

基于层次分析法的运营车辆驾驶疲劳影响因素分析

张会, 张春

(辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室,
辽宁葫芦岛 125105)

摘要: 为分析各因素对运营车辆驾驶员疲劳的影响程度, 本文采用层次分析法对驾驶疲劳影响因素进行研究。从安全人机工程学的角度构建了人-机-环-管系统, 通过对驾驶疲劳产生过程的分析, 给出了影响驾驶疲劳的主要因素; 采用层次分析法, 对各影响因素进行了层次划分, 计算了不同层次驾驶疲劳影响因素的影响权重, 依据计算结果对各因素进行了影响重要度排序, 并给出了具有针对性的预防运营车辆驾驶疲劳的措施。研究表明: 准则层中的安全管理对运营车辆驾驶疲劳影响较大; 指标层中对运营车辆驾驶疲劳影响最大的五个因素为温度湿度、驾驶时间、自我管理、气候条件、座椅舒适度。

关键词: 安全学; 安全人机工程; 疲劳驾驶; 人-机-环-管系统; 层次分析法

中图分类号: X951 文献标识码: A

文章编号: 1674-2850(2020)02-0227-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of factors affecting driving fatigue of operating vehicles based on analytic hierarchy process

ZHANG Hui, ZHANG Chun

(Key Laboratory of Mine Thermo-motive Disaster and Prevention, Ministry of Education, College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105, China)

Abstract: In order to analyze the influence of various factors on the fatigue of operating vehicle drivers, analytic hierarchy process is used to study the factors affecting driving fatigue in this paper. The human-vehicle-environment-management system is constructed from the perspective of safety ergonomics. Through the analysis on the generation process of the driving fatigue, the main factors affecting driving fatigue are given. The analytic hierarchy process is used to divide the influencing factors into different levels. Then the influence weights of the driving factors of different levels in driving fatigue are calculated. According to the calculation results, the importance ranking of each factor is ranked, and the targeted measures to prevent driving fatigue of the operating vehicles are given. The research results show that the safety management in the criterion layer has a great influence on the driving fatigue of the operating vehicle; the five factors that have the greatest impact on the driving fatigue of the operating vehicle in the index layer are temperature and humidity, driving time, self-management, climatic conditions, and seat comfort.

Key words: safety science; safety ergonomics; fatigue driving; human-vehicle-environment-management system; analytic hierarchy process

0 引言

我国公路的客运量较大, 各类运营车辆在公路上驾驶频繁, 其重大事故的比例占公路运输事故的 70%

作者简介: 张会 (1998—), 女, 本科生, 主要研究方向: 安全人机工程学、安全系统工程

通信联系人: 张春, 副教授, 主要研究方向: 矿井火灾防治、人机工程学、安全评价. E-mail: 15241898683@163.com

以上。由于运营车辆运输对象较多，驾驶员疲劳驾驶极易引发重大群死群伤的伤亡事故，如2017年8月10日，在陕西省京昆高速段的秦岭1号隧道南口发生客车直接高速撞上隧道洞口事故，共造成36人死亡、13人重伤^[1]。因此，探讨驾驶疲劳的产生过程，分析驾驶疲劳的影响因素，对驾驶疲劳进行主动预防是减少伤亡事故的关键。

目前对于运营车辆特别是长途车驾驶疲劳的研究多采用调查问卷^[2]的方式，较少使用安全人机工程学的方法分析驾驶疲劳产生的原因^[3]。本文从安全人机工程学的角度构建人-机-环-管系统^[4]，在原有研究的基础上增加管理要素，从实际驾驶情况来看，良好的管理措施可以起到缓解驾驶疲劳的作用，甚至可以阻断驾驶疲劳的产生。本文采用层次分析法^[5]对驾驶疲劳影响因素进行分析。

1 驾驶疲劳影响因素的确定

在长时间驾驶过程中，驾驶员的驾驶能力会出现一定的变化^[6]，例如感知能力、注意能力、反应能力、操作能力^[7-10]等。当出现的变化达到一定程度后，驾驶员会产生驾驶疲劳，驾驶能力开始恶化。通过对驾驶员驾驶情况的调查^[11]，从安全人机工程学的角度构建人-机-环-管分析系统，分析驾驶疲劳的产生过程，如图1所示。

