

食品生产包装作业的人机工程学分析

杨勇强, 李小莹, 李静
(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要:目的 对食品生产包装作业进行基于人机工程学的分析和改进。方法 采用计算机辅助人机交互评估系统软件 SIMMIE, 对食品生产包装作业的捏合动作和包装动作进行生物力学分析, 并根据力学结果对工作环境进行结构改进。结果 改进后人体受力明显减少。结论 基于人机工程学的研究方法为轻体力作业工作环境设计提供了一定的依据和规范。

关键词: 生产包装; 人机工程学; 生物力学; 轻体力作业

中图分类号: TB488 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)03-0085-05

Ergonomics Analysis of Operations in Food Production and Packaging

YANG Yong-qiang, LI Xiao-ying, LI Jing
(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: To analyze and improve operations in food production and packaging based on ergonomics. Biomechanics of kneading and packaging in food production and packaging was analyzed by SIMMIE, the system software for aiding human-machine interaction evaluation, and the structure of work environment was improved according to the mechanical result. The force on the human body was significantly reduced after improvement, which verified the validity of this improvement. The research method based on ergonomics provided a certain basis and specifications for the design of light physical work environment.

KEY WORDS: production and packaging; ergonomics; biomechanics; light manual operations

食品工业是国民经济的支柱产业,现代食品生产企业虽然拥有先进的机器设备,但在实际生产加工过程中仍然存在很多手工作业,在整个生产过程中离不开人工操作。食品生产企业工人长期从事轻体力臂部和手部运动时,短期工作负荷主要表现在臂部和手部劳损,长期工作负荷体现在人体主要躯干长时间的僵硬所带来的脊柱间盘劳损。更严重的情况是,当压力和外界环境刺激超过所能忍受的限度时,会出现严重的心理病变^[1]。基于此,食品生产企业是一种典型的由人、机器及环境构成的相互影响、相互制约的生产环境系统。要解决该问题,有必要引入人机工程学对其进行研究^[2-3]。

人机工程学是研究人、机器及环境三者之间相互联系、相互作用的学科,旨在研究人、机器及环境的相

互作用机理,从而使设计的机器和环境系统适合人的生理及心理等特点,达到在生产中提高效率、低耗、安全和舒适的目的。人机工程学在加工制造型企业的应用研究主要体现在重体力作业方面,胥志峰等人^[4]运用人机工程学的理论和方法对上海通用汽车有限公司的单一搬举任务进行了分析与改善,取得了良好的效果。刘坚等人^[5]针对制造业生产过程中手工搬举作业的人机改善问题,研究了基于复合搬运指数的人因量化评估与改进方法。王海燕等人^[6]利用 Jack 软件对往复锯生产线手工作业的人机缺陷进行了仿真分析,并进行了人机改善设计。另外,食品生产包装作业均为坐姿状态,坐姿的舒适性在产品设计中占有越来越重要的地位^[7-8],也是食品生产包装流水线设计领域的重要考虑因素之一。目前关于坐姿舒适性的研

收稿日期: 2014-06-09

作者简介: 杨勇强(1976—),男,陕西咸阳人,在读博士生,陕西科技大学讲师,主要研究方向为现代设计方法、人机工程学等。

究主要集中在坐姿舒适性的评价指标和评价方法上,其中,基于主客观结合的测试方法,在坐姿舒适性以及舒适座椅模型等方面取得了一定的进展,形成了面向坐姿舒适性测试的人机工程方法学^[9-12]。

上述研究为重体力作业和坐姿作业的人机工程分析及设计提供了有益的理论性指导,但是食品加工操作主要是轻体力作业,动作简单重复,重体力作业的人机理论很难应用于轻体力作业。另外,关于坐姿作业的人机工程学测试方法主要是基于主客观结合的理论,其方法程序繁复,对坐姿相关设备辅助设计的支持不足,影响了该方法的应用与普及^[13],并制约了人机工程学在食品加工企业的推广和应用。鉴于此,文中针对食品加工企业生产线的人机改善问题,通过计算机辅助人机交互评估系统软件SAMMIE对其生产包装流水线进行分析,为食品生产包装作业的改善提供一定的理论基础。

