

中文引用格式:陈亮,郑伟. 基于AWAHP的调度员疲劳致因研究[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(4): 42-49.

英文引用格式:CHEN Liang, ZHENG Wei. Research on causes of dispatcher fatigue based on AWAHP [J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(4): 42-49.

基于AWAHP的调度员疲劳致因研究*

陈亮¹ 郑伟^{**2,3} 教授

(1 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044; 2 北京交通大学 国家轨道交通安全
评估研究中心, 北京 100044; 3 北京交通大学 轨道交通安全协同创新中心, 北京 100044)

中图分类号: X951 文献标志码: A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.04.0969

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2022JBXT003)。

【摘要】 为进一步保障铁路运营安全, 调研分析铁路列车调度员疲劳因素, 首先, 针对铁路调度员工作内容的特点, 在查阅相关文献、咨询调度专家、人因工程专家的基础上, 建立列车调度员疲劳致因评价指标体系, 该指标体系包括工作内容、轮岗安排、人员素质、外界因素4个一级指标和18个二级指标; 其次, 采用自适应加权的层次分析法(AWAHP)计算不同专家自身评价的权重, 并求得最终指标的加权重; 最后, 以某铁路局调度中心为例, 运用AWAHP综合评价调度员疲劳致因指标的权重。结果表明: 应急突发处置、作业时间段、持续作业时间、线路繁忙程度、工作复杂程度是影响调度员疲劳的显著因素, 有效识别铁路列车调度员疲劳的关键因素, 并针对关键因素进行分析与对策建议。

【关键词】 自适应加权层次分析法(AWAHP); 铁路列车调度员; 疲劳致因; 评价指标体系; 综合评价

Research on causes of dispatcher fatigue based on AWAHP

CHEN Liang¹, ZHENG Wei^{**2,3}

(1 School of Electronic Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2 National Research Center of Railway Safety Assessment, Beijing Jiaotong University, Beijing
100044, China; 3 Collaborative Innovation Center of Railway Traffic Safety, Beijing Jiaotong
University, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to further ensure the safety of railway operation, this article conducted a survey and analysis on the fatigue factors of railway train dispatchers. Firstly, according to the characteristics of the work content of railway train dispatchers, a fatigue causation evaluation index system for railway train dispatchers was established based on extensive literature review, consultation with railway train dispatching experts and human factors engineering experts. The index system consists of four first-level indicators: work content, job rotation arrangement, personnel quality, and external factors, as well as 18 second-level indicators. Secondly, AWAHP method was used to calculate the weight of different experts' own evaluation were calculated and the final weights of the final indicators were obtained. Finally, the dispatch center of

* 文章编号: 1003-3033(2024)04-0042-08; 收稿日期: 2023-10-12; 修稿日期: 2024-01-13

** 通信作者: 郑伟(1975—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事高速铁路运行控制系统设计、系统可靠性分析方法方面的研究。E-mail: wzheng1@bjtu.edu.cn.

a certain railway bureau was taken as an example for a comprehensive evaluation of the impact weights of dispatcher fatigue-cause factors based on AWAHP. The results show that emergency response, operation time period, continuous operation time, railway busy degree, and work complexity are the significant factors affecting dispatcher fatigue. The key factors of railway train dispatcher fatigue were effectively identified, and analysis and countermeasures were proposed for the key factors.

Keywords: adaptive weighted analytic hierarchy process (AWAHP); railway train dispatcher; fatigue causes; evaluation index system; comprehensive evaluation

0 引言

列车调度员是铁路调度指挥体系的核心岗位,直接影响铁路运输安全,特别是近年来我国铁路运力需求不断增大,使得调度员的工作压力也不断提高。据统计,铁路运输领域70%~80%的事故是由于人因失误引起的^[1],而疲劳是导致人因失误的重要因素,会导致注意力下降、记忆力下降、决策和判断能力减弱。因此,研究与分析铁路列车调度员在作业过程中的疲劳致因具有重要意义。

