

“家居数字化车间规划与管控”专栏 (6) DOI: 10.12326/j.2096-9694.2021176

编者按: 依托国家“十三五”国家重点研发计划、木竹产业技术创新战略联盟、江苏省重点智能制造产业学院等项目和平台支持, 南京林业大学家居智能制造科研团队进行了家居数字化车间规划和管控方法关键技术研究与实践, 经产学研联合攻关, 研发了家居产品数字化车间整厂规划、机器视觉应用技术、全员生产保全 (total productive maintenance, TPM) 技术、车间信息集成技术等, 为传统家具企业向智能制造转型升级, 突破关键技术和提升生产效率提供支撑。本刊于2022年系列报道相关研究成果。

板式家具智能制造开料工序设备时间开动率分析

白洪涛¹, 熊先青¹, 王军祥², 周卓蓉¹

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 索菲亚家居湖北有限公司, 湖北武汉 430000)



摘要: 开料工序设备时间开动率对家具生产线生产效率影响较大。根据调研国内某大型家具智能工厂开料工序设备使用状况及故障维修情况, 采用设备综合效率 (overall equipment efficiency, OEE) 分析影响开料工序生产效率的主要设备, 包括废料处理装置、运输线体、条形码打印机和电子开料锯等。管理模式落后、配件管理欠缺和故障反馈机制缺陷是造成设备时间开动率低的根本原因。

关键词: 板式家具; 智能工厂; 开料工序; 时间开动率; 设备综合效率 (OEE)

中图分类号: TS664 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2022) 04-0032-06

Analysis of Operation Effectiveness of Cutting Machinery in Intelligent Manufacturing for Panel Furniture

BAI Hong-tao¹, XIONG Xian-qing¹, WANG Jun-xiang², ZHOU Zhuo-rong¹

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

2. Suofeiya Home Furnishing Co., Ltd., Wuhan 430000, Hubei, China)

Abstract: The efficiency of a furniture production line is greatly affected by the operation effectiveness of the first cutting process. In this study, the equipment performance and failure maintenance during the cutting process in a large domestic intelligent furniture factory was investigated. The authors applied the overall equipment efficiency model to analyze the effects of the main equipment on the production efficiency of the cutting process, including waste disposal device, automatic line, bar code printer, and electronic cutting saw, etc. The principle reasons causing the low operation effectiveness of cutting machinery were identified: the backward management mode, the lack of spare parts management, and the defect of fault feedback mechanism.

Key words: panel furniture; intelligent factory; cutting process; operation effectiveness; overall equipment efficiency

收稿日期: 2021-12-17; 修改日期: 2022-05-17

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目“木质家居产品柔性制造技术”(2018YFD0600304); 木竹产业技术创新战略联盟合作课题“实木整装家居数字化设计与集成技术”(TIAWBI2020-10); 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD)。

作者简介: 白洪涛 (1996—), 男, 硕士研究生。Email: 2994922151@qq.com

通讯作者: 熊先青, 男, 教授。Email: 96xiong0450@sina.com

国内板式家具智能制造生产线常面临生产效率不稳定、设备利用率低、工序间生产效率不匹配等问题,同时未能将环境、管理、人员与设备之间的关系分析清楚,难以实施具有针对性和系统性的效能提升方案^[1]。对于板式家具智能生产线,任何一道工序生产效率低将直接影响整条生产线的生产效率,所以必须确保每一道工序的生产效率达到生产要求。

设备综合效率(overall equipment effectiveness, OEE)分析法,可用来计算总体设备使用效率,是实现精益生产的核心工具之一^[2]。OEE由时间开动率、性能开动率和合格品率等三个关键要素组成: $OEE = \text{时间开动率} \times \text{性能开动率} \times \text{合格品率} \times 100\%$ ^[3]。通过分析OEE关键指标,可以查找影响生产效率的主要原因。南京林业大学智能制造团队采用OEE指标对板式家具关键工序中设备工作效率低的问题进行了系统研究:周卓蓉^[4]根据OEE指标确定设备改善方向,并通过OEE对目标柜体智能车间实施TPM的效果进行评价,以此优化改善计划,实现降本增效的目标。姚倩^[5]针对封边机生产效率低的问题展开了研究,通过OEE探明制约封边机生产效率的主要因素,并制定提升封边机综合效率的方法。开料工序作为板式家具生产工艺中的第一道工序,设备故障问题对后续工序生产效率影响较大,而目前关于OEE分析法在家具智能制造开料工序中的应用鲜有报道。

