

文章编号:1672-9331(2021)01-0049-09

基于 EAST 和 STAMP 的高坠事故社会网络分析

李 珏^{1,2}, 韩 梅¹

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114;

2. 长沙理工大学 交通基础设施智慧建造与运维管理湖南省高等学校重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘 要: 为了研究在建筑施工过程中发生高坠事故的影响因素及其与施工主体之间的社会网络关系, 提取 2013—2019 年 207 份高坠事故调查报告中的相关数据, 将系统理论事故建模与过程模型(systems-theoretic accident model and processes, STAMP)的控制结构与系统团队合作的事件分析模型(event analysis of systemic teamwork, EAST)的框架相结合, 构建了高坠事故系统的社交网络、任务网络、信息网络、控制网络及复合网络模型。通过社会网络相关指标, 找到各个网络的关键节点以及最容易导致高坠事故的组合节点。研究结果表明: 网络之间的节点具有较强的联系, 施工单位、施工人员、教育培训不足、未佩戴安全物品等节点处于网络的核心位置, 施工单位和教育培训不足组合是导致高坠事故最典型的组合。

关键词: 高坠事故; 建筑施工; EAST; STAMP; 社会网络分析

中图分类号: X947

文献标志码: A

Social network analysis of falling accidents based on EAST and STAMP

LI Jue^{1,2}, HAN Mei¹

(1. School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Intelligent Construction, Operation & Maintenance Management of Transportation Infrastructure Key College Laboratory of Huan Province, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to research the influencing factors of falling accidents during building construction, and analyze the social network relationship between the factors and the construction subjects, 207 investigation reports of falling accidents from 2013 to 2019 were selected to extract relevant data, the control structure of the systems-theoretic accident model and processes(STAMP) was combined with the framework of the event analysis of systemic teamwork(EAST), and the social network, task network, information network, control network and composite network model of the falling accident system were constructed. Through social network related indicators, the key nodes of each network and the combined nodes that are most likely to cause falling accidents were found. The research results show that the nodes among networks have strong connections, construction unit, construction personnel, insufficient education and training, and not wearing safety items are at the core of the network, the combination of the construction unit and insufficient education and training are the most typical combination of falling accidents.

Key words: falling accident; construction; EAST; STAMP; social network analysis

收稿日期: 2020-09-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71371036); 湖南省教育厅创新平台开放基金资助项目(20K011); 长沙理工大学研究生科研创新项目(CX2020SS11)

通讯作者: 李 珏(1978—), 男, 副教授, 主要从事工程项目管理等方面的研究。E-mail: lij93@csust.edu.cn

由于建筑业具有工作环境复杂、交叉作业种类多、工作危险系数高等特点,因此,建筑事故频繁发生。而高坠事故又位居“五大伤害”之首,占比高达 $1/3\sim 1/2$,极易造成重大伤亡,对社会和经济都产生了重大的影响^[1]。目前,在安全事故的研究中有学者使用了人机工程学的方法,如认知工作分析(cognitive work analysis, CWA)、系统理论事故建模与过程模型(systems-theoretic accident model and processes, STAMP)、功能共振分析方法(functional resonance analysis method, FRAM)、系统团队合作的事件分析(event analysis of systemic teamwork, EAST)等,在这些方法中每一种方法都有自己独特的优势。综合分析国内外现有的文献可知,现在的研究更倾向于将不同的方法结合使用,从而增强分析结果的全面性。例如, Patriarca 等^[2]将 CWA 的抽象层次结构与 FRAM 结合使用,研究结果表明将两者一起使用可以对系统内部的交互进行更丰富的分析; Houghton 等^[3]将社交网络和 CWA 相结合分析了军事安全领域,发现将这两种方法结合使用可以更好地理解军事系统结构。Salmon 等^[4]将 STAMP 和 EAST 相结合用来分析铁路平交道路的安全管理,事实证明将这两种方法结合后增强了 EAST 框架的分析能力,可以明确找出影响铁路平交道口安全管理的因素。建筑施工项目涉及的组织较多,且组织间的关系较为复杂,传统的链式事故致因模型难以系统地分析发生于多组织中的事故,而采用基于系统论的人机工程学方法能对建筑施工高坠事故这种复杂的社会技术系统进行更全面的分析。

目前,在海事、交通、航空、军事等领域^[5-8]应用 EAST 框架和 STAMP 模型的研究成果较丰富,但多基于单案例事故,研究成果能否推广使用,还需要进一步的验证。在上述背景下,本研究提出了基于 EAST 与 STAMP 两种人机工程学方法的整合应用模型,基于 2013—2019 年 207 份建筑施工高坠事故调查报告中的多案例数据,通过构建网络模型识别高坠事故系统的关键影响因素和施工主体,并分析重要组合节点的影响作用。该方法不仅消除了控制结构的局限性,扩展了 EAST 的分析框架,而且能够量化影响因素和施

