

可重入式生产车间调度的计算机仿真与优化研究

陈晓慧 张启忠

(重庆大学工业工程研究所 重庆 400030)

摘要 对于冷拔钢管生产车间的可重入生产的调度问题,采用计算机仿真软件系统 eM-Plant 来进行仿真优化求解。首先设定工件的成组规则,简化调度问题为投料策略与派工策略,然后采用遗传算法进行调度参数优化。仿真结果的对比表明遗传算法对此类问题的求解有较强的优化性能和稳定性。

关键词 可重入生产系统, EM-plant 仿真, 调度优化, 遗传算法

中图分类号 TP18 文献标识码 A

Production Scheduling Simulation and Optimization of Re-entrant Produce Job Shop

CHEN Xiao-hui ZHANG Qi-zhong

(Institute of Industrial Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract For the re-entrant production scheduling of steel pipes job shop, the eM-Plant computer simulation software was used to solve the problem. Firstly, set the regulator of work pieces group together, simplify the problem to materials putforward strategies and job dispatch strategies. Then adopt the Genetic Algorithms to optimize schedule planning. Compared with the results, it was obvious that there is a strong optimize performance and stability with genetic algorithms.

Keywords Re-entrant lines, Em-plant simulation, Scheduling optimization, Genetic algorithm

随着市场需求的变化,制造企业的生产逐渐体现出多品种、小批量面向订单制造(make-to-order)的生产方式。无缝钢管按照壁厚、外径、交货长度、孔型、钢级等工艺参数分为不同的规格,各种规格有不同的工艺方法和生产路线。加工无缝钢管的生产过程复杂,要经过管坯连铸、加热、穿孔、减径、矫直、表面处理等有关工序,流经多个车间。因此,其生产计划与调度问题成为研究的重点^[1-3]。现有研究中,钢管生产流程大多只涉及一道次流程,也就是 Job Shop 和 Flow Shop 调度模型^[4-6]。但在大量的中小企业生产中却存在多道次加工,即在冷拔阶段时由于冷拔管成品规格范围大及设备数量和性能有限,小径无缝钢管需要多道次冷拔,因此存在可重入生产(Re-entrant lines)^[7]。

可重入无缝钢管冷拔生产因其路径的重入、复杂的工艺过程、不同的设备特性、多品种小批量生产方式等特点构成了非常复杂的约束条件,使得这类系统调度问题的求解困难,以往面向 Job Shop 和 Flow Shop 的调度理论和方法难以适用,其相关研究的报道较鲜见。

作为一类典型的离散事件动态系统(DEDs),其不仅用于冷拔无缝钢管生产,在机械加工行业大部件和高精密器件的多次加工中也有所应用,且在半导体与薄膜生产线也具有类似应用^[10]。本研究结合冷拔无缝钢管生产的可重入生产特点,采用计算机仿真技术来进行可重入式生产车间的调度优

化求解。

1 车间调度问题的描述

可重入生产系统的特点是工件在加工过程中的不同阶段可能重复访问某些机器,不同加工阶段的工件可能在同一机器前同时等待加工,另外加工工序与设备数量较多,制造流程复杂,其调度问题是 NP 难题。

在冷拔无缝钢管生产流程中,由于管坯准备、热轧工段、精整工段是单道次流水型加工方式,冷拔工段存在多道次生产,因此本文的可重入生产车间调度只针对冷拔工段调度研究,把热轧产品直接作为输入,把精整段产品直接作为输出。

为了让复杂模型能得到有效优化,借鉴 Job Shop 和 Flow Shop 调度类型的优化建模^[4-6],本文设定以下 3 个规则。

规则 1 系统不考虑组批计划,投入生产系统的钢管视为已经组批;

规则 2 同一组批内的钢管不做批内排序;

规则 3 每根钢管生产之间的准备时间、辅助时间记入加工时间中。

组批排序受两个因素影响。其中,投料调度策略是决策投放一批新的原料进入车间加工,包括投放工件时间和投放工件的种类数量的决策。派工调度策略是决策何时在某台机器上加工某批钢管,以及决定在工作站前等待加工的队列中

