

文章编号: 1000-5862(2017)04-0338-06

基于虚拟现实的人机工程 MTM 和 NIOSH 方法研究

金芳晓¹, 谢 叻^{2*}

(1. 上海泛亚汽车技术中心有限公司, 上海 200030; 2. 上海交通大学国家数字化制造技术中心, 上海 200030)

摘要: 人机工程学是按照人的特性设计和改善人-机-环境系统的科学, 虚拟现实技术近年来发展迅速, 其逼真模拟特性可作为人机工程模拟研究法的一个有效手段. 该文研究了虚拟现实技术在人机工程中的应用, 使用虚拟现实软件对工人的作业进行了仿真, 利用 MTM 方法-时间测定和 NIOSH 举起分析功能, 研究了工人在冲床上加工零件的方法-时间测定及手推车的人机工程设计.

关键词: 人机工程; 虚拟现实; 仿真

中图分类号: TP 391.9 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2017.04.02

0 引言

人机工程学是以人的生理、心理特征为依据, 运用系统的观点, 分析研究人与机械、人与环境以及机械与环境之间的相互作用, 并为设计操作简便省力、安全舒适、人-机-环境的配合达到最佳状态的工程系统提供理论和方法的科学^[1-2].

人机工程学的研究范围主要包括: 研究人的生理、心理特性和能力限度; 人机相互作用及人机界面的设计; 环境和作业及其改善等.

虚拟现实技术(Virtual Reality, 简称 VR) 近年来发展迅速, 它是利用计算机和其它专用硬件和软件去产生另一种境界的仿真, 可以仿真各种环境, 参与者通过直观、自然的感觉与仿真的内容实现交互.

人机工程学常用的研究方法有实测法、实验法、测试法、询问法、观察法、模拟和模型试验法、分析法等, 其中, 模拟和模型试验法是运用各种技术和装置的模拟, 对某些操作系统进行逼真的试验, 可得到所需要的更符合实际数据的一种方法. 在进行人机系统研究时常采用这种方法, 如设计控制台、驾驶室、宇航员飞行前的模拟训练等. 正是由于虚拟现实技术的逼真模拟特性, 故它成为人机工程模拟研究法的一个有效手段^[3-4].

虚拟现实技术充分利用计算机和多媒体高度发展的成果, 使交互轻松、快捷. 对于人机工程学, 采用

虚拟现实技术极具意义. 因为人机工程学要使产品设计适应人的生理、心理特征, 必然要不断地获得人的身体参数并用它们去设计产品. 虚拟现实技术提供自然交互方法, 使上述过程变得自然、直观、简单、舒适, 产品模型也容易修改. 尤其当产品投入生产前, 通过虚拟现实技术先让用户“感受”一番, 可及时改进, 避免不合格产品生产出来造成浪费.

国外虚拟现实技术在人机工程学上的典型应用有: 美国 NASA 所作的虚拟环境中人的性能、可达性应用研究和人体工作负荷评定; 在虚拟环境中使用虚拟菜单和虚拟操作工具; 在虚拟环境中模拟失重人的空间认知能力和方位感的研究. 在航空方面, VR 技术被用于空中客车的虚拟装配及客舱界面的舒适性设计. 曼彻斯特大学心理学系研究了一个技术高超的司机分别在虚拟环境和真实环境中如何表现的状态.

1 作业时间研究

时间研究是确定操作者按规定的作业标准、完成作业所需的时间. 时间研究的目的: 比较各种工作方法的效果, 合理安排作业人员的工作量, 平衡作业组成员之间的工作量, 并为编制生产计划和生产过程、劳动成本管理、估算标价、签订交货合同、制订劳动定额和奖励办法等提供基础资料和科学依据.

时间研究的步骤: 选定需要研究的工作对象; 记录全部工作环境、作业方法和工作要素的有关资料;

收稿日期: 2017-03-10

基金项目: 国家自然科学基金面上(61672341)和国家高技术研究发展计划“863”计划课题(2006AA01Z310)资助项目.

