

中文引用格式:宫运华,张喆,范志炜.油气管道事故原因分类模型及其社会网络分析[J].中国安全科学学报,2024,34(9):34-40.

英文引用格式:GONG Yunhua, ZHANG Zhe, FAN Zhiwei. Classification model of oil and gas pipeline accidents causes and its social network analysis [J]. China Safety Science Journal, 2024,34(9):34-40.

# 油气管道事故原因分类模型及其社会网络分析\*

宫运华 讲师,张喆,范志炜

(中国石油大学(北京)安全与海洋工程学院,北京 102249)

中图分类号:X928.02

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.09.1353

基金项目:中国石油大学(北京)科研基金资助(2462022YXZZ001)。

**【摘要】** 为提高油气管道事故预防策略的有效性,首先,基于系统理论事故建模与过程(STAMP)模型及人为因素分析与分类系统(HFACS)模型,建立油气管道事故预防控制结构,分析国内外35起油气管道事故原因,并依据扎根理论对分析结果进行统计编码,得出油气管道事故原因分类模型;其次,应用社会网络分析法构建油气管道事故原因关系网络,通过核心—边缘分析、中心性分析和关联方向指数分析,识别油气管道事故原因中核心及具有高关联性和强影响力因素。研究结果表明:油气管道事故原因分类模型包含6个层次:政府及监管部门因素、第三方因素、运营商组织因素、运营商不安全监督、现场人员不安全行为的前提条件、现场人员的不安全行为,并可将其细分为22个最底层原因因素。其中,政府及监管部门因素、运营商组织因素、运营商不安全监督和第三方因素均为核心因素;制度缺陷、监督不充分、运行计划不当、第三方破坏行为、管材与焊缝缺陷、施工/维修/配件问题、技能失误均为具有高关联性和强影响力因素。

**【关键词】** 系统理论事故建模与过程(STAMP)模型; 人为因素分析与分类系统(HFACS)模型; 油气管道; 事故原因; 分类模型; 社会网络分析

## Classification model of oil and gas pipeline accidents causes and its social network analysis

GONG Yunhua, ZHANG Zhe, FAN Zhiwei

(School of Safety and Ocean Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** In order to improve the effectiveness of oil and gas pipeline accident prevention strategies, a classification model for the causes of oil and gas pipeline accidents was developed, and social network analysis was applied to the classification model. Firstly, the STAMP model and HFACS model were combined to get the control structure of oil and gas pipeline accident prevention, and then the causes of 35 oil and gas pipeline accidents at home and abroad were analyzed according to the control structure. The analysis results were coded using grounded theory to get the classification model for the causes of oil and gas pipeline accidents. Social network analysis methods were applied to construct a relationship network of factors related to oil and gas pipeline accidents, and core edge analysis, centrality analysis, and correlation direction index analysis were used to identify the core factors and factors with high correlation

and strong influence in the oil and gas pipeline accident classification model. The research results show that the classification model for the causes of oil and gas pipeline accidents included 6 levels and 22 bottom cause factors, which are government and regulatory factors, third-party factors, operator organizational factors, operator unsafe supervision and the prerequisites for unsafe behavior of on-site personnel. Among the causal factors, the internal factors of the government and regulatory authorities, organizational factors of operators, unsafe supervision of operators, and third-party factors are core factors. System flaws, insufficient supervision, improper operation plans, third-party sabotage behavior, pipeline and weld defects, construction/repair/accessory issues, and skill errors are factors with high correlation and strong influence.

**Keywords:** systems theoretic accident model and process (STAMP) model; human factors analysis and classification system (HFACS) model; oil and gas pipeline; accident causal factors; classification model; social network analysis

## 0 引言

目前,油气管道事故原因研究主要集中在设备材料缺陷、环境干扰以及人员失误等方面,而对组织管理、国家监管方面等原因考虑有限<sup>[1]</sup>。油气管道运行环境决定其事故预防不仅要考虑管道运营商的内部管理,还要考虑国家监管及第三方单位破坏等因素。基于油气管道运行环境研究油气管道特有的事故原因分类模型,既可为油气管道事故原因分析提供更科学的工具,又可提升油气管道事故预防工作的有效性。

