

基于 HFACS 的煤矿顶板事故人因分析

陈晓勇¹, 施式亮^{1,2*}, 李润求^{1,2}, 游波^{1,2}, 李岩¹

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 煤矿顶板事故是我国煤矿安全事故的重点防范对象之一, 在我国煤矿事故中顶板事故发生的频率尤为密集, 且一旦发生顶板事故就有可能对国家经济造成巨大损失. 针对事故率较高的煤矿顶板事故, 结合 HFACS 基本框架模型, 应用统计学软件 SPSS20.0 对我国发生的 150 起典型煤矿顶板事故原因进行统计, 并通过卡方检验、让步比(OR)来系统分析煤矿顶板事故人因各层次的因果关系. 结果表明: 基于 HFACS 模型的检验分析, 可以得出顶板事故相邻各层次中人为因素都存在着显著的因果关系, 且管理者和操作者的失信是导致煤矿顶板事故的主要原因, 并针对此问题提出对策性建议. 通过对煤矿顶板事故的人因分析, 能较好的为煤矿顶板事故的预防提供理论支持.

关键词: 顶板事故; 人为因素分析和分类系统(HFACS); 卡方检验; 煤矿安全

中图分类号: X936 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2017)04-0009-05

Analysis of Coal Mine Roof Accidents Based on HFACS

Chen Xiaoyong¹, Shi Shiliang^{1,2}, Li Runqiu^{1,2}, You Bo^{1,2}, Li Yan¹

(1. School of Resource, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The coal mine roof accident is one of the key prevention targets of coal mine safety accidents in China. The frequency of coal mine roof accidents in China is especially intensive, which has caused great loss to the national economy. Thus, aiming at the coal mine roof accidents, SPSS20.0 software is used to analyze the causes of the 150 typical coal mine roof accidents. Combining with the basic framework of HFACS model, this paper systematic analyzes the significant relations among various aspects of human factors of coal mine roof accidents through chi square test and odds ratio (OR). Results show that there are causal relations between the adjacent human factors in the HFACS framework level of coal mine roof accidents, and the failure of managers and operators is the main cause of coal mine roof accidents. It also puts forward some suggestions for the solution to the problem, which provides theoretical support for the prevention of coal mine roof accidents.

Keywords: roof accident; human factors analysis and classification system (HFACS); chi square test; coal mine safety

近年来, 伴随着国家经济的快速发展, 我国煤炭开采技术在原有基础上不断得到提高, 越来越多先进的煤矿监测监控设备陆续投入使用, 煤矿相关法律法规也逐渐完善落实, 煤矿安全生产形势也日渐趋好. 虽然我国煤矿事故数量和伤亡人数、百万吨死亡人数均大幅度下降^[1], 但相比较国外而言, 我国煤矿顶板灾害形势依然严峻, 据统计分析 2014 年全国共发生煤矿事故 509 起、造成 931 人死亡, 其中顶板事故共发生 196 起、导致 292 人死亡, 2015 年全国共发生煤矿事故 352 起、导致 598 人死亡, 而顶板事故共发生 134

收稿日期: 2017-03-23

基金项目: 国家自然科学基金资助(51774135;51274100); 湖南省教育厅科研一般资助项目(15C0553)

* 通信作者, E-mail: xtpussl@vip.sina.com

起、致使 171 人死亡,比较两年煤矿发生事故起数和死亡人数可知,虽然煤矿事故总起数降低了 157 起,死亡人数减少了 333 人,但顶板事故依然是所有煤矿事故中发生起数和死亡人数最高的,分别占据了 38.1% 和 38.5%,数据分析充分表明,煤矿顶板事故灾害是煤矿安全生产过程中需要重点防范的对象,因此系统的分析导致煤矿顶板事故发生的原因是非常有意义的。

