

基于 SLP 和 SHA 的多品种小批量生产车间设备布局优化

罗灯兰,周俊,李奥

上海工程技术大学机械与汽车工程学院,上海 201620

摘要:目的 针对多品种小批量生产车间存在的设备布局不合理、材料库存高、物流线长等问题,提出对原布局方案的优化,而传统的 SLP 方法直接应用于现代企业的设备布局存在缺乏动态柔性、缺乏人员和产品的移动路线分析过程、运算过程有一定的复杂性且受主动因素影响较大等问题。方法 以某电冰箱装配生产车间为例,采用系统布置设计(SLP)方法对车间布局进行初步规划,根据规划结果,采用物料搬运系统分析(SHA)方法并结合集合理论知识,以物料分析、物料搬移分析为主要内容,对车间生产所涉及的物料分配暂存区,从而获得两种布局优化方案;基于 Witness 仿真软件对上述两种布局方案建立相应的仿真模型对其优化效果进行验证,分析在两种布局方案下车间的生产物流现状从而筛选出最优布局方案。结果 结果表明,优化后的方案与原车间布局方案相比,总的加工时间节约了 167.3 min,物料搬运总距离缩短了 14.2%,搬运设备利用率明显提高,生产效率明显提升。结论 采用优化后的布局方案,能够解决多品种小批量的生产车间设备布局问题,降低物料搬运成本,同时也能给其他制造型企业进行厂房新建、改建提供一定的借鉴和参考意义。

关键词:系统布置设计;物料搬运系统分析;设备布局;Witness 仿真

中图分类号:TH181;TP391.1 **文献标识码:**A **doi:**10.16055/j.issn.1672-058X.2024.0006.014

Optimization of Equipment Layout of Multi-variety Small-batch Production Workshop Based on SLP and SHA

LUO Denglan, ZHOU Jun, LI Ao

School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering and Science, Shanghai 201620, China

Abstract: Objective In view of problems such as unreasonable equipment layout, high material inventory, and long logistics lines in multi-variety small batch production workshops, this study proposed an optimization of the original layout scheme. The traditional systematic layout planning (SLP) method, directly applied to the equipment layout of modern enterprises, lacks dynamic flexibility, lacks analysis of personnel and product movement routes, has a certain complexity in the calculation process, and is greatly influenced by subjective factors. **Methods** Taking a refrigerator assembly production workshop as an example, the systematic layout planning (SLP) method was used to conduct initial planning of the workshop layout. Then, according to the planning results, the material system handling analysis (SHA) method was adopted and combined with the set theory knowledge, with material analysis and material movement analysis as the main content, the temporary storage area of the materials involved in the workshop production was allocated, so as to obtain two layout optimization schemes. Based on the Witness simulation software, corresponding simulation models were established for the two layout schemes to verify their optimization effects, analyze the production logistics status of the workshop under the two layout schemes, and select the optimal layout scheme. **Results** The results show that compared with the original workshop layout scheme, the optimized scheme saved a total processing time of 167.3 minutes, reduced the total distance

收稿日期:2023-05-31 修回日期:2023-06-26 文章编号:1672-058X(2024)06-0107-07

作者简介:罗灯兰(1998—),女,江西南昌人,硕士研究生,从事生产系统布局优化研究。

通讯作者:周俊(1967—),女,上海松江区人,副教授,博士,从事制造系统建模与仿真、智能制造研究。Email:327466286@qq.com。

引用格式:罗灯兰,周俊,李奥.基于 SLP 和 SHA 的多品种小批量生产车间设备布局优化[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2024,41(6):107-113.

LUO Denglan, ZHOU Jun, LI Ao. Optimization of equipment layout of multi-variety small-batch production workshop based on SLP and SHA[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2024, 41(6): 107-113.

for material handling by 14.2%, significantly improved the utilization rate of handling equipment, and markedly increased production efficiency. **Conclusion** By adopting the optimized layout scheme, the equipment layout problems in multi-variety small batch production workshops can be addressed, material handling costs can be reduced, and it can also provide certain references for other manufacturing enterprises in factory construction or reconstruction.

