



基于改进 OATA 的物体打击事故致因-责任人关联分析

李珏*, 武诗怡

长沙理工大学 交通运输工程学院, 长沙 410114

摘要: 文本选取建筑行业 125 例物体打击事故调查报告, 利用文本挖掘技术从中提取出 28 项事故致因, 并融合词频-逆文档频率算法 (TF-IDF) 和 TextRank 算法计算出每个致因的权重值。依据相关规定归类出 15 类事故责任人, 并利用社会网络分析方法构建责任人关系网络, 进而构建了职业事故树, 分析了事故致因与责任人之间的关联。结果表明: 事故相关施工人员普遍存在安全意识淡薄、违规操作、防护用品佩戴不到位和物体乱放的问题; 事故现场管理人员普遍存在现场管理不到位、监督检查不到位、隐患整改不力和安全教育培训不到位的问题。其中, 项目负责人的总体事故责任承担率最高; 企业管理人员需要重视人员配备和应急管理方面的工作; 政府部门人员需要加强对施工单位的监督和管理。通过挖掘事故责任人和致因之间的关联, 既可以让各类责任人明晰自己的责任, 也有助于决策者制定更精准的预防措施, 并将措施的执行落实到个人, 提高措施的执行效率。

关键词: 物体打击事故; 社会网络分析; 职业事故树分析 (OATA); 词频-逆文档频率; TextRank 算法

中图分类号: X947

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2025)03-0364-14

引言

建筑业是推动我国经济发展的重要力量^[1], 但同时, 因为建筑工程施工具有作业环境多变、人员流动性大、交叉作业多等特点, 事故发生率总体较高^{[2][17]},

严重威胁施工现场及周边人员的生命财产安全。其中, 物体打击伤害是施工安全事故中常见的“五大伤害”之一^[3], 是失控物体在惯性或重力等其他外力的作用下造成人身伤亡的事故, 它所引发的风险具有突发性、难以预料性的特点, 一旦发生就会造成人员伤

收稿日期: 2024-02-28; **修回日期:** 2024-03-26

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2021JJ30744); 湖南省教育厅科研项目(20K011)

作者简介: *李珏 (1978—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为项目管理、数据挖掘及应用等。E-mail: lij93@csust.edu.cn (通讯作者)
武诗怡 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为工程项目管理。

引用格式: 李珏, 武诗怡. 基于改进 OATA 的物体打击事故致因-责任人关联分析[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2025, 17(3): 364-377. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240016. CSTR: 32282.14.JES.20240016

Li J, Wu S Y. “Cause-Responsible Person” Correlation Analysis of Struck-by Accidents Based on Improved Occupational Accidents Tree Analysis[J]. Journal of Engineering Studies, 2025, 17(3): 364-377. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240016. CSTR: 32282.14.JES.20240016

亡。因此,需要对物体打击事故进行深入分析,探索它的发生机理,制定针对性的预防措施来保护施工人员的生命财产安全。

为对物体打击事故进行有效预防和控制,国内外学者对此展开了一系列研究。郑霞忠等^[4]结合解释结构模型和实验室决策评价法,分析事故致因间的相互关系,找出其中的关键致因;田水承等^[5]统计分析了物体打击事故起数以及各类不安全行为数量,并结合 Monte Carlo 法建立建筑工人不安全行为风险评估模型;Wu 等^[6]构建了综合信息管理模型,统计分析了物体打击事故基本情况,实现了主动预防物体打击事故的目的;Guo 等^[7]通过贝叶斯网络分析物体打击事故的不安全行为链,识别出关键的不安全行为。但上述研究是从仅提取事故致因到事故致因之间的关联分析,再到事故致因与其他因素的关联分析,没有将事故致因落实到每个责任方。分析事故致因的根本目标在于识别有效的预防措施,以降低事故发生的可能性。但有效的预防并不意味着所有责任方执行相同的任务,由于不同个体和团队的职责以及他们与事故发生的具体关联各不相同,采取统一的安排反而可能效果不佳。通过将事故致因与责任方之间的关系进行细致分析,不仅充分考虑了各责任方的特定职责,还考虑到他们与事故发生的直接联系,确保事故预防措施的针对性和实施效率,从而显著提升事故整改与预防工作的成效。

为了更好地将事故致因落实到每个责任方,需要深入分析事故致因与责任方之间的关联,提高事故责任方的风险认知水平,国内外学者对此展开了一系列研究。Jabbari 等^[8]通过专家打分法确定风险因素权重值,再运用职业事故树分析(occupational accident tree analysis, OATA)技术和职业事故成分分析技术建立事故致因与责任方之间的关联,确定事故责任方的责任承担率。李珏等^[9]构建了高坠事故系统的社交网络、任务网络和信息网络,并分析了不同网络之间的关联关系。许璨等^[10]利用社会网络分析技术得到大型工程项目中风险因素和利益相关者之间的关系。上述研究的责任方多为责任单位,对于具体责任人,如项目负责人等的研究较少,目前的研究多聚焦于责

任单位层面,而对具体责任个体,如关于项目负责人等的研究相对缺乏。这种做法在责任单位内部可能导致责任的模糊感,个别成员可能会认为事故与个人无关,从而忽略个人的责任。此外,如果预防和整改任务沿着企业内部组织结构一层层自上而下地安排,可能会延长整改周期并降低整改效率。所以将责任方从责任单位细化到责任人有利于减少信息传递的步骤,实现从“人找致因”到“致因找人”的转变,针对性地识别并强化个体责任,同时也能制定出更精准的事故预防策略。从研究方法来看,国外的研究依赖于专家打分法,主观性较强;国内的研究只是运用数据挖掘技术构建两者之间的联系,没有进行事故责任人责任承担率的分析。因此,可以将国内外的研究内容与研究方法相结合,进而全面分析事故致因与事故责任人之间的关联。

在上述背景下,本文提出了基于数据挖掘的改进职业事故树分析方法,以2018—2023年125份建筑施工物体打击事故调查报告作为语料库,通过关键词提取算法计算出事故致因的权重值,再依据事故报告和相关规定提取出具体责任人信息,最后,运用改进方法分析关键致因与责任人之间的关联,得到各类责任人的具体责任和总体事故责任承担率。该方法拓宽了职业事故树分析方法的应用场景,而且能够从致因的角度分析责任人的责任承担,为制定针对性物体打击事故预防措施提供了新的思路与方法。

1 研究方法

1.1 语料库数据来源

我国建筑施工安全事故调查报告包括事故发生单位概况、事故发生经过、救援情况、造成的人员伤亡和直接经济损失、事故发生的原因和事故性质、事故责任的认定和对事故责任者的处理建议、事故防范以及整改措施^[11],为研究者对事故进行分析提供了可靠的数据来源。本文从国家、省市自治区等各级住房和城乡建设部门、人民政府、应急管理部门以及安全管理网站上收集了我国2018—2023年125份物体打击事故调查报告,具体来源如表1所示,事故报告覆盖