工主体之间的作用关系,为有效防范高坠事故提供了新的思路与方法。

1 研究方法设计

1.1 EAST

EAST 认为系统在本质上是复杂的,需要对问题有多种看法才能更充分地理解系统中社会和技术方面之间的关系。研究表明,网络模型能够以不同但互补的方式分析同一个系统,所以 EAST 提供了一套综合的方法来分析复杂的社会技术系统,将系统描述为社交网络、任务网络和信息网络三种不同类型的网络,从而创建可视化网络模型并对其进行定量分析。EAST 原始网络关系图如图 1 所示。这种网络模型可从多方面揭示在复杂社会技术系统中出现的综合行为,有助于分析人员和其他利益相关者理解网络内部不同节点之间的相互作用。

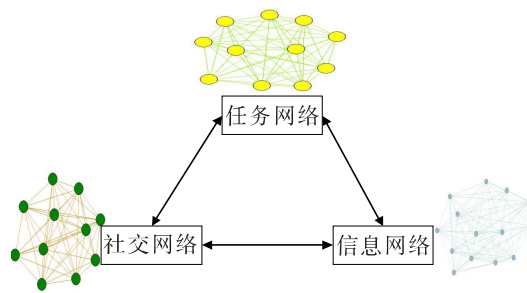


图 1 EAST 原始网络关系图

Fig. 1 EAST original network diagram

1.2 STAMP

STAMP 认为事故是由于对安全约束控制不当或执行不力造成的^[9]。在 STAMP 中安全被视为控制问题,且通过控制结构对安全进行管理。控制结构的目的是对整个系统的参与者施加约束。在系统理论或控制理论中,系统被视为分层结构,每个层级都对其下面的层级施加约束。分层控制结构是由控制和反馈回路构成的功能系统模型,各控制层次之间的交互关系用过程模型表示。一般过程模型包含控制器与控制过程、二者间的输出与反馈过程以及过程输入和输出、外界信息的干扰等^[10]。

1.3 EAST 和 STAMP 相结合

虽然 STAMP 模型的安全控制结构已被作为建模工具来描述安全管理中涉及的控制和反馈回

路,且研究证明用控制结构来分析事故是有效的,但它仍存在着一些明显的局限性:仅限于定性分析,分析结果缺乏客观性;仅描述控制和反馈回路,很难表示相同层次结构中的参与者之间存在的控制和反馈关系。EAST 的分析原理尽管比较全面,但目前的研究表明,安全控制在社会技术系统中起着重要作用,因此将 STAMP 的安全控制结构添加到 EAST 的网络模型中,可以进一步丰富 EAST 的分析过程。STAMP 的分层控制结构可以看作是网络结构,而 EAST 的基本原理就是对系统进行不同角度的网络分析。网络分析具有两个主要优点:一是客观性,网络的建立是基于实

际事故报告的数据;二是分析灵活,使用网络分析可以更容易地找出与特定事故类型相关的重要影响因素,可以进行更深入的分析。所以,本研究将 STAMP 控制结构与 EAST 分析框架结合在一起,这样不仅可以消除控制结构的局限性,还可以量化网络节点之间的关系,明确在网络模型中节点是如何相互影响的,又能进一步丰富 EAST 的分析框架,为以后的事故分析提供新的思路。

本研究基于 STAMP 控制结构、EAST 分析框架及社会网络分析方法,根据从高坠事故报告中提取的数据,充分挖掘高坠事故系统网络节点之间的关联关系。研究框架如图 2 所示。

