

承包商考核机制指标量化研究及实现

王鹤男

国家管网集团建设项目管理分公司，河北 廊坊

收稿日期：2025年12月23日；录用日期：2026年1月4日；发布日期：2026年2月12日

摘要

为了减少承包商在施工过程中出现监督管理方面不足的情况，本文提出针对承包商的考核机制，设计量化考核指标，构建评价模型以及分级标准，为承包商的考核管理提供指标量化依据。意在建立良好的奖励惩罚机制，督促承包商加强HSSE的落实、提高对旗下人员的监督管控力度来确保施工进度。本文根据承包商施工过程中需要考核的具体项目，设计考核大纲。为了更准确地反映每一项考核内容的标准化程度，对分项标准评分采用修改后的D-S证据理论的专家打分法，对五大考核项采用层次分析法求出权重，根据各分项考核分数，得出某一阶段承包商拟综合考核分数，最后探讨了考核后奖励惩罚管理的一些具体措施。

关键词

指标量化，D-S证据理论，评价模型，层次分析法

Research and Implementation of Index Quantification for Contractor Assessment Mechanism

Henan Wang

Construction Project Management Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Langfang Hebei

Received: December 23, 2025; accepted: January 4, 2026; published: February 12, 2026

Abstract

Aiming at the shortcomings in the supervision and management of contractors during the construction phase in the petroleum and petrochemical industry, this paper conducts research on the index quantification of the contractor assessment mechanism. By designing a systematic quantitative

文章引用：王鹤男. 承包商考核机制指标量化研究及实现[J]. 现代管理, 2026, 16(2): 95-107.
DOI: [10.12677/mm.2026.162041](https://doi.org/10.12677/mm.2026.162041)

assessment index system and constructing a scientific evaluation model and classification standards, it provides a quantitative basis for contractor assessment and management. The research intends to establish and improve a reward and punishment mechanism, forcing contractors to strictly implement HSSE management requirements, strengthen personnel supervision and control, and ensure construction progress and safety quality. An assessment outline is compiled in combination with the assessment needs of the entire contractor construction process. The improved D-S evidence theory expert scoring method is adopted to achieve accurate scoring of sub-item standards, and the analytic hierarchy process (AHP) is used to determine the weights of the five assessment dimensions. Finally, a phased comprehensive assessment scoring plan for contractors is formed, and specific measures for reward and punishment management based on the application of assessment results are proposed.

Keywords

Index Quantification, D-S Evidence Theory, Evaluation Model, Analytic Hierarchy Process (AHP)

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

工程建设存在点多线长面广的特点，参与施工承包商、分包商较多，各个标段的承包商都存在不同程度上管理不足的情况，给工程建设带来一定安全隐患。现今，为解决承包商在安全质量与工程进度重视度不足的问题，同时尽量避免主观因素对承包商考核评审的影响，采用指标量化后的考核机制，确立良好的奖惩模式，督促承包商加强监管，提高承包商安全管理水平。

2. 承包商 HSSE 管理目前存在问题

2.1. 安全管理水平参差不齐

由于承包商自身发展情况、项目负责制和层层分包等原因，其安全管理水平参差不齐。一方面，随着不断加强对承包商的 HSSE 管理，承包商处于被动管理，会过度依赖业主的监督管理；另一方面，承包商对安全管理的投入有限，HSSE 教育培训工作不到位，作业人员文化水平相对较低，安全意识和安全技能相对较差，现场违章发生率占整体违章率的比例较高，工程进度缓慢。

2.2. 业主评价有待提高

工程建设单位各部门专业化程度较高，每个部门与承包商的同类部门一一对应。但是，对承包商现场违章考核和事故统计的 HSSE 评价机制有待完善。对承包商的 HSSE 管理水平进行专业而客观的评估，尽可能使 HSSE 评价结论与实际的 HSSE 管理水平相贴合，提高 HSSE 评价的有效性和针对性。

3. 承包商考核机制指标量化方法

3.1. 考核目的

考核是通过对承包商工程管理实施运行过程的完整性、符合性、适宜性、有效性进行系统性的验证评定，辨识出承包商 HSSE 运行过程中需改善的地方[1]。促进双方工作的相互配合，有效控制并降低在管道建设过程中产生的健康安全环保风险，预防健康安全环保事故的发生，保障人员、设备及环境的安

