

生产与延期成本最小为目标的车间资源优化配置研究*

唐苏州 高媛 王德伦 黄亮

(大连理工大学机械工程学院, 大连 116024)

【摘要】 针对作业车间的离散制造环境,以加工与延期成本最小为目标,提出一种资源配置调整问题的优化分析方法。首先根据作业车间的物料流与作业流,构建了生产过程仿真模型,对资源配置方案的调整效果作出评价。进而将生产仿真分析方法与改进的模拟退火方法相结合,设计了求解算法,实现对工作中心资源配置量与产品工艺路线(即资源结构与使用方式)的联合优化调整。算法以关键生产路径分析指导邻域方案搜索与选择,加快了收敛速度,比传统的随机邻域搜索方法具有更好的求解效率与质量,更适合于大规模资源配置问题的建模求解。

关键词: 作业车间 资源配置 成本优化 关键路径 模拟退火算法

中图分类号: TP391; TH186 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)11-0237-07

Optimization of Job-shop Resource Configuration for Minimizing Manufacturing and Tardiness Cost

Tang Suzhou Gao Yuan Wang Delun Huang Liang

(School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract

In the discrete manufacturing environment of a job-shop, an optimization method for the resource configuration adjustment in order to minimize its manufacturing and tardiness cost was presented. With the material flow and work flow of a job-shop, a manufacturing process simulation model was first constructed to evaluate the performance of each resource configuration adjustment properly. Then by combining the production simulation method and improved simulated annealing algorithm, a solution algorithm for adjusting the resource amount of work centers and the production routings of products (or the configuration structure and usage way of resources) jointly was designed. In the proposed algorithm, the search and selection of neighbor configuration alternatives was guided by the critical production path analysis, and its convergence rate was then accelerated. It can gain better solution quality and efficiency than the traditional random search method, thus is more suitable for modeling and solving the large-scale resource configuration problem.

Key words Job-shop, Resource configuration, Cost optimization, Critical path, Simulated annealing algorithm

引言

当前,外部产品需求日趋多样化,需求环境不断变化,作业车间需要适时调整其内部资源配置,以适

应外部需求的变化。资源配置调整主要包括资源结构调整与使用方式调整两个方面,通过改变资源配置数量、比例及工艺实现方式,获得其整体性能优化。各种资源的配置数量在一定范围内变化,并考

考虑工艺多样性,优化空间通常十分庞大,是一类大规模优化问题。

线性规划方法^[1-3]是求解资源优化配置问题的一种传统方法,通过建立产品生产任务与资源之间的简化的固定消耗关系来进行求解,并不能真实反映制造系统生产环境的实际状况,无法保证资源配置的效果。

为此,部分研究开始结合生产过程对配置方案进行更细致的评价。排队模型能够有效简化生产过程描述,是生产仿真的常用模型^[4-5],但基本排队规则假设(如先到先服务等)限制了其应用范围。结合具体调度规则建立生产过程的仿真模型,可对资源配置效果作出较为真实的评价,已成为一种更具通用性的建模分析方法^[6]。在配置方案优化求解方面,当前研究则通常利用遗传算法^[7]、粒子群算法^[8-9]、模拟退火^[10]等一些优化方法,从某初始解出发,通过邻域搜索与多步迭代,实现目标值的逐步优化。分析过程需要结合邻域搜索对大量相邻调整方案进行仿真判断,求解时间随问题规模的扩大而急剧增加,对大规模问题的求解速度和质量缺乏有效保证。

综上所述,对于大规模车间资源配置优化问题,一方面需要结合生产过程对各种资源配置方案的调整效果作出准确评价,另一方面又需要提供有效的方法指导邻域方案的优化选择与搜索比较,实现问题的快速求解。

为此,本文针对作业车间的离散制造环境,提出一种大规模资源配置调整问题的优化分析方法。首先从成本角度出发,以生产与延期成本最低为目标建立资源优化配置问题的数学模型;然后结合生产过程建模与关键生产路径分析,提出一种配置方案邻域搜索与评价的快速方法,以指导配置方案的迭代优选;进而建立综合求解模型,为资源配置调整问题的优化求解提供指导。

