

基于IE方法的电梯限速器参数校准工作站改善

程晓*, 王海霞, 邱瑾阳, 王林森, 尤凤翔#

苏州大学应用技术学院, 江苏 苏州

收稿日期: 2022年3月7日; 录用日期: 2022年3月24日; 发布日期: 2022年4月7日

摘要

针对电梯限速器生产线参数校准工作站操作流程中存在的若干问题, 提出采用IE方法对当前的工作站进行分析并改善。本文首先分析总结了现有工作站存在的问题, 然后通过对检测人员的动作进行分解, 使用模特排时法和人因工效分析法对该工作站进行分析, 最后通过ECRS原则对该工位不合理的动作进行改善, 改善后该工作站作业周期由原来的248 s缩减到208 s, 既提高了生产效率, 又降低了工人的劳动强度。

关键词

限速器, IE, 模特排时法, 人因工效分析法, ECRS

Improvement of Elevator Speed Limiter Parameter Calibration Workstation Based on IE Method

Xiao Cheng*, Haixia Wang, Jinyang Qiu, Linsen Wang, Fengxiang You#

Applied Technology College, Soochow University, Suzhou Jiangsu

Received: Mar. 7th, 2022; accepted: Mar. 24th, 2022; published: Apr. 7th, 2022

Abstract

To resolve the problems existing in the parameter calibration workstation of the elevator speed limiter production line, the IE method is proposed to analyze and improve the current workstation. Firstly, the problems existing in the workstation was analyzed and summarized. Then, the

*第一作者。

#通讯作者。

motion of the inspectors was decomposed, and the workstation was analyzed by Modular Arrangement of predetermined Time Standard (MOD) and human factor ergonomic analysis. Finally, ECRS principle was used to improve the unreasonable motion of the workstation. The working cycle of the workstation has been reduced from 248 s to 208 s after the improvement, which not only improves the production efficiency, but also reduces the labor intensity of workers.

Keywords

Speed Limiter, IE, MOD, Human Factor Ergonomic Analysis, ECRS

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电梯限速器是保障电梯安全运行的最重要的部件之一[1], 如果生产过程出现异常将直接影响电梯的安全, 因此生产过程中相关性能参数的调试和校准尤为重要。电梯限速器为下降速度保护或上升速度保护的感测元件, 当电梯的行驶速度超过设定阈值时, 则会启动紧急制动, 因此电梯限速器校准工作主要是对上行电气动作速度、上行机械动作速度、下行电气动作速度和下行机械动作速度是否在精度范围内进行检验[2]。苏州某电梯部件有限公司是以生产电梯安全部件为主的公司, 早期以电梯参数可追溯性为特征, 构建了电梯限速器参数校准信息工作站, 但该系统设计操作复杂, 存在动作浪费, 严重影响生产效率。为此, 通过现场访谈与实际观察, 如图 1(a)所示, 收集了该工作站的相关信息, 通过分析得到该工作站的主要操作流程如图 1(b)所示。

