基于 BIM 的公路桥梁协同设计平台构建与数据交换机制

邓文霞
江西省公路工程监理有限公司　江西南昌　330003

摘　要：公路桥梁工程设计涉及多专业协同，传统设计模式存在数据割裂、沟通低效等问题，BIM 技术以其可视化、参数化及协同化优势，为构建高效设计平台提供核心支撑。本文围绕基于 BIM 的公路桥梁协同设计平台展开研究，首先明确平台构建目标原则，设计总体技术架构与核心功能模块；进而分析数据交换需求，提出基于开放标准的交换方法及数据一致性保障机制；最后结合实践阐述多专业模型集成、协同流程管理及成果校审等功能的实现路径，为提升公路桥梁设计效率与质量提供参考。

关键词：BIM 技术；公路桥梁；协同设计平台；数据交换

引言

公路桥梁作为交通基础设施的核心组成，其设计质量直接决定工程建设的安全性、经济性与耐久性。传统公路桥梁设计采用分散模式，多专业依赖二维图纸易形成数据孤岛和沟通偏差。面对复杂桥梁和特殊地质时，易引发设计冲突并增加变更成本。BIM 技术通过三维参数化模型实现数据数字化和可视化，为多专业协同提供基础。在交通强国战略下，推动 BIM 技术与桥梁设计融合、构建协同平台成为必然。研究平台构建与数据交换机制对打破专业壁垒、提升设计效率和保障质量具有重要意义。

1 协同设计平台的总体架构

1.1 平台构建的目标与原则

平台构建的核心目标是打破公路桥梁设计中的专业壁垒，实现多专业数据共享与协同工作，提升设计效率与成果质量。具体而言，需实现设计数据的集中管理与实时同步，确保结构、地质、机电等专业人员获取统一数据源；通过可视化协同环境减少设计冲突，将传统“事后协调”转变为“事前预防”；构建标准化设计流程，规范设计行为与成果交付，为后续施工、运维阶段提供数据支撑。

平台构建需遵循四大核心原则。实用性原则要求紧密结合公路桥梁设计实际需求，功能模块设计兼顾专业性与易用性，避免技术堆砌；开放性原则强调采用开放标准与接口，支持与主流 BIM 软件、设计工具的兼容对接，便于后续功能扩展；安全性原则需建立完善的数据安全保障机制，确保设计数据在存储、传输与使用过程中的安全可控；协同性原则则突出各专业的交互需求，构建便捷的沟通与协作渠道，实现设计过程的无缝衔接。

1.2 平台的总体技术架构

平台采用分层架构设计，自上而下分为应用层、业务逻辑层、数据服务层与基础设施层，各层职责明确、协同联动，确保平台稳定高效运行。基础设施层为平台提供硬件与网络支撑，包括服务器集群、存储设备、云计算资源及高速通信网络，采用云边协同模式，本地终端负责模型操作，云端实现数据集中存储与计算，平衡操作响应速度与数据管理效率。

数据服务层是平台的数据核心，负责 BIM 模型数据、设计文档、地质勘察数据等各类信息的存储、管理与服务化封装。通过构建统一数据中台，整合多源异构数据，采用关系型数据库存储结构化数据，非关系型数据库存储模型文件与文档，确保数据存储的高效与可靠。同时提供数据查询、调用、更新等标准化服务接口，为上层应用提供数据支撑。

业务逻辑层实现平台的核心业务功能，包括协同工作引擎、模型处理引擎、流程管理引擎等。协同工作引擎负责处理多专业协作逻辑，实现数据同步与权限管理；模型处理引擎支持 BIM 模型的导入导出、轻量化处理与参数化修改；流程管理引擎则规范设计流程，实现设计任务的分配、跟踪与验收 [1]。

1.3 平台的核心功能模块划分

基于公路桥梁设计流程与协同需求，平台划分为五大核心功能模块，各模块既相对独立又相互关联，形成完整的

协同设计支撑体系。模型管理模块负责 BIM 模型的全生命周期管理，包括模型创建、导入导出、版本控制与归档，支持 Revit、Bentley 等主流 BIM 软件格式的兼容处理，实现多专业模型的集中存储。

协同工作模块是平台的核心，提供在线沟通、任务分配、进度跟踪等功能，支持设计人员实时共享设计思路与成果，通过批注、标记等功能实现模型修改意见的精准传递。数据交换模块负责平台与外部系统、各专业设计工具之间的数据交互，实现设计数据的无缝流转，支持标准数据格式的转换与解析。