Keywords: system layout design; material handling system analysis; equipment layout; Witness simulation

1 引言

随着 2020 年全球疫情的爆发,我国实体业经济受到严重影响,尤其是对部分处于产业链末端、综合实力较弱的企业,大多都面临着严峻的生存挑战。因此,对于制造业而言,能否在有限的时间、人力等条件下完成所需产品订单并将该产品总成本降至最低是至关重要的。而物料搬运成本占产品总成本的 20%~50%,且合理的设备布局至少能降低 10%~30%的物料搬运成本^[1-2]。

针对生产车间布局优化问题的研究方法主要包括系统设施布置法(System Layout Planning, SLP)、各种启发式算法以及系统仿真法^[3]。其中,系统布置设计法最为常用,将产品 P 、产量 Q 、生产过程 R 、辅助服务部门 S 及生产时间安排 T 作为布局的基本出发点,以此求出合理的布局方案^[4-5]。Hosseini 等^[6]运用 SLP 法对车间设施布局进行优化。国内学者张鉴明等^[7]根据现代企业生产模式,探讨提出了一种适合现代企业的设备布局设计方法。左韵杨^[8]运用 SLP 法对某 C 公司酒厂生产过程进行优化,并通过粒子群算法对进一步的优化求解。缪瑟^[9]提出的物料搬运系统分析方法(System Handling Analysis, SHA)分为外部衔接、总体搬运方案、详细搬运方案、方案实施等 4 个阶段。董舒豪等^[10]运用 SLP 和 SHA 对某农机制造企业生产车间进行布置设计。但是该类方法针对多品种小批量车间的设备布局问题是否能解决尚无具体研究。由于信息技术的快速发展,研究学者们开始利用计算机生产仿真软件模拟生产过程,验证并改善方案,以此提高企业的效率和利润。张慧等^[11]提出基于 SLP 和 Flexsim 结合的方法对小微型机械制造企业加工车间的设施布局进行优化。李丽^[12]以 K 公司的画板车间为研究对象,采用 SLP 法和 Flexsim 仿真软件解决 K 公司车间生产物流中存在的主要问题,进行改善优化布局。张琦^[13]以某企业生产车间为研究对象,采用 SLP 法和 Any Logic 仿真软件进行车间设备布局设计。

综上所述,传统 SLP 方法直接应用于现代企业的设备布局存在缺乏动态柔性、缺乏人员和产品的移动路线分析过程、运算过程有一定的复杂性且受主动因素影响较大等问题。SHA 法可以对 SLP 法得出的结果进行修正,使物流系统更加合理化,更加符合现代企业生产需求。而且计算机辅助设计软件能够对设备布局

方案的可行性进行有效验证。因此,针对多品种小批量生产车间存在的设备布局不合理、材料库存高、物流线长等问题,以某电冰箱装配生产车间为例,运用 SLP 法和融合集合理论分析方法的 SHA 法结合该装配生产车间实际生产情况,分析研究多品种小批量的制造车间布局优化方法。结合 Witness 仿真技术对该装配生产车间运行状况进行建模与仿真分析,通过总的加工时间、物料搬运总距离、搬运设备利用率的对比如得出最优方案,同时也能给其他制造业生产车间提供一定的启发和借鉴作用。

2 生产车间基本要素分析

2.1 产量产品分析

随着市场的蓬勃发展,客户对产品的需求日益变化,对产品的质量追求更完美,企业原先采取的单一品种、大批量的生产模式已经逐渐变为多品种、小批量生产模式。某企业主要生产冰箱、家用空调、中央空调等产品,其中冰箱产品的销售额高达 40%。其主要生产的冰箱有五类,每类产品的批量较小,因此企业的电冰箱装配生产车间属于典型的多品种小批量生产车间,原始的布局方案如图 1 所示。表 1 是对该装配生产车间主要生产的产品产量分析。

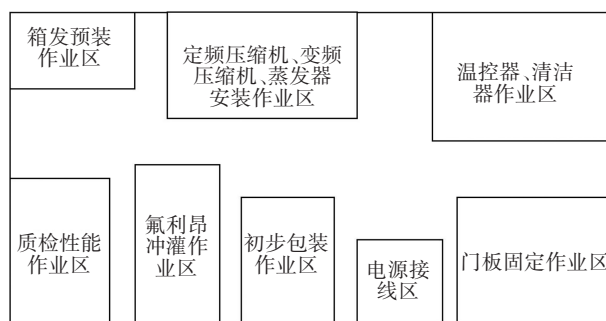


图 1 原生产车间布局方案

Fig. 1 The layout scheme of the original production workshop

表 1 日产品产量分析表

Table 1 Analysis table of daily product yield

| 产品代号 | 产品型号 | 产量/件 |
|------|----------------|------|
| a | 单门单循环定频金属冰箱 | 350 |
| b | 双门双循环变频金属冰箱 | 400 |
| c | 三门双循环变频玻璃冰箱 | 420 |
| d | 对开门双循环变频玻璃冰箱 | 450 |
| e | 十字对开门双循环变频陶瓷冰箱 | 300 |

