

有限施工场地材料堆场布局优化

汤雪澳, 赵 平

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:针对有限施工场地材料堆场布局优化中,传统方法易陷入局部最优、求解过程常忽略环境与工人路径因素的问题,本文提出一种逆向寻优与改进 NSGA-II 相结合的两阶段法。该方法引入环境与工人路径指标参与求解,并通过 TOPSIS 决策从帕累托解集中筛选综合最优堆场位置。结果表明:此方案能更有效生成高质量且满足复杂约束条件的堆场布局,使材料转运时间减少 21.99%、转运过程碳排放量降低 14.88%、工人路径性能指标优化率达 38.67%,显著提升了整体工作效率。本文成果可为有限施工场地材料的布局优化提供借鉴与参考。

关键词:施工材料; 有限场地; 布局优化; 逆向寻优; 改进 NSGA-II; TOPSIS

中图分类号:TD926.4

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2026)05-0036-08

doi:10.13402/j.gcjs.2026.05.052

Layout optimization of material storage yards for limited construction sites

TANG Xue'ao, ZHAO Ping

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China)

Abstract: In view of the problems that traditional methods are prove to falling into local optima in the layout optimization of material yards for limited construction sites, and the solution process often ignores environmental and worker path factors, a two-stage method combining reverse optimization and improved NSGA-II is proposed. The method introduces environmental and worker path indicators to participate in the solution, and selects the comprehensive optimal yard location from the Pareto solution set through TOPSIS decision. The results show that the solution can more effectively generate high-quality yard layouts that meet complex constraints, reducing material transfer time by 21.99%, reducing carbon emissions during transfer by 14.88%, optimizing worker path performance indicators by 38.67%, and significantly improving the overall work efficiency. The results also can provide a reference for the layout optimization of materials in limited construction sites.

Key words: construction materials; limited site; layout optimization; reverse optimization; improved NSGA-II; TOPSIS

随着城市化进程深化与土地资源日趋紧张,尤其在“十五五”规划推进城市更新与既有建筑改造的战略背景下,工程建设大量转向既有建筑密集包围的区域。在此类有限施工场地开展建设,

已成为现代城市建设的常态与重要特征。所谓有限施工场地,是指施工用地红线范围内,受周边既有建筑密集包围与施工安全红线刚性约束,导致可供材料堆场布局的空间高度离散化,增加了

收稿日期:2025-11-17

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划资助项目(2025BEE02011)

作者简介:汤雪澳(1999—),男,硕士研究生,从事土木工程建造与管理研究。

通信作者:赵平(1967—),女,博士,教授,从事工程项目管理研究工作。

施工区域平面布置难度。对于施工场地有限的项目, 材料堆场通常设置在施工区域周边。不合理的堆场布局不仅存在安全隐患, 还会加大布置难度, 导致场内物料流转不畅、施工工时延长及能源消耗增加。为解决此类问题, 本文选取某有限施工场地的钢结构构件堆场项目, 运用两阶段优化分析法, 以实现有限场地施工材料堆场优化的目标。

现有研究较少关注有限施工场地材料堆场的专项优化。然而, 从场地布局优化的相关研究中可获得启发: HAMMAD 等^[1]提出混合整数规划模型, 引入空间离散化方法构建多覆盖离散模型, 设计切割平面算法求解大规模实例, 量化空间离散化对解质量的影响, 以优化含通行障碍的施工现场布局规划问题; AL HAWARNEH 等^[2]提出动态设施分配方案, 构建安全与成本的网络布局模型和二进制整数线性规划模型, 解决了不等面积临时设施布局问题; 张雨果等^[3]将帕累托理论用于地铁施工场地布置, 构建了多目标模型; 王静静等^[4]针对装配式安装过程, 建立了工期、成本和碳排放量的多目标优化模型, 采用 NSGA-II 求得帕累托最优前沿并运用 TOPSIS 方法选择最优方案, 为工程施工机械配置提供了指导; 都方竹等^[5]深入分析单个预制构件吊装过程, 提出一种逆向寻优结合多堆场策略的方法, 以快速定位任意预制构件的最佳堆场位置, 改善了装配式施工场地预制构件供应与堆放缺乏统筹规划的问题; FARMAKIS 等^[6]采用遗传算法求解施工现场临时设施的多目标优化问题, 同时考虑了成本及安全环保等因素。

