

大跨度展馆超限结构数字化交付平台设计与实现

——以南充国际会展中心项目为例

陈明杰¹, 刘鑫², 刘成伟², 李平杰¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广州 510230; 2. 中交四航局第六工程有限公司, 广东 珠海 519000)

摘要: 大跨度展馆工程造型奇特, 容易导致结构设计出现不规则和超限的情况。大跨度展馆超限结构, 由于其设计参数超出规范, 结构变形性能有所下降, 往往也更容易存在不安全因素, 影响展馆运维阶段的安全使用。针对大跨度展馆的这些问题, 通过数字化交付平台框架、功能和界面设计并通过代码编译进行实现, 解决传统交付方式中交付信息分散、无序、复用率低, 难以根据变形性能适应运维阶段使用等问题。通过大跨度展馆超限结构数字化交付平台设计及应用, 能实现数据的统一存储和信息交付的完整性、规范性, 在竣工验收备案、城建档案归档和物业运维中实现数据的快速查看和调用。

关键词: 大跨度展馆; 超限结构; 数字化交付; 建筑信息模型(BIM)

中图分类号: TU974 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)19-0289-07

随着国家加大对公共建筑的投入, 越来越多的大跨度展馆涌现。这些大跨度展馆工程造型优美且奇特, 受到建筑师们的青睐^[1]。但这类建筑也容易导致结构设计出现不规则和超限的情况, 在传统的交付和物业运维中, 相关的档案容易缺失和丢失, 非常不利于保存, 这对大跨度展馆超限结构的运维极为不利。

数字化交付最早出现在房建领域^[2-6], 数字化交付概念通过长期渗透和传播, 数字资产理念已经在各行各业得到认可并形成共识。目前矿山工程^[7]、水电工程^[8]、智慧工厂^[9]、智慧电厂^[10]、码头工程^[11-14]、公路工程^[15]等领域的专家学者都在进行各自领域内的数字化交付探索和大胆尝试。但由于数字化交付缺乏规范指引, 交付目标、交付内容、交付方法等都和建设方的需求密切相关, 而比较主流的做法是借助于建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术^[16-17], 结合建设方的需求开发数字化交付平台, 通过平台把三维可视化模型、关联文档和非关联文档等交付建设方。这种方式交付的文件大、数量多、品类杂, 容易存在漏项错

项, 难以区分重要信息, 不利于交付信息的二次利用。

本文依托南充国际会展中心项目, 结合其结构设计特点, 设计数字化交付平台。平台主要特点是聚焦结构安全性、适用性、耐久性, 梳理了大跨度展馆核心交付内容, 并与进度计划相关联, 通过进度计划反映出哪些文件需要归档、何时进行归档, 在进行进度分析时, 能及时提醒管理人员漏归档的文件, 保证交付资料的及时性和完整性。数字化交付平台设计了模型、图纸和文件合规性审查功能, 及时发现不合规的模型构件、文件及漏项的图纸等, 聚焦不同的交付对象, 区分竣工备案、城建档案归档、物业运维等不同交付目的, 分别形成交付内容体系和对应的交付清单, 通过一键导出对文件进行抽取, 实现适应不同交付目的且有针对性地快捷交付。本文通过框架设计、界面设计并通过代码编译实现包括文档管理、模型管理、进度管理等重要模块功能, 解决大跨度展馆传统运维阶段无法根据结构超限本身的变形性能进行使用, 导致结构使用过程中不安全因素增加的问题。该平台的使用能满

收稿日期: 2024-05-21

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFB2603000); 国家自然科学基金(42377150)

作者简介: 陈明杰(1987—), 男, 广西贵港人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为工程数字化; 刘鑫(1986—), 男, 四川广安人, 工程师, 研究方向为工业民用建筑施工及结构设计; 刘成伟(1988—), 男, 湖南郴州人, 高级工程师, 研究方向为工业民用建筑施工及结构设计; 李平杰(1985—), 男, 广东韶关人, 博士, 正高级工程师, 研究方向为工程数字化。

