

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2022.03.013

基于扩充版“2-4”模型的煤矿重大事故致因分析

倪廉钦¹, 高 杰²

(1. 安徽理工大学深部煤矿采动响应与灾害防控国家重点实验室, 安徽 淮南 232001;
2. 山西金晖万峰煤矿有限公司, 山西 孝义 032300)

摘要:为系统研究煤矿重大事故的致因因素, 强化安全管理体系, 有效预防煤矿重大事故的发生, 以 2011—2020 年发生的 74 起煤矿重大事故为研究对象, 结合煤矿重大事故特征, 采用“2-4”模型事故致因链作为分析路径, 定量统计分析了事故致因因素的发生频次和占比, 总结得出重大事故发生的原因, 构建了适用于煤矿重大事故的致因分析模型, 采用卡方检验分析了重大事故上下层级致因因素之间的相关性, 并提出了针对煤矿重大事故的预防措施。结果表明: 煤矿重大事故相邻层级因素之间有 20 组影响因素的数据具有统计学意义, 其中“安全重视程度不足—安全监管不到位—违规冒险作业—不具备生产施工资质”是煤矿重大事故最易发生的途径。

关键词:煤矿重大事故; 改进的“2-4”模型; 致因分析; 卡方检验; 让步比分析

中图分类号:TD77⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2022)03-0068-06

Cause Analysis of Major Coal Mine Accidents Based on Extended "2-4" Model

NI Lianqin¹, GAO Jie²

(1. State Key Laboratory of Mining Response and Disaster Prevention and Control in Deep Coal Mine, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui, 232001, China; 2. Shanxi Jinhui Wanfeng Coal Industry Group, Xiaoyi, Shanxi 032300, China)

Abstract: This paper takes the 74 major accident of coal mine during 2011-2020 as the research subjects in order to study the causal factors of major coal mine accidents, strengthen the safety management system and effectively avoid the occurrence of major coal mine accidents. Based on the characteristics of major coal mine accidents, this paper follows the analytic approach of “2-4” model accident cause chain to quantitatively calculate and analyze the occurrence frequency and proportion of the accident causal factors which reaches an conclusion for the causes of major accidents. Cause analytic models are constructed and Chi-squared test is used to analyze the correlation between the causes of major accidents at different levels before suggestions for major accident prevention measures are put forward. The results show that there are 20 groups of influencing factors between adjacent levels of major coal mine accidents, among which "insufficient awareness of safety, inadequate safety supervision, illegal and risky operation, and lack of production and construction qualification" are the most common causes for major coal mine accidents.

Keywords: major coal mine accidents; improved “2-4” model; cause analysis; Chi-squared test; odds ratio analysis

0 引言

煤矿重大事故是指造成死亡人数 10 人以上 30 人以下, 或者 50 人以上 100 人以下重伤, 或者 500 万元以上 1 亿元以下直接经济损失的事故。虽然国

家安全监管部门以事故调查报告作为事故分析依据, 剖析事故发生的直接原因、间接原因及日常管理存在的问题, 并提出整改措施, 起到了一定的警示作用, 但随着开采深度的增加、作业环境复杂多变, 我国煤矿安全事故防治形势依旧严峻^[1-2]。

收稿日期: 2022-04-12

基金项目: 安徽理工大学校级资助项目(xjyb2020-02)。

作者简介: 倪廉钦(1991—), 男, 安徽淮南人, 助理实验师, 硕士, 研究方向: 矿井灾害防治、安全科学与工程。

煤矿重大事故造成的人员伤亡和经济损失,一直是煤矿安全工作的重点。因此,分析煤矿重大事故的发生原因对预防事故发生,保证员工生命安全具有重要意义。

国内外众多学者针对煤矿重大事故致因分析开展了大量的研究,Lenne等^[3]基于HFACS模型,分析了澳大利亚煤矿重大安全事故发生的原因;乔万冠等^[4]利用N-K模型,构建了耦合视角下的煤矿重大瓦斯事故致因模型;李新春等^[5]对FRAM理论进行改进,明确了煤矿重大事故是由多因素非线性耦合产生的;赵永峰等^[6]总结了神华集团所属煤矿重大灾害现状,并建立了评价技术及管控体系。

