厌氧反应器人因失误风险计算

张芮博[1] 王一鹏[1] 石 磊[2] 王 峰[1*]
(1. 北京化工大学 机电工程学院 国家危险化学品生产系统故障预防及监控基础研究实验室, 北京 100029;
2. 国家电网北京市电力公司北京电力科学研究院, 北京 100031)

摘 要: 为了准确辨识和预防人因误操作导致沼气泄漏,提出了厌氧反应器人因失误风险计算方法,包括概率计算、后果严重度计算和风险等级判定 3 部分。首先,基于对人为因素分析与分类系统(HFACS)的细化,构建了厌氧反应器人因失误风险评估安全检查表,归类总结出 4 大类 11 小类 140 条安全检查信息,并将其纳入通用人因失误安全检查表中;通过层次分析法确定安全检查表各项权重值,筛去重要度低的条目;依据精简后得到的人因失误原因构建事故树,获得人因失误导致泄漏事故出现的概率值;然后通过模拟实验回归拟合出泄漏事故后果定量计算预测模型,计算得到后果值;依据后果严重度指标分级和事故出现概率分级建立人因失误风险矩阵,最后依据概率值和后果值分析确定厌氧反应器人因失误的风险等级,重点预防高风险人因失误因素。

关键词: 人因分析分类系统(HFACS); 安全检查表; 厌氧反应器; 人因失误
中图分类号: TL364 + .1 **DOI**: 10.13543/j.bhxbzr.2017.06.010

引 言

沼气中 CH_4、H_2S 等都是可燃物质,一旦发生泄漏极易引发着火爆炸和中毒事故,对周围建筑、设备以及人员有极大威胁[1]。大型沼气工程需要建立许多厌氧反应器,是沼气工程中最大的危险源和安全防护区,人因失误易导致泄漏事故发生,可能引起更为严重的火灾爆炸事故。因此针对规模化沼气工程工艺技术辨识人因失误并分析其风险,提出厌氧反应器人因失误风险计算方法具有重大意义。

防控人因失误导致事故发生的方法与模型有很多,常用的模型主要包括:软件硬件环境及人员(SHEL)模型、Reason 模型、人为因素分析与分类系统(HFACS)模型等[2]。其中 HFACS 最初主要应用于航空领域,因其人因失误类别在分析过程中不断经事故数据补充和完善,信度及内容有效度较高,因此得到广泛应用[3]。HFACS 模型的相关研究方面,国外学者主要通过数据挖掘方法研究大量事故数据,经由 HFACS 模型分类分析人因失误导致事故发生的原因和内在规律,或通过修正 HFACS 模型分析不同领域的人因失误因素[4-6]。国内学者主要研究 HFACS 在航空和煤矿领域的应用,以利用该模型分析人因失误因素基础,通过寻找事故直接和深层原因[7]建立适用于各行业的修正 HFACS 模型[8],或将 HFACS 模型与其他安全评价方法相结合确定事故人因失误[9-10]。但针对厌氧反应器人因失误风险研究未见报道。

本文研究并提出了厌氧反应器人因失误风险计算方法,在 HFACS 模型基础上,利用细化后的模型分类结合工程实际归类安全检查表信息,建立针对厌氧反应器的人因失误安全检查表;采用层次分析法计算各人因失误权重值,据此筛除安全检查表中对泄漏事故发生影响程度低的人因因素;依据对泄漏事故后果影响较大的人因失误因素建立人因失误事故树,并计算事故发生概率值;利用工艺危险源分析软件工具(PHAST)模拟的泄漏结果分析影响泄漏后果严重程度的主要参数,并通过回归得出事故后果定量预测模型,建立人因失误风险矩阵,最后依据概率值和后果严重程度确定风险等级。

