

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2019.04.008

双基球扁发射药生产线的改进遗传排产算法研究

周原令¹, 胡晓兵¹, 霍云亮¹, 张瀚铭²

(1. 四川大学制造科学与工程学院, 成都 610065; 2. 四川省绵阳西南自动化研究所, 绵阳 621000)

摘要: 针对传统遗传算法在解决批次生产问题中存在的“早熟收敛”以及“局部搜索能力差”等问题, 设计了基于预处理技术的改进遗传算法, 实现对批次生产过程的处理。采用随机数法、定则生成法和块基因插补法三种方法, 按照合适的比例, 进行种群的初始化, 在保证初始化种群多样性同时提高其个体质量; 通过精英保留策略和锦标赛选择策略进行选择操作, 实现优质种群个体的选择; 运用专家打分法对产品进行优先级排序; 采用基于位置和优先级相结合的方法选择交叉位点, 进行交叉操作, 保留父代优良基因, 避免“早熟收敛”; 采用邻域重组策略进行变异操作, 保证优质解种群的产生和质量解的继承。以最大化最小交货提前期为目标函数, 实现排产算法研究。最后, 以双基球扁发射药生产线为例, 实现了改进遗传算法排产过程, 大大提高公司的接单预估效率和产线的生产组织效率, 然后运用单一随机初始化种群法和混合初始种群法进行比较分析, 证明了改进算法的优越性。

关键词: 改进遗传算法; 排产; 块基因插补策略; 邻域重组策略

中图分类号: TP301 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2019)04-0627-06

Research on improved genetic scheduling algorithm for double based ball flat propellant production line

ZHOU Yuan-Ling¹, HU Xiao-Bing¹, HUO Yun-Liang¹, ZHANG Han-Ming²

(1. College of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. Mianyang Southwest Automation Research, Sichuan Province, Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the problems of premature convergence and poor local search ability of traditional Genetic Algorithm (GA) in batch production process optimization, an Improved Genetic Algorithm (IGA) is designed by means of pretreatment technology. Random number method (RNM), rule generation method (RGM), and block gene interpolation method (BGIM) are used to initialize the population according to the appropriate ratio, which not only ensures the initial population diversity but also improves the individual quality. Elite retention strategies (ERS) and tournament selection strategies (TSS) are used to select individuals with good performance. A method is used to select crossover sites and take crossover operation based on the combination of location and priority obtained by expert marking, which preserves the superior genes and avoids “premature convergence”. The mutation operation is carried out via the neighborhood reorganization strategy (NRS) to ensure the generation of high-quality solution populations and the inheritance of quality solutions. IGA regards maximizing the minimum delivery lead time as the objective function and realizes the scheduling algorithm research. Finally, the double-base

收稿日期: 2019-03-01

基金项目: 四川省科技支撑计划项目(2017KJT0051-2017GZ0064)

作者简介: 周原令(1993-), 男, 硕士生, 研究方向为软件开发、信息化管理、高级计划排程. E-mail: 2468254301@qq.com

通讯作者: 胡晓兵. E-mail: huxb@scu.edu.cn; 58suo@58suo.com

ball flat propellant production line is taken as an example to realize the scheduling process based on IGA, which greatly improved the order estimation efficiency of the company and the organization efficiency of the production line. The superiority of IGA is demonstrated by comparing both single and mixed initial population method.

Keywords: Improved genetic algorithm; Scheduling; Block gene interpolation method; Neighborhood reorganization strategy

1 引言

制造企业面临的生产排产问题大多为 NP-Hard 问题^[1],其处理方法一般是通过不同的解空间搜索策略在有限的时间内求解排产问题的满意解. 目前比较流行的智能排产算法有人工神经网络、模糊搜索、模拟退火、禁忌搜索、模糊逻辑、遗传算法、进化规划和进化策略等. 遗传算法作为智能算法^[2-5]的基石,由 Holland 于 1975 年提出的模仿自然界生物的竞争生存机制,将问题的解映射为遗传种群中的个体,运用适当的遗传操作和选择机制,对具有一定规模的种群实施世代更替的遗传演化,最终找出整个过程中性能最佳的个体,即求得所需问题的最优解. Glodberg^[6]等人的著作作为其奠定了较为全面的理论和应用基础遗传算法在求解生产车间排产调度^[7,8]问题中,得到最优解的机会很高随着国家数字化生产,智能化改造的步伐加快,智能排产调度算法的研究及应用是迫切需要突破的一个重要技术.