1 资源配置优化问题模型

为实现作业车间资源配置性能的综合优化,考虑资源结构与资源使用方式两方面的联合调整,建立资源配置问题的数学模型。

1.1 决策变量

资源配置决策时,资源配置数量在一定范围内变化,且产品可能存在多种备选工艺路线可供采用,即资源使用方式同时具有多样性。资源配置决策的目的主要是确定最优的资源配置数量与工艺路线。将两类决策变量以矢量形式表示为

$$\mathbf{s} = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_m) \quad \mathbf{p} = (v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n)$$

式中 m, n ——工作中心数目与产品种类数目

u_k ——工作中心 k 的资源配置数量(以设备数量代表)

v_i ——产品 i 选用的工艺路线(以工艺路线编号表示)

1.2 优化问题模型

资源配置调整的目标是使作业车间在 q 个期间内,满足外部生产需求的同时,使总消耗成本即生产成本、延期成本之和最低,从而获得最好的生产效益。为此,将优化目标表示为

$$\min f(\mathbf{s}, \mathbf{p}) = \sum_{k=1}^m (qu_k c_k + r_k l_k(\mathbf{s}, \mathbf{p})) + \sum_{i=1}^d w_i \max(t_i^0(\mathbf{s}, \mathbf{p}) - t_i^D, 0) \quad (1)$$

同时,配置调整受投入资金约束

$$y(\mathbf{s}) \leq y_{\max} \quad (2)$$

式中 q ——月份数

d ——到达订单批次数

c_k ——工作中心 k 设备固定折旧,元/(台·月)

r_k ——工作中心 k 的作业变动费率,元/h

$l_k(\mathbf{s}, \mathbf{p})$ ——配置环境 (\mathbf{s}, \mathbf{p}) 下工作中心 k 的作业负荷, h

w_i ——订单批次 i 延期惩罚权重,元/(件·天)

t_i^D ——订单批次 i 的规定交货时间

$t_i^0(\mathbf{s}, \mathbf{p})$ ——配置环境 (\mathbf{s}, \mathbf{p}) 下订单批次 i 的预计生产完工时间

y_{\max} ——设备购置投入限额

$y(\mathbf{s})$ ——配置方案 \mathbf{s} 对应设备购置投入金额

目标函数中,生产成本包括工作中心的固定成本与变动成本两部分。固定生产成本主要与设备个数及总运行时间相关,变动生产成本主要与作业量相关。

另外,延期成本则由延期时间与延期惩罚权重计算得到。其中,订单延期惩罚权重由订货合同规定,订单延期时间由预计完成时间与合同规定交货时间对比得到。运算 $\max(a, b)$ 即取 a 与 b 两者中最大者,表示仅延期有惩罚,提前或准时完成则延期置为 0,无延期惩罚。

调整车间资源配置变量 (\mathbf{s}, \mathbf{p}) , 在导致生产成本发生变化的同时,将导致订单完工时间、延期时间与延期成本发生变化。不同资源配置环境下,各订单批次的预计完成时间与延期时间可依据车间实际调度规则,通过生产过程仿真分析的方式推测得到。据此,资源配置调整对延期成本及目标函数的影响可最终确定。

2 生产过程建模与关键路径分析

为对各资源配置环境下作业车间的系统性能作出总体评价,建立生产过程描述模型。并通过分析关键生产路径,确定具有显著影响的主要环节,为资源配置方案优化求解提供指导。

2.1 生产过程描述

作业车间通常需要对不同的产品进行加工,加工工艺不尽相同。产品由多道工序加工而成,每道加工工序由指定工作中心处理,而一个工作中心按一定的调度规则安排并处理多个工序加工任务。例如,某作业车间 3 个订单批次对应的 3 种产品在 4 个工作中心上的工艺路线如图 1 所示。

