

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.06.012

矩形件排样的流程和算法设计

董功云, 陈进, 王鸿超

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

摘要:针对人工矩形件排样效率低、耗时长,且不能保证得到板材利用率为最优方案的问题,通过研究人工矩形件排样的过程,提出了一种下料系统流程和矩形件排样的启发式与遗传相结合的算法。研究表明:所设计的下料系统流程能够充分利用原材料库和余料库,且避免生成更多的余料;通过文中设计的启发式和遗传相结合的矩形件排样算法,能够快速搜索出近似总体最优的排样方案。该设计方案能够提高板材利用率,同时减少更多余料的产生。

关键词:矩形件排样;下料系统流程;启发式算法;遗传算法

中图分类号:TP301.6 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)06-0057-05

Process and Algorithm Design of Layout of Rectangular Plate

DONG Gongyun, CHEN Jin, WANG Hongchao

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: The artificial layout of rectangular plate of low efficiency and time-consuming could not be guaranteed to get a high optimum plate utilization program. By studying the process of artificial layout of rectangular plate, an connective algorithm of cutting stock system processes and heuristic with genetic for the layout of rectangular plate was put forward. The results show that it can make full use of raw materials storehouse and trace material storehouse, and it can avoid generating more trace materials by using the designed system processes. It can quickly search for the approximate overall optimal project of the layout by using the designed algorithm of heuristic combinations with genetic for rectangular plate. The design scheme can improve the utilization ratio of sheet metal, and it can reduce the production of more residual materials.

Key words: layout of rectangular plate; cutting stock system processes; heuristic algorithm; genetic algorithm

在机械制造行业,确定制作某种产品所需的材料形状、数量或质量后,按照特定工艺从原材料中取下所需的材料的操作过程为下料^[1]。下料是生产的第一道工序,影响着原材料的利用率^[2]。为了得到合理的下料方案,原材料在实际锯切之前都需要计算后方能得到下料排样方案,而目前企业大多都是采用人工排样的方式,凭借经验去计算,不但计算过程复杂,而且非常耗时,即使这样最终得出的方案也并非最优。

板材下料问题是一个复杂的非确定性多项式问题^[3]。仅通过人工计算很难从全局上去整体优化,而遗传算法在求解这类问题上效果突出^[4]。为了充分利用原材料库和余料库,将所有矩形工件进行排样和

布局^[5],并使材料的利用率达到最大,同时满足“一刀切”的工艺要求^[6],即从板材的一端开始切割,直到另一端结束^[7],设计了下料系统流程和矩形件排样的启发式与遗传相结合的算法。

1 下料系统流程设计

人工下料排样,通常都是先从原料库选择原材料对将要加工板材进行排样,对于剩余的少量待加工板材,会从余料库选择合适的原材料进行排样。通过研究人工下料排样的流程,本文设计了能够充分利用了原材料库和余料库的板材下料排样的系统流程。

假设从原材料库选择了 j 块原材料,设第 t 块原材料为 $M_t(1 \leq t \leq j)$;首先在第1块原材料上下料排程,

收稿日期:2016-06-03;修回日期:2016-08-08

作者简介:董功云(1987),男,山东兰陵人,硕士研究生,主要研究方向为管理信息系统与企业信息化。E-mail:664616552@qq.com

当在第1块原材料上排不完时,则继续在第2块原材料进行排程,依次进行,直到所有的待加工矩形工件排完为止。设最后用到的原材料为 M_i , 在原材料 M_i 排程的待加工板材为剩余待加工矩形工件。计算原材料 M_i 的利用率 P , 若 $P > 60%$, 则更新原材料库并生成任务清单, 否则将剩余待加工板材从余料库选择的原材料上试排程, 若不能排, 则选择剩余待加工矩形工件在原材料 M_i 上排程的方案, 并更新原材料库和生成任务清单, 否则选择剩余待加工矩形工件在从余料库选择的原材料上试排程的方案, 并更新原材料库和余料库, 且生成任务清单。具体流程如图1所示。

