



土木工程信息技术

Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture

ISSN 1674-7461, CN 11-5823/TU

《土木工程信息技术》网络首发论文

题目： 建筑全过程数字化智慧建造体系研究与实践
作者： 焦柯，杜佐龙，杨新，方速昌，庄志坚
网络首发日期： 2021-02-25
引用格式： 焦柯，杜佐龙，杨新，方速昌，庄志坚. 建筑全过程数字化智慧建造体系研究与实践. 土木工程信息技术.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210225.1024.004.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

土木工程信息技术

Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture

建筑全过程数字化智慧建造体系研究与实践

焦柯¹ 杜佐龙² 杨新¹ 方速昌² 庄志坚³

(1.广东省建筑设计研究院有限公司, 广州 510000;

2.中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200120;

3.广州络维建筑信息技术咨询有限公司, 广州 510000)

摘要：在数字化设计建造技术发展过程中，由于信息架构、管理层级、工作模式的差异，在二三维设计成果的施工阶段承接、安装信息在运维阶段的承接等方面较难在参建方形成良性闭环。本文提出建立以建筑数字化设计+智慧建造的集成应用体系，以实现生产端至应用端的全产业链集成。在设计环节通过建立现代产业化建筑设计标准、构件库及配套工具，实现数字化标准设计。在生产环节通过研发与数字化设计成果相配套的工法设备实现数字化成果的直接转化。采用基于离散化的数据管理模式，在标准数据共享下采用各阶段分层独立管理、层间编码互通的方式，兼顾多平台间的独立性与互通性，实现数字化设计成果的全过程无缝承接与产业链数字化集成。

关键词：数字化建造；产业化建筑；集成平台

中图分类号： TU17

文献标识码： A

Research and Practice of Digital Intelligent Construction System in the Whole Process of Building

Jiao Ke¹, Du Zuolong², Yang Xin¹, Fang Suchang², Zhuang Zhijian³

(1) Guangdong Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;

2. China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd., Shanghai 200120, China;

3. Guangzhou Luwei Construction Information Technology Consulting Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: In the process of digital design and construction technology development, due to differences in information architecture, management levels, and work modes, it is difficult to undertake the construction phase of 2D and 3D design results and the installation information in the operation and maintenance phase. Form a benign closed loop. This paper proposes to establish an integrated application system based on building digital design + smart construction to realize the whole industry chain integration from production end to application end. In the design link, digital standard design is realized by establishing modern industrialized architectural design standards, component libraries and supporting tools. In the production link, the direct conversion of digital results is realized through the research and development of construction methods and equipment that match the digital design results. Adopting a data management model based on discretization, adopting a layered independent management at each stage and inter-layer coding interoperability under standard data sharing, taking into account the independence and interoperability of multiple platforms, and realizing the seamless implementation of the entire process of digital design results Digital integration with the industrial chain.

科技项目：广东省建筑设计研究院有限公司 2019 年科技创新项目（19-05）

作者简介：焦柯(1968 —)，男，教授级高工，主要从事结构分析软件研发和复杂结构计算分析工作；

Keywords: Digital construction; Industrial building; Integrated platform

引言

经过多年数字化设计建造全过程工程实践，三维 BIM 相关技术已逐步成熟，多个应用难点通过集中攻关已取得一定的成果。如在设计阶段，通过三维 BIM 平台及二次开发^[1]，能完成满足加工精度的建造信息模型。在钢结构建造过程，通过焊接机器人，实现焊接、上下料、磨削抛光等作业应用^[2]，并通过定制化的控制系统数据衔接，实现构件深化模型的精细化建造。在装配式建造构件加工制造过程，采用 3D 打印技术已具有一定的实用性^[3]。

在数字化建造过程中，计算机技术贯穿始终，从计算机辅助设计、建模到计算机辅助建造、施工，虚拟数据成为作业主线。其中冲压成型、数控切割等技术手段早已广泛应用于各个行业，但属于碎片化应用，独立解决项目的个别基本问题。同时，具体工程实施周期通常持续数年，由于参与企业和人员在时间维度不连贯、不同参与方对成果应用需求各异，导致较难直接承接设计成果进行加工、制造、装配，也无法充分发挥数字化精细化设计建造的优势。