上述研究为施工场地布局提供了宝贵思路, 但多集中于大型或一般性场地的整体布局, 对城市空间受限条件下施工场地材料堆场布局的关注明显不足, 部分研究虽涉及多目标优化, 却未能充分考虑施工工人行走路径指标。此外, 传统智能算法在求解过程中常面临收敛速度慢、易陷入局部最优、处理复杂受限场地约束效率不高等问题。值得注意的是, 都方竹等^[5]已将逆向寻优应用于预制构件堆场研究。本文借鉴并拓展此思路: 在第一阶段运用逆向寻优方法快速剔除部分非优

解, 从而缩减早期可行解空间; 在第二阶段, 利用该缩减后的空间作为初始种群范围, 采用智能算法进行精细化求解。这能显著提高在复杂约束下的求解效率与全局搜索能力。

本文聚焦有限施工场地的材料堆场布局优化问题。研究以最小化材料转运时间、最小化转运过程碳排放量、最优化工人路径性能为目标, 提出一种结合逆向寻优与改进 NSGA-II^[7]的两阶段优化策略, 并通过 TOPSIS^[8]决策选取综合最优解以确定最终布局。所提出的改进的 NSGA-II 算法引入了局部搜索机制, 并在求解过程中实施去重操作及自适应随机排序算法, 旨在提升算法的收敛性、解集的整体性和分布性。该研究旨在形成一套适用于受限场地施工多目标优化的材料堆放的布局工具, 以期在提升施工效率的同时, 推动项目的绿色化与精益化管理。

1 堆场最优化约束条件

1.1 施工场地边界

材料堆场位置需与建筑红线保持一定安全距离^[9]。假设待堆场区域 i 的形心坐标为 (x_i, y_i) , 其在 x 方向的长度为 l_i , y 方向的宽度为 h_i ; 建筑红线在 x 方向的范围为 $[a_1, a_2]$, 在 y 方向的范围为 $[b_1, b_2]$ 。设 φ 为堆场与建筑红线的最小安全距离, 则该堆场区域需满足边界约束 [式 (1)]:

$$\begin{cases} y_i - \frac{h_i}{2} - b_1 - \varphi \geq 0 \\ y_i + \frac{h_i}{2} - b_2 + \varphi \leq 0 \\ x_i - \frac{l_i}{2} - a_1 - \varphi \geq 0 \\ x_i + \frac{l_i}{2} - a_2 + \varphi \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

1.2 堆场重叠约束

堆场内的材料布置应避免相互重叠。为满足工人施工便利性、塔吊起吊许可距离要求, 需设置最小安全距离 Q_{ij} 。其约束表达为

$$\begin{cases} |x_i - x_j| - \frac{l_i + l_j}{2} \geq Q_{ij} \\ |y_i - y_j| - \frac{h_i + h_j}{2} \geq Q_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

1.3 塔吊约束覆盖

材料堆场布置应位于塔机起重臂的覆盖范围内。假设固定式塔式起重机的坐标为 (x_t, y_t) , 其臂长为 R_t ; 施工现场堆场的坐标为 (x_i, y_i) 。为保证堆场在塔式起重机覆盖范围内, 堆场到起重机的距离应满足:

$$\sqrt{(x_t - x_i)^2 + (y_t - y_i)^2} \leq R_t \quad (3)$$

2 多目标优化

2.1 材料转运时间最小化

大部分施工材料的转运主要依赖塔吊完成, 因此可用塔吊运行时间近似表征材料运转时间, 并将其作为最小化目标。塔吊运行时间由两部分组成: 材料进场转运至堆场的时间、堆场转运至施工点的时间(下文以下标“1”区分两类转运)。假设塔吊位置为 (x_t, y_t) , 起吊点位置为 (x_s, y_s, z_s) , 堆场位置为 (x_d, y_d, z_d) , 材料使用位置为 (x_i, y_i, z_i) , 塔吊安全操作高度为 h , V 为各项运动速度。