在煤矿事故原因调查分析等方面,陈兆波^[2]等基于 HFACS 框架比较分析了煤矿瓦斯安全事故人因因素,高平^[3]等基于行为安全“2-4”模型分析了造成某起重大煤矿顶板事故发生的动作、习惯、文化等原因,明峻峻^[4]等运用解释结构模型对顶板事故致因进行了分析,得到影响煤矿顶板事故的主要因素为人的因素和管理因素,李贤功^[5]等运用贝叶斯网络研究了煤矿顶板事故致因,章永凤^[6]分析了煤矿地质与煤矿顶板事故之间的关系,Patterson^[7]等针对昆士兰州发生的 506 起煤矿事故,利用 HFACS 框架分析得到最普遍的不安全行为是作业人员的技能差错,戴林超^[8]等针对我国煤矿顶板灾害,进行了安全分级评价,这些研究在一定程度上为煤矿事故原因调查分析做出了一定的贡献,但研究影响煤矿顶板事故发生的人因因素较少,且在全国煤矿事故统计中显示因人为因素造成的煤矿事故数量占据了较大比例^[9],因此分析煤矿顶板事故的人因因素是非常有价值的。基于此,本文结合 HFACS 模型分析找出导致煤矿顶板事故的主要人因因素,并从管理的角度出发提出对管理者和操作者人因失信行为的预控对策,以减少由于人因不安全行为对煤矿安全生产所造成的影响,为提高煤矿安全管理水平和预防煤矿顶板事故奠定坚实的理论基础。

1 人为因素分析和分类系统(HFACS)基础理论

HFACS 是一种开放性的用于分析人为因素的系统工具,它能够根据具体的行业特征进行适当调整,最早应用在航空领域^[10],其共包括组织管理影响、不安全的监督、不安全行为的前提条件和不安全行为等 4 个层次,该框架模型不仅可以同时考虑人的不安全行为及其潜在因素,还能够系统的分析人为因素,对于确定事故人为原因及制定相应的事故预防措施具有重大意义^[11],因此,随着研究的不断深入,该框架模型应用越来越广泛,且在铁路、医疗等行业取得了较好的效果,但在煤矿顶板事故人因分析领域应用较少,所以本文利用该模型来分析煤矿顶板事故的人因因素,以期对煤矿顶板事故原因调查、分析等方面提供理论支持。

2 基于 HFACS 框架模型的煤矿顶板事故原因分析

通过对 150 起煤矿顶板事故进行调查总结,得出由于人为因素原因造成的煤矿顶板事故比例约达 70.1%,由于管理因素导致的约占 86.5%,因此分析煤矿作业人员和安全管理人员的不安全行为,可以有效地针对影响我国煤矿顶板事故的人因因素提出合理的预防措施。

2.1 样本选择分析

针对我国近年来发生的 150 起煤矿顶板典型事故,按照事故发生地点分类统计,结果见表 1。

表 1 煤矿顶板典型事故地点频率统计

事故地点		事故地点	
事故地点	所占比率	事故地点	所占比率
采煤工作面	53.83	石门	0.84
掘进工作面	17.20	运输巷	1.72
巷道	14.60	采空区	0.84
回采工作面	2.03	切眼	0.86
井底	0.84	其他	7.24

从表 1 中我们可以看出,在这 150 起煤矿顶板典型事故发生的地点中,采煤工作面发生事故的频率最大,为 53.83%,其次为掘进工作面发生事故的频率为 17.20%,再者就是巷道发生事故的频率约 14.60%,其他如回采工作面、井底、石门、运输巷、采空区等地也可能发生事故。从事故调查分析中发现造成事故的主要原因是由于煤矿工人违章作业、安全意识薄弱,现场管理不严,监督检查不到位等煤矿工人的人为原因与管理者管理行为失信造成的,因此为有效的预防和控制影响煤矿顶板事故的人因因素,减少由于人因

