

# 地铁驾驶员认知能力与工作负荷结构关系研究

王雨生, 杨聚芬\*, 刘志钢, 顾传扬

上海工程技术大学城市轨道交通学院, 上海

收稿日期: 2023年9月3日; 录用日期: 2023年10月13日; 发布日期: 2023年10月20日

## 摘要

目的: 分析认知能力与工作负荷因素间存在的因果关系、结构层级、影响路径及影响程度等内部结构关系。方法: 提出地铁驾驶员的认知能力的四类评价指标, 量化工作负荷因素, 应用集成灰色关联度分析法(Grey Relational Analysis, GRA), 决策试行与评价实验室法(Decision-making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)和解释结构模型(Interpretative Structural Modeling Method, ISM)方法构建 GRA-DEMATEL-ISM模型探究认知能力与工作负荷的因素结构关系。结果: 34个指标中有两个认知能力指标和工作负荷指标会对其它指标造成长远深刻的影响, 其它31个指标则造成较小影响。结论: 分析结果可帮助轨道交通企业针对性开展认知能力提升培训, 提高运营安全。

## 关键词

轨道交通, 驾驶员, 认知能力, 工作负荷, 结构关系

# Research on the Structural Relationship of Cognitive Ability and Workload of Urban Rail Transit Drivers

Yusheng Wang, Jufen Yang\*, Zhigang Liu, Chuanyang Gu

College of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Sep. 3<sup>rd</sup>, 2023; accepted: Oct. 13<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 20<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

**Objective:** Analyze the internal structural relationships such as causality, structural hierarchy, pathways of influence, and degree of influence that exist between cognitive ability and workload factors. **Methods:** Four types of evaluation indicators for cognitive ability of subway drivers were

\*通讯作者。

proposed to quantify the workload factors, and the GRA-DEMATEL-ISM model was constructed using integrated Grey Relational Analysis (GRA), Decision-making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Interpretative Structural Modeling Method (ISM) to construct a GRA-DEMATEL-ISM model to investigate the structural relationship between cognitive ability and workload factors. Results: Two of the 34 indicators, the cognitive ability indicator and one category of workload indicator, have a profound long-term impact on the other indicators, while the other 31 indicators have a smaller impact. Conclusion: The model analysis results are reasonable and can help the management of rail transportation companies to understand the interrelationship between the factors and the key factors.

## Keywords

Rail Transit, Driver, Cognitive Ability, Workload, Structural Relationship

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

由于地铁作业环境的特殊性，其它职业的认知能力与工作负荷评价因素不能够较好的对地铁司机这一岗位进行描述分析，特别是当紧急情况发生时，地铁司机需要在保证安全的条件下、短时间完成多项复杂的应急处置任务，任务工作负荷的强度会直线上升[1]，工作负荷的增加则需要相应的认知能力，认知能力的高低会带来对工作负荷的感知体验不同，研究认知能力和工作负荷之间的影响关系，实现精准评估工作负荷情况，针对性开展认知能力提升培训，将有助于提高运营安全，减少人因失误风险。

以往学者大多通过主观问卷和专家评审对岗位员工的工作负荷和认知能力进行评估[2]，孙晓萌等人[3]从认知心理学的角度对认知能力进行了分析，张明等人[4]根据管制员工作性质建立了工作负荷矩阵，并量化了工作负荷。胡一秋等人[5]基于 W/INDEX 模型对工作负荷进行了评价。而工作负荷还可能会造成疲劳进而影响而认知能力[6]，认知能力也能评估工作负荷，田书捷等人[7]通过多资源理论建立工作负荷评估模型，岳仁田等人[8]提出通过 DEMATEL-ISM 模型对航空公司安全风险因素进行分析。

本文从轨道交通运营安全角度出发，在界定地铁司机认知能力和工作负荷内涵的基础上，分析讨论其影响因素及评价指标，并将应用 GRA-DEMATEL-ISM 挖掘认知能力与工作负荷间的因果关系、结构层级、影响路径及影响程度等内部结构关系，最终构建认知能力与工作负荷间的复杂因素结构模型。

## 2. 方法

城市轨道交通应急处置作业，是具有较高处置效果和处置效率压力的复杂作业，需要调用司机的大量的认知资源因素[9]，不同的应急处置作业需要调用不同类型的认知资源因素，进而造成不同的工作负荷大小；司机对工作负荷的感知体验又反馈影响认知资源的效能发挥。通过研究应急处置作业下的工作负荷和认知能力，可以提高应急决策和控制的有效性[10]。