本文通过广泛统筹各专业各阶段的数字化成果与实用方法，通过规范化的数字设计建造技术及落地化的施工设备，实现工程建设全过程信息的一体化集成，实现现代先进建造实践，实现了建设流程的规范化，提高了工程质量与经济性。

1 数字化设计施工集成体系

基于目前行业多参与方、多工种协作发展模式，本文提出一种设计-建造-交付运维全过程数字化衔接集成体系。该体系的核心，是通过全过程需求反馈与关键节点双向串联，建立现代产业化设计体系，建立与数字化设计相适应的先进制造工法与生产管理手段，建立设计手段与生产手段的信息化协同平台，通过数字化交付实现运维阶段承接，形成实施全过程的信息化集成和全产业

链信息闭环，关键节点串联模式见图 1 所示。

该体系的主要组成有（1）数字化设计体系，含适用于产业化建造的建筑设计方法、构件库、户型组合库、项目设计管理体系、模型数据标准等；（2）智慧建造生产体系，含与数字化设计成果相适应的定位放样、数字化吊装、3D 打印、产业化施工法等。（3）产业链集成应用，含数字化预拼装、设计深化平台、智慧工地与多方管理平台、智能加工运输及物联追踪协同管理平台等。（4）建筑全周期运维，含施工模型交付标准与运维信息转换标准、数字化运维架构与应用软硬件平台等。

其中，在产业化生产建造环节，通过研发三维深化软件、模型轻量化软件、施工运维模型转换软件，实现设计+建造的成果资源衔接，解决多方项目管理的问题。在复杂构件、复杂空间关系、复杂地形设计与建造过程，研究基于三维扫描、BIM 高精度放样、3D 打印解决方案，改变传统粗放、修补式的工程建造模式，实现精细高效建造，提高建造质量与品质。

在资源整合与科学管理环节，施工阶段通过与数字化 BIM 设计成果的无缝承接，对建造过程进度、质量、成本进行动态管控，实现工程建造各方数据有效共享，高效协同管理，对建造过程进度、质量、成本进行动态管控，实现工程建造各方数据有效共享、高效协同，助推设计施工各方深度融合。

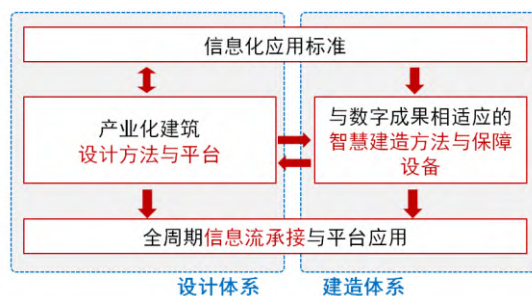


图 1 数字化集成体系关键节点串联模式

本文基于多个工程总承包项目，在设计建造全过程通过需求的正负反馈，整合产业

链多个环节数字化成果的全过程应用，建立起较为完善的标准机制、建造工法与平台软件，经工程实践验证，取得较大的经济效益，并在工程建设质量、多方沟通协调、绿色节能建造等方面都有所提升。

2 数字化设计体系

随着建筑功能的日益复杂和建造水平的日益提升，通过符合需求的技术整合形成数字化设计体系是目前设计行业信息化中后段的着力点。本文针对现代产业化的建筑设计相关方法理论及实践，提出目前设计体系中的四大主要环节并针对各环节形成相应的技术集成实现。

(1) 现代产业化建筑设计原则、设计标准，解决了满足现代人居要求的产业化设计理论与设计原则，见图 2，通过满足产业化需求的模块化设计和信息互通原则，为后续生产体系奠定数字化的信息基础。