因素导致的煤矿顶板事故所带来的巨大经济损失和人员伤亡,针对影响煤矿顶板事故发生的原因种类,开展人因因素方面的调查研究,可以有效的降低煤矿顶板事故发生的概率。

2.2 基于 HFACS 的煤矿顶板事故原因频率统计

以 150 起煤矿顶板典型事故为样本,利用 HFACS 框架模型,对每件事按照 HFACS 框架下各层次的原因对照分析统计,具体结果见表 2。

表 2 HFACS 框架模型下 150 起典型煤矿顶板事故发生的原因频率及所占比例统计

HFACS 基本框架	频率	百分比/%
安全文化缺失	42	28.00
资源管理不到位	33	22.00
管理过程漏洞	92	61.33
运行计划不恰当	72	48.00
监督不充分	99	66.00
违规监督	51	34.00
心理状态差	87	58.00
生理状态差	70	46.67
精神状态差	52	34.67
技能水平低	52	34.67
操作使用错误	49	32.67
物理环境	38	25.33
技术环境	32	21.33
员工资源管理	28	18.67
认知差错	26	17.33
决策差错	70	46.67
技能失误	63	42.00
违规	72	48.00

注:由于影响煤矿顶板事故的原因情况可能有多种,所以频率之和大于或等于 100%。

从表 2 中可以知道,在组织管理缺失的水平层次中,由于管理过程漏洞导致的事故约 61.33%,其次安全文化的缺失可能导致事故发生的概率为 28.00%,资源管理不到位可能引发事故的概率为 22.00%;在不安全的现场监督层次中,监督不充分占据了影响煤矿顶板事故发生概率的 66.00%,运行计划不恰当和违规监督行为约占 48.00%和 34.00%;在不安全行为的前提条件层次中,煤矿作业工人的心理状态和生理状态差占影响煤矿顶板事故的不安全行为前提条件的主体地位,其引发事故的概率分别为 58.00%和 46.67%,而物理环境、技术环境的不良对煤矿顶板事故也有一定的影响,且员工资源管理包括如作业人员的教育素质低和做事的细心度不够等方面,一旦这些因素出现就有可能导致煤矿顶板事故的发生;在不安全行为的层次中,导致煤矿顶板事故的主要原因是工人违规作业,其占据了事故发生比例的 48.00%。由此可知在 150 起典型煤矿顶板事故中,管理过程漏洞是经常出现的人因因素,不安全的监督行为主要体现在监督不充分,而工人不好的心理状态和生理状态是不安全行为前提条件的主要表现,不安全行为主要指的是工人违规。

2.3 煤矿顶板事故 HFACS 框架层次因果关系分析

为更好的分析 HFACS 框架模型下煤矿顶板事故人为因素间上下层联系及因果关系是否显著,本文利用卡方检验来探讨其合理性。将煤矿顶板事故 HFACS 人因层次水平间无显著的因果关系设为 H_0 ;令煤矿顶板事故 HFACS 人因层次水平间因果关系显著设为 H_1 。计算卡方统计量、卡方分布及自由度,确定当 H_0 成立的情况下获得当前统计量及更极端情况的概率 P ,当概率 P 小于 0.05 时,认为煤矿顶板事故人因上

下水平间有着密切关联的因果关系;否则,则认为上下层之间不存在因果联系.同时,引用让步比(OR, Odds Ratio)来反映煤矿顶板事故 HFACS 框架模型上层人的影响因素变化对下层人的影响因素概率增减的程度.如果 OR 值大于 1,表示煤矿顶板事故 HFACS 框架模型上层水平人为因素的失信会使得下层水平人为因素发生的可能性增大;如果 OR 值小于 1,则表示上层人因因素的变化不会影响到下层人因因素.利用 SPSS20.0 软件将我国 150 起典型煤矿顶板事故的卡方检验和让步比分析进行统计,将概率 P 小于 0.05 和让步比 OR 值大于 1 的结果进行筛选,详细统计见表 3.