目前,国内外学者运用不同手段分析了调度员疲劳致因。1979年,SAATY^[2]首次提出层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP),此后AHP被广泛应用于系统工程中的评价与决策;李相勇等^[3]运用AHP建立了驾驶疲劳致因递阶模型,确定各层元素的单排序权重和总排序权重,对驾驶疲劳致因重要性进行了排序;HAN Keeyoul等^[4]通过运用AHP分析了人误有效项目,从而为预防事故提出理论指导;张晓全等^[5]采用决策实验与评价实验室法和网络分析法相结合的方法,确定疲劳致因的影响关系和综合权重;孙瑞山等^[6]分析了机务维修人员疲劳的影响因素,基于权的最小平方和熵权法确定各指标的权重;杨昌其等^[7]通过递阶层次结构建立了管制员疲劳致因关系,运用AHP分析了航空管制员的致因;胡一秋等^[8]基于任务分析与多资源理论,分解了调度员工作负荷,选取占用时间和资源,并结合工作负荷指数模型评估了调度员的工作负荷;张光远等^[9]分别建立调度员作业主观疲劳评价模型和客观评价模型,并确定列车调度员的疲劳状态;张晖等^[10]梳理了司机手动驾驶和人机共驾下的驾驶疲劳致因及其他相关任务对疲劳的影响;王煜坤^[11]分析了民航飞行员疲劳致因,并对预防和缓解疲劳提出了相应的措施。

综上,目前研究存在的主要问题有:①结合调度员工作内容与特点,针对铁路列车调度员疲劳致因的研究较少;②选取评价指标时影响因素反映不够

全面;③如何合理地确定各评价因素的权重、减少专家主观判断影响是评价模型的难点之一。鉴于此,笔者拟构建列车调度员疲劳致因指标体系,采用自适应加权层次分析法(Adaptive Weighted AHP, AWAHP)计算指标权重,在传统的AHP基础上进行了改进和扩展,引入自适应加权的概念,通过计算不同专家评价的权重,并结合信息熵的概念,提高权重计算结果的客观性,以期提高铁路安全运营以及列车调度员的疲劳管理水平。

1 列车调度员工作分析

1.1 工作内容

列车调度员是铁路调度指挥体系的核心岗位,负责管段内列车运行计划执行、跟踪调整、线路临时施工组织等工作,在调度所值班主任(副主任)的领导下,围绕工作计划开展管辖区段内相关的行车组织工作。主要包括:

1) 负责管内日常旅客运输组织工作。负责编制和下达未来3~4h阶段调度计划,协调机务、站段人员配合完成。

2) 组织旅客列车按列车运行图正点运行,遇晚点时,采取措施,组织各相关单位尽快恢复运行秩序,并做好正晚点分析并上报国铁集团。

3) 与相邻列车调度、其他专业调度、上级调度和车站运输指挥人员及相关运输参与人员,保持密切联系,保障铁路正常运营秩序。

4) 及时收取、上报铁路交通事故、设备故障、自然灾害等突发事件信息,按规定进行应急处置,通报信息、组织救援、调整运输。

5) 准确、及时、清楚、完整地填写各种调度指挥台账和统计报表。

列车调度员需要熟悉和掌握铁路工务、供电、电务等各基础专业的设备情况、技术作业标准,并实时掌握天气变化对行车组织工作的影响。

1.2 工作时间

我国铁路列车调度员实行大四班的倒班工作

制:日班+夜班+休1天+日班+夜班+休3天,列车调度员四班制轮班以8天为周期,见表1。为保证调度指挥工作的良好接续性,列车调度员通常需要在接班前1h到岗,掌握上一班运输生产和调度指挥工作情况。

表1 列车调度员倒班

Tab.1 Railway train dispatcher shift schedule

班次	1	2	3	4	5	6	7	8
甲	日	夜	—	日	夜	—	—	—
乙	—	日	夜	—	—	—	日	夜
丙	—	—	日	夜	—	日	夜	—
丁	夜	—	—	—	日	夜	—	日

注:“—”表示休班。

1.3 工作环境

列车调度员工作环境包括办公环境、信息技术环境。办公环境是指铁路局调度指挥中心的整体布局环境,列车调度员集中在此进行运营调度指挥,是典型的集中、开放工作环境,具有空间大、净空高、室内光线足等特点。以北京铁路局调度指挥中心为例,设置200多个调度工位,室内面积4000m²,主要管辖京沪高铁、京广高铁、京广、京沪、京哈、京九等多条干线与北京站、北京西站、北京南站等多个大型枢纽。

