

混流装配线车间内物料调度工位组划分优化法

李爱平, 张燕红, 郭海涛, 徐立云

(同济大学 现代制造技术研究所, 上海 201804)

摘要: 基于准时制生产方式(JIT)提出对混流装配线进行工位组划分并安排配送车辆进行配送服务的优化方法. 为保证混流装配线生产过程不发生缺料停产的情况, 以配送车辆的承载能力与消耗工位配送时间窗为约束, 配送车辆满载率与工位物料需求紧急程度为优化目标构建优化模型. 运用遗传算法对模型进行求解, 优化单个工作日总配送次数及配送车辆数量, 给出配送工位组划分及车辆调度方案. 最后, 实验验证表明该方法具有可行性和有效性.

关键词: 混流装配线; 物料调度; 准时制生产方式(JIT); 工位组划分; 满载率; 遗传算法

中图分类号: TH162

文献标志码: A

Station Groups Division of Material Dispatching System in Mixed-Model Assembly Line

LI Aiping, ZHANG Yanhong, GUO Haitao, Xu Liyun

(Modern Manufacturing Technology Research Institute, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In this study, an optimization method is proposed based on JIT, to divide station group and arrange the distribution vehicles. In order to eliminate case that assembly line production process was shut down due to material shortage, with the capacity of distribution vehicles and distribution time-window as the constraint, a model is developed, taking the full load ratio of distribution vehicles and station material requirement urgency as the optimization goal. Genetic algorithm is used to solve the model to optimize the total number of daily deliveries, which consequently give the plan of distribution of work station groups and vehicle scheduling. At last, the feasibility and effectiveness of this method was proved by the verification of example.

Key words: mixed-flow assembly line; material distribution; Just-in-time(JIT); station groups division; full load ratio; genetic algorithm

对于现代复杂混流装配线而言, 合理的物料调度方案是保证实现物料准时配送的关键^[1]. 在混流装配线正常运行的基础上, 最大限度优化配送车辆行驶路径以及缩短配送时间并提高配送车辆利用率, 对优化物料调度方案及实现准时制生产方式(Just-in-Time, JIT)生产方式具有重要意义. 目前物料调度主要解决两类问题, 即车辆路径问题(vehicle routing problem, VRP)和时间调度问题(scheduling problem, SP).

传统的物料调度优化问题主要针对配送车辆的行驶路径进行优化, 以缩短配送路径及降低配送成本为优化目标^[2]. 虽然 JIT 生产方式早在 20 世纪 60 年代就由日本丰田公司提出, 但国内外的生产企业及相关学者对 JIT 生产方式的追求从未停止, 因此结合 JIT 生产方式的物料调度系统是此类问题的研究热点. Emde 等^[3]基于 JIT 生产方式对混流装配线相邻工位进行区域划分, 通过减少配送车辆来节约运输成本. Boysen 等^[4]研究了在 JIT 大环境下以配送车辆载荷能力作为约束时, 物料配送中心与消耗工位间的配送关系, 并得到配送时间窗及配送路径方案. Caputo 等^[5]采用最小和方程建立了混流装配线的平准化模型, 以解决物料调度系统的平整化问题. 蒋丽等^[6]在 JIT 环境下提出以工位为中心的配送模式, 将物料配送中心的零部件规划作为侧重点, 优化了配送中心与消耗工位之间的调度方案. 李晋航^[7]重点研究了经典 VRP 问题, 得出最小配送车辆使用数量, 最短化总行驶路径, 最少平均等待时间三个目标之间的权衡关系. Golz 等^[8]提出了以最小化喂料系统所需拖车数量为目标的喂料模型. Choi 等^[9]以动态供料系统为研究对象, 根据不断变化的生产计划, 计算所需零部件种类及数量, 为物料调度方案提供实时零部件需求数据.

