

基于MES的板式定制家具企业生产计划调度

韩 静, 吴智慧

(南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037)

摘要: 为了解决板式定制家具企业生产计划调度的不确定性、约束性、精准性等问题, 提出工序级实时调度和车间级订单发放控制方案。基于工序负荷和设备产能的分析, 提出实时调度算法, 可及时调整工序间产能和负荷关系; 通过订单发放控制算法, 计算已投产订单和已发放订单负荷, 决定能否加入新订单、紧急插单和补单。通过制造执行系统(MES)的生产计划调度算法, 提高生产调度执行的灵活性和生产效率。

关键词: 板式定制家具; 制造执行系统(MES); 生产计划调度; 实时调度; 订单发放控制; 算法

中图分类号: TS664; F273 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2019) 03-0032-04

Production Planning and Scheduling Based on MES for Customized Panel Furniture Companies

HAN Jing, WU Zhi-hui

(College of Furnishing and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: In order to improve uncertainty, constraint and precision of production planning and scheduling for customized panel furniture companies, the authors proposed a solution of process level real-time scheduling and workshop level order distribution control. Based on an analysis of process load and equipment capacity, a real-time scheduling algorithm was developed to adjust relationship between the capacity and the load in time. The order allocation control algorithm was used to calculate the load of producing orders and granted orders and to decide whether new orders, urgent insertion orders and extra orders were needed. Application of the production planning and scheduling in a panel furniture production line showed significant improvement in production flexibility and efficiency.

Key words: customized panel furniture; manufacturing execution system (MES); production planning and scheduling; real-time scheduling; order releasing control; algorithm

制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES), 是面向生产管理领域, 用于管理产品生产全过程的系统, 适合于多品种、小批量产品的生产管理^[1]。板式定制家具企业在生产过程中, 常遇到客户

需求变更、临时插单撤单补单、设备异常等问题, 导致生产计划充满了不确定性^[2], 人工无法及时调整生产计划与调度。而引入MES进行生产计划调度, 将企业计划层的计划信息转变为生产指令, 针对生产异常、订单变更等不确定因素, 及时调整生产计划和车间派工, 从而达到生产作业的优化调度和制造资源的合理配置^[3-4]。

目前, MES系统在板式定制家具企业生产计划调度方面的应用, 主要集中在生产计划的制定和优

收稿日期: 2018-06-20; 修回日期: 2018-08-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目“木质家居柔性制造技术”(2018YFD0600300)。

作者简介: 韩静(1993—), 男, 南京林业大学硕士研究生。

责任作者: 吴智慧, 男, 南京林业大学教授。

化排产,而对生产异常调度的应对,尚缺乏全面研究。鉴于此,笔者分析板式定制家具企业生产计划调度特性,从不同角度研究MES系统环境下的生产计划调度,并为板式定制家具企业设计生产计划调度算法,旨在帮助企业解决生产计划与调度难题。

1 板式定制家具企业生产计划调度

1.1 特性

板式定制家具追求个性化设计,以消费者需求驱动生产,改变了以往的库存生产模式^[5],其生产计划调度具有如下特性。

1) 不确定性。板式定制家具企业生产计划调度的不确定性主要源自两方面:一是消费者需求变更的不确定性,主要包括销售订单产品和数量变更的不确定、销售订单转生产订单的不确定、临时插单撤单的不确定等^[6];二是生产工艺变更的不确定,如产品更新、工艺改进、材料更换等不确定因素。

2) 约束性。生产资源的有限,给生产计划调度带来了限制,要求生产计划调度必须结合当前或未来生产资源数量,生产资源数量也是随时变化的,如设备异常停机等,导致生产资源变少^[7]。

3) 精准性。板式定制家具企业生产车间物流混合、部件种类繁多,面对异常情况需要做出准确判断,精准调度资源,恢复有序生产,减少时间浪费^[8]。

1.2 MES环境下的生产计划调度

针对板式定制家具企业生产计划调度的特性,可从两个层面解决问题:

