS 的桥梁施工进度、质量、成本的三维数字化管理<sup>[5]</sup>。郝蕊等人采用快速建模方法,通过基于数据转换的 BIM + GIS 融合技术实现了铁路工程建设项目和工程结构的信息化、精细化管理<sup>[6]</sup>。贾金鑫将 BIM 模型转化为 GIS 数据源,研究了基于 BIM + GIS 的桥梁动态施工管理系统的开发,通过对功能的分析实现以及数据库的设计,实现了对桥梁施工过程的动态管理<sup>[7]</sup>。刘延宏对 BIM 模型进行轻量化处理,采用 B/S 与 C/S 相结合的系统构架,通过 Web Service 接口进行数据结合,搭建了 GIS + BIM 的桥梁工程施工管理平台,实现了 BIM 模型的地理定位以及工程状态的实时监控<sup>[8]</sup>。蒋海里等人将桥梁施工的三维图形引擎引入企业级桥梁施工管理平台,并将 BIM 和 GIS 技术融合,构建了动态控制的 BIM + GIS“全景展现”模块,可视化地展现施工现场的全貌<sup>[9]</sup>。

运营阶段的 BIM + GIS 应用相对较为稀少,文献张松介绍了基于 GIS + BIM 的养护管理信息技术体系的基本构成和总体框架的基础上,重点阐述了数据资源规划、三维建模技术、网格划分和平台构建等关键技术的实现<sup>[10]</sup>,陈玉龙提出一种基于多分辨率层次模型的 BIM-GIS 数据集成可视化的方法,实现了 BIM-GIS 轻量化<sup>[11]</sup>,刘万斌探讨了 BIM 与

GIS 宏观微观管理一体化开发的技术<sup>[12]</sup>,王秋兰基于 GIS + BIM 的集成技术,研究设计了公路隧道智慧管养系统框架<sup>[13]</sup>,孙玉梅等建立了隧道空间及周边地理环境三维一体可视化全信息模型,实现了隧道的信息监测、健康检测、应用管理和安全预警等智慧运维管养功能<sup>[14]</sup>。

## 2 在役桥梁智慧运管系统平台架构

首先通过影像采集车、无人机、导航卫星、遥感影像、人工采集等方式采集在役桥梁基础数据,对采集数据进行数据处理、建模及集成,同时保持数据更新功能,构建基于 GIS + BIM 的集中统一的数据中心,包含地理空间数据(影像数据和地形数据),GIS 二维数据以及 BIM 三维数据,桥梁属性信息(集成属性、档案资料(一桥一档)、运行状况),其中工程信息包含检查与检测数据(日常巡查、经常性检查、定期检查、特殊检测)、维修数据(日常小修与专项维修)、处治方案信息(含工程量信息);在业务层开展技术状况评定、实施健康监测及电子化巡检,利用 BIM + GIS 技术实现桥梁可视化、病害可视化、地理信息展示,形成桥梁技术状况评定报告及辅助养护计划的制定。平台坚持“数据统一、标准统一、管理统一、应用统一”的原则,实现数据共享、应用共享及技术共享的目的。系统平台架构简图见图 3 所示。

## 3 基于 BIM + GIS 的在役桥梁智慧运管平台的主要功能

应用移动互联技术、4D 建模、GIS、多源异构数据集成技术,建立 BIM + GIS 在役桥梁智慧运管平台,这个平台包括:运维 BIM + GIS 模型、远程实时感知与传输系统、数字化巡检系统、评估与预警决策系统以及运维与管养系统。该平台实现在役桥梁管养全过程的动态模拟、信息共享、准确评估、快速预警、信息传递、高效决策。平台包含系统见图 4:

### 3.1 运维 BIM + GIS 模型

BIM 与 GIS 相辅相成,GIS 提供宏观集成框架,BIM 提供结构精准信息模型,BIM 使用 IFC 数据标准,GIS 采用 City GML 数据标准,通过对两种数据标准的语义扩展,进行模型整合,之后通过对两个平台及 WEB 数据库的二次开发,实现两种模型的