1 厌氧反应器人因失误风险计算流程

厌氧反应器人因失误风险计算流程框图如图 1 所示,其中的计算方法包括概率计算、后果严重度计

收稿日期: 2016-11-25
基金项目: 国家电网北京市电力公司项目(H2015331);中央高校基本科研业务费(XK1516);北京市重点学科项目(21510028008)
第一作者: 女,1991 年生,硕士生
* 通讯联系人
E-mail: wangfeng991@163.com

算和风险等级判定。

(1)概率计算。基于 HFACS 模型建立针对厌氧反应器人因失误因素安全检查表,通过层次分析法进行精简;据此建立人因失误泄漏事故树,计算人因失误引起泄漏事故概率值。

(2)后果严重度计算。模拟泄漏事故后果,通过正交试验确定影响泄漏后果严重度的主要因素,回归得出泄漏后果预测模型,根据泄漏影响范围评估后果严重程度。

(3)风险等级判定。建立厌氧反应器人因失误风险判定的风险矩阵,对风险进行评级。

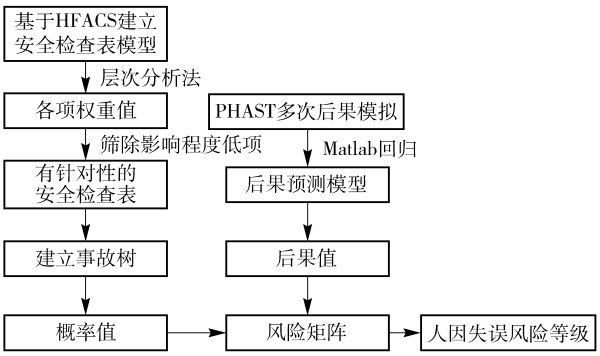

图 1 人因失误风险计算流程框图

Fig. 1 Flow chart of the human factors risk calculation method

2 人因失误概率计算

2.1 HFACS 模型分类及安全检查表

HFACS 模型[7]如图 2 所示,模型主要内容包括 4 部分,分别是不安全行为、不安全行为前提条件、不安全监查和组织影响。

为了明确人因失误种类及影响,本文对模型中各项进行再分类,由于图 2 中不安全行为通用分类已足够详尽,故只对其余 3 类进行细化分类。即将组织影响因素中 4 项一级类目细分为 14 类二级子分类;不安全监查中 4 项一级类目细分为 36 项二级子分类;不安全行为前提条件中 3 项一级类目细分为 14 项二级子分类。在此细化模型基础上,根据工程实际及厌氧反应器操作规程归类总结出 4 大类 11 小类共 140 条人因失误安全检查表信息,并将安全检查表信息分成 4 层,便于后续分析。安全检查表信息如表 1 所示(由于信息过多,只截取部分信息)。

2.2 精简 HFACS 模型

采用层次分析法分别计算 HFACS 模型中 4 大类安全检查表中各项权重值,筛去影响程度低的条

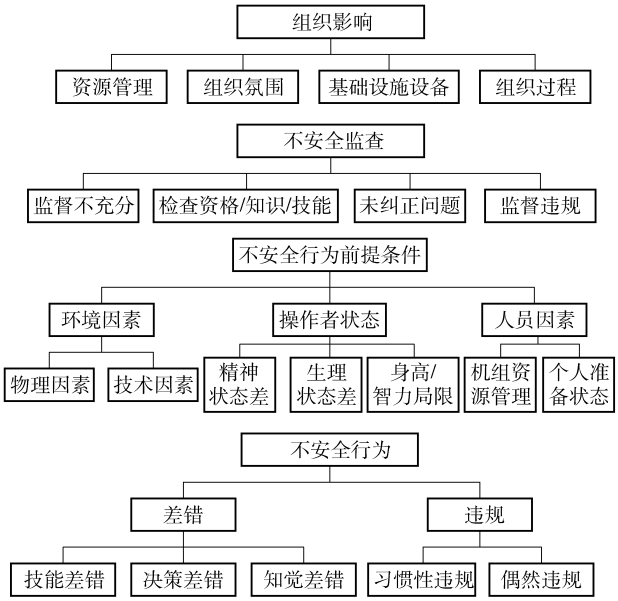

图 2 HFACS 通用模型图

Fig. 2 HFACS universal model

目,得到更有针对性的人因失误安全检查表,并在此基础上构建事故树,计算人因失误概率。由于厌氧反应器安全检查表条目过多,分析方法类似,故本文只以不安全行为类安全检查表为例进行精简(各层次代号见表 1)。