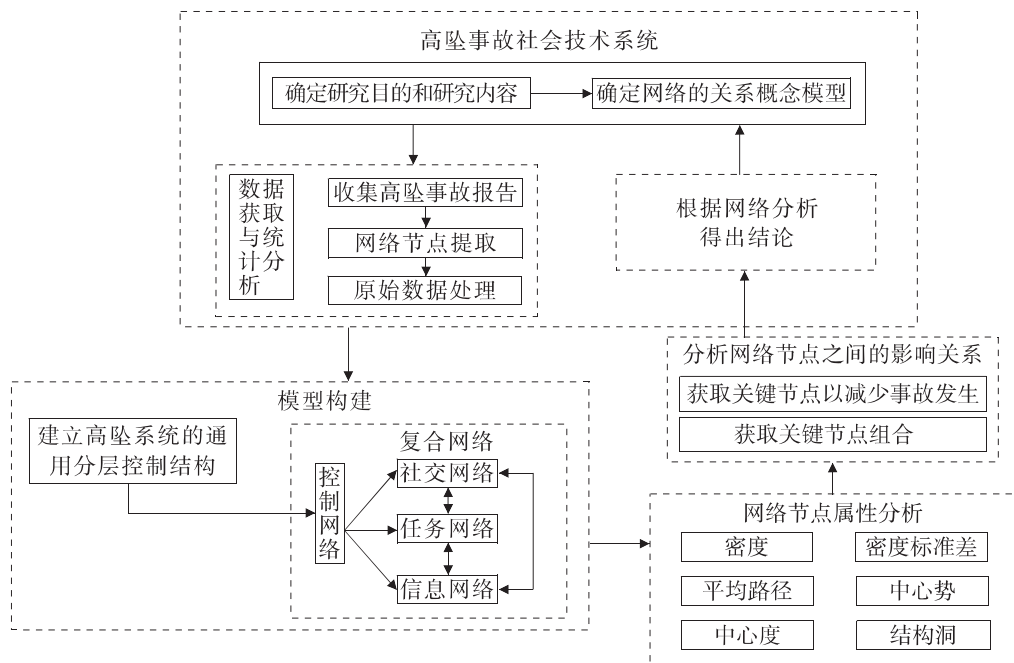


图 2 研究框架

Fig. 2 Research frame

2 网络维度与关系分析

2.1 网络维度划分

将高坠事故网络划分为社交网络、任务网络、信息网络和控制网络 4 个维度。其中,社交网络节点主要指建筑施工的各个参与主体,包括施工单位、施工人员、监理单位等,这些主体是系统任务的发出者,具有社会属性,其内部活动以及其他主体之间的沟通效果能在一定程度上对是否发生事故产生影响。任务网络节点主要指高处坠落系统中的参与主体需执行但却未执行到位的任

务,包括教育培训不足、未排查消除隐患、安全检查不到位等;信息网络节点表示高坠事故系统中施工主体使用(例如未佩戴安全物品、违反操作规程等)和传达(安全意识淡薄、违章行为等)的信息;控制网络节点由 STAMP 分层控制结构提取,由这些节点构成的控制网络表示系统的安全控制及其相互关系,如政府部门颁布的法律法规、技术规范等,控制节点控制社交节点、任务节点和信息节点。

2.2 社交网络节点及关系分析

社交网络节点的范围从基层(施工人员、现场管理人员)到管理层(建设单位、施工单位、监理单

位、总承包单位)再到政府层(政府机构,例如住建局、城乡规划局、国土资源局等),还包括系统中的其他主体,如材料供应商、设计单位等。研究社交网络是为了确定影响高坠事故发生的关键参与主体。社交网络中的主体对任务网络和信息网络有一定的影响,如施工单位对施工人员的教育培训不足会导致施工人员安全意识淡薄。社交主体之间也相互影响,如管理层会影响基层的任务执行。

2.3 任务网络节点及关系分析

任务网络节点是影响高坠事故发生的任务因素,它可以影响社交主体和信息因素,如教育培训不足会影响施工人员的作业方式,导致施工人员违反操作规程进行作业。同时,社交主体和信息因素通过影响任务因素进而影响高坠事故的发生,如监理单位和施工单位之间沟通不到位,两者之间的报告与反馈不及时会导致安全检查不到位。任务因素相互之间也有一定的影响,如未落实安全生产责任制易导致安全检查不到位。

2.4 信息网络节点及关系分析

高坠事故系统中信息网络的每个节点都是从事故报告中提取出来的,表示在高坠事故系统中使用和传达的信息因素。信息在时间或空间上与参与主体、任务或与两者都有关。通过分析信息网络,可以了解系统中的参与主体知道什么,以及如何与任务因素相联系,如施工人员违反操作规程反映了施工单位安全监管不到位。

2.5 控制网络节点及关系分析

控制节点对整个系统的参与主体施加约束,是系统中的控制因素。控制节点分布于社交主体、任务因素和信息因素的周围,其作用是限制这些网络内部及其之间的交互。例如建设单位(参与主体 A)和施工单位(参与主体 B)未落实安全生产责任制(任务 A),在这个过程中要使用未佩戴安全物品(信息 A)和违反操作规程(信息 B)等信息,而建设单位和施工单位在执行任务时又受法律法规(控件 A)、设计标准(控件 B)等控件的约束。

在整个系统中,准确表达不同维度网络之间的关系以及控件、任务、参与主体和信息之间的关系非常重要。据此,建立社交网络、任务网络、信息网络和控制网络之间的关系概念模型,如图3所示。

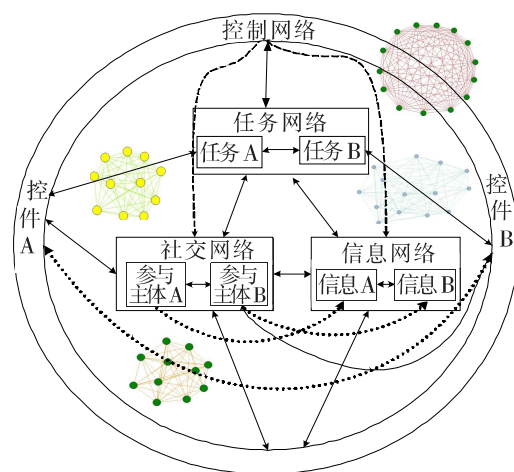


图3 不同网络之间的关系概念模型

Fig. 3 Conceptual model of relationships among different networks

3 高坠事故系统关系网络模型的建立

3.1 数据收集与处理

3.1.1 数据收集

本研究以高坠事故为研究对象,从国家住房和城乡建设部、国家应急管理部、全国各省市相关的行政管理部门网站搜集到了2013—2019年共218份高坠事故调查报告,挑选了详细阐述项目参与方信息、项目建设情况、事故发生经过、事故原因和事故责任划分的207份调查报告作为研究样本^[11]。