1) 实时调度:面向工序级。MES系统考虑现有生产状况^[9],尤其是设备异常停机情况下,发掘生产过程中超负荷或产能剩余的设备,指导生产现场进行负荷调整,平衡设备负荷,充分发挥设备的利用率、减少部件等待加工时间。

2) 订单发放:面向车间级。MES系统通过计算车间总体负荷与产能关系,对产能剩余的设备合理发放生产订单,以提高设备利用率,着重用于解决紧急插单、补单问题^[10]。

板式定制家具企业不断采用揉单生产方式,借助于MES系统,将多个订单中的部件按照相同工艺路线、相同封边模式等进行分堆,使其具有统一的加工路线,以分堆为单位进行流转,因而形成一定

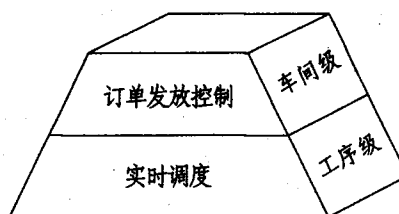


图1 板式定制家具企业MES生产计划调度层次

Fig.1 Production planning and scheduling levels of MES for customized-panel furniture companies

的生产批量。基于揉单生产方式、产能约束条件^[11]和MES数据采集功能,设计MES系统环境下板式定制家具企业生产计划调度算法,分别针对生产计划调度的两个层次,解决生产调度难题^[12]。

2 板式定制家具企业生产计划调度算法

2.1 实时调度算法

实时调度算法,源于板式定制家具企业生产管理现场,用以解决生产现场设备负荷不均衡的问题,原理是基于各设备的当前负荷与产能比较的结果,将各设备的多余负荷转移至产能剩余的设备,从而达到平衡设备负荷的目的。

1) 设备负荷计算 分为两部分:在加工的零件负荷与待加工的零件负荷。基于MES系统的数据采集模块,系统自动提取零件某工序的加工状态,将部件面积累加,得到设备负荷,可表示为:

$$PL = \sum_{i=1}^m p \cdot S^i + \sum_{j=1}^n S^j \quad (1)$$

$$TPL = \sum_{i=1}^f PL^i \quad (2)$$

式中:PL(Process Load)——某工序单台设备负荷;TPL(Total Process Load)——某工序所有设备总负荷; m ——在加工的零件数量; p ——零件未加工率; S^i ——第 i 个在加工零件的面积; n ——待加工的零件数量; S^j ——第 j 个待加工零件的面积; f ——该工序的设备数量。

2) 预加工时间计算 预加工时间是指负责加工某工序的所有设备按照各自的有效加工效率,完成所有在加工和待加工零件所需的时间,可表示为:

$$EC = \sum_{i=1}^f O_i \cdot C_i \quad (3)$$

$$T = \frac{TPL}{EC} \quad (4)$$

式中: EC (Effective Capacity) —某工序所有设备单位有效产能之和; o_i —第 i 台设备的加工效率; T —预加工时间; c_i —第 i 台设备单位产能。此参数值是不断变化的, 由系统取近期的实际产能平均值而获得, 并不断进行更新计算, 重新赋予新的参数值。

3) 设备负荷指数计算 设备负荷指数(Equipment Load Index, ELI) 用来表示当前设备的负荷状况, 以该设备在预加工时间条件下, 按照单位有效产能, 实际负荷与产能的比值表示。

$$ELI = \frac{PL}{T \cdot O \cdot C} = \frac{PL}{\frac{TPL}{EC} \cdot O \cdot C} = \frac{PL \cdot EC}{TPL \cdot O \cdot C} \quad (5)$$

若 $ELI > 1$, 则设备产能不足, 在预加工时间内无法按时完成; 若 $ELI = 1$, 则在预加工时间内刚好完成; 若 $ELI < 1$, 则设备产能过剩, 在预加工时间内将空载运行。

