

梁式桥检测数据可视化管养方法

左永辉¹,程勋煜²,宗跃然²

(1.江苏交通控股有限公司,江苏 南京 210018; 2.江苏高速公路工程养护技术有限公司,江苏 南京 211106)

摘 要: 现有桥梁管理系统(BMS)中大都利用表格、文字和图片展示信息,人机交互体验性较差,从而限制了数据获取和数据维护的效率。给出基于 B/S 架构研究梁式桥的模型生成方法,梳理构件存储字段,理清构件的逻辑顺序,将模型与数据进行关联,基于三维模型提出桥梁检测数据的三维可视化管养方法,具体给出各可视化模块的功能和架构,提升桥梁管养水平和数据利用效率。

关键词: 梁式桥;三维可视化;参数化;B/S 架构;系统应用

中图分类号: U495

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)10-0187-05

0 引 言

截至 2022 年末,全国公路桥梁已超过 103.32 万座,共计 8 576.49 万延 m,其中中小跨径桥梁占比超 83.7%^[1]。随着公路桥梁数量规模的逐步扩大,公路桥梁养护管理的任务也将越来越繁重。传统的桥梁养护管理模式面对繁杂的数据报告,容易产生数据错误或遗失现象。随着信息化技术的发展,桥梁管理系统(BMS, Bridge Management System)应运而生,作为辅助管理者进行桥梁日常管理、分析和决策的管理工具,但当前 BMS 中大都利用表格、文字和图片展示信息,数据的关联性和可视化程度较低,人机交互体验性较差,从而限制了数据获取和数据维护的效率^[2]。

同时在桥梁养护实际检测流程中,传统纸质定检病害记录表也逐渐向电子记录档案迈进,发展数字化检测以成为桥梁养护行业发展趋势,而桥梁三维可视化则是实现数字化检测的基础^[3]。在桥梁三维可视化方面,茅建校等基于 BIM 发展了一种桥梁监测数据可视化方法,将监测数据与传感器模型相关联^[4]。针对中小跨径桥梁手动建模繁琐的特点,王玺翔等提出了一套基于 WebGL 的桥梁快速建模和信息可视化解决方案^[5]。

本文根据江苏交控既有桥梁管理系统(BMS)的桥梁结构化基础数据和检测数据^[6],基于 B/S 架构研

究梁式桥的模型生成方法,并开发实现梁式桥模型生成工具,最后提出桥梁检测数据的三维可视化管养方案,提升桥梁管养水平和数据利用效率。

1 梁式桥模型生成方法

基于对江苏交控桥梁管理系统和桥梁检测部分的实际业务调研,明确桥梁构件是作为桥梁病害绑定和技术状况评定的最小划分单元。本文结合检测管理模块数据库,梳理出江苏交控 BMS 构件存储字段如表 1 所列。

表 1 江苏交控 BMS 构件存储字段

字段名	字段说明	示例
id	构件 ID	7FFD7C9779C7DBF97933E4074B426FE7
memberNo	构件编号	16-1-1-0-null
memberType	构件类型	底板
partsType	部件类型	上部承重构件

其中,id 是由 32 位 16 进制随机编码组成,是该构件在 BMS 中的唯一标识。memberNo 字段编号规律由“孔号—纵桥向编号—横桥向编号—大小桩号标识—特殊标识”五位信息编号构成,同一桥梁同一构件类型的 memberNo 编号唯一,用于明确桥梁构件的具体位置。

基于江苏交控 BMS 现状,在实际的业务过程中形成了较为完善的桥梁构件划分和桥梁检测数据。在模型资产的生产方面,本文提出以构件的基本单元的梁式桥模型生成方法,以模型生成逻辑为核心,依托既有的 BMS 桥梁结构数据直接生成桥梁模型。

收稿日期: 2023-10-07

作者简介: 左永辉(1991—),男,硕士,工程师,从事高速公路养护与管理工作。

1.1 桥梁模型生成逻辑

以构件为基本单元的建模划分符合实际的管养业务需求,基于现行检测规范将梁式桥梁构件划分为上部结构、下部结构、桥面系 3 个部位,每个部位再由多个类型构件组合而成。因此桥梁模型生成逻辑将由局部到整体,即先生成单一构件的模型,再根据桥梁的模型生成逻辑将构件拼装成整体的桥梁模型。

