

中文引用格式:仰玉江,王义保,李冲. 基于 PAR 模型的城市地下空间施工事故人为致因分析[J]. 中国安全科学学报,2025,35(8): 61-69.

英文引用格式:YANG Yujiang, WANG Yibao, LI Chong. Analysis of human causative factors in urban underground space construction accidents based on PAR modeling [J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(8): 61-69.

基于 PAR 模型的城市地下空间施工 事故人为致因分析*

仰玉江¹, 王义保^{**2}教授, 李冲¹

(1 中国矿业大学 应急治理与国家安全研究院, 江苏 徐州 221116;

2 中国矿业大学 应急管理学院, 江苏 徐州 221116)

中图分类号:X948

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.08.0999

基金项目:国家社科基金重大项目资助(23ZDA117);国家社科基金重点项目资助(22AZD086);教育部人文社会科学研究青年基金资助(23YJC630173)。

【摘要】 为减少城市地下空间施工事故发生,采用内容分析与社会网络分析相结合的方法,解构事故人为致因。首先,基于感知-分析-应答(PAR)事故致因模型,构建城市地下空间施工事故人因“主体-因子-状态”分析框架;然后,根据城市地下空间施工事故案例,编码提取致因因子,并明确致因主体关系与致因状态;最后,通过网络共现、中心性分析和相关性分析绘制人为致因结构模型,以此解析城市地下空间施工事故人因结构。结果表明:坍塌、中毒和窒息事故是城市地下空间施工事故的主要类型;导致事故发生的高频人因共计24项,包含9项核心人为致因。人为致因结构模型显示,致因主体中决策管理层安全责任尤为重大;核心致因因子“安全技术交底不到位”扮演风险枢纽角色,深刻影响致因网络;致因状态间存在较强关联效应,尤以信息缺失状态与其他状态发生特征明显。

【关键词】 感知-分析-应答(PAR)事故致因模型; 城市地下空间; 施工事故; 人为致因; 社会网络分析

Analysis of human causative factors in urban underground space construction accidents based on PAR modeling

YANG Yujiang¹, WANG Yibao², LI Chong¹

(1 Institute of Emergency Governance and National Security, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China; 2 School of Emergency Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China)

Abstract: In order to reduce the occurrence of accidents during construction in urban underground spaces, a combined methodology of content analysis and social network analysis was employed to deconstruct human factors in accidents during urban underground space construction for risk reduction.

* 文章编号:1003-3033(2025)08-0061-09; 收稿日期:2025-03-20; 修稿日期:2025-06-17

** 通信作者:王义保(1974—),男,江苏丰县人,博士,教授,主要从事应急管理、公共管理与社会治理、安全生产与公共政策等方面的研究。

E-mail:kdwyb@163.com。

Firstly, based on PAR accident causation model, a tri-dimensional analytical framework of "Subject-Factor-State" was developed for human-induced accidents in urban underground construction. Secondly, authentic accident cases were utilized to encode and extract causal factors, while causal subjects and states were systematically identified. Finally, a structural model of human-induced causation was constructed through network co-occurrence, centrality analysis, and correlation analysis to reveal inherent causal mechanisms. Key findings reveal: Collapse, poisoning, and suffocation constitute the predominant accident types, with 24 high-frequency human factors identified, including 9 core contributing factors. The structural model demonstrates that decision-making managers bear critical safety responsibilities among causal subjects. The core factor "inadequate safety technical disclosure", functions as a pivotal risk hub significantly influencing the causal network. Causal states exhibit strong interdependencies, particularly highlighting the pronounced interaction between information deficiency and other states.

Keywords: perceive-analyze-reply (PAR) accident causation model; urban underground space; construction accidents; human causative factors; social networking analysis

0 引言

随着我国“大城市病”的凸显,城市地下空间作为缓解城市灾害、化解城市问题的重要载体^[1],其开发与利用愈发受到重视。然而,由于地下空间施工过程多变、环境复杂、交叉作用多^[2],使得地下空间施工事故易发且难以预控。现有研究通过对一系列施工事故溯源追因,发现事故表面致因通常被归结为项目安全管理状态差,究其根源则是“个人-企业-政府”协同演化过程中人为因素的结构性失衡^[3]。因此,探寻城市地下空间施工事故安全管理的薄弱环节,揭示事故人为致因并明确致因结构,对降低地下空间施工事故发生率具有重要意义。