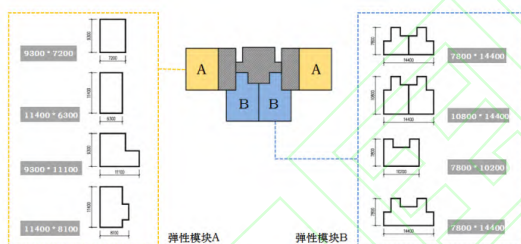


图 2 符合产业化生产体系的弹性组合套型设计方法

(2) 建立适用于产业化建造的各类建筑一体化节点构造、图纸表达与实施。在工程实践过程中，防水、保温、装饰层的建造整合，利用数字化技术进行装饰工程的深化设计，对板缝节点、板材穿管节点、板材固定连接节点、吊顶灯具节点等各种交接节点进行深化，实现工厂的准确预制加工，最大程度发挥总承包单位对资源整合能力，有效发挥集成建造的优势。

(3) 数字化设计的设计方法、成果三维表达方式、项目协同与信息交互、软件及辅助工具研发，通过数字化技术进行设计原则的封装，为长效应用与多元应用提供支持。针对协同、建模、拆分、计算、出图的技术解决方案，建立建筑工程信息模型制

图、交付与应用标准，总结形成全过程成套技术标准。将装配式构件详图集成到部品库中进行三维模型建模，实现了二维图纸与三维模型的统一，为设计与施工各阶段建筑信息应用提供了重要技术支撑。

(4) 针对全过程正向设计和数据共享，编制实用企业项目管理标准和技术标准，解决企业在推广 BIM 技术中控制设计质量和提高标准化程度的问题，解决企业数字化设计项目管理和模型标准问题，提升数字化设计的质量和效率。

3 智慧建造生产体系

在现代化建造过程中，针对高难度、高精度节点施工技术，本文也展开了相应的施工法实践与研制，研究适用于现代信息技术的先进工法。上述新型工法有效承接了数字化设计成果，并在新型工业化建造中，通过信息化管理平台进行一体化集成，实现数字化三维设计+先进工法+施工管理平台三者相结合，解决实施问题，具体包括以下两个内容。

(1) 基于 3D 打印的现代先进加工装备及其生产体系

针对工业化建造的模式，本文研制 RC 柱、RC 梁、RC 节点的 3D 打印的新型建筑工业化建造设备，并通过配套的数字化下料、吊装定位、测量等辅助软硬件设备、编制工艺流程通用标准和平台，实现了数字化成果与建造的统一，在某多层住宅中开展应用试点，见图 3。



图 3 构件 3D 打印及数字化装配

(2) 数字化的总承包管理体系及工艺管理平台

对较大的体量和复杂的结构在传统计划管控下难以实现多体系多部门的联动,同时工程参建各方工程项目管理人员、各专业分包、建设单位难以高效沟通,对施工时间与施工成本的控制造成较大负面影响,不利于进度、质量、安全的高效有序管理。

常规协同管理软件中仅做到计划与模型互通,仍无法高效应用于实际,需要专职 BIM 人员手动进行模型更新管理,模型更新的管控与利用也只限于专职 BIM 人员,其他管理人员难以监管流程模型可能与现场实际的偏差,也失去了协同管理的意义。另外,因需要专人维护进行手动更新,这大大增加了重复工作量且时效性较差。本文针对上述应用需求,建立总承包管理平台,采用物料追踪等系列功能,一方面承接设计阶段的交付模型,并进行编码转换与施工阶段适应性重划分;另一方面,二维码功能的模型构件作为工程中的信息载体,通过对模型构件(材料)的跟踪使建筑施工流程与各追踪节点一一对应,紧密关联。同时,对模型构件标以不同颜色区分不同的进度状态,也可对各构件的施工时间施工状态进行查看管理。

4 设计体系与生产体系的一体化集成

在工程实践过程中,设计成果与建造过程管理的有机结合是充分发挥工程总承包价值的体现,也是集成体系的核心所在。因此,本文通过设计参数化数字化设计的应用模式,将建造数据正向传递至下游,建立中心化协同管理平台,配合施工阶段采用虚拟样板、机电安装综合管线数字化模拟与加工等多个技术进行研究,实现复杂管线建造、数字化放样与智能加工、数字预拼装与施工模拟等全方位保障技术,研发配套软件,为实现复杂工程建设提供技术支撑,典型应用有设计建造的数字化管理集成和全过程虚拟孪生集成。