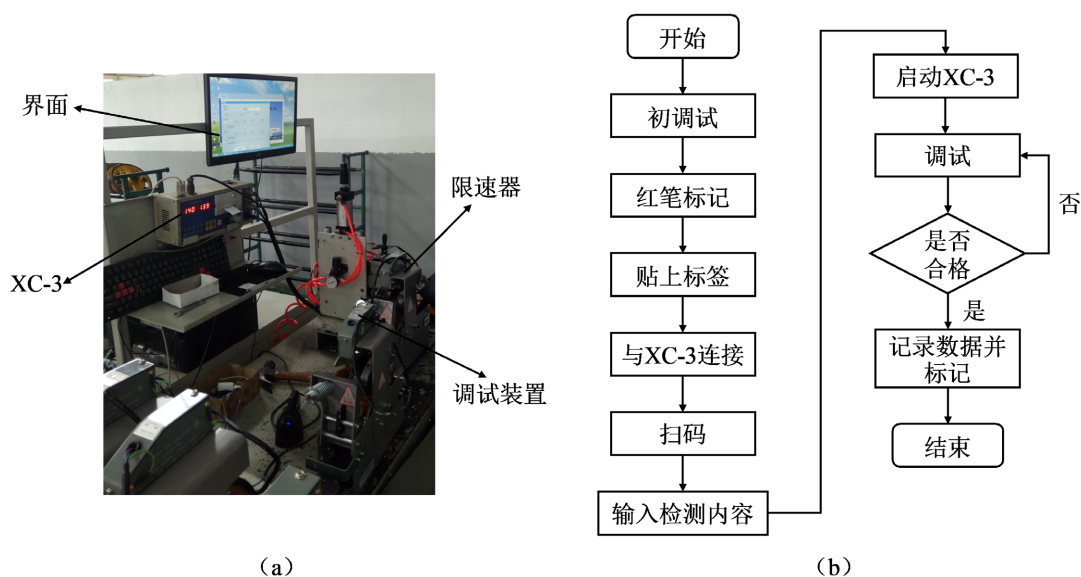


Figure 1. Parameter calibration workstation: (a) site diagram; (b) flow chart
图 1. 参数校准工作站: (a) 现场图; (b) 流程图

通过对流程的分析, 发现该工作站存在如下主要问题:

- 1) 不支持工作站数据实时更新与存储, 需要手动记录测试数据, 无法追溯;
- 2) 用于操作的物品放置存在较多不合理之处, 存在较大的时间浪费;
- 3) 操作过程中弯腰与走动动作较多, 造成时间浪费及工作疲劳;
- 4) 公司前期开发的校准系统界面设计不合理, 操作时需要长时间观察判断。

基于前述问题现状, 将进一步用 IE 的原理和方法, 对上述问题进行展开分析, 找到相关问题的瓶颈。这里采用模特分析法、人因工效分析法进行分析, 其中模特分析法预测操作所需标准时间, 同时对现有操作动作进行记录分析, 进而改善作业动作, 以减少时间浪费, 提高效率和经济效益。人因工效分析法对系统操作界面进行分析改善, 为物品的合理布置提供思路。

2. 参数校准工作站分析

2.1. 分析方法的基本原理

2.1.1. 模特排时法

模特排时法[3] (简称模特法或 MOD 法)主要依据人体动作的部位、动作的距离和工作的重量, 预测操作所需标准时间, 其将人的动作分为 21 种, 都以手指移动 2.5 cm 距离的时间消耗值为时间单位, 简称为 1 MOD, $1 \text{ MOD} = 0.129 \text{ s}$ [4] [5], 其中上肢基本动作 11 种, 下肢和腰的基本动作 4 种, 附加动作 6 种[6]。

2.1.2. 人因工效分析法

人因工程学(Human Factors Engineering, HFE)又称工效学, 是一门重要的工程技术学科。它是工业工程专业的一个分支, 是研究人和机器、环境的相互作用及其合理结合, 使设计的机器和环境系统适合人的生理、心理等特点, 达到在生产中提高效率、安全、健康和舒适目的的一门科学[7]。

2.2. 分析过程

2.2.1. 基于 MOD 法的动作分析

对工作站的操作进行录像, 然后进行基于录像的作业现场进行分析, 结果如图 2 所示。由模特法分析可以看出如下问题:

- a) 移动动作次数较多, M3 共 19 次, 占 M 动作的 14.1%, M4 共 53 次, 占 M 动作的 39.3%。
- b) 行走与弯腰动作较多, W5 共 10 次, B17 共 15 次, 造成时间浪费。
- c) 眼睛动作较多, E2 共 64 次。
- d) 箭头贴纸距离操作人员较远, 且其放置角度不易揭下。

针对当前问题, 仔细讨论发现, 上述问题的出现的部分原因是工作站人机界面操作复杂, 鼠标键盘摆放位置不合理且操作次数过多, 影响操作的效率。因此, 将用人因学方法对操作环境中物品摆放及人机界面进行分析, 以改善工人工效和提高作业效率。

2.2.2. 基于人因工效学的工作站分析

对如图 1(a)所示的工作站进行人因工效学分析, 不合理的人因设计如下:

a) 原有的操作系统在工作时, 需要一个键盘与一个鼠标配合显示器使用, 操作复杂, 键盘与鼠标占据了较大的工作空间, 且键盘上除了数字外, 其他按键极少使用, 同时在向系统输入检测内容时, 工人的操作重心位于工作台右侧 XC-3 设备前, 键盘在工作台左侧, 布置不合理, 移动距离较大, 造成浪费。

