文章编号：1003-1421(2026)05-0131-07
引用格式：杨晨. 基于DEMATEL-ISM的机车乘务员不安全行为影响因素分析[J]. 铁道运输与经济，2026，48(5)：131-137，160.
YANG Chen. Analysis of Influencing Factors for Unsafe Behaviors of Locomotive Crew Members Based on DEMATEL-ISM[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(5)：131-137，160.

基于DEMATEL-ISM的机车乘务员不安全行为影响因素分析

杨 晨[1, 2]

(1.中国国家铁路集团有限公司 铁路安全研究中心，北京 100081；2.中国铁道科学研究院集团有限公司 铁道科学技术研究发展中心，北京 100081)

摘 要：为研究机车乘务员不安全行为影响因素及各因素之间的作用关系，通过分析近年来机务事故情况，围绕人员-设备-环境-管理4个方面，确定影响机车乘务员不安全行为的17个关键致因因素，构建影响因素指标体系。通过融合决策实验室分析法(DEMATEL)和解释结构模型法(ISM)，对机车乘务员不安全行为影响因素间的相互关系和影响程度进行定量计算，建立多层级影响因素关系模型。结果表明，应急处置、认知决策、标准化作业、生理状态、教育培训、安全意识对机车乘务员不安全行为产生非常重要的影响。应急处置是直接影响因素，认知决策、标准化作业、安全意识、沿线周边环境为重要的中间因素，教育培训、安全文化是不安全行为的根本因素，应重点进行强化。在此基础上针对性地提出防范机车乘务员不安全行为的对策建议，有助于持续提升作业安全本质化管控水平。

关键词：机车乘务员；不安全行为；影响因素；DEMATEL；ISM
中图分类号：U298 **文献标识码：**A DOI：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250710003

Analysis of Influencing Factors for Unsafe Behaviors of Locomotive Crew Members Based on DEMATEL-ISM

YANG Chen[1, 2]

(1. Railway Safety Research Center, China State Railway Group Co., Ltd., Beijing 100081, China; 2. Railway Science and Technology Research and Development Center, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: To investigate the influencing factors of unsafe behaviors of locomotive crew members and the interaction relationships among them, this paper analyzed recent locomotive accident cases, identified 17 critical causal factors affecting the unsafe behaviors of locomotive crew members from the four aspects of personnel, equipment, environment, and management, and constructed an influencing factor index system. By integrating the decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) and interpretative structural modeling (ISM) methods, the mutual relationships and impact degrees among the influencing factors of unsafe behaviors of locomotive crew members were quantitatively calculated, and a multi-level influencing factor relationship model was established. The results show that emergency response, cognitive decision-making, standardized operations, physiological state, education and training, and safety awareness have a very important impact on

收稿日期：2025-07-10 **修订日期：**2026-03-31
基金项目：中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2024YJ374)

the unsafe behaviors of locomotive crew members. Emergency response is a direct influencing factor; cognitive decision-making, standardized operations, safety awareness, and the surrounding environment along the route are important intermediate factors; education and training and safety culture are fundamental factors of unsafe behaviors, which should be preferentially strengthened. On this basis, targeted countermeasures and suggestions for preventing the unsafe behaviors of locomotive crew members were proposed, which is helpful to continuously enhance the essential safety control level of operations.

Keywords: Locomotive Crew; Unsafe Behavior; Influencing Factor; DEMATEL; ISM

0　引言

2025年，中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)提出“加强对关键人员、关键岗位、关键时段、关键环节贯标执标的监督和管控”。机车乘务员作为铁路关键岗位之一，在行车作业过程中人机信息交互不断，精神状态高度集中，需持续处理大量来自控制台仪表、信号状态和沿线周边环境等多维度信息，一个环节应对处置不当，就可能发生不安全事件。因此，分析机车乘务员不安全行为影响因素，防范机车乘务员不安全行为，对持续提升机车乘务员作业安全水平至关重要。

