

基于改进模糊 Borda 法的工作疲劳评价应用

刘敏霞,柯家伟,谢剑,薛庆

北京理工大学机械与车辆学院,北京 100081

摘要 为促进人体工作疲劳社会管理机制的发展,预防工作中由于疲劳带来的各种经济损失,有必要对人体工作疲劳程度进行定量评价。首先采用熵值法、因子分析法和综合指数法对从调查问卷和实验中得到的 4 项疲劳指标进行综合评价,然后利用改进的模糊 Borda 法对以上 3 种综合评价方法得到的结果进行组合评价,最后对得出的结果进行聚类分析。企业可以依据聚类分析的结果对员工工作任务、工作激励或工作条件等进行改善,以降低疲劳程度。

关键词 人因工程;组合评价;工作疲劳;改进模糊 Borda 法

中图分类号 N45

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.25.007

Application of Evaluation on Working Fatigue Based on Improved Fuzzy Borda Method

LIU Minxia, KE Jiawei, XIE Jian, XUE Qing

School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Abstract In order to improve the social management on the human working fatigue, and reduce the economic loss due to the working fatigue, it is necessary to make a quantitative evaluation of the human working fatigue. First based on the combination of the entropy method, the factor analysis method and the comprehensive index method, four fatigue indexes are evaluated from the questionnaires and the experiments. Second, by using the improved fuzzy Borda method, the combination evaluation of the results is made for the above three comprehensive evaluation methods. Finally, the cluster analysis is made based on the results of the improved fuzzy Borda method. The enterprise could adjust its working tasks, incentive measures and working conditions in order to reduce the working fatigue.

Keywords human factors engineering; combination evaluation; working fatigue; improved fuzzy Borda method

0 引言

随着社会的不断进步,人们物质生活极大改善的同时增加了更多的生活压力。越来越多的员工受到工作疲劳对身心带来的各种不良影响。有研究指出,中国员工疲劳已经发展到足以构成社会危机的带有普遍性的问题,并提出了建立完善的具有战略性规划的疲劳社会危机管理机制^[1]。工作疲劳是一个包含复杂因素的系统问题,如何有效地评价员工的疲劳程度在疲劳管理中显得至关重要。

目前,国内外主要侧重于对疲劳概念、理论模型和影响因素的研究^[2],而没有一个方法能直接测定疲劳^[3]。现今对于疲劳评价的研究可以分为事前、事中和事后 3 个方面。事前研究主要侧重于通过动作分解以及机体能量分析等方法对

工作过程中产生的疲劳进行预算或仿真测算^[4-5]以及通过理论分析对各种疲劳模型进行研究^[6];事中研究则主要侧重于如何从生理及心理各种变化和表征监测疲劳^[7],以及如何通过各种疲劳监测装置实现疲劳实时反馈和警报^[8];而事后研究主要是如何选择合适的评价方法对疲劳进行定量分析^[9-10]。本文采取事后研究的方法,通过问卷调查法、亮点闪烁实验、握力实验主客观相结合的疲劳测定方法获得 4 项评价指标。在熵值法、因子分析法和综合指数法进行综合评价的基础上引入改进的模糊 Borda 法进行组合评价,最后采用聚类分析方法划分疲劳等级。目的是评价生产线上工作人员的疲劳程度,进行疲劳等级划分,从而为合理分配员工任务,采取激励措施,改善工作条件提供依据。

收稿日期:2012-06-12;修回日期:2012-07-15

作者简介:刘敏霞,实验师,研究方向为人因工程,电子邮箱:liuminxia@bit.edu.cn

1 研究方法

问卷调查法和亮点闪烁实验、握力实验分别属于主观和客观的疲劳测定方法。主观测定法通过在问卷中罗列出许多与生理、精神和感觉有关的症状,应用调查统计的方法对测试者的疲劳状况进行分析;客观测定法则通过实验测试与人体疲劳相关的指标来衡量疲劳,除了亮点闪烁实验和握力实验以外,常见的还有脑电图信号分析法、表面肌电信号测量法、动态心率测量法、固定力疲劳测试等。疲劳测定可以得到以下 4 项指标:问卷体力疲劳得分、问卷精神疲劳得分、临界闪光融合频率日间变化率和握力日间变化率。