桥梁三维结构模型展示是为了使用户能够直观

的获取和理解桥梁的几何特征信息,但为了和实际的桥梁检测业务相结合,需要将桥梁模型根据 BMS 中的结构信息进行构件化拆分,基于对江苏交控 BMS 的桥梁基础数据进行统计,梁式桥的上部结构形式以预制空心板、组合箱梁、等截面箱梁为主,本文主要针对以上 3 种桥型及相应的下部结构、桥面系建立模型生成逻辑。以预制空心板为例,结构拆分及对应的构件名称格式如表 2 所列。

表 2 江苏交控 BMS 预制空心板结构拆分及对应的构件名称格式

部位	部件类型	构件类型	构件命名格式	示例
上部结构	上部主要承重构件	翼板	{横桥向编号}{构件名称}	1# 翼板
		腹板	{横桥向编号}{构件名称}	1# 腹板
		底板	{横桥向编号}{构件名称}	底板
	上部一般承重构件	铰缝	{横桥向编号}{构件名称}	1# 铰缝
	支座	支座	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	1# 墩 1# 支座
下部结构	翼墙、耳墙	翼墙	{墩台号}{特殊标识}{构件名称}	0# 台左侧翼墙
		耳墙	{墩台号}{特殊标识}{构件名称}	0# 台左侧耳墙
	锥坡、护坡	锥坡	{墩台号}{特殊标识}{构件名称}	0# 台左侧锥坡
		护坡	{墩台号}{构件名称}	0# 台护坡
	桥台	立柱	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	0# 台 1# 立柱
		肋板	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	0# 台 1# 肋板
		台帽	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	0# 台台帽
		台身	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	0# 台台身
		台背	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	0# 台台背
	桥墩	立柱	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	1# 墩 1# 立柱
		盖梁(墩帽)	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	1# 墩盖梁(墩帽)
		系梁	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	1# 墩 1# 系梁
		实体墩身	{墩台号}{横桥向编号}{构件名称}	1# 墩实体墩身
	墩台基础	墩基础	{墩台号}{构件名称}	1# 墩墩基础
		台基础	{墩台号}{构件名称}	0# 台台基础
桥面系	桥面铺装	桥面铺装	{构件名称}	桥面铺装
	伸缩缝	伸缩缝	{构件名称}	伸缩缝
	人行道	人行道	{特殊标识}{构件名称}	左侧人行道
	栏杆、护栏	栏杆	{特殊标识}{构件名称}	右侧栏杆
		护栏	{特殊标识}{构件名称}	左侧护栏
		防撞墙	{特殊标识}{构件名称}	右侧防撞墙

以上部结构为例,主梁部分可通过不同的桥型截面沿桥梁行进方向拉伸成几何实体。横向片数则可通过 BMS 中的单跨上部主梁承重构件的数量进行计算。同时考虑江苏交控 BMS 主梁有底板、腹板、翼板的拆分,需要将单片主梁再进行精细化拆分,完

成构件模型与构件信息一一对应。

1.2 模型调整与数据关联

接着,根据上述方法,本文建立的桥梁三维模型的几何特征来源于 BMS 结构化数据,在模型的生成过程可直接埋入模型的构件 ID,实现构件的自动数

据关联。由于构件 ID 在桥梁系统数据库是随机生成的唯一识别码,由此可以将该构件各项的检测数据包括构件评级评分、构件所属病害、养护维修信息都与构件 ID 进行关联绑定,绑定完成后即可直接通过桥梁的构件模型独立检索到构件的相关检测信息。

但在实际操作过程中,由于三维模型的几何特征还收到模型生成逻辑的影响,导致在模型构件数据不准确的情况下,会造成数据与生成逻辑的冲突,进而导致构件的自动数据关联失败。以一片组合箱梁为例,在系统中的标准构件数据应包含 1 片底板、2 片翼板、2 片腹板(顶板因隐藏在内部无法被桥梁外观检查记录故不包含在构件列表中)。底板、翼板、腹板的比例为 1:2:2,若此时实际的系统构件数据不满足这一比例,则会导致生成的模型构件缺失且无法进行数据关联,此时应手动修正桥梁结构数据并手动绑定模型与构件数据。

本文使用的模型生成方法能够通过 BMS 结构化数据和预设逻辑规则快速建立桥梁三维模型,模型的精细度来源于结构数据的详细程度,当 BMS 结构化数据发生改变时,可以依据该方法再次生成桥梁三维模型并进行覆盖,实现模型的快速调整和更新。