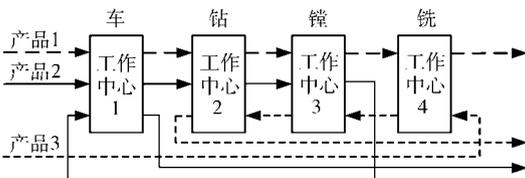


图 1 作业车间产品工艺路线示例图

Fig. 1 Instance of production routings in a job-shop

车间实际运行过程中,需要结合多样化的工艺生产路线,对大量产品订单批次进行处理。为了对车间生产过程进行分析描述,定义如下状态变量: t_i^R 为订单批次 i 的释放时间(或原料到达时间); t_k^W 为工作中心 k 的释放时间; $t_{ij}^S, a_{ij}, t_{ij}^O$ 分别为订单批次 i 工序 j 的开始时间、作业执行时间与完工时间。

(1) 物料流表达

各批次物料将按工艺顺序,依次经过各工作中心。经过每个工作中心的处理,物料生产状态将逐步发生变化。以各批次的工序开始、结束时间为主要节点,对批次物料的完工状态变化进行表达。如批次 1 的生产过程可描述为原料到达以及车、钻、镗、铣 4 个工序的加工开始、结束,共 9 个状态的依次迁移变化,所形成的物料流如图 2a 所示。

(2) 作业流表达

每个作业中心将按一定生产规则与顺序,对分配至该作业中心的生产任务进行处理。如工作中心 1 从初始闲置开始,依次处理批次 2 工序 1、批次 1 工序 1、批次 2 工序 4,形成的作业流如图 2b 所示。

(3) 生产过程表达

综合物料流(对应各批次的工序完成过程)与作业流(对应各工作中心的作业处理过程),对生产过程进行完整表达。以图 1 为例,4 个作业中心对 3 批物料进行处理,其生产过程如图 3 所示。

图 3 中,各工序任务的开始时间由前序约束和设备能力约束共同决定。设批次 i 工序 j 由工作中

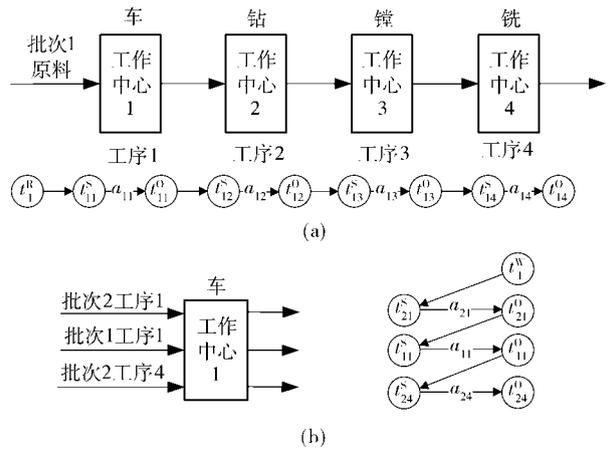


图 2 物料流与作业流

Fig. 2 Material flow and work flow

(a) 物料流 (b) 作业流

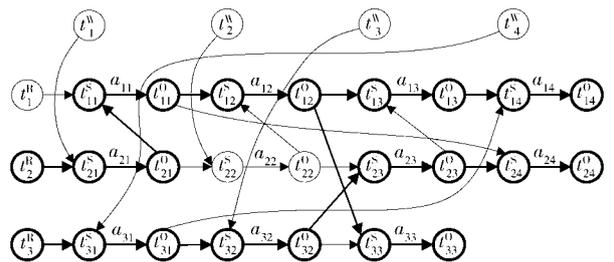


图 3 生产过程状态图

Fig. 3 Expression of production process

心 k 完成,则

$$t_{ij}^S = \max(t_{i,j-1}^O, t_k^W) \quad (3)$$

得到工序结束时间为

$$t_{ij}^O = t_{ij}^S + a_{ij} \quad (4)$$

工序完成后,工作中心 k 再次释放,由此

$$t_k^W = t_{ij}^O \quad (5)$$

生产过程状态图形象地反映了各状态节点之间的约束、变换关系,为进行关键生产路径分析与瓶颈分析提供了方便。

2.2 关键生产路径分析

订单生产周期主要取决于其关键路径,关键路径上资源配置能力的变动对订单生产周期具有重要影响。为此,可通过关键路径分析,方便、快速地预测各种局部调整的总影响,判断对制造系统性能具有显著影响的主要环节,为资源配置方案的优化选择提供依据。