收稿日期: 2016-12-15

基金项目: 上海市科委(上海市科技成果转化和产业化)项目(15111105500)

第一作者: 李爱平(1951—), 女, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为制造系统与自动化、数字化设计与制造、制造信息技术与工程等. E-mail: limuzi@tongji.edu.cn

通讯作者: 张燕红(1991—), 女, 工学硕士, 主要研究方向为机械制造及其自动化. E-mail: zhangyanhong@tongji.edu.cn

JIT 生产方式要求物料调度准时化,即在特定配送时间窗内将零部件送达所需消耗工位.为了实现物料调度方案在混流装配线不缺料停产的情况下,适时将零部件送达需求消耗,部分学者对时间窗问题进行了研究.沈维蕾等^[10]也设计了一种动态的物料调度方案,根据时间惩罚函数确定最佳配送时间.刘明周等^[11]为解决在不确定环境下混流装配线物料调度的准确性和及时性问题,提出了 JIT 物料调度系统.严正峰等^[12]基于模糊时间窗理论进行物料调度路径优化,在给定配送时间窗的前提下求解最佳配送路径.王楠等^[13]针对带有时间窗的车辆路径优化问题提出一种改进遗传算法,从而确保物料调度准时化.Nadjafi 等^[14]为了减少配送车辆,结合硬时间窗限制提出混合整数规划模型并进行求解.Nalepa 等^[15]在配送车辆载荷能力的约束下,基于配送时间窗求解车辆路径问题,减少了配送车辆行驶总距离.Ma Yanfang 等^[16]研究了带有时间窗的车辆路径问题,克服了企业多个物料配送中心在规划物流调度方案时的局限性.

综上所述,学者们在 JIT 生产方式下的物料调度系统研究中取得了一定成果,但仍存在着以下值得研究的问题:将规划混流装配线配送车辆路径及配送时间与提高配送车辆满载率联合考虑,保证零部件在配送时间窗内准时送达,以避免混流装配线缺料停产的情况发生.传统看板管理由提前规划的物料调度方案替代,可避免由于物料调度系统在实时响应消耗工位发出的需求指令时因处于被动状态,而导致混流装配线的物料配送中心或线边库存缺货而无法正常运行.对此,本文在充分考虑每个消耗工位生产节拍、料箱规格等参数的基础上计算配送时间窗,搜索急需配送的消耗工位编号,在不超过配送车辆承载能力并满足优先级原则的前提下将其作为单次配送工位组(后文简称为“工位组”),构建工位组划分优化模型并设计该物料调度问题的改进遗传算法,得到物料调度优化方案.

1 问题描述

合理的物料调度方案是保证混流装配线高效运行的关键.配送车辆行驶路径及配送时间是物料调度方案所需要解决的两个关键问题,其规划的合理程度直接影响混流装配线的生产装配效率.传统车辆路径规划研究注重在给定时间窗的前提下优化车辆行驶路径,以实现配送路径最短及耗时最少的目

标,或者需要根据实时数据反馈来确定配送时间窗.由于混流装配线各零部件消耗速率不同,且受到料箱规格限制,导致各消耗工位物料需求的变化.如果每次配送量不变则难以保证各消耗工位线边库存的稳定,容易出现库存溢出或低于安全库存的情况,增加了提高配送车辆利用率及配送准时性的难度.本文结合混流装配线矩形环绕的布局特征,同时考虑每个消耗工位的装配节拍、线边库存、料箱规格等因素,研究一种提前规划方法,在不超过配送车辆装载能力的前提下,将发出需求指令的消耗工位按工位号由小到大排列,作为单次配送工位组进行配送.

装配车间内有 m 个消耗工位,计算各消耗工位的零部件配送时间窗 $[RT_i, LT_i]$, RT_i (reorder time) 为将工位 i 的需求指令加入到配送请求序列的时刻; LT_i (latest time) 为零部件送达消耗工位的最晚时刻,即零部件抵达工位时线边库存刚好为零.搜索其中急需配送的消耗工位编号.在配送车辆装载能力之内,将搜索结果作为单次配送工位组,由 K 辆配送车辆将所需零部件在规定的配送时间窗 $[RT_i, LT_i]$ 内分别配送至所属工位组的各个消耗工位,并同步更新消耗工位线边库存 E_i .已知物料配送车辆的装载能力为 Q ,工位 S_i 的需求量为 q_i ,且 $q_i \leq Q$.所有配送车辆的配送规则是:始终沿逆时针方向运行,从物料配送中心装货配送至第 u 个工位组,再返回物料配送中心.为提供后续求解的依据,假设条件如下:

① 物料配送中心为单库存区域,配送车辆每趟配送绕装配线运行一周,每个消耗工位每趟只能被服务一次,途中无法调头返回;② 物料调度系统以及装配线无故障发生;③ 每位配送人员负责指定配送车辆;④ 初始状态时线边库存量为 100%.

