



交通运输工程与信息学报

*Journal of Transportation Engineering and Information*

ISSN 1672-4747, CN 51-1652/U

## 《交通运输工程与信息学报》网络首发论文

题目: 基于 STAMP-ISM 的地铁事故分析方法研究  
作者: 于耀程, 帅斌, 黄文成  
收稿日期: 2020-07-15  
网络首发日期: 2021-03-25  
引用格式: 于耀程, 帅斌, 黄文成. 基于 STAMP-ISM 的地铁事故分析方法研究. 交通运输工程与信息学报.  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1652.U.20210323.1724.002.html>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 基于 STAMP-ISM 的地铁事故分析方法研究

于耀程, 帅斌, 黄文成

(西南交通大学, 交通运输与物流学院, 成都 611756)

**摘要:** 作为城市轨道交通的重要支柱之一, 地铁已经成为了现代城市生活中不可缺少的一部分。一旦地铁运营发生事故, 不仅会带来巨大的经济损失, 也会威胁到人民的生命安全。本文将 STAMP 模型与三角模糊 DEMATEL-ISM 模型相结合, 以更加深入地分析地铁运营事故, 对地铁事故影响因素进行等级划分, 绘制地铁事故影响因素多级阶梯图, 深入剖析地铁事故因素之间的逻辑关系, 从而有针对性地提出地铁事故的预防措施。以上海地铁 10 号线列车追尾事故为案例进行分析, 结果表明: STAMP 模型与三角模糊 DEMATEL-ISM 模型的结合解决了传统 STAMP 模型无法突出重点的缺陷, 也解决了传统 ISM 模型对二因素影响关系分类的局限性, 可以更加全面深入地分析该事故各致因因素间的影响结果, 从而有针对性地预防事故的发生。

**关键词:** 地铁事故; STAMP 模型; DEMATEL-ISM; 上海地铁 10 号线

**中图分类号:** U298.1      **文献标志码:** A

## Analytical Approach to Metro Accidents Based on STAMP-ISM

YU Yao-cheng, SHUAI Bin, HUANG Wen-cheng

(School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**Abstract:** As an important pillar of urban rail transit, the Metro has become an indispensable part of modern city life. Therefore, if accidents occur in the Metro, they will not only bring huge economic losses, but also threaten people's lives. In this paper, the STAMP and triangular fuzzy DEMATEL-ISM models are combined to analyze Metro accidents in depth and classify the influencing factors into a multi-level ladder diagram. After these, precautions to prevent such Metro accidents can be proposed. Finally, the result is obtained by analyzing the accident on Shanghai Metro Line 10. It is determined that the traditional STAMP model cannot highlight the key factors, and the traditional ISM has limitations in classifying the relationship between two factors. However, the combination of the STAMP and triangular fuzzy DEMATEL-ISM models can solve these problems and analyze the impact of the accident in depth for the purpose of accident prevention.

**Key words:** Metro accidents; STAMP; DEMATEL-ISM; Shanghai Metro Line 10

## 0 引言

地铁是我国公民出行的主要方式之一, 在我国城市轨道交通中占据着举足轻重的地位, 一旦地铁运营出现事故, 将会带来巨大的损失, 因此

分析地铁事故从而制定有针对性的措施来保障地铁运营安全有着重要意义。如: 陈慧阳<sup>[1]</sup>以地铁火灾事故为研究对象, 建立地铁火灾事故故障树模型, 并得出了危险源识别表, 为地铁火灾事故的预防奠定了一定的理论基础; 吴海涛<sup>[2]</sup>对国

**收稿日期** 2020-07-15

**基金项目:** 国家自然科学基金 (71173177); 西南交通大学研究生创新实验实践项目 (YC201507103); 西南交通大学研究生学术培养提升计划 (跨学科创新培育) 专题项目 (2018KXK04); 西南交通大学 2018 年优秀博士培育项目

**作者简介:** 于耀程 (1996—), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 研究方向: 事故致因分析。E-mail: 1410138567@qq.com

**通信作者:** 帅斌 (1967—), 男, 四川乐山人, 教授、博导, 研究方向: 交通运输经济、事故致因分析等。E-mail: bsh67@126.com

内外多起事故案例进行深入分析,从而得出导致地铁部分事故的主要风险因素;刘建<sup>[3]</sup>对地铁消防系统的各项特征指标进行分析,同时使用物元分析对地铁消防系统的安全性、可靠性进行详细的评价,最后基于评价结果得出地铁消防系统的薄弱环节及管理重点。但是,国内地铁运营事故定量化研究较少。