2.2 作业单位划分

根据电冰箱装配生产车间的多品种小批量生产模式,加工设备应依据工艺原则布置,且将其生产所需的物料进行细分,车间的作业单位划分后汇总如表 2 所示。具体工艺流程如图 2 所示。

表 2 作业单位汇总表
Table 2 Summary of activity units

| 代号 | 作业单位名称 | 功能 | 面积/m ² |
|----|----------|--------------------|-------------------|
| A | 箱发预装区 | 安装底板 | 665 |
| B | 定频压缩机暂存区 | 对定频压缩机进行临时存放 | 400 |
| C | 变频压缩机暂存区 | 对变频压缩机进行临时存放 | 530 |
| D | 温控器暂存区 | 对温控器进行临时存放 | 851 |
| E | 蒸发器暂存区 | 对蒸发器进行临时存放 | 1 018 |
| F | 金属门板暂存区 | 对金属门板进行临时存放 | 362 |
| G | 玻璃门板暂存区 | 对玻璃门板进行临时存放 | 291 |
| H | 陶瓷门板暂存区 | 对陶瓷门板进行临时存放 | 281 |
| I | 固定接线区 | 对箱门进行固定,接电源线、地线 | 411 |
| J | 清洁器暂存区 | 对清洁器进行临时存放 | 953 |
| K | 初步包装区 | 对电冰箱进行初步包装,固定后贴商标等 | 682 |
| L | 氟利昂冲灌区 | 对电冰箱冲灌氟利昂 | 634 |
| M | 质检区 | 质检电性能、检漏 | 564 |

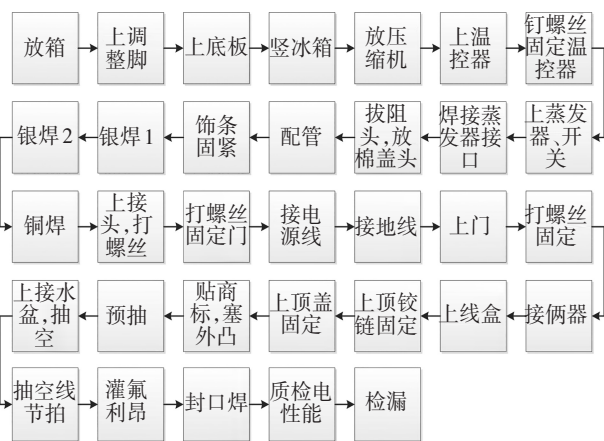


图 2 生产工艺流程图

Fig. 2 Flow chart of the production process

3 基于 SLP 的车间设备布置设计

3.1 物流与非物流相互关系分析

物流关系分析就是要确定生产物料的移动顺序和移动方向。根据 SLP 理论,将作业单位对物流总量的数值按照从大到小的顺序进行等级划分,具体每个等级对应的物流强度及其所占比例如表 3 所示^[14]。因此可以得到划分后的各作业单位对的物流强度如表 4

所示。由此进一步得到该车间的物流相互关系图如图 3 所示。

表 3 物流强度等级划分表

Table 3 Logistics intensity classification table

| 等级 | 物流强度 | 物流量占比/% |
|----|------|---------|
| A | 绝对大 | 40 |
| E | 超大 | 30 |
| I | 较大 | 20 |
| O | 一般 | 10 |
| U | 可忽略 | — |

表 4 作业单位对物流强度汇总表

Table 4 Summary table of logistics intensity of operating units

| 作业单位对 | 物流量 | 等级 |
|-------|--------|----|
| A-B | 1 750 | O |
| A-C | 7 850 | I |
| B-D | 2 450 | I |
| C-D | 10 990 | E |
| D-E | 960 | O |
| E-F | 2 875 | I |
| E-G | 4 350 | I |
| E-H | 1 500 | O |
| F-I | 9 200 | E |
| G-I | 13 050 | A |
| H-I | 3 600 | I |
| I-J | 384 | O |
| J-K | 960 | O |
| K-L | 1 536 | O |
| L-M | 9 600 | E |