当前,国内外学者针对事故致因领域开展了相关研究。对事故致因理论模型的研究,最早可追溯至 GREENWOOD 等^[4]提出的事故频发倾向论。随后,因果连锁模型、轨迹交叉模型与复杂系统事故因果模型等相继被提出,形成了事故溯因的多维框架。相对而言,传统事故致因模型更加关注个体行为失误。光夏磊等^[5]提出的感知-分析-应答(Perceive-Analyze-Reply, PAR)事故致因模型,以安全感知-安全分析-安全应答作为逻辑链条,衍生出全周期全层次的人为致因分析框架,为事故人因分析提供新思路。对事故致因因素的探讨,HEINRICH 等^[6]提出人的不安全行为与物的不安全状态是事故发生的直接原因;西岛茂一^[7]总结了安全事故四大致因因素分别为人员、设备、作业和管理。在地下空间工程事故风险研究上,STURK 等^[8]提出风险分析实用方法,以减少地下工程中错误决策导致的风险隐患;

CHIDIEBERE^[9]指出用事故研究和分析风险,以结果导向指导地下空间的安全作业;雷升翔等^[10]提出城市大空间的定义,并设计了城市大空间的风险评估方法。

以上研究存在以下不足:①鲜有研究将视野扩散于地下空间的多维场域,与相关事故致因研究多局限于隧道、地铁等轨道交通领域。②传统事故致因模型多侧重于分析个体的行为失误,对组织层面的人因考虑相对较少。③少有研究解构事故致因系统状态,而施工事故的发生是安全系统的结构性失灵,致因因子的出现与行动者主体以及系统状态失控具有强关联性。

鉴于此,笔者基于 PAR 事故致因模型,从安全信息视角出发,剖析城市地下空间施工事故人为致因;运用社会网络分析方法展开致因网络分析,识别核心致因要素,构建城市地下空间施工事故人为致因结构框架,以期拓展地下空间事故致因的研究视野、深入探索事故个体人因和组织人因、以系统化框架解构事故人因及其主体与状态,为城市地下空间施工安全管理实践提供科学依据。

1 PAR 人因分析框架构建

1.1 人为致因分析过程

首先,构建 2018—2022 年城市地下空间施工事故案例库,寻找案例库内事故对应的事故调查报告,形成案例文本;其次,基于内容分析法对案例文本进行数据化转译,使用 Nvivo 11.0 软件从致因主体-致因因子-致因状态 3 个维度进行编码归纳,构建地下空间事故施工事故人因编码体系;然后,使用 Ucinet 6.0 软件分析 3 个维度的致因要素的社会网

络,呈现不同维度下要素间的关联情况并进行因子相关性分析;最后,基于以上研究结果,形成城市地下空间施工事故人因结构,从主体-因子-状态 3 个维度剖析城市地下空间施工事故人为致因。

1.2 事故数据来源

检索各地应急管理局网站、住建部网站、安全管理网以及各类新闻媒体,共提取到 106 份城市地下空间施工事故案例。剔除清洗事故案例中仅有事故通报或新闻通稿而未能获取到事故调查报告的案例,最终获取 62 份施工事故案例的事故调查报告。为减少无关文本的干扰,筛选事故调查报告中事故发生经过、事故原因分析(包括直接原因和间接原因)、事故定性分析以及事故通报等其他具有可信度的文本,形成“. doc”文本集,构建以待处理的内容分析案例库。

1.3 PAR 人为致因分析框架

PAR 事故致因模型,即安全感知(Perceive)、安全分析(Analyse)、安全应答(Reply)模型,用以剖析

安全信息视角下事故发生的全周期全层次致因。将 PAR 事故致因模型及其逻辑链条引入城市地下空间施工事故研究中具有以下可行性和独特价值:①由于城市地下空间施工事故主客观致因复杂,客观因素(如物的不安全状态、环境的突发性危机等)在不同事故中表现形式不尽相同,具有一定个案属性,但人的行为与组织的管理有迹可循,PAR 事故致因模型在人因分析上集合了个体人因与组织人因,具有较强的适用性。②事故的发生是个人行为-企业组织-政府部门协同演化中的结构性失衡^[3],PAR 事故致因模型不仅横向包含事前、事中、事后 3 个致因阶段,纵向上还囊括个人、组织、环境多个致因层次,具有较强结构性,能有效分析城市地下空间施工事故的各个环节与主体。

从“城市地下空间施工事故何以发生”这一基本问题出发,将研究视角投射于事故的人为因素和组织管理要素,借鉴 PAR 事故致因模型,从 PAR 事故致因链中抽取主体-因子-状态 3 个致因维度,构建地下空间施工事故人因分析框架,如图 1 所示。

