

基于 GIS + BIM 技术的营运高速公路桥梁 养护管理技术研究

陈晓敏 李焕强

(浙江数智交院科技股份有限公司, 杭州 310030)

【摘要】为了解决传统桥梁养护管理中的数据孤岛问题,提高桥梁养护分析决策的效率和科学性,提出了基于 GIS + BIM 的桥梁养护管理技术。以桥梁 BIM 模型为核心,通过整合桥梁检测、监测、养护历史等数据,在桥梁病害溯源分析和发展趋势分析、桥梁养护维修决策分析和桥梁养护效果后评价等方面做了积极有效的探索。

【关键词】BIM; GIS; 桥梁; 高速公路; 养护

【中图分类号】TU17 **【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

BIM(建筑信息模型)是基础设施的物理特性和功能特性的数字化表达,包括了设计、施工、运营等过程产生的各种类型信息。相比于传统的信息管理方式,BIM 模型能够整合分散信息源^[1],为高速公路桥梁的数字化运维提供了唯一的数据载体和可视化展示平台^[2]。GIS(地理信息系统)是以空间分析、空间数据库和三维可视化为核心,以地理空间数据为对象进行采集、存储、管理、分析、显示和描述的技术系统。GIS 对于宏观的地理空间信息表达有着天然的优势,而 BIM 模型在构建高速公路三维空间信息和结构性能方面有着强大的能力。将 BIM 模型和 GIS 技术结合起来,实现 BIM 模型与二维、三维地理信息的交互融合,可以极大地提高公路等线性工程和城市等区域工程的智慧化管理能力。

桥梁是公路工程的重要节点,桥梁运营的安全可靠的运营对区域社会经济稳定发展有着重大作用,桥梁养护维修是维持桥梁结构健康的重要手动。桥梁定期检测结果是桥梁技术状况评定和桥梁养护决策的主要依据^[3],桥梁健康监测则为桥梁

在复杂运营环境、重载交通条件下或桥梁运营状况异常时发出预警信息,为桥梁的安全运营和维修方案提供数据指导^[4]。

目前,BIM 技术大多是用于桥梁的设计阶段和施工阶段^[5-8],而将其运用到桥梁养护阶段的研究应用较少。宋华^[9]提出了基于 BIM 技术的桥梁健康状态的三维可视化展示分析方案,通过 Dynamo 建立桥梁轻量化模型,将桥梁健康监测传感器采集的监测数据与 BIM 模型动态关联,实现健康监测数据在模型上的三维可视化,提升了监测数据曲线动态查看功能以及自动报警功能。曹海盛^[10]通过分析桥梁监测的特点,提出了基于 BIM 的桥梁健康监测系统设计应用,并通过实际工程案例搭建了基于 BIM 的桥梁健康监测养护管理平台。李成涛^[11]提出了一种基于 BIM 技术的桥梁病害三维可视化展示分析的方案,该方案研究了桥梁病害标记体属性、维度的匹配问题;并基于 WebGL 技术开发了桥梁病害三维可视化在线软件,实现了对结构裂缝、一般局部病害、构件对象损伤程度和病害历史等病害演化的三维可视化展示。陈宁^[12]针对目前桥梁病害分布散乱、缺乏全局观察判断方法的问题,利用 BIM 技术对桥梁病害分布情况开发了一

【基金项目】浙江省交通运输厅科技计划项目(编号:2020007)

【作者简介】陈晓敏(1989-),男,工程师,主要从事交通行业 BIM 技术应用与研究。

种三维可视化桥梁病害信息采集、管理和展示分析系统。

这些研究在桥梁养护工作的数字化方面取得一些成果,但是,在桥梁的基础数据、监测数据及监测数据的融合、数字化应用方面还缺乏系统的研究。本文通过融合桥梁 BIM 数据、桥梁检测、监测、养护历史等数据,在桥梁病害溯源分析和发展趋势分析、桥梁养护维修决策分析和桥梁养护效果后评价等方面做了积极有效的探索。

2 基于 GIS + BIM 的桥梁养护平台整体架构

桥梁养护系统平台结合的实际养护管理需求,基于成熟的数据库技术、文档管控技术、云平台搭建技术、GIS + BIM 平台技术等,在现有的 GIS + BIM 平台基础上进行开发。桥梁养护管理系统平台系统总体架构如图 1 所示,业务层包括日常巡查、小修保养、定期检测、专项养护、健康监测、智联管控。



图 1 系统总体架构

系统终端包括电脑终端、移动端和 WEB 端,具体功能如表 1 所示。

桥梁养护管理系统的数据库主要组成如图 2 所示,主要包括系统信息数据库、结构信息数据库、检查信息数据库(日常巡检和定期检测)、健康监测信息数据库、桥梁技术状况评定信息数据库和养护维修信息数据库(日常小修保养和专项工程)。