水平运动时间分为径向运动时间和切向运动时间。

径向运动时间表达式:

$$T_r = \frac{|\sqrt{x^2 d + y^2 d}| - |\sqrt{x^2 s + y^2 s}|}{V_r} \quad (4)$$

$$T_{r1} = \frac{|\sqrt{x^2 i + y^2 i}| - |\sqrt{x^2 d + y^2 d}|}{V_{r1}} \quad (5)$$

式中: T_r 、 V_r 分别为材料进场转运至堆场点的径向运动时间(min)和径向运动速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$); T_{r1} 、 V_{r1} 分别为材料堆场点转运至施工点的径向运动时间(min)和径向运动速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)。

切向移动时间表达式:

$$T_a = \frac{\left| \tan^{-1} \left(\frac{y_d - y_t}{x_d - x_t} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y_s - y_t}{x_s - x_t} \right) \right|}{V_a} \quad (6)$$

$$T_{a1} = \frac{\left| \tan^{-1} \left(\frac{y_i - y_t}{x_i - x_t} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y_d - y_t}{x_d - x_t} \right) \right|}{V_{a1}} \quad (7)$$

式中: T_a 、 V_a 分别为材料进场转运至堆场点的切向运动时间(min)和切向运动速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$); T_{a1} 、 V_{a1} 分别为材料堆场点转运至施工点的切向运动时间(min)和切向运动速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)。

因此, 水平运动时间表达式:

$$T_h = \max\{T_r, T_a\} + \max\{T_{r1}, T_{a1}\} + \lambda(\min\{T_r, T_a\} + \min\{T_{r1}, T_{a1}\}) \quad (8)$$

塔吊运动时间和操作者熟练程度密切相关, 式中 λ 为考虑径向和切向运动重叠程度的关系(取值 $[0, 1]$)。

垂直运动时间表达式:

$$T_v = \frac{2(|z_d - z_s| + h)}{V_v} + \frac{2(|z_i - z_d| + h)}{V_{v1}} \quad (9)$$

式中: T_v 为总垂直运动时间, min; V_v 、 V_{v1} 分别为材料进场转运至堆场点的垂直运动速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)和堆场点转运至施工点的垂直运动速度($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)。

因此, 材料转运时间最小化的数学表达式:

$$F_1 = \min[\mu(\max\{T_h, T_v\} + \eta \min\{T_h, T_v\}) \times Q] \quad (10)$$

施工现场存在起吊工作的不可控外部因素(如视线遮挡、大雾天气等), 参数 μ 取值 $[1, +\infty]$ (μ 越小表示工作越顺利); η 取值 $[0, 1]$ (表示操作者同时操作水平和垂直方向吊钩的能力)。

2.2 碳排放量最低化

材料转运过程的碳排放主要来源于起重机械、工人等^[10]。现场起吊作业通常选用垂直运输机械^[11], 因此碳排放量最低化的数学表达式:

$$F_2 = \min C_p = \min \left[\sum_{i=1}^n E_r(m_j \cdot T_i + m_{j1} \cdot T_{i1}) + Nf \right] \quad (11)$$

式中: C_p 为材料堆场及安装阶段的总碳排放量, kg; E 为电力碳排放因子; r 为单位台班能源消耗量; m_j 、 m_{j1} 为塔吊最大可用数量($j=1, 2, 3$, 因工程最优情况下起吊区域最多由3台塔吊覆盖); T_i 、 T_{i1} 为第 i 批材料转运用时; N 为所需人工工日; f 为此阶段人工平均碳排放因子。

2.3 路径性能指标最优化

效率是决策者进行场地堆场规划的关键考虑因素之一。合理堆场布置可节约整体施工时间、提升施工效率。堆场位置与工人行走路径相关, 不合理布置会增加工人在狭窄场地内的行走难度, 因此优化材料堆场位置时, 需同步考虑工人无效