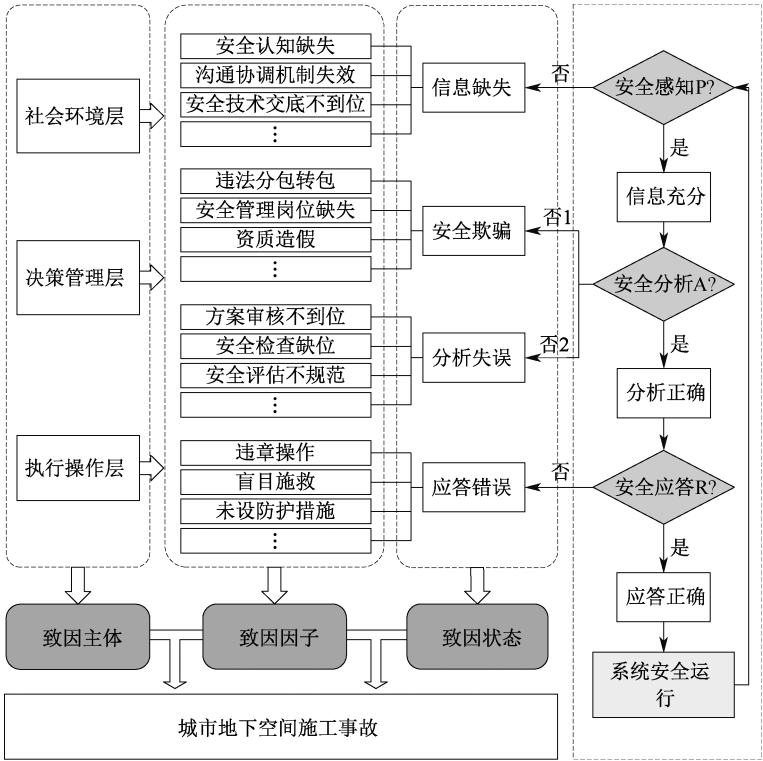


图 1 城市地下空间施工事故人为致因分析框架

Fig. 1 Framework for analysing the human factors of construction accidents in urban underground spaces

致因主体是指城市地下空间施工事故中直接或间接与事故发生相关,对事故发生具有重要影响作用的利益相关者。致因因子是指直接或间接导致事

故发生的人的不安全行为和组织的不安全管理与不安全行动。致因状态是指安全系统在运行中出现的如信息缺失、安全欺骗、分析失误和应答错误等失控

状态导致事故发生概率增加。

2 事故特征与人为致因提取

2.1 事故特征分析

根据事故伤亡类型和地下空间施工特征统计,城市地下空间施工事故 62 份案例库中,涉及坍塌、中毒和窒息、高处坠落等 11 种事故类型,如图 2 所示。按事故等级统计,一般事故统计频次最高,占事故统计总数的 53.97%,分布于大多事故类型中;较大事故统计频次次之,事故统计总数的 40.32%,集中出现于坍塌与中毒和窒息事故中;重大事故统计频次较低,仅在坍塌、中毒和窒息、突泥及透水事故中出现。按照事故发生频次统计,坍塌、中毒和窒息事故是城市地下空间施工事故的最主要类型。较为特殊的是,突泥事故与透水事故统计频次较低,但两者事故发生等级较高。

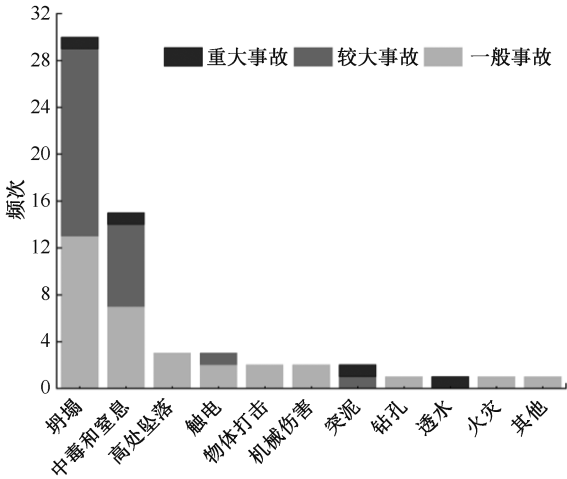


图2 事故类型与事故等级统计

Fig.2 Statistical chart of accident types and accident levels

2.2 事故人为致因提取

通过内容编码探寻事故人因因子,为保证内容编码的合理、科学与完备,邀请 2 位从事应急管理与安全生产研究的博士作为内容编码成员,由 3 位作者分别担任组织协调者、相关研究教授和安全管理研究员,形成审核小组审核编码结果。主要遵循以下步骤:

首先,编码成员在一致性培训后对 62 份案例文本进行独立编码,由审核小组审核并合并内涵高度重合的编码。其次,系统性梳理案例文本,以多主体多维度编码,力图完整形成城市地下空间施工事故人为致因。最后,根据 PAR 事故致因模型进行预分

类,在分析与编码中依据事故致因责任归属具体情况进行调整,形成后分类体系^[11]。

1) 致因主体编码,判断相关行为主体是否与事故直接或间接相关。编码归纳后,形成政府部门、建筑施工单位、监理单位、设计与评估组织、一线工作人员和一线管理人员共 6 个利益相关者。