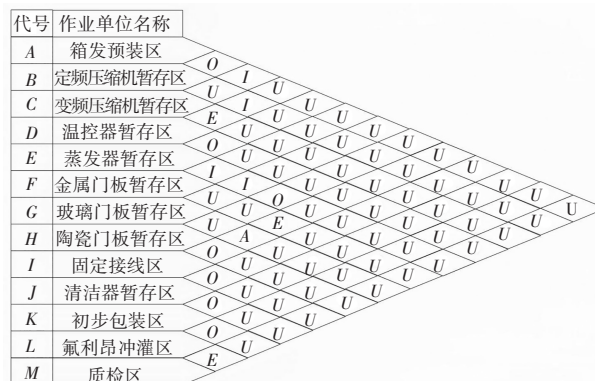


图 3 物流相互关系图

Fig. 3 Logistics interrelationship diagram

根据车间的现场分析调研,主要考虑的非物流影响因素有 6 项,可根据该等级划分理由确定作业单位间密切程度,具体如表 5 所示。由此进一步得到该车间的非物流相互关系如图 4 所示。

表 5 作业单位密切等级划分理由

Table 5 Reasons for close hierarchical classification of operational units

| 序号 | 等级划分理由 |
|----|----------|
| 1 | 工艺流程的连续性 |
| 2 | 物料搬运 |
| 3 | 安全、污染与噪声 |
| 4 | 管理方便程度 |
| 5 | 生产服务 |
| 6 | 联系的频繁程度 |

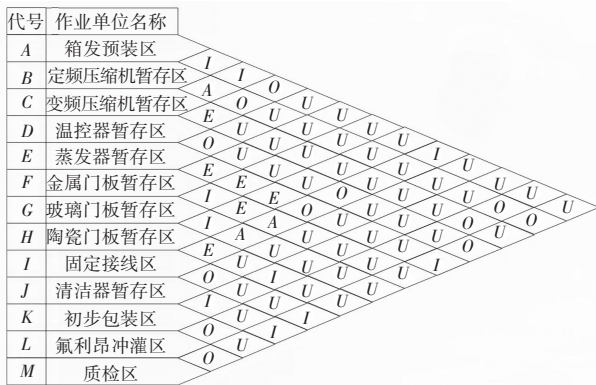


图 4 非物流相互关系图

Fig. 4 Non-logistics interrelationship diagram

3.2 作业单位综合相互关系分析

应用 SLP 法求解设备布局时,应将物流关系和非物流关系的等级量化,其中 $A=4, E=3, I=2, O=1, U=0$,然后通过具体的比值关系代入量化公式将二者整合^[15]。具体表达式为

$$CR_{ij} = mMR_{ij} + nNR_{ij} \quad (1)$$

其中: CR_{ij} 为作业单位 i 与作业单位 j 之间的综合相互关系密切程度, MR_{ij} 为作业单位 i 与作业单位 j 之间的物流相互关系所划分的等级; NR_{ij} 为作业单位 i 与作业单位 j 之间的非物流相互关系所划分的等级; m, n 分别为二者之间权重。

针对企业的电冰箱装配生产车间实际情况在布局中不仅要考虑物流影响也要考虑非物流影响,且二者都很重要,因此以 $m:n=1:1$ 的比值考虑计算得到综合相互关系是比较合理的。计算后得到作业单位综合相互关系图,如图 5 所示。