鉴于此,笔者通过OEE分析法对板式家具智能工厂开料工序设备时间开动率进行计算分析,结合设备故障数据及维修过程,探究影响开料工序设备时间开动率的关键因素及主要原因,为板式家具企业提高生产线生产效率提供依据。

1 智能工厂开料工序调研

1.1 设备构成及运行状况

开料作为板式家具生产工艺中的第一道工序,其主要操作是电子开料锯将一张整板经过纵向、横向裁切成不同规格的板件,并将其分为产品、余料、废料三种类型,根据板件类型输送到不同位置^[6]。智能工厂采用全自动开料方式,实现板件自动上下料、裁切、粘贴条形码、废料处理和余

料转运等功能,主要设备包括:电子开料锯、运输线体、条形码打印机和废料处理装置等^[7-9]。

目标企业共有两条智能生产线,其生产设备和设备布局完全相同,在同一个车间大致呈对称分布,同时生产当日订单。两条自动生产线的每日排产任务约20个批次,理论日产能目标是1万块以上,主要加工原材料是 $2\,440\text{ mm} \times 1\,220\text{ mm} \times 18\text{ mm}$ 的刨花板。虽然目标生产线内的设备自动化程度高,运行速度快,但由于长时间运行,设备及配件出现老化和磨损现象,相关管理问题也逐渐暴露,导致设备时间开动率难以保障,生产线始终难以达到目标产能^[10]。同时,运行过程中工序间转换周期短造成了故障不能及时发现,导致缺陷产品快速流入下道工序或引发停机现象,从而影响生产效率^[11-12]。

1.2 设备OEE指标情况

OEE分析法是计算设备运行时间、性能及产品合格率三大重要问题的有效方法,时间开动率指标用来评价停工所造成的损失,包括引起计划改变或使生产发生停顿的任何事件,例如设备故障、原料短缺以及生产方法改变等^[13]。通过对工序内设备故障类型时间的占比分析,可找出影响设备运行效率的关键因素。

为保证调研结果可靠性及普遍性,本研究对目标板式家具智能工厂两条生产线均展开调研。以2020年8—10月(90天)为计算日期,工作制为两班倒,白、晚班工作时间分别为11、12 h,工作日中每班次有0.5 h的休息时间,下班前15 min统一打扫卫生时间。为避免因其他工序故障影响开料工序效能计算的准确性,将非开料工序故障时间加入到计划停机时间内^[14]。结合OEE分析法,计算依据见公式1~3。

$$\text{时间开动率} = (\text{实际操作时间} / \text{计划工作时间}) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{计划工作时间} = \text{日历工作时间} - \text{计划停机时间} \quad (2)$$

$$\text{实际操作时间} = \text{计划工作时间} - \text{故障停机时间} - \text{设备调整初始化时间} \quad (3)$$

结合上述调研情况,计算某企业两条生产线设备的时间开动率,结果列于表1。

表1 生产线设备时间开动率计算

Tab.1 Operation effectiveness of two production lines		
时间类型	生产线 1 [#]	生产线 2 [#]
日历工作时间/h	2 004.00	2 004.00
计划工作时间/h	1 573.29	1 555.26
非开料工序故障时间/h	300.21	318.24
开料工序故障时间/h	240.95	238.78
计划停机时间/h	430.71	448.74
实际操作时间/h	1 332.34	1 316.48
时间开动率	84.68%	84.65%

在国际公认的OEE标准要求中，优秀制造企业的时间开动率最低达到90%^[3,5]。由表1可知，调研企业两条生产线的时间开动率分别为84.68%和84.65%。通过分析可知，设备故障对于整个工序时间开动率影响较大。因此要快速提升工序内的生产效率，亟需确定时间占比较大的故障类型，并详细分析故障原因^[3]。

2020年8—10月调研企业两条生产线开料工序的故障类型及停机时间列于表2。根据“二八法则”可知，故障时间较长的设备主要包括废料处理装置、运输线体、条形码打印机和电子开料锯，应重点分析故障原因。

