

物流配送中心拣选作业的人因工程量化评估

周家琦,王宏颖,余子倩,李洋

(东北林业大学 工程技术学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

[摘要]基于人因工程视角,探究电子商务模式下新兴的物流配送中心拣选作业的工程负荷与职业健康,研究选取能量代谢量、心率等指标,量化物流拣选作业环节的劳动强度等级,并利用疲劳强度评估提出合理的作息安排,即当劳动负荷为5km/h时,物流拣选劳动者平均每工作48min后,需要休息6min;当劳动负荷为7km/h时,物流拣选劳动者平均每工作19min后,需要休息6min。该研究拟在改善电子商务模式下物流配送中心衔接不紧密、响应速度慢等瓶颈问题的同时,关注劳动密集型作业环节的工程负荷与职业健康。

[关键词]物流配送中心;拣选作业;人因工程;劳动强度;疲劳强度

[中图分类号]F252.14

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2021)02-0053-04

Quantitative Evaluation of Human Factors Engineering for Picking Operations in Logistics Distribution Centers

ZHOU Jiaqi, WANG Hongying, YU Ziqian, LI Yang

(College of Engineering & Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In this paper, from the perspective of human factors engineering, we explored the engineering load and occupational health of the workers in the emerging picking operations in logistics distribution centers under the e-commerce model, quantified the labor intensity level of the logistics picking operation using energy metabolism, heart rate, etc., and proposed a reasonable working schedule through fatigue intensity assessment, that is, at labor load of 5km/h, the picking operators need to rest 6 minutes after every 48 minutes of work; at labor load of 7km/h, they need to rest 6 minutes for every 19 minutes of work. The research intends to improve on the bottleneck in the operations of logistics distribution centers under the e-commerce model, while drawing attention to the issues of engineering load and occupational health for labor-intensive operations.

Keywords: logistics distribution center; picking operation; human factors engineering; labor intensity; fatigue intensity

0 引言

随着电子商务技术在物流业的快速发展,逐渐形成以“网络电子商城+储分一体化物流配送”的运作模式^[1]。这种新兴的电子商务运营模式以快速、便捷等优势受到广大消费者青睐。但是,面对多元化的产品需求和多样化的客户服务,线上线下衔接不紧密、市场响应速度慢等问题逐渐凸显,成为制约物流业快速发展的瓶颈问题。

目前,我国物流配送中心拣选作业多采用人工

拣选的作业方式。这种劳动密集型的作业占据物流配送中心90%的响应时间,具有随机性、不确定性和突发性等特点^[2-3]。因此,为维持物流企业快速、稳定运转,探究物流配送中心拣选作业工程负荷与职业健康是关键^[4]。

1 实验设计

1.1 实验样本

分别抽取20-30岁身体素质及体能条件良好的男性和女性作为实验样本。据统计,男性样本的平

[收稿日期]2020-10-22

[基金项目]黑龙江省科学基金项目(QC2017080);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2572017CB05)

[作者简介]周家琦,东北林业大学物流工程系学生,研究方向:物流工程;王宏颖,东北林业大学包装工程系学生,研究方向:包装工程;余子倩,东北林业大学森林工程系学生,硕士,研究方向:物流工程;李洋,通信作者,东北林业大学物流工程系主任,副教授,博士,研究方向:物流工程。

均年龄为 23 岁、平均身高 170.6cm、平均体重 68.2kg、平均人体表面积 1.760 7m²; 女性样本的平均年龄 22 岁、平均身高 164.2cm、平均体重 51.4kg、平均人体表面积为 1.506 6m², 结果见表 1。

1.2 实验设备

劳动负荷发生装置主要采用澳瑞特多功能电动跑步机 JS-5047M 速度调节实现, 在运动的过程中记录其能量代谢量、心率指标^[5]。

1.3 实验步骤

(1) 根据性别不同, 对男性和女性待测样本进行编号, 分别记为 $i(i=1, 2, \dots, 5)$ 和 $j(j=1, 2, \dots, 5)$;