4.1 设计建造数字化管理集成

高度集成化是建筑产业化的一大特点,在运用数字化技术进行建筑设计、加工、施工的整个过程中,模型信息如何有效地传递到后续工业化生产体系中,是建筑产业化的一大要点。

目前数字化建造主要向 3D 可视化、三维快速成型、逆向三维扫描等方向快速发展。较为先进的 BIM 数字软件,已经实现了不仅包括了原材料的管控,还包括了节点的质量标准、验收标准,每一个流程都在数字化建造管控体系内得以实现。数字化建造打破了以往建筑蓝图的束缚。例如管道长度、内径、外径等数字可以直接读取,各种管线的立体设计一目了然,不会在施工时才发现管线交叉、碰撞,减少了设计失误带来的成本。

本文参考传统制造业信息化工业化的相关做法,对在分包单位中应用较广泛的 ERP(企业资源计划)系统和制造过程的 PDM(产品数据管理)、CAPP(计算机辅助工艺过程设计)加工辅助平台开展数据对接工作。通过建立数据库,将模型构件相应的 ID 编号及基本信息存储在数据库中,建立总承包工艺管理的系统,指导分包单位对数据库内容进行补充和完善,实现数字化模型信息全过程利用与闭环,见图 4、图 5 所示。

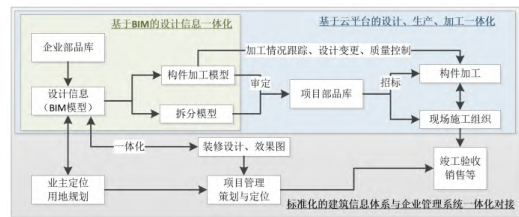


图 4 项目一体化管理流程

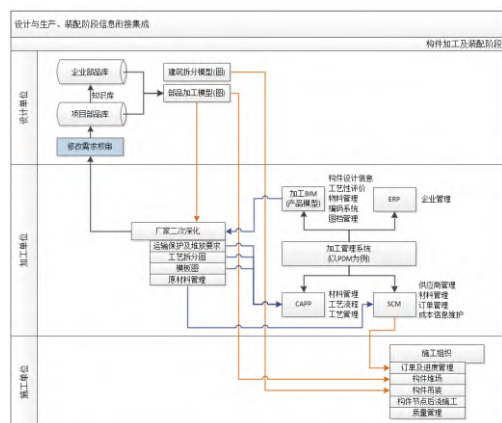


图5 设计生产集成体系

4.2 设计建造的全过程虚拟孪生集成

随着国家经济技术发展与建筑工程复杂程度日益提高，不可避免的出现一些超高层、大型复杂、结构施工困难、建筑造型独特的建筑，此类项目的建筑施工是一个高度动态的过程，采用传统的设计方法无法考虑施工过程中可能出现的各类情况。采用设计建造过程数字化模拟分析，可以对现场施工进行提前预演，其意义在于（1）发现施工过程中可能出现的最不利工况以及各类安全隐患，并及时给出解决方案，从而保障建筑施工阶段的安全可靠。（2）指导现场施工找平、构件下料切割尺寸、组立组装矫正等工艺流程。（3）设立施工关键阶段的预警值。（4）数字化施工模拟分析与现场建造过程的实时监测数据进行对比，为施工现场的建筑安全和工人安全保驾护航。本文在大疆天空之城超高层建筑塔楼项目中，见图6，通过物联网技术进行工地现场的数据采集，并对其进行数据处理，最终通过智能算法实现对人、机、料、法、环等各要素的精细化管理，实现对有效数据的智能处理，为项目各要素的精细管理提供依据。