表1 事故报告来源

Table 1 The source of the accident reports

来源	网址
安全管理网	https://www.safehoo.com/Case/
中华人民共和国住房和城乡建设厅	https://www.mohurd.gov.cn/
北京市应急管理局	https://yjglj.beijing.gov.cn/col/col2462/index.html
张家港市人民政府	https://www.zjg.gov.cn/
谯城区应急管理局	https://www.bzqc.gov.cn/
上海市应急管理局	https://yjglj.sh.gov.cn/
深圳市龙华区人民政府	https://search.gd.gov.cn/
广东省住房和城乡建设厅	https://zfcxjst.gd.gov.cn/
南昌市西湖区人民政府	https://xhq.nc.gov.cn/xhqrmzf/
广西壮族自治区住房和城乡建设厅	http://zjt.gxzf.gov.cn/
文山市人民政府	https://www.ynwss.gov.cn/
张家口市人民政府	https://www.zjk.gov.cn/
盐城市亭湖区人民政府	https://www.tinghu.gov.cn/
丹阳市应急管理局	https://www.danyang.gov.cn/dyyjglj/sgxx/
润州区人民政府	https://www.runzhou.gov.cn/runzhou/yjgl/
漳州市华安县人民政府	http://www.huaan.gov.cn/
苍南县人民政府	https://www.cncn.gov.cn/
莲都区人民政府	https://www.liandu.gov.cn/
山东省应急管理厅	http://yj.t.shandong.gov.cn/
苍溪县人民政府	https://www.cncx.gov.cn/
安徽省住房和城乡建设厅	http://dohurd.ah.gov.cn/
天津市武清区应急管理局	https://www.tjwq.gov.cn/zwgk/zfxgk/
重庆市南川区应急管理局	http://www.cqnc.gov.cn/
金昌市应急管理局	https://yjgl.jcs.gov.cn/zwgk/
湘潭市应急管理局	http://yjj.xiangtan.gov.cn/
东胜区人民政府	https://www.ds.gov.cn/
通城县政府网	http://www.zgtc.gov.cn/

了19个省份,可确保后续研究的客观性。

1.2 关键词提取算法

关键词提取算法可以帮助安全管理者和决策者从大量的文本数据中提取出重要的信息,TF-IDF和

TextRank是其中两种常用的方法。TF-IDF算法计算简单,易于实现,不需要复杂的数学模型和参数调整,考虑了词频信息,能够反映词语在文本中的重要程度。但该算法只考虑词频信息,忽略了词语之间的上下文逻辑联系和语义联系,容易产生误提取^[12]。TextRank算法能够考虑词语之间的上下文关系和语义联系,具有很好的可扩展性,可以处理大规模数据集。但该算法主要基于词语的共现关系进行信息抽取,这可能导致其忽略了词语在文档中的重要性。同时易受到参数的影响,如窗口大小、相似度阈值等,需要根据具体情况进行调整^[13]。所以本文将TF-IDF算法和TextRank算法进行融合,实现优势互补,既考虑了词频信息,也考虑了上下文逻辑联系,从而更全面地评估词语的重要性^[14]。

1.2.1 TF-IDF 算法 TF-IDF算法^[15]是一种用于表示单词重要性的技术。它通过统计单词在文档中的出现次数和逆文档频率,计算单词的TF-IDF值,该值越大,单词在目标文档中的重要性就越高,反之亦然,具体计算公式^[16]如式(1)所示。

$$D_i = \frac{a_{ij}}{A_j} \times \lg \left(\frac{N}{n_i + 1} \right) \quad (1)$$

式中, D_i 为词条*i*词频-逆文档频率权值; a_{ij} 为词条*i*在文档*j*中出现的次数; A_j 为文档*j*中所有词条的数量; N 是文档的总数; n_i 表示包含了特征词的文档总数。

1.2.2 TextRank 算法 TextRank算法^[17]是一种基于图的排序算法,它利用文本中词语之间的共现信息来计算词语的重要性,从而抽取文本中的关键信息,TextRank算法的原理如式(2)所示^[18]。

$$S_{V_i} = (1 - d) + d \sum_{V_j \in I_{V_i}} \frac{w_{ji}}{\sum_{V_k \in O_{V_j}} w_{jk}} S_{V_j} \quad (2)$$

式中, S_{V_i} 为节点*V_i*的权重; w_{ji} 为图中节点*V_j*到*V_i*的边的权值; d 为阻尼系数,指从当前节点到其他任意节点的可能性,一般为0.85; I_{V_i} 为指向节点*V_i*的所有节点的集合; O_{V_j} 为节点从节点*V_j*出发指向其他节点的集合; S_{V_j} 表示节点*V_j*的最终权重排序。

1.2.3 融合算法 本文通过融合 TF-IDF 和 TextRank 两种关键词提取算法来计算致因的权重值, 使结果更具有全面性和准确性。具体原理^[19]如式 (3) 所示。

$$p_i = \eta D_i + (1 - \eta) S_i \tag{3}$$

式中, p_i 为词条 i 的综合权值; D_i 为 TF-IDF 算法得到的词条 i 的权值; S_i 为 TextRank 算法得到的词条 i 的权值; η 为融合系数, 取 0.5。

1.3 社会网络分析

社会网络分析是研究行动参与者及其相互关系的方法, 行动参与者为个体、群体、组织等社会单元。社会网络由节点与关系构成, 节点为行动参与者在网络中所处的位置, 关系则为一对节点之间的所有联系的总称^[20]。中心性是社会网络分析的重要指标, 它可以衡量一个节点在这个网络中是否占据重要性地位, 常见的中心性指标包括度数中心度、接近中心度、中间中心度和特征向量中心度等^[21]。

1.4 改进职业事故树分析

职业事故树分析 (OATA) 最初是由 Jabbari 和 Ghorbani^[8]¹⁰³ 于 2016 年提出的, 示意图如图 1 所示。该方法是由两棵互补的树组成, 分别是职业事故责任树 (occupational accidents responsibility tree, OART) 和职业事故原因树 (occupational accidents causes tree, OACT)。OART 树用来确定责任人, OACT 树用来确定事故致因及其权重值, 通过连接两棵树的分

支将每个事故致因与事故责任人进行匹配, 传递事故致因的权重值, 从而确定每类责任人的具体责任和总体事故责任承担率。但传统的职业事故树分析法并未考虑事故致因与责任人之间关联关系的权重值, 所以为了使结果更准确, 本文改进传统的职业事故树分析技术, 基于致因-责任人共现矩阵, 将责任人与事故致因之间的关联进行量化, 再沿着每一根树枝, 将事故致因的权重值与两者之间的关联量化值相乘^[9,11], 从而得到最终的事故责任人总体事故责任承担率, 示意图如图 2 所示, 图中红色虚线的方框是做出改进的地方。