3.1.2 网络节点提取和数据处理

首先搜集并分析高坠事故的相关文献,列出文献中的事故影响因素和施工主体;然后从事故报告中提取涉及事故经过、直接原因、间接原因的文本内容;最后通过研究分析207份事故调查报告,阅读相关文献,确定了符合高坠事故网络的各个节点。将这些节点分类、归纳、合并得到高坠事故网络节点,如表1所示。将从207份事故报告中提取的节点归类为社交节点S、任务节点T、信息节点I、控制节点C,共计50个节点。构建关系矩阵,将行变量设置为高坠事故案例,列变量设置为网络节点,若事故 i 涉及节点 j ,则矩阵元素 M_{ij} 取值为1,否则取值为0。为深入分析各事故网络间的关联关系,进一步构建邻接矩阵 N ,设 M^T 为矩阵 M 的转置,则 $N=M^T M^{[12]}$ 。

Table 1 Network nodes of falling accidents

节点类别	节点集
社交节点 S	S1 建设单位, S2 设计单位, S3 施工单位, S4 监理单位, S5 总承包单位, S6 政府机构, S7 现场管理人员, S8 设备租赁单位, S9 设备安装单位, S10 材料供应商, S11 施工人员
任务节点 T	T1 未制定安全防护措施, T2 未落实安全生产责任制, T3 安全检查不到位, T4 教育培训不足, T5 未及时督促整改, T6 未排查消除隐患, T7 未验收工程, T8 技术交底不到位, T9 安全监管不到位, T10 未制定应急预案, T11 风险分析不到位
信息节点 I	I1 未佩戴安全物品, I2 安全意识淡薄, I3 危险因素, I4 违章行为, I5 未按施工方案施工, I6 未设置警示标志, I7 未按施工规范施工, I8 违反操作规程, I9 身体状态不佳, I10 违法分包, I11 违反建设程序, I12 施工环境差, I13 材料不合格, I14 报告与反馈不及时
控制节点 C	C1 操作资质, C2 施工资质, C3 审核与检查, C4 安全施工措施, C5 法律法规, C6 设计标准, C7 技术规范, C8 安全管理, C9 建设许可证, C10 指挥, C11 防护物品, C12 培训, C13 制止, C14 监督

结构,来描述系统参与者与组织之间的控制关系,从而找出控制因素,如图4所示。通用分层安全控制结构包含控制和受控组件之间的控制和反馈箭头,图4中的虚线表示不必强制执行的安全约束,它们仅代表咨询、协商的沟通渠道。

本研究通过在 EAST 框架中添加第四个“控制网络”使 EAST 和 STAMP 相结合,即利用 STAMP 安全控制原理,建立一个以 207 份高坠事故报告为基础的高坠事故系统通用分层安全控制