(2) 设定实验速率 5km/h 和 7km/h^[6], 分别记为 v_1 和 v_2 ;

(3) 称取备拣货物, 使其负荷为 3.5kg^[7], 记为 G ;

(4) 确定不同速率、不同负荷下的测试时间为 15min, 记为 t ;

(5) 实验采取分组、分负荷的方式进行。实验中记录其身高、体重值后, 要求待测者 i, j 在特定速率 v_1, v_2 的条件下运动指定时间 t , 同时随机多次拣选负荷为 G 的备拣重物, 记录其心率变化 $X_{iV_1}, X_{iV_2}, X_{jV_1}, X_{jV_2}$ 和能量代谢值 $Y_{iV_1}, Y_{iV_2}, Y_{jV_1}, Y_{jV_2}$;

(6) 待测者依次进行实验。每次测定后待测者休息一段时间直至心率恢复常态再进行下一次实验。

1.4 实验数据

实验测试数据结果见表 1。

表 1 物流拣选作业劳动强度

测试样本	身高/cm	体重/kg	心率/(beast/min)		能量代谢量/kJ		
			5km/h	7km/h	5km/h	7km/h	
20-30 年龄组男性	男 1	180	90	107	113	334	384
	男 2	168	62	111	117	282	346
	男 3	169	67	117	115	299	352
	男 4	168	64	110	114	288	342
	男 5	168	58	118	115	281	336
20-30 年龄组女性	女 1	172	50	112	116	263	320
	女 2	165	50	110	113	261	313
	女 3	160	57	107	110	264	319
	女 4	163	53	112	110	259	320
	女 5	161	47	111	116	253	308

2 人因工程量化

2.1 相对代谢率 RMR 量化

劳动强度的量化指标采用相对代谢率 RMR 方法, 即能量代谢量和安静代谢量的差值与基础代谢量的比值, 见式(1)。

$$RMR = (\text{能量代谢量} - \text{安静代谢量}) / \text{基础代谢量} \quad (1)$$

(1) 能量代谢即模拟待测的作业环节, 以特定的作业速率作业一段时间记录其消耗的能量值。

(2) 基础代谢量是指机体在平卧状态下维持生命体征所必须消耗的能量, 见式(2), 其数值较稳定, 一般不超过正常平均值的 15%^[8-9]。

$$\text{基础代谢量} = \text{基础代谢率平均值 } B \times \text{人体表面积 } S \times \text{持续时间 } t \quad (2)$$

(3) 安静代谢量通常指基础代谢量以及维持体位平衡所增加代谢量的总和, 通常以基础代谢量的 20% 作为维持体位平衡所增加的代谢量^[10-11], 即安静代谢率 R 数值上等于基础代谢率 B 的 1.2 倍, 见式(3)。

$$\text{安静代谢量} = \text{安静代谢率 } R \times \text{人体表面积 } S \times \text{持续时间 } t \quad (3)$$

相对代谢率 RMR 量化结果见表 2。

表 2 物流拣选作业劳动强度相对代谢率

测试样本	人体表面积/m ²	基础代谢量/kJ	安静代谢量/kJ	能量代谢量/kJ		相对代谢率		
				5km/h	7km/h	5km/h	7km/h	
20-30 年龄组男性	男 1	2.097 1	82.730 60	99.276 71	334	384	2.837 201	3.441 572
	男 2	1.665 5	65.703 98	78.844 77	282	346	3.091 978	4.066 044
	男 3	1.735 6	68.469 42	82.163 30	299	352	3.166 913	3.940 981
	男 4	1.691 1	66.713 90	80.056 67	288	342	3.116 942	3.926 368
	男 5	1.614 3	63.684 14	76.420 96	281	336	3.212 402	4.076 039
20-30 年龄组女性	女 1	1.536 3	56.228 58	67.474 30	263	320	3.477 337	4.491 056
	女 2	1.493 6	54.665 76	65.598 91	261	313	3.574 469	4.525 705
	女 3	1.552 7	56.828 82	68.194 58	264	319	3.445 530	4.413 349
	女 4	1.519 8	55.624 68	66.749 62	259	320	3.456 207	4.552 842
	女 5	1.430 8	52.367 28	62.840 74	253	308	3.631 261	4.681 535

