

1-8-2019

Modeling and Simulation for Automobile Connecting Rod Production Line Based on System Dynamics

Li Han

1. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China;;

Wenhui Fan

1. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China;;

Feng Yuan

1. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China;;

Mengni Zhu

2. CSSC Systems Engineering Research Institute, Beijing 100094, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Simulation for Automobile Connecting Rod Production Line Based on System Dynamics

Abstract

Abstract: In the production line system, it is of much significance to assign operation to workstations in order to balance the manufacturing workload and increase productivity under the given constraint conditions. *Based on System Dynamics theory, this paper builds a simulation model of a connecting rod production line in an automobile component company. With this model, the paper analyses the balancing rate and influential factors. Then some preliminary optimization is made to improve the production line performance.*

Keywords

system dynamics modeling, connecting rod production line, computer simulation, production line balancing

Authors

Li Han, Wenhui Fan, Feng Yuan, Mengni Zhu, and Shengxiao Zhang

Recommended Citation

Li Han, Fan Wenhui, Feng Yuan, Zhu Mengni, Zhang Shengxiao. Modeling and Simulation for Automobile Connecting Rod Production Line Based on System Dynamics[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(9): 3351-3359.

基于系统动力学的汽车连杆生产线建模与仿真

李晗¹, 范文慧¹, 冯袁¹, 朱梦妮², 张生晓²

(1. 清华大学自动化系, 北京 100084; 2. 中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100094)

摘要: 在生产系统, 如何能在给定的约束条件下, 合理地分配作业要素, 平衡各工序的生产负荷, 提高生产线的平衡率和生产效率, 越来越受到广泛的关注。以连杆生产线研究对象, 根据系统动力学的原理建立连杆生产线的仿真模型, 在 AnyLogic 软件中搭建仿真系统, 验证了模型的可行性, 研究了生产线平衡率, 分析了原材料的上线间隔、加工机器数量等因素对生产性能以及平衡率稳定性的影响, 并在分析的基础上进行了一定的平衡优化, 改善了连杆生产线的生产性能。

关键词: 系统动力学建模; 连杆生产线; 计算机仿真; 生产线平衡

中图分类号: TP319.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 09-3351-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201809016

Modeling and Simulation for Automobile Connecting Rod Production Line Based on System Dynamics

Li Han¹, Fan Wenhui¹, Feng Yuan¹, Zhu Mengni², Zhang Shengxiao²

(1. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. CSSC Systems Engineering Research Institute, Beijing 100094, China)

Abstract: In the production line system, it is of much significance to assign operation to workstations in order to balance the manufacturing workload and increase productivity under the given constraint conditions. Based on System Dynamics theory, this paper builds a simulation model of a connecting rod production line in an automobile component company. With this model, the paper analyses the balancing rate and influential factors. Then some preliminary optimization is made to improve the production line performance.

Keywords: system dynamics modeling; connecting rod production line; computer simulation; production line balancing

引言

生产线的生产效率受到多种因素的影响, 包括待加工产品的数量、缓冲区大小、机器数量、维修保养水平和能源供给稳定性等各种确定或随机的变量。各种工序加工难易程度不同, 每台机器的状

态会随着时间发生变化, 这些都使得加工单元的作业时间不可能完全相同, 直接导致工序间作业负荷不平衡的现象, 使得一部分机器利用率较高, 而另一部分机器经常处于闲置的状态, 既造成工时无谓的损失, 还造成了半成品的堆积滞留, 破坏了生产系统物流的连续性, 甚至是生产中断, 这就是所谓的“瓶颈效应”^[1]。另外, 对于大部分的制造企业来说, 由于受到资金和技术的限制, 还无法建造全自动化的生产线, 最常见的生产线多是半自动化的, 其核心工序由机器完成, 而原材料的装卸、搬



收稿日期: 2016-03-20 修回日期: 2016-08-30;
基金项目: 国家自然科学基金(51575469);
作者简介: 李晗(1992-), 女, 吉林洮南, 硕士生, 研究方向为系统平衡性仿真、数据挖掘和故障检测; 范文慧(1966-), 男, 吉林松原, 博士, 教授, 研究方向为复杂系统建模与仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 3351 •

运以及检测等部分工序还需要由工人完成。工人的数量、对于工序的熟练程度也影响着生产线的性能,同时,生产线各工序间的不平衡情况还会造成不同工序上操作工人心理上产生不公平感。为了解决这些问题,生产线平衡问题研究应运而生。通过分析生产线全部工序的负荷,合理分配和整合生产要素,使每个工序的加工总时间最大程度得相近^[2],从而避免加工中出现各种等待浪费现象而降低了生产线的整体效率。

本文采用了计算机仿真的方法对连杆生产线平衡问题进行一定的分析和探索。根据系统动力学的原理建立生产线的仿真模型,利用系统动力学可以分析系统中不同元素之间的关联关系这一优势^[3],来分析不同因素对生产线的影 响,并在此基础上分析可能存在的因素对生产线平衡率、生产效率等性能的影响,提出一些可行的平衡优化方法,以期对实际生产起到参考和指导的作用。因此,本文不仅具有一定的理论意义,也具有重要的现实意义。