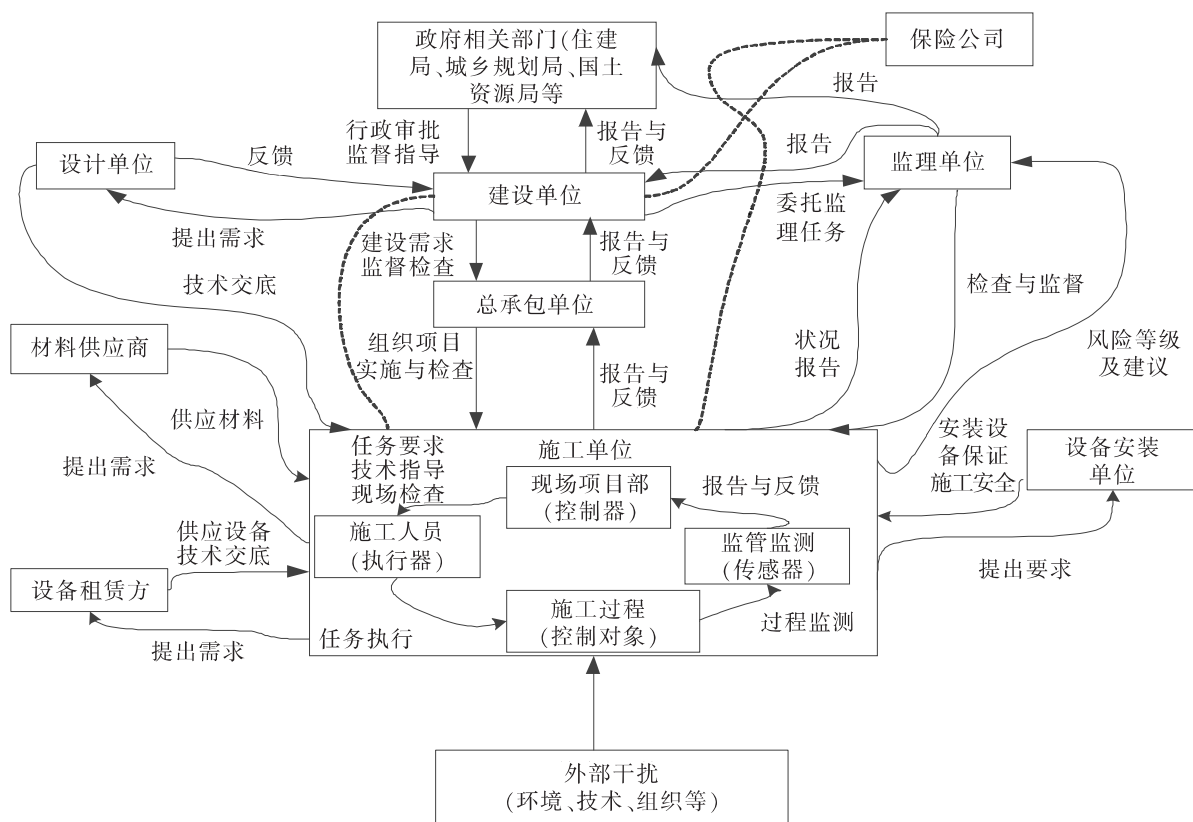


Fig. 4 General hierarchical safety control structure of falling accident system

图 5 和图 6 所示。在绘制复合网络图时,将连接范围设置为大于 2。有些节点不显示在网络图中,表明这些节点与复合网络中的其他节点连接很少,不是重要节点。各个节点间的连线表示共同

利用 NetDraw 软件对 207 份事故调查报告的 0-1 矩阵数据进行处理,将数据导入 UCINET 并处理为邻接矩阵,完成网络模型的构建,结果如

出现在同一事故中,线条越粗表示共同出现的频率越高,节点之间的联系越紧密。根据度数中心度确定节点大小,度数中心度越大,则节点尺寸越大,说明该节点在网络中处于越重要的地位^[13]。