行走距离及行走流畅度。

路径性能指标包含两个部分: 绕行指数 I_d 最小化、冲突点密度 ρ_c 最小化, 公式如下:

$$I_d = \frac{D_a}{D_s}; \rho_c = \frac{C_c}{D_a}; F_3 = \min \left[\sum_{i=1}^N (I_{d,i} + \rho_{c,i}) \right] \quad (12)$$

式中: D_a 、 D_s 分别为规划道路网格上从起点到终点的实际最短路径和直线距离; C_c 为总冲突点数量(含工人步行路径转弯点、与危险区域交叉点等); I_d 、 i 、 $\rho_{c,i}$ 分别为所有绕行指数及所有的冲突点密度(个·m⁻¹)。

3 两阶段法及决策理论

针对有限施工场地障碍密集、可行域高度离散的特点, 单一算法难以同时兼顾求解速度与全局寻优能力。传统单一智能算法面对此类问题时, 常因搜索空间过大而陷入局部最优, 或导致计算耗时过长。基于此, 本文选用逆向寻优与改进 NSGA-II 相结合的两阶段法: 第一阶段利用几何反推早期快速剔除部分无效不可行解, 从空间层面锁定高潜力区域, 大幅缩减后续算法的搜索空间, 解决传统算法盲目搜索问题; 第二阶段运用改进 NAGA-II 算法配合 TOPSIS 决策求解并得出最优解。

3.1 逆向寻优筛选最佳候选区域

实际施工现场堆场位置需随进度计划调整,

若直接计算求解, 计算量将随材料数量增加及随机因子加入呈指数级增长, 且难以得到最优解。因此, 本文提出先采用逆向寻优方法, 以材料最小转运时间(塔吊运动时间)为目标, 通过反向推导材料转运路径对堆场区域进行筛选。具体步骤: 读取建筑施工图与材料轮廓的信息化数据, 确定边界函数; 基于塔吊运动轨迹与边界函数的相交点, 确定潜在堆场位置坐标; 最后以水平运动时间最小化为标准, 筛选各需求点相对优选堆场位置。

3.2 改进的 NSGA-II 算法

3.2.1 改进算法简述

改进的 NSGA-II 算法在 NSGA-II 基础上改进如下: 1) 加入局部搜索策略, 提高算法后期收敛性; 2) 通过去重操作, 并随机生成去重个体的新个体以保持种群多样性; 3) 加入自适应随机排序算法, 避免最终优化产生不可行解。

3.2.2 算法流程

(1) 将材料转运方案编码为算法处理的个体(称为“染色体”), 如图 1 所示。



图 1 染色示意

(2) 在满足场地约束条件下, 随机生成 N 个不同方案序列形成初始种群 P_t , 如图 2 所示; 计算个体比较概率 P_t (基于函数值), 若 P_t 大于 rand

