

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

姜东民^{1,2},何栋良¹,张哲¹

(1. 青岛理工大学管理工程学院,山东 青岛 266500;
2. 山东省高校智慧城市建设管理研究中心,山东 青岛 266500)

摘要:为厘清施工安全生产关键因素、降低安全生产事故率,针对收集的大量施工安全生产事故实例,运用事故致因理论与数据挖掘技术分析了事故发生机理,并建立了施工安全生产事故致因模型来分解事故致因。提供了使原始信息能被数据挖掘技术识别的数据处理思路,利用数据挖掘技术中的关联分析技术发现频繁集项和关联关系,以此探寻施工安全生产的关键环节。通过对443起施工安全生产事故信息进行处理获得事故数据,从组织、技术、资源、培训、应急管理5个方面建立了事故致因模型,并分解事故数据,建立事故致因数据库,运用Apriori算法挖掘出17个频繁集项与5条强关联关系,经过分析得出了其致因机理并提出了管控建议。

关键词:建筑工程施工安全生产;事故致因;数据挖掘;关联分析

中图分类号:TU714 **文献标志码:**A

安全生产是指在工程建设活动中,保证各施工生产环节在符合规定的条件下运行,以免发生导致人员伤害与财产损失的事故,进而建立相应的事故预防和风险控制体系,保护施工人员的人身安全与健康,不对工程主体、施工设备与环境造成破坏,保证施工生产得以顺利进行的相关活动。

横向对比其他行业,建筑工程施工安全生产事故率较高。纵向对比历史数据,建筑工程施工安全生产事故数居高不下,而且近年仍不断增加,说明当前国内建筑工程施工安全生产管理仍不完善,因此,准确识别施工安全生产中的风险因素尤为重要。

相关研究中,丁传波等^[1]通过传统的信

息收集与统计处理手段,对大量建筑施工伤亡事故进行了分析,提出了相应的预防与控制措施;陈大伟等^[2]从行为原因出发,结合“4M”理论,从施工现场个人行为 and 施工企业行为两种角度,综合建立了全新的事故原因分析框架;张伟等^[3]从系统思维出发,利用事故致因理论,建立了结构化的施工安全事故致因系统模型,并查阅相关事故调查报告,根据频率划分等级,通过实例验证了模型。实例研究在建筑工程施工安全生产研究中发挥着无可替代的作用,但相关研究往往重视安全生产事故的显性分析,而忽视了事故内部致因的隐性关联分析,同时,由于工具手段发展局限,在数据利用上并不充分。

针对建筑工程施工安全生产研究存在的不足,笔者以收集到的 443 条各省发布的建筑工程施工安全生产事故信息为基础,分析关键致因并提出相应的建筑工程施工安全生产风险的管控对策,厘清工程施工安全生产的关键。

一、事故致因理论与数据挖掘技术

1. 事故致因理论

事故致因理论指从根本上揭示工伤事故发生的因果关系,研究导致事故发生的因素及其发展过程和最终后果的理论^[4]。

郭飞^[5]认为工程事故致因研究是安全科学与工程的重要内容,工程事故主要由管理和控制上的失误所造成。白一尚等^[6]利用事故致因理论能探究安全事故根本原因的特性,结合行为安全管理理论,在工业制造领域建立了安全隐患治理模型,进行了一次良好的探索。

2. 数据挖掘技术

(1) Apriori 算法及其实现

20 世纪末,随着数据库系统的广泛应用,数据挖掘技术应运而生,按照功能大致可分为关联、分类、聚类、特征规则、离群点及区分规则分析等^[7]。在关联规则挖掘研究上提出的关联分析算法——Apriori 已成为当前使用最频繁的关联分析算法之一。Apriori

算法是一种挖掘频繁项集和发现关联规则的基本算法,主要应用频繁项集的先验原理与反单调性原理。

首先,扫描数据库,累计每个项的计数,并收集满足最小支持度的项,找出频繁 1 项集的集合,记为 L_1 ,然后,使用 L_1 找出频繁 2 项集的集合 L_2 ,使用 L_2 找到 L_3 ,如此下去,直到不能再找到频繁 K 项集,笔者用 Python 语言实现 Apriori 算法。Apriori 算法中,需要预先设定满足最低要求的支持度和置信度,设置的支持度数值越高,表示筛选出的项集出现的频率越高,风险发生的概率越大,设置的置信度越高,则表示筛选出的结果中风险因素间的关联性越强。

