

基于设备综合效率的板式家具封边机 生产效率分析与评价

姚倩¹, 李荣荣¹, 龚建钊²

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 索菲亚湖北家居有限公司, 湖北黄冈 438000)



摘要: 针对板式定制家具制造企业设备综合效率 (overall equipment efficiency, OEE) 偏低的问题, 选取生产线中的关键设备之一——封边机作为研究对象, 基于OEE基本原理与计算方法, 对封边机的生产数据进行收集整理, 对其管理水平进行评估, 探明制约封边机生产效率的主要因素为故障停机、换型调机以及短暂停机。企业可从提升员工的设备保全意识和技能、建立设备部件定期更换制度、加强备件管理、成立专项改善小组、制定相应标准指导文件等方面提升设备管理水平。本研究为提高板式家具封边机综合效率提供了依据, 同时为板式家具生产线整线设备效率提升提供了参考。

关键词: 设备管理; 设备综合效率; 设备性能分析; 板式家具; 封边机

中图分类号: TS6 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2022) 03-0026-07

Evaluation of Production Efficiency of Panel Furniture Edge Banding Machine Based on Overall Equipment Efficiency

YAO Qian¹, LI Rong-rong¹, GONG Jian-zhao²

(1. Nanjing Forestry University, College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Sophia Hubei Home Furnishing Co., Ltd., Huanggang 438000, Hubei, China)

Abstract: To improve the overall equipment efficiency (OEE) in furniture manufacturing, the key equipment of edge banding machine in the production line was selected as the research object. Based on the OEE concept and calculation method, the production data of edge banding machines were collected and sorted to evaluate the maintenance level. The results showed that the main factors, which restricted production efficiency were the fault shutdown, machine replacement and adjustment, and temporary shutdown. It was proposed that the production efficiency can be improved from the following perspectives: to increase employee's awareness, to advance employee's skills of equipment maintenance, to establish part replacement schedule on a regular basis, to enhance spare part management, to set up special improvement teams, and to formulate corresponding standard guidance documents. This paper provides basic guideline for improving the comprehensive efficiency of panel furniture edge banding machine, and serves as references for improving the whole line efficiency of panel furniture production.

收稿日期: 2022-02-17; 修改日期: 2022-03-28

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目“家具设计与工程专业“双师型”教师队伍建设模式的探索与实践”和“面向“新工科”的家具设计与工程专业产学合作协同育人模式创新与实践”(202101148006, 202002316001)。

作者简介: 姚倩 (1998—), 女, 硕士研究生。Email: yq15905157072@163.com

通讯作者: 李荣荣, 男, 副教授。Email: rongrong.li@njfu.edu.cn

Key words: equipment management; overall equipment efficiency (OEE); equipment performance analysis; panel furniture; banding machine

板式定制家具因其生产周期短、用户参与度高、库存小等优势,成为家具市场的主力军^[1]。生产设备是板式定制家具企业的核心要素之一,其管理与维护的水平不仅关系产品质量、生产效率,同时也直接影响生产成本。封边机作为板式家具加工的关键设备之一,其结构复杂、工序繁多,容易出现多种故障,如产品崩边、脱胶、破角等质量问题,从而导致板件二次返修甚至报废等问题^[2-3]。因此,对板式定制家具企业而言,提高封边机性能、减少故障停机时间对于提升生产线整体生产效率、产品质量水平以及降低生产成本有重要意义。

为了更好地对生产效率、设备状态进行衡量,设备综合效率(overall equipment efficiency, OEE)^[4]成为设备效率评价的指标之一。1984年Seichi Nakajima最早提出OEE的概念,作为全员生产保全(total productive maintenance, TPM)的关键度量值被应用^[5]。经过小川久雄、Konopka等不断深入研究,OEE的概念更加科学完善^[6]。OEE方法在众多设备依赖性强的企业中广泛应用,表明OEE在降低设备损失、推动改善整个车间的生产效率效果明显^[7-9]。

我国家具行业开展设备TPM管理的研究起步较晚,OEE在家具制造领域内的应用研究相对较少。现有研究表明,OEE不只局限于测量单台设备的生产率,还可应用于整条生产线及生产工序的生产效率测算,从而找出生产系统中的薄弱环节。通过OEE方法对橱柜家具制造企业生产线进行效率评估,确定了瓶颈工序为涂漆线;针对单台设备故障进行分析,建立了相应的改善措施,将该产线故障率从32.16%下降为15.19%,不合格品率下降30%^[10]。就实木家具配料环节而言,相关学者已对OEE数据采集方法进行了系统介绍,明确了设备各损失项目的定义及分类是数据采集准确性的关键^[11]。同时,将OEE与精益管理思想相结合,通过OEE指标来识别和消除生产中的浪费,以达到提升瓶颈设备利用率、缩短交货周期以及提高产量的目的^[12]。