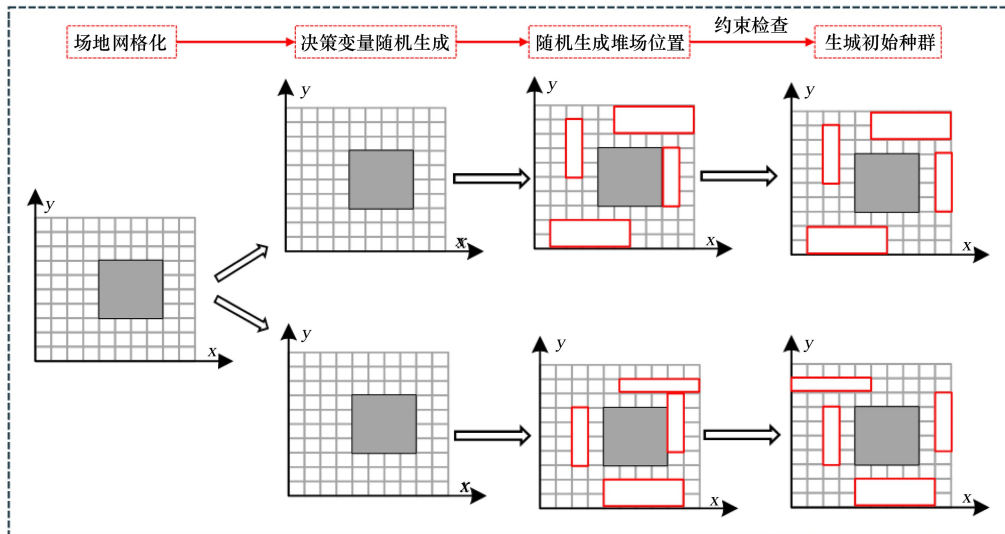


图 2 初始种群生成示意

(随机数), 则个体按函数值比较; 否则按约束违反度 $C_V(x)$ 比较。

$$P_f = 0.475 \times (1 - \frac{t}{T}) \times (1 - \alpha \varphi \frac{N_\phi}{N_p}) \quad (13)$$

$$CV(x) = \sum_{i=1}^n \max\{0, g_i(x)\} + \sum_{j=1}^m \max\{|h_j(x)|, 0\} \quad (14)$$

式中: P_f 为初始值; t 为当前迭代次数; T 为最大迭代次数; α 为不可行解占比影响因子; N_ϕ 为当前种群不可解个数; N_p 为种群大小; $g_i(x)$ 与 $h_j(x)$ 均为约束条件。

(3) 计算 P_0 中每个体的 3 个目标函数值, 对整个种群进行非支配排序。同一个 Front 内, 拥挤距离大的个体优先保留。约束非支配排序公式如下, 其中, $X_m > X_n$ 为 X_m 支配 X_n ; m, n 为两个不同的个体序号。

当 X_m, X_n 均为可行解时:

$$\begin{cases} X_m > X_n, f(X_m) < f(X_n) \\ X_m < X_n, f(X_m) > f(X_n) \end{cases} \quad (15)$$

当 X_m 为可行解、 X_n 为不可行解时: $X_m > X_n$;

当 X_m, X_n 均为不可行解时:

$$\begin{cases} X_m > X_n, CV(X_m) < CV(X_n) \\ X_m < X_n, CV(X_m) > CV(X_n) \end{cases} \quad (16)$$

拥挤度距离表达式:

$$d_i = \frac{N-1}{\frac{1}{d_{i,1}} + \frac{1}{d_{i,2}} + \cdots + \frac{1}{d_{i,j}} + \cdots + \frac{1}{d_{i,N}}}, i \neq j \quad (17)$$

式中: N 为种群规模; $d_{i,j}$ 为个体 X_i 与 X_j 的空间直线距离。

(4) 通过选择、交叉、变异(图 3)生成规模为 N 的子代种群 Q_t 。

(5) 合并父代种群 P_t 和子代种群 Q_t 为临时种群 R_t (规模为 $2N$), 对 R_t 进行局部搜索与交叉生成新种群 R'_t ; 对 R'_t 去重并引入随机个体形成 R''_t , 再经自适应排序后, 从高到低选取 N 个个体作为下一代 P_{t+1} 。循环结束后, 最终种群 $P_{t_{\max}}$ 中第一非支配前沿的所有个体即为帕累托最优解集。

3.3 TOPSIS 决策

采用 TOPSIS 作为决策模型, 通过构建正、负理想解, 以相对贴近度反映各方案综合差距并寻求最优解^[12], 求解步骤如下。

(1) 初始决策矩阵构建并规范化。

设帕累托最优解集中含 m 个备选堆场方案, 构建方案集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$, 评价准则为 3 个优化目标(构成准则集 $C = \{C_1, C_2, C_3\}$): 其中 C_1 为材料转运时间, C_2 为碳排放总