1 生产包装作业布局分析

文中研究的对象为H公司食品加工及包装车间,该车间为典型的多产品混合型生产车间,生产的产品有水饺、云吞、汤圆、馒头和包子等。以水饺生产线为例,该生产线的布局见图1,生产线共有4条,每条生产线由1台水饺机和1条流水线构成,且由4名操作工操作,工作相互独立。操作工的主要作业是在第1层流水线上将水饺机输出的半成品捏合成固定形状,并置入固定胶托中,完成饺子的定位和包装。胶托盒由第2层流水线输送至包装冷冻库,具体生产包装环境布局见图2。由于食品生产包装流水线室内空间有限,且食品安全的具体要求很高,致使生产包装流水线人员密集,操作工的劳动强度较大,布局问题已成为人机工程学在食品生产包装流水线的主要实践领域。

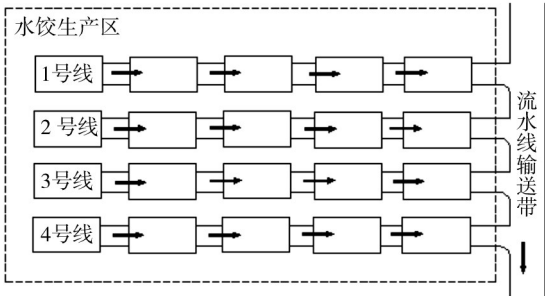


图1 生产包装作业布局规划
Fig.1 Layout planning of production and packaging

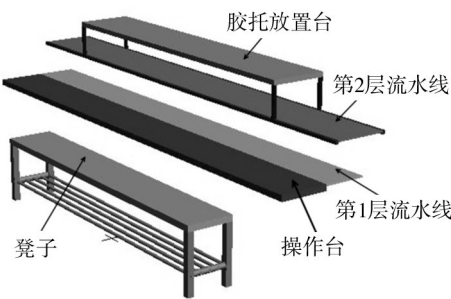


图2 生产包装环境布局
Fig.2 Environment layout of production and packaging

2 生产包装作业环境分析

轻体力作业的人机分析主要针对操作环境对员工身体和心理的影响。鉴于此,首先对生产包装流水线的现场生产过程进行测绘,确定该生产环境的具体结构和布局,并利用三维建模软件3ds MAX对其进行三维实体建模,结果见图2,生产包装流水线各部件的水平截面尺寸见表1,各部件的垂直高度尺寸见图3。

表1 部件水平截面尺寸				
Tab.1 Cross-section dimensions at component level				
部件	高/mm	宽/mm	长/mm	厚/mm
座凳	380	300	2000	40
操作台	650	300	3000	30
一层流水线	650	250	3000	10
二层流水线	900	350	3000	10
胶托放置台	1100	350	2000	30

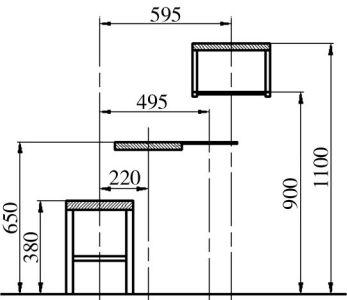


图3 垂直高度尺寸
Fig.3 Dimension at vertical height

3 基于SIMMIE软件的人体动作分析

3.1 人体模型的建立

人体数学模型的建立是人机工程学分析的重点,

有必要进行准确的人体测量。人体测量是指对人类身体各个方面特征数据的度量,特别是人体尺寸、形状和力量等,这些测量数据为工业设计和工程设计提供依据^[14-15]。由于人体结构和相关功能的特殊性和复杂性,在方法学上很难用数学形式准确表达和描述人体结构。SIMMIE 软件建立的人体模型是由 18 个关节点连接 19 个部分组成,包括人体主要尺寸、立姿人体尺寸、坐姿人体尺寸等,并按性别列表,以百分位数来表示人体的尺寸等级,最常用的是以第 5%、第 50%、第 95% 百分位数表示。其中,第 5% 百分位数是指有 5% 的人群身体尺寸小于此值,而有 95% 的人群身体尺寸大于此值。由于该生产线操作工人男女均有, SIMMIE 软件的人体数学模型不能进行对应分析,因此在对现场操作工身体尺寸测量的基础上,通过数学对比可知,操作工的 actual 身材数据与 SIMMIE 软件中中国女性第 95% 百分位数身材数据接近,基于此确定实际人体模型。

