

基于BIM的桥梁技术状况评定系统研究

夏子立^{1,2}, 景强¹, 高文博¹, 黄李观³, 吴小东³

(1.港珠澳大桥管理局,广东 珠海 519000;2.华南理工大学 土木与交通学院,广东 广州 510640;

3.云基智慧工程股份有限公司,广东 深圳 518000)

摘要:桥梁技术状况评定现场作业存在可视化程度低、评定作业主观性较大、病害定位效率低、评定数据延续性差等实操难点。针对桥梁技术状况评定需求及前述问题,该文梳理中国桥梁技术状况评定规范体系及BIM在桥梁运维中的应用概况,分析桥梁BIM模型的建模要点及评定业务流程,设计基于BIM的技术状况评定系统总体框架及业务模块功能。以港珠澳大桥青州桥为工程依托开发桥梁技术状况评定系统,并初步应用于大桥的技术状况评定工作中,以提升现场作业的可视化水平及作业效率、标准化存储桥梁评定数据,实现对桥梁服役性能的长期追踪。

关键词:桥梁;技术状况评定系统;BIM模型轻量化

中图分类号:U446.3

文献标志码:A

0 引言

根据《2021年交通运输行业发展统计公报》,至2021年末中国公路桥梁数量已达96.11万座^[1]。历经多年建设高潮,随着环境侵蚀、材料退化以及荷载作用等因素的共同作用,桥梁的维养需求日益上升。桥梁技术状况评定是桥梁服役性能评估的关键要素之一,是桥梁开展维养工作的重要依据,其主要通过桥梁管养技术人员对桥梁进行定期检查,全面描述桥梁各部件、构件的缺陷,评价桥梁技术状况,记录桥梁基本特征,建立健全桥梁技术档案,为桥梁养护、维修和加固提供决策支持,使桥梁长期处于良好的工作状态^[2]。

中国桥梁技术评定工作主要采用《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)、《城市桥梁养护技术标准》(CJJ 99—2017)以及《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)所提及的评定方法^[3]。其中,《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)对国内外公路桥梁评定实践经验进行消化吸收,并借鉴了相关规范的研究成果,是目前较为全面科学的评定方法;中国公路桥梁管理系统“CBMS”^[4]、

苏通大桥养护管理系统^[5]、银川滨河黄河大桥养护管理系统^[6]等系统的定期检查模块均基于该标准进行研发。经历多年的研究与发展,已形成了较为完善的桥梁技术状况评定体系,已将桥梁技术状况评定过程标准化、流程化。但在实际桥梁评定工作中,还存在评定工作量大、作业效率低、作业主观性影响较大、评定计算量大、评定数据延续性差等难点^[3]。随着计算机技术的发展,桥梁管养系统及桥梁巡检信息化产品被开发用于支撑桥梁检查业务,提高了桥梁检查效率^[7-8],但还存在可视化程度低、病害定位效率低、病害无法与桥梁构件挂接、病害位置描述不直观等不足,在评定效率及病害长期追踪方面还有待进一步提升^[9]。

BIM(Building Information Modeling)概念最初由美国查克伊士曼博士于20世纪70年代提出,主要运用于建筑工程的设计与施工阶段^[10]。BIM技术自应用于建筑工程领域以来,各工程领域逐渐认识到其技术优势及特点,其在公路桥梁的设计、施工以及检测方面均得到一定的应用^[11-13]。近年来,中国越来越多桥梁工程结合运维业务需求,基于BIM构建了针对性的桥梁管养信息化系统,如杭州湾跨海大桥、青岛海湾大桥、沪通长江大桥、虎门二桥等项目,通

收稿日期:2022-05-30(修改稿)

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2019YFB1600700)

作者简介:夏子立,男,硕士研究生,工程师.E-mail:xzl@hzmbo.com

过BIM与结构健康监测以及桥梁管养系统的融合应用,提高了桥梁结构、信息数据的可视化程度,提升了项目的维保效率及系统信息化水平^[14-17]。

针对交通基础设施维保需求,交通运输部在《关于全面深化交通运输改革的意见》中对公路养护管理的信息化改革提出了具体要求;并在《关于推进公路水运工程BIM技术应用的指导意见》中明确指出要加强BIM模型数据应用,提升养护管理效能。本文结合现行桥梁技术状况评定标准,基于BIM技术研发桥梁评定系统,并初步应用于港珠澳大桥的定检工作中,通过实际应用评价该模块对桥梁定检效率的提升效果,并实现对桥梁服役性能的长期追踪。