足竣工验收备案、城建档案归档和物业运维中实现数据的快速查看和调用,实现大跨度展馆基于结构性能的运维和使用,对大跨度展馆超限结构数字化交付有重要的指导意义。

1 工程概况

本工程为南充国际会展中心项目,位于高坪区江东大道与螺溪河交汇处,西临嘉陵江。项目包含会展中心、会议中心及配套服务设施。根据建筑特点划为3个结构单元,分别命名为A、B、C3个分区。A区为登录厅、会议中心,部分展厅为2层,建筑高度为39.5 m(幕墙顶),为高层建筑,下设单层地下室;B区为常年展厅,为高层建筑;C区为单层展厅及配套餐厅,建筑主体为1层,为多层建筑,如图1~图4所示。

(1)根据《建筑抗震设计规范》[GB 50011—2010(2016年版)],且考虑本项目为超限建筑、空旷结构、大跨结构,将混凝土部分框架柱抗震等级提高为一级,钢框柱的抗震等级提高为三级。

(2)本项目位于嘉陵江畔,考虑嘉陵江高边坡对结构地震作用的不利影响,将地震作用放大

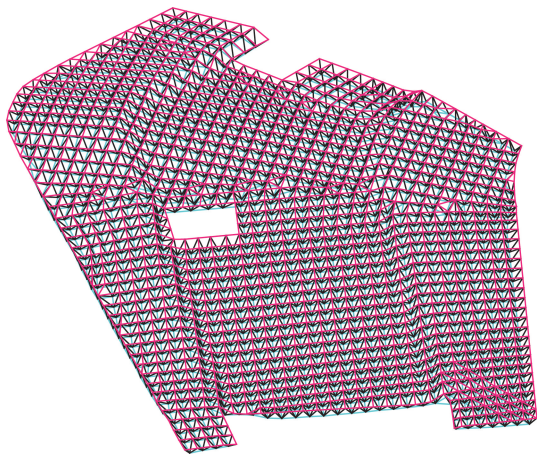


图1 A区钢结构轴测图

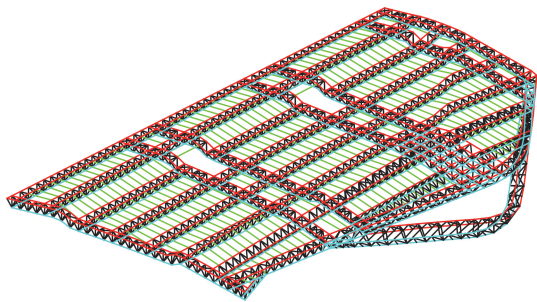


图2 B区钢结构轴测图

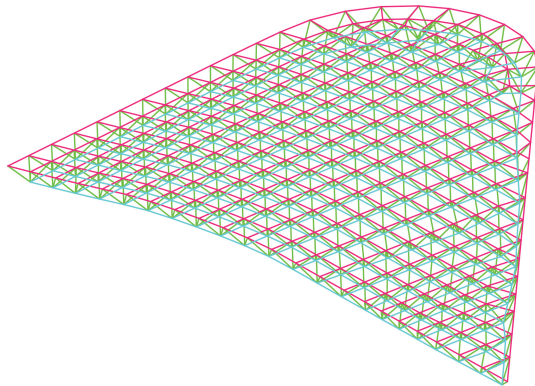


图3 C区钢结构轴测图

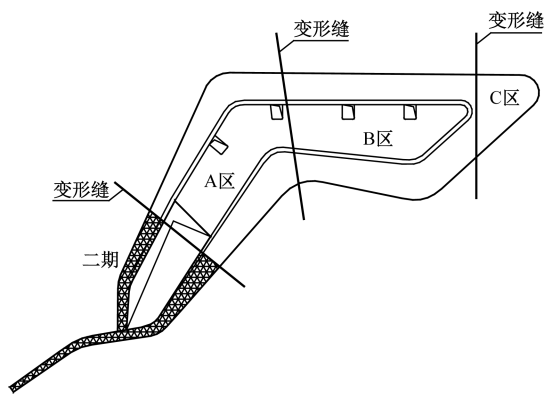


图4 各分区结构平面布置

1.1倍。地震作用效应取时程法计算结果与振型分解反应谱法计算结果的较大值。

(3)屋盖钢结构安全等级一级,同时考虑不同部位重要程度,对杆件应力比控制如下:支座附近关键杆件应力比 ≤ 0.75 ;重要杆件应力比 ≤ 0.81 ,一般杆件应力比 ≤ 0.85 。长细比控制如下:关键构件长细比 ≤ 120 ,普通构件长细比 ≤ 180 。关键构件为支座附加两个节间构件。