图 1 中,设 3 个订单批次与 4 个工作中心皆于 0 时刻释放,按图 3 所示的生产流程进行处理,各工序处理时间与推算得到的最终完成时间或生产周期 t_i^O 如表 1 所示。

各订单批次的关键生产路径可通过逆向搜索提取得到^[11-12]。由式(3)可知, t_{ij}^S 由 $t_{i,j-1}^O$ 与 t_k^W 两者中较大的一个所决定,而 t_k^W 又与该工序设备前一个作

业任务的完工状态相关联。 t_{ij}^s 的两个前驱节点中,对其取值具有直接影响的数值较大的节点即为关键节点。以订单批次的最终完成时间为路径终点,依次搜索判断出其紧邻的前驱关键节点。将关键节点依次相连,即形成关键路径。据此判断可知,3个批次的键路径依次为 $a_{21} - a_{11} - a_{12} - a_{13} - a_{14}、a_{31} - a_{32} - a_{23} - a_{24}、a_{21} - a_{11} - a_{12} - a_{33}$,如图3中粗线所示。

表1 零件工序加工时间

Tab.1 Machining time of parts in each process h

订单	工序1	工序2	工序3	工序4	完成时间
1	3.96	1.18	1.40	1.50	13.90
2	3.76	2.40	2.80	2.24	13.24
3	5.04	3.16	1.90		10.80

关键生产路径上的工序节点,在执行起止时间上前后紧密相连。通过按工作中心汇总,将任一订单批次*i*在其关键路径上由工作中心*k*所完成的总处理工时记为 h_{ik} 。当工作中心*k*通过资源配置能力调整,使其生产效率提高一定比例 $\Delta\eta_k$,则订单*i*完成时间或生产周期的提前量预测公式为

$$\Delta t_i^0 = h_{ik} \Delta \eta_k \quad (6)$$

根据当前关键路径分析,当4个工作中心的生产效率分别提高10%,预测各订单生产周期的缩短百分比及平均缩短百分比(假设3个订单权重相同),结果如表2所示。

表2 生产周期的缩短百分比

Tab.2 Percentages of production cycles shortened

	工作中心 <i>k</i>			
	1	2	3	4
h_{1k}/h	$h_{11} = 0$	$h_{12} = 0$	$h_{13} = a_{32} + a_{23} + a_{13}$	$h_{14} = a_{31} + a_{14}$
$\Delta t_1^0/h$	0	0	0.74	0.65
缩短/%	0	0	5.32	4.68
h_{2k}/h	$h_{21} = a_{24}$	$h_{22} = 0$	$h_{23} = a_{32} + a_{23}$	$h_{24} = a_{31}$
$\Delta t_2^0/h$	0.22	0	0.60	0.50
缩短/%	1.66	0	4.53	3.78
h_{3k}/h	$h_{31} = a_{21} + a_{11}$	$h_{32} = a_{12} + a_{33}$	$h_{33} = 0$	$h_{34} = 0$
$\Delta t_3^0/h$	0.77	0.31	0	0
缩短/%	7.13	2.87	0	0
平均				
缩短/%	2.93	0.96	3.28	2.82

可见,调整不同的工作中心,其影响并不相同。资源优化配置时,应尽量优先选择改进效果最为显著的工作中心,即生产瓶颈进行调整。

3 模型求解

为保证资源配置效果,将生产过程仿真分析方法与优化方法相结合,建立一种资源配置优化求解模型,以实现作业中心资源配置量(主要以设备数量表示)与产品工艺路线的联合优化调整。其中,各资源配置环境下的生产过程仿真分析用于对配置调整方案作出评价;同时,为避免求解过程陷入局部最优,结合模拟退火算法以一定概率接受劣解的思想提出一种改进的迭代求解算法,其具体实现步骤如下:

(1) 设置算法参数,包括初始温度 T_i ,终止温度 T_f ,冷却率 α ,冻结限制 $\Phi_1、\Phi_2$;以初始温度 T_i 作为当前温度 T 。

(2) 根据历史生产数据设置仿真参数,在当前资源配置量 s_0 与工艺路线 p_0 环境下,按生产规则仿真生产过程,计算目标函数值 f_0 。并令资源数量调整次数 $l_1 = 0$,工艺调整次数 $l_2 = 0$ 。

(3) 搜寻当前配置方案 (s_0, p_0) 下的关键生产路径。设 s_0 有 M 个相邻解(在当前资源配置量基础上加1或减1),针对每个相邻解 $s_{0\xi}$ ($\xi = 1, 2, \dots, M$),依据关键路径与式(6)预测各订单批次完成时间的变动量,计算 $s_{0\xi}$ 的目标函数值 $f(s_{0\xi}, p_0)$,将其简记为 $f_{0\xi}$ 。然后,按特定选择概率从 M 个相邻解中选出新方案 s_1 ,任一相邻解 $s_{0\xi}$ 的选择概率设置为

$$P(s_1 = s_{0\xi}) = \frac{(f_{\max} - f_{0\xi})^\gamma}{\sum_{h=1}^M (f_{\max} - f_{0\xi})^\gamma} \quad (7)$$

其中: f_{\max} 为 $f(s_{0\xi}, p_0)$ 中的最大值,目标函数较小的生产方案具有较高的选择概率;参数 γ 为目标函数梯度对搜索方向影响程度指数(通常取 $0 < \gamma < 2$)。

(4) 在新资源配置环境 (s_1, p_0) 下,仿真生产过程,计算新方案的目标函数值 f_1 。并令 $l_1 = l_1 + 1$,转步骤(7)。

(5) 从当前工艺方案之外随机挑选一条备选工艺,对当前方案进行局部替换,形成计算新方案 p_1 。

(6) 在新资源配置环境 (s_0, p_1) 下,仿真生产过程,计算新方案的目标函数值 f_1 。并令 $l_2 = l_2 + 1$,转步骤(7)。

(7) 设 $\Delta f = f_1 - f_0$,若 $\Delta f < 0$,接受新资源配置方案为当前方案 (s_0, p_0) ,同时取 $f_0 = f_1$;否则按照概率 $p = e^{-\Delta f/(KT)}$ (其中 K 为常数)接受新方案。

(8) 若 $l_1 < \Phi_1$,转步骤(3);若 $l_1 = \Phi_1$,而 $l_2 < \Phi_2$,则转步骤(5)。

(9) 若 $l_1 + l_2 = \Phi_1 + \Phi_2$,按冷却率 α 调整当前温度 T ,即令 $T = \alpha T$ 。若到达终止温度 T_f ,则结束搜

索；否则令 $l_1 = 0, l_2 = 0$ ，转步骤(3)。

上述算法分别按步长 $\Phi_1、\Phi_2$ 对资源配置量与工艺路线进行交替迭代调整，实现目标函数的逐步优化与改进。与传统模拟退火算法的完全随机邻域搜索方式不同，在资源配置量调整时，利用关键路径分析对相邻解作出评价并有指导性地进行选择，能够在迭代过程中加快寻找到更优解的速度。

4 实例

大连冰山集团第二机械加工车间是一个典型的作业车间，采用按订单生产的方式组织加工生产。以该车间的资源配置优化问题为例进行方法验证。

4.1 问题描述与基础数据

车间产品分为 12 种，经过对近 1 年内的订单数据进行收集，得到各产品的外部市场需求信息，包括平均订货间隔与交货周期、订货批量的均值与标准差及延期惩罚，如表 3 所示。预测今后 1 年的市场需求将与历史结果相近，当前面临的一个主要问题是如何在 200 万元购置资金限制下，通过资源配置调整，能够满足市场需求的同时，使车间总运营成本最低。