研究系统共包括五个界面：①视觉界面、②听觉界面、③人-操作器界面、④人-车内环境界面、⑤人-有效管理界面。

信息输入端：人通过①和②，感知道路路况信息、显示器显示信息等，人还通过④被动接受车内环境信息；信息处理端：眼睛、耳朵、皮肤等感知器官得到的相应信息传输给大脑及中枢神经进行分析处理；信息输出端：大脑、中枢神经处理信息结束后，给人的操作执行器官发出指令，人则通过③实现对操作器的相应操作；有效管理端：有效的管理措施通过⑤实现对人驾驶过程的约束限制。

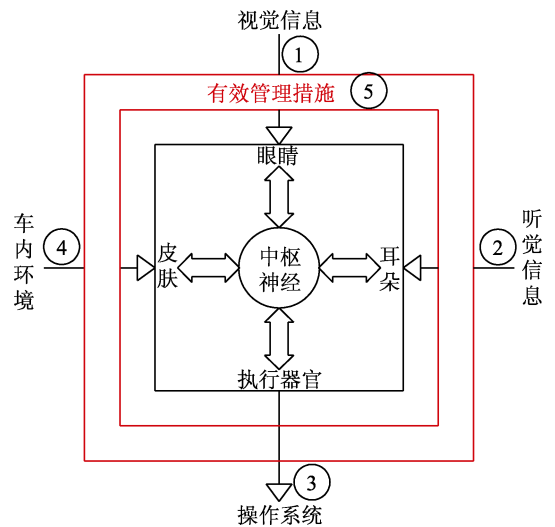


图1 人-机-环-管分析系统

Fig. 1 Human-vehicle-environment-management analysis system

1.1 眼、耳信息输入端对驾驶疲劳的影响

部分外环境信息即仪表盘显示、道路状况、路旁标识、信号灯、天气变化、行驶过程中的风声噪音等由人的感觉器官眼、耳等感知，进而传递给人的大脑、中枢神经系统，由于驾驶时间过长，信息刺激时间过长，这个过程不断机械重复，引起大脑皮层贮存的能源供应迅速消耗，进而引起感知器官酸痛、中枢神经变化，造成感知性疲劳。特别是运营车辆在夜间行驶时，更容易引起信息输入疲劳，引发倦意。

1.2 车内环境信息输入端对驾驶疲劳的影响

人与车辆驾驶座位长时间静态接触，会产生臀部、背部压力分布不均的现象。长时间的不良体压刺激机体会造成驾驶员肌肉收缩、坚硬、内压增大，通过皮肤接触引起臀部、背部局部肌肉酸麻现象；车内不适宜的温度、湿度也会影响皮肤状况，引起机体调节功能不能正常进行，从而加速疲劳；行驶过程中车身的振动也会产生不良影响，影响驾驶员心理、生理健康。

1.3 信息处理端对驾驶疲劳的影响

在整个驾驶活动过程中，驾驶员需要精神集中，保持高度警惕，遇到状况才能快速做出反应，这样会引起高度紧张的精神疲劳。中枢神经系统对输入的庞杂重复信息不断做出分析、判断并对人的执行器

官（手、脚等）发出不同的指令信号，然后驾驶员做出相应操作，该过程会引起大脑加工处理信号的精神疲劳。如果道路笔直、路旁布置陈设一样、行驶车辆较少，由于外界信息过少且单调，同时也无需很多驾驶操作，驾驶员的中枢神经缺少刺激，逐渐进入抑制状态驾驶，容易引发精神松懈、倦意、驾驶疲劳。

1.4 信息输出端对驾驶疲劳的影响

驾驶过程中驾驶员要长期保持固定的姿势，双手扶着方向盘，脚踩踏板，会引起胳膊、小腿乳酸堆积，有酸痛、麻木的疲劳感；当需要变速或改变方向时，手脚还要同时涉及操作变化，造成驾驶员神经兴奋，局部肌肉紧张。

1.5 有效管理端对驾驶疲劳的影响

运营车辆公司合理的排班制度、合理的人员分配制度、对驾驶员每天驾驶时间和休息娱乐时间作出合理规定、驾驶员对自己驾驶状态作出合理判断等有效管理措施，可使驾驶员保持心情舒畅、精神状态良好，同时可以减少驾驶员连续驾驶的时间，从而减弱上述 4 个界面产生的驾驶疲劳，甚至可以在疲劳将出现临界状态时，切断疲劳产生途径，保障人员安全。

1.6 驾驶员的自身属性对驾驶疲劳的影响

驾驶员的性别、反应速度、体力、耐力、年龄、工作情绪、工作兴趣、性格特点^[12]等差异都会诱发驾驶疲劳的产生。驾驶技术水平、操作熟练度，驾驶时间长短、经验，安全意识等均对驾驶疲劳的产生存在影响。但本文不着重探讨驾驶员自身特征差异对驾驶疲劳的影响，主要讨论外界大环境及管理措施对疲劳产生的影响。