2 研发目的及框架设计

由表1可知,该大跨度展馆工程多项设计参数出现超限情况,其中A区超限情况最为突出,有6项被判定为不规则,综合判定为超限,包含扭转不规则、楼板不连续、连体结构。B区和C区均有2项被判定为不规则,主要为扭转不规则。这些不规则情况的出现或多或少影响结构后续的使用,尤其影响结构的地震响应。通过计算,A区最大应力比为0.834,为非重要构件;B区最大应力比为0.842,为非重要构件;C区最大应力比为0.849,为非重要构件,满足设计控制目标,结构安全,但同时结构承载力盈余不多。

表 1 各结构单元超限情况汇总

区域	不规则类型	单项判定	情况/规范限值	综合判定
A 区	扭转不规则	是	最大扭转位移比: $X+偶然偏心方向 1.46>1.2$, $Y+偶然偏心方向 1.48>1.2$; 扭转周期比: $T_1/T_1=0.74$, 小于 0.90	扭转不规则, 楼板不连续, 连体, 超限
	楼板有效宽度占比	是	$26.9\%<50\%$	
	楼板开洞	是	$33.7>30\%$	
	连体结构	是	钢网架屋盖将两个单体连成整体	
	扭转较大	是	偶然偏心最大扭转位移比 $1.48>1.35$	
	楼板宽度及开洞	是	有效宽度 $>4\text{ m}$, 有效宽度 $<35\%$, 开洞面积 $<50\%$	
B 区	扭转不规则	是	最大扭转位移比: $X+偶然偏心方向 1.33>1.2$, $Y+偶然偏心方向 1.46>1.2$, 扭转周期比: $T_1/T_1=0.8488$, 小于 0.90	扭转不规则, 不超限
	扭转较大	是	偶然偏心最大扭转位移比 $1.46<1.35$	
C 区	扭转不规则	是	最大扭转位移比: $X+偶然偏心方向 1.35>1.2$, $Y+偶然偏心方向 1.43>1.2$, 扭转周期比: $T_1/T_1=0.823$, 小于 0.90	扭转不规则, 不超限
	扭转较大	是	偶然偏心最大扭转位移比 $1.43>1.35$	

注: T_1 为结构扭转周期; T_1 为结构第 1 平动周期; $X+偶然偏心方向$ 、 $Y+偶然偏心方向$ 是指沿着 X 、 Y 方向的地震力不作用在质心上, 而作用在 5%垂直该方向的位置, 以考虑偶然偏心作用, 按照规范, 此时楼层两端抗侧力构件弹性水平位移(或层间位移)的最大值与平均值的比值大于 1.2 即为扭转不规则。

鉴于此, 后续运维过程中侧重考虑结构的安全性能。建设方为了适应结构本身的变形性能, 更好地使用、运维、管理这种超限展馆, 提出对大跨度展馆进行数字化交付的要求, 包括大跨度展馆的三维 BIM 模型以及涉及结构安全性、适用性、耐久性相关信息的关联文档或非关联文档等, 需要制定大跨度展馆超限结构数字化交付策略, 基于此设计大跨度展馆数字化交付平台。对交付平台框架进行设计, 主要考虑从文档管理、模型管理、进度计划 3 个方面对数字化交付内容进行展示、存储和管控。首先对总体框架进行搭建, 然后对前端页面 UI(用户界面)和具体功能进行设计,