国内外学者针对机车乘务员作业安全管理情况开展相关研究，主要集中于现状问题、作业安全评价、人因失误、心理生理、风险防控、安全监管影响等。在现状问题方面，学者分析机车乘务员安全管理现状和问题，并提出强化手段措施[1]。在作业安全评价方面，重点聚焦于机车乘务员疲劳程度评价方法[2]、作业安全评价研究[3]。在人因失误方面，现有研究多关注机务事故致因分析，建立人因失误模型[4-6]，基于系统工程理念提出铁路安全人因工程应用管理体系架构[7]。在生理心理方面，相关文献研究机车乘务员生理心理健康风险因素[8-9]及状态测评[10-11]，针对超劳问题提出相关对策[12]。在风险防控方面，采用智能避障技术[13]、设计司机电子手册[14]等技防手段[15]，以及优化列车操纵[16]等方式提高机车乘务员防错纠错能力。在安全监管方面，重点分析机务系统安全管理问题并提出防范对策[17]。

上述研究为探讨机车乘务员作业安全管理提供坚实基础，然而从系统性和全面性角度剖析机车乘务员不安全行为致因的研究尚显不足，且对各致因要素间关联关系的量化分析较为缺乏。因此，提出集成决策实验室分析法(DEMATEL)和解释结构模型法(ISM)，系统性分析机车乘务员不安全行为影响因素，构建多层级影响因素阶梯结构模型，为精准研判机车乘务员不安全行为关键致因，超前防控不安全行为风险提供决策依据。

1　机车乘务员不安全行为影响因素指标体系构建

通过分析2020—2024年机车乘务员不安全行为相关事故情况，违章违纪占87.9%，主要包括作业人员瞭望不认真、臆测行车、错误操纵、应急处置不当等；设备影响占4.5%，主要包括设备故障等情况影响机车乘务员正常作业；环境影响占1.9%，主要源于复杂的沿线周边环境、自然灾害等干扰机车乘务员作业；管理原因占5.7%，主要包括作业标准落实不到位、监管管理不够严格等情况。在此基础上，运用安全系统理论及事故致因理论，从人员、设备、环境、管理等4个方面提炼机车乘务员不安全行为致因因素。

(1) 在人员因素方面，由于安全意识薄弱，存在轻视标准流程和侥幸心理的情况；健康问题、压力过大等生理、心理异常可能会造成人员判断力和反应速度异常，进而导致不安全行为；此外，人员的认知决策、业务水平也是影响作业质量和操作行为的关键因素；突发情况带来的应急处置同样可能引发作业安全风险。

(2) 在设备因素方面，机车乘务员人机交互界面设计不合理会导致作业流程繁琐和人员认知资源分配失衡，多源信息并行容易引发注意力分散，容易引起操作偏差和误判的风险；同时设备故障会干扰正常的作业流程，进而引发机车乘务员的紧张焦虑，在非正常处置情况下可能会存在误判或误操作的现象。

(3) 在环境因素方面，驾驶室温度湿度、照明条件等环境因素，通过人体感知和视觉干扰间接影

响机车乘务员作业行为可靠性；雨雪、冰冻、沙尘、强风等自然环境通过改变列车运行工况、干扰人体生理机能，可能会降低机车乘务员判断和决策能力；同时违法施工、漂浮物、树植倒落等沿线周边环境风险依然存在，这些因素会对机车乘务员作业行为产生显著影响。

（4）在管理因素方面，人员配班、乘务交路安排会对机车乘务员作业疲劳程度造成影响；标准化作业直接关系机车乘务员安全操纵和作业效率；监督管理有利于进一步规范机车乘务员作业流程，强化作业安全管控；加强教育培训能够持续提升机车乘务员业务素质能力，通过安全文化培育，逐步形成“我要安全”的主动意识，将安全责任从制度约束转化为内在行为准则，有效减少机车乘务员不安全行为的发生。

综上所述，机车乘务员不安全行为影响因素指标体系可以分为人员、设备、环境、管理4大类，共17个关键因素，机车乘务员不安全行为影响因素指标体系如表1所示。

表1　机车乘务员不安全行为影响因素指标体系

Tab.1　Index system of influencing factors for unsafe behaviors of locomotive crew members

类别	影响因素	类别	影响因素
人员因素	安全意识X_1	环境因素	自然环境X_{10}
	生理状态X_2		沿线周边环境X_{11}
	心理状态X_3	管理因素	人员配班X_{12}
	认知决策X_4		乘务交路X_{13}
	业务水平X_5		标准化作业X_{14}
	应急处置X_6		监督管理X_{15}
设备因素	人机交互X_7		教育培训X_{16}
	设备故障X_8		安全文化X_{17}
环境因素	驾驶室环境X_9		