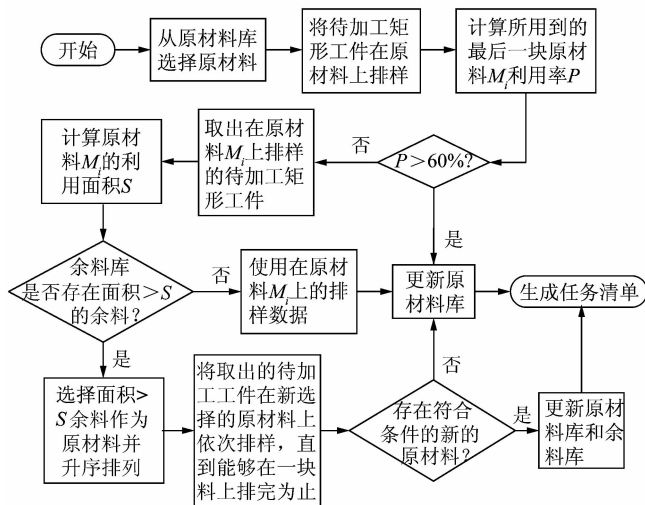


图1 下料系统流程图

Figure 1 Flow chart of material system

2 排样算法设计

2.1 问题简述

优化下料排样的基本目标是锯切完所有的待加工矩形工件所用的原材料数量最少且利用率最大。则原材料优化的数学模型为:

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^n l_j \cdot w_j \cdot m_j}{N \cdot L \cdot W}$$

式中: L 和 $W (L \geq W)$ 分别为原材料的长和宽; n 为需要排放的待加工矩形工件种类之和; $m_j (1 \leq j \leq n)$ 为第 j 种的个数; l_j 和 w_j 分别为待加工矩形工件 R_j 的长和宽; 待加工矩形工件的个数之和 $M = \sum_{j=1}^n m_j$; N 为所有待加工矩形工件排样完成后所消耗的原材料数量; η 为总的原材料利用率, η 越大, 原材料的总利用率越高。

为了满足下料排样的工艺要求, 排放方案需满足

以下约束条件:

- 1) 平行排放待加工矩形件, 即待加工矩形件的边要与原材料对应的边平行;
- 2) 待加工矩形工件之间互不重叠^[8], 且不能超出原材料的边界;
- 3) 为了提高下料工作效率, 排料时要满足“一刀切”的工艺要求。

2.2 矩形件排样启发式算法与遗传算法相结合的思想及过程

本文的算法设计思想是采用启发式与遗传相结合的算法来进行矩形件排样。启发式算法具有快速高效的特点, 但是很难从全局上去优化, 而遗传算法具有强大的全局搜索能力, 弥补了启发式算法的不足, 因此, 将2种算法的优点进行有效的结合, 能够快速高效地得出全局较优的矩形件排样方案^[9]。

1) 首先根据启发式算法对条料进行填充。利用该算法在原材料板材宽度方向上依次连续排放待加工矩形工件, 并对产生的空白区域进行填充, 在原材料宽度方向上生成条料, 条料的生成过程可以分成2个阶段: 第1阶段, 在待加工矩形工件中优先挑选能够使剩余宽度为0或非常接近0的条料, 即最优条料; 第2阶段, 对于不能够生成最优条料的剩余待加工矩形工件, 按照其预先定好的顺序在原材料宽度方向进行排放, 此时会产生较大的空白区域, 要利用填充算法对空白区域进行填充, 直到所有的待加工矩形工件在原材料宽度方向上都生成条料或变成条料的一部分。

2) 当所有待加工矩形工件都在原材料上排列并生成条料后, 借助遗传算法全局搜索条料的较优排放顺序, 使条料在原材料上组合排放时, 得到所消耗的原材料最少且同时利用率高的较优方案。