设计校审模块构建标准化校审流程，支持校审人员在线查看模型与设计文档，通过预设校审要点进行针对性审核，自动记录校审意见与整改情况，形成校审闭环。

2 协同设计平台的数据交换机制

2.1 数据交换的核心需求分析

公路桥梁设计涉及结构、地质、交通工程、机电等多个专业，各专业数据类型多样、格式各异，数据交换需求呈现多维度特征。从数据类型来看，既包括 BIM 模型的几何参数、材质属性等模型数据，也包括地质勘察报告、设计规范、计算书等文档数据，还包括设计进度、校审意见等过程数据，需实现不同类型数据的统一交换。

从交换场景来看，存在专业内部数据更新、专业间数据共享、平台与外部系统数据交互等多种场景。专业内部需实现设计人员之间的实时数据同步，确保多人协作时数据一致；专业间需实现模型数据的跨专业传递，如结构专业模型传递给机电专业用于管线综合设计；平台与外部系统则需实现与施工管理系统、造价计算软件的数据交互，为后续环节提供基础数据。

此外，数据交换需满足实时性与可靠性要求。设计过程中数据更新频繁，需确保数据交换的实时性，避免因数据滞后导致设计冲突；同时需保障数据传输的完整性与准确性，防止数据丢失或篡改，确保各专业基于统一、准确的数据开展设计工作 [2]。

2.2 基于开放标准的数据交换方法

为实现多专业、多系统间的数据高效交换，平台采用基于开放标准的数据交换方法，以通用数据格式为载体，结合标准化接口实现数据的无缝流转。在数据格式选择上，采用 IFC 与 BIMXML 两种主流开放标准作为核心交换格式。IFC 标准具有良好的兼容性与扩展性，能够完整描述 BIM 模型的几何信息与非几何属性，支持各专业 BIM 模型的跨软件交换，是平台内部多专业模型数据交换的首选格式。

BIMXML 则以结构化方式存储设计数据，便于数据的解析与处理，适用于平台与外部系统如造价软件、进度管理工具之间的文档数据与过程数据交换。对于特殊专业数据，如地质勘察的钻孔数据，采用行业标准格式如 GeoJSON 进行转换后再纳入统一交换体系，确保数据交换的专业性与准确性。

在交换接口设计上，采用 RESTful API 作为标准化接口，实现数据交换的标准化与规范化。各专业设计工具、外部系统通过调用统一 API 接口实现与平台的数据交互，接口支持数据的查询、上传、下载等操作，具备良好的兼容性与扩展性。同时采用接口认证与权限控制机制，确保只有授权系统与用户才能调用接口进行数据交换，保障数据安全。

2.3 数据一致性保障与冲突解决机制

多专业协同设计中，数据更新频繁易导致数据不一致与设计冲突，需建立完善的数据一致性保障与冲突解决机制。数据一致性保障从源头入手，通过数据权限管理与版本控制实现数据更新的有序性。平台为各专业设计人员分配精细化数据权限，明确数据查看、修改、删除等操作权限，避免未经授权的修改操作；采用增量更新机制，仅同步数据变化部分，减少数据传输量，同时记录每次数据更新的时间、人员与内容，形成完整的数据更新日志。

设计冲突检测是解决数据不一致的关键环节，平台构建多维度冲突检测模型，实现设计冲突的自动识别与预警。基于 BIM 模型的几何参数与空间位置，检测各专业模型之间的空间冲突，如结构梁与机电管线的碰撞；基于设计规范与参数标准，检测模型参数冲突，如混凝土强度等级不符合规范要求；基于数据关联关系，检测跨专业数据引用冲突，如机电专业引用的结构尺寸与结构专业最新模型不一致。

冲突解决采用“自动协调优先、人工干预补充”的机制。对于简单参数冲突，平台根据预设规则自动进行调整，如将不符合规范的参数修正为标准值；对于复杂空间冲突与跨专业冲突，平台将冲突位置、涉及专业等信息推送至相关设计人员，提供冲突可视化对比界面，辅助人员沟通协商解决方案，解决后自动更新相关数据，确保数据一致性 [3]。

3 平台协同设计功能的实现

3.1 多专业模型的集成与可视化

多专业模型的集成与可视化是协同设计的基础，平台通过模型轻量化处理与一体化集成技术，实现各专业模型的集中展示与协同应用。针对公路桥梁 BIM 模型数据量大、结构复杂的特点，平台采用模型轻量化引擎对各专业模型进行处理，通过简化几何拓扑、压缩纹理材质等方式，在保留核心设计信息的前提下减小模型体积，提升模型加载与操作速度。

某跨江大桥设计项目中，结构、机电、交通工程等 5 个专业的 BIM 模型总大小超过 20GB，经平台轻量化处理后体积压缩至 3GB，模型加载时间从原来的 40 分钟缩短至 5 分钟，满足多专业人员同时在线操作需求。模型集成采用“底图统一、分层叠加”的方式，以地形地质模型为底图，依次叠加桥梁下部结构、上部结构、桥面系、机电管线等各专业模型，实现全专业模型的一体化展示。