尽管在油气管道领域,人们已经认识到油气管道运行环境的特征,如油气管道多处于公众区域,但尚没有形成针对油气管道运行环境的事故原因分类模型。而传统的事事故致因模型缺乏考虑对多个组织因素间的交互影响。系统理论事故建模与过程(Systems Theoretic Accident Modeling and Process, STAMP)模型是针对复杂系统的事故致因模型,该模型可从控制的角度厘清各组织内及组织间的原因<sup>[2]</sup>,在建筑、交通、煤矿等领域均有应用。赵挺生等<sup>[3]</sup>采用 STAMP 模型分析建筑施工中涉及塔吊作业的事故原因。吴海涛等<sup>[4]</sup>将 STAMP 模型应用到高铁应急调度安全分析中。王瑛等<sup>[5]</sup>基于 STAMP 模型识别了军机飞行训练风险。QIAO Wanguan 等<sup>[6]</sup>采用 STAMP 模型分析了煤矿重大事故特征。上述研究建立了具有各自行业特色的 STAMP 模型,但是,STAMP 模型在油气管道领域应用还非常有限。同时,STAMP 模型在表达复杂系统控制失误方面有明显优势,但对控制失效的分类并不明确<sup>[7]</sup>,无法直接构建油气管道事故分类模型。而人为因素分析与分类系统(Human Factors

Analysis and Classification System, HFACS)模型在事故原因分类方面具有显著优势<sup>[8]</sup>,在建筑<sup>[9]</sup>、交通<sup>[10-11]</sup>、化工<sup>[12]</sup>等行业事故分析中都有成功的应用。因此,将 HFACS 模型与 STAMP 模型结合后能够实现优势互补<sup>[13]</sup>,该组合模型在航空<sup>[14-15]</sup>、铁路交通等<sup>[16]</sup>领域的事故原因研究中取得了显著成效,并有效解决了 STAMP 模型对控制失效的分类不明确问题。此外,社会网络理论指出群体中每个节点都存在一定关联,该理论通常应用于诱发因素重要性研判及各因素相关性分析<sup>[13,17-18]</sup>。

因此,笔者拟基于 STAMP 模型和 HFACS 模型,逐一分析 35 起国内外油气管道事故;然后,依据扎根理论综合分析 35 起案例事故原因,并对事故原因编码、整合,得出事故分层控制结构中各级组织的控制缺陷环节,构建包含各组织因素的油气管道事故原因分类模型;最后,利用社会网络分析法,分析油气管道事故原因因素之间的关系,采用核心—边缘分析、中心性分析和关联方向指数,识别油气管道事故原因中核心因素以及各因素之间的作用强度,从而明确油气管道事故原因分类模型中对事故预防较为关键的因素,以期对油气管道事故原因分析及预防策略的制定提供参考依据。

## 1 基于 STAMP 和 HFACS 的事故分析方法

采用 STAMP 模型分析油气管道事故,首先,建立油气管道事故控制结构图,然后,识别控制结构图中各组织的控制缺陷,从而系统地表述油气管道事故原因。参考国内外油气管道的安全监督管理模式<sup>[7]</sup>,得出油气管道事故预防控制结构中主要包括国家立法机构、政府及相关监管部门、管道运行商、

第三方单位 4 类组织。进一步,依据 HFACS 模型分析这 4 类组织中可能出现的油气管道事故原因类型,建立油气管道事故预防控制结构,如图 1 所示。首先,参考 STAMP 模型厘清国家立法机构、政府及相关监管部门、管道运行商、第三方单位 4 类组织之间的控制关系。随后,参考 HFACS 模型明确 4 类组织中可能出现的事故原因分类,并据此模型逐一分析 35 起国内外油气管道事故,为下一步构建油气管道事故分类模型提供数据基础。