1 生产线平衡问题分析

研究生产线平衡问题的目的是使每个工序的负荷相近,保证加工可以连续进行,而不是一些工位积压产品,另一些工位却因缺少原料而停工等待,这样才能提高机器的利用率及整条生产线的效率^[4]。本文计算生产线平衡率的方法是式(1)^[5]:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N \cdot \max(T_i)} \times 100\% \quad (1)$$

式中: T_i 为第 i 个工序的作业时间; $\max(T_i)$ 为最长的加工时间; N 为工序的总数量; P 是一个百分数,代表了生产线的平衡和连续情况, P 值越大表示生产线的平衡情况越好。

生产线平衡问题是组合优化问题中典型的 NP-Hard 问题,与很多其他组合优化问题类似,求解此类问题的方法也经历了数学分析法、启发式方法和计算机仿真等阶段^[4]。数学分析法是通过建立数学模型来求出问题的最优解,计算量大,不能快

速地适应生产计划的改变和实际生产中随机因素的影响。启发式方法结构清晰、搜索性能快,例如禁忌搜索、遗传算法、模拟退火算法等智能优化算法应用到生产线平衡问题成为了研究热点,这些算法极大地减少了计算量,并能适用于更多复杂多变的情况,在生产线平衡问题求解上取得了不错的效果。

近年来,计算机仿真技术发展日新月异,将仿真优化的思想应用于生产线平衡问题的研究也逐渐增多。赵燕春以燃气热气机装配线为背景,提出在规划设计初期阶段进行装配线平衡可以避免后续产生更多的问题,并且在 eM-Plant 软件中验证了改进后的线性规划法和启发式方法的效果^[6];李华重点研究了汽车焊接生产线的离散事件模型,使用 eM-Plant 对整个系统进行建模,用仿真建模优化重组的思想解决生产线问题^[7];朱琼等以面向对象的仿真建模方法为出发点,建立了某压缩机装配线的仿真系统,再采用工业工程方法平衡了装配线各工序的负荷^[8];张敏建立了曲轴生产线的离散事件仿真模型,分析了物流设备等参数对生产效率的影响,并采用遗传算法优化了生产线布局^[9]。因此,建立生产线平衡问题的仿真模型,使用计算机仿真软件对模型进行多次重复的实验和计算,可以方便快速地分析生产线系统,显示出强大的优势和拓展性。

2 基于系统动力学的连杆生产线仿真

2.1 生产线背景

本文的数据全部来自北京北内发动机零部件有限公司的连杆生产线,这是一条可以生产 γ GDI 连杆的半自动化生产线。加工顺序是从 OP10 到 OP140,其中 OP10 和 OP80 共用一台机器,不能同时进行两种工序。连杆加工所涉及的各工序的序号、工序名称、机器数量、设备加工时间、每台设备可以同时加工的工件数量、人工装载时间、人工卸载时间的详细的数据分别列在表 1 中。

表 1 各工序名称、机器数量、加工时间等数据
Tab. 1 Name, number of machine, processing time of each process

工序序号	工序名称	现有机器数量/台	每台设备同时加工数量/支	人工装载时间/(s/支)	设备加工时间/(s/支)	人工卸载时间/(s/支)
OP10	粗磨两端面	1	20	2	10	2
OP20	大小孔粗加工	2	5	3	40	2
OP30	加工螺栓孔、钻油孔	1	5	3	40	2
OP40	铣两侧面	2	4	3	15	2
OP50	去毛刺	1	4	3	15	2
OP60	胀断	1	4	2	15	2
OP70	压套	1	1	2	15	2
OP80	精磨两端面	1	20	2	10	2
OP90	倒角	1	5	2	40	2
OP100	半精镗大孔、铣瓦槽	1	5	2	40	2
OP110	精镗大小头孔	2	2	2	10	2
OP120	珩磨大头孔	1	1	2	15	2
OP130	清洗	1	4	2	17	2
OP140	综合检测	1	2	2	5	2

2.2 系统动力学概述

系统动力学(System Dynamics, SD)是 1956 年由 MIT 的 J.W.Forrester 教授创立的^[10], 它结合了系统论、控制论、信息论、决策理论、伺服机械学及计算机仿真的核心内容, 是一门认识复杂系统和解决系统中动态复杂问题的学科^[11]。

系统动力学理论中两个重要的组成要素是存量和流量, 流量是某种流的流动速率, 是单位时间内的存量, 存量是某种流在一段时间内的积累量, 代表了系统在某一时刻的状态。流量连接了同一种流的不同存量状态, 决定了存量变化的快慢, 存量的变化又依靠流量随时间的积分实现^[12], 因此存量和流量之间的关系是多个一阶微分方程。系统中的存量、流量和各种因素(辅助变量)组成因果反馈的环, 互相影响, 环环相扣。可以看出系统动力学建模方法能显示出系统的微观本质结构, 系统整体的结构框架是由不同的回路组成的, 回路中要素之间的因果关系和流动方向体现了系统的逻辑结构, 图中隐藏的要害之间的数量关系是用微分方程描述的, 这种方法非常适用于研究复杂的、非线性的和带有延迟现象的系统性问题。

