



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106952036 A

(43)申请公布日 2017.07.14

(21)申请号 201710162242.4

(22)申请日 2017.03.17

(71)申请人 贵州省煤炭产品质量监督检验院  
地址 553000 贵州省六盘水市红桥新区红桥路北侧,石桥三路西侧

(72)发明人 史建华 邹登亮 王宁 丁锐  
李志 管文丽 余阳博 宋延伟

(74)专利代理机构 北京国坤专利代理事务所  
(普通合伙) 11491

代理人 姜彦

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

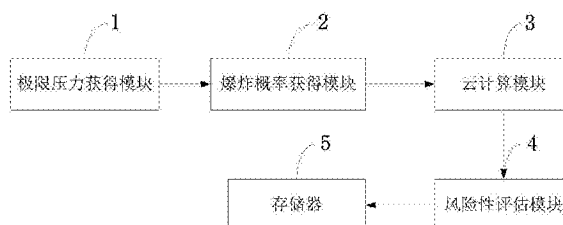
权利要求书5页 说明书11页 附图1页

## (54)发明名称

一种基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统

## (57)摘要

本发明属于爆炸风险评估技术领域,公开了一种基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统,包括:极限压力获得模块、爆炸概率获得模块、云计算模块、风险性评估模块、存储器。本发明可以解决传统方法(如TNT当量法以及Multi-Energy方法等)存在的局限性、不直观、准确度及表现力不足、不能进行爆炸近场预测的问题,考虑了爆炸事故发生发展的过程,并结合事故发生概率等因素的影响,能够全面的考虑化工装置的爆炸风险,结果更加合理准确。更加适用于管道密集、装置繁多的化工厂区爆炸风险评估以及爆炸风险性的确定。



1. 一种基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统,其特征在于,所述基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统包括:

极限压力获得模块,用于利用现场气象资料及所述化工装置的周边环境获得的数据计算不同场景情况下所述化工装置发生爆炸时的极限压力;

爆炸概率获得模块,与极限压力获得模块连接,用于利用生产中的实际数据计算获得所述化工装置发生爆炸事故的爆炸概率;

云计算模块,与爆炸概率获得模块连接,用于获取极限压力获得模块和爆炸概率获得模块的信息,计算爆炸风险的概率;

风险性评估模块,与云计算模块连接,用于利用云计算模块获得的化工装置发生爆炸时的极限压力和化工装置发生爆炸事故的爆炸概率形成累积概率-爆炸后果评估曲线,最终对化工装置的爆炸风险性进行评估;风险性评估模块采用定量化与定性分析相结合,结合工程实际建立评价集,建立综合评价判断矩阵,根据每一失效因素对化工装置的损伤率及其对化工装置安全影响的权重计算总的损伤率,摒弃采用单一角度评定、过分依赖或现场数据的方式,综合考虑影响在役化工装置安全性的所有主要因素,并明确各影响的相互联系,作出综合性安全评价;在役化工装置失效因素评定包括:

平面缺陷的断裂评定,评定方法为采用失效评定图的方法进行,失效评定曲线方程为:

$$K_r = (1 - 0.14L_r^2)(0.3 + 0.7e^{-0.65L_r^2})$$

垂直线的方程为:  $L_r = L_r^{\max}$

$L_r^{\max}$  的值取决于材料的特性:

对奥氏体不锈钢,  $L_r^{\max} = 1.8$  ;

对无屈服平台的低碳钢及奥氏体不锈钢焊缝,  $L_r^{\max} = 1.25$  ;

对无屈服平台的低合金钢及其焊缝,  $L_r^{\max} = 1.15$  ;

对于具有长屈服平台的材料,  $L_r^{\max} = 1.0$  ;当材料温度不高于200℃时,  $L_r^{\max}$  可根据 $K_r$ 值及材料屈服强度级别;

对于不能按钢材类别确定  $L_r^{\max}$  的材料,可按下列式计算  $L_r^{\max}$  的值:

$$L_r^{\max} = \sigma / \sigma_s = 0.5(\sigma_b + \sigma_s) / \sigma_s ;$$

平面缺陷的疲劳评定方法:

平首先依据疲劳裂纹扩展速率  $da/dN$  与裂纹尖端应力强度因子变化幅度  $\Delta K$  关系式  $\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^m$ , 确定在规定的循环周期内疲劳裂纹的扩展量和最终尺寸;然后根据所给出的判别条件和方法,来判断该平面缺陷是否会发生泄漏和疲劳断裂,除所规定的平面缺陷外,裂纹、未融合、未焊透、深度大于等于1mm的咬边定;

风险性评估模块,对化工装置的爆炸风险性进行评估具体包括:建立因素集:

影响在役化工装置的各种参数组成因素集合,取二级因素  $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} = \{\text{缺陷, 重要部件, 材质, 内部环境}\}$ ,  $u_1 = \{u_{11}, u_{12}\} = \{\text{平面缺陷的断裂失效, 平面缺陷的疲劳失效}\}$ ,  $u_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}\} = \{\text{胶芯, 活塞, 密封圈, 液压控制油路}\}$ ,  $u_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\} = \{\text{材料加工质量, 材料机械性能, 设计合理性}\}$ ,  $u_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}\} = \{\text{压力, 温度, 腐蚀性}\}$ ;

建立评价集:

为了对各评价指标进行定量分析需要确定各指标的评价集,采用5级百分制评价把评价集V划分5个评价等级,即 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{极小, 很小, 小, 较大, 大}\}$ ,其中 $v_1$ 为在役化工装置多因素失效危险性极小,评分区间为90~100,中值为95; $v_2$ 为危险性很小,评分区间为80~89,中值为84.5;依此类推;选择各区间的中值作为等级的参数,则5个等级所对应的参数为 $\{95, 84.5, 74.5, 64.5, 49.5\}$ ,参数列向量为 $v = \{95, 84.5, 74.5, 64.5, 49.5\}^T$ ;

建立权重集:

(1) 建立递阶层次结构:

根据建立的在役化工装置评价因素集即评价指标体系,将问题所包含的各因素分为四个层次:第一层是评价的总目标层G,即在役化工装置综合安全;第二层是准则层C,即缺陷,重要部件,材质和内部环境;最后将个具体指标作为第三层,即指标层P;

(2) 构造两两比较判断矩阵:

根据1~9标度法逐层对各个要素两两之间进行重要性程度赋值,构造判断矩阵 $U = (u_{ij})_{n \times n}$ ,其中 $u_{ij}$ 表示因素 $u_i$ 和 $u_j$ 相对于准则层的重要值,矩阵U具有性质: $u_{ii} = 1, u_{ij} = 1/u_{ji}, i, j = 1, 2, \dots, n$ ,得出判断矩阵:将矩阵 $X^1 \sim X^5$ 按列归一化,即:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

计算出矩阵Y为:

$$Y^1 = \begin{pmatrix} 0.681 & 0.732 & 0.572 & 0.667 \\ 0.136 & 0.146 & 0.214 & 0.190 \\ 0.085 & 0.049 & 0.071 & 0.048 \\ 0.098 & 0.073 & 0.143 & 0.095 \end{pmatrix}$$

$$Y^2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$Y^3 = \begin{pmatrix} 0.293 & 0.348 & 0.353 & 0.279 \\ 0.073 & 0.087 & 0.118 & 0.093 \\ 0.049 & 0.043 & 0.059 & 0.070 \\ 0.585 & 0.522 & 0.470 & 0.558 \end{pmatrix}$$

$$Y^4 = \begin{pmatrix} 0.652 & 0.556 & 0.692 \\ 0.131 & 0.111 & 0.077 \\ 0.217 & 0.333 & 0.231 \end{pmatrix}$$

$$Y^5 = \begin{pmatrix} 0.732 & 0.789 & 0.600 \\ 0.146 & 0.158 & 0.300 \\ 0.122 & 0.053 & 0.100 \end{pmatrix}$$

(3) 单一准则下元素相对权重的计算:

将Y矩阵按行相加,由公式 $W_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}$ 得出:

$$W^1 = (2.652 \ 0.686 \ 0.253 \ 0.409)^T$$

$$W^2 = (1 \ 1)^T$$

$$W^3 = (1.273 \ 0.371 \ 0.221 \ 2.135)^T$$

$$W^4 = (1.9 \ 0.319 \ 0.781)^T$$

$$W^5 = (2.121 \ 0.604 \ 0.275)^T$$

将得到的和向量进行归一化处理,由公式 $\bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} (i=1,2,\dots,n)$ 可得权向量:

$$\bar{W}^1 = (0.663 \ 0.172 \ 0.063 \ 0.102)^T$$

$$\bar{W}^2 = (0.5 \ 0.5)^T$$

$$\bar{W}^3 = (0.381 \ 0.093 \ 0.055 \ 0.534)^T$$

$$\bar{W}^4 = (0.633 \ 0.106 \ 0.261)^T$$

$$\bar{W}^5 = (0.707 \ 0.201 \ 0.092)^T$$

(4) 判断矩阵的一致性检验:

计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ ,由公式 $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A\bar{W})_i}{\bar{W}_i}$ 计算得出:

$$\bar{\lambda}_{\max}^1 = 4.085$$

$$\bar{\lambda}_{\max}^2 = 2$$

$$\bar{\lambda}_{\max}^3 = 4.031$$

$$\bar{\lambda}_{\max}^4 = 0.304$$

$$\bar{\lambda}_{\max}^5 = 3.096$$

根据公式 $CI = \frac{-1}{n-1} \sum_{i=2}^n \lambda_i = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} (n > 1)$ 进行一致性检验,得到:

$$CI^1 = 0.019$$

$$CI^2 = 0$$

$$CI^3 = 0.031$$

$$CI^4 = 0.020$$

$$CI^5 = 0.048$$

由公式 $CR = \frac{CI}{RI}$ 得:

$$CR^1 = 0.022$$

$$CR^2 = 0$$

$$CR^3 = 0.035$$

$$CR^4=0.038$$

$$CR^5=0.092$$

CR<0.1,均满足一致性要求,因此各因素的相对权重

$$\bar{W}^1=(0.663 \ 0.172 \ 0.063 \ 0.102)^T; \bar{W}^2=(0.5 \ 0.5)^T; \bar{W}^3=(0.381 \ 0.093 \ 0.055 \ 0.534)^T;$$

$$\bar{W}^4=(0.633 \ 0.106 \ 0.261)^T; \bar{W}^5=(0.707 \ 0.201 \ 0.092)^T;$$

隶属度计算:

多位使用频数统计法,对被评价的各项指标按评价集对在役化工装置各项指标的危险程度进行评级,得到因素集的隶属度:

确定评判隶属矩阵:

由得到第k个因素集的相对隶属度矩阵:

$$R_k = \begin{bmatrix} r_{k11} & \cdots & r_{k1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{km1} & \cdots & r_{kmn} \end{bmatrix}$$

$$\text{其中: } r_{kij} = \frac{p_{kij}}{\sum_j p_{kij}}$$

式中:R<sub>k</sub>—第k个因素集的相对隶属度矩阵;

r<sub>kij</sub>—第k个因素集的第i个因素属于评价集中的j的隶属度;

p<sub>kij</sub>—组成员对第k个因素集的第i个因素指标评级为j的频数;

存储器,与风险性评估模块连接,用于对风险性评估模块的评估结果进行存储。

2.如权利要求1所述的基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统,其特征在于,所述极限压力获得模块的超压值计算方法包括:

$$\frac{R}{R^\circ} = \left( \frac{q}{q^\circ} \right)^{\frac{1}{3}} = \alpha;$$

$$\Delta P = \Delta p^\circ$$

R表示目标与爆炸中心距离,m;R<sup>°</sup>表示目标与基准爆炸中心的相当距离,m;q<sup>°</sup>表示基准爆炸能量,TNT,kg;q表示爆炸时产生冲击波消耗的能量,TNT,kg;ΔP表示目标处的解压,Mpa;Δp<sup>°</sup>表示基准目标处的超压Mpa;α表示炸药爆炸实验模拟比。

3.如权利要求1所述的基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统,其特征在于,所述极限压力获得模块进一步包括:

三维模型的建立模块,运用三维建模技术构建所述化工装置的三维模型;

化工装置内风场分析以及通风换气分析模块,根据所述化工装置周边环境以及现场气象资料,在计算机上实现装置内风场分析以及通风换气分析;

泄漏扩散后果评估模块,通过对所述风场分析以及通风换气分析步骤获得的风场及通风换气数据进行归类,再使其结合化工装置特点选择不同的泄漏点、泄漏量、泄漏时间、泄漏物质,利用三维数值模拟技术实现泄漏场景模拟分析与计算,得出其最坏情况下的工艺气泄漏场景以及影响区域;

爆炸后果评估模块,在所述泄漏扩散后果评估步骤获得的气云尺寸上,设定不同的点

火源及点火位置,建立三维爆炸事故场景,得出所述化工装置在不同位置处的爆炸极限压力。

4.如权利要求1所述的基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统,其特征在于,所述爆炸概率获得模块进一步包括:

风向频率获得模块,综合分析当地风向风速数据,按照0~1m/s、1~2m/s、2~3m/s、3~5m/s、5~7m/s、7~10m/s、>10m/s等级别,每30°风向进行各个风向频率统计计算,利用统计数据给出各种风速风向频率分布;

泄漏概率获得模块,利用事故统计数据库结合设备失效频率数据库,按照失效概率求和的方式得到化工装置发生泄漏的概率。

5.如权利要求1所述的基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统,其特征在于,平面缺陷的疲劳评定采用构造的模糊评判矩阵进行评判结果,具体包括:

由各指标的权向量 $\bar{W}$ 和矩阵R构造模糊评判矩阵B,

$$B = \bar{W} \cdot R$$

计算综合评判结果:

由模糊评判矩阵B和评价集的参数列向量,可求得综合评判结果Z;

$$Z = B \cdot V$$

由上式可得到模糊综合评价的结果,再根据评价等级规定,可以评定在役化工装置多因素失效危险性大小。

## 一种基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于爆炸风险评估技术领域,尤其涉及一种基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统。

### 背景技术

[0002] 化工设备(英文名称Chemical Equipment)是化工机械(chemical machinery)的一部分,化工机械包括两部分,其一是化工机器,主要是指诸如流体输送的风机、压缩机、各种泵等设备,其主要部件是运动的机械,一般称为化工机器。其二是化工设备主要是指部件是静止的机械,诸如塔器等分离设备,容器、反应器设备等,有时也称为非标准设备。化工机械与其他机械的划分不是很严格的,例如一些用于化工过程的机泵,也是其他工业部门采用的通用设备。同样在化工过程中化工机器和化工设备间也没有严格的区分。例如一些反应器也常常装有运动的机器。