表2 不同故障类型的故障时间

Tab.2 Failure impacting time for different error types			
故障类型	故障时间/min	占比	累计占比
废料处理装置停机	8 937	25.74%	25.74%
运输线体停运	7 198	20.73%	46.47%
条形码打印机停机	6 340	18.26%	64.72%
电子开料锯停机	6 309	18.17%	82.89%
其他	1 459	4.20%	87.10%
机器人停止	1 445	4.16%	91.26%
进料端停机	1 105	3.18%	94.44%
数据丢失	891	2.57%	97.00%
PLC故障	584	1.68%	98.69%
气压不足	456	1.31%	100.00%

2 开料工序设备时间开动率影响因素分析

2.1 废料处理装置停机分析

2020年8—10月开料工序废料处理设备各类故障时间汇总于表3。根据各类型故障时间占比可知，切断机故障及爬坡皮带变形是造成废料处理装置故障时间长的主要因素。

表3 废料处理设备故障类型及时间

Tab.3 Error types and impacting time of waste-disposal equipment							/min
机台号	切断机故障	爬坡皮带变形	感应器故障	保险烧断	刀轴键脱落	油温报警	合计
1 [#]	596	412	56	68	50	42	1 224
2 [#]	422	489	77	90	92	20	1 190
3 [#]	561	300	95	85	30	40	1 111
4 [#]	454	244	130	45	45	10	928
5 [#]	496	401	20	35	78	25	1 055
6 [#]	519	294	95	40	50	50	1 048
7 [#]	432	451	135	55	45	25	1 143
8 [#]	625	345	85	70	83	30	1 238
总和	4 105	2 936	693	488	473	242	8 937
占比	45.93%	32.85%	7.75%	5.46%	5.29%	2.71%	100%

废料处理设备的结构如图1所示，由电子开料锯裁切的废料自升降气浮台向下翻转落入震动槽，震动槽保持横向震动将废料均匀缓慢运往切断机，切断机将废料切割成长为50 mm的废料段，并由爬坡皮带运往粉碎机。



图1 废料处理设备结构

Fig.1 Wastedisposal equipment structure

由表3可知，切断机故障时间占废料处理设备停机时间的45.93%，成为制约废料处理设备效能的主要因素。现场调查发现，由于8—10月为一年中车间排单量最多的时期，生产线长时间生产，难以保障卫生清理及设备保养。切断机所在位置是开料工序内碎料量和粉尘浓度最高的区域，导致切断机内构件故障频发。设备小故障得不到及时的检修，最终导致大故障^[15]。此种现象恶性循环，设备故障率及故障时间居高不下。调研工厂的8台设备均有切断机卡死现象，且故障时间大致相同，据此可以得出：设备缺乏保养及粉尘污染是造成切断机不同部位构件出现故障，从而导致切断机卡死的主要原因，如图2所示。

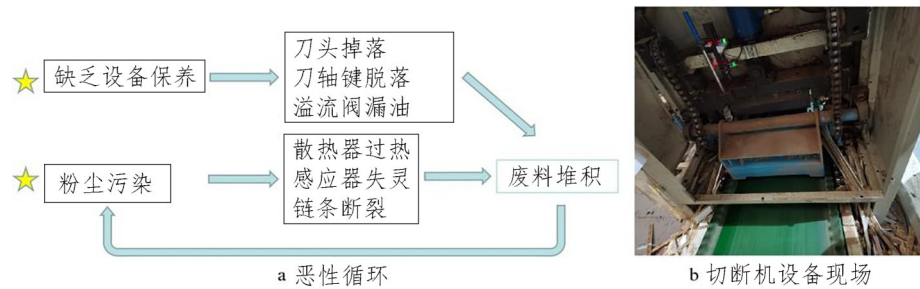


图2 切断机故障分析
Fig.2 Error analysis of cut-off machine

自动开料工序内的爬坡皮带的部分裙边已缺失，且长时间未更换，同时每次维修过程中在爬坡皮带内侧发现许多废料渣。由于裙带缺失，皮带内侧容易进入废料渣，皮带长时间承受废料渣摩擦，从而出现变形和打滑的现象。

通过对切断机故障和爬坡皮带变形分析得出，粉尘污染和设备缺乏保养是导致废料处理设备停机的主要原因。

2.2 运输线体停运分析

2020年8—10月开料工序线体各类故障时间汇总于表4，光电传感器失灵、链条/皮带断裂是造成运输线体故障时间长的主要影响因素。

表4 运输线体停运故障类型及时间

Tab.4 Types and impacting time of conveyor line errors

/min						
线体层级	光电传感器失灵	链条/皮带断裂	数据丢失	刀轴键脱落	检修	合计
1# 上层	1 042	581	111	90	125	1 949
1# 底层	653	573	112	142	85	1 565
2# 上层	996	677	147	98	63	1 981
2# 底层	669	732	98	114	90	1 703
总和	3 360	2 563	468	444	363	7 198
占比	46.68%	35.61%	6.50%	6.17%	5.04%	100%

