

施工高处坠落事故中不安全动作 和不安全物态分析

阎卫东¹,王海娜²,刘国奇³

(1. 沈阳建筑大学党政办公室,辽宁 沈阳 110168;2. 沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168;
3. 沈阳建筑大学计算机科学与工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:施工高处坠落事故是建筑行业生产安全事故之首,为减轻事故带来的伤害以及减少事故的发生,利用事故致因“2-4”模型分析了30份施工高处坠落事故调查报告,分类统计事故形成发展过程中的不安全动作和不安全物态,利用灰色关联度法和解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)法研究两类因素之间的影响关系。结果表明:不安全动作共12类、168个,不安全物态共5类、38个,因素之间的影响关系构成了3层结构的解释结构模型,最后提出了3个预防对策建议。

关键词:施工高处坠落事故;“2-4”模型;不安全动作;不安全物态

中图分类号:TU712.4 **文献标志码:**A

施工高处坠落事故因其发生频率高、死亡率高等特点,被列为“建筑业五大伤害之首”,中华人民共和国住房和城乡建设部发布了2019年房屋市政工程中发生生产安全事故的统计数据^[1],其中,施工高处坠落事故发生了415起,占比高达53.69%,同样,在2020年的相关统计数中^[2],施工高处坠落事故发生了407起,占比高达59.07%。由数据可知,施工高处坠落事故是发生率最高的事故类型。

国内学者十分重视对施工高处坠落事故原因的研究,李明柱等^[3]、张玉明等^[4]、仇国芳等^[5]通过构建解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)分析了事故的原因。宁青松等^[6]通过拉夫堡ConCA模型分析出3个层次事故原因。李珏等^[7]、姜东民等^[8]通过文本挖掘技术总结出事故致因

及其关联规则。褚召强等^[9]基于复杂网络理论分析出致因网络特征结果,确定了两个关键节点。宋少卿等^[10]构建了对应分析模型,根据对应关系判断出事故的主成因。

以上研究运用不同的方法分析了施工高处坠落事故的发生原因,但缺少对事故不安全动作和不安全物态的统计数据以及对二者关系的深度研究,没能提出更有针对性的事故预防对策建议。鉴于此,笔者选用事故致因“2-4”模型分析事故的直接原因,从管理者、施工者的角度统计造成事故安全隐患和引发事故2个阶段的不安全动作,并统计作业环境中安全隐患和失去保护功能的不安全物态的频次和发生率,研究事故形成发展过程中动作和物态之间的影响关系,为制定施工高空坠落事故预防对策建议提供理论依据。

一、事故致因“2-4”模型

事故致因“2-4”模型是现代事故致因理论模型的最新成果之一,该模型集合了以海因里希为代表的古典事故致因链的理念,它的进步体现在认为导致事故发生的所有因素都处于至少一个组织中,从组织和个人两个层面分析事故的致因,将“不安全动作”和“不安全物态”定为导致事故的直接原因,模型详细内容如图1所示。

目前,事故致因“2-4”模型已在多个学

科领域应用,申朝阳等^[11]研究重特大瓦斯爆炸事故,提出了直接原因中的不安全动作、不安全物态的分类和判定依据。孙世梅等^[12]研究10起典型高处坠落事故,分析了事故的直接原因、间接原因和根本原因,并结合根源原因构建了建筑施工高处坠落事故行为原因分析模型。崔鹏程等^[13]研究46起粮堆埋人事故,从作业人员和组织内其他人员的角度分析了直接原因与间接原因,并据分析得到的4类原因构建了粮堆埋人事故致因链。