2.3 对连杆生产线建模

使用系统动力学方法的目的是分析生产系统

中的变量因素对生产线平衡率等性能的影响, 所以建模的关键是要确定生产线的结构, 找出生产要素, 描述它们之间相互作用的关系。此条连杆生产线的 14 个加工工序具有高度的相似性, 因此将每个工序作为一个结构单元, 研究它的组成, 再将 14 个单元连接起来, 就可以构成整条生产线。

图 1 表示了每个加工工序中包含的可能影响生产效率的因素, 以及这些影响因素对生产效率的反馈作用。

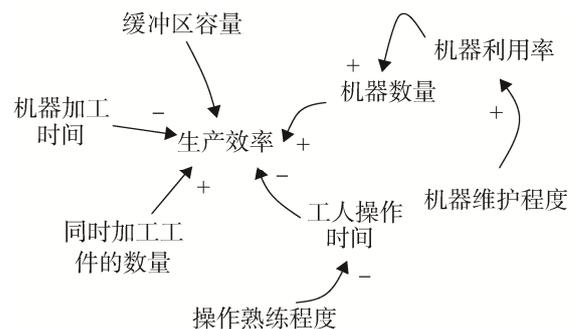


图 1 影响因素和生产效率的因果关系图
Fig. 1 Causal relationship diagram between influential factors and production efficiency

图 1 中, 我们的目标是生产线的产能和平衡率等性能指标, 直接对其产生影响的是机器的数量、工序的加工时间、工人操作的时间、机器的稳定性等, 而周围的机器维护程度、工人操作的熟练程度、

机器的利用率、一台机器可以同时加工的工件数、缓冲区容量等这些因素也会影响到这些主要因素，从而对最终的目标产生影响。根据上面的分析，在 AnyLogic 软件环境中搭建出一个加工工序的系统动力学仿真单元，如图 2 所示。

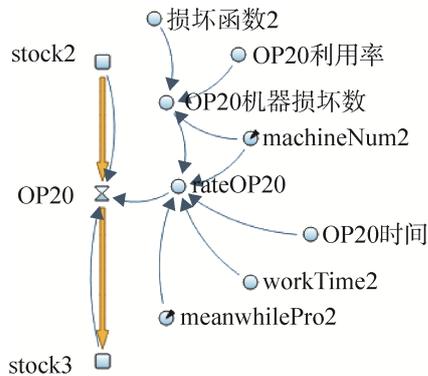


图 2 加工单元的系统动力学模型
Fig. 2 System Dynamics model of process unit

以加工工序 OP20 为例进行说明，上游库存 stock2 经过流量 OP20 流入下游库存 stock3，它表示上一道工序加工完的产品以 OP20 的速度在 OP20 工位上进行加工，加工结束后缓存在 stock3 中，作为下一道工序的待加工品。OP20 由三部分组成，最主要的是计算出来的加工速度 rateOP20，rateOP20 的表达式如下

$$\text{rateOP20} = \frac{(\text{机器数量} - \text{机器损坏数}) \cdot \text{同时加工工件数}}{\text{机器加工时间} + \text{workTime2}} \quad (2)$$

其中，同时加工工件数和机器加工时间是固定值，机器数量可以在系统中调节。本系统中考虑了工人操作的熟练程度，引入一个取值范围是 0.01~1 的变量 proficiency，workTime2 则是一个服从均值固定，方差是 1-proficiency 的正态分布的随机变量，因此 proficiency 越大，工人操作的越熟练，workTime2 波动越小，均值来自生产线实际生产数据。为了符合实际情况，如果产生小于 0 的 workTime2，那么令 workTime2 等于操作均值时间。机器损坏数量和损坏函数的计算方法如式(3)~(4)：

$$\begin{aligned} \text{机器损坏数} &= \\ \text{机器数量} \cdot \text{损坏函数2} \cdot \text{OP20利用率} & \quad (3) \end{aligned}$$

损坏函数 =

$$\max\{0, \text{normal}(0, 1 - \text{maintainLevel})\} \quad (4)$$

本文用机器的维护水平来衡量机器运行的稳定性，设置一个取值范围是 0.01~1 的浮点型变量 maintainLevel，表示机器的维护水平，机器的损坏概率是一个服从在 0~1-maintainLevel 范围内取值的均匀分布，因此维护水平越高，损坏概率波动的范围就越小，机器出故障的概率越小，机器运行就越稳定，损坏的机器数量越少。

除此之外，生产线的加工还受到上、下游库存的限制，即上游库存为 0 的时候停止加工，下游库存达到库存上限时也要停止加工。再结合式(2)，最终 OP20 加工速率的表达式如式(5)

$$\text{OP20} = \text{rateOP20} \cdot \text{上游库存限制} \cdot \text{下游库存限制} \quad (5)$$