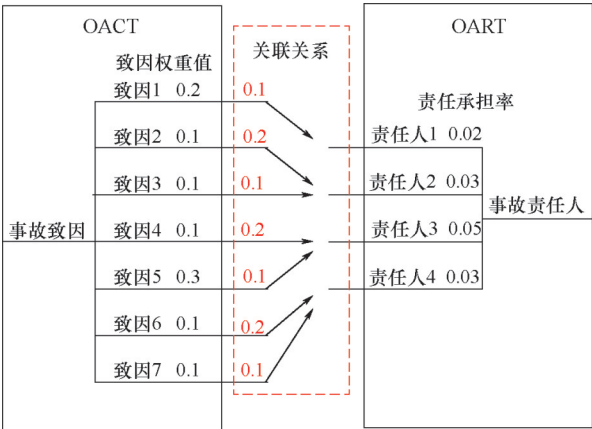


图2 改进职业事故树分析
Figure 2 Improved occupational accidents tree analysis

2 结果分析

2.1 关键致因提取与分析

本文使用 R 语言和 python 进行文本挖掘。首先, 为了使分析结果更加准确, 抽取事故报告中“事故原因”“责任认定”两部分内容来构建文本语料库^[22], 然后再进行分词处理。分词包括去除停用词、合并同义词和识别专有名词^[23], 例如去除“事故原因”“事故性质”和“发生经过”等干扰词, 将“安全检查制度不健全”“安全管理制度不健全”“未建立健全安全管理制度”等表述归并处理为“安全生产规章制度不健全”, 识别出“混凝土工”“安全意识淡薄”和“技术负责人”等专有名词, 最后通过阅读建筑施工事故领域相关文献^[2]¹⁸、^[24-25]以及原始事故报告, 从原始特

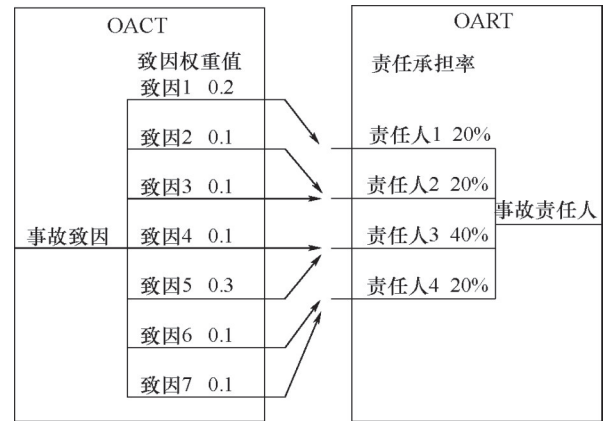


图1 职业事故树分析^[8]¹⁰⁶
Figure 1 Occupational accidents tree analysis^[8]¹⁰⁶

征项中提取出28个事故致因, 并通过TextRank和TF-IDF的融合算法计算出28个致因的权重值, 如表2所示。

由表2可知, 提取的28个关键致因主要涉及“人、物、环、管”4个方面, 其中管理因素有“监督检查不到位”“隐患整改不力”等12个, 是“人、物、环、管”中致因数量最多的一类, 物的因素有6类, 环境因素有1类, 人为因素有9类, 同时根据表1中致因权重值的排名可以看到, 权重值排名前10的致因中管理因素5类, 人为因素3类, 物的因素有2类, 权重值排名前3的分别是“监督检查不到位”“违规操作”和“隐患整改不力”, 其中两类是管理因素, 一类是人为因素, 所以综合各致因类别的数量和权重值来看, 管理因素是物体打击事故中最主要的致因类别。其次是人为因素, 人为因素中, “违规操作”权重值最大, 具体有违规吊装作业、违规拆除作业、违规切割等, 说明工人在施工过程中应遵守规章制度放在首位。管理因素中, “监督检查不到位”权重值最大, 具体包括未及时发现并纠正工人危险行为、安全巡查流于形式等, 说明管理人员的失职可能间接导致工人的违规操作。物的因素中, “物体失稳”的权重值最大, 具体包括物料固定不牢、物件堆放不当等, 说明在施工过程中要注意材料、工具等物体的管理。而环境因素是“人、物、环、管”中占比最少的, 主要是风的影响, 所以在大风天时不要在露天活动。

表2 事故致因权重值

Table 2 Weight value of accident responsible person

致因项	权重值	致因项	权重值	致因项	权重值
监督检查不到位	0.07478	安全生产规章制度不健全	0.03677	技术交底不到位	0.02417
违规操作	0.07366	防护设施缺失或有缺陷	0.03481	进入危险区域	0.02168
隐患整改不力	0.07017	危险辨识能力差	0.03273	应急救援工作不到位	0.01985
安全教育培训不到位	0.06793	缺少沟通	0.03091	不在施工时间施工	0.01961
现场管理不到位	0.06004	设备故障	0.02828	工人技能水平低	0.01899
安全意识淡薄	0.05064	安全配件失效	0.02677	恶劣天气	0.01849
未编制专项施工方案/编制不合理	0.04483	安全验收不到位	0.02670	超过承载能力	0.01261
物体失稳	0.04190	违法承包包	0.02629	非法生产特种设备	0.00711
防护用品缺失或有缺陷	0.04185	未设置安全标志	0.02608		
缺少资质	0.03693	人员配备不合理	0.02543		

2.2 事故责任人信息提取与分析

2.2.1 事故责任人信息提取 本文依据《住房和城乡建设部办公厅关于开展施工现场技能工人配备标准制定工作的通知》^[26]、《住房城乡建设行业工种目录》^[27]、各省市建设工程关键岗位人员配备管理办法^[28-29]、《公司法》^[30]以及建筑施工领域相关文献^[31-33]将物体打击事故涉及的责任人分为15类, 分别是普工、施工员、一般技术工人、特种作业人员、企业负责人、企业各部门主管、政府部门人员、监理员、项目负责人、项目技术负责人、机械员、安全员、总监理工程师、总监理工程师代表、其他管理人员, 信息提取结果如表3所示。

2.2.2 事故责任人关联分析 提取责任人信息后, 构建责任人字典, 进行同义词合并, 然后生成责任人的共现矩阵, 如表4所示, 频率统计结果如图3所示。结合共现矩阵和频率统计结果可知, 在事故报告中, 项目负责人作为责任人的频率远高于其他类别人员, 且与企业负责人、总监理工程师、一般技术工人、安全员、特种作业人员和监理员6类人员关联性较强, 是强关联人员数量最多的类别, 揭示了项目负责人在建筑安全管理方面的重要地位。而项目技术负责人、机械员、总监理工程师代表和其他管理人员作为责任人的频率是较低的, 所以与其他人员的共现次数也很低, 结合事故报告分析可知, 项目技术负责人主要负责项目的技术管理, 技术负责人作为责任人的次数少说明施工项目中较少出现技术管理上的问题; 机械员

表3 事故责任人提取结果

Table 3 The results of accident f responsible people

责任人名称	包含词条	责任人名称	包含词条
普工	杂工、辅助工、普工	项目负责人	工程负责人、施工负责人
施工员	施工员、工长	项目技术负责人	技术负责人
一般技术工人	砌筑工、钢筋工、模板工	机械员	维保负责人
特种作业人员	司索工、架子工、塔吊司机	安全员	专职安全员、安全员
企业负责人	总经理、董事长、法定代表人	总监理工程师	总监工程师、总监理师
企业各部门主管	生产部经理、生产部部长	总监理工程师代表	总监理代表、总监代表
政府部门人员	监管局负责人、监管局党组成员	其他管理人员	现场管理员、业务员、联络员
监理员	工程监理员、监理人员		

