

# 粒子群算法在老旧小区改造工程施工 成本控制中的应用 \*

苏倚晴

(中铁十八局集团北京工程有限公司,北京 100162)

**[摘要]** 为研究老旧小区改造工程中成本控制方法,提出基于粒子群算法的成本控制策略,建立施工成本控制数学模型,将粒子群算法应用于该模型中,通过模拟粒子群运动过程,寻找施工成本控制最优方案,并通过案例分析验证方法可行性和有效性。研究结果表明,粒子群算法能够有效评价老旧小区施工成本控制策略,某老旧小区工程施工成本控制目标中,工程重点工序及工程难点工序具有明显的优先程度,对施工成本的影响较大,质量目标与安全目标是工程重点工序的关键问题,应加强质量与安全管控。老旧小区改造工程施工过程中,应根据材料、施工设备使用情况等,制定严格的施工方案和标准,加强材料采购、施工质量控制,实现整体施工成本的降低。

**[关键词]** 老旧小区;改造;成本控制;粒子群算法

[中图分类号] TU984

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)21-0134-05

## Application of Particle Swarm Algorithm in the Construction Cost Control of Old Residential District Reconstruction

SU Yiqing

(China Railway 18th Bureau Group Beijing Engineering Co., Ltd., Beijing 100162, China)

**Abstract:** To study the cost control methods of old residential district reconstruction, a cost control strategy based on particle swarm algorithm is proposed. A mathematical model for construction cost control is established, and the particle swarm algorithm is applied to the model. By simulating the particle swarm motion process, the optimal solution for construction cost control is found, and the feasibility and effectiveness of the method are verified through case analysis. The research results show that particle swarm algorithm can effectively evaluate the construction cost control strategy of old residential districts. In the construction cost control objectives of a certain old residential district project, the key and difficult processes of the project have a significant priority, which has a significant impact on the construction cost. Quality and safety objectives are key issues in key engineering processes, and quality and safety control should be strengthened. During the construction process of old residential district reconstruction, strict construction plans and standards should be formulated based on the use of materials and construction equipment, and material procurement and construction quality control should be strengthened to achieve a reduction in overall construction costs.

**Keywords:** old residential districts; reconstruction; cost control; particle swarm algorithm

## 0 引言

随着城市化进程的加快,老旧小区改造工程日益增多,老旧小区改造不仅关乎居民的生活质量,也影响到城市的整体形象和功能<sup>[1-4]</sup>。改造工程建

设过程中通常涉及复杂的施工环境和多样化的成本控制因素,传统的成本控制方法难以满足精细化和智能化管理需求。粒子群算法作为智能优化算法,具有全局搜索和快速收敛的特点,为老旧小区改造工程施工成本控制提供了新方法。

翟博文等<sup>[5]</sup>和任志涛等<sup>[6]</sup>结合BIM技术,开展了老旧小区施工成本优化控制方法研究,研究结果

\* 中铁十八局集团科研课题

[作者简介] 苏倚晴,助理工程师,E-mail:suyiqing123456@yeah.net

[收稿日期] 2024-06-26

表明 BIM 技术能够通过优化施工工序,达到降低工程造价的目的。班君<sup>[7]</sup>通过大数据分析,找到影响工程造价的关键因素,并提出了相应的控制方法。乔迪菲<sup>[8]</sup>对建筑管理中的成本管控进行了探讨,认为优化造价算法能够较好地控制工程成本。钟运峰<sup>[9]</sup>结合具体实例,分析老旧小区改造过程中面临的项目成本管理难点,提出了科学制定施工组织设计、提高施工人员综合素质、强化施工现场管理、加强与居民沟通、加强材料成本管控、加强工程变更成本控制管理等控制措施。穆超<sup>[10]</sup>基于既有居住建筑工程全寿命周期理论,采用直接计算法、地区指导价格法、市场实时价格法和市场调节法计算改造工程成本效益,对其经济效益、环境效益和社会效益进行分析。

针对老旧小区改造工程建设费用管理问题,特别是更新过程中遇到的目标多变性和技术难题等挑战,提出了基于粒子群算法的老旧小区改造工程成本控制策略,通过构建由工程难度限定的数学优化模型,利用改进的粒子群算法满足老旧小区改造施工成本控制要求,从而得出了工程难度制约下最优的建设费用管理方案,并对方案合理性进行了分析。