### 2.1. 影响因素

#### 2.1.1. 地铁司机应急处置作业

应急处置作业具有复杂性、不可预知性和时间紧迫性的特点。由于紧急情况下的轨道交通驾驶员作

业更加复杂且极易导致其它危险状况发生，故本文通过拟合模型来探究应急处置认知能力与工作负荷间的结构关系，确定各因素间因果路径关系和关键影响因子，为制定重点因素的培训与考核计划及智能工作负荷预警提供一定的理论基础。

为便于研究和分析，本文通过对各项重要且常见的应急处置作业进行研究和分析后，选取其中的 8 项应急处置作业项进行实验模拟采集数据，分别为车门故障中的指示灯故障作业、制动故障在四种不同处境的作业、牵引故障下的两种应急作业以及控制面板故障的应急处置作业。

### 2.1.2. 认知能力因素

本文从应急处置作业指导手册出发，应用任务分析法，结合文献归纳、专家咨询法与现场考察总结，基于驾驶员所处的应急处置作业环境进行综合考量，得出适用于驾驶员应急处置作业下的认知能力因素指标如表 1 所示，包括四类因素：驾驶经验因素、规章服从性因素、职业适应性因素及应急处置错误倾向性因素，其中职业适应性因素应用维也纳心理测试系统(Vienna Psychological Test System, VTS)进行测评和分析[11]。

**Table 1.** Driver emergency response cognitive ability factor indicators

**表 1.** 驾驶员应急处置认知能力因素指标

认知能力因素	评价指标及变量符号	数据采集
驾驶经验因素	驾驶总里程(S1)、驾驶安全里程(S2)、工作时长(S3)	背景调查
规章服从性因素	违规违纪(L1)、核证成绩(L2)	日常考核
职业适应性因素	总体平均持续时间(V1)、总体平均时间误差(V2)、正确拒绝的平均时间(V3)、点击平均时间(V4)、正确总数(V5)、正确反应平均时间(V6)、错误总数(V7)、正确反应数(V8)、错误反应数(V9)、遗漏反应数(V10)、视野范围(V11)、平均反应时间(V12)、平均运动时间(V13)	VTS 的职业适应性测评实验
应急处置错误倾向性因素	8 项应急处置作业的错误次数 $E_j$ (WE1~WE8)	模拟实训室的应急处置作业实验

### 2.1.3. 工作负荷因素

传统工作负荷评估过程中用完成该项应急处置作业的时间消耗与其预计处置时间之间的比值来初衡量工作负荷的大小[12]。为了考虑地铁司机应急处置作业的紧急性和复杂性，提出一种以作业复杂度对传统工作负荷进行修正的方法。

以作业用时(通过模拟实验采集)占预计处置时间(由相应的应急处置作业指导手册给定)的比值为基本量度，以应急处置作业复杂度作为工作负荷值的修正因子，建立应急处置工作负荷评估模型，具体模型如式(2-1)所示：

$$W_{ij} = \alpha_j \frac{t_{ij}}{T_j} \tag{2-1}$$

其中， $W_{ij}$ 为编号为  $i$  的司机进行  $E_j$  项应急处置作业的工作负荷值； $T_j$ 为  $E_j$  项应急处置作业的预计处置时间； $t_{ij}$ 为编号为  $i$  的驾驶员进行  $E_j$  项应急处置作业的作业耗时； $\alpha_j$ 为  $E_j$  项应急处置作业的基于复杂度的工作负荷修正因子。 $\alpha_j$ 通过  $E_j$  项应急处置作业的规模、难度、操作多样性三方面进行度量[13]，工作负荷修正因子的公式如式(2-2)、式(2-3)所示：

$$Lc_j = Kc_j(1 + D_{Rj})H_j \quad (2-2)$$

$$\alpha_j = 1 + \frac{Lc_j - \min\{Lc_j\}}{\max\{Lc_j\} - \min\{Lc_j\}} \quad (2-3)$$

其中,  $Lc_j$  为  $E_j$  项应急处置作业的复杂度;  $H_j$  为规模因子;  $Kc_j$  为难度因子;  $D_{Rj}$  为操作多样性因子,  $H_j$ 、 $Kc_j$ 、 $D_{Rj}$  的计算方法详见文献[13]。

