

基于熵权法的地勘集团安全生产标准化 影响因素分析

干雨杭, 张 谦, 刘啸尘, 李先杰

(核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149)

摘要: 安全生产标准化建设对于单位的安全生产管理具有重要意义。为了探究某地勘集团安全生产标准化建设的影响因素, 采用熵权法对其 4 家下属单位安全生产标准化评审结果进行了分析。结果表明, 应急管理、持续改进、检维修、生产现场和生产过程、职业卫生、安全警示标志是该地勘集团的安全生产标准化建设需要重点关注的因素, 并针对这些因素提出了改进建议。

关键词: 地质勘查; 安全生产; 标准化建设; 熵权法; 评价指标; 影响因素

中图分类号: X921; TL71; P619.14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2024)01-0087-06

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2023.11.07

开展安全生产标准化建设是落实企业安全生产主体责任, 健全安全生产长效机制, 提高企业安全管理水平, 规范人员安全行为, 有效防范事故发生的重要途径; 也是强化安全监管, 提高执法效能的有效手段^[1]。近年来, 大力推广和应用安全生产标准化, 在各领域均得到了较好的反馈^[2]。中国诸多大型军工集团也在推广具有自身特色的安全生产标准化工作, 并发布实施了专门的安全生产标准化评审标准^[3]。

根据安全生产标准化工作的特性, 不同行业领域采取的建设标准是不同的。地质勘探企业因其钻探施工规模小、工期短、流动性高、作业分散等特点, 其安全生产标准化建设拥有独特之处, 这对安全生产标准化建设产生了一定影响。安全生产标准化达标评审分数是对企业安全生产标准化建设现状的最直观体现, 基于安全生产标准化评审得分开展地勘集团安全生产能力的建设分析是十分必要的。

前人对于地质勘探行业安全生产标准化工作进行了研究。李玉文从建设流程和方法角度对金属矿山地质勘探安全生产标准化建设进行了探究, 认为管理人员和作业人员的安全意识和理念、

安全政策和措施是金属矿山地质勘探安全生产标准化建设的基础^[4]。祝俊奇总结地质勘探行业安全生产标准化建设和运行经验, 并对影响地质勘探行业安全生产标准化有关因素进行了分析, 认为安全文化、全员参与、约束机制、持续改进是重要因素^[5]。高盛林认为工作人员的主动性、质量保证、管理意识是钻探安全生产标准化达标重要措施^[6]。杨向红以天津华北地质勘查局为例, 论述了地勘单位野外工作主要涉及的安全风险因素, 重点从目标职责、制度化、教育培训、现场管理、安全风险管控及隐患排查治理、应急管理、事故管理和持续改进等方面介绍了地勘单位安全生产标准化建设重点^[7]。

前人对于地质勘探行业安全生产标准化的影响因素探究主要是通过自身地质勘探行业安全管理经验, 并结合主观理解总结而来, 缺乏客观的数据分析和说服力。笔者以地勘集团在安全生产标准化达标评审过程中的得分情况为研究基础, 通过熵权法计算各下属单位在基础管理、安全文化及持续改进、设备设施安全条件和作业条件方面的差异, 最大程度上降低了在评审打分和因素分析过程中人的主观因素带来的干扰, 最终提出影

收稿日期: 2023-11-16

第一作者简介: 干雨杭(1997—), 男, 浙江宁波人, 硕士, 助理工程师, 主要从事安全生产标准化研究工作。

通信作者简介: 刘啸尘(1990—), 男, 北京人, 硕士, 工程师, 主要从事安全生产标准化研究工作。

响地勘集团安全生产标准化得分的关键因素,以期为提高地勘集团在地质勘查领域的本质安全度提供合理化建议。

1 某地勘集团概况

2010年,国家安全生产监督管理总局发布了《企业安全生产标准化基本规范》^[8],标志着安全生产标准化成为了企业的长期建设目标。根据该规范,某地勘集团上级单位发布了安全生产标准化考核评级标准,考核评级标准共 15 部分,涵盖了综合管理、核技术应用、建筑施工、铀矿采冶、铀矿地质勘查等方面的内容。