综上,列车调度员产生疲劳的机制非常复杂^[12-13],调度员长时间处于调度大厅中,随时处于警觉监控状态,需要不断与车站值班员、列车司机保持沟通,确认现场情况并下达安全、正确的调度指挥命令,以确保铁路安全运行。

2 调度员疲劳致因分析

2.1 基于AHP的调度员疲劳致因分析

AHP的基本原理将复杂的问题分解为多层次的有序层次结构,是将定性分析与定量分析相结合的综合评估方法,将复杂的决策问题层层分解,通过同层次因素重要性比较,递阶层次间合成权重,从而判定因素间在系统中的重要程度。列车调度员疲劳致因评价指标体系因素间相互关联及影响,利用AHP得到各指标因素间的影响权重。因此,为有效识别铁路列车调度员疲劳致因,采用文献分析法进行初步辨识,采用AHP有针对性地分析调度员疲劳致因问题。

由于调度员疲劳致因指标体系的相关文献资源较少,因此,借鉴与列车调度员工作性质近似的空中交通管制员,以及与列车调度员同属于铁路行业的

机车司机疲劳致因体系^[14],构建初始的铁路列车调度员的疲劳致因指标体系。在此基础上,结合列车调度员自身的工作性质与特点^[15],归纳与分析初始指标,进一步构建列车调度员疲劳致因指标体系。为避免个人知识覆盖领域的不足,邀请7位行业专家,包括经验丰富的调度员、值班主任及工效学专家,优化指标体系,得到最终的评价指标体系。

采用AHP法搭建指标体系^[16-18],建立目标层、准则层、指标层的结构模型,每层根据上层的内容和特性依次展开,利用框图或表格描述层次递阶结构和元素之间的从属关系。根据结构模型,比较同一层次的各元素的相对重要性,采用9级标度法建立判断矩阵,描述2个元素之间的关系,最终得到各指标元素权重。

目标层为调度员疲劳致因,准则层包括工作内容、轮岗安排、人员素质、外界因素。

1) 工作内容。调度员的主要工作内容负责监控、调整运行计划,实现列车运行图及运输方案,同时详细了解清楚运输现场情况,再发布指挥列车运行的命令,这些工作内容本质上是一种脑力与体力结合的工作,要求调度员必须时刻精神高度集中,并保持警觉,才能保证列车运行安全。

2) 轮岗安排。科学、合理的工作轮岗,不仅降低调度员的作业疲劳,促进身体机能的恢复,进而保证有效的作业能力,也提高调度员的工作满意度,减少非正常缺勤。

3) 人员素质。人员素质从调度员自身出发,生理、心理、情绪等因素影响疲劳。

4) 环境因素。环境因素包含气象条件、操控台设置、座椅舒适度等,对调度员的疲劳都会产生影响,并且近年来越来越受到关注。

铁路列车调度员疲劳致因评价指标体系见表2。

2.2 基于AWAHP的调度员疲劳致因指标权重计算

为兼顾调度员疲劳评价的各指标主观认知和专家评价权重的客观情况,减少不同专家的主观影响,提高评价权重的客观性,在AHP得到的指标权重基础上,引入信息熵的概念,采用AWAHP计算不同专家自身评价的权重。

AWAHP是一种结合AHP和信息熵的方法,用于确定各个因素的权重。在传统的AHP中,通过两两比较各个因素,并根据专家主观判断给出权重值。然而,这种主观判断可能受到不同专家的主观偏好或误差影响,导致结果不够客观。

