

# 基于 BIM 与物联网的钢构桥梁跨平台物料管理方法研究

何田丰<sup>1</sup>, 姚发海<sup>2</sup>, 林佳瑞<sup>1</sup>, 张建平<sup>1</sup>, 陈辉<sup>3</sup>

(1 清华大学土木工程系, 北京, 100086; 2 中铁大桥局集团有限公司, 湖北, 430050; 3 北京九碧木信息技术有限公司, 北京, 100085)

**【摘要】**钢构桥梁物料管理是桥梁综合管理的重点和难点之一。钢构桥梁构件数量庞大、类型众多, 物料管理涉及多个参与方和部门, 协同工作难度大。本文通过引入 BIM 技术, 将桥梁信息模型与物料信息紧密挂接, 打通了零构件与计划进度之间的关系, 形成桥梁物料管理 4D 模型。同时结合物联网技术, 提出了基于物联网的跨平台、多终端物料管理方法, 解决了各参与方和部门间的“信息孤岛”, 实现了物料的信息化管理。

**【关键词】**BIM; 物联网; 物料管理; 钢构桥梁;

## 1 前言

钢构桥梁构件具有数量庞大、类型众多、生产加工安装环节多等特点, 其物料管理过程包含生产、存储、安装等多个环节, 涉及工程部、物机部、构件厂、项目总工等多个参与方或部门, 这些参与方或部门往往分布于项目部、构件厂、拼装场等不同地点, 使得钢构桥梁的物料管理存在着协同工作效率低、库存管理易出错、责任追踪不明确等问题。

建筑信息模型 (Building Information Model, 以下简称 BIM) 作为建筑工程全生命周期信息的数字化表达, 其最大的价值在于信息的集成与共享。施工阶段 BIM 集成了三维模型、进度、资源、成本等信息, 可以为桥梁物料管理提供强有力的数据支撑。同时, BIM 中信息之间结合紧密, 有助于打通物料状态、构件、进度三者之间的互通关系, 形成完整的桥梁物料管理 BIM。因此, 本研究将 BIM 技术引入钢构桥梁物料管理中, 辅助提高物料管理的信息化水平。

为解决多参与方的异地协同工作问题, 本研究在 BIM 技术的基础上, 引入物联网技术, 实现了包含 CS 端、BS 端、MS 端等多个终端的跨平台物料管理, 提高了 BIM 的信息传递与利用效率, 改善了物料管理的质量和水平。

## 2 相关研究综述

**【基金项目】**1. 国家自然科学基金(51278274)“基于云计算的建筑全生命周期 BIM 集成与应用关键技术研究”

2. 清华大学—广联达 BIM 中心课题“基于 BIM 的工程项目 4D 管理系统”

**【作者简介】**何田丰(1990-), 男, 清华大学博士研究生。主要研究方向为 BIM 在桥梁施工管理、绿色住宅产业化规划设计。  
E-mail: homdyan@126.com

目前,针对施工方的基于物联网的物料管理应用已经相对成熟。主流的应用方式是通过应用条形码、二维码和 RFID (Radio Frequency Identification, 无线射频识别) 等技术对构件进行标识,通过便携式手持电子设备进行扫码跟踪。Sardroud<sup>[1]</sup>通过结合 RFID、GPS (Global Positioning System, 全球定位系统)、GPRS (General Packet Radio Service, 通用无线分组服务) 等技术,实现了一种低成本、建议配置、易于应用的物料识别解决方案,用于自动定位和追踪物料的生产、运输和施工状态。Lee 等<sup>[2]</sup>提出了针对物料管控的基于 RFID 的生命期信息管理 (Information Lifecycle Management, 简称 ILM) 框架。所有物料在生产时被赋予识别标签,全生命期信息都基于上述标签实现信息集成。罗曙光<sup>[3]</sup>建立了一个基于 RFID 的钢构件施工监测系统,可以采集钢构件的施工进度实时数据,减少数据传递环节,提高钢构件进场验收效率。BIM 与物联网技术结合应用是当前的研究热点之一,但应用主要集中于大型公共建筑运维管理。陈兴海等<sup>[4]</sup>提出了包括工程信息共享平台、监测数据管理、三维模拟与漫游、健康诊断与安全评估和应急预警管理 5 大模块在内的城市生命线工程安全运维管控平台系统。胡振中等<sup>[5]</sup>通过引入 BIM 和二维码技术,研发了机电设备智能管理系统 (BIM-FIM 2012),实现了机电设备工程的电子化集成交付。

