

基于遗传算法的 SLP 在工厂设施布局中的应用

程晓伟

四川电子机械职业技术学院，四川绵阳 621023

DOI:10.61369/ME.2025070002

摘要：在如今这个完全市场化的经营环境中，在竞争日益加剧时代背景下，降低成本就是大多数企业能做到的最快获得竞争力的手段。许多企业如果不能提高自身的竞争力将很难在冲击下生存下去，企业转型升级既有活下去的无奈更是时代重压下的必然选择。本文针对传统设施布局方法依赖人工经验、难以兼顾物流成本与非物流关系的局限性，提出将遗传算法（GA）与系统布置设计（SLP）相结合的混合优化框架。基于此分析了遗传算法的 SLP 在工厂设施布局中的应用。

关键词：遗传算法；SLP；工厂设施布局；应用

Application of SLP Based on Genetic Algorithm in Factory Layout

Cheng Xiaowei

Sichuan Electronic Machinery Vocational and Technical College, Mianyang, Sichuan 621023

Abstract : In today's fully market-oriented business environment, under the background of increasing competition, reducing costs is the fastest way for most enterprises to gain competitiveness. Many enterprises will find it difficult to survive under the impact if they can't improve their competitiveness. The transformation and upgrading of enterprises is an inevitable choice under the pressure of the times. In this paper, a hybrid optimization framework combining genetic algorithm(GA) and systematic layout planning(SLP) is proposed to overcome the limitations of traditional facility layout methods that rely on manual experience and are difficult to take into account the relationship between logistics cost and non-logistics. Based on this, the application of genetic algorithm SLP in the layout of factory facilities is analyzed.

Keywords : genetic algorithm; SLP; factory facility layout; application

遗传算法、SLP 两种方法的互补性为现代智能布局优化提供了理论基础；SLP 的定性分析能力可弥补 GA 缺乏领域知识的不足，而 GA 的全局搜索优势则能突破 SLP 在复杂约束下方案组合爆炸的瓶颈。这种协同效应在后续的混合框架构建中体现为关系矩阵引导的遗传变异策略，以及适应度函数驱动的 SLP 关系修正机制^[1]。

一、重要性分析

1. 技术层面的突破性价值。解决传统 SLP 的量化瓶颈，传统系统布置设计（SLP）依赖人工经验划分物流等级和非物流关系，存在主观性强、难以量化优化的缺陷。遗传算法（GA）通过编码-适应度评估-选择交叉变异的迭代机制，将 SLP 中的定性分析转化为多目标数学模型。例如，某制造企业采用 SLP-GA 双目标模型，在最小化物流成本（量化搬运距离）与最大化协作效率（量化非物流关系）间取得平衡，最终布局方案使物料搬运量降低。动态适应复杂约束条件，工厂布局需同时满足设备尺寸、通道宽度、安全间距等硬约束，传统 SLP 难以动态调整。GA 通过惩罚函数将约束条件融入适应度评估，实现不等面积作业单位的自动优化。如某车间布局案例中，GA 在满足长宽比差异的前提下，使综合接近程度评分提升。

2. 行业应用的实践效益。制造业的降本增效，离散制造：航空导管生产线通过 SLP-GA 优化后，总物流量显著减少，同时满

足多品种小批量生产的柔性需求。

流程工业：矿井工业广场利用 MATLAB-GA 工具箱求解作业单位坐标，解决 SLP 无法处理的不规则地形问题。中小企业的快速落地，如金属制品厂通过 SLP-GA 结合，仅用 3 周生成 3 套备选方案，较传统方法缩短 60% 周期，且方案可验证性更强。

3. 战略层面的深远意义。支撑制造强国战略，“中国制造 2025”强调精益生产，SLP-GA 的数字化工具（如 Plant Simulation 集成）可直接减少 10%-30% 的隐性成本。推动工业软件自主化，国内研究者已开发基于 ASP.NET 的 Web 布局平台，将 GA 算法封装为模块化工具，降低企业技术应用门槛。绿色制造的关键环节，优化布局减少无效搬运，如某配送中心能耗下降 12%，符合双碳目标要求。

二、技术融合的必要性

1. 解决传统 SLP 方法的局限性。传统系统布置设计（SLP）

依赖人工经验与定性分析，存在迭代过程繁琐、结果易受主观影响、难以处理多约束优化问题等缺陷。遗传算法（GA）通过模拟自然选择机制，为 SLP 提供了全局搜索能力，可高效处理多目标（如物流成本最小化、协作效率最大化）的复杂布局问题。例如，导管生产线通过 SLP-GA 结合，总物流量降低^[2]。

2. 提升布局优化的精确性与效率。多目标协同优化：SLP-GA 通过惩罚函数将非物流关系（如安全、协作）转化为量化目标，与物流成本共同构成适应度函数，实现双目标优化。动态适应性：针对车间布局的动态调整（如设备增减），GA 可快速调整种群参数生成新方案，而传统 SLP 需重新人工迭代。