表 2 铁路列车调度员疲劳致因评价指标体系

Tab. 2 Evaluation index system for fatigue causes of railway train dispatchers

目标层	准则层	指标层	备注
调度员疲劳致因 A	工作内容 B ₁	工作复杂程度 C ₁	监控(感知)、打电话通知调度事项(决策)、运行图调整及施工安排(操作)
		线路繁忙程度 C ₂	繁忙干线、干线、其他线路
		调度台类型 C ₃	指挥货运、普速列车、高铁等列车时的不同对象、分散自律调度集中系统、列车调度指挥系统
		管辖线路长度 C ₄	管辖线路的长度、管辖的的车站数量
		岗位分工 C ₅	计划员、主调度员、助理调度员、临时辅助调度员
		应急突发处置 C ₆	突发应急情况处置工作,具体是指评估铁路列车调度员的应急突发事件处理能力水平,涉及调度员应对紧急情况、处理突发状况和做出决策的能力
	轮岗安排 B ₂	作业时间段 C ₇	早白班、晚白班、前夜班、后夜班
		持续作业时长 C ₈	持续调度指挥工作时长
		岗前休息天数 C ₉	岗前休息的天数
		岗前睡眠时长 C ₁₀	岗前最近一次的睡眠时长
	人员素质 B ₃	工作经验 C ₁₁	工作经验、感知反应能力和标准化作业水平,以及工作年限;侧重评估铁路列车调度员的实际工作经验和业务熟练程度
		生理素质 C ₁₂	年龄、健康状况、生活规律和睡眠质量等
		情绪素质 C ₁₃	低落、平常、亢奋等情绪
		心理素质 C ₁₄	承担压力的心理素质,包括安全压力、工作压力等
	环境因素 B ₄	气象条件 C ₁₅	风、雨、雪、雾等不同气象条件
		调度大厅环境 C ₁₆	调度大厅的照明、温度、振动、噪声
		调度台人机工程 C ₁₇	座椅舒适度、桌子高度、显示器排布角度等
		睡眠环境 C ₁₈	睡眠环境包括寓所、家里或其他临时休息区域

为提高权重评价的客观性,引入信息熵作为一种客观测度。信息熵是信息论中的一个重要概念,用于衡量随机变量的不确定程度,也可被视为系统内部信息的均匀度。在 AWAHP 中,信息熵被用作辅助指标来反映专家打分信息的均匀度或离散程度。基于此,将信息熵视为客观程度的指标,并使用其调整原始 AHP 中所给出的权重值。

通过引入信息熵作为一个客观度量,AWAHP 可减少专家主观判断的影响,并提高评价权重的客观性,能够更客观地反映各个因素之间的关系和重要性,得到更加客观和准确的结果。

设共有 m 个专家构成评价专家组,疲劳评价指标体系中共包含 n 个评价指标, $x_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n)$ 是第 j 个专家对第 i 个指标的主观权重。因不同数据在不同量纲上存在差异,需要进行数据标准化^[19],由于文中采取的都是正向数据,因此,采用下式对数据进行标准化。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

式中: x_{\min} 为第 j 个专家对第 i 个指标的主观权重的最小值; x_{\max} 为最大值; r_{ij} 为标准化后的权重数值。

采用下式计算指标评价值的权重 P_{ij} :

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (2)$$

采用下式计算熵值 e_j :

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad (3)$$

采用下式计算指标特征熵权 W_b :

$$W_b = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^n 1 - e_j} \quad (4)$$

下式为指标的最终权重:

$$W_i = \sum_{j=1}^m \omega_j a_i \quad (5)$$

式中: W_i 为指标的组合同权重; ω_j 为 AHP 得到指标权重; a_i 为第 i 名专家自身权重。AWAHP 模型如图 1 所示。

3 疲劳致因指标权重计算实例

以某铁路局调度中心的列车调度员疲劳致因问题为研究对象,邀请 7 位经验丰富的专家组成专家组,通过填写问卷的方式,归纳、处理所得信息。利用 AWAHP 形成判断矩阵及专家评价权重,得到准则层和指标层的权重,通过自适应加权融合计算,最终得到各疲劳致因权重。

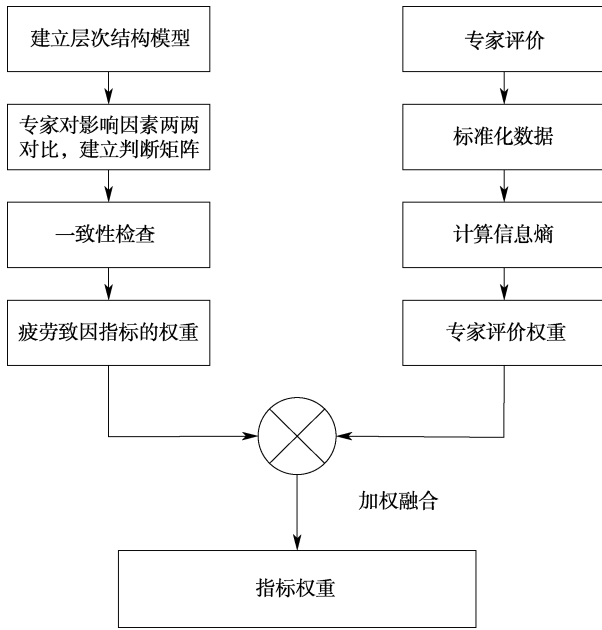


图1 AWHP模型
Fig.1 AWHP model

1) 构建判断矩阵。依据评价指标体系,以同一准则比较同一层次因素的影响程度,构建判断矩阵,其中,目标层A与准则层B包括1个4阶判断矩阵,准则层B与指标层C包括多个判断矩阵。