2 模型生成工具开发

基于上述模型生成方法,本文根据江苏交控 BMS 的数据库字段与结构拆分规则,设计并开发了梁式桥的模型生成工具,能够根据既有结构化数据快速生成桥梁三维模型,以实现检测数据的可视化管养。

2.1 模型生成工具设计与开发

模型生成工具的整体工作流程和数据流转如图 1 所示。系统的输入来源于既有 BMS 系统中的结构化数据,描述了桥梁的桥跨信息、构件数据和结构外观尺寸数据;完成模型生成后,系统将模型文件录入到数据库,供桥梁检测数据可视化管养页面进行模型调用。

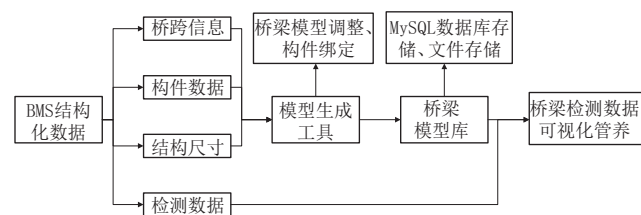


图 1 模型生成工具的整体工作流程

为确保模型和数据流转过程中的易用性,本文开发的模型生成工具选择采用 B/S 架构,在 B/S 架

构中展示桥梁结构的三维可视化模型开发需要基于 WebGL 技术。WebGL(Web Graphics Library)是一种基于 OpenGL ES 2.0 的图形渲染 API,能够在网页浏览器中使用硬件加速进行 3D 和 2D 图形渲染^[7]。WebGL 几乎可以在任何现代浏览器上运行,它已经广泛应用于在线游戏、虚拟现实、数据可视化、科学计算等领域。

2.2 构件参数设计与模型生成

根据上述工作流程可知,模型生成工具的桥梁三维模型是由数据驱动生成的。因此定义各项构件参数对模型的影响是数据驱动生成模型的必要条件。下面以预制空心板为例介绍主梁的构件参数设计。

单片预制空心板主梁可通过底板数量生成对应的主梁模型,根据主梁位置和形状的差异,分为边梁和中梁两种形状。同时根据 BMS 系统构件拆分规则,主梁的截面按需拆分成翼板、腹板、底板,再根据拆分好的截面拉伸成实体。如图 2 所示,本文根据预制空心板方孔的几何特征,定义了截面尺寸描述参数,用户可根据桥梁的实际情况调整截面并生成模型。

完成主梁的模型生成后,再根据铰缝数量在主梁间隙中生成铰缝模型;支座则分为大桩号墩台支座和小桩号墩台支座,根据支座数量在底板下方相应位置生成支座和垫石模型。最终生成的主梁模型如图 3 所示。

高速公路中匝道桥较为常见,而弯桥的桥梁行进路线中不仅仅包括直线,还包括圆曲线和缓和曲线。针对弯桥上部结构的模型生成,需要在构件截面的放样拉伸过程中设置放样拉伸路径为指定的曲线线段。以等截面箱梁上部结构为例,根据曲线放样拉伸生成的模型如图 4 所示。

3 桥梁检测数据可视化管养

本文在可视化管养页面中应用桥梁模型并实现检测数据可视化管养。检测数据可视化管养分为两部分:第一部分是通过三维模型对检测数据进行直观的数据展示,使用户在看到三维模型的时候能直观的评估桥梁的健康状态;第二部分是通过三维模型的交互操作能够快速查阅和统计桥梁的相关养护信息,包括桥梁定检病害信息,桥梁构件评分统计,构件加固历史等内容。