## 1 老旧小区改造工程施工成本控制目标

利用层叠式解析方法对老旧小区改造工程进行全面盈利能力评估,并对各建设任务设定具体的目标等级,明晰各任务之间的优先顺序,以便有效管控建设费用。首先针对建设工程总体效益评定的关键因素和相应的建设目标,使用特征根和特征向量决定每个因素的重要性;然后计算得到每项建设的总分数,以此判断其优先级别。当经济利益受限时,应重点关注资源限制问题,将老旧小区改造工程总体效益  $S$  提升至最高作为主要目标,可构建以下优化策略<sup>[11]</sup>:

$$\max S = \sum_{j=1}^m \left( N_j \sum_{i=1}^n \omega_{ij} k_i \right) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m N_j r_t^j \leq R_t, \omega_{ij} \geq S_i \quad (2)$$

式中: $m$  为初次筛选出的工程数量; $j$  为工程编号  $j=1, 2, \dots, m$ ; $N_j$  取值为 0~1, 用于决定是否选定第  $j$  个工程, 其中 0 表示未选定, 1 表示已选定; $n$  为衡量整体效益的评估指标总数; $i$  用于标识每个指标的位置  $i=1, 2, \dots, n$ ; $k_i$  为施工目标值评价的  $i$  个指标权重,  $0 < k_i \leq 1$  且  $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ ; $\omega_{ij}$  为第  $j$  个建设工程第  $i$  个指标的评价得分; $\sum_{i=1}^n \omega_{ij} k_i$  为第  $j$  个建设工程总体

效益值; $t$  为施工步骤编号, 取值为  $1 \sim Q$ ,  $Q$  为施工前期的工程量; $R_t$  为第  $t$  个施工工序消耗的资源量; $r_t^j$  为第  $j$  个建设工程包含的第  $t$  个施工工序的数量; $S_i$  为每个建设工程关于评估指标  $i$  的得分最小值。

## 2 老旧小区改造主要内容

某老旧小区改造工程共包含 12 个小区, 主要改造内容为建筑外墙整修、屋面防水修复、围墙整修、小区道路雨污管线整修或新建、绿化提升、电气改造等。本工程对施工成本影响较大的因素主要为外墙工程和绿化工程, 雨污管线工程影响最小, 因此对建筑外墙、绿化、防水等工程进行重点分析, 实现成本的优化控制。

## 3 基于粒子群算法的施工成本控制

基于粒子群算法, 依据建筑工程成本控制目标影响因素优先级特征, 首先从符合条件的一系列几何环境里随机生成  $e$  颗微粒, 然后每经过一次迭代, 微粒会跟随其所发现的最优方案, 即族群目前已知的最优建设目标集合, 该过程持续进行直至获得总体上的最优结果, 进而得到满足施工工艺等相关限定标准的最优建设目标集合。将  $f$  作为算法迭代总数次, 将第  $q$  颗微粒位置设定为  $x_q^f$ , 将飞翔速率(对位置的调整幅度)设定为  $v_q^f$ , 将每颗微粒目前所在的最大值点位设定为  $p_q^f$ , 将全体微粒到达过的最佳位置设定为  $p_g^f$ , 则有:

$$v_q^{f+1} = uv_q^f + c_1 r_1^f (p_q^f - x_q^f) + c_2 r_2^f (p_g^f - x_q^f) \quad (3)$$

$$x_q^{f+1} = x_q^f + v_q^{f+1} \quad (4)$$

$$x_q = (N_{q1}, N_{q2}, \dots, N_{qn}) \quad (5)$$

$$v_q = (v_{q1}, v_{q2}, \dots, v_{qn}) \quad (6)$$

式中:  $u$  为速度惯性权重;  $c_1, c_2$  为加速常数;  $r_1^f, r_2^f$  为相互矛盾的随机函数, 取值为  $0 \sim 1$ 。