3. 技术融合的智能化趋势。当前研究已开发集成化工具（如 Python/Plant Simulation），将 SLP 分析、GA 求解与仿真验证结合，推动工厂布局从经验驱动向数据驱动转型。

三、遗传算法的 SLP 在工厂设施布局核心应用场景

1. 多目标协同优化。（1）多目标协同优化的实现机制，遗传算法（GA）与系统布置设计（SLP）结合，通过量化物流成本（如搬运距离、设备间距）与非物流关系（如协作效率、安全规范），构建多目标适应度函数。例如，在航空导管生产线优化中，SLP-GA 将物流量降低 29.6% 的同时，确保关键设备间的协作效率提升。（2）关键优化目标，物流成本最小化：通过从至表法分析物料流动路径，GA 优化设施位置以减少搬运距离和交叉物流。非物流关系最大化：将维修间、工具室等辅助设施与生产区的密切度纳入适应度函数，避免传统 SLP 中主观评分偏差。（3）技术优势，动态权重调整：GA 可自适应调整物流与非物流目标的权重，适应不同行业需求（如电子厂以非物流为主，汽车厂以物流为主）。约束处理能力：通过惩罚函数硬性约束设施尺寸、安全间距等条件，确保方案可行性。（4）应用案例，矿井工业广场布局：SLP 分析作业单位关系后，GA 通过 MATLAB 工具箱求解坐标，实现物流与安全协同优化。智能工厂物流协同：结合数字孪生技术，SLP-GA 优化多层次物流路径，使订单处理时间缩短^[3]。

2. 动态布局调整。（1）动态布局调整的实现机制，遗传算法（GA）通过实时调整种群参数（如变异率、交叉率）快速响应设施变更需求，而传统 SLP 需人工重新分析作业单位关系。（2）典型应用场景，设备增减：当新增生产线或淘汰旧设备时，GA 基于 SLP 生成的初始关系表，重新计算设施位置，避免全盘重设计。工艺变更：如某企业因产品升级调整工艺流程，SLP-GA 结合数学模型（如二次指派模型）快速生成新布局，物流效率提升显著。（3）技术优势，快速收敛：GA 的并行搜索能力可在数分钟内生成可行方案，而传统 SLP 需数小时人工迭代。约束自适应：通过惩罚函数动态处理安全间距、面积限制等硬约束，确保新布局合规。（4）案例验证，智能工厂动态优化：某电子厂通过 SLP-GA 实现产线动态重组，订单处理时间缩短 2%，同时减少设备搬迁成本。混合算法增强：结合蚁群算法（ACO）的 SLP-GA 在动态场景中收敛速度提升，适用于高频调整的柔性生产线。

3. 复杂约束处理。（1）复杂约束的类型与处理机制，遗传算法（GA）与系统布置设计（SLP）结合时，需处理设施尺寸、安全间距、通道宽度等硬约束，以及工艺流、人机协作等软约束。通过编码方式（如二维坐标编码或序列编码）和适应度函数中的惩罚项，确保方案满足约束条件。例如，在车间布局中，设备间距需符合安全规范，GA 通过动态调整变异率避免生成无效解。

（2）技术实现方法，惩罚函数法：将约束条件转化为适应度函数的惩罚项，如设施重叠时大幅降低适应度值。约束优先编码：在初始种群生成阶段即排除明显违反约束的个体，减少无效计算。混合算法增强：结合蚁群算法（ACO）处理动态约束（如临时设备增减），提升局部搜索能力。（3）应用案例，工业广场布局：通过 SLP 分析作业单位关系后，GA 处理设备尺寸与安全间距约束，生成合规布局方案。电子厂车间优化：针对防静电要求，GA 优化设备间距与通道宽度，同时满足物流效率与安全标准。

4. 跨行业普适性分析。（1）典型行业应用场景，离散制造业（如汽车、机械）：以物流成本最小化为核心目标，GA 优化设备位置以减少搬运距离，同时满足工艺流约束。流程工业（如化工、食品）：需处理设备尺寸、安全间距等硬约束，SLP-GA 通过惩罚函数确保布局合规性。电子制造业：非物流关系（如防静电、人机协作）权重更高，GA 动态调整适应度函数以优化协作效率。（3）技术普适性支撑，动态权重调整：GA 可自适应调整物流与非物流目标的权重，例如汽车厂以物流为主，电子厂以非物流为主。混合算法增强：结合蚁群算法（ACO）处理动态约束（如临时设备增减），提升跨行业适应性。