通信作者: 谢 叻(1964-), 男, 江西南昌人, 教授, 博士生导师, 主要从事虚拟现实技术、数字化制造技术和手术机器人技术的研究. E-mail: lexie@sjtu.edu.cn

考察全部记录材料和细目,以保证使用最有效的方法和动作。将非生产和不适当的工作要素与生产要素区别开来;衡量各项要素的工作时间;制订包括休息和个人生理需要等放宽时间在内的作业标准时间,并建立标准数据库。

1.1 方法-时间衡量法

预定动作时间标准(Predetermined Motion-Time Standard)简称PTS,是一种先进的时间研究技术。利用这种技术,可根据人的基本动作的时间,来确定达到一定效能水平的作业时间。

方法-时间衡量法(Methods Time Measurement)简称MTM法,是目前许多国家广泛采用的一种预定时间标准^[5-7]。它所规定的动作要素名称及其符号为:伸手(*R*)、移动(*M*)、旋转(*T*)、加压(*AP*)、抓取(*G*)、对准(*P*)、放手(*RL*)、拆卸(*D*)、目视(*ET*)、旋摆(*C*)、全身动作(足部*FM*、腿部*LM*、侧行*SS*、转身*TB*)、弯身(弯身*B*、起身*AB*)、俯身(俯身*S*、起身*AS*)、单膝跪地(单膝跪地*KOK*、起身*AKOK*)、双膝跪地(双膝跪地*KBK*、起身*AKBK*)、坐下(*SIT*)、站起(*STD*)、步行(*W-M*)等。各动作要素均有标准时间表。

ENVISION是一款虚拟设计软件,本文运用ENVISION软件的人机工程模块的MTM-UAS—方法时间衡量-通用分析系统开展虚拟设计的研究。

通常,完成一个运动学移动需要的时间取决于装置的链接、速度和加速度限制。系统计算出装置在移动终点的位置和方向后将计算完成这个移动的时间。对于工人装置,用户可以使用这个默认方法来计算完成移动到一个姿势所需时间,或者使用执行的工作测定标准。

MTM-UAS储存了7个基础动作类型:抓住和放置、放置、使用工具、操作、动作循环、身体动作和视觉控制的MTM标准时间。

MTM-UAS的执行需要用户将动作路径分解成可以被MTM-UAS系统描述的动作要素。1个动作要素由1个或更多姿势组成。1个新的动作要素通过单击ERGO | ANALYZE | BEG TASK按钮来初始化并且为选择的动作要素指定参数。所有后来储存的姿势都是那个动作要素的1个部分,直到用户指定那个动作要素的结束。一旦动作要素已经被指定给1个路径,系统将计算路径长度和动作要素所需要的时间。

1.2 在冲床上冲孔的方法-时间衡量

1.2.1 构造仿真模型 工人在冲床上冲孔,须完成以下步骤:

- 1) 到未加工零件箱取零件(见图1);
 - 2) 将零件放到模座前,推入模座中定位(见图2);
 - 3) 按下按钮,冲孔(见图3);
 - 4) 将零件推出模座,握取零件(见图4);
 - 5) 将零件放到已加工零件箱(见图5)。
- 构造如图6所示工作单元,这个工作单元包括1个工人装置、2个零件箱、1台冲床和若干零件。

