

基于 Simio 的绕线车间仿真与优化研究

张岳君, 郭 甲, 应柯杰, 雷常发, 牛延鑫, 林文文

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 绕线车间为一类单阶段的并机生产系统, 员工要完成手工插件和多台设备的上下料作业, 导致其行走距离过长而有效作业时间不足, 降低了设备的利用率和车间的整体产出, 同时绕线设备的产出受随机故障的影响. 为了优化员工的作业结构和提升车间的生产效率, 本文从车间布局、设备、人员、人机匹配及作业等角度提出了 5 种改进方案, 并用 Simio 仿真软件对不同方案的改进效果进行了测试. 仿真结果表明, 增加员工的插件数量与半成品/成品的携带量可以显著优化员工的作业时间构成, 提升车间的人均产出 5%, 设备平均利用率上升 6%, 也就是说, 作业流程优化有助于协调生产系统中的人机匹配关系并提升系统效率.

关键词: 仿真; 车间布局; 设备故障; 作业优化

中图分类号: F273

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 06-0044-05

工业环境下生产系统的运作机制通常较为复杂, 特别是涉及员工与不同设备之间的协同作业问题, 很难对此进行数学建模与分析. 同时, 生产系统面临较多的不确定性因素, 如设备故障、产品质量和加工时间等, 当这些不确定性因素与系统的运作交互以后, 针对生产过程的量化评估将变得十分困难. 而离散事件仿真技术能够准确建模生产系统的运作过程与不确定性要素, 并通过计算机软件的运行获取系统中不同环节的变量特征, 这为许多企业的车间规划和改进方案的评估提供了技术支持, 在解决车间的实际问题时获得了广泛的应用.

葛安华等^[1]对制动器生产线进行了改善, 采用 Flexsim 仿真, 结果显示新方案解决了生产线不平衡与人员负荷不均的问题. 龚立雄等^[2]采用 Flexsim 软件建立了摩托车涂装仿真模型, 对瓶颈位置进行了二次优化, 使生产线达到了平衡. 肖燕等^[3]通过 Witness 评估了某发动机总装线的绩效, 表明看板系统可以减少在制品库存、提升生产率. 贾晨辉等^[4]采用 eM-Plant 模拟了发动机缸盖的加工生产线, 通过仿真分析找出了瓶颈工序, 优化了生产线

配置. 潘国强等^[5]在 Simio 仿真软件环境下分析确定了电机装配线上缓存区间位置和容量, 大幅提高了装配线的产出. Bako 等^[6]以某公司为例分析了生产计划层面对仿真技术的应用, 优势在于能够充分反映车间各项不确定性的影响, 提升生产计划的可行性. Korytkowski 等^[7]对微电子组装线的仿真结果显示, 均衡化策略能缩减组装线的产出时间和在制品数量. Vieira 等^[8]用仿真方法评估了不确定环境下调度计划的鲁棒性, 这在航空和铁路领域也具有一定的应用性. 从上述研究工作中可以看到, 一些仿真软件已成为评估生产系统绩效的重要工具, 本文将选取其中的 Simio 软件作为仿真建模的平台.

本文以某公司的绕线车间为例, 从车间布局、设备、人员、人机匹配及作业等角度提出了 5 种改进方案, 采用仿真方法对这些方案与现状进行测试和分析. 在罩极电机生产的工艺流程中, 电机的绕线作业是一个重要环节, 公司将此工序独立为一个车间进行生产(图 1). 当前绕线车间存在的主要问题是, 员工要完成操作台上的手工插件和多台设备的上下料作业, 导致其行走距离过长而有

收稿日期: 2017-12-31.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(LQ16G010002); 宁波市自然科学基金(2017A610141); 浙江省教育厅一般项目(Y201533530); 宁波大学学科项目(H2L1519); 宁波大学引进人才科研启动基金.

第一作者: 张岳君(1983-), 男, 浙江宁波人, 博士/讲师, 主要研究方向: 制造系统的集成优化与控制. E-mail: zhangyuejun1@nbu.edu.cn

效作业时间不足, 降低了员工对于设备的响应速度. 本文目的在于通过上述不同改进方案与现状的测试比较, 寻找出优化员工作业时间构成和提升车间产出的有效方法, 为减轻员工负荷和提升车间效率提供一定参考.



