

doi:10.16104/j.issn.1673-1891.2021.04.010

基于 AHP-模糊评价法的化工企业风险分级管控研究

杨玲玲

(福建船政交通职业学院安全与环境学院,福建 福州 350007)

摘要:为了对化工企业存在的风险进行分级管控,采用层次分析法构建了化工企业风险分级管控体系评价指标,该评价体系指标包括风险分析与分级、隐患排查与治理、管理水平、措施保障、应急管理、职业健康 6 个二级指标因素和 28 个三级指标因素,并运用 MATLAB 软件对各指标权重进行计算。采用模糊综合评价法确定了 4 个评价等级,根据隶属度原则得出风险分级管控等级。以某化工企业为例,运用 AHP-模糊综合评价法对该化工企业的风险进行分级评价,得出该化工企业风险分级管控总体得分。

关键词:AHP-模糊评价法;风险分级管控;化工企业;指标体系

中图分类号:TQ086 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2021)04-0057-05

Research on Risk Hierarchical Management and Control of Chemical Enterprises Based on Analytic Hierarchy Process: Fuzzy Mathematics Comprehensive Evaluation Method

YANG Lingling

(Department of Safety & Environment, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: In order to carry out hierarchical management and control of the risks of chemical enterprises, the analytic hierarchy process was used to construct the evaluation indicators of the chemical enterprise risk management and control system. The evaluation system indicators included 6 second-level index factors and 28 third-level index factors such as risk analysis and classification, hidden danger investigation and management, management level, guarantee measure, emergency management, occupational health whose weights were calculated respectively with MATLAB. Four evaluation grades were determined using fuzzy comprehensive evaluation method, and risk hierarchical management and control grades were obtained according to the principle of membership degree. AHP-fuzzy comprehensive evaluation method was adopted to grade the risk of a sample chemical enterprise and got the overall score of the chemical enterprise's risk management and control.

Keywords: AHP-Fuzzy evaluation method; risk hierarchical management and control; chemical companies; indicator system

0 引言

化工企业属于高危行业,近几年,化工企业生产安全事故频发,给化工企业造成了严重的经济损失和人员伤亡事故^[1]。化工企业生产过程中涉及很多原料和产品,工艺过程复杂,这些原产品在使用过程中容易引起火灾、爆炸、中毒、窒息等事故,易导致整个企业处于不安全状态,造成重大经济损失。因此,化工企业需从源头入手,对风险进行分

级管控。做好化工企业风险分级管控,能规范化工企业日常管理工作^[2-3]。

1 构建化工企业风险分级管控评价体系

构建风险分级管控指标前,可将选取的范围适当放大,建立一个评价指标集合。确定的方法有多种,比如德尔菲法(Deiphi)、访谈法等多种方法。本文采用德尔菲法(Deiphi),该法也叫专家调查法,此法流程如下:

收稿日期:2021-09-19

基金项目:福建省教育科学“十三五”规划 2020 年度课题(2020CG0405)。

作者简介:杨玲玲(1985—),女,福建泉州人,讲师,硕士,研究方向:安全管理和化工安全。

- (1) 将要评价的目标进行汇总,形成调查问卷;
- (2) 聘请行业专家,建立专家小组;
- (3) 向专家发放调查问卷,调查人员向专家小组各位成员发放调查问卷,专家小组各位成员以匿名的方式提交书面的回答;
- (4) 专家小组各位成员阅读调查问卷,并进行分析,以书面形式提交自己的意见至各调查人员;
- (5) 收集专家小组各成员的意见后进行统计、整理、归纳,得出结论再匿名反馈给各个专家,与其他人的意见进行对比,便于做出修改;
- (6) 根据收集回来的各专家小组成员意见,整理并发放给专家小组各位成员,如此反复若干轮

后,才能确定专家的一致意见;