最后完成逻辑链条梳理和代码编译, 总体框架如图 5 所示。

3 功能设计

3.1 数字化交付平台文档管理模块

在数字化交付平台文档管理模块, 主要聚焦文档归档数量和进度, 区分不同的文件类型、不同参建方、不同时间节点, 进行实际归档与计划归档数量对比, 及时发现漏归档文件并分析现场进度情况。聚焦不同的交付对象, 区分竣工备案、城建档案归档、物业运维等不同交付目的, 分别形成交付内容体系和对应的交付清单, 通过一键导出对文件进行抽取, 完成归档文件搜集、汇总和导出。

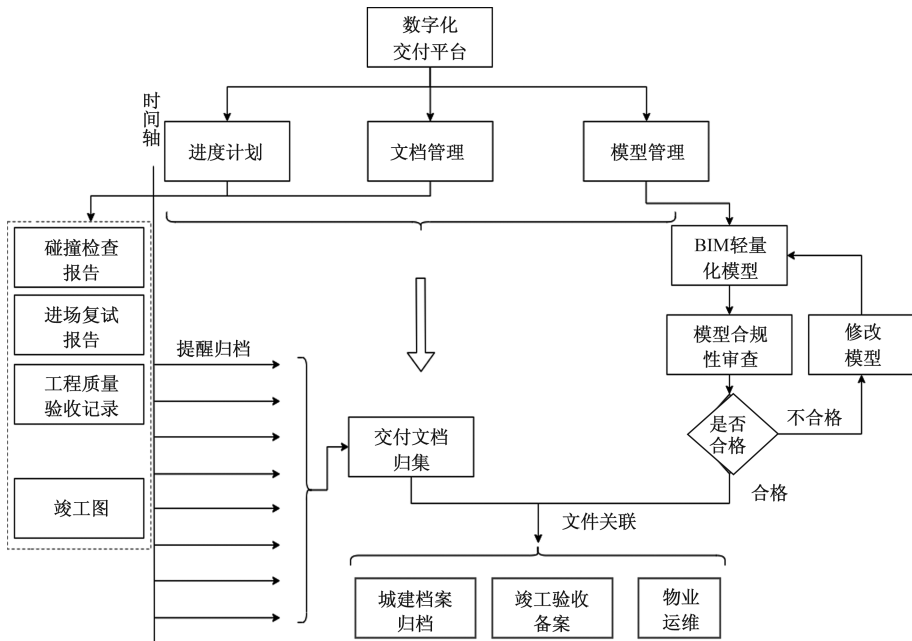


图 5 大跨度展馆数字化交付平台架构

对归档文件进行合规性审查,包括命名规则、文件格式、文件数量、文件大小等。材料进场复试报告区分不同材料、不同性能参数做好子文件划分,如钢筋抗拉强度、屈服强度、伸长率、重量偏差、冷弯性能、可焊性、化学成分检验或其他专项检验,水泥细度、凝结时间、标号和强度、体积安定性、水化热,混凝土配合比试验、凝结时间、抗压强度、抗折强度、坍落度、扩展坍落度、维勃稠度、抗冻性、抗渗性等,每个参数项单独形成检验检测报告。

碰撞检查报告区分硬碰撞和软碰撞。硬碰撞是指模型元素在空间上存在交集。这种碰撞类型在设计阶段极为常见,特别是在各专业间没有统一标高的情况下常发生在结构梁、空调管道和给排水管道三者之间。软碰撞是指模型元素在空间上并不存在交集,但两者之间的距离比设定的标准小时即被认定为碰撞。软碰撞检查主要出于安全考虑,如水暖管道与电气专业的桥架和母排有最小间距要求、设备和管道维修最小空间要求等。硬碰撞和软碰撞分别形成报告并以此命名文件,有助于系统审查是否进行了软硬碰撞检查,通过文件大小辨识,粗略掌握碰撞冲突的数量。

工程质量验收记录区分不同的分部分项工程,分别形成文件并以相关关键字命名或通过系统识别编码命名,形成独立的验收记录文件。对于图纸,则根据不同阶段的不同部位进行命名,区分施

