

# Analysis of Human Factors in Underground Non-Coal Mine Accidents Based on HFACS

Yong He<sup>1</sup>, Hongsen Luo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Information Science and Technology, Hainan University, Haikou Hainan

<sup>2</sup>College of Engineering, Sichuan Normal University, Chengdu Sichuan

Email: heyong1980@hainu.edu.cn

Received: Feb. 28<sup>th</sup>, 2017; accepted: Mar. 18<sup>th</sup>, 2017; published: Mar. 21<sup>st</sup>, 2017

---

## Abstract

With HFACS model, we summarize 5 first level indexes and 23 second level indexes of human factors in underground non-coal mine accidents. We compare all the indexes by using the analytic hierarchy process (AHP) to describe the weight of each index. Next, we invoke average scoring given by experts to construct judgment matrix and calculate maximum of matrix eigenvalue and consistency index with the help of Matlab; we get a good consistency from analytic hierarchy process and the weight of each index is reasonable. Whereas, judgment matrix depends on expert's knowledge, level, personal preferences and some other subjective factors, hence, we plan to improve the construction method of the fuzzy consistent judgment matrix to verify whether the scoring method from the experts accords with the actual situation. Finally, we find that the prior fuzzy matrix given by experts has good consistency and greatly raise the credibility and practicability.

## Keywords

Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Analytic Hierarchy Process, Judgment Matrix, Fuzzy Consistency

---

# 基于HFACS的非煤地下矿山人因事故分析

何 勇<sup>1</sup>, 罗宏森<sup>2</sup>

<sup>1</sup>海南大学信息科学技术学院, 海南 海口

<sup>2</sup>四川师范大学工学院, 四川 成都

Email: heyong1980@hainu.edu.cn

收稿日期: 2017年2月28日; 录用日期: 2017年3月18日; 发布日期: 2017年3月21日

## 摘要

通过HFACS模型, 总结出非煤地下矿山人因事故的五个一级指标和二十三个二级指标, 运用层次分析法对测评指标进行两两比较, 描述了各个一级指标和二级指标的所占权重, 采用专家打分取平均值的方法构造判断矩阵, 用Matlab软件计算矩阵的最大特征值, 一致性指标, 得出层次分析排序的结果有满意的一致性, 权系数的分配是合理的。因判断矩阵依赖于判断专家的知识结构、判断水平、个人喜好等主观因素影响, 通过改进的模糊一致性判断矩阵构造方法进行修正, 来验证专家的打分方法是否符合实际情况, 经分析得到专家给出的优先矩阵有满意的模糊一致性, 使可信度和实用性大大增强。

## 关键词

HFACS模型, 层次分析, 判断矩阵, 模糊一致性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

众所周知, 我国是矿业大国, 资源丰富, 非煤矿山行业生产总值占全国 GDP 总值的 1% 左右, 是国民经济发展的基础。但是, 矿难时有发生, 严重威胁着矿产资源的开发, 各类矿难事故平均每年死亡约 3000 人, 是矿山行业事故高发的国家之一, 百万吨矿石死亡率超过美国、南非等矿业发达国家的 30 倍。各类伤亡事故造成的直、间接经济损失为 GDP 的 1%~2.5%, 照此计算, 我国非煤矿山平均每年的事故损失约为 11~26 亿元[1]。据统计, 2005 年至 2014 年期间, 全国非煤矿山累计发生事故 17,919 起, 死亡 21,025 人, 平均年发生事故 1791 起, 死亡 2102 人[2], 是我国工业生产中伤亡事故最严重的行业之一, 事故总量大、重特大事故比重高、死亡人数多、每年死亡人数仅次于煤矿事故和道路交通事故, 在国内各行业中排第三[3]。2013 年, 地下矿山共发生事故 378 起、死亡 480 人, 分别占事故总起数和死亡人数的 57.4%, 56.3% [4], 可见地下矿山相对露天矿山危险性更大, 伤亡更加严重, 因此本文专门针对地下矿山进行研究。另外, 通过权威部门近几十年来的统计调查, 非煤地下矿山各类事故中, 由于人的不安全行为而诱发的事故占到 80% 以上, 其他原因主要指设备原因和自然灾害, 这个数字已经成了不争的事实, 因此我们当前的主要问题就是把人管好, 约束和控制好人的行为, 这个问题解决了, 安全才有出路, 那么如何解决人的问题, 首先要深层次挖掘产生人因事故的本质原因, 建立分析人因事故模型, 进而针对原因展开工作。