2) 计算特征值。对于每一个判断矩阵M,计算其特征值,使其满足下式:

$$M \cdot \bar{W} = \lambda \cdot \bar{W} \quad (6)$$

式中 \bar{W} 为权重向量。

3) 一致性检查。求得特征根后,采用一致性检查来判断合理性。一般采用一致性指标CI与随机一致性的比例CR作为判断依据,如下式:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - I}{I - 1} \quad (7)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

式中: λ_{max} 为最大特征根;随机一致性指标RI与矩阵的阶次相关,取值见表3。

表3 3—6阶判断矩阵的RI值

Tab.3 RI values of judgment matrices of order 3 to 6

n	3	4	5	6
RI	0.58	0.9	1.12	1.24

用一致性验证公式检查求得值,根据式(7)和式(8)计算CI与CR值,若CR<0.10,认为矩阵满足一致性检验的要求。

4) 计算权重向量。判断矩阵的一致性通过验证后,将判断矩阵除以其最大特征值计算权重向量。通过下式得到:

$$\bar{W} = \frac{1}{\lambda_{max}} \cdot M \quad (9)$$

以第一层AHP的计算结果为例,A-B层主观权重计算见表4。

表4 A-B层主观权重计算

Tab.4 A-B layer subjective weight calculation

专家	判断矩阵	一致性检验	权重/%
1	$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 & 7 \\ 3 & 1 & 7 & 7 \\ 1/5 & 1/7 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	$\lambda_{max} = 4.228$ $C_i = 0.0076$ $C_r = 0.086$	30.00
			56.54
			8.79
			4.66
2	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 9 \\ 1 & 1 & 5 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	$\lambda_{max} = 4.152$ $C_i = 0.051$ $C_r = 0.057$	47.85
			37.98
			9.19
			4.98
3	$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 3 \\ 3 & 1 & 7 & 7 \\ 1/3 & 1/7 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	$\lambda_{max} = 4.152$ $C_i = 0.051$ $C_r = 0.057$	22.82
			60.37
			10.66
			6.15
4	$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 5 & 9 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 3 \\ 1/5 & 3 & 1 & 7 \\ 1/9 & 1/3 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$	$\lambda_{max} = 4.206$ $C_i = 0.069$ $C_r = 0.078$	64.53
			9.42
			21.93
			4.13
5	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\lambda_{max} = 4.033$ $C_i = 0.011$ $C_r = 0.012$	39.67
			39.67
			11.64
			9.02
6	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 9 \\ 1 & 1 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	$\lambda_{max} = 4.057$ $C_i = 0.019$ $C_r = 0.022$	40.34
			43.05
			11.84
			4.77
7	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	$\lambda_{max} = 4.076$ $C_i = 0.025$ $C_r = 0.029$	58.11
			25.49
			11.40
			5.00

5) 专家自身评价权重。利用AHP所得结果构建专家的评价信息熵自适应加权模型,计算指标评价权重 P_{ij} ,如下式:

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

计算熵值,如下式:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot \ln P_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

并求得各指标的熵权W,如下式:

$$W = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (12)$$

根据式(10)一式(12)的计算,得到各位专家评价权重,计算结果见表5。

表5 专家评价权重

Tab.5 Expert evaluation weight

专家编号	信息熵值 e	权重/%
1	0.831	15.385
2	0.851	13.572
3	0.832	15.336
4	0.835	15.037
5	0.857	13.027
6	0.847	13.907
7	0.849	13.736