将开始时随机设置的目标集合分割为多个小组, 针对每组中的目标集进行单独的粒子群优化操作, 从而得到各组最理想的目标集合。将所有组最优目标集合(顶级粒子)合并形成精英粒子群, 利用精英粒子群执行搜索操作, 得到整个模型最优目标集合。对于每个精英粒子群来说, 其单一粒子移动速率及位置更新计算如下:

$$v_{q'}^{f+1} = uv_{q'}^f + c_1 r_1^f (p_{q'}^f - x_{q'}^f) + c_2 r_2^f (p_l^f - x_{q'}^f) \quad (7)$$

$$x_{q'}^{f+1} = x_{q'}^f + v_{q'}^{f+1} \quad (8)$$

式中:  $q' = 1, 2, \dots, e'$ , 为各精英粒子群和其对应的目标集编号, 其中  $e'$  为各精英粒子群施工目标组合的总数;  $p_l$  为精英粒子群最优工程实施方案, 其中  $l$  为精英粒子群编号, 取值为  $1 \sim E+1$ ,  $E$  为精英粒子群个数。

### 3.1 施工目标优先级确定

本文采用专家评分方法并结合层级分析技术评估施工成本控制中各元素的重要性及其优先级别。设定第 1 层次为施工目标优先程度 Y; 设定第 2 层次为施工企业成本控制目标的决定因素, 主要为利润  $M_1$ 、工程重点工序  $M_2$ 、工程难点工序  $M_3$  和施工工艺  $M_4$ ; 设定第 3 层次为判断施工成本控制目标, 包括工期目标  $K_1$ 、质量目标  $K_2$ 、安全目标  $K_3$ 、环卫目标  $K_4$ 、文明施工目标  $K_5$ 、服务目标  $K_6$ 、工程总体目标  $K_7$ 。召集专家对各项综合指标重要性和优先顺序进行投票, 使用标度 1~9 的因素参数作为评判标准(见表 1), 以反映各类因素的相对重要性。

表 1 评估标准及对应的评价等级

Table 1 Evaluation criteria and corresponding evaluation grades

标度	含义	因素参数
1	表示因素 $i, j$ 具有相同的影响程度	1
3	表示因素 $i$ 较因素 $j$ 的影响程度较大	1/3
5	表示因素 $i$ 较因素 $j$ 的影响程度大	1/4
7	表示因素 $i$ 较因素 $j$ 的影响程度显著	1/5
9	表示因素 $i$ 的影响程度远大于因素 $j$	1/6
2,4,6,8	表示上述两两判断之间的中间状态	1/2

基于层次分析方法, 按照施工目标对施工成本的影响程度, 建立老旧小区改造工程成本影响目标优先级排序决策结构, 如图 1 所示。

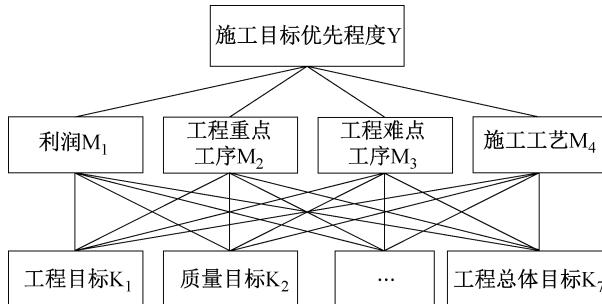


图 1 成本影响目标优先级排序决策结构

Fig. 1 Decision structure for prioritizing cost impact targets

根据表 1 给出的评价准则与等级, 通过专家打分对目标层对应的准则层因素进行两两对比, 结果如表 2 所示。

表 2 准则层因素对比结果

Table 2 Comparison results of criteria level factors

因素	利润 $M_1$	工程重点 工序 $M_2$	工程难点 工序 $M_3$	施工工艺 $M_4$
利润 $M_1$	1	2	4	3
工程重点工序 $M_2$	1/2	1	2	2
工程难点工序 $M_3$	1/4	1/2	1	1
施工工艺 $M_4$	1/3	1/2	1	1

如果多位专家同时对同一项进行评分, 则可计算每位专家对每项评分的平均值, 从而获得对称逆矩阵, 同样可计算方案层与准则层之间的对称逆矩阵:

$$M = \begin{bmatrix} \overline{m_{11}} & \overline{m_{12}} & \overline{m_{13}} & \overline{m_{14}} \\ \overline{m_{21}} & \overline{m_{22}} & \overline{m_{23}} & \overline{m_{24}} \\ \overline{m_{31}} & \overline{m_{32}} & \overline{m_{33}} & \overline{m_{34}} \\ \overline{m_{41}} & \overline{m_{42}} & \overline{m_{43}} & \overline{m_{44}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