2　DEMATEL-ISM综合分析方法

2.1　研究方法

DEMATEL法是分析系统中各要素间相互关系和影响程度，从而建立直接影响关系矩阵，可以定量表述各要素间的相关性，通过计算影响度、被影响度、中心度和原因度等指标，判断各要素在系统中的重要作用，识别关键影响因素。ISM是通过可达矩阵将系统分解成多层级的结构，确定层次关系，构建出阶梯式的结构模型，用于揭示复杂系统的层级结构和要素间关系。DEMATEL更注重因果关系和影响强度的量化，而ISM侧重于结构层次和递进关系的梳理。

考虑机车乘务员不安全行为影响因素之间存在着复杂的逻辑关系，应用集成DEMATEL-ISM方法，既可以对机车乘务员不安全行为影响因素进行量化分析，又能直观反映多层级影响因素之间的阶梯结构，明确不同层级间各要素关联关系链条，其集成应用展现出独特的协同效果。

2.2　计算流程

基于DEMATEL-ISM的机车乘务员不安全行为影响因素分析的具体计算流程如图1所示。

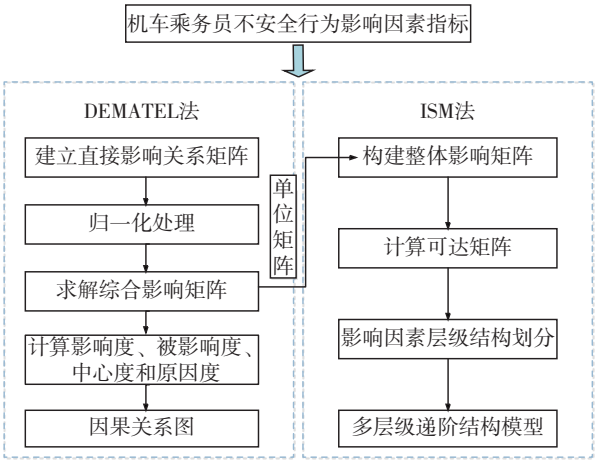

图1　计算流程

Tab.1　Calculation process

（1）建立直接影响关系矩阵$\boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}(x_{ij})$。利用专家咨询法对机车乘务员不安全行为影响因素间影响程度进行评价，确定出描述不同要素间作用关系的矩阵X。

$$\boldsymbol{X}=\begin{bmatrix} 0 & x_{12} & \cdots & x_{1j} \\ x_{21} & 0 & \cdots & x_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中：$\boldsymbol{X}$为直接影响关系矩阵；i，j为影响因素编号；x_{ij}为因素x_i对x_j的影响程度，由于因素对本身不存在影响，因此当$i=j$时，$x_{ij}=0$。

（2）直接影响关系矩阵的归一化处理。为消除量纲不同的影响，将$\boldsymbol{X}$进行归一化得到规范化影响矩阵$\boldsymbol{Q}$。

$$\boldsymbol{Q}=\frac{x}{\max\left(\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\right)} \tag{2}$$

式中：$\boldsymbol{Q}$为规范化影响矩阵；n为矩阵的维度。

（3）求解综合影响矩阵$\boldsymbol{T}$。

$$\boldsymbol{T}=\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{Q})^{-1} \tag{3}$$

式中：$\boldsymbol{T}$为综合影响矩阵；$\boldsymbol{I}$为单位矩阵。

（4）计算每个因素的影响度E_i，被影响度E_i'，中心度C_i和原因度R_i。

$$E_i = \sum_{j=1}^{n} t_{ij} \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{4}$$

$$E_i' = \sum_{j=1}^{n} t_{ji} \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{5}$$

$$C_i = E_i + E_i' \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{6}$$

$$R_i = E_i - E_i' \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{7}$$

式中：E_i为第i个因素对其他因素的影响程度；E_i'为第i个因素被其他因素的影响程度；中心度C_i可以显示出第i个因素在整个系统中的地位和作用情况，其值与作用大小成正相关；原因度R_i可用来区分因素的性质，若$R_i > 0$，则为原因因素，若$R_i < 0$，则为结果因素。