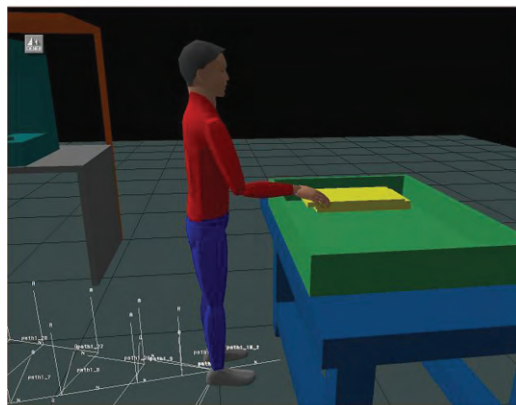


图1 到未加工零件箱取零件



图2 将零件放到模座前,推入模座中定位

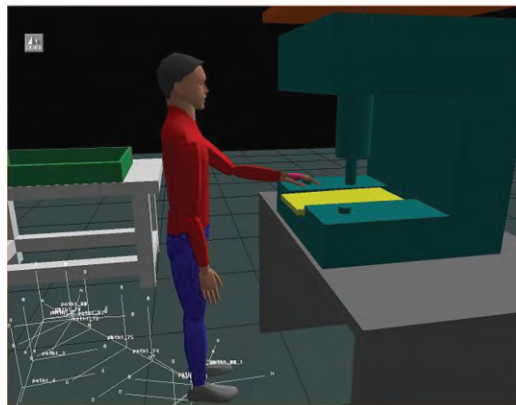


图3 按下按钮,冲孔

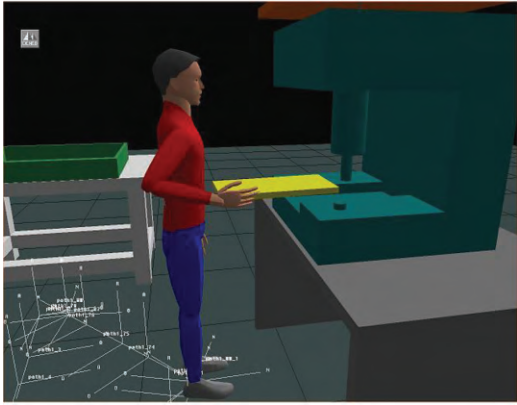


图4 将零件推出模座 握取零件

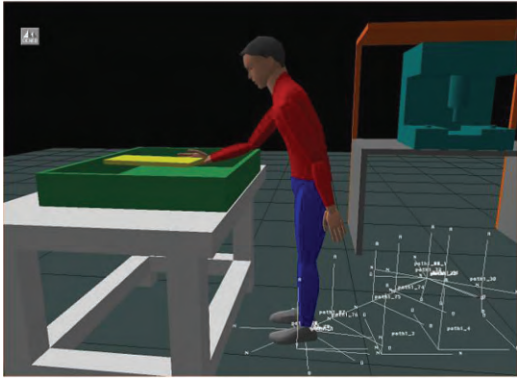


图5 将零件放到已加工零件箱

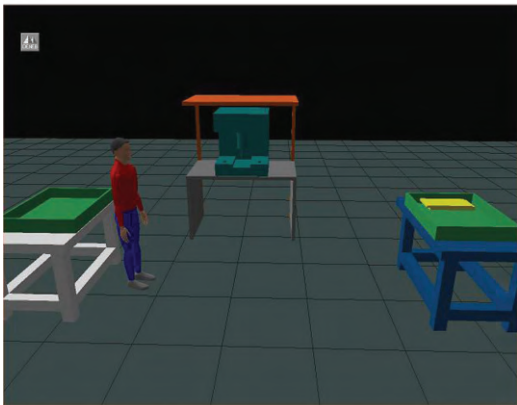


图6 方法-时间衡量工作单元

1.2.2 分解动作要素 利用人机工程界面编程 ,仿真工人的 1 个工作周期 按照方法-时间衡量通用分析系统的 7 个基础动作类型: 抓住和放置、放置、使用工具、操作、动作循环、身体动作和视觉控制 将作业中的姿势分解为如表 1 所示 14 个动作要素.

1.2.3 使用 MTM-UAS 确定标准时间 启用方法时间衡量-通用分析系统 ,通过 BEG TASK 和 END TASK 选项依次输入分解的 14 个动作要素 ,并指定参数. 输入完成后 ,使用 MOTION TIME 选项来计算各个动作要素的 MTM 标准时间 结果如表 1 所示.