系统理论事故建模与过程 (Systems-Theoretic Accident Modeling and Process,简称 STAMP)是针对复杂系统提出的事故致因模型,可从控制的角度厘清各组织内及组织间的事故原因,被广泛的应用于各种事故分析中,如:李华<sup>[4]</sup>利用 STAMP 模型揭示建筑安全事故致因因素间的相互关系从而对其进行有效预防和控制,章仕杰<sup>[5]</sup>运用 STAMP 模型从控制角度详细分析了丰城重大坍塌事故。但使用 STAMP 模型分析事故不易突出重点,也无法得到事故影响因素的影响强度,使得在制定相关预防措施时无法抓住重点。为了解决这一缺陷,本文在 STAMP 模型的基础引入解释结构模型。解释结构模型 (Interpretative Structural Modeling,简称 ISM)可以分析复杂系统因素间的相互作用关系,如:杨永旭<sup>[6]</sup>提出了基于解释结构模型的可持续供应商绩效影响因素分析方法;王凌峰<sup>[7]</sup>使用 ISM 分析了上市公司高管薪酬-绩效敏感性的 17 个影响因素间的作用关系。传统 ISM 方法假设各因素间的关系只有两种情况,即有直接关系和无直接关系,但在实际情况中,影响因素之间的情况较为复杂,不能简单地归为有直接关系和无直接关系,为此本文需要引入决策试验和评价试验法<sup>[4]</sup> (Decision making Trial and Evaluation Laboratory,简称 DEMATEL)与三角模糊数来对 ISM 进行改进得到三角模糊 DEMATEL-ISM 模型,该模型可以更加深入详细的分析两因素之间的关系。

综上所述,本文将使用 STAMP 模型与三角

模糊 DEMATEL-ISM 模型相结合,对地铁事故因素进行详细、深入的研究,得出各个致因因素间的因果关系,从而有针对性地提出事故预防措施,为我国地铁运营安全提供一定的实践指导。

## 1 STAMP

STAMP 模型认为事故是由不充分的控制和安全约束的缺失造成的,它将安全问题转化为控制问题。STAMP 模型主要使用 3 种基本结构来分析事故致因因素,分别是安全约束、分层控制结构与过程模型。

安全约束与分层控制模型如图 1 所示<sup>[8]</sup>,整个安全系统被分为多层,子系统之间以上、下层的联系联系在一起,其中上层系统发出安全约束条件用以约束下层系统的行为与决策,同时下层系统所收到的结果也将反馈于上层子系统,这就是 STAMP 模型中的安全约束与分层控制模型。

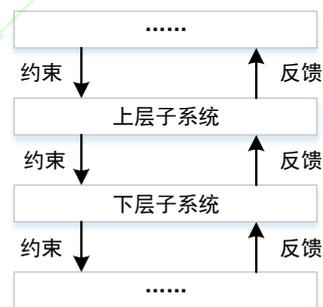


图 1 分层控制模型

过程模型如图 2 所示,控制器向执行器输入控制命令,执行器执行控制过程并将控制效果反馈给控制器,辅助其制定下一步控制决策。

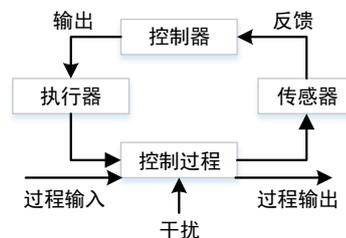


图 2 过程模型

根据我国地铁相关运营规定,使用 STAMP 模型制定地铁运营安全控制结构,它可分为:物理层、基层、管理层以及政府层。(1)物理层主

要包含运营设备和自然环境,运营设备的故障以及暴雨等自然灾害可能会导致事故发生。(2) 基层主要包括地铁值班人员和地铁值班站长,值班人员接受值班站长的指挥,对地铁运营过程进行一系列的操作,保障地铁列车的安全运营。(3) 管理层主要包括地铁公司董事长与地铁公司总经理,地铁公司董事长负责在收到新规定或政策后及时召开董事会讨论相关规定或政策的落实方法,并将讨论结果拟定成文件,而地铁公司总经理负责根据上述文件并结合实际情况协调各站总揽具体落实工作。(4) 政府层主要指国家交通运输部,主要为地铁运营制定相关规范和规则,同时也对地铁运营工作进行监督检查。

