

[文章编号] 1003-4684(2023)06-0052-04

基于 AnyLogic 的装配式建筑施工模拟仿真实践

张新伟, 邹贻权

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 针对装配式建筑施工工艺工序复杂, 传统经验法配置班组人员易造成窝工的问题, 利用 AnyLogic 软件对某装配式建筑项目标准层施工进行仿真模拟。通过分析仿真结果, 发现灌浆班组、吊装班组和钢筋班组总用工数较多, 且窝工率较高, 针对三个班组劳动力配置提出优化方案, 降低班组窝工率和人工费, 为项目劳动力资源配置提供依据。

[关键词] 装配式建筑; 流水施工; AnyLogic 仿真

[中图分类号] TU721 [文献标识码] A

随着我国劳动力成本快速增高, 提高劳动力资源利用效率成为建筑施工行业的迫切需求^[1]。为促进建筑行业由劳动密集型产业向技术密集型产业转变, 近年来国家大力推广预制装配式建筑。当前装配式建筑施工管理内容精细化要求高, 实际施工过程中存在资源浪费、管理混乱等问题, 容易造成窝工、工期延误等情况, 增加建设成本^[2]。

将计算机仿真模拟技术运用至建筑施工中, 能清晰的显示出施工进度, 实时掌握劳动力资源投入情况和使用效率, 输出模型仿真数据并分析仿真结果^[3]。根据工期目标配置班组劳动力, 预测不同劳动力资源配置情况下的施工进度, 对班组劳动力效率定量评价, 找出存在严重窝工的班组和工序, 解决传统经验法配置班组劳动力导致的项目窝工问题。

1 AnyLogic 简介

AnyLogic 是一个现代和灵活的面向对象的多方法仿真软件拥有流程建模库、物料搬运库等多个模型库及功能模块, 具备良好的可视化建模环境和数据输入、输出方式, 广泛应用于加工制造业^[4]。

2 装配式建筑施工仿真模拟方法

2.1 装配式建筑施工管理问题

区别于传统施工方式, 装配式建筑在工厂加工制作好建筑构件和配件, 再运输到建筑施工现场, 通过可靠的连接方式在现场装配安装而成^[5]。装配式建筑较传统建设方式增加了分项工程数量(装配式

建筑施工增加分仓、灌浆、预制构件吊装等)工序; 由于采用预制构件替代现浇结构, 部分分项工程的工程量(钢筋、模板工程量较传统施工方式)减少。分项工程种类增加和工程量减少, 参与施工的班组种类增多, 施工环节交错, 工序繁多, 管理要求更加精细化, 导致流水施工工序衔接和穿插管理难度更高, 劳动力资源配置管理难度更大, 按传统施工经验配置劳动力的方法易造成窝工和现场管理混乱的现象发生, 不能满足装配式建筑高效建造的要求。

2.2 基于 AnyLogic 的仿真模拟方法

针对装配式建筑施工中存在的问题, 利用 AnyLogic 软件建立仿真模型, 将施工分区定义为智能体, 通过对施工分区现场调研和研究, 标准层分成 2 个施工分区时, 穿插情况适中, 有利于组织流水施工, 且适用性较强^[6]。

将项目施工抽象为流水线加工, 施工分区智能体抽象为产品生产, 通过 AnyLogic 软件中模型库、功能模块、参数和函数调用, 按装配式建筑施工工艺串行、并行、穿插和衔接逻辑进行仿真建模。在确定施工工序、工程量、工效等技术资料的基础上, 为各道工序初步配置劳动力资源, 建立施工仿真模型模拟项目流水施工, 通过模型可视化分析和数据输出, 找到窝工严重的工序和施工班组。对劳动力利用效率进行定量评价, 为优化劳动力配置提供依据。

2.3 AnyLogic 仿真模块及功能

本研究使用 AnyLogic(8.7.5)仿真软件进行建模, 主要运用流程建模库搭建逻辑模型, 通过参数和

[收稿日期] 2022-03-07

[第一作者] 张新伟(1993-), 男, 湖北鄂州人, 湖北工业大学硕士研究生, 研究方向为工程项目管理。

[通信作者] 邹贻权(1973-), 男, 湖北公安人, 湖北工业大学教授, 研究方向为数字设计与建造。

函数设置输入项目工程量、工序和劳动力资源数据，使用软件自带分析图表实现模型运行情况实时观测和数据输出，常用模块及功能如下。

1)Source 是项目智能体生成模块，每一个施工分区对应一个智能体，携带有项目工程内容、规模、工效等参数。

2)Service 代表施工工序，通过函数设置实现模拟工序施工，智能体在工序停留的时间即工序耗时。

3)Combine 可以合并智能体副本，连续合并智能体时可设置多个 Combine 模块，避免使用 Assembler 模块导致丢失智能体数据。

4)Split 可以创建智能体副本，并确保输出的智能体和副本属性与原输入智能体保持一致。利用 Combine 和 Split 可以表示施工工序的串行、并行、穿插和衔接逻辑。