主要通过工作中心设备数量调整、工艺路线调整的方式，进行车间资源配置优化。各工作中心设备数量 u_k 的当前值与调整上下限、设备购置价格 y_k 、固定成本 c_k 与变动作业费率 r_k 如表 4 所示。

表 4 各工作中心的资源配置参数

Tab. 4 Resource configuration parameters of each work center

工作中心	$y_k/\text{万元}\cdot\text{台}^{-1}$	$c_k/\text{元}\cdot(\text{台}\cdot\text{月})^{-1}$	$r_k/\text{元}\cdot\text{h}^{-1}$	$u_k/\text{台}$			
				当前值	下界	上界	解值
车	24	1 700	30	15	10	22	14
铣	26	1 800	35	10	5	15	7
刨	70	4 900	52	3	1	5	3
磨	20	1 400	33	7	3	12	3
钻	14	1 000	22	12	6	18	10
镗	50	3 500	46	16	12	24	18
CNC	100	6 900	60	8	4	12	9

4.2 问题求解

根据本文算法，对车间资源配置优化问题进行求解。考虑外部需求的随机变动因素影响，以负指数分布模拟产品订货间隔，以正态分布模拟订货批量与交货周期。在各种资源配置情况下，对生产过程进行模拟，仿真车间实际运行 1 年，通过计算目标函数值，对配置效果作出评价。

生产过程仿真时，按车间当前所采用的早交货期优先与先到先处理相结合的调度规则分派生产任

表 3 产品市场需求信息

Tab. 3 Demanding information of products

产品 序号	订货间隔 /d	订单批量/个		交货周期 /d	延期惩罚 /元·(个·d) ⁻¹
		均值	标准差		
1	4.57	29.21	2.94	25	50
2	5.24	23.38	2.24	18	45
3	3.56	24.06	2.44	18	45
4	3.27	38.34	3.38	15	15
5	3.95	41.42	3.38	12	50
6	2.04	23.93	2.27	14	43
7	3.03	14.80	1.79	16	55
8	4.24	50.21	3.05	17	15
9	12.00	30.21	2.96	19	35
10	2.85	45.83	2.87	12	12
11	5.54	31.17	2.33	10	15
12	9.93	23.28	2.64	11	18

产品生产工艺具有多样性，部分产品包含多条工艺路线备选，如表 5 所示。其中，产品 x 的自制、外协工艺分别以 A、B 区分，第 j 条自制工艺以编号 $A(j)$ 表示。工艺顺序以产品流经工作中心的编号顺序表示，并将各工序工时按加工顺序依次列出。可外协产品的外协周期皆小于交货周期，具体作业工时不再列出，仅直接给出对应单件外协加工成本，以 C_o 表示。各产品的第 1 条工艺路线为当前选用工艺。

务，即当工作中心前有多个可供处理的生产任务时，优先处理交货期近的任务，否则按先到先处理的规则处理任务。在同一工作中心内部，各设备性能无明显差异，平均分配生产任务。设备增减后，生产效率变化比例预测公式为

$$\Delta\eta = \frac{\frac{L}{u} - \frac{L}{u + \Delta u}}{\frac{L}{u}} \times 100\% \quad (8)$$

式中 L ——生产批量
 u ——设备当前数量
 Δu ——设备变化量
 该式可简化为

$$\Delta\eta = \Delta u / (u + \Delta u) \times 100\% \quad (9)$$

为便于直接从企业信息系统提取数据并进行处

理,仿真优化程序采用 MS SQL 2000 编制。算法参数设置为: $T_i = 100, T_f = 0.01, \alpha = 0.75, \Phi_1 = 5, \Phi_2 = 5, K = 1\ 000, \gamma = 1$ 。在常规配置(2.4 G CPU、2 G 内存)的个人计算机上运行求解,最终优化得到的工作中心设备数量、产品工艺路线分别如表 4、5 最后一列所示。