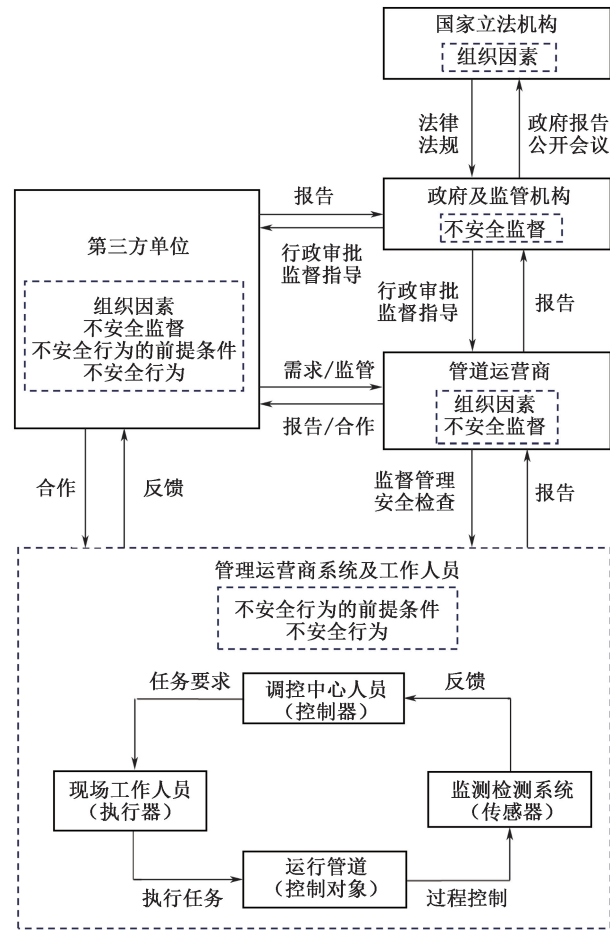


图 1 油气管道事故预防控制结构

Fig. 1 Control structure of oil and gas pipeline accident prevention

## 2 油气管道事故原因分类模型建立

收集 1994—2019 年的 35 起国内外油气管道事故案例,见表 1。遵循扎根理论 (Grounded Theory, GT)<sup>[19]</sup>,对事故原因因素进行编码,见表 2。

分析编码结果得出影响事故发生的最底层因素,有 22 个,见表 3。参照油气管道事故原因分层控制结构,归纳出油气管道事故原因因素分类模型,如图 2 所示。

表 1 35 起事故案例

Table 1 35 accident cases

年份	国家	事故
1994	加拿大	萨斯喀彻温省 FootHills 公司天然气管道破裂事故
1995	加拿大	曼尼托巴省 TransCanada 公司天然气管道破裂事故
1996	加拿大	诺伯特省 TransCanada 公司天然气管道破裂事故
1996	加拿大	萨斯喀彻温省 InterProvincial 公司原油管道破裂事故
1997	加拿大	萨斯喀彻温省 TransCanada 公司天然气管道爆炸事故
1999	加拿大	萨斯喀彻温省 Enbridge 公司原油管道破裂事故
2000	加拿大	不列颠哥伦比亚省 West Coast 公司天然气管道破裂事故
2000	加拿大	魁北克省 Gazoduc TQM 公司天然气泄漏爆炸事故
2001	加拿大	阿尔伯特省 Enbridge 公司原油管道破裂事故
2001	加拿大	安大略省 Enbridge 公司原油管道破裂事故
2002	加拿大	魁北克省 Trans-Northern 公司成油管道破裂事故
2002	加拿大	曼尼托巴省 TransCanada 天然气管道破裂事故
2004	美国	堪萨斯州危险液体管道泄漏事故
2005	加拿大	不列颠哥伦比亚省 Terason 公司原油管道破裂事故
2007	加拿大	不列颠哥伦比亚省 Trans Mountain 公司原油管道破裂事故
2007	美国	密西西比州卡迈克尔危险液体管道破裂事故
2007	加拿大	萨斯喀彻温省 Enbridge 公司原油管道破裂事件
2008	美国	宾夕法尼亚州 Dominion Peoples 公司天然气管道破裂事故
2009	加拿大	安大略省 TransCanada 管道公司天然气管道破裂事件
2009	美国	佛罗里达州 GasTransport 公司天然气管道破裂泄漏事故
2009	加拿大	萨斯喀彻温省 Enbridge 公司原油管道泄漏事故
2010	美国	德克萨斯州 Enterprise 公司天然气管道爆炸事故