层次分析法将重要程度判断转化为两两比较,即根据专家经验对重要度进行判断基础上构建判断矩阵,通过计算层次单权重和总权重得到各因素权重值[11]。本文依据专家经验及相关知识逐层建立判断矩阵并计算该层次各因素权重值,之后结合上层权重值计算总权重。如按 A 层次分别分析 4 类人因失误因素,建立判断矩阵 $\boldsymbol{A}_i$ 如式(1)所示,其中 a_{ij} 为下一层即 B 层各变量间的相对重要度,通常采用 1 ~9 及其倒数表示重要度,且存在 $a_{ij} = 1/a_{ji}$。

$$\boldsymbol{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & 1 & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (i = 1,2,3,4) \quad (1)$$

首先根据判断矩阵计算该层次内各因素权重系数。常用的权重系数计算方法包括和法、方根法、特征根法和最小二乘法[12],本文使用和法计算该层次单权重值,即将判断矩阵全部列向量的算数平均值作为权重系数,如式(2)所示:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} a_{kj}} \quad (i,j,k = 1,2,3,\cdots,n) \quad (2)$$

表 1　安全检查表及层次结构

Table 1　Safety check list and hierarchy

一层（A）	二层（B）	三层（C）	四层（D）	
不安全行为（A_1）	差错（B_1）	技能差错（C_1）	围堰排水阀门有否关闭？	（D_1）
			正常操作时，关闭的排放口是否在有需要之处将其塞住、加盖或盲封？	（D_2）
			所有排液阀管口，是否在有需要之处将其塞住、加盖或盲封？	（D_3）
			任何旁路阀是否关紧或上锁？	（D_4）
		知觉差错（C_2）	罐区有明显标示？	（D_5）
			依法需安全标示之设备或设施是否有依规定进行标示？	（D_6）
			管线是否有标示流体名称与流向？	（D_7）
			仪表操作上下限是否清楚标示？	（D_8）
			设备之名牌是否清晰可辨识且设于易见处？各项仪表不可污损或不可辨识。	（D_9）
	违规（B_2）	习惯性违规（C_3）	在开车和停车期间是否准备好清洗所有的管线？	（D_{10}）
			需接地设备是否接地？	（D_{11}）
			所有管线内之物质是否均已确认？	（D_{12}）
			软管、双端凸缘管和跨接线等在使用前是否须先清洗或吹除？	（D_{13}）
不安全行为前提条件（A_2）	环境因素（B_3）	物理环境（C_4）	围堰是否有裂痕或穿孔？	（D_{14}）
			压力容器设置之安全阀及其出口是否适当且保持良好状态？	（D_{15}）
			工艺流体排液沟是否与雨水沟分开？	（D_{16}）
			管线之保温材料是否会吸收外泄物质或是与其起放热反应？	（D_{17}）
			关键性阀开启位置如何来指示给操作员知道？	（D_{18}）
			所有阀轴杆固定型阀位置对操作员来说，是否易于识别？	（D_{19}）
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
组织影响（A_4）	基础设施和设备（B_7）	维修（C_{11}）	哪些设备须在不停止生产的情况下进行预防保养与维修？是否皆能上锁？如何上锁？	（D_{140}）

其中：w_i 为变量的层次单权重系数，a_{ij} 为变量 i 相对于变量 j 的相对重要程度，i 为各元素编号及相应判断矩阵行号，j 为判断矩阵列号，k 为 j 列对应元素的行号。