现阶段,煤矿安全事故分析多倾向于一般性统计,致使分析出的事故的影响因素关联性不强,难以深入、系统地分析煤矿重大事故发生的各层次因素之间的因果关系。“2-4”模型是将事故的直接、间接、根本、根源原因分为组织行为和个人行为2个层面,其中“2”是指2个层面,“4”是指一次性行为和物态(直接原因)、习惯性行为(间接原因)、运行行为(根本原因)、指导行为(根源原因)4个阶段^[7]。人的行为因素导致煤矿重大事故发生的比例高达90%,而行为安全“2-4”模型可以将事故产生的各种原因在模型上明确定义^[8-9]。因此,本文基于前人提出的“2-4”模型,结合2011—2020年74起煤矿重大事故发生的原因进行统计分析,构建了考虑内部、外部影响链的煤矿重大事故致因体系,并根据卡方检验和让步比分析对致因体系中相邻层级间的因果关系进行了分析,旨在有针对性地剖析煤矿重大事故预防管理工作中的重点问题。

1 煤矿重大事故统计分析

本文按照事故分类、死亡人数对2011—2020年发生的74起典型煤矿重大事故进行了统计分析,如图1所示。由图1可知,74起煤矿重大事故共造成1 093人死亡,其中瓦斯事故发生39起,死亡人数高达581人。

2 基于扩充版“2-4”模型的煤矿重大事故致因模型构建

2.1 扩充版“2-4”模型概述

“2-4”模型已在煤矿安全管理及行为管理中得到了应用,该模型将事故发生归结为个人层面和组织层面2个方面。傅贵等^[10]结合人的社会属性,围绕“分析事故必须按组织进行”的基本思想,对行为“2-4”模型进行了扩充,并根据行为影响关系,引入

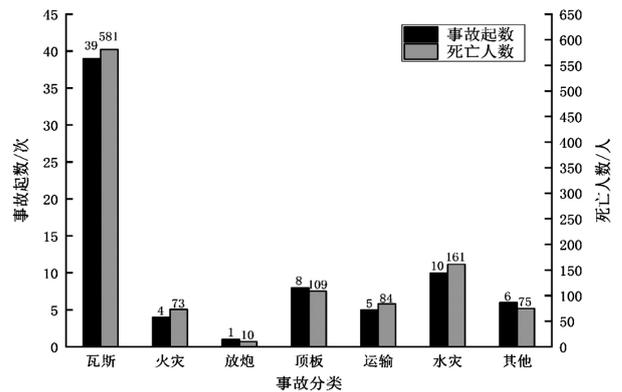


图1 2011—2020年煤矿各类重大事故发生起数、死亡人数统计

“内部影响链”“外部影响链”,据此形成了扩充版行为安全“2-4”模型,该模型结构如图2所示。结合煤矿安全生产实际,对扩充版“2-4”模型适用性进行解释。

1)重大事故的发生不是单一的不安全行为或不安全物态引起的,而是多因素在时间、空间上耦合作用导致的,因此在分析重大事故产生原因时,要在分析个人层面的基础上,重点分析组织层面的因素。

2)个人行为分为一次性行为和习惯性行为,一次性行为是导致煤矿重大事故发生的直接原因,且与不安全物态互相影响。一次性行为的出现部分是偶然因素影响,但更多的是欠缺安全知识导致工作人员的安全意识薄弱,安全意识薄弱潜移默化形成了不良的行为习惯,即因不清楚危险源、不知道事故的危险因素导致不知道如何防范薄弱环节,形成随意性强、忽略制度约束的习惯性行为,在心理影响行为的作用下,进而引发事故。

3)外部影响链中的多个部门对煤矿安全管理体系和安全文化产生影响,也会直接影响组织中人的安全知识、安全意识和安全习惯。安全管理体系中的监督管理、规章制度和教育培训存在的漏洞以及安全文化中的观念文化、行为文化、制度文化、物态文化的缺失作为外部影响因素始终通过内部因素产生作用,并不直接引起事故的发生^[11-12]。