计算得到每项作业的工作负荷修正因子如表 2 所示:

**Table 2.** 8 Workload correction factors for 8 emergency response tasks  
**表 2.** 8 项应急处置任务的工作负荷修正因子

	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$E8$
$\alpha_j$	2	1.5656	1.1648	1.4552	1.5340	1.3055	1	1.3985

## 2.2. 模型构建

为了探究认知能力的 26 个影响因素与工作负荷之间的影响结构关系, 应用 GRA-DEMATEL-ISM 方法按照下面步骤构建了认知能力与工作负荷因素结构模型。

- 1) 确认认知能力与工作负荷因素指标
- 2) 计算灰色关联度  $\gamma(x_o, x_i)$

基于采集的认知能力与工作负荷相关因素指标数据, 采用 GRA 代替传统 DEMATEL 方法中的专家评价, 分别以每个指标作为一个参考序列, 剩余其他指标作为一个比较序列, 计算各指标相对于其他指标的灰色关联度。原始数据的均值化处理, 如式(2-4)所示:

$$x'_i(k) = \frac{x_i(k)}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i(k)} \quad (2-4)$$

计算灰色相关系数  $\xi_{oi}(k)$ , 如式(2-5)所示:

$$\xi_{oi}(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)} \quad (2-5)$$

式中,  $\Delta_i(k) = |x'_o(k) - x'_i(k)|$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  为比较序列和参考序列的绝对差值,  $\rho$  为分辨系数, 取值范围为(0,1), 通常情况下取 0.5。

计算灰色关联度  $\gamma(x_o, x_i)$ , 如式(2-6)所示:

$$\gamma(x_o, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{oi}(k) \quad (2-6)$$

其中,  $\gamma(x_o, x_i)$  指  $x_i$  对  $x_o$  的灰色关联度, 它通过对各指标序列之间数据差的绝对值进行度量, 进而描绘指标之间相关性的强弱次序, 灰色关联度的绝对值通常情况下与相关性相对应, 其值越大, 相关性越强, 反之, 相关性越弱。

- 3) 建立认知能力与工作负荷因素的直接影响矩阵  $G_M$

为了衡量各影响因素之间的相关性, 基于式(2-4)计算出灰色关联度, 建立认知能力与工作负荷因素的直接影响矩阵  $G_M$ 。

$$G_M = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots & \gamma_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (2-7)$$

其中,以  $\gamma_{ij}$  表示影响因素  $i$  对于影响因素  $j$  的影响作用,其值基于上一步骤计算所得的灰色关联度  $\gamma(x_o, x_i)$ 。将每个指标作为一个参考序列, 剩余其他指标作为一个比较序列, 可得到各指标的相关系数矩阵。

4) 规范化认知能力与工作负荷因素的直接影响矩阵  $G'_M$

将直接影响矩阵中的各行元素进行求和, 并找出其中的最大值, 按照式(2-8)可以得到规范直接影响矩阵  $G'_M$  ( $G'_M = [g_{ij}]_{n \times n}$ )。

$$G'_M = (g_{ij})_{n \times n} = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}} G_M \quad (2-8)$$

其中,  $\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}$  表示行和的最大值。

5) 计算认知能力与工作负荷因素的综合影响矩阵  $T_M$

为进一步考虑因素之间的间接影响关系, 以及 1 个因素变化之后引起的波及效应, 可通过直接影响和间接影响之间的累加, 最终确定综合影响矩阵  $T_M$  ( $T_M = [t_{ij}]_{n \times n}$ )。

$$T_M = G'_M + G'^2_M + \cdots + G'^m_M = G'_M \frac{E - G'^{m-1}_M}{E - G'_M} \quad (2-9)$$