(7) 最后,得到匿名专家对评价指标选取的一致结果,最终得到指标集。

采用德尔菲法(Deiphi),不直接见面进行交流,可以消除跟风的影响。但所选的专家都是化工行业多年的技术人员或者研究学者,这些专家丰富的经验可以为最终评价指标的确定提供更具有说服力的依据。通过前期准备,专家评议,本文得到 6 个二级评价指标和 28 个三级评价指标。其中,6 个二级指标分别为:风险分析与分级、隐患排查与治理、管理水平、措施保障、应急管理、职业健康。由此构建了化工企业风险分级管控体系,如图 1 所示。

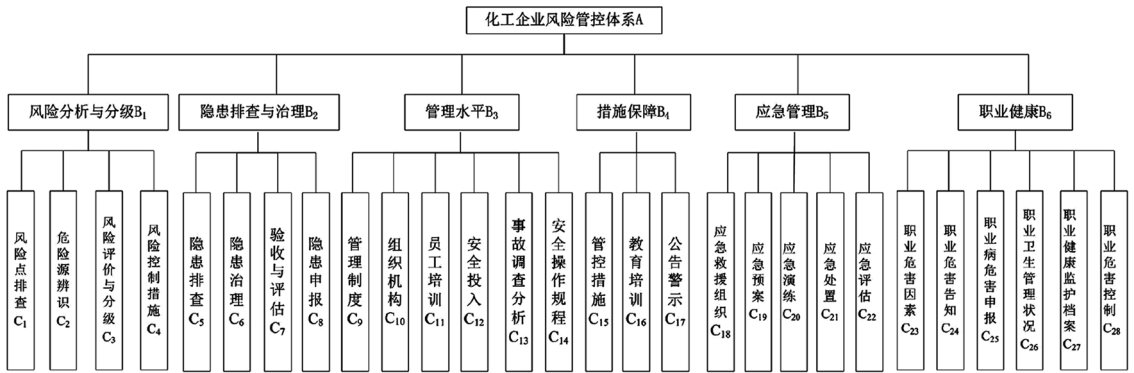


图 1 化工企业风险分级管控体系

2 AHP-模糊综合评价法

根据上述所构建的指标体系,采用层次分析法对准则层的指标进行相对重要度排序,得到各个指标的相对权重,权重计算采用 MATLAB 软件,并进行一致性检验。该法计算权重步骤如图 2 所示^[3]。

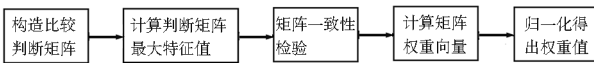


图 2 层次分析法计算权重步骤

2.1 建立因素集

建立评价因素集 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 及二级因素集 $u = \{u_{i_1}, u_{i_2}, \dots, u_{i_n}\}$ 。

2.2 确定评价因素权重

采用 AHP 法确定评价因素的权重,首先构造两两比较判断矩阵并计算权重 \bar{w} ,归一化得 w ;然后进行一致性检验。

2.3 模糊综合评价法

模糊综合评价法采用以下步骤进行:

(1) 首先确定隶属度。邀请 10 位化工行业专家进行打分。比如 10 位专家对 C_i 指标按“优、良、中、较差、差”5 个等级进行打分,10 位专家中有 3 位认为优,3 位认为良,2 位认为中,1 位认为较差,1

位认为差,那么这一指标所对应的隶属度分别为 0.3,0.3,0.2,0.1 和 0.1,对应的模糊隶属矩阵为 $[0.3 \quad 0.3 \quad 0.2 \quad 0.1 \quad 0.1]$ 。

(2) 初级模糊综合评价。构造准则层 B_i 包含的最底层模糊隶属和权重矩阵,采用如下公式:

$$B_i = W_{i1} \times R_i,$$

式中: B_i 为准则层 B 中第 i 项指标的模糊评价矩阵; W_{i1} 为指标层 C 相对于其所属准则层 B_i 的权重矩阵; R_i 为指标层 C 的模糊隶属矩阵; i 为第几个因素^[4]。