可视化功能支持多角度浏览、模型剖切、属性查询等操作，设计人员可通过旋转、缩放模型查看细节结构，通过剖切功能观察桥梁内部构造与管线排布，点击模型构件即可查询材质、尺寸、设计规范等属性信息。同时支持模型与设计文档的关联展示，点击模型构件可直接调取对应的计算书、设计图纸等文档，实现“图数联动”，提升设计信息获取效率。

3.2 设计过程的协同工作流程管理

平台通过构建标准化协同工作流程，实现设计过程的规范化管理与高效协作，打破传统设计中“串行作业”的瓶颈。平台内置公路桥梁设计标准流程模板，涵盖方案设计、初步设计、施工图设计三个阶段，每个阶段按专业划分具体设计任务，明确任务分工、时间节点与交付成果。

某高速公路桥梁设计项目中，项目负责人通过平台创建项目后，基于标准模板拆分设计任务，将桥梁下部结构设计任务分配给结构专业 3 名设计人员，同时将地质勘察数据、地形模型等基础资料同步至任务模块。设计人员接收任务后，在平台协同环境中开展并行设计，一人负责桥墩结构设计，一人负责基础设计，一人负责支座选型，三人设计成果实时同步至统一模型，避免重复劳动与数据冲突。

协同工作流程支持任务进度的实时跟踪与提醒，项目负责人通过平台 dashboard 可直观查看各任务完成情况，当任务即将逾期或出现延误时，平台自动向相关人员发送提醒通知。设计过程中，各专业人员可通过平台内置的即时通讯工具进行沟通，针对设计问题发起在线讨论，讨论内容与相关模型构件关联存储，便于后续追溯 [4]。

3.3 设计成果的校审与版本控制

设计成果的校审与版本控制是保障设计质量的关键，平台构建全流程校审体系与精细化版本管理机制，确保设计成果的准确性与可追溯性。校审流程采用“三级校审”模式，即设计人自审、专业负责人审核、总工程师审定，平台为每个校审环节预设校审要点，如结构专业校审要点包括构件尺寸、材料强度、受力计算等，校审人员可对照要点开展针对性审核。

某市政桥梁设计项目中，结构专业设计人员完成桥墩设计后，提交自审申请，平台自动对照校审要点检查模型参数，发现 2 处桥墩钢筋间距不符合规范要求，反馈设计人员整改。整改完成后提交专业负责人审核，负责人通过平台在线查看模型与计算书，提出 3 条优化建议并标注在模型对应位置，设计人员根据建议修改后再次提交，直至通过所有校审环节。校审过程中，所有校审意见、整改记录均与设计成果关联存储，形成完整的校审档案。

版本控制机制采用“主版本 + 次版本”的编号规则，主版本对应设计阶段如 V1.0 为方案设计版、V2.0 为初步设计版，次版本对应修改次数如 V2.1 为初步设计版第一次修改。每次模型修改后，平台自动生成新版本并保留历史版本，支持版本间的对比分析，设计人员可清晰查看不同版本的修改内容与差异 [5]。

4 结语

基于 BIM 的公路桥梁协同设计平台构建与数据交换机制研究，为破解传统设计模式的弊端提供了有效路径。平台通过明确构建目标与原则，采用分层技术架构与模块化功能设计，为多专业协同提供了稳定高效的技术支撑；基于开放标准的数据交换方法与数据一致性保障机制，实现了多专业、多系统间的数据无缝流转；而多专业模型集成、协同流程管理及成果校审等功能的实现，则有效提升了设计效率与质量。公路桥梁设计的复杂性与专业性，决定了协同设计平台的构建是一个持续优化的过程。企业在应用过程中，需结合具体项目特点不断完善平台功能，适配不同场景的设计需求。

参考文献：

[1] 解凌飞，李德 . 基于 BIM 技术的水利水电工程三维协同设计 [J]. 河北农机，2022(8):3.DOI:10.3969/j.issn.1007-2284.2020.03.021.

[2] 戴林发宝，薛光桥，苑俊杰 . 基于多源数据的铁路工程 BIM 协同设计平台研究 [J]. 2021.DOI:10.13238/j.issn.1004-2954.202009140002.

[3] 戴林发宝，薛光桥，苑俊杰 . 基于多源数据的铁路工程 BIM 协同设计平台研究 [J]. 铁道标准设计，2021, 65(8):5.

[4] 张丽 . 基于 BIM 的施工协同管理平台构建及应用研究 [D]. 山东建筑大学 ,2023.

[5] 董志敏 . 基于 BIM 设计协同设计管理平台的工程档案数据库构建思考 [J]. 中国科技投资，2022(1):152-154.