

基于BIM技术的PC构件设计生产链信息化管理研究

王一凡 刘梦洁 台欣冉 乔光华 郭子龙
郑州升达经贸管理学院 建筑工程学院 河南 郑州 451191

摘要:在装配式建筑快速发展背景下,设计、生产与施工环节间的信息孤岛问题严重制约行业效率提升与成本优化。研究表明,产业链各阶段数据协同不足导致设计模型信息利用率低(不足30%)、生产环节人工重复录入率高达60%、施工信息追溯缺失率超45%,形成显著的数据衰减与流程断层。针对PC构件产业链中BIM信息复用率低、生产施工依赖人工录入等痛点,本研究提出以BIM技术为核心的信息化整合方案,旨在突破跨阶段数据标准缺失、多源异构软件兼容性差及实时反馈机制不足等瓶颈。

关键词: BIM技术; PC构件; 信息化管理; 三维扫描; 物料编码

引言

作为国民经济的支柱产业,建筑业虽占GDP比重超7%,关联上下游50余个产业,却面临机械化程度低、生产方式粗放等突出问题。在“双碳”战略与智能建造趋势下,装配式建筑因具备缩短工期、降低能耗等理论优势,被列为产业升级的核心路径。在住宅建设领域,装配式住宅作为装配式建筑的重要分支,正逐渐成为市场的主流发展方向。而基于BIM技术的装配式住宅项目施工,能够将BIM技术的优势充分融入到住宅建造的各个环节,从设计阶段的精准构件拆分,到生产阶段的高效预制,再到施工阶段的有序组装与管理,为提升住宅建设质量和效率带来新的机遇。然而,目前该技术在实际应用中仍面临诸多挑战,如信息协同不畅、技术标准不统一等问题,这也凸显了本研究对于优化基于BIM技术的装配式住宅项目施工流程的重要性^[1]。

近年来,国外学者围绕BIM技术在装配式建筑信息协同中的核心问题展开系统性研究,重点关注信息交换标准、全生命周期数据集成及协同平台开发三大方向,取得显著进展。我国学者结合本土装配式建筑发展需求,在信息共享平台构建、异构数据整合及标准扩展等领域取得突破性进展,但整体仍处于追赶阶段。

本研究拟突破现有局限,通过构建跨阶段数据标准体系、开发多源异构接口组件、建立分钟级反馈机制,形成经工程验证的全产业链信息化解决方案,推动理论研究向实践应用的实质性转化。

1 国内外研究现状

近年来,国外学者围绕BIM技术在装配式建筑信息协同中的核心问题展开系统性研究,重点关注信息交换标准、全生命周期数据集成及协同平台开发三大方向,取得显著进展。在信息交换标准领域,Jeong YS等人

(2021)^[2]通过多软件环境下的构件模型测试发现,尽管IFC(Industry Foundation Classes)标准是目前最通用的数据交换格式,但其在跨平台互操作性上仍存在信息完整性缺失问题。针对异构数据整合难题, Frank Opitz团队(2022)^[3]提出“BIM-非结构化数据”双轨集成模型,通过建立IFC标准与图纸文档的语义关联,成功将传统图纸信息丢失率从18%降至5%。其开发的智能解析算法可自动识别图纸中的214类关键参数,并通过API接口与BIM模型实时同步。Costa(2020)^[4]则通过构件信息动态绑定技术,实现设计变更信息的自动同步,项目各阶段信息调用响应时间缩短至4秒以内。在协同平台开发方面, Rosenman团队(2018)^[5]创建的3D虚拟协作系统颠覆传统设计协同模式。该系统支持多用户实时编辑BIM模型,并通过冲突检测算法自动标记87%的设计矛盾点。

我国学者结合本土装配式建筑发展需求,在信息共享平台构建、异构数据整合及标准扩展等领域取得突破性进展,但整体仍处于追赶阶段。在平台架构方面,刘占省,马锦姝,王卓琳团队(2020)^[6]开发的BIM信息共享管理平台首次实现装配式项目全周期数据贯通。平台集成5大功能模块,支持RFID、GIS与BIM的三维融合,使构件生产误差率降低至0.5%,运输定位精度达厘米级。赵洁,李伟(2021)^[7]针对产业链信息孤岛问题,提出基于本体集成的信息共享模型,通过语义映射技术解决78%的异构数据兼容问题,信息检索准确率提升至92%。李犁,吴晓(2021)^[8]进一步构建基于IFC的BIM数据库,采用分布式存储架构支持10万级构件并发访问,数据转换丢失率从15%压缩至3%以下。