5)Queue 是智能体排队等待模块，可以在工序完成后连续使用 Combine 合并智能体时防止模型堵塞。

6)Delay 是指在某道工序结束后的等待时间，可以代表分仓料或灌浆料的凝固时间。

7)Sink 是仿真模型的终点，代表该施工分区施工完成和仿真过程结束。

8)Resource Pool 是模型资源池模块，模型中各工序均从对应的资源池调用劳动力资源。

9)Parameter 是参数，可以设置项目各工序的工程量、工效和班组人数等数据。

10)Plot 是图表模块，可以实时显示模型运行情况和劳动力资源使用情况，并输出模型运行数据。

3 案例分析

3.1 项目概况

以某单体装配式建筑标准层为研究对象，该标准层竖向结构采用预制装配式外墙(YWQ)和现浇内墙，预制外墙连接处采用现浇结构连接。标准层水平结构部分采用预制装配式，预制构件类型有预制叠合板(YDB) 预制阳台(YYT) 预制空调板(YKB)预制阳台挂板(YGB)预制楼梯(YLT)，水平构件、部分楼板和梁采用现浇结构连接。将该标准层分为 A、B 两个施工分区，前期已测定工序工效，各分区的工程内容、工程量如表 1 所示。

表 1 工程量及工效

序号	工序	对象	工效	A 区工程量	B 区工程量	班组类型
1	测量放线	YWQ、现浇墙内墙	3 min/块/班组	19+11	18+15	测量班组
2	分仓	YWQ/座浆料	6.62 L/人/h	21 L	23.04 L	灌浆班组
3	吊装预制墙	YWQ	15min/件/塔吊/班组	19	18	吊装班组
4	封仓、灌浆	YWQ/灌浆料	60 L/机/h	170.86 L	185.11 L	灌浆班组
5	现浇内、外墙钢筋绑扎	现浇内墙钢筋	70 kg/人/h	2085.5 kg	2077.1 kg	钢筋班组
6	现浇内、外墙模板支设	现浇内墙模板	10 m ² /人/h	332.0 m ²	270.2 m ²	模板班组
7	设置三角独立支撑	三角独立支撑	15 根/人/h	154	152	吊装班组
8	设置支撑托木方	支撑托木方	60 根/人/h	77	76	吊装班组
9	设置独立支撑	独立支撑	20 根/人/h	89	105	模板班组
10	现浇梁板铝模支设	现浇梁、板模板	10 m ² /人/h	94.6 m ²	96.1 m ²	模板班组
11	YDB 构件吊装	YDB	5 min/件/塔吊/班组	27	27	吊装班组
12	YYT 吊装	YYT	15 min/件/塔吊/班组	3	3	吊装班组
13	YKB 吊装	YKB	8 min/件/塔吊/班组	5	6	吊装班组
14	YGB 吊装	YGB	8 min/件/塔吊/班组	2	2	吊装班组
15	YLT 吊装	YLT	8 min/件/塔吊/班组	0	2	吊装班组
16	现浇梁、板底钢筋绑扎	现浇梁、板底钢筋	70 kg/人/h	2723 kg	2471 kg	钢筋班组
17	预埋管线	预埋管线	10 m/人/h	41.97 m	42.38 m	安装班组
18	预埋螺栓	预埋斜撑螺栓	12 个/人/h	38 个	39 个	吊装班组
19	板面钢筋绑扎	板面钢筋	70 kg/人/h	579 kg	563 kg	钢筋班组
20	混凝土浇筑	混凝土	55 m ³ /h/泵	47.03 m ³	44.96 m ³	混凝土班组

3.2 装配式建筑流水施工模型搭建

将工序划分主线工序和支线工序，支线工序在主线各工序施工时并行、穿插进行。

主线工序包括：测量放线、分仓、外墙吊装、封仓、灌浆、YDB 吊装、YYT 吊装、YKB 吊装、YGB 吊装、梁底板钢筋绑扎、板面筋绑扎、浇筑混凝土。

支线工序包括：1)内外墙钢筋绑扎、内外墙模板支设，在外墙吊装完成后开始，与封仓工序并行；2)

梁板铝模支设、设置独立支撑，在内外墙模板支模完成后开始；3)设置三角独立支撑、设置支撑托木方，在独立支撑设置完成后开始；4)水电安装，在吊装全部完成后开始，与梁板底筋绑扎并行；5)预埋件，在梁板底筋绑扎完成后开始，与板面筋绑扎并行。