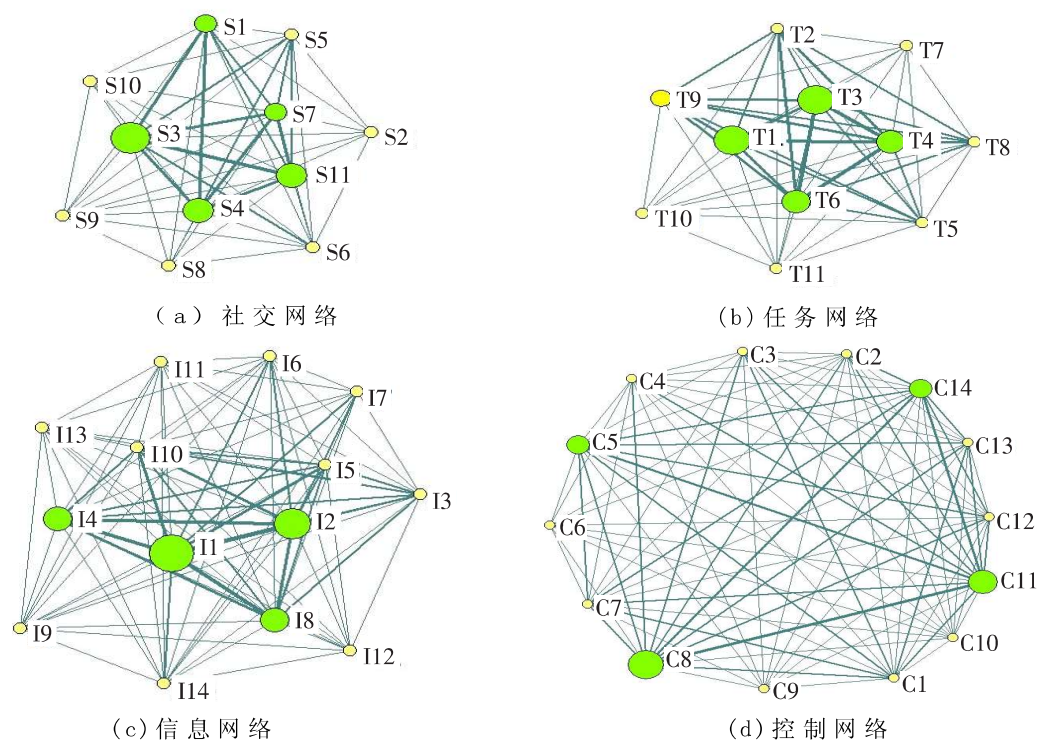


图5 不同维度子网络图

Fig. 5 Different dimension sub-network diagram

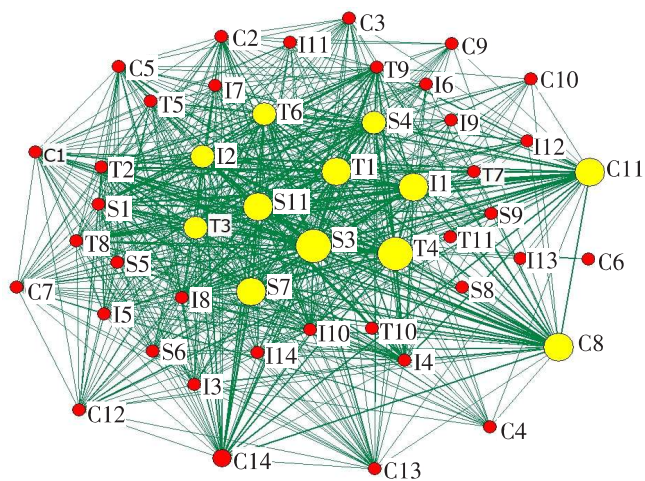


图6 复合网络

Fig. 6 Composite network

4 网络模型分析

4.1 整体网络结构分析

应用 UCINET 对整体网络结构的指标进行计算,采用整体网络密度、密度标准差、中心势和平均路径长度衡量整体网络结构^[14],计算结果见表2。

分析表2可知:①4个子网络的密度均大于0.5,说明子网络密度较高,表明这些网络节点之

由图5和图6可知,不同子网络及复合网络之间均存在某种联系。为进一步识别关键节点和各节点之间的作用关系,应用 UCINET 软件对网络图中的节点进行定量研究。

间的联系较紧密,网络间的传递速度和效率较高。特别是任务子网络密度为0.9091,说明任务因素在高坠事故中进行了广泛的交互。密度标准差的值比较大,说明网络中某些节点之间的影响强度较大,整个高坠事故系统的关系网络具有较高的风险,网络中的某些节点会导致其他节点产生组合节点。②子网络和复合网络的度数中心势较高,表明每个网络都具有围绕某个节点产生联系的趋势,即存在核心节点。因此,每个子网络自身的节点之间是有关联性的,同时复合网络的节点之间也存在着明显的联系。接近中心势较高,表明网络中的节点在发挥影响作用方面比较依赖其他节点。中间中心势较低,表明网络中存在某些起中介作用的核心节点。③平均路径长度反映了网络中的节点从发送信号到接收信号的速度,路径越短代表传输速度越快,效率越高^[15]。子网络和复合网络的平均路径长度都比较短,说明网络的传播效率较高,即网络中任何一个节点平均只需要通过不到两个节点就可以建立联系,进行信息交流,这表明节点之间信息传递速度较快。

表 2 整体网络结构指标的计算结果

Table 2 Index calculation results of the whole network structure

网络名称	网络密度	网络密度 标准差	度数中心 势/%	接近中心 势/%	中间中心 势/%	平均 路径长度
社交子网络	0.757 6	0.428 5	25.20	16.65	0.64	1.091
任务子网络	0.909 1	0.287 5	31.88	7.36	0.17	1.036
信息子网络	0.746 9	0.469 0	21.20	33.55	1.94	1.096
控制子网络	0.800 0	0.400 0	23.62	14.06	0.28	1.075
复合网络	0.746 9	0.434 8	23.50	21.10	0.20	1.130

4.2 关键节点挖掘

社交网络节点可理解为高处施工参与主体在网络中的位置;任务网络、信息网络和控制网络节点可理解为高坠事故影响因素在网络中的位置。通过节点中心度和结构洞指标,分析高坠事故影响因素和施工主体的位置角色,进而定位、挖掘网络中的关键节点,对有效预防高坠事故具有重要的意义^[16]。

4.2.1 中心度

中心度是网络中节点地位或网络权利的量化指标。由于中间中心度可衡量节点在网络中控制其他节点的能力,其作用与结构洞指标类似。本研究选取点度中心度和接近中心度两个指标进行分析^[17]。复合网络各节点的点度中心度和接近中心度的计算结果见表 3(取排名前 12 的网络节点)。

表 3 复合网络的中心度指标(前 12)

Table 3 Centrality indexes of the composite network (top 12)

因素编码	点度中心度	因素编码	接近中心度
S3	2 388	S3	56
T4	2 070	I2	56
S11	1 834	T9	56
I1	1 830	C11	56
C8	1 752	I9	56
T1	1 739	S7	56
T6	1 690	C7	56
C11	1 674	T2	56
S4	1 652	I1	56
S7	1 611	T4	56
I2	1 570	S1	56
T3	1 559	I4	56

由图 5 可以确定 T4 教育培训不足、T3 安全检查不到位、T6 未排查消除隐患、T1 未制定安全

防护措施、S3 施工单位、S11 施工人员、S4 监理单位、S7 现场管理人员、I1 未佩戴安全物品、I2 安全意识淡薄、C8 安全管理、C11 防护物品为子网络的核心节点,也就是高坠事故系统中的关键节点。这些节点不一定同时出现在同一个事故报告中,但能从不同角度反映出高坠事故的主要影响因素和关键主体。由表 3 可知:在复合网络中点度中心度较大的节点有 S3、T4、S11、I1、C8 等 12 个节点,其中社交主体有 4 个、任务因素有 4 个、信息因素有 2 个、控制因素有 2 个,该结果与子网络的中心性分析结果基本吻合。由图 6 可知:这 12 个节点之间的联系是相互的,且每个节点都与另外 11 个节点之间存在关联性。其中,S3 和 T4 的点度中心度最大,分别为 2 388 和 2 070,说明这两个节点在网络中的权力最大,与网络中多数节点之间存在信息交流,二者最容易与其他节点组合起来导致事故的发生,说明任务因素和社交主体在高坠事故中起着关键的作用。