6) 组合权重。根据式(5)计算得到每个元素融合专家自身权重后所对应的权重,以提高主观评价的客观性。影响调度员疲劳的最终综合评价见表6。

表6 调度员疲劳致因综合评价

Tab.6 Comprehensive evaluation of dispatcher fatigue causes

准则层	一层权重	次级指标层	次级权重	总权重
A_1-B_1	44.67	C_1	15.23	6.80
		C_2	17.02	7.60
		C_3	5.77	2.58
		C_4	4.79	2.14
		C_5	7.14	3.19
		C_6	50.05	22.36
A_2-B_2	37.64	C_7	44.66	16.81
		C_8	35.15	13.23
		C_9	7.61	2.86
		C_{10}	12.58	4.74
A_3-B_3	12.22	C_{11}	35.20	4.30
		C_{12}	11.97	1.46
		C_{13}	24.41	2.98
		C_{14}	28.42	3.47
A_4-B_4	5.47	C_{15}	36.66	2.00
		C_{16}	12.25	0.67
		C_{17}	13.31	0.73
		C_{18}	37.79	2.07

调度员疲劳致因排序见表7。

表7 调度员疲劳致因排序

Tab.7 Sorting of causes of dispatcher fatigue

指标	总权重	排序
C_6	22.36	1
C_7	16.81	2
C_8	13.23	3
C_2	7.60	4

续表7

指标	总权重	排序
C_1	6.80	5
C_{10}	4.74	6
C_{11}	4.30	7
C_{14}	3.47	8
C_5	3.19	9
C_{13}	2.98	10
C_9	2.86	11
C_3	2.58	12
C_4	2.14	13
C_{18}	2.07	14
C_{15}	2.00	15
C_{12}	1.46	16
C_{17}	0.73	17
C_{16}	0.67	18

由表7可知:该调度中心影响调度员疲劳的因素中,排在前5名的关键因素分别为: C_6 、 C_7 、 C_8 、 C_2 、 C_1 ,符合该调度中心的实际情况。AWAHP作为一种综合评价工具,结合了AHP和信息熵理论,以提高综合评价过程的客观性和准确性,通过AWAHP计算的各评价指标权重,反映了各个因素在调度员疲劳致因综合评价中的重要性。综合评价结果揭示了应急突发处置、作业时间段、持续作业时长、线路繁忙程度和工作复杂程度等关键因素对调度员疲劳的影响。

4 结果对比分析与对策建议

4.1 AWAHP与AHP结果对比分析

1) 比较AWAHP与传统AHP得出的结果,有以下优点:

降低主观偏好的影响。传统AHP依赖于专家主观判断,容易受不同专家主观偏好的影响,导致权重评价结果有较大差异。而AWAHP引入信息熵作为客观度量,通过考虑各个因素子准则内部信息的均匀度来调整权重,降低主观偏好的影响。这样可以更客观地反映各个因素的相对重要性,提高评价结果的一致性和可靠性。

考虑专家信息分布的均匀度。传统AHP只关注因素之间的相对重要性,没有充分考虑专家打分的信息分布情况。而AWAHP通过引入信息熵来反映专家打分的均匀度或离散程度,再通过加权计算方式得到最终评价结果,使得评价结果更加全面和准确。

提高评价过程的客观性和科学性。AWAHP既考虑专家意见和主观判断,也借助信息熵等客观性

指标。这种综合方法使得评价过程更加客观和科学,减少人为因素对评价结果的影响,提高评价的可信度和有效性。

综上所述,与传统 AHP 相比,AWAHP 在降低主观偏好的影响、考虑专家打分信息分布的均匀度以及提高评价过程的客观性和科学性等方面具有有效性。该方法能够提供更准确、可靠、客观的权重评价结果,为调度员疲劳致因分析提供指导。

2) 比较基于 AWAHP 与利用生理测量法、基于计算机视觉的行为特征检测法等其他疲劳检测手段。

AWAHP 是利用生理测量法、基于计算机视觉的行为特征检测法等其他疲劳检测手段,探究铁路运输员的疲劳风险因素的前置条件与前期基础探索。生理测量与计算机视觉的行为特征检测法是直接判断调度员疲劳优势在于可直接判断调度员的疲劳状态,基于 AWAHP 的调度员疲劳致因研究的有以下 2 个方面优势:①综合性评估。AWAHP 能够综合考虑多个不同的疲劳致因因素,分析和确定调度员疲劳问题中不同因素的相对重要性,提供全面和系统的评估。②量化结果,AHP 的一个优点是它能产生量化的致因结果,即层次结构图和权重比例,有助于更直观地理解调度员疲劳致因问题的各个因素的重要性。