全，按期完成工程进度，实现共赢[2]。

3.2. 量化考核指标

将考核内容分类细化，对考核数据量化赋值，为考核的分级管理及精准管理提供重要的数据参考。通过将承包商的服务范围、法律法规要求、业主体系要求相结合，对不同承包商制定不同的考核大纲。考核大纲分为标准化管理、工程进度、人员培训及教育、设备管理、作业程序 5 个考核分项(见表 1~5)，每个分项分值 100 分，每个分项包含不同考核内容的小项，考核总分采取小项得分率和百分比相结合，考核成绩 P 的计算函数如下：

$$S1 = S11 + S12 + S13 + \dots + S1N$$

$$K1 = K11 + K12 + K13 + \dots + K1N$$

$$Pi = (Ki/Si) \times 100 \quad (\text{其中, } i=1, 2, \dots, n)$$

Table 1. Standardized management

表 1. 标准化管理

分项	分项类别	考核内容	标准分	考核得分	分项得分
1. HSSE 管理体系	1. HSSE 管理体系	1.1 是否建立 HSSE 管理体系	S11	K11	
		1.2 HSSE 体系是否包括安全、环保及职业健康、社会责任	S12	K12	
		1.3 HSSE 体系是否正式发布	S13	K13	
		1.4 HSSE 体系宣贯情况	S14	K14	
		1.5 HSSE 体系是否定期修订并宣贯	S15	K15	
		1.6 HSSE 体系内审情况	S16	K16	
		1.7 HSSE 体系内审提出的不符合项整改	S17	K17	
		1.8 是否有由总经理签字的 HSSE 政策	S18	K18	
	2. 安全生产组织机构	2.1 HSSE 体系中是否建立安全生产责任制	S19	K19	
		2.2 是否设定年度 HSSE 目标？目标是否完成？	S110	K110	
标准化管	3. 安全管理工具	2.3 是否进行年度 HSSE 回顾总结或报告？	S111	K111	
		2.4 是否建立了现场作业及装置的考核制度	S112	K112	
		3.1 是否有安全检查制度	S113	K113	
		3.2 是否有定期的安全检查记录	S114	K114	
		3.3 是否有隐患汇报及整改程序？	S115	K115	
		3.4 是否定期召开安全会？(提供半年的安全会会议纪要)	S116	K116	
		3.5 是否有承包商管理程序？	S117	K117	
		3.6 是否对承包商进行定期考核、评价？	S118	K118	
	4. 应急管理	3.7 是否有作业风险分析？公司在识别、评估、控制和减小风险方面采用了哪些技术？	S119	K119	
		3.8 是否建立作业许可制度？	S120	K120	
	4. 应急管理	4.1 是否编制了应急预案？	S121	K121	
		4.2 是否进行了相应的应急培训和演练？	S122	K122	

续表

	5.1 公司是否有事故调查程序？事故事件是否得到报告，调查和整改？	S123	K123
5. 事故事件	5.2 一年内是否有分公司通报警告批评	S124	K124
	5.3 是否建立事故事件管理档案(公司在过去 3 年内的事故统计及记录)	S125	K125
	6.1 放坡是否到位	S126	K126
	6.2 风险地点是否安装防塌棚	S127	K127
	6.3 劳保装置是否佩戴齐全	S128	K128
	6.4 焊接操作是否违规	S129	K129
	6.5 有无强力组对情况	S130	K130
6. 现场施工	6.6 有无超占地情况	S131	K131
	6.7 安全员是否就位指挥	S132	K132
	6.8 现场施工是否存在影响后续工作情况	S133	K133
	6.9 光缆是否及时铺设	S134	K134
	6.10 水保质量是否合格	S135	K135
	6.11 配合是否消极	S136	K136
.....
	统计	S1N	K1N P1