## 2 三角模糊 DEMATEL-ISM 模型

解释结构模型可以将复杂的系统分解为多个子系统因素,利用专家经验知识确定其中任意两因素之间的关系,即确定它们之间是否有直接关系,最终得出一个多级阶梯的结构模型<sup>[9]</sup>。而当引入 DEMATEL 时,则需要专家对这两因素之间的关系进行更加详细的分类打分,同时为了提高专家打分的客观性,将专家的评价分值转化为三角模糊评价变量<sup>[10]</sup>,打分规则如表 1 所示。由表 1 可知专家的每一个评价分值都对应一个三角模糊评价变量。

表 1 两因素关系专家评分及三角模糊评价变量表

两因素关系	评价分值	三角模糊评价变量
无影响	0	(0,0,1)
非常低影响	1	(0,1,2)
低影响	2	(1,2,3)
高影响	3	(2,3,4)
非常高影响	4	(3,4,4)

三角模糊 DEMATEL-ISM 的求解步骤如下:

(1) 定义系统影响因素集合  $S$ ,

$$S = \{s_1, \dots, s_n\}。$$

(2) 邀请  $m$  位专家依据表 1 的规则对  $S$  中任两因素间关系进行打分,并根据专家对这两因

素关系的打分结果建立系统中任两因素的平均直接影响矩阵  $E^k$  ( $E^k$  表示通过第  $k$  位专家打分得到的平均直接影响矩阵),建立步骤如下所示:

首先,通过第  $k$  位专家的评价分值  $A_{ij}^k$  得到  $n \times n$  的影响因素评价分值矩阵  $A^k$ ,再将矩阵  $A^k$  中的每一个评价分值根据表 1 一一对应为三角模糊评价变量  $(l_{ij}^k, m_{ij}^k, r_{ij}^k)$ ,最后将每一个三角模糊变量做下式所示的处理得到平均直接影响矩阵  $E^k$ :

$$E_{ij}^k = \frac{l_{ij}^k + 2m_{ij}^k + r_{ij}^k}{4} \quad (1)$$

式中,  $(l_{ij}^k, m_{ij}^k, r_{ij}^k)$  为第  $k$  位专家的评价分值

$A_{ij}^k$  所对应的三角模糊评价变量;  $A_{ij}^k$  表示第  $k$  位

专家对因素  $s_i$  与  $s_j$  影响关系强度的评价分值;  $E_{ij}^k$  表示通过第  $k$  位专家评价分值计算得到的平均直接影响矩阵  $E^k$  第  $i$  行第  $j$  列中元素的值。

(3) 根据专家权重比例求取加权之后的平均直接影响矩阵中第  $i$  行第  $j$  列的元素取值如下:

$$E_{ij} = \omega_1 E_{ij}^1 + \omega_2 E_{ij}^2 + \dots + \omega_m E_{ij}^m \quad (2)$$

式中,  $\omega_k$  为专家  $k$  的权重;  $E_{ij}$  为加权后平均直接影响矩阵  $E$  第  $i$  行第  $j$  列的元素。

(4) 计算标准化参数  $p$ ,利用  $p$  对矩阵  $E$  进行标准化处理得到矩阵  $Q$ :

$$p = \frac{1}{n} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1} E_{ij}$$

$$Q = p \cdot E \quad (4)$$

(5) 求取综合影响关系矩阵:

$$F = Q(I - Q)^{-1} \quad (5)$$

其中  $I$  为单位矩阵。

(6) 求取整体影响关系矩阵  $U$ :

$$U = I + F \quad (6)$$

(7) 求取可达矩阵  $K$ 。首先求取阈值  $\mu$ ,  $\mu$  的取值是矩阵  $F$  所有元素的均值与标准差之和,可达矩阵第  $i$  行第  $j$  列元素  $k_{ij}$  的取值规则如下式所示。

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, u_{ij} \geq \mu, i, j = 1, 2, \dots, n \\ 0, u_{ij} < \mu, i, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $k_{ij}=1$  代表因素  $s_i$  对  $s_j$  有影响,  $k_{ij}=0$  代表因素  $s_i$  对  $s_j$  无影响。

(8) 根据可达矩阵  $K$  计算可达集  $R(s_i)$ 、先行集  $B(s_i)$  以及共同集  $T(s_i)$ , 计算规则如下面几式所示:

$$R(s_i) = \{s_j | s_j \in S, k_{ij} = 1\}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$B(s_i) = \{s_j | s_j \in S, k_{ji} = 1\}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$T(s_i) = R(s_i) \cap B(s_i) \quad (10)$$