2 工位组划分模型构建

物料及时准确送达线边库存区是保证各消耗工位在规定时间内得到所需物料,确保生产线正常运行的必要条件.因此,为保证混流装配线生产过程不发生缺料停产的现象,同时满足 JIT 生产方式要求,以配送车辆的承载能力与消耗工位配送时间窗为约束条件,将工位物料需求紧急程度与配送车辆满载率作为优化目标,设计根据每一个装配工位线边库存余量来搜索其中有物料配送需求的工位,并组成单次配送工位组的划分方法,构建物料调度方案工位组划分优化模型并进行求解.

2.1 单次配送工位组划分方法及建模

配送车辆被安排的单次配送任务如图 1 所示, S 表示工位, T 表示配送车辆, 虚线圆所选工位组由 1 号配送车辆负责配送, 虚线矩形所选工位组则由 2 号配送车辆负责配送, 配送车辆每次负责配送的工位组会随着消耗工位需求变化而实时改变, 线边库存也随之更新。

在线边库存空间有限的情况下, 如果所需物料过早送达线边库存区, 将导致线边库存过多, 会产生等待成本, 甚至影响装配工位正常运作; 如果在线边库存消耗完之后才将物料送达, 则将导致装配线缺料停产。以上两个问题要求严格控制物料配送时间, 在计算配送时间窗之前, 首先需要计算每个消耗工位的零部件消耗率 $C_{O,i}$:

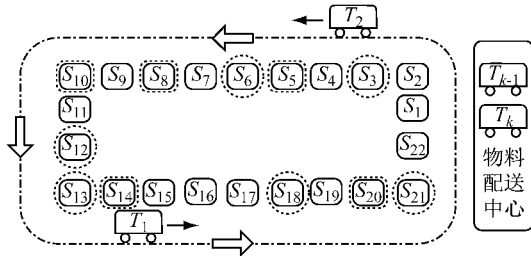


图 1 配送车辆配送任务示意图

Fig.1 Distribution vehicle distribution task diagram

$$C_{O,i} = \frac{H_i}{c_{i,i}} \cdot 60 \quad (1)$$

式中: H_i 为单机消耗量; $c_{i,i}$ 为工位 i 的生产节拍。

利用消耗率 $C_{O,i}$ 计算配送时间窗上下限:

$$RT_i = \frac{E_i - M_{IN,i} \cdot B_i}{C_{O,i}} \quad (2)$$

$$LT_i = \frac{E_i}{C_{O,i}} \quad (3)$$

式中: E_i 为工位 i 当前线边库存; B_i 为工位 i 的零部件包装数量; $M_{IN,i}$ 表示消耗工位 i 线边最小库存量。从而得到消耗工位零部件配送时间窗 T_W :

$$T_W = ([RT_1, LT_1], \dots, [RT_m, LT_m]) \quad (4)$$

根据各消耗工位间及消耗工位与物料配送中心之间的距离 d_{ij} , 可计算出配送车辆运行的时间 T_{ij} 。消耗工位间及消耗工位与配送中心之间的距离见表 1。

考虑配送车辆在到达所需配送消耗工位前已完成的配送服务, 引入服务时间的概念, 每个消耗工位的服务时间相同, 用 T_s 表示。因此得到配送车辆完成配送任务之后离开消耗工位 i 的时间 T_{d_i} :

$$T_{ij} = \frac{d_{ij}}{v} \quad (5)$$

$$T_{d_i} = \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^m T_{ij} x_{iju} + \sum_{i=1}^m T_s x_{iu} \quad (6)$$

式(5)~(6)中: $i=0$ 表示物料配送中心; $x_{iju}=1$ 表示配送第 u 个工位组过程中配送车辆由工位 i 至工位 j , 否则 $x_{iju}=0$; $\sum x_{iju} = U$, U 为单个工作日的总配送次数; v 为配送车辆的行驶速度, 并假设全程匀速。

表 1 距离表

Tab.1 Distance table		m					
工位	S_0	S_1	S_2	...	S_i	...	S_m
S_0	0	d_{01}	d_{02}	...	d_{0i}	...	d_{0m}
S_1		0	d_{12}	...	d_{1i}	...	d_{1m}
S_2			0	...	d_{2i}	...	d_{2m}
...				0
S_i					0	...	d_{im}
...						0	...
S_m							0