尽管如此 BIM 与物联网的集成应用主要集中于运维管理,近年来,越来越多的学者开始研究基于 BIM 的物料管理技术。马智亮等<sup>[6]</sup>针对地铁工程施工现场物料管理的需求,综合应用 Android 开发、二维码等新技术,研发了基于移动终端和既有信息系统的地铁工程施工现场物料管理系统。王春红<sup>[7]</sup>在分析现有物流管理的理论和方法的基础上,引入 BIM 技术来解决施工过程中采购、仓储、信息管理等问题,通过 BIM 进行场地选择、运输优化等应用。

然而, BIM 与物联网钢构桥梁施工的集成应用刚刚起步,相关研究和应用较少。与上述其他建设领域的应用相比,钢构桥梁主体结构几乎全部采用预制构件组装而成,其体量更大、构件种类和数量更多。加之部分大型桥梁施工涉及多个构件厂、多个预拼装场地,且项目跨度大,通讯交通大多不便,协同管理显得尤为重要。因此,钢构桥梁亟需引入 BIM 与物联网相结合的跨平台物料管理。

### 3 桥梁物料管理 BIM

物料管理的核心是物料状态的追踪分析。对于钢构桥梁而言,在构件安装之前,物料应依次完成下料、生产、运输、进场、预拼装等步骤,才能按时吊装。施工 BIM 是桥梁物料管理的基础,而设计 BIM 是施工 BIM 的基础。在设计 BIM 的基础上,集成进度信息,形成桥梁 4D 模型。进度计划与模型可采用自动或半自动方式挂接,从而减轻进度录入的时间与成本。同时,由于构件、进度、属性信息三者相互融合,信息提取和集成都会大为简化。建立 4D 模型后,桥梁上的所有零构件均可索引其对应的安装进度,反之亦然。由此可以推演得到构件下料、生产、运输、进场、预拼装的时间控制节点,进而实现物料进度管控。

除此以外，桥梁模型的建模细度应与物料管理的细度相匹配。一般而言，大桥吊装以构件为单位，而下料生产以零件为单位。因此，设计 BIM 模型应尽量实现零件级建模。同时，也应包含零构件之间的组装关系。本研究建议在模型中集成施工设计中的零件级编码，同时对每个构件提供简化编码供物料追踪实际使用。

#### 4 基于物联网的跨平台物料管理

构件从下料到安装涉及构件厂、物机部、工程部、项目总工等多个部门和负责人。同时也涉及构件厂、拼装场、项目部等不同地点。多参与方及其分散性布局为信息传输带来了一定困难。针对此应用难题，本研究提出了基于物联网和 BIM 的跨平台物料管理流程，如图 1 所示：

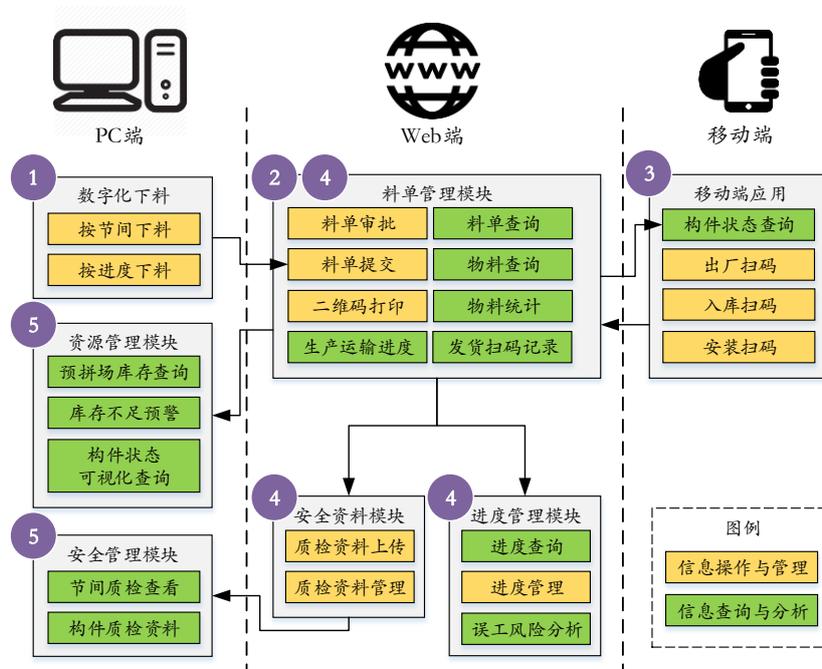


图 1 基于物联网的物料管理流程

1、数字化下料：物料管理 BIM 集成了进度信息与零构件编码，对于给定的进度计划或桥节节间，支持自动统计计算任意时间段内需要架设的物料编码及零件清单，用户可根据工程实际工期及现场库存情况自动下料，达到节省人工、减少错漏、提高物料生产与存储效率的目的。