当然 OP140 的下游积累量就是完成品，OP10 的上游库存是不断上线的原材料，引入上线间隔时间变量 interArrival 控制原材料的流动速度，作为加工开始的部分。再将各个单元连接起来，构成整个仿真模型，如图 3 所示。

3 仿真结果分析

在 AnyLogic 软件环境中搭建了一个仿真系统，包括模型展示视图，数据显示视图和参数调节视图。模型视图是仿真的骨架结构；数据视图是生产线性能的量化和可视化显示，一共统计了 8 种数据，分别是：机器利用率、库存情况、生产线平衡率、平均生产速度、瞬时生产速度、上线间隔时间、在制品数量和完成品数量；参数视图是使用者与程序交互的接口，通过修改值的大小，方便分析不同参数值会产生何种结果。

3.1 基于初始数据的仿真

机器数量采用工厂提供的现有数据，机器维护水平和工人操作熟练程度都设置成 0.99，仿真总时间 4 000 s，统计了几组不同上线间隔时间的仿真结果，如表 2 所示，机器使用率和库存情况见图 4。

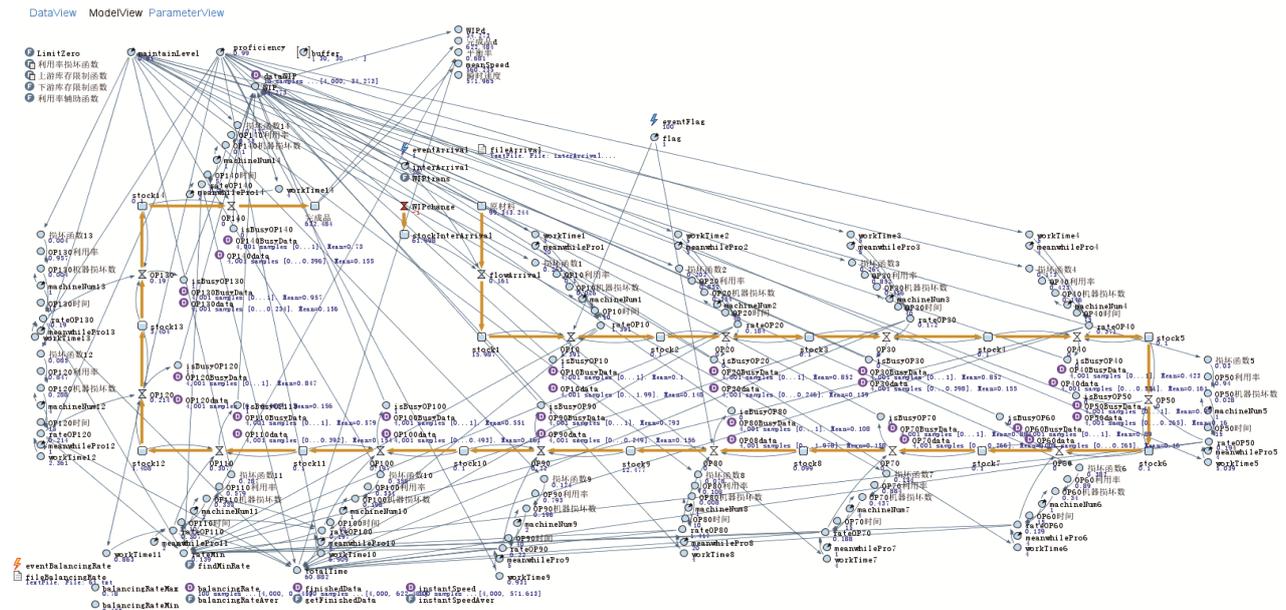


图 3 基于系统动力学的连杆生产线模型视图

Fig. 3 Model view of a connecting rod production line based on System Dynamics

表 2 不同上线间隔时间下的仿真结果

Tab. 2 Simulation results at different online intervals

上线间隔时间/s	完成品数量/件	在制品数量/件	平衡率/%	瞬时生产速度/ (件/h)	平均生产速度/ (件/h)
200	189.01	10.993	35.2	194.698	170.109
150	205.221	61.439	35.6	194.472	184.699
100	208.528	191.477	34.8	194.455	187.675

机器使用率

- OP10: 0.044
- OP20: 0.285
- OP30: 0.574
- OP40: 0.166
- OP50: 0.304
- OP60: 0.27
- OP70: 0.977
- OP80: 0.032
- OP90: 0.46
- OP100: 0.141
- OP110: 0.176
- OP120: 0.947
- OP130: 0.256
- OP140: 0.21

库存

- stock1: 6.767
- stock2: 0.1
- stock3: 0.1
- stock4: 0.1
- stock5: 0.1
- stock6: 18.18
- stock7: 30
- stock8: 0.1
- stock10: 0.1
- stock11: 0.1
- stock12: 5.503
- stock13: 0.1
- stock14: 0.1