（5）绘制因果关系图。根据计算出的C_i，R_i，构建各影响因素的中心度-原因度的因果关系图。

（6）构建整体影响矩阵。考虑各因素的自身影响，整体影响矩阵$\boldsymbol{Z}$为综合影响矩阵$\boldsymbol{T}$与单位矩阵$\boldsymbol{I}$之和。

$$\boldsymbol{Z} = \boldsymbol{T} + \boldsymbol{I} \tag{8}$$

式中：$\boldsymbol{Z}$为整体影响矩阵。

（7）计算可达矩阵$\boldsymbol{K}$。为简化因素的层次结构，通过引入阈值λ的方式对$\boldsymbol{Z}$进行精简转化，得到可达矩阵$\boldsymbol{K} = \left[k_{ij}\right]_{n \times n}$。$k_{ij} = 1$表示$x_i$和$x_j$间有直接作用关系，$k_{ij} = 0$表示$x_i$和$x_j$间无直接作用关系。

$$k_{ij} = \begin{cases} 1 & z_{ij} \geqslant \lambda \\ 0 & z_{ij} \leqslant \lambda \end{cases} \quad i, j = 1, 2, \cdots, n \tag{9}$$

（8）影响因素层级结构划分。基于可达矩阵$\boldsymbol{K}$，计算可达集$M(X_i)$、先行集$S(X_i)$和共同集$G(X_i)$。将满足$G(X_i)$的因素X_i称为高层级的因素，$G(X_i)$中的因素属于同一层级，从可达矩阵中剔除该层级相应的行和列，往复循环此过程，直到所有行和列均被剔除。

$$M(X_i) = \left\{X_j | X_j \in X,\ k_{ij} = 1\right\} \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{10}$$

$$S(X_i) = \left\{X_j | X_j \in X,\ k_{ji} = 1\right\} \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{11}$$

$$G(X_i) = \left\{X_j \in X | M(X_i) \cap S(X_i) = M(X_i)\right\} \quad i = 1, 2, \cdots, n \tag{12}$$

式中：$M(X_i)$为可达集；$S(X_i)$为先行集；$G(X_i)$为共同集。

（9）绘制多层级阶梯结构模型。根据因素集$G(X_i)$，绘制机车乘务员不安全行为影响因素多层级阶梯结构模型，表述各层级间的影响作用关系。

3　机车乘务员不安全行为影响因素分析

3.1　构建直接影响关系矩阵

根据机车乘务员不安全行为影响因素指标体系，运用专家咨询法，邀请5位机务安全管理领域专家、5位机车乘务员，按照影响因素作用程度规则，对各因素之间直接影响关系进行赋权打分。影响因素作用程度规则如表2所示。

表2　影响因素作用程度规则

Tab.2　Rules for impact degree of influencing factors

作用程度	没有影响	影响较弱	影响一般	影响较强	影响很强
分数	0	1	2	3	4

根据10位专家初始构建的直接影响关系矩阵，为更客观地反映评分结果，消除个体差异，计算10个矩阵的平均值，建立机车乘务员不安全行为17个影响因素的直接影响关系矩阵$\boldsymbol{X}$。

$$\boldsymbol{X} = \begin{pmatrix}
0&0&0&3&2&2&0&0&0&0&0&0&0&3&0&0&0\\
0&0&1&2&0&2&0&0&0&0&0&0&0&2&0&0&0\\
0&1&0&2&0&1&0&0&0&0&0&0&0&2&0&0&0\\
2&0&0&0&0&3&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
1&0&0&2&0&3&0&0&0&0&0&0&0&3&0&0&0\\
0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0\\
0&3&3&1&0&2&0&0&2&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&1&0&0&4&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&3&1&0&0&0&2&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&2&0&2&0&0&2&0&0&0&0&0&0\\
0&1&1&2&0&3&0&3&0&0&0&1&1&1&0&0&0\\
0&2&2&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&2&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&3&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\
1&0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&1&0&2&0&0&1\\
3&1&1&3&3&2&0&0&0&0&0&0&0&2&0&0&2\\
2&1&1&2&0&2&0&0&0&0&0&0&0&2&0&1&0
\end{pmatrix} \tag{13}$$

3.2　DEMATEL分析

根据直接影响关系矩阵$\boldsymbol{X}$，利用式(2)和式(3)求解综合影响矩阵$\boldsymbol{T}$，进一步计算因素的影响度E_i、被影响度E_i'、中心度C_i和原因度R_i，得到DEMATEL分析结果如表3所示。影响度指某一影响因素对其

