

# 预制构件全生命周期数字化追踪及管理技术

钟方杰

浙江数智交院科技股份有限公司

**摘要：**预制构件生产、运输、安装、质检等环节众多，质量管控存在较多问题。本文提出以BIM技术为基础，结合二维码、RFID、区块链等技术完成预制构件全生命周期的管理。为了防止数据篡改，采用区块链技术建立数据交互时的安全及信任框架，减少可能的人为干预。该方法有助于提高预制构件质量管控的可靠性及生产效率，在装配式建筑数字化质量管控的实际应用中具有一定借鉴意义。

**关键词：**预制构件；BIM；二维码；RFID；区块链；质量管控

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.115

数据显示，全国建筑行业上下游总的碳排放量占全国碳排放总量的50%以上。装配式建筑将极大地减少现场施工所带来的噪音、粉尘等污染，施工速度快、资源利用率高、能源消耗少，是实现建筑领域节能减排的最主要途径之一。为了推动建筑业的可持续发展，住房和城乡建设部出台了《装配式建筑评价标准》《工业化建筑评价标准》等一系列政策措施。但是，装配式混凝土建筑产业链流程较长，主要包括前期设计、中期预制构件生产及装配、后期运营维护等阶段，管理工作十分为复杂，在预制构件的生产、设计、运输、存储、施工工序、质检、后期运维等技术流程方面极易出现问题。为此，建立一个为预制构件全生命周期各阶段、各部门提供服务的信息系统，减少沟通成本，增强信息化、实现产业链的协调，增加互信，可以极大提高预制装配式建造的精确性与效率。

## 一、BIM技术的应用

1975年，乔治亚理工大学Chuck Eastman教授首先提出了BIM的理念。BIM可以有效减少过去以纸质材料进行归档使得信息交流杂乱、数据繁杂使得文件错乱或丢失等情况，BIM能够有效管理施工进度数据，将项目计划进度、实际进度、工程产品几何属性等数据融合存储到统一平台，方便调用和集成化管理。

国内最早与BIM有关的实践可以追溯到1997年，有学者采用CATIA、PDS等软件建立电气工程与石油工程领域的信息模型<sup>[1]</sup>。我国香港于2009年成立了BIM学会，是最早应用该技术的城市。2011年是中国“BIM发展元

年”，住建部发布了《2011-2015年建筑业信息化发展纲要》，要求加快BIM在工程中的应用，在十二五期间基本实现建筑企业信息系统的普及应用。2017年发布的《国务院办公厅关于促进建筑业健康发展的意见》（国办发【2017】19号）中提出了加快推进BIM技术在规划、勘察、设计、施工和运营维护全过程的集成应用，实现工程建设项目全生命周期数据共享和信息化管理的要求<sup>[2]</sup>。

近年来，BIM的应用领域也在不断拓展，从传统建筑业逐渐拓宽到城市轨道交通、城市综合管廊等基础设施建设领域。BIM的应用深度也在不断发展，BIM的数字化和信息化属性可以将规划设计与生产制造、装配施工、竣工验收以及运维管理等流程无缝对接<sup>[3]</sup>，从而应用到工程建设项目的全生命周期中。在设计制造及装配施工阶段，BIM可实现对预制构件制造的智能控制和尺寸复核，并通过云端技术将三维模型带入施工现场，进行无纸化施工测量放样和施工质量检验，避免施工人员对二维图纸的误读，将人工干预程度降至最低，保证预制构件定位的精准度。在竣工验收阶段，BIM可完成项目决算、档案管理及变更统计等。在运维管理阶段，BIM可实现项目的资产管理、设备维护、可视化展示以及其他综合管理等。从整个装配式建筑供应链来看，BIM提供了高度集成的信息化平台，相关人员能够根据构件在不同阶段的空间位置信息，掌握其实时状态，评估现阶段的工作，并组织和指导下一阶段的工作。

为进一步加快推进BIM在建筑业的应用发展，国家已制定了多项BIM应用的标准<sup>[4]</sup>。但由于BIM的国家标准出台较慢，一些地方政府往往已制定了地方标准，工程建设参与企业也制定了自己的企业标准，使得一个项目需要满足多重标准，导致有些项目BIM的验收标准和设计标准无法做到有效的统一。

针对BIM在设计 and 实际应用中存在的标准与政策不完善、应用型人才不足、专业软件不够成熟等问题，应从多方面着手，比如国家应完善相关BIM国家标准、企业应开发并完善符合国情的BIM设计软件和应用软件、高校应加强复合应用型BIM人才培养等，多方参与，协同推进BIM的正向设计及应用的发展。

## 二、二维码的应用

二维码是物联网技术的核心感知手段之一，也是互联网的重要信息入口和大数据的重要获取手段，在国民经济的各个领域得到了广泛应用和发展。根据住建部印发的智能建造与新型建筑工业化协同发展可复制经验做法清单，采用二维码技术不仅廉价而且很方便，生产企业可通过在预制构件表面粘贴二维码，并在信息系统中录入原材料的检验、预制件生产检验、成品入库和运输单等信息，实现预制件在生产、存储、调拨、出库、运输、进场验收等全过程中智能识别、跟踪、定位、监控和管理，并且质量责任可全过程追溯。