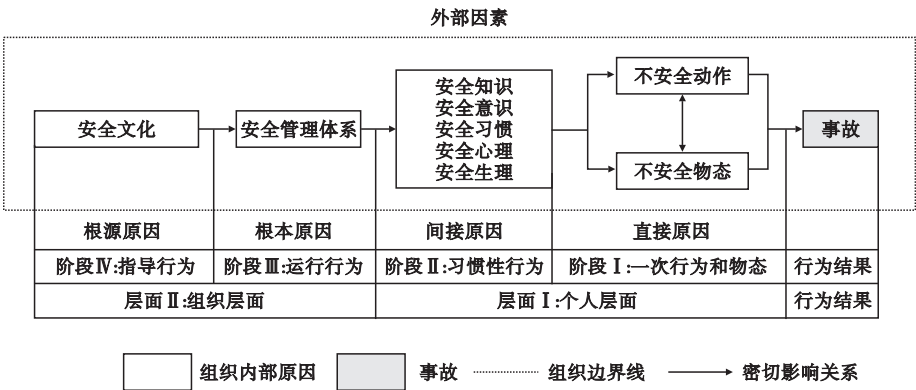


图1 事故致因“2-4”模型

二、不安全动作和不安全物态因素统计

研究选择安全管理网及政府应急管理局网站公示的30份典型高处坠落事故调查报告为数据样本,其中,包括1起重大事故、13起较大事故和16起一般事故,事故发生的时间范围是2015—2021年。

事故发展过程如图2所示,将它与“2-4”模型相结合进行分析可知,图2中的动作

和物态对应图1中的阶段I,不安全行为的因素和不安全物态的因素分布在施工中的不同阶段,在按施工计划作业的过程中,发生了造成安全隐患的不安全动作(动作1),之后便形成了一个或多个安全隐患(物态1),在已有安全隐患的基础上,又发生了引发事故的不安全动作(动作2),在防护用品失效(物态2)的状态下,造成了人员伤亡和经济损失。

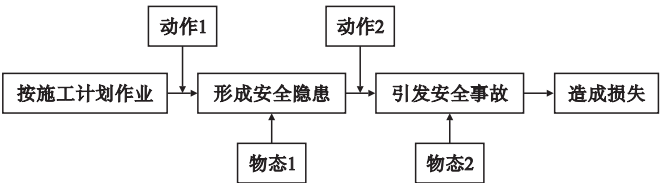


图2 事故形成发展过程

“2-4”模型中的动作(安全的动作和不安全的动作),包含所针对组织中所有成员的动作,这和其他模型只包括一线员工的动作不同。为了更加深入地研究事故的形成过程,研究将从事故造成安全隐患的动作和引

发事故的动作两个阶段统计施工人员和管理人员的不安全动作,划分动作的主体,并统计作业环境中安全隐患的不安全物态和失去保护功能的不安全物态的频次,用更直观的数据揭示事故发生的直接原因。

1. 不安全动作统计

海因里希提出的“300: 29: 1”法则,即在发生的每 330 起意外事件中,有 300 件未产生人员伤害,这种事件不会引起人们的重视,通常被视为安全隐患,另外 29 件造成了人员轻伤,1 件导致重伤或死亡,这两类就是安全事故。不同的生产安全事故类型拥有不同的事故隐患比例,但这个数据说明了多个安全隐患累积必然导致事故的发生,因此,需要从以下两方面进行分析。

表 1 与人员配备相关的不安全动作统计

序号	不安全动作	动作描述	I	II	动作主体
1	安全管理机构力量不足	安全员或现场实际负责人缺岗	2	7	管理者
		未明确专人在现场进行统一指挥监督	5	2	管理者
		未按照规定人数配备安全管理人员	3	3	管理者
2	安全教育培训落实不到位	教育培训后,未能保证从业人员具备必要的安全生产知识	5	9	管理者
		未对作业人员进行安全生产教育和培训	5	7	管理者
3	允许无证人员上岗	施工人员缺少特种作业操作证	7	3	施工者
		管理人员缺少相关资质	2	0	管理者

人员行为的不安全动作共 6 类、74 个(见表 2),其中,管理者为主体的不安全动作发生了 47 次,管理者和施工者共同为主体的

(1)造成安全隐患的不安全动作
造成安全隐患的不安全动作分为两类,一类是与人员配备相关的不安全动作,另一类是人员行为的不安全动作。与人员配备相关的不安全动作共 3 类、60 个(见表 1),I 代表较大及以上等级事故、II 代表一般事故,包括安全管理机构力量不足、安全教育培训落实不到位、允许无证人员上岗,其中,管理者为主体的不安全动作发生了 50 次,施工者为主体的不安全动作发生了 10 次。