1.7 基于人—机—环—管系统的驾驶疲劳主要影响因素确定

通过对人—机—环—管系统中各人机界面对驾驶疲劳的影响过程分析，得出影响驾驶疲劳产生的因素有：驾驶员感觉器官感知的道路环境信息，如仪表盘显示、道路状况、路旁标识、信号灯、天气变化、行驶噪声等；车内环境因素，如座椅、温度湿度、振动等；管理措施，如排班制度、自我管理。

2 驾驶疲劳影响因素的层次分析

2.1 确定驾驶疲劳评价指标体系

依据前面的分析结果，利用层次分析法构建驾驶疲劳评价指标体系^[13]，如图 2 所示。

2.2 各影响因素权值的计算

采用层次分析法从上到下逐层分析，分别计算准则层和指标层各影响因素的权重，并进行影响重要度排序。

2.2.1 准则层各因素的重要度

1) 用方根法求评价因素权重向量近似值 w_i :

$$w_i = (a_{i1} \times a_{i2} \times a_{i3})^{1/3}, \quad i=1,2,3,$$

其中， w_i 为第 i 个指标的评价因素权值向量的近似值； a_{i1} 、 a_{i2} 、 a_{i3} 分别为判断矩阵中第 i 行的三个元素。

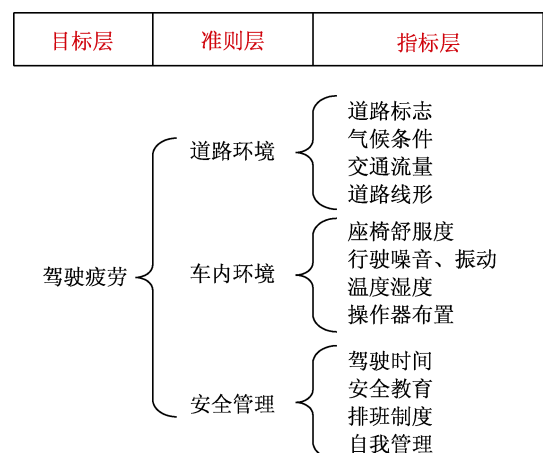


图 2 驾驶疲劳评价指标体系

Fig. 2 Evaluation index system of driving fatigue

根据表 1 计算可得 $w_1=0.5506$, $w_2=1.2570$, $w_3=1.4370$.

2) 作归一化处理求评价因素权重向量

$$W_j = w_j / (w_1 + w_2 + w_3), \quad j=1,2,3,$$

其中, W_j 为归一化处理后的第 j 个指标评价因素权值向量。

可得 $W_1=0.1697$, $W_2=0.3874$, $W_3=0.4429$; $W=(0.1697, 0.3874, 0.4429)$.

3) 根据 Matlab 软件可计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=3.0183$.

4) 一致性指标

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1),$$

其中, CI 为一致性指标; n 为判断矩阵的指标个数。

根据上式可得 $CI = (3.0183 - 3) / (3 - 1) = 0.00915$.

5) 一致性比率

$$CR = CI / RI,$$

其中, CR 为一致性比率; RI 为随机一致性指标。

查表可知 $RI=0.52$, 则一致性比率 $CR = CI / RI = 0.01760 < 0.1$; 因此满足一致性。

表 1 目标层判断矩阵

Tab. 1 Judgment matrix of objective layer

目标层	C_1	C_2	C_3
C_1	1	1/2	1/3
C_2	2	1	1
C_3	3	1	1

2.2.2 指标层各因素的重要度

1) 道路环境准则层

计算过程同 2.2.1 节, 由表 2 可得 $W=(0.0815, 0.6074, 0.0815, 0.2296)$.

2) 车内环境准则层

由表 3 可得 $W=(0.2280, 0.1320, 0.4120, 0.2280)$.

表 2 道路环境准则层判断矩阵

Tab. 2 Judgement matrix in criterion layer of road environment

C_1	P_1	P_2	P_3	P_4
P_1	1	1/7	1	1/3
P_2	7	1	7	3
P_3	1	1/7	1	1/3
P_4	3	1/3	3	1

表 3 车内环境准则层判断矩阵

Tab. 3 Judgement matrix in criterion layer of interior environment

C_2	P_1	P_2	P_3	P_4
P_1	1	3	1/2	1
P_2	1/3	1	1/4	1/3
P_3	2	4	1	2
P_4	1	3	1/2	1

3) 安全管理准则层

由表 4 可得 $W=(0.3531, 0.1095, 0.1843, 0.3531)$.

