

基于 BIM 的多塔斜拉桥管养信息化技术研究

杨晓华¹, 胡海波², 许俊德², 汪涛^{3,4}

(1. 中国铁建投资集团有限公司, 北京 519015; 2. 中铁建苏州设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215007;

3. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 211189; 4. 道路交通工程国家级实验教学示范中心(东南大学), 江苏 南京 211189)

摘要: 为满足多塔斜拉桥信息化管养需求, 以合铜(合阳—铜川)高速公路王家河特大桥为工程背景, 以多塔斜拉桥检测、监测信息需求和管养系统为主要内容开发王家河特大桥管养一体化平台。利用 Autodesk 官方提供的 Forge 技术实现 BIM 模型的轻量化, 借助 Spring、Bootstrap 框架和 Three.js 等脚本文件对其进行在线渲染和展示, 实现模型浏览窗口相应数据的增删改查和桥梁构件病害库的完善, 助力管养人员更科学、高效地进行桥梁运维。

关键词: 工程管理; 多塔斜拉桥; 管养信息化; 建筑信息模型(BIM)

中图分类号: U415.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)03-0167-03

建筑信息模型(BIM)作为一种新的资产管理方式, 在土建工程项目设计、施工和运营维护全生命周期中得到越来越广泛的应用。原国际数据互用联盟(IAI)法国分支与日本 Muroran 技术研究所联合发布 IFC-BRIDGE 桥梁模型标准专用程序, 实现了桥梁设计软件与数据分析软件之间的信息交换。沈海华等基于中国公路桥梁管理系统(CBMS)的软件框架组织架构, 研究了如何将 BIM 技术与地理信息系统(GIS)相结合并应用于桥梁养护。胡娟等立足于 Bentley 旗下的桥梁核心建模软件 OpenBridge Modeler, 在预应力砼连续箱梁桥设计和短线法施工中采用 BIM 技术进行了精细化建模和施工监控的二次开发。梁才利用 Bentley 数字孪生技术解决了公路设计和施工中存在的诸多问题, 促进了项目建、管、养的一体化。该文以合铜(合阳—铜川)高速公路王家河特大桥为背景, 应用 Autodesk 旗下核心 BIM 软件 Revit 中参数化模型, 利用 Autodesk 官方提供的 Forge 技术实现 BIM 模型轻量化, 并借助 Three.js 等脚本文件对其进行网页端在线渲染, 实现多塔斜拉桥拉索系统、索塔、钢箱梁、附属设施等数据的录入与可视化展示, 便于管养单位在实地巡检中快速判断桥梁构件病害类型, 从而采取精准有效的养护措施。

1 工程概况

王家河特大桥采用塔梁墩固结钢构体系, 为五塔六跨预应力砼矮塔斜拉桥。全桥长 2 050 m, 主

桥长 1 170 m, 单跨最大跨度为 230 m, 最高墩为 144 m, 最大总高度 188.5 m。桥墩为异型双肢双向渐变空心薄壁墩, 塔墩梁组合高度名列陕西省第二。主桥按整体式断面设置, 桥面全宽 29.5 m, 双向四车道, 设计速度 100 km/h。

施工中测量墩顶变位和梁顶标高, 以实际测量结果对合理预拱度进行预估, 提供各梁段施工模型的标准高度, 确保成桥线形与设计吻合。此外, 拉索锚具内预埋的磁通量传感器可为拉索索力控制及后期运营健康检测提供原始数据。

2 桥梁管养信息化技术

2.1 BIM 模型轻量化

为提高信息化模型数据效率, 工程实践中一般采用以下方法实现 BIM 轻量化: 对 BIM 模型中的非几何信息表达进行有效剥离, 在减小模型数据量的基础上, 对几何信息表达数据进行格式转化, 最终将经 Web 三维引擎渲染的模型数据呈现在浏览器端视图中, 实现快速、便捷和高效的实时追踪与展示。该项目管养信息化研究中将轻量化处理分为两部分: 一是模型数据的压缩处理, 即通过一定的数学方法对 BIM 模型中的几何特征信息进行简化处理, 采取尽可能少的三角面片以保证模型外观相似性; 二是三维几何数据的实时渲染, 即在模型被压缩处理转化为轻量化的文件后, 采用特定的图形图像渲染技术进行渲染, 达到 Web 端平台进行展示和交互操作的使用目的。