不安全动作发生了 24 次,施工者为主体的不安全动作发生了 3 次。

表 2 人员行为的不安全动作统计

序号	不安全动作	动作描述	I	II	动作主体
1	专项施工方案缺失或存在问题	未编制专项施工方案	6	3	管理者
		专项施工方案内容不完整或未经过专家论证	3	1	管理者
2	未进行安全检查	未检查现场作业安全环境	4	10	管理者、施工者
		未检查操作时使用的设备或者操作平台	9	1	管理者、施工者
3	未落实安全技术交底	未对作业人员进行安全技术交底	5	5	管理者
		未保证作业人员掌握操作重点、难点	3	2	管理者
4	资料档案审核不严格	未审核特种设备证明文件、设备铭牌等	3	0	管理者
		未审核施工单位和人员的资质	3	0	管理者
		未审核作业方案、安全防范措施等资料	1	1	管理者
5	未按要求进行整改	发现问题时未能及时提出整改要求	2	2	管理者
		对监理单位提出的整改事项置之不理	2	0	管理者
		未能及时整改到位	1	2	施工者
6	未对机械设备进行验收	设备未按要求出具自检验收合格证明	3	1	管理者
		构件在投入使用前未检查和验收	1	0	管理者

(2)引发事故的不安全动作
引发事故的不安全动作共 3 类、34 个(见表 3),包括违章作业、违规拆除构件、冒

险作业,其中,管理者为主体的不安全动作发生了 8 次,施工者为主体的不安全动作发生了 26 次。

表 3 引发事故的不安全动作统计

序号	不安全动作	动作描述	I	II	动作主体
1	违章作业	没有操作对象的违章动作	1	7	施工者
		管理者的违章指挥	5	1	管理者
		有操作对象的违章作业	4	0	施工者
2	违规拆除构件	未按正确拆除顺序施工	1	2	施工者
		构件的实际情况与预期不符的状态下继续拆除	1	1	施工者
		未向监理方和项目部报审的情况下私自拆除	1	0	施工者
3	冒险作业和酒后作业	施工人员自发的冒险行为	1	5	施工者
		恶劣天气组织施工人员作业	1	1	管理者
		饮酒后进行高处作业	1	0	施工者
		饮酒后操作设备	0	1	施工者

2. 不安全物态统计

建筑施工过程中涉及的物态有操作使用的机器、生产的构件、防护用品等,根据功能性质的不同,机器和构件属于生产性质的物态,防护用品属于保护性质的物态。在事故形成发展的过程中,机器和构件本身就具有一定的不安全性,加上人的不安全动作会放大这种不安全性,最终,机器和构件的不安全物态会成为引发安全事故的原因。而防护用品本身并不具备不安全性,它只会在缺失或

者错误使用的情况下失去保护功能,在事故发生时没有发挥作用而产生了不安全物态,因此,需要分析安全隐患的不安全物态和失去保护功能的不安全物态。

(1)安全隐患的不安全物态

安全隐患的不安全物态共 3 类、16 个(见表 4),包括结构受力发生位移、未设置安全警示标志、机器故障,以及其中更详细的动作描述。

表 4 安全隐患的不安全物态统计

序号	不安全物态	物态描述	I	II
1	结构受力发生位移	违章操作导致结构变形	4	2
		结构不符合设计要求或设计不合理	2	1
2	未设置安全警示标志	设备设施安全使用提示警示不足	2	0
		未在存在风险场所设置安全警示标志	1	1
3	机器故障	起重、升降等大型设备故障	2	0
		物料提升等小型设备故障	0	1

(2)失去保护功能的不安全物态

失去保护功能的不安全物态共 2 类 22 个(见表 5),包括个人防护用品未起作用、安

全防护设施缺失或存在缺陷,以及对应的更详细的动作描述。

表 5 失去保护功能的不安全物态统计

序号	不安全物态	物态描述	I	II
1	个人防护用品未起作用	个人防护用品完全缺失	3	5
		错误使用导致个人防护用品失效	1	1
2	安全防护设施缺失或存在缺陷	安全防护设施完全缺失	2	6
		安全防护设施搭设不规范	2	2

三、不安全动作和不安全物态因素影响关系分析

1. 不安全动作和不安全物态因素关联度分析

灰色关联度法是分析离散序列间相关程

度的一种测度方法,它将系统内的信息分为 3 种颜色,白色代表信息是完全可知的,黑色则代表信息一无所知,而灰色代表信息的不确定性,既包含已知的信息也包含未知的信息。将表 1 ~ 表 5 中的因素进行整理,同一