表 4 安全管理准则层判断矩阵

Tab. 4 Judgement matrix in criterion layer of security management

C_3	P_1	P_2	P_3	P_4
P_1	1	6	3	1
P_2	1/6	1	1/2	1/6
P_3	1/3	2	1	1/3
P_4	1	6	3	1

2.2.3 驾驶疲劳各影响因素的权值

由表 5 可以看出, 准则层中安全管理对驾驶疲劳的影响最大, 车内环境次之, 道路环境影响最弱; 安全管理指标层中驾驶时间和自我管理对驾驶疲劳影响较大; 车内环境指标层中温度湿度对驾驶疲劳影响较大, 座椅舒服度和操作器布置次之; 道路环境指标层中气候条件对驾驶疲劳影响最大, 道路线形次之。在所有因素中, 对驾驶疲劳影响最大的因素为温度湿度、驾驶时间、自我管理、气候条件、座椅舒服度。

在所有因素中, 对驾驶疲劳影响最大的因素为温度湿度、驾驶时间、自我管理、气候条件、座椅舒服度。

表 5 各因素权值汇总表

Tab. 5 Summary table of weights in each factor

目标层	准则层	指标层	总权值	排序	
疲劳驾驶	道路环境(0.169 7)	道路设施(0.081 5)	0.013 8	11	
		气候条件(0.607 4)	0.103 1	4	
		交通流量(0.081 5)	0.013 8	12	
		道路线形(0.229 6)	0.039 0	10	
	车内环境(0.387 3)	座椅舒适度(0.228 0)	0.088 3	5	
		噪音、振动(0.132 0)	0.051 1	8	
		温度湿度(0.412 0)	0.159 6	1	
		操作器布置(0.228 0)	0.088 3	6	
		安全管理(0.443 0)	驾驶时间(0.353 1)	0.156 4	2
			安全教育(0.109 5)	0.048 5	9
排班制度(0.184 3)	0.081 6		7		
		自我管理(0.353 1)	0.156 4	3	

3 预防措施

依据表 5 的分析结果, 制定具有针对性的措施, 可以达到预防驾驶疲劳产生的目的。

1) 针对安全管理方面

运营车辆驾驶公司各方面管理制度应符合国家相关法律法规, 并能满足驾驶员对安全、舒适工作的需求。公司明确每位驾驶员的权限和责任, 分工明确, 合理安排运营车辆驾驶员的上班时间和休息时间, 并经常对驾驶员开展关于驾驶疲劳危害的安全教育, 采用轮班工作制严格控制驾驶员连续驾驶时间。

2) 针对温度湿度影响因素

调节好运营车辆内的温度及湿度。将车内温度控制在 22~26℃ 之间、湿度控制在 40%~60% 之间, 处于人体的最舒适范围, 使驾驶员在舒适、愉悦、轻松的氛围下驾驶车辆, 保证皮肤和机体调节活动正常进行, 从而降低驾驶疲劳产生速度。

3) 针对驾驶时间影响因素

坚持执行法律法规对运营职业驾驶员工作时间的规定。首先绝对不允许超过国家规定的 8 h 连续驾驶时间, 因为此时反应能力和注意能力均会显著降低, 驾驶能力恶化, 这完全不符合安全人机工程学中以人为本的理念。其次日间连续驾驶时间不超过 4 h, 夜间连续驾驶时间不超过 2 h, 每次停车休息时间不少于 20 min. 应该根据相应规定对运营职业驾驶员的驾驶时间和休息时间做出合理的安排, 保障驾驶员的身心健康。

4) 针对自我管理影响因素

驾驶员学会管理自己的驾驶状态来预防疲劳。他们需要能够进行自我调节和安排中途休息时间, 坚决不带病驾驶, 不疲劳驾驶, 注意保证工作前一天有 8 h 的充足睡眠时间并饮食清淡, 拒绝太过油腻的食物。

5) 针对气候条件影响因素

各级行驶安全管理部门应完善道路交通标志设施维护工作, 减少驾驶员辨识困难。注意对恶劣天气、

路况的公布, 加强重要路段的交通巡查指挥管理, 可以采取间断通行、限制车速等措施, 尽量减少驾驶员的感知困难和精神松懈。

6) 针对座椅舒适度影响因素

基于安全人机工程学对运营车内部布置设计。对车内座椅、仪表盘、方向盘、变速器、踏板、容膝空间等基于安全人机关系合理设计, 保障驾驶员在驾驶过程中舒适、安全、愉悦, 达到减轻疲劳的效果。