表3　DEMATEL分析结果

Tab.3　DEMATEL analysis results

影响因素	影响度E_i	被影响度E_i'	中心度C_i	中心度排序	原因度R_i	因素属性
安全意识X_1	0.843	0.791	1.634	6	0.052	原因因素
生理状态X_2	0.563	1.186	1.749	4	−0.623	结果因素
心理状态X_3	0.493	1.133	1.626	7	−0.640	结果因素
认知决策X_4	0.439	1.542	1.981	2	−1.103	结果因素
业务水平X_5	0.736	0.460	1.196	9	0.276	原因因素
应急处置X_6	0.259	2.850	3.109	1	−2.591	结果因素
人机交互X_7	0.960	0.133	1.093	11	0.827	原因因素
设备故障X_8	0.384	0.315	0.699	13	0.069	原因因素
驾驶室环境X_9	0.594	0.133	0.727	12	0.461	原因因素
自然环境X_{10}	0.552	0	0.552	17	0.552	原因因素
沿线周边环境X_{11}	1.053	0.118	1.171	10	0.935	原因因素
人员配班X_{12}	0.360	0.277	0.637	15	0.083	原因因素
乘务交路X_{13}	0.340	0.292	0.632	16	0.048	原因因素
标准化作业X_{14}	0.341	1.549	1.890	3	−1.208	结果因素
监督管理X_{15}	0.641	0	0.641	14	0.641	原因因素
教育培训X_{16}	1.609	0.079	1.688	5	1.530	原因因素
安全文化X_{17}	1.025	0.336	1.361	8	0.689	原因因素

他因素的直接或间接影响总和，反映其主动作用能力，影响度越高，表明该因素在系统中对外部驱动作用越显著；被影响度表示该因素受其他因素影响的累积程度，体现其被动响应特性，被影响度高说明因素易受系统内其他变量制约；中心度表征因素在系统中的整体重要性，中心度高的因素处于网络核心位置，对系统具有全局性影响；原因度用于区分因果类型，原因度为正值表示该因素主动驱动系统变化，属于原因类因素，原因度为负值表示该因素主要受系统状态影响，属于结果类因素。

为直观反映各影响因素中心度和原因度的关系，根据分析结果，构建中心度-原因度因果关系图如图2所示。

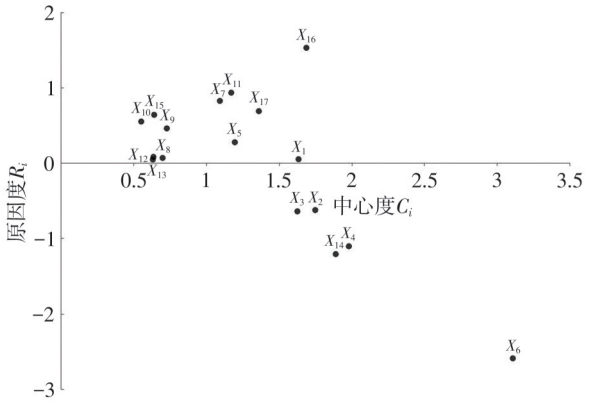

图2　中心度-原因度因果关系图

Tab.2　Causal relationship diagram of centrality and cause degree

表3和图2表明，影响度中教育培训X_{16}、沿线周边环境X_{11}、安全文化X_{17}、人机交互X_7、安全意识X_1的值较高，显示这几个因素对其他影响因素会产生较强的影响作用，应引起重点关注。被影响度中应急处置X_6、标准化作业X_{14}、认知决策X_4、生理状态X_2、心理状态X_3的值较高，表明这几个因素受其他因素影响的综合作用度较强，可反映出其他影响因素作用情况。

从中心度结果分析，应急处置X_6、认知决策X_4、标准化作业X_{14}、生理状态X_2、教育培训X_{16}、安全意识X_1对机车乘务员不安全行为产生非常重要的影响，应重点加强管控。

从原因度结果分析，教育培训X_{16}、沿线周边环境X_{11}、人机交互X_7、安全文化X_{17}、监督管理X_{15}、自然环境X_{10}、驾驶室环境X_9、业务水平X_5、人员配班X_{12}、设备故障X_8、安全意识X_1、乘务交路X_{13}属于原因因素。应急处置X_6、标准化作业X_{14}、认知决策X_4、心理状态X_3、生理状态X_2属于结果因素。其中，教育培训、沿线周边环境、人机交互原

因度值分别为1.530，0.935，0.827，是主要原因因素；应急处置、标准化作业、认知决策原因度值分别为−2.591，−1.208，−1.103，属于重要结果因素。