表 5 各类产品的工艺路线及工序工时

Tab.5 Process routings and work time for each product

产品序号	工艺序号	工艺路线	工序工时/h	C_o /元·个 ⁻¹	选用
1	A(1)	3,6,6,5,7	(1.10, 2.05, 0.47, 1.97, 3.79)		1
	A(2)	6,6,6,5,7	(1.28, 2.05, 0.47, 1.97, 3.79)		0
2	A(1)	2,2,6,5,7	(1.03, 1.73, 1.58, 1.81, 3.79)		0
	A(2)	6,6,6,5,7	(0.55, 1.10, 1.58, 1.81, 3.79)		1
3	A(1)	3,6,5,1	(1.10, 1.81, 0.79, 1.18)		1
	A(2)	3,6,5,7	(1.10, 1.81, 0.79, 0.95)		0
4	A(1)	1,5,6,7	(1.10, 0.63, 0.39, 1.77)		0
	A(2)	2,5,6,7	(0.95, 0.63, 0.39, 1.77)		1
	A(3)	6,5,6,7	(0.79, 0.63, 0.39, 1.77)		0
5	A(1)	1,6,5	(2.21, 1.58, 0.95)		1
	A(2)	2,6,5	(2.52, 1.58, 0.95)		0
	A(3)	6,6,5	(1.89, 1.58, 0.95)		0
6	A(1)	5,1,2	(0.32, 1.81, 2.76)		1
7	A(1)	3,6,6,6,6,6,5	(1.29, 1.77, 1.58, 2.76, 3.35, 4.93, 3.15)		1
8	A(1)	2,4,2,5,4,6,4,6	(0.24, 0.08, 0.16, 0.16, 0.06, 0.16, 0.08, 0.12)		0
	A(2)	2,2,5,4,6,4,6	(0.28, 0.16, 0.16, 0.06, 0.16, 0.08, 0.12)		1
9	A(1)	2,1,1,1,5,2,4,5,4	(0.39, 1.73, 0.93, 1.32, 1.18, 0.60, 0.39, 0.20, 0.39)		1
	A(2)	6,1,1,1,5,2,4,5,4	(0.30, 1.73, 0.93, 1.32, 1.18, 0.60, 0.39, 0.20, 0.39)		0
10	A(1)	1,1,1,5,6,4	(0.21, 0.18, 0.08, 0.21, 0.08, 0.16)		1
	B(1)			48	0
11	A(1)	1,5,6,1	(0.47, 0.30, 0.35, 0.28)		0
	B(1)			54	1
12	A(1)	1,5,6,2	(1.32, 0.39, 0.47, 0.50)		0
	B(1)			80	1

由优化结果得知,仅需增购 1 台加工中心和 2 台镗床,并裁减车、铣、磨、钻 4 个工作中心的冗余生产能力,同时调整部分产品的生产工艺(包括改变产品 2、4、8 的自制工艺,并将产品 11、12 自制转外协),即可使总生产运行成本每年降低 211.27 万元,优化方案具有显著的改进效果。

为进行对比,采用传统模拟退火算法的完全随机邻域搜索方式,对优化问题进行了求解,对比数据如表 6 所示。可见,相对于传统模拟退火算法,利用关键路径分析可明显加快算法的收敛速度,在较短求解时间内获得较高的求解质量。

表 6 两种配置方法的比较

Tab.6 Comparison of two configuration methods

方法	目标函数 /万元	降低成本 /万元	求解时间 /min
本文求解方法	778.44	211.27	48
随机邻域搜索	783.26	206.45	225

另外,若限定本文模型仅调整资源量、工艺两者之一,可求得目标函数值或总成本的降低量分别为 127.90 万元与 64.15 万元。由此可知,仅调整一个方面亦可获得一定的改进效果,但不如同时调整显著。