(3) 二级模糊综合评价。由初级模糊综合计算得出准则层 B 中各项指标所对应的不同评价等级的隶属度,采用如下公式:

$$N_i = B_i \times D^T,$$

式中: N 为最终的模糊综合评价结果;以模糊评价 B 为行向量, B 为准则层中的各项指标相对于目标层 A 的权重矩阵;以评分集 D^T 为列向量。

(4) 风险分级标准。根据二级模糊综合评价计算所得的风险评价结果数值大小,将化工企业风险分级划分为高、较高、一般、低 4 个级别,分别用红、橙、黄、蓝 4 色进行风险标示。为便于计算,需对风险等级进行数学评分,评价风险对应分级标准如表 1 所示。分值越高,表明化工企业风险越大。根据

风险等级,采取管控措施^[5]。

表 1 化工企业风险分级标准

分级标准	风险等级	风险标示
$N_i \geq 7$	高风险	红
$5 \leq N_i < 7$	较高风险	橙
$3 \leq N_i < 5$	一般风险	黄
$1 \leq N_i < 3$	低风险	蓝

3 实例应用

3.1 评价对象概况

某化工企业拟新建年产 80 万 t PVC 项目,装置总占地面积 183 451 m²;生产岗位按三班制操作运行,四班配备操作人员即四班三运转,人员为 200 人,本项目拟建 VCM 装置、PVC 装置各 80 万 t/a。VCM 装置建设内容为包括氧氯化单元、二氯乙烷回收单元、二氯乙烷精制单元、二氯乙烷裂解单元、氯乙烯精制单元、中间罐区及氯化氢中和处理单元、废水处理单元、焚烧单元、蒸汽和冷凝液系统、雨淋阀室和泡沫消防站。PVC 装置包括 VCM 和脱盐水贮存及进料单元、引发剂/分散剂配置单元、聚合单元、废水气提单元、浆料气提单元、氯乙烯回收单元、干燥单元、冷冻单元、雨淋阀室和低温化学品库。

按照化工企业风险分级管控体系的说明,根据上述评价步骤,对该化工企业风险进行模糊综合评价。

3.2 建立评价因素集

建立 n 个评价因素组成有限集合,即 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_6\} = \{\text{风险分析与分级, 隐患排查与治理, 管理水平, 措施保障, 应急管理, 职业健康}\}$

3.3 指标权重确立

便于确定化工企业风险分级管控体系评价的各指标权重,选取了 20 位化工行业专家,对层次指标进行两两重要程度的判断比较,构造判断矩阵 A 。再将因素与因素之间进行两两比较,得到量化的判断矩阵。本文采用 A.L.Saaty 的 1~9 标度法,便于定量化^[6]。一级指标判断矩阵如表 2 所示。

表 2 判断矩阵 A

指标	风险分析与分级	隐患排查与治理	管理水平	措施保障	应急管理	职业健康
风险分析与分级	1	3	5	5	7	9
隐患排查与治理	1/3	1	3	5	7	9
管理水平	1/5	1/3	1	3	5	7
措施保障	1/5	1/5	1/3	1	3	5
应急管理	1/7	1/7	1/5	1/3	1	3
职业健康	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1

根据表 2 的数据,采用 MATLAB 计算权重,得

$$CI=0.1107,$$

$$CR=0.0893。$$

对比矩阵 A 通过一致性检验,各向量权重向量 Q 为:

$$Q_A = [0.4394, 0.2689, 0.1436, 0.0838, 0.0410, 0.0233]。$$

同理,得到各指标单项权重,结果如表 3 所示。

表 3 各指标权重系数

一级指标	二级指标	三级指标	分项权重	单项权重	综合权重
风险分析与分级 B_1		风险点排查 C_1	0.4394	0.5439	0.2390
		危险源辨识 C_2		0.1219	0.0536
		风险评价与分级 C_3		0.2706	0.1189
		风险控制措施 C_4		0.0636	0.0279
隐患排查与治理 B_2		隐患排查 C_5	0.2689	0.5650	0.1519
		隐患治理 C_6		0.2622	0.0705
		验收与评估 C_7		0.1175	0.0316
		隐患申报 C_8		0.0553	0.0149
管理水平 B_3		管理制度 C_9	0.1436	0.3715	0.0533
		组织机构 C_{10}		0.2493	0.0358
		员工培训 C_{11}		0.2094	0.0301
		安全投入 C_{12}		0.0930	0.0134
化工企业风险管控体系 A		事故调查分析 C_{13}		0.0495	0.0071
		安全操作规程 C_{14}		0.0273	0.0039
		管控措施 C_{15}		0.6694	0.0561
		教育培训 C_{16}		0.0838	0.0203
措施保障 B_4		公告警示 C_{17}		0.0879	0.0074
		应急救援组织 C_{18}		0.5128	0.0210
		应急预案 C_{19}		0.2615	0.0107
		应急演练 C_{20}		0.0410	0.0053
应急管理 B_5		应急处置 C_{21}		0.0634	0.0026
		应急评估 C_{22}		0.0333	0.0014
		职业危害因素 C_{23}		0.1723	0.0040
		职业危害告知 C_{24}		0.3115	0.0073
职业健康 B_6		职业病危害申报 C_{25}	0.0233	0.0660	0.0015
		职业卫生管理状况 C_{26}		0.1111	0.0026
		职业健康监护档案 C_{27}		0.0276	0.0006
		职业危害控制 C_{28}		0.3115	0.0073

3.4 模糊综合评价运算

将化工行业专家、化工企业应急人员、化工企业行政人员、现场操作人员等作为调查对象,对定性指标进行赋值,得到模糊综合评价等级结果,如

表 4 所示。

表 4 模糊综合评价等级结果表

指标	等级				
	优	良	中	较差	差
风险点排查	5	2	3	0	0
危险源辨识	5	2	0	2	1
风险评价与分级	4	3	2	1	0
风险控制措施	3	3	2	1	1
隐患排查	4	2	1	3	0
隐患治理	6	1	2	1	0
验收与评估	3	3	2	1	1
隐患申报	4	4	2	0	0
管理制度	3	5	1	1	0
组织机构	4	3	2	1	0
员工培训	5	3	1	0	1
安全投入	5	3	2	0	0
事故调查分析	4	2	3	1	0
安全操作规程	5	3	1	0	1
管控措施	4	3	1	1	1
教育培训	3	4	2	1	0
公告警示	3	3	1	1	2
应急救援组织	4	3	2	1	0
应急预案	6	2	2	0	0
应急演练	4	2	1	1	2
应急处置	3	3	2	1	1
应急评估	4	3	1	1	1
职业危害因素	5	2	2	1	0
职业危害告知	3	4	1	1	1
职业病危害申报	5	2	1	1	1
职业卫生管理状况	6	2	1	1	0
职业健康监护档案	5	2	3	0	0
职业危害控制	4	4	1	1	0

3.4.1 初级模糊综合评价

(1) 风险分析与分级的评价向量

$$B_1 = w_1 \cdot R_1 = [0.154\ 39, 0.121\ 9, 0.270\ 6, 0.063\ 5] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} =$$

$$[0.386\ 8, 0.209\ 4, 0.232\ 1, 0.094\ 3, 0.077\ 4]。$$

(2) 隐患排查与治理的评价向量

$$B_2 = w_2 \cdot R_2 = [0.565\ 0, 0.262\ 2, 0.117\ 5, 0.055\ 3] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0 \\ 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$[0.333\ 3, 0.166\ 7, 0.166\ 7, 0.250\ 0, 0.083\ 3]。$$