其次按照层次结构逐层计算每层内因素的单权重值之后，计算受上层权重值和本层权重值影响的层次总权重值 w_i'

$$w_i' = \sum_{j=1}^{m} w_j a_{ij}' \quad (i = 1,2,3,\cdots,n; j = 1,2,3,\cdots,m) \tag{3}$$

其中：w_j 为上层元素的权重值；a_{ij} 为本层元素 i 相对上层元素 j 的重要程度系数。

由于安全检查表条目信息繁多，不适宜继续建立判断矩阵，所以对 D 层次直接进行层次总权重计算。下面以 A_1 类为例说明，对 D 层次因素占该类别中的重要程度进行判断，重要度数值为 1 ~ 9 且数值越大重要程度越高，并结合 C 层次权重值 w_i 按照公式(3)计算层次总权重 w_i'，得到不安全行为类别各条目的层次总权重值如表 2 所示。可以看出不安全行为类别中权重值更高的条目为D_{12}、D_{11}、D_{13}、D_1 以及 D_2 等。

表 2　A_1 类不安全行为各因素层次总权重值

Table 2　Hierarchical total weight of A_1 unsafe act factors

条目	a_{i1}' a)	a_{i2}' b)	a_{i3}' c)	w_i'
D_1	8			2.0000
D_2	7			1.7500
D_3	3			0.7500
D_4	7			1.7500
D_5		1		0.0833
D_6		3		0.2499
D_7		9		0.7497
D_8		5		0.4165
D_9		3		0.2499
D_{10}			3	2.0001
D_{11}			5	3.3335
D_{12}			9	6.0003
D_{13}			3	2.0001

a—$w_1 = 0.2500$；b—$w_2 = 0.0833$；c—$w_3 = 0.6667$。

整理计算结果得到权重值大于等于 3 的安全检

查表条目有 44 条,大于等于 2 的有 65 条,大于等于 1 的有 112 条。综合考虑工程需要、计算效率并结合实际经验,选定 2 为权重指标。删去权重值小于 2 的因素,得到精简后的 HFACS 安全检查表,结构如图 3 所示。精简后安全检查表中的信息数量降为 65 条,提高了人因失误分析针对性和效率。