目前,含能材料等化工行业的流程型生产线管理粗放且生产品种多,人工排产周期长,效率低,计划执行不均衡. 因此,为了解决含能材料行业的这些常见问题,基于传统遗传算法在解决这类问题中存在“早熟收敛”的缺点,本文提出了基于预处理技术,采用块基因插补策略进行种群初始化的方法,在保持初始化种群多样性的同时提高初始化种群个体质量;采用基于位置和产品优先级^[9]相结合的交叉操作^[10],有效保留父代优良基因,同时避免“早熟收敛”;采用基于邻域重组策略的变异操作,保证优质解种群数量的产生和继承.

设计并实现了改进遗传算法的排产研究,而且以泸州北方化工有限公司双基球扁药生产线为例,实现了改进遗传算法的排产,使公司的生产组织效率大大提高.

2 生产线排产数学模型的建立

生产线的订货计划可描述为:产品 n 在 y 年 m

月 d 日交付 Q 千克货物的 l 条记录.

生产线产品的生产计划可描述为:产品 n 在 y 年 m 月 d 日投料 g 锅.

生产线排产技术要解决的关键问题是:某时某机生产某产品某量. 双基球扁药生产线的生产模型的优化目标为:最大化最小^[8]交货提前期.

3 预处理技术

预处理技术指在排产之前对订货信息的过程化处理. 假定产品 n 第 i 天的投料量为 Pi_n ;返工品量为 Fi_n ;返工品产生率为 η_n ,则 η_n 得初始值可由 k_n 条历史经验记录值求平均得到,在后期的生产中可以不断地对其进行数据挖掘及优化, η_n 的计算公式为

$$\eta_n = \frac{1}{k_n} \cdot \sum_{i=1}^{k_n} \frac{Fi_n}{Pi_n} \times 100\% \quad (1)$$

我们用 δ_n 表示产品得率;用 Mi_n 表示产品 n 第 i 批次原材料总投量;用 Ri_n 表示产品 n 第 i 批次的总产量,则 δ_n 的计算公式为

$$\delta_n = \frac{1}{k_n} \cdot \sum_{i=1}^{k_n} \frac{Ri_n}{Mi_n} \times 100\% \quad (2)$$

3.1 时间预处理

排产中一般涉及到的四大时间为开工时间、排产周期、交货期和生产周期. 对时间进行合一化处理,按序列作时间轴,将交货期及开工日期等转化为序列映射值. 排产周期 t 为

$$t = t_2 - t_1 \quad (3)$$

合一化处理将以 y_1 年 m_1 月 d_1 日为起始日期及序列值. 其日期数值转换公式为

$$t = \begin{cases} \sum_{i=m_1}^{m_2-1} t_{iy_2} + d_2 - d_1, y_2 = y_1 \\ \sum_{i=m_1}^{m_2-1} t_{iy_2} + d_2 + \sum_{i=m_1}^{12} t_{iy_1} - d_1, y_2 \neq y_1 \end{cases} \quad (4)$$

其中, y 要根据平年和闰年的变化而变化且排产计划的范围为 $|y_2 - y_1| \leq 1$,时间产品矩阵为 $n-t$ 矩阵.

3.2 基于设备的产量转化预处理

产品 n 的总交货量为 p_n ; 交货时间分别为 t_i , ($i=1, 2, \dots, k$), 则交货量 p_n 的计算公式为

$$p_n = \sum_{i=1}^k Qi_n, i = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

δ_n 为产品得率, 产品 n 所需原材料总量 Py_n 为

$$Py_n = \frac{Pn}{\delta_n} * 100\% \quad (6)$$

η_n 为返工品产生率; 产品 n 原材料总量 Py_n 产生的返工品总量 Psy_n 计算公式为

$$Psy_n = Py_n * \eta_n \quad (7)$$

经验知返工品折返率为 α_n , 因此返工品折返后的原材料等效量 Pa_n 的计算公式为

$$Pa_n = Psy_n * \alpha_n \quad (8)$$

产品 n 的模拟排产投料总量 Pe_n 的计算公式为

$$Pe_n = Py_n + Pa_n \quad (9)$$

即

$$Pe_n = \frac{\sum_{i=1}^k Qi_n}{\delta_n} * (1 + \eta_n * \alpha_n) \quad (10)$$