3 工程实例

杭金衢高速红垦枢纽位于杭金衢高速公路杭绍段,是杭金衢高(G60)、杭甬高速(G92)和杭州绕城高速公路(G2504)三条高速交汇处,交通繁忙。因匝道桥梁上部结构出现中等功能性病害且发展较快于 2019 年 7 月进行了应急性改建。改建过后应用了 GIS + BIM 技术对桥梁养护进行管理,实现了数字化的养护数据采集、管理和分析。

3.1 桥梁 BIM 模型建立

本项目采用 Bentley OpenBridge Modeler 进行桥梁建模并附加构建编码属性(图 3),按照养护实际需求对桥梁按照底板、腹板、顶板进行构件拆分独立(图 4)。

3.2 BIM 模型、检测数据、监测数据和 GIS 平台融合

在桥梁数字化养护系统中,桥梁养护的数据信息集成及应用是核心,BIM 模型是数据承载的载体,BIM 模型构件编码是唯一身份 ID,GIS 平台是管理集群化桥梁的基础。因此 BIM 模型、桥梁养护数据

表 1 基于 GIS + BIM 桥梁养护管理系统各终端功能部署

终端类型	终端	主要功能	备注
电脑端	GIS + BIM 系统	项目所有基础数据展示、查询及维护	
移动端	移动端 APP	数据查询、日常巡查数据录入、养护施工进度、质量、安全、档案应用等现场业务任务流转、审批、验收等应用	
Web 端		移动端 APP 功能 小修保养、定期检测、专项养护、养护计划、养护决策 对数据进行批量操作 系统管理员入口:系统配置,数据中心管理 组织管理:用户、角色、权限等等 WBS 编码管理 GIS + BIM 平台管理 文件服务管理 数据分析及报表 流程模板定义及管理	跨平台,通过网页登录



图 2 桥梁养护管理系统数据库

J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
element	DGN文件	Model类	图元名称	元素类型	修改时间	结构物	EBS编码	位置码	体积	表面积	描述	一级属性	二级属性	三级属性
466	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		13-1-1-db2		9.687816	494.073781	智能实体	上部结构	上部承重	底版	
114	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		14-1-1-db2		9.705191	495.1354	智能实体	上部结构	上部承重	底版	
762	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		15-1-1-db2		9.614006	489.995331	智能实体	上部结构	上部承重	底版	
410	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		16-1-1-db2		9.749199	497.62816	智能实体	上部结构	上部承重	底版	
058	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		17-1-1-db2		9.207612	466.861351	智能实体	上部结构	上部承重	底版	
705	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		18-1-1-db2		9.218971	487.520011	智能实体	上部结构	上部承重	底版	
352	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		19-1-1-db2		9.207583	466.96681	智能实体	上部结构	上部承重	底版	
032	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		13-1-1-db		9.221497	793.86575	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
007	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		14-1-1-db		9.241906	795.58069	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
982	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		15-1-1-db		9.146029	787.320931	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
957	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		16-1-1-db		9.288537	799.58621	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
0932	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		17-1-1-db		9.8712579	750.12284	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
1907	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		18-1-1-db		9.724247	751.18052	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
2882	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		19-1-1-db		9.812578	750.25925	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
3772	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		13-1-1-fb		2.149746	117.761981	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
3897	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		14-1-1-fb		2.154489	118.020141	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
4022	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		15-1-1-fb		2.132131	116.79643	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
4147	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		16-1-1-fb		2.165329	118.61349	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
4272	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		17-1-1-fb		2.031181	111.27483	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
4397	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		18-1-1-fb		2.033891	111.42531	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
4522	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		19-1-1-fb		2.031181	111.28092	智能实体	上部结构	上部承重	顶板	
4683	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		13-1-1-yb		9.907281	356.73057	智能实体	上部结构	上部承重	翼板	
5170	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		14-1-1-yb		9.916513	357.50130	智能实体	上部结构	上部承重	翼板	
5657	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		15-1-1-yb		9.876226	353.78955	智能实体	上部结构	上部承重	翼板	
6144	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		16-1-1-yb		9.936602	359.30130	智能实体	上部结构	上部承重	翼板	
6631	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		17-1-1-yb		9.692203	337.07334	智能实体	上部结构	上部承重	翼板	
7118	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		18-1-1-yb		9.697113	337.54853	智能实体	上部结构	上部承重	翼板	
7605	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		19-1-1-yb		9.692199	337.13438	智能实体	上部结构	上部承重	翼板	
8064	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		13-1-1-zfb		2.339731	132.89725	智能实体	上部结构	上部承重	中腹板	
8269	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		14-1-1-zfb		2.344893	133.18769	智能实体	上部结构	上部承重	中腹板	
8474	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		15-1-1-zfb		2.32056	131.80641	智能实体	上部结构	上部承重	中腹板	
8679	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		16-1-1-zfb		2.356691	133.85746	智能实体	上部结构	上部承重	中腹板	
8884	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		17-1-1-zfb		2.210689	125.57634	智能实体	上部结构	上部承重	中腹板	
9089	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		18-1-1-zfb		2.213638	125.74767	智能实体	上部结构	上部承重	中腹板	
9294	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		19-1-1-zfb		2.210689	125.58575	智能实体	上部结构	上部承重	中腹板	
9491	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		13-1-2-fb		2.120493	116.16485	智能实体	上部结构	上部承重	腹板	
9616	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		14-1-2-fb		2.125173	116.41947	智能实体	上部结构	上部承重	腹板	
9741	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		15-1-2-fb		2.10312	115.21236	智能实体	上部结构	上部承重	腹板	
9866	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		16-1-2-fb		2.135866	117.00476	智能实体	上部结构	上部承重	腹板	
9991	红皇枢纽5 3D Metric	0	CELL_HEA(2020-11-1	红皇枢纽5		17-1-2-fb		2.09844	115.36530	智能实体	上部结构	上部承重	腹板	