鉴于此,本文基于OEE理论,以某企业柔性生产线的封边机为研究对象,分析评价封边机OEE指标,理清设备效率损失因素,建立设备效率评估方法和体系,为提升相关家具企业设备综合效率提供依据和参考。

1 OEE的定义和计算方法

OEE是一种用于分析设备使用效能的工具^[13],可表示设备的实际生产能力与理论产能的比率^[14]。OEE主要由三项指标构成,分别是监控设备妥善程度的时间开动率(availability, AV)、了解设备运作绩效的性能开动率(performance efficiency, PE)以及设备产出产品质量状况的合格品率(quality rate, QR)^[15],具体按公式(1)计算。

$$OEE=AV \times PE \times QR \times 100\% \quad (1)$$

世界级优秀制造业的生产设备OEE可以达到85%^[11]。在TPM中,理想的设备保全水平要达到以下目标:AV≥90%,PE≥95%,QR≥99%,OEE才不低于85%^[16],而国内众多拥有精密设备的企业难以达到这一水平^[17]。OEE不仅考察其总体指标的高低,更关键在于明晰OEE的构成因素及各因素的损失项目;通过OEE体系全面了解设备的使用状况,找出造成OEE低下的瓶颈问题,以制定针对性的改善策略,提高设备整体的生产效率。OEE指标架构以及各指标之间的计算关系,具体如图1所示。

2 封边机OEE指标与评价

为保证产能,调研的某企业采用两组双机联线封边机串联来完成四边封边,生产现场布局及封边设备编号如图2所示。当其中一台封边机停机或效率降低,将会影响整条生产线。因此,本研究将整条封边线看作一个整体,基于OEE理论对该封边线进行数据收集、计算及问题诊断分析。

2.1 封边线生产数据采集方法

数据采集的准确性是决定OEE分析方法能否取得良好成效的关键因素之一^[18]。精确测量和统计设备停机损失、速度损失、加工废品损失是实施

OEE 评估的关键。在这三项损失中，速度和废品损失可根据理论产量、实际产量计算，测量和统计相对简单。难点在于设备各种效率损失时间的测量和统计，对效率损失的分类和内涵界定不够清晰，同样影响 OEE 分析的准确性^[19]。因此，在收集封边机生产数据之前，按照 OEE 与六大损失

的关系以及生产现场实际情况对封边机生产效率损失的内容进行严格划分（表 1），为后续数据收集与统计提供支持^[20]。数据收集分为两部分：一部分为原始生产数据的记录，另一部分将原始数据表中收集的问题按表 1 进行分类整理，最终对应到 OEE 的计算公式中。