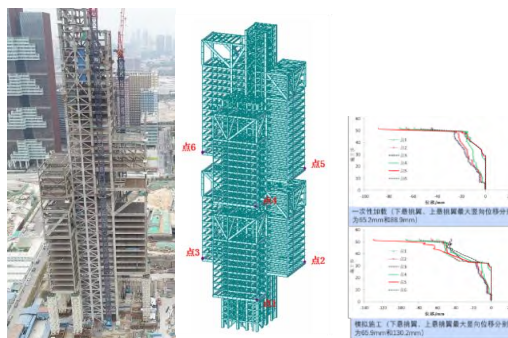


图6 数字化模型与施工实测

5 数字化建造平台集成研发

目前在工程建设分阶段均有各类型的数字化平台，然而在实际工程实践中，无论在流程层面、权限层面、或数据层面，平台之间均存在不同程度的断层。本文认为，工程建设的复杂程度决定了多平台有其必要性，平台整合对工程推进的作用有限。因此，本文提出采用标准化数据体系，通过设计协同施工，将具有共性的数字化成果通过BIM模型实现统一，除此以外，采用基于离散化的数据管理模式，各阶段数据采用多个独立分层维护、层间采用基于ID互通的方式，兼顾多平台间的独立性与互通性。基于该模式，本文主要围绕设计深化平台、集成管理平台、物联管理平台开展相应的应用实践。

5.1 设计深化加工平台

建筑设计行业的BIM技术应用大都选择了Revit软件作为平台，故基于Revit结构模型实现直接建模、计算、自动出图和装配式深化设计是大势所趋。本文针对目前Revit结构设计功能较弱，尚不满足中国制图规范和设计规范要求的问题，在Revit上开发一套满足中国设计规范要求的结构CAD平台，实现基于Revit的结构BIM正向系统，实现报建、设计、深化加工、施工管理、造价控制、竣工交付全过程的数字化三维集成平台。在平台基础上，研发GSOPT建筑工程的数字化智能优化设计系统，见图7，实现满足我国需要的建筑行业精细化与经济性的并行发展，实现BIM技术的落地应用。

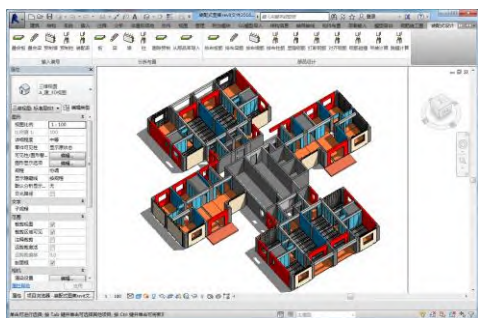


图7 数字化加工模型

5.2 集成管理平台

随着移动互联网、云计算、物联网的发展，建筑信息化管理的手段也在不断拓宽，本文利用设计+施工的数字化模型信息，采用相应的编码系统对 BIM 模型信息进行轻量化后，存储于网络数据库中进行管理应用，研发基于数字化建造信息的多方协同管理系统，见图 8，应用到各类建筑的设计、加工、施工全过程。同时，通过 API 接口与相关系统数据对接，进一步挖掘数字孪生模型的信息价值。

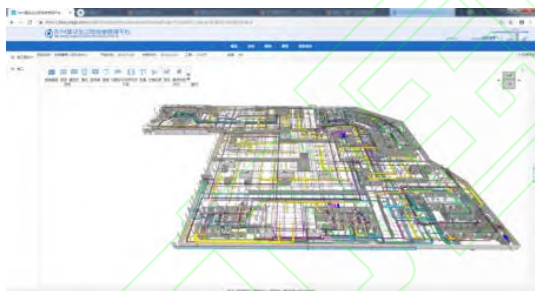


图8 体系集成管理平台

5.3 物联管理平台

通过建立物料管理平台对构件进行全过程管理，以项目为单位的模型及结构信息转换为以工序为单位的加工准备、采购、制造和其它跟踪信息，并具备过程管控功能，见图 9。钢构数字化建造主要体现在深化设计、材料采购、构件制造、构件安装等阶段的数据转换、数据共享、数据采集、数据跟踪等方面。平台以条码为桥梁，全面接驳物联网系统，无缝跟踪和接受物联网信息，并通过对全过程大数据的分析，辅助项目管理。