2.2 基于扩充版“2-4”模型的煤矿重大事故致因体系的建立

将发生煤矿重大安全事故的因素总结对应到扩充的“2-4”模型中,即根据煤矿重大事故的特征,辨识出各致因因素在重大事故中的具体表现形式,构建适用于煤矿重大事故致因分析的改进“2-4”模型。改进的“2-4”模型将煤矿重大事故的致因因素分为44项,具体如表1所示。

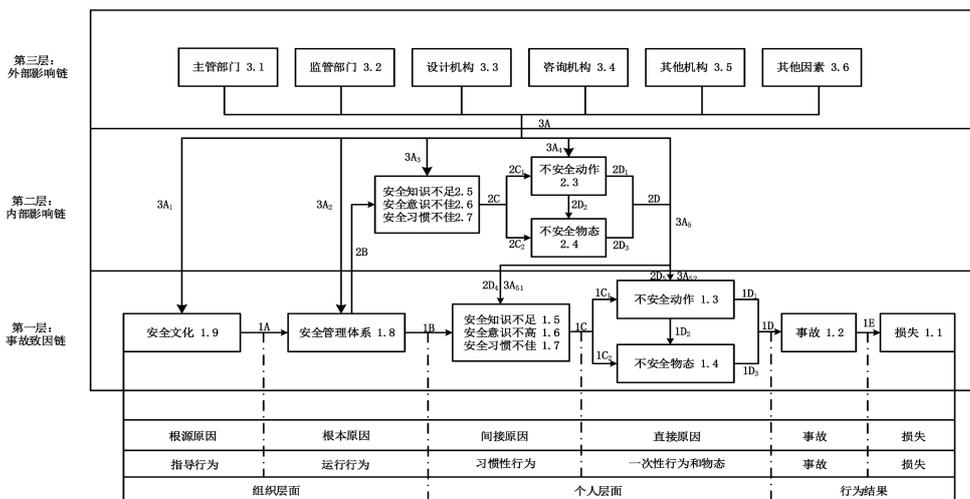


图2 扩充版行为安全“2-4”模型

表1 基于扩充版“2-4”模型的煤矿重大事故致因体系

分类原因	直接原因	间接原因	根本原因	根源原因
事故致因分析	不安全行为: 1.1 违法、越界开采; 1.2 不具备生产、施工资质; 1.3 采用明令禁止的施工工艺; 1.4 违章指挥作业; 1.5 未按作业规程及时处理安全隐患; 1.6 违规开启或关闭专用设备; 1.7 未对作业环境进行安全检查; 1.8 对危险区域未采取针对性安全防护措施; 其他	安全知识: 3.1 未持证上岗; 3.2 不清楚作业规程; 3.3 作业前未进行关键数据探查或探查不充分; 3.4 未进行安全隐患排查或排查不到位; 3.5 未能识别灾害发生征兆; 3.6 个体安全防护不到位; 3.7 安全教育培训、应急演练不到位; 其他	安全管理体系: 6.1 未落实安全生产责任制; 6.2 安全规章制度未落实; 6.3 安全管理混乱; 6.4 无安全技术交底或技术交底不完善; 其他	安全文化建设: 8.1 安全重视程度不足; 8.2 安全效益理念未形成; 8.3 安全观念未形成; 8.4 安全制度作用未体现; 8.5 安全物态投入认识不足; 8.6 安全责任主体落实不到位; 8.7 安全教育、培训不足; 其他
	不安全物态: 2.1 设备设施或材料不符合国家或行业规定; 2.2 未按规定使用专用设备、设施; 2.3 设备、设施存在故障、缺陷; 2.4 未设置应急救援设备、紧急避险设施; 2.5 巷道、工作面、采空区布置混乱; 2.6 易燃、易爆火工产品未妥善保管; 其他	安全意识: 4.1 违规冒险作业; 4.2 突发情况下自救、互救意识差; 4.3 雇佣未接受安全教育培训或未进行设备安全培训的临时工; 4.4 未注意高危作业环境存在的安全隐患; 其他	安全组织机构: 7.1 安全组织机构不健全; 7.2 人员、工序分配不当; 7.3 安全投入不到位, 缺少安全设施、设备; 7.4 安全监管不到位; 7.5 资质审查、风险评估不到位; 其他	