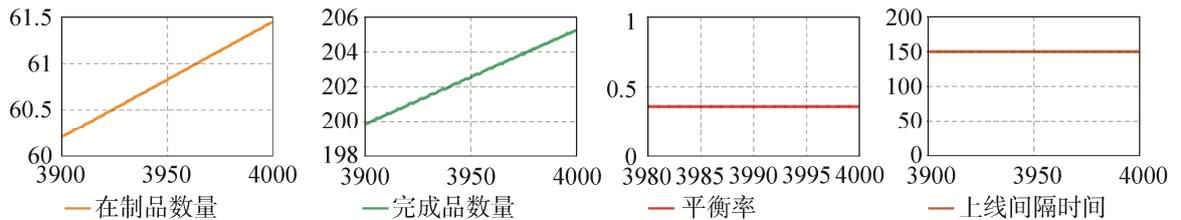


图 4 上线间隔为 150 s 时的仿真结果图

Fig. 4 Simulation results at the 150 s online interval

从仿真结果来看,原料上线间隔时间越短,平均生产速度越快,相同时间内完成的产品数量越多,因此适当减小原材料的上线间隔时间有利于提高生产效率。但是上线间隔时间减小到一定程度时,生产速度几乎不发生明显变化,而且在制品数量持续增加,说明上线间隔已经减小到一个极限,生产线已经发挥最大生产能力,各工位的缓冲区内工件发生堆积,此时生产效率受到瓶颈工序的限制。

目前生产线平衡率只有35.2%左右,说明这条生产线的平衡情况非常差,还处于粗放状态。机器使用率排在前三位的工序分别是OP70、OP120和OP30,OP70的机器使用率已经达到了0.95以上,几乎处于满负荷状态,而OP40、OP10和OP80等机器使用率相对较低。同时stock7的缓存工件明显高于其他缓冲区,stock12缓存也较多,说明此生产线瓶颈工序是OP70、OP120及OP30,需要对其

其进行平衡优化。

3.2 自动调节上线间隔时间

一般来说,上线间隔时间越小,平均生产速度越快,因此人们往往将上线间隔设置的比较小,但是这又会导致在制品堆积,超过生产线的生产能力,造成不必要的浪费。因此本系统设置了一个自动调节上线间隔时间的机制,基本原理是引入在制品数量的反馈,从较小的上线间隔开始,根据在制品(WIP)数量,逐渐增加上线间隔时间,保持WIP稳定在一个固定的值附近,便于操作人员找到一个合适的上线间隔时间。

仿真结果在表3中,机器使用率和库存情况如图5所示。从结果可以看出,自动调节上线间隔的系统也能达到较高的生产速度,同时能将在制品数量稳定在一个较低的水平。

表3 自动调节上线间隔后的仿真结果

Tab. 3 Simulation results at auto-adjusting online interval

上线间隔时间/s	完成品数量/件	在制品数量/件	平衡率/%	瞬时生产速度/(件/h)	平均生产速度/(件/h)
自动	209.783	32.456	36.1	194.348	188.805