其中,  $E$  为单位矩阵, 由于  $g_{ij} \in [0,1]$ , 当  $m \rightarrow \infty$ ,  $G'^{m-1}_M \rightarrow 0$ , 可以得到:

$$T_M = G'_M (E - G'_M)^{-1} \quad (2-10)$$

6) 计算 DEMATEL 相关指标

计算各因素的影响度  $D_m$  与被影响度  $R_m$ , 中心度  $D_m + R_m$  与原因度  $D_m - R_m$ ,  $D_m$  指某因素对其它因素的综合影响值;  $R_m$  指某因素被其它因素的综合影响值;  $D_m + R_m$  指某因素在系统中的作用大小与重要性大小;  $D_m - R_m$  指某因素对其它因素的影响情况, 该值大于 0 意味着对其它因素影响更多, 该值小于 0 意味着被其它因素影响更多。如式(2-11)、式(2-12)所示:

$$D_m = \left( \sum_{j=1}^n t_{ij} \right)_{n \times 1}, m=1,2,\dots,n \quad (2-11)$$

$$R_m = \left( \sum_{i=1}^n t_{ij} \right)_{1 \times n}, m=1,2,\dots,n \quad (2-12)$$

根据综合影响矩阵  $T_M$  可以求出影响度、被影响度、中心度和原因度, 其中, 综合影响矩阵的各行指标之和表示对其他各个因素的综合影响值, 即影响度。影响度集合记为  $D$ ,  $D_m$  表示  $T_M$  矩阵第  $m$  行的总和; 各列值之和表示受到其他各个因素的综合影响值, 即被影响度。被影响度集合记为  $R$ ,  $R_m$  表示  $T_M$  矩阵第  $m$  列的总和;  $D_m + R_m$  为中心度, 相当于第  $m$  项因素在所有因素中所起的重要程度;  $D_m - R_m$  为原因度, 如果原因度大于 0, 表明该因素对其他因素影响大, 称为原因因素, 反之, 称为结果因素。

7) 计算认知能力与工作负荷因素的整体影响矩阵  $H_M$

通过 DEMATEL 法得到了考虑各因素对其他因素的影响的综合影响矩阵  $T_M$ , 在此基础上需要考虑各个影响因素对自身一一对应的关系, 可以用单位矩阵  $E$  来表示各因素对自身的影响。所以计算认知能力与工作负荷因素的整体影响矩阵  $H_M$  ( $H_M = [h]_{n \times n}$ ) 的计算公式如式(2-13)所示:

$$H_M = E + T_M \quad (2-13)$$

8) 计算认知能力与工作负荷因素可达矩阵  $K_M$

可达矩阵  $K_M$  ( $K_M = [k_{ij}]_{n \times n}$ ) 表示的是在两个影响因素之间是否存在通路, 如果两个影响因素之间有通路, 则  $k_{ij} = 1$ , 反之, 则  $k_{ij} = 0$ 。可达矩阵  $K_M = [k_{ij}]_{n \times n}$ ,  $k_{ij}$  的计算公式如式(2-14)所示:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & h_{ij} \geq \lambda \\ 0, & h_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (2-14)$$

其中,  $\lambda$  为阈值, 阈值的设定可以优化因素间的影响关系情况, 并影响可达矩阵的构成和因素的结构层级划分。

9) 因素结构层级划分及多层递阶解释结构模型的构建

可达集  $R(S_i)$  是在可达矩阵  $K_M$  中的因素  $S_i$  所对应行中,  $k_{ij} = 1$  的列所对应的元素组成的集合, 表示的是从  $S_i$  因素出发可以到达的全部因素的集合, 即

$$R(S_i) = \{S_j \mid S_j \in S, k_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (2-15)$$

先行集  $Q(S_i)$  是在可达矩阵  $K_M$  中的因素  $S_i$  所对应列中,  $k_{ji} = 1$  的列所对应的元素组成的集合, 表示的是可以到达  $S_i$  因素的全部因素的集合, 即

$$Q(S_i) = \{S_j \mid S_j \in S, k_{ji} = 1, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (2-16)$$

由可达矩阵  $K_M$  求出可达集  $R(S_i)$  和先行集  $Q(S_i)$ , 若可达集与先行集的交集  $C(S_i) = R(S_i) \cap Q(S_i) = R(S_i)$ , 则可以得到最高层级(第一层)的影响因素如式(2-17):

$$C_1 = \{S_i \mid R(S_i) \cap Q(S_i) = R(S_i), i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2-17)$$

然后在可达矩阵里删除最高层级的影响因素所对应的行和列, 再继续根据该原则继续划分, 得到位于第二层中  $C_2$  的因素。循环往复, 最终将影响因素划分成不同层级。