其中, Qi_n 为交货量。

采用基于设备的有限能力方法, 计算每种产品的投料时间 T_n , 来做产品时间的零一矩阵。 T_n 的计算公式为

$$T_n = \text{roundup}[Pe_n / (Cap_n * M)] \quad (11)$$

其中, Cap_n 表示产品 n 单台设备日生产能力, M 为设备数量。

其“($n-t$)排产矩阵模型”为

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & \dots & T_{1(t-1)} & T_{1t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ T_{n1} & T_{n2} & \dots & T_{n(t-1)} & T_{nt} \end{bmatrix}_{n * t}$$

4 改进遗传算法求解生产线排产问题的研究

4.1 算法要解决的问题

算法要解决的主要问题是求解排产计划的最大化最小交货提前期问题^[12]。

4.2 算法种群的初始化

初始化种群对遗传算法求解复杂度至关重要, 将预处理后的($n-t$)排产矩阵模型作为初始化种群解的编码并使其满足以下两个约束条件。

条件 1

$$t_{nl} + St_{nl} + Fl \leq R_{nl} \quad (12)$$

其中, t_{nl} , St_{nl} , F_l 和 R_{nl} 分别表示在第 l 条记录生产

总时间、开工时间、交货提前期和交货期。

条件 2 默认组批时间为 4 天/批, 尽可能的让加工时间以 4 的倍数呈现, 即

$$T_n = 4 * PC + T'_n, T'_n \leq 4 \quad (13)$$

其中, PC 为产品 n 能组成的批次; T'_n 为组批剩余生产时间。

初始化种群的数据模型用零一排产矩阵模型来表示, 符号为 O_{nt} , 因此初始化种群矩阵 O_{nt} 可表示为

$$O_{nt} = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1t} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O_{n1} & O_{n2} & \dots & O_{nt} \end{bmatrix}$$

其中, $1 \leq t_{\max} \leq 366, 1 \leq n$ 。

3 种初始化种群的方法如下。

方法 1 常规法即随机数法(Prs)。

$$O_{nt}^{\text{随}} = \text{round}(\text{rand}(n, t)) \quad (14)$$

方法 2 定则生成法(Pdp)。

定则生成法是指按照一定规则生成特定数据的方法。它是一种新的种群初始化生成方法, 最大的优点是可以根据工厂生产线的实际情况, 制定相应的定量法则, 然后定向生成初始化种群。例如: 根据球扁药生产线实际情况, 产生规则如下。(1) 每天只能生产一种产品; (2) 年假期间不能安排生产。转换为数学语言如下式。

$$\sum_{i=1}^n O_{it} = 1 \quad (15)$$

$$\sum_{t=tys}^{tye} \sum_{i=1}^n O_{it} = 0 \quad (16)$$

其中, tys 为年假开始时间; tye 为年假结束时间。

方法 3 块基因插补法(Pkp)。

块基因插补法是指将已经处理好的生产总时间序列, 按照组批规则进行批处理成基因块, 然后对这些基因进行组合插补, 产生新的初始化种群。计划排程本身就是排列组合问题, 因此采用批处理技术的块级基因插补策略会使初始种群更优。块级元素分类主要有两大部分组成: 批处理块和剩余块。

(1) 批处理块级为

$$\text{四级块: } O_{nt}^4 = [O_{nt} \quad O_{n(t+1)} \quad O_{n(t+2)} \quad O_{n(t+3)}]$$

(2) 剩余块级分为

$$\text{一级块: } O_{nt}^1 = [O_{nt}]$$

$$\text{二级块: } O_{nt}^2 = [O_{nt} \quad O_{n(t+1)}]$$

$$\text{三级块: } O_{nt}^3 = [O_{nt} \quad O_{n(t+1)} \quad O_{n(t+2)}]$$

分析各级块个数,得出基因块表如表 1.

表 1 基因块表
Tab.1 Gene block tables

基因块种类	块级	数量
剩余块	O_{nl}^1	g_{n1}
	O_{nl}^2	g_{n2}
	O_{nl}^3	g_{n3}
批处理块	O_{nl}^4	g_{n4}
	总计	g_n

根据基因块表,运用随机数的方法分层次插入不冲突的基因块,产生块基因插补初始种群.

设置种群数量为 50,为提高种群的多样性同时均衡初始化解的质量,运用混组法生成初始种群,根据方法特点,参考黄金分割比例来对各种方法进行分配如下: $Prs : Pdp : Pkp = 1 : 3 : 6$.

4.3 适应度函数的计算

种群的适应度函数以最大化最小交货提前期为目标函数.

$$F = \max(\min(R_l - D_l)) \quad (17)$$

其中, R_l 表示第 l 条记录的产品交货期; D_l 为第 l 条记录的产品完工日期.