为保证配送车辆可以在每个消耗工位的配送时间窗内到达, 本文引入公共时间窗的概念, 将每个消耗工位的配送时间窗减去 T_{d_i} , 得到配送该消耗工位的配送车辆由物料配送中心出发的时间窗 $T_W'_i$ 。单次配送工位组内每个消耗工位的配送车辆出发时间窗交集为该工位组的公共时间窗 $T_W'_u$, 即在该公共时间窗内出发的配送车辆既不会过早到达任何消耗工位, 造成等待成本增加, 也不会由于晚到达而导致装配线缺料停产。

$$RT'_i = RT_i - T_{d_i} \quad (7)$$

$$LT'_i = LT_i - T_{d_i} \quad (8)$$

$$T_W'_i = [RT'_i, LT'_i] \quad (9)$$

单次配送工位组中的最小 LT_i 作为本次时间窗下限 T_u , 该值也是工位物料需求紧急程度的体现:

$$LT_u = \min(LT_i) \quad (10)$$

零部件以标准料箱的形式由配送车辆配送至消耗工位, 由于每种零部件对应一种标准料箱规格, 单个标准料箱内对应的零部件包装数量已知, 因此, 料箱个数可用来表征特定零部件的单次配送量。将最小规格标准料箱体积作为单位当量, 其余规格的标准料箱折算为对应当量表示。每个消耗工位的配送量 q_i :

$$q_i = B_i \cdot G_i \quad (11)$$

式中: B_i 为零部件包装数量; G_i 为单次配送标准料箱数。

单次配送工位组的配送总量不超过配送车辆的最大装载能力 Q , 得到单次配送车辆的满载率 M :

$$\sum_{i=1}^m q_i x_{iu} \leq Q \quad (12)$$

$$M_u = \frac{\sum_{i=1}^m q_i x_{iu}}{Q} \quad (13)$$

式中: $i=0$ 表示物料配送中心, $x_{iu}=1$ 表示工位 i 在第 u 个工位组被配送, 否则 $x_{iu}=0$, $\sum x_{iu} = U$, U 为单个工作日的总配送次数。

将平均劳动载荷强度平方差的倒数定义为配送人员劳动载荷均衡度, 在得到每次具体配送任务之后, 根据均衡配送人员劳动载荷的原则将该配送任务分配给当前空闲的配送人员. 统一在消耗工位配送时间窗下限 LT_i 时刻更新当前线边库存量 E_i , 并从该时刻起计算下轮配送时间窗. $M_{AX,i}$ 表示消耗工位 i 线边最大库存量。

完成第一次配送方案时:

$$E'_i = M_{AX,i} \cdot B_i - LT_i \cdot C_{O,i} + q_i \quad (14)$$

第一次配送方案之后:

$$E_i = E'_i - LT_i \cdot C_{O,i} + q_i \quad (15)$$

根据本文所提出的两个优化目标: 工位物料需求紧急程度与配送车辆满载率, 确立最终目标模型. 其中工位物料需求紧急程度值越小, 表示工位组越需要配送服务; 车辆满载率值越大, 说明该工位组划分越合理, 模型如下:

$$\max F_u = \frac{M_u}{LT_u} \quad (16)$$

该优化模型对配送车辆满载率与工位物料需求紧急程度进行联合考虑, 其比值越大表示方案越优, 从而实现单次物料调度的优化. 通过挑选工位组进行物料调度改变了传统配送模式, 为消耗工位提供了主动配送服务. 该推动式物料调度系统可有效减少物料配送中心库存量, 节约库存成本, 同时提高配送车辆利用率及配送人员劳动载荷均衡度。

2.2 优化模型求解

带时间窗的物料调度优化是一个 VRP 问题, 该问题已被证明是 NP 完全问题, 即多项式复杂程度的非确定性问题. 由于遗传算法具有不依赖于初始解、收敛速度较快、搜索效率较高、不容易陷入局部最优、能够获得全局最优解等特点, 因此本文采用遗传算法对该模型进行求解。

具体步骤如下:

步骤 1 将距离表和 demand 清单转化为矩阵, 并定义初始参数, 如初始种群规模、交叉概率、变异概率等, 随机生成 n 组包含 r 个基因的初始种群, 以实数编码方式生成染色体。