1 BIM模型构建及评定流程设计

BIM模型是系统运行的关键载体,主要辅助实现病害快速定位、病害与构件关联、桥梁病害历史信息及技术评定等级可视化表达等功能。

1.1 桥梁结构解析及构件编码体系构建

根据BIM模型需实现的功能,桥梁结构解析体系应体现参与技术状况评定的结构构件,便于巡检工作开展以及满足技术状况评定相关规范要求,可实现病害与构件之间的对应绑定,满足桥梁长期服役性能的评估与追踪需求。桥梁结构解析主要参照《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)的解析方式,并在此基础上进一步深化,将桥梁细分为桥梁评定单元、结构部位、桥梁部件、桥梁构件以及多级子构件,解析层级如图1所示。

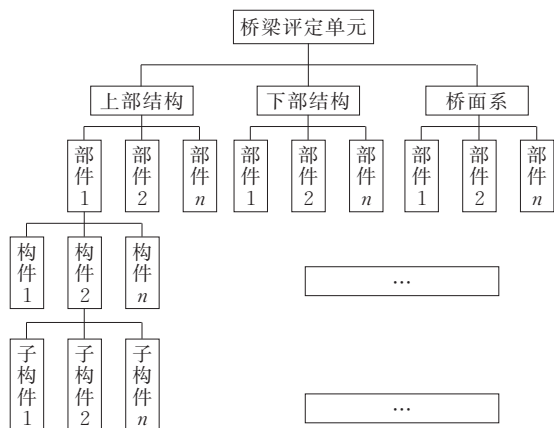


图1 桥梁结构解析体系

在结构解析的基础上,参照国家、地方和行业相关标准,建立构件编码体系,实现实体构件与BIM模型之间的映射。构件编码由路线编号、行政区划代码、桥梁编号、单元编号以及构件编号组成,其中构件编号由构件分类标识码和实体构件序号号构成,以此表征构件实体的唯一性,编码体系如图2所示。建模过程中,完成几何信息以及构件编码、技术参数等非几何信息录入。

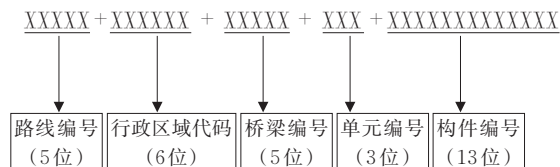


图2 桥梁构件编码体系

1.2 BIM模型轻量化处理与快速加载

为了使桥梁管理人员、检测人员在Web端、APP手持端中快捷浏览定位构件,流畅查看桥梁三维结构及其属性信息,需尽可能减小模型体量,加快模型的加载速度。一方面根据桥梁维保、巡检及评定需求,确定桥梁建模标准,减少桥梁细小特征的建模工作,简化桥梁构件的展示方式,并按照构建类型、区域等合理整合对象节点;另一方面在BIM建模时通过多轮廓放样,以关键性轮廓控制模型精度,最终成型的模型体量可缩小5~10倍;其次,利用共享单元复用技术,对重复构件进行规划创建单元库,参数化共享元族库;线性超长构件则采用mesh化网格处理进一步优化减小模型体量。此外,对于检测任务进行精细化分配管理,以构件为单位分配任务给检测人员,发送与任务相关的BIM模型到APP端,减少APP端模型加载压力,便于人员快速地对三维模型进行信息管理,如对构件的关联信息进行查询、更改和删除等操作,包括在三维模型上标注病害位置、链接病害照片等。

1.3 桥梁模型信息初始化

BIM模型是桥梁各类信息的载体,模型构建后需根据维保、检测等业务需求,录入桥梁信息模块提及的桥梁基本信息以及构件信息。其次,需合理划分桥梁评定单元并录入对应信息,系统可根据划分好的评定单元识别桥梁各部件和构件的数量,用于桥梁技术状况评定计算。此外,BIM模型要与GIS数据融合匹配,为桥梁构件的定位提供支撑,系统可

提供桥梁二维地图和三维场景两种可视化展示方式。

1.4 基于BIM的桥梁技术状况评定流程

参照《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011),按照构件→部件→部位→全桥的顺序开展桥梁技术状况评定工作,评定流程如图3所示。与传统的评定流程相比,基于BIM的桥梁技术状况评定流程主要增加了现场数据采集过程中病害与BIM模型构件的绑定环节。基于BIM模型,一方面实现病害的快速定位,另一方面可持续记录桥梁病害情况,形成病害记录,桥梁维养及评定人员可基于此判断病害的发展趋势。