### 3. 实证分析

应急处置作业任务和 VTS 的数据均由上海工程技术大学城市轨道交通学院提供。

#### 3.1. 认知能力与工作负荷因素分析

根据式(2-4)~式(2-7)分别以每个因素作为一个参考序列, 剩余其他因素作为一个比较序列, 计算各影响因素相对于其他因素的灰色关联度, 得到关联度矩阵作为 DEMATEL 中的直接影响矩阵  $G_M$ 。

在直接影响矩阵的基础上, 通过式(2-8)规范化得到  $G'_M$ , 考虑各影响因素的间接影响关系, 通过式(2-9)计算得到综合影响矩阵  $T_M$ 。通过式(2-11)、计算得到认知能力与工作负荷因素的影响度、被影响度, 如表 3 所示。

由表 3 可知, 驾驶经验因素中工作时长 S3 的影响度很高, 规章服从性因素中核证成绩 L2 影响度高, 职业适应性因素指标有一半都由很高的影响度, 工作负荷因素中有三项任务的影响度高。再通过式(2-12)得到中心度和原因度, 以中心度为 x 轴, 原因度为 y 轴, 画出认知能力与工作负荷因素的 DEMATEL 因果关系图如图 1 所示。

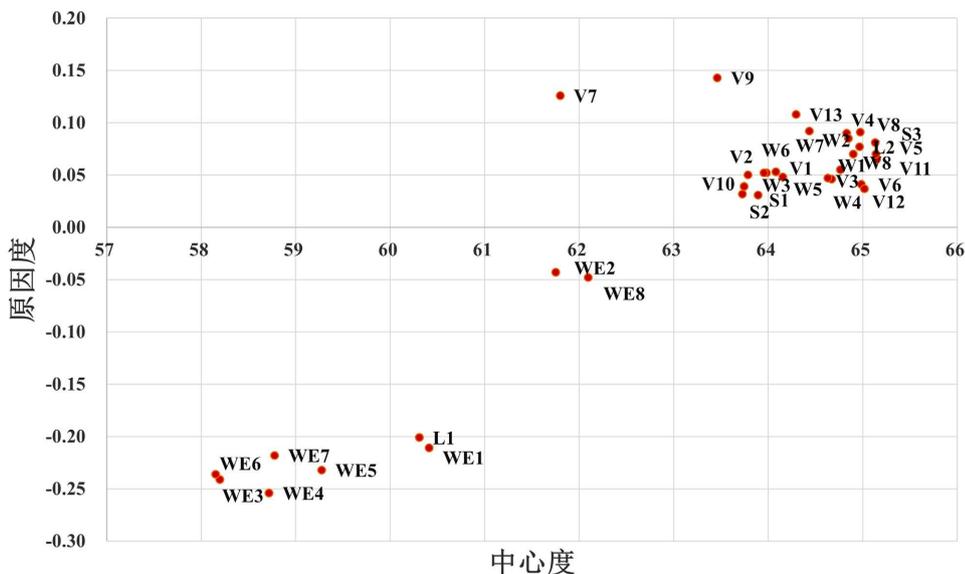
值为正的影响因素是原因因素, 它们是直接影响认知能力的因素, 值为负的为结果因素, 它们会受到原因因素的影响, 间接地影响认知能力。中心度越高, 因素的重要性就越大, 通过因果关系图可以表示出各个影响因素在整个影响因素系统的重要性。原因度为正值因素为原因因素, 表明这些因素对其

他因素影响大，均位于图 1 的横坐标轴上方；在原因因素中，V5 的影响度、被影响度和中心度最大，V9 的原因度最大。原因度为负值的因素为结果因素，表明这些因素受到其他因素影响大，均位于图 1 的横坐标轴下方；在结果因素中，WE8 的影响度、被影响度与中心度最大，WE4 的原因度最小。

**Table 3.** The degree of influence and being influenced by cognitive ability and workload factors

**表 3.** 认知能力与工作负荷因素的影响度和被影响度

	S1	S2	S3	L1	L2	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
影响度	31.96	31.87	32.60	30.05	32.52	32.06	31.89	32.35	32.46	32.60	32.51	30.96	32.53	31.80	31.91	32.60	32.52
被影响度	31.93	31.84	32.52	30.25	32.44	32.01	31.85	32.31	32.37	32.54	32.47	30.83	32.44	31.65	31.86	32.53	32.49
因素属性	原因因素	原因因素	原因因素	结果因素	原因因素												
	V13	WE1	WE2	WE3	WE4	WE5	WE6	WE7	WE8	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
影响度	32.20	30.10	30.85	28.97	29.23	29.52	28.95	29.28	31.02	32.40	32.46	32.01	32.33	32.10	32.00	32.26	32.48
被影响度	32.09	30.31	30.89	29.21	29.48	29.75	29.19	29.49	31.07	32.35	32.38	31.96	32.29	32.05	31.95	32.17	32.41
因素属性	原因因素	结果因素	原因因素														