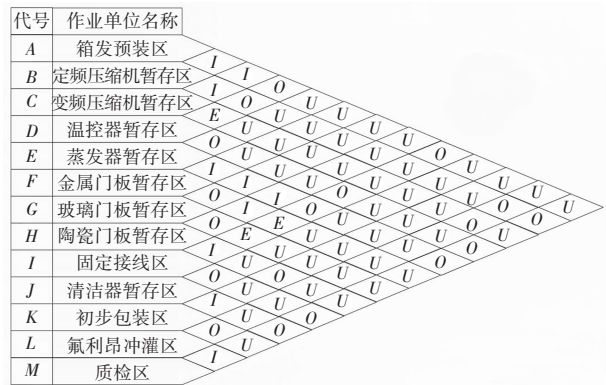


图 5 作业单位综合相互关系图

Fig. 5 Comprehensive interrelationship diagram of operational units

3.3 作业单位位置相关图

根据作业单位综合相互关系图可以很容易地计算出各作业单位的综合接近程度,例如变频压缩机暂存区,其与箱发预装区及定频压缩机暂存区之间的综合强度等级为 I (量化值为 2),与温控器暂存区之间的综合强度等级为 E (量化值为 3),与氟利昂冲灌区之间的综合强度等级为 O (量化值为 1),与其他作业单位的综合强度等级均为 U (量化值为 0),因此可得变频压缩机暂存区的综合接近程度为 $2+2+3+1=8$ 。具体的综合强度等级排序如表 6 所示。

表 6 综合强度等级排序表

Table 6 Comprehensive intensity class sorting table

| 代号 | 综合接近程度 | 排序 |
|----|--------|----|
| A | 6 | 10 |
| B | 8 | 4 |
| C | 8 | 5 |
| D | 9 | 2 |
| E | 9 | 3 |
| F | 8 | 6 |
| G | 7 | 7 |
| H | 7 | 8 |
| I | 13 | 1 |
| J | 4 | 12 |
| K | 4 | 13 |
| L | 5 | 11 |
| M | 7 | 9 |

在分析车间作业单位布局时,应对各个作业单位所需面积进行考虑。由于综合接近程度的值越大则应越靠近设备布置的中心,数值越小则应越靠近设备布置的边缘,结合各作业单位的占地面积可得到作业单位位置相关图,如图 6 所示。

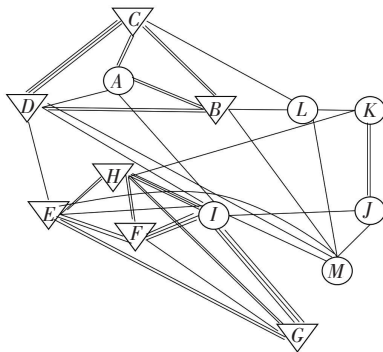


图 6 作业单位位置相关图

Fig. 6 Diagram related to the locations of the work units

4 SHA 的车间设备布置设计

在 SLP 法求解车间布局基础上,采用 SHA 法并结合集合理论知识根据物料分析、物料搬移分析为主要内容对车间物料暂存区位置进行布置后得到两种符合电冰箱装配生产车间实际生产需求的设备布局方案。

4.1 物料分析

根据电冰箱装配生产车间的生产工艺流程,可知主要涉及有 21 种物料,根据其特征绘制成物料特征表,如表 7 所示。

表 7 物料特征表

Table 7 Item characteristics table

| 物料代号 | 物料名称 | 损伤的可能性 | 搬运频率 |
|-----------------|----------|--------|------------|
| A ₁ | 底板及其配件 | 怕压 | |
| A ₂ | 定频压缩机及配件 | — | |
| A ₃ | 变频压缩机及配件 | — | |
| A ₄ | 温控器 | 怕水 | |
| A ₅ | 蒸发器 | 易伤人 | |
| A ₆ | 开关 | 怕水 | |
| A ₇ | 隔音棉 | 怕水 | |
| A ₈ | 清洁剂 | — | |
| A ₉ | 时控器 | 怕水 | |
| A ₁₀ | 金属门板 | 怕划伤 | 根据生产节拍进行搬运 |
| A ₁₁ | 玻璃门板 | 易伤人 | |
| A ₁₂ | 陶瓷门板 | 怕划伤 | |
| A ₁₃ | 面板部件 | 怕划伤 | |
| A ₁₄ | 排水管 | — | |
| A ₁₅ | 电控部件 | 怕水 | |
| A ₁₆ | 线盒 | 怕水 | |
| A ₁₇ | 铰链 | — | |
| A ₁₈ | 箱顶盖 | — | |
| A ₁₉ | 商标 | 怕划伤 | |
| A ₂₀ | 接水盆 | 怕压 | |
| A ₂₁ | 制冷剂 | 怕水 | |