(9) 若共同集满足  $T(s_i) = R(s_i)$ , 则  $T(s_i)$  中所包含的影响因素  $s_i$  为当前最底层元素, 接着从可达矩阵中删除最底层所含元素对应的行和列。重复该步骤直到所有因素都被分层, 则 ISM 模型影响因素分层完成。

(10) 根据影响因素分层绘制 ISM 多级阶梯图。

### 3 案例分析

2011 年 9 月 27 日 14: 51 分上海地铁 10 号线列车由豫园站向老西门站运行过程中下行区间百米标 176 处两列车不慎发生追尾。经初步统计, 约有 40 余名乘客受伤, 大部分为轻微伤, 未发现重伤。

#### 3.1 地铁运营安全控制结构的建立

依据 STAMP 模型并结合地铁运营的实际情况, 建立上海地铁 10 号线运营的安全控制结构, 如图 3 所示。国家交通运输部制定出城市轨道交通中地铁运营的政策与规定, 下发至各地铁运营公司, 由董事长带头召开董事会讨论政策、规定的落实办法并将讨论结果拟定成文件, 由总经理负责执行, 总经理根据文件内容协调各站工作任

务后, 将具体任务告知各站站长, 再由各站长指挥站内值班人员对地铁运营设备进行操作。因运营设备还会受到外界环境的干扰, 故为了保证地铁一直处于正常运营, 操作人员需要及时接收运营设备反馈的信息, 并汇总后上报各值班站长, 站长再反馈给总经理, 总经理汇总所有结果将政策的落实情况反馈给董事长, 董事长再召开董事会针对规定政策落实的结果商议下一步改进措施。每隔一段时间, 国家交通运输部会收集各地地铁公司的运营情况, 从而对相关政策和规定进行进一步完善修改。

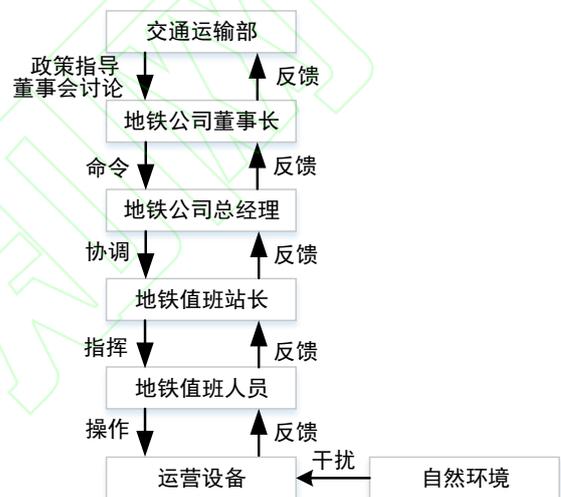


图 3 上海地铁 10 号线运营安全控制结构图

#### 3.2 地铁运营事故影响因素分析

通过分析上海地铁 10 号线“9.27”事故调查报告, 并与地铁运营安全控制结构图相结合, 从物理层、基层、管理层和政府层出发, 深入分析造成上海地铁 10 号线事故的主要影响因素, 最终得到如表 2 所示的 11 个主要影响因素以及每个因素所属层级和主要表现。

表 2 上海地铁 10 号线事故影响因素分析

系统层次	控制结构	致因因素	具体表现
物理层	运营设备	运营设备 $s_1$	相关运营设备故障，如信号系统故障或失灵后，导致信息无法第一时间反馈给上级
	自然环境	自然灾害 $s_2$	暴雨地震等自然灾害导致事故
基层	地铁值班人员	操作不当 $s_3$	设备故障后未能按照正确的处理方式进行操作
		玩忽职守 $s_4$	值班人员玩忽职守导致事故
		疲劳工作 $s_5$	值班人员疲劳工作注意力无法集中导致事故
	地铁值班站长	判断错误 $s_6$	设备故障后指挥人员无法正确判断可能造成的后果
		指挥不当 $s_7$	设备故障后，指挥不当使得相应事故无法避免
管理层	地铁公司总经理	协调不当 $s_8$	总经理未做好地铁各运营部门的协调工作，致使事故发生
	地铁公司董事长	政策落实不及时、不彻底 $s_9$	董事长未能及时彻底落实新政策导致事故
政府层	交通运输部	政策制定不完善 $s_{10}$	有关地铁事故的应急措施还不够完善
		监督检查失职 $s_{11}$	未能及时检查出地铁运营管理公司中存在的隐患