2) 致因因子编码,梳理直接或间接导致事故发生的个体不安全行为和组织不安全管理与行动。梳理出各事故致因因子,并确认所属利益相关者,在多次清洗重编后,统计获得 80 个具体人为致因。

3) 致因状态编码,判别事故人为致因因子的系统状态特征。通过判断致因因子在 PAR 事故致因链中的失效特征,将致因因子归纳为信息缺失、安全欺骗、分析失误和应答错误 4 类致因状态。

由于致因因子类型众多、数量密集,笔者归并处理后提取高频致因。参照已有研究^[12],设定致因因子出现频率,选取频率不小于 0.15 的致因因子 24 个。通过高频人为致因提取,精简为 3 类致因主体,24 项致因因子及 4 类致因状态的“主体-因子-状态”高频人为致因编码,见表 1。

3 事故人为致因网络分析

3.1 共现网络构建

结合 PAR 事故致因模型,城市地下空间施工事故是由多致因因子共同作用的结果。通过统计案例库内各事故案例中一组致因因子共同出现的次数,反映高频致因之间的相互影响^[13]。将 24 项高频致因因子两两匹配,根据致因因子在案例库文本中共同出现的频数构建城市地下空间事故高频人为致因因子共现矩阵,将共现矩阵导入 Gephi 网络可视化软件,生成致因节点和关联边,从而得到城市地下空间施工事故人为致因共现网络,如图 3 所示。

其中,节点代表高频致因因子,节点尺寸大小和颜色深浅代表该节点在共现网络中重要程度;节点间的连线代表共现网络的边,即节点之间存在关联,边的粗细代表节点之间的关系紧密程度。为验证共现网络的有效性,将共现矩阵导入 Ucinet 软件,利用 Dichotomize 函数二值化处理,计算得出城市地下空间施工事故人为致因共现网络的整体网络密度为 0.518 1,意味着 24 项致因因子大多已建立起联系,共现网络可靠有效。

3.2 网络中心性分析

中心性是衡量各节点在网络中中心程度的重要

表 1 高频人为致因编码

Table 1 Coding system for high-frequency anthropogenic causation

致因主体	编码	致因因子	统计频率	致因状态
执行操作层(一线工作人员)	W1	违章操作	27	应答错误
	W2	安全认知缺失	23	信息缺失
	W3	未设防护措施	14	应答错误
	W4	盲目施救	15	应答错误
	W5	冒险作业	11	应答错误
执行操作层(一线管理人员)	M3	安全管理人员缺位	14	信息缺失
决策管理层(建设施工单位)	C4	违反设计规范与安全标准施工	22	应答错误
	C8	沟通协调机制失效	11	信息缺失
	C15	项目管理混乱	20	应答错误
	C17	安全管理岗位缺失	15	安全欺骗
	C18	用工不规范	14	安全欺骗
	C19	安全技术交底不到位	42	信息缺失
	C20	防护设备配备不足	15	信息缺失
	C22	专项作业方案缺失或失效	19	信息缺失
	C30	违法分包转包	12	安全欺骗
	C31	安全生产管理制度不健全	19	信息缺失
	C32	安全检查执行不足	19	分析失误
决策管理层(监理单位)	S1	监理人员履职缺位	12	信息缺失
	S5	隐患未及时管控	12	应答错误
	S7	制度执行和隐患排查监督失效	26	分析失误
	S11	巡检覆盖不全	10	信息缺失
社会环境层(政府部门)	G3	安全检查缺位	12	分析失误
	G5	安全生产监管职责履行不善	10	分析失误
	G6	监查指导职责履行不到位	24	分析失误

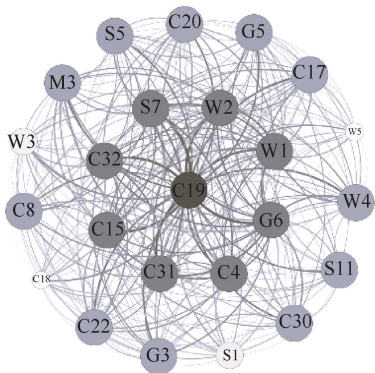


图 3 事故高频人为致因因子共现网络

Fig. 3 Co-occurrence network of accidents

测量指标,能够揭示节点在网络中的地位及其重要性。度中心性用于刻画节点在网络中的链接度,为提高节点在网络中的权重比较度,文中使用相对中心度。通过 Ucinet 软件分析城市地下空间施工事故人为致因共现矩阵的中心性,得到网络中心度,具体数值见表 2。根据网络中心性分析结果,C19、G6、S7、W1、C31 点度中心度较高,中心度占比均在 0.05 以上,表明这些致因因子与其他因子存在复杂的因

