

考虑客户满意度的智能制造生产设备选型与配置优化

刘生昊¹, 傅文翰^{1,2*}

¹上海理工大学管理学院, 上海

²上海理工大学智慧应急管理学院, 上海

收稿日期: 2025年7月26日; 录用日期: 2025年8月18日; 发布日期: 2025年8月26日

摘要

以考虑客户满意度的智能制造生产设备选型与配置优化为核心目标, 本文聚焦半导体设备领域, 以薄膜液晶显示器(TFT-LCD)设备配向部分生产线为典型研究对象, 基于粒子群算法开展设备快速选型与配置优化研究。研究将客户满意度作为关键考量维度, 在满足产能需求的前提下, 构建涵盖占地面积、耗电量、产品故障率、设备损耗率及客户满意度的多目标优化体系, 旨在实现设备配置的相对最优与利用率最大化。通过建立智能制造场景下的设备数据库与数学模型, 运用粒子群算法进行多目标优化求解, 在客户要求及订单量的约束条件下, 精准平衡客户满意度与企业利润, 快速输出最优配置方案。结合T公司的案例分析, 验证了模型与算法的可靠性, 成功生成客户满意的设备选型配置方案。该智能算法适配智能制造生产线的柔性需求, 在生产线布局初期可高效解决半导体设备新建厂区初期的快速选型问题, 为考虑客户满意度的智能制造生产设备优化配置提供了有效支撑。

关键词

智能制造, 设备选型, 数学建模, 多目标优化

Equipment Selection and Configuration Optimization for Smart Production Considering Customer Satisfaction

Shenghao Liu¹, Wenhan Fu^{1,2*}

¹Business School of University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

²School of Intelligent Emergency Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Jul. 26th, 2025; accepted: Aug. 18th, 2025; published: Aug. 26th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 刘生昊, 傅文翰. 考虑客户满意度的智能制造生产设备选型与配置优化[J]. 建模与仿真, 2025, 14(8): 309-318. DOI: 10.12677/mos.2025.148569

Abstract

With the core objective of optimizing the selection and configuration of intelligent manufacturing production equipment considering customer satisfaction, this paper focuses on semiconductor equipment, taking the alignment section production line of TFT-LCD equipment as a typical case, and conducts research on rapid equipment selection and configuration optimization based on the particle swarm optimization (PSO) algorithm. Taking customer satisfaction as a key consideration and on the premise of meeting production capacity requirements, this study establishes a multi-objective optimization system covering floor space, power consumption, product failure rate, equipment loss rate, and customer satisfaction, aiming to achieve the relative optimality of equipment configuration and maximize equipment utilization. By establishing an equipment database and mathematical model in the context of intelligent manufacturing, and using the particle swarm optimization algorithm for multi-objective optimization solving, it precisely balances customer satisfaction and enterprise profits under the constraints of customer requirements and order quantity, and quickly outputs the optimal configuration scheme. Combined with a case study of Company T, the reliability of the model and algorithm is verified, and a customer-satisfying equipment selection and configuration scheme is successfully generated. This intelligent algorithm adapts to the flexible needs of intelligent manufacturing production lines, and can efficiently solve the rapid selection issues in the initial stage of new plant construction for semiconductor equipment including TFT-LCD during the early stage of production line layout, providing effective support for the optimal configuration of intelligent manufacturing production equipment considering customer satisfaction.

Keywords

Smart Manufacturing, Equipment Selection, Mathematical Modeling, Multi-Objective Optimization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着薄膜液晶显示器(Thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD)行业在泛半导体领域的快速发展,手机、电脑、电子手表及车载显示屏等终端电子产品的消费需求迎来爆发式增长。伴随 TFT-LCD 显示屏市场需求的持续扩大与业务复杂性提升,其产业链逐步完善成熟,而作为泛半导体精密制造设备的重要组成,TFT-LCD 设备的生产工艺改进、生产效率提升及生产成本优化愈发凸显关键价值。传统设备调度模式在该领域逐渐暴露出效率低下、资源浪费等问题。在 TFT-LCD 生产线中,若设备选型与调度不合理,易导致设备闲置时间过长或负荷过高,不仅推高设备使用成本,更会直接影响产品生产周期、质量稳定性及企业综合效益。因此,针对 TFT-LCD 这类泛半导体设备开展选型与配置优化研究,对提升生产柔性、平衡资源效率与客户需求具有重要的现实意义。