## 2. HFACS 模型指标体系

人因分析与分类系统(The Human Factors Analysis and Classification System, HFACS)是安全分析时广泛应用的人因分析工具之一, 以航空为中心、在航海、铁道、煤矿、医疗等领域均被采用。使用该系统可以得出事故原因中的人为因素, 并能从表层行为追溯到深层组织原因, 无论在确定事故原因还是制定防范措施都具有重大意义[5]。但 HFACS 是以航空安全事故为背景设计的人因分析模型(表 1), 针对非煤地下矿山而言, 不能完全套用, 本文首先根据我国非煤地下矿山的实际情况和特点对 HFACS 框架的详

**Table 1.** HFACS model index system [6] [7] [8] [9]  
**表 1.** HFACS 模型指标体系[6] [7] [8] [9]

一级指标	二级指标	具体描述
不安全行为	技能型失误	注意力不集中、记忆错误等
	决策失误	判断失误、方案制定错误、采用错误手段等
	认知失误	视觉错误、听觉错误、对设备、环境、人员认知错误、规范、区域认知错误等
	习惯性违规	习惯性违反规章制度、未安全操作、指令执行等
	特殊违规	情绪突变, 饮酒、疾病而导致的违规
	不利精神状态	精神疲倦、焦虑、丧失情境意识、疲劳作业等
	不利生理状态	出现幻觉、方向感偏差、感冒等
不安全监督	不当的劳动组织	不合理的任务安排、人员搭配、工艺设计、生产计划等
	未能纠正已知问题	违章操作、设备隐患、危险行为等没有及时纠正
	监管违规	监督未按制度执行、未按相关法律监督、监督制度不合理等
	安全投入不到位	技术、设备、人员培训、科技攻关等资源的配置和管理不足。
不安全行为的前提	生理与心理缺陷	有限的夜间视力、体能不足、反应迟钝、不够迅速的理解和反应能力等
	信息传递缺陷	人员沟通与协调不当、信息有误等
	个体准备不达标	休息不足、知识缺乏、缺少安全警觉性等
	设备缺陷	人机设计不当, 防护缺陷, 功能分配不当等
	不利的环境因素	噪声、粉尘、振动、色彩、照明, 气压等
组织影响	监管不足	无有效监督、缺少监督政策、无监督制度、无监督人员、无监督培训等
	安全文化缺失	企业文化, 安全意识、安全素养、责任心等缺失
	安全教育培训不足	员工知识、技能、理念、行为等方面教育不足
	危险源辨识不彻底	没有做到横向到边、纵向到底的危险识别
社会环境	规章制度不落实	规章制度缺乏针对性且不落实
	经济发展水平	经济发展历史地位决定性作用
	法制建设水平	法制建设水平决定着安全意识

细内容进行全面的改良和补充, 以提高 HFACS 分析的适用性, 从而有利于 HFACS 框架在非煤地下矿山中的应用。

### 3. 模型分析

#### 3.1. 评价因子集的建立

设地下非煤矿山安全行为等级的一级指标评价因子集为:  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}$

这里  $p$  为评价方面个数, 分别为  $u_1$ —不安全行为、 $u_2$ —不安全行为的前提、 $u_3$ —不安全监督、 $u_4$ —组织影响、 $u_5$ —社会环境。

二级指标因子集记为  $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ij}, \dots, u_{ip}\}$ , 式子中,  $p$  为第  $i$  个评价方面评价因素的个数。记  $a_i$  为  $u_i$  应分配的权重值,  $a_i$  满足  $\sum_{i=1}^p a_i = 1$ , 且,  $a_i \geq 0$ 。  $a_{ij}$  为对应  $u_{ij}$  分配的权重值,  $a_{ij}$  满足  $\sum_{j=1}^p a_{ij} = 1$ , 且

$a_{ij} \geq 0$ 。

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是萨蒂(Saaty, 1971)提出的一套决策方法, 主要应用于不确定情况下及具有多个评估准则的决策问题。它根据各个测评指标的相对重要性来确定权重, 通过对测评指标进行两两比较, 同时运用萨蒂给出的标度法, 使复杂的、无序的定性问题能够进行量化处理。表 2 为层次分析法对重要程度的划分情况。