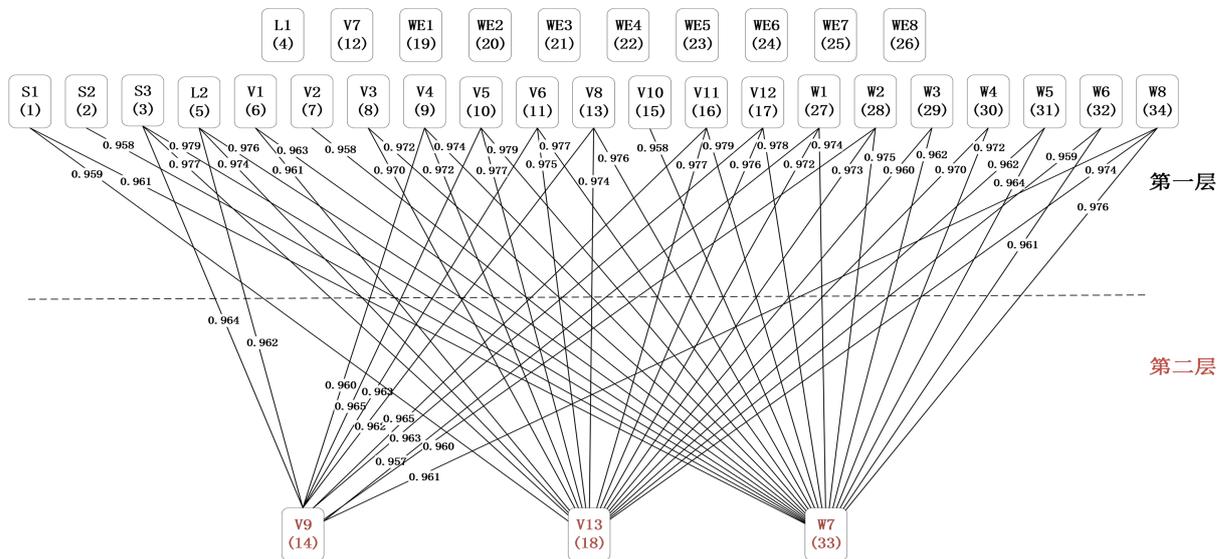
**Figure 1.** DEMATEL causality diagram of cognitive ability and workload factors

**图 1.** 认知能力与工作负荷因素的 DEMATEL 因果关系图

### 3.2. 认知能力与工作负荷影响机理分析

进一步根据式(2-13)、式(2-14)计算整体影响矩阵  $H_M$  和可达矩阵  $K_M$ ，其中，可达矩阵求解时的阈值  $\lambda$ ，本文选择以整体影响矩阵中所有项的平均值为阈值，计算得到  $\lambda = 0.958$ ，得到可达矩阵  $K_M$ 。

随后根据式(2-14)、式(2-15)、式(2-16)计算可达集与先行集，并根据影响因素结构层级划分规则进行影响因素结构层级划分，通过对第一层因素进行划分，得到第一层层级的因素，将第一层中的因素从所在的行和列中划去，再进行可达集和先行集的划分，得到系统模型的第二层因素。最终将因素划分为两层。如图 2 所示。



**Figure 2.** Structural model of multi-layer recursive explanation of cognitive ability and workload factors of rail drivers  
**图 2.** 轨道交通驾驶员认知能力与工作负荷因素多层递阶解释结构模型

建立多层递阶解释结构模型，根据以上步骤可将认知能力与工作负荷因素分为 2 个层级，最终得到的认知能力与工作负荷因素的多层递阶解释结构模型如图 2 所示，其中方框表示的是影响驾驶员应急处置行为的认知能力与工作负荷因素，以两者间的箭头表示两个影响因素间的影响关系并标注影响程度。