接近中心度反映节点在网络中独立发挥作用的程度,其值越小的节点在网络中的独立性越强,在网络中处于核心位置。由表 3 可以看出:C7、T2、I1、T4 等前 12 个节点具有相同的接近中心度,是网络中独立性较强的节点。值得注意的是,在点度中心度排名前 12 的节点中有 6 个节点(S3、T4、I1、C8、C11、S7)的接近中心度排名在前 12,说明这 6 个节点在高坠事故网络中不仅具有较大的权利,而且不易受其他行动者的控制,独立性较强。因此,这些节点在日常施工中需要高度关注。

4.2.2 结构洞理论分析

社会网络理论通常把节点之间的非冗余联系定义为结构洞,处于结构洞位置的节点更容易控制、交换信息。结构洞包括 3 个衡量指标:有效规

模、效率度和限制度。计算网络节点的结构洞指标并进行排序,结果见表4。其中,有效规模较大的有S9、S6、I11、C2、S1等节点,且它们具有较高的效率度和较低的限制度,这充分说明了这些节点具有较强的独立性,不易受其他节点的影响。

表4 网络节点结构洞衡量指标(前8)

Table 4 Measurement indexes of network node structure hole (top 8)

衡量指标	S9	S6	I11	C2	S1	I5	I9	C8
有效规模	29.878	28.564	28.033	28.816	27.963	27.845	27.888	27.787
效率度	0.553	0.529	0.510	0.515	0.491	0.506	0.489	0.505
限制度	0.114	0.117	0.120	0.120	0.120	0.119	0.122	0.121

4.3 组合节点分析

从复合网络邻接矩阵中找到权重最大的“两节点组合”,当这些节点共同出现时应该提高警惕,及时采取措施预防事故发生。位于前4位的“两节点组合”的分析如下:

1) T4 教育培训不足和 S3 施工单位,涉及133起事故。对于从事危险性工作的人群,特别是从事高处施工这种施工环境要求高、难度大的工作,如果教育培训不足,会造成施工人员安全意识淡薄、违规违章作业,极易造成高坠事故的发生。可见,在平时的施工过程中施工单位若没有落实教育培训,更容易导致事故的发生。因此,在安全管理中应加强对员工的教育培训,加强对施工单位这方面的审查。

2) S11 施工人员和 S3 施工单位,涉及129起事故。施工人员的操作资格反映了施工单位的施工资质。从事故调查报告来看,施工资质不符合要求的单位更容易聘请没特种作业操作资格的人员进行特种作业,且通常忽视安全防护物品的发放。还有一些施工单位没有制定详细的施工方案便让施工人员施工,最终导致高坠事故的发生。施工人员和施工单位作为施工过程中的主体,应加强沟通与反馈,减少事故的发生。

3) I1 未佩戴安全物品和 S3 施工单位,涉及117起事故。安全物品包括安全带、安全帽等防坠物品,是高处施工的必需品。但是一些施工单位没有为施工人员配备这些安全物品,导致在没有任何防护的情况下发生高坠事故,最终造成人员伤亡和经济损失。

4) C8 安全管理和 S3 施工单位,涉及110起事故。对于建筑行业来说,安全是最需要考虑的

实际上 S6 为政府机构、S1 为建设单位、S9 为设备安装单位,三者与其他节点交流密切,能够跨越结构洞获取非冗余的信息资源,推动节点之间的信息交流。因此,在日常的安全管理中需要特别重视处于重要结构洞位置的关键节点。

问题。安全管理作为控制因素在整个高坠事故系统中起着十分重要的作用。通过对事故报告的分析可以看出,施工单位没有落实好安全管理更容易造成高坠事故的发生。因此,在日常的施工中加强安全管理可以明显降低事故发生的概率。

5 结论

1) 通过分析网络指标,发现高坠事故影响因素网络较紧密,因素之间的传播效率较高,即因素极易在高坠事故系统中传播。处于权力中心的关键节点有 S3 施工单位、T4 教育培训不足、S11 施工人员等,处于独立发挥影响作用的关键节点有 C7 技术规范、T2 未落实安全生产责任制、I1 未佩戴安全物品等,这些节点在日常施工中应引起足够的重视。

2) 施工单位 S3、教育培训不足 T4、施工人员 S11、未佩戴安全物品 I1 容易与其他节点组合共同导致事故的发生,具有较高的风险;其中教育培训不足 T4 和施工单位 S3 这一节点组合共同在133起事故中出现,是高坠事故中最典型的组合。