(2) 原始数据处理过程

将数据挖掘技术运用到某特定领域,首先遇到的问题是原始数据处理。一般来说,原始数据所包含的信息是无序的、混乱的,不能很好地接入模型,无法被算法识别。因此,笔者利用机器学习中的“降维”思路,先根据研究需要确定责任主体、涉事项目、处罚原因、事故类型、事故损失 5 个维度;再将 443 条原始信息文本向此五维进行映射与定维处理;最后,利用事故致因模型对其进行致因分解与确认,完成原始数据的处理。443 条信息中某条信息的处理过程如图 1 所示。

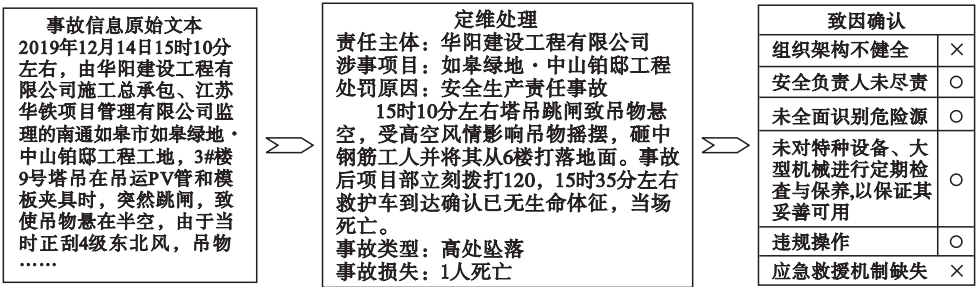


图 1 事故原始文本的致因分解确认过程

二、建筑工程施工安全生产事故致因系统模型

1. 建筑工程施工安全生产事故致因系统模型的建立

风险不等于事故,而是导致事故发生的潜在条件,内外部风险作用到承灾载体上,最

终因载体内部缺陷而导致事故发生,企业完善内部管理是增强载体承灾性的最主要手段。因而企业内部管理缺陷是酿成安全生产事故的最重要因素^[7-9]。

笔者从企业管理角度出发,结合其他学者的研究^[1,7]与相关法规,基于系统安全理论,考虑事故主体及所涉及阶段,建立建筑工

程施工安全生产事故致因系统模型(见图 2)。

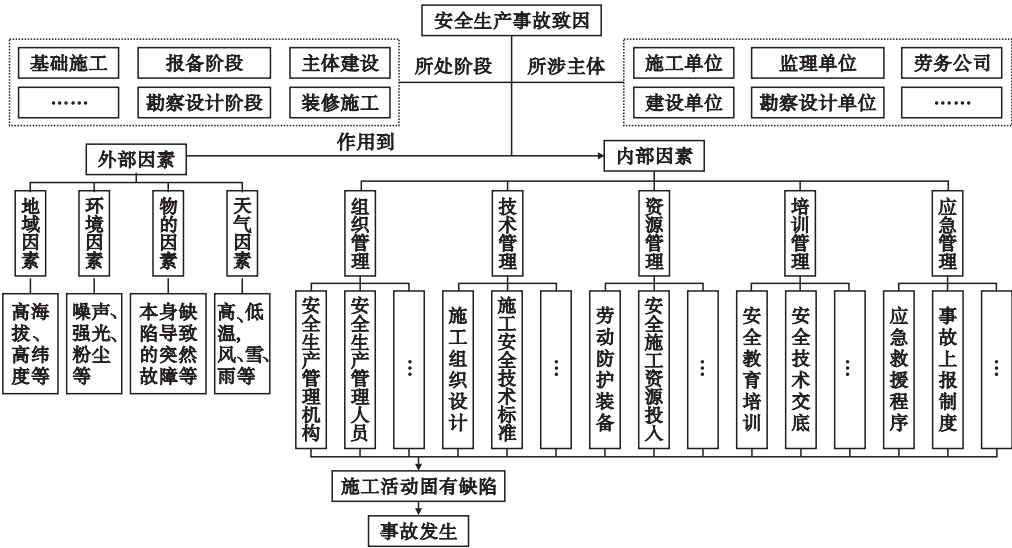


图 2 建筑工程施工安全生产事故致因系统模型

2. 基于安全生产事故致因系统模型的事故数据致因分解

组织管理是施工现场安全生产的制度保障,是施工安全生产管控系统的核心;技术管理是施工安全生产的实际控制手段;资源管理指通过调控资金、物资以维持施工安全生产活动运行的一种方式,主要包含支持安全生产和安全生产涉及的资源的投入情况;培训管理指通过安全培训手段辅助施工安全生