果关系。根据海因里希理论,以上致因存在时极有可能诱发其他因素,形成多米诺效应,进而导致事故发生。

表 2 事故人为致因因子网络中心性分析

Table 2 Network centrality analysis

排序	致因因子	相对中心度	度数中心度占比
1	C19	55.901	0.093
2	G6	38.509	0.064
3	S7	34.161	0.057
4	W1	32.919	0.055
5	C31	30.642	0.051
6	W2	29.607	0.049
7	C15	28.364	0.047
8	C32	27.950	0.047
9	C4	27.743	0.046
10	C22	24.431	0.041
11	M3	23.602	0.039
12	W4	23.188	0.039
13	C17	22.360	0.037
14	W3	21.325	0.035
15	C20	20.911	0.035
16	C30	20.704	0.034

续表 2

排序	致因因子	相对中心度	度数中心度占比
17	S5	19.462	0.032
18	G3	19.255	0.032
19	C18	18.841	0.031
20	G5	18.427	0.031
21	C8	18.219	0.030
22	S1	16.356	0.027
23	W5	14.907	0.025
24	S11	13.043	0.022

核心-边缘结构分析在网络中心性分析基础上基于平均核心度指标划分高密度网络核心以及低密度的网络边缘。通过 Ucinet 软件完成网络核心边缘结构分析,得出节点网络平均核心度为 0.191,节点网络核心度高于平均核心度,则为核心节点,低于则为边缘节点,分析结果如图 4 所示。图中深色节点群为核心区域,浅色节点群为边缘区域,节点尺寸大小与其核心度有关,核心度越高,节点尺寸越大。其中,核心致因因子包括 C19、G6、S7、W1、C31、W2、C15、C32、C4 等 9 项。

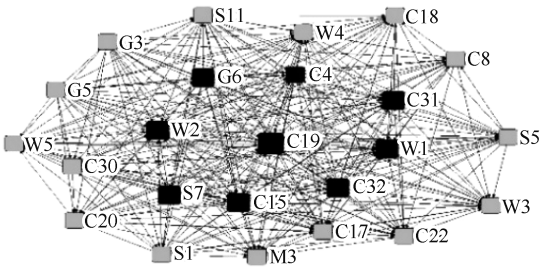


图 4 事故人为致因核心-边缘结构模型

Fig. 4 Core-edge structural model

3.3 因子相关性分析

致因因子频率分析以及社会网络分析结果能够在一定程度上反映致因因子的重要性和因子间的关联性,但不能很好地验证致因因子之间影响强度,因此,需要借助主体间因素相关程度统计量获取各致因主体间因子的相关强度,判断致因因子的传导路径。引入 Cramer's V 系数衡量致因因子间的关联强度^[14]。该系数取值范围为 0~1,数值越大表示致因因子间的关联强度越大。利用 SPSS 软件筛选出各致因因子间卡方 χ^2 检验 $p < 0.05$ 的因子,并借助 SPSS 求解 Cramer's V 系数值,整理见表 3。

由表 3 可知:根据致因主体划分,相邻致因主体间共有 12 组相关关系,相关关系强弱取值为 0.251~0.451,可进一步绘制相关关系,如图 5 所示。从图 5 可以看出,致因因子在社会环境层与决策管理

表 3 事故人为致因因子相关性分析

Table 3 Accident human causal factor correlation analysis

致因主体	致因因子	p 值	Cramer's V
社会环境层——决策管理层	G3 C22	0.029	0.277
	G3 C30	0.003	0.380
	G3 C32	0.021	0.294
	G3 S7	0.009	0.334
	G5 C8	0.044	0.256
	G5 C30	0.007	0.340
	G5 S5	0.000	0.451
	G6 C31	0.039	0.262
	G6 C30	0.027	0.281
决策管理层——执行操作层	C17 W3	0.010	0.325
	C18 W5	0.048	0.251
	S5 W2	0.022	0.292