4) 负荷转移计算 负荷转移是指系统将产能不足设备的多余负荷, 转移到产能过剩的设备, 从而达到负荷均衡的目的。

板式定制家具企业车间物流以堆垛为单位流转, 引入堆垛平均负荷(Stacking Average Load, SAL)概念, 即堆垛的平均大小; 同时引入多余负荷量(Superfluous Load, SL)概念, 即产能不足的设备在预加工时间内多余的负荷。

$$SL = (ELI - 1) \cdot T \cdot O \cdot C \quad (6)$$

当 $SL \geq SAL$ 时, 需要进行负荷转移。转移原则是选取当前堆垛中与 SL 较为接近的堆垛, 将其派送给产能剩余较为接近的设备, 以平衡设备间的负荷。

2.2 订单发放控制算法

订单发放控制算法, 根据对车间当前生产任务和剩余产能的比较结果, 决定是否发放新订单。

车间级的生产订单主要有两类: 一类是已投产的订单(Producing Order, PO), 正在车间加工生产, 不能撤回; 另一类是已发放订单(Granted Order, GO), 即已经列入生产计划的订单, 此类订单已经转为生产任务, 一般也不允许更改。两类订单将全部计入当前的生产负荷。

$$SPL = \sum_{j=1}^a S_j \quad (7)$$

$$TPL_{PO} = \sum_{j=1}^n SPL^j = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^a S_i \quad (8)$$

$$TPL_{GO} = \sum_{j=1}^m SPL^j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^b S_i \quad (9)$$

$$TPL_O = TPL_{PO} + TPL_{GO} \quad (10)$$

算法中的变量定义如下:

SPL (Single Process Load) —单个订单工序负荷, a —订单内零件的数量, S_i —第 i 个零件的面积。

TPL_{PO} —已投产订单工序负荷总数, n —当前已投产订单数量, SPL^j —第 j 个订单的工序负荷。

TPL_{GO} —已发放订单工序负荷总数, m —当前已发放订单数量。

TPL_O —所有订单的总工序负荷。

引入车间有效产能 C , 即车间瓶颈工序的产能, 将总工序负荷与当前车间有效产能 C 进行比较。

若 $TPL_O \geq C$, 则说明设备负荷已经饱和, 无法加入新订单;

若 $TPL_O < C$, 说明当前产能剩余, 则需要进一步计算加入新订单后的产能负荷。

新订单产能负荷 SPL^N 为:

$$SPL^N = \sum_{i=1}^N S_i \quad (11)$$

若 $TPL_O + SPL^N \leq C$, 则可以加入新订单; 若 $TPL_O + SPL^N > C$, 则无法加入新订单, 可以考虑加班或者外协方式进行解决。

3 板式定制家具企业生产计划调度算法应用

3.1 实时调度算法

以某板式定制家具企业封边工序的调度情况为例, 说明实时调度算法的应用。该工厂封边工序共有 3 台封边机, 各台设备的有效产能、在加工负荷、待加工负荷, 列于表 1。

表 1 封边机设备负荷状态

Tab.1 Load state of edging machines

设备	有效产能/m ²	在加工负荷/m ²	待加工负荷 1/m ²	待加工负荷 2/m ²	待加工负荷 3/m ²	设备负荷 PL/m ²
柔性封边机	65	5	40	50		95
激光封边机	20	2	40	30		72
单边封边机	45	2	25	55	20	102

根据公式 2 计算出设备总负荷 TPL 为 269 m², 根据公式 3 计算出总单位有效产能 EC 为 130 m², 根据公式 4 计算出预加工时间 T 为 2.07 h 时, 堆垛平均负荷 SAL 为 30 m²。

根据公式5、6分别计算三台设备的设备负荷指数 ELI、多余负荷量 SL，列于表2。其中激光封边机与单边封边机的 ELI 指数大于1，处于过载状态，而柔性封边机 ELI 指数小于1，产能剩余。

表2 封边机设备负荷指数

Tab.2 Load index of edging machines

设备	设备负荷指数 ELI/m ²	多余负荷量 SL/m ²	预加工时间 T/h	原加工时间/ h
柔性封边机	0.71	-39.50	2.07	1.46
激光封边机	1.74	30.62	2.07	3.60
单边封边机	1.10	8.88	2.07	2.27
总加工时间			6.21	7.33