根据表 7 和集合理论可将车间物料分成以下五类并用符号表示。不易受损伤物料:A₂、A₃、A₈、A₁₄、A₁₆、A₁₇、A₁₈,怕压物料:A₁、A₂₀,怕水物料:A₄、A₆、A₇、A₉、A₁₅、A₁₆、A₂₁,易伤人物料:A₅、A₁₁,怕划伤物料:A₁₀、A₁₂、A₁₃、A₁₉。

4.2 物料搬移分析

物料搬移分析可以直观分析到物料流动的全过程,而生产物料进入车间的位置对于物料暂存区的位置选择起到重要作用。根据实际生产中的生产物料进入车间位置情况可以统计得到的物料暂存区在车间的大概位置,利用集合知识可以分为两种情况。车间暂存区位于西门附近的物料: $P_1 = \{A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_{10} A_{12} A_{14}\}$,车间暂存区位于东门附近的物料: $P_2 = \{A_8 A_9 A_{11} A_{13} A_{15} A_{16} A_{17} A_{18} A_{19} A_{20} A_{21}\}$ 。对物料的上线位置进行分析,根据电冰箱装配生产线的空间布局可以知道该装配线的流动方向为自西向东,其装配顺序为:A₁→A₂→A₃→A₄→A₅→A₆→A₇→A₁₄→A₁₅→A₁₀→A₁₁→A₁₂→A₁₃→A₈→A₉→A₁₆→A₁₇→A₁₈→A₁₉→A₂₀→A₂₁,将该装配线平均划分为两个阶段并用集合表示: $Q_1 = \{A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_{14} A_{15} A_{10} A_{11}\}$, $Q_2 = \{A_{12} A_{13} A_8 A_9 A_{16} A_{17} A_{18} A_{19} A_{20} A_{21}\}$ 。

将这两种位置分析综合考虑,对应集合求取交集,结果为: $R_1 = P_1 \cap Q_1 = \{A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_{10} A_{14}\}$, $R_2 = P_2 \cap Q_2 = \{A_8 A_9 A_{13} A_{16} A_{17} A_{18} A_{19} A_{20} A_{21}\}$ 。因此集合 R₁ 中的物料暂存区应该设置在车间的西边,集合 R₂ 中的物料暂存区应该设置在车间的东边。对于没有确定的其他物料则需要考虑其他因素。易伤人物料 A₁₁、怕划伤物料 A₁₂ 应单独存放,怕水物料 A₁₅ 通过综合关系分析应该将其暂存区布置在车间的东边。

4.3 获得初步优化方案

综上所述,结合车间的实际生产需求与车间主要物料暂存区的存放位置可以确定两种车间布局方案,如图 7、图 8 所示。

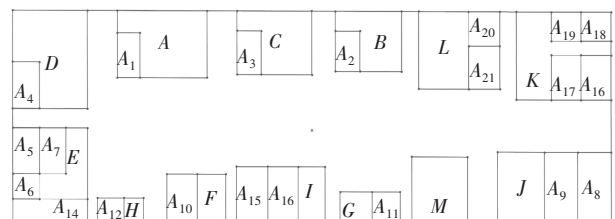


图 7 电冰箱装配生产车间布局方案 1

Fig. 7 Refrigerator assembly production workshop layout scheme 1

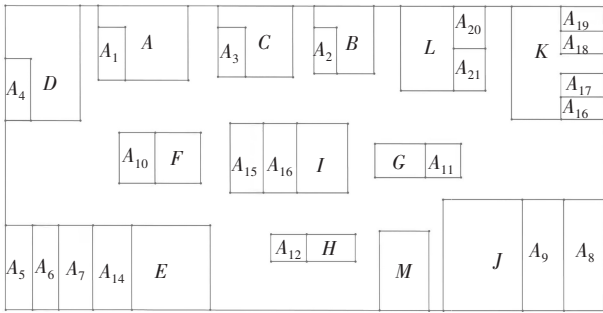


图 8 电冰箱装配生产车间布局方案 2

Fig. 8 Refrigerator assembly production workshop layout scheme 2

5 仿真分析与优化

5.1 仿真分析的目的

为了验证两种布局方案的合理性以及更好的筛选出最终的优化方案,运用 Witness 仿真软件对电冰箱装配生产车间布局方案进行仿真。

5.2 构建装配生产车间的仿真模型

根据装配生产车间的生产工艺流程以及生产物流特点,对 Witness 中各设备的对应逻辑关系进行设计可得到相应的仿真模型。优化后的布局方案 1、方案 2 的生产物流系统仿真模型如图 9、图 10 所示。