本研究提出的分析框架涵盖了高坠事故的影响因素以及施工主体,直观地表示出了各个子系统及整个系统之间的关系,利用定量指标找出高坠事故网络的关键节点及组合节点。未来的研究可以利用本研究的分析框架,断开控制节点与其他节点之间的链接,研究控制网络中的节点对网络模型弹性程度的影响。

〔参考文献〕

[1] 李珏,李世杰.基于文本挖掘的高处坠落事故致因及

- 关联规则分析[J]. 长沙理工大学学报:自然科学版, 2020,17(2):61-67,74.
- LI Jue, LI Shi-jie. Analysis of causes and association rules for falling accidents based on text mining method[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology: Natural Science, 2020,17(2):61-67,74.
- [2] Patriarca R, Bergstrom J, Di G G. Defining the functional resonance analysis space: combining abstraction hierarchy and FRAM[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2017,165(9):34-46.
- [3] Houghton R J, Baber C, Stanton N A, et al. Combining network analysis with cognitive work analysis: insights into social organisational and cooperation analysis[J]. Ergonomics, 2015,58(3):434-449.
- [4] Salmon P M, Read G J, Walker G H, et al. STAMP goes EAST: integrating systems ergonomics methods for the analysis of railway level crossing safety management[J]. Safety Science, 2018,110:31-46.
- [5] Romanas P, Lin L, Victor B, et al. Unravelling causal factors of maritime incidents and accidents[J]. Safety Science, 2018,110:124-141.
- [6] Salmon P M, Michael G, et al. Using the event analysis of systemic teamwork to explore conflicts between different road user groups when making right hand turns at urban intersections[J]. Ergonomics, 2014,57(11):1 628-1 642.
- [7] Griffin T G, Young M S, Stanton N A. Investigating accident causation through information network modelling[J]. Ergonomics, 2010,53(2):198-210.
- [8] Stanton N A, Harvey C. Beyond human error taxonomies in assessment of risk in sociotechnical systems: a new paradigm with the EAST broken-links approach[J]. Ergonomics, 2016,60(2):221-233.
- [9] 黄萍,程希伦. 基于 STAMP 模型的高校实验室安全教育工作探讨[J]. 安全与环境工程, 2019,26(2):135-139.
- HUANG Ping, CHENG Xi-lun. University laboratory safety education based on STAMP model[J]. Safety and Environmental Engineering, 2019,26(2):135-139.
- [10] 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.
- LI Hua, JIN Meng, ZHONG Xin-run. Research on quantitative analysis method for causal factors of construction accidents based on STAMP model[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020,16(4):169-175.
- [11] 肖向良. 电动自行车道路交通事故严重性影响因素分析[J]. 公路与汽运, 2020(6):32-36.
- XIAO Xiang-liang. Analysis on the influencing factors of the severity of electric bicycle road traffic safety accidents [J]. Highways & Automotive Applications, 2020(6):32-36.
- [12] 宋英华,田丽,吕伟,等. 基于 SNA 的重特大道路交通事故风险指标体系构建[J]. 中国安全生产科学技术, 2019,15(6):151-156.
- SONG Ying-hua, TIAN Li, LYU Wei, et al. Establishment of risk index system for major road traffic accidents based on SNA[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019,15(6):151-156.
- [13] 李珏,王幼芳. 基于文本挖掘的建筑施工高坠事故致因网络分析[J]. 安全与环境学报, 2020,20(4):1 284-1 290.
- LI Jue, WANG You-fang. A causation network analysis of construction falling accidents based on text mining[J]. Journal of Safety and Environment, 2020,20(4):1 284-1 290.
- [14] 崔杨,曾俊伟,钱勇生,等. 基于复杂网络的西部地区公路网可靠性研究[J]. 公路工程, 2018,43(3):46-51.
- CUI Yang, ZENG Jun-wei, QIAN Yong-sheng, et al. Reliability research of highway network in north-west china based on complex network theory[J]. Highway Engineering, 2018,43(3):46-51.
- [15] 王丹,关莹,贾倩. 基于社会网络分析的建筑工人不安全行为传播路径研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2018,14(9):180-186.
- WANG Dan, GUAN Ying, JIA Qian. Research on propagation path of construction workers' unsafe behavior based on social network analysis[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018,14(9):180-186.
- [16] 裴玉龙,巴俊颖. 城市交通结构演变关键影响因素筛选[J]. 交通科学与工程, 2017,33(1):66-71.
- PEI Yu-long, BA Jun-ying. Selection of the key influencing factors of urban traffic structure evolution [J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2017,33(1):66-71.
- [17] 洪小娟,姜楠,夏进进. 基于社会网络分析的网络谣言研究:以食品安全微博谣言为例[J]. 情报杂志, 2014,33(8):161-167.
- HONG Xiao-juan, JIANG Nan, XIA Jin-jin. Study on micro-blog rumor based on social network analysis: a case study on the micro-blog about food security[J]. Journal of Information, 2014,33(8):161-167.