运用多个指标对多个参评单位进行评价的方法即综合评价法。综合评价的过程中将根据指标的重要性进行加权处理,分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法利用专家的知识 and 经验对各项评价指标赋权;客观赋权法则是依据原始数据信息,通过数学或统计方法获得评价指标的权重。主观赋权法能够充分吸收专家的专业知识和实践经验,缺点是主观随意性大;客观赋权法获得的权重有绝对的客观性,但是有可能忽略了指标本身的重要程度,另外不同的样本确定的权重不同,造成权重不稳定。仅从一个角度,用单一的方法进行评价得出的结果往往缺乏说服力,因此本文选择多种综合评价方法对员工工作疲劳程度进行组合评价。

目前常用的组合评价方法有平均值法、Borda 法、Copeland 法和模糊 Borda 法。其中模糊 Borda 法既考虑了名次又考虑了得分情况,比前 3 种方法更能反映客观事物的本来面目^[11]。此外,考虑到模糊 Borda 法无法实现评价价值和评价排序的结合,提出了 3 个改进思路^[12]。为了进一步促进组合评价在工作疲劳评价方面的研究,本文采用其中一种改进思路^[13]对装配线上员工的工作疲劳程度进行评价。

2 实验方法

2.1 主观测定法

主观测定法借助问卷调查的方式从主观上反映员工的疲劳程度。问卷调查分为两个阶段。第一阶段为匿名制问卷调查数据阶段,第二阶段为记名制调查且与后续握力及两点闪烁试验相对应。其中,第一阶段共调查 37 人,收回问卷 37 份,剔除题目填答不全及大部分题目均匀勾选相同项的问卷,得到有效问卷共 33 份,有效率为 89.2%;第二阶段共调查 12 人,收回问卷 12 份,其中有效问卷 12 份,有效率为 100%。

由于本次调查未采用事先通过信度和效度检验的疲劳量表,为了保证问卷调查结果的准确性和科学性,在第一阶段问卷调查中,有必要考查设计的问卷是否符合可信和有效的要求,即进行信度与效度检验^[14](表 1)。

表 1 量表的信度与效度检验表
Table 1 Tests of reliability and validity

检验方法	信度检验	效度检验		
		内容效度	项目效度	结构效度
结果	克朗巴哈 Alpha 信度系数=0.777	单选题项与总体选项均相关	大部分题目偏难,14 与 16 题鉴别度低	13 个变量(即问卷中的 13 道题)的累积贡献率达到 60%以上
评价	大于 0.75,可信	内容有效	需改进题目的难易度和鉴别度	略高于中等水平,结构有效

总体来说,该量表具有较好的信度和效度,可以用作第二阶段的记名制调查。

2.2 客观测定法

在第二阶段的问卷调查中,以 5 个工作日为 1 个测试单元,分别在上班前、下班后对 12 名调查对象进行握力实验和亮点闪烁实验。以下为握力实验和亮点闪烁实验的具体设计。

(1) 握力实验设计

主试打开握力计锁扣,并将握力计指针复位。被试身体直立,两脚自然分开,两臂自然下垂,手持握力计,掌心向内,表盘朝外。被试用左手尽自己最大的可能瞬间发力握 1 次,主试将最大握力值填入数据表。

(2) 视觉闪光融合频率实验设计

主试设置红光为测试光,背景光强为 1/4,亮黑比 1:3,改变亮点光强度。被试双眼紧贴观测筒,观察位于视觉中央的

亮点;在测定闪烁临界频率时,被试转动仪器右侧“频率调节”旋钮,相应的频率会增加或减少。若被试开始时观测到一个亮点闪烁,则通过增加频率值至看起来亮点刚刚不闪烁,主试记录此时的频率值;若被试开始时观测不到亮点闪烁,则通过减小频率值至刚刚看到亮点闪烁,主试记录此时的频率值。

3 数据采集及初始化

3.1 问卷数据

由于将疲劳分为体力疲劳和精神疲劳两部分,将量表中与这两种疲劳相关的题目的数据择出。其中,7 道题与体力疲劳相关,6 道题与精神疲劳相关。假设每一道题目所反应的人体疲劳权重相同,A—D 项分别对应 1—5 分。将相关类型题目进行加权平均得到的平均值作为主观评定的两项指标,结果分别表示该员工的体力疲劳评分和精神疲劳评分。