2 物料编码体系构建

在构建物料编码体系时,充分考虑实际生产需求是关键。研究团队深入调研多家构件厂,与一线生产人

员、管理人员进行交流，收集他们在物料管理过程中遇到的问题和对编码体系的期望。基于这些调研结果，制定了一系列科学合理的编码原则。

唯一性原则确保每个PC构件和附属构件都有独一无二的编码，避免编码重复或歧义，为准确识别和管理物料提供基础。简洁性原则要求编码简单明了，易于记忆和使用，减少人工操作的复杂性和出错概率。可扩展性原则则为未来可能增加的新物料或新需求预留空间，保证编码体系的灵活性和适应性。

根据构件的性质和用途，将PC构件分为钢筋与附属构件两类。对于桁架筋，采用“HJGJ - B80”这样的编码

方式，“HJGJ”代表桁架钢筋类别，“B80”表示具体型号，方便快捷地标识出钢筋的关键信息。对于止水节这类附属构件，编码为“ZSJ1 - PVC - 50”，“ZSJ”表示止水节，“1”用于区分相似构件，“PVC”代表材质，“50”表示规格，全面准确地反映了构件的特征。

构建完成的编码数据库与生产管理平台（PCMES）进行对接，实现数据的自动传输和共享。在生产过程中，相关人员只需在PCMES平台上输入编码，即可快速获取物料的详细信息，无需人工重复录入，大大减少了人工录入错误，提高了数据管理效率。

序号	原料分类	钢筋编码 (系统编码)	名称	型号	直径	计量单位	库存
1	钢筋库	HJGJ-B100	桁架筋-B100	H=100	10-8-6	KG	0
2	钢筋库	HJGJ-B90	桁架筋-B90	H=90	10-8-6	KG	0
3	钢筋库	a	桁架筋-B80	H=80	10-8-6	KG	0
4	钢筋库	HJGJ-B72	桁架筋-B72	H=72	10-8-6	KG	0
5	钢筋库	HJGJ-A100	桁架筋-A100	H=100	8-8-6	KG	0
6	钢筋库	HJGJ-A90	桁架筋-A90	H=90	8-8-6	KG	0
7	钢筋库	HJGJ-A80	桁架筋-A80	H=80	8-8-6	KG	0
8	钢筋库	HJGJ-A72	桁架筋-A72	H=72	8-8-6	KG	0
9	钢筋库	GJ 20	C20	HRB400E	20	KG	0
10	钢筋库	GJ 16	C16	HRB400E	16	KG	0
11	钢筋库	GJ 14	C14	HRB400E	14	KG	0

图1 钢筋数据库 (截取)

序号	原料分类	物料编码 (系统编码)	物料名称	型号	规格	计量单位	库存
1	物料库	GJTT-GT18	GT18半灌浆套筒	GT18	Φ42*174	个	0
2	物料库	GJTT-GT16	GT16半灌浆套筒	GT16	Φ42*174	个	0
3	物料库	GJTT-GT14	GT14半灌浆套筒	GT14	Φ42*174	个	0
4	物料库	GJTT-GT12	GT12半灌浆套筒	GT12	Φ42*174	个	0
5	物料库	YMJ-LG-2	LT栏杆预埋件-2	PL-50*50*5	PL-50*50*5	个	0
6	物料库	YMJ-LG-1	LT栏杆预埋件-1	PL-65*65*5	PL-65*65*5	个	0
7	物料库	YMJ-5T	5T吊钉	5T	L=250	个	0
8	物料库	YMJ-2.5T	2.5T吊钉	2.5T	L=170	个	0
9	物料库	YMJ-M20	脱模/吊装支撑预埋件	脱模/吊装支撑预埋件	Φ32, L=150	个	0
10	物料库	YMJ-M18	脱模/吊装支撑预埋件	脱模/吊装支撑预埋件	Φ28, L=150	个	0
11	物料库	GTC-Φ150	Φ150圆管	Φ150 H=140	Φ=150 H=140	个	0

图2 物料数据库 (截取)