4 结论

1) 构建了人-车-环-管驾驶疲劳分析系统, 并依据①视觉界面、②听觉界面、③人-操作器界面、④人-车内环境界面、⑤人-有效管理界面确定了影响驾驶疲劳的主要因素。

2) 采用层次分析法对各影响因素进行了驾驶疲劳影响权值的计算, 并依据计算结果对准则层和指标层中各影响因素进行排序。准则层中安全管理对驾驶疲劳影响最大, 指标层中温度湿度、驾驶时间、自我管理、气候条件、座椅舒适度等因素对驾驶疲劳影响较大。

3) 依据准则层和指标层中各因素对驾驶疲劳影响的重要度, 制定了具有针对性的防治驾驶疲劳措施, 可以更加有效地预防驾驶疲劳。

[参考文献] (References)

- [1] 柴萌. 长途客车驾驶员疲劳状态辨识与预警[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
CHAI M. Identification and early warning of long-distance bus driver fatigue state[D]. Changchun: Jilin University, 2019. (in Chinese)
- [2] 卢章平, 尹传斌, 李瑞, 等. 基于生理信号的驾驶疲劳分级检测研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(1): 77-81.
LU Z P, YIN C B, LI R, et al. Study of driver's fatigue level grading experiment based on his physiological signal[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition), 2017, 36(1): 77-81. (in Chinese)
- [3] PEDEN M, SCURFIELD R, SLEET D, et al. World report on road traffic injury prevention[R]. Geneva: World Health Organization, 2004.
- [4] 撒占友, 程卫民. 安全人机工程[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012.
SA Z Y, CHENG W M. Safety human-machine engineering[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2012. (in Chinese)
- [5] 张乃禄. 安全评价技术[M]. 3版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2016.
ZHANG N L. Safety evaluation technology[M]. 3rd ed. Xi'an: Xidian University Press, 2016. (in Chinese)
- [6] 李斌, 王猛, 汪林, 等. 驾驶时间对营运驾驶员驾驶能力影响的试验研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(5): 113-116, 120.
LI B, WANG M, WANG L, et al. Experimental study on the influence of driving time on the driving ability of operating drivers[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24(5): 113-116, 120. (in Chinese)
- [7] ROOZEMOND D A. Using intelligent agents for pro-active, real-time urban intersection control[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131(2): 293-301.
- [8] 刘小明, 王飞跃. 基于 Agent 的单路口交通流控制的研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(4): 853-855.
LIU X M, WANG F Y. Study of intersection traffic flow control on the basis of agents[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(4): 853-855. (in Chinese)
- [9] 马寿峰, 李英, 刘豹. 一种基于 Agent 的单路口交通信号学习控制方法[J]. 系统工程学报, 2002, 17(6): 526-530.
MA S F, LI Y, LIU B. Agent-based learning control method for urban traffic signal of single intersection[J]. Journal of

- Systems Engineering, 2002, 17(6): 526-530. (in Chinese)
- [10] 俞峥, 李建勇. 多智能体在交通控制系统中的应用[J]. 交通运输工程学报, 2001, 1 (1): 55-57.
YU Z, LI J Y. Application of multi-agent in traffic control system[J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 1(1): 55-57. (in Chinese)
- [11] 刘一雄. 基于人机工程学的驾驶疲劳研究[D]. 太原: 中北大学, 2016.
LIU Y X. Research on driving fatigue based on ergonomics[D]. Taiyuan: North University of China, 2016. (in Chinese)
- [12] 段振伟, 景国勋, 杨书召. 基于安全人机工程学的驾驶疲劳因素及其产生机理分析[J]. 河南理工大学学报 (自然科学版), 2008, 27 (1): 21-27.
DUAN Z W, JING G X, YANG S Z. Analysis of driving fatigue factors and their generation mechanism based on safety ergonomics[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science Edition), 2008, 27(1): 21-27. (in Chinese)
- [13] 王玉华, 撒占友. 基于安全人机学的驾驶作业疲劳评价模型研究[J]. 青岛理工大学学报, 2012, 33 (5): 95-99.
WANG Y H, SA Z Y. Study on evaluation model of driving operation fatigue based on safety ergonomics[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2012, 33(5): 95-99. (in Chinese)

(责任编辑: 段桃)