2、物料协同管理：由于桥梁物料管理涉及多参与方和多个场地，因此应将物料系统管理流程集成至系统中。系统可根据用户的部门，自动分配不同的职责权限。各部门负责人员通过浏览器即可登录 Web 端系统查看任务并执行操作。

3、物料追踪：构件生产完成后，构件厂应打印二维码并张贴在构件上。构件发货、

入库和安装前应分别进行扫码操作。扫码过程中应记录扫码人员 ID、操作时间和具体操作内容，同时应限制各扫码人员权限，避免错误扫码。例如，发货的构件既不能再次进行发货扫码，也不能提前进行安装扫码，而仅能进行入库扫码。扫码后相关信息应立即通过网络同步至中心服务器，并通过二维码中的唯一标识与构件相集成。

4、物料状态查询与分析（Web 端）：扫码信息集成至服务器后，各客户端均可实时进行物料状态的查询和分析。Web 端系统的特点是对客户端配置要求低，便于多参与方异地协同。因此，计算量少或以图表方式呈现的分析功能宜在 Web 端系统研发。例如物料状态统计、进度延误警报、库存不足预警等功能。

5、物料状态查询与分析（PC 端）：与 Web 端系统相比，PC 端系统计算和显示性能更强，适于与模型相关的各类复杂分析功能。例如可视化的物料状态展示和库存不足预警等功能。

## 5 项目应用

本研究对提出的基于 BIM 与物联网的跨平台物料管理流程进行了实际工程验证。本研究在清华大学 4D-BIM 施工管理平台上，研发了 CS 端的物料管理模块。另外，本研究还单独研发 Web 端和移动端的物料管理系统，并在数据库层面实现了各客户端系统的无缝数据集成。

本研究将上述系统应用于重庆渝黔铁路新白沙沱长江特大桥项目中进行验证。新白沙沱大桥位于重庆市江津区，是渝黔铁路的关键控制性工程。大桥全长 5.3 公里，是世界上首座双层六线铁路钢桁梁斜拉桥，也是世界上延米载荷最大的桥梁。大桥 2012 年 12 月 31 日开工，预计 2016 年 8 月 31 日建成。大桥设计模型由铁二院通过 CATIA 软件建模。设计 BIM 细度达到零件级，钢梁桥节模型包含 4512 个产品文件（.CATProduct），总计 71118 个零件文件（.CATPart）。设计 BIM 通过软件接口导入清华大学 4D-BIM 施工管理平台中，并与大桥进度计划向集成，形成桥梁 4D 施工模型。

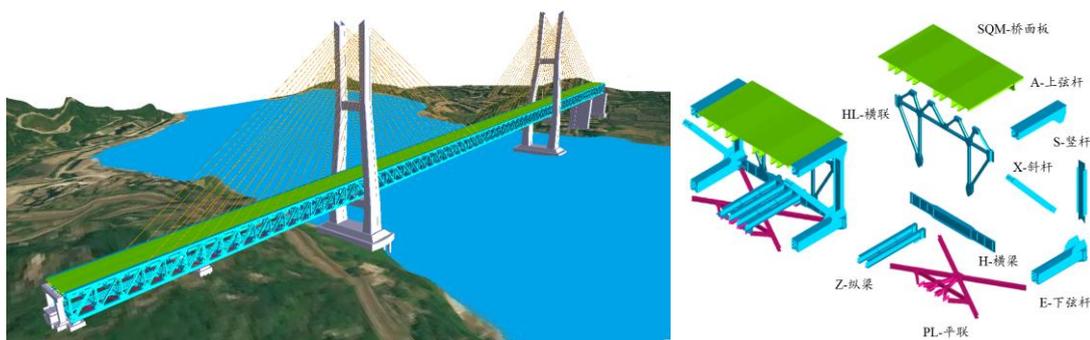


图 2 新白沙沱大桥设计 BIM

工程中实际应用的工程编码与设计中的不同：1) 工程编码以构件为单位管理；2)

工程编码应尽量简短；3) 考虑同类构件重用，工程编码中不应包含桥节信息。因此，针对上述实际要求，数字化交付过程中，模型编码由铁二院设计编码自动转换为工程编码。工程编码采用 3 段定长式书写（如图和表所示），以便于生成二维码。每段编码不足则在该段末尾处补 ‘#’，(最后一段编码不足在前方补 ‘0’)，编码示例如图 3 所示。

