

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.07.059

基于 BIM 模型的桥梁力学分析融合应用研究

孟祥荫, 元 宇

(华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘 要: 随着数字交通强国等一系列政策的提出,BIM 技术成为信息化的重要抓手。通过分析 BIM 与力学分析数据的关系,得到了基于 BIM 构件理念的力学基础信息分类。同时,通过基于 BIM 模型的桥梁力学响应快速分析方法实现了力学数据动态可视化分析,通过本系统可以极大地完善监测的结果动态对比,辅助设计人员进行快速决策,为施工方案的确定提供了一定的理论依据。

关键词: BIM;桥梁;力学分析;数据融合;可视化分析

中图分类号: U441 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2023)07-0248-04

0 引 言

力学分析在设计阶段是一个重要的工作内容,但这些数据在施工和养护中很难加以利用,主要是因为缺少一个有效的方法和手段。目前 BIM 模型中的信息以一些常规信息为主,鲜有力学分析数据,而力学分析数据是桥梁工程最为重要的数据之一^[1]。力学分析的工况会根据不同的设计参数、施工工艺和养护的程度不断地发生改变。而且与常规信息相比,力学数据是包括模型在内的所有节点的内力和变形集合,无法用简短的语言进行描述,需要分析力学分析中的力学数据库与三维模型的联系,并将两者建立关联,实现模型与力学分析的融合,并将其传递给下游单位^[2]。

力学分析数据始于设计阶段,又受设计、施工和养护等阶段的影响,与 BIM 模型本身具有极高的契合度,若将两者结合并实现全生命周期的传递,打破数据孤岛,对公路建养一体化具有重要意义^[3]。

本文涵盖了典型公路混凝土桥梁 BIM 模型传递及力学分析融合研究,因此,在进行现状调研分析的基础上,结合公路桥梁建养全生命周期的一体化关键技术研究成果,依据桥梁的设计、施工和养护 3 个不同阶段的业务要求进行传递及应用研究,并通过 BIM 模型和力学分析 2 条主线,将上述 3 个方面研究连接成一体化的研究成果,形成了如图 1 所示的项目研究路线。

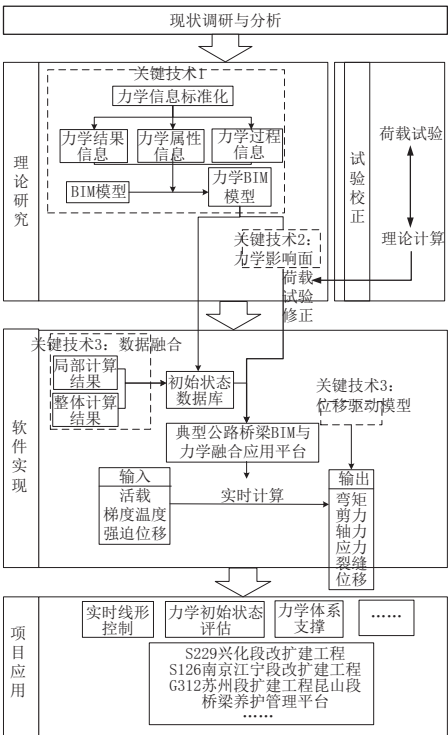


图 1 技术路线图

1 典型桥梁力学分析基础数据

1.1 力学信息划分原则

由于力学信息需要随着 BIM 模型进行全生命周期的传递,因此其划分需要符合 BIM 构件划分的特点,通过设置相同的表头编码(或为 ID)和构件编号,实现两者的关联。同时结合桥梁工程力学计算文件的信息特点,明确工程实体的构件组成、构件的上下层级关系,以及工程实体中每一个构件所对应的力学信息种类和数量,确保数据的完整、无缺失,将计算文件中的力学信息按照工程主要受力构件进行细分。依据上述原则将工程实体分解为按照主要受力构件的编

收稿日期: 2022-07-26
基金项目: 江苏省交通科学研究计划(2019Y69)
作者简介: 孟祥荫(1994—),男,硕士,工程师,从事交通信息化工作。

码顺序,目的是明确信息与模型的关联性,避免信息重复,确保信息的唯一性,有效保障后续力学信息数据库的有效性^[4]。

1.2 力学结果信息的分类

与力学属性信息的分类方式相似,根据每个构件的验算结果,基于 BIM 模型构件的划分,将构件的受力信息分为承载力极限状态、持久状况、短暂状况和正常使用极限状况。力学结果信息分类表见表 1。