Humala Napitupulu [1]针对市场上可供选择的设备的各自优缺点,使用模糊分析网络过程和复杂比例评估方法,采用模糊法确定权重最大的选择准则,再根据模糊法得到的选择准则,确定所需要的设备。贾若浩[2]通过对传统遗传算法的改进求解出智能快运分拨库设备选型与配置研究的多目标模型。贾瑞[3]结合工业工程中的线平衡法为核心,分别对应啤酒罐装设备生产线建立模型,基于相对应的智能算法进行产能与成本的多目标优化。Jonathan Oesterle、Lionel Amodeo [4]二人,针对多品种组装线平衡和设备选

型问题, 采用了增强帕累托进化算法予以优化。该方法较好地解决了设备组合选优问题, 其在建模中也提出了多目标概念, 理论上对于解决两阶段投资问题也是适用的, 但其并未点名对于两阶段投资项目, 如何实现多目标权衡。

在设备配置仿真问题上, Kato T [5]设计了物流仓库多智能体仿真系统, 通过该系统进一步研究设备选型与配置问题。李威[6]以干散货码头为研究对象, 使用 Optquest 优化器并结合了 Anylogic 软件对其装卸设备配置优化模型进行求解, 得到了较为满意的设备配置方案。孟巧凤[7]分别以一类平衡与二类平衡为优化目标建立了燃气机装配线的数学模型, 运用 Flexsim 仿真软件对模型计算出的方案进行了验证, 解决产线平衡的问题。孙成卫[8]主要研究了如何利用 Flexsim 软件对自动化立体仓库进行建模、仿真与优化, 以提高仓储系统的效率和性能。ShabayekAA [9]以集装箱港口为研究对象, 使用仿真系统对其作业情况进行预测。Antonio Cimino [10]设计了通用的供应链仿真模型框架。其中皆以单一的产品或设备的装配线平衡来作为核心研究, 考虑的目标约束较为单一, 可能会导致结果与实际情况脱节, 并且实证的案例皆为模拟的数据或单一的小装配线案例, 难以证明其方法的有效性。

在生产设备管理方面, 刘兆龙[11]为实现机械设备的智能化健康管理, 降低生产损失, 发开发故障诊断与维修优化系统为目标进行了研究。在研究方法上, 构建大数据平台, 深度采集了设备多源异构数据; 实验表明, 系统准确率显著提高, 设备平均故障间隔明显延长, 平均待修时间大幅减少。严磊海[12]鉴于目前产线生产设备密码授权的人力成本高, 存在非授权人员操作生产设备的风险, 从风险规避及效率提高的角度出发, 提出了一种生产设备的集中权限管理控制系统方案, 该方案以改造一条单站基于密码授权的轮速传感器生产线为示范, 保证产能的情况下逐步开始向企业的数字化车间管理方向推广。程超、郭炬、吴琼[13]等为将液晶显示屏生产线制定设备搬入计划方案, 在筹建初期, 准确核算项目规模、制订搬入计划、匹配人力资源、选择搬入公司, 推算搬入日期, 确定搬入口, 搬入数量以及设备重量, 调整搬入计划; 在筹建中期, 以“安全、动态、时效”为指导思想, 建立符合自身实际的搬入进度管理体系; 在筹建后期, 完成设备搬入收尾工作, 搬入费用结算, 调整搬入进度, 最终圆满完成设备搬入工作。