3.2 操作动作仿真

在 3D Max 软件中将图 2 所示的生产包装环境布局模型文件打开,并利用导出命令将其导出为 OBJ 文件,设置 OBJ 文件为三角形面片格式导入 SMMIE 软件中。根据产品生产操作流程,在 SMMIE 软件中按 95% 的人体测量数据建立人体模型,并调整好坐标,使之与导入的生产包装环境布局模型匹配,并建立操作姿势,使之与实际生产中的操作动作相同。在人体数学模型的基础上,首先从水平空间角度进行分析,同一条生产包装流水线的 4 名操作工位置上出现动作干涉情况,仿真结果得到的主、俯视图见图 4,与实际工作情况完全相符。

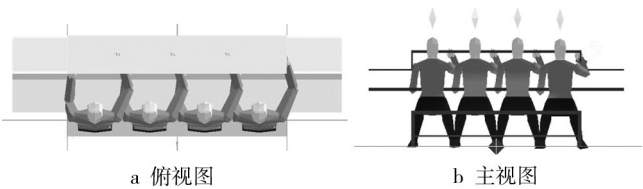


图4 动作干涉
Fig.4 Movement interference

根据实际生产流程和操作程序,建立 2 种关键的操作姿势:捏合动作和包装动作,见图 5。以捏合动作为例,利用 SMMIE 软件中的生物力学分析功能,设置模型的相关信息见图 6,通过软件分析计算得到人体生物力学数据见图 7。同样方法可得到包装动作数据结果,捏合动作的竖肩肌受力、腰间盘压力、腰间盘

剪切力分别为 1622.15, 2269.12, 33.87 N, 包装动作的分别为 1460.09, 2107.25, 22.67 N。

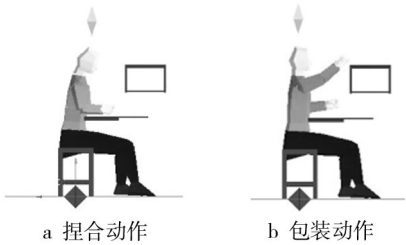


图5 动作仿真
Fig.5 Action simulation



图6 模型信息
Fig.6 Model information

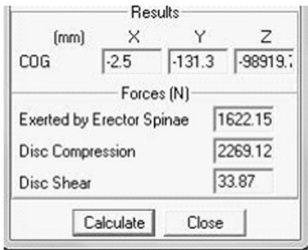


图7 分析结果
Fig.7 Analysis result

4 人机改善

4.1 工作台及凳子长度改善

根据实际测量的操作工平均臂长数据统计,确定操作工左右手的横向最大活动范围约为 600 mm,见图 8。为保证员工在工作过程中同时操作互不影响,应适当增大近身作业空间。由于 4 个操作工在工作时并排操作,为了保持合理的左右间距,可适当增加工作台和凳子的长度至 2400 mm,仿真结果所得到的主、俯视图见图 9。由图 9 可知,在增加凳子长度后,每个操作工的横向间距增加,每个操作工相互独立,同时操作时肢体互不影响,不会发生碰撞,这充分说明增加凳子长度的改进措施是合理可行的。

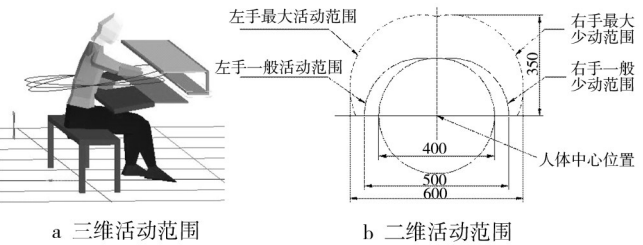


图8 人体手臂活动范围
Fig.8 Movement range of human arms

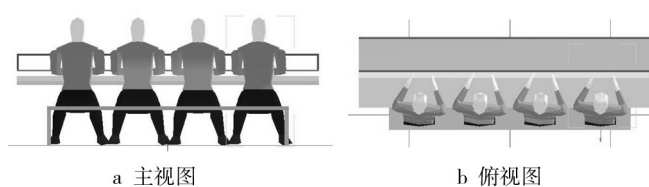


图9 改善效果
Fig.9 Improvement result

4.2 工作台截面结构改善

由人体生物力学结果可知,2个主要动作的人体竖肩肌和腰间盘受力均较大,长期受力,必然会造成人体的疲劳性损伤。基于此,依据人机工程的改善方法对工作环境的不合理之处进行改进。另外,从市场方面考虑,产品需求量越来越大,如果该公司考虑扩大生产线,则该加工及包装车间的现有面积有限,重新修建一个车间成本太高。综合考虑,为降低成本,在现有面积基础上改进生产设备布局,在满足人机工程学的前提下,充分合理地利用空间资源,将生产小组合并,每2组合并成1组,每组员工由原来的4人变成8人,两边对称分布,员工面对面工作,操作台和第1层流水线相互独立,两边共用第2层流水线和胶托台。