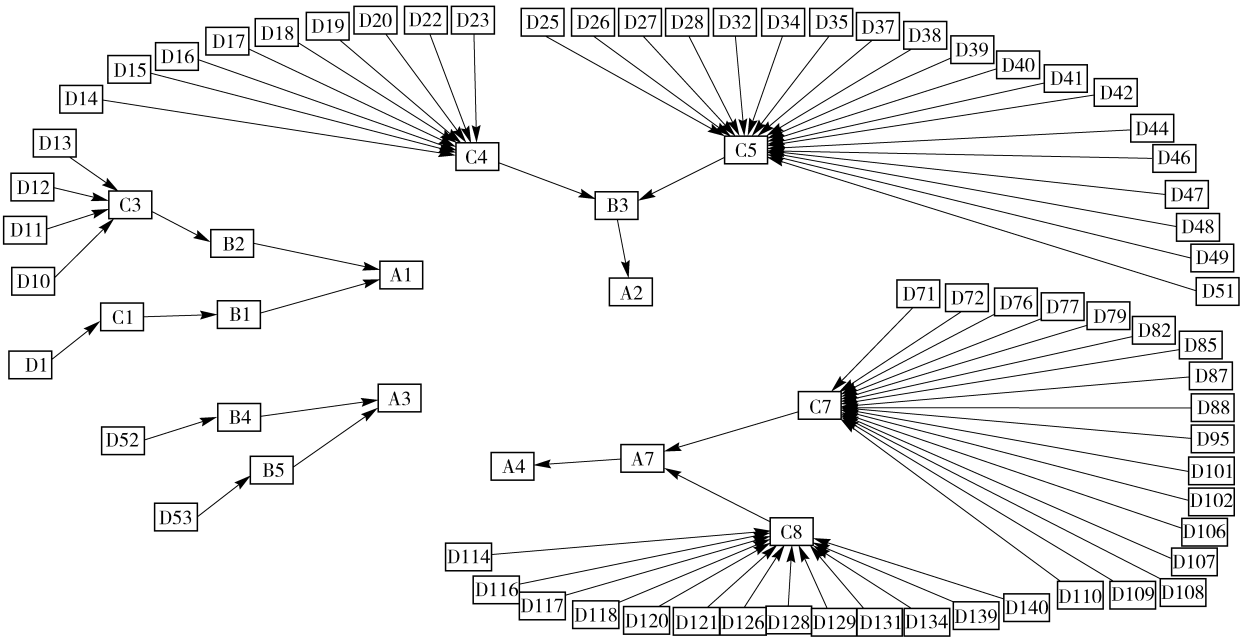

图 3 精简 HFACS 模型

Fig. 3 Simplified HFACS model

2.3 人因失误概率值计算

本文以泄漏事故为顶上事件,依据 HFACS 安全检查表中的原因逐层进行逻辑分析,采用逻辑门连接各人因失误基本事件和中间事件,构建出人因失误导致泄漏后果发生的事故树;基于逻辑关系列出布尔代数式,并代入各基本事件概率值[13-14]计算出各人因失误导致泄漏事故发生的概率值 p 如表 3 所示。

表 3 人因失误导致泄漏发生概率

Table 3 Probability of leakage caused by human errors

人因失误因素	p	人因失误因素	p
D_1	2.9396×10^{-6}	D_{16}	2.9699×10^{-6}
D_{10}	2.9396×10^{-6}	D_{17}	2.9699×10^{-6}
D_{11}	2.9396×10^{-6}	D_{18}	2.5640×10^{-6}
D_{12}	3.1150×10^{-6}	D_{19}	2.5640×10^{-6}
D_{13}	2.9396×10^{-6}	D_{20}	1.0140×10^{-7}
D_{14}	2.9699×10^{-6}	D_{22}	8.8193×10^{-6}
D_{15}	8.8193×10^{-6}	D_{23}	8.8193×10^{-6}
…	…	…	…

3 人因失误后果严重度预测

本文利用工艺危险源分析软件工具(PHAST)[15]进行物料泄漏事故后果严重度模拟计算,在模拟结果基础上确定影响泄漏事故后果严重度因素;通过正交试验分析得到影响计算结果的主要变量,最后结合模拟结果数据拟合得到事故后果严重度预测模型。

3.1 数据收集及分析

通过模拟得到影响后果严重程度的因素包括甲烷浓度、泄漏口径、泄漏高度、风速和温度。采用五因素四水平正交试验确定各因素对计算结果影响的主次顺序。选择 $L_{16}(4^5)$ 作为正交实验方案,计算模拟各条件泄漏后果。泄漏发生后,物质浓度分布随距离增大而降低,燃烧下限为发生燃烧的最低浓度,代表事故影响最大范围,因此将燃烧下限作为实验结果计算各因素极差 R,并据此得出各因素影响顺序。正交试验方案及结果如表 4 所示。

由表 4 看出,泄漏口径和泄漏高度是最主要的影响因素,其他因素影响较小,主次顺序为泄漏口径 > 泄漏高度 > 甲烷浓度 > 温度 > 风速。

3.2 构建数学模型

确定泄漏高度和泄漏口径为两个主要影响因素后,利用多次模拟试验数据进行回归拟合,得到的经验公式能够较准确地预测事故后果。通过对泄漏高

表 4　试验方案及结果

Table 4　Orthogonal test plan and results analysis

试验号	因素 A 甲烷浓度/%	因素 B 泄漏口径/mm	因素 C 泄漏高度/m	因素 D 风速/ $m \cdot s^{-1}$	因素 E 温度/℃	燃烧下限范围/m
1	1	1	1	1	1	1.194
2	1	2	2	2	2	2.242
3	1	3	3	3	3	4.369
4	1	4	4	4	4	6.357
5	2	1	2	3	4	0.422
6	2	2	1	4	3	6.805
7	2	3	4	1	2	4.732
8	2	4	3	2	1	7.044
9	3	1	3	4	2	0.482
10	3	2	4	3	1	2.435
11	3	3	1	2	4	12.461
12	3	4	2	1	3	6.983
13	4	1	4	2	3	0.488
14	4	2	3	1	4	2.359
15	4	3	2	4	1	4.273
16	4	4	1	3	2	18.873
R	2.958	9.168	6.353	2.708	2.846	