主要负责现场机械设备的管理、使用、维护和保养，而由于机械故障造成的事故不占少数，所以机械员作为责任人的次数少可能是因为没有安排专业的机械员，或有其他人员代为履行机械员的职责但未落实责任；一般施工项目都会配备总监理工程师，这可能是总监理工程师代表作为责任人次数少的原因；其他管理人员主要包括现场非关键岗位的管理人员，如业务员和联络员等，他们作为责任人的次数少也说明他们对物体打击事故的发生影响较低。

仅根据共现矩阵对责任人的关联关系进行分析是不够全面的，所以在共现矩阵的基础上进行社会网络分析，挖掘责任人之间深层次的关联^[34]。将责任人共现矩阵输入到UCINET软件中进行网络分析，中心性分析结果如表5所示，再输入到GEPHI软件中实现责任人关系网络的可视化，如图4所示。

图3中节点大小是由节点的度数中心度决定的，责任人之间的边表示两个责任人同时出现在同一个事故报告的责任认定部分，也意味着两个责任人共同负

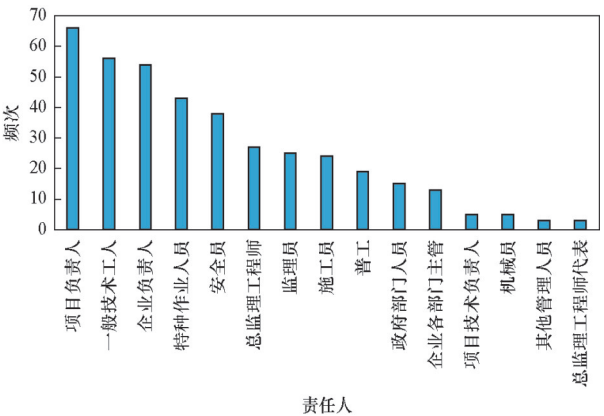


图3 事故责任人频率图
Figure 3 Frequency diagram of accident responsible person

责同一事故，边权依据共现次数来计算，也就是说负责同一事故的频次，边权越大，线条越粗。

通过UCINET软件计算得到责任人关系网络的整体密度为0.89，大于0.5，说明网络具有较高的凝聚性，责任人之间有着显著的相互影响关系。

度数中心度分为绝对度数中心度和相对度数中心

表4 事故责任人共现矩阵（部分）

Table 4 Co-occurrence matrix of accident responsible person (part)

责任人名称	项目负责人	项目技术负责人	机械员	施工员	普工	一般技术工人	安全员
项目负责人	0	5	2	18	7	28	28
项目技术负责人	5	0	1	1	1	2	5
机械员	2	1	0	1	1	2	1
施工员	18	1	1	0	3	13	13
普工	7	1	1	3	0	3	5
一般技术工人	28	2	2	13	3	0	18
安全员	28	5	1	13	5	18	0

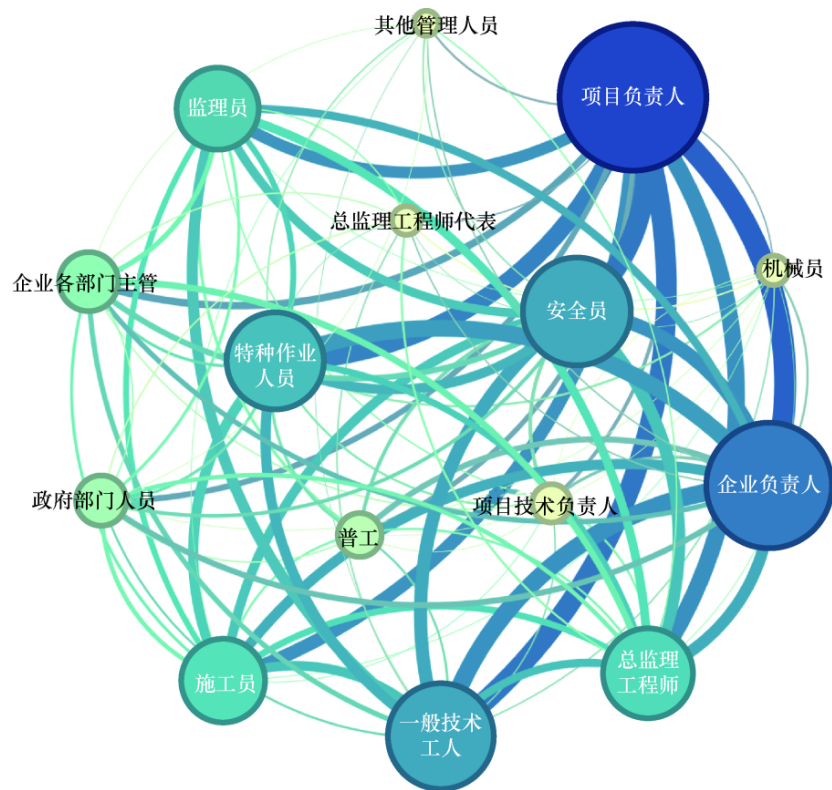


图4 责任人关系网络
Figure 4 Responsible person relationship network

表5 责任关系网络中心度测量结果
Table 5 Measurement results of the centrality of the responsible person relationship network

责任人名称	度数中心度	中间中心度	接近中心度
项目负责人	204	1.335	100.00
项目技术负责人	29	0.210	82.35
机械员	19	0.454	87.50
施工员	105	0.844	93.33
普工	41	0.100	82.35
一般技术工人	143	1.335	100.00
安全员	147	1.335	100.00
监理员	102	0.664	93.33
特种作业人员	126	1.335	100.00
企业负责人	171	1.335	100.00
企业各部门主管	63	0.729	87.50
其他管理人员	15	0.000	73.68
政府部门人员	52	0.976	93.33
总监理工程师	124	1.335	100.00
总监理工程师代表	19	0.100	77.78

度两种^[35], 因为绝对度数中心度能够直观地展示节点在整体网络中的重要程度, 有利于找出网络中的关键节点, 所以选用绝对度数中心度。由表5可知, 度数中心度大于120的责任人分别是项目负责人、企业负责人、特种作业人员、安全员和一般技术工人5类人员, 说明他们在网络中重要性很高, 与分析频率值得出的结果一致。企业负责人是企业安全生产的第一责任人, 项目负责人是项目安全生产的第一责任人, 所以在进行事故责任认定时企业负责人和项目负责人均应承担相应的责任; 安全员主要负责现场安全管理工作, 他们工作的执行情况也直接与事故的发生相关; 物体坠落的直接原因往往是危险行为, 而特种作业人员和一般技术工人就是这些行为的主体。综上所述, 这5类人员在事故报告中出现的次数较多, 与其他责任人同时出现的次数就较多, 那么度数中心性也就更大。