图1 绕线车间内的作业员工和设备

1 绕线车间的问题描述与分析

1.1 员工的作业流程与问题

绕线作业由员工与半自动化设备共同完成. 员工先在操作台上完成手工插件, 即将塑料端盖上方插入定子, 之后将绕线用的塑料插件沿着卡槽从下方插入定子, 通过这3种零件的组装得到一个可以放在设备上上进行绕线作业的半成品.

完成上述插件作业以外, 员工还需进行绕线设备的上下料操作. 设备在完工后会自动停止, 上料是员工将上述半成品安装至已完工的绕线设备, 下料是员工卸下设备上的成品并安放至靠近操作台的料架上, 产品的变化过程如图2所示.



图2 不同作业阶段的产品变化

员工在工作中会同时负责多台设备, 在不同设备与操作台/料架之间行走时可以携带2个半成品/成品. 在上下料期间如果只有1台设备完成加工, 那么员工将回到操作台继续进行插件. 当所负责区域内的多台设备同时完工时, 员工会选择最近的设备进行上下料, 其他设备会由于员工不能及时响应而出现闲置. 图3描述了员工的主要作业流程, 由于员工闲置的现象较少而未作考虑. 当前车间内共有3名员工分别负责不同的作业区域, 作业内容和流程基本一致.

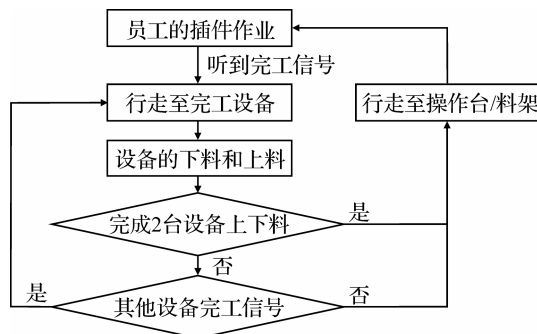


图3 员工的作业流程

尽管作业内容较为简单, 但员工在设备上上下料一个周期内的平均行走距离为10m, 使员工超过半数的作业时间用于这一不产生价值的环节, 而有效作业的时间存在不足. 距离导致的另一个问题是降低了人员对于设备的响应速度, 影响到了设备的利用率以及车间的整体产出. 此外闲置休息较少也容易使员工产生疲劳, 降低其工作效率, 因此本文的其中一个目的便是寻找缩短员工行走距离、优化员工作业时间构成的方法.

1.2 车间的平面布置

绕线车间整体呈矩形, 车间长31.00m, 宽8.00m. 绕线车间内分为3个区域, 3名员工分别在各自区域内完成半成品的插件和设备的上下料. 每个区域中间有1个长为1.66m, 宽为1.02m的操作台与料架, 绕线设备的平面布置如图4所示, 其中设备分A、B、C3个类别, 按照A-B-C-A-B-C...的顺序依次摆放. 车间已尝试通过调整布局来提升其生产效率, 即将部分设备调整至其中1个操作台的位置, 而实际的运行结果并不令人满意且调整的成本较为高昂, 因此本文将从其他角度提出改进方案, 测试其对绕线车间效率的影响.

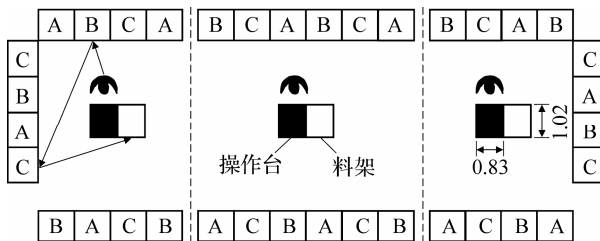


图4 绕线车间的平面布局(m)

1.3 绕线设备与故障

半自动化的绕线设备长1.55m, 宽1.10m. 设备内置电机, 通过气泵的气压来输出动力, 所有设

备共用同一台气泵。根据工作效率与可靠性水平的差异,可将设备分为3类:A类设备完成相同绕线作业所需时间最短,可靠性最好;B类设备完成相同绕线作业所需时间次之,可靠性次之;C类设备完成相同绕线作业所需时间最长,可靠性最差。