工图、竣工图,区分建筑、结构、水电、暖通、给排水、消防、智能化等不同专业分别形成文件,便于系统审查图纸的完整性。

具体系统界面如图6所示,对不同类型文件、不同时间段归档的文件数量、不同参建方文件归档情况、计划和实际归档文件数量进行汇总展示,结合竣工备案、城建档案归档、运维交付等不同交付目的和要求,设计一键打包导出功能,便于交付管理。

3.2 数字化交付平台模型管理模块

在数字化交付平台模型管理模块主要对模型构件类型进行归并和梳理,包括钢柱、钢梁、钢支撑、钢桁架、钢节点等构件的数量、规格尺寸形成构件清单。对钢网架三维模型进行轻量化处理后通过webGL协议展示在网页端,同时设计隐藏、旋转、定位、切片、测量等模型查看和浏览按钮,具体如图7所示。对不同时间节点实际和计划完成构件安装数量进行对比,及时对进度计划、资源配置计划、人员投入及分工进行调整。对建模过程中的构件进行审查,构件编号按统一编码,当系统识别到缺乏某一构件编码时,判定构件建模存在缺陷,包括模型细度不合规、模型不完整等。审查交付模型单元分级,通过进一步调研业主需求,确定其他需要建模的模型单元,从而完善数字化交付系统。审查交付模型信息深度包括构件设计尺寸、材料强度、设计荷载、使用年限、生产厂家、维保记录、试运行记录、健康监测历史变形曲线或应力发展曲线