3 Dynamo 插件开发

Dynamo插件的开发基于Revit平台展开，Revit在建筑设计领域应用广泛，拥有丰富的模型数据资源。利用Dynamo的编程功能，能够从Revit模型中提取叠合板、墙板等各类构件的几何参数与钢筋信息。

在开发过程中，遇到了模型修改导致数据错位的问题。研究团队通过优化节点排序和数据匹配逻辑解决了这一难题。经过反复测试和调整，确保在模型发生修改时，数据提取的准确性和稳定性。开发完成的插件支持一键导出Excel格式数据，并且能够与PCMES平台无缝对接。经实际测试，该插件使信息传递效率提升了40%，显著提高了工作效率。

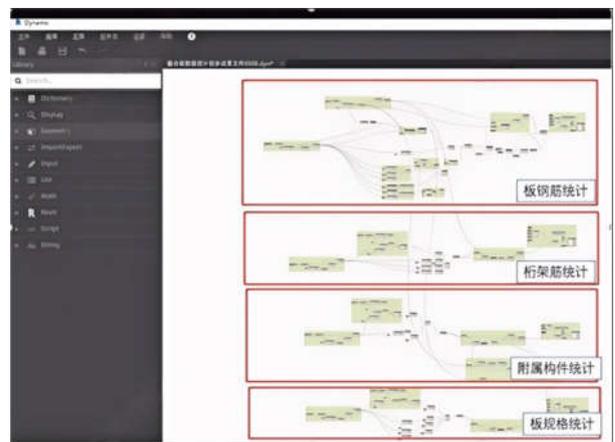


图3 Dynamo源程序截图

板编号	钢筋直径	钢筋长度	钢筋根数
D83	6	2470	2
D83	6	5570	2
D83	8	2680	27
D83	10	5570	14
D82	6	2470	2
D82	6	5570	2
D82	12	2680	27
D82	10	5570	14
D81	6	2470	2
D81	6	3170	2
D81	8	2680	15
D81	8	3170	14
D85	6	2470	2
D85	6	3170	2
D85	8	2680	15
D85	8	3170	14

板编号	线盒类型	线盒个数
D83	PVC	2
D82	JDG	1
D81	PVC	2
D85	JDG	1

板编号	板长	板宽	板厚	数量
D83	5600	2500	60	2
D82	5600	2500	60	1
D81	3200	2500	60	1
D85	3200	2500	60	1

板编号	桁架长度	桁架宽度	桁架高度	桁架根数
D83	5500	80	80	5
D82	5500	80	80	5
D81	3100	80	80	5
D85	1000	80	80	1

图4 Dynamo提取模型

4 三维扫描技术应用

三维扫描技术是一种非接触式的测量方法，可精确获取目标物体的几何形态及表面特征。在测量过程中，三维激光扫描仪以自身坐标系为基准，通过发射激光束并测量激光束从仪器到目标物体表面的飞行时间 Δt ，由此计算得到距离S，并结合水平角度 α 和垂直角度 θ ，计算出物体表面上每个点的精确三维坐标。

在模具质量管控方面，研究采用FREESCAN X3扫描仪对模具进行逆向建模。该扫描仪具有高精度、高便捷性、高适用性等优点，能够快速准确地获取模具的三维数据。设备支持对三维数据、图片和文字进行综合管理，数据输出接口广泛，可与市面大多数逆向工程软件进行自由交换数据，包括：OBJ、STL、VAML、IGES等，还能与我们建筑行业最常用的CAD、REIVT软件进行数据交换进行对比分析。

通过Geomagic Control X软件，将扫描得到的模型与

设计模型进行对比，检测尺寸偏差。在实际应用中，对大量模具进行扫描和数据分析后发现，模具边模变形量随周转次数呈线性增长。以某类型模具为例，经过长期监测和数据统计，得出其极限周转次数为105次。