步骤 2 采用乘法建立适应度函数 F_u , 以每个配送工位组配送车辆满载率与公共时间窗下限的

比值作为判断物料配送规划的优劣程度的依据, 适应度函数越高, 配送方案越优。

步骤 3 采用保留最优个体和赌轮选择法相结合的方法, 假设种群有 W 个个体, 将种群的每个个体的适应度从小到大地排序, 保留其中适应度最大的个体, 剩下的 $W-1$ 个个体采用赌轮选择法生成 $W-1$ 个子代个体. 该方法可在保留最优个体的基础上将适应度较高的个体以较大的概率计入下一代。

步骤 4 交叉运算, 由于本文研究对象编码方式的特殊性, 不能使用传统遗传算法的变异方式进行基因变异, 为此在不改变遗传算法基本原则的前提下, 对算法做了改进以适应本文的研究问题. 对于选择操作得到的种群, 以概率 P_c 对其进行类 OX 法交叉操作, 具体步骤如下:

(1) 随机在父代个体中选择一个交叉区域, 如父代 M 和父代 N 两个个体交叉区域位于两条直线之间, 如图 2 所示。

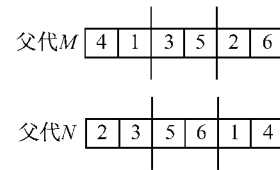


图 2 遗传算法交叉第 1 步
Fig. 2 Genetic algorithm crossing step 1

(2) 将父代 N 中的交叉区域放在父代 M 的前面, 同理也将父代 M 中的交叉区域放在父代 N 的前面, 得到父代 M' 和父代 N' , 如图 3 所示。

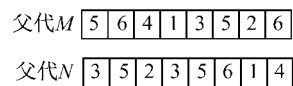


图 3 遗传算法交叉第 2 步
Fig. 3 Genetic algorithm crossing step 2

(3) 为保证配送工位组中的任何一个消耗工位不被重复访问, 将父代 M' 和父代 N' 中重复出现的基因删除, 得到子代 M 和子代 N , 如图 4 所示。



图 4 遗传算法交叉第 3 步
Fig. 4 Genetic algorithm crossing step 3

步骤 5 变异运算, 按选择策略选取一条染色体进行变异操作, 生成小于基因数量的随机数 a, b . 例如, 生成随机数 2, 5, 将 2 号位置和 5 号位置的基因对调, 从而得到新的染色体并计入新的种群, 变异过程如图 5 所示。

步骤 6 满足终止条件后,输出最优解.

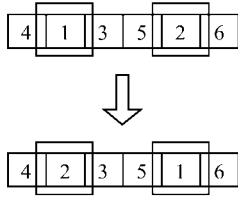


图 5 遗传算法变异示意图
Fig.5 Genetic algorithm mutation

表 3 标准料箱规格及单位当量对照表

Tab.3 Standard bins specification and units equivalent table

	A	B	C	D	H
长×宽×高/ (cm×cm×cm)	30× 20×14	40× 30×14	40× 30×28	60× 40×28	60× 40×14
当量	1	2	4	8	4

表 4 标准料车规格参数

Tab.4 Standard trolley specification mm

长	宽	总高	每层高度	防落挡板高度
1 320	1 280	1 600	445	30

3 实例分析

为了验证上述方法的有效性,以某汽车企业发动机混流装配线为例进行求证,从右到左依次为发动机缸盖线、发动机内装线以及发动机外装线三部分.本文所研究的外装线部分共有 28 个消耗工位,每一个消耗工位旁都设有线边库存区,物料配送中心位于整条装配线的右侧,如图 6 所示.

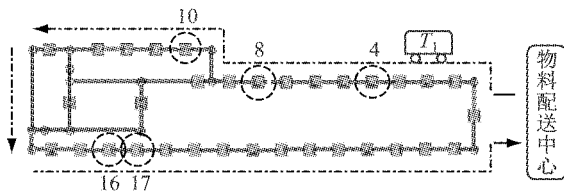


图 6 外装线消耗工位布局示意图
Fig.6 Layout of the assembly line

配送车辆的承载能力为 16 个单位当量,行驶速度为 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.实例中各消耗工位之间以及各消耗工位与物料配送中心的距离见表 2.