表 1 力学结果信息分类表

类别	大类	中类	小类
力学结果信息	承载力极限状态受力	正截面抗弯	最大抗力
			最大内力
			最小抗力
			最小内力
		斜截面抗剪	最大验算剪力
			抗剪承载能力
	持久状况构件应力	混凝土最大压应力	截面抗剪承载力
		钢绞线拉应力	
	短暂状况构件应力	法向应力	压应力
			拉应力
正常使用极限状态	短期组合效应		最小拉应力
			最大拉应力
	长期组合效应		上缘最小正应力
			下缘最大正应力

2 典型桥梁 BIM 与力学信息融合

2.1 整体计算与局部计算的数据融合

图 2 为整体模型与局部模型融合过程。整体计算是用于分析桥梁结构整体安全、确定桥梁典型截面的配筋等重要指标的。局部计算则用于分析局部受力较大位置应力分布情况,并进行结构安全验算和局部指标的加密,确保桥梁在特殊断面上的受力安全。由于整体计算和局部计算是采用两套不同的力学分析软件进行数值模拟的,因此两者计算的基础数据不同,导致两者的数据是相互孤立的。但是在做局部计算时,需要用到整体计算的内力作为局部分析的外部载荷。若两者没有融合,在计算文件中较难发现人为数据交换时数据的正确性,在统一的环境下,将数据进行可视化处理,一目了然地掌握局部计算的合理性。

2.2 模型力学信息云图渲染技术

可视化云图作为有限元分析中的一种常用的可视化技术,可直观地反映更多的信息量等优越性,多应用于有限元系统的后处理。本节介绍三维有限元

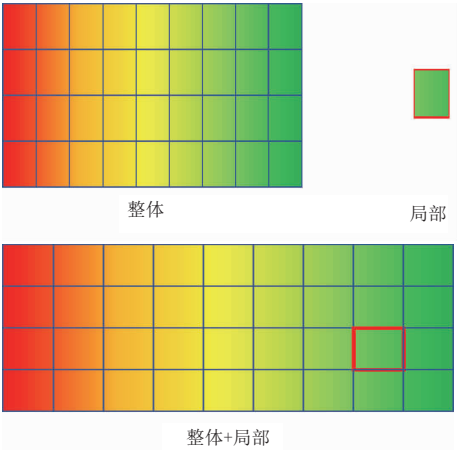


图 2 融合自然过渡

模型表面的等值云图的实现,用不同的颜色标识不同的物理量,能够更直观和清楚地显示场量的分布,更加有利于分析人员的研究。

首先利用渲染引擎中的函数分别将场量最大值与白色对应,最小值与黑色对应,中间部分的颜色利用线性比例实现不同颜色和场量值的一一对应。建立颜色映射时,为了实现后面的填充,将单元的 3 个节点场量对应的颜色值存入动态数组中。在完成上述颜色表建立后,利用渲染引擎中的函数 glPolygon-Mode(GL FILL)模式对每个单元的每个面依次进行填充。三维模型表面等值云图如图 3 所示。

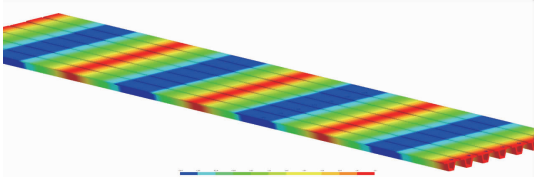


图 3 三维模型表面等值云图

2.3 节点位移驱动轻量化模型变形技术

BIM 模型轻量化以后,模型的几何尺寸和位置基本上就不能发生变化。实现该项技术的难点有两点,分别为:(1)如何解析轻量化模型文件,找到轻量化模型中的关键节点,并解析出相关的节点信息,通过轻量化渲染引擎读取后在 Web 平台重构三维模型。(2)模型节点和计算的节点单元如何对应。在建模的时候就需要考虑两者的对应关系,将单一的组合箱或者其他梁按照节点和单元的模式进行拆分,使其满足相关的要求。当存在局部计算时,节点坐标是与整体计算叠加后形成的总位移值。

3 平台架构设计与功能开发

平台与专业三维引擎集成,实现实体模型与计算模型、计算结果的高度融合,平台不仅能保证模型完整性,还支持在浏览中实时将计算结果与分析模

型的集成,保证良好的速度与交互体验。系统以 BIM 实体模型、计算模型和计算结果为核心基础数据,以三维引擎为展示载体,将实体模型与计算模型、计算结果信息相结合,实现对桥梁设计的可视化管理。

平台以桥梁设计 BIM 实体模型、计算模型、局部实体模型为依托,以模型分析结果为基础,开发一个桥梁 BIM 力学信息融合应用平台,实现以下主要功能:模型目录管理、模型管理、模型分析结果展示,以及模型与云图、形变、云图+形变的融合展示。桥梁 BIM 力学信息融合应用平台分为 3 层,分别为基础设施层、数据中心层、软件平台层。系统软件架构如图 4 所示。