表 1 MTM 分析结果 s

序号	动作要素	时间	序号	动作要素	时间
1	走到未加工零件箱	3.020 3	8	按下按钮	0.072 0
2	伸手握取一片钢板	0.529 2	9	冲孔(机动)	3.000 0
3	走到冲床前	2.204 9	10	伸手到模座	0.705 6
4	将钢板放到模座上	0.468 0	11	将零件推移出模座	0.561 6
5	将钢板推入模座中	0.244 8	12	握取零件	0.201 6
6	精确定位	0.072 0	13	走到已加工零件箱	1.298 5
7	左手移向按钮	0.342 0	14	将零件放置到零件箱	0.522 6

表 1 所示的 MTM 标准时间 ,可以作为编制生产计划和生产过程、劳动成本管理等的 基础资料和科学依据.

2 手推车人机工程设计

2.1 NIOSH 举起分析

搬运重物是生产过程中的一个常见的动作 ,为工人设定合适的搬运工作强度对工人的保护至关重要. NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health 国家职业安全与健康研究所) 举起方程式可用来分析工人的双手举起活动^[8-12]. ENVISION 软件人机工程模块的分析能力包括修订的

1991NIOSH 方程式的执行. 这个分析的目的在于减少对工人后背的损伤. 举起方程式给出一个人举起能力的测量. 方程式的输出是一个推荐重量标准 (RWL ,Recommended Weight Limit) ,它指定一个适合男人和至少 90% 女人的重量标准. 修订 NIOSH 方程式设置 RWL 为 23 kg(51 lbs.) ,这是在理想条件下 ,如果所有举起风险因素是 1.0 ,另一个 NIOSH 举起方程式的有用输出是举起指标(*LI*) . *LI* 作为一个举起载荷的重量相对 RWL 的比率 ,是一个与正被分析的举起任务有关的物理学应力标准的相对估计.

修订 1991 举起方程式的执行允许用户计算这些风险因素的值来为正被分析的举起确定 RWL. 执

行显示这些风险因素的值可使用户重新设计 1 个任务来确保举起的重量在一个指定工人的能力范围内. 风险因素的值范围是 0.0 ~ 1.0. 一个风险因素离 1.0 越近 ,RWL 越高. 相反地 ,一个风险因素离 0.0 越近 ,RWL 越低.

一般地 ,基于风险因素、为举起的起点而计算的 RWL 是决定载荷的决定性因素. 然而 ,在由于举起 (工人必须重新抓取目标附近的载荷 ,即刻握住目标上的物体 ,或者位置在目标处的载荷) 的目标需重点控制的情况下 ,需要检测基于终点的风险因素的 RWL. 用户可以计算和显示 2 批 RWL 来对任务重新设计做出更好的决定.

单一举起或者单一任务评估是仅有 1 个单一物体被从 1 个不变的初始位置移动到 1 个不变的目的位置 ,并且物体在工作周期中仅被举起 1 次. 多重举起或者多重任务分析是在工作周期中同样的物体被多次操作 ,或者在工作周期中不止 1 个物体被举起.

2.2 利用 NIOSH 举起分析确定手推车高度

2.2.1 设计要求 在工作中 ,工人经常使用手推车搬运重物 ,合理确定手推车外形 ,如高度、宽度、

把手等 ,可以使工人工作得更舒适 ,并且减少疲劳. 在如图 7 所示工作单元中 ,工人利用手推车将绿色盒子从地面货架搬运到工作台的下层 ,将黄色盒子从工作台上层搬运到地面货架. 2 个盒子的重量均为 5 kg ,地面货架高度为 250 mm ,工作台下层高度为 900 mm ,工作台上层高度为 1 300 mm.