图 3 桥梁构件属性表

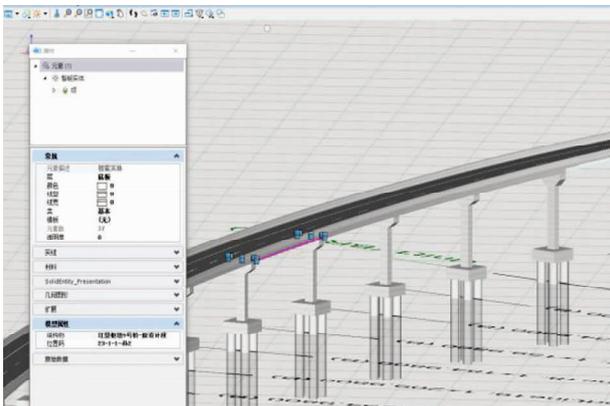


图 4 箱梁底板单独拆分示意

(主要是检测、监测、养护施工数据)和 GIS 平台融合是实现系统运作的关键。针对红皇枢纽桥梁运营维护的应用需求,桥梁养护数据融合架构设计见图 5。

轻量化的 BIM 模型是实现大体量模型在 Web 端、移动端使用的前提,因此桥梁 BIM 模型首先要轻量化再导入 GIS 平台。依据桥梁养护管理中的对桥梁构件划分标准,对检测信息,监测设备进行编码重构,使其与 BIM 模型构件编码保持一致。根据现有养护数据类型,建立桥梁基础信息数据库、桥梁检测数据库、桥梁监测数据库。桥梁基础信息数据库包含桥梁卡片信息、图纸资料、施工信息、材料