到稿日期:2009-02-13 返修日期:2009-04-16 本文受国家 863 高科技计划项目(2006AA04Z369-1)资助。

陈晓慧(1969—),女,博士,副教授,主要研究方向为工业工程与管理,E-mail:chenxiaohui@cqu.edu.cn;张启忠(1982—),男,硕士,主要研究方向为工业工程及系统仿真。

的哪个工件优先进行加工。

常见的投料策略有两种。一是固定时间间隔(RI),在固定的时间间隔内向生产系统投料。二是固定在制品法(CON-WIP),即固定批量法是保持生产线上在制品水平不变的一种策略,适用于闭环系统。

派工规则可以分为4大类:①与加工时间有关的派工规则,例如最短加工时间(SPT)规则就是一个只与加工时间有关的派工规则;②与交货期限有关的派工规则;③与加工时间及交货期限无关的派工规则,如先入先出(FIFO)规则或者随机(Random)规则;④其他法则,如最少剩余步数优先(LRPS)。

2 车间生产调度的仿真建模

本模型按照车间生产工艺流程的顺序进行建模。先建立每个加工工序的分模块,然后采用串、并联的方式将各个工序模块按照生产工艺流程连接成整条生产线。输入从现场收集的各工序基本参数,设定真实情况在仿真中的一些约束条件,最后采用 eM-Plant 的程序单元功能来实现对现场的动态仿真。

1)工艺流程:其流程图如图1所示。

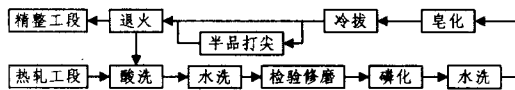


图1 可重入钢管生产流程图

2)加工设备:酸洗池的容量是8批;水洗池、磷化池、皂化池的容量各为4批;修磨有两个工作台可以同时进行两批管坯的检验修磨;冷拔共有9条生产线。

3)物料搬运:在该生产流程中,上一工序和下一工序之间的运输是批量搬运,一冷拔生产令号的在制品为一批。酸洗、水洗、磷化、皂化、退火为整批同时进行,修磨、冷拔为一根一根进行,一批量加工完后再成批搬运到下一工序。

4)工序参数的设定:各工序参数如表1所列。

表1 各工序参数

序号	工序名称	加工设备	工序时间	到下一道工序搬运时间
1	酸洗	8批同时加工	40min/批	1min
2	水洗	4批同时加工	5min/批	修模 1.5min 皂化 1min
3	检验修模	2个工作站	10s/根	1.5min
4	磷化	4批同时加工	20min/批	1min
5	皂化	4批同时加工	10min/批	
6	冷拔	9台机器	35s/根	退火 2m 冷打尖 1min
7	半品打尖	1台机器	20s/根	1min
8	退火	4批同时加工	25min/批	酸洗 3min

2.1 子模型的建立

工序模型分为两类,一是整批加工工序,整批加工的工序不需要解批和组批,这类工序有:酸洗、水洗、磷化、皂化、退火。该类工序模型如图2所示;二是单根加工工序,该工序先要求把组批来的工件解批,加工之后再组批传送到下一工序,这类工序有:检验修模、冷拔、半品打尖。该类工序模型如图3所示。