表 2 反应了两个测评指标相对重要程度的得分, 例如一个指标  $u_i$  相对于另一个指标  $u_j$  略微重要, 则测评指标  $u_i$  相对测评指标  $u_j$  的比较得分为 3, 反过来测评指标  $u_j$  相对测评指标  $u_i$  的比较得分为 1/3。

### 3.2. 判断矩阵的构造

采用专家打分取平均值的方法构造判断矩阵  $S = (u_{ij})_{p \times p} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 7 & 5 & 5 \\ 1/2 & 1 & 4 & 3 & 3 \\ 1/7 & 1/4 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 2 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ , 用 Matlab 软件计

算矩阵  $S$  的最大特征值  $\lambda_{\max} = 5.0721$ , 一致性指标为  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.0721 - 5}{5 - 1} = 0.018025$ , 查找相应的随机一致性指标  $RI$ 。对  $n = 1, \dots, 9$ , saaty 给出了  $RI$  的值, 如表 3 所示。

$$RI = 1.12, \text{ 随机一致性比率 } CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.018025}{1.12} = 0.01609375 < 0.1$$

层次分析排序的结果有满意的一致性, 权系数的分配是合理的。并且, 最大特征值所对应的特征向量为  $d = (0.8409, 0.4658, 0.0951, 0.1733, 0.1920)$ ,

做归一化处理可得  $d_o = (0.4759, 0.2636, 0.0538, 0.0981, 0.1087)$ , 从计算结果可以看出, 非煤地下矿山人因事故中, 不安全行为和不安全监督占主要原因。作为作业人员, 须加强对不安全行为的控制; 作为监管部门, 需要加大对不安全行为的监管力度。

同理, 可以运用层次分析法得出二级综合指标, 见表 4。

从表 4 中, 我们可以很清晰的看出, 不安全行为中的决策失误占有绝对主导地位, 不安全监督中的安全投入不到位和监督违规也同样占有主导地位。

从以上方法中可以看出, 关键是构造判断矩阵, 其一致性一般会受到专家的知识结构、判断水平、个人喜好差异等众多主观因素的影响, 再加上人因事故本身的不确定性和模糊性, 判断矩阵的一致性有时并不容易达到。下面我们采用改进的模糊一致性判断矩阵来验证专家的打分方法是否符合实际情况, 其主要步骤是构造模糊互补矩阵, 进一步得到模糊一致性判断矩阵, 再通过两个检验的一致性标准进行评估。

决策者通过元素的两两比较重要性, 通过 0.1~0.9 标度构造优先关系矩阵

$$A = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.9 & 0.9 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.9 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.7 \\ 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.5 \end{pmatrix}, \text{ 该矩阵满足以下特点:}$$

- 1)  $0.1 \leq a_{ij} \leq 0.9$
- 2)  $a_{ij} + a_{ji} = 1$
- 3)  $a_{ii} = 0.5$

**Table 2.** Scale scale  
**表 2.** 比例标度表

相对重要程度	标度值	说明
同样重要	1	两比较方案的贡献程度同等重要
略微重要	3	经验与判断略微偏好某一方
明显重要	5	经验与判断强烈偏好某一方
非常重要	7	非常强烈偏好某一方
极端重要	9	有足够证据偏好某一方
相邻两程度的中间	2、4、6、8	需要折衷时使用

**Table 3.** The value of *RI*  
**表 3.** *RI* 的值

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>RI</i>	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

**Table 4.** The weight of each index in the index system  
**表 4.** 指标体系中各指标的权重

	一级指标	二级指标	二级综合指标
非煤地下 矿山 人因 事故	不安全行为 B1 (0.4759)	技能型失误 C1 (0.185)	0.0880415
		决策失误 C2 (0.583)	0.2774497
		认知失误 C3 (0.075)	0.0356925
		习惯性违规 C4 (0.087)	0.0414033
		特殊违规 C5 (0.025)	0.0118975
		不利精神状态 C6 (0.032)	0.0152288
		不利生理状态 C7 (0.013)	0.0061867
		不当的劳动组织 C8 (0.215)	0.056674
	不安全监督 B2 (0.2636)	未能纠正已知问题 C9 (0.055)	0.014498
		监督违规 C10 (0.358)	0.0943688
		安全投入不到位 C11 (0.372)	0.0980592
		生理与心理缺陷 C12 (0.131)	0.0070478
		信息传递缺陷 C13 (0.132)	0.0071016
	不安全行为的前提 B3 (0.0538)	个体准备不达标 C14 (0.125)	0.006725
		设备缺陷 C15 (0.106)	0.0057028
		不利的环境因素 C16 (0.178)	0.0095764
		监督不足 C17 (0.328)	0.0176464
		安全文化缺失 C18 (0.089)	0.0087309
		安全教育培训不足 C19 (0.518)	0.0508158
	组织影响 B4 (0.0981)	危险源辨识不彻底 C20 (0.075)	0.0073575
		规章制度不落实 C21 (0.318)	0.0311958
		经济发展水平 C22 (0.756)	0.0821772
	社会环境 B5 (0.1087)	法制建设水平 C23 (0.244)	0.0265228