在设施规划及装配线平衡方面, 葛莉茹[14]指出显示屏行业滞后的技术发展导致生产环节缺乏统一规范, 因此直接影响了设施规划的标准化。袁书宏[15]提出的生产流程优化本质上是通过对 ALBP 解决工序分配不均问题。虽涉及效率提升, 但未明确结合设施规划中的空间布局、物流路径等关键要素, 并且未采用量化模型进行平衡优化, 导致方案的科学性不足。Pawlak [16]的案例仅针对单一产品装配线, 未覆盖多品种混合生产场景。然而现代制造业的混流装配线需动态调整工序分配以应对产品切换, 而传统 ALBP 方法难以适应。此外, 案例若未验证长期效果就未能证明其精益工具的有效性。

通过对以上文献的梳理可知, 当前制造业虽然向数智化、服务化及柔性制造化转型, 但通过智能算法对显示屏配向生产所需设备优化配置的方法却少之又少。文中以 TFT-LCD 配向生产线为例, 通过遗传算法对 TFT 设备生产线建厂初期或产线改造时所需的设备进行选型, 在满足产能需求的情况下对占地面积、耗电量、产品故障率、设备损耗率及客户满意度等多目标达到一个相对最优的配置结果。

2. 生产线工艺流程

显示屏配向生产线工艺流程见图 1。首先对流入该工艺的玻璃进行清洁, 其中有毛刷清洗和水流清洗两种设备, 清洗烘干过后在通过镀膜机采用滚轮按压的方式对玻璃表面涂上一层 PI 液体, 之后测试镀膜是否完整均匀, 存不存在漏印破损的情况。对于测试合格的产品运输至配向机中对镀的一层 PI 膜进行配向处理使其具备配向能力, 最后在进入固化炉使其凝固。

本文是要根据某客户的生产工艺要求, 对如图 1 所示工艺流程所需的设备进行快速配置选型。

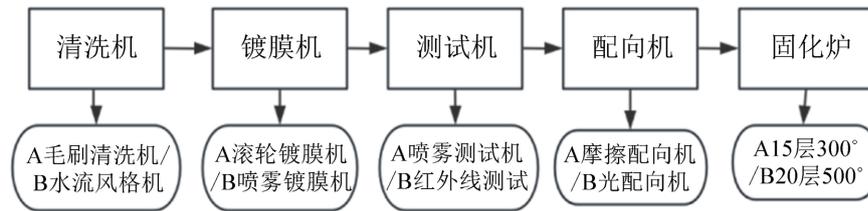


Figure 1. Process flow chart of display panel alignment production line
图 1. 显示屏配向生产线工艺流程图

3. 模型构建及算法设计

3.1. 问题描述

在 TFT-LCD 配向段生产线的流程中一共存在 5 台设备工艺段, 其中每一台设备有 A 与 B 两个种类, 不同类型与种类的设备皆有不同产能、占地面积、设备成本、产品故障率、耗电量与不同的设备季度损耗。现该公司每季度设备运行时间规定为 1000 h, 平均每月为 250 h, 根据过去一年的平均订单量对应该工艺段设备的产能, 在建厂初期或生产线改造时应设置为两条线进行生产。在订单量与占地面积的约束下通过建立数学模型计算出所有满足约束条件的设备配置。不同的配置对应不同的综合成本, 然而不同的客户又有不同的满意度需求, 其中军工为特殊客户, 其满意度必须达到百分之百。车载为忠实客户, 每季度有固定的订单, 需尽最大可能完成, 因此满意度需至少为 90%。否则会使客户对企业的信任度降低, 从而在未来减少给予该企业的订单数量。电视/电脑、手机/手表为一般客户。

3.2. 模型参数定义

下标: 设 i 表示工序, $i=1,2,3,4,5$, 分别对应清洗、镀膜、测试、配向和固化工序; 设 j 表示设备类型, $j=1,2$, 分别对应 A 类型设备和 B 类型设备。设 m 表示产品种类, (共 4 种同类型产品); 设 n 表示产品尺寸, (每种产品有 2 种尺寸)。