从多余负荷指数 SL 可以看出，激光封边机 SL > 堆垛平均负荷 SAL，其多余负荷 30.62 m² 与待加工负荷 2 接近，系统提示将堆垛 2 转移至柔性封边机处，车间操作人员只需根据提示，将该堆垛转移至目的地。

通过预加工时间与原加工时间的对比，可节约总加工时间 15%。可见该算法的实际应用效果。

3.2 订单发放控制算法

以某两日的订单负荷情况为例，如表3所示，算例1剩余产能为231 m²，算例2剩余产能为223 m²，新订单负荷为225 m²，可以安排在4月9日，而不能安排在4月10日。

表3 订单发放控制算法算例

Tab.3 Cases of order distribution control algorithms

算例	计划日期	已投产订单 负荷/m ²	已发放订单 负荷/m ²	车间有效产能 总和 C/m ²	剩余产能/m ²
算例1	2018.4.9	1151	440	1822	231
算例2	2018.4.10	1304	295	1822	223
新订单负荷					225

3.3 算法应用效果分析

以上算例来源于某板式定制家具企业，该企业的管理模式、工艺技术、设备状态等代表了行业内企业典型特征，因而该算法在板式定制家具企业具有普遍适用性，同时 MES 生产计划调度算法已在该企业取得了很好实际运用效果。

通过 MES 系统实时调度算法，物流流转率提高了 30%，设备利用率提高了 15%，同时订单的交货周期减少了 1.5 d，极大地改变了生产车间物流阻塞和调度困难的问题。物流人员只需根据系统指示，

将指定分堆运转到指定地点，实现点对点控制，从而减少零件被运转至错误工位的情况发生。

通过订单发放控制算法，也解决了紧急插单问题，在不影响其他订单生产的前提下，进行加急订单的生产安排，在一定程度上减少了车间设备负荷和人员加班的几率，订单交期准确率从 70% 提高到 90%。

4 结语

根据板式定制家具企业生产计划调度存在的问题，总结了板式定制家具企业生产计划调度特征，并基于 MES 系统的生产计划调度模块，提出了两个层面的调度算法。

该系统的有效性和实用性在某板式定制家具企业得到了验证，提升了车间调度效率和订单准时交货率，解决板式定制家具企业实时调度、紧急插单问题，促进企业提升生产效率和设备利用率，缩短交货周期，提高了客户满意度，提升了企业的市场竞争力。

参考文献:

- [1] 夏刚. 浅谈企业车间 MES 生产调度的设计分析[J]. 电子技术与软件工程, 2017(2): 201.
- [2] 熊先青, 吴智慧. 大规模定制家具的发展现状及应用技术[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(4): 156-162.
- [3] 熊先青, 郭伟娟, 黄琼涛, 等. 大规模定制家具数字化制造质量管控技术研究[J]. 林业工程学报, 2017, 2(4): 152-157.
- [4] 熊先青, 刘慧, 庞小仁. 大规模定制家具柔性制造系统构建与关键技术[J]. 木材工业, 2019, 33(2): 20-24.
- [5] 马俊杰. 基于 C2B 模式的板式家具定制研究[J]. 中国市场, 2016(48): 38, 48.
- [6] 袁玲玲. 不确定环境下钢结构多项目生产优化调度研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [7] 赵静. 基于约束理论的 H 企业生产计划与控制研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017.
- [8] 胡斌, 黎志成. 生产作业计划调整的优先调度算法研究[J]. 系统工程, 2000(1): 37-41.
- [9] Jeon Byeong. Conceptual framework of smart manufacturing execution system based on systems engineering approach[J]. INCOSE International Symposium, 2016, 26(1): 2118-2133.
- [10] 盛步云, 苏佳奇, 卢其兵, 丁毓峰, 肖婷. 面向 MES 的生产线数据采集系统的研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(9): 3162-3164.
- [11] WEN L. Research on development method of MES based on component and driven by ontology[J]. Journal of Software, 2010, 5(11): 1228-1235.
- [12] Jaroslav Znamenak. A proposal for production data collection on a hybrid production line in cooperation with MES[J]. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology, 2016, 24(39): 137-144.

(责任编辑 向琴)