封仓 4 小时后方可开始灌浆，灌浆 24 h 后才能进行 YDB、YYT、YKB、YGB 等水平构件吊装。模型逻辑框架如图 1 所示。

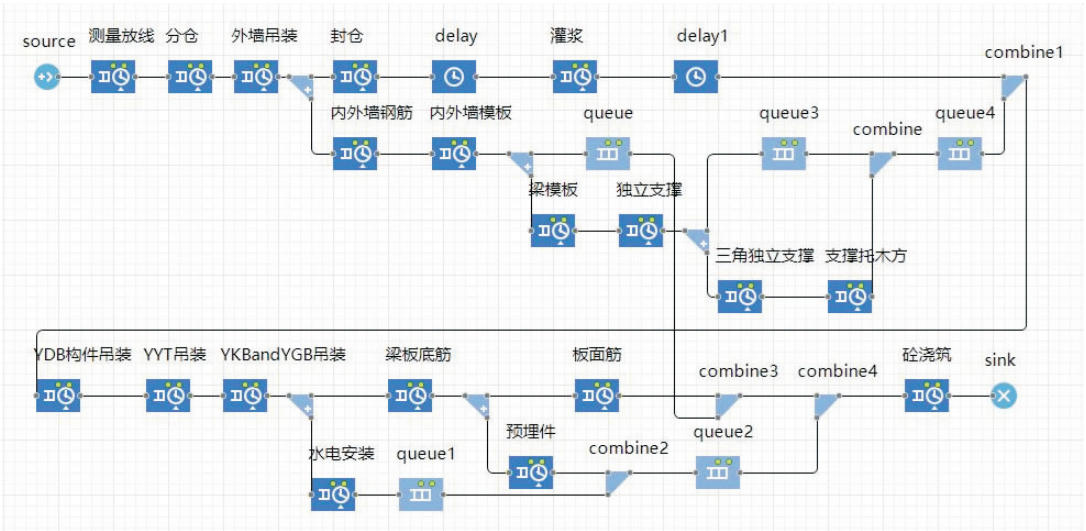


图 1 装配式建筑流水施工逻辑关系

3.3 参数和函数设置

施工班组资源集设置。将工人分为测量班组、灌浆班组、吊装班组、钢筋班组、模板班组、安装班组和混凝土班组，使用资源集模块代表各施工班组，并通过参数模块设置各班组人数。

工序耗时函数设置。以测量放线工序为例，在测量放线 Service 模块中设置时间延迟函数：

agent.total_测量放线/(agent.rate_测量放线 * agent.num_测量放线)

表示智能体在该工序耗时。

副本函数设置。使用 Split 和 Combine 还原工序逻辑，通过函数设置，使智能体离开 Split 模块时保持原智能体属性，如图 2 所示。

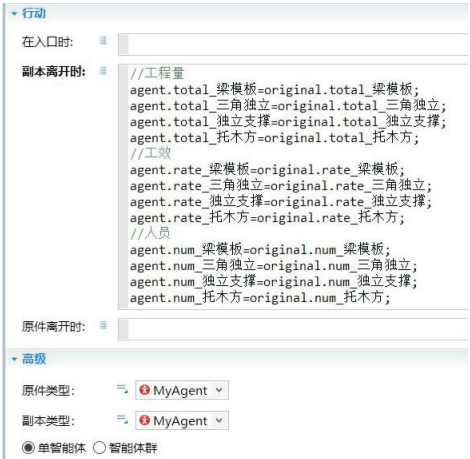


图 2 副本函数设置

3.4 智能体封装和数据读取

新建 Myagent 智能体，设置项目各工序工程量、工效、劳动力资源参数和时间变量，智能体即包含该项目标准层施工工作。在 Excel 中将工程量、工序和劳动力资源数据进行规范处理，将模型连接到 Excel 文件。然后在 Source 模块中设置函数如