3.2 实验数据

对每名员工 5 个工作日内上班前和下班后的最大握力值求平均,得到的结果作为这一阶段上班前、下班后的握力实验数据。在视觉闪光融合频率实验中,每次实验时对每名员工在亮点光强度为 1/2、1/8、1/32 时各做 1 次,计算出每名员工上班前、下班后的平均临界闪光融合频率。然后分别计算最大握力值的日间变化率及临界闪光融合频率的日间变化率,计算公式为

$$\text{日间变化率} = \frac{\text{上班前平均值} - \text{下班后平均值}}{\text{上班前平均值}} \quad (1)$$

每名员工的最大握力值日间变化率和临界闪光融合频率日间变化率见表 2。

表 2 4 项评价指标数据表

Table 2 Data of four evaluation indexes

员工代号	问卷		实验	
	体力疲劳 得分	精神疲劳 得分	临界频率日 间变化率/%	握力日间 变化率/%
1	4.43	3.00	2.77	16.72
2	4.43	2.00	4.87	21.62
3	4.43	3.50	6.23	29.03
4	3.14	3.00	0.33	6.89
5	3.00	3.50	4.56	17.05
6	4.29	2.67	2.69	13.47
7	3.71	3.00	2.87	12.85
8	4.29	3.00	-0.31	13.07
9	4.00	2.67	2.99	13.17
10	4.14	2.50	5.16	13.45
11	4.43	3.00	4.3	17.17
12	3.86	2.33	3.93	11.98

4 数据处理及分析

4.1 数据处理步骤

本文数据处理的步骤为:(1)运用熵值法、因子分析法、综合指数法 3 种常见的综合评价法对生产线上的员工进行评价;(2)选用 Excel 2010,运用非参数相关分析 Spearman 秩相关检验对上述 3 种方法的排名结果进行一致性检验;(3)运用改进的模糊 Borda 法进行组合评价;(4)采用软件 SPSS 19.0 进行聚类分析。

4.2 数据处理结果及分析

运用熵值法、因子分析法、综合指数法对生产线上的 12 名员工的疲劳程度进行综合评价,得到 12 名员工的综合评价结果如表 3 所示。3 种评价方法所得到的排名略有不同,但差异不大。

上述 3 种方法得到的排序结果不属于正态分布,因此采用非参数相关分析 Spearman 秩相关检验法检验其一致性,结果见表 4。从表 4 可以看出,Spearman 相关系数均在 0.800 以上。这说明上述 3 种综合评价方法得到的排序结果具有一致性,可以运用改进的模糊 Borda 法进行组合评价。

运用改进的模糊 Borda 法组合评价上述 3 种综合评价法的结论,结果见表 3。其结果与原来 3 种方法的排序结果接近。

运用系统聚类法类间平均距离对组合评价得到的 12 名员工的得分进行聚类分析,结果如图 1 所示。当聚类距离小于 5 时,排名 1—3 位的员工(3、2、5)为第 1 类,属于最疲劳的一类;排名 4—7 位的员工(11、10、1、12)为第 2 类;排名 8—10 位的员工(9、7、6)为第 3 类;排名 11—12 位的员工(8、4)为第 4 类。

数据处理结果与问卷调查、实验的数据指标基本一致,说

表 3 12 名员工疲劳程度评价结果及排名

Table 3 Evaluation results and ranking of the 12 employees' fatigue degree

员工代号	熵值法		因子分析法		综合指数法		改进模糊 Borda 法	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
1	0.08	7	0.09	4	0.98	6	7.18	6
2	0.11	2	-0.89	5	1.27	2	10.69	2
3	0.14	1	3.29	1	1.65	1	12.00	1
4	0.03	12	-0.94	12	0.45	12	1.00	12
5	0.10	3	2.27	2	1.17	3	10.38	3
6	0.07	10	-0.89	9	0.88	10	3.17	10
7	0.07	9	0.04	7	0.89	9	4.58	9
8	0.04	11	-0.97	11	0.53	11	2.00	11
9	0.07	8	-0.71	8	0.90	8	5.00	8
10	0.10	4	-0.57	6	1.16	5	8.28	5
11	0.10	5	0.51	3	1.17	4	8.88	4
12	0.08	6	-1.22	10	0.96	7	6.19	7

表 4 Spearman 等级相关系数
Table 4 Spearman rank correlation coefficient

	熵值法	因子分析法	综合指数法
熵值法	1.000	0.832	0.986
因子分析法	0.832	1.000	0.895
综合指数法	0.986	0.895	1.000