决策变量: 设 C_{ij} 为工序 i 中设备类型 j 的产能(单位: 件/小时); S_{mn} 为该产品的订单量; 设 X_{ij} 为决策变量, 表示在工序 i 中选择的设备类型 j , 如果选择则 $X_{ij}=1$, 否则 $X_{ij}=0$; 设 n_{ij} 为工序 i 中设备类型 j 的数量 ($j=1,2$ 分别对应 A 类型和 B 类型设备), 且 n_{1j} 和 n_{2j} 固定为 1 (因为清洗机和镀膜机只能各选一台); P_{mn} 表示第 m 种产品、第 n 种尺寸的产品单价; F_{ij} 表示设备类型的故障率, 其中 $F_{21}=0.08$ (对应 B1 的 8%故障率), $F_{22}=0.06$ (对应 B2 的 6%故障率); 其中 $F_{41}=0.1$ (对应 D1 的 10%故障率), $F_{42}=0.05$ (对应 D2 的 5%故障率)

其他参数: 设 M_{ij} 为工序 i 中设备类型 j 的成本(万), H_{ij} 为工序 i 中设备类型 j 的设备损耗(万每季度), 不同工序不同类型设备的每小时耗电量 Q_{ij} ; 每个工序的设备组合产能需要满足生产需求(设为 D 片/h), $i=1,2,3,4,5$, $j=1,2$; 设 S_{ij} 为工序 i 中设备类型 j 的占地面积/ m^2 , 生产车间的总占地面积有限(设为 $A m^2$); 设各工序设备的运转时间 t_{ij} ; 设不同工序不同类型设备季度损耗率为 H_{ij} (该工厂季度设备使用时间按 1000 h 计算); 满意度 T 按达到客户产能需求的百分比表示, 军工客户 $T_4=100%$, 车载 $T_3 \geq 90$; 设定满意度 T 的权重为 α , 利润最大化权重为 β 且 $(0 \leq \alpha, \beta \leq 1)$ 。

3.3. 建立模型

根据上述问题的问题描述和模型假设, 以综合成本最低为目标, 产能、设备成本、耗电量、产品故障率、设备损耗等约束条件下在达到客户订单量的所有配置中, 建立客户满意度与企业利润相对最优的模型。

$$\min \{n_{ij} \times C_{ij}\} \geq D \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 S_{ij} X_{ij} \leq A \quad (2)$$

$$n_{ij} \geq 1, \forall i = 3, 4, 5, j = 1, 2 \quad (3)$$

$$n_{ij} \times C_{ij} \approx \max \{C_{ij}\} \quad (4)$$

$$\forall n_{31} = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (5)$$

$$\forall n_{32} = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

$$\forall n_{41} = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (7)$$

$$\forall n_{42} = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (8)$$

$$\forall n_{51} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \quad (9)$$

$$\forall n_{52} = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (10)$$

$$\text{Sale} = \min \{n_{ij} \times C_{ij}\} p_{mn} \quad (11)$$

$$\text{Cost} = \left(\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 M_{ij} n_{ij} + 2n_{21} + 2n_{41} \right) X_{ij} \quad (12)$$

$$T_{ij} = \frac{S}{\min \{n_{ij} \times C_{ij}\}} \quad (13)$$

$$\text{Power} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 Q_{ij} n_{ij} \quad (14)$$

$$H_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 T_{ij} n_{ij}}{1000} \quad (15)$$

$$C_{mnij} = \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^2 S_{mn} P_{mn} \times \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 F_{ij} \quad (16)$$

$$F(x) = \max [\text{Sale}] - \min [\text{Cost} + \text{Power} + H_{ij} + C_{mnij}] \quad (17)$$

$$\begin{aligned} L &= \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^2 S_{mn} P_{mn} T_{mn} - \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^2 S_{mn} (1 - T_{mn}) P_{mn} \\ &= 2 \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^2 S_{mn} P_{mn} T_{mn} - \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^2 S_{mn} P_{mn} \\ &= 2 \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^2 S_{mn} P_{mn} T_{mn} - \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^2 S_{mn} P_{mn} \end{aligned} \quad (18)$$