2.2 单位能量代谢量及单位心率量化

根据劳动者的性别、年龄、身体抗负荷能力、体

表面积等的不同,所得劳动强度值也不同。劳动者作业时,根据作业负荷的不同,单位心率和单位能量代谢也不同,即劳动强度不同。

单位能量代谢量及单位心率量化结果见表3。

表3 物流拣选作业劳动强度单位心率及能量代谢量

	测试样本	心率/(beast/min)		能量消耗/(kJ/min)	
		5km/h	7km/h	5km/h	7km/h
20-30 年龄组 男性	男1	107	113	22.266 67	25.600 00
	男2	111	117	18.800 00	23.066 67
	男3	117	115	19.933 33	23.466 67
	男4	110	114	19.200 00	22.800 00
	男5	118	115	18.733 33	22.400 00
20-30 年龄组 女性	女1	112	116	18.533 33	21.333 33
	女2	110	113	18.400 00	20.866 67
	女3	107	110	18.600 00	21.266 67
	女4	112	110	18.266 67	21.333 33
	女5	111	116	18.866 67	20.533 33

2.3 实际劳动率和疲劳宽放率量化

研究表明,一般人机体具有一定的耐力水平,即在中间不休息的情况下连续劳动480min所能消耗的最大能量界限为16.75kJ/min,作业者体内标准能量储备为100.47kJ^[12-13]。现假设单位作业时间内所消耗的能量为M;总的劳动时间为T,见式(4),其中 $T_{\text{劳}}$ 和 $T_{\text{休}}$ 分别为实际劳动时间和休息时间。

$$T = T_{\text{劳}} + T_{\text{休}} \quad (4)$$

根据连续工作所能消耗的最大能量以及体内标准能量储备值,结合式(5)和式(6)可计算得出实际劳动时间、休息时间,见表4。

$$T_{\text{劳}} = 100.47 / (M - 16.75) \quad (5)$$

$$T_{\text{休}} = T_{\text{劳}} \times M / 16.75 - T_{\text{劳}} = [(M / 16.75) - 1] \times T_{\text{劳}} \quad (6)$$

根据表4计算结果,结合式(7)、式(8),可得实际劳动率和疲劳宽放率,见表5。

$$T_w = T_{\text{劳}} / T = T_{\text{劳}} / (T_{\text{劳}} + T_{\text{休}}) \quad (7)$$

$$T_f = T_{\text{休}} / T = T_{\text{休}} / (T_{\text{劳}} + T_{\text{休}}) \quad (8)$$

表4 疲劳强度作业时间规划

	测试样本	单位能量消耗量/kJ		实际劳动时间/min		休息时间/min	
		5km/h	7km/h	5km/h	7km/h	5km/h	7km/h
20-30 年龄组 男性	男1	22.266 67	25.600 00	18.212 08	11.352 54	5.998 209	5.998 209
	男2	18.800 00	23.066 67	49.009 76	15.905 54	5.998 209	5.998 209
	男3	19.933 33	23.466 67	31.561 26	14.958 31	5.998 209	5.998 209
	男4	19.200 00	22.800 00	41.008 16	16.606 61	5.998 209	5.998 209
	男5	18.733 33	22.400 00	50.657 14	17.782 30	5.998 209	5.998 209
20-30 年龄组 女性	女1	18.533 33	21.333 33	56.338 42	21.920 73	5.998 209	5.998 209
	女2	18.400 00	20.866 67	60.890 91	24.405 67	5.998 209	5.998 209
	女3	18.600 00	21.266 67	54.308 11	22.244 28	5.998 209	5.998 209
	女4	18.266 67	21.333 33	66.243 81	21.920 73	5.998 209	5.998 209
	女5	18.866 67	20.533 33	47.466 07	26.555 95	5.998 209	5.998 209