根据以上分析，认知能力因素和工作负荷因素都会影响驾驶员应急处置行为结果，第一层 C1 中的因素可以代表最直接的认知能力与工作负荷因素，改善上述因素可以快速有效地改善驾驶员的应急处置行为；第二层 C2 中的因素属于驾驶员应急处置行为最基本、最不可忽视的根本因素，分别是职业适应性因素中的 V9、V13 和应急处置错误倾向性因素的影响 W7，会持续长远的影响系统中的其他因素。

所有应急处置错误倾向性因素都属于结果因素，说明其主要受到其他认知能力和工作负荷因素的影响，应急处置错误倾向性因素可以认为是认知资源出现问题导致的结果[14]，模型结果为结果因素在情理之中。模型中影响度较高的因素指标的中心度也较高，说明对应指标重要性更高，影响度和被影响度高。认知能力因素的除了规章服从性因素中的违规违纪 L1 评价指标外都属于原因因素，该指标可能是职业倦怠导致的有意识和无意识不安全行为导致的结果[15]。

工作负荷因素在认知能力和工作负荷影响模型中都属于原因因素，说明工作负荷是导致认知资源分配出错的原因，多层递阶解释结构模型第二层仅有一个工作负荷任务说明不同的任务对于认知的影响程度也不同。通过多层递阶解释结构模型可以看到在地铁驾驶员认知能力和工作负荷关系中的根本因素主要还是职业适应性因素，这个人是否适合地铁驾驶员这个职业将影响其工作期间的认知能力以及工作负荷，进而导致运营中可能发生的安全事故风险大大提高。

#### 4. 结论

本文构建了驾驶员应急处置认知能力因素，包括驾驶经验、规章服从性、职业适应性和应急处置错误倾向性等认知能力因素，提出了驾驶员应急处置工作负荷量化方法，并基于 GRA-DEMATEL-ISM 的影响模型，探究认知能力与工作负荷的因素结构、认知能力对工作负荷的影响，模型结果符合实际工况下的情况，结果表明工作负荷因素是认知资源分配问题的源头，而根本因素则是员工是否适合该职业，未来可以有针对性地加强应急处置下驾驶员的相关能力培训、使驾驶员应急处置下的工作负荷处于最优区域。

## 基金项目

国家青年科学基金项目“面向全自动地铁多职能人员的应急处置行为模式及人因失误研究”(52302438)。

## 参考文献

- [1] 于铮, 杨聚芬, 刘志钢, 等. 基于任务分层的地铁驾驶员应急处置作业工作负荷评价[J]. 人类工效学, 2022, 28(2): 73-76.
- [2] 王永刚, 王慧莹. 技能自评在管制员工作负荷压力与认知能力间的调节效应分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(4): 49-55.
- [3] 孙晓萌, 王洁, 周洁琼, 等. 基于认知心理学的地铁行车调度员沟通过程分析[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(5): 227-231.
- [4] 张明. 依据管制员工作负荷的扇区优化研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2003.
- [5] 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.
- [6] 李兰鹏. 地铁驾驶员工作负荷与疲劳分析[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海工程技术大学, 2018.
- [7] 田书婕, 王波, 王丽, 等. 基于时间-多资源占用的工作负荷评估模型[J]. 北京航空航天大学学报, 2017, 43(12): 2497-2504.
- [8] 岳仁田, 韩亚雄. 航空公司安全风险因素分析的 DEMATEL-ISM 模型研究[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(6): 2091-2097.
- [9] 顾御坤. 城市轨道交通行车应急处置研究[J]. 运输经理世界, 2021(25): 13-15.
- [10] 徐瑞华, 张铭, 王志强. 基于工作流的轨道交通应急管理系统设计与实现[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2008(6): 754-759.
- [11] 张婉如, 方铖, 刘志钢, 等. 地铁车站行车人员作业前后心理疲劳及认知能力变化研究[J]. 人类工效学, 2021, 27(5): 54-58.
- [12] 袁乐平, 孙瑞山, 刘露. 基于 DORATASK 的管制员工作负荷测量方法研究[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(3): 76-79.
- [13] 高云鹏. 基于复杂度的工人与机器人协同作业任务分配问题研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [14] 张欣然. 驾驶人认知反应特性及其对事故风险的影响机理研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- [15] 顾一波. 职业倦怠对地铁综控员的不安全行为影响研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2017.