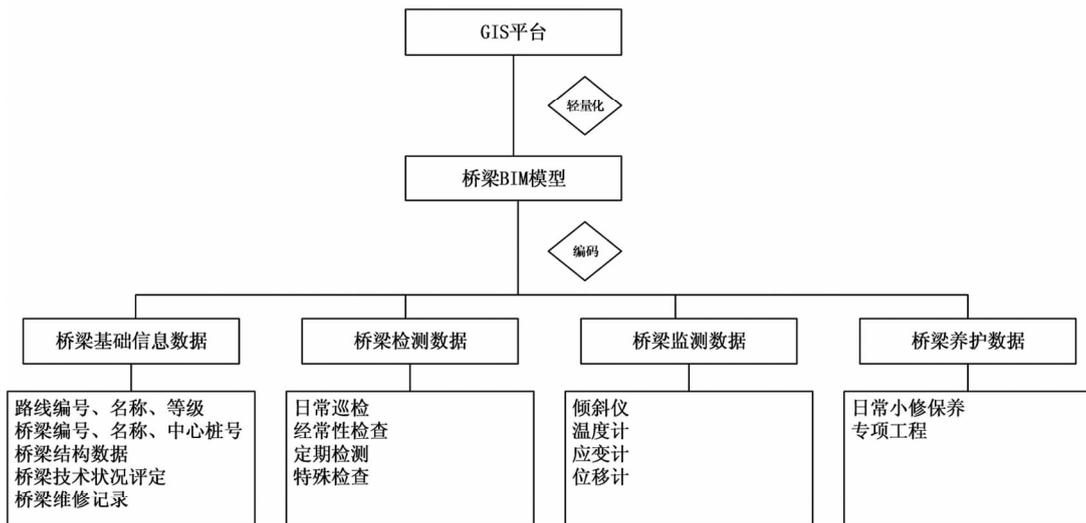


图 5 桥梁养护数据融合设计图

信息；桥梁监测数据库包括监测系统各种传感器参数、传感器位置、维护信息；桥梁检测数据库包括日常检查、定期检测、日常小修、专项养护等信息。

3.3 系统应用

(1) 可视化桥梁周边地理信息展示和 GIS 测量

通过与 GIS 系统关联可以，可以迅速查询了解桥梁所处环境周边地理信息，并且提供基本三维测量功能(图 6)，例如距离测量、高度测量、面积测量、体积测量。通过 GIS 地理信息和测量功能，对日常巡查方案进行提前规划，对重点检测部位进行可视化规划，提高养护工作效率。



图 6 系统基本测量功能

(2) 基于 BIM 模型的桥梁巡检系统应用

基于 BIM + GIS 标准化人工巡查系统(图 7)利用移动终端不仅可以显示桥梁 BIM 模型及其构件；并且可以随时查询桥梁构件设计信息、巡查历史信息以及养护维修信息；在录入桥梁病害信息时可以

直接在三维界面上直接选中构件，定位病害相对准确位置，提高巡检的效率。



图 7 桥梁巡检系统主界面

(3) GIS + BIM + IOT 桥梁健康监测技术应用

传统监测系统对传感器位置描述通常采用文字 + GIS 平面图示方式，对于传感器布置密集桥梁，无法准确定位传感器位置。引入 GIS + BIM 技术后，传感器位置与桥梁构件绑定关联，即监测数据与检测数据、桥梁构件养护历史等关键信息关联，监测系统不局限与阈值预警单项功能(图 8)。通过 GIS + BIM 技术扩展健康监测系统的应用范围，为桥梁全生命周期的养护维修提供可靠的数据载体。

(4) 桥梁病害快速查询和统计分析

通过目录树查询构件，或者直接在三维场景右键构件显示属性框，显示构件病害查询功能，即可

显示该构件全部病害、构件得分、位置信息、检测人员信息、检测时间、现场病害图片等关键信息(图9)。桥梁隐蔽部位较多,基于 BIM 模型可视化展示病害功能,对桥梁结构病害进行全方位展示,对病害的缺损程度以不同颜色形式进行展示并且对提供病害分类展示功能,了解不同病害类型的分布情况,并且关联现场照片,历史养护信息及其检测数据,并基于 4D 时间动态展示功能掌握桥梁病害的发展趋势。

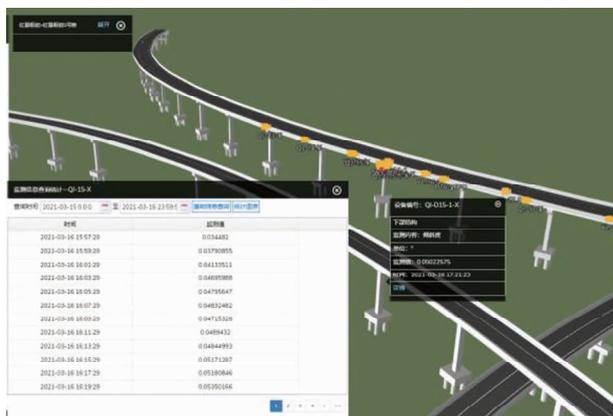


图8 桥梁监测设备与 BIM 模型融合

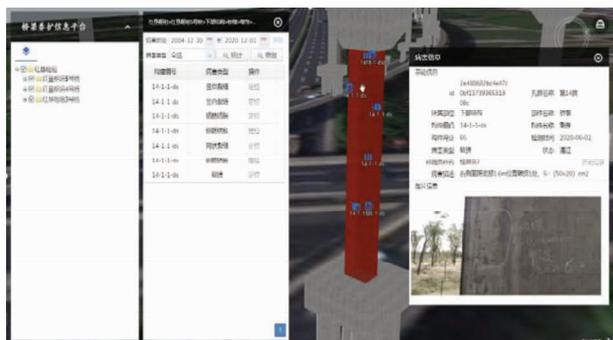


图9 基于 BIM 模型的桥梁构件病害信息

(5) 桥梁养护可视化辅助决策

基于 GIS + BIM 的桥梁养护辅助决策系统可以做到决策的可视化。对于单桥方面,在桥梁 BIM 模型的基础上,记录病害现场照片的图像数据库能够为养护决策者在病害成因分析提供初步判断,同时将不同检测时间的病害图像相互关联,能够对病害的发展进行全面的分析,可以做到制定更全面准确的养护方案。对于桥梁群来讲,基于 3D GIS 的桥梁技术状况展示分析,可以为路网级的桥梁养护决策提供更广泛的分析平台。