b) 参数校准操作按钮放在工作台的最外侧, 操作过程中, 来回移动距离长, 耗时长, 而且竖直布置, 长时间重复此动作易疲劳且会造成职业性肌肉损伤。

c) 界面布局不合理, 未将扫描获得的产品基本信息和需现场操作输入的数据区分, 例如需要现场输入的轿厢侧与对重侧的选择和提拉力, 与产品基本信息混合, 操作时需要观察判断, 无形中加长工作时间。

d) 系统自动判断是否合格并保存数据时, 使用“保存”“取消”两个按钮, “取消”按钮用于清空不准确的数据, 通过分析发现, 该按钮的功能可以用系统代替。

作业内容:动作速度调试			工作地布置图			
工位序号:						
定员:1						
操作者:						
MOD数:547 70.563s+177s						
日期:						
左手动作			时间	右手动作		
动作叙述	分析式	次数	mod值	次数	分析式	动作叙述
取手套戴上	M4G0M1P2E2	2	18	2	M4G0M1P2E2	取手套戴上
取限速器并检查	W5M4M2G1E2	1	14	1	W5M4M2G1E2	取限速器并检查
放到工作台上	M4W5P5	1	14	1	M4W5P5	放到工作台上
固定螺栓	M3HB17R2E2	4	120	4	M4M2B17D3R2E2	拧动螺母
拿取贴纸	M4B17G3D3R2E2	1	31	1	BD	等待
等待	BD	1	30	1	M2B17M1D3R2E2	揭下箭头标志
持住	H	1	13	1	M4M2E2G0D3E2	贴上箭头标志
等待	BD	1	10	1	M4E2G1M2M1	操作鼠标
等待	BD	1	7	1	M4M2G1	取笔
持住	H	1	26	1	B17M2R2D3E2	标记
等待	BD	1	11	1	M4P5E2	放回笔
搬运	M4M2G1W5*2P2	1	24	1	M4M2G1W5*2P2	搬运
持住	H	1	10	1	M4G0A4E2	扳下手柄
连接数据线	M4G3M3M1D3R2E2G0	1	18	1	M4G3M3M1D3R2E2G0	连接数据线
持住	H	1	12	1	M3G0D3R2E2M2	拨动棘轮
等待	BD	1	16	1	W5M4G1M4E2	取扫码仪
等待	BD	1	12	1	M4M1D3R2E2	扫描
等待	BD	1	11	1	M4P5E2	放回扫码仪
等待	BD	1	9	1	M3E2G1M2M1	操作鼠标
等待	BD	1	11	1	E2M4M2M1E2	操作键盘输入
等待	BD	1	27s	3	W5M4G0M1M4E2UT	按下测速按钮
等待	BD	1	13	1	M4G3M4E2	取打印纸条
等待	BD	1	13	1	M4G3M4E2	取笔
取右手纸条	M4G1M4E2	1	11	1	BD	等待
持住	H	1	9s	1	M4M2B17E2	记录数据
放下纸条	M3P5	1	8	1	M3P5	放下笔
固定螺栓	M3HB17R2E2	4	20s	4	M4M2B17D3R2E2	拧动螺母
等待	BD	1	27s	3	M4G0M1UT	按下测速按钮
固定螺栓	M3HB17R2E2	4	20s	4	M4M2B17D3R2E2	拧动螺母
等待	BD	1	27s	3	M4G0M1UT	按下3个测速按钮
固定螺栓	M3HB17R2E2	4	20s	4	M4M2B17D3R2E2	拧动螺母
等待	BD	1	27s	3	M4G0M1UT	按下3个测速按钮
持住	H	1	10	1	M4G0M1M4E2	扳动手柄
分离数据线	M4G3M1R2E2	1	12	1	M4G3M1R2E2	分离数据线
搬运	M4G1P5E2	1	12	1	M4G1P5E2	搬运
持住	H	1	21	1	B17M2R2E2	标记
搬运到流水线	M4G1W5*4P5	1	30	1	M4G1W5*4P5	搬运到流水线

Figure 2. Analysis diagram of operation site based on MOD method

图 2. 基于 MOD 法的作业现场分析图

3. 基于 ECRS 四原则的校准工作站改善

3.1. ECRS 基本原理

ECRS 四原则，即取消、合并、重组和简化的原则，如表 1 所示，任何作业或工序流程，都可以运用 ECRS 四原则来进行改善，通过对生产工序进行优化，以减少不必要的工序，从而找出更好的效能、更佳的作业方法[8] [9] [10]。运用 ECRS 四原则，首先考虑取消该工序，取消是改善活动的最高境界，对不能取消的工序再考虑进行合并、重排和简化。