Table 2. Project schedule
表 2. 工程进度

分项	分项类别	考核内容	标准分	考核得分	分项得分
		1.1 是否提前定制该阶段的施工任务	S21	K21	
	1. 施工工程进度	1.2 该阶段的施工任务是否及时完成	S22	K22	
		1.3 遗留的施工任务是否按期完成	S23	K23	
		1.4 对未完成施工任务是否有反思会议及具体措施	S24	K24	
工程进度	2. 外协工程进度	2.1 是否定制该阶段的外协任务	S25	K25	
		2.2 该阶段的外协任务是否按期完成	S26	K26	
		2.3 遗留的外协任务是否按期完成	S27	K27	
		2.4 对未完成的外协任务是否有下一步具体措施及相关方案	S28	K28	
.....	
	统计		S2N	K2N	P2

Table 3. Personnel training and education
表 3. 人员培训及教育

分项	分项类别	考核内容	标准分	考核得分	分项得分
		1.1 能否提供所有从业人员合同、保险花名册	S31	K31	
1. 合同及保险		1.2 公司员工是否都有工伤保险？	S32	K32	

续表

人 员 培 训 及 教 育	2. 人员证书	2.1 特殊工种人员阅位证(电工、焊工等)	S33	K33
	3.1 安全生产组织机构是否健全	S34	K34	
	3.2 是否有专职(公司从业人员超过一百人)或兼职的安全 生产管理	S35	K35	
	3.3 安全生产主要负责人及安全管,理人员安全培训	S36	K36	
	3.4 作业设施主要管理人员接受分公司领培训	S37	K37	
	3.5 员工 HSSE 培训制度及记录	S38	K38	
	3.6 三级安全教育	S39	K39	
	3.7 开工安全教育	S310	K310	

	统计	S3N	K3N	P3

Table 4. Equipment management**表 4. 设备管理**

分项	分项类别	考核内容	标准分	考核得分	分项得分
设备 制度	1. 设备管理	1.1 是否建立设备管理制度	S41	K41	
		1.2 设备工具清单和设备台帐	S42	K42	
		1.3 设备维护、保养及检测记录	S43	K43	
		1.4 特种设备出厂合格证及检测	S44	K44	
		1.5 设备安全操作规程	S45	K45	
	2. 系物与被系 物管理	2.1 系物与被系物管理规定	S46	K46	
		2.2 系物与被系物管理台账	S47	K47	
		2.3 起重机械检验及维保记录	S48	K48	
		2.4 起重机械使用前检查	S49	K49	
	
	统计	S4N	K4N	P4	

Table 5. Homework procedure**表 5. 作业程序**

分项	分项类别	考核内容	标准分	考核得分	分项得分
作业 程序	1. 风险 管控	1.1 作业手册	S51	K51	
		1.2 作业许可制度	S52	K52	
		1.3 作业风险分析及工作安全分析(JSA)	S53	K53	
		1.4 作业前 HSSE 交底	S54	K54	
		1.5 安全标识	S55	K55	
		1.6 主要危害因素和重要环境因素清单	S56	K56	
		1.7 重大危险源控制	S57	K57	

续表

2. 环保 管理	2.1 废弃物分类管理情况	S58	K58
	2.2 油污水排放接受情况	S59	K59
3. 危化品 管理	3.1 危险物品管理制度	S510	K510
	3.2 危险品配备说明书 MSDS 及学习培训	S511	K511
	3.3 专人管控	S512	K512
	3.4 防护用品是否配备	S513	K513
	3.5 存放、运输及使用	S514	K514
.....
	统计	S5N	K5N
			P5

3.3. 标准分制定准则

由于考核大纲内选项过多，涉及范围较大。本文将考核指标分为“硬性合规指标”(一票否决)和“软性管理指标”(适合模糊评价)，对后者应用复杂算法。对于考核大纲的各分项及其子分项标准分的选取和分项打分采用专家打分法。首先采用自然语言描述各子项的重要度，明确标准值区域范围，通过邀请多位行业专家对子分项的情况考核打分，将修改后的 D-S 证据理论和专家权威性系数结合，获得自然语言，转化成百分制标准分，最后标准分归一化获取最终评价。获取最终自然语言时，可以得到惩罚重要度区间级罚金数额。评语等级越高，惩罚重要度区间级罚金数额越大。