产活动的一种方式,培训对象是涉及施工过程的每一个人;应急管理是施工安全生产管理的最后环节,指预先制定的在事故发生时和发生后挽救人员生命、减小事故损失的一系列措施,失败的应急管理也是导致事故扩大或发生新事故的重要因素^[10]。笔者运用施工安全生产事故致因模型,根据收集的 443 条事故信息,对其进行致因分解并编码,结果如表 1 所示。

表 1 致因分解

管理方面	一级致因	二级致因
组织管理	安全生产管理机构运行不到位	组织架构不健全 A ₁ ;机构未正常运行 A ₂
	安全生产负责人员履职不到位	负责人能力不足 A ₃ ;负责人未尽责 A ₄ ;负责人员配置不足 A ₅
	分包单位管理不规范	违法分包 A ₆ ;转包 A ₇ ;分包单位管理不当 A ₈ ;从业人员资质不足 A ₉ ;违规组织施工作业 A ₁₀ ;企业违规申请资质或行政手续 A ₁₁ ;违规更换施工技术、材料 A ₁₂
	建设单位检查制度不合理	未按规定办理相关建设手续 A ₁₃ ;定期现场安全检查不到位 A ₁₄
技术管理	安全监理不到位	未委托合格监理单位 A ₁₅ ;监理单位未尽责 A ₁₆
	施工组织设计不合理	施工方案内容不全面 A ₁₇ ;施工方案编制或报批不规范 A ₁₈ ;临建工程搭建不规范 A ₁₉ ;未对危险性较大的分部分项工程制定专项施工方案或方案制定不合理 A ₂₀
	施工安全技术标准制定不到位	施工工序安排不合理 A ₂₁ ;未充分论证施工技术标准 A ₂₂
	施工图纸管理不当	原始记录缺失 A ₂₃ ;图纸质量过低 A ₂₄ ;图纸供应过晚 A ₂₅
资源管理	危险源管理不当	未全面识别危险源 A ₂₆ ;安全隐患整改不及时 A ₂₇
	施工机械设备养护不当	未对施工器械、设施进行检查保养并保持完好 A ₂₈ ;未按规定使用施工机械设备 A ₂₉
	劳动防护装备问题	安全防护用具配置不足 A ₃₀ ;安全防护用具不标准 A ₃₁
	安全施工资源投入不足	安全防护措施调整不及时 A ₃₂ ;安全警示标志设置不合理 A ₃₃ ;降低安全生产条件 A ₃₄ ;安全生产专项资金不足 A ₃₅ ;未按规定参加工伤保险 A ₃₆
	施工材料管理不当	未对材料进行合格验收 A ₃₇ ;未按规定妥善保管材料 A ₃₈ ;未按规定使用材料 A ₃₉

续表		
管理方面	一级致因	二级致因
培训管理	特种设备、大型机械管理不规范	未按规定报备特种设备、大型机械 A_{40} ; 未对特种设备、大型机械进行定期检查与保养, 以保证其妥善可用 A_{41}
	安全教育培训不足	安全意识淡薄 A_{42} ; 安全生产施工氛围不足 A_{43} ; 违规操作 A_{44} ; 未进行安全生产教育培训并要求考试合格 A_{45}
	安全技术交底不充分	安全生产技术交底不全面或未交底 A_{46}
应急管理	应急救援程序制定不合理	事故预防措施不合理 A_{47} ; 应急救援机制缺失 A_{48} ; 救援行为未遵守规范 A_{49} ;
	事故上报体系不完整	瞒报 A_{50} ; 上报过程违规处理 A_{51}