该地勘集团下属多个地质勘查研究所和地质勘查大队,是一家集铀矿勘查、综合矿业、地矿延伸技术服务为一体的综合性产业化公司。2013—2021年,安全生产标准化考核评级标准历经 3 次修订,其内容不断完善。该地勘集团及时将国家相关法律法规、标准规范及上级单位相关要求进行了有效转化,不断提升对地质勘查的标准化要求。通过 3 轮安全生产标准化现场评审,该地勘集团安全生产标准化有了较大改观。2022年,该地勘集团下属单位已基本完成了安全生产达标工作。以该地勘集团下属的南方山区、北方平原的 A、B 研究院和 C、D 地质大队在安全生产标准化评审中的专家评分打分为基础,综合评判该地勘集团安全生产标准化影响因素,并提出相应的改进建议。

2 熵权法实施步骤

熵权法将客观熵与主观信息联系,可降低主观因素的干扰^[9]。熵是用来衡量系统不确定度的度量,信息是衡量系统确定度的度量。如果系统评价指标的信息熵越小,其提供的信息量则越大,在评价中起的作用越大,权重越高^[10]。因此,可根据各项指标的差异度,利用信息熵来计算各指标的权重大小。

熵权法虽然在实施过程中也会用到专家打分,但其是基于各评价单元信息的量化,属较客观的评价方法。

2.1 熵权法确定指标权重

在信息论中,信息量越大,功能越完善,熵越小^[11]²⁰。在安全生产管理上,在某方面的安全管理越完善,则其不确定的风险、不安全因素越少,熵越小。采用熵权法确定各指标的权重,是利用各指标信息的有效值来计算的。信息有效值是某

个指标信息熵与 1 的差^[11]²⁴,某个指标的信息熵越小,则其信息有效值越大,在系统中的重要性越大,指标权重越大。

熵权法先对原始数据进行标准化,然后计算各指标的信息熵和信息效用值,再根据各指标信息效用值所占的比重来确定其熵权。

2.2 数据标准化

设有 x 个评价指标, y 个评价项目,依照定性与定量相结合的方法获得关于多个对象多个指标的评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1y} \\ r_{21} & \cdots & \cdots & r_{2y} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ r_{x1} & \cdots & \cdots & r_{xy} \end{bmatrix}。$$

对 R 进行标准化后得到标准化矩阵 $R' = (r'_{ij})$ 式中, r'_{ij} 为第 j 个评价项目在第 i 个指标上的值,且 $r'_{ij} \in [0, 1]$, 且 r'_{ij} 的计算公式为^[12]

$$r'_{ij} = \frac{r_{ij} - \min(r_{ij})}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})}。$$

2.3 计算各指标的信息熵值和信息效用值

在有 x 个评价指标、 y 个评价项目的评价问题中,第 i 个指标的信息熵值(H_i)为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^y f_{ij} \ln f_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, x,$$

式中: $f_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\sum_{j=1}^y r'_{ij}}$, $k = \frac{1}{\ln y}$, 某个指标的信息效

用值(d_i)取决于该指标的信息熵与 1 的差:

$$d_i = 1 - H_i。$$

2.4 确定各指标的熵权

运用熵权法确定各指标的权重,主要原理是利用各指标的信息效用值来计算。在整体的评价中,某个指标的信息效用值越高,该指标就越重要。在有 x 个评价指标、 y 个评价项目的评价问题上,可得到第 i 指标的熵权

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^x d_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, x,$$

进而得到权重向量 $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_x)$, 其中 $i = 1, 2, 3, \dots, x$ 。