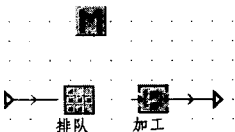


图2 整批加工工序模型



图3 单件加工工序模型

2.2 总模型的建立

在各工序的子模型上,建立仿真总模型,如图4所示。

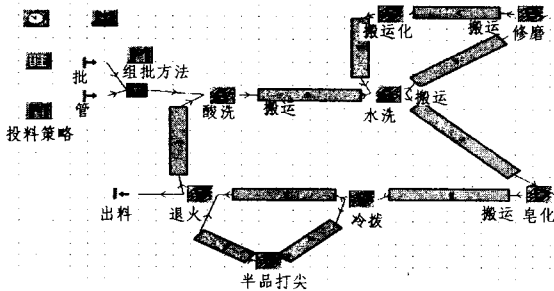


图4 可重入钢管生产线总模型

2.3 仿真运行

在该模型中,投料策略有固定在制品水平(CONWIP)和固定间隔时间(RI);派工策略有先入先出(FIFO)、后入先出(LIFO)、剩余加工时间最短优先(SRPT)和最少剩余步数优先(LRPS)。优化为多目标:平均在制品数量(Mean WIP, MWIP);平均产出率(Mean Throughput, MT);平均生产周期(Mean Cycle Time, MCT);酸洗、水洗、磷化、皂化、退火、冷拔设备的使用率(U)。由于现实中存在机器维修时间、工人休息时间及其他非工作时间,在此把日工作时间设定为16.5小时。对投料策略和派工策略进行仿真模拟,进行5次仿真取平均值得到结果,每次模型运行82.5.5小时(相当于5天)。

设定固定在制品水平为12批时,各种派工策略的仿真结果如表2所列。设定固定时间间隔为50min时,各种派工策略的仿真结果如表3所列。

表2 固定在制品水平下各派工策略仿真结果

CON-WIP	MWIP	MT (批/天)	MCT (h)	酸洗 U	水洗 U	磷化 U	皂化 U	退火 U	冷拔 U
LIFO	12	17.8	21	97.29%	45.88%	75.52%	57.38%	83.20%	35.83%
FIFO	12	18	20	97.49%	48.58%	76.25%	58.23%	85.12%	40.50%
SRPT	12	17.4	21.5	97.58%	46.29%	75.69%	58.12%	82.98%	36.26%
LRPS	12	17.2	21	97.38%	46.32%	75.49%	57.88%	83.00%	35.89%

表3 固定时间间隔下各派工策略仿真结果

RI	MWIP	MTP (批/天)	MCT (h)	酸洗 U	水洗 U	磷化 U	皂化 U	退火 U	冷拔 U
LIFO	11	17.6	21	97.39%	45.97%	75.82%	57.77%	83.85%	35.72%
FIFO	12	18	20	97.47%	48.08%	76.25%	58.13%	85.17%	40.20%
SRPT	12	17.6	21	97.56%	46.78%	75.97%	58.12%	82.05%	36.27%
LRPS	11	17.6	21.5	97.37%	46.71%	75.05%	57.98%	83.56%	35.72%

固定在制品水平为12时,在产量性能方面,LIFO,FIFO有优势,在酸洗、水洗、磷化、皂化、冷拔设备的使用率上,FIFO,SRPT有优势。在固定时间间隔下,在产量性能方面,FIFO有优势,在酸洗、水洗、磷化、皂化、冷拔设备的使用率上,FIFO,SRPT有优势;在退火工序上,FIFO,LIFO稍有优势。比较4种派工策略,FIFO,SRPT相比其他两种派工策略有相对优势。

3 基于遗传算法(GA)的调度优化

调度优化模块是为解决可重入钢管生产模型参数对调度结果的影响而设计的,这些参数包括加工任务的投料策略、设备选择工件时所采用的派工策略。有多种优化算法可用于这些参数的优化选择,以得到满意的调度结果,如遗传算法、模拟退火算法等^[9-12]。本文采用遗传算法对加工任务投料策略

和调度策略进行优化,以求得解的多样性。

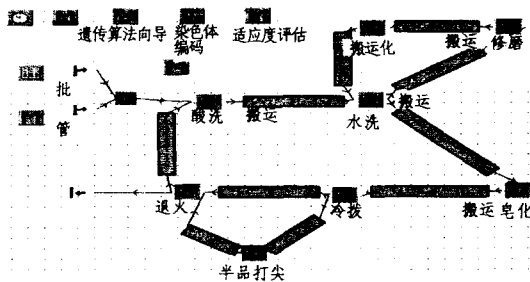


图5 GA模块的仿真模型

eM-Plant 不仅提供了优秀的可视化建模能力,同时也内置了功能强大的基于遗传算法(GA)的工程优化模块,该模块可以和系统的仿真模型无缝结合。在现有的仿真模型中加入