[0003] 综上所述,现有技术存在的问题是:传统方法(如TNT当量法以及Multi-Energy方法等)存在的局限性、不直观、准确度及表现力不足、不能进行爆炸近场预测。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统。

[0005] 本发明是这样实现的,一种基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统,所述基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统包括:

[0006] 极限压力获得模块,用于利用现场气象资料及所述化工装置的周边环境获得的数据计算不同场景情况下所述化工装置发生爆炸时的极限压力;

[0007] 爆炸概率获得模块,与极限压力获得模块连接,用于利用生产中的实际数据计算获得所述化工装置发生爆炸事故的爆炸概率;

[0008] 云计算模块,与爆炸概率获得模块连接,用于获取极限压力获得模块和爆炸概率获得模块的信息,计算爆炸风险的概率;

[0009] 风险性评估模块,与云计算模块连接,用于利用云计算模块获得的化工装置发生爆炸时的极限压力和化工装置发生爆炸事故的爆炸概率形成累积概率-爆炸后果评估曲线,最终对化工装置的爆炸风险性进行评估;风险性评估模块采用定量化与定性分析相结合,结合工程实际建立评价集,建立综合评价判断矩阵,根据每一失效因素对化工装置的损伤率及其对化工装置安全影响的权重计算总的损伤率,摒弃采用单一角度评定、过分依赖或现场数据的方式,综合考虑影响在役化工装置安全性的所有主要因素,并明确各影响的相互联系,作出综合性安全评价;在役化工装置失效因素评定包括:

[0010] 平面缺陷的断裂评定,评定方法为采用失效评定图的方法进行,失效评定曲线方程为:

$$[0011] \quad K_r = (1 - 0.14L_r^2)(0.3 + 0.7e^{-0.65L_r^{\beta}})$$

[0012] 垂直线的方程为:  $L_r = L_r^{\max}$

[0013]  $L_r^{\max}$  的值取决于材料的特性:

[0014] 对奥氏体不锈钢,  $L_r^{\max} = 1.8$  ;

[0015] 对无屈服平台的低碳钢及奥氏体不锈钢焊缝,  $L_r^{\max} = 1.25$  ;

[0016] 对无屈服平台的低合金钢及其焊缝,  $L_r^{\max} = 1.15$  ;

[0017] 对于具有长屈服平台的材料,  $L_r^{\max} = 1.0$  ;当材料温度不高于  $200^\circ\text{C}$  时,  $L_r^{\max}$  可根据  $K_r$  值及材料屈服强度级别;

[0018] 对于不能按钢材类别确定  $L_r^{\max}$  的材料,可按下式计算  $L_r^{\max}$  的值:

$$[0019] \quad L_r^{\max} = \sigma / \sigma_s = 0.5(\sigma_b + \sigma_s) / \sigma_s ;$$

[0020] 平面缺陷的疲劳评定方法:

[0021] 平首先依据疲劳裂纹扩展速率  $da/dN$  与裂纹尖端应力强度因子变化幅度  $\Delta K$  关系式  $\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^m$ , 确定在规定的循环周期内疲劳裂纹的扩展量和最终尺寸;然后根据所给出的判别条件和方法,来判断该平面缺陷是否会发生泄漏和疲劳断裂,除所规定的平面缺陷外,裂纹、未融合、未焊透、深度大于等于  $1\text{mm}$  的咬边定;

[0022] 风险性评估模块,对化工装置的爆炸风险性进行评估具体包括:建立因素集:

[0023] 影响在役化工装置的各种参数组成因素集合,取二级因素  $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} = \{\text{缺陷, 重要部件, 材质, 内部环境}\}$ ,  $u_1 = \{u_{11}, u_{12}\} = \{\text{平面缺陷的断裂失效, 平面缺陷的疲劳失效}\}$ ,  $u_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}\} = \{\text{胶芯, 活塞, 密封圈, 液压控制油路}\}$ ,  $u_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\} = \{\text{材料加工质量, 材料机械性能, 设计合理性}\}$ ,  $u_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}\} = \{\text{压力, 温度, 腐蚀性}\}$ ;

[0024] 建立评价集:

[0025] 为了对各评价指标进行定量分析需要确定各指标的评价集,采用5级百分制评价把评价集  $V$  划分5个评价等级,即  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{极小, 很小, 小, 较大, 大}\}$ , 其中  $v_1$  为在役化工装置多因素失效危险性极小,评分区间为  $90 \sim 100$ , 中值为  $95$ ;  $v_2$  为危险性很小,评分区间为  $80 \sim 89$ , 中值为  $84.5$ ; 依此类推;选择各区间的中值作为等级的参数,则5个等级所对应的参数为  $\{95, 84.5, 74.5, 64.5, 49.5\}$ , 参数列向量为  $v = \{95, 84.5, 74.5, 64.5, 49.5\}^T$ ;