在两条生产线的开料工序中，上层与底层运输线体的设备配置与设备安装方式完全相同，然而在表4中发现了上层运输线体的光电传感器故障时间相比于底层更长的问题。经过长时间的现场观察发现，因为安装传感器方式采用朝上感应，车间粉尘浓度高，所以上层运输线体传感器扫描头更容易堆积灰尘，若未定期清理传感器的表面灰尘，极易造成光电传感器失灵^[16]。

链条/皮带断裂的主要原因是采购部为节约配件成本，选择了价格低、质量略差的链条和皮带。

同时车间员工对设备维修保养不到位，对设备存在松动、异响和漏液等潜在缺陷处理不到位。长此以往，易引发大问题。

通过对光电传感器失灵和链条/皮带断裂分析得出，粉尘污染、设备缺乏保养、配件性能不足是导致运输线体停运的主要原因。

2.3 条形码打印机停机分析

2020年8—10月条形码打印机各类故障时间汇总于表5，打印机模块损坏、缺碳带及缺标签纸是造成条形码打印机故障时间长的主要影响因素。

表5 条形码打印机故障时间汇总

Tab.5 Bar code printer failure impacting time summary

/min						
机台号	打印模块损坏	缺碳带	缺标签纸	印字头异常	检修	合计
1#	110	156	155	65	50	536
2#	1 140	163	134	95	120	1 652
3#	140	150	140	49	45	524
4#	110	157	147	78	62	554
5#	90	149	149	52	40	480
6#	120	171	154	65	45	555
7#	140	144	152	67	50	553
8#	980	163	158	70	115	1 486
总和	2 830	1 253	1 189	541	527	6 340
占比	44.64%	19.76%	18.75%	8.53%	8.31%	100%

打印模块是条形码打印机中机械结构最复杂的部件，在长时间生产过程中，员工保养维护不当或生产环境差等原因，导致打印模块逐渐损坏，需要更换打印模块才能保证条形码打印机的正常工作。然而由于打印机模块采购周期较长，备件不足，在没有新的打印模块更换时，损坏的旧部件需要频繁维修勉强维持工作。据此可知，关键配件储备不足是条形码打印机故障时间长的主要原因。

更换碳带和标签纸属于同一类问题,只有在用尽报警时才进行更换。一卷碳带正常情况可以打印8 333张标签。根据8—10月总产量得出每台条形码打印机至少需更换8次碳带。更换碳带和标签纸的时间在30~40 s之间^[17],然而由表5数据可知,每次实际更换时间在370~425 s,已严重超时。根据数据分析以及实际调查发现,故障反应时间长和拿取原料耗时久是导致该故障的主要原因。

通过分析打印机模块损坏、缺碳带及缺标签纸等问题,备件不足和配件采购周期长是导致打印机故障的主要原因。

2.4 电子开料锯停机分析

2020年8—10月开料工序电子开料锯各类故障时间汇总于表6。根据各类故障时间占比可知,主锯/槽锯皮带断裂及进/出料皮带断裂是造成电子开料锯设备故障时间长的主要原因。

电子开料锯锯切单元的运行状态直接影响产品质量,所以应保证锯切单元工作稳定。根据实际调查可知,锯片转速及进给速度在运行标准范围内,导致主锯/槽锯皮带断裂的主要原因是皮带长时间未更换且平时不注重检修,超过其使用寿命。而进/出料皮带在使用寿命内发生多次断裂,经过对进/出料皮带的各项性能进行检测,检测结果是皮带性能未达到生产要求^[18]。

表6 电子开料锯故障类型及时间

Tab.6 The error types and impacting time of electronic sawing machinery

机台号	主锯/槽锯 皮带断裂	进/出料 皮带断裂	检修	进料 偏斜	主锯 后托	系统 脱机	合计
1 [#]	420	200	110	40	60	50	880
2 [#]	345	212	90	35	30	55	767
3 [#]	330	245	70	50	20	30	745
4 [#]	410	271	95	16	20	20	832
5 [#]	280	174	120	25	40	14	653
6 [#]	365	239	100	39	45	30	818
7 [#]	342	264	132	29	20	20	807
8 [#]	374	278	110	15	10	20	807
总计	2 866	1 883	827	249	245	239	6 309
占比	45.27%	38.08%	10.50%	3.11%	1.73%	1.31%	100%