同类设备完成相同作业内容所需的时间一致,但在作业期间会受到随机故障影响而发生生产中断。故障形式主要有以下2种:(1)绕线过程中对漆包线施加过大的拉力,导致漆包线断裂,需要将断线处理后重新插入设备针孔;(2)设备加工过程中继电器失效,需要维修或更换。设备故障后所需维修时间 2.50~4.00 min 不等,对应地降低了设备的生产效率。

2 绕线车间的改进方案

根据绕线车间的运作特点,从不同角度提出5种改进方案,目的在于通过后续方案的仿真测试来获取改进车间运作绩效的途径。

方案1:调整设备的布局次序。

现有车间内的设备按照 A-B-C-A-B-C... 的布局次序摆放,这里考虑到车间空间约束,仅对设备的布局次序进行调整,即将设备次序设置为 A-A... B-B... C-C...,而员工的作业区域划分方式不进行变动。

方案2:调整人机匹配规则。

将现有车间的3个独立工作区域融合为一个整体,3个员工同时对所有设备负责,作业流程和车间布局保持不变。人机匹配规则的调整实现了员工资源在车间范围内的共享,存在的不足是员工可能因此行走更远的距离。

方案3:提升设备性能。

将车间内所有设备更换为性能最好的A类设备。通过这一方案可以直接提升设备的生产效率,而如果车间的瓶颈主要是员工方面,则设备性能提升所带来的效率提升将较为有限。

方案4:增加员工数量。

在现有设备布局不发生变化的条件下,新增1名作业员工并将每名员工所负责的区域进行均匀划分。其带来的好处是可以压缩员工的行走范围,快速响应设备的上下料需求,同时可将更多时间用于插件作业,提升员工的有效工作时间。

方案5:增加员工的插件量和半成品/成品的携带量。

将员工的插件量和半成品/成品携带量的下限设置为2个,上限设置为4个。员工在操作台插件时,仅当半成品数量大于等于2个后才对设备上下料需求立即做出响应,且需携带所有的已完工半成品,这样有助于控制员工在操作台与设备之间的行走频率。

在绕线车间运作过程中,设备性能和员工数量是2项最重要的参数,因此方案3和方案4考虑通过调整这2项参数来提升车间的产出,然而提升设备性能和增加员工数量会导致企业运营成本的上升,是否采用这些方案很大程度上取决于实际的改进效果。

3 仿真测试与结果分析

采用 Simio 仿真软件对上述5个方案与现状进行比较,测试的指标包括员工作业时间的构成、每名员工的产出及设备利用率。

3.1 仿真建模与参数设定

由于 Simio 软件版本的原因,仿真建模的实体数量受到限制,需要在不影响系统运作的条件下将原先车间的员工与设备数量进行压缩,这里考虑除去绕线车间中间部分的设备和人员,而两边保持不变(图5)。仿真过程中距离参数按照实际测量值设置,同时所有原材料、零部件以及各类工具供应充足,不会发生短缺。员工的熟练度相同,且在连续作业过程中保持效率不变,如果员工处于闲置状态则可迅速响应设备完工后的上下料需求。

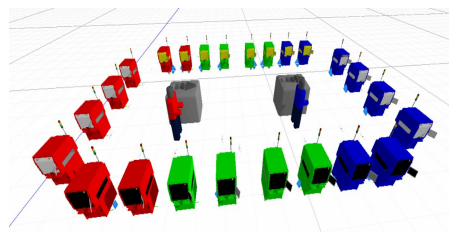


图5 Simio 软件的仿真建模

员工在操作台完成1次插件作业需耗时15s,在绕线设备完成上下料需耗时5s,员工行走速度约为 $1.50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。不同设备的绕线时长、故障分布及每次故障的维修时长见表1。Simio 仿真的时长设定为每天工作8h,独立运作100次。

表1 设备性能参数

设备	绕线时长/min	故障分布/h	修理时间/min
A	3.17	$U(6.10, 7.80)$	$U(2.50, 4.00)$
B	3.46	$U(5.20, 6.00)$	$U(2.50, 4.00)$
C	3.75	$U(2.00, 3.80)$	$U(2.50, 4.00)$

3.2 仿真结果分析

3.2.1 员工的作业时间构成与产量

图6和图7分别比较了不同改进方案与现状之间的作业时间构成与不同员工的实际产出, 图中2个衍生的比值 ρ 和 η 分别为:

ρ =员工有效作业时间/(行走时间+闲置时间),

η =方案*i*的人均产量/现状的人均产量.