计算重要性排序指数  $C_i = \sum_{k=1}^5 a_{ik} = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.1 \\ 2.5 \\ 1.9 \\ 1.3 \end{pmatrix}$ , 求模糊一致性判断矩阵元素为  $b_{ij} = \frac{c_i - c_j}{2(n-1)} + 0.5$ , 这里的  $n$

为判断矩阵的阶数, 得到模糊一致性判断矩阵为  $B = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.575 & 0.65 & 0.725 & 0.8 \\ 0.425 & 0.5 & 0.575 & 0.65 & 0.725 \\ 0.35 & 0.425 & 0.5 & 0.575 & 0.65 \\ 0.275 & 0.35 & 0.425 & 0.5 & 0.575 \\ 0.2 & 0.275 & 0.35 & 0.425 & 0.5 \end{pmatrix}$ , 为了验证专

家给出的优先关系矩阵是否合理, 我们给出两个一致性检验标准。

$$\delta = \max \{ |a_{ij} - b_{ij}|, i, j = 1, 2, \dots, n \}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} - b_{ij})^2}}{n}, \text{ 这里 } \delta, \sigma \geq 0, \text{ 通过大量实践, 我们认为取 } \delta < 0.2 \text{ 且 } \sigma < 0.1 \text{ 较为合理。}$$

利用“和法”求得排序向量

$w = (0.26, 0.23, 0.2, 0.17, 0.14)^T$ ,  $\delta = 0.175 < 0.2$ ,  $\sigma = 0.1063$ , 略大于 0.1, 说明专家给出的优先矩阵有满意的模糊一致性, 比较符合实际情况, 可以采纳。

#### 4. 结论

本文从非煤地下矿山的实际出发, 依据 HFACS 模型, 总结出非煤地下矿山人因事故的五个一级指标和二十三个二级指标, 通过层次分析法对测评指标进行两两比较, 同时运用萨蒂给出的 1~9 标度法, 使复杂的、无序的定性问题能够进行量化处理, 描述了各个一级指标和二级指标的所占权重, 从中可以更加具体的反正各个指标的影响力度, 比较客观的反应了非煤地下矿山人因事故的各种影响指标所占权重。而判断矩阵依赖于判断专家的知识结构、判断水平、个人喜好等主观因素影响, 因此本文又通过改进的模糊一致性判断矩阵构造方法进行了修正, 来验证专家的打分方法是否符合实际情况, 其主要步骤是构造模糊互补矩阵, 进一步得到模糊一致性判断矩阵, 再通过两个检验的一致性标准进行评估, 得出更为合理的评价指标, 可信度和实用性大大增强。

#### 基金项目

海南大学教育教学改革研究项目(hdjy1639)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 王启明, 鲍爱华. 我国非煤矿山安全生产现状与技术发展[J]. 采矿技术, 2005, 5(2): 11-13.
- [2] 王运敏, 李世杰. 金属非金属矿山典型安全事故案例分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2015.
- [3] 潘成林. 非煤矿山安全避险体系的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2014.
- [4] 王运敏, 李世杰. 金属非金属矿山典型安全事故案例分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2015.
- [5] 江浩. HFACS 及其应用研究综述[J]. 中国科技信息, 2015(5): 13-14.
- [6] 解学才, 杨振宏, 许贵阁. 基于改进的 HFACS 和 SPA 的矿山安全人因分析[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(3): 37-41.
- [7] 董追. 基于 HFACS 的煤矿安全事故人因分析和分类研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原科技大学, 2014.

- [8] 王黎静, 莫兴智, 曹琪琰. HFACS -MM 模型构建与应用[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(8): 74-78.
- [9] 宋泽阳, 任建伟, 程红伟, 齐文字, 贾宁. 煤矿安全管理体系缺失和不安全行为研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 128-135.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aam@hanspub.org](mailto:aam@hanspub.org)