5.4 仿真结果分析

所有的参数设置完毕,运行电冰箱生产车间的仿真模型。根据单日生产计划,设置产品的投产顺序为 15 个 A,20 个 B,20 个 C,30 个 D,15 个 E。最终得出方案 1 总的加工时间为 685.1 min,比较于原布局方案节约 34.9 min,即下降了 4.8%。而方案 2 总的加工时间为 552.7 min,比较于原布局方案节约 167.3 min,即下降了 23%。原布局搬运总距离为 920 m,方案 1 的搬运总距离为 851.25 m,缩短了 7.4%,方案 2 的搬运总距离为 789.5 m,缩短了 14.2%。又通过仿真数据的分析可知,方案 1 搬运设备的平均等待时间为 7.31 min,方案 2 搬运设备的平均等待时间为 5.20 min,方案 1 的空载运行率 43%,方案 2 的空载运行率为 37.3%。将上述方案 1 与方案 2 的仿真数据做成表格,如表 8 所示。

表 8 仿真数据对比分析表

Table 8 Comparison and analysis table of simulation data

| 方案序号 | 总的加工时间/min | 搬运总距离/m | 搬运设备平均等待时间/min | 空载运行率/% |
|------|------------|---------|----------------|---------|
| 方案 1 | 685.1 | 851.25 | 7.31 | 43 |
| 方案 2 | 552.7 | 789.5 | 5.20 | 37.3 |

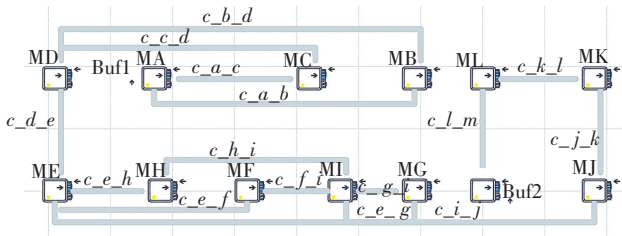


图 9 方案 1 物流系统仿真模型

Fig. 9 Scenario 1: Simulation model of logistics system

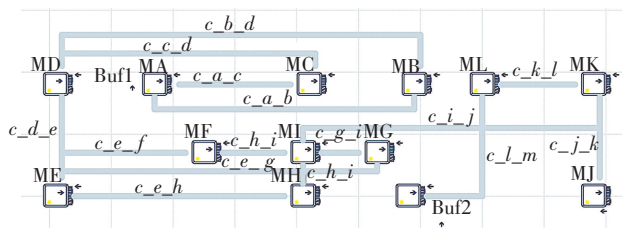


图 10 方案 2 物流系统仿真模型

Fig. 10 Scenario 2: Logistics system simulation model

5.3 仿真模型参数设置

采用了 Part (a、b、c、d、e 五类产品原料)、Machine (生产设备)、Buffer (缓存区)、Conveyor (输送链) 等离散型元素,将各作业单位简化为 Machine 元素,然后对各个 Machine 元素设置作业时间、输入输出规则,对各个 Buffer 元素设置容量、输入输出规则,对各个 Conveyor 元素设置类型、容量、移动速度、输入输出规则等。

5.5 优化方案的确立及评价

通过对各个指标的综合分析,可以确定方案 2 为电冰箱装配生产车间的最优方案。方案 2 与方案 1 相比,搬运距离的减少,使得物流所需时间占总加工时间的比例减少,搬运设备的平均等待时间也有一定程度的减少,有效降低车间物流成本,提升车间的生产效率。

6 结论

针对多品种小批量生产车间存在的设备布局不合理、材料库存高、物流线长等问题,以电冰箱装配生产车间为例,根据该装配生产车间实际生产情况,运用 SLP 法、结合集合理论分析方法的 SHA 法,弥补了 SLP 法的不足,分析研究多品种小批量的车间布局优化方法。并结合 Witness 仿真技术对装配生产车间运行状况进行建模与仿真分析,通过总的加工时间、物料搬运总距离、搬运设备利用率的对比得出最优方案。