根据施工单位对各因素的重视程度, 矩阵  $M$  可表示为:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

计算得到矩阵  $M$  最大特征值  $\lambda$  为 4.010 4, 一致性指标  $CI$  为 0.003 5, 平均随机一致性指标  $RI$  为 0.90, 随机一致性比率指数  $CR$  为 0.003 9, 通过一致性检验。

根据上述过程, 计算获取第 2 层(准则层)对第 1 层(目标层)的权重向量, 并利用相同方法为第 2 层中的每个准则构建第 3 层(方案层)的成对比较矩阵, 得到权重向量、最大特征值和一致性指标, 如表 3 所示。由表 3 可知, 准则层指标均通过了一致性检验。

表 3 准则层指标一致性检验计算结果

Table 3 Calculation results of consistency test for criteria level indicators

因素	利润 $M_1$	工程重点 工序 $M_2$	工程难点 工序 $M_3$	施工工艺 $M_4$
第 $j$ 个建设目标第 $i$ 个指标得分 $\omega_{ij}$	0.152 0	0.117 0	0.196 0	0.203 0
最大特征值 $\lambda_i$	11.025 0	11.163 0	11.009 0	11.201 0
一致性指标 $CI_i$	0.026 5	0.035 4	0.042 3	0.019 6
随机一致性比率指数 $CR_i$	0.005 4	0.006 5	0.025 4	0.016 5

根据每个准则对目标的权重向量及每个解决方案对每个准则的权重向量, 计算每个因素对目标的权重向量, 即得到组合权重向量。其中, 因素  $K_1$  在目标中的组合权重应为其准则层对应因素的两两乘积之和, 即 0.160 9。

### 3.2 施工成本控制计算结果

按照施工单位专家的建议, 设定了各评价因素最低得分标准  $S_i$  为 0.4。将成本影响因素等代入式(1)中, 并采用改进的粒子群算法进行计算, 种群规模为 30 个, 迭代次数为 100 次, 以快速获取最优结

果,迭代收敛效果如图 2 所示。

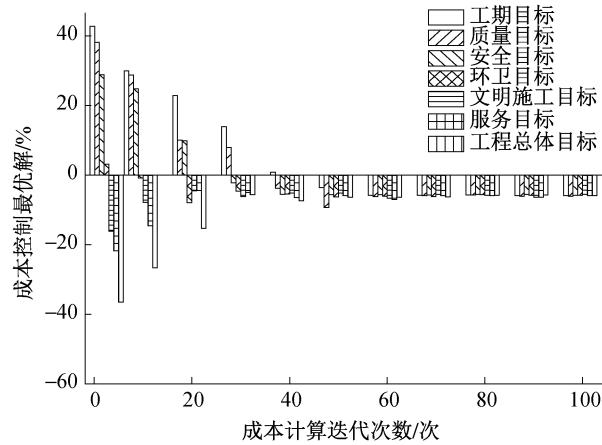


图 2 粒子群算法迭代收敛效果

Fig. 2 Iterative convergence effect of particle swarm algorithm

由图 2 可知,粒子群算法精准地识别出了最优的建设目标组合策略,在本工程改造过程中,针对工期目标、安全目标、服务目标提出了有针对性的成本控制建议。深入分析后发现,尽管质量目标在优先级上高于服务目标和工程总体目标,但因其在实施过程中消耗了过多的施工工序,且未产生相应的规模效益,故被算法排除在优选组合之外,该现象揭示了当施工条件受限时,不能仅以成本为优先因素评价施工目标的完成情况。此外,值得注意的是,在施工成本控制目标利润方面,其在老旧小区改造成本控制因素中的权重达 47.78%,这与其当前业务战略目标契合,所选择的建设目标之间的关联性有助于实现更高的资源利用率和协作效率。

### 3.3 施工成本控制措施

根据上述分析,进行老旧小区改造施工前须加强对外墙工程和绿化工程等重点工程的施工管理,这不仅关系到施工的顺利进行,还直接影响改造工程整体效果与居民使用体验。为此,需制定详细的外墙施工和绿化施工方案,结合施工工期、质量、安全及文明施工要求,确保施工设计方案的科学性和经济性。