表 2 距离表

Tab.2 Distance table

工位	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	...
S_0	0	10	13	16	19	21	...
S_1		0	3	6	9	11	...
S_2			0	3	6	9	...
S_3				0	3	6	...
S_4					0	3	...
S_5						0	...
...							0

标准料箱参数及单位当量之间的对应关系如表 3 所示,标准料车参数,如表 4 所示.

实例的物料清单表(bill of material,BOM)由装配车间物料调度工程师提供,该表包含消耗工位编号、生产节拍、单机用量、标准料箱型号、包装数量等,如表 5 所示.表中,MIN 表示线边最小库存量,MAX 表示线边最大库存量.

表 5 物料清单

Tab.5 Bill of material

消耗工位	生产节拍/s	单机用量/个	标准料箱	包装数量/(个·箱 ⁻¹)	MIN	MAX
1	75	1	D	108	1	2
2	74.5	1	B	30	1	3
3	73.3	1	B	30	1	3
4	73.8	8	D	250	1	3
5	72	1	B	30	1	2
6	72	1	H	90	1	2
7	71.5	1	A	120	1	2
8	69	1	B	96	1	2
9	74.7	1	C	24	1	3
10	73.3	1	B	100	1	2
11	73.5	1	B	68	1	2
12	71.5	1	B	36	1	3
13	70	1	D	192	1	2
14	72.9	4	A	200	1	2
15	73.8	1	D	40	1	3
16	71.3	3	A	200	1	2
17	75	1	B	24	1	2
18	71	1	A	150	1	2
19	73.3	4	D	45	1	2
20	74.9	1	B	48	1	2
21	73	1	D	36	1	3
22	75	1	D	60	1	2
23	73.5	4	B	24	1	2
24	72.8	1	B	24	1	2
25	74.5	1	D	60	1	2
26	69	1	C	40	1	3
27	71.5	1	B	72	1	2
28	73	2	D	50	1	2

3.1 实例求解

使用 Matlab 编制求解该优化模型的算法程序,在 Intel Core2 2.8Ghz 双核 64 位 CPU,2G RAM,Windows 7 操作系统环境下运行.设置算法参数如下:交叉概率取 0.97,变异概率取 0.05,种群规模为 20,将适应度值收敛至 10×10^{-3} 作为算法迭代终止条件.如图 7 所示,该种群最大适应度与种群平均适应度最终呈收敛状态,即可说明该改进遗传算法在可行域内能够找到最优解.

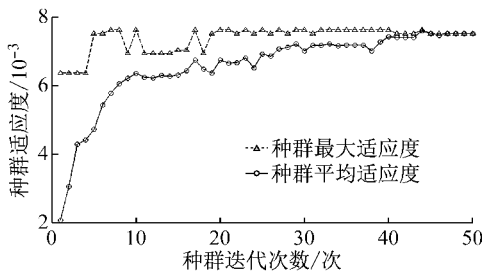


图 7 遗传算法种群适应度曲线

Fig.7 Genetic algorithm population fitness curve

根据本文所提出的物料调度配送方法,利用改进遗传算法计算得到实例混流装配线优化之后的物料调度方案,如表 6 所示.

表 6 物料调度方案优化结果

Tab.6 Material dispatching plan optimization result

工位组编号	消耗工位 工位号	车辆平均 满载率/%	配送时间 窗/min	车辆 编号
1	10,12,14,16,28	100	[45,72]	1
2	21	100	[54,88]	2
3	12,20,25,27	100	[65,97]	3
4	11,14,22,23,24	93.75	[79,108]	1
5	15	100	[101,133]	2
6	3,10,18,20	56.25	[119,141]	3
7	2,6,11,14,16	62.50	[135,159]	1
8	1,19	100	[140,177]	2
9	6,20	37.50	[150,198]	3
10	2,10,18,26	93.75	[186,214]	1
11	9,28	100	[210,234]	2
12	2,13,14,16,24	100	[226,255]	3
13	3,5,7,19	93.75	[250,285]	1
14	4	100	[275,308]	2
15	8,9,17,18	81.25	[300,330]	3
16	11,12,22,23	87.50	[339,364]	1
17	15	100	[358,389]	2
18	21	100	[367,399]	3
19	2,19,24,27	75.00	[401,438]	1
20	8,16,18,20,25	81.25	[416,442]	2

根据表 6 物流调度方案优化结果可知,从初始状态开始,第一组发出零部件需求指令并急需被配送的工位组包括以下 5 个消耗工位,分别为:10、12、14、16、28. 配送人员在出发之前完成零部件装载工作,并在公共配送时间窗[45,72]内由物料配送中心出发,沿着装配线逆时针方向行驶,将该配送工位组中每个消耗工位所需的零部件依次送至线边库存区,以保证装配生产持续高效进行. 该次配送任务由 1 号配送车辆完成,车辆满载率为 100%,利用率达到最佳状态.