3.1 桥梁模型可视化应用

桥梁结构的可视化是实现桥梁检测数据可视化的基础,基于江苏交控 BMS 结构化数据资产现状,

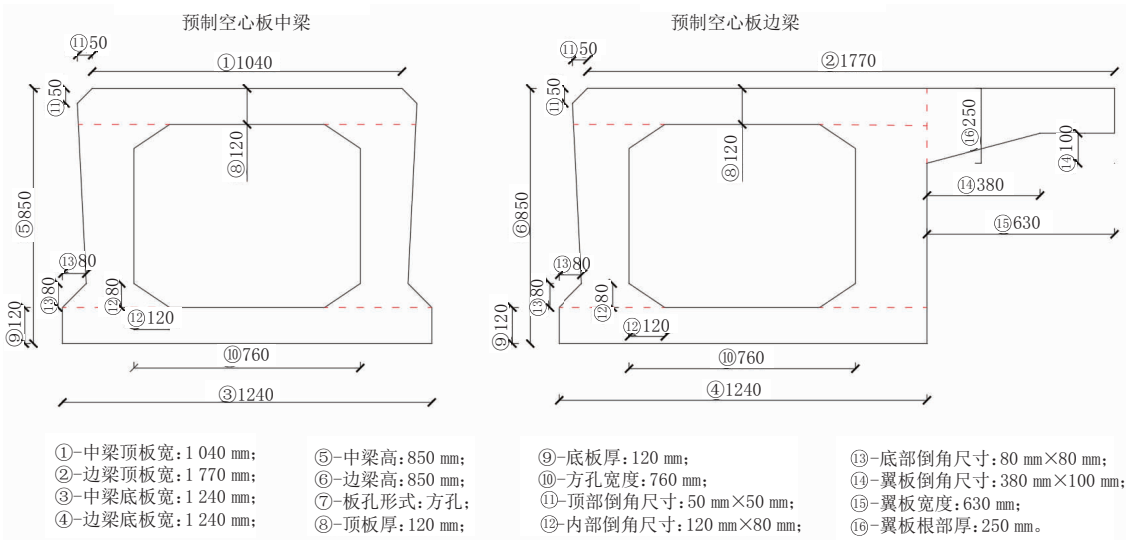


图2 预制空心板参数设计

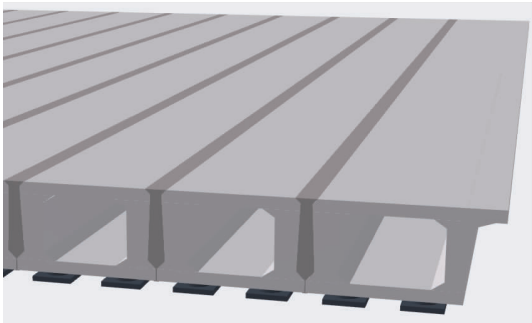


图3 预制空心板模型生成示例

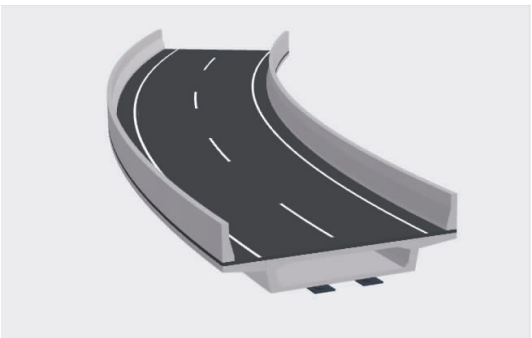


图4 等截面箱梁(弯桥)模型生成示例



图5 桥梁模型与地图场景配准

技术状况评定标准^[8],将构件评分与对应的分级颜色渲染如表3所列。

表3 桥梁构件评分分级颜色渲染规则		
构件评定等级	评分范围	渲染颜色
1类	[95,100]	绿色 #008000
2类	[80,95)	蓝色 #0000FF
3类	[60,80)	黄色 #FFFF00
4类	[40,60)	橙色 #FF8C00
5类	[0,40)	红色 #FF0000

可从BMS检测管理模块数据库中通过构件ID获取相应结构化评分数据(默认显示最新的检测年份数据,可通过选项设置切换),在模型中遍历各构件根据构件评分设置颜色贴图,同时可根据构件评级对构件模型进行分类统计。完成构件分级颜色渲染的桥梁模型效果如图6所示。

3.3 检测病害展示与检测数据统计

在WebGL三维场景中,可通过监听鼠标点选等操作事件,判断用户此时关注的构件,根据埋置在构件模型的构件ID向后端BMS检测管理模块查询数据,并通过应用弹窗展示该构件的更多详细信息,实现桥梁历次检查病害查询,病害类型和特征以及病

本文通过前述模型生成方法根据系统的构件拆分生成相应的桥梁三维模型,并在建模过程中将系统内构件ID与相关的结构模型进行绑定。

在可视化管养页面,为加载桥梁模型文件并进行实际的系统管理应用,通过B/S架构搭建三维可视化场景展示桥梁三维模型,并实现键鼠的操作交互功能,同时在场景中加载三维地图,构建桥梁经纬度信息和水平方位角参数进行桥梁模型与地图的配准,如图5所示。