为了提高装配式建筑的管理水平，侯东爱等人<sup>[5]</sup>将二维码与BIM技术相结合，对其在装配式建筑工程的材料管理、质量管理、成品管理等方面的应用进行了研究，通过分析并应用施工过程中的相关管理信息，提高了产品的可追溯性和企业管理水平。赵文祥<sup>[6]</sup>采用BIM和二维码的手段，自动采集盾构管片的生产工艺参数、关键流程节点等信息，涵盖了管片出厂、运输、进场、堆放、下井、安装及验收的各个环节，实现了预制管片的全生命周期管理，不仅降低了盾构区间土建造价，而且提高了管片拼装进度。

二维码结合BIM用于预制构件的全过程追踪及管理主要可分为四步：（1）采用BIM三维建模软件建立整体结构的BIM模型，该模型与CAD图纸一致，并且能够查找每个预制件在项目整体模型中的位置。（2）采用动图制作软件建立构件的三维可视化表达，通过移动端扫描二维码时能够以动图或者视频的形式展示构件的具体位置。（3）在BIM中提取构件信息，制作构件信息表，并添加到二维码中。（4）将做好的二维码打印并粘贴在生产完毕的预制件上。

二维码可采取静态码和活码两种方式：（1）静态码可直接录入文字、图片等信息，生成的二维码信息不能修改（2）活码仅以二维码的形式作为入口，有关生产信息需要联网才能查阅。活码具有更大的可扩展性，二维码不变，后台数据可以不断更新，可查阅大量信息，比如可将与工程相关的各类影像、原始记录、检验报告等资料归档建立数据库并存入后台。但是活码需要后台的信息处理能力较高，对硬件配置有一定要求。

目前，二维码在建筑工程领域的应用大多还停留在基本信息展示（项目展示）和数据的统计整理方面，未来在BIM技术基础上进一步拓展其应用，对现场物料及人员进行管理，提高项目工程施工质量、缩短施工工期、减少安全隐患等。

### 三、RFID 的应用

RFID的基本原理是射频标签在磁场中接收解读器发出的射频信号，从而产生感应电流，并获得能量，进而发送出存储在芯片中的产品信息或者主动发送某一频率的信号，解读器获取信息并解码后，送至中央信息系统进行有关数据处理。RFID系统主要包含：（1）电子标签：内置电路芯片和天线，能与射频天线通信。（2）读写器：包括射频收发前端、控制单元、天线和通讯接口，能够读取电子标签中的信息，或写入信息。（3）计算机和数据中心：通过读写器的通讯接口与主系统连接，进行数据交换与存储。RFID标签可存储部分标记物件的信息（一般为编码ID），并且具有耐高温、防水、防磁、可重复利用等特点，同时可以是无源的，避免了供电需求。RFID标签的读写器读取速度快，具有一定穿透性，可免接触操作，能同时处理多个电子标签，高效且准确。通过RFID标签可以快速连接物理实体与数字模型，实现数字化的工程信息管理。

胡珉等<sup>[7]</sup>将低频、高频、超高频三种不同的RFID标签埋入混凝土预制件中，设计了预制件的智能生产管理系统，实现了预制件的全生产过程的跟踪和质量管理，并且能够对生产质量进行动态预警，从而调整生产计划，有效地解决了预制件因生产地点分散导致的质量和进度控制难题。张家昌等人<sup>[8]</sup>结合BIM与RFID技术，构建了贯穿构件设计、生产、建造、运营维护等各阶段的数据平台，实现了装配式建筑的全寿命周期管理。将BIM与RFID技术结合应用在装配式建筑建造过程，能够体现出二者的优势，对成本优化模型进行改进并融入BIM的全过程管理体系，对降低工程成本，提高工程建筑信息化发展和施工效率有着良好的作用。

在预制构件的应用中，RFID相较于二维码更具优势。首先，RFID存储容量更大，可达数兆字节；其次，RFID标签可以重复地新增、修改、删除储存的数据；最后，RFID信息读取和传输采用电磁信号，不受构件表面脏污、损毁影响。但由于需要对大量施工信息进行集成、储存，并进行后续的处理分析和共享等，信息的安全风险较高。尤其是RFID标签一旦接近到读写器的磁场范围，就会无条件的自动发出讯息，无法确认该RFID读写器是否合法，信息容易被非法读取和恶意篡改。因此，还需要加强BIM与RFID技术结合应用过程中信息安全管理的研究。