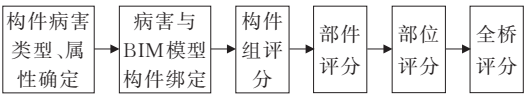


图3 基于BIM的技术状况评定流程设计

2 基于BIM的桥梁技术状况评定系统设计

2.1 系统总体设计

系统分为应用层、业务逻辑层及数据访问层,采用B/S架构,主要由后台管理模块(Web端)及数据采集模块(APP移动端)两部分构成,系统与桥梁BIM模型挂接,轻量化BIM模型可在Web端及APP移动端快速调用。系统管理平台具备信息管理、任务管理、统计分析及报告生成等功能,可通过移动网络将检查计划及对应的桥梁信息数据下发APP移动端,现场检测人员使用APP移动端采集、录入桥梁病害数据,完成检查工作后将检查数据上传至系统管理平台,实现数据同步,系统管理平台对数据进行处理并自动生成检查报告。系统功能规划、系统总体框架及业务流程图如图4~6所示。

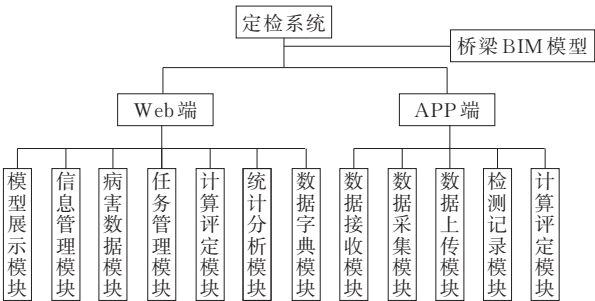


图4 系统功能规划

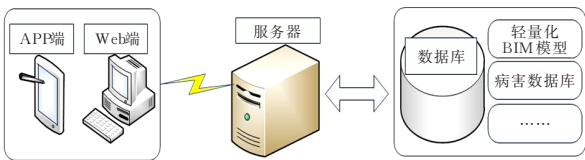


图5 系统总体框架

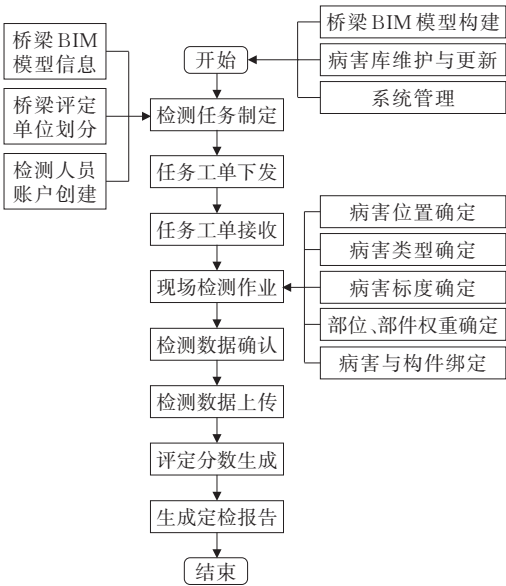


图6 系统业务流程

2.2 系统功能模块设计

2.2.1 Web端主要功能设计

Web端主要功能包括模型展示模块、桥梁信息管理模块、病害数据模块、任务管理模块、计算评定模块、统计分析模块以及数据字典模块。

(1) 模型展示模块

模型展示模块主要展示桥梁BIM模型,展示桥梁结构解析体系,快速查找桥梁部件、构件,显示桥梁信息、病害数据、巡检进度状态等信息。通过BIM与GIS数据融合,可提供二维地图和三维场景两种可视化展示方式。

(2) 信息管理模块

桥梁信息模块主要包含桥梁基本信息以及桥梁构件信息,其中桥梁基本信息包含行政识别信息(如桥梁名称、编码、桩号等)以及结构技术信息(如桥梁类型、长度、跨径、跨数等);桥梁构件信息包含构件识别信息(如构件名称、编码、桩号等)以及结构技术信息(如构件几何信息、材料信息、产品技术参数等)。桥梁信息在BIM建模数据初始化阶段录入,为便于后期信息更新,支持信息批量导入,如桥梁卡片