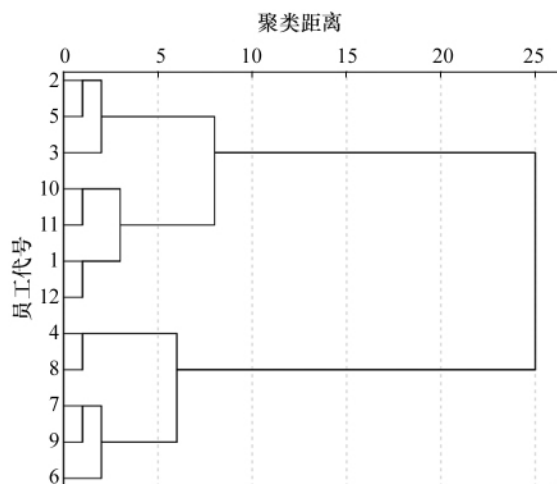


图 1 聚类分析过程树状图

Fig. 1 Tree diagram of cluster analysis

明运用改进的模糊 Borda 法对生产线上的员工进行综合评价具有一定的实用价值。

5 讨论及应用

5.1 讨论

员工的工作疲劳的综合评价受多方面因素的影响,比如评价指标体系的选择、评价方法的选择及数据的准确性等。本文结合问卷调查和客观实验,以问卷中的体力疲劳得分、精神疲劳得分和实验中的临界频率日间变化率、握力日间变化率作为评价指标,运用熵值法、因子分析法、综合指数法的综合评价方法对员工工作疲劳进行评价,然后运用改进的模糊 Borda 法对结果进行综合评价,得到最终的得分和排名。

为了对员工工作疲劳程度进行分层,最后采用系统聚类分析的方法将员工的工作疲劳程度划分为 4 个层次。分层后的结果如下:员工 3、2、5 为很疲劳,员工 11、10、1、12 为较疲劳,员工 9、7、6 为轻度疲劳,员工 8、4 为不疲劳。其中 3、2、5 均具有 3 项指标排名比较靠前的特点,因此可以认为上述综合评价的结果与实际情况基本一致,改进模糊 Borda 法评价模型比较合理。

5.2 应用

企业可以依据系统聚类分析划分的层次确定员工之间的相对疲劳程度。以此为依据,可以通过合理地分配工作任务,采取激励措施或改进工作环境以达到降低员工工作疲劳程度的目的。这样不仅能够提高员工的生产积极性,还能提

高企业生产的效率,优化企业资源配置,促进企业生产运作的良性循环。

组合评价法可以综合各有关因素对总体效果的影响,较为客观地对员工工作疲劳程度做出评价。但由于实验设备和实验条件的限制,客观评定中仅以临界频率日间变化率和握力日间变化率为评价指标,有可能造成评价不够准确。这有待在日后的实践中完善。

6 结论

工作疲劳是员工产生疲劳感和工作机能衰退的现象,它会给企业带来一定的经济损失,因此采取合适的工作疲劳评价方法有助于企业得到真实的员工疲劳状况,并进行疲劳的消除和预防。通过对改进模糊 Borda 法在工作疲劳评价上的应用研究,可以得出以下结论。

(1) 疲劳测定可以分为主观上的问卷调查和客观上的实验设计,两者的结合能较为全面地评价员工的工作疲劳。

(2) 组合评价法综合了主观赋权与客观赋权两种综合评价方法,因此能同时考虑主观因素与客观因素对工作疲劳评价的影响,有助于反映员工真实的疲劳状况。

(3) 改进模糊 Borda 法实现了综合评价法中评价价值与名次的结合,得到的疲劳得分和排名更能客观地反映员工疲劳程度。

(4) 聚类分析能定性地将员工疲劳分层,对处于同一层的员工给予相同的疲劳评价,得到实用的疲劳程度的定性说明,有助于企业进行分层次的员工疲劳消除与预防。

参考文献 (References)