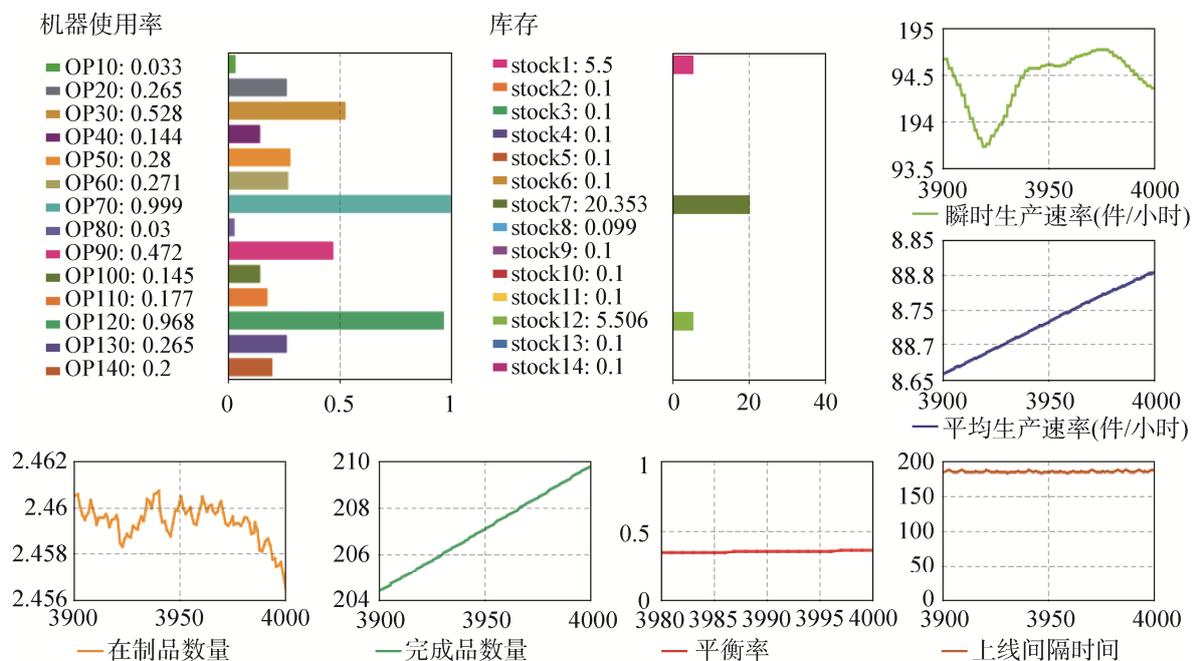


图5 自动调节上线间隔后的仿真结果

Fig. 5 Simulation results at auto-adjusting online interval

绘制上线间隔随时间变化的数据,如图 6,上线间隔时间大约经过 176 s 的时间迅速从 20 s 增长到 185 s,并稳定在这个值附近,做微小的波动。这样即使人为将上线间隔设置的非常小,系统也可以通过反馈自动做出调节,直到在制品数量稳定。

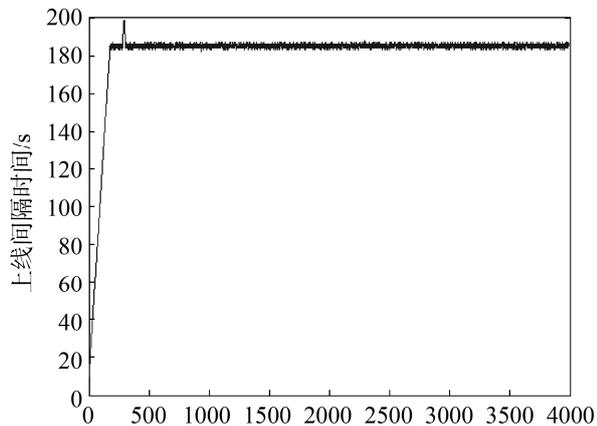


图 6 上线间隔随时间变化的曲线
Fig. 6 Online interval trend with time

3.3 调节机器数量后的仿真结果

根据上一部分分析的结果,工序 OP70、OP120 和 OP30 是主要的瓶颈工序,因此首先将这三个工序的加工机器数量分别加上 1 台,在其他参数相同的情况下,仿真 4 000 s,结果记录在表 4 中。

表 4 平衡后的仿真结果
Tab. 4 Simulation results after balancing

机器数量 /台	完成品数 量/件	在制品数 量/件	平衡率 /%	瞬时生产 速度/(件 /h)	平均生产 速度/(件 /h)
17	209.783	32.456	36.1	194.348	188.805
21	407.498	30.984	53.7	377.135	366.748
25	714.181	39.052	77	682.484	643.763
相对于初始参数设置下仿真结果的增长比例					
0.235 29	0.942 474	-0.045 35	0.487 535	0.940 51	0.942 47
0.470 59	2.404 38	0.203 229	1.132 964	2.511 66	2.409 67

从表 4 可看出,平衡率提高到了 53.7%,变化显著,平均生产速度也提高了 0.94 倍左右,而机器数量总和相比于原来的 17 台只增加了 23.5%。但是从库存情况来看,此时工序 OP90 的缓冲区有积累,机器利用率也很高,因此将 OP90 机器数量

增加 1 台,OP70 和 OP120 机器数量再各增加 2 台,结果仍然记录在表 4 中。所示,此时平衡率达到 77%,可认为是进行了比较科学的管理,平均生产速度也提高到原来的 2.404 倍,平衡结果比较理想。

3.4 机器维护水平对平衡率稳定性的影响

为了进一步研究机器维护水平对于生产线平衡率稳定性的影响,本文还进行了如下的实验:调节机器维护水平 `maintainLevel` 从 0 开始,每次增加 0.1,直到变成 1,一共进行 11 组实验,绘制出仿真中出现的平衡率最大值、最小值和最后 20 s 的平均值随时间的变化曲线,如图 7 所示。

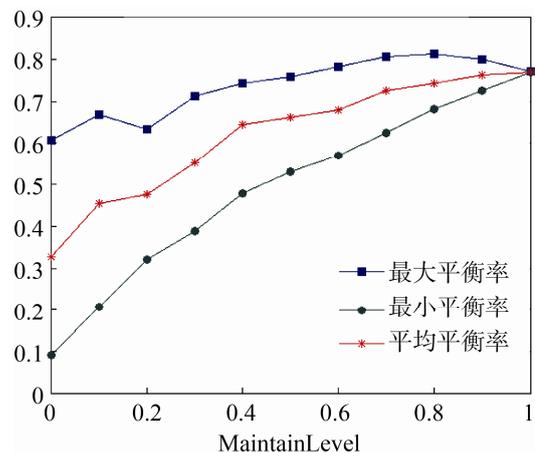


图 7 平衡率随维护水平变化图
Fig. 7 Balancing rate trend with maintain level

总体上来看,维护水平增加,三种平衡率都在增加,但是最大平衡率增加的越加缓慢,最小平衡率增加的也是越加缓慢,但还是要比最大平衡率增加的快一些,这样最后这三个平衡率越来越接近,说明平衡率越来越稳定。当 `maintainLevel` 是 1 的时候,三者汇于一点,说明系统平衡率很稳定。为了表示平衡率的稳定程度,用式(6)表示不稳定性。

$$\text{instability} = \frac{\text{最大平衡率} - \text{最小平衡率}}{\text{平衡率平均值}} \quad (6)$$