2 种方法不冲突,而是互相补充的研究方法。可增进对疲劳问题以及疲劳致因问题的认识,并为制定相应的预防和干预措施提供支持。通过分析 AWAHP,能够有针对性地优化调度员工作安排,减少疲劳导致的错误和事故的发生,从而提高工作效率和铁路运输的整体安全性。

4.2 对策建议

根据上述研究得到铁路列车调度员疲劳致因结果,进一步分析影响疲劳的关键因素,有针对性地提出缓解疲劳的相关措施,从而减少由于疲劳引起的列车调度员的人为失误,保障铁路运营安全。

由表 6 可知:排名前 5 的关键因素,其权重占比达 60% 以上,针对疲劳致因的关键因素,对策建议如下:

1) 完善应急突发培训与计划。最关键的疲劳致因是应急突发处置,为能够降低应急处置对疲劳的影响,尽可能提高铁路设备运营维护与保障的能力,避免发生应急突发事项,但应急突发处置事项无法提前预知,因此,提高调度员非正常情况下的调度应急处理能力是重中之重。通过加强职工学习和使用应急

手册,并采取随机抽查、定期考试、应急仿真模拟训练等措施,不断提高、增强调度员应急处理能力,以达到降低应急突发处置对调度员疲劳的影响程度。

2) 合理安排作业时间段与时长。作业时间段与持续作业时间也是影响调度员疲劳的关键性因素。铁路列车调度员的倒班工作制度执行的是四班倒,每班次连续工作 24 h,以保证调度大厅不间断处于的运输调度指挥状态,随着作业时长的增加,调度员的疲劳状态也在逐渐加重,作业时间段也会加重这种现象,夜班相较于白天,人体更易产生和加重疲劳感,但是人体的疲劳状态会存在极值,因此,在夜班时,调度员达到一定工作时长后,如果可以得到适当的休息,积累的疲劳状态会得到很大程度缓解,可有效降低疲劳所带来的风险。

3) 采取提高脑力疲劳恢复的管理规划手段。调度指挥工作属于脑力与体力相结合的工作,其中,关键疲劳致因中,线路繁忙程度与工作复杂程度,是调度工作所需要的感知与决策难度与强度,工作越复杂越需要调动决策力,线路越繁忙时,调度员下达的调度命令越多,其共同点都会导致调度员脑力疲劳,因此,在岗前保证睡眠时间充足、提高睡眠深度的方法,如果有条件可提供安静的休息工间,通过高质量睡眠有效减轻脑力疲劳并提高脑力疲劳恢复效果。

4) 引入智能调度系统和优化算法。当今铁路运输系统采用越来越多的信息技术与自动化控制系统,实现更高层次的铁路协同运营和优化,通过利用先进的计算机模型、人工智能优化算法和铁路运营实时数据分析等前沿技术手段,更好地支持与辅助铁路系统的决策与调度,更好地保障铁路安全运营。

5 结论

1) 提出 AWAHP,通过构建铁路列车调度员疲劳致因评价指标体系,在传统 AHP 基础上,结合信息熵计算方法,对专家的评价进行自适应加权,专家评价信息熵越小,表明其评价越一致和客观,在最终疲劳致因权重计算中赋予更大权重,减少专家主观判断影响,有效识别导致列车调度员疲劳的关键因素。

2) 尽管所提方法在提高指标权重客观性方面取得一定进展,但仍存在一定不足:AWAHP 在处理动态变化问题时存在局限性,在实际应用中,决策环境和影响因素会随时间变化而变化,AWAHP 需要重新进行评价和计算以适应这些变化。在后续的研究工作中,随着机器学习和人工智能技术的发展,将