BST## HL1##### 0010

1 2 3

图 3 新白沙沱长江大桥物料管理编码示例

完成进度计划和模型编码的集成后，即可开始基于物联网的跨平台物料管理。PC 端系统可根据进度计划或桥节节间自动统计计算任意时间段内需要架设的物料编码及零件清单并导出下料单，用户可根据工程实际工期及现场库存情况自动下料，如图 4 所示。



图 4 按进度计划进行钢构件下料

Web 端系统集成了物料协同管理流程，会根据用户的部门，自动分配不同的职责权限：物机部负责上传料单，项目总工负责料单审核，构件厂负责接收料单并开始物料生产。

构件厂生产并张贴二维码后，物料追踪即开始。物料追踪通过移动端二维码扫码实现，如图 5 所示。构件厂首先进行发货扫码，构件到达预拼场后物机部现场人员进行入库扫码，构件架设前工程部现场人员进行架设扫码。



图 5 通过手持终端扫描二维码进行物料追踪

扫码后, 物料信息变更立即同步至服务器中, PC 端、Web 端和移动端均可实时进行物料状态的查看与分析。本项目实现并应用了物料状态可视化查询、物料延误状态统计、库存不足预警等相关功能, 如图 6 所示。

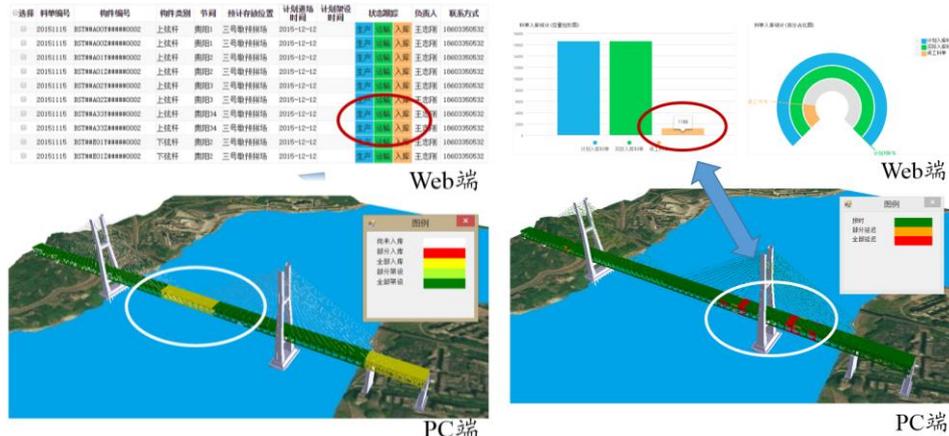


图 6 Web 端和 PC 端分别进行物料状态查询 (左) 和进度滞后预警 (右)

## 6 结论

本文通过引入 BIM 技术, 将桥梁信息模型与物料信息紧密挂接, 打通了零构件与计划进度之间的关系, 形成桥梁物料管理 4D 模型。同时结合物联网技术, 提出了基于物联网的多终端、跨平台物料管理, 实现了物料的信息化管理, 解决了各参与方和部门间的“信息孤岛”。在重庆新白沙沱长江特大桥项目中的实际验证表明, 本研究提出的基于 BIM 的钢构桥梁跨平台物料管理方法可以辅助提高物料管理信息化水平、提高 BIM 的信息传递与利用效率、改善物料管理的质量和水平。

## 参考文献

- [1] Sardroud Javad Majrouhi. Influence of RFID technology on automated management of construction materials and components[J]. Scientia Iranica,2012, 19(3):381-392.
- [2] Lee Ju Hyu, Jeong Hwa Song, Kun Soo Oh 等. Information lifecycle management with RFID for material control on construction sites[J]. Advanced Engineering Informatics,2013, 27(1):108-119.
- [3] 罗曙光. 基于 RFID 的钢构件施工进度监测系统研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [4] 陈兴海,丁烈云. 基于物联网和 BIM 的城市生命线运维管理研究[J]. 中国工程科学,2014,(10):89-93.
- [5] 胡振中,陈祥祥,王亮等. 基于 BIM 的机电设备智能管理系统[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013,(1):17-21.
- [6] 马智亮, 张东东, 青舟等. 基于移动终端和既有信息系统的地铁工程施工现场物料管理系统[J]. 施工技术,2012,(16):5-9.
- [7] 王红春. 基于 BIM 技术的建筑企业物流管理研究[J]. 技术经济与管理研究,2014,(12):55-58.