随着 HTML5 技术的发布和推广, WebGL 技术可高效且不失真地对模型进行高效渲染和三维浏览。WebGL 不用考虑开发环境,可直接在底层 GPU 上工作,具备通过 Three.js 脚本、JSON 数据传输技术制作三维动画的便捷性和实用性,被广泛应用于主流 BIM 轻量化引擎中。Three.js 在封装 WebGL API 的同时,支持 CSS 和 Canvas 动画,可用于快速渲染和实例化创建的内置对象,配合摄像机、渲染器、场景和光照等元素,可极大缩短程序的时间成本。Autodesk Viewer API 是实现模型解析转化的常用引擎之一,开发者在 Autodesk Forge 网站可通过 Token 的身份权限认证方式对不同访问者的权限进行设置,实现数据的安全管理。实际操作中,*.rvt 文件大小往往超出 Forge 网站数据储存桶的容量,可先通过 Navisworks 软件安装插件将 *.rvt 文件导出为 *.svfzip 格式,整个过程脱离 Forge 云端独立实现。

2.2 管养系统的架构

目前常见应用架构主要有 B/S 浏览器端架构、C/S 客户端架构 2 种,各有利弊,适用于不同开发需求类型的管理平台。

(1) B/S 架构即浏览器/服务器架构。采用该模式的应用管理平台无需单独在客户端下载与安装,只需确保使用时设备能正常联网,可在 Web 浏览器即时使用,为市场上绝大部分 BIM 应用的技术方案。其优点在于诸多核心业务可只在服务端完成,升级服务器就能获取模型数据和应用程序的版本更新。缺点是 BIM 模型加载速度直接受网络传输速度影响,需定制化开发个性化需求。

(2) C/S 架构即客户端/服务器架构。采用该模式的应用管理平台需在本地安装客户端,安装包和模型数据都在本地存储,业务需要逻辑和功能提示页面主要在客户端实现,服务器端负责数据存储、维护和共享。其优点在于 BIM 应用的定制化开发,操作多样化,容易保证数据安全。缺点是对桥梁管养的覆盖面较窄,需安装程序后才能使用,维护成本较高。

桥梁管养信息化系统主要针对监控构件或单元,除需保证在普通公共网络中运行外,还需适当简化开发和设计的复杂度,提高系统的可靠性和易维护性。因此,系统开发适合采用 B/S 架构。

3 管养一体化平台构建

采用上述信息化模型轻量化技术和管养系统架

构搭建王家河特大桥管养一体化平台浏览器网页端主页。主桥部分在 Navisworks 软件平台中漫游展示,轻量化模型部分由 IDEA 集成环境采用 Spring 和 Bootstrap 框架编写开发。平台分为监测评估、模型查看、桥梁管养、施工检查四大模块(见图 1)。



图 1 王家河特大桥建养一体化平台浏览器主页

3.1 斜拉桥监测

构建桥梁管养平台的目的是为固定周期的桥梁维护提供所需关键信息,力争做到有的放矢,有针对性地指导桥梁维修养护。

王家河特大桥为大跨度多塔斜拉桥,其例行检查包括定期检查、专项检查和不定期抽查。若检查中发现结构严重损坏现象,可提前进行定期检查或特殊检查,以确保结构的整体安全性和稳定性。不同部位的监测内容如下:

(1) 斜拉索系统的监测。监测内容包括护套有无裂缝、划伤破损、老化积水、松动、锈蚀等病害;钢索有无鼓包、锈胀、开裂或断裂等病害;锚固系统中锚具是否渗水,锚头是否锈蚀等;减振系统阻尼器是否锈蚀、破损或漏油;逐根测试索力,计算索力值。

(2) 钢箱梁的监测。监测内容包括涂层是否有粉化、气泡或脱落等病害,钢箱梁外观有无锈蚀、裂缝,有无铆钉、螺栓松动,焊缝是否完好,箱梁内部有无积水,通风和除湿设施的运转情况,斜拉索锚固区有无开裂或锈蚀等病害。

(3) 索塔的监测。监测内容包括砼索塔是否存在渗水、大面积蜂窝麻面、锈蚀或漏筋,横梁有无大面积蜂窝麻面、锈蚀、露筋及底部排水是否通畅,斜拉索锚固区及套筒周边有无裂缝及裂缝发展情况。

(4) 下部结构与支座的监测。监测内容包括墩身是否存在蜂窝、麻面、冻胀、剥落或露筋等病害,支座有无腐蚀、开裂、老化及位移、错位或变形等病害。

(5) 附属设施的监测。监测内容包括桥面铺装

是否清洁,桥面有无鼓包、开裂及其他缺陷,伸缩缝是否平整、有无异响、型钢是否断裂、密封胶带有无老化开裂,防撞护栏钢筋有无锈蚀、涂层脱落和变形等病害,桥面排水系统的盖板有无损坏、泄水管是否完好及管体有无损伤。

3.2 桥梁管养信息化展示

如图 2 所示,浏览器中网页端 BIM 轻量化模型可实现环绕镜头、上下移动、缩放、第一视角漫游、相机交互(布满视图、滚动)、剖面分析(X、Y、Z 三剖面或自定义剖切平面)、测量、分解和全屏显示。

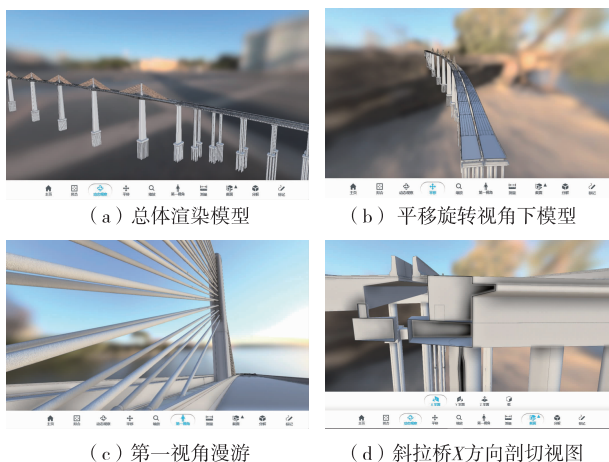


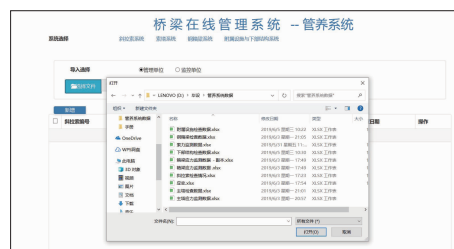
图 2 管养平台模型可视化渲染

除信息化展示功能外,系统还分别构建了斜拉索系统病害数据库、索塔病害数据库、钢箱梁病害数据库和附属设施病害数据库,用以应对常见病害识别和录入(见图 3)。将斜拉桥常见病害信息上传到病害数据库中,包括病害名称、成因、危害、病害图片及相应维修措施,管养部门可及时比对、发现、治理病害,一线操作人员也可在后台从本地直接导入 Excel 数据表格,实现添加、删除、修改桥梁病害数据库中内容,形成管养监控平台的动态调整和常态化运营。