这些技术应用于本方法中,以自动识别和调整权重,提高方法的动态适应能力和自动化水平。

参考文献

- [1] 赵跃,叶龙,沈梅. 铁路调度系统中人的失误原因分析及控制对策[J]. 北方交通大学学报, 2001,25(5):77-79.
ZHAO Yue, YE Long, SHEN Mei. Analysis on the cause of human errors and study on preventive countermeasures of railway dispatching system[J]. Journal of North Jiaotong University, 2001,25(5):77-79.
- [2] SAATY T L. Applications of analytical hierarchies[J]. Mathematics Computers in Simulation, 1979,21(1):1-20.
- [3] 李相勇,蒋葛夫. 层次分析法(AHP)在驾驶疲劳致因分析中的运用[J]. 人类工效学, 2003, 9(2):58-60.
- [4] HAN Keeyoul, BACK Y S. A study on the priority making of human error prevention business using AHP[J]. Journal of the Korea Safety Management & Science, 2012, 14(3):DOI:10.12812/ksms.2012.14.3.111.
- [5] 张晓全,潘晶,王欢,等. 机务人员疲劳致因影响分析[J]. 中国安全科学学报, 2013,23(2):97-102.
ZHANG Xiaoquan, PAN Jing, WANG Huan, et al. Analysis of fatigue causes for aircraft maintenance personnel[J]. China Safety Science Journal, 2013,23(2):97-102.
- [6] 孙瑞山,胡臻,汪磊,等. 基于权的最小平方和熵权法的机务维修人员疲劳影响因素研究[J]. 安全与环境工程, 2016, 23(3):167-170.
SUN Ruishan, HU Zhen, WANG Lei, et al. Influencing factors of maintenance personnel fatigue based on wlsm and entropy weight method[J]. Safety and Environmental Engineering, 2016, 23(3):167-170.
- [7] 杨昌其,谭娟. 基于层次分析法的空中交通管制员疲劳致因分析[J]. 安全, 2017, 38(9):36-39.
- [8] 胡一秋,朱琳,郭婧,等. 基于W/INDEX模型的轨道交通调度员工作负荷评价[J]. 人类工效学, 2020, 26(5):57-61,73.
- [9] 张光远,王亚伟,王灿,等. 基于脑电信号特征的高铁调度员作业疲劳分析评价研究[J]. 综合运输, 2022,44(11):106-111,150.
ZHANG Guangyuan, WANG Yawei, WANG Can, et al. Analysis and evaluation of work fatigue of high-speed rail dispatchers based on EEG signal characteristics[J]. China Transportation Review, 2022, 44(11):106-111,150.
- [10] 张晖,倪定安,曾科,等. 人机共驾环境下驾驶疲劳研究综述[J]. 中国安全科学学报, 2023,33(3):204-211.
ZHANG Hui, NI Ding'an, ZENG Ke, et al. A review of driving fatigue research in human-machine co-driving environment[J]. China Safety Science Journal, 2023,33(3):204-211.
- [11] 王煜坤. 民航货运飞行员疲劳致因和预防措施分析[J]. 中国航空周刊, 2023(20):72-74.
- [12] 杨奎. 铁路列车调度员疲劳机理与发展规律研究[D]. 成都:西南交通大学, 2017.
YANG Kui. Research on fatigue mechanism and development law of railway train dispatcher[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [13] 王健,高扬,邢科家,等. 铁路运输岗位疲劳研究综述[J]. 中国铁路, 2023(3):16-25.
WANG Jian, GAO Yang, XING Kejia, et al. Overview of research on fatigue of railway transport posts[J]. China Railway, 2023(3):16-25.
- [14] 李响,徐玉萍,章海亮. 机车司机驾驶疲劳风险动态量化评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(2):18-23.
LI Xiang, XU Yuping, ZHANG Hailiang. A study on dynamic quantitative evaluation of train driver's fatigue risk[J]. China Safety Science Journal, 2017,27(2):18-23.
- [15] 高宏斌. 加强高铁列车调度员队伍建设的思考与建议[J]. 企业改革与管理, 2020(15):218-219.
- [16] VIDAL L A, MARLE F, BOCQUET J C. Using a delphi process and the analytic hierarchy process (AHP) to evaluate the complexity of projects[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(5): 5 388-5 405.
- [17] 谭跃进,陈英武,易进先. 系统工程原理[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 1999: 66-70.
- [18] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社, 1988:14-37.
- [19] 朱喜安,魏国栋. 熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J]. 统计与决策, 2015(2):12-15.

作者简介: 陈亮 (1986—),男,北京人,博士研究生,主要研究方向为人因工程、机器视觉、深度学习技术等。E-mail:20111080@bjtu.edu.cn。