图6 大跨度展馆数字化交付平台文档管理

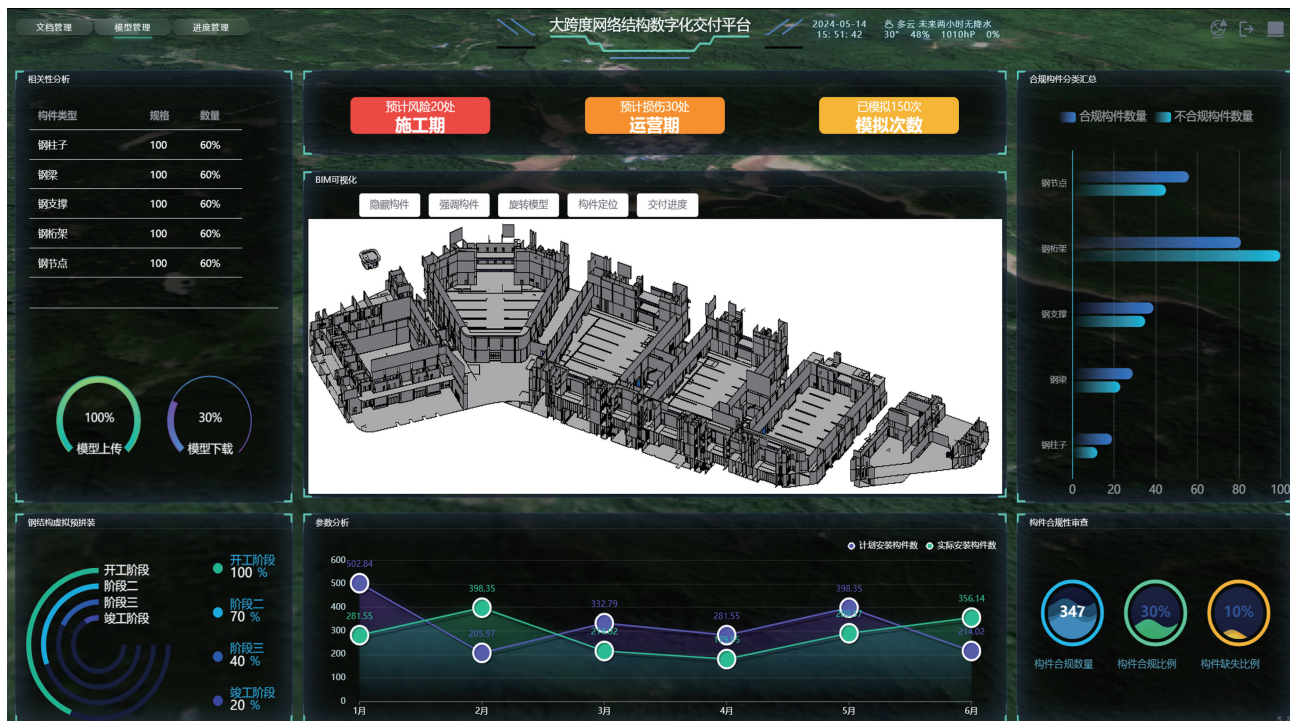


图7 大跨度展馆数字化交付平台模型管理

等。对合规构件数量、不合规构件数量及其占比进行汇总统计。

在模型管理中,针对大跨度展馆结构杆件多、节点复杂、包含大量曲面曲线元素、安装精度难以保证等问题,设计模拟预拼装功能。预拼装是将各个构件按图纸要求连接在一起,检查各尺寸是否满足图纸要求,各装配孔位置是否满足安装要求。现实中,预拼装后的构件还要拆除,移到工地后再进行安装。而通过在平台端设置模拟预拼装功能,管理人员可以在开工阶段对整体模型进行预拼装,对多个构件进行预拼装分析,及时发现杆件误差、螺栓错孔等问题,通过提前对问题构件预拼装分析,降低构件修整工作量。针对已安装构件及待拼装构件都存在偏差的问题,模拟现场实际安装情况,通过微调整拼接构件的安装位置,消除累计误差,无需返厂修整,完成安装工作。模拟预拼装技术保证现场作业的安全高效,也大大缩短了项目周期,满足安装工艺要求的同时,指导现场指向性定位。模拟预拼装保证现场作业的安全高效,偏差值分配优化调整,消除累计误差,小问题构件无需修整,指导现场成功安装。在不同的施工阶段,可以根据预拼装结果,检查过程安装精度和质量,及时发现缺陷并进行调整和纠偏。基本安装完成后,通过与预拼装模型进行对比,对项目的嵌补区杆件进行尺寸调整并最后加工、最后

安装,确保整体结构成型。竣工阶段则可以将预拼装模型作为偏差分析的参考,和竣工模型一起交付。

3.3 数字化交付平台进度管理模块

在数字化交付平台进度管理模块,通过将交付内容体系与进度计划关联,当进度计划完成某工序,管理人员完成进度填报后,自动列出截至目前应该形成的交付文档,形成交付文件列表,及时提醒施工管理人员归档,当提醒项文件完成上传并审查合格后,提醒列表自动删除提醒项,只剩下应归档但未归档的文件列表,形成清晰明了的关联进度计划的管理模块。详细情况如图8所示。

为便于施工人员对进度计划进行调整,预留进度计划导入功能,管理人员在 project 上编排完成的进度计划可以上传网页端,形成共享文件,其他管理人员无须专业软件即能浏览和查看进度计划甘特图。甘特图上根据分部分项工程及工序细化工作内容,显示完成百分比、持续时间、资源投入(人员数量)、工作起止时间。在此模块中,可以根据工程量大小、人员投入、持续时间计算工效,根据工效进行资源优化配置。

4 结论

(1)针对数字化交付过程中,文档管理不规范、部分文档归档不及时,甚至存在漏归档的文档,专门设计文档管理模块,对数字化交付清单涉及的交



图 8 大跨度展馆数字化交付平台进度管理

付文件进行专门管理、存储、提醒等功能。面向竣工验收备案、城建档案馆归档、物业运维等不同交付目的和交付对象,分别进行文档梳理,形成了可满足不同交付需求的文档管理模块。

(2)针对数字化交付模型文件大、修改次数多、关联信息复杂等问题,设计模型管理模块,对数字化交付模型进行存储、管理、信息关联,形成了关联关系清晰、可流畅在 web 端展示的大型 BIM 数字化交付模型。

(3)针对数字化交付文档、模型及其关联关系与现场进度计划缺乏有效联系,导致归档文档易漏项、进度计划展示不直观等问题,通过将进度计划关联模型及文档,形成与三维模型联动的进度计划。

参考文献

[1] 朱天祺,应逸俊,曾莎洁,等. 基于 BIM 的大型公共建筑工程数字化竣工交付研究[J]. 工程经济, 2021, 31(7): 58-63.