2.3 基于条料的启发式算法

2.3.1 最优条料生成

在满足平行排放待加工矩形工件前提下, 待加工矩形件在原材料宽度方向上有2种排放方式: 横向排放和竖向排放。

设定 $w = \min \{w_j | j = 1, 2, 3, \dots, m\}$ 。本节中先将所有待加工矩形工件沿原材料宽度方向连续横排或竖排, 能够使待加工矩形工件在原材料的宽度方向排满或几乎排满(连续排放后, 剩余宽度 $< w$), 则这种待加工矩形工件会优先生成条料。沿原材料宽度方向连续排放后不能排满的条料, 对其产生的剩余空白矩形区域利用启发式填充算法填充。

设定 H_j 为第 j 种待锯切矩形工件 R_j 沿原材料板

材的宽度方向可连续横排的数量, P_j 为原材料板材的剩余宽度, 其中 f 表示向下取整函数, 则 $H_j = f(W/w_j)$, $P_j = W - H_j \cdot w_j$ 。将 R_j 沿宽度方向连续横排, 最多生成的条料数, 即列数为 $f(m_j/H_j)$ 。同理, 沿原材料宽度方向可连续竖排的数量为 V_j , 剩余宽度为 Q_j , 则 $V_j = f(W/l_j)$, $Q_j = W - V_j \cdot l_j$ 。最优条料生成的算法流程如图 2 所示。

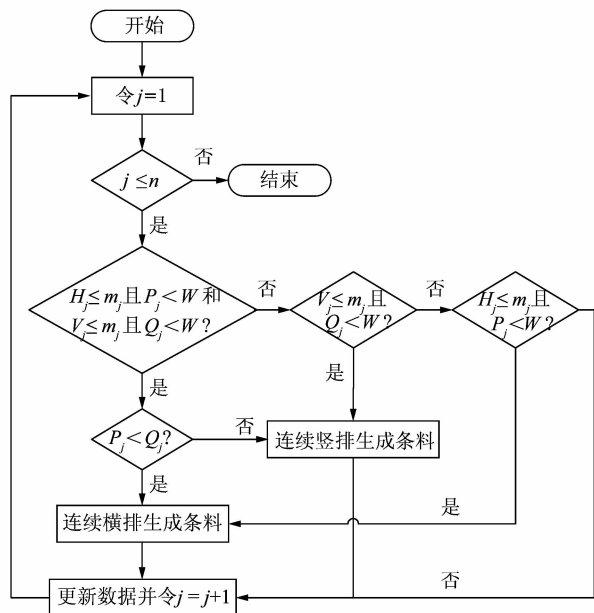


图 2 条料生成流程图

Figure 2 Production flow chart of strips

2.3.2 剩余条料生成

上一节的算法将最优条料全部生成完毕后, 接下来就要处理剩余的待加工矩形工件, 它在原材料上连续排放成一列, 生成条料后的剩余宽度比较大, 形成空白区域, 能够填充其它种类的矩形成品。

1) 启发式填充算法

为了提高原材料的利用率, 需借助启发式填充算法对空白区域进行填充, 主要过程: 首先依据空白矩形区域的大小, 从剩余待锯切件中挑选能够排进该空白区域的待加工矩形件, 然后将挑选出来的待加工矩形件沿空白区域依次进行填充, 填充完毕后又会出现 1~2 个空白区域, 如图 3 所示。继续调用填充算法填充新的空白矩形, 直到不能填充任何待加工矩形件为止^[10]。

设启发式填充算法为 $R(E)$, E 为空白矩形区域, 其长为 l_E , 宽为 w_E , $R(E)$ 填充算法具体步骤如下:

步骤 1。在剩余待加工矩形工件中, 找出能够填

入矩形空白区域 E 的所有待加工矩形工件 (h 种), 设定为 $R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jh}$ 。如果 $h = 0$, 则区域 E 无法填充, 返回 0, 否则转步骤 2。