度和口径数据点加密，分析整理数据后利用 Matlab 软件拟合数据。大气稳定度分为 A ~ F 6 个等级，以大气稳定度在 F 等级时为例，设泄漏高度为 x，泄漏口径为 y，事故后果影响范围为 Z，通过 Matlab 计算得到拟合公式(4)和(5)，即为事故后果预测模型。

$$Z_1 = \frac{k_1 + k_2 \ln x + k_3 (\ln x)^2 + k_4 (\ln x)^3 + k_5 \ln y}{1 + k_6 \ln x + k_7 (\ln x)^2 + k_8 (\ln x)^3 + k_9 \ln y} \tag{4}$$

$$Z_2 = \frac{k_1 + k_2 \ln x + k_3 (\ln x)^2 + k_4 (\ln x)^3 + k_5 y}{1 + k_6 \ln x + k_7 (\ln x)^2 + k_8 (\ln x)^3 + k_9 y} \tag{5}$$

其中：Z_1 为泄漏气体燃烧上限范围，Z_2 为泄漏气体燃烧下限范围，$k_1 \sim k_9$ 为拟合常数系数，$\ln x$ 为泄漏高度自然对数。其他评估事故后果常用指标如喷射火辐射强度($4\ kW/m^2$、$12.5\ kW/m^2$ 和 $37.5\ kW/m^2$)和爆炸超压范围 2000、13000 和 2000 Pa 都采用同样方法进行回归获得。

将 x、y 具体数值代入公式(4)、(5)计算得到泄漏事故后果评估指标，从而确定后果严重程度。实际人因失误造成设备泄漏的位置不同，则泄漏口径和高度不同，预测后果时需要根据具体的设备和人因失误条件进行分析。

4　人因失误风险等级确定

风险是对人因失误引起事故发生的频率与事故后果严重程度的综合度量，一般要依据后果严重度和事故发生概率等级构建风险矩阵，从而确定事故风险等级，采取相应措施预防事故发生。

本文选择热辐射影响范围、人员伤害、环境影响和设备损失 4 个方面来衡量泄漏后果严重程度，共分 5 个等级，等级越高后果越严重。其中热辐射影响范围由燃烧上、下限差值(即发生燃烧有热辐射影响的范围)预测；人员伤害和设备损失根据爆炸超压范围结合厂区布置进行预测；泄漏事故发生可能性按泄漏事故发生概率(p)大小分为Ⅰ~Ⅳ 4 个等级；最后依据可能出现的人因失误具体情况确定后果严重度和概率等级，将二者相乘判断风险等级，如式(6)所示。

$$R = SL \tag{6}$$

其中：R 为泄漏事故风险值，S 为后果严重度等级，L 为泄漏事故发生概率等级。

构建风险矩阵[16]如表 5 所示，对应风险等级描述如表 6 所示。

根据表 5、6 分析具体泄漏情况，判断后果严重度等级及概率等级，从而确定人因失误导致泄漏事故发生的风险等级，针对不同风险等级的人因失误制定预防措施。

5　结论

(1)使用本文给出的人因失误风险计算方法能够辨识潜在的人因失误并计算其风险等级，从而可以据此采取有效措施防控人因失误，并为厌氧反应器的安全设计、安全管理、事故预防等提供依据。

(2)通过建立后果预测模型得到各项后果评价指标，能够预测不同条件下事故后果严重程度；通过分析各工况条件下实时计算的事故后果数据，结合相关规范，能够制定出有效的安全应急预案，指导人员撤离危险区域。