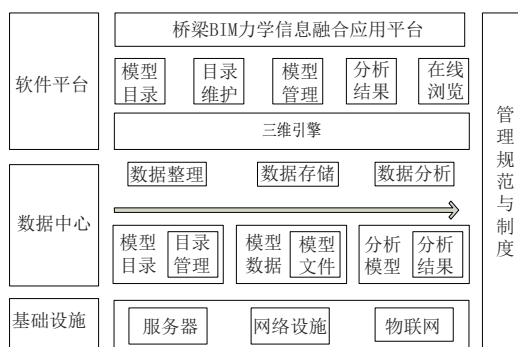


图 4 系统软件架构

基础设施层包含网络设施、服务器、物联网等基础环境的搭建,是支撑整个平台运行的核心基础。

数据中心层包括对系统所有数据的管理,主要包含数据整理、数据存储、数据分析 3 大内容。数据整理包含对模型按照类型和项目进行分类整理,方便使用人员快速高效地检索所需要的模型。数据存储支持对系统中所有数据进行存储,分别包括 BIM 实体模型、计算模型、局部实体模型、计算结果等数据。数据分析是对模型文件、计算结果进行分析和融合,为后续模型浏览和融合展示奠定数据基础。

软件平台层包括三维引擎平台和力学分析平台的集成,以三维引擎为载体,以 BIM 实体模型、计算模型、局部实体模型、计算结果、分析结果为基础数据,实现在力学分析平台中进行可视化展示的目标。

平台采用.NET MVC 框架、SQL Server/Sqlite 数据库、B/S 架构模式、集成公司三维引擎平台,对桥梁模型、分析结果等进行统一管理。利用 WebGL 技术,在浏览器中加载 CATIA 模型及计算结果,实现模型与云图、形变、云图+形变的集成展示。

界面层(user interface layer,UI)主要是与用户交互的界面,通过 Web 浏览器、手机 APP 用于接收用户输入的数据和显示处理后的数据。

控制器(controller)处理用户交互的部分,负责从视图读取数据,控制用户输入,并向模型发送数据。

信息安全层 (information security layer,ISL)用户访问安全保障,实现安全认证。

业务逻辑层(business logic layer,BLL)是 UI 与 DAL 之间的桥梁,实现业务逻辑,主要包括验证、计算、规则等。

数据访问层(data access layer,DAL)与数据库交互,实现对数据的 CURD,将存储在数据库中的数据提交给业务层,同时将业务层处理的数据保存到数据库。

根据导入结果,计算节点每一种分析类型对应的结果,通过测算出每个节点的增量和力学响应快速分析功能,可以设置每一种结果的放大倍数和常数。根据提供的线性公式和设置的分析参数,计算出每一个节点的实时值。最后通过节点,将实时值反馈在模型中进行展示。平台实时计算结果如图 5 所示。

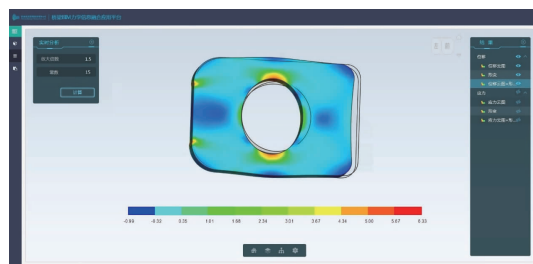


图 5 平台实时计算结果

4 应用实例

4.1 项目背景

126 省道南京江宁区分段改扩建工程起自普觉寺附近接 126 省道雨花台区段,沿现状宁丹路向南,途经牛首山景区大门、河海大学、隐龙山公墓,利用现状绕越高速桥孔下穿,路线继续向南经东善桥片区、江苏软件园、禄口新城、横溪新市镇,下穿常合高速后继续向南,终点止于苏皖省界,与安徽省马鞍山市规划 S446 顺接,路线全长 32.92 km。