[0026] 建立权重集:

[0027] (1) 建立递阶层次结构:

[0028] 根据建立的在役化工装置评价因素集即评价指标体系,将问题所包含的各因素分为四个层次:第一层是评价的总目标层  $G$ ,即在役化工装置综合安全;第二层是准则层  $C$ ,即缺陷,重要部件,材质和内部环境;最后将个具体指标作为第三层,即指标层  $P$ ;

[0029] (2) 构造两两比较判断矩阵:

[0030] 根据  $1 \sim 9$  标度法逐层对各个要素两两之间进行重要性程度赋值,构造判断矩阵  $U = (u_{ij})_{n \times n}$ , 其中  $u_{ij}$  表示因素  $u_i$  和  $u_j$  相对于准则层的重要值,矩阵  $U$  具有性质:  $u_{ii} = 1, u_{ij} = 1/u_{ji}, i, j = 1, 2, \dots, n$ , 得出判断矩阵:将矩阵  $X^1 \sim X^5$  按列归一化,即:



$$[0031] \quad y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

[0032] 计算出矩阵Y为:

$$[0033] \quad Y^1 = \begin{pmatrix} 0.681 & 0.732 & 0.572 & 0.667 \\ 0.136 & 0.146 & 0.214 & 0.190 \\ 0.085 & 0.049 & 0.071 & 0.048 \\ 0.098 & 0.073 & 0.143 & 0.095 \end{pmatrix}$$

$$[0034] \quad Y^2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$[0035] \quad Y^3 = \begin{pmatrix} 0.293 & 0.348 & 0.353 & 0.279 \\ 0.073 & 0.087 & 0.118 & 0.093 \\ 0.049 & 0.043 & 0.059 & 0.070 \\ 0.585 & 0.522 & 0.470 & 0.558 \end{pmatrix}$$

$$[0036] \quad Y^4 = \begin{pmatrix} 0.652 & 0.556 & 0.692 \\ 0.131 & 0.111 & 0.077 \\ 0.217 & 0.333 & 0.231 \end{pmatrix}$$

$$[0037] \quad Y^5 = \begin{pmatrix} 0.732 & 0.789 & 0.600 \\ 0.146 & 0.158 & 0.300 \\ 0.122 & 0.053 & 0.100 \end{pmatrix}$$

[0038] (3) 单一准则下元素相对权重的计算:

[0039] 将Y矩阵按行相加,由公式  $W_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}$  得出:

$$[0040] \quad W^1 = (2.652 \ 0.686 \ 0.253 \ 0.409)^T$$

$$[0041] \quad W^2 = (1 \ 1)^T$$

$$[0042] \quad W^3 = (1.273 \ 0.371 \ 0.221 \ 2.135)^T$$

$$[0043] \quad W^4 = (1.9 \ 0.319 \ 0.781)^T$$

$$[0044] \quad W^5 = (2.121 \ 0.604 \ 0.275)^T$$

[0045] 将得到的和向量进行归一化处理,由公式  $\bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} (i = 1, 2, \dots, n)$  可得权向量:

$$[0046] \quad \bar{W}^1 = (0.663 \ 0.172 \ 0.063 \ 0.102)^T$$

$$[0047] \quad \bar{W}^2 = (0.5 \ 0.5)^T$$

$$[0048] \quad \bar{W}^3 = (0.381 \ 0.093 \ 0.055 \ 0.534)^T$$

$$[0049] \quad \bar{W}^4 = (0.633 \ 0.106 \ 0.261)^T$$

$$[0050] \quad \bar{W}^5 = (0.707 \ 0.201 \ 0.092)^T$$

[0051] (4) 判断矩阵的一致性检验:

[0052] 计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ ,由公式 $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A\bar{W})_i}{\bar{W}_i}$ 计算得出:

[0053]  $\bar{\lambda}_{\max}^1 = 4.085$

[0054]  $\bar{\lambda}_{\max}^2 = 2$

[0055]  $\bar{\lambda}_{\max}^3 = 4.031$

[0056]  $\bar{\lambda}_{\max}^4 = 0.304$

[0057]  $\bar{\lambda}_{\max}^5 = 3.096$

[0058] 根据公式 $CI = \frac{-1}{n-1} \sum_{i=2}^n \lambda_i = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} (n > 1)$ 进行一致性检验,得到:

[0059]  $CI^1 = 0.019$

[0060]  $CI^2 = 0$

[0061]  $CI^3 = 0.031$

[0062]  $CI^4 = 0.020$

[0063]  $CI^5 = 0.048$

[0064] 由公式 $CR = \frac{CI}{RI}$ 得:

[0065]  $CR^1 = 0.022$

[0066]  $CR^2 = 0$

[0067]  $CR^3 = 0.035$

[0068]  $CR^4 = 0.038$

[0069]  $CR^5 = 0.092$

[0070]  $CR < 0.1$ ,均满足一致性要求,因此各因素的相对权重

[0071]

$$\bar{W}^1 = (0.663 \quad 0.172 \quad 0.063 \quad 0.102)^T; \bar{W}^2 = (0.5 \quad 0.5)^T; \bar{W}^3 = (0.381 \quad 0.093 \quad 0.055 \quad 0.534)^T;$$

[0072]  $\bar{W}^4 = (0.633 \quad 0.106 \quad 0.261)^T; \bar{W}^5 = (0.707 \quad 0.201 \quad 0.092)^T;$

[0073] 隶属度计算:

[0074] 多位使用频数统计法,对被评价的各项指标按评价集对在役化工装置各项指标的  
危险程度进行评级,得到因素集的隶属度:

[0075] 确定评判隶属矩阵:

[0076] 由得到第k个因素集的相对隶属度矩阵:

[0077] 
$$R_k = \begin{bmatrix} r_{k11} & \cdots & r_{k1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{km1} & \cdots & r_{kmn} \end{bmatrix}$$

[0078] 其中: 
$$r_{kj} = \frac{p_{kij}}{\sum_j p_{kij}}$$

[0079] 式中： $R_k$ —第k个因素集的相对隶属度矩阵；

[0080]  $r_{kij}$ —第k个因素集的第i个因素属于评价集中的j的隶属度；

[0081]  $p_{kij}$ —组成员对第k个因素集的第i个因素指标评级为j的频数；

[0082] 存储器，与风险性评估模块连接，用于对风险性评估模块的评估结果进行存储。

[0083] 进一步，所述极限压力获得模块的超压值计算方法包括：

$$[0084] \quad \frac{R}{R^\circ} = \left( \frac{q}{q^\circ} \right)^{\frac{1}{3}} = \alpha ;$$

$$[0085] \quad \Delta P = \Delta p^\circ$$

[0086]  $R$ 表示目标与爆炸中心距离，m； $R^\circ$ 表示目标与基准爆炸中心的相当距离，m； $q^\circ$ 表示基准爆炸能量，TNT，kg； $q$ 表示爆炸时产生冲击波消耗的能量，TNT，kg； $\Delta P$ 表示目标处的解压，Mpa； $\Delta p^\circ$ 表示基准目标处的超压Mpa； $\alpha$ 表示炸药爆炸实验模拟比。

[0087] 所述极限压力获得模块进一步包括：

[0088] 三维模型的建立模块，运用三维建模技术构建所述化工装置的三维模型；

[0089] 化工装置内风场分析以及通风换气分析模块，根据所述化工装置周边环境以及现场气象资料，在计算机上实现装置内风场分析以及通风换气分析；

[0090] 泄漏扩散后果评估模块，通过对所述风场分析以及通风换气分析步骤获得的风场及通风换气数据进行归类，再使其结合化工装置特点选择不同的泄漏点、泄漏量、泄漏时间、泄漏物质，利用三维数值模拟技术实现泄漏场景模拟分析与计算，得出其最坏情况下的工艺气泄漏场景以及影响区域；

[0091] 爆炸后果评估模块，在所述泄漏扩散后果评估步骤获得的气云尺寸上，设定不同的点火源及点火位置，建立三维爆炸事故场景，得出所述化工装置在不同位置处的爆炸极限压力。

[0092] 所述爆炸概率获得模块进一步包括：

[0093] 风向频率获得模块，综合分析当地风向风速数据，按照0~1m/s、1~2m/s、2~3m/s、3~5m/s、5~7m/s、7~10m/s、>10m/s等级别，每30°风向进行各个风向频率统计计算，利用统计数据给出各种风速风向频率分布；

[0094] 泄漏概率获得模块，利用事故统计数据库结合设备失效频率数据库，按照失效概率求和的方式得到化工装置发生泄漏的概率。

[0095] 平面缺陷的疲劳评定采用构造的模糊评判矩阵进行评判结果，具体包括：

[0096] 由各指标的权向量 $\bar{W}$ 和矩阵 $R$ 构造模糊评判矩阵 $B$ ，

$$[0097] \quad B = \bar{W} \cdot R$$

[0098] 计算综合评判结果：

[0099] 由模糊评判矩阵 $B$ 和评价集的参数列向量，可求得综合评判结果 $Z$ ；

$$[0100] \quad Z = B \cdot V$$

[0101] 由上式可得到模糊综合评价的结果，再根据评价等级规定，可以评定在役化工装置多因素失效危险性大小。

[0102] 本发明的优点及积极效果为：本发明可以解决传统方法（如TNT当量法以及Multi-Energy方法等）存在的局限性、不直观、准确度及表现力不足、不能进行爆炸近场预测的问