三、基于数据挖掘算法的建筑工程施工安全生产事故致因指标筛选

Apriori 算法在本研究中的运用步骤如图 3 所示。其中, \min_sup 为最小支持度; \min_cong 为最小置信度。

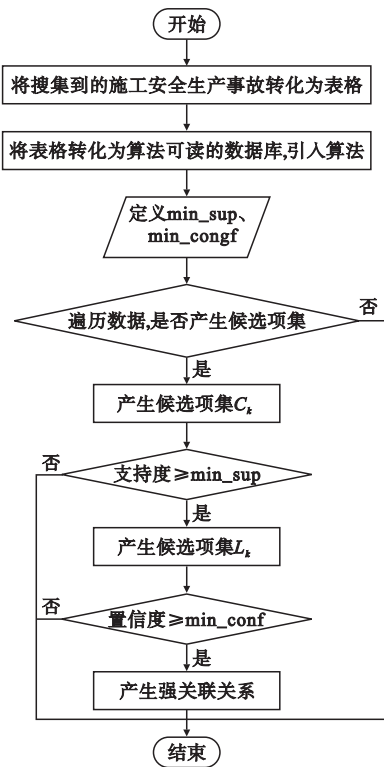


图 3 Apriori 算法运用步骤

1. 基于 Apriori 算法的建筑工程施工安全生产风险数据库

为实现利用 Apriori 算法挖掘数据的关联规则与频繁项集的根本要求, 需要一个包含事务集及其所包含致因项集的数据库。可以使用已编码的风险识别清单, 对采集并处理过的事务集进行对照、标记, 形成数据库。

2. Apriori 算法下的数据挖掘结果

在对数据进行关联分析前, 要合理设置最小支持度和最小可信度。若阈值设定过高, 则算法会忽略很多潜在关联关系; 若阈值设定过低, 则挖掘出的关联关系可能存在矛盾或冗余。经多轮测试, 将最小支持度设置为 20%, 最小置信度设置为 80%, 更为强调统计意义上挖掘出的关联关系的重要性, 体现数据挖掘算法的客观特性。同时, 数据挖掘方法的固有弊端在于部分挖掘结果仅具有数学意义上的数据关联性, 而无现实的逻辑性。因此, 将筛选出的频繁 1 项集作为关联关系的初始项, 挖掘出关联关系并对其进行合理筛选, 由此得到具有强关联关系的结果 (见表 2), 筛选出 17 个频繁 1 项集 (见表 3)。以 A_4 为例, 挖掘出其 主要影响因素 A_1 、 A_2 和 A_{45} 。

表 2 关联关系挖掘结果

关联关系	置信度
$\{A_1, A_2, A_{45}\} \Rightarrow \{A_4\}$	0.913
$\{A_1, A_2, A_{45}\} \Rightarrow \{A_{34}\}$	0.837
$\{A_2, A_4, A_5\} \Rightarrow \{A_{43}\}$	0.843
$\{A_{34}\} \Rightarrow \{A_{43}\}$	0.810
$\{A_1, A_{35}\} \Rightarrow \{A_{45}\}$	0.935

四、建筑工程施工安全生产事故致因数数据挖掘结果分析及建议

1. 组织管理方面

组织管理相关致因因素在事故数据挖掘中支持度全部大于 0.450, 呈现强支持度, 表明组织管理不当对事故发生负有重大责任。“负责人未尽责”是导致事故发生的最关键致因, 支持度达 0.748, 其他因素还有“组织架构不完整”“机构未正常运行”“负责人配

表 3 频繁 1 项集

一级致因	1 项集	二级致因	支持度
安全生产管理机构运行不到位	{A ₁ }	组织架构不健全	0.469
	{A ₂ }	机构未正常运行	0.467
安全生产负责人员履职不到位	{A ₄ }	负责人未尽责	0.748
	{A ₅ }	负责人员配置不足	0.465
安全监理不到位	{A ₁₆ }	监理单位未尽责	0.446
施工组织设计不合理	{A ₂₀ }	未对危险性较大的分部分项工程制定专项施工方案或制定不合理	0.200
危险源管理不当	{A ₂₆ }	未全面识别危险源	0.434
	{A ₂₇ }	安全隐患整改不及时	0.212
安全施工资源投入不足	{A ₃₃ }	安全警示标志设置不合理	0.233
	{A ₃₄ }	降低安全生产条件	0.323
	{A ₃₅ }	安全生产专项资金不足	0.203
	{A ₄₂ }	安全意识淡薄	0.382
安全教育培训不足	{A ₄₃ }	安全生产施工氛围不足	0.495
	{A ₄₄ }	违规操作	0.274
安全技术交底不充分	{A ₄₅ }	未进行安全生产教育培训并要求考试合格	0.307
	{A ₄₆ }	安全生产技术交底不全面或未交底	0.212
应急救援程序制定不合理	{A ₄₇ }	事故预防措施不合理	0.278

置不足”“监理单位未尽责”。回溯事故数据发现,未能在危险性较大的施工活动中旁站(38%)、现场巡查不到位导致未发现危险源(43%)、漠视现场危险源不进行整改(21%)、对现场临电设施等施工支持设施缺乏管控(65%)等是“负责人未尽责”的具体表现。而在关联关系挖掘中发现,“安全人员未尽责”的影响因素主要是“组织架构不健全”“机构未正常运行”“未进行安全生产教育培训并要求考试合格”,且置信度达0.91。