支护结构和材料采购是影响外墙施工预算的重要工序,因此,外墙施工前须进行充分的调研,了解施工防护措施,包括对支护结构的选择,施工单位应重点考虑单价低且能够保证施工质量的材料与结构,以降低整体施工成本。同时,外墙抹面工程是决定外墙施工质量的关键因素,因此,选择抹面材料时应优先选用与墙面结构相适应的绿色、低污染材料,这不仅有助于提升小区整体美观度,也能够有效减小对环境的影响,从而确保老旧小区改

造工程在满足服务目标的同时符合环保要求。

进行绿化施工时须明确绿化方案、绿植品种及布置方法,施工单位应在绿植选用和采购方面力求降低绿化施工的造价预算,如可选择适合当地气候的耐旱植物,以减少后期养护成本。此外,合理的植物布置方法可增强景观效果,同时降低绿化工程整体造价。

对于防水及小区内部道路工程施工,材料和设备的选择同样对造价影响较大。因此,施工单位应合理选用防水材料及路面材料,充分考虑其性能、价格和质量,选择性价比高的产品。此外,尽可能采用国产材料和设备,能够有效减少进口材料和设备的使用,从而降低因汇率波动等因素带来的额外成本。

为实现老旧小区改造过程中施工造价的合理控制,须加强施工管理,防止施工过程中材料浪费和违规行为的发生是施工管理的重要环节。施工单位应加强对材料的管理,严格控制材料的使用,确保其合理性与必要性。同时,施工环境对周边居民生活的影响程度也是导致施工造价超出预算的重要原因,施工单位应尽可能减小对周边环境的影响,采用有效的噪声和尘土控制措施,确保施工不对周围居民日常生活造成严重干扰。此外,施工单位还应加强对施工人员的培训,增强施工人员对相关规范要求和安全管理的认识,以避免因人为失误导致的浪费和损失。通过定期召开施工例会,及时解决施工过程中遇到的问题,增强团队协作,确保施工进度和质量,减少因施工延误产生的额外费用。最后,为确保施工过程能够按照既定设计方案和预算进行,需加强对施工过程的监督检查,及时纠正施工中的不当行为。

### 4 结语

本研究针对老旧小区改造工程中施工成本控制存在的问题,结合实际工程中存在的多施工节点和多成本控制目标,提出了基于粒子群算法的施工成本控制方法,通过科学的决策流程,优化施工目标选择,实现成本控制的最优化。

1) 从老旧小区改造的实际经验出发,提出了施工目标初步筛选基本原则,合理规划对施工成本无显著影响的目标,为后续成本控制分析奠定了基础。通过层次分析法,对施工成本控制目标利润、工程重点工序、工程难点工序、施工工艺等关键因素进行成本综合评价。

2) 墙面工程、绿化工程及防水工程是决定老旧小区改造工程成本的关键因素,施工时应加强施工

质量及安全目标控制,并将其作为降低施工成本的优先控制因素,在施工成本控制目标利润方面,其在老旧小区改造成本控制因素中的权重达 47.78%。

3)老旧小区施工成本控制应重点考虑单价低且能够保证施工质量的材料与结构,通过科学合理的方案设计、严格的材料管理、有效的施工监督确保施工进度和质量,最终实现整体施工成本的降低。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 张鹏程,李洪一,张亚东.基于老旧小区存量空间再利用的改造施工技术[J].建设科技,2024(8):24-26.
- ZHANG P C, LI H Y, ZHANG Y D. Construction technology for renovation based on the reuse of existing space in old residential areas [ J ]. Construction science and technology, 2024 ( 8 ) : 24-26.
- [ 2 ] 杨宇豪,贺盈乾.智能化技术在绿色建筑资源节约中的应用[J].城市建筑空间,2022,29(11):256-258.
- YANG Y H, HE Y Q. Application of intelligent technology in green building resource conservation [ J ]. Urban architecture space, 2022, 29 ( 11 ) : 256-258.
- [ 3 ] 秦利萍.城镇老旧小区改造项目工程造价控制要点研究[J].房地产世界,2024(8):92-94.
- QIN L P. Research on cost control points of urban old residential area renovation projects [ J ]. Real estate world, 2024 ( 8 ) : 92-94.
- [ 4 ] 张峻铭.“互联网+”技术在老旧小区天然气安全管控中的应用[J].城市建筑空间,2022,29(7):237-241.
- ZHANG J M. The application of Internet + technology in natural gas safety management and control in old residential areas [ J ]. Urban architecture space, 2022, 29 ( 7 ) : 237-241.
- [ 5 ] 翟博文,张树理,白杰.基于 BIM 的施工项目部成本控制流程优化[J].施工技术,2019,48(18):47-51,63.
- [ 6 ] 任志涛,雷瑞波,刘颖,等.基于 BIM 技术的施工成本控制研究[J].施工技术,2018,47(21):113-117.
- REN Z T, LEI R B, LIU Y, et al. Research on construction cost control based on BIM technology [ J ]. Construction technology, 2018, 47 ( 21 ) : 113-117.
- [ 7 ] 班君.基于大数据分析理论的道路建设项目造价控制技术研究[J].建筑,2024(5):118-120.
- BAN J. Research on cost control technology of road construction projects based on big data analysis theory [ J ]. Construction and architecture, 2024 ( 5 ) : 118-120.
- [ 8 ] 乔迪菲.建筑施工企业物资管理中成本管控的措施探讨[J].投资与创业,2024,35(7):110-112.
- QIAO D F. Discussion on cost control measures in material management of construction enterprises [ J ]. Investment and entrepreneurship, 2024, 35 ( 7 ) : 110-112.
- [ 9 ] 钟运峰.老旧小区改造项目成本管理难点和措施研究[J].建筑经济,2021,42(3):60-63.
- ZHONG Y F. Research on the difficulties and measures of cost management of old residential reconstruction project [ J ]. Construction economy, 2021, 42 ( 3 ) : 60-63.
- [ 10 ] 穆超.老旧小区既有居住建筑综合改造成本效益评价分析[D].兰州:兰州理工大学,2021.
- MU C. Cost-benefit evaluation analysis of comprehensive renovation of existing residential buildings in old districts [ D ]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2021.
- [ 11 ] 卢睿,李学伟,陈雍君.基于粒子群算法的铁路工程投标项目择优决策研究[J].铁道学报,2017,39(1):19-24.
- LU R, LI X W, CHEN Y J. Particle swarm optimization based project selection decision making for railway construction enterprises [ J ]. Journal of the China railway society, 2017, 39 ( 1 ) : 19-24.

(上接第 5 页)

#### 参考文献:

- [ 1 ] 张富宾,肖建庄,丁红梅,等.装配式混凝土结构防水技术现状及发展趋势[J].建筑科学与工程学报,2022,39(1):1-13.
- ZHANG F B, XIAO J Z, DING H M, et al. Current status and development trend of prefabricated structure waterproof technology [ J ]. Journal of architecture and civil engineering, 2022, 39 ( 1 ) : 1-13.
- [ 2 ] 燕冰.某装配式建筑外墙渗漏综合分析治理[J].中国建筑防水,2019(12):19-22.
- YAN B. Comprehensively analyze and tackle of exterior wall leakage of a prefabricated building [ J ]. China building waterproofing, 2019 ( 12 ) : 19-22.
- [ 3 ] 王磊,田坤,高润东.装配式混凝土建筑防水设计、施工与检测研究进展[J].建筑科技,2023(1):17-19.
- WANG L, TIAN K, GAO R D. Review of research on waterproofing design, construction and testing for precast concrete building [ J ]. Building technology, 2023 ( 1 ) : 17-19.
- [ 4 ] 李向民,高润东,王卓琳,等.装配式钢结构围护墙体渗漏检测试验研究[J].施工技术(中英文),2023,52(3):20-23.
- LI X M, GAO R D, WANG Z L, et al. Experimental study on leakage inspection of enclosure wall for precast steel structure [ J ]. Construction technology, 2023, 52 ( 3 ) : 20-23.
- [ 5 ] 上海市建筑科学研究院有限公司,同济大学,中国建筑第八工程局有限公司.预制混凝土夹心保温外墙板应用技术标准:DG/TJ 08—2158—2023 [ S ]. 上海:同济大学出版社,2023.
- Shanghai Research Institute of Building Sciences Co., Ltd., Tongji University, China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd. Technical specification for precast concrete sandwich wall panel: DG/TJ 08—2158—2023 [ S ]. Shanghai: Tongji University Press, 2023.