步骤 2。将步骤 1 中选出来的 h 种待加工矩形工件, 依次试探性地在空白区域 E 的宽度方向进行连续横向或竖向排放, 每种待加工矩形工件排放完毕后, 对空白矩形区域 E 剩余宽度进行计算, 选出其中使剩余宽度最小的待加工矩形工件进行排放, 更新剩余待锯切矩形数量; 排放完成后, 如果会产生 1 个或 2 个新的小空白矩形区域 (如图 3 所示), 则转步骤 3, 否则对此空白区域填充完毕。

步骤 3。调用 $R(E_1)$ 和 $R(E_2)$ 对区域 E_1 和区域 E_2 进行填充。

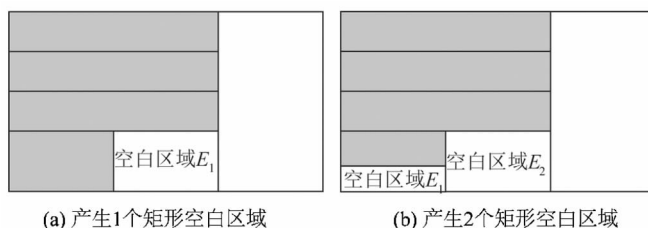


图 3 矩形空白区域

Figure 3 Rectangular blank area

2) 剩余条料生成算法

剩余条料生成算法在处理剩余待加工矩形工件时同样有一个优先顺序, 即对能够沿原材料板材宽度方向排列使得剩余宽度最少的待锯切成品, 优先生成条料, 步骤具体如下:

步骤 1。将能够沿原材料板材宽度方向排列使得剩余宽度最少的待加工矩形工件生成条料, 并更新数据。此时会产生空白区域, 转步骤 2。

步骤 2。调用 $R(E)$, 对空白区域进行填充, 然后更新数据, 如果仍存在剩余的待加工矩形工件, 则返回步骤 1, 否则结束。

2.4 遗传算法

经过以上的算法, 待加工矩形工件已经全部生成条料, 接下来将所有条料按一定的顺序进行排列, 并在原材料板材上依次排放, 当在一块原材料上排不完时, 则重新取出一块原材料排放, 直到所有的条料都在原材料上排完为止。不同的条料组合排放顺序会产生不同的原材料利用率, 如何对条料的组合排序进行优化, 使之排放时消耗的原材料最少或原材料利用率最高是目前需要解决的问题。

遗传算法具有很强的全局搜索能力, 能够很快地找

出原材料板材数量消耗最少或板材利用率最高的最优条料组合排序^[11]。因此本文采用遗传算法来解决条料组合排序的优化问题。遗传算法的算子选择如下：

①编码与解码。不同的条料组合排序就会产生不同的原材料利用率,因此采用十进制整数对条料的组合排序进行编码。解码即将已经排好序的所有条料在原材料上进行排放,当第1块原材料排不完时,则取出另一块原材料继续排放,直到排完全部条料为止。

②初始化种群。条料的组合排序构成种群,初始种群就是算法开始时随机产生的条料的多个组合排序。

③适应度函数。条料的组合排序解码后,依据条料在原材料板材上的排放方案,以总的原材料利用率或原材料消耗数量的倒数为适应度。为了适应本文设计的下料流程,则在保证用料最少的前提下,也要使得最后一块料的剩余长度最长(最后一张板产生的余料长最长^[12])。设定需要原材料的数量为 N ,用到的最后一块原材料板材的剩余长度为 L_1 ,则适应度计算公式为:

$$F = \frac{T}{N - 1 + (L - L_1) / L}$$

式中 T 为可调参数,本文取 $T = 100$ 。

④选择算子。采用轮盘赌与精英选择相结合的策略。轮盘赌选择法即根据每个条料组合排序的适应度值来判断是否被选到下一代中,适应度值越大表明该条料的组合排序被选中的概率越大。精英选择即选择当前种群中适应度最高的条料组合排序保留。