专家采用以下打分方式：

- 1) 划分分项区间，专家在 9 个等级中进行判断评选。包括非常低 VL、较低 RL、中低 ML、低 L、中等 M、高 H、中高 MH、较高 RH、非常高 VH，此为专家第一印象。
- 2) 让专家评审一次分项事件，可在第一印象的基础上，进行后悔修改。方式为：在 9 个评语等级中，专家选出符合的几个评语等级，对几个评语等级进行权值分配，每位专家所有评语的分配权重值和为 1。其目的是，专家选取评语等级时提升准确度，防止语言等级和权值分配组合过多，较难打分，极大程度提升专家判断。

3.3.1. 专家判断自然语言模糊化

专家打分时，把子项的评语重要度划分成 9 个等级，包括非常低 VL (0.0 0.1 0.2)、较低 RL (0.1 0.2 0.2 0.25)、中低 ML (0.2 0.3 0.3 0.45)、低 L (0.3 0.4 0.4 0.55)、中等 M (0.4 0.5 0.5 0.65)、高 H (0.5 0.6 0.6 0.75)、中高 MH (0.6 0.7 0.7 0.85)、较高 RH (0.7 0.8 0.8 0.85)、非常高 VH (0.8 0.9 0.9 1.0)。用梯形分布隶属函数对这些自然语言分析，其公式如(3.1)所示[3][4]。专家等级对应的标准分值见表 6，分项问题的处罚现场附加依据见表 7。

如图 1 所示梯形模糊数的隶属函数 $\mu_A(x)$ ，模糊数 $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ，其隶属函数 $\mu_A(x)$ 的函数表达式为：

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4 - x)/(a_4 - a_3) & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & a_4 \leq x \end{cases} \quad (3.1)$$

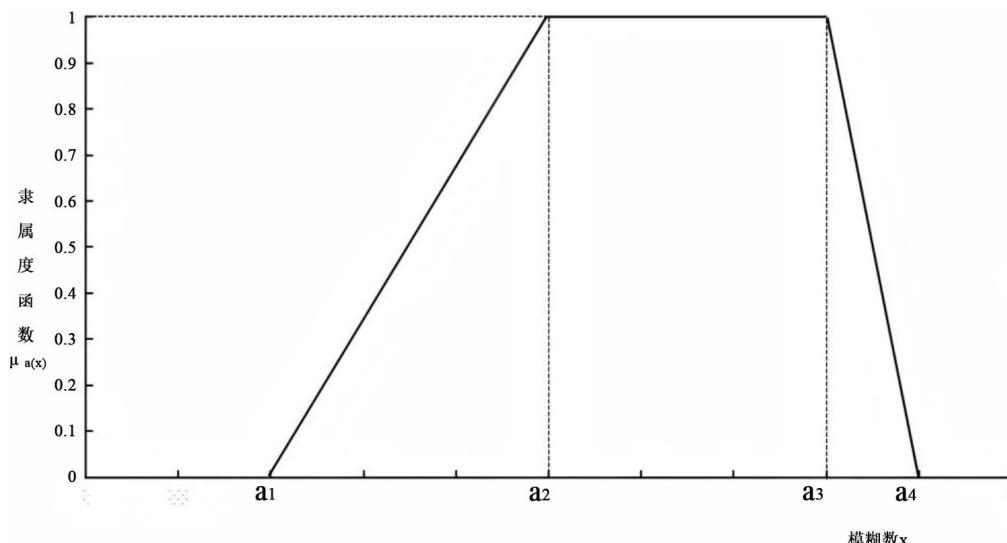


Figure 1. Membership functions of trapezoidal fuzzy numbers in the real number set
图 1. 实数集中梯形模糊数的隶属函数

Table 6. Standard scores corresponding to expert levels (With a negative skewed distribution model for their regions)
表 6. 专家等级对应的标准分值(其区域呈负偏态分布模型)

	非常低	较低	中低	低	中等	高	中高	较高	非常高
标准分值区域	0~10	10~20	20~30	30~40	40~55	55~70	70~85	85~95	95~100

Table 7. Additional basis for punishment on site for sub item issues
表 7. 分项问题的处罚现场附加依据