配送时间窗甘特图可清晰体现每趟配送任务在时间维度上的先后关系,如图 8 所示. 为提高配送人员劳动载荷均衡度,将配送任务均匀分配至配送车辆,从而输出车辆调度优化方案.

3.2 结果分析

在实际生产运行过程中,配送车辆的装载能力

未能得到充分利用,配送车辆平均满载率较低,存在浪费现象. 如图 9 所示,本文方法所得优化方案与未优化的初始方案以及按照工位相邻原则划分的方案相比,配送车辆平均满载率得到了有效提高,减少了生产资源的浪费.

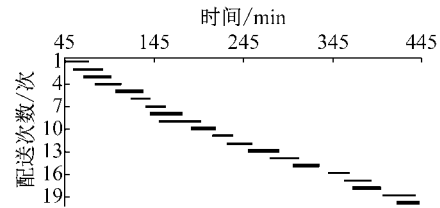


图 8 配送车辆配送时间窗甘特图

Fig.8 Gantt chart of distribution time window

本文优化前后物料调度方案的配送车辆数量、配送车辆平均满载率以及配送人员劳动载荷均衡度对比关系如表 7 所示.

表 7 优化结果前后对比

Tab.7 Values of the fitting parameter

	配送车辆 数量	配送车辆 平均满载率/%	配送人员 劳动均衡度/%
优化前	4	78.91	78.2
优化后	3	88.12	86.9
优化效果	-25%	+9.21	+8.7

由表 7 优化结果前后对比可知,优化后配送车辆数量呈减少趋势,配送车辆的平均满载率提高 9.21%,配送人员劳动均衡度提高 8.7%,优化效果较明显. 因此通过以配送时间窗作为约束,对混流装配线工位组进行划分,不仅可以保证在准确的时间窗内响应各个消耗工位的物料需求指令并及时完成物料配送服务,同时能够有效提高混流装配线配送车辆平均满载率及配送人员劳动载荷均衡度.

4 结束语

针对混流装配线物料调度问题,根据消耗工位具体生产节拍、零部件包装数量等特征,提出了对混流装配线进行工位组划分并安排配送车辆进行配送服务的优化方法. 基于 JIT 生产方式,以满载率最大和消耗工位配送需求最紧急作为目标构建多目标优化模型,通过改进遗传算法求得配送工位组最优划分及车辆调度方案. 以某汽车企业混流发动机装配线为例,并与其他调度方案进行对比,结果表明本文所提方法在保证混流装配线不发生缺料停产情况的同时,提高了配送车辆的平均满载率和配送人员劳动载荷均衡度,为配送及时性和准确性提供了保障,验证了本文所提方法的有效性.

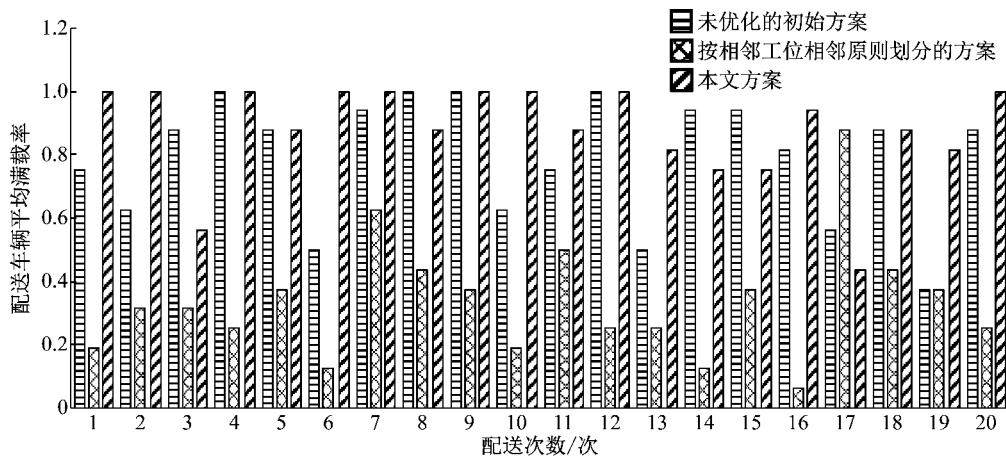


图 9 优化前后配送车辆满载率对比图

Fig.9 Optimized comparison of full load ratio of distribution vehicles before and after