$$Z = \max (\alpha T + \beta L) \quad (19)$$

其中, 式(1)表示每个工序的设备组合产能需要满足生产需求(设为 D 片/h); 式(2)表示设生产车间的总占地面积有限, 总设备配置占地面积不能超过 A 平方米; 式(3)、(4)表示该设备配置下的最高产能; 式(5)~(10)表示所有设备类型及数量的选择方式; 式(11)表示该配置下的产能所能销售的价格; 式(12)表示不同工序不同类型设备的成本与人力成本的总和; 式(13)表示求各工序设备的运转时间; 式(14)表示该配置下的设备每小时耗电费用总量; 式(15)表示不同工序不同类型设备季度损耗率(该工厂季度设备使用时间按 1000 h 计算); 式(16)表示该配置下所有设备的故障费用总和; 式(17)表示最终的产能销

售额减去设备成本与人力成本、耗电费用、设备损耗费用、产品故障费用的和；式(18)表示不同的客户在相对应的满意度对应的惩罚方式下利润的计算；式(19)表示综合考虑客户满意度和利润最大化，构建综合得分函数 Z ，通过调整产能分配方案，计算不同方案下的综合得分 Z ，找出使得 Z 最大的方案，即为最优决策。

3.4. 算法设计

基于粒子群优化算法对设备配置快速优化，用于半导体生产线的设备选型与数量规划。算法的核心目标是在满足不同客户产能需求的前提下，综合考虑客户满意度和企业利润，给予其不同的权重最大化综合得分。

(1) 导入数据。将产能、成本、故障率等客户学期需求作为多目标进行约束求解，将建立好的模型进行导入计算。

(2) 参数初始化。包括最大迭代次数 I_{max} 、惯性权重的最大值 ω_{max} ，最小值 ω_{min} 、调节系数 c_1 ， c_2 及设定种群数 N 。

(3) 更新惯性权重。通过改变粒子继承先前速度的能力去不断平衡全局搜索和局部搜索的能力。

(4) 更新粒子自身的速度和位置。对粒子进行随机初始化确定粒子 i 的初始位置及速度。

(5) 在当前的迭代条件下。在满足客户需求、产能及占地面积等约束下以产能最大化，生产成本最小化为目标进行计算，输出符合要求的设备配置方案。

(6) 判断是否满足最大迭代终止条件，满足则输出结果及绘制图表；否则重新跟新惯性权重重新计算。

(7) 速度跟新公式：

$$v^{k+1} = \omega v^k + c_1 r_1 (P_{id}^k - X^k) + c_2 r_2 (P_{gd}^k - X^k) \tag{20}$$

(8) 位置跟新公式：

$$X^{k+1} = X^k + v^{k+1} \tag{21}$$

4. 案例分析

4.1. 数据收集与处理

以 TFT-LCD 设备配向部分生产线为研究对象，根据收集到的各类设备数据建立相对应的数学模型，基于粒子群算法计算出客户满意度和企业利润相对最优的目标，快速实现 TFT-LCD 配向部分生产线所需设备的快速配置选型，并使设备的利用率最大化。

通过收集显示屏配向工艺不同信号设备的数据，建立显示屏配向生产线所需设备的数据库。设备主要数据为设备价格、设备占地面积及设备产能，产能为该设备对应的最高产能。文中主要对这 3 个目标进行约束求解，不考虑设备其他方面的影响因素。此部分数据仅限于理论分析研究，在实际应用时需要采集更加准确的数据进行求解，数据库部分数据见表 1，表 1 中洗瓶机、灌装机、上盖机、贴标机与装箱机各有 A 与 B2 个型号。

Table 1. System resulting data of standard experiment

表 1. 标准试验系统结果数据

约束条件	产能(片/h)限制		占地面积/m ² 限制		成本/万		产品故障率		耗电量/kw		设备损耗/万每季度	
设备类型	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
清洗机	1800	2200	0.65	0.88	4.8	9	/	/	20	20	0.2	0.5

续表

镀膜机	2100	1800	2.35	1.5	40	80	8%	5%	45	30	5	8
测试机	720	1100	2.5	2.5	25	30	/	/	25	25	/	/
配向机	360	720	4.5	9.9	40	200	10%	5%	50	200	10	25
固化炉	650	800	4.5	6	12	18	/	/	300	480	/	/