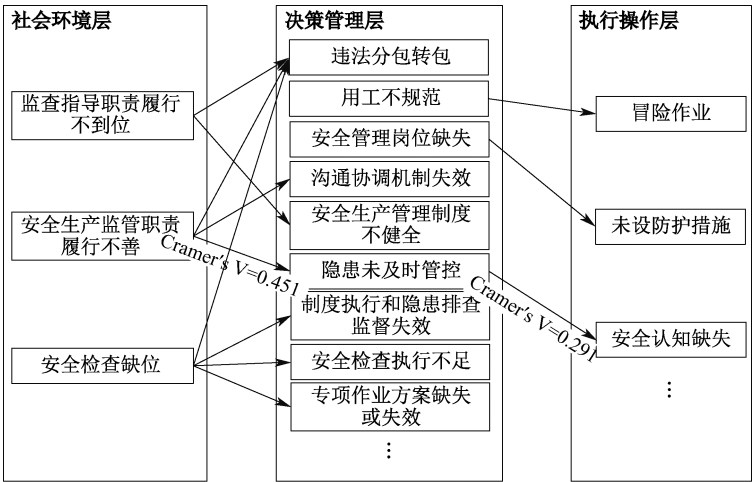


图 5 事故人为致因相关关系

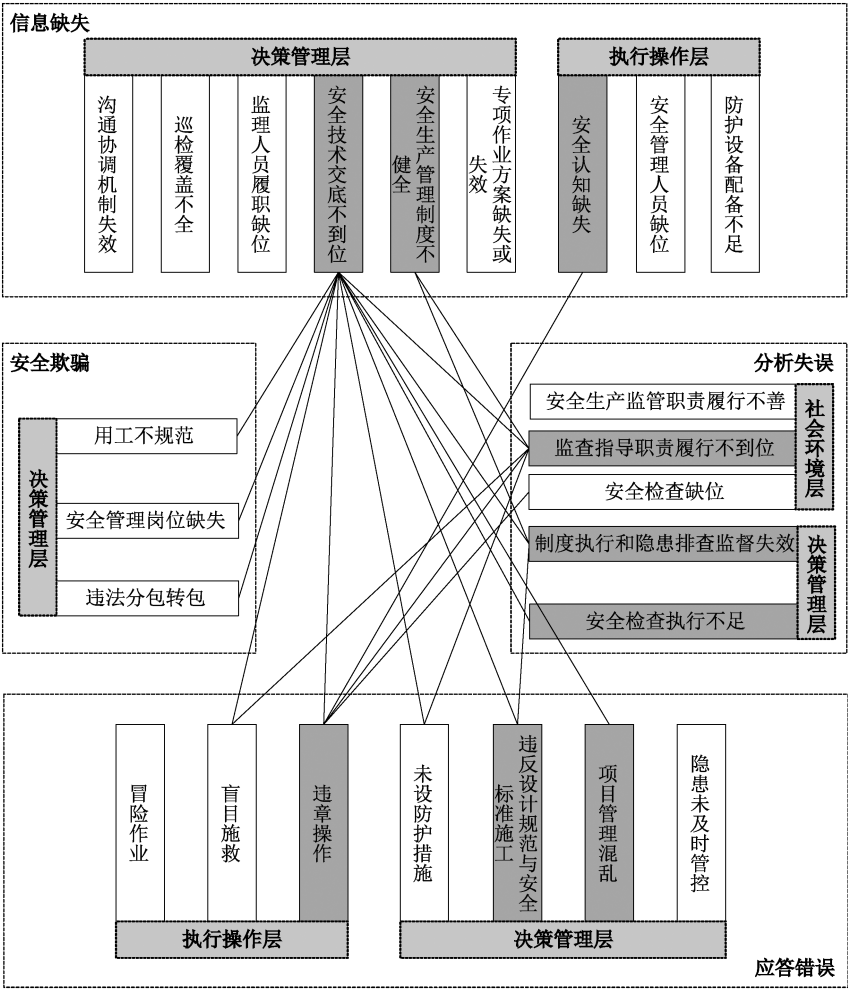
Fig. 5 Accident human causal factor correlation model

层间联系最为紧密。根据 PAR 事故致因模型,事故致因自上而下传导叠加,城市地下空间施工事故致因中存在一条完整致因链条:安全生产监管职责履行不善→隐患未及时管控→安全认知缺失。

4 事故人为致因结构分析

首先,通过内容分析法提取 24 个高频人为致

因,并划分各致因因子所属的致因主体与致因状态。其次,基于核心-边缘结构分析结果,将高频致因因子依据网络核心度进行排序,识别出 9 个核心致因因子。最后,在综合考量核心致因因子纳入率和非核心节点共现干扰的前提下^[15],将致因因子之间相互共现频次高于 8 次的节点建立关联,确定因子之间的关联路径。城市地下空间施工事故人为致因结构模型,如图 6 所示。



注:3 类致因主体由浅灰色虚线矩形表示;24 项高频致因因子由实线矩形表示,其中,9 项核心致因因子用深灰色表示;4 类致因状态以无色虚线矩形表示;致因因子间的关联路径以实直线表示。

图 6 城市地下空间施工事故人为致因结构模型

Fig. 6 Structural modeling of human causation of construction accidents in urban underground spaces

4.1 致因主体分析

城市地下空间施工事故人为致因主体分为社会环境层、决策管理层和执行操作层 3 类。根据城市地下空间施工事故人因分析,高频人因因子共计 24 项,核心致因因子 9 项,核心致因因子在 3 类致因主体中都有出现,涵盖建筑施工单位、政府部门、监理单位、一线工作人员等多元利益相关者。统计

事故人因因子发现,决策管理层人因出现频次最高,达到全部高频人因因子的 62.5%(15 项),且核心致因因子在该层出现频次最高,占据全部核心致因因子的 66.7%(6 项);在社会环境层和执行操作层出现相对较少,分别占据全部核心致因因子的 11.1%(1 项)和 22.2%(2 项)。在因子相关性分析中,社会环境层与决策管理层之间的相关路径分布最为密