由此可以得知,SLP 法与 SHA 法对多品种小批量生产车间的布局优化具有重要作用,同时也具有一定的实用价值。在验证布局方案模型时,主要分析的是在各作业单位间的物料搬运状况,对车间内加工的各类产品的生产过程真实还原性仍稍显不足,后续可对加工设备所需保养时间的长短、生产过程中的故障发生频率等参数进行研究,例如应当符合一定的随机分布,再现车间的真实生产状况。

参考文献(References):

- [1] BRAGLIA M, ZAVANELLA L. Layout design in dynamic environments: strategies and quantitative indices[J]. *International Journal of Production Research*, 2003, 41(5): 995-1016.
- [2] SINGH S P, SHARMA R R K. A review of different approaches to the facility layout problems[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, 30(5): 425-433.
- [3] 方庆瑄, 王转. 现代物流设施与规划[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
FANG Qing-guan, WANG Zhuan. *Modern logistics facilities and planning*[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [4] 薛顺, 许志沛, 洪浩, 等. 运用系统布置设计方法的生产设施布置设计[J]. *工业工程*, 2011, 14(4): 135-138, 165.
XUE Shun, XU Zhi-pei, HONG Hao, et al. Layout design of production facilities using system layout design method[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2011, 14(4): 135-138, 165.
- [5] 罗来根. 生产车间设施布局优化方法研究[J]. *物流工程与管理*, 2023, 45(2): 5-7, 25.
LUO Lai-gen. Research on optimization method of production workshop facility layout[J]. *Logistics Engineering and Management*, 2023, 45(2): 5-7, 25.
- [6] HOSSEINI S S, WONG K Y, MIRZAPOUR S A, et al. Multi-floor facility layout improvement using systematic layout planning[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 845: 532-537.
- [7] 张鉴明, 华翠平, 林卫. 传统SLP方法的改进研究[J]. *商场现代化*, 2011(6): 22-24.
ZHANG Jian-ming, HUA Cui-ping, LIN Wei. Research on the improvement of traditional SLP method[J]. *Shopping Mall Modernization*, 2011(6): 22-24.
- [8] 左韵杨. 基于SLP方法的C公司包装车间设施布局优化研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2019.
ZUO Yun-yang. Research on layout optimization of packaging workshop facilities of company C based on SLP method[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2019.
- [9] 理查德·缪瑟. 系统布置设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
Muther R. *System layout planning*[M]. Beijing: China Machine Press, 1998.
- [10] 董舒豪, 徐志刚, 秦开仲, 等. 基于SLP与SHA的农机车间布置优化及仿真研究[J]. *现代制造工程*, 2020(1): 50-57.
DONG Shu-hao, XU Zhi-gang, QIN Kai-zhong, et al. Optimization and simulation study of agricultural machinery workshop layout based on SLP and SHA[J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2020(1): 50-57.
- [11] 张惠, 李成松, 李玉林, 等. 基于SLP法和Flexsim仿真的机加工车间设施布置优化研究[J]. *现代制造工程*, 2016(5): 63-68.
ZHANG Hui, LI Cheng-song, LI Yu-lin, et al. Research on layout optimization of machining workshop facilities based on SLP method and Flexsim simulation[J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2016(5): 63-68.
- [12] 李丽. K公司画板车间设施布局优化及生产物流系统仿真研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2018.
LI Li. Optimization of facility layout and simulation of production logistics system of drawing board workshop of K company[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2018.
- [13] 张琦. 某企业生产车间设施布局规划研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
ZHANG Qi. Research on the layout planning of production workshop facilities of an enterprise[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2021.
- [14] 刘盛, 吴辰, 杨浩楠, 等. 基于SLP方法和层次分析法的刀具车间布置优化[J]. *工业技术创新*, 2021, 08(3): 147-152.
LIU Sheng, WU Chen, YANG Hao-nan, et al. Tool shop layout optimization based on SLP method and analytic hierarchy method[J]. *Industrial Technology Innovation*, 2021, 08(3): 147-152.
- [15] 彭建华, 王岳, 吕峰, 等. 基于SLP和遗传算法的船舶管加工车间设备布局设计[J]. *船舶工程*, 2022, 44(10): 15-21, 106.
PENG Jian-hua, WANG Yue, LV Feng, et al. Equipment layout design of ship tube processing workshop based on SLP and genetic algorithm[J]. *Ship Engineering*, 2022, 44(10): 15-21, 106.

责任编辑:田 静