- [1] 郭晓宏, 陈仙. 危机管理与员工疲劳预防[J]. 中国安全科学学报, 2008 (3): 46-52.
Guo Xianhong, Chen Xian. *China Occupational Safety and Health Association*, 2008(3): 46-52.
- [2] 詹发尚. 疲劳研究的现状 [J]. 中国行为医学科学, 2006, 15 (2): 188-189.
Zhan Fashang. *Chinese Journal of Behavioral Medical Science*, 2006, 15 (2): 188-189.
- [3] 戚基艳. 汽车驾驶疲劳分析及其监测[J]. 汽车科技, 2011(1): 34-38.
Qi Jiyen. *Automobile Science and Technology*, 2011(1): 34-38.
- [4] 王向银, 刘坚, 蒲海蓉, 等. 基于能量分析的装配作业疲劳改善研究[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2010(5): 31-34.
Wang Xiangyin, Liu Jian, Pu Hairong, et al. *Journal of Hunan University: Natural Sciences Edition*, 2010(5): 31-34.
- [5] 王维, 唐小凤, 李焱. 基于维修仿真的人体疲劳分析[J]. 系统仿真学报, 2006(S1): 245-248.
Wang Wei, Tang Xiaofeng, Li Yan. *Journal of System Simulation*, 2006 (S1): 245-248.
- [6] 高永全. 基于人机工程学单调作业的疲劳模型 [J]. 机械管理开发, 2007(S1): 116-117.
Gao Yongquan. *Mechanical Management and Development*, 2007 (S1): 116-117.
- [7] 康卫勇, 袁修干, 柳忠起, 等. 瞳孔的变化与脑力负荷关系的试验分析 [J]. 航天医学与医学工程, 2007(5): 364-366.

- Kang Weiyong, Yuan Xiugan, Liu Zhongqi, et al. *Space Medicine & Medical Engineering*, 2007(5): 364-366.
- [8] 金键. 驾驶疲劳机理及馈选模式研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2002.
Jin Jian. Research on driving fatigue mechanism and feedback and selection mode[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2002.
- [9] 景国勋, 张永全, 张军波. 基于多层次模糊综合评判的人疲劳综合评价[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(6): 55-59.
Jing Guoxun, Zhang Yongquan, Zhang Junbo. *China Safety Science Journal*, 2006, 16(6): 55-59.
- [10] 蔡娜, 胡江碧, 刘小明, 等. 交通警察执行奥运安保任务时疲劳度分析[J]. 中国人民公安大学学报: 自然科学版, 2009(3): 63-67.
Cai Na, Hu Jiangbi, Liu Xiaoming, et al. *Journal of Chinese People's Public Security University: Science and Technology*, 2009(3): 63-67.
- [11] 郭显光. 一种新的综合评价方法——组合评价法[J]. 统计研究, 1995 (5): 56-59.
- Guo Xianguang. *Statistical Methods in Medical Research*, 1995 (5): 56-59.
- [12] 苏为华, 陈骥. 模糊 Borda 法的缺陷分析及其改进思路[J]. 统计研究, 2007(7): 58-64.
Su Weihua, Chen Ji. *Statistical Methods in Medical Research*, 2007(7): 58-64.
- [13] 徐英, 胡伟. 改进模糊 Borda 法在医院工作质量评价中的应用 [J]. 中国卫生统计, 2010, 27(2): 187-188.
Xu Ying, Hu Wei. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2010, 27(2): 187-188.
- [14] 柯惠新, 沈浩. 调查研究中的统计分析法[M]. 北京: 中国传媒大学出版社, 2005.
Ke Huixin, Shen Hao. *Statistic in science research* [M]. Beijing: Communication University of China Press, 2005.

(责任编辑 安莹, 吴晓丽)

·学术动态·

“第二届国际扶阳论坛 暨第五届扶阳论坛”征文



由中华中医药学会、四川省中医药管理局主办的“第二届国际扶阳论坛暨第五届扶阳论坛”议拟定于 2012 年 11 月 26—30 日在成都市召开。

征稿范围:扶阳学派源流探讨;扶阳学派学术思想与特色研究;扶阳学派用药经验总结;扶阳学派辨证论治技巧研究;中医扶阳各家学说学术经验探讨;中医扶阳各家学说理论临床应用体会;名老中医、民族医药及特色疗法扶阳经验总结;附子等扶阳药物临床应用总结;扶阳学派传承研究;扶阳学说在养生保健中的应用探讨等。

全文截稿日期:2012 年 10 月 30 日。

联系电话:13258119640。

电子信箱:xiaoyue3548@yahoo.com.cn。

通信地址:四川省成都市人民南路 4 段 51 号(610041)。

会议网站:http://www.cacm.org.cn/cobportal/portal/channel_xwzx.ptview?funcid=showContent&infoLinkId=31662&infoSortId=52281。



科技
导报
SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。