### 3.3 基于三角模糊 DEMATEL-ISM 模型的地铁事故影响分析

邀请 6 位专家对表 2 中 11 个因素中两两因素的影响强度进行打分，构建相应的评价分值矩阵，对应求得三角模糊评价变量矩阵，并依据前

面三角模糊 DEMATEL-ISM 的求解步骤 (2) - (7) 计算得到可达矩阵  $K$  的取值如式 (11) 所示。

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

根据式 (11) 可求得第一层对应可达集、先行集以及共同集，如表 3 所示。

表 3 第一层可达集、先行集以及共同集

影响因素	可达集	先行集	共同集
$s_1$	1	1, 10, 11	1
$s_2$	2	2	2
$s_3$	3	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11	3
$s_4$	3, 4	4	4

$s_5$	3, 5	5	5
$s_6$	3, 6, 7, 8	6, 10	6
$s_7$	3, 7, 8	6, 7, 8, 9, 10, 11	7, 8
$s_8$	3, 7, 8	6, 7, 8, 9, 10, 11	7, 8
$s_9$	7, 8, 9	9, 10, 11	9
$s_{10}$	1, 3, 6, 7, 8, 9, 10	10	10
$s_{11}$	1, 3, 7, 8, 9, 11	11	11

由表 3 可知第一层所含影响因素为  $s_1, s_2, s_3$ ，删除可达矩阵中第 1、2、3 行和列，并计算第二层可达集、先行集以及共同集，结果如表 4 所示。

表 4 第二层可达集、先行集以及共同集

影响因素	可达集	先行集	共同集
$s_4$	4	4	4
$s_5$	5	5	5
$s_6$	6, 7, 8	6, 10	6
$s_7$	7, 8	6, 7, 8, 9, 10, 11	7, 8
$s_8$	7, 8	6, 7, 8, 9, 10, 11	7, 8
$s_9$	7, 8, 9	9, 10, 11	9
$s_{10}$	6, 7, 8, 9, 10	10	10
$s_{11}$	7, 8, 9, 11	11	11

由表 4 可知第二层所含影响因素为  $s_4, s_5, s_7, s_8$ ，删除可达矩阵中第 4、5、7、8 行和列，并计算第三次可达集、先行集以及共同集，结果如表 5 所示。

表 5 第三层可达集、先行集以及共同集

影响因素	可达集	先行集	共同集
$s_6$	6	6, 10	6
$s_9$	9	9, 10, 11	9
$s_{10}$	6, 9, 10	10	10
$s_{11}$	9, 11	11	11

由表 5 可知第三层所含影响因素为  $s_6, s_9$ ，删除可达矩阵中第 6、9 行和列，并计算第四次可达集、先行集以及共同集，结果如表 6 所示。

表 6 第四层可达集、先行集以及共同集

影响因素	可达集	先行集	共同集
$s_{10}$	10	10	10
$s_{11}$	11	11	11

由表 6 可知第四层所含影响因素为  $s_{10}, s_{11}$ ，所有因素都已划分完成，得到因素层级划分如表 7 所示。

表 7 地铁事故致因因素层级划分

层级	风险因素
1	$s_1, s_2, s_3$

2	$s_4, s_5, s_7, s_8$
3	$s_6, s_9$
4	$s_{10}, s_{11}$

根据地铁事故致因因素层级的划分可以得到地铁事故致因因素多级阶梯图如图 4 所示。

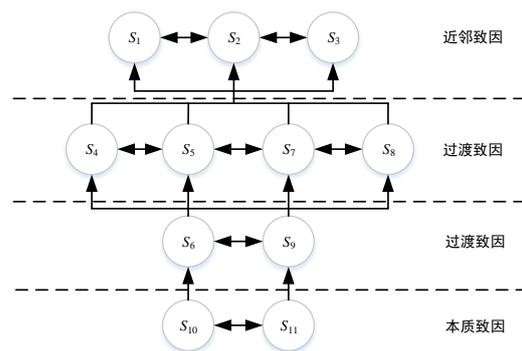


图 4 地铁事故致因因素多级阶梯图

本次地铁事故中 11 个影响因素共分为 4 层，其中  $s_1, s_2, s_3$  为近邻致因，是直接导致上海地铁 10 号线发生事故的原因； $s_{10}, s_{11}$  为本质致因，是导致上海地铁 10 号线发生事故的本质原因； $s_4, s_5, s_7, s_8$  以及  $s_6, s_9$  均为过渡致因，是导致