接近中心度反映网络中不同责任人之间的接近程度, 距离越短, 其值越大, 节点责任人与其他责任人

的关系就越密切。总监理工程师、安全员、一般技术工人、企业负责人、特种作业人员、项目负责人6类人员的接近中心度值并列第一, 对于企业负责人和项目负责人, 他们均负责施工项目的整体管理, 如果其下属未将施工过程中出现的问题及时上报, 将会导致他们做出错误的领导行为; 对于一般技术工人和特种作业人员, 如果施工现场安全管理混乱, 监管人员未及时发现安全隐患或未及时制止其危险行为, 将直接导致事故的发生。

中间中心度反映了节点责任人对其他责任人的影响水平, 总监理工程师、安全员、一般技术工人、企业负责人、特种作业人员、项目负责人6类人员的中间中心度值并列第一, 说明这6类人员在建筑施工项目中对施工现场的其他工作人员有较强的影响作用, 是他们所在项目中其他责任人联系起来的“桥梁”, 若能够对他们加强管理, 督促其履行好职责, 便可以控制他们所在项目中风险的进一步传播, 以此降低事故的发生概率。如项目负责人严格执行施工现场的安全管理制度, 落实好安全教育工作, 即可增强工人的安全意识, 进而避免工人违规操作、未佩戴安全帽等情况出现。

综合责任人关系网络的中心性分析可知, 总监理工程师、安全员、一般技术工人、企业负责人、特种作业人员、项目负责人6类人员处于网络的核心位置。

2.3 事故致因与责任人关联分析

在事故报告中, 一个事故致因是对应多个责任人

的, 例如施工人员、项目负责人和监理人员等可以同时负有安全意识淡薄的责任, 而一个责任人也会承担多项致因, 深入挖掘事故致因与事故责任人之间的关系有利于事故的整改和预防措施落实到个人, 提高措施的执行效率。

2.3.1 职业事故树构建 首先, 需要生成事故致因-责任人的共现矩阵, 作为职业事故树的输入。将事故责任人和事故致因在所收集案例中共同出现的次数作为他们关系的度量, 生成事故责任人与事故致因之间的共现矩阵, 将其中的数值作为两者之间的关联度, 共现矩阵如表6所示。

将事故致因-责任人矩阵进行归一化处理, 在此基础上分别构建职业事故责任树和职业事故原因树, 再将事故致因的权重值与致因和责任人之关联度相乘, 从而得到特定类别的责任人在建筑物体打击事故中的总体事故责任承担率。现以安全员为例, 构建它的职业事故树。

由图5可知, 在所研究的事故报告中安全员需要承担的责任, 涉及管理问题的有8种, 人为因素有4种, 物的因素有4种。其中现场管理不到位、监督检查不到位、隐患整改不力、危险辨识能力差和缺少资质5类责任是出现次数较多的。安全员应取得专职安全员安全生产考核合格证, 主要职责包括对施工现场进行检查, 及时制止违章指挥、违章操作行为, 及时发现、纠正、督促整改安全事故隐患, 并报告项目负责人, 定期查验特种作业人员持有效证件上岗情况和人员、证件与单位相符情况。结合事故报告可以看出, 安全员并未很好履行这部分职责, 有的安全员并未取得相应资格证书, 所以专业能力水平较差, 未及时发现并上报施工现场安全防护装置存在的安全隐

表6 致因—责任人共现矩阵 (部分)
Table 6 Reason-responsibility co-occurrence matrix (part)

事故致因	项目负责人	机械员	施工员	普工	一般技术工人	安全员	监理员
安全生产规章制度不健全	21	0	0	0	0	0	0
现场管理不到位	44	0	6	0	0	17	10
监督检查不到位	56	0	18	0	0	32	16
未设置安全标志	8	0	4	0	0	8	8
进入危险区域	0	0	0	6	0	0	0
设备故障	4	5	0	0	0	4	0
物体失稳	4	0	6	16	30	4	6

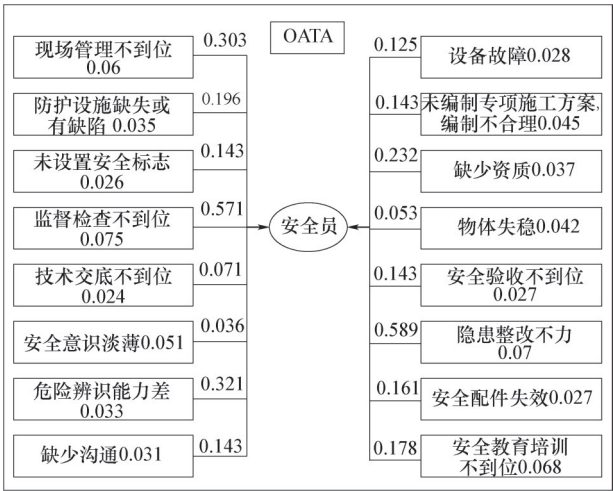


图5 安全员职业事故树
Figure 5 Safety officer occupational accidents tree

患, 安全检查流于形式, 安全验收不到位, 同时, 也未落实好查验特种作业人员资格证书的职责, 致使一些特种作业人员无证上岗, 违规操作, 从而引发事故。所以, 安全员在工作的过程中应多注意这 16 种问题, 严格落实施工全过程的安全控制, 认真完成施工现场的安全检查工作, 更好地预防事故的发生。

图 5 中每个方框内数值是责任人所承担致因的权重值, 横线上是该致因与责任人关联关系的量化值, 将图中 16 项事故致因权重值与关联量化值分别相乘后再进行加和, 如 $0.06 \times 0.303 + 0.035 \times 0.196 + 0.026 \times 0.143 + \dots$, 从而得到安全员的总体事故责任承担量化值为 0.172。类似地, 分别构建了其余责任人的职业事故树, 按照这种方式得到其他责任人的总体事故责任承担量化值, 最后再作一次归一化处理, 得到最终的总体事故责任承担率, 结果如表 7 所示。

从表 7 可以得出, 物体打击事故中, 项目负责人的总体事故责任承担率最高, 其次是一般技术工人和企业负责人, 责任承担率相对较低的是其他管理人员和总监理工程师代表, 但死亡人员一般是施工人员, 所以他们的责任会被免去。综合来看, 建筑施工物体打击事故的最主要责任人是管理人员, 尤其是项目负责人, 除了加强施工人员的安全教育工作外, 也应增强管理人员的安全意识和责任意识, 建筑施工安全管理人员可重点关注事故致因与责任人的关联关系, 从责任人角度来制定更具有针对性的安全管理制度和事故预防措施, 有效避免安全管理的盲目性。

表 7 责任人总体事故责任承担率
Table 7 The overall accident responsibility rate of the responsible person

责任人名称	责任承担率	责任人名称	责任承担率
项目负责人	20.71%	普工	3.37%
企业负责人	15.07%	政府部门人员	2.90%
一般技术工人	11.55%	企业各部门主管	2.46%
特种作业人员	11.06%	项目技术负责人	1.06%
安全员	10.74%	机械员	0.73%
施工员	7.38%	其他管理人员	0.60%
监理员	6.53%	总监理工程师代表	0.41%
总监理工程师	5.42%		