问题性质	态度不端正/消极配合	问题界限模糊/情有可原	管理失职/监督不到位	故意隐瞒/恶意谎报
处罚力度	高	低~中	中~较高	高

3.3.2. 基于评价权威性进行专家权威系数的确定

不同的专家对某一事件看法不一，专家权威系数是以专家个人信息为前提基础，通过定量描述确定其权威系数。例如，对于 n 位评估专家，设定其的岗位分值为 w_i ，知识分值为 l_i ，专业领域分值为 m_i ，判断自信分值为 c_i ，专家 i 的评价值为 V_i ，则有[5]：

$$V_i = w_i \times l_i \times m_i \times c_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

专家 i 的权威性系数 r_i ：

$$r_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

3.3.3. 基于专家评价相似度的一致性系数确定方法

在专家打分时，若自然语言偏差过大，证明至少有一位专家打分时存在与实际情况偏移的现象。这时需要求解专家的评价相似度一致性系数，为后面专家的评分(证据)求解提供证据权重。

(1) 计算专家意见的相似度

首先，计算出任意两位专家 E_i 和 E_j 对基本事件 i 的相似度 $S(A_i, A_j) \in [0, 1]$ ：

$$S(A_i, A_j) = \begin{cases} EV(A_i)/EV(A_j), & EV(A_i) \leq EV(A_j) \\ EV(A_j)/EV(A_i), & EV(A_j) \leq EV(A_i) \end{cases} \quad (3.4)$$

公式(3.4)中, A_i, A_j 是标准模糊数, 表示专家 E_i, E_j 对事件 i 的评估意见。其中梯形模糊 $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$, 则 $EV(A)$ 定义为:

$$EV(A) = \frac{1}{2}(E^-(A) + E^+(A)) \quad (3.5)$$

其中, $E^-(A) = \sqrt{(a_1 + a_2)}$, $E^+(A) = \sqrt{(a_3 + a_4)}$ 。

(2) 专家 E_i 平均同意度 $AV_k(E_i)$

首先, 求出基本事件 i 构建专家意见一致性矩阵 \mathbf{M} , 并计算 $AV_k(E_i)$:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & 1 & \cdots & S_{2n} \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

其中, $S_{ij} = S(A_i, A_j)$ 。若 $i = j$, 则 $S_{ii} = 1$, 对于基本事件 i , 专家 E_i 的平均同意度 $AV_k(E_i)$ 如公式(3.7)所示:

$$AV_k(E_i) = \frac{1}{n} \sum_n S_{ij}(A_i, A_j) \quad (3.7)$$

(3) 专家 E_i 意见一致度系数 σ_i

$$\sigma_i = \frac{\sum_{k=1}^m AV_k(E_i)}{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n AV_k(E_i)} \quad (3.8)$$

公式(3.8)中, $AV_k(E_i)$ 为第 i 位专家对事件 i 评价的专家一致度; m 是基本事件的数量; n 为专家的总量。

(4) 确定专家置信度

专家意见的置信度为一致性系数与专家权威系数的组合:

$$W_i = \frac{r_i \times \sigma_i}{\sum_{i=1}^n r_i \times \sigma_i} \quad (3.9)$$

(5) 确定证据权值

将计算得到的可信度与置信度相结合, 得到平均证据的权值:

$$Q_i = \frac{w_i \times Crd(m_i)}{\sum_{i=1}^n w_i \times Crd(m_i)} \quad (3.10)$$

将上述公式(3.10)取代 2.14 中的可信度 Crd_i 代入公式(3.21)中, 得到修正后的 $mass$ 函数, 然后继续计算得出专家综合语言值。

3.3.4. D-S 证据理论求解最终评价语言

专家由于其专业知识和工作经验差异, 评价不一致, 需要综合处理。

本文提出一个改进的 D-S 证据理论分析方法, 既能考虑专家整体的综合意见, 又能剔除另类值, 最终获得专家的一致语言值[6]。

(1) 基于证据间距离的修改证据法

Jousselme 提出了基于证据间距离的修改证据法[7] [8]:

定义: 设 Θ 中的命题是两两互斥的, $P(\Theta)$ 、 $R_{P(\Theta)}$ 分别为所有集合及向量空间, 基本置信度分配可以看作为向量 m , 则:

$$\sum_{i=1}^{2^N} m(A_i) = 1, A_i \in P(\Theta), i = 1, 2, \dots, 2^N \quad (3.11)$$