Table 1. Four principles of ECRS

表 1. ECRS 四原则

序号	原则	内容	例子
1	排除(E)	① 取消不必要的流程、工序、动作； ② 取消搬运、检验、存储； ③ 取消消极怠工和闲置时间； ④ 取消辅助手段；	① 省略检查； ② 通过变换布局省略搬运；
2	组合(C)	① 合并流程、操作、工序或动作； ② 合并操作人员，实现一人多机操作； ③ 合并工作场所； ④ 合并操作设备；	① 将 2 个以上的加工同时作业； ② 将加工和检查同时作业；
3	重排(R)	① 业务流程重组； ② 时间与人员重排； ③ 工艺顺序调整； ④ 设备重新布置； ⑤ 工作地重排；	① 更换加工顺序提高作业效率；
4	简化(S)	① 精简方法，改进工具； ② 简化业务流程、操作、动作； ③ 简化设备使用；	① 重新认识作业； ② 自动化；

3.2. 基于 ECRS 的改善过程

结合模特排时法及人因工效学分析出的问题，使用 ECRS 四原则的改善如下：

3.2.1. 消除

a) 针对操作过程中用纸质记录检测数据，数据易丢失难以追溯的问题，使用数据库自动记录存储数据，消除手动记录数据的动作，且方便日后对数据的追溯；

b) 取消部分等待、步行的动作。

3.2.2. 组合

现场采用计算机标准键盘，不仅占地，工人操作也很繁琐，没有专用按键，培训时间长，同时导致员工不愿意使用键盘快捷键而是使用鼠标，使操作时间变长，效率低。因此，键盘操作对整个操作时间的影响极大，经过多次的操作模拟和效率分析，将键盘和鼠标进行组合设计了专业的人因工程学专用键盘，以提高工效，如图 3 中(a)所示。专用键盘的按键分为数字区、功能区和鼠标控制区：

1) 数字区：通过对 ATM 机等输入设备的大量调查发现，人们的思维习惯如图所示的数字顺序，并且根据贝尔实验室的测试结果显示，此方式平均键入时间为 4.92 s，与其他布置方式相比较快。

2) 功能区：主要按键根据输入顺序排列布局，分为选择切换按键(即轿厢/对重、AC220V/DC24V、下行/上行按键)和用于输入提拉力的按键(即提拉力按键)。

3) 鼠标控制区：为了方便开机登录等操作，保留鼠标功能。

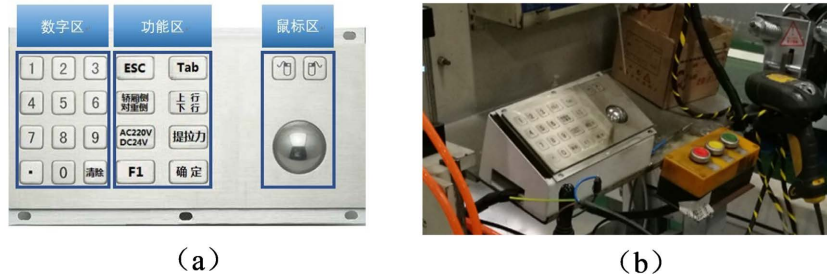


Figure 3. Special keyboard design
图 3. 专用键盘设计

3.2.3. 重排

1) 系统界面优化

针对系统界面布局不合理的问题，基于人因工效学的分组原则、重要性原则、功能原则等进行设计改善，优化结果如图 4 所示，主要将界面分为三个部分：① 产品基本信息：扫描获得的产品基本信息，无需选择与判断；② 产品检测设置：现场操作需要输入的数据，按照重要性原则和功能原则，定制专用键盘结合使用，方便快捷，有效地解决了作业中手臂疲劳与肌肉损伤的问题；③ 检测数据结果：电气参数校准与机械参数校准分上行和下行，由 XC-3 设备提供，实时获取。