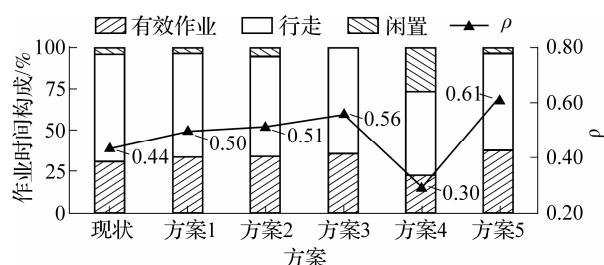


图6 员工的工作时间构成比较

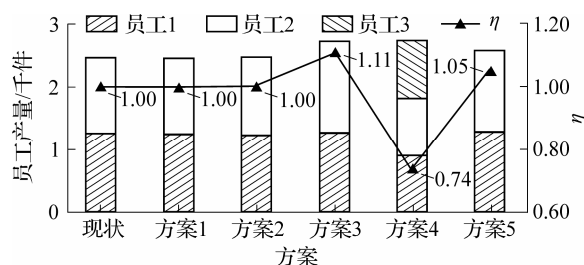


图7 不同员工的产量比较

由于不同设备完工时间的随机性, 方案1中调整设备的布局次序和方案2中调整人机匹配规则对员工作业时间的构成(ρ 值)和产出(η 值)的影响不明显. 同时可以观察到, 在现状和前2个方案中仅包含了较小比例的员工闲置, 表明员工因素是绕线车间的主要瓶颈环节, 因此方案3在提升设备性能后只能通过压缩员工闲置时间来扩大产出.

方案4中增加员工的方法缩小了员工所负责的设备数量, 提升了其对设备的响应速度和车间的综合产出, 但是出现了较长时间的闲置, 员工的人均产量下降明显. 同时, ρ 值呈现大幅下降, 与有效作业相比, 员工的行走频率进一步上升. 这是因为在这一方案中员工在完成某台设备的上下料作业以后未出现其他设备响应需求的情形增多, 导

致员工在设备与操作台/料架之间的往返更为频繁(图3).

方案5通过增加员工的插件量和携带量可显著地提升 ρ 值, 优化员工的作业时间构成, 提升员工的实际产出5%. 这是因为在这一方案条件下, 员工可在无设备上下料需求时将更多时间用于插件作业, 又能通过增加半成品/成品的携带量来快速响应多台设备同时完工的情形, 有效减少了员工在设备与操作台之间的行走频率.

3.2.2 设备利用率分析

图8(a)给出了改进方案和现状条件下不同设备的利用率, 图8(b)对上述设备利用率进行了平均化处理, 可以看到前3个方案与现状之间的变化不明显, 而方案4和5的产能改进优势较为显著. 方案4在新增员工后缩减了每位员工所对应的设备数量, 可提升员工对设备上下料的响应速度, 但是容易引发人员闲置问题, 增加企业的运营成本.

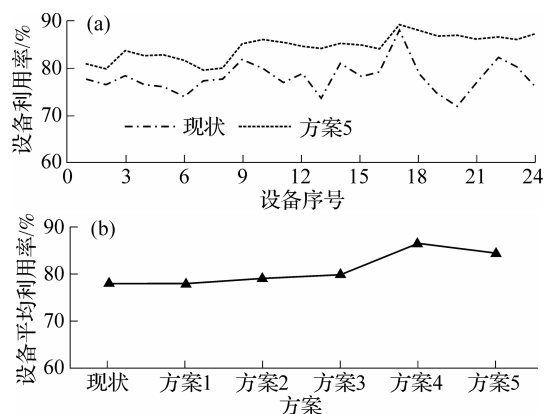


图8 不同绕线设备的利用率与平均利用率

与方案4相比, 方案5的设备利用率有所降低, 但仍比现状提升了6%, 这是因为通过增加员工的插件量和半成品/成品的携带量可以更好地处理多台设备同时完工的情形, 减少了员工在设备与操作台之间往返的次数. 综合来看, 方案5能够优化员工的作业构成、提升设备利用率及车间的综合产出, 且改进的成本可控, 因此最值得付诸实施.