(6) 桥梁养护效果后评价

基于 GIS + BIM 的桥梁可视化技术,以病害类型和维修措施为索引,建立单桥级构件养护效果后评价机制,通过对养护维修后构件病害进行可视化追溯,为后续养护维修措施优化提供参考。具体实施步骤:以维修后为时间轴起点,对于同类型构件维修后的技术状况评分随时间的变化进行统计,通过趋势图并结合 BIM 模型上展示进行可视化分析展示(图10)。



图10 维修后桥墩技术状况评分变化趋势图

4 结论

针对传统桥梁养护管理中桥梁基础资料系统、桥梁定期检测系统、桥梁日常巡检养护系统、桥梁健康监测系统等各自相互独立,基础数据不互通所造成的数据孤岛问题,本文基于 GIS + BIM 技术,以桥梁构件为基本单位,进行桥梁基础资料数据、日常巡检数据、桥梁健康检测数据进行整合,取以下成果:

(1)通过依托项目,建立一套基于 GIS + BIM 桥梁养护管理平台,通过接口开发整合现存的桥梁日常检查、定期检查、桥梁健康监测数据。同时开发移动端采集系统,实现日常巡检数据直接上传。

(2)通过多方桥梁养护数据整合,以及桥梁 BIM 模型可视化特点,在桥梁病害溯源分析和发展趋势分析、桥梁养护维修决策分析和桥梁养护效果后评价的过程中,打破了原来工作模式中存在的数据库孤岛问题,做了积极有效的探索。

参考文献

- [1] 王健伟,高超,董是,等. 道路基础设施数字化研究进展与展望[J]. 中国公路学报,2020,33(11): 101-124.
- [2] 刘天成,程潜,王小宁,刘高,钟荣炼. 基于 BIM 的平塘特大桥梁建养多源信息融合技术及系统研发[J]. 公路,2019,64(9): 12-17.

- [3] JTG/T H21-2011. 公路桥梁技术状况评定标准 [S]. 2011.
- [4] 王瑀,荆国强,王波. 桥梁健康监测系统在线结构分析及状态评估方法[J]. 桥梁建设, 2014,044(1): 25-30.
- [5] 刘智敏,王英,孙静,等. BIM 技术在桥梁工程设计阶段的应用研究[J]. 北京交通大学学报,2015,39(6): 80-84.
- [6] 张海华,刘宏刚,甘一鸣. 基于 BIM 技术的桥梁可视化施工应用研究[J]. 公路,2016,61(9): 155-161.
- [7] 张裕超,曾绍武,杜文忠,等. 基于 BENTLEY 的桥梁快速智能建造 BIM 系统解决方案研究[J]. 公路工程, 2019,44(4): 140-148.
- [8] 高晶晶,邹俊楨,张金钥. BIM 技术在桥梁施工中的应用[J]. 西部交通科技,2016(1):57-61.
- [9] 宋华,谢艳,张浩阳,常军. BIM 技术在桥梁管理可视化中的应用研究[J]. 公路交通技术, 2020, 36(5): 94-99.
- [10] 曹海盛. BIM 技术在桥梁健康养护监测中的应用探索 [J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(9): 183-186.
- [11] 李成涛,章世祥. 基于 BIM 技术的桥梁病害信息三维可视化研究[J]. 公路,2017,62(1): 76-80.
- [12] 陈宁,马志华,柏平,等. 基于 BIM 技术的桥梁病害信息三维可视化采集管理系统[J]. 中外公路,2017,37(1): 305-308.

Research on Bridge Maintenance Management Technology of Operating Expressway Based on GIS + BIM Technology

Chen Xiaomin, Li Huanqiang

(Zhejiang Institute of Communications Co., Ltd., Hangzhou 310030, China)

Abstract: In order to solve the problem of data isolation in traditional bridge maintenance management, and make high-efficiency and data-based bridge maintenance analysis and decision, a bridge maintenance management technology based on GIS + BIM is proposed. By integrating bridge detection, monitoring, maintenance information and other data into the bridge BIM base model, a positive and effective exploration is presented in these analysis of bridge disease traceability and development trend, bridge maintenance decision, and bridge maintenance effect.

Key Words: BIM; GIS; Bridge; Expressway; Maintenance