从人机工程学角度分析,轻体力作业高度应在肘部以下 50~100 mm,故将凳子高度由 380 mm 调整为 350 mm,同时,由于适度倾斜的台面更适合人类作业,因而将工作台面倾斜 5° ,三维效果见图10,其他结构尺寸调整见图11。

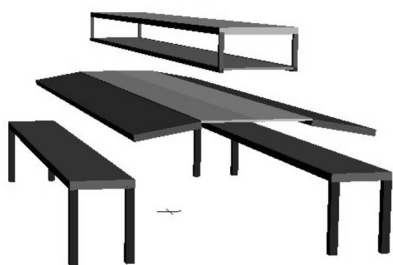


图10 工作台改善
Fig.10 Workbench improvement

采用节3.2所述的仿真方法,将新的三维模型导入SIMMIE软件中进行仿真分析,得到饺子捏合动作和包装动作的生物力学仿真结果,捏合动作的竖肩肌受力、腰间盘压力、腰间盘剪切力分别为1407.18, 2055.04, 0 N;包装动作的分别为1435.78, 2083.24, 11.34 N。

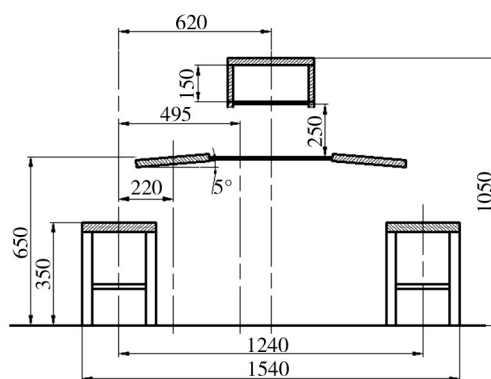


图11 工作台结构尺寸
Fig.11 Workbench structure dimensions

通过分析人机改善前后结果可知,捏合饺子动作中竖脊肌受力降低了13.25%,腰间盘压力降低了9.43%,并完全消除了腰间盘剪切力。包装动作中竖脊肌受力降低了1.66%,腰间盘压力降低了1.14%,腰间盘剪切力降低了49.93%。生物力学结果的减少说明该改善结果是有效的,能够有效减小人体疲劳。

5 结语

文中围绕食品生产包装流水线的人机工程学分析展开研究,旨在改善食品加工生产过程的人机设计,以降低操作人员的生理疲劳。通过SIMMIE软件作为支撑平台,对现有生产包装流水线进行了仿真分析,并在此基础上提出了改善方案,验证了改善方案的有效性,为食品生产企业进行人机改善及工序作业的优化设计提供了一定的理论支持。

参考文献:

- [1] 张久美. 电动手电钻造型设计的人机设计研究[J]. 包装工程, 2013, 34(16): 50—54.
ZHANG Jiu-mei. Research on the Human-machine Design of Electric Manual Drill Design[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(16): 50—54.
- [2] 孙林岩. 人因工程[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005.
SUN Lin-yan. Man-machine Engineering[M]. Beijing: University of Science and Technology of China Press, 2005.
- [3] 沈辉, 孟迪云. 人因工程理论在烟草配送中心的应用研究[J]. 物流技术, 2012, 31(12): 351—352.
SHEN Hui, MENG Di-yun. Study on Application of Human-factor Engineering Theory in Tobacco Distribution Centers[J]. Logistics Technology, 2012, 31(12): 351—352.
- [4] 胥志峰, 蒋祖华, 韦进. 汽车装配生产线手工搬运作业的工