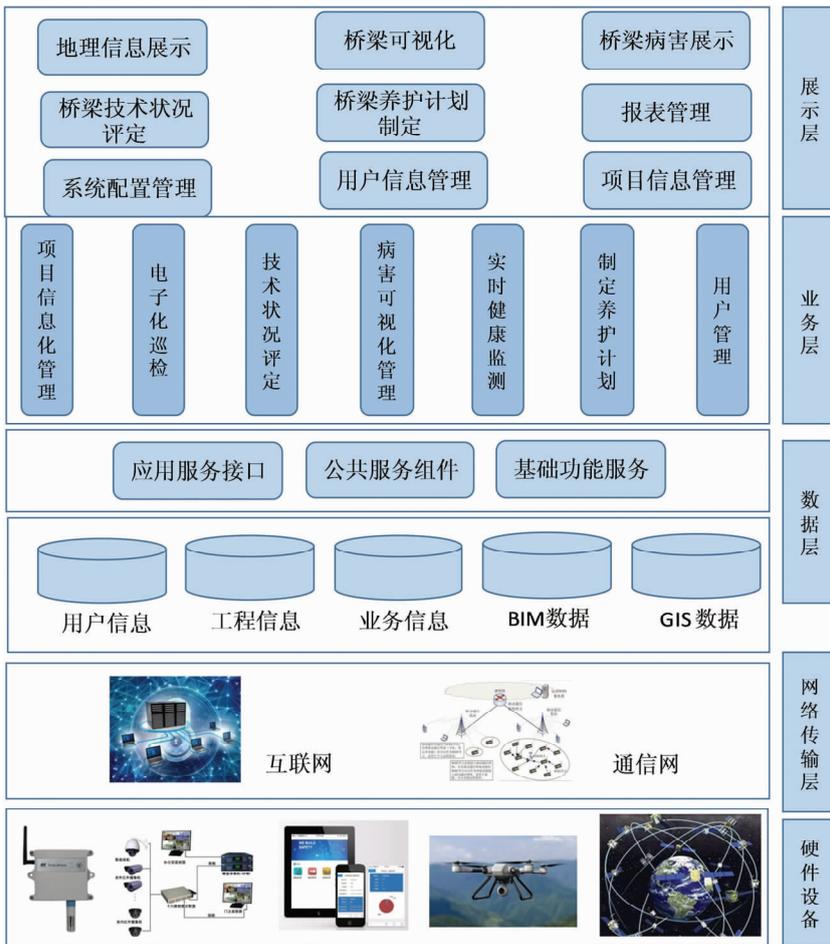


图3 平台架构简图



图4 平台系统体例

有机融合。

桥梁运维 BIM + GIS 模型,包含施工结束交付的桥梁空间结构模型,以及监测系统模型,监测系统模型包括监测系统的各项参数、传感器的信息等,详见图5。

### 3.2 桥梁感知与传输系统

桥梁感知系统,在桥梁的重点及关键部位安装传感及采集设备,针对各种荷载与环境信息,包括车辆、震动、风速、雨量、水流等单一或耦合作用,获得结构响应数据,采用远程高效传输系统,形成桥

梁实时动态数据库,通过多灾变耦合作用下集群工程实时感知分析系统,感知结构整体及局部响应,预测灾变行为,详见图6。

### 3.3 数字化巡检系统

充分发挥 BIM、GIS 技术、移动测绘、智能识别技术等在现代工程中的巨大作用,实时采集巡检位置、路线、时间、人员等信息,并通过平台为巡检人员提供巡检手册、巡检技术要求等支持;巡检信息上传平台后,可实现巡检信息的可视化查询。具体分为以下三个子模块:

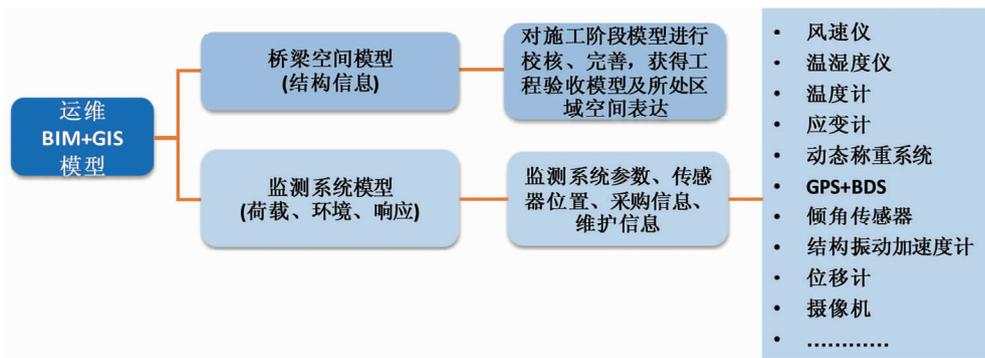


图 5 运维 BIM + GIS 模型

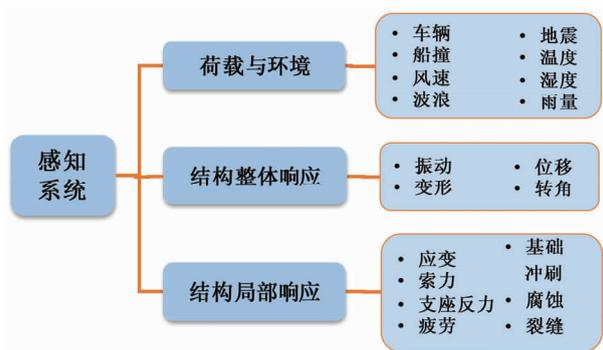


图 6 远程实时感知系统

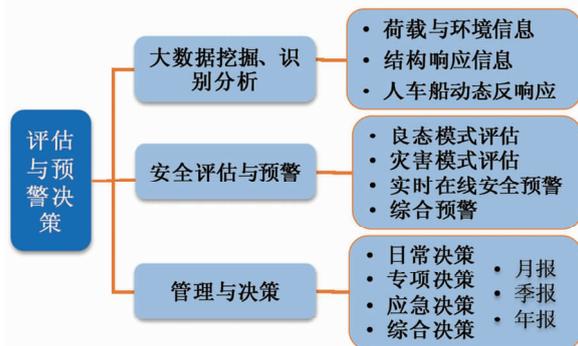


图 7 评估与预警决策系统

### (1) 缺陷病害管理

养护单位巡检作业的详细信息由养护单位管理系统维护,并通过专用接口将巡检后发现的缺陷、病害导入运维管理平台,并使用 BIM 三维模型管理巡检工作中发现的缺陷与病害信息与状态。

### (2) 巡检支持

通过手持终端支持养护人员对现场巡检地点竣工模型及竣工信息、既有缺陷病害的查询,并获取巡检现场的图片资料。

(3) 巡检作业管理:综合应用移动应用技术,对巡检作业轨迹进行跟踪管理。

## 3.4 评估与预警决策系统

评估与预警决策系统包含大数据挖掘与识别分析、安全评估与预警、管理与决策(详见图 7)。通过建立桥梁灾害作用预警级别与预警阈值,利用大数据挖掘与识别分析方法,对荷载与环境信息、结构响应等检测监测数据进行综合评估,实时在线安全预警,最后为管养部门提供日常决策、专项决策、应急决策及综合决策。

## 3.5 运维管理系统

桥梁管养部门综合应用 BIM、移动智能测绘相

关技术,集成养护单位养护管理系统中相关作业信息,通过 BIM 可视化方式辅助维修养护施工,并实现设施设备维修养护信息的可视化查询。通过手持终端支持养护人员对现场养护地点竣工资料、既有缺陷病害的可视化查询,并获取养护现场的图片资料。同时可以通过评估与预警决策系统得到桥梁技术状况评估结果,提出相应的养护意见,最后形成可执行的养护方案。