4.4 选择操作

选择操作采用基于精英保留策略^[13]的锦标赛选择法,在保留优质解的基础上,避免有效解集的损失,进而加快全局收敛性和计算效率.

4.5 交叉操作

交叉操作采用基于位置和产品生产顺序优先级相结合的交叉方法,先基于两点位置交叉,然后利用优先级顺序进行规则化,使之产生更加规则化的子代个体.采用专家打分法^[14]综合评价产品优先级顺序.

$$A_{nl} = (B_{nl} + C_{nl} + D_{nl} + E_{nl}) / 4 \quad (18)$$

各参数的解释如表 2.

表 2 订单优先级分析表
Tab.2 Order priority analysis table

参数	A_{nl}	B_{nl}	C_{nl}	D_{nl}	E_{nl}
解释	产品优先级	产品成本利润空间系数	订单客户重要度系数	订单交货紧急程度系数	订单质量要求系数

表 2 中,系数统一在(0,1)之间,1 表示最高/最紧急等级,优先级以所有专家针对产品的评价指标值总和求均值得出其中, $A_{nl} = 1$ 表示优先级顺序最高,表 3 是专家评分表.

表 3 专家评分表

Tab.3 Expert scoring table

评价因素 评价专家	B_{nl}	C_{nl}	D_{nl}	E_{nl}	A_{nl}	AGV
1						
2						
3						
4						

4.6 变异操作

为了保持优质解种群的数量和质量解的继承,增加种群的多样性,采用相邻区域移动重组变异法相邻区域移动重组变异法是指在指定相邻区域通过块级基因镜像移动重组的方法进行变异.

(1) 变异操作步骤如下.

步骤 1 随机产生 $[1, n]$ 之间的两个随机整数 u, v ,作为移动重组的两个对象产品序列;

步骤 2 随机产生 $[0, t]$ 之间的随机整数 x ,作为镜像重组时间序列位点;

步骤 3 随机产生 $[0, 8]$ 之间的随机整数 y ,作为镜像重组变异的块级基因;

步骤 4 在产品序列上,基于时间序列位点,进行基因块镜像移动重组变异操作.

其相邻区域移动重组变异示意图如下.假设 $u = 1, v = 2, x = k, y$ 为块级数;

父种群个体:

$$P_1: \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \cdots & \text{块 } AO_{1k} & \text{块 } B & \cdots & O_{1t} \\ O_{21} & O_{22} & \cdots & \text{块 } CO_{2k} & \text{块 } D & \cdots & O_{2t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O_{n1} & O_{n2} & \cdots & \cdots & O_{nk} & \cdots & \cdots & O_{nt} \end{bmatrix}$$

变异后子代种群个体为

$$C_1: \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \cdots & \text{块 } BO_{1k} & \text{块 } A & \cdots & O_{1t} \\ O_{21} & O_{22} & \cdots & \text{块 } DO_{2k} & \text{块 } C & \cdots & O_{2t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O_{n1} & O_{n2} & \cdots & \cdots & O_{nk} & \cdots & \cdots & O_{nt} \end{bmatrix}$$

(2) 改进遗传算法求解步骤如下.

步骤 1 基础参数设置迭代次数 G 、 Prs 比例、 Pdp 比例、 Pkp 比例、交叉概率 Pc 、变异概率 Pm 、生产计划表等;

步骤 2 按比例产生质量较好的初始种群 pop;

步骤 3 评价种群中个体的适应度值,如果满

足结束条件则输出最优解或者近似最优解, 并且结束运行; 否则执行步骤 4;

步骤 4 执行基于精英保留策略的锦标赛选择操作, 产生下一代种群;

步骤 5 对种群中满足交叉概率的个体按照基于位置和产品生产优先顺序相结合的交叉策略进行交叉操作;

步骤 6 对交叉得到的种群满足变异概率的个体按照相邻区域移动重组变异策略进行变异操作, 产生新一代种群;

步骤 7 返回步骤 3, 迭代执行.

其改进遗传算法流程图如图 1 所示.