(3) 管理水平的评价向量

$$B_3 = w_3 \cdot R_3 = [0.371\ 5, 0.249\ 3, 0.209\ 4, 0.093\ 0,$$

$$0.049\ 5, 0.027\ 3] \cdot \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0.1 \end{bmatrix} =$$

$$[0.280\ 0, 0.346\ 7, 0.166\ 7, 0.093\ 3, 0.093\ 3]。$$

(4) 措施保障的评价向量

$$B_4 = w_4 \cdot R_4 = [0.669\ 4, 0.242\ 6, 0.087\ 9] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.2 \end{bmatrix} =$$

$$[0.363\ 6, 0.272\ 7, 0.181\ 8, 0.090\ 9, 0.090\ 9]。$$

(5) 应急管理的评价向量

$$B_5 = w_5 \cdot R_5 = [0.512\ 8, 0.261\ 5, 0.129\ 0,$$

$$0.063\ 4, 0.033\ 3] \cdot \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} =$$

$$[0.354\ 3, 0.265\ 7, 0.177\ 1, 0.088\ 6, 0.114\ 3]。$$

(6) 职业危害的评价向量

$$B_6 = w_6 \cdot R_6 = [0.172\ 3, 0.311\ 5, 0.066\ 0, 0.111\ 1,$$

$$0.027\ 6, 0.311\ 5] \cdot \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$[0.313\ 7, 0.313\ 7, 0.173\ 5, 0.100\ 7, 0.100\ 7]。$$

由此,得到第二层评价矩阵

$$R = [B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6]^T = [0.439\ 4, 0.268\ 9, 0.143\ 6, 0.083\ 8, 0.041\ 0, 0.023\ 3] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.386\ 8 & 0.209\ 4 & 0.232\ 1 & 0.094\ 3 & 0.077\ 4 \\ 0.333\ 3 & 0.166\ 7 & 0.166\ 7 & 0.250\ 0 & 0.083\ 3 \\ 0.280\ 0 & 0.346\ 7 & 0.186\ 7 & 0.093\ 3 & 0.093\ 3 \\ 0.363\ 6 & 0.272\ 7 & 0.181\ 8 & 0.090\ 9 & 0.090\ 9 \\ 0.354\ 3 & 0.265\ 7 & 0.177\ 1 & 0.088\ 6 & 0.114\ 3 \\ 0.313\ 7 & 0.313\ 7 & 0.173\ 5 & 0.100\ 7 & 0.100\ 7 \end{bmatrix} =$$

$$[0.330\ 1, 0.178\ 7, 0.198\ 1, 0.214\ 3, 0.079\ 6]。$$

3.4.2 二级模糊综合评价

$$N_1 = B_1 \times D^T = [0.386\ 8, 0.209\ 4, 0.232\ 1, 0.094\ 3, 0.077\ 4] [2\ 4\ 6\ 8\ 10]^T = 4.532\ 2,$$

$$N_2 = B_1 \times D^T = [0.333\ 3, 0.166\ 7, 0.166\ 7, 0.250\ 0, 0.083\ 3] [2\ 4\ 6\ 8\ 10]^T = 5.166\ 6,$$

$$N_3 = B_3 \times D^T = [0.280\ 0, 0.346\ 7, 0.186\ 7, 0.093\ 3, 0.093\ 3] [2\ 4\ 6\ 8\ 10]^T = 4.746\ 4,$$

$$N_4 = B_4 \times D^T = [0.363\ 6, 0.272\ 7, 0.181\ 8, 0.090\ 9, 0.090\ 9] [2\ 4\ 6\ 8\ 10]^T = 4.545,$$

$$N_5 = B_5 \times D^T = [0.354\ 3, 0.265\ 7, 0.177\ 1, 0.088\ 6, 0.114\ 3] [2\ 4\ 6\ 8\ 10]^T = 4.685\ 8,$$

$$N_6 = B_6 \times D^T = [0.313\ 7, 0.313\ 7, 0.173\ 5, 0.100\ 7, 0.100\ 7] [2\ 4\ 6\ 8\ 10]^T = 4.735\ 8.$$