绘制 `instability` 随 `maintainLevel` 的变化情况,如图 8 所示,也可以看出,机器维护程度越高,平

衡率越稳定,最后不稳定性已经达到0,说明平衡率基本不变化。

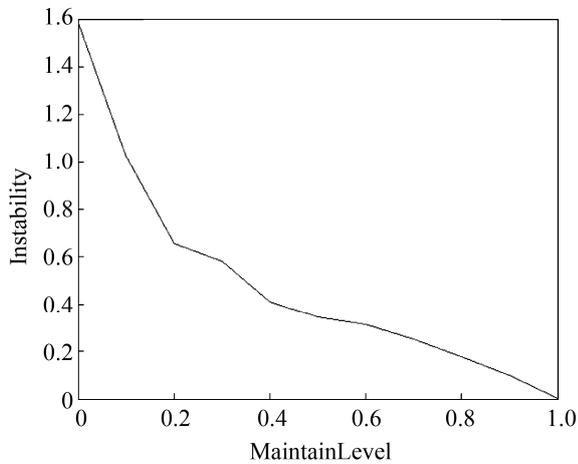


图8 不稳定性随维护水平的变化情况
Fig. 8 Instability trend with maintain level

3.5 工人操作熟练程度对平衡率稳定性的影响

工人操作数量程度 proficiency 会影响工人装卸工件的时间,这个时间影响了工序的加工速度,自然对平衡率也会产生影响。为了分析 proficiency 变量对平衡率的影响,本文从 0.01 开始,每次增加 0.1,最后一次 proficiency 为 1,一共进行 11 次实验,同样绘制出三种平衡率及不稳定性随操作熟练程度的变化曲线图,如图 9 所示。

从图 9 中可以看出,工人操作熟练程度越高,仿真过程中平衡率的波动越小,系统越稳定。用线性回归拟合图 8 和图 10 中的曲线,结果分别是 $y = -1.2542x + 1.1217$ 和 $y = -0.1574x + 0.1749$,因此可以认为 proficiency 影响不稳定性下降速度比 maintainLevel 的要小了近 7 倍,说明工人操作熟练程度对平衡率的影响比机器维护水平对平衡率的影响要小,这是因为工人装卸时间都在几秒左右,而机器加工时间都在几十秒左右,并且每台机器同时加工的工件数量也不等,后者占了工序加工总时间的大部分比例,因此可以理解为机器维护水平对平衡率影响更大。

从以上仿真结果来看,机器数量、工人操作时间和机器操作时间是直接影响生产效率和平衡性

能的关键因素,平衡优化策略可以从以下三个方面制定:(1)工序 OP70、OP120 及 OP30 是此条生产线的瓶颈工序,应该在不超过预算和加工成本的前提下增加三个工序的机器数量。(2)熟练的工人会加快生产的进行,工人的技能也会随着时间发生变化,因此提高平衡性的一个方法是在考虑工人技能遗忘曲线的前提下,增加可以从事多个工序工作的工人数量,让他们在瓶颈工序之间轮换,而非瓶颈工序可以由具有单一技能的工人来完成。(3)定期对机器进行维护,实时监控机器运行状态,建立合适的决策模型来对预测机器故障,做到及时发现故障机器,准确诊断故障来源,维护生产线稳定运行。