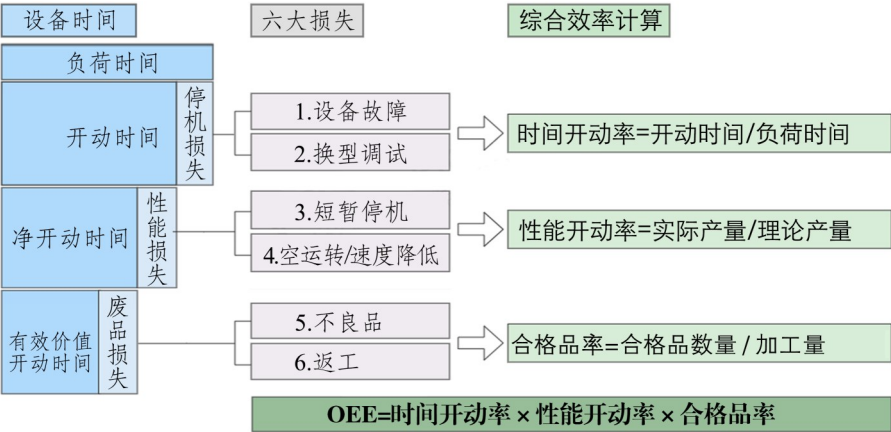


图1 OEE 指标架构及计算方法

Fig.1 OEE indicator structure and calculation method

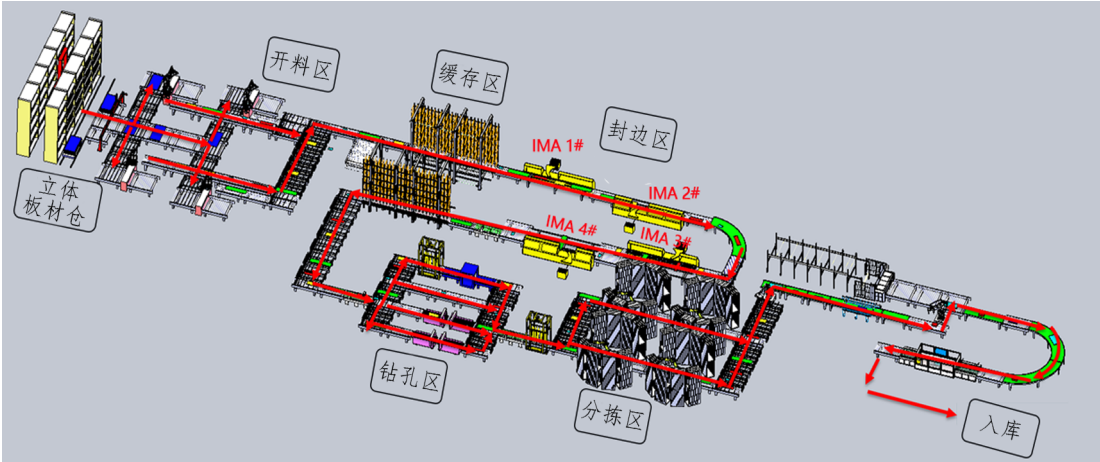


图2 柔性生产线设备布局

Fig.2 Flexible production line equipment layout

表1 OEE 损失类别划分

Tab.1 OEE loss categories

损失类型	项目内容
计划停机	各类事务(会议、消防检查等)计划内的停机;设备定期维护;设备计划内的改造、调试;员工培训;日常清洁保养;用餐;交接班。
设备故障停机	设备发生故障后引起的停机;网络、数据问题引起的停机;前后工序不匹配导致的停机。
换型调机	设备临时更换零部件;机器满足不了质量等要求需要停机调试;不同批次板件需更换物料;临时清理机台卫生。
短暂停机	指设备停机时长在 5 min 以下的停机,包括:设备异常报警;线体上工件定位需重新调整;生产物流不通畅导致短暂性堵停。
空运转	待料引起的空运转;调试程序引起的空运转;交接班未停机导致的空运转等。
速度降低	由于来料不足、工件间隔过大引起的封边速度降低;传送物料的线体速度降低等导致的速度降低;批次切换导致的速度降低等。
质量损失	由生产出不良品所造成的损失。

2.2 封边线OEE的计算结果

根据OEE数据收集与统计方法,对封边线一整月的OEE指标进行计算,将时间开动率、性能开动率、合格品率以及OEE值进行整理,得到封边线OEE指标变化数据,如图3所示。

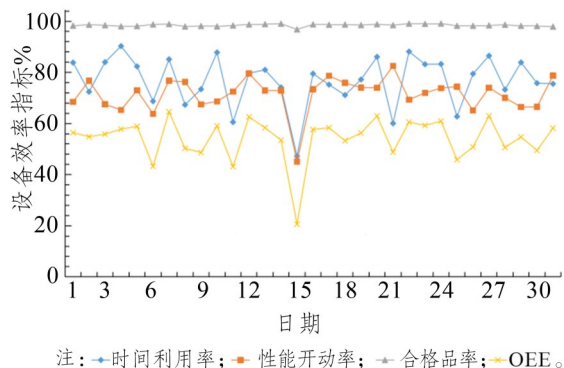


图3 某月内封边线OEE指标变化

Fig.3 Changes in OEE indicators of edge banding line in one month

经计算,该企业封边线OEE平均值低于60%,时间开动率、性能开动率及合格品率均未达到优秀标准。从图3可以看出,封边线时间开动率整体浮动较大,反映了设备停机时长不稳定的问题;性能开动率水平较低,平均值只有71.48%,设备性能存在明显的改善空间。在进行封边线OEE分析诊断时,可将研究重点放在时间开动率和性能开动率的损失上。