续表 1

年份	国家	事故
2010	美国	加州 PG&E 公司天然气输送管道爆裂起火事故
2010	美国	密歇根州 Enbridge 公司危险液体管道破裂泄漏事故报告
2010	美国	萨伊利诺伊州 Enbridge 公司输油管道泄漏事故
2011	加拿大	安大略省 TransCanada 公司天然气管道爆炸起火事故
2011	加拿大	Plains 公司 NPS20 Rainbow 管道泄漏事故
2012	加拿大	不列颠哥伦比亚省 West Coast 公司天然气管道破裂事故
2012	美国	西弗吉尼亚州 Columbia 输气公司天然气管道破裂事故
2013	中国	山东青岛“11·22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸事故
2014	中国	辽宁大连“6·30”新大原油管道破坏泄漏事故
2016	美国	内布拉斯加州 Magellan 管道无水氨泄漏事故
2017	加拿大	南达科他州 TransCanada 公司管道破裂事故
2018	美国	得克萨斯州 Atmos 能源公司天然气爆炸事故
2019	美国	加利福尼亚州旧金山管道爆炸事故

续表 2

选择式编码	主轴式编码	开放式编码	频数	占比/%
运营者不安全监督	监督不充分	安全教育培训不足	7	20.00
		对第三方监督不足	8	22.86
		管道风险评价不准确	13	37.14
		信息记录不充分	10	28.57
		未及时消除安全隐患	6	17.14
	监督违规	未为第三方施工提供准确信息	3	8.57
		运行计划不当	计划规定不合理	7
	时间安排不合理		3	8.57
	技术程序不适当		9	25.71
	现场人员不安全行为的前提条件	环境因素	物理环境	23
技术环境			28	80.00
现场人员的不安全行为	人员因素	操作人员知识不足	2	5.71
		失误	技能失误	7
	决策失误		3	8.57
	违规		偶然性违规	2
		习惯性违规	3	8.57

表 2 基于 GT 的事故原因因素编码

Table 2 Coding results of accident causal factors according to GT

选择式编码	主轴式编码	开放式编码	频数	占比/%
政府及监管部门	安全监管不到位	安全检查不力督促企业安全管理不到位	5	14.29
	相关规定缺陷	监督计划、规程有缺陷	9	25.71
	执法不力	未对违法行为进行及时惩戒	4	11.43
第三方因素	第三方破坏行为	现场操作不规范	3	8.57
	第三方违反规程	造成长期的不安全条件	3	8.57
运营者组织因素	不良的组织氛围	未将管道泄漏事件放在首位	5	14.29
	资源管理不当	安全资源配置不足	4	11.43
	组织程序规章有缺陷	程序有缺陷	18	51.43
制度有缺陷		8	22.86	

### 3 油气管道事故原因社会网络分析

#### 3.1 油气管道事故原因因素社会网络构建

依据社会网络分析流程,采用英文字母及数字组合的形式,对 22 个最底层油气管道事故原因因素进行编码。其中,取各层级英文名称的首两位字母及阿拉伯数字作为该层级各个因素的编码(表 3)。

表 3 事故原因因素编码

Table 3 Codes of accident causal factors

系统因素类别	具体因素
第三方因素 TP	第三方破坏行为 TP1、第三方违反规程 TP2
政府及监管部门因素 GR	安全监管不到位 GR1、相关规定有缺陷 GR2、执法不力 GR3
管道运营者组织因素 PO	不良的组织氛围 PO1、资源管理不当 PO2、程序有缺陷 PO3、制度有缺陷 PO4
管道运营者不安全监督 PS	监督不充分 PS1、监督违规 PS2、运行计划不适当 PS3