定义: E1, E2 分别是 Θ 中的两个独立证据, 置信度为 m_1, m_2 , 则 E1, E2 的距离为:

$$d(m_1, m_2) = \sqrt{\frac{1}{2}(m_1 - m_2)^T D(m_1 - m_2)} \quad (3.12)$$

其中, D 为 $2^N \times 2^N$ 矩阵, 矩阵中的元素为:

$$D(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}, A, B \in P(\Theta) \quad (3.13)$$

公式(3.13)中 $| \cdot |$ 表示焦元的基数(包含的单元素个数), 公式(3.12)中的系数 $1/2$ 是为了对证据间的距离进行归一化处理, 以保证 $0 \leq d(m_1, m_2) \leq 1$ 。

$D(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$ 可表示焦元 A 和 B 的相似程度。证据间的距离也可表示成下面的形式:

$$d(m_1, m_2) = \sqrt{\frac{1}{2}(\|m_1\|^2 + \|m_2\|^2 - 2\langle m_1, m_2 \rangle)} \quad (3.14)$$

其中, $\|m\|^2 = \langle m, m \rangle$, $\langle m_1, m_2 \rangle$ 为向量的内积, 具体计算方法为:

$$\langle m_1, m_2 \rangle = \sum_{i=1}^{2^N} \sum_{j=1}^{2^N} m_1(A_i) m_2(B_j) \frac{|A_i \cap B_j|}{|A_i \cup B_j|} A_i, B_j \in P(\Theta) \quad (3.15)$$

假设数据融合系统所收集的证据数目为 q , 则可构成一个 $q \times q$ 的距离矩阵 D 。

$$D = \begin{bmatrix} 0 & d_{1,2} & \cdots & d_{1,q} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \cdots & d_{2,q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{q,1} & d_{q,2} & \cdots & d_{q,q} \end{bmatrix}_{q \times q} \quad (3.16)$$

利用上面证据间距离衡量证据集中各个证据间的相似程度, 证据间距离越小, 它们的相似度越大。

相似度定义为:

$$Sim_{i,j} = 1 - d_{i,j} \quad i, j = 1, 2, \dots, q \quad (3.17)$$

可得: 两个证据体之间的距离越小, 相似性程度就越大。其结果可用下面的相似度矩阵 SIM 表示:

$$SIM = \begin{bmatrix} 1 & Sim_{1,2} & \cdots & Sim_{1,q} \\ Sim_{2,1} & Sim_{2,2} & \cdots & Sim_{2,q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Sim_{q,1} & Sim_{q,2} & \cdots & Sim_{q,q} \end{bmatrix}_{q \times q} \quad (3.18)$$

证据集中证据体 m_i 的支持度 Sup 。

$$m_2 Sup(m_i) = \sum_{j=1, j \neq i}^q Sim_{i,j}, i = 1, 2, \dots, q \quad (3.19)$$

归一化证据 m_i 的支持度，获得 m_i 的可信度 Crd 。

$$Crd(m_i) = \frac{Sup(m_i)}{\sum_{i=1}^q Sup(m_i)} i = 1, 2, \dots, q \quad (3.20)$$

用可信度 Crd 作为证据 m_i 的权重，满足 $\sum_{i=1}^q Crd(m_i) = 1$ 。然后对冲突证据 m_i 进行预处理，可得修正后的 $mass$ 函数。

$$m'_i = Crd_i m_i \quad (3.21)$$

证据权重表示其他证据对该证据的认可度，认可度高，相应权重大，对组合结果的贡献越大，反之亦然。

为避免专家评定一票否决问题，对焦元的置信度采用上述方法计算求解平均证据，代替冲突证据。采用 D-S 合成法则计算 $n - 1$ 次，步骤如下：

- (1) 依据鲁棒性讨论证据的冲突强度，判断是否冲突；
- (2) 根据证据源的基本置信度分配值及焦元属性，确定证据集中各证据体的权值；
- (3) 计算证据源的平均证据，代替冲突证据；
- (4) 利用 D-S 合成法则对平均证据组合 $n - 1$ 次，得到最终的计算结果。

实际上，加权平均证据组合法也存在缺陷，它未从证据的真实角度出发考虑证据的置信度，而是采用相似度矩阵，从证据相似度计算其可信度，这与真实情况有所出入。故本文进行了改进，将证据的自身置信度计入其中，更符合实际[7] [8]。