3.3　ISM分析

DEMATEL分析得到不同影响因素的重要程度和属性类别，但还未体现出各因素之间的传递关系和层次结构。所以，在上述分析的基础上，通过ISM法进一步构建复杂影响因素之间的多层级阶梯结构模型，直观展示各因素间作用关系。

基于综合影响矩阵$\boldsymbol{T}$，由式(8)和式(9)计算可达矩阵$\boldsymbol{K}$，阈值λ取0.14[5]，剔除矩阵中作用比较小的影响关系，得到矩阵$\boldsymbol{K}$。

$$\boldsymbol{K}=\begin{pmatrix}
1&0&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&1&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&1&1&0&0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&1&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&1&0&1&0&1&0&0&1&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&0&0\\
1&0&0&1&1&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&1&0\\
1&0&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&1
\end{pmatrix}\tag{14}$$

由式(10)—(12)计算机车乘务员不安全行为影响因素的可达集、先行集和共同集，进而明确各因素层级结构划分。将17个影响因素划分为4个层级，影响因素层级结构划分如表4所示。

表4　影响因素层级结构划分

Tab.4　Hierarchical classification of influencing factors

层级分类	因素集$G(X_i)$	层级说明
第1层	X_3，X_6，X_{12}，X_{13}	直接原因
第2层	X_2，X_4，X_8，X_{10}，X_{14}	次层原因
第3层	X_1，X_5，X_7，X_9，X_{11}，X_{15}	深层原因
第4层	X_{16}，X_{17}	根本原因

为直观展示机车乘务员不安全行为影响因素之间的递进关系和层次结构，绘制多层级阶梯结构模型如图3所示，其中标记颜色的要素关联多条路径，为影响或者被影响程度较大的要素。第1层是机车乘务员不安全行为的直接影响因素，在机车乘务员作业时，存在多条路径可能引起应急处置X_6的情况，进而导致机车乘务员的不安全行为。第2，3层作为中间因素，既受到根本因素的影响，又会对直接因素进行作用，其中应进一步对机车乘务员的认知决策X_4、标准化作业X_{14}、安全意识X_1、沿线周边外部环境X_{11}等因素进行加强，可通过切断中间传递链条的方式，有效减少机车乘务员不安全行为的发生。第4层作为根本因素，教育培训X_{16}和安全文化X_{17}通过作用于其他不安全因素，间接影响机车乘务员作业行为，成为导致不安全行为发生的根本原因，应予以重点关注和强化，有助于从源头提升机车乘务员作业安全水平。

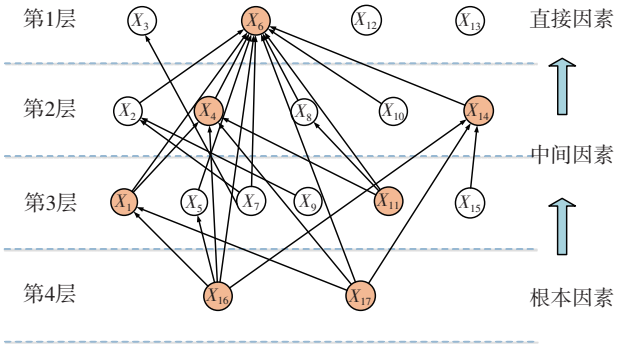

图3　多层级阶梯结构模型

Tab.3　Multi-level hierarchical structure model

4　对策建议

基于以上分析结果，教育培训X_{16}和安全文化X_{17}为影响机车乘务员不安全行为的根本因素，认知决策X_4、标准化作业X_{14}、安全意识X_1、沿线周边环境X_{11}为重要的中间因素，应急处置X_6为直接因素，因此针对不同层级关键影响因素，提出相关对策建议。

（1）持续深化机车乘务员安全文化建设，加强教育培训质量。针对根本因素，以打造高素质的机车乘务员队伍，根本性提升机车乘务员本质安全水平为目标，围绕树立安全价值观、强化榜样力量、全员共建安全愿景、完善安全制度文化、创新组织协同与激励驱动等方面，持续深化安全文化建设，实现“要我安全”到“我要安全”的根本转变。同时健全完善机车乘务员教育培训机制，加强教育培