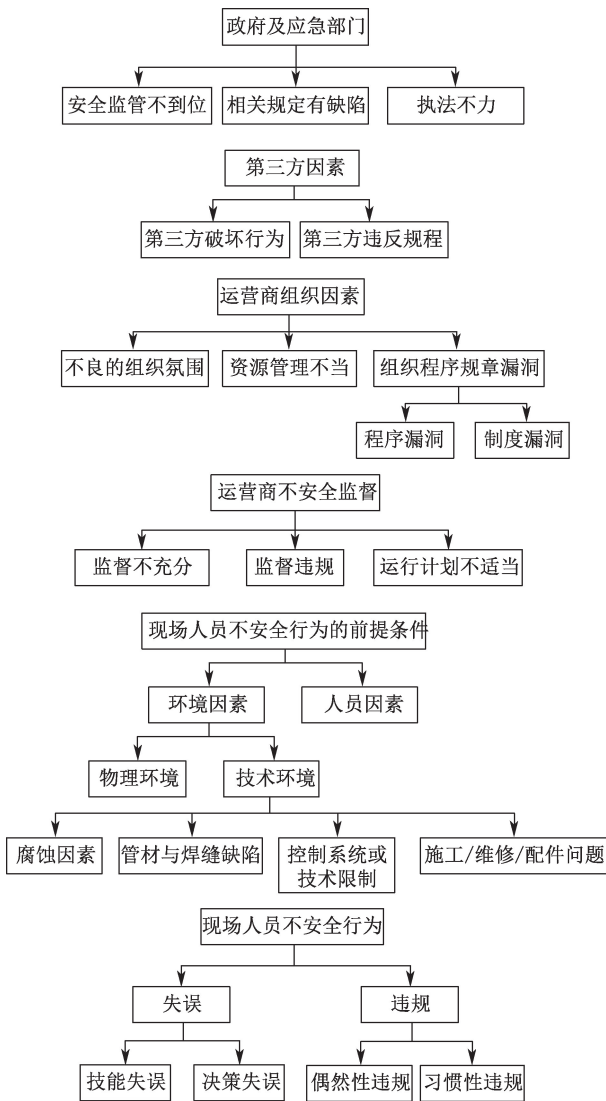


图2 油气管道事故原因分类模型  
Fig. 2 Classification model of accident causal factors in oil and gas pipeline industry

续表 3

系统因素类别	具体因素
现场人员不安全行为的前提条件 HP	人员因素 HP1、物理环境 HP2、腐蚀因素 HP3、管材与焊缝缺陷 HP4、控制系统或技术限制 HP5、施工/维修/配件问题 HP6
现场人员不安全行为 HB	技能失误 HB1、决策失误 HB2、偶然性违规 HB3、习惯性违规 HB4

根据 35 起油气管道事故案例具体内容,挖掘存在直接关系的因素,构建管道事故原因网络。每起事故都可通过该事故原因关系的局部关系矩阵表征,对存在直接关系的因素对取值为 1,反之则取 0。再将收集到的所有油气管道事故报告案例矩阵化,合并建立全局关系矩阵。对关系矩阵进行可视化处理,最终生成事故原因网络,如图 3 所示。在事故中

拥有直接关系的因素对通过连接线连接,线条越粗表示 2 个因素共同出现的频率越高,联系越紧密。可以看出,HP3、HP4 和 HP5 均为出现频率高且与其他因素联系紧密的事故原因。

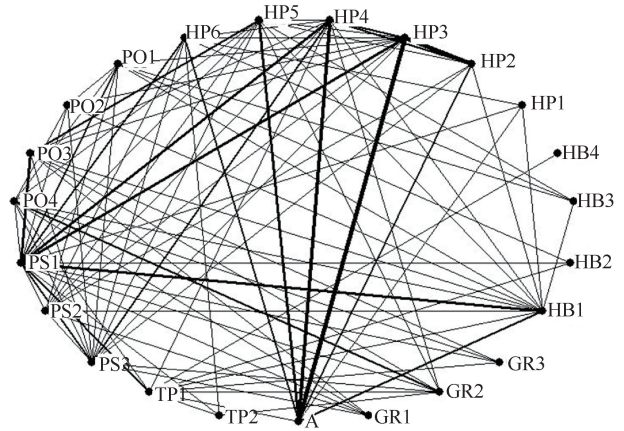


图3 油气管道事故原因网络

Fig. 3 Accident causal factors network of oil and gas pipeline

### 3.2 油气管道事故原因因素核心——边缘分析

核心因素是指油气管道事故预防网络重要性较大、对事故发生起到关键作用的因素,边缘因素则是指与核心因素相对的因素。对比分析油气管道事故网络各因素的重要性,得出油气管道事故原因网络中 11 个核心因素、11 个边缘因素,见表 4。