表4 一条染色体编码情况

0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
投料策略		如果投料策略为0,代表固定时间间隔。 如果投料策略为1,代表 WIP 数目。					酸洗规则 编码		水洗规则 编码		磷化规则 编码		皂化规则 编码		退火规则 编码		冷拔规则 编码	

表5 4种规则编码

规则	FIFO	LIFO	SPRT	LRSF
编码	00	01	10	11

固定时间间隔投料策略的时间间隔和固定在制品水平投料策略的在制品数量都由一个6位的二进制数来表示。时间间隔的范围为[10,74],制品数量的范围是[0,64]。在这个范围内取64个值。时间间隔和在制品数量可以由对应的二进制数计算出。程序为:

$$Interval=10+Val$$
$$WIP=Val$$

其中,Interval 是时间间隔,WIP 是在制品数量。

3.2 基于遗传算法的调度策略的基本流程

染色体的第一代是随机生成的,经过变异和交叉操作后,用一个函数将染色体所携带的信息进行转换后得到适应值,由其决定染色体进入下一代的概率。如此循环操作,直到满足条件时算法结束。

由于钢管生产车间最重要的一个评价指标是平均产出

“遗传算法向导”对象、“GASequence”类型染色体和一个用于评估染色体适应度值的 Method 对象。其优化仿真模型如图5所示。

3.1 基于遗传算法的调度策略的编码方法

编码是遗传算法的重要工作。本文采用二进制编码,表4给出了其中随机的一条染色体所携带的信息。染色体的第一位表示投料策略,如果第一位为0,则代表固定时间间隔投料策略。如果为第一位为1,则代表固定在制品水平投料策略。通过观察数据集可以看到,该生产线一共有6个工作站的利用率比较高,可以将它们看成是关键设备。本文为每个关键设备提供了4种派工规则,4种派工规则对于此处的设备都是可行的,如果在调度问题中遇到规则在某些设备上不可行的问题时,就应该考虑变化编码方式。这4种规则的编码如表5所列。

率,遗传算法的适应值函数根据这个特点来确定。由于在制品种类不同,生产周期、在制品数量以及设备利用率会有很大的不同,要对其取值范围作一些限制。因此,适应值函数为:

$$F(x)=MT$$

s. t $MCT<50$
 $WIP<50$

3.3 仿真结果及分析

仿真程序的仿真时间为2个月,预仿真时间为1个月。遗传算法的染色体数目为50,变异概率为0.05,交叉概率0.6,仿真30代输出结果。表6为仿真结果。

比较表6、表2和表3可知,遗传算法优化下的调度策略相比单一策略下的调度结果,在性能上有提高,在稳定性上有较大优势,使整个车间生产达到比较稳定的高效状态。

可见,基于遗传算法的 eM_plant 仿真调度模型在可重入钢管生产计划与调度优化问题上可行和合理,有较强的优化性能,算法的求解速度快,结果具有较强的可操作性。

表6 基于遗传算法的调度优化仿真结果

投料	关键设备派工策略						WMIP	TP	MCT %	酸洗 %	水洗 %	磷化 %	皂化 %	退火 %	冷拔 %
	酸洗	水洗	磷化	皂化	冷拔	退火									
CONWIP	SRPT	FIFO	SRPT	FIFO	FIFO	SRPT	12	540	22	97.65	48.60	76.30	58.45	85.63	41.12