[2] 金宇亮. 基于 BIM 的数字化交付管理体系在工程中的应用[J]. 建筑施工, 2022, 43(8): 1633-1635.

[3] 邹帅. BIM 数字化交付平台在工程可行性研究阶段的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(4): 74-79.

[4] 翟韦,蒋琦. COBie 标准在建筑工程数字化交付中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2022, 14(1): 61-68.

[5] 汪再军,周迎. 基于 BIM 的建设工程竣工数字化交付研

究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(4): 13-22.

[6] 高寒. 超大体量项目 BIM 竣工数字化交付应用[J]. 建筑经济, 2021, 42(S2): 83-85.

[7] 刘诚,李少辉,赵奕,等. 矿山工程数字化设计与交付解决方案[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(3): 1-6.

[8] 刘建秀,苏文哲,陈特,等. 水电工程 BIM 模型交付及深度应用解决方案[J]. 科学技术创新, 2022(27): 76-79.

[9] 孙宝平. 数字交付与工厂运维衔接优化方案研究[J]. 石油化工自动化, 2022, 58(3): 65-68, 95.

[10] 潘传鹏,刘学山,季怀杰. 基于 3D-GIS+BIM 的智慧电厂数字化交付平台关键技术及应用研究[J]. 石油化工自动化, 2022, 45(10): 110-113.

[11] 李嘉华,杨彪,许鸿贯,等. BIM 技术在自动化集装箱码头设计中的应用[J]. 水运工程, 2022(10): 217-222.

[12] 李家华,黄黎明,陈良志. 基于 BIM 和物联网技术的智慧工地平台在 LNG 码头施工中的应用[J]. 水运工程, 2024(2): 169-174.

[13] 李家华,黄黎明,陈良志,等. 油气化工码头工程数字化交付全过程研究[J]. 港口航道与近海工程, 2023, 60(4): 12-16.

[14] 陆晶晶. 数字化交付在装配式桩基码头全生命周期建设中的应用[J]. 水运工程, 2023(5): 167-186.

[15] 李辉,雷俊,丁罕,等. 公路工程集成数字化交付模式研究[J]. 公路, 2022(8): 291-296.

[16] 邹贻权,余有,董道德,等. 面向制造与装配的设计的装配式竖向预制混凝土构件参数化设计及应用[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(13): 5480-5490.

[17] 张亚钊,刘洋,陈自强,等. 我国装配式建筑区域发展水平评价[J]. 科技和产业, 2024, 24(8): 211-219.

Design and Implementation of Digital Delivery Platform for Over-limit Structure of Large-span Pavilion: Taking the Project of Nanchong International Convention and Exhibition Center as an Example

CHEN Mingjie¹, LIU Xin², LIU Chengwei², LI Pingjie¹

(1. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. The Sixth Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Zhuhai 519000, Guangdong, China)

Abstract: The large-span exhibition hall has a peculiar shape, which can easily lead to irregular and overrun structural design. Due to its design parameters exceeding the specification, the deformation performance of the large-span exhibition hall is reduced, and it is often more likely to have unsafe factors, which affects the safe use of the exhibition hall during the operation and maintenance stage. Aiming at the problems of over-limit structure of large-span exhibition hall, the framework, function and interface of digital delivery platform are designed. The platform is realized by code compilation, which solves the problems of scattered, disordered and low reuse rate of delivery information in traditional delivery methods, and it is difficult to adapt to the use of operation and maintenance stage according to deformation performance. Design and application of digital delivery platform for over-limit structure of large-span exhibition hall can realize the unified storage of data and the integrity and standardization of information delivery, and realize the rapid view and call of data in completion acceptance filing, urban construction archives filing and property operation and maintenance.

Keywords: large-span exhibition hall; over-limit structure; digital delivery; building information model(BIM)