集,占据全部相关关系(12条)的75%(9条)。不难发现,城市地下空间施工事故人为致因具有多主体多层次特征,各致因主体在城市地下空间施工事故人为致因中都有关键责任,但决策管理层占据致因核心位置。

4.2 致因因子分析

根据多米诺骨牌致因理论,致因因子同时存在时易造成致因因子连锁效应,诱发其他事故致因因素的产生。如在因子相关性分析中,政府部门出现安全生产监管职责履行不善时,极易导致监理单位放松监管职责严格履行,致使隐患未及时管控等要素的连锁发生,因子通过致因主体链条传导,在基层引发一线工作人员安全认知缺失等致因,进一步放大施工事故风险。

在致因网络中,部分核心致因因子在事故致因网络中发挥“风险枢纽”作用,承接部分致因因子的影响扩散,并增加其他致因因子的形成可能。详细梳理该因子与其他因子的关联路径可以发现,安全技术交底不到位在事故致因链条中成为一处事故致因枢纽,与该因子关联的路径占有所有路径的57.9%(11条)。该致因因子既承接检查缺失、监督不足、管理混乱等致因带来的负面影响,又在致因形成后对违章操作、盲目施救等致因要素产生诱发效应。

4.3 致因状态分析

城市地下空间施工事故人为致因状态分为信息缺失、安全欺骗、分析失误和应答错误4类。具体来看,信息缺失、安全欺骗、分析失误、应答错误状态高频人因分别占据全部高频人因(24项)的37.5%(9项)、12.5%(3项)、20.8%(7项)、29.2%(5项)。由此发现,信息缺失是导致城市地下空间施工事故的最主要的人为致因状态。从高频致因因子与致因状态之间的联系来看,信息缺失与分析失误、应答错误2个致因状态联系较为紧密。信息缺失与分析失误、信息缺失与应答错误、信息缺失与安全欺骗、分析失误与安全欺骗致因状态间的关联路径,分别解释了致因结构模型中26.3%(5条)、31.6%(6条)、15.8%(3条)、26.3%(5条)的联系,安全欺骗与应答错误、安全欺骗与分析失误之间的联系在结构模型中未有体现。由此可见:城市地下空间施工安全管理是一项系统性工程,事故人为致因状态间存在较强关联效应,其中,信息缺失状态与其他状态联系尤为密切,状态间致因因子关联特征明显。

4.4 安全管理建议

根据城市地下空间施工事故致因结构分析内容,提出如下事故安全管理建议:

1) 采取严控准入、政策规制、隐患排查、以罚促管和安全评分等多种安全生产监管模式交叉并行的组合治理方案,强化政府部门等社会环境对施工安全的监督审查,降低事故发生率。

2) 标准化实战化城市地下空间施工事故中安全教育与培训、切实落实安全交底工作,尤其重视执行操作层安全意识培养、应急规范学习和防范意识构建,使一线管理人员与一线工作人员做到预先准备充分、施工操作规范、应急处置得当。

3) 充分应用数字化监管手段,如建立城市级地下工程施工安全监管信息平台、建立强制信息报送与协同标准、推广应用智能化安全监测设备等,准确识别系统安全运行中存在的信息缺失状态,进一步强化各主体间的沟通协调,确保对致因状态与风险环节的精确把控。

5 结 论

1) 坍塌、中毒和窒息事故是城市地下空间施工事故的主要类型,突泥、透水事故发生频次较低,但事故一旦发生容易造成严重后果;通过内容分析挖掘和社会网络分析获得城市地下空间施工事故24个高频致因因子,其中,安全技术交底不到位、安全生产管理制度不健全、安全认知缺失、项目管理混乱等9项为核心人为致因。

2) 在致因主体方面,决策管理层安全责任最为艰巨,且社会环境层与决策管理层间致因因子相关性最为紧密;在致因因子方面,安全技术交底不到位在致因网络间具备一定“枢纽”地位,承接部分致因因子的影响扩散,并增加其他致因因子的形成可能,且事故致因中存在一条完整人因链条:安全生产监管职责履行不善→隐患未及时管控→安全认知缺失;在致因状态方面,4类致因状态中,由信息缺失造成的人为致因最为多发,且致因因子在不同致因状态间展现出一定的致因关联效应,信息缺失状态与其他致因状态间的因子联系尤为密切。

3) 安全事故的发生存在其特殊性因素,但也隐藏着事故致因的共性特征,虽然从全国范围内挖掘分析了近5年城市地下空间事故案例,但由于资料获取难度较大,难以基于大规模样本验证城市地下空间施工事故PAR事故致因模型。同时,所采取的研究方法存在一定主观性,仅能从宏观视角分析人

为致因,在致因因子提取、因子关联性评估、PAR 致因模型验证等环节缺乏精准的技术方法支撑和微观审视。因此,未来可充分获取地下空间安全事故的证据文本,以更科学的分析方法对证据文本内容进行科学解构。

参 考 文 献

[1] BROERE W. Urban underground space: solving the problems of today's cities[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2016, 55: 245-248.