参考文献:

- [1] BOYSEN N, EMDE S, HOECK M, *et al.* Part logistics in the automotive industry: decision problems, literature review and research agenda [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 242(1):107.
- [2] DANTZIG G B, RAMSER J H. The truck dispatching problem [J]. *Management Science*, 1959, 6(1):80.
- [3] EMDE S, BOYSEN N. Optimally routing and scheduling tow trains for JIT-supply of mixed-model assembly lines [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 217(2):287.
- [4] BOYSEN N, BRISKORN D, EMDE S. Just-in-time vehicle scheduling with capacity constraints [J]. *Iie Transactions*, 2016, 48(2):134.
- [5] CAPUTO A C, PELAGAGGE P M. A methodology for selecting assembly systems feeding policy [J]. *Industrial Management and Data Systems*, 2011, 111(1):84.
- [6] 蒋丽, 丁斌, 臧晓宁. 以工位为中心的生产物流配送优化[J]. *计算机集成制造系统*, 2009, 15(11):2153.
- JIANG Li, DING Bin, ZANG Xiaoning. Workstation-oriented production logistics distribution optimization [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2009, 15(11):2153.
- [7] 李晋航. 混流制造车间物料配送调度优化研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2012.
- LI Jinhang. Research on material delivery scheduling optimization in the mixed flow manufacturing system [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012.
- [8] GOLZ J, GUJJULA R, GÜNTHER H O, *et al.* Part feeding at high-variant mixed-model assembly lines [J]. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2012, 24(2):119.
- [9] CHOI W, LEE Y. A dynamic part-feeding system for an automotive assembly line [J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2002, 43(1-2):123.
- [10] 沈维蕾, 马鹏辉. 基于 MES 的混流装配线物料配送方法研究 [J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2013(10):1166.
- SHEN Weilei, MA Penghui. An MES-based research on material supply in mixed model assembly line [J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 2013 (10):1166.
- [11] 刘明周, 王小巧, 张铭鑫, 等. 不确定环境下混流装配线动态准时制物料配送系统 [J]. *计算机集成制造系统*, 2014, 20 (12):3020.
- LIU Mingzhou, WANG Xiaoqiao, ZHANG Mingxin, *et al.* Dynamic just-in-time material distribution system for mixed model assembly lines under uncertainty [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2014, 20(12):3020.
- [12] 严正峰, 梅发东, 葛茂根, 等. 基于模糊软时间窗的车间物流路径优化方法 [J]. *计算机集成制造系统*, 2015, 21 (10):2760.
- YAN Zhengfeng, MEI Fadong, GE Maogen, *et al.* Path optimization method of workshop logistics based on fuzzy soft time windows [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2015, 21(10):2760.
- [13] 王楠, 李世其, 王峻峰. 带时间窗的汽车总装线物流配送路径规划 [J]. *工业工程*, 2012, 15(2):94.
- WANG Nan, LI Shiqi, WANG Junfeng. Vehicle routing with time windows in material delivery for automobile general assembly line [J]. *Industrial Engineering Journal*, 2012, 15 (2):94.
- [14] NADJAFI B A, NADJAFI A A. Multi-depot time dependent vehicle routing problem with heterogeneous fleet and time windows [J]. *International Journal of Operational Research*, 2016, 26(1):88.
- [15] NALEPA J, BLOCHO M. Adaptive memetic algorithm for minimizing distance in the vehicle routing problem with time windows [J]. *Soft Computing*, 2016, 20(6): 2309.
- [16] MA Y F, HAN J, KANG K, *et al.* An improved ACO for the multi-depot vehicle routing problem with time windows [C]// *Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management*. [S. l.]: Springer Singapore, 2017: 1181-1189.