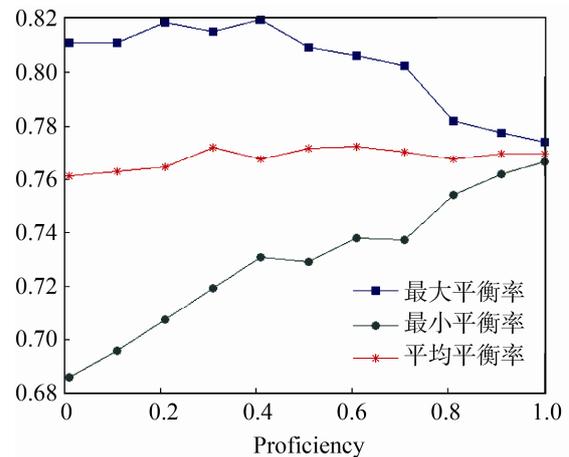


图9 平衡率随工人操作熟练程度变化情况
Fig. 9 Balancing rate trend with work operating proficiency

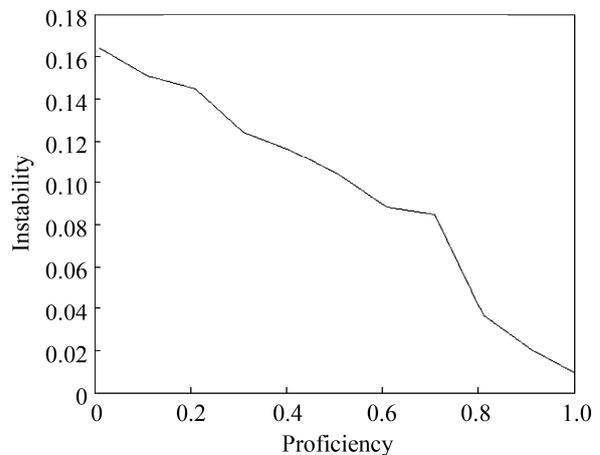


图10 不稳定性随工人操作熟练程度的变化情况
Fig. 10 Instability trend with work operating proficiency

4 结论

本文从系统动力学的角度建立汽车连杆生产线的仿真模型, 在 AnyLogic 软件中实现了这个仿真系统, 分析了生产线中可能存在的影响因素有: 加工机器的数量、加工时间、工人操作时间、机器运行中的损坏概率、工人操作熟练程度等, 并在 AnyLogic 软件环境中搭建了连杆生产线的仿真系统。相比于离散事件仿真, 本文所建立的模型揭示了生产线微观结构和不同要素的关联关系, 更加体现了系统的本质和运行机制。

在基于系统动力学的连杆生产线仿真系统中做了一定的分析和平衡优化: 分析了此条生产线的平衡率, 引入了自动调节上线间隔时间的环节, 根据仿真结果调节了机器数量提高了平衡率和生产效率, 还探究了机器维护水平和工人操作熟练程度对平衡率稳定性的影响。未来的工作将会在这个系统上对汽车连杆生产线做进一步的分析和优化。

参考文献:

- [1] 姚海凤, 冯勋省, 郭丁俊. 基于eM-plant的汽车零部件生产线平衡技术的仿真研究[J]. 物流技术, 2010, 29(12): 114-117.
Yao Haifeng, Feng Xunsheng, Guo Dingjun. Simulation Study on Balancing Technology of Automobile Spare Parts Production Line Using eM-plant[J]. Logistics Technology, 2010, 29(12): 114-117.
- [2] 陈诚和. 基于仿真优化的制造企业生产线平衡问题研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
Chen Chenghe. Research on Line Balancing Problem of Manufacturing Enterprises based on Simulation Optimization[D]. Hefei: Hefei University of University, 2007.
- [3] 冯袁. 汽车零部件生产线平衡建模与仿真技术[D]. 北京: 清华大学, 2012.
Feng Yuan. Balancing Modeling and Simulation Technology of Automobile Spare Parts Production Line [D]. Beijing: Tsinghua University, 2012.
- [4] 郭锭锋, 严伟. 基于eM_Plant的发动机装配线平衡研究[J]. 装备制造技术, 2010(3): 90-91.
Guo Dingfeng, Yan Wei. Study on Balancing of Engine Assembly Line Based on eM-Plant[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2010(3): 90-91.
- [5] 高广章. 生产线的平衡及优化方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
Gao Guangzhang. Research on Methods in Stream line Balancing and Optimization[D]. Changchun: Jilin University, 2004.
- [6] 赵燕春. 基于仿真的装配线平衡方法研究及应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
Zhao Yanchun. The Application and Research of Assembly line Balance Method Based on Simulation[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2012.
- [7] 李华. 基于eM_Plant的汽车焊装生产线仿真与优化技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
Li Hua. Modeling and Simulation of Car welding Process Based on eM_Plant[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [8] 朱琼, 陈雪芳, 田世勇, 等. 基于仿真技术的生产线平衡优化研究与应用[J]. 工业工程与管理, 2008, 13(4): 110-113.
Zhu Qiong, Chen Xuefang, Tian ShiYong, et al. The Application and Research of a Simulation-based Streamline Balance Method[J]. Industrial Engineering and Management, 2008, 13(4): 110-113.
- [9] 张敏. 基于离散事件系统仿真的曲轴生产线仿真与优化[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
Zhang Min. Simulation an Optimization of Crankshaft Production Line Based on Discrete System Simualtion[D]. Changsha: Hu'nan University, 2013.
- [10] Forrester J W. Industrial Dynamics:A Major Breakthrough for Decision Makers[J]. Harvard Business Review, 1958, 36(4): 37-66.
- [11] 钟永光, 贾晓菁, 李旭. 系统动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Zhong Yongguang, Jia Xiaojing, Li Xu. System Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [12] 李莉, 乔非, 吴启迪. 基于系统动力学的半导体生产线投料策略[J]. 中国机械工程, 2006, 17(23): 2507-2511.
Li Li, Qiao Fei, Wu Qidi. System Dynamics Based Release Policy for Semiconductor Wafer Fabs[J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(23): 2507-2511.