表5 实际劳动率和疲劳宽放率

	测试样本	单位能量消耗量/kJ		实际劳动率 T_w /%		疲劳宽放率 T_f /%	
		5km/h	7km/h	5km/h	7km/h	5km/h	7km/h
20-30 年龄组 男性	男1	22.266 67	25.600 00	75.224 6	65.429 7	24.775 4	34.570 3
	男2	18.800 00	23.066 67	89.095 7	72.615 6	10.904 3	27.384 4
	男3	19.933 33	23.466 67	84.030 1	71.377 8	15.969 9	28.622 2
	男4	19.200 00	22.800 00	87.239 6	73.464 9	12.760 4	26.535 1
	男5	18.733 33	22.400 00	89.412 8	74.776 8	10.587 2	25.223 2
20-30 年龄组 女性	女1	18.533 33	21.333 33	90.377 7	78.515 6	9.622 3	21.484 4
	女2	18.400 00	20.866 67	91.032 6	80.271 6	8.967 4	19.728 4
	女3	18.600 00	21.266 67	90.053 8	78.761 8	9.946 2	21.238 2
	女4	18.266 67	21.333 33	91.697 1	78.515 6	8.302 9	21.484 4
	女5	18.866 67	20.533 33	88.780 9	81.574 7	11.219 1	18.425 3

3 人因工程评估

3.1 相对代谢率RMR评估

如图1所示,我国物流配送中心拣选作业劳动强度大致处于中等水平,但在劳动负荷为7km/h时,劳动者相对代谢指标处于中等偏重水平,即劳动者在合理的作息安排下可以连续工作数小时,以维持物流企业快速、稳定运转。

3.2 单位能量代谢量及单位心率评估

如图2所示,从心率指标来看,实验结果处于100~125beast/min,即为中等劳动强度水平。

如图3所示,从单位时间能量代谢指标来看,当

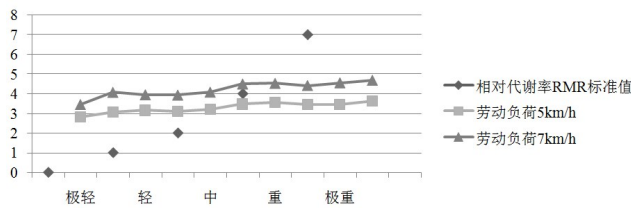


图1 物流拣选两种不同劳动负荷下相对代谢率

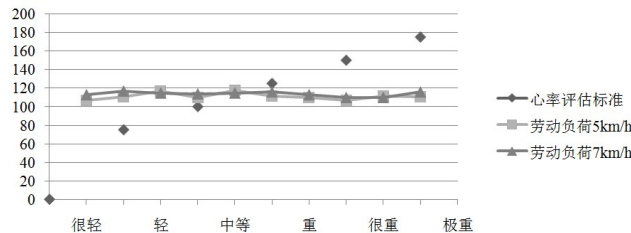


图2 物流拣选两种不同劳动负荷下心率

劳动负荷在 5km/h 时,处于轻度偏中等劳动强度水平;当劳动负荷在 7km/h 时,处于中等偏重劳动强度水平。

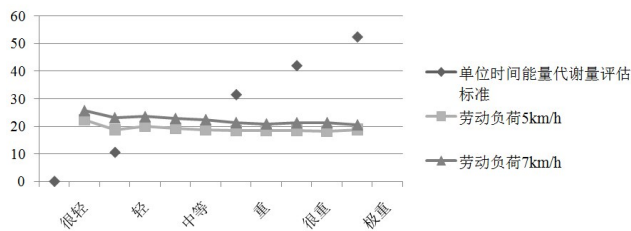


图3 物流拣选两种不同劳动负荷下单位时间能量代谢量

3.3 实际劳动率和疲劳宽放率评估

根据表4和表5分析得出,当劳动负荷为5km/h时,实际劳动率平均为87.6945%,疲劳宽放率平均为12.3055%,即物流拣选劳动者平均每工作48min后,需要休息6min;当劳动负荷为7km/h时,实际劳动率为75.5304%,疲劳宽放率为24.4696%,即物流拣选劳动者平均每工作19min后,需要休息6min。