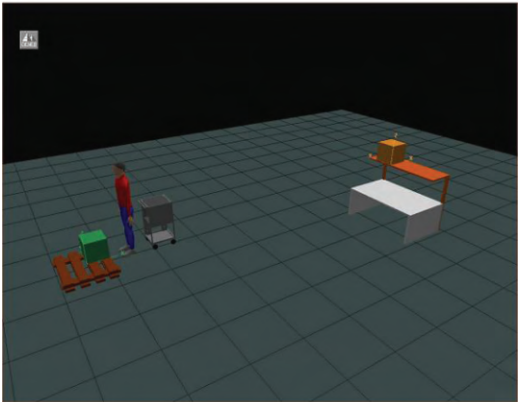


图 7 NIOSH 举起分析工作单元

2.2.2 NIOSH 举起任务 整个工作过程共有 4 个 NIOSH 举起任务: Task1 ,Task2 ,Task3 和 Task4. 如图 8 ~ 图 11 所示.

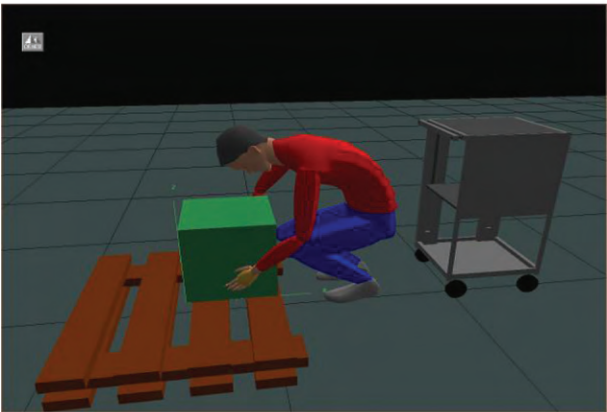


图 8 Task1——将绿色盒子从地面货架搬到手推车

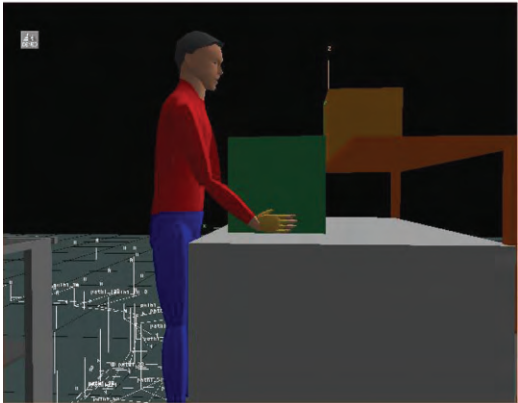
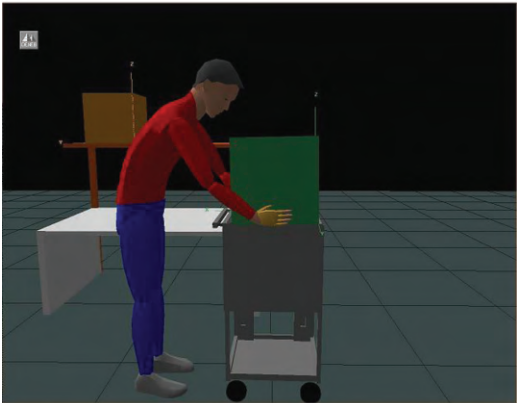