经分析发现,安全人员懈怠主要是机构残缺和制度失效带来的监督控制不足导致的,同时,安全生产培训与考试的缺失导致安全人员对职责范围不明确或缺乏安全管理意识、履职尽责责任心和管理手段。因此,机构建设上,应根据项目规模、性质建立健全安全生产管理机构,指定安全生产专职总负责人并配置足够的安全生产管理人员,且为危险性较大的分部分项工程指定负责人。制度建设上,建立健全安全生产责任制,执行安全风险日清销项会与月度总结会制度,为建设、勘察设计、施工和监理单位提供交流办事平台。建立风险日志,记录风险源的发现与整改情况,便于“以点带面”发现与排查问题。

2. 技术管理方面

“未全面识别危险源”是导致事故发生的最关键致因,支持度达0.434,其他因素还有“未对危险性较大的分部分项工程制定专

项施工方案或方案制定不合理”和“安全隐患整改不及时”。

关联关系挖掘中与组织管理挖掘结果相印证,“组织架构不健全”“机构未正常运行”“未进行安全生产教育培训并要求考试合格”是导致“降低安全生产条件”的主要影响因素,置信度达0.843。一方面,安全负责人未尽责,未主动巡查危险源或危险源检查和上报制度缺失;另一方面,安全教育缺失导致安全人员没有及时识别出危险源。

笔者对技术管理过程中易出现技术问题的分部分项工程进行了部分统计(见表4)。

表 4 建筑工程施工安全生产事故统计

分类标准	事故分类	事故比例/%
按工程分部	起重吊装工程	27.6
	基坑工程	17.3
	幕墙安装工程	10.9
	脚手架工程	9.7
	钢构、网膜等结构安装工程	8.6
	模板工程及支撑体系	4.9
	拆除工程	4.1
	爬架工程	1.1
	高处坠落	33.2
	坍塌	21.9
按事故类型	物体打击	19.4
	起重伤害	8.6
	机械伤害	2.3
	车辆伤害	2.1
	火灾	0.7
	触电	0.3

项目应对可能存在风险的起重吊装工程,基坑工程,幕墙安装工程,脚手架工程和

钢构、网膜等结构工程给予跟踪和技术支持,合理划分施工区域,尽量避免危险性较高的工程交叉作业,妥善排布施工工序,总结安全生产技术并及时向施工人员传达,注重提升安全负责人的业务能力。

3. 资源管理方面

资源管理中“降低安全生产条件”是导致事故发生的最关键致因,支持度达0.323,其他因素还有“安全警示标志设置不合理”“安全生产专项资金不足”。关联关系挖掘结果表明,“机构未正常运行”“安全人员未尽责”“安全人员配置不足”是导致安全生产条件降低的主要影响因素,置信度达0.84。

回溯事故数据发现,未保证施工现场办公、生活区及作业场所符合规定要求,未保证机械设备、施工机具与配件符合标准及未保证安全防护用具符合规范,是主管部门认定“不再具备安全生产条件”并暂扣或吊销安全生产许可证的主要处罚理由。因此,资源管理过程中,要保证安全生产专项资金的持续投入,应注重资源的倾斜方向,首先保证项目安全生产的基本条件,使施工活动得以持续。同时,加强制度建设,加大培训管理投入,增加安全防护的冗余配置,可有效提高施工过程承灾能力。

4. 培训管理方面

培训管理中“安全生产施工氛围不足”是导致事故发生的最关键致因,支持度达0.495,其他因素还有“安全意识淡薄”“违规操作”“未进行安全生产教育培训并要求考试合格”“安全生产技术交底不全面或未交底”。

关联关系挖掘中,“机构未正常运行”“安全负责人未尽责”“安全负责人员配置不足”是导致“安全生产施工氛围不足”的主要影响因素,置信度达0.84,“降低安全生产条件”也是影响因素,置信度达0.81;“组织架构不健全”和“安全生产专项资金不足”是导致“未进行安全生产教育培训并要求考试合格”的主要影响因素,置信度达0.93。

笔者认为,安全生产施工氛围的形成主

要靠制度保证,由安全负责人具体实施和进行监督,安全负责人懈怠和配置不足导致的监控活动缺位会严重削弱施工人员安全生产意识,安全生产条件的降低在使承灾能力下降的同时会使施工人员产生侥幸心理出现冒险行为,从而导致事故发生。因此,培训管理中最重要的是通过培训行为培养人员安全生产意识,营造安全生产氛围,使人员在主观上杜绝违规行为的同时,通过全面的安全技术交底提高人员的安全生产技能。