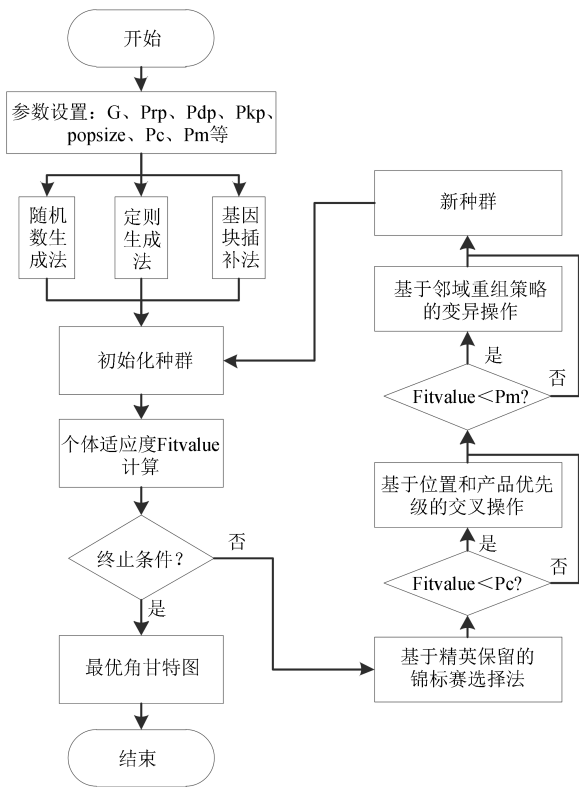


图 1 改进遗传算法流程图

Fig. 1 Improved genetic algorithm flow chart

5 实例研究

某公司的球扁药生产线的年度生产计划如表 4.

专家评分表运用随机数法生产在 CPU 为 2.16 G, 内存为 4 G 的计算机上, 用 Matlab 2014a 工具进行改进遗传算法排产的实验研究采用以下参数: 种群规模为 50, 迭代次数为 100, 交叉概率为 $Pc=0.75$, 变异概率为 $Pm=0.1$, 专家评估为同一

随机数值, 在同一台计算机上, 对上述实例进行仿真, 经过 Matlab 多次运行仿真后, 仿真结果如图 2 ~ 图 4 所示.

表 4 2018 年上半年双基球扁药生产线生产计划表

Tab. 4 Production schedule of double-base ball flat medicine production line in the first half of 2018

产品\日期	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
产品 1	11t			19t				
产品 2	6t			16t				
产品 3	0.3t							
产品 4				52t	50t	33t		32t
产品 5					8t			
产品 6					25t	50t	50t	
产品 7	8.2t							
产品 8								6t
产品 9		4t			7t			

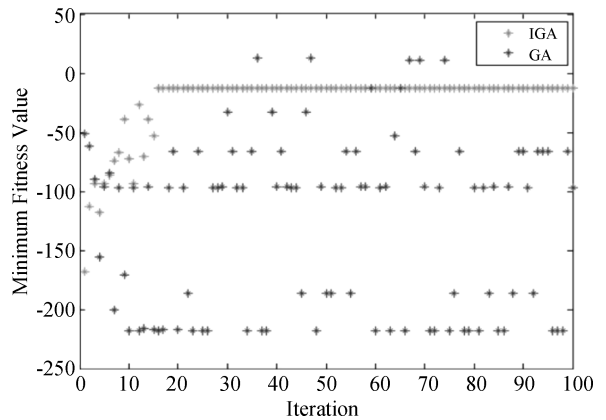


图 2 可行度值收敛曲线图

Fig. 2 Feasibility value convergence curve

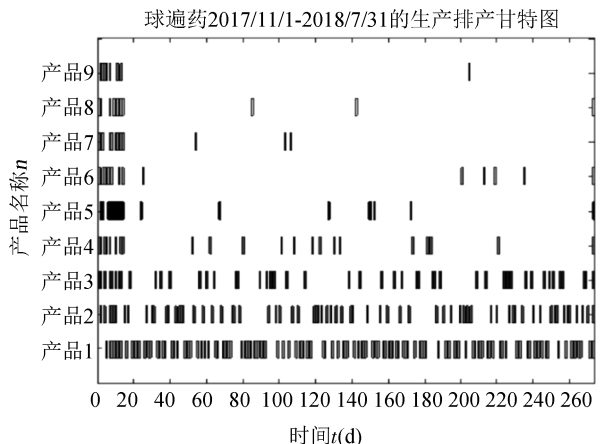


图 3 一般遗传算法排产甘特图

Fig. 3 General genetic algorithm scheduling Gantt chart

从图 2 可以看出, 改进遗传算法在处理批生产生产线的排产问题时, 能够更快的是其达到稳定状态, 相对普通遗传算法具有较好的有效性和稳定

性,从图 3 和图 4 观察对比可得,IGA 得出的解更接近工厂实际生产,两者所用的时间基本上都在 30 s 左右,相比当前工厂手工排产效率及接单评估效率,都有极大提高。