- 效学分析[J]. 人类工效学, 2006, 12(4): 4—7.
- XU Zhi-feng, JIANG Zu-hua, WEI Jin. The Application of Ergonomics-based Manual Material Handling Evaluation in SGM Vehicle Assembly Line[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2006, 12(4): 4—7.
- [5] 刘坚, 蒲海蓉, 于文恺, 等. 手工搬举作业的人因工程量化评估与改进研究[J]. 工业工程与管理, 2009, 15(1): 103—107.
- LIU Jian, PU Hai-rong, YU Wen-kai, et al. Quantitative Evaluation and Improved Research of Manual Materials Handling Based on Ergonomics[J]. Industrial Engineering and Management, 2009, 15(1): 103—107.
- [6] 王海燕, 王朝增, 吴迪冲, 等. 人因工效学在生产工位作业中的分析及应用[J]. 浙江理工大学学报, 2013, 30(4): 536—539.
- WANG Hai-yan, WANG Chao-zeng, WU Di-cong, et al. Analysis on Application of Human Factor Ergonomics in Production Workplace Operation[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2013, 30(4): 536—539.
- [7] KOLICH M, TABOUN S M. Ergonomics Modeling and Evaluation of Automobile Seat Comfort[J]. Ergonomics, 2004, 47(8): 841—863.
- [8] KUIJT-EVERS L F M, KRAUSE F, VINK P. Aspects to Improve Cabin Comfort of Wheel Loaders and Excavators According to Operators[J]. Applied Ergonomics, 2003, 34(3): 265—271.
- [9] KOLICH M. A Conceptual Framework Proposed to Formalize the Scientific Investigation of Automobile Seat Comfort[J]. Applied Ergonomics, 2008, 39(1): 15—27.
- [10] PARK S J, KIM J S, KIM C B. Comfort Evaluation and Bed Adjustment According to Sleeping Positions[J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 2009, 19(2): 145—157.
- [11] VERVER M M, LANGE R, VANHOOF J, et al. Aspects of Seat Modeling for Seating Comfort Analysis[J]. Applied Ergonomics, 2005, 36(1): 33—42.
- [12] KOLICH M, SEAL N, TABOUN S. Automobile Seat Comfort Prediction: Statistical Model vs Artificial Neural Network[J]. Applied Ergonomics, 2004, 35(3): 275—284.
- [13] 杨钟亮, 孙守迁. 面向坐姿舒适性测试的人机工程仿真系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 22(12): 2192—2196.
- YANG Zhong-liang, SUN Shou-qian. Ergonomics Simulation System for Sitting Comfort Measurement[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2012, 22(12): 2192—2196.
- [14] 徐岩, 宋君. 大型印刷机械人机工程学关系探讨[J]. 包装工程, 2012, 33(20): 48—52.
- XU Yan, SONG Jun. Research on the Relationship between Large Printing Machinery and Man-machine Engineering[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(20): 48—52.
- [15] 张磊, 张芳燕, 刘洋铭. 自行车鞍座设计的人机工程学分析及测评方法研究[J]. 包装工程, 2012, 33(6): 118—120.
- ZHANG Lei, ZHANG Fang-yan, LIU Yang-ming. Research on Ergonomic Analysis and Evaluation Methods of Bicycle Saddle Design[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(6): 118—120.

(上接第69页)

- Nanjing Forestry University, 2007, 5(3): 147—149.
- [11] 周晓燕, 华毓坤. 定向结构板热物理特性的研究[J]. 木材工业, 1998(3): 14—18.
- ZHOU Xiao-yan, HUA Yu-kun. Study on Thermal Physical Properties of OSB[J]. Wood Industry, 1998(3): 14—18.
- [12] 王长智, 陈文阁. 基于ANSYS软件的产品跌落分析与耐跌结构设计[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 44—45.
- WANG Chang-zhi, CHEN Wen-ge. Products Drop Analysis and Antidrop Structure Design Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 44—45.
- [13] 王歇成. 有限单元法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- WANG Xie-cheng. Finite Element Method[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [14] 田野, 赵雪微, 智慧. 新型转轮式红酒包装结构设计及其跌落有限元分析[J]. 包装工程, 2013, 34(19): 51—54.
- TIAN Ye, ZHAO Xue-wei, ZHI Hui. The New Rotary Wine Packaging Structure Design and Drop Finite Element Analysis [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 51—54.
- [15] 惠远鹏, 马占山. 包装木箱堆码设计计算[J]. 中国包装, 2012(5): 50—53.
- HUI Yuan-peng, MA Zhan-shan. Wooden Packaging Box Design Calculation of Stacking[J]. China Packaging, 2012(5): 50—53.