3 基于熵权法的评价模型

地勘集团的安全生产标准化影响因素评估主要包括基础管理、安全文化及持续改进、设备设施

安全条件和作业条件。

基础管理主要考察被评单位安全管理方面的建设能力,主要针对目标职责的制定、安全管理制度体系的建立、教育培训管理、应急管理、安全环保风险管控及隐患排查治理、事故事件处理、安全知识技能掌控等方面的内容;安全文化及持续改进主要考察被评单位整体安全文化建设、员工安全意识、企业安全氛围、安全问题举一反三经验反馈能力等方面的内容;设备设施安全条件主要考察对设备设施的管理,设备设施的运行状态,设备的安装、验收、报废管理等方面的内容;作业条件主要考察被评单位作业人员的作业行为、作业审批管理、作

业环境状况、职业卫生和环境保护等方面的内容。

3.1 建立评价指标体系

为了对地勘集团安全生产标准化做出准确的判断,围绕地勘集团地质钻探施工现场的安全生产重点,以该地勘集团上级单位发布的安全生产标准化考核评级标准为基准,构建了评价指标体系,总分设置为 2 400 分。

选取地质勘查领域内对该项目了解并熟悉评分标准的专家组对每个子项进行打分,作为影响因素的评价指标,其中每一个指标均为评审专家组通过讨论并依据标准扣分获得的得分率,具体评价项目及指标见表 1。

表 1 地勘集团部分单位安全生产标准化评价指标得分

Table 1 Score of safety production standardization evaluation indicators for some units of the geological exploration group

评价项目	评价指标	A 研究所	B 研究所	C 大队	D 大队
1. 基础管理 (700 分)	1.1 目标职责	84.0	69.0	79.0	86.0
	1.2 制度化管理	74.0	83.3	81.3	83.3
	1.3 教育培训	86.0	75.0	78.0	87.0
	1.4 安全环保风险管控及隐患排查治理	83.5	75.0	79.0	82.5
	1.5 应急管理	73.0	82.0	77.0	85.0
	1.6 事故事件	96.0	96.0	84.0	96.0
2. 安全文化及持续改进 (500 分)	2.1 安全文化	82.0	81.0	77.5	81.5
	2.2 持续改进	73.7	80.7	72.0	74.0
3. 设备设施安全条件 (500 分)	3.1 建设	86.7	100.0	100.0	100.0
	3.2 采购、安装与验收	100.0	100.0	95.0	100.0
	3.3 本质安全	89.9	84.7	89.9	89.8
	3.4 检维修	100.0	90.0	100.0	90.0
	3.5 停用、报废与拆除	40.0	100.0	80.0	65.0
4. 作业条件 (700 分)	4.1 生产现场与生产过程	74.0	72.0	84.0	92.0
	4.2 作业行为	94.0	90.3	96.9	97.6
	4.3 班组建设	76.7	56.7	80.0	86.7
	4.4 相关方管理	80.0	100.0	40.0	84.0
	4.5 职业卫生	83.3	78.0	75.0	77.0
	4.6 环境保护	95.7	84.0	92.6	94.7
	4.7 安全警示标志	65.0	90.0	70.0	90.0

3.2 地勘集团评价指标权重计算

以基础管理为例,基础管理的评价有目标职责、制度化管理、教育培训、安全环保风险管控及隐患排查治理、应急管理、事故事件 6 个项目。使用熵权法确定这 6 个评价项目的指标权重。

首先得到评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 84.0 & 69.0 & 79.0 & 86.0 \\ 74.0 & 83.3 & 81.3 & 83.3 \\ 86.0 & 75.0 & 78.0 & 87.0 \\ 83.5 & 75.0 & 79.0 & 82.5 \\ 73.0 & 82.0 & 77.0 & 85.0 \\ 96.0 & 96.0 & 84.0 & 96.0 \end{bmatrix},$$

对 R 进行标准化处理得到

$$R' = \begin{bmatrix} 0.882 & 0 & 0.918 & 1 \\ 0 & 1 & 0.976 & 1 \\ 0.917 & 0 & 0.895 & 1 \\ 1 & 0 & 0.957 & 1 \\ 0 & 0.625 & 0.906 & 1 \\ 1 & 1 & 0.874 & 1 \end{bmatrix},$$