图 3 所示，分别读取表格数据，智能体离开 Source 时即携带全部该工程工程量、工效和拟投入的劳动力资源数据。

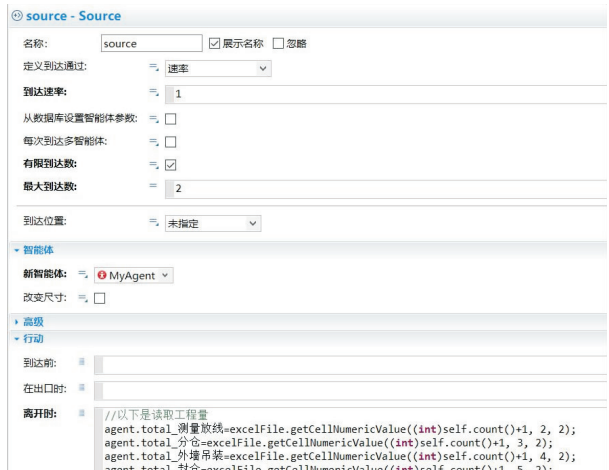


图 3 智能体数据读取

3.5 仿真结果分析及优化

使用图表模块，设置函数采集运行数据，如图 4 所示，实时观测不同时段工作内容、在忙人数、工序耗时等，分析各班组工作存在的问题。

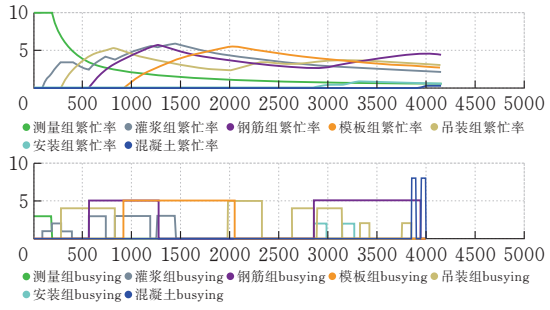


图 4 数据分析

对仿真结果进行输出和整理得到各工序的用工数据，进而得到标准层施工的总用工数、总出勤时间和闲置时间班组窝工率，结果整理如表 2 所示。

表 2 仿真结果分析

施工班组	总用工数/ (人·12 h)	总出勤时 间/h	总闲置时 间/h	窝工率/%
测量班组	3	12	2.55	21.25
灌浆班组	14	56	13.7	24.46
吊装班组	38	152	47.26	31.09
钢筋班组	45	180	29.9	16.61
模板班组	25	100	6.4	6.40
安装班组	4	16	7.56	47.25
混凝土班组	8	32	18.64	58.25

通过对仿真数据整理发现,灌浆班组、吊装班组、钢筋班组总用工数较大,且窝工率较高,需要进行优化调整。

1)灌浆班组优化 灌浆班组工作时间存在多次间隔,班组人员工作时间零散且分散,单独配置灌浆班组,易造成大量窝工。在工期富裕时,竖向构件吊装和灌浆可以交由同一个班组进行,提高劳动力资源利用率。

2)吊装班组优化 预制构件吊装施工不能通过改变班组人数提高工作效率,可以通过调整班组工作分工进行优化。在吊装班组任务繁重时,将吊装辅助工作,例如外墙斜撑拆除、三角独立支撑拆除等交由模板班组进行。

3)钢筋班组优化 梁板钢筋绑扎工序对钢筋班组窝工率影响较大,适当增加钢筋班组人数,提高施工速度,减少钢筋班组的加班时间,将该工序的出勤时间控制在 1 个完整工作日以内,从而降低窝工率。在工期富裕时,也可适当减少钢筋班组人数,将该工序时间控制在 1.5 个工作日以内。

调整班组人数并再次仿真,可以得到不同劳动力资源投入情况下的工期、用工数和用工效率,进一步计算用工成本,根据项目工期和成本控制要求设计出最佳的班组人数组合。

4 结束语

通过梳理装配式建筑施工工序逻辑关系,运用 AnyLogic 软件仿真模拟,建立了标准层两个施工分区流水施工模型。根据模型和数据分析图可以实时观察施工进度和劳动力使用情况,分析仿真数据,定量评价劳动力资源利用效率,发现灌浆班组、吊装班组和钢筋班组窝工率较高,针对性提出优化方案。设计出最佳班组人数组合,有效降低班组窝工率,为项目劳动力资源配置提供依据。

[参 考 文 献]

[1] 曾晓宏.产业结构升级转型中产业的空心化趋势研究[J].湖南社会科学,2016(06):161-163.

[2] 廖礼平.绿色装配式建筑发展现状及策略[J].企业经济,2019,38(12):139-146.

[3] 潘寒,黄熙萍,邹贻权,等.BIM 技术在 PC 构件生产过程中的应用研究[J].工程经济,2018,28(11):33-36.

[4] 焦宇阳.基于社会力模型改进的火灾疏散建模与仿真[D].北京:北京建筑大学,2019.

[5] 刘康宁,张守健,苏义坤.装配式建筑管理领域研究综述[J].土木工程与管理学报,2018,35(06):163-170.

[6] 周鹏华,张金军,谢华,等.火神山医院施工策划与计划管理实践[J].施工技术,2020,49(12):25-29.

Simulation Practice of Prefabricated Building Construction Based on AnyLogic

ZHANG Xinwei, ZOU Yiquan

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment ,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: Aiming at the complex construction process of prefabricated buildings and the problem that the traditional experience of configuring team members is easy to cause slack work, the AnyLogic software is used to simulate a prefabricated building construction project. Through the analysis of simulation results, it is found that the total number of workers in the grouting team, hoisting team and reinforcement team is large, and the nesting rate is high, and an optimization plan is proposed for the labor allocation of the three teams, which reduces the nesting rate and labor cost of the team, and provides a basis for the allocation of project labor resources.

Keywords: prefabricated building; flow construction; AnyLogic simulation

[责任编辑: 裴 琴]