3 封边线OEE分析诊断

建立OEE模型能将设备运行中的问题用更直观的方式体现出来,把影响OEE的各项损失量化^[21-22]。通过对封边线生产现场原始数据进行统计,得到OEE模型瀑布图(图4)。OEE模型瀑布图从时间上来衡量设备的利用效率。其中,“可用生产时间”到“有效生产时间”之间的每一格代表对应损失项目所占用的时间。

图4显示,设备故障停机、换型调机和设备短暂停机是影响封边机设备综合效率的主要原因,建议企业管理人员在研究分析设备生产效率损失时,可从以上三项展开深入的调查和细分。

3.1 设备故障停机问题分析及改善建议

从图4可以看出,设备故障停机是影响封边线生产效率的第一大原因。设备故障不仅会造成生

产效率低下,还带来维修过程财力、人力与物力的浪费;同时,抢修也是工伤事故易发和高发的环节^[23],对安全生产带来极大危害。

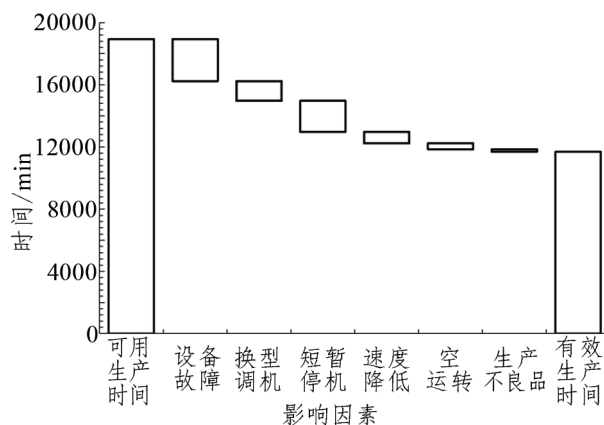


图4 封边线OEE模型瀑布图

Fig.4 Waterfall chart of OEE model of edge banding process

调研数据显示,该企业封边线故障停机的时长为2 692 min/月,停机的具体原因和时间分布见图5,其中因封边机故障停机的占比为71.88%。

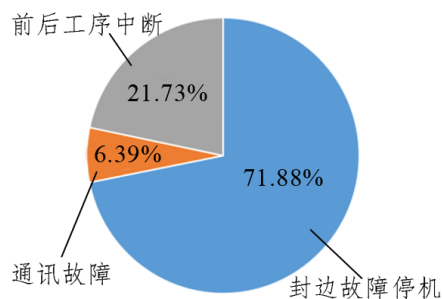


图5 封边线故障停机原因及时间分布

Fig.5 Causes and time distribution of edge banding line's downtime

调研数据显示,该企业车间某月封边机共出现故障停机52次,平均每天发生故障近2次;其中,停机时间超过一小时的故障共13次,约占总故障停机时间的63.87%。封边线大部分故障停机是由小问题长期累积并未及时处理而导致的,如设备部件螺丝松动、漏油、异响等,若在设备点检和保养中没有及时发现并解决,容易演变成大停机故障或安全事故。通过生产现场调研了解到,由于操作人员和机修人员设备点检时的疏忽,封边IMA4#机台背反压轮(规方系统)缓冲器松动未被及时发现,使板件因冲击力过强撞坏了升降气缸,导致多次停机事故。

该企业封边线属于进口高端设备,机械复杂,企业应规范点检制度和标准,明确不同部位的点检方法、点检频次以及点检要求。在日常设备清扫和保养中注重发现问题源头,防止因设备小问题恶化引起故障停机。

另一部分故障为突发性故障,此类故障发生率较小,产生的原因也各不相同。故障反应和维修时间长也是封边机时间开动率低的重要原因,因此可从缩短故障反应时间和维修时间的角度来降低生产损失。在故障发生时,生产人员常因不能及时判断故障等级而耽误报修时间,且机修缺乏快速反应、设备维修工具摆放混乱、备件不全等原因也拉长了故障维修时间。

进出料系统是封边线日常保养和计划维修时容易被忽视的单元,调研车间进出料线体皮带大多三年未更换,设备运行中皮带断裂且因备用皮带不足而耽误生产的情况时有发生。机修人员在进行设备检修时,应多留意设备各单元的运行状态,根据零部件磨损规律调整备件更换周期。