4 结语

随着电子商务技术在物流业的快速发展,新兴储分一体化物流配送中心成为物流发展的重要趋势。其中,我国以物流拣选为例的作业环节多处于劳动密集型作业状态。我国劳动强度高的作业大多已实现机械化、自动化运作,而中等及中等偏上劳动强度的作业环节仍采用人工作业。

本文从工程负荷与职业健康研究的角度,探究以物流配送中心拣选作业为例的劳动密集型作业环节。采用相对代谢率RMR和单位能量代谢及心率两种方法量化其劳动强度大致处于中等劳动水平;采用实际劳动率和疲劳宽放率等疲劳强度指标提出合理的作息安排,以在关注职业健康的同时维持物流企业优质和谐、高效稳定的发展,推动电子商务模式下物流业的快速发展。

【参考文献】

- [1] 郭伏,孙永丽,叶秋红.国内外人因工程学研究的比较分析[J].工业工程与管理,2007,9(6):31-34.
- [2] ZUO WENMING,HUANG QIUPING,FAN CHANG,et al. Quality management of B2C e-commerce service based on human factors engineering[J].Electronic Commerce Research and Applications,2013,19(4):21-25.
- [3] 侯凌燕,尹军琪.B2C网购物流配送中心研究[J].物流技术,2011,6(7):23-27.
- [4] 丁连红,时鹏,刘丙午.仓储中心拣选作业研究综述[J].物流技术,2008,11(8):9-13.
- [5] 杨国敏.面向电子商务的物流配送中心储分一体化系统设计与改善[D].昆明:云南财经大学,2014.
- [6] 廖斌,高慧,陈宁.基于相对心率的体力劳动强度评价方法[J].中国安全生产科学技术,2013,7(4):18-23.
- [7] 刘昌用.劳动强度的量化分析初探[J].生产力研究,2009,23(1):5-8.
- [8] 冯国红.人因工程学[M].武汉:武汉理工大学出版社,2013.
- [9] 廖斌,杨琴,高慧.体力劳动强度评价方法研究[J].中国安全生产科学技术,2013,16(2):124-126.
- [10] 张文倩,樊树海,熊佳玮,等.搬运作业能量消耗模型及仿真研究[J].中国安全科学学报,2018,28(10):38-43.
- [11] 郭伏,陈宁,郭馥曼.基于ABA-tech的零件拣选工位人因分析与改善[J].人类工效学,2015,21(4):62-68.
- [12] 张文倩,熊佳玮,陈思雨,等.基于Kcal/ERGO人因工程模型的手工搬运作业负荷仿真与评估[J].工业安全与环保,2018,44(8):47-50.
- [13] 蔡敏,刘浩博.人因工程理论在物流配送中的应用[J].物流工程与管理,2013,35(8):43-44,34.
- [14] 王柏村,黄思翰,易兵,等.面向智能制造的人因工程研究与发展[J].机械工程学报,2020,56(16):240-253.
- [15] 李先冲.基于人因工程对现代制造企业操作者脑力疲劳的研究[J].中外企业家,2020(16):239.
- [16] 徐新然,于瑞峰,王向川.作业休息制度和搜索区域移动速度对搜索绩效和视觉疲劳的影响[J].人类工效学,2020,26(2):19-25.
- [17] 蔡敏,沈琼玮,黄刚,等.考虑供料策略和人因的装配线平衡问题建模研究[J].系统工程,2020,38(2):79-86.