图 9 Task2——将绿色盒子从手推车搬到工作台下层

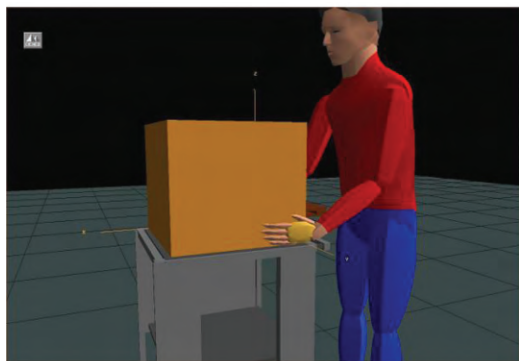
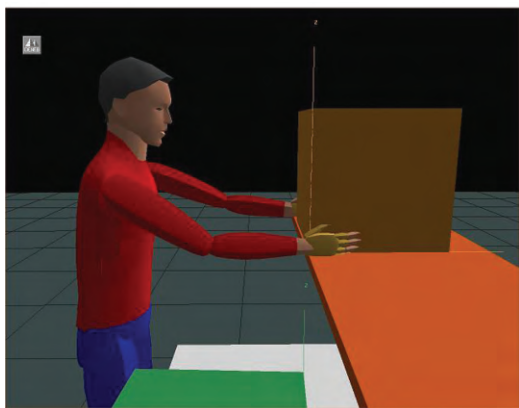


图 10 Task3——将黄色盒子从工作台上层搬到手推车

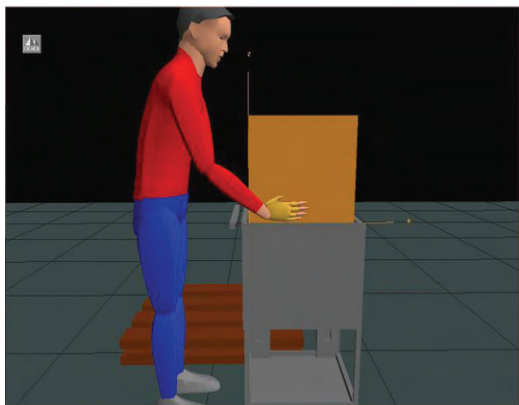


图 11 Task4——将黄色盒子从手推车搬到地面货架

2.2.3 NIOSH 举起分析 启用 NIOSH 多重举起分析, 对手推车高度设定不同值, 分别对 4 个举起任务进行分析. 由得到的数据, 生成图 12 所示推荐重量标准与手推车高度关系曲线图.

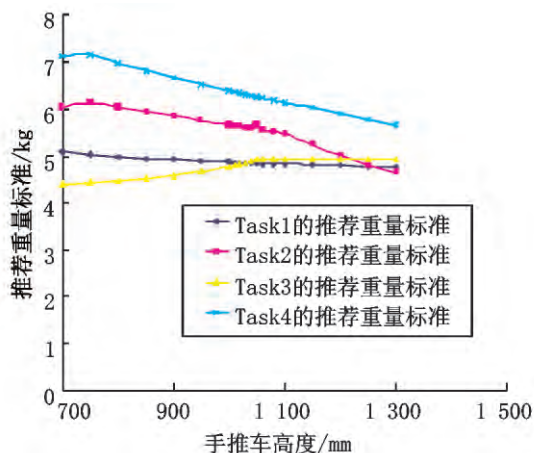


图 12 推荐重量标准与手推车高度关系曲线图

由图 12 可知, 当手推车高度在 [700, 1200] mm 范围内变化时, Task2 和 Task4 均满足推荐重量标准大于举起载荷, 这说明 Task2 和 Task4 对工人后背损伤是很小的. 而 Task1 和 Task3 则各自在不同手

推车高度满足推荐重量标准小于举起载荷. 因为无法使 4 个举起任务同时满足推荐重量标准大于举起载荷, 所以在图中选择满足 4 个推荐重量标准最小者为最大时的点, 也就是横坐标为 1030 的点.

所以, 确定手推车高度为 1030 mm, 这时 Task1、Task2、Task3 和 Task4 的推荐重量标准分别为 4.846 kg、5.609 kg、4.847 kg 和 6.313 kg.

除了手推车以外, 对于其他涉及工人的举起操作的工作装置如工作台、货架等, 都可以利用 NIOSH 举起分析模型来帮助完成设计.