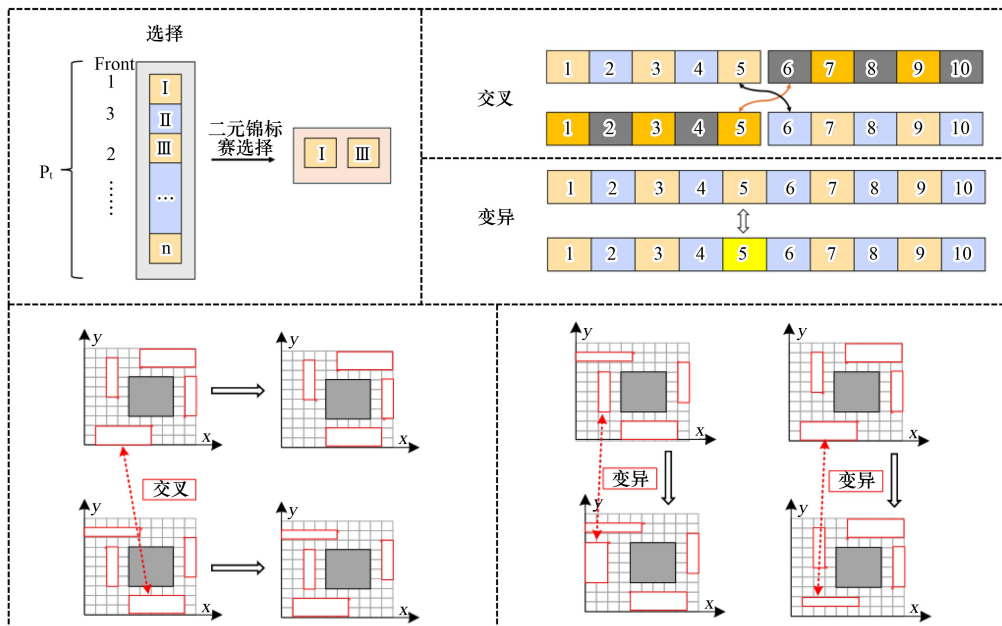


图 3 选择、交叉、变异示意

量, C_3 为路径性能指标。构建初始决策矩阵 X , 为避免量纲和数量级差异, 对 X 规范化处理:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} \end{pmatrix}_{m \times 3} \quad r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, 3) \quad (18)$$

式中: x_{ij} 为方案 S_i 在准则 C_j 下的评价; 规范化决策矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times 3}$ 。

(2) 加权规范化决策矩阵计算。

$$v_{ij} = w_i \cdot r_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, 3) \quad (19)$$

式中: w_i 为第 i 个指标的权重。

(3) 正负理想解计算。

$$S^+ = \min v_{ij}, 1 \leq i \leq m, j = 1, 2, 3$$

$$S^- = \max v_{ij}, 1 \leq i \leq m, j = 1, 2, 3 \quad (20)$$

(4) 欧式距离计算。

分别计算各方案到正、负理想解间的欧式距离。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (v_{ij} - v_j^+)^2}, (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (v_{ij} - v_j^-)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (21)$$

(5) 相对贴近度计算并排序

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, (i = 1, 2, \dots, m), 0 \leq C_i \leq 1 \quad (22)$$

按 C_i 值对所有方案排序, 结果即为综合优劣次序。

4 案例分析

4.1 施工现场概况

以某市博物馆改扩建项目为研究对象, 该建筑地上建筑面积为 20 285 m², 地下建筑面积为 50 987 m²; 东西区均为地上二层 (建筑高度为 9 m), 北区地上二层、地下 4 层 (建筑高度为 11.74 m), 主体结构均为钢结构。现阶段场地主要施工任务为屋面钢结构区域施工, 由于地面空间有限, 材料进场时需转运至屋面施工区域周边堆场。表 1 为某批次构件参数型号。

4.2 两阶段法应用

(1) 第一阶段: 逆向寻优筛选候选区域。对

表 1 某批次构件参数

构件编号	数量/个	型材	表面积/m ²
GKL-1	2	P200 × 100 × 4	3.4
GKL-3	4	HW100 × 100 × 6 × 8	1.7
GKL-17	10	HM148 × 100 × 6 × 9	1.6
GKL-18	17	HM148 × 100 × 6 × 9	2.3
GKL-43	2	P200 × 100 × 4	3.4
GKL-44	3	P100 × 200 × 5	1.4
GL-15	6	P200 × 100 × 10	4.3
GL-20	9	P100 × 100 × 8	5.1
GZ-105	14	P200 × 100 × 10	2.4