表格信息。

(3) 病害数据模块

病害数据模块主要实现 3 方面功能:① 检测数据的自动同步或人工补录;② 构件病害库构建与更新,梳理病害类型及对应的标度,提供病害标度定性定量描述以及对应的病害图片作为判断参照,为现场作业人员的病害评级提供参考标准;③ 与 BIM 模型挂接并建立桥梁病历,存储构件病害数据,在时间维度上呈现病害变化情况,为巡检人员判断病害发展趋势提供支撑。

(4) 任务管理模块

任务管理模块主要实现两方面功能:① 检测人员账号创建、权限管理、作业轨迹显示以及任务执行情况统计等;② 结合桥梁评定单元划分创建检测任务,以工作工单派发的形式分配检测任务,并通过系统下发检测任务至 APP 移动端。巡检任务信息包含巡检计划以及对应的桥梁评定单元模型信息,巡检人员可基于下发的桥梁单元 BIM 模型,快速定位病害的位置以及对应的桥梁构件。

(5) 计算评定模块

计算评定模块主要实现两方面功能:① 根据桥梁的部位、部件类型自动分配相应的权重值,此外,系统具备自定义权重的功能;② 根据巡检上传的数据,依据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011)的计算流程快速计算桥梁技术状况得分,得出相应的状况等级,同时可结合桥梁单元划分进行单独计算。

(6) 统计分析模块

统计分析模块主要实现两方面功能:① 自动生成检查报告,提高报告编辑效率;② 通过图形、表格的形式,展示桥梁的病害类型、数量等数据,如病害统计图表、技术状况等级图表等。

(7) 数据字典模块

数据字典模块,是 Web 端与移动端数据采集与管理的基础,主要用于规范化、标准化地录入现场采集的病害类型、病害标度及病害属性,提升现场作业效率。该模块由桥梁部件字典库、桥梁病害采集层字典库、桥梁病害输入法字典库、桥梁部件权重值字典库等部分组成。数据字典模块用于检测过程中维护、完善系统功能,提高巡检效率。

2.2.2 APP 端主要功能设计

APP 端主要功能包括数据接收模块、数据采集模块、数据上传模块、检测记录模块以及计算评定模块。

(1) 数据接收模块用于接收任务管理模块下发的检查任务、对应的桥梁评定单元模型及相关病害信息数据,为巡检工作提供支撑。

(2) 数据采集模块用于病害数据采集,按照巡检业务流程,可采用桥梁 BIM 模型快速定位桥梁构件位置,采用手持端采集病害照片,通过“BIM+GIS”快速辅助定位病害位置,并将病害与桥梁构件关联,通过病害库辅助判断病害的类型及标度,完成病害数据的采集。此外,根据构件的病害记录,检测人员可判断病害是否是原有病害,并对病害的发展趋势进行判断,实现对病害发展情况的分析与追踪。

(3) 数据上传模块用于同步检测数据,在完成巡检作业后,使用数据上传模块将病害数据同步至 Web 端的病害数据模块。

(4) 检测记录模块用于查询检测完成情况。

3 实践案例

港珠澳大桥是连接粤港澳三地的大型跨海通道,是国家高速公路网中珠江三角洲地区环线的组成部分和跨越伶仃洋海域的关键性工程。大桥全长约 55 km,其主体工程长约 29.6 km,其中岛隧工程长约 6.7 km,桥梁工程长约 22.9 km。大桥设置青州桥、江海桥、九洲桥 3 座通航孔斜拉桥,该系统以港珠澳大桥青州桥为依托进行开发,通过构建青州桥 BIM 模型,基于该模型开发研发桥梁技术状况评定系统,并初步应用于大桥的日常巡检及技术状况评定工作中。

3.1 青州桥 BIM 模型展示界面

通过制定青州桥结构解析及编码规则体系,在物理桥梁与数字模型方面实现双向关联,并将设计阶段和施工阶段的桥梁构件属性信息赋予 BIM 模型。通过 BIM 模型,可直观查看桥梁构造、桥梁属性及相关病害信息,并快速定位病害位置。

3.2 APP 移动端病害快速采集界面

现场巡检人员通过 APP 端接收 Web 端下发的检查任务,并据此开展桥梁技术状况评定工作。巡检

人员现场通过移动端设备定位病害后,通过系统推送的对应病害图形标杆及桥梁技术状况评定标准中规定的病害标度分级标准信息,并提供该构件的历史病害,辅助定检人员快速判断病害标度及发展趋势,可有效提升现场作业效率。