3 结束语

本文研究了虚拟现实技术在人机工程中的应用, 并且使用虚拟现实 ENVISION 软件的人机工程模块, 对工人的作业进行了仿真. 然后利用 MTM 方法-时间测定和 NIOSH 举起分析功能, 研究了工人在冲床上加工零件的方法-时间测定以及手推车的人机工程设计.

人机工程学要使产品设计适应人的生理、心理特征. 当产品投入生产前, 通过虚拟现实技术进行模

拟分析,可以对产品设计进行及时改进,减少生产出不合格产品而造成的浪费,同时还可有助于提高人机工程学的设计效率和设计效果。

4 参考文献

- [1] 卢兆麟,汤文成. 工业设计中的人机工程学理论、技术与应用研究进展[J]. 工程图学学报, 2009, 30(6): 1-9.
- [2] Kuo Chienfu, Wang Maojun. Motion generation and virtual simulation in a digital environment [J]. International Journal of Production Research, 2012, 50(22): 6519-6529.
- [3] Arroyave-Tobón S, Osorio-Gómez G. Ergonomic analysis in conceptual design stage using a gesture-based modelling tool [J]. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2015, 9(4): 289-296.
- [4] Aromaa S, Väänänen K. Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design [J]. Applied Ergonomics, 2016, 56: 11-18.
- [5] Gironimo Giuseppe Di, Martino Carmine Di, Lanzotti Antonio, et al. Improving MTM-UAS to predetermine automotive maintenance times [J]. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2012, 6(4): 265-273.
- [6] Keyvani Ali, Lämkkull Dan, Bolmsjö Gunnar, et al. Using methods-time measurement to connect digital humans and motion databases [C]//International Conference on Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management, Berlin: Springer, 2013, 8026: 343-352.
- [7] Zhou Dong, Zhou Xinxin, Guo Ziyue, et al. A maintenance time prediction method considering ergonomics through virtual reality simulation [J]. Springer Plus, 2016, 5(1): 1239.
- [8] Chung M K, Kee D. Evaluation of lifting tasks frequently performed during fire brick manufacturing processes using NIOSH lifting equations [J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 25(4): 423-433.
- [9] Meepradit Parvena, Sunee Nipoporn, Chantasa Ruephuwan. The application of NIOSH lifting equation to prevent musculoskeletal disorder risks [J]. Journal of Biosciences and Medicines, 2015, 3(3): 39-44.
- [10] Muslim Erlinda, Jadhav Nuraini Aisyah, Puspasari Maya Arlini. Analysis of vertical multiplier on revised national institute for occupational safety and health (NIOSH) lifting equation for male workers in Indonesia industry [J]. Advanced Engineering Forum, 2013, 10(2): 236-242.
- [11] Brann M, Hartley D. Nursing student evaluation of NIOSH workplace violence prevention for nurses online course [J]. J Safety Res, 2017, 60(2): 85-91.
- [12] Cao Wen, Jiang Meng, Han Ying, et al. Ergonomic assessment of patient barrow lifting technique using digital human modeling [C]//International Conference on Digital Human Modeling and Applications in Health, Berlin: Springer, 2014, 8026: 20-29.

The Research Ergonomics on MTM and NIOSH Method Based on Virtual Reality

JIN Fangxiao¹, XIE Le^{2*}

(1. Shanghai Pan Asia Automotive Technology Center Company Limited, Shanghai 200030, China;

2. National Digital Manufacturing Technology Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Ergonomics is the technology concerning the design and improvement of Human-Machine-Environment system based on human characteristics. With the rapid development of virtual reality in recent years, the realistic simulation characteristics of virtual reality technology can be used as an effective method for the simulation study of ergonomics. In this research, the application of virtual reality technology in ergonomics is studied. Method-time measurement in the process of punching parts and trolley ergonomic design are researched via simulating the work of workers by MTM method-time measurement as well as NIOSH lift analysis function.

Key words: ergonomics; virtual reality; simulation

(责任编辑:王金莲)