5. 应急管理方面

应急管理中“事故预防措施不合理”是导致事故发生的关键致因因素,支持度达0.278。由表4可知,高处坠落、坍塌、物体打击、起重伤害、机械伤害是最常见的5个安全生产事故。因此,项目应做好高处作业人员资格审查和安全教育,配置合格的安全防护用具,严格按照技术操作规程进行作业,同时,完善机械设备检查维护等预防措施。应加强对此五大类事故的救援演练,保证各环节中专人专项,设置冗余。

五、结 论

(1)通过事故致因系统模型对事故集进行致因分解,得到事故致因数据库;运用挖掘频繁集项和多维关联规则的数据挖掘方法,建立基于Apriori算法的建筑施工安全生产事故致因分析模型,对挖掘结果进行分析,得到有意义的研究结论,可为改进施工安全生产过程管理提供参考。

(2)将数据挖掘技术应用于工程管理领域,为涉及的数据提供一种行之有效的处理方式,即在获取大量原始数据后,根据研究需要确定数据维度,对原始数据进行降维,运用事故致因理论等系统理论构建指标体系,并对降维后的数据进行指标确认,以单一事故为单元进行编码,形成可被算法直接识别的数据库,进而进行挖掘。

(3)将数据挖掘技术应用于建筑工程施工安全管理,能有效解决建筑施工安全生产事故数据复杂多量的问题,而且可以利用其

多量性能为数据挖掘技术提供数据支撑,为聚类、分类等数据挖掘算法与工程管理领域的进一步结合及其相关研究奠定基础。

参考文献:

[1] 丁传波,黄吉欣,方东平.我国建筑施工伤亡事故的致因分析和对策[J].土木工程学报,2004(8):77-82.

[2] 陈大伟,赵晨阳,田翰之,等.建筑安全生产事故统计指标体系创新及应用研究[J].中国安全科学学报,2013,23(11):72-78.

[3] 张伟,朱双娜,张潇,等.建筑施工安全事故致因系统模型与实证分析[J].中国安全科学学报,2019,29(6):56-62.

[4] 覃容,彭冬芝.事故致因理论探讨[J].华北科技学院学报,2005(3):1-10.

[5] 郭飞.工程规则初探:从事故致因理论引入[J].华中科技大学学报(社会科学版),2008

(6):83-89.

[6] 白一尚,吴恒,王颖,等.基于事故致因理论的安全隐患治理模型[J].工业工程与管理,2013,18(1):118-122.

[7] 孙智超.数据挖掘技术在建筑能耗数据分析中的应用研究[D].重庆:重庆大学,2017.

[8] GORMAN L O. A note on histtorgam equalization for optimal intensity range utilization[J]. Computer graohics and image processing,1988(41):229-232.

[9] JI X,TONG W,NING B,et al. QuaPra:efficient transcript assembly and quantification using quadratic programming with Apriori algorithm[J]. Science China (life sciences), 2019, 62(7):937-946.

[10] 赵腾.装配式建筑施工安全投入优化模型的构建[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2021,23(2):135-142.

Research on Management of Construction Engineering
Safety Production:Based on Accident-Causing
Theory and Data Mining Technology

JIANG Dongmin^{1,2},HE Dongliang¹,ZHANG Zhe¹

(1. School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266500, China;2. Research Center for Smart City Construction and Management, Qingdao 266500, China)

Abstract:In order to clarify the key factors of construction safety production and reduce the safety production accident rate, this paper uses accident cause theory and data mining technology to analyze the accident occurrence mechanism according to the collection of a large number of construction safety production accident examples, and establishes a construction safety production accident cause model to decompose the cause of the accident. Furthermore, this paper also provides a method of processing the original information to obtain data that can be identified by data mining technology, using the association analysis technology in data mining technology to find frequent set items and association relationships, in order to explore the key links of construction safety production. Accident data are obtained by processing information on 443 construction safety production accidents, starting from a total of five types of management: organization, technology, resources, training, and emergency. An accident cause model is established. The accident data are decomposed to establish an accident cause database, and the Apriori algorithm is used to mine relationship between 17 frequent set items and 5 strong correlation, and the cause mechanism is analyzed to provide control suggestions.

Key words:construction safety production; accident cause; data mining; correlation analysis
(责任编辑:郝雪 英文审校:林昊)