5 结论

(1) 将生产过程仿真与优化算法相结合,提出一种求解车间资源配置问题的优化分析模型,通过资源配置数量与工艺路线的联合调整,实现制造系统总体性能的优化。

(2) 求解算法以关键生产路径分析(即生产瓶

颈分析)指导配置方案的邻域搜索与优化选择,与采用无指导随机邻域搜索的传统求解方法相比,求解速度与质量获得了显著提高。

(3) 结合应用实例对优化模型进行了验证,模型能够在可行时间内求得问题的满意解,适用于中等及较大规模的资源配置问题,为企业相关决策提供支持。

参 考 文 献

- 1 Sebo T L. A long range production/resource planning system using linear programming[J]. Computers and Industrial Engineering,1986,11(1~4):180~183.
- 2 Billington P J,Mcclain J O,Thomas L J. Mathematical programming approaches to capacity constrained MRP systems: review, formulation and problem reduction[J]. Management Science,1983,29(15):1 126~1 141.
- 3 刘舒燕. 资源管理中资源增量的控制研究[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2001,25(3):303~305.
Liu Shuyan. Determining optimum increment of resources in resource management[J]. Journal of Wuhan University of Technology:Transportation Science & Engineering,2001,25(3):303~305. (in Chinese)
- 4 Silva C R N, Morabito R. Performance evaluation and capacity planning in a metallurgical job-shop system using open queueing network models[J]. International Journal of Production Research,2009,47(23):6 589~6 609.
- 5 Seshadri S,Pinedo M. Optimal allocation of resources in a job shop environment[J]. IIE Transactions,1999,31(3):195~206.
- 6 Arakawa M, Fuyuki M, Inoue I. An optimization-oriented method for simulation-based job shop scheduling incorporating capacity adjustment function[J]. International Journal of Production Economics,2003,85(3):359~369.
- 7 屈喜龙,孙林夫. 遗传算法在制造资源优化配置中的实现[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2005,26(1):93~96.
Qu Xilong,Sun Linfu. Implementation of genetic algorithm to the optimal configuration of manufacture resources[J]. Journal of Huaqiao University:Natural Science,2005,26(1):93~96. (in Chinese)
- 8 Guo Y W, Li W D, Mileham A R, et al. Applications of particle swarm optimisation in integrated process planning and scheduling[J]. Robotics and Computer-integrated Manufacturing,2009,25(2):280~288.
- 9 王云,冯毅雄,谭建荣,等. 基于多目标粒子群算法的柔性作业车间调度优化方法[J]. 农业机械学报,2011,42(2):190~196.
Wang Yun, Feng Yixiong, Tan Jianrong, et al. Optimization method of flexible job-shop scheduling based on multiobjective particle swarm optimization algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(2):190~196. (in Chinese)
- 10 Shahabudeen P,Krishnaiah K,Narayanan M T. Design of a two-card dynamic kanban system using a simulated annealing algorithm[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2003,21(10~11):754~759.
- 11 熊禾根,李建军,梁培志,等. 模具企业车间作业计划中的关键路径及其求解算法[J]. 中国机械工程,2006,17(12):1 273~1 276.
Xiong Hegen,Li Jianjun,Liang Peizhi, et al. Critical path of job shop scheduling in die & mould corporations and the back-search algorithm[J]. China Mechanical Engineering,2006,17(12):1 273~1 276. (in Chinese)
- 12 王明福. 一种求解关键路径的新算法[J]. 计算机工程,2008,34(9):106~108.
Wang Mingfu. New algorithm for finding critical paths[J]. Computer Engineering,2008,34(9):106~108. (in Chinese)

(上接第 266 页)

- 15 李锡文,杨明金,谢守勇,等. 基于神经网络信息融合的铣刀磨损状态监测[J]. 农业机械学报,2007,38(7):160~163.
Li Xiwen, Yang Mingjin, Xie Shouyong, et al. Wear condition monitoring of helical cutters based on neural network information infusion method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(7):160~163. (in Chinese)
- 16 徐西鹏,李远. 高效锯切石材时金刚石形貌状态形成机理及控制技术[J]. 中国机械工程,1999,10(2):132~135.
Xu Xipeng, Li Yuan. Forming mechanism of diamond working state and technology to control the working state while high efficient sawing of stones[J]. China Mechanical Engineering, 1999,10(2):132~135. (in Chinese)