## 4 结语

本文主要介绍了 BIM + GIS 集成技术在既有桥梁管养平台建设中的使用,利用 BIM 技术形成的精细化模型信息融合空间地理信息,形成在役桥梁多维联动的全信息数据库,实现了在役桥梁群可视化信息共享,达到桥梁精细化、动态化管理的目的,建立在役桥梁数字化、信息化档案,及时“感知桥梁”,为桥梁管养提供详实的数据支撑,极大的提高了在役桥梁的运维管理能力。

### 参考文献

[1] 交通运输部. 2019 年交通运输行业发展统计公报

- [R]. 北京:[s. n.],2020.
- [2] 吴宏波. 用 BIM“智”造桥梁工程[J]. 中国公路,2016(21):70-71.
- [3] 王强. BIM + GIS 在桥梁初步设计中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2020,12(1): 95-99.
- [4] 刘金岩,刘云锋,李浩,等. 基于 BIM 和 GIS 的数据集成在水利工程中的应用框架[J]. 工程管理学报,2016(4):95-99.
- [5] 刘延宏. 基于 BIM + GIS 技术的铁路桥梁工程管理应用研究[J]. 交通世界(运输车辆), 2015(9):30-33.
- [6] 秦利,赵科,李鹏云. BIM + GIS 技术在桥梁工程施工中的应用研究[J]. 土木建筑工程信息技术,2017(9): 56-61.
- [7] 郝蕊,王辉麟,卢文龙,等. GIS-BIM 在铁路工程建设管理中的应用研究[J]. 铁路计算机应用, 2018,27(4): 46-50.
- [8] 贾金鑫. 基于 BIM + GIS 的桥梁施工管理系统开发[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2019,6.
- [9] 蒋海里,付武荣,刘攀攀. 基于 BIM + GIS 的桥梁施工三维图形引擎的应用[J]. 中国市政工程, 2020(6): 10-13.
- [10] 张松. 基于 GIS + BIM 的道路养护管理信息技术体系研究[J]. 市政技术,2020,38(S1):43 - 46 + 52.
- [11] 陈玉龙. 多分辨率层次模型支持下的 BIM-GIS 集成可视化[J]. 测绘通报,2018(12):69-73.
- [12] 刘万斌. 基于 BIM 和 GIS 的三维建筑信息管理系统研究[D]. 华北水利水电大学,2019.
- [13] 王秋兰. 基于 GIS + BIM 的公路隧道智慧管养系统研究与设计[J]. 交通与运输(学术版),2018(2):50-53.
- [14] 孙玉梅,李勇,聂振钢. 3DGIS 与 BIM 集成技术在公路隧道智慧运维中的应用[J]. 测绘通报,2020(10): 127-130.

## Research on Intelligent Transportation Management Platform Architecture of Existing Bridges Based on BIM + GIS

Huang Ying<sup>1</sup>, Xu yongji<sup>2</sup>, Liu guanguo<sup>3</sup>

(1. Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China;

2. Fujian Provincial Traffic Construction Engineering Testing Co., Ltd., Fuzhou 350007, China;

3. Sujiaoke Group Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

**Abstract:** As the "throat" of transportation infrastructure, bridge is an important part of traffic safety. With the rapid development of information technology and the huge scale of large bridge group in China, it is urgent to establish an intelligent management and maintenance platform for bridge group. In this paper, BIM and GIS integration technology is applied to the construction of intelligent management and maintenance platform of existing bridges. The overall architecture and main functions of the platform are introduced. Through the combination of macro geospatial and micro structure information, real-time acquisition of bridge basic information data and condition monitoring information is a strategic and systematic process of operation, maintenance and improvement of bridge physical assets. The key is based on high-quality data information, through engineering and economic analysis, the structural sequence of inspection, maintenance, repair and replacement activities is determined, so that the bridge assets can maintain the expected state with the minimum actual cost in the whole life cycle, and the work efficiency and management level are greatly improved.

**Key Words:** Bridge in Service; BIM; GIS; Intelligent Management and Maintenance; Lightweight