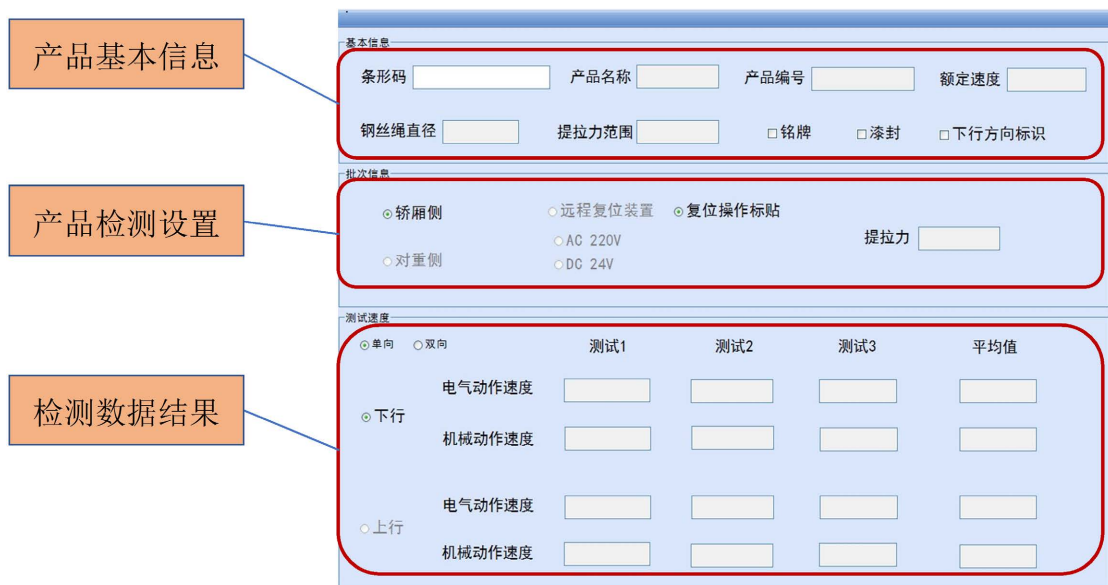


Figure 4. Optimized human-machine interface
图 4. 优化后的人机界面

2) 工作区物品摆放布局

针对工作区物品摆放不合理导致的移动动作较多问题，根据就近取用原则对所需物品进行重新布局，如：专用键盘与参数校准操作按钮均放置在工作台中心偏右位置，采用适宜操作的角度放置，不仅减少

了移动距离和手臂动作的幅度，而且有效的改善了作业者动作疲劳与肌肉损伤；将校准的限速器位置放在距离流水线较近的位置，减少检测人员拿取过程中的步行距离。

3.2.4. 简化

a) 流程简化：针对原工作站操作系统在限速器校准完成后，需要检测人员点击鼠标操作界面来对一个检测的数据进行消除，需要大量的目视动作，因此在改善的过程中，对校准系统的操作动作进行简化，当一个限速器校准完成后，检测人员只需点击两次键盘上的确定按钮即可将数据进行保存，界面上的数据自动消除，并且鼠标的位置定位到界面的最开始，以便下一个限速器开始校准；

b) 操作简化：原校准工作站是将两种类型贴纸类型贴在一张纸上，每次校准都需要检测人员进行判断且容易出错，由于每批检测为同种类型，因此将两种贴纸分开放置且只显现出一种，在首次选择完成后再次拿取贴纸就不需要再进行判断。

3.3. 改善效果

利用模特法对改善之后的校准工作站再次分析，如图 5 所示，经过改善，该工厂限速器校准工作站的作业效率得到很大的提高，操作时间上由原来的 248 s 减少为 208 s，极大的减少了在制品的等待时间，并且通过改善，检测人员在操作的过程中更加舒适，疲劳时间大大缩短。