通过分析可知,设备缺乏保养、配件性能不足是导致主锯/槽锯皮带和进/出料皮带断裂的主要原因。

2.5 影响时间开动率关键点

由于设备故障受多种因素影响,在分析设备故障的根本原因时,需要考虑多方面因素。根据表2~6数据分析结果可知,粉尘污染、设备缺乏保养、配件性能不足和备件问题导致设备出现故障的时间占总故障时间的75.72%,由此可确定主要故障类型的主要原因。通过故障树对时间开动率影响因素进行归类(图3)。

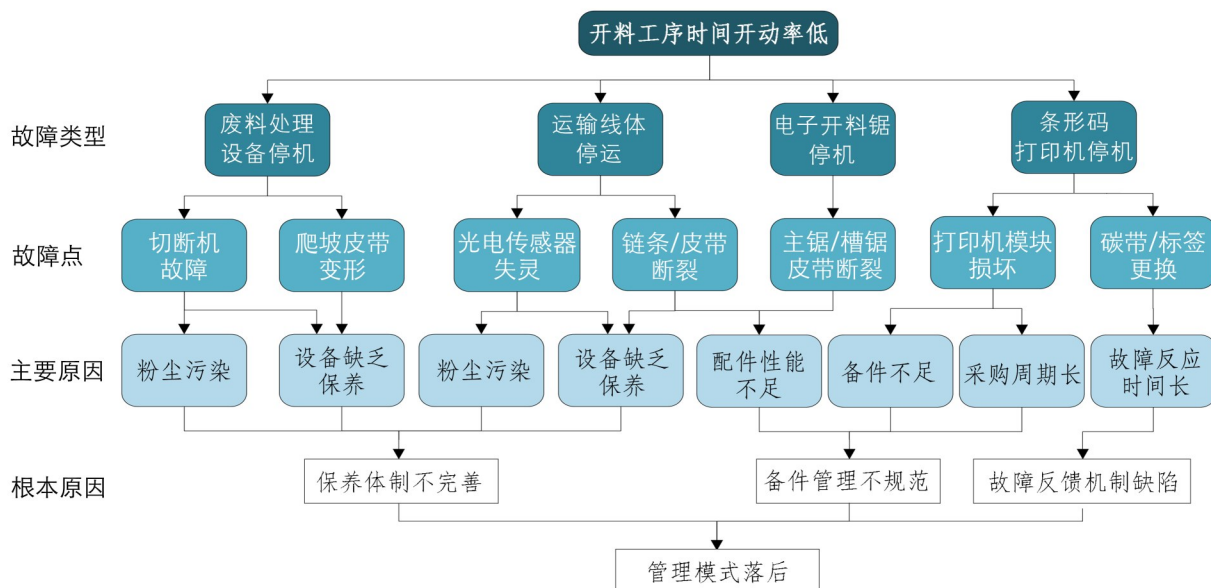


图3 开料工序故障树

Fig.3 Tree of errors during the cutting process

其中,粉尘污染和设备缺乏保养是员工对设备和工厂环境维护管理不到位导致的,可归纳为保养体制不完善。配件的性能、数量和采购周期不能满足生产需求,可归纳为备件管理不规范。故障反应时间长的根本原因是材料存放位置不合理和发现问题不及时,归纳为故障反馈机制缺陷。根据设备时间开动率关键点分析,造成设备时间开动率低的根本原因是生产管理模式落后。

3 结语

板式家具生产正在向大规模智能制造模式快速迈进,在硬件及软件不断提升的同时,应根据生产数据时刻掌握生产线中每道工序的OEE指标,制定有针对性的改善措施,同时转变全员设备管理及维护意识,创建以6S现场管理、小组活动为基础,以自主维护、计划维护等八大支柱为支持的TPM管理体系,实现对设备维护、人员、环境的科学化管理,从而保证生产效率和产品质量的稳步提升。本文以OEE指标中的时间开动率对智能工厂开料工序设备工况进行了计算分析,旨在为板式家具智能工厂的规划及管理提供借鉴。为充分发挥生产效能,后续还需在性能开动率及合格品率两个方面进行深入研究。

参考文献:

- [1] 熊先青,岳心怡.中国家居智能制造技术研究与应用进展[J].林业工程学报,2022,7(2):26-34.
XIONG X Q, YUE X Y. Research and application progress of home intelligent manufacturing technologies in China[J]. Journal of Forestry Engineering, 2022, 7(2): 26-34.
- [2] 陆彬盛,沈璐婕.设备OEE计算与停机损失分析研究[J].电子元器件与信息技术,2020,4(11):160-162.
- [3] 陈子鉴.Z公司钢绞线生产设备OEE改善研究[D].太原:中北大学,2021.
- [4] 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.
- [5] 姚倩,李荣荣,龚建钊.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[J].木材科学与技术,2022,36(3):26-32.
YAO Q, LI R R, GONG J Z. Evaluation of production efficiency of panel furniture edge banding machine based on overall equipment efficiency[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2022, 36(3): 26-32.
- [6] 毛恒之,刘祎,徐伟,等.木材加工余料再利用设计研究:以日本飞驒家具馆木制品为例[J].家具,2018,39(5):35-39.
- [7] 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.
XIONG X Q, LIU H, PANG X R. Flexible manufacturing system for mass customization manufacturing in furniture industry [J]. China Wood Industry, 2019, 33(2): 20-24.
- [8] 刘慧,熊先青,于克,等.板式定制家具智能分拣系统关键技术架构[J].木材工业,2019,33(6):33-37.
LIU H, XIONG X Q, YU K, et al. Technical framework of smart sorting system for making customized panel furniture[J]. China Wood Industry, 2019, 33(6): 33-37.
- [9] 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.
- [10] 熊先青,李荣荣,白洪涛.中国智能家具产业现状与发展趋势[J].林业工程学报,2021,6(1):21-28.
XIONG X Q, LI R R, BAI H T. Research status and development trend of intelligent furniture in China[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(1): 21-28.
- [11] 岳心怡,熊先青.大规模定制家具开料工段余料的管控方法[J].木材科学与技术,2022,36(2):26-30.
YUE X Y, XIONG X Q. Wood residual management method in sawmilling section of mass customized furniture manufacturing[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2022, 36(2): 26-30.
- [12] 马泽峰,吴智慧,沈忠民.板式定制家具企业生产设备管理探究[J].家具,2020,41(5):85-89.
MA Z F, WU Z H, SHEN Z M. Research and analysis of the manufacturing equipment management of panel customized furniture enterprises[J]. Furniture, 2020, 41(5): 85-89.
- [13] 何凯,李洪丞,曹华军,等.基于功率信息的机床设备综合效率智能识别方法[J/OL].重庆大学学报:1-14 [2022-07-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1044.N.20210419.1118.002.html>.
- [14] 马其波,靳聪,康宽,等.基于DEA-TOPSIS组合模型的大型医疗设备利用效率综合评价研究[J].中国医疗设备,2020,35(8):122-125,147.
MA Q B, JIN C, KANG N, et al. Study on comprehensive evaluation of utilization efficiency of large medical equipment based on DEA-TOPSIS combined model[J]. China Medical Devices, 2020, 35(8): 122-125, 147.
- [15] 周橙旻,吕一心,李臻瑜,等.木门表面材质的感性意象量化研究与分析[J].林业工程学报,2021,6(6):184-189.
ZHOU C M, LYU Y X, LI Z Y, et al. Quantitative analysis of perceptual images of wooden door surface materials[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(6): 184-189.
- [16] 白洪涛,熊先青.柔性制造对定制家居智能分拣系统的影响[J].家具,2021,42(2):18-21.
BAI H T, XIONG X Q. Influence of flexible manufacturing on intelligent sorting system in customized home furnishing[J]. Furniture, 2021, 42(2): 18-21.
- [17] 王安正,关惠元.面向大规模定制的实木家具产品设计标准化研究[J].家具与室内装饰,2018(10):56-59.
WANG A Z, GUAN H Y. Study on standardized product design of solid wood furniture for mass customization[J]. Furniture & Interior Design, 2018(10): 56-59.
- [18] 吴智慧,沈忠民.板式家具生产中典型开料与裁板设备[J].家具,2019,40(6):1-4,29.
WU Z H, SHEN Z M. Typical techniques and equipment of cutting and sawing in the production of panel-type furniture[J]. Furniture, 2019, 40(6): 1-4, 29.

(本文编校 向琴)