⑤交叉算子。采用部分匹配交叉。

⑥变异算子。采用逆转变异算子,即在条料组合排序中随机产生2个对换点,再交换2个对换点间的条料位置。

在所有条料都生成完毕的情况下,应用上述遗传算法进行计算,具体的算法流程如图4所示,搜索出最优的条料排序,并得到相应的原材料板材排样方案。

当满足以下条件时,算法中止:

- ①获得的当前最优解达到预定值;
- ②达到预定的迭代次数。

设一块原材料的面积为 S_1 ,所有待加工板材的面积之和为 S_2 , C 为向上取整函数,则这里的预定条件是在用料数为 $C(S_2/S_1)$ 的前提下,最后一块原材料的利用率大于60%。

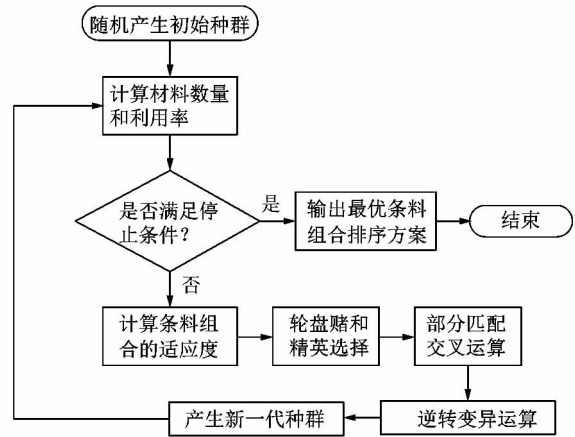


图4 遗传算法流程图

Figure 4 Flow chart of genetic algorithm

3 排样实例

因为遗传算法的计算结果具有随机性,每次计算的排样方案都可能存在差异,所以对案例计算了20次,取其中最优的排样方案。通过大量实验得到算例参数见表1。从原材料库选取原材料长 $L = 1\ 000\ \text{mm}$,宽 $W = 252\ \text{mm}$,数量为3。矩形件规格共有15种,矩形件的数量及规格见表2。余料库存在的矩形规格及数量见表3。运行程序获得排样结果如图5所示。

表1 算例参数

Table 1 Numerical example parameters

种群规模	迭代次数	交叉概率	变异概率
50	200	0.95	0.05

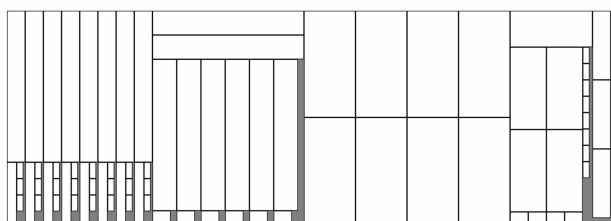
表2 矩形件数据表

Table 2 Rectangular data sheet

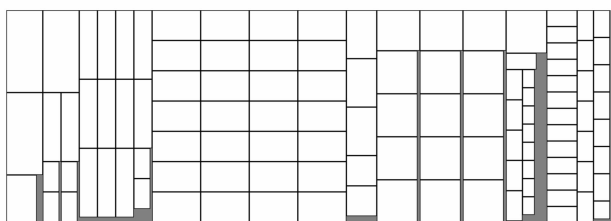
编号	长/mm	宽/mm	数量	编号	长/mm	宽/mm	数量	编号	长/mm	宽/mm	数量
1	45	27	48	6	30	27	39	11	50	50	16
2	40	27	48	7	50	27	32	12	80	50	32
3	114	30	16	8	27	11	32	13	30	20	30
4	250	30	8	9	99	16	8	14	136	60	8
5	250	40	8	10	71	67	16	15	176	85	8