数据来源: 企业调研。

4.2. 案例求解

假设 T 公司规划新厂建立, 根据目前所掌握的订单量需先建立两条生产线。则客户产能需求设定为 19,100 片每月, 具体如图 2 所示。

	厚度 (mm)	尺寸	售价 (K)	配向能力需求	月订单量 (片)
手机/手表	0.5	小	0.5	○	5000
	0.7		0.8	×	5000
车载	0.5	中	2	×	3000
	0.7		3	×	3000
电脑/电视	0.5	中	1	○	1000
	0.7	大	2	×	2000
军工	0.5	中	100	○	50
	0.7	大	300	○	50

Figure 2. Monthly order volumes of different customers of company T

图 2. T 公司不同客户月订单量

代码中初始化了 100 个种群, 迭代次数设定为 100 并通过对 15 位显示屏与半导体相关行业的专家调研问卷得出该行业客户满意度与利润的权重分别为 0.4 与 0.6。在该要求下运用粒子群算法快速找寻出配向工艺段不同设备的种类与数量下的最优配置, 结果如表 2 所示。

Table 2. The optimal configuration results of the equipment

表 2. 设备最优配置结果

最优配置(配置 1):
工序 1 工序使用设备 A 的数量为 2
工序 2 工序使用设备 A 的数量为 2
工序 3 工序使用设备 A 的数量为 2
工序 4 工序使用设备 A 的数量为 4
工序 5 工序使用设备 A 的数量为 3
综合成本: 1732.857600
利润: 44767.142400
总满意度得分: 3.000000
综合得分: 26861.485440

该粒子群算法在迭代 5 轮以后已寻找到稳定解, 后续的迭代主要是在最优解周围调整粒子的位置, 种群的均值持续在优化。由于目标函数为最小化的问题, 因此 Best $f(x) = -2.686e+0.4$ 可以视为当前最优解。具体情况如表 3 所示。

Table 3. The operation results of the Particle Swarm Optimization algorithm
表 3. 粒子群算法运算结果

Iteration	f-count	Best	Mean	Stall
		f(x)	f(x)	Iterations
0	100	'' -2.675e+0.4	4.971e+0.5	0
1	200	'' -2.675e+0.4	8.769e+0.5	0
2	300	'' -2.678e+0.4	6.613e+0.5	0
3	400	'' -2.681e+0.4	6.306e+0.5	0
4	500	'' -2.686e+0.4	6.305e+0.5	0
5	600	'' -2.686e+0.4	7.023e+0.5	1
6	700	'' -2.686e+0.4	6.715e+0.5	2
7	800	'' -2.686e+0.4	7.024e+0.5	3
8	900	'' -2.686e+0.4	5.176e+0.5	4
9	1000	'' -2.686e+0.4	6.1e+0.5	5
10	1100	'' -2.686e+0.4	6.408e+0.5	6
11	1200	'' -2.686e+0.4	5.689e+0.5	7
12	1300	'' -2.686e+0.4	5.072e+0.5	8
13	1400	'' -2.686e+0.4	3.84e+0.5	9
14	1500	'' -2.686e+0.4	3.121e+0.5	10
15	1600	'' -2.686e+0.4	2.402e+0.5	11
16	1700	'' -2.686e+0.4	1.17e+0.5	12
17	1800	'' -2.686e+0.4	1.478e+0.5	13
18	1900	'' -2.686e+0.4	1.067e+0.5	14
19	2000	'' -2.686e+0.4	7.586e+0.4	15
20	2100	'' -2.686e+0.4	5.531e+0.4	16
21	2200	'' -2.686e+0.4	8.611e+0.4	17
22	2300	'' -2.686e+0.4	3.477e+0.4	18
23	2400	'' -2.686e+0.4	4.503e+0.4	19