3.2 换型调机问题分析及改善建议

影响封边线OEE的另一大因素是换型调机的损失,主要包含设备更换零件及物料、质量问题调机、打扫机台卫生所消耗的时间。调研发现,

该企业车间该损失项目中时间最长的影响因素为质量问题调机(图6)。

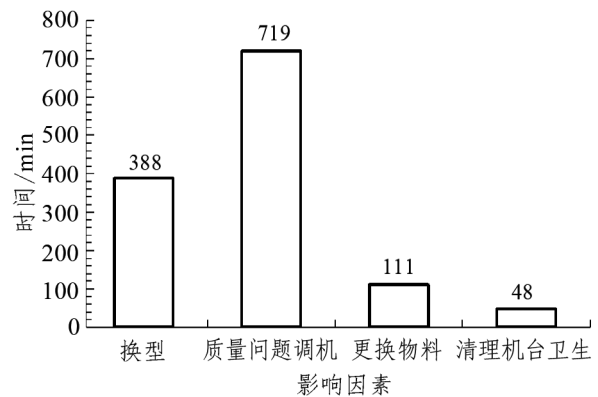


图6 封边机换型调机损失分布图

Fig.6 Distribution diagram of edge banding machine replacement and adjustment loss

封边是板件加工过程中质量问题最多的一个环节。在生产过程中,当质检人员发现板件封边不合格时,需立即停机检查,这种“事后检查”费时费力,封边设备机械结构复杂、影响质量因素众多,操作人员很难根据经验快速找出问题,从而进行调整。从调研车间某月的质量问题报告来看(图7),崩边和开胶是封边过程中的两个主要质量问题。

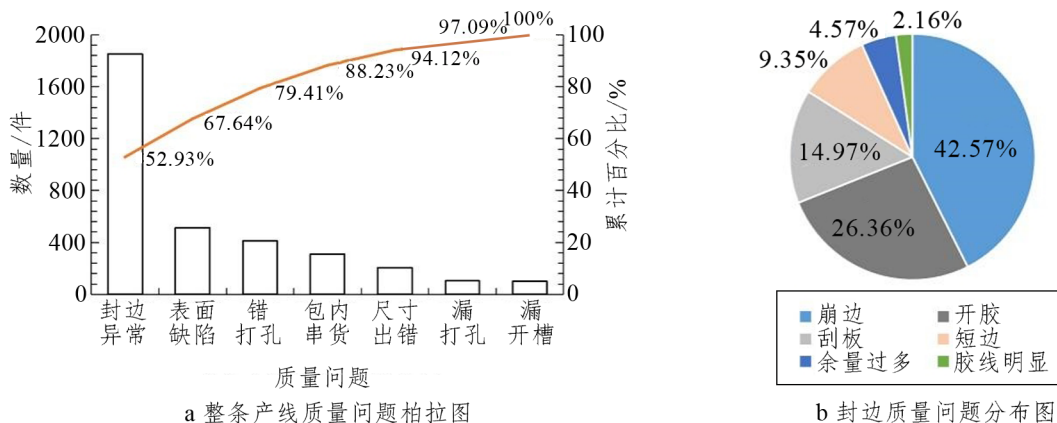


图7 调研车间某月板件质量问题报告

Fig.7 Investigation report on the moon plate quality in the workshop

封边机崩边的问题多出现在预铣、开槽两个加工环节。调研发现,由于该封边线加工刀具未制定固定更换刃磨周期,预铣和开槽刀具因长期未更换,刀具磨损严重进而导致板件出现崩边现象。此外,刀具铣削过程产生的切屑未及时清理

也会导致板件表面破损。

封边开胶的问题主要与胶温、涂胶量和封边条有关,调研车间封边开胶问题出现在冬季的概率较高,原因在于当室内温度低于15℃时,PVC封边条变硬,不利于胶合压贴;且板件温度过高

易造成热熔胶提前固化,进而影响胶合质量。为保证胶合强度,应改善板件预热单元的预热效果。但若单纯提高胶温易造成胶过稀、胶层变薄,胶合强度下降等问题。

板件与封边条压合过程中的压轮压力也会影响封边质量,应根据封边条厚度、种类和基材等来调整压力的大小。

影响封边质量问题的因素复杂,操作人员技能经验不足也是导致调机时间长的主要原因之一。企业应注重对员工技能的培训,制定可执行的标准工艺指导文件;同时,在设备管理中还应提高预防保全的意识,记录刀具使用频率,建立定期更换制度,减少因质量问题引起的停机次数。