4.2 BIM 模型建立

依据现行 BIM 相关标准规定,建立项目 BIM 模型。根据力学分析要求,确定计算截面,拆分 BIM 构件形成计算单元。拆分后的模型如图 6 所示。

4.3 数据应用

由于本项目处于设计阶段,主要用于测试平台在设计阶段力学信息划分合理性和平台展示效果,实现设计阶段信息的数字化,并针对施工和养护过

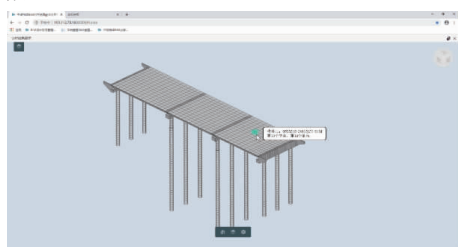


图 6 拆分后的模型

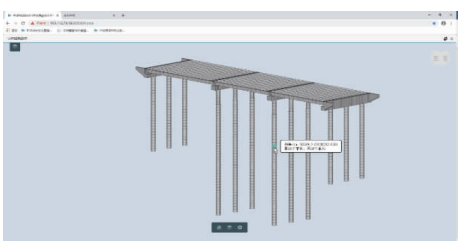
程中出现的不利情况进行桥梁力学分析。

(1) 平台节点信息显示

平台节点信息展示如图 7 所示。平台根据鼠标的位置,悬停一段时间后,即弹出当前鼠标所在节点的简要信息。



(a) 上部结构



(b) 下部结构

图 7 平台节点信息展示

(2) 局部计算和整体计算一体化分析

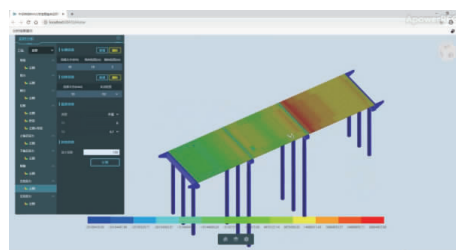
一体化计算模式如图 8 所示。在桥梁力学分析中,整体计算和局部计算采用 2 种不同的软件,结果存在 2 套数据库中。本平台在设计完成后可实现局部计算和整体计算的一体化分析,将原有的 2 套体系融合成一个整体。

(3) 力学分析

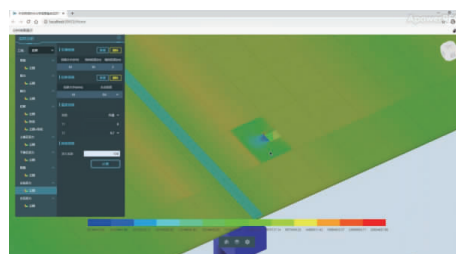
桥梁关键节点的弯矩数值如图 9 所示。通过平台也可依次导出上述计算过程中某部分关键节点位置处的桥梁效应值,用具体的数值和不同的关系曲线分析桥梁的状态,方便结构工程师在原有的分析模式下清楚地分析桥梁的结构安全。

5 结 论

本文通过分析 BIM 与力学分析数据的关系,得到了基于 BIM 构件理念的力学基础信息分类和力学

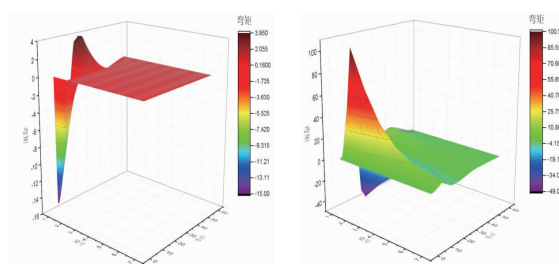


(a)



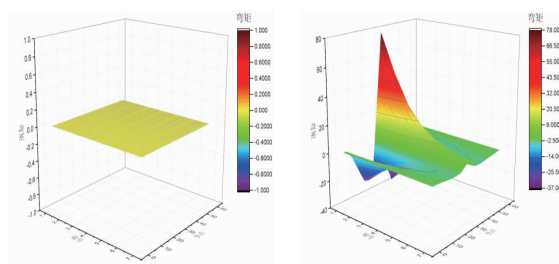
(b)

图 8 一体化计算模式



(a) 1 号节点

(b) 10 号节点



(c) 19 号节点

(d) 30 号节点

图 9 桥梁关键节点的弯矩数值

信息全生命传递的方案。同时,基于建立整体计算和局部计算的数据包实现了 2 种计算的结合,并实现了力学数据动态可视化分析,在检测已有监测手段的基础上,可以极大地完善监测的结果动态对比,如桥梁的拉索,在日常监测中只是对拉力与材料的允许值进行对比,而利用本平台可将拉索的变化趋势显示出来,通过变化趋势辅助人员进行快速决策。

参考文献:

- [1] 孙鹏辉.张吉怀铁路石碧村特大桥施工 BIM 技术研究与应用[D].石家庄:石家庄铁道大学,2021.
- [2] 高祖轩.张吉怀铁路南山大桥施工 BIM 技术研究与应用[D].石家庄:石家庄铁道大学,2021.
- [3] 杨华伟.铁路转体桥施工 BIM 技术研究与应用[D].石家庄:石家庄铁道大学,2021.
- [4] 宋怀东.基于 BIM 的铁路梁桥设计一体化技术研究与程序研发[D].西安:长安大学,2021.