根据 f_{ij} 得到所属矩阵

$$\begin{bmatrix} 0.315 & 0 & 0.328 & 0.357 \\ 0 & 0.336 & 0.328 & 0.336 \\ 0.326 & 0 & 0.318 & 0.356 \\ 0.338 & 0 & 0.324 & 0.338 \\ 0 & 0.247 & 0.358 & 0.395 \\ 0.258 & 0.258 & 0.226 & 0.258 \end{bmatrix}.$$

由此可得基础管理 6 个指标的信息熵、信息有效值和熵权(表 2)。

表 2 地勘集团基础管理各项参数
Table 2 Basic management parameters of geological exploration group

项目	信息熵	信息有效值	熵权
1.1 目标职责	0.791	0.209	0.198
1.2 制度化管埋	0.792	0.208	0.197
1.3 教育培训	0.792	0.208	0.198
1.4 安全环保风险管控及隐患排查治理	0.792	0.208	0.197
1.5 应急管理	0.779	0.221	0.210
1.6 事故事件	0.999	0.001	0.001

由表 2 可知,地勘集团基础管理指标的权重向量(w_1)=(0.198,0.197,0.198,0.197,0.210,0.001)。同理,得到地勘集团各评价项目的权重向量,安全文化及持续改进指标的权重向量(w_2)=(0.339,0.661),设备设施安全条件的权重向量(w_3)=(0.151,0.151,0.151,0.364,0.183),作业条件的权重向量(w_4)=(0.201,0.121,0.112,0.112,0.175,0.110,0.168)。

在确定权重后,结合各项目的总评分,得到各评价指标所占分数(表 3):

3.3 地勘集团安全生产标准化影响因素评价

建立 1 套评价标准,对地勘集团安全生产标准化影响因素进行评价。现已得到地勘集团 4 个评价项目的指标权重向量(w)=($w_1, w_2, w_3, \dots, w_i$), $i=1, 2, 3, \dots, x$ 。计算评价项目的平均权重

表 3 地勘集团各评价指标所占分数

Table 3 Score of various evaluation indicators of the geological exploration group

评价项目	评价指标	所占分数
基础管理 (700 分)	目标职责	138.46
	制度化管埋	137.82
	教育培训	138.34
	安全环保风险管控及隐患排查治理	137.89
	应急管理	146.70
	事故事件	0.78
安全文化及持续改进(500 分)	安全文化	169.53
	持续改进	330.47
设备设施安全条件(500 分)	建设	78.01
	采购、安装与验收	78.01
	本质安全	78.02
	检维修	187.96
	停用、报废与拆除	78.01
	作业条件 (700 分)	生产现场和生产过程
作业行为		84.75
班组建设		78.60
相关方管理		78.98
职业卫生		122.66
环境保护		76.96
安全警示标志		117.53

$$\bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^x w_i}{x}, \quad i=1, 2, 3, \dots, x.$$

式中: x 为每个权重向量中的指标数量。

将计算评价指标对应权重与平均权重的差值百分比称为地勘集团安全生产标准化影响因素评价判定值(H):

$$H = \frac{w_i - \bar{w}}{\bar{w}} \times 100\%.$$

根据专家经验以及其他领域安全生产标准化评审得分情况建立影响因素判定标准(表 4)。通过计算得到各评价指标的判定值见图 1。

依据地勘集团安全生产标准化影响因素评价判定值及分级标准,在基础管理中,比较重要的影响因素为应急管理,一般影响因素为事故事件,其余均为重要影响因素,各项影响因素除事故事件外(其原因为安全生产标准化评审时 4 家单位均未发生事故事件),各影响因素比较均衡。在安全文化及持续改进中,持续改进为比较重要影响因素,安全文化为一般影响因素。在设备设施安全条件中,检维修为特别重要影响因素,其他均为一般影响因素。在作业条件中,生产现场和生产过

