

基于 csQCA 的组态分析的事故致因演变规律研究

任跃武 贾龙 石成虎 李思雯 杨皓月
西安重装智慧矿山工程技术有限公司

DOI:10.12238/acair.v2i3.8635

[摘要] 为了防范和减少煤矿事故,保障能源安全,以“十三五”规划前后各40起典型煤矿事故为研究对象,基于TOE框架构建了技术、组织和环境三个层面的事故致因表,运用清晰集定性比较分析方法(csQCA)进行组态分析,探究“十三五”规划前后煤矿事故的致因路径和演变规律。结果表明:“十三五”规划前后的煤矿事故分别存在着6条和4条组态路径,并聚类归纳为5种事故类型:安全培训不足型、技术管理型、设备-组织管理型、制度缺陷型和组织管理型;通过对两时期的煤矿事故致因进行对比,发现“十三五”规划后设备缺陷已不是煤矿事故的主要诱因,技术管理问题也由资料技术管理问题转变为体系技术管理问题,安全培训缺失问题也得到显著改善,但组织管理问题仍然是影响事故发生的关键因素。最后根据研究结果,提出了预防煤矿事故的对策和建议。

[关键词] 煤矿事故; 多时段定性比较分析; TOE框架; 演变分析

中图分类号: X752 文献标识码: A

Study on the evolution of accident profile based on csQCA

Yuewu Ren Long Jia Chenghu Shi Siwen Li Haoyue Yang

Xi'an Heavy Equipment Intelligent Mine Engineering Technology Co., LTD

[Abstract] In order to prevent and reduce coal mine accidents and ensure energy security, 40 typical coal mine accidents before and after the "13th Five-Year Plan" were taken as the research objects, and the accident causation table of technical, organisational and environmental levels was constructed based on the TOE framework, and group analysis was carried out by using the clear-set Qualitative Comparative Analysis (csQCA) method to investigate the causation path and evolution pattern of coal mine accidents before and after the "13th Five-Year Plan". The causal paths and evolution patterns of coal mine accidents before and after the "13th Five-Year Plan" were investigated. The results show that there are 6 and 4 group paths of coal mine accidents before and after the "13th Five-Year Plan" respectively, which are clustered into 5 types of accidents: insufficient safety training, technology management, equipment-organisation management, system defects and organisation management. By comparing the two periods, it is found that equipment defects are no longer the main cause of coal mine accidents after the "13th Five-Year Plan", technical management problems have been changed from information technology management to system technology management, and the problem of lack of safety training has been significantly improved, but organisational management problems are still the key factor affecting the occurrence of accidents. Finally, based on the results of the study, countermeasures and suggestions for preventing coal mine accidents are proposed.

[Key words] coal mine accident; Qualitative Comparative Analysis of Clear Sets; TOE Framework; evolutionary analysis

引言

在中国的工业化快速增长期,煤炭作为基础能源,在确保能源安全和稳定供应中扮演着关键角色。从“十五”到“十一五”期间,煤炭行业迎来了快速发展,煤矿数量显著增加,但安全生产被忽略,导致矿难频发。进入“十二五”时期,产业发展观念

转向“安全-高效-绿色”,现代化技术如综合机械化采矿得到推广^[1]。到了“十三五”,国家加强了安全投入和智能化建设,提升了煤矿安全生产水平^[2]。尽管安全形势有所改善,煤矿事故仍然偶尔发生,显示出在新形势下安全生产面临的风险。因此,分析事故原因和机理,理解不同阶段的事故规律,对提高新时期的

煤矿安全生产至关重要。

针对我国的煤矿事故,学者们采用了不同的理论、模型和研究方法,对煤矿事故的影响因素进行了广泛而深入的研究。田水承等^[3]以我国2008-2020年发生的煤矿顶板事故为研究对象,运用文本挖掘、关联规则技术分析得出安全管理混乱、违章操作等六项致因对事故发生起主要作用;柳茹林等^[4]运用改进的煤矿HFACS-MI模型发现管理因素是煤矿重大事故发生的主要原因;CHEN等^[5]运用多维统计方法分析了2001年到2010年我国的煤矿事故,发现忽视或破坏安全制度、程序和规范的不当操作和管理因素仍然是煤矿事故的关键致因。

综上,关于煤矿事故致因的研究多以探究单一因素对煤矿事故的影响,鲜有学者利用组态视角分析并且考虑前因变量和因果路径的时间动态性。鉴于此,以“十三五”前后两时期各40起典型煤矿事故案例作为研究对象进行对比分析,运用csQCA方法考察事故成因的演变,力求找出不同组态类型的共同致因和演变致因,提出针对性的建议,以期提高煤矿安全生产水平,防范和减少事故发生。

1 研究方法

本研究使用清晰集定性比较分析方法,适合处理复杂的多变量非线性问题^[6]。csQCA通过考虑不同条件的组合效应,识别导致煤矿事故的多种路径。这种方法特别适用于分析二分变量和中等样本量(10-60个样本)的数据。鉴于研究样本量为40,且研究的结果变量是事故是否重大的二分属性,使用“0-1”编码构建真值表,进而进行单因素和组合路径分析,是合适的选择。