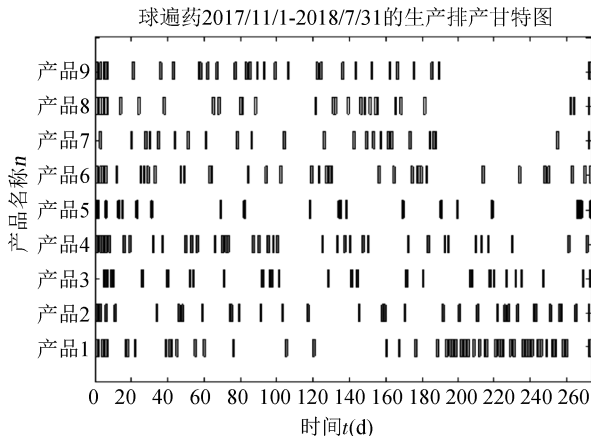


图 4 改进遗传算法排产甘特图

Fig. 4 Improved genetic algorithm for scheduling Gantt charts

6 结 论

改进遗传算法在求解双基球扁药生产线排产问题时,运用预处理技术,直接简化种群个体为“零一排产矩阵”,使排产简洁化,同时运用块基因插补策略,极大的满足了生产实际规律,解决批处理过程,产生的种群个体质量较高在交叉和变异阶段,充分考虑生产实际,根据排产问题的相通特点和特殊点,进行交叉算子和变异算子的设计,也极大地提高了优质种群个体的存活与产生,整体排产效率较高,极大的提高公司的生产组织效率。但是,该算法也有不足之处:基于批处理的实际需求,不能直接用订单块插补,致使每条记录生产过程中间隔生产较多,会耗费许多产线清洗设备时间同时使计算种群适应度值耗时较多,完善适应度值优化计算算法,这需要进一步深入的研究。

参考文献:

[1] 田旻,刘人境. 分层混合遗传算法求解柔性作业车

间调度问题[J]. 工业工程与管, 2017, 22: 32.

[2] 戴翠琴,尹小盼. 卫星网络中基于蚁群优化的概率路由算法[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2018, 30: 346.

[3] 陶国娇,李智. 带认知因子的交叉鸽群算法[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2018, 55: 295.

[4] 王俊海,刘来君,任翔. 基于改进帝国竞争算法的大跨斜拉桥成桥索力优化[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2019, 40: 94.

[5] 杨雪,董红斌,董宇欣. 改进的量子粒子群优化算法对多维多选择背包问题的求解[J]. 吉林大学学报:理学版, 2018, 56: 1461.

[6] 高亮,张国辉,王晓娟. 柔性作业车间调度智能算法及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2012.

[7] 付亚平,黄敏,王洪峰,等. 面向多目标流水车间调度的多种群多目标遗传算法[J]. 控制理论与应用, 2016, 33: 1281.

[8] Wei H J, Yuan J J. Two-machine flow-shop scheduling with equal processing time on the second machine for minimizing total weighted completion time[J]. Oper Res Lett, 2019, 47: 41.

[9] 霍云亮,胡晓兵,杨雄,等. 基于模糊综合评价方法的实例检索策略研究[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2018, 55: 1197.

[10] 刘志勇,周杰,张琳,等. 基于交叉与变异组合的TSP问题研究[J]. 计算机与现代化, 2018(3): 54.

[11] 徐佳,李绍军,王惠,等. 基于最大最小适应度函数的多目标粒子群算法[J]. 计算机与数字工程, 2006, 34: 31.

[12] 桂玲,谢勇,王红卫. 钢箱梁生产的提前/拖期调度问题研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37: 1274.

[13] 罗凤鸣,吕方林,侯宗琰. 基于精英保留策略与爆炸算子的改进遗传算法[J]. 西华大学学报:自然科学版, 2018, 37: 83.

[14] 邬平,马继涛,李鑫,等. 一种基于专家打分权重的迭代算法构建与应用[J]. 昆明理工大学学报:自然科学版, 2013, 38: 107.

引用本文格式:

中文:周原令,胡晓兵,霍云亮,等. 双基球扁发射药生产线的改进遗传排产算法研究[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2019, 56: 627.

英文:Zhou Y L, Hu X B, Huo Y L, et al. Research on improved genetic scheduling algorithm for double based ball flat propellant production line[J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2019, 56: 627.