3.2 构件检测数据可视化

根据检测数据可视化的功能设计,采用构件化检测数据进行可视化颜色渲染,参考现行公路桥梁

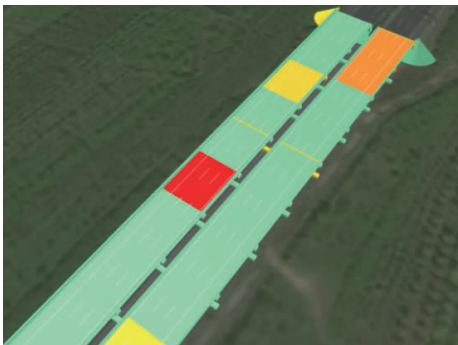


图 6 桥梁检测数据可视化渲染

害图片的浏览,为桥梁病害的关注跟踪提供敏捷高效的工具。点击三维病害后弹出的构件检测病害详情如图 7 所示。同理,桥梁构件的养护加固数据也可以通过相同方法与三维模型绑定并进行可视化展示。

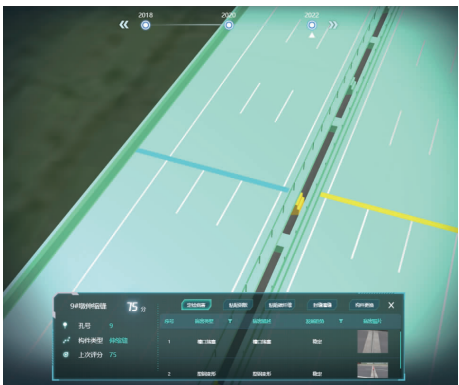


图 7 桥梁构件检测病害详情

为保障可视化平台的基本功能和交互易用性,在页面的左右两侧添加桥梁基本信息和检测信息统计浮窗。基本构件信息通过功能设计和开发形成浮窗数据与桥梁模型的动态交互,例如构件列表的数据分别与模型的各个构件一一对应,形成联动管理,从而通过构件列表的筛选功能快速显隐构件,如图 8 所示。



图 8 桥梁构件列表与模型联动管理

检测信息数据统计快速展示该桥检测任务的具体指标,并能够实时根据场景中构件模型的显隐切换显示的数据,具体的检测关注指标包括:(1)全桥及各部位的评分结果及历年变化趋势;(2)该桥处置对策及下次检查年份(根据检测结果和现行规范匹配对应的结果^[8]);(3)桥梁构件评分分级数量统计。最终形成的桥梁检测数据可视化应用如图 9 所示。



图 9 桥梁检测数据可视化应用平台

4 结 语

本文首先依托江苏交控 BMS 数据库基于 B/S 架构提出通过既有桥梁结构信息建立梁式桥模型生成方法,由结构化数据驱动生成桥梁三维模型,并依照该方法开发实现模型生成工具,最后实现了梁式桥检测可视化管养方法。本文从三维可视化系统应用角度,提供实现 BMS 高效数据获取及可视化展示的有效思路,提升桥梁管养水平和数据利用效率。

参考文献:

[1] 交通运输部.2022 年交通运输行业发展统计公报[EB/OL].交通运输部,2023-06-21[2024-09-12].https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202306/content_6887539.htm.
[2] 胡振中,李连友,陈祥祥,等.基于 WebGIS 技术的新一代桥梁管理系统研究与开发[J].桥梁建设,2015(4):26-32.
[3] 潘永杰,赵欣欣,刘晓光.智慧桥梁理念的探索[J].铁道建筑,2016(1):1-5.
[4] 王珩玮,胡振中,林佳瑞,等.面向 Web 的 BIM 三维浏览与信息管理[J].土木工程信息技术,2013,5(3):1-7.
[5] 王玺翔,车勇,邬刚柔,等.基于 WebGL 的桥梁三维快速建模及信息可视化技术方案[J].公路,2022,67(10):163-168.
[6] 程勋煜,陆海珠,黄若昀,等.中小跨径桥梁养护管理系统研究及开发[J].公路,2021,66(6):362-366.
[7] 程勋煜,沈刚,陆海珠,等.基于桥梁养护管理系统的辅助决策技术研究[J].公路,2022,67(04):346-350.
[8] JTG/T H21—2011,公路桥梁技术状况评定标准[S].