3.3 病害的三维可视化表达界面

完成病害与构件关联后,可在BIM模型界面上标记病害位置,并可直观地查看桥梁的病害信息,实现对病害的长期追踪。

3.4 桥梁技术状况评定结果的可视化表达

完成病害上报后,可自动计算桥梁技术状况得分,将桥梁技术状况评定结果与BIM模型进行结合,以差异化的呈现方式展示桥梁部件的得分状况,直观了解构件的病害程度,如图7所示。

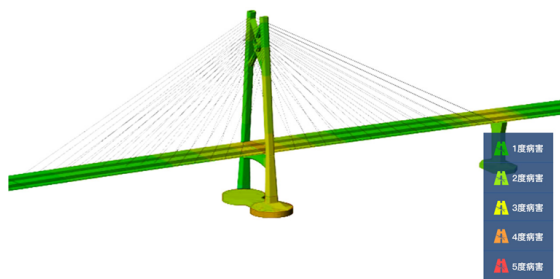


图7 桥梁技术状况评定结果可视化展示

4 结语

结合现行的桥梁技术状况评定标准,梳理目前桥梁技术状况评定工作中存在的问题,分析桥梁结构解析与构件编码体系、模型轻量化处理及信息初始化等建模需求,并基于桥梁技术状况评定业务需求设计系统总体框架及业务模块功能。以港珠澳大桥青州桥为工程依托,构建青州桥BIM模型并基于模型开发桥梁技术状况评定系统,初步在港珠澳大桥青州桥的日常巡检以及技术状况评定工作中进行测试应用,可提升桥梁技术状况评定信息化及数字化水平,有效提高现场作业效率,通过长期的定检工作积累病害数据,实现对桥梁服役性能长

期追踪。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部.2021年交通运输行业发展统计公报[EB/OL].(2022-05-25)[2022-07-06].http://www.gov.cn/shuju/2022-05/25/content_5692174.htm.
- [2] 交通运输部公路科学研究院.公路桥梁技术状况评定标准:JTG/T H21—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 陈树礼,刘永前.城市与公路桥梁技术状况评定方法对比分析[J].建筑科学与工程学报,2018,35(3):95-103.
- [4] 贺志勇,戴少平,袁辉明.CBMS在高速公路桥涵养护管理中的应用[J].中外公路,2010,30(1):194-196.
- [5] 周家刚,林潘,陈晓玉.苏通大桥养护管理系统升级改造[C]//全国公路养护技术学术年会,2013.
- [6] 康俊涛,郑冰,秦世强,等.银川滨河黄河大桥养护管理系统的研究与开发[J].公路,2017,62(4):287-292.
- [7] 关良勇,王润建.移动终端和云平台条件下的桥梁定检智能作业系统[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(8):209-213.
- [8] 方留杨,陈华斌,吴晓南,等.基于无人机三维建模技术的桥梁检测方法研究[J].中外公路,2019,39(1):109-113.
- [9] 何飞,戴玮.基于BIM的公路桥梁技术状况评定方法研究[J].山东交通科技,2021(1):118-120.
- [10] 李亚君.BIM技术在桥梁工程运营阶段的应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [11] 常诚.BIM技术在桥梁设计阶段的应用研究[J].中外公路,2021,41(4):131-134.
- [12] 田琼,周基,芮勇勤,等.基于BIM+GIS的槐树坪隧道信息化施工研究[J].中外公路,2019,39(6):158-161.
- [13] 胡兴意,陈波,刘国强,等.融合BIM与影像建模技术的桥梁检测方法及其应用研究[J].中外公路,2020,40(1):107-112.
- [14] 高志勇.杭州湾跨海大桥养护管理系统的设计与应用[J].公路,2013,58(3):196-201.
- [15] 邵新鹏,钱宇音,倪一清.结构健康监测系统与巡检养护管理系统在青岛海湾大桥上的一体化设计[J].公路,2009,54(9):201-205.
- [16] 张贵忠,赵维刚,张浩.沪通长江大桥数字化运维系统的设计研发[J].铁道学报,2019,41(5):16-26.
- [17] 代希华,李法雄,杨昀,等.虎门二桥BIM建养一体化建设[J].中国公路,2017(6):68-71.