3.3 桥梁状态评估

拉索索力、结构位移等为斜拉桥结构的关键力学性能指标,需进行长期监测。通过对斜拉桥监测数据进行清洗、剔除野值、降噪平滑等处理,得到每个月的索力及其平均值、位移。通过对这些数据的拟合建模,得到序列数据的预测模型,并提取相应趋势变化,利用指标的上下阈值对序列指标进行转换,得到序列指标的评定结果。

由于桥梁评估存在一定的主观性及多重因素影响带来的评估复杂性,各类评估信息往往表现出模糊、不完全等特性。为此,采用层次分析模型得到各



斜拉索系统

管理单位: 记录单位:

数据文件: 斜拉索系统信息.xlsx 打开斜拉索系统数据库

序号	斜拉索编号	病害	防护	检测系统	检测数据	索力	检查日期	操作
0	北塔下塔架索L010104	无病害	完好无损	无病害	无病害	3454.720N	2018年2月5日	无操作
1	北塔下塔架索L010104	锈蚀脱包	防护层完好并涂刷防腐	锚固系统、锚头系统	无病害	3454.730N	2018年3月5日	无操作
2	北塔下塔架索L010104	锈蚀脱包	完好无损	锚固系统、锚头系统	无病害	3454.740N	2018年4月5日	无操作
3	北塔下塔架索L010104	无病害	完好无损	锚固系统、锚头系统	无病害	3454.750N	2018年5月5日	无操作
4	北塔下塔架索L010104	无病害	防护层完好	锚固系统、锚头系统	锈蚀	3454.760N	2018年6月5日	无操作
5	北塔下塔架索L010104	无病害	完好无损	锚固系统、锚头系统	锈蚀	3454.770N	2018年7月5日	无操作
6	北塔下塔架索L010104	无病害	防护层完好并涂刷防腐	锚固系统、锚头系统	无病害	3454.780N	2018年8月5日	无操作
7	北塔下塔架索L010104	无病害	完好无损	无病害	无病害	3454.790N	2018年9月5日	无操作
8	北塔下塔架索L010104	锈蚀脱包	完好无损	无病害	无病害	3454.800N	2018年10月5日	无操作
9	北塔下塔架索L010104	锈蚀脱包	完好无损	无病害	无病害	3454.810N	2018年11月5日	无操作

显示第 1 页 共 10 页 每页 12 条记录 每页显示 10 条记录

图 3 桥梁检查信息录入管养平台

子指标的评分结果,通过隶属度函数模糊化处理,得到面向评估等级的隶属度向量。隶属度变化满足非线性的特点,选用岭形分布函数作为隶属度函数(见图 4)。通过不确定推理方法得到与子指标相对应的上层指标的等级隶属度向量,对全桥状态进行综合评估,并与传统加权平均方法进行对比分析。DS 证据理论是不确定推理的典型方法,可体现评定思维的模糊性,能类比人的推理过程,将该方法用于桥梁状态评估,以修正传统加权方法掩盖子指标差异性的缺点。

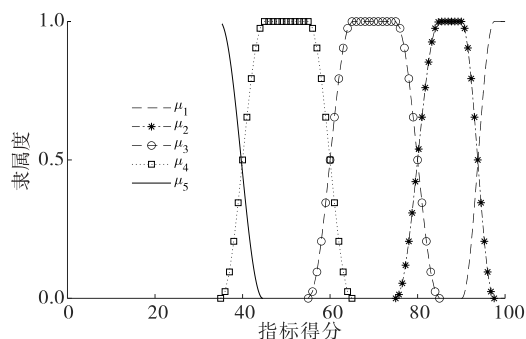


图 4 评估指标得分的隶属度函数

根据上述评估方法建立桥梁评估运算界面(见图 5),用户评定时,可自行输入相应权重和分值,也可选用默认权重。程序左下方可选择 2 种计算方式中的一种进行判断,点击生成图表按钮即可得到相应方法的柱状图分布。

(下转第 174 页)