2 研究设计

2.1 模型构建

技术-组织-环境(TOE)框架理论强调,不同维度和条件之间存在相互交互作用和紧密依赖关系,它们以独特的方式组合和排列,从而实现共同目标,对组织结果产生影响^[7]。煤矿事故的发生会受到多重因素的影响。基于TOE框架,能够反映多维度变量对煤矿事故发生的影响,从而为有效预防煤矿事故提供可借鉴的启示。据此,从“技术-组织-环境”三维度确定影响煤矿事故的关键性前因变量,结合csQCA方法,考察煤矿事故致因及其演变,框架如图1所示。

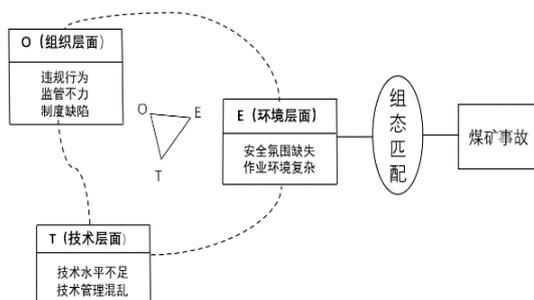


图1 煤矿事故联动致因模型

2.2 案例选择

案例的选择应具备同质性和多样性。为此,研究分别从国家

煤矿安全监察局、煤矿安全生产网等权威网站上收集了“十三五”前后各40起典型煤矿事故案例。这些案例保证了同质性,即都发生在“十三五”规划前后这个共同的时间背景下,可以反映不同时期煤矿安全生产形势;同时,选取的案例覆盖了不同地区、不同规模、不同类型的煤矿,事故类型众多,保证了案例的多样性。

2.3 变量的选择及赋值

(1)选择结果变量。根据中华人民共和国国务院令第493号,煤矿事故等级通过死亡人数、重伤人数、经济损失三个指标区分。但因经济发展影响,“十三五”规划前事故等级主要以死亡人数为标准,10人以上为重大事故,10人以下较大或一般事故。而“十三五”规划后,考虑到特重大和重大事故减少,事故严重性同时依据死亡人数和经济损失两个指标评估,死亡3人且经济损失超过1000万元划为重大事故,3人以下死亡或经济损失1000万元以下为一般事故。

(2)选择条件变量。对于中小样本(10-40个案例)的分析,通常是选择4-7个解释条件。条件数量太多会导致案例的“个体化”,不利于获得能够对跨案例进行规律性、综合性解释的结果。因此,基于事故报告中的致因以及前人的研究,结合TOE框架,确定了技术缺陷、技术管理混乱、违规行为、安全监管不足、制度缺陷、煤矿安全文化氛围和物理环境7个前因条件。

3 研究分析

3.1 单变量必要性分析

依据QCA方法的基本流程,在进行条件组态分析之前,需先对单个条件变量的“必要性”进行检验。其运算公式如下:

$$Consistency(X_i \leq Y_i) = \frac{\sum[\min(X_i, Y_i)]}{\sum(X_i)} \quad (1)$$

$$Coverage(X_i \leq Y_i) = \frac{\sum[\min(X_i, Y_i)]}{\sum(Y_i)} \quad (2)$$

式中: X指在条件中赋值为“1”的案例数, Y指在结果中赋值为“1”的案例数;

$\min(X_i, Y_i)$ —两者之间取最小值。

由于本文要分析两个时期煤矿事故产生的原因,故得到两时期单因素必要条件分析表,

如上表所示,没有任何一个因素的一致性大于0.9且覆盖率大于0.8,两阶段煤矿事故的发生均不是由某单一因素决定,而是多条件共同作用的结果。因此,有必要分析各条件变量对于结果变量的协同联动效应。3.2组态分析结果

组态分析通过探索条件变量组合对结果变量的影响,采用一致性和覆盖率作为评价指标,以一致性水平大于0.75为标准认定组态对结果有良好解释力。本研究设置一致性阈值为0.8,通过fsQCA3.0软件分析,得出复杂解、简约解和中间解三种结果。主要报告中间解,并用简约解辅助解释。分析得出,7个条件变量形成128种可能组态,阶段一产生6条路径,一致性为0.931,覆盖率为0.871;阶段二产生4条路径,一致性为0.935,覆盖率为0.967,显示出较强的解释力。