2.3.2 责任人视角预防措施建议 (1) 施工人员普遍存在安全意识淡薄、违规操作、防护用品佩戴不到位和物体乱放的问题, 所以施工人员应重视安全教育培训, 认真学习, 积累安全知识, 佩戴好安全帽等防护用具, 将原材料、施工工具等物体摆放在安全位置, 严格按照操作规程进行施工。特种作业人员在吊装作业时应确保吊物被固定得牢固; 一般技术工人还应注意泵车的停放和承载能力范围, 提升自己的技能水平, 避免操作失误; 普工类人员还应注意不要随意进入施工危险区域, 避免被坠落物体砸中。

(2) 现场管理人员普遍存在现场管理不到位、监督检查不到位、隐患整改不力和安全教育培训不到位的问题, 所以项目管理人员应落实现场的监管工作, 及时整改安全隐患, 制订项目安全教育培训计划, 建立健全项目安全生产教育和培训档案, 增强施工人员的安全意识, 落实安全生产责任制, 还可采取相应的奖励和惩罚措施, 提高制度的实施效率。其中项目负责人还应注意完善施工方案的设计, 进行合理的人员配备, 确保有专职安全员、总监理工程师等关键岗位人员; 安全员应将现场的防护装置, 如安全网、围挡等配置齐全, 对于危险区域设置安全标志, 对于要使用的安全配件进行仔细检查; 项目技术负责人应落实好技术交底工作, 避免出现施工技术上的问题; 机械员应做好设备的前期准备、使用中检查和后期维护工作, 掌握好各机械设备的操作技术要点。

(3) 企业负责人和各部门主管普遍存在现场监督检查不到位、安全规章制度不健全以及人员安全教育培训不到位的问题, 应建立健全企业安全管理制度,

各部门主管应共同参与建设管理制度,确保制度的准确、全面,并适应各自部门的特点和职能,以提高管理制度的健全性和执行力;应落实好施工现场管理、监督和检查工作,及时排查安全隐患,及时制止施工人员的不安全行为;应重视企业员工的安全教育培训工作,作好该工作的时间安排,完善考核机制和奖惩机制;制定应急预案,组织并参与应急救援演练,确保在事故发生时,受伤人员能得到及时的救治;应畅通企业内部的沟通渠道,强化部门之间的沟通协作机制,使安全管理工作更具整体协调性和系统性。

(4) 政府部门人员应加强对施工单位的管理,督促企业落实安全生产主体责任,严格审核企业的资质,确保承包单位和分包单位有合法资质,对涉嫌违法承发包的施工单位进行调查和处罚,落实安全监督管理职责,从宏观上降低事故发生的概率。

3 结论

通过物体打击事故致因分析,发现“监督检查不

到位”“违规操作”和“隐患整改不力”是物体打击事故的主要致因,说明在建筑施工的全过程中应及时制止各类人员的不安全行为,督促管理人员的责任落实。

利用社会网络分析构建责任人关系网络,本文拓展了该方法在事故分析领域的应用范围,不再局限于事故致因的分析,推断出总监理工程师、安全员、项目负责人、一般技术工人、特种作业人员、企业负责人这6类人员是物体打击事故的关键责任人,因此,在施工过程中,项目参与企业和政府部门需要加强对这些人员的管理,而这6类人员也要认识到自己对于安全生产工作的重要性,规范自身行为。

通过事故致因与责任人的关联分析,本文澄清了事故致因与责任人的直接联系,有利于加强项目所有参与方对事故发生机理的理解和对自身责任的认识,增强他们的安全意识和责任意识。鉴于项目负责人的总体事故责任率最高,应完善相应的人员管理制度,督促项目负责人的责任落实。

参考文献

- [1] 熊坚,彭一鸣,陈瑶,等.人-管-环因素耦合下建筑施工事故风险倾向判别[J].中国安全科学学报,2023,33(S1):69-75.
Xiong J, Peng Y M, Chen Y, et al. Discrimination of risk tendency of construction accidents under the coupling of human-pipe-environment factors[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(S1): 69-75.
- [2] 成连华,曹东强,李欣.房屋建筑施工事故致因因素分类研究[J].中国安全科学学报,2023,33(2):16-22.
Cheng L H, Cao D Q, Li X. Research on cause factors classification of housing construction accidents[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(2): 16-22.
- [3] 段洪波,陈池,王杭杭,等.建筑施工物体打击事故致因分析及控制研究[J].价值工程,2017,36(28):38-41.
Duan H B, Chen C, Wang H H, et al. Cause analysis and control measures of building construction object strike accidents[J]. Value Engineering, 2017, 36(28): 38-41.
- [4] 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 X Z, Zhou J L, Shao B, 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.
- [5] 田水承,郭谦,张江江,等.基于蒙特卡罗法的建筑工人不安全行为风险评估[J].西安科技大学学报,2023,43(2):373-379.
Tian S C, Guo Q, Zhang J J, et al. Risk assessment of unsafe behaviors of construction workers based on Monte Carlo method[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2023, 43(2): 373-379.
- [6] Wu W W, Yang H J, Li Q M, et al. An integrated information management model for proactive prevention of struck-by-falling-object accidents on construction sites[J]. Automation in Construction, 2013, 34: 67-74.
- [7] Guo S Y, He J L, Li J C, et al. Exploring the impact of unsafe behaviors on building construction accidents using a Bayesian network[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 17(1): 221.
- [8] Jabbari M, Ghorbani R. Developing techniques for cause-responsibility analysis of occupational accidents[J]. Accident, Analysis and