表 3 HFACS 模型框架各层次因素间因果关系的卡方检验和 OR 值

HFACS 框架层次	χ^2 检验		OR	95%置信区间	
	χ^2 值	P 值		下限	上限
安全文化缺失×运行计划不恰当	6.233	0.006	2.874	1.434	8.657
安全文化缺失×违规监督	13.300	0.000	4.156	1.932	8.943
管理过程漏洞×监督不充分	4.376	0.023	8.357	1.196	7.136
资源管理不到位×监督不充分	17.717	0.001	3.520	3.117	17.869
管理过程漏洞×违规监督	8.735	0.003	3.239	1.456	7.177
运行计划不恰当×生理状态差	11.736	0.001	3.129	1.631	6.158
运行计划不恰当×精神状态差	3.367	0.007	1.889	0.095	3.737
监督不充分×员工资源管理	4.456	0.047	2.746	1.302	7.702
违规监督×员工资源管理	7.483	0.005	3.678	1.089	7.159
违规监督×技术环境差	11.874	0.001	3.746	1.723	8.167
生理状态差×决策失误	12.776	0.000	3.335	1.705	6.517
精神状态差×违规	3.176	0.057	1.797	0.940	3.343
员工资源管理×技能失误	1.237	0.017	3.683	0.688	4.100
物理环境差×决策失误	4.332	0.037	2.235	1.038	4.766
技术环境差×技能失误	4.538	0.031	2.242	1.067	5.509

注: $A \times B$ 表示原因 A 与结果 B 之间的因果关系

从表 3 可知 HFACS 框架中相邻各层人为因素都存在因果关系:在水平 1 和水平 2 之间的因果关系中,水平 1 中的安全文化缺失会引起水平 2 中运行计划不恰当和违规监督行为的产生,资源管理不到位会引起监督不充分,管理过程漏洞可能引发违规监督行为;在水平 2 和水平 3 层间关系中,水平 2 中的运行计划不恰当会引起水平 3 的生理状态差、精神状态差;监督不充分和违规监督会导致员工资源管理不协调;违规监督行为导致了技术环境变差的不安全行为前提条件;水平 3 和水平 4 之间的因果关系有 5 组,生理状态差和物理环境差导致了决策失误,精神状态差可能导致工人违规的发生,员工资源管理和技术环境差还可能引发技能失误等问题.

2.4 煤矿顶板事故人为因素影响路径分析

从表 3 中可以看出煤矿顶板事故 HFACS 框架层次中相邻人为因素都存在因果关系,在组织管理缺失与不安全的现场监督层次的因果联系中,管理过程漏洞和安全文化缺失可能导致违规监督等不良后果的发生,即管理过程漏洞或安全文化缺失使违规监督行为频繁发生,管理过程漏洞和资源管理不到位使得影响煤矿顶板事故的监督不充分人因因素发生的可能性增大了的约 8 倍($OR = 8.357$)和 3.52 倍($OR = 3.520$),在煤矿顶板事故中,管理过程漏洞通常是指企业管理者行为偏差,而安全文化缺失主要体现在矿业公司安全组织机构和安全生产制度不健全或不完善等方面,资源管理不到位则具体体现在安全生产资金及安全监管人员不足等方面;其次,在不安全的现场监督与不安全的行为前提条件层间的因果联系中,违规监督对技术环境差和员工资源管理的影响程度最大($OR = 3.746$),监督不充分导致员工资源管理不协调的概率增加了 3.6 倍($OR = 3.678$),而运行计划不恰当对煤矿工人生理状态和精神状态都有一定的影响.井下煤矿工人超负荷工作,班组人员搭配不合理,安全管理者给工人制定的作息和初始准备时间不规律,导致工人的生理机能、精神状态、风险识别和紧急情况处理能力下降.最后,在煤矿顶板事故不安全行为的前提条件层与不安全行为层的因果联系中,煤矿工人生理状态差和工作地点物理环境差可能导致决策失误发

生的概率增加 3.3 倍 ($OR = 3.335$) 和 2.2 倍 ($OR = 2.235$), 员工资源管理和技术环境差使技能失误出现的可能性增加了 3.6 倍 ($OR = 3.683$) 和 2.4 倍 ($OR = 2.242$)。精神状态差也可能导致违规行为的发生, 井下作业的高强度性和单调性使煤矿工人出现生理和精神状态差、安全意识缺失等状况, 而煤矿工人教育素质不高或做事不够细心等情况的存在使得员工资源管理可能出现协调等情况, 且当井下的物理环境和技术条件无法达到煤矿相关法律法规的基本要求时, 事故发生的概率大大增加了, 其具体关系路径如图 1 所示。