3.3.5. 建立评价模型

假设第 i 分项 P_i 所占权重为 W_i ($i = 1, 2, \dots, n$)，则考核成绩 P 的计算函数如下：

$$P = (P_1 * W_1 + P_2 * W_2 + P_3 * W_3 + P_4 * W_4 + P_5 * W_5) \quad (3.22)$$

本文利用层次分析法确定考核大纲中各个分项的权重[9] [10]。

(1) 构建判断矩阵

为将比较判断的结果定量化，引入 1~9 比率标度方法，构成判断矩阵。至此对于目标 A ，将 n 个元素间的相对重要性作比较，得到一个比较判断矩阵如式(3.23)：

$$\mathbf{A} = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{Bmatrix} 1 & a_p & \dots & a_{1n} \\ 1/a_p & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{Bmatrix} \quad (3.23)$$

(2) 构造等价矩阵

对比矩阵不一定满足判断一致性，为避免多次调整判断矩阵才能满足一致性要求。用最优传递矩阵，为对比矩阵进行改良。使之自然满足一致性要求。建立等价矩阵，令

$$C_{ij} = \lg a_{ij} \quad (3.24)$$

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n (C_{ik} - C_{jk}) / n \quad (3.25)$$

$$A_{ij}^* = 10^{d_{ij}} \quad (3.26)$$

以作为判断矩阵与 \mathbf{A} 完全等价，具有判断一致性。

(3) 根据已经求得的等价矩阵用方根法求

$$\overline{W}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_{ij}^*} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.27)$$

(4) 将 \overline{W}_i 规范化

则该层各有关元素对上一次层次的权重

$$\overline{\overline{W}}_i = \frac{\overline{W}_i}{\sum_{k=1}^n \overline{W}_i} \quad (3.28)$$

3.3.6. 考核评分标准

总体承包商 HSSE 评分标准如下：

- 1) 95 分以上为“优秀”HSSE 承包商，但该承包商的个别分类项目和考核不符合项目仍需改进，对总体进行奖励。
- 2) 85~95 分为“良好”HSSE 承包商，但该承包商的相关分类项目和考核不符合项目仍需改进。
- 3) 84~70 分为“一般”HSSE 承包商，该承包商有相当一部分分类项目和考核不符合项目需尽快得到改进，在进行改进后仍需要进一步考核，以确认其改进的执行情况，并进行相应处罚。
- 4) 70 分以下该承包商有许多考核不符合项目，目前无法达到承包商安全管理要求，严令整改，进行重大处罚。

3.4. 考核流程

考核前期工作包括制定考核计划及考核大纲，组织大纲评审及修改。现场考核包括召开考核首次会议、分组考核、召开末次会议。分组考核时，主要采取考核体系、资料查询、现场询问等形式。考核后期工作包括考核报告编写，报告评审。

3.4.1. 承包商 HSSE 量化考核实践

考核公司现状：对 6 家承包商企业(进行 HSSE 考核，承包商企业涉及土建、焊接、工艺、通信、电仪、安全等领域)。

量化考核结果由现场专家按照上述审查表从标准化管理、工程进度、人员培训及教育、设备管理、作业程序 5 个分项对各参评单位的进行打分，对违规分项采用 10% 分项目分数扣分，下不封底(含负分)，结果见表 8。

Table 8. Enterprise score table

表 8. 企业得分表

企业	标准化管理	工程进度	人员培训及教育	设备管理	作业程序
承包商 1	90	90	85	80	70
承包商 2	95	85	80	90	95
承包商 3	85	95	90	90	90
承包商 4	80	80	85	90	85
承包商 5	80	90	95	85	85
承包商 6	85	90	90	80	90