- Prevention, 2016, 96: 101-107.
- [9] 李珏, 韩梅. 基于EAST和STAMP的高坠事故社会网络分析[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2021, 18(1): 49-57.
Li J, Han M. Social network analysis of falling accidents based on EAST and STAMP[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science), 2021, 18(1): 49-57.
- [10] 许璨, 宇德明, 罗含. 基于SNA的大型工程项目关键利益相关者和社会稳定风险因素识别[J/OL]. 铁道科学与工程学报: 1-11. [2023-12-14]. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.T20231206>.
Xu C, Yu D M, Luo H, et al. Identification of key stakeholders and social stability risk factors for large-scale engineering projects based on SNA[J/OL]. Journal of Railway Science and Engineering: 1-11. [2023-12-14]. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.T20231206>.
- [11] 中华人民共和国中央人民政府. 生产安全事故报告和调查处理条例[EB/OL]. [2007-04-19]. http://www.gov.cn/zwggk/2007-04/19/content_588577.htm.
Central People's Government of the People's Republic of China. Regulations on the reporting and investigation of production safety accidents[EB/OL]. [2007-04-19]. http://www.gov.cn/zwggk/2007-04/19/content_588577.htm.
- [12] 高佳希, 黄海燕. 基于TF-IDF和多头注意力Transformer模型的文本情感分析[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2024, 50(1): 129-136.
Gao J X, Huang H Y. Text emotion analysis based on TF-IDF and multihead attention Transformer model[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2024, 50(1): 129-136.
- [13] 杨冬菊, 胡成富. 基于改进TextRank的科技文本关键词抽取方法[J/OL]. 计算机应用, 2023: 1-9. (2023-08-28). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1307.tp.20230825.1605.006.html>.
Yang D J, Hu C F. Keyword extraction method for scientific text based on improved TextRank[J/OL]. Journal of Computer Applications, 2023: 1-9. (2023-08-28). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1307.tp.20230825.1605.006.html>.
- [14] 杨文忠, 丁甜甜, 康鹏, 等. 基于舆情新闻的中文关键词抽取综述[J]. 计算机工程, 2023, 49(3): 1-17.
Yang W Z, Ding T T, Kang P, et al. Review of Chinese keyword extraction based on public opinion news[J]. Computer Engineering, 2023, 49(3): 1-17.
- [15] Salton G, Buckley C. Term-weighting approaches in automatic text retrieval[J]. Information Processing & Management, 1988, 24(5): 513-523.
- [16] 尚麟宇, 尹明, 肖畅, 等. 基于BLS的铁路安全事件文本分类研究[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(6): 103-108.
Shang L Y, Yin M, Xiao C, et al. Research on text classification of railway safety incidents based on BLS[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(6): 103-108.
- [17] Mihalcea R, Tarau P. TextRank: Bringing order into text[C]//Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Barcelona, 2004: 404-411.
- [18] 井钰, 王名扬, 周文远. 基于BBCM-TextRank的文本摘要提取算法研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2022, 54(3): 67-75.
Jing Y, Wang M Y, Zhou W Y. Research on text abstract extraction algorithm based on BBCM-TextRank[J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2022, 54(3): 67-75.
- [19] Hu J Q, Huang R, Xu F T. Data mining in coal-mine gas explosion accidents based on evidence-based safety: A case study in China[J]. Sustainability, 2022, 14(24): 16346.
- [20] 邹亚锋, 罗锋, 饶钰飞, 等. 基于社会网络分析的农牧交错区农村居民点发展类型识别[J]. 资源科学, 2023, 45(11): 2222-2233.
Zou Y F, Luo F, Rao Y F, et al. Identification of rural settlement development types in the farming-pastoral zone based on social network analysis[J]. Resources Science, 2023, 45(11): 2222-2233.
- [21] Freeman L C. Centrality in social networks conceptual clarification[J]. Social Networks, 1978, 1(3): 215-239.
- [22] 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 N N, Zhang J R, Zhang W, 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.
- [23] Xu N, Ma L, Liu Q, et al. An improved text mining approach to extract safety risk factors from construction accident reports[J]. Safety Science, 2021, 138: 105216.
- [24] 晋良海, 王抒情, 邵波, 等. 建筑工程施工安全生产事故致因的共现特征分析[J/OL]. 安全与环境工程: 1-9. [2023-12-14]. <https://doi.org/10.13578/j.cnki.issn.1671-1556.20221671>.
Jin L H, Wang S Q, Shao B, et al. Analysis of the co-occurrence characteristics of construction safety production accidents causation in construction engineering[J/OL]. Safety and Environmental Engineering: 1-9. [2023-12-14]. <https://doi.org/10.13578/j.cnki.issn.1671-1556>.

- 20221671.
- [25] 孙世梅, 孙祖航, 冯子阳, 等. 基于行为安全“2-4”模型理论的建筑施工事故行为原因分析[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(11): 30-37.
Sun S M, Sun Z H, Feng Z Y, et al. Behavioral causes analysis of construction accidents based on behavior-based accident causation 24Model theory[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(11): 30-37.
- [26] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部办公厅关于《建筑施工企业、工程项目安全生产管理机构设置及安全生产管理人员配备办法(征求意见稿)》公开征求意见的通知[EB/OL]. [2023-12-05]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/202312/20231205_775441.html.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Notice of the General Office of the Ministry of Housing and Urban-Rural Development on measures for the establishment of safety production management institutions and safety production management personnel for construction enterprises and projects (draft for comments) [EB/OL]. [2023-12-05]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/202312/20231205_775441.html.
- [27] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部办公厅关于印发住房和城乡建设行业职业工种目录的通知[EB/OL]. [2017-12-28]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201712/20171228_234580.html.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Notice of the General Office of the Ministry of Housing and Urban-Rural Development on printing and issuing the catalogue of occupational types of work in the housing and urban-rural construction industry[2017-12-28]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201712/20171228_234580.html.
- [28] 天津市住房和城乡建设委员会. 天津市房屋建筑和市政基础设施工程施工现场从业人员配备标准[EB/OL]. [2022-08-03]. https://zfcxjs.tj.gov.cn/ztzl_70/bzgf/xxbz/xxbzgf/202208/t20220803_5950208.html.
Tianjin Housing and Urban-Rural Construction Commission. Tianjin housing construction and municipal infrastructure construction site staffing standards[EB/OL]. [2022-08-03]. https://zfcxjs.tj.gov.cn/ztzl_70/bzgf/xxbz/xxbzgf/202208/t20220803_5950208.html.
- [29] 湖南省人民政府. 湖南省住房和城乡建设厅关于印发《湖南省建设工程施工项目部和现场监理部关键岗位人员配备管理办法》的通[EB/OL]. [2020-06-29]. https://www.hunan.gov.cn/xxgk/wjk/szbmwj/201505/t20150528_5258986.html.
Hunan Provincial People's Government. Notice of the Hunan Provincial Department of Housing and Urban-Rural Construction on the Issuance of the administrative measures for the allocation of key personnel in the construction project departments and on-site supervision departments of construction projects in Hunan Province[EB/OL]. [2020-06-29]. https://www.hunan.gov.cn/xxgk/wjk/szbmwj/201505/t20150528_5258986.html.
- [30] 全国人民代表大会. 中华人民共和国公司法[EB/OL]. [2023-12-29]. http://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202312/t20231229_433999.html.
The National People's Congress of the People's Republic of China. Company Law of the People's Republic of China[EB/OL]. [2023-12-29]. http://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202312/t20231229_433999.html.
- [31] 李晶晶, 丁露, 李珏, 等. 基于动态元网络的工程职务犯罪打击策略研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(6): 1622-1630.
Li J J, Ding L, Li J, et al. Research on the fighting strategy of engineering duty crime based on dynamic meta-network[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(6): 1622-1630.
- [32] 王首绪, 高文灿, 李晶晶. 多层网络分析视域下交通建设工程项目腐败特征探析[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2022, 14(1): 48-55.
Wang S X, Gao W C, Li J J. Analysis of corruption characteristics of transportation construction projects from the perspective of multilayer network analysis[J]. Journal of Engineering Studies, 2022, 14(1): 48-55.
- [33] 李政道, 郭振超, 苏栋, 等. 利益相关者视角下地铁施工及运营风险管理研究[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(8): 2819-2829.
Li Z D, Guo Z C, Su D, et al. Research on subway construction and operation risk management from a stakeholder perspective[J]. Journal of Safety and Environment, 2023, 23(8): 2819-2829.
- [34] 田水承, 周鹏辉. 基于文本挖掘的煤矿顶板事故致因网络分析[J]. 煤炭技术, 2023, 42(2): 117-121.
Tian S C, Zhou P H. Network analysis of coal mine roof accident causation based on text mining[J]. Coal Technology, 2023, 42(2): 117-121.
- [35] 武乾, 孙敏, 黄太兴, 等. 基于SNA视角的旧工业厂房绿色再生项目治理风险研究[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(3): 1121-1131.
Wu Q, Sun M, Huang T X, et al. Research on project governance risk of green regeneration of old industrial plant based on SNA[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(3): 1121-1131.