结束语 现有可重入生产系统不仅在冷拔无缝钢管生产,而且在机械加工、半导体生产等制造系统中广泛存在。可重入钢管生产调度问题可分解为投料问题和优先调度问题。本文提出了采用仿真优化的方法来解决可重入调度问题,将该问题简化为对资源和策略的建模,并在仿真软件 eM-Plant 中实现,采用遗传算法对投料策略和派工策略进行优化,与单一策略下的调度结果相比较,该算法有较强的优化性能和稳定性,算法的求解速度快,结果具有较强的可操作性。

参考文献

[1] 唐立新. 基于智能优化的钢铁生产计划与调度研究[J]. 管理学报,2005,2(3):263-267
[2] 李虎,霍佳震. 钢管生产的合同组批优化算法[J]. 工业工程与管

理,2004(1):86-88
[3] 路飞,田国会. 用自适应遗传算法求解轧制顺序调度问题[J]. 山东大学学报,2003,33(3):311-313
[4] 李铁克,施灿涛. 冷轧生产批量计划与调度问题模型及算法[J]. 管理学报,2008,5(1):64-69
[5] Okano H,Daven Porta J,Trumbom,et al. Finishing Line Scheduling in the Steel Industry [J]. IBM Journal Research&Development,2004,27(5):811-830
[6] 霍佳震,钟海嫒,吴群,等. 钢管生产调度中可中断 Job-Shop 问题的数学模型[J]. 系统仿真学报,2008,20(11):2789-2792
[7] Kumar P R. Re-entrant lines [J]. Queuing Systems,1993,13(1-3):87-110
[8] 赵丽娜,郑应平. 可重入生产系统的一种新型优化调度策略[J]. 控制理论与应用,2000,17(5):730-734

(下转第 302 页)

问题。

• 满足今后网络发展所要求的网络用户身份鉴别、数字签名、安全审查、防止抵赖等。

4.3 采用 Q-in-Q 方式实现 CE 对 Internet 的访问

Q-in-Q(即 802.1Q-in-802.1Q)方式下,PE 的接入端一旦工作在 Q-in-Q 模式下,就只有缺省 Vlan 能起作用(用来作 VPLS 接入),进来的所有流量都认为是该 Vlan。在 Q-in-Q 端口下,该网络将某个 Vlan 接口指定为 Internet-access 接口,那么这个 Vlan 就可以和 Internet 连接,启动三层功能,而属于其它 Vlan 的流量则一律认为是 VPLS 流量。一个物理端口只能允许通过一个 Internet-access Vlan 接口。该电子政务外网组网配置示意图如图 4 所示。

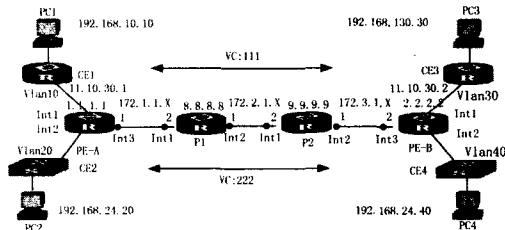


图 4 电子政务外网组网配置示意图

其中 PE-A 的主要配置

! MPLS 配置

```
[PE-A] mpls ldp
```

```
[PE-A-mpls-ldp] remote-peer local-ip 1.1.1.1  
remote-ip 2.2.2.2
```

// 建立 LDP Remote Session

```
[PE-A] int Int3
```

```
[PE-A-Int3] mpls ldp enable
```

! VPLS 的配置

```
[PE-A] mpls l2vpn // 启动二层 VPN 功能
```

```
[PE-A] int vlan 10
```

```
[PE-A-Vlanif10] mpls vpls encapsulation vlan mtu 1500
```

// 配置接口的 vpls 工作方式,封装模式为 vlan,mtu 为 1500。其中斜体字为可选配置

```
[PE-A-Vlanif10] mpls vpls vc 2.2.2.2 111
```

// 和邻居 2.2.2.2 建立 VC,Vc 号为 111,不配封装模式和 mtu,则缺省为 vlan 接口的封装模式和 mtu

```
[PE-A] int vlan 20
```

```
[PE-A-Vlanif20] mpls vpls encapsulation ethernet
```