表 4 事故原因核心—边缘因素

Table 4 Core-edge accident causal factors

位置	原因因素
核心	TP1、GR1、GR2、GR3、PO1、PO2、PO3、PO4、PS1、PS2、PS3
边缘	TP2、HP1、HP2、HP3、HP4、HP5、HP6、HB1、HB2、HB3、HB4

### 3.3 油气管道事故原因因素中心性分析

#### 3.3.1 度数中心性分析

在社会网络分析中,点的度数表征节点参与活动的情况,是测量中心度的基础。居于中心地位的节点与其他很多节点都有直接的关联,与某点相邻的点称为该点的邻点,度数是指该点的邻点个数,也称为关联度。油气管道事故原因网络各因素的度数中心度排列情况如图 4 所示。可以发现,PS1、PS3、HB1、HP3、HP4、HP5 等因素在油气管道事故原因网络里与其他节点的直接联系密切,属于高关联度因素。此外,在度数中心度排名前 3 的因素中 2 个都属于运营商的不安全监督,并且 PS1 以总度数 18 位列第 1,这体现出油气管道事故预防中管道运营商监督管理的

重要性。排名前 10 的因素中有 30 % 属于技术环境因素,说明技术环境对管道事故的影响巨大;有 50 % 属于运营商组织和不安全监督层级,说明组织缺陷和不安全监督是事故原因中的重要因素。

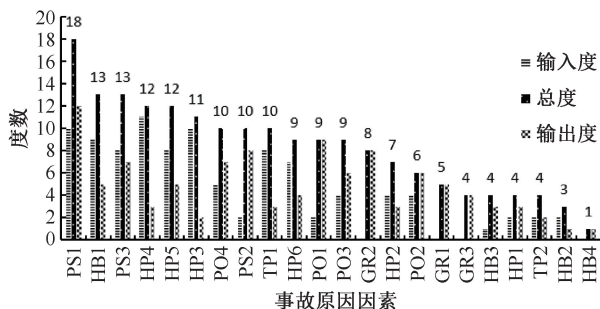


图 4 事故原因因素度数中心度

Fig. 4 Degree centrality of accident causal factors

### 3.3.2 中间中心性分析

在网络中无直接关系的节点需要依靠其他节点进行联系,中间中心度可用来表示这种“媒介”作用的强弱。图 5 为事故原因因素网络中间中心度的排列情况。可以发现,PS1、TP1、HB1、PO2、HP1 和 HP6 为强影响力因素。PS1、TP1 和 HB1 的中间中心度分别为 168.11、129.17 和 95.03,明显高于其他因素的中间中心度。排名前 10 的原因中有 7 个在度数中心度的排名中也作为前 10。即 PO3、PS1、PS3、TP1、HP4、HP6 和 HB1,7 个因素是具有高关联性和强影响力的因素。值得注意的是,HP3 的度数中心度排名靠前,中间中心度排名却靠后,说明它与其他因素都是直接联系,不需要“媒介”。PO2 和 HP1 情况相反,表明它在油气管道事故网络中有较强的“媒介”作用。

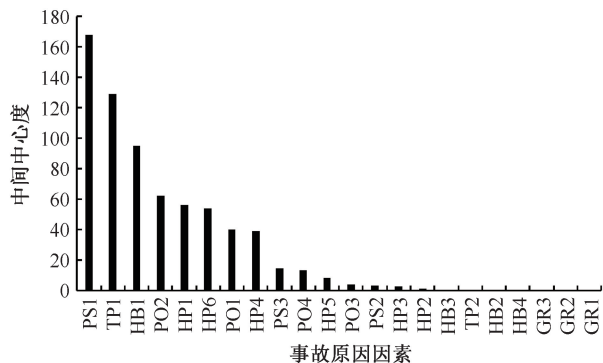


图 5 事故原因因素网络中间中心度

Fig. 5 Analysis results of intermediate centrality of accident prevention failure factors