[2] TIXIER A J P, HALLOWELL M R, RAJAGOPALAN B. Construction safety risk modeling and simulation[J]. Risk Analysis, 2017, 37(10):1 917-1 935.

[3] 郭中华,姜卉,尤完. 建筑施工安全生产监管模式的事故作用机理及有效性评价[J]. 公共管理学报,2021,18(4): 63-77,170.

GUO Zhonghua, JIANG Hui, YOU Wan. The influencing mechanism and effectiveness evaluation of safety supervision mode on accidents[J]. Journal of Public Management, 2021,18(4):63-77,170.

[4] GREENWOOD M, WOODS H M. The incidence of industrial accidents upon individuals with specific reference to multiple accidents[R]. Industrial Fatigue Research Board, 1919.

[5] 光夏磊,吴超,王秉. 安全信息思维下的 PAR 事故致因模型构建及其实证[J]. 情报杂志,2020,39(1):179-187.

GUANG Xialei, WU Chao, WANG Bing. Constructand empirical study of par accident-causing model based on safety & security information thinking[J]. Journal of Intelligence,2020,39(1):179-187.

[6] HEINRICH H W, PETERSEN D C, ROOS N R, et al. Industrial accident prevention: a safety management approach[M]. New York: McGraw-Hill,1980:22-25.

[7] 谢振华,陈茜,范冰冰,等. 基于事故致因理论的建筑业事故隐患的界定和排查[J]. 中国安全生产科学技术,2014, 10(9):113-118.

XIE Zhenhua, CHEN Xi, FAN Bingbing, et al. Definition and inspection of accident potential in building construction based on accident-causing theories[J]. Journal of Safety Science and Technology,2014,10(9):113-118.

[8] STURK R, OLSSON L, JOHANSSON J. Risk and decision analysis for large underground projects, as applied to the Stockholm ring road tunnels[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1996, 11(2): 157-164.

[9] EZE E C, IDIAKE J E, GANIYU B O. Analysis of rework risk triggers in the Nigerian construction industry [J]. Organization, Technology & Management in Construction, 2018, 10(1): 1 778-1 793.

[10] 雷升祥,黄明利,谭忠盛. 城市地下大空间建设风险特征和分类研究[J]. 隧道建设: 中英文,2022,42(10): 1 663-1 676.

LEI Shengxiang, HUANG Mingli, TAN Zhongsheng. Risk characteristics and classification of urban large underground space construction[J]. Tunnel Construction,2022,42(10):1 663-1 676.

[11] 王超. 我国突发性网络舆情事件的关联网络结构分析[J]. 现代情报,2019,39(12):121-130.

WANG Chao. Correlation network structure analysis of emergent network public opinion events in China[J]. Journal of Modern Information,2019,39(12):121-130.

[12] 郑霞忠,周佳丽,邵波,等. 基于 D-I 的塔机作业物体打击事故致因分析[J]. 中国安全科学学报,2021,31(6): 83-89.

ZHENG Xiazhong, ZHOU Jiali, SHAO Bo, et al. Causal analysis of strike accident of tower crane operating object based on D-I[J]. China Safety Science Journal,2021,31(6):83-89.

[13] 薛楠楠,张建荣,张伟,等. 基于文本挖掘的建筑工人不安全行为及其影响因素研究[J]. 安全与环境工程,2021, 28(2):59-65,85.

XUE Nannan, ZHANG Jianrong, ZHANG Wei, et al. Correlations of construction workers' unsafe behaviors and the influential factors by using text mining[J]. Safety and Environmental Engineering,2021,28(2):59-65,85.

[14] 李显,焦宇,陈文涛,等. 船舶修造企业火灾事故特征挖掘与致因分析[J]. 中国安全科学学报,2024,34(3):29-38.

LI Xian, JIAO Yu, CHEN Wentao, et al. Feature mining and causative analysis of fire accidents in ship repair and building enterprises[J]. China Safety Science Journal,2024,34(3):29-38.

[15] 郑秀梅,田晓康,柳青,等. 通用航空事故致因文本挖掘和社会网络分析[J]. 安全与环境学报,2024,24(2): 602-609.

ZHENG Xiumei, TIAN Xiaokang, LIU Qing, et al. Text mining and social network analysis of general aviation accident causes[J]. Journal of Safety and Environment,2024,24(2):602-609.

作者简介： 仰玉江 （2001—）,男,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向为应急管理、地下空间应急与安全。E-mail: 2595672383@qq.com。