4 结论

(1) 桥承台上部结构施工对桥桩的安全风险主要包括技术层面、组织管理、自然环境三方面,共有12项子风险。

(2) 一级指标风险中,技术层面安全风险权重最大,其次是组织管理安全风险、自然环境安全风险。二级指标中,桥梁承台与底下桩基的位置关系安全风险的权重最大,其次是施工信息反馈与处理风险,桩基沉降与位移风险、施工自然环境应对、凿除桩头深度等安全风险的权重也较大,这些风险因素对项目风险程度的影响最大,是需重点关注的风险因素。

(3) 12项安全风险中,风险发生概率较大的有桥梁承台与底下桩基的位置关系、信息反馈与处理;风险影响等级较高的有支护结构、施工方案、桩基沉降或位移、桥梁承台与底下桩基的位置关系、桩基安全防护体系、信息反馈与处理,这些是施工中需重点关注的安全风险因素;其余安全风险因素发生概率及影响等级均不高。

(4) 桥承台上部结构施工对桥桩的安全风险处

于中等水平。

参考文献:

- [1] 周乐平,陈俊波,姚进,等.新建桥梁施工对既有高速铁路桥梁的影响[J].土木工程与管理学报,2018,35(4):83—88.
- [2] 王世清,林森斌.某深基坑工程邻近桥梁桩基施工影响分析[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2013,26(增刊2):94—98+104.
- [3] 史增朝,孙智峰,李鑫.双曲拱桥拆除对邻近桥梁安全风险影响评估[J].四川理工学院学报(自然科学版),2013,26(1):60—63.
- [4] 关莎莎.新建道路开挖对邻近高铁桥梁施工及运营的影响分析[J].中外建筑,2019(5):244—246.
- [5] 姚鸟儿.初创科技型企业融资能力评价指标体系构建研究:基于模糊综合评价模型的分析[J].价格理论与实践,2020(12):135—138+164.
- [6] 沈婕,马凯悦,丁小彬,等.基于层次分析法的异形结构清水混凝土模板选型研究[J].土木建筑工程信息技术,2021(4):155—162.

收稿日期:2021—11—16

(上接第169页)



图5 桥梁决策评估体系

4 结语

以王家河特大桥工程为依托,将BIM技术引入多塔斜拉桥运营管养领域,以IDEA为开发平台,选取Java为底层开发语言,结合Javascript等网页开发语言实现基于B/S架构的王家河特大桥管养一体化平台搭建。利用Autodesk官方提供的Forge技术实现BIM模型的轻量化,借助View3D.js和Three.js等脚本对其进行高质量渲染和可视化。基于轻量化BIM模型的管养信息化系统,不仅可在线录入、编辑桥梁检查信息和监控信息,还能结合桥梁构件病害数据库对不同在役状态桥梁制订详细的交

通资产管理方案。

参考文献:

- [1] 裴岷山,陈艾荣.桥梁管养信息化的发展与展望[J].公路,2019(10):209—215.
- [2] YABUKI N,LEBEGUE E,GUAL J,et al.International collaboration for developing the bridge product model "IFC-Bridge" [C]//Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering.Montreal,Canada,2006:1927—1936.
- [3] 沈海华,王银辉.基于BIM的桥梁养护管理应用初探[J].公路与汽运,2016(4):280—283.
- [4] 胡娟,刘海龙,汪涛.基于BIM的短线预制箱梁桥设计与线形控制[J].广东建材,2021,37(3):42—45+68.
- [5] 梁才.Bentley数字孪生技术在公路品质工程建设中的应用[J].中国交通信息化,2020(6):121—124.
- [6] 姜玉龙,夏远靖,贺波.基于GIS的BIM轻量化技术在桥梁工程中应用研究[J].公路,2020(1):123—127.
- [7] 高静,段会川.JSON数据传输效率研究[J].计算机工程与设计,2011,32(7):2267—2270.
- [8] 冯姣,刘志勤,黄俊,等.基于Three.js的飞行仿真系统设计[J].计算机测量与控制,2020,28(2):216—219.

收稿日期:2021—10—09