3.3 短暂停机问题分析及改善建议

短暂停机是一种特殊的设备故障类型,指生产过程中由于某种异常情况经常发生停机,其通过设备操作人员简单操作就能暂时恢复生产,不需要专业维修处理。生产运输中的堵停、板件定位错误、来料质量不合格、物料自动切换失败、感应装置受阻或员工操作失误等是造成短暂停机的主要原因。

设备未得到合理保养,在达到一定使用年限后容易出现各种各样的小停机现象,一般产生于某些固定的故障点,属于常发生且比较难解决的问题^[24]。调研发现,该企业车间某月封边机发生小停机次数约1 130次,总时长约为2 000 min,对设备正常运转以及产品质量都产生了不良的影响。事实上,设备短暂停机大多是反复的小问题,有规律可寻,解决问题的可行性大。但是,生产中操作人员由于短期目标而常常忽视运行中频繁出现的问题,未及时总结记录,导致机修人员对设备运行状况不了解,没有将此类问题纳入到计划维修中。另外,设备短暂停机的原因不仅仅和设备有关,操作人员的不当作业也会造成小停机。企业员工流动性较大,企业对新员工培训时间短,未对培训成效进行考核就上岗工作,导致常因员工操作不当而使设备出现小停机。

由于前工序来料不足或不来料导致的封边速度降低和空运转,以及后工序堵停导致的小停机也是影响封边机性能开动率的原因,生产中各工序的物

料流量不平衡造成了等待、滞留等现象,反映出调研车间在各工序之间的缓存仓配置、生产节拍设置或人员配置等方面也有一定的改进空间。

针对短暂停机问题,企业可成立个别改善小组,利用“PM”分析工具:指找寻设备所产生的重复性故障及其相关原因的方法,其中“P”指phenomena(现象)和physical(物理的),“M”指mechanism(机理)和相关因素man(人)、machine(设备)、material(材料)^[24],对设备慢性故障及慢性不良现象及其原理进行分析,筛选故障现象出现条件,从根源上寻找原因。另外,设备操作人员日常需做好设备短暂停机的记录,维修人员可以根据问题记录制定相应的专项改善计划。

4 结论

针对板式定制家具制造企业设备综合效率偏低的问题,结合企业实际调研情况,基于OEE理论方法对封边机效率损失进行了分析,计算了OEE指标,建立了OEE模型瀑布图。设备故障、换型调机和短暂停机是影响封边OEE的三大主要原因,从设备管理以及工艺过程衔接等角度阐明了企业在设备管理上存在保全意识薄弱、日常点检不到位、故障反应时间长、备件管理不足以及缺乏标准指导等问题。企业可实施TPM管理,从提升预防保全意识、加强备件管理、制定零部件定期更换制度及标准文件、成立专项改善小组、加大员工培训力度等方面不断提升设备管理水平。研究结果可为板式定制家具企业封边机综合效率改善策略的制定提供理论支撑与解决途径。

参考文献:

- [1] 李荣荣,姚倩.面向智能制造的板式定制家具柔性生产线设备配置[J].木材科学与技术,2021,35(2):23-29.
LI R R, YAO Q. Research on equipment configurations of the flexible production line for intelligently manufacturing customized panel furnitures[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(2): 23-29.
- [2] 陈晓艺,吴智慧.基于智能制造的板式家具封边质量和效率提升方法分析[J].家具,2020,41(3):75-78,109.
CHEN X Y, WU Z H. Analysis of edge banding quality and efficiency of panel furniture based on intelligent manufacturing[J]. Furniture, 2020, 41(3): 75-78, 109.
- [3] 娄巧莲,郝景新,吴新风,等.基于统计过程控制的板式家具封边工序修边质量调控[J].林业工程学报,2021,6(3):171-177.
LOU Q L, WU J X, WU X F, et al. Improvement of panel edge sealing