改进后的“2-4”模型在个人层面中,将重大事故产生的直接原因分为不安全行为和 unsafe 状态,其中不安全行为具体划分为 8 项因素, unsafe 物态具

体划分为 6 项因素。在间接原因分析中,充分考虑了安全知识、安全意识、安全习惯 3 者共同影响下的 14 项因素。在组织层面中,深入剖析了多种外部因

素对事故产生的影响,其中由安全文化缺失导致的根源原因的影响因素7项,由安全管理体系混乱导致的根本原因的影响因素4项,安全组织机构不健全导致的根本原因的影响因素5项。

利用改进后的“2-4”模型分析了74起煤矿重大安全事故,并对重大事故各致因因素的具体表现形式进行了频数统计与分析,如图3所示。由表1和图3可知,直接原因中,共发生不安全行为156次,其中对危险区域未采取针对性安全防护措施共出

现29次,所占比例为18.59%;发生不安全物态78次,其中未按规定使用专用设备、设施共出现28次,所占比例为35.44%。在间接原因中,安全知识欠缺共发生137次,占间接原因发生总频次的50.93%。在根本原因中,安全监管不到位发生高达59次,占根本原因发生总频次的20.77%。根源原因中,安全文化重视程度发生50次,安全责任主体落实不到位发生45次,分别占根源原因发生总频次的22.03%和19.82%。

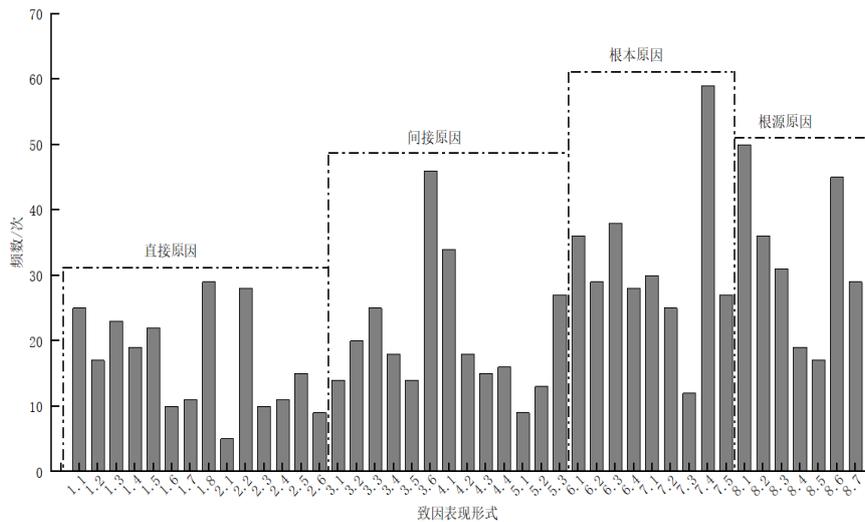


图3 煤矿重大事故致因表现形式统计

3 煤矿重大事故致因分析

3.1 卡方检验和让步比分析简介

卡方(χ^2)检验适用于检验实际分布与理论分布的差异程度。 f_0 表示实际观测值, f_e 表示理论观测值, χ^2 的计算公式为

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e} \quad (1)$$

让步比(OR)是用于衡量上下层次间影响因素A出现与影响因素B出现的关联性大小的特征值。假设B出现时A同样出现的概率为 t_1 ,B出现时A不出现的概率为 t_2 ,则OR可用如下公式计算:

$$OR = \frac{t_1}{t_2} \quad (2)$$

3.2 煤矿重大事故致因关联分析

本文统计的组织和个人层面的影响因素属于定类变量,因此可以利用 χ^2 检验进行分析。本文利用卡方检验和让步比分析对上述构建的煤矿重大事故致因体系相邻层次影响因素的因果关系进行分析。 χ^2 检验值、P值、OR值采用SPSS软件实现。