表 4 地勘集团安全生产标准化影响因素分级

Table 4 Classification of factors influencing safety production standardization in geological exploration group

判定值	$H \leq 0$	$0 < H \leq 20$	$20 < H \leq 40$	$40 < H \leq 60$	$H > 60$
影响因素等级	一般	重要	比较重要	非常重要	特别重要

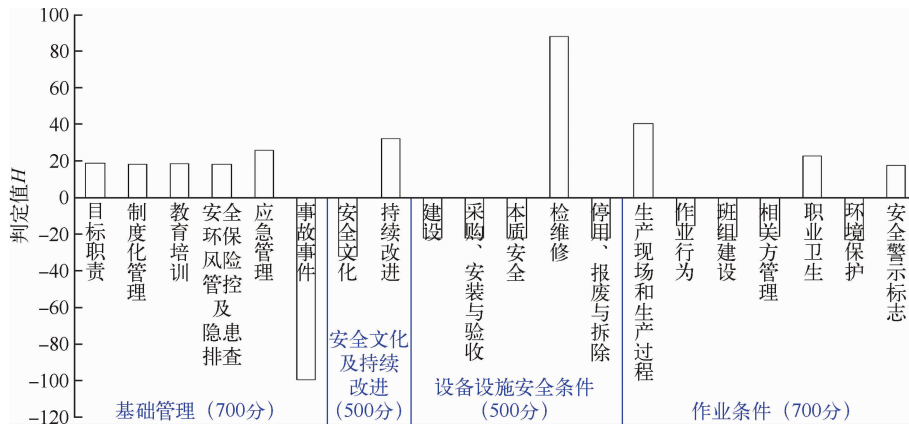


图 1 地勘集团安全生产标准化评价指标判定值

Fig. 1 Judgment values of safety production standardization evaluation indicators for geological exploration group

程为非常重要影响因素,职业卫生为比较重要影响因素,安全警示标志为重要影响因素,其余均为一般影响因素。在进行安全生产标准化建设时,应重点关注特别重要影响因素、非常重要影响因素、比较重要影响因素和重要影响因素。

4 存在的问题及建议

4.1 存在的问题

基于上述研究,结合专家组在评审过程中发现的主要问题,对该建设项目安全生产标准化建设过程中存在的问题作出讨论。

1)现场员工安全意识、人员素质参差不齐,各机台对于安全生产工作的管理模式以及标准的理解也不一致,导致现场统一安全管理存在难度,安全生产标准化建设能力也存在偏差。

2)设备管理不规范,钻探施工现场整体发现各机台对于设备的管理存在台账不全、检维修不及时、状态标识缺失等问题。

3)经验反馈执行不到位,该项目多数单位对于经验反馈工作仅停留在每日学习安全生产事故层面,对于事故事件的根本原因分析、异常状态的敏感性和纠正措施的有效落地均不到位。

4.2 改进建议

1)进一步加强人员素质培养。加强对安全文化的培育和宣贯,注重卓越安全文化中“安全人人

有责、培育质疑的态度、沟通关注安全”的个人责任^[13]的理念灌输,进一步强化各层级人员的安全意识和安全生产知识储备,同时加强对规章制度和操作规程的宣贯培训,将顶层要求灌输到基层作业人员而不仅仅是安全管理人员,建立“只有岗位达标、项目组达标后,单位才能达标”的思想认识,实现从“要我安全”到“我要安全”的转变。

2)紧抓设备管理。地勘单位应先紧抓设备的日常管理,特别是检维修管理,首先要对地质勘查项目中所有设备的型号、配置、性能等方面进行全面了解,建立以缺陷管理为中心的设备检维修制度,在这过程中要注意通过对设备型号、性能等方面进行全面、详细的了解来明确具体维修工作内容和维修方法以及检测程序^[14],紧抓设备的危险点动态管理,并持续提高设备的本质安全度,加大液压便携式钻机推广力度,淘汰老旧钻机,建设高效、安全的设备队伍。