利用层次分析法计算各分项权重

1) 通过专家比较, 运用引入 1~9 比率标度方法, 构成判断矩阵 A 。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 5 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 & 2 & 5 \\ 7 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 1/3 & 1/2 & 3 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/5 & 5 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 按照公式(3.24)~(3.26)构造等价矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \sqrt[5]{52.5} & \sqrt[5]{165375} & \sqrt[5]{1750} & \sqrt[5]{2625} \\ \sqrt[5]{52.5} & 1 & \sqrt[5]{3150} & \sqrt[5]{100/3} & \sqrt[5]{50} \\ \sqrt[5]{165375} & \sqrt[5]{3150} & 1 & \sqrt[5]{94.5} & \sqrt[5]{1/63} \\ \sqrt[5]{1750} & \sqrt[5]{0.03} & \sqrt[5]{94.5} & 1 & \sqrt[5]{1.5} \\ \sqrt[5]{2625} & \sqrt[5]{50} & \sqrt[5]{63} & \sqrt[5]{2/3} & 1 \end{bmatrix}$$

3) 根据已经求得的等价矩阵用方法根求

$$W = [3.4997, 1.5848, 0.3164, 0.8703, 0.7248]^T$$

4) 归一化后得

$$W = [0.5002, 0.2266, 0.0452, 0.1244, 0.1036]^T$$

(2) 由公式(3.22)计算出各家承包商 HSSE 考核总分数如表 9:

根据这次拟考核结果, 目前有 4 家承包商达到“良好”级别。另外 2 家承包商达到“一般”级别。具体的考核分数情况见表 9:

Table 9. Total scores of HSSE assessment for contractors
表 9. 承包商 HSSE 考核总分数

公司	考核分数
承包商 1	86.458
承包商 2	91.434
承包商 3	88.632
承包商 4	81.988
承包商 5	84.084
承包商 6	86.255

3.4.2. 考核后的管理措施探讨

量化考核使承包商的安全管理水平可视化, 并据此可以制定后续的管理措施。相关措施建议如下:

- 1) 奖励机制采用罚金做奖金的机制, 奖励机制于开工后 3 个月进行, 在考评优秀时给予奖金物质奖励(在抢险工作时, 要求承包商以一定比例的奖金落实到个人)及红旗作为精神奖励。
- 2) 采用总体和分项互不干涉的独立奖惩机制, 当分项违规进行单独惩罚, 处以罚金, 再根据总体分数进行奖惩。

4. 结论

(1) 对工程承包商 HSSE 管理存在的问题进行分析, 通过设计量化考核指标和考核分值构成, 利用改进的层次分析法计算 5 个考核分项的权重, 提出了承包商 HSSE 量化考核的模型, 为考核的分级管理及精准管理提供了重要的数据参考。

(2) 对 HSSE 考核后的管理措施进行了探讨, 为分级考核提供了依据。

参考文献

- [1] 黎华文. 供油工程 HSSE 管理的创新价值和意义[J]. 工程技术, 2022(12): 278-280.
- [2] 赵季存. 建筑类企业运行安全管理体系存在的问题及对策研究[J]. 广东安全生产技术, 2025(12): 67-69.
- [3] 宋光宪, 吕凤梅, 王凯. 基于层次分析法的坝顶道路病险因素分析——以南四湖二级坝为例[J]. 土木工程, 2020, 9(1): 83-89.
- [4] 王坚强. 模糊多准则决策方法研究综述[J]. 控制与决策, 2008, 23(6): 601-606+612.
- [5] Miri Lavasani, S.M., Yang, Z., Finlay, J. and Wang, J. (2011) Fuzzy Risk Assessment of Oil and Gas Offshore Wells. *Process Safety and Environmental Protection*, **89**, 277-294. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.06.006>
- [6] 陈寅, 林良明, 颜国正. D-S 证据推理在信息融合应用中的存在问题及改进[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(11): 69-71.
- [7] 张山鹰, 潘泉, 张洪才. 证据推理冲突问题研究[J]. 航空学报, 2001, 22(4): 369-372.
- [8] Jousselme, A.L., Grenier, D. and Bosse, E. (2001) A New Distance between Two Bodies of Evidence. *Information Fusion*, **2**, 91-101. [https://doi.org/10.1016/s1566-2535\(01\)00026-4](https://doi.org/10.1016/s1566-2535(01)00026-4)
- [9] 常琳. 基于层次分析法优化综合评估法的指标设置——以机床加工生产线采购为例[J]. 中国市场, 2025(7): 182-185.
- [10] 朱建伟. 基于层次分析法的建筑塔机事故因素重要性排序分析[J]. 建筑机械, 2025(8): 135-138.