题,考虑了爆炸事故发生发展的过程,并结合事故发生概率等因素的影响,能够全面的考虑化工装置的爆炸风险,结果更加合理准确。更加适用于管道密集、装置繁多的化工厂区爆炸风险评估以及爆炸风险性的确定。

[0103] 本发明提供的安全评价方法,克服不能动态检测灾害趋势的困难,能更好、更准确的及时发现灾害,做到提前预防;采用模糊综合评价系统,定量化与定性分析相结合,结合工程实际建立评价集,建立综合评价判断矩阵,根据每一失效因素对化工装置的损伤率及其对化工装置安全影响的权重计算总的损伤率,摒弃采用单一角度评定、过分依赖或现场数据的方式,综合考虑影响在役化工装置安全性的所有主要因素,并明确各影响的相互联系,在此基础上作出综合性安全评价;不仅能正确得出是否能安全工作的结论,还能解决安全程度的问题;简化评价过程,消除评价的主观随意性,本发明的可靠性高、可操作性好,使评估结果能更客观真实地反映化工装置实际。

### 附图说明

[0104] 图1是本发明实施例提供的基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统结构示意图;

[0105] 图中:1、极限压力获得模块;2、爆炸概率获得模块;3、云计算模块;4、风险性评估模块;5、存储器。

### 具体实施方式

[0106] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0107] 下面结合附图对本发明的应用原理作详细的描述。

[0108] 如图1所示,本发明实施例提供的基于云计算的化工装置爆炸风险评估控制系统包括:

[0109] 极限压力获得模块1,用于利用现场气象资料及所述化工装置的周边环境获得的数据计算不同场景情况下所述化工装置发生爆炸时的极限压力;

[0110] 爆炸概率获得模块2,与极限压力获得模块1连接,用于利用生产中的实际数据计算获得所述化工装置发生爆炸事故的爆炸概率;

[0111] 云计算模块3,与爆炸概率获得模块2连接,用于获取极限压力获得模块和爆炸概率获得模块的信息,计算爆炸风险的概率;

[0112] 风险性评估模块4,与云计算模块3连接,用于利用云计算模块获得的化工装置发生爆炸时的极限压力和化工装置发生爆炸事故的爆炸概率形成累积概率-爆炸后果评估曲线(即QRA风险评估中使用的f-N曲线),最终对所述化工装置的爆炸风险性进行评估。风险性评估模块采用定量化与定性分析相结合,结合工程实际建立评价集,建立综合评价判断矩阵,根据每一失效因素对化工装置的损伤率及其对化工装置安全影响的权重计算总的损伤率,摒弃采用单一角度评定、过分依赖或现场数据的方式,综合考虑影响在役化工装置安全性的所有主要因素,并明确各影响的相互联系,作出综合性安全评价;在役化工装置失效因素评定包括:

[0113] 平面缺陷的断裂评定, 评定方法为采用失效评定图的方法进行, 失效评定曲线方程为:

$$[0114] \quad K_r = (1 - 0.14L_r^2)(0.3 + 0.7e^{-0.65L_r^0})$$

[0115] 垂直线的方程为:  $L_r = L_r^{\max}$

[0116]  $L_r^{\max}$  的值取决于材料的特性:

[0117] 对奥氏体不锈钢,  $L_r^{\max} = 1.8$  ;

[0118] 对无屈服平台的低碳钢及奥氏体不锈钢焊缝,  $L_r^{\max} = 1.25$  ;

[0119] 对无屈服平台的低合金钢及其焊缝,  $L_r^{\max} = 1.15$  ;

[0120] 对于具有长屈服平台的材料,  $L_r^{\max} = 1.0$ ; 当材料温度不高于 200℃ 时,  $L_r^{\max}$  可根据  $K_r$  值及材料屈服强度级别;

[0121] 对于不能按钢材类别确定  $L_r^{\max}$  的材料, 可按下式计算  $L_r^{\max}$  的值:

$$[0122] \quad L_r^{\max} = \sigma / \sigma_s = 0.5(\sigma_b + \sigma_s) / \sigma_s ;$$

[0123] 平面缺陷的疲劳评定方法:

[0124] 平首先依据疲劳裂纹扩展速率  $da/dN$  与裂纹尖端应力强度因子变化幅度  $\Delta K$  关系式  $\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^m$ , 确定在规定的循环周期内疲劳裂纹的扩展量和最终尺寸; 然后根据所给出的判别条件和方法, 来判断该平面缺陷是否会发生泄漏和疲劳断裂, 除所规定的平面缺陷外, 裂纹、未融合、未焊透、深度大于等于 1mm 的咬边定;

[0125] 风险性评估模块, 对化工装置的爆炸风险性进行评估具体包括: 建立因素集:

[0126] 影响在役化工装置的各种参数组成因素集合, 取二级因素  $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} = \{\text{缺陷, 重要部件, 材质, 内部环境}\}$ ,  $u_1 = \{u_{11}, u_{12}\} = \{\text{平面缺陷的断裂失效, 平面缺陷的疲劳失效}\}$ ,  $u_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}\} = \{\text{胶芯, 活塞, 密封圈, 液压控制油路}\}$ ,  $u_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\} = \{\text{材料加工质量, 材料机械性能, 设计合理性}\}$ ,  $u_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}\} = \{\text{压力, 温度, 腐蚀性}\}$ ;

[0127] 建立评价集:

[0128] 为了对各评价指标进行定量分析需要确定各指标的评价集, 采用 5 级百分制评价把评价集  $V$  划分 5 个评价等级, 即  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{极小, 很小, 小, 较大, 大}\}$ , 其中  $v_1$  为在役化工装置多因素失效危险性极小, 评分区间为 90~100, 中值为 95;  $v_2$  为危险性很小, 评分区间为 80~89, 中值为 84.5; 依此类推; 选择各区间的中值作为等级的参数, 则 5 个等级所对应的参数为  $\{95, 84.5, 74.5, 64.5, 49.5\}$ , 参数列向量为  $v = \{95, 84.5, 74.5, 64.5, 49.5\}^T$ ;

[0129] 建立权重集:

[0130] (1) 建立递阶层次结构:

[0131] 根据建立的在役化工装置评价因素集即评价指标体系, 将问题所包含的各因素分为四个层次: 第一层是评价的总目标层  $G$ , 即在役化工装置综合安全; 第二层是准则层  $C$ , 即缺陷, 重要部件, 材质和内部环境; 最后将个具体指标作为第三层, 即指标层  $P$ ;

[0132] (2) 构造两两比较判断矩阵:

[0133] 根据 1~9 标度法逐层对各个要素两两之间进行重要性程度赋值, 构造判断矩阵  $U$

$= (u_{ij})_{n \times n}$ , 其中  $u_{ij}$  表示因素  $u_i$  和  $u_j$  相对于准则层的重要值, 矩阵  $U$  具有性质:  $u_{ii} = 1, u_{ij} = 1/u_{ji}, i, j = 1, 2, \dots, n$ , 得出判断矩阵: 将矩阵  $X^1 \sim X^5$  按列归一化, 即:

$$[0134] \quad y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

[0135] 计算出矩阵  $Y$  为:

$$[0136] \quad Y^1 = \begin{pmatrix} 0.681 & 0.732 & 0.572 & 0.667 \\ 0.136 & 0.146 & 0.214 & 0.190 \\ 0.085 & 0.049 & 0.071 & 0.048 \\ 0.098 & 0.073 & 0.143 & 0.095 \end{pmatrix}$$

$$[0137] \quad Y^2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$[0138] \quad Y^3 = \begin{pmatrix} 0.293 & 0.348 & 0.353 & 0.279 \\ 0.073 & 0.087 & 0.118 & 0.093 \\ 0.049 & 0.043 & 0.059 & 0.070 \\ 0.585 & 0.522 & 0.470 & 0.558 \end{pmatrix}$$

$$[0139] \quad Y^4 = \begin{pmatrix} 0.652 & 0.556 & 0.692 \\ 0.131 & 0.111 & 0.077 \\ 0.217 & 0.333 & 0.231 \end{pmatrix}$$

$$[0140] \quad Y^5 = \begin{pmatrix} 0.732 & 0.789 & 0.600 \\ 0.146 & 0.158 & 0.300 \\ 0.122 & 0.053 & 0.100 \end{pmatrix}$$

[0141] (3) 单一准则下元素相对权重的计算:

[0142] 将  $Y$  矩阵按行相加, 由公式  $W_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}$  得出:

$$[0143] \quad W^1 = (2.652 \ 0.686 \ 0.253 \ 0.409)^T$$

$$[0144] \quad W^2 = (1 \ 1)^T$$

$$[0145] \quad W^3 = (1.273 \ 0.371 \ 0.221 \ 2.135)^T$$

$$[0146] \quad W^4 = (1.9 \ 0.319 \ 0.781)^T$$

$$[0147] \quad W^5 = (2.121 \ 0.604 \ 0.275)^T$$

[0148] 将得到的和向量进行归一化处理, 由公式  $\bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} (i = 1, 2, \dots, n)$  可得权向量:

$$[0149] \quad \bar{W}^1 = (0.663 \ 0.172 \ 0.063 \ 0.102)^T$$

$$[0150] \quad \bar{W}^2 = (0.5 \ 0.5)^T$$

$$[0151] \quad \bar{W}^3 = (0.381 \ 0.093 \ 0.055 \ 0.534)^T$$

[0152]  $\bar{W}^4 = (0.633 \quad 0.106 \quad 0.261)^T$

[0153]  $\bar{W}^5 = (0.707 \quad 0.201 \quad 0.092)^T$

[0154] (4) 判断矩阵的一致性检验:

[0155] 计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ ,由公式 $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