基于获得的数据,采用2×2列联表的形式分析煤矿重大事故致因模型之间相互独立或相关的关系。根据 χ^2 值的计算结果,计算P值,并计算让步比(OR)值。若 $P < 0.05$ 且 $OR > 1$ 时,表示2因素不独立;反之表示2因素是独立的。依次计算后,可建立煤矿重大事故致因体系不同致因因素层级间的显著因果关系图,如图4所示。

3.3 因果关系分析

1)由图4可知,在改进的“2-4”模型中,根源原因与根本原因层级之间存在7组显著的因果关系,分别是安全重视程度不足与未落实安全生产责任制、安全监管不到位,安全观念未形成与无安全技术交底、安全投入不到位,安全教育培训不足与无安全技术交底、安全投入不到位,安全物态投入认识不足与安全投入不到位。其中,安全重视程度不足和安全教育培训不足对根本原因层级组成的因素影响较为显著。安全重视程度不足对安全监管不到位影响最大,它使安全监管不到位发生的可能性提高到3.76倍,这与扩充版“2-4”模型中外部影响因素通过安全文化影响组织中的人的安全知识、安

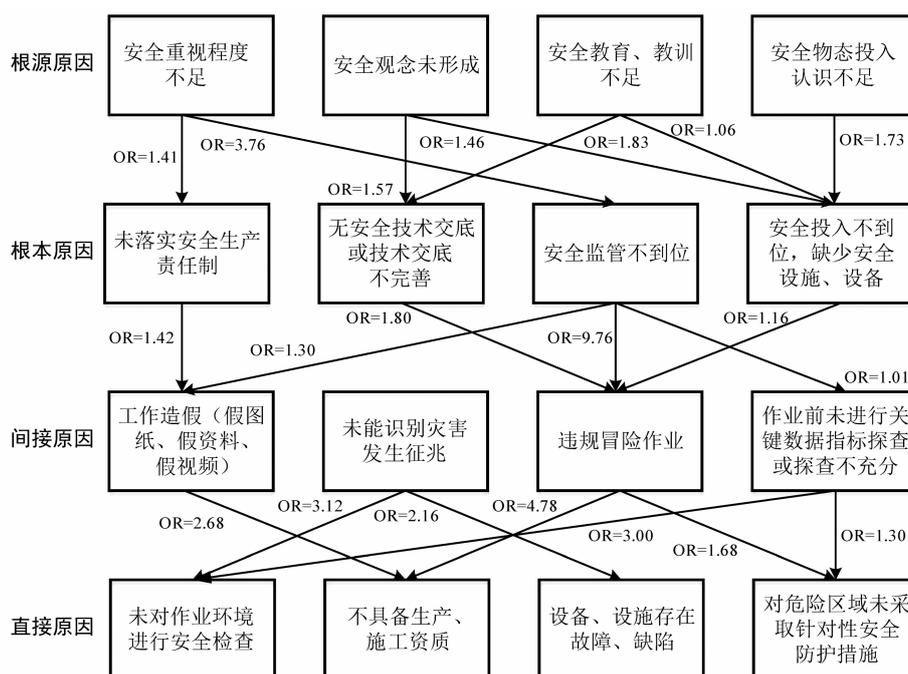


图4 基于改进“2-4”模型的煤矿重大事故致因体系中不同层级间的因果关系

全意识、安全习惯相一致。

2)根本原因与间接原因层级之间存在6组显著的因果关系,分别是未落实安全生产责任制与工程造假,无安全技术交底与违规冒险作业,安全监管不到位与违规冒险作业、工程造假、作业前未进行关键数据指标探查,安全投入不到位与违规冒险作业。其中安全监管不到位和工程造假对间接原因层级组成的因素影响较为显著。安全监管不到位对违规冒险作业影响最大,它使违规冒险作业发生的可能性提高到安全监管到位的9.76倍。监督不到位会导致组织中的个体安全知识欠缺、安全意识淡薄、安全行为为习惯不佳,从而埋下违规冒险作业的安全隐患。

3)间接原因与直接原因层级之间存在7组显著的因果关系,分别是工程造假与不具备生产施工资质,未能识别灾害发生征兆与未对作业环境进行安全检查、设备设施存在故障缺陷,违规冒险作业与不具备生产施工资质、对危险区域未采取针对性安全防护措施,作业前未进行关键数据指标探查与未对作业环境进行安全检查、对危险区域未采取针对性安全防护措施。其中违规冒险作业对不具备生产施工资质影响最大,它使不具备生产施工资质发生的可能性提高到具备生产施工资质的4.78倍。