构件堆场位置进行逆向寻优, 以时间最小化为目标对所有目标堆场点求解, 筛选最佳 2~3 个堆场位置点。图 4 为 4 个堆场位置共 50 个堆场点的用时结果。

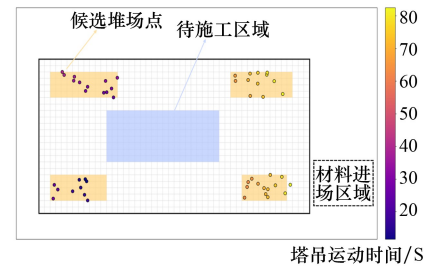
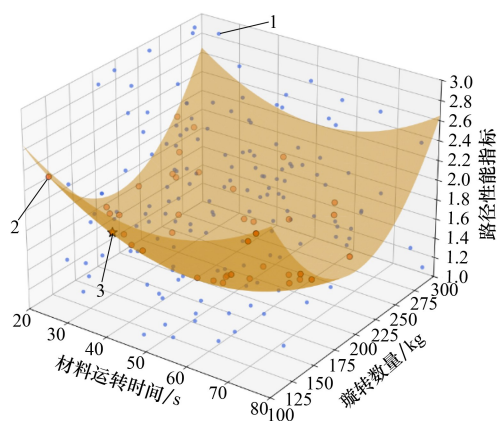


图 4 逆向寻优结果示意

(2) 第二阶段: 改进 NSGA-II 与 TOPSIS 决策。将第一阶段筛选出的优选位置作为候选, 以材料转运时间最小化、碳排放量最低化、路径性能指标最优化为优化目标求解。依据相关研究, 设置种群规模为 100, 迭代次数为 50, 交叉概率为 0.7, 突变概率为 0.08, 生成 40 种方案; 设置目标权重 $W = [0.5, 0.3, 0.2]$, 对 40 个帕累托前沿点采用 TOPSIS 决策进行综合评价与排序, 识别出最优解。

图 5 以三维图形式展示了算法求得的全部解 (蓝色点) 及其帕累托前沿面 (超曲面, 由红色点构成), 其中五角星为最优解 (即本批次施工材料的最佳堆场位置); 该最佳堆场位置随后在模拟图 (图 6) 中标示出来。



1—所有点；2—帕累托前沿点；3—最优解。

图 5 改进算法运行结果

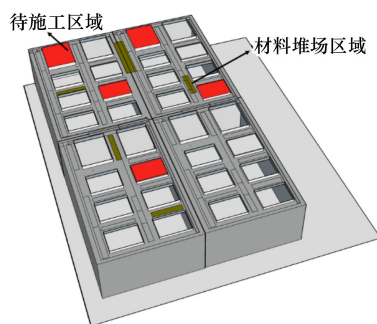


图 6 材料最优堆场位置

4.3 对比分析

为验证方法的有效性，构建模拟对比试验。以未经逆向寻优筛选且运用传统 NSGA-Ⅱ 算法的方案作为对照组，与本文两阶段法对比，结果如表 2 所示。

表 2 改进算法与传统算法数据对比

优化指标	传统算法	改进算法	优化率/%
材料转运时间/s	45.30	35.34	21.99
碳排放量/kg	244.23	207.89	14.88
路径性能指标	2.56	1.57	38.67

为模拟施工场地的真实性，在堆场布置中加入随机因子。实际施工中，目标堆场位置会随施工进度调整，部分位置不再适合用作堆场，导致部分优化数据与最优解存在差距，但不影响研究结论的准确性。

5 结 论

(1) 针对传统智能算法在有限施工场地布局优化中存在盲目搜索、易陷入局部最优等问题，

本文提出逆向寻优结合改进 NSGA-Ⅱ 的两阶段协同策略。第一阶段通过逆向几何推演剔除部分无效解；第二阶段引入局部搜索与自适应排序的改进算法，两者结合有效克服传统方法的局限，显著提升算法在多约束环境下的收敛速度与全局寻优能力。