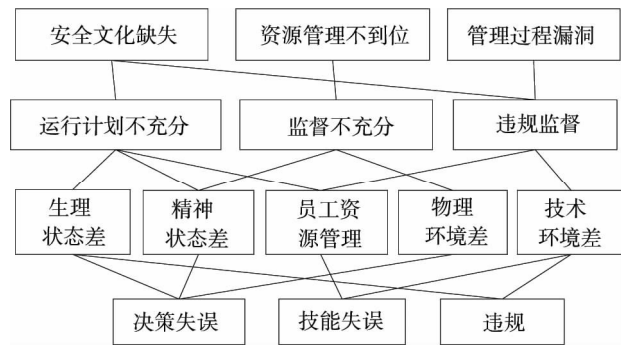


图 1 煤矿顶板事故 HFACS 各层次因素间因果

3 基于人因分析的煤矿顶板安全管理建议

1) 针对煤矿企业管理过程漏洞和安全文化缺失以及资源管理不到位等问题, 煤矿应贯彻落实安全生产责任制, 杜绝管理漏洞, 加强安全文化的宣传, 增强煤矿工人的安全意识, 合理配置和调度资源, 加大煤矿安全资金的投入。

2) 针对不安全的现场监督管理和设计工作, 建议现场监管人员合理分配岗位, 制定出科学的作息时间, 规范监督体制, 杜绝违规监督行为的发生, 增强煤矿工人对安全风险的辨识能力及对基本隐患的排查能力。

3) 针对作业环境及工人的身心状态和技能, 矿业公司应加强安全培训和安全宣传, 提高煤矿工人的基本素质, 增强煤矿工人的安全意识, 对井下工作环境合理布置, 定期清理。

4 结论

1) 运用 HFACS 框架模型来分析煤矿顶板事故, 可以知晓在煤矿顶板事故人因因素间上层次水平的缺失可能增加下层次水平因素发生的概率。从管理者和作业人员失信的人因角度分析, 主要包括管理过程漏洞、安全文化缺失、违规监督以及运行计划不恰当、工人生理、心理状态、技术环境和物理环境差以及违规等问题。

2) 将 HFACS 框架模型用来分析导致煤矿顶板事故的人因因素, 使煤矿顶板事故的分析更加具有全面性和可信性。

参考文献:

- [1] 孙继平, 钱晓红. 2004—2015 年全国煤矿事故分析[J]. 工矿自动化, 2016, 42(11): 1-5.
- [2] 陈兆波, 曾建潮, 董追, 等. 基于 HFACS 的煤矿安全事故人因分析[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(7): 116-121.
- [3] 高平, 傅贵. 我国煤矿顶板事故特征及发生规律研究[J]. 工业安全与环保, 2014, 40(8): 46-48.
- [4] 明崧崧. 基于 ISM 的煤矿顶板事故致因研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2013.
- [5] 李贤功, 葛家家, 胡婷, 等. 煤矿顶板事故致因分析的贝叶斯网络研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(7): 10-14.
- [6] 章永凤. 煤矿地质构造与顶板事故的关系分析[J]. 煤炭技术, 2007, 26(6): 76-77.
- [7] Patterson J M, Shappell S A. Operator error and system deficiencies: analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia using HFACS[J]. Accident Analysis and Prevention, 2010, 42(4): 1379-1385.
- [8] 戴林超. 我国煤矿顶板灾害事故安全分级评价及应用[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(2): 50-53.
- [9] <http://www.chinasafety.gov.cn:8090/isystem/shigumain.jsp>.
- [10] 李彦斌, 金宁, 洪梦琳. 基于 HFACS 和灰色关联法电网企业人为事故隐性危险源的辨识与评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(2): 157-161.
- [11] 江浩. HFACS 及其应用研究综述[J]. 中国科技信息, 2015(5): 13-14.