// 配置接口的 VPLS 工作方式,封装为 Ethernet 模式

```
[PE-A-Vlanif20] mpls vpls vc 2.2.2.2 222 // 和邻居  
2.2.2.2 建立 VC,VC 号为 222
```

PE-B 的主要配置

! MPLS 配置

```
[PE-B] mpls ldp
```

```
[PE-B-mpls-ldp] remote-peer local-ip 2.2.2.2 remote-ip
```

1.1.1.1

// 建立 LDP Remote Session

```
[PE-B] int Int3
```

```
[PE-B-Int3] mpls ldp enable
```

! VPLS 的配置

```
[PE-B] mpls l2vpn // 启动二层 VPN 功能
```

```
[PE-B] int vlan 10
```

```
[PE-B-Vlanif10] mpls vpls encapsulation vlan mtu 1500
```

```
[PE-B-Vlanif10] mpls vpls vc 1.1.1.1 111
```

// 和邻居 1.1.1.1 建立 VC,Vc 号为 111,不配封装模式和 mtu,则缺省为 vlan 接口的封装模式和 mtu

```
[PE-B] int vlan 20
```

```
[PE-B-Vlanif20] mpls vpls encapsulation ethernet
```

// 配置接口的 VPLS 工作方式,封装为 Ethernet 模式

```
[PE-B-Vlanif20] mpls vpls vc 1.1.1.1 222 // 和邻居  
1.1.1.1 建立 VC,VC 号为 222
```

结束语 本文主要以我省某市区电子政务外网为实例,讨论了基于 MPLS VPN 技术在该外网中的实际应用,并讨论了其技术实现方法。通过 MPLS VPN 技术在这个统一的网络平台上为各个行业和部门的应用系统划分各自独立的 VPN 隧道。该电子政务外网已投入使用,到目前为止运行稳定可靠。随着接入单位和用户的不断增加,带动了该市各单位的局域网建设和应用,取得了良好的社会效益。

参考文献

- [1] 王达,等. 虚拟专用网(VPN) 精解[M]. 北京:清华大学出版社,2005
- [2] 纪辉进,魏华. VLAN 技术及其应用[J]. 软件导刊,2008,57(5)
- [3] 王健全. 城域 MSTP 技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005
- [4] 杨红艳. MPLS/VPN 技术技术框架在大型企业网络中的应用[J]. 微型电脑应用,2007,10(57)
- [5] Davie B, Rekhter Y. 多协议标签交换技术与应用[M]. 罗志祥,等译. 北京:机械工业出版社,2001
- [6] Guichard J. MPLS 网络设计权威指南[M]. 陈武,译. 北京:人民邮电出版社,2007
- [7] 黄彦,梁京章,唐晚年. 基于 SNMP 的 VLAN 管理应用研究及其设计[J]. 微计算机信息,2008,237:11-13
- [8] 赵霞,张黎军. 基于 MPLS 技术的网络仿真分析[J]. 重庆工学院学报:自然科学版,2007,21(4):112-114

(上接第 299 页)

- [9] 王颖,李茂青. 基于一种新的评价指标的可重入生产系统调度[J]. 系统工程,2005,23(12):39-43
- [10] Reeves C R. A Genetic Algorithm for Flow Shop Sequencing[J]. Computers Operations Research,1995,22(1):5-13
- [11] Chen C L, Vempati V S, Aljaber N. An application of genetic algorithms for flow shop problems[J]. European Journal of Ops.

Res.,1995,80:389-396

- [12] 马玉敏,樊留群,张为民,等. 基于仿真的车间作业计划优化设计[J]. 系统仿真学报,2007,19(19):4548-4552
- [13] 彭旺明,张晓川. Em-plant 在生产作业仿真中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报,2004,28(4):597-599
- [14] 王仲君,程涤. 基于改进遗传算法的多维关联规则挖掘方法及应用[J]. 重庆工学院学报:自然科学版,2009,23(4):55-59