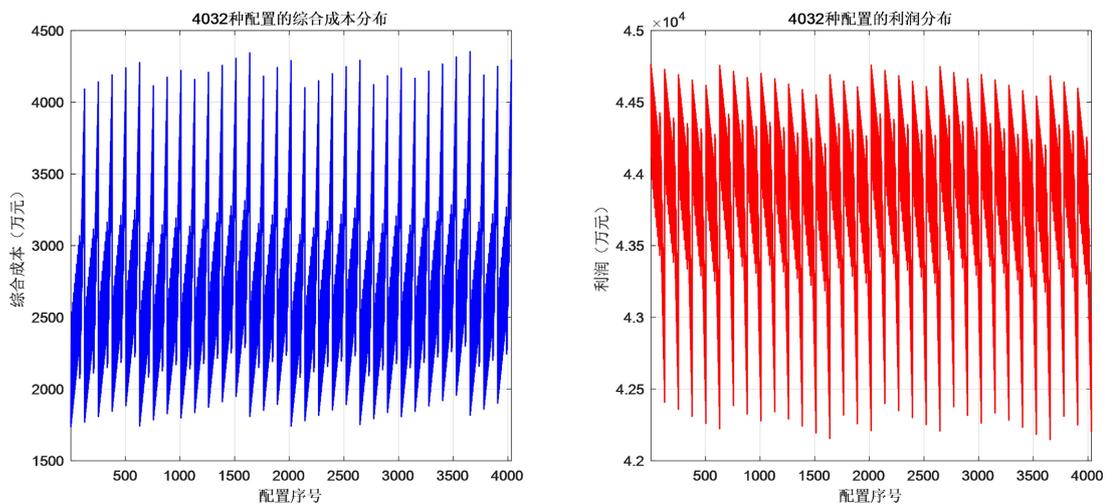


Figure 3. Schematic diagram of profit and cost for optimal configuration
图 3. 最优配置利润与成本示意图

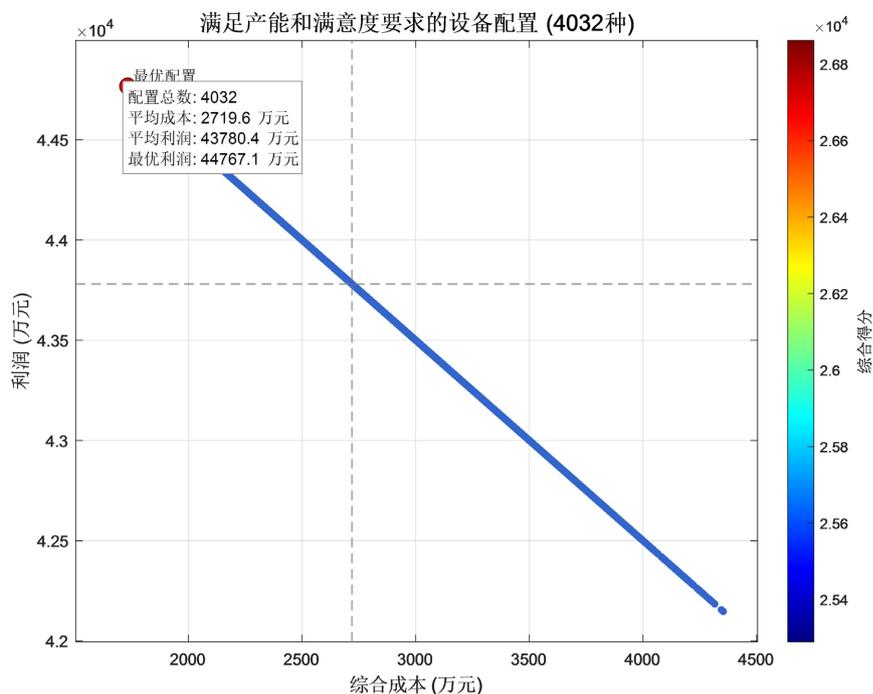


Figure 4. Schematic diagram of comparison chart of profit and cost
图 4. 最优配置利润与成本对比图

由于是两条生产线则所有的配置种类共为 8640 种, 而通过排除满足产能和客户满意度的设备配置共有 4032 种, 其中最优配置的利润与综合成本的示意图如图 3 与图 4 所示。