4 总结

本文研究的绕线车间是一类单阶段的并机生产系统, 但是运作过程包含了复杂的人机协作问题, 涉及插件作业-物料携带-人员走动-设备上下料等一系列的动态响应机制. 针对车间的运作特

点,本文提出了5种改进方案,并将这些方案与现状在Simio软件上开展了测试比较,目的在于优化员工的作业时间构成,提升车间的运作效率.仿真结果表明:(1)调整设备布局与人机匹配规则的方法不能有效改善车间效率;(2)提升设备性能可以增加车间产出,但是压缩了员工少许的闲置时间,增加而不是缓解员工的作业负荷;(3)增加员工可以提升车间的产出,但是出现了员工较长时间的闲置;(4)提升员工的插件数量与半成品/成品的携带量可以较为显著地优化员工的作业时间构成,车间综合产出增加5%,设备利用率增加6%,同时此方案的改进成本可控,在实际中的可行性较高.

通常离散事件仿真针对的对象是各类多阶段系统,因此可根据仿真或实际测定结果查找瓶颈部位,并通过改进瓶颈部位的效率(如新增设备)来提升系统的效率.本文研究对象为一类单阶段的并机生产系统,与文献中涉及的多阶段系统存在较大差别,效率改进的主要方向是促进员工与设备之间的匹配关系,直接调整人员数量或设备性能反而会使原先的人机配比关系更加失衡,降低员工或设备的平均产出,而通过作业流程的优化能很好地满足这一“微调”需求,在成本可控的范围内取得较明显的改进,因此工业环境中涉及人机匹配与效率提升的问题均可从该角度开展研究.

参考文献:

- [1] 葛安华,张芸,朱晓琳,等.基于Flexsim的制动器装配线平衡设计与优化[J].中国设备工程,2016(12上):113-119.
- [2] 龚立雄,谭国,黄敏.基于Flexsim的摩托车涂装生产线仿真与优化研究[J].工业工程与管理,2014,19(3):122-126.
- [3] 肖燕,贾秋红,周康渠,等.某发动机总装线看板生产系统建模与仿真[J].计算机集成制造系统.2012,18(10):2175-2182.
- [4] 贾晨辉,张浩,陆剑峰.离散制造系统规划与仿真建模研究[J].计算机工程与应用,2007,43(3):242-245.
- [5] 潘国强,冯定忠.基于Simio仿真的随机型电机装配线优化研究[J].工业工程与管理,2013,18(2):65-70.
- [6] Bako B, Božek P. Trends in Simulation and Planning of Manufacturing Companies[J]. Procedia Engineering, 2016, 149:571-575.
- [7] Korytkowski P, Wisniewski T, Rymaszewski S. Multi-variate simulation analysis of production leveling (heijunka)—a case study[C]. 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control, 2013:1554-1559.
- [8] Vieira G E, Kück M, Frazzon E, et al. Evaluating the robustness of production schedules using discrete-event simulation[J]. IFAC Papers OnLine, 2017, 50(1):7953-7958.

Simio-based simulation and optimization for the rotor winding workshop

ZHANG Yue-jun, GUO Jia, YING Ke-jie, LEI Chang-fa, NIU Yan-xin, LIN Wen-wen

(Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The winding workshop is regarded as a single-stage parallel-machines production system. Workers assemble the components together, and load/unload the product for the machines. The problem is that workers have to walk a long distance between the machines and the operation desks, which restricts the effective working time and further lowers the machine utilization and the output. In order to optimize the operation and improve the production efficiency, five improving approaches from shop layout, facilities, operator, operation, and man-machine ratio for the workshop are proposed and further tested with Simio-based simulation. The simulation indicates that increasing the number of work pieces and the carrying number of WIP/final pieces helps to optimize the structure of working time, which further improves the output by 5% and the average machine utilization by 6%. In general, the proposed improvement approach is helpful to coordinate the man-machine configuration and increase the production efficiency.

Key words: simulation; layout; machine failure; operation optimization

(责任编辑 韩超)