作业内容：动作速度调试			工作地布置图			
工位序号：						
定员：1						
操作者：						
MOD数：313 40.38s+168s						
日期：						
左手动作			时间	右手动作		
动作叙述	分析式	次数	MOD值	次数	分析式	动作叙述
取手套戴上	M4G0M1P2	2	16	2	M4G0M1P2	取手套戴上
取限速器并检查	W5M4M2G1E2	1	14	1	W5M4M2G1E2	取限速器并检查
放到工作台上	M4W5P5	1	14	1	M4W5P5	放到工作台上
固定螺栓	M3HR2E2	4	52	4	M3M2R2C4E2	拧动螺母
拿取贴纸	M3G1	1	4	1	BD	等待
等待	BD	1	5	1	M2E2M1	揭下箭头标志
持住	H	1	5	1	M3M2G0	贴上箭头标志
等待	BD	1	7	1	M4M2G1	取笔
持住	H	1	23	1	B17M2R2E2	标记
等待	BD	1	10	1	M3P5	放回笔
搬运	M4M2G1W5P2	1	19	1	M4M2G1W5P2	搬运
持住	H	1	7	1	M3G0A4	扳下手柄
连接数据线	M3G3M1R2E2G0	1	12	1	M3G3M1R2E2G0	连接数据线
持住	H	1	9	1	M3G0R2E2M2	拨动棘轮
等待	BD	1	8	1	M3G1M4	取扫码仪
等待	BD	1	7	1	M4M1R2	扫描
等待	BD	1	9	1	M4P5	放回扫码仪
等待	BD	1	10	1	E2M3M2M1E2	操作小键盘输入
等待	BD	1	27	3	M3G0M1M4E2UT	按下测速按钮
固定螺栓	M3HR2E2	4	20	4	M3M2R2C4E2	拧动螺母
等待	BD	1	27	3	M4G0M1UT	按下测速按钮
固定螺栓	M3HR2E2	4	20	4	M3M2R2C4E2	拧动螺母
等待	BD	1	27	3	M4G0M1G0M1G0M1UT	按下3个测速按钮
固定螺栓	M3HR2E2	4	20	4	M3M2R2C4E2	拧动螺母
等待	BD	1	27	3	M4G0M1G0M1G0M1UT	按下3个测速按钮
持住	H	1	10	1	M4G0M1M4E2	扳动手柄
分离数据线	M4G3M1R2E2	1	12	1	M4G3M1R2E2	分离数据线
搬运	M4G1P5E2	1	12	1	M4G1P5	搬运
持住	H	1	21	1	B17M2R2E2	标记
搬运到流水线	M4G1W5P5	1	16	1	M4G1W5P5	搬运到流水线

Figure 5. Improved model analysis diagram

图 5. 改善后的模特分析图

4. 结论与展望

针对某公司电梯限速器校准工作站作业过程和作业动作不经济、物品放置不合理的现状,运用模特排时法、人因工效学分别对工作站检测人员的动作、工作站中不合理的布局及界面进行分析,找出问题所存在的原因,然后使用 ECRS 四原则对该工作站进行相应的改善,结果表明,该工作站的操作时间显著降低,且改善后的方案能极大改善检测人员的操作舒适性,具有很好的实用性。由此可见,通过 IE 方法对电梯限速器校准工作站的分析改善,使得该工作站的人机布局更加合理,并大大提高了电梯限速器校准工作站的生产效率。

当然,改善不是一步到位,贵在持之以恒,这也是工业工程的精髓所在,改善 - 实施 - 检核 - 改善,形成这一良性循环,才能帮助企业不断提高,未来我们将在此基础上,针对工人劳动强度等方面进一步从人因角度进行改善,为最终实现智能制造目的而努力。

参考文献

- [1] 柴克. 工作研究在电梯限速器装配线中的应用[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2017.
- [2] 许刚. 浅析电梯限速器校验[J]. 建筑工程技术与设计, 2014(7): 734.
- [3] 周晓辉, 洪增林. 基于模特排时法的制造企业生产线平衡研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2014(3): 369-373.
- [4] 覃乾. MOD 法在生产线上平衡中的应用[J]. 机械管理开发, 2011(1): 106-107+109.
- [5] 张永辉. 基于工业工程的 M 企业冷柜产线平衡优化[J]. 科技风, 2021(24): 178-179.
- [6] 庞敏, 王战中. 基于模特法的限速器轮子装配的工作研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2019, 32(1): 43-47.
- [7] 陈善广, 李志忠, 葛列众, 等. 人因工程研究进展及发展建议[J]. 中国科学基金, 2021, 35(2): 203-212.
- [8] 罗振璧, 朱立强. 工业工程导论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [9] Suhardi, B., Anisa, N. and Laksono, P.W. (2019) Minimizing Waste Using Lean Manufacturing and ECRS Principle in Indonesian Furniture Industry. *Cogent Engineering*, 6, Article ID: 1567019. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1567019>
- [10] 刘菲, 郑参, 刘正, 等. 基于 IE 及整数规划理论的生产线平衡研究[J]. 现代制造工程, 2021(6): 101-115.