表 5 风险矩阵

Table 5 Risk matrix

S	后果严重度				风险值 R				
	热辐射范围/m	人员伤害	环境影响	设备损失	$L=1$ ($p=0\sim10^{-6}$)	$L=2$ ($p=10^{-6}\sim10^{-5}$)	$L=3$ ($p=10^{-5}\sim10^{-3}$)	$L=4$ ($p=10^{-3}\sim10^{-1}$)	$L=5$ ($p=10^{-1}\sim1$)
1	0 ~ 40	无受伤或轻微伤,不影响生产	无影响或轻微污染	无损失或损坏但很容易修好	1	2	3	4	5
2	40 ~ 80	受轻伤,需要休息	中等范围污染	损坏,需停车 3 天以内	2	4	6	8	10
3	80 ~ 120	重伤,无死亡	大范围污染	损坏,需停车 3 天以上	3	6	9	12	15
4	120 ~ 160	致死或残疾	污染严重,危及厂区外生活区	多台损坏,无法修理	4	8	12	16	20
5	160 ~ 200	多人致死或残疾	重度污染,造成周围生物死亡	装置长时间停车	5	10	15	20	25

表 6 风险等级描述

Table 6 Description of risk level

风险等级	风险值 R	风险描述
Ⅰ	1 ~ 4	无风险或可容忍风险区,一般无须采取措施
Ⅱ	5 ~ 9	中等风险区,应加强监测,分析产生原因,安排维修计划,采取相应措施
Ⅲ	10 ~ 12	较高风险区,必须安排短期维修计划,避免泄漏事故的发生
Ⅳ	15 ~ 25	高风险区,该类风险视为不可容忍的风险,应该立即维修或停车

参考文献:

[1] 葛再立. 大型沼气工程环境风险分析与风险管理[J]. 黑龙江环境通报, 2013, 37(2): 8-11.
Ge Z L. Environmental risk analysis and risk management of large biogas project [J]. Heilongjiang Environment Journal, 2013, 37(2): 8-11. (in Chinese)

[2] 杨传森, 项恒. 实验贝叶斯估计在人为差错致因量化中的应用[J]. 计算机仿真, 2014, 31(6): 65-68.
Yang C S, Xiang H. Application of Bayesian estimation in quantification of human errors causality [J]. Computer Simulation, 2014, 31(6): 65-68. (in Chinese)

[3] 江浩. HFACS 及其应用研究综述[J]. 中国科技信息, 2015(5): 13-14.
Jiang H. HFACS and its application research summary [J]. China Science and Technology Information, 2015 (5): 13-14. (in Chinese)

[4] Lenné M G, Salmon P M, Liu C C, et al. A systems approach to accident causation in mining: an application of the HFACS method [J]. Accident Analysis & Prevention, 2012, 48(3): 111-117.

[5] Soner O, Asan U, Celik M. Use of HFACS-FCM in fire prevention modelling on board ships [J]. Safety Science, 2015, 77: 25-41.

[6] Diller T, Helmrich G, Dunning S, et al. The human factors analysis classification system (HFACS) applied to health care [J]. American Journal of Medical Quality the Official Journal of the American College of Medical Quality, 2014, 29(3): 181-190.

[7] 徐璇, 王华伟, 王祥. 航空事故人为因素多模型继承分析与控制策略[J]. 航空计算技术, 2016, 46(1): 90-94.
Xu X, Wang H W, Wang X. Multi-model integrated analysis and control strategies of human factors in aviation accidents [J]. Aeronautical Computing Technique, 2016, 46(1): 90-94. (in Chinese)

[8] 牛国庆, 闫思洁. 改进的 HFACS 煤矿事故致因灰色关联分析[J]. 煤炭工程, 2016, 48(5): 142-145.
Niu G Q, Yan S J. Grey correlation analysis of coal mine accident triggering factors based on improved HFACS [J]. Coal Engineering, 2016, 48(5): 142-145. (in Chinese)