图5 FREESCAN X3扫描仪

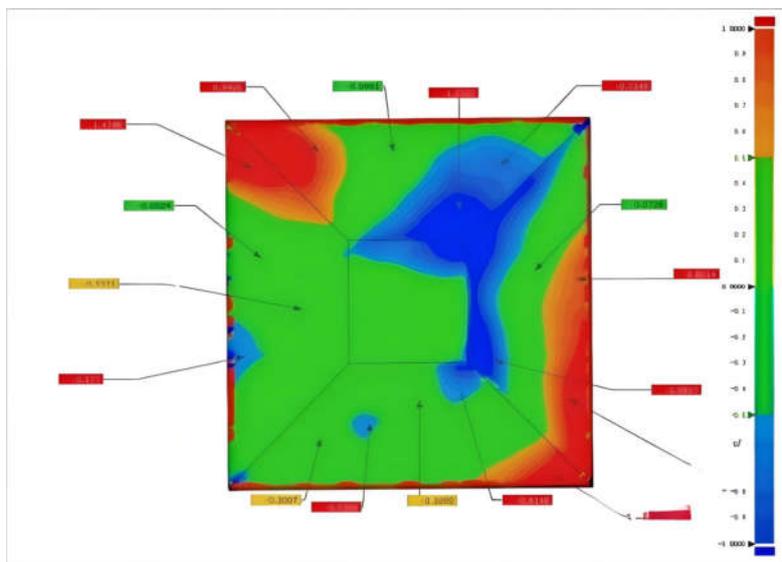


图6 3D对比偏差色谱图

表1 数据分析偏差表

名称	结果名称	公差	偏差
CMP1:1	结果数据-1	±0.5	-0.3007
CMP1:2	结果数据-1	±0.5	-0.3282
CMP1:3	结果数据-1	±0.5	1.2446
CMP1:4	结果数据-1	±0.5	-0.6148
CMP1:5	结果数据-1	±0.5	-0.5305
CMP1:6	结果数据-1	±0.5	1.1417
CMP1:7	结果数据-1	±0.5	-0.9817
CMP1:8	结果数据-1	±0.5	0.0726
CMP1:9	结果数据-1	±0.5	0.8214
CMP1:10	结果数据-1	±0.5	-0.7349
CMP1:11	结果数据-1	±0.5	-1.2322
CMP1:12	结果数据-1	±0.5	0.9406
CMP1:13	结果数据-1	±0.5	-0.0981
CMP1:14	结果数据-1	±0.5	-0.0524
CMP1:15	结果数据-1	±0.5	-0.5771
CMP1:16	结果数据-1	±0.5	-0.3371
CMP1:17	结果数据-1	±0.5	1.4746

5 结语

本研究基于BIM技术，围绕PC构建设计生产链信息化管理展开，攻克多项关键难题，为装配式建筑行业提供了理论与实践支撑。通过制定科学严谨的编码规则，实现了预制构件及附属构件的唯一标识，显著提升了设计、生产、施工各阶段的效率，减少了错误率。技术融合方面，Revit与BeePC插件结合实现了精细化设计，Dynamo编程技术高效提取模型信息，减少了人工修正工作；三维扫描技术通过逆向建模精确获取模具数据，优化了模具管理，降低了生产成本。PCMES信息平台结合二维码技术，实现了生产全过程的数字化管理与信息追溯，提升了项目管理水平。本研究成果显著提高了设计准确性、生产效率和产品质量，降低了成本，增强了装配式建筑的市场竞争力，本研究推动了行业向信息化与智能化转型，具有广阔的应用前景和推广价值。

参考文献

[1] 李梅.BIM技术驱动的建筑施工进度编制及优化研究[J].北方建筑,2024,9(06):93-97.
 [2] Jeong Y S, Eastman C M. BIM data exchange standards for precast concrete: A comparative analysis of interoperability challenges and solutions[J]. Automation in

Construction, 2021, 130: 103-115.

[3] Opitz F, Borrmann A. BIM-unstructured data integration: A semantic mapping approach for enhanced design collaboration[J]. Automation in Construction, 2022, 138: 104-117.
 [4] Costa G, Madrazo L. Dynamic binding of design changes in BIM models for real-time synchronization across project phases[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2020, 34(5): 04020035.
 [5] Rosenman M A, Smith G, Ding L. Virtual collaborative design systems for multi-disciplinary BIM integration[J]. Automation in Construction, 2018, 96: 1-15.
 [6] 刘占省, 马锦姝, 王卓琳. 基于BIM与物联网的装配式建筑全周期信息管理平台研发与应用[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(S1): 45-52.
 [7] 赵洁, 李伟. 基于本体集成的装配式建筑供应链信息共享模型研究[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(9): 123-130.
 [8] 李犁, 吴晓. 基于分布式存储的BIM数据库构建及其在预制构件管理中的应用[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(6): 89-95.