(1) 阶段一较大煤矿事故的组态分析。根据组态路径中条件变量在技术、组织和环境三个维度中的分布情况, 将条件组态归类并命名。阶段一较大煤矿事故致因的组态共有4类, 分别为安全培训不足型、技术管理型、设备-组织管理型和制度缺陷型。组态1a和组态2a的核心条件均为安全培训不足(E1), 这两条路径均强调较大煤矿事故的发生主要由煤矿企业对职工及管理人員的安全培训不足导致, 故将这类路径命名为安全培训不足型; 组态2同时包括技术和组织两个维度, 核心条件为技术缺陷(T1)和违规行为(O1), 这条路径强调较大煤矿事故的发生是技术水平不足和违规行为协调驱动作用的结果, 故将这类路径命名为技术-组织管理缺陷型; 组态3的核心条件为技术管理缺陷(T2), 说明技术管理缺陷也会导致较大煤矿事故的发生, 故将这条路径命名为技术管理缺陷型; 组态4a和组态4b的核心条件均为制度缺陷(O3), 强调了制度缺陷对煤矿事故的关键影响, 故将这条路径命名为制度缺陷型。

(2) 阶段二较大煤矿事故的组态分析。阶段二中较大煤矿事故致因的组态共有3类, 分别为技术管理型、组织管理型和制度缺陷型。组态5a和组态5b包含违规行为(O1)和监管不力(O2)两个核心条件, 这两条路径强调较大煤矿事故的发生是由组织内部的管理因素所导致, 故将这条路径命名为组织管理缺陷型; 由于组态6和组态7的核心条件与阶段一的组态3、4a、4b的核心条件相同, 故采用阶段一的命名规则, 即技术管理型和制度缺陷型。

4 结论

以“十三五”规划前后各40例较大煤矿事故案例为基础, 对较大煤矿事故发生组态致因路径进行分析, 得出以下结论:

(1) 技术层面: 通过对比两时期事故发生的原因, 我们发现“十三五”规划后所发生的较大煤矿事故中, 由设备缺陷所导致的事事故显著减少。在“十三五”期间, 随着我国供给侧改革的推进和煤炭产业结构的调整, 使我国煤炭产能不断向大中型企业聚集, 乡镇小煤矿逐渐减少, 从而使采煤设备的自动化程度不断提高, 检测系统水平提高, 开采技术升级, 大大减少了由于技术缺陷而导致的煤矿事故。但技术管理缺陷仍然是“十三五”时期前后所存在的一个共性问题。但这类缺陷在不同时期会有所区别: 在“十三五”时期之前, 技术管理缺陷问题主要是由于安全投入不足所引起的图纸、资料造假, 专业技术人员配备不足等问题; 而在“十三五”时期之后, 由于技术水平的提高, 自动化设备数量增加, 大大提升了系统的复杂度, 导致技术设备的维护和管理体系存在缺陷。为了减少煤矿事故发生, 推进国家“十三五”规划中高效智慧煤矿的建设, 根据研究结果, 提出以下几点对策和建议: 一是继续加大安全生产技术投入, 确保资金、人

才等支撑。二是建立自动化和智能化设备全生命周期管理体系, 完善安全监测、风险评估、故障响应等机制。三是完善技术管理考核体系, 建立技术质量和系统安全双重考核。

(2) 组织层面: 无论“十三五”前还是“十三五”后, 组织管理层面一直是煤矿事故的重要诱因。这主要表现在两个方面: 一是由于企业内部安全制度不健全, 导致责任不明确, 各部门之间协调不畅, 安全治理存在诸多漏洞; 二是上级监管部门监督不力, 导致企业违规行为时有发生。从根本上减少煤矿事故, 必须高度重视组织管理体系建设。企业要全面梳理完善各层级、各部门的安全职责体系, 严格落实责任制; 政府监管部门要加大监督检查力度, 及时发现企业违规问题并严肃处理, 并建立监督约束和奖惩机制。

(3) 环境层面: 最后, 从环境层面进行分析, 我们可以发现安全培训的缺失的问题在第二时期也在显著减少。这一变化归因于过去几年中对安全培训体系的显著改进和加强。随着安全意识的提高和安全培训体系的完善, 员工的风险识别能力和安全防范意识得到了显著提升。这表明, 尽管技术创新和制度建设对于防止煤矿事故的发生至关重要, 但是系统性的安全培训和文化建设也发挥了不可忽视的作用。因此, 维持低事故率的关键在于持续的安全教育、培养深厚的安全文化以及实施定期的技能更新和警示教育。通过这些措施, 可以有效地提高员工的安全意识和责任感, 进一步减少煤矿事故的发生。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[EB/OL]. (2011-03-16)[2022-07-01]. http://www.gov.cn/2011/07/content_1825838.htm.
- [2] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[EB/OL]. (2016-03-17)[2022-07-01]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content_5054992.htm.
- [3] 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(02): 117-121.
- [4] 柳茹林, 程卫民, 于岩斌. 基于HFACS-MI改进模型的煤矿重特大事故人因分析[J]. 煤矿安全, 2017, 48(08): 250-253.
- [5] Chen H, Qi H, Long R, et al. Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors[J]. Safety science, 2012, 50(4): 745-750.
- [6] 杜运周, 贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA): 管理学研究的一条新道路[J]. 管理世界, 2017(06): 155-167.
- [7] 孙佩红, 刘凯月. 战略性新兴产业高质量发展组态研究——基于TOE拓展框架的fsQCA分析[J]. 西部论坛, 2022, 32(5): 12-25.