5. 智能化工具集成应用。（1）智能化工具集成的技术框架，遗传算法（GA）与系统布置设计（SLP）的智能化集成，需结合数字孪生、仿真软件（如 Plant Simulation）和 AI 优化工具，形成“数据驱动-仿真验证-动态优化”的闭环系统。例如，航空导管生产线通过 SLP-GA 优化后，总物流量降低 29.6%，其核心在于将 SLP 的定性分析与 GA 的定量优化嵌入仿真平台，实现布局方案的动态验证。（2）关键工具与功能模块，数字孪生平台：实时映射物理车间状态，支持布局方案的虚拟调试与性能预测。AI 优化引擎：集成贝叶斯优化、强化学习等算法，提升 GA 的搜索效率（如超参数自动调优）。协同仿真系统：通过 Plant Simulation 等工具模拟物流路径，验证 GA 生成方案的可行性。

6. 混合算法增强应用。（1）混合算法增强的核心价值，遗传算法（GA）与系统布置设计（SLP）的结合通过引入混合算法，显著提升了工厂设施布局优化的效率和精度。混合算法通过整合不同优化方法的优势，能够：解决传统 GA 在局部最优解问题上的局限性，增强 SLP 在定量分析方面的不足，提高复杂约束条件下的布局优化能力。（2）典型混合算法增强方案，GA 与模拟退火（SA）混合，应用场景：处理离散型布局问题，优势：SA 的局部搜索能力可有效跳出 GA 的局部最优，案例：某汽车零部件厂布局优化中，混合算法使物流成本降低 18%。GA 与蚁群算法（ACO）混合，应用场景：动态物流路径优化，优势：ACO 的分布式搜索特性可优化设备间物料流动，案例：电子装配车间布局中，混合算法减少物料搬运距离 23%。GA 与神经网络（NN）混合，应用场景：非

物流关系量化，优势：NN可学习并预测设备间的协作效率，案例：航空制造车间布局中，混合算法提升协作效率15%。(3)混合算法增强的关键技术，动态适应度函数设计，根据布局阶段自动调整物流/非物流权重，引入惩罚函数处理硬约束(如安全间距)。并行计算架构，利用GPU加速GA种群进化，分布式计算处理大规模布局问题。实时反馈机制，通过IoT设备采集实际运行数据，动态调整算法参数^[4]。

四、遗传算法的SLP在工厂设施布局应用关键实现步骤

1.数据准备与作业单位划分。设施参数定义：明确设备尺寸、物流关系(搬运量、成本)、非物流关系(协作频率)等数据。作业单位划分：根据工艺流程(如下料区、弯型区等)划分功能区域，形成SLP分析的基础单元。

2.SLP定性分析与关系量化。物流与非物流分析：通过物流强度等级(如A-E级)和关系密级(如1-5级)量化作业单位间的相互关系。综合关系表生成：将物流与非物流关系加权合并，形成综合关系表，确定作业单位间的相对位置优先级。

3.遗传算法模型构建。编码与初始种群：以设施坐标或布局序列为基因，随机生成初始种群。适应度函数设计：以总物流

量最小化(或搬运成本最低)为目标，结合约束条件(如安全间距)计算适应度。遗传操作：通过选择(轮盘赌)、交叉(单点/多点)、变异(坐标扰动)生成新种群。

4.仿真验证与优化。Plant Simulation建模：将GA生成的布局方案导入仿真软件，模拟物料流动与设备协作效率。动态调整：根据仿真结果(如物流路径冲突)反馈修正GA参数(如交叉率、变异率)。

5.方案评估与实施。多目标评价：结合定量指标(物流成本、生产效率)和定性指标(操作便利性)选择最优方案。数字孪生验证：通过数字孪生平台实时映射物理车间，验证布局方案的可行性。

6.实施与持续优化。IoT数据反馈：通过传感器采集实际运行数据，持续优化布局模型。云端协同计算：利用分布式计算处理大规模布局问题，支持多车间协同优化^[5]。

综上所述，本研究通过整合遗传算法与系统布置设计的优势，构建了兼具理论严谨性与工程实用性的混合优化框架。该框架通过SLP的定性分析能力与GA的定量优化特性协同，有效解决了传统工厂布局中物流成本与非物流关系难以兼顾的核心问题。该方法不仅能显著降低物料搬运距离，同时可提升作业单元间的协作效率。未来研究可进一步探索多目标权重自适应调整机制，以应对动态生产环境下的布局优化需求。

参考文献

- [1] 马建.浅析工业工程发展现状和未来发展趋势[J].中国设备工程,2020(20):237-238.
- [2] 林小.企业生产运作管理的浅析与探讨[J].全国流通经济,2021(21):56-58.
- [3] 胡爽.基于物流优化的SLP在车间设施布局的应用研究[J].物流工程与管理,2022,38(01):73-76.
- [4] 李成.基于改进SLP的生产车间设施布局优化及仿真研究[J].内燃机与配件,2019(01):189-191.
- [5] 陈群.基于SLP法的配送中心平面布局规划与设计[J].物流科技,2020.05.014.