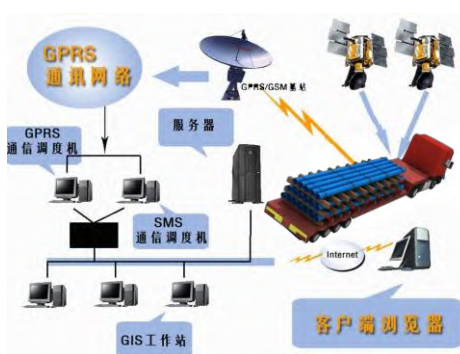


图9 物联网接驳示意图

6 建造-运维数据流承接体系

根据项目在不同阶段所需要的信息，制定与运维有关的信息，并由施工 BIM 团队按既定交付标准开展工作，删减与运维阶段所需信息无关的数据后，进行模型交付与运维管理阶段的应用，信息交换见图 10。

在项目的设计、施工阶段，有关的 BIM 模型静态数据与 IBMS(智能化集成系统)动态数据对于后期的运维阶段可谓是至关重要，这些数据构成了运维管理门户，其中包括图档管理、空间管理、运维管理以及应急预案。运维数据流会根据运维业主的需要，完善竣工 BIM 模型的信息部分，从而保证竣工模型数据准确、无遗漏的直接应用于后期运营平台。本文结合现阶段技术路线，确定搭建了以“IBMS+FM+BIM”为中心的智能化集成平台，强调分散控制、集中管理，保证建筑空间持续、高效运转。全生命周期的 BIM 模型为平台提供静态的物业设施数据，IBMS 向平台传输动态的楼宇自控数据；而在 FM 软件的选择中，考虑到软件功能模块全面性、数据标准支持度、能耗集成等方面的需求，最终确定了 ARCHIBUS 作为 FM 软件平台；最终依托 FM 系统集成空间管理、资产管理、设施设备管理三大运维模块，从而实现可视化的智能运营管理。



图 10 南航大厦可视化空间库存管理与分配

随着业主单位等运维理念的转变以及根据国家建筑行业信息化、工业化的发展趋势，BIM+FM 技术自身强大的功能及其理论上对建筑工程项目后期运维管理巨大的价值终将实现，BIM+FM 技术的应用已是大势所趋。

7 总结

本文针对设计-建造-运维三阶段中的产业化设计方法逻辑、数字化加工、数据标准及转换等关键应用环节，通过工程总承包等方式进行需求反馈与集成，联合设计-建造-运维提出并完善了全过程数字化集成应用体系，在工程实践中，将目前建筑 BIM 应用，从点状应用进一步铺开，形成串联多方、

涵盖多专业多工种的带状、面状工程实践应用，取得了一定的经济效益和社会价值。

参考文献

- [1]焦柯,杨远丰,周凯旋,陈剑佳,杨新.基于 BIM 的全过程结构设计方法研究[J].土木工程信息技术,2015,7(05):1-7.
- [2]王田苗,陶永.我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J].机械工程学报,2014,50(09):1-13.
- [3]肖绪文,田伟,苗冬梅.3D 打印技术在建筑领域的应用[J].施工技术,2015,44(10):79-83.
- [4]方速昌,张世宏,吴键,韩杰.基于 BIM 技术的电缆敷设安装施工技术[J].施工技术,2018,47(S4):986-989.
- [5]杨新,焦柯.基于 BIM 的装配式建筑协同管理系统 GDAD-PCMIS 的研发及应用[J].土木工程信息技术,2017,9(3):18-24.
- [6]吴桂广,焦柯,毛建喜,王文波.带预制双连梁的装配整体式剪力墙结构抗震性能分析[J].广东土木与建筑,2018,25(6):67-71.
- [7]石文井,于建伟,赵伟.BIM 技术在超高层大型综合体钢结构设计与施工中的应用[J].施工技术,2017,46(S2):1240-1242.