由上述计算可知,对照表1的评价分级标准,可得某化工企业风险评价中“风险分析与分级”“管理水平”“措施保障”“职业危害”4个评价指标的评价结果为“一般风险”,风险标示为“黄色”。“隐患排查与治理”“应急管理”2个评价指标的评价结果为“较高风险”,风险标示为“橙色”。而对整体的综合评价分值为:

$$N_{\text{总}} = B_{\text{总}} \times D^T = [0.313\ 1, 0.178\ 7, 0.198\ 1,$$

$$0.213\ 4, 0.079\ 86] \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 6 \\ 8 \\ 10 \end{bmatrix} = 5.066\ 8.$$

因此,该化工企业风险管控综合评价为“较高风险”等级,风险标示为“橙色”。

4 评价结果分析

1) 一级指标权重排序。

风险分析与分级、隐患排查与治理、管理水平、措施保障、应急管理、职业健康权重依次为0.439 4, 0.268 9, 0.143 6, 0.083 8, 0.041 0, 0.023 3,对重要度进行排序:职业健康<应急管理<措施保障<管理水平<隐患排查与治理<风险分析与分级。在风险分级管控体系中,风险分析与分级所占的权重最高,其次为隐患排查与治理,管理水平权重排在第三。因此,企业在双重预防控制机制运行时,要以风险分析与分级为主线,以隐患排查与治理为核心才能有效保障双重预防机制的实施。

2) 二级指标权重排序。

风险点排查、危险源辨识、风险评价与分级、风险控制措施权重依次为:0.543 9, 0.121 9, 0.270 6, 0.063 6,对重要度进行排序:风险控制措施<危险源辨识<风险评价与分级<风险点排查。

隐患排查、隐患治理、验收与评估、隐患申报权重依次为:0.565 0, 0.262 2, 0.117 5, 0.055 3,对重要度进行排序:隐患申报<验收与评估<隐患治理<隐患排查。

管理制度、组织机构、员工培训、安全投入、事故调查分析、安全操作规程权重依次为:0.371 5, 0.249 3, 0.209 4, 0.093 0, 0.049 5, 0.027 3,对重要度进行排序:管理制度<组织机构<员工培训<安全投入<事故调查分析<安全操作规程。

管控措施、教育培训、公告警示权重依次为:0.669 4, 0.242 6, 0.087 9,对重要度进行排序:管控措施<教育培训<公告警示。

应急救援组织、应急预案、应急演练、应急处置、应急评估权重依次为:0.512 8, 0.261 5, 0.129 0, 0.063 4, 0.033 3,对重要度进行排序:应急救援组织<应急预案<应急演练<应急处置<应急评估。

职业危害因素、职业危害告知、职业病危害申报、职业卫生管理状况、职业健康监护档案、职业危害控制权重依次为:0.172 3, 0.311 5, 0.066 0, 0.111 1, 0.027 6, 0.311 5,对重要度进行排序:职业健康监护档案<职业病危害申报<职业卫生管理状况<职业危害因素<职业危害告知=职业危害控制。

权重越大,改进的程度相对越大。在日常生产中,要注意风险点排查、隐患排查,加强对从业人员安全操作规程培训。危险场所要设置公告警示,强化应急评估力度。另外,对从业人员要做到职业危害告知,并做好职业危害控制^[7-8]。

5 结论

1)结合化工企业风险分级管控的过程,建立了化工企业风险分级管控评价指标体系,该体系包括二级指标6个,三级指标28个。

2)针对某化工企业风险分级管控系统实施情况,采用AHP法对二、三级指标权重进行计算,确定了“优、良、中、较差、差”5个模糊评价等级,并赋予相应的分值,得出该化工企业总体风险分级管控能力得分。

3)根据综合风险评价结果,提出该企业风险分级管控能力,应从风险点排查、隐患排查上加强管理,重视对从业人员安全操作规程培训,强化应急评估力度,并对从业人员做到职业危害告知,做好职业危害控制,提升企业风险分级管控能力。