### 3.3.3 关联方向指数分析

有向网络中节点间的连接传递具有方向性,而

关联方向指数可以表达这种特征,通过关联方向指数可得出每个因素在有向网络中的角色。根据关联方向指数的正负可确定各因素的功能,指数为正时可认为该因素为结果因素,反之则为原因因素。关联方向指数绝对值大小代表各因素偏向结果或是原因的程度。图 6 为各因素的关联方向指数。可以发现,几乎所有属于现场人员不安全行为的前提条件和现场人员不安全行为层级的因素均属于结果因素。值得注意的是,GR1、GR2、GR3 和 HB4 的关联方向指数为-1,这表明它们不仅不受其他因素影响,还极易对其他因素产生影响。所以在事故预防过程中应该格外注意这些因素,并减弱或切断其对其他因素的影响。

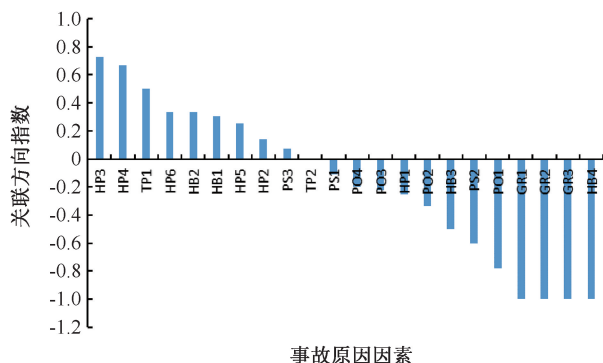


图 6 事故原因因素关联方向指数分析结果

Fig. 6 Analysis result of correlation direction index of accident causal fact

## 4 结 论

1) 依据 STAMP 模型构建油气管道事故预防控制结构,该结构包含国家立法机构、政府及相关监督管理部门、管道运营商和第三方单位 4 类组织。

2) 基于 35 起国内外油气管道事故分析结果,建立油气管道事故原因分类模型。该模型包含政府及监管部门因素、第三方因素、运营商组织因素、运营商不安全监督、现场人员不安全行为的前提条件、现场人员不安全行为 6 个层次和 22 个最底层原因因素。

3) 通过社会网络分析可知:油气管道事故分类模型中的核心因素为政府及监管部门因素、运营商组织因素、运营商不安全监督和第三方因素。具有高关联性和强影响力的因素为制度缺陷、监督不充分、运行计划不当、第三方破坏行为、管材与焊缝缺陷、施工/维修/配件问题、技能失误。