5. 结论

本研究聚焦泛半导体精密制造设备重要组成的 TFT-LCD 生产线, 以客户满意度为核心考量, 构建涵盖占地面积、耗电量、产品故障率、设备损耗率及客户满意度的多目标优化体系, 并基于粒子群算法开发设备选型与配置优化模型。为验证研究成果的实践价值, 本文以 T 公司实际生产场景为案例, 对所构建模型进行实证验证。通过对多目标的高效权衡, 从众多配置方案中筛选出可行解, 并最终确定综合表现最优的配置方案, 不仅证实了模型与算法的有效性, 更通过对代表性方案运行特征的分析, 为公司设备选型与配置决策提供了切实可行的建议。影响生产线设备选型的因素具有多元性, 未来研究可以深入纳入设备自身复杂工艺特性对选型的影响。此外, 在客户满意度维度上, 当前仅聚焦订单交付情况展开考量, 若进一步结合产品质量等维度的影响, 最终选型方案的全面性与适配性将得到更充分的提升, 以更好响应泛半导体设备智能制造的柔性化需求。

基金项目

上海市高水平机构建设运行计划“软科学研究”项目(25692116600); 上海高校青年教师培养资助计划(ZZ202203036)。

参考文献

- [1] Napitupulu, H.L. (2019) Ultrasound Device Selection by Using F-ANP and COPRAS. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **505**, Article ID: 012083. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/505/1/012083>
- [2] 贾若浩. 智能快运分拨库设备选型与配置研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2023.

- [3] 贾瑞, 李光. 基于智能算法的啤酒罐装生产线设备选型研究[J]. 包装工程, 2019, 40(9): 135-138.
- [4] Oesterle, J. and Amodeo, L. (2014) Efficient Multi-Objective Optimization Method for the Mixed-Model-Line Assembly Line Design Problem. *Procedia CIRP*, **17**, 82-87. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.038>
- [5] Kato, T. and Kamoshida, R. (2020) Multi-Agent Simulation Environment for Logistics Warehouse Design Based on Self-Contained Agents. *Applied Sciences*, **10**, Article 7552. <https://doi.org/10.3390/app10217552>
- [6] 李威. 大型干散货码头装卸工艺系统设备配置仿真优化研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2022.
- [7] 孟巧凤, 董杰涛. 基于 Flexsim 仿真的装配线平衡方法研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(6): 176-179.
- [8] 孙成卫, 张燕茹. 基于 Flexsim 的自动化立体仓库仿真研究[J]. 现代信息科技, 2021, 5(21): 155-158.
- [9] Shabayek, A.A. and Yeung, W.W. (2002) A Simulation Model for the Kwai Chung Container Terminals in Hong Kong. *European Journal of Operational Research*, **140**, 1-11. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(01\)00216-8](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(01)00216-8)
- [10] Cimino, A., Longo, F. and Mirabelli, G. (2010) A General Simulation Framework for Supply Chain Modeling: State of the Art and Case Study. arXiv: 1004.3271.
- [11] 刘兆龙. 基于大数据分析的机械设备故障诊断与维修优化方法研究[J]. 装备维修技术, 2024(5): 94-97.
- [12] 严海磊. 生产设备权限管理控制系统设计及实现[J]. 智能制造, 2025(1): 99-104.
- [13] 程超, 郭炬, 吴琼. TFT-LCD 生产线筹建项目中设备搬入管理[J]. 经济研究导刊, 2024(21): 42-45.
- [14] 葛莉荭. LED 显示屏行业标准的制定和对行业发展的意义[J]. 光源与照明, 2022(1): 106-108.
- [15] 袁书宏. 企业生产流程优化与效率提升[J]. 大众标准化, 2025(5): 120-122.
- [16] Pawlak, S. (2024) The Impact of Selected Lean Manufacturing Tools on the Level of Delays in the Production Process. a Case Study. *Management Systems in Production Engineering*, **32**, 103-107. <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0011>