表3 余料库存在的矩形规格及数量
Table 3 Existing rectangular specifications and number in trace material storehouse

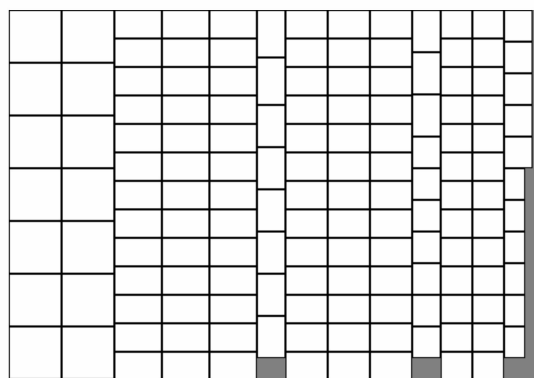
编号	长/mm	宽/mm	数量
1	150	100	1
2	500	252	1
3	535	252	1
4	600	252	1
5	200	252	1
6	175	85	1



(a) 第1块板材



(b) 第2块板材



(c) 第3块板材

图5 板材排样图

Figure 5 Board layout

共用了3块板材。第1块板材是原材料库的材料,利用率为96.28%;第2块板材是原材料库的材料,利用率为95.27%;第3块板材是从余料库的材料计算得到的编号为2的材料,利用率为97.18%。总

的利用率为96.06%。可以看出,原材料库的第3块板材未被用到。

4 结语

通过案例进行计算,得到了一个较优板材排样方案,证实了本文所设计的系统流程和算法的有效性。以往的下料排样流程往往忽视了对余料库的利用,结果造成余料不断累积,本文提出的矩形件排样的系统流程,将余料库考虑在内,同时结合矩形件排样的启发式与遗传相结合的算法进行下料排样,既避免了更多的余料的生成,又能够提高板材的利用率。而通过提出的矩形件排样的启发式与遗传相结合的算法,虽然能够达到“一刀切”的工艺要求,且能够快速高效地得到全局较优下料排样方案,但并非最优方案,为了提高搜索效率,并使方案进一步优化,还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 岳彦芳,王金业. 机械下料车间MES系统的模型构建与描述[J]. 自动化与仪表,2011,26(11):5-8.
- [2] 李浩. FastMES快速制造执行系统:面向钢材下料车间的信息管理系统[J]. 机械工人,2006(2):35-36.
- [3] BURKE E K, KENDALL G, WHITWELL G. A simulated annealing enhancement of the best-fit heuristic for the orthogonal stock-cutting problem[J]. INFORMS journal on computing, 2009, 21(3):505-516.
- [4] 陈奇,曹德列,饶运清. 一种可变规格板材下料的优化方法[J]. 制造业自动化,2011,33(12):80-83.
- [5] 张帆,刘强,张浩,等. 面向多规格板材的矩形工件排样优化方法[J]. 计算机集成制造系统,2015,21(11):2921-2928.
- [6] 陈仕军,曹炬. 一种“一刀切”式矩形件优化排样混合算法[J]. 锻压技术,2009,34(4):143-147.
- [7] 许继影. 矩形件优化排样的混合启发式方法[J]. 计算机工程与应用,2012,48(13):234-239.
- [8] 张圣,李继. 智能算法的板材下料优化排样系统研究[J]. 机械与电子,2010,28(4):10-14.
- [9] 王基维,熊伟,李会玲,等. 现代优化设计方法的现状和发展趋势[J]. 机械制造与自动化,2008,36(6):5-6.
- [10] 王华昌,陶献伟,李志刚. 一种矩形件优化排样综合算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2003,31(6):9-12.
- [11] 边霞,米良. 遗传算法理论及其应用研究进展[J]. 计算机应用研究,2010,27(7):2425-2429.
- [12] 黄少丽,杨剑,侯桂玉,等. 解决二维下料问题的顺序启发式算法[J]. 计算机工程与应用,2011,47(13):234-237.