[9] 王军, 杨冰, 李保平, 等. 基于 HFACS 及 FTA 的海事调查模型[J]. 海事管理, 2012, 35(8): 19-22.
Wang J, Yang B, Li B P, et al. Maritime investigation model based on HFACS and FTA [J]. Marine Management, 2012, 35(8): 19-22. (in Chinese)

[10] 解学才, 杨振宏, 许贵阁. 基于改进的 HFACS 和 SPA 矿山安全人因分析[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(3): 37-41.

Xie X C, Yang Z H, Xu G G. Human factor analysis of the mining safety based on the improved HFACS and SPA [J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(3): 37-41. (in Chinese)

[11] 王峰, 高金吉, 张贝克, 等. 基于层次分析法的计算机辅助 HAZOP 分析技术[J]. 化工进展, 2008, 27(12): 2013-2018.
Wang F, Gao J J, Zhang B K, et al. Computer aided HAZOP analysis technology based on AHP [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2008, 27(12): 2013-2018. (in Chinese)

[12] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
Deng X, Li J M, Zeng H J, et al. Research on computation method of AHP weight vector and its applications [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7): 93-100. (in Chinese)

[13] Kim Y, Park J, Jung W. A classification scheme of erroneous behaviors for human error probability estimations based on simulator data [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2017, 163: 1-13.

[14] 张力. 概率安全评价中人因可靠性分析技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2004.
Zhang L. The research on human reliability analysis technique in probabilistic safety assessment [D]. Changsha: Hunan University, 2004. (in Chinese)

[15] 李兆慈, 张文花, 郑梅, 等. LNG 连续泄漏扩散过程模拟[J]. 化工学报, 2015, 66(增刊 2): 158-165.
Li Z C, Zhang W H, Zheng M, et al. LNG continuous leakage and diffusion process simulation [J]. CIESC Journal, 2015, 66(Suppl 2): 158-165. (in Chinese)

[16] 保强, 王峰, 金旭, 等. 原料油增压泵多参数耦合定量风险计算方法[J]. 化工进展, 2015, 34(10): 3577-3582.
Bao Q, Wang F, Jin X, et al. Multi-parameter coupling quantitative risk calculation method for raw oil booster pump [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2015, 34(10): 3577-3582. (in Chinese)

Calculation method of human factors risk in anaerobic reactors

ZHANG RuiBo[1]　WANG YiPeng[1]　SHI Lei[2]　WANG Feng[1*]

(1. National Foundation Research Laboratory of Fault Prevention and Control in Hazardous Chemicals Production System, College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;
2. State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100031, China)

Abstract: In order to accurately identify and prevent wrong operations, this article presents a method for calculating human factors risk in anaerobic reactor use; the method consists of a probability calculation, a consequences severity calculation and a risk rating determination. Starting from a human factors analysis and classification system (HFACS) model, we enriched the classifications of the model and established a human error safety check list model of an anaerobic reactor cluster for use in risk assessment. The safety check list contains 140 items of information which are summarized and classified into four general categories and 11 detailed categories and all included in the HFACS model. The weights for different safety check list elements have been determined by an analytic hierarchy process. By filtering out less important items, a streamlined model was obtained. Based on that the latter model, a fault tree can be constructed leading to the probability value of leakage accidents caused by human error. Subsequently, by focusing on simulations, a quantitative predictive model of incident consequence severity can be obtained by regression and the consequence severity value can be calculated. Finally, a risk matrix of human errors was set up. By using the probability value and the consequence severity value obtained as above, human error risk assessment for the anaerobic reactor can be analyzed. It is recommended that there should be a focus on preventing high risk human error. When an abnormal condition appears, putting forward a solution based on risk assessment can prevent major accidents.

Key words: human factors analysis and classification system(HFACS); safety check list; anaerobic reactors; human error

(责任编辑:汪　琴)