事故发生的间接因素,连接着本次事故的本质致因和近邻致因。

综上所述,国家交通运输部未能及时完善相关政策以及监督检查上的失职是本次事故的本质致因,因此政府需要进一步完善地铁运营的相关应急措施,使地铁在遭遇突发事件后可以依据相关政策进行补救,同时要安排好监督检查工作,以预防事故发生。

地铁公司董事长落实政策不及时彻底、地铁公司总经理协调不当、地铁值班站长指挥不当和判断错误、值班人员的疲劳工作和玩忽职守是本次事故的过渡致因。当新的规定政策发出时,地铁公司董事长应及时召开董事会并彻底落实相关政策,从而及时将落实办法传达给总经理执行,总经理需要依据落实方法和各站实际情况,全面协调好各站的工作任务,为各站站长开展各站工作打下基础;各站站长需要对站内实际情况做出准确地判断并做出正确的指导以引导各值班人员顺利完成各项站内工作,为了防止各站值班人员玩忽职守导致事故发生,各站站长也需要派人做好实地监督工作,同时也要安排好值班人员的换班时间和休息时间,以防止值班人员因过度疲劳而导致事故发生。

运营设备故障、自然灾害,以及操作不当是本次事故的直接原因,地铁部门应加大对一线运营设备的检修频率,同时加固设备地基,增强设备所在机房的密闭性,降低外界环境的影响。对于相关操作人员要进行定期的培训与考核,保证不会出现员工违规操作的现象。

## 4 结语

本文首先介绍了 STAMP 模型的基本信息以及应用情况,接着又叙述了三角模糊 DEMATEL-ISM 方法的基础信息以及运算步骤。最终将 STAMP 模型与三角模糊 DEMATEL-ISM 相结合应用分析上海地铁 10 号线追尾事故,使

用 STAMP 模型构建了上海地铁 10 号线地铁运营安全控制结构,并结合具体事故报告,从物理层、基层、管理层以及政府层四层出发,得到上海地铁 10 号线事故的 11 个影响因素。其次,利用三角模糊 DEMATEL-ISM 模型对各影响因素之间的逻辑关系进行深入剖析,得到上海地铁 10 号线事故影响因素层级划分以及多级阶梯图。结果表明,将 STAMP 模型与三角模糊 DEMATEL-ISM 模型结合既可以解决传统 STAMP 模型分析缺乏重点的缺陷,又可以解决传统 ISM 模型中任两因素关系分类的局限性,可以更加深入分析事故影响因素间的逻辑关系以及影响强度,最终根据相应的结果有针对性地提出控制地铁事故的措施建议。

## 参考文献

- [1]陈慧阳,牟瑞芳,沙明华.基于主要突发事件的地铁运营安全危险源辨识研究[J].交通运输工程与信息学报,2017,15(4):120-126.
- [2]吴海涛,罗霞.基于 ISM-FCM 的地铁运营风险因素演化分析与权重计算[J].交通运输工程与信息学报,2017,15(3):41-48.
- [3]刘建,代杨.基于物元理论的地铁消防系统安全可靠评价[J].交通运输工程与信息学报,2011,9(3):99-102, 117.
- [4]李华,金萌,钟兴润.基于 STAMP 模型的建筑事故致因因素定量分析方法研究[J].中国安全生产科学技术,2020,16(4):169-175.
- [5]章仕杰,傅贵.基于 STAMP 模型的丰城坍塌事故原因分析[J].安全,2019,40(8):46-51.
- [6]杨永旭,刘吉林.基于 ISM 的可持续供应商绩效影响因素分析[J].物流科技,2020,43(6):41-45.
- [7]王凌峰,詹雅晴,王璐.基于 ISM 方法的高管薪酬-绩效敏感性影响因素交互作用机理分析[J].系统科学学报,2020(4):122-126.
- [8]牛丰,王昱,周诚.基于 STAMP 模型的地铁施工安全事故致因分析[J].工程与管理学报,2016,33(1):73-78.

[9]周景阳,何鹏旺.基于解释结构模型(ISM)的装配式建筑成本影响因素分析[J].工程管理学报,2019,33(1):39-44.

的航空维修安全管理体系研究[J].中国安全科学学报,2015,25(11):145-149.

[10]闵桂龙,端木京顺,高建国,等.基于模糊 DEMATEL