- quality during trimming using statistical process control technology [J]. *Journal of Forestry Engineering*, 2021, 6(3): 171-177.
- [4] 任广杰, 刘大成, 丁迎蓥, 等. 基于约束理论的设备综合效率方法研究[J]. *制造技术与机床*, 2004(4): 20-23.
- REN G J, LIU D C, DING YX, et al. Study on the TOC-based OEE method[J]. *Manufacturing Technology & Machine Tool*, 2004(4):20-23.
- [5] Gupta A K, Garg R. OEE improvement by TPM implementation: a case study[J]. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, 2012, 1(1): 115-124.
- [6] 小川久雄, 姚家瑞. 关于设备综合效率的思考——与制造密切相关的TPM[J]. *中国设备管理*, 1995(7): 34-37.
- Ogawa H, YAO J R. Thinking about the overall efficiency of equipment-TPM closely related to manufacturing[J]. *China Plant Engineering*, 1995(7): 34-37.
- [7] Andersson C, Bellgran M. On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity[J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 2015, 35: 144-154.
- [8] Kalpande S. OEE an effective tool for TPM implementation-A case study[J]. *Asset Management & Maintenance Journal*, 2014, 27(5): 46-48.
- [9] 李启航. 连接器制造设备管理中OEE的分析研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [10] Szwedzka K, Jasiulewicz-Kaczmarek M, Szafer P. The efficiency of production equipment improvement-a case study[J]. *Research in logistics & production*, 2015, 5(5):445-457..
- [11] 刘盼盼. 优选横截锯设备综合效率(OEE)研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- [12] Chowdhury S, Haque K A, Sumon M. Implementation of lean strategies in a furniture manufacturing factory[J]. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2015, 12(1): 45-50.
- [13] 张昊, 陈宇, 梁永宏, 等. 基于实时信息的生产设备运行维护管理系统研究[J]. *机床与液压*, 2008(9): 39-44, 95.
- ZHANG H, CHEN Y, LIANG Y H, et al. Production equipment maintenance system based on real-time information[J]. *Machine Tool & Hydraulics*, 2008(9):39-44, 95.
- [14] 徐伟. AI设备综合效率分析与提升[J]. *工业工程*, 2014, 17(5): 23-28.
- XU W. Analysis and improvement of the overall equipment effectiveness of AI[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2014, 17(5): 23-28.
- [15] 李葆文. 设备管理新思维新模式[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [16] 黄鹏鹏, 罗佳, 蔡芷榕, 等. 企业设备综合效率分析与提升研究[J]. *制造技术与机床*, 2018(2): 165-170.
- HUANG Y Y, LUO J, CAI Z R, et al. Analysis and promotion of enterprise overall equipment efficiency[J]. *Manufacturing Technology & Machine Tool*, 2018(2): 165-170.
- [17] 陈子鉴. Z公司钢绞线生产设备OEE改善研究[D]. 广州: 中北大学, 2021.
- [18] 郭天文. 卷包设备综合效率评估的难点与解决措施[J]. *自动化技术与应用*, 2016, 35(11): 110-113, 117.
- GUO T W. Difficulty and solution of OEE evaluation in cigarette manufacturing department[J]. *Techniques of Automation and Applications*, 2016, 35(11): 110-113, 117.
- [19] 王红英, 方鹏, 金楠, 等. 基于设备综合效率的饲料企业生产水平评价方法[J]. *饲料工业*, 2017, 38(15): 1-8.
- WANG H Y, FANG P, JIN N, et al. The evaluation of the feed enterprises production level based on overall equipment efficiency[J]. *Feed Industry*, 2017, 38(15): 1-8.
- [20] 周卓蓉, 熊先青, 王军祥, 等. 全员生产保全体系在定制家居企业设备管理中的应用[J]. *木材科学与技术*, 2022, 36(3): 20-25.
- ZHOU Z R, XIONG X Q, WANG J X, et al. Equipment management of customized furnishing manufacturers based on total productive maintenance[J]. *Chinese Journal of Wood Science and Technology*, 2022, 36(3): 20-25.
- [21] 张琳娜, 钟晶, 李跃宇. OEE分析在企业生产实践中的应用[J]. *商场现代化*, 2009(3): 92-93.
- ZHANG L N, ZHONG J, LI Y Y. Application of OEE analysis in enterprise production practice[J]. *Market Modernization*, 2009(3): 92-93.
- [22] 胡军. 全员设备效率模型的研究和应用[J]. *江苏科技信息*, 2018, 35(5): 54-56.
- HU J. Research and application of the efficiency model of all staff equipment[J]. *Jiangsu Science & Technology Information*, 2018, 35(5): 54-56.
- [23] 王冬杰. 基于TPM的P公司变频电机产线综合效率提升研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
- [24] 袁剑. 基于生产线平衡理论的轻型驱动桥产能提升的应用研究[D]. 成都: 四川大学, 2020.

(本文编校 孟凡丹)