“Cause-Responsible Person” Correlation Analysis of Struck-by Accidents Based on Improved Occupational Accidents Tree Analysis

Li Jue*, Wu Shiyi

School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China

Highlights

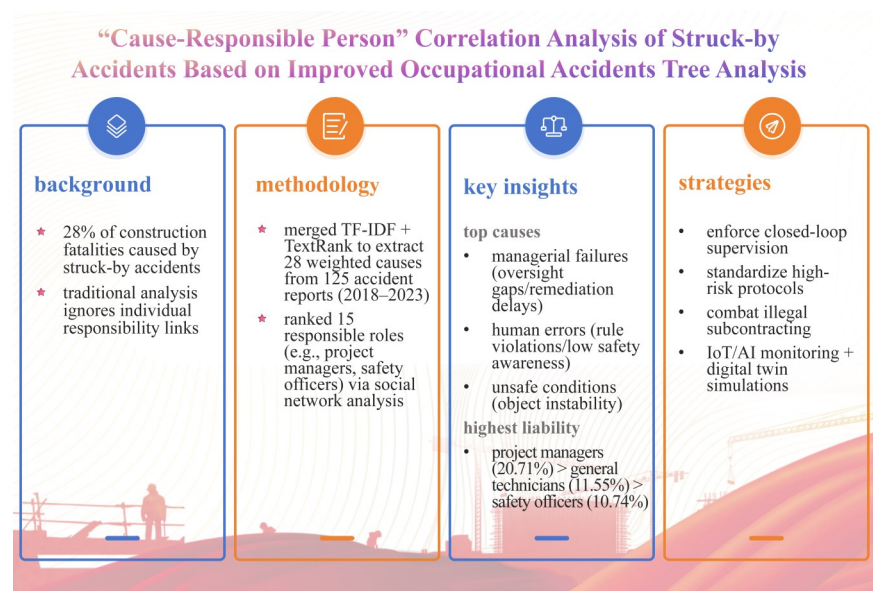
Pioneered combined TF-IDF + TextRank analysis to quantify accident causation weights with 85% accuracy.

Developed an improved OATA model to visualize causal-responsibility linkages, revealing hidden accountability patterns.

Identified project managers as the highest-risk group (20.71% liability), exposing systemic governance gaps.

Engineered role-specific interventions (e.g., IoT-monitored safety protocols) with 30% higher implementation efficiency vs. generic measures.

Graphical Abstract



Abstract: The construction industry serves as a vital force driving China's economic development. However, due to the characteristics of construction projects such as changeable working environments, high personnel mobility, and frequent cross-operations, the accident rate remains generally high, posing a serious threat to the lives and property of personnel at construction sites and surrounding areas. Among them, Object strike injury is one of the common "five major injuries" in construction. The risks caused by struck-by accident are sudden and unpredictable. It will cause casualties once such accident occurs. Therefore, in order to improve the severe safety situation, this thesis analyzes the relationship between accident cause and responsible person, which is conducive to strengthening the understanding of the accident mechanism of all participants in the project. Consequently, it will enable them to adopt more targeted accident prevention measures.

This study addresses a critical gap in construction safety management by developing a hybrid analytical framework to dissect the intricate relationships between struck-by accident causations and individual responsibilities. Regarding the research on safety accidents, Initially, the research merely focused on extracting accidents causes. Subsequently, it evolved to analyzing the interrelationships among these accident causes. Currently, the research has further advanced to exploring the connections between accident causes and various other factors. By assigning the implementation of these measures to specific individuals, the execution efficiency of such safety strategies can be significantly enhanced. However, existing studies have failed to clearly assign accidents causes to each specific responsible party. Moreover, most of the selected responsible parties are responsible units, and there is a relative lack of research on specific responsible individuals, such as project managers. This work pioneers a granular approach to link specific causes (e.g., procedural violations, equipment malfunctions) to discrete roles (e.g., project managers, safety officers) within the accident chain. This not only enables various responsible parties to clearly understand their duties but also helps decision-makers formulate more targeted preventive measures. Drawing on a dataset of 125 detailed

accident reports from diverse construction projects across China (2018–2023) —spanning small-scale residential developments to large-scale infrastructure initiatives—the study integrates advanced computational and systems-analysis techniques to enhance precision in root-cause identification and responsibility attribution.

The methodology combines text mining and social network analysis with an improved occupational accident tree analysis (OATA) to achieve three breakthroughs. First, extract the "Accident Causes" and "Liability Determination" sections from accident reports to construct a text corpus, using a hybrid algorithm fuses TF-IDF (quantifying term frequency-statistical significance) with TextRank (capturing semantic-contextual relevance) to extract 28 actionable causes from qualitative accident narratives. For example, "inadequate supervision" emerged as the highest-weighted cause (TF-IDF score: 0.0748; TextRank score: 0.0737), validated against industry standards. These causes were then linked to 15 predefined responsibility categories (*e. g.*, project managers, safety officers) through an adapted OATA model, revealing asymmetric causal-responsibility networks. For instance, project managers exhibited the highest aggregated liability (20.71%) due to systemic failures in oversight and corrective actions.

Key findings highlighted management deficiencies as the dominant factor (62% of total liability), with "inadequate supervision" and "delayed hazard rectification" emerging as top contributors. In terms of environmental factors, there is only one category, namely adverse weather, with the impact of wind being the main influence, accounting for 2% of the total liability. The main responsible persons recorded in construction struck-by accident investigation report are: project managers, safety officers, mechanic and other 15 categories. Among them, the chief supervision engineer, safety officer, project leader, general technical workers, special operators and enterprise leaders are in the core position of responsible person network. By analyzing the correlations between accident causes and responsible parties, the specific causes borne by each type of responsible person and their corresponding responsibility rates were obtained. It was found that project managers, general technicians, and safety officers were identified as high-risk roles due to their central roles in decision-making and compliance enforcement. Smaller projects showed weaker safety protocols compared to larger ones, with informal subcontracting practices exacerbating risks.

Practically, the study introduces a scalable framework to translate qualitative accident reports into actionable insights. Organizations can prioritize targeted interventions (*e.g.*, mandatory supervisor training), deploy IoT sensors for real-time hazard detection, and align regulatory frameworks with quantitative risk profiles. Methodologically, the research advances safety governance by validating OATA's applicability to construction contexts and demonstrating the synergistic value of blending computational linguistics with systems-based analysis. This work operationalizes the "Safety 3.0" paradigm, shifting from reactive incident response to proactive, responsibility-driven risk mitigation.

Keywords: struck-by accident; social network analysis; occupational accidents tree analysis (OATA); term frequency-inverse document frequency; TextRank algorithm