4 分析建议

1)推动安全文化建设。煤矿企业要重视安全

与生产、安全与效益、安全与生存发展之间的联系。要不断完善安全文化建设,强化安全培训和警示教育,丰富安全知识,提高从业人员安全防范意识和风险辨识能力。强化制度管理、技术管理、作业规程管理,并根据实际情况,及时修补完善规章制度和作业规程。要加大安全投入,严禁使用国家明令禁止或者淘汰的设备、工艺,建立健全安全避险系统和应急救援设施。

2)构建安全管理体系。煤矿安全管理应健全安全生产责任体系,落实企业安全生产主体责任。同时,要不断完善安全管理规章制度,解决制度真空问题。统筹安排员工作业,根据制度要求,科学合理布置作业工序等,避免发生交叉作业等情况。

3)强化监管力度,控制不安全行为,实现安全检查与监督管理常态化。要提高煤矿安全检查的规范化、科学化,要细化日常检查内容,发现安全隐患,及时处理。针对日常检查不充分,未及时督促消除安全隐患等不安全行为,要施行严格的监管制度规范员工行为。通过依法治理、系统治理,推进煤矿安全治理能力现代化。

5 结论

1)结合煤矿生产实际,基于扩充版“2-4”模型,构建了煤矿重大事故致因体系。通过对2011—2020年间发生的74起煤矿重大事故原因的统计分析,直接原因共出现234次,间接原因共出现269

次,根本原因共出现284次,根源原因共出现227次。

2)运用独立性检验方法构建了煤矿重大事故致因体系不同致因因素层级间的显著因果关系图,其中“安全重视程度不足—安全监管不到位—违规冒险作业—不具备生产施工资质”是煤矿重大事故

最易发生的途径。

3)根据分析结果,从推动安全文化建设、构建安全管理体系、强化监管力度3个方面控制不安全行为和物态,提出具有针对性的煤矿重大事故预防措施。

参考文献:

- [1] 林永明.基于层次话题模型的煤矿安全事故致因要素研究[J].安全与环境学报,2018,18(2):619-623.
- [2] 陈兆波,刘媛媛,曾建潮,等.煤矿安全事故人因分析的一致性研究[J].中国安全科学学报,2014,24(2):145-150.
- [3] LENNE M G, SALMON P M, LIU C C, et al. A systems approach to accident causation in mining: An application of the HFACS method[J]. Accident Analysis and Prevention, 2012(48): 111-117.
- [4] 乔万冠,李新春,刘全龙.N-K模型下煤矿重大瓦斯事故风险耦合致因分析[J].科技管理研究,2017,37(2):196-200.
- [5] 乔万冠,李新春,刘全龙.基于改进FRAM模型的煤矿重大事故致因分析[J].煤矿安全,2019,50(2):249-252+256.
- [6] 赵永峰,刘忠全.神华集团公司煤矿重大灾害防治关键技术与管理[J].煤炭工程,2017,49(S2):1-4.
- [7] 傅贵,殷文韬,董继业,等.行为安全“2-4”模型及其在煤矿安全管理中的应用[J].煤炭学报,2013,38(7):1123-1129.
- [8] 沈中芹,曾旺,王瑞强,等.基于改进HFACS-MI模型的煤矿透水事故致因分析[J].安全与环境工程,2020,27(3):178-184.
- [9] 傅贵,王秀明,李亚.事故致因“2-4”模型及其事故原因因素编码研究[J].安全与环境学报,2017,17(3):1003-1008.
- [10] 傅贵,杨春,殷文韬,等.行为安全“2-4”模型的扩充版[J].煤炭学报,2014,39(6):994-999.
- [11] 倪廉钦.淮南矿业集团企业安全文化建设研究[D].淮南:安徽理工大学,2016.
- [12] 许素睿,项原驰,任国友,等.新的行为安全“2-4”模型研究[J].中国安全科学学报,2016,26(4):29-33.