训能力建设，大力推广应用模拟仿真实训平台，配齐配全实物式、实景式培训设施，丰富教育培训效果验证手段，定期开展教育培训质量评价，动态优化完善提升质量。

（2）全方位提高机车乘务员安全意识，强化现场作业标准，超前防范沿线周边环境安全风险。针对中间因素，深入开展机车乘务员安全理念、安全意识教育引导，增强安全风险意识、树牢底线思维，将安全意识深植于机车乘务员作业全流程，加大添乘指导、现场检查力度，抓实抓细作业全过程、全要素、全链条管控，推动科学立标、严格执标、全员达标，运用大数据、人工智能等高新技术，实时监测判别作业行为，保障机车乘务员作业标准有效执行、及时纠偏。建立风险隐患“感知-评估-预警-处置-反馈”的全周期防范治理链条，全面提升铁路沿线周边外部环境安全检测监测和风险超前预警能力。

（3）持续健全完善应急救援体系，不断提升机车乘务员应急处置能力。针对直接因素，动态修订完善机车乘务员遇突发事件的应急预案，增强应急预案的针对性、实用性和可操作性，结合典型非正常行车场景开展针对性应急演练和培训，强化机车乘务员非正常情况处置能力。此外充分发挥应急指挥中心、安全生产指挥中心的预警响应、应急决策、协调联动、信息通报等作用，坚持应急处置单一指挥、单一指导，为机车乘务员现场高效处置创造安全有利的条件。

5　结论

研究建立机车乘务员不安全行为影响因素指标体系，提出集成DEMATEL-ISM分析方法，明确各影响因素间的作用关系，对影响程度进行定量计算，构建多层级影响因素阶梯结构模型。主要研究结论如下。

（1）DEMATEL方法分析结果显示，应急处置、认知决策、标准化作业、生理状态、教育培训、安全意识对机车乘务员不安全行为产生非常重要的影响，应重点加强管控。

（2）ISM方法分析结果显示，教育培训和安全文化是影响机车乘务员不安全行为的根本影响因素，认知决策、标准化作业、安全意识、沿线周边环境为重要的中间因素，应急处置是主要的直接影响因素。

（3）根据以上结果综合分析，针对不同层级关键影响因素，针对性地提出防范机车乘务员不安全行为的对策建议，通过加强对主要致因和关键环节的管控，有效减少机车乘务员不安全行为的发生。

参考文献：

[1] 李　勇. 铁路机车乘务员的问题分析与对策研究[D]. 成都：西南交通大学，2013.

[2] 张殿业，戴明森，金　健，等. 机车乘务员安全可靠性评价模式[J]. 铁道学报，1999，21(1)：99-101.
ZHANG Dianye，DAI Mingsen，JIN Jian，et al. Evaluation and Measurement of Safety Reliability for Locomotive Drivers[J]. Journal of the China Railway Society，1999，21(1)：99-101.

[3] 姚汤伟. 铁路机车乘务员作业安全评价研究[D]. 杭州：浙江工业大学，2008.

[4] 刘　洋. 铁路机务系统行车事故中机车乘务员的人因研究[D]. 北京：中国铁道科学研究院，2017.

[5] 李　消. 铁路机车乘务员调车作业人因失误安全评价与风险管控[D]. 南昌：华东交通大学，2023.

[6] 代成烨，刘敬辉，李晓宇，等. 铁路机务系统事故人因分析方法研究[J]. 铁道运输与经济，2025，47(5)：205-214.
DAI Chengye，LIU Jinghui，LI Xiaoyu，et al. Human Factor Analysis Methods for Accidents in Railway Locomotive System[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(5)：205-214.

[7] 申瑞源，黄　康. 铁路安全人因工程应用管理体系架构研究[J]. 中国铁路，2021(12)：1-6.
SHEN Ruiyuan，HUANG Kang. Research on Architecture of Application Management System for Human Factors Engineering of Railway Safety[J]. China Railway，2021(12)：1-6.

[8] 龚　茜. 职业压力对铁路机车乘务员身心健康因素的影响研究[J]. 北京劳动保障职业学院学报，2019，13(3)：31-34.
GONG Qian . Study on the Effect of Occupational Stress on the Physical and Mental Health of Railway Locomotive Crew[J]. Journal of Beijing Vocational College of Labour and Social Security，2019，13(3)：31-34.

[9] GUTOR E M，ZHIDKOVA E A，GUREVICH K G. Risk Factors for Developing Diseases in Locomotive Crew Workers[J].

（下转第160页）