4) 由于最新油气管道事故调查报告尚未公布,

文中仅选取 35 起事故案例。未来研究可纳入更多国内外油气管道事故信息以不断完善事故原因分类模型。

### 参考文献

- [1] 狄彦, 帅健, 王晓霖, 等. 油气管道事故原因分析及分类方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(7): 109-115.  
DI Yan, SHUAI Jian, WANG Xiaolin, et al. Study on methods for classifying oil and gas pipeline incidents[J]. China Safety Science Journal, 2013, 23(7): 109-115.
- [2] LEVESON N. A new accident model for engineering safer systems[J]. Safety Science, 2004, 42(4): 237-270.
- [3] 赵挺生, 胡俊杰, 师玉栋, 等. 塔吊安装与拆卸作业安全性分析[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(10): 32-38.  
ZHAO Tingsheng, HU Junjie, SHI Yudong, et al. Safety analysis on tower crane installation and dismantling[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(10): 32-38.
- [4] 吴海涛, 黎双喜. 高铁应急调度 STAMP/STPA 安全性分析[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(6): 113-120.  
WU Haitao, LI Shuangxi. High-speed railway emergency dispatching safety analysis based on STAMP/STPA[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(6): 113-120.
- [5] 王瑛, 孙贇, 李超, 等. 基于 STAMP 模型的军机飞行训练安全性分析[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(9): 68-73.  
WANG Ying, SUN Yun, LI Chao, et al. Analysis of military aircraft flight training safety based on STAMP model[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(9): 68-73.
- [6] QIAO Wanguan, CHEN Xue, XIA Wenxin. STAMP-based causal analysis of the coal mine major accident: from the perspective of safety process[J]. Energy Reports, 2021, 7(S7): 116-124.
- [7] GONG Yunhua, LI Yuntao. STAMP-based causal analysis of China-Donghuang oil transportation pipeline leakage and explosion accident[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2018, 56: 402-413.
- [8] CHAUVINA C, LARDJANE S, MORELA G, et al. Human and organizational factors in maritime accidents: analysis of collisions at sea using HFACS[J]. Accident Analysis and Prevention, 2013, 59: 26-37.
- [9] 李珏, 刘焕. 基于 HFACS 的施工触电事故致因的关联性分析与干预对策[J]. 长沙理工大学学报:自然科学版, 2019, 16(2): 36-41, 48.  
LI Jue, LIU Huan. Association of causes and intervention countermeasures of electric shock accidents based on HFACS[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology: Natural Science, 2019, 16(2): 36-41, 48.
- [10] XU Ruihua, LUO Fan, CHEN Gaoming, et al. Application of HFACS and grounded theory for identifying risk factors of air traffic controllers' unsafe acts[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2021, 86: DOI:10.1016/j.ergon.2021.103228.
- [11] KAPTAN M, SARIALIOGLU S, UGURLU O, et al. The evolution of the HFACS method used in analysis of marine accidents: a review[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2021, 86: DOI: 10.1016/j.ergon.2021.103225.
- [12] WANG Jing, FAN Yunxiao, GAO Yuan. Revising HFACS for SMEs in the chemical industry: HFACS-CSMEs[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020, 65: DOI:10.1016/j.jlp.2020.104138.
- [13] 李珏, 李佳文. 基于 STAMP-HFACS 的建筑坍塌事故风险因素分析[J]. 工程管理学报, 2022, 36(5): 148-153.  
LI Jue, LI Jiawen. Risk factors analysis of building collapse accident based on STAMP-HFACS[J]. Journal of Engineering Management, 2022, 36(5): 148-153.
- [14] LOWER M, MAGOTT J, SKORUOSKI J. A system-theoretic accident model and process with human factors analysis and classification system taxonomy[J]. Safety Science, 2018, 110: 393-410.
- [15] 陈芳, 韩美佳. 空中危险接近事件中的空管风险因素识别[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(4): 1583-1591.  
CHEN Fang, HAN Meijia. Risk factors identification of the air traffic control in the near-midair collision[J]. Journal of Safety and Environment, 2021, 21(4): 1583-1591.
- [16] LI Chenlin, TANG Tao, CHATZIMICHAIKIDOU M M, et al. A hybrid human and organisational analysis method for railway accidents based on STAMP-HFACS and human information processing[J]. Applied Ergonomics, 2019, 79: 122-142.
- [17] 韩天园, 田顺, 吕凯光, 等. 基于文本挖掘的重特大交通事故成因网络分析[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(9): 150-156.  
HAN Tianyuan, TIAN Shun, LYU Kaiguang, et al. Network analysis on causes for serious traffic accidents based on textmining[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(9): 150-156.
- [18] 李珏, 王幼芳. 基于文本挖掘的建筑施工高处坠落事故致因网络分析[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(4): 1284-1290.  
LI Jue, WANG Youfang. Causation network analysis of the construction falling or collapsing accidents based on the text mining[J]. Journal of Safety and Environment, 2020, 20(4): 1284-1290.
- [19] 贾旭东, 衡量. 扎根理论的“丛林”、过往与进路[J]. 科研管理, 2020, 41(5): 151-163.  
JIA Xudong, HENG Liang. The "jungle", history, and approach road of the grounded theory[J]. Science Research Management, 2020, 41(5): 151-163.

**作者简介:** 宫运华 (1983—), 女, 河北邢台人, 博士, 讲师, 主要从事安全管理、行为安全、安全文化、安全领导力等方面的研究。E-mail: yunhua0626@163.com。