### 四、区块链技术的应用

如何保证装配式建筑施工质量管理中数字化信息记录的真实性，并提高质量验收的自动化水平，一直是该领域的难题之一。区块链作为一种按照时间顺序将数据

区块顺序相连组合成的一种链式数据结构，并以密码学方式保证的不可伪造和不可篡改的分布式账本，具有去不可篡改性、中心化和安全性等特点。首先，区块链采用区块加链的方式实现数据的可溯源及不可篡改。数据以区块的形式按照时间顺序永久性地储存，区块以链的方式组合在一起形成数据库。新区块加入到该链式数据库中，该区块的数据记录也将无法删除或篡改，并且可以追溯，从而保证了数据库的真实性和严谨性。其次，区块链的数据采用分布式结构，实现了去中心化，受到多方监督。每个参与数据交易的节点都将进行数据的存储和验证，保证数据受多方监督和上链数据的真实有效。最后，区块链采用非对称加密算法，各个节点无法擅自对数据进行篡改，大大提高数据存储和传输的安全性。

基于区块链的特征，为改善传统工程质量链缺乏信任和各参与主体质量管理各自为政、信息不共享等问题，提升整体工程质量运作效率，邱凯等人<sup>[9]</sup>提出一种基于RFID和区块链的预制构件管理系统，对每一个预制构件进行唯一标识，并贯穿预制构件从生产、存储、运输到施工的整个过程，开发的APP将数据采集并加密，然后打包存入区块链，为生产机管理方提供真实可信的溯源数据。严小丽等人<sup>[10]</sup>基于区块链技术构建多信息主体参与的BIM信息管理平台生态圈，分别从基础意识数据层、虚拟意识网络层、核心意识共识层以及现实意识应用层等四个方面进行了总体架构设计，并具体分析平台所具备的各种技术机制，解决了BIM在建筑业推行中的瓶颈问题，促进建筑业的转型升级。张智云等人<sup>[11]</sup>在装配式建筑工程中将区块链技术与RFID、二维码等电子标签技术相结合，使得所有参建主体统一关联起来，增加各方授信，加强关键环节的把控和监管，减少项目流程，提升整体作业效率。

因此，区块链有很大潜力改善装配式建筑领域的设计、生产、施工、运维等流程中固有的信息碎片化、管理粗放化等问题，进而推动建筑行业往高效、透明、问责的范式转变。

## 五、总结

在设计阶段，对装配式建筑工程BIM模型中的预制构件建立具有空间关联性的模型唯一性编码；在生产阶段，采用植入式RFID标签对实体预制构件进行编码，建立数字模型与物理构件的链接；在预制构件生产厂及装配现场，采用二维码实现人员及物料的信息化管理；结合区块链技术，对每一环的数据进行打包并建立唯一性区块，保证各环节数据的不可篡改、可追溯性，从而形

成一套完整的预制构件全生命周期数字化追踪、定位及管理方法，为装配式建筑供应链各参与方协同决策的具体实施提供参考依据，有效提升供应链管理效率，显著降低建筑业的交易成本，提高建筑供应链收益，实现资源优化配置，促进建筑业创新发展。

## 参考文献

- [1] 惠之瑶. 基于BIM-RFID的装配式建筑施工阶段的信息集成应用研究[D]. 内蒙古科技大学, 2020.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见[EB/OL]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/24/content\\_5170625.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/24/content_5170625.htm), 2017-02-24.
- [3] 张莹莹. 装配式建筑全生命周期中结构构件追踪定位技术研究[D]. 东南大学, 2019.
- [4] 南锦顺. 智能建造背景下BIM设计及应用现状与发展趋势分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(07): 82-84.
- [5] 侯东爱, 朱瑞超, 周伟. 二维码技术在装配式钢结构建筑工程管理上的应用[C]//. 钢结构与绿色建筑技术应用. 2019: 232-236.
- [6] 赵文祥. 基于BIM和二维码的盾构管片全生命周期管理系统研究[J]. 铁道勘察, 2022, 48(05): 88-93.
- [7] 胡珉, 陆俊宇. 基于RFID的预制混凝土构件生产智能管理系统设计与实现[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(03): 50-56.
- [8] 张家昌, 马从权, 刘文山. BIM和RFID技术在装配式建筑全寿命周期管理中的应用探讨[J]. 辽宁工业大学学报(社会科学版), 2015, 17(02): 39-41.
- [9] 邱凯, 司鹏搏, 曾涛, 李萌, 张延华. 基于RFID和区块链的预制构件管理系统[J]. 电子技术应用, 2020, 46(09): 79-84.
- [10] 严小丽, 吴颖萍. 基于区块链的BIM信息管理平台生态圈构建[J]. 建筑科学, 2021, 37(02): 192-200.
- [11] 张智云, 李志龙, 陈景华. 区块链技术在装配式建筑工程中的应用研究[J]. 福建建设科技, 2022(04): 125-128.

基金项目：浙江省交通厅《盾构隧道预制构件数字化质量管控技术研究与应用》（项目号：2021028）

作者简介：钟方杰（1981—），男，汉族，浙江湖州人，硕士学历，正高级工程师，从事工作为轨道交通、工程数字化。