3)强化持续改进。按照要求每年对安全生产标准管理体系运行情况进行自评,检验安全生产制度措施的适宜性、充分性和有效性,检查安全生产和职业卫生管理目标、指标的完成情况,客观分析单位安全生产标准化管理体系的运行质量,及时调整完善相关制度文件和过程管控^[15]。提高对未遂事件、险兆、异常状态的敏感性,进行根本原因分析,持续改进,提高安全生产绩效。

5 结论和建议

通过熵权法对某地质勘查集团的安全生产标准化建设进行了影响因素分析。结果显示,基础管理中的应急管理具有较高的影响作用,安全文化及持续改进中的持续改进为主要影响因素,设备设施安全条件中的检维修影响较为突出,作业条件中的生产现场和生产过程、职业卫生、安全警示标志影响相对较高,应加强这些方面的安全建设。

为解决员工安全素质不高、设备管理不规范、经验反馈执行不到位等问题,建议进一步加强人员素质培养,强化安全文化宣传和培训;紧抓设备管理,建立缺陷管理体制,提高设备安全水平;强化持续改进。

参考文献:

- [1] 陈晓宇. 工贸企业安全生产标准化建设现状及对策研究[J]. 商讯, 2020, (21): 86-88.
- [2] 韦腾, 丁杰, 韩雪峰. 企业安全生产标准化建设相关问题探讨[J]. 江苏应急管理, 2023(4): 35-39.
- [3] 国家国防科技工业局. 国防科工局关于印发《军工系统安全生产标准化考核评级办法(试行)》的通知[Z]. 2012-09-05.
- [4] 李玉文. 金属矿山地质勘探安全生产的标准化建设研究[J]. 西部资源, 2020(1): 169-170.
- [5] 祝俊奇. 地质勘探行业安全生产标准化建设研究[J]. 西部探矿工程, 2015(7): 184-187.
- [6] 高盛林. 钻探安全生产标准化建设与达标措施[J]. 中华建设, 2020(15): 38-39.
- [7] 杨向红, 唐海军. 地勘单位安全生产标准化建设的实践与对策: 以天津华北地质勘查局为例[J]. 中国矿业, 2018, 27(S2): 10-12+26.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 企业安全生产标准化基本规范: GB/T 33000—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 杜鹤立. 基于 AHP-熵权法的风电项目后评价研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2023.
- [10] CHEN TINGYU, LI CHIAHANG. A comparative analysis of objective weighting methods with intuitionistic fuzzy entropy measure[J]. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2009, 26(6): 469-479.
- [11] 李慧霞. 基于熵权法的烟草配送中心安全生产标准化的评价研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- [12] 高强, 彭秀华. 基于云模型-熵权法的大坝风险等级评价[J]. 人民长江, 2023, 54(11): 208-213.
- [13] 中国核工业集团有限公司. 卓越安全文化基本原则: Q/CNNC GB 8—2021[S]. 北京: 核工业标准化研究所, 2021.
- [14] 武海燕. 机电设备在地质勘查行业中安全管理的要点探究[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023(7): 156-159.
- [15] 谢锐星. 关于地勘单位安全生产标准化建设的探讨[J]. 现代职业安全, 2023(3): 96-99.

Influencing Factors of Safety Production Standardization in Geological Exploration Groups Based on Entropy Weight Method

GAN Yuhang, ZHANG Qian, LIU Xiaochen, LI Xianjie

(Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China)

Abstract: The standardization construction of safety production is of great significance for the safety production management of units. In order to explore the influencing factors of safety production standardization construction in a certain geological exploration group, the entropy weight method was used to analyze the safety production standardization evaluation results of its four subordinate units. The results indicate that emergency management, continuous improvement, inspection and maintenance, production site and process, occupational health, and safety warning signs are the key influencing factors that need to be focused on in the construction of safety production standardization in the geological exploration group. Improvement suggestions are proposed to address these influencing factors.

Key words: geological exploration; safe production; standardization construction; entropy weight method; evaluating indicator; influence factor