对不安全动作和不安全物态因素进行层级划分能够更加清晰地确定各影响因素间的层次关系,从而建立更加科学合理的 ISM。将邻接矩阵 A 导入 SPSS 软件进行计算,可以计算出可达矩阵,得出可达集、先行集以及共同集,利用 ISM 法划分层次关系,可以划分出每层的要素集合,最终得到的层次划分结果如表 8 所示。

表 8 不安全动作和不安全物态因素层次划分	
层级	致因因素
顶层	$A_{10}, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$
中间层	$A_4, A_5, A_6, A_8, A_9, A_{11}, A_{12}$
底层	A_1, A_2, A_3, A_7

根据层级划分结果构建递阶结构,递阶结构中信息呈单项垂直方向传递,也可以在同级别中相互传递,不安全动作和不安全物态因素 ISM 如图 3 所示。

不安全动作和不安全物态 ISM 分为 3

层,顶层是表面的、可以直接发现的原因,包括违章作业 A_{10} ,结构受力发生位移 B_1 ,未设置安全警示标志 B_2 ,机器故障 B_3 ,个人防护用品未起作用 B_4 ,安全防护设施缺失或存在缺陷 B_5 ,这层因素包含一个不安全动作因素和所有的不安全物态因素,说明浅层原因中不安全物态比不安全动作占比更高;中间层包括专项施工方案缺失或存在问题 A_4 ,未进行安全检查 A_5 ,未落实安全技术交底 A_6 ,未按要求进行整改 A_8 ,未对机械设备进行验收 A_9 ,违规拆除构件 A_{11} ,冒险作业和酒后作业 A_{12} ,这层的因素都是不安全动作,主要体现了施工过程中的规章制度执行不到位;底层是深层的、不易发现的原因,包括安全管理机构力量不足 A_1 ,安全教育培训落实不到位 A_2 ,允许无证人员上岗 A_3 ,资料档案审核不严格 A_7 ,这层的因素都是不安全动作,主要体现了与人员配置相关的问题。

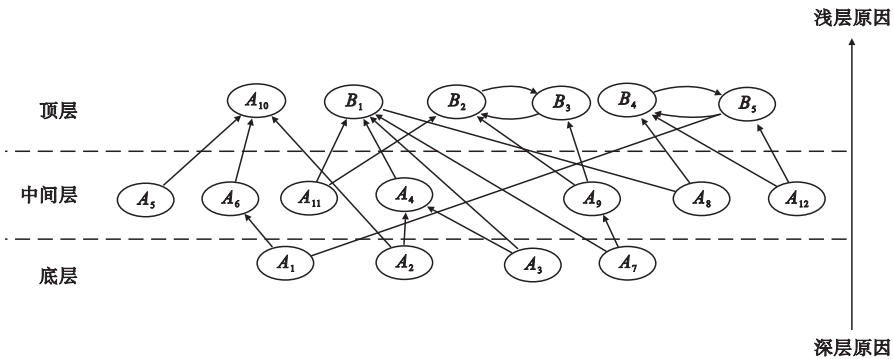


图 3 不安全动作和不安全物态因素 ISM

四、针对不安全动作和不安全物态因素的对策建议

因为不安全动作和不安全物态因素所处的层级不同、影响关系不同,所以对策建议的实施效果也是不一样的,针对深层原因的对策反馈肯定比浅层原因的对策反馈时间要更长,为保证对策建议的实施效果,研究只对不安全动作和不安全物态因素 ISM 中的顶层因素提出对策建议。

顶层因素包括违章作业 A_{10} ,结构受力发生位移 B_1 ,未设置安全警示标志 B_2 ,机器故障 B_3 ,个人防护用品未起作用 B_4 ,安全防护

设施缺失或存在缺陷 B_5 ,其中, A_{10} 属于引发事故的不安全动作; B_2 、 B_3 属于安全隐患的不安全物态; B_4 、 B_5 属于失去保护功能的不安全物态,根据以上类别提出以下对策建议:

(1)在节假日和项目收尾前安排一次安全教育活动。节假日和项目收尾前都是施工人员安全思想最松懈的时候,由于长期作业的劳累产生了对即将到来的假期和休息的期待,容易发生注意力分散、安全思想溜号等情况,而这些思想上的变化会导致违章操作,进而造成安全事故,所以有必要在节假日和项目收尾前安排一次思想教育,提醒施工人员保持安全警惕。

(2)在关键部位施工前增加一次对使用机器和构件的检查。施工关键部位包括深基坑支护与降水工程、土石方工程、高支模板工程、起重吊装工程、脚手架工程等,这些工程施工时对施工构件和机器使用有着严格的技术要求,但之前施工步骤中存在的操作变形会影响施工构件或者机器使用的状态。为减少或消除机器构件不良状态的影响,应该在关键部位施工前增加一次对使用机器和构件的检查,对检查出来的问题进行及时的整改,确保关键部位施工可以按照施工方案正确进行。

(3)提高安全措施费的最低比例。安全措施费是用于购置安全防护用品和洞口临边防护措施搭建的费用,不同的生产作业类型中安全措施费所占建筑工程造价的比例不同,目前房屋建筑工程中安全措施费占比 2%~5%。随着现在高层建筑越来越多,高处施工坠落事故发生的风险也在逐渐增加,而高处作业的安全高度依赖个人防护用品和安全防护设施,所以应该提高安全措施费所占的最低比例,建议将安全措施费提高到 3%~5%。

五、结 语

研究分类并统计出 30 份施工高处坠落事故报告中直接原因的不安全动作和不安全物态的发生频次,其中,造成安全隐患的不安全动作共 9 类、134 个,引发事故的不安全动作共 3 类、34 个,安全隐患的不安全物态共 3 类、16 个,失去保护功能的不安全物态共 2 类、22 个。研究不安全动作和不安全物态因素之间的影响关系,用灰色关联度法计算 17 类因素的关联度,并以此为基础构建邻接矩阵,通过 ISM 法计算得出一个 3 层结构的模型,该模型与事故形成发展过程相符。根据 ISM 中的顶层因素,提出了在节假日和项目收尾前安排一次思想教育、在关键部位施工前增加一次对使用机器和构件的检查、提高安全措施费的最低比例的对策建议。

参考文献:

[1] 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 2019 年房屋市政工程

生产安全事故情况的通报[EB/OL]. (2020 - 06 - 19)[2021 - 10 - 15]. <http://www.funxun.com/news/32/2020629132626.html>.

[2] 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 2020 年房屋市政工程施工安全事故情况的通报[EB/OL]. (2022 - 10 - 27)[2022 - 11 - 21]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/202210/20221026_768565.html.

[3] 李明柱,许晓灿.基于 ISM 的建筑施工高处坠落事故因素分析[J].工业安全与环保,2020,46(10):16 - 19.

[4] 张玉明,唐艳娟,杜海波,等.基于改进灰熵:ISM 的建筑工程高处坠落事故致因分析[J].数学的实践与认识,2021,51(14):89 - 101.

[5] 仇国芳,郑艳,张涑贤.基于 ISM 的建筑施工高处坠落事故致因分析[J].安全与环境学报,2019,19(3):867 - 873.

[6] 宁青松,赵宸伶.基于拉夫堡 ConCA 模型的高处坠落事故致因分析[J].工程建设,2019,51(6):89 - 93.

[7] 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.

[8] 姜东民,何栋良,张哲.建筑工程施工安全生产管理研究:基于事故致因理论与数据挖掘技术[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2021,23(6):605 - 611.

[9] 褚召强,杨高升.基于有向加权网络的高处坠落事故致因分析[J].工程管理学报,2021,35(3):105 - 110.

[10] 宋少卿,韩建军.基于对应分析模型的建筑施工高处坠落主因挖掘[J].人民长江,2019,50(3):176 - 181.

[11] 申朝阳,王赛尔.基于“2 - 4”模型的煤矿重特大瓦斯爆炸事故分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(6):83 - 86.

[12] 孙世梅,赵金坤,傅贵.基于“2 - 4”模型的高处坠落事故行为原因研究[J].中国安全科学学报,2019,29(8):23 - 28.

[13] 崔鹏程,张涛,陈鑫.基于事故致因“2 - 4”模型的粮堆埋人事故原因分析及预防对策研究[J].科技和产业,2021,21(1):286 - 292.