(2) 构建涵盖材料转运时间、碳排放量及工人路径性能指标的多维评价模型。算例结果表明，该策略能有效提高有限施工场地效率：材料转运时间缩短 21.99%，碳排放量降低 14.88%，路径性能指标优化 38.67%，为受限空间施工布局优化提供了方向。

(3) 结合帕累托最优前沿与 TOPSIS 多准则的决策技术，建立了科学场地布局决策框架。通过与传统布局方案对比，验证了该集成策略在解决场地资源受限、非连续分布问题上的有效性与可靠性，为既有建筑改造等复杂工程精益建造提供决策支持。

本方法框架具有良好的普适性，调整材料轮廓信息约束后可推广至混凝土预制构件堆场及临时设施布局。但研究存在局限性：目前模型仅针对特定批次材料静态优化，对施工全周期动态变化考虑尚浅。未来研究可从两方向深化：1) 联动施工计划(如甘特图)实现动态布局优化，适应不同阶段需求；2) 融合数字孪生、物联网技术，实时采集现场数据构建高保真模型，结合本算法动态仿真与寻优，实现闭环反馈与智能决策，显著提升成果实用性与可靠度。

参考文献：

- [1] HAMMAD A W A, REY D, AKBARNEZHAD A. A cutting plane algorithm for the site layout planning problem with travel barriers[J]. Computers & Operations Research, 2017, 82: 36-51.
- [2] AL HAWARNEH A, BENDAK S, GHANIM F. Dynamic facilities planning model for large scale construction projects [J]. Automation in Construction, 2019, 98: 72-89.
- [3] 张雨果, 王凯, 吕山可, 等. 基于 Pareto 的地铁施工场地平面布置多目标优化[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(5): 142-148.
- [4] 王静静, 王宗喜, 刘慧敏. 基于 NSGA-Ⅱ 的装配式建

- 筑施工机械排班方案优选[J]. 土木工程与管理学报, 2023, 40(3): 25 - 30.
- [5] 都方竹, 杨栋, 王伟伟. 装配式建筑施工现场预制构件堆场布置优化[J]. 土木工程与管理学报, 2024, 41(4): 105 - 113.
- [6] FARMAKIS P M, CHASSIAKOS A P. Genetic algorithm optimization for dynamic construction site layout planning [J]. Organization, Technology and Management in Construction, 2018, 10(1): 1655 - 1664.
- [7] 王勇庆. 改进的含约束 NSGA - II 算法在货位多目标优化问题中的研究与应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2021.
- [8] 蒙鹏程. 改进的 TOPSIS 法在工程建设项目评标中的应用[J]. 工程建设, 2009, 41(5): 15 - 19.
- [9] 左昆. 装配式建筑施工现场临时设施布置的多目标优化与决策研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2022.
- [10] 张振浩, 曹峰, 高晴, 等. 工程建设碳排放定量评估方法研究综述[J]. 工程建设, 2017, 49(8): 11 - 15.
- [11] 肖彤. 装配式钢结构办公建筑全生命周期碳排放预测方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2023.
- [12] 余鹰, 朱锋, 付红剑, 等. 联合三支决策与熵权 TOPSIS 的专家反评估模型[J]. 计算机应用, 2025, 45(5): 1424 - 1431.

《工程建设》期刊投稿系统启用通告

为适应期刊发展需要, 提升投稿及稿件处理效率, 本刊自 2026 年 1 月 1 日起正式启用网上采编系统。即日起, 所有来稿请通过以下官方网站投稿与查询:

采编系统网址: <https://gcjs.cie-cn.com>。

投稿流程说明:

- 1) 首次使用请先完成作者注册;
- 2) 注册成功后以作者身份登录;
- 3) 按系统页面提示完成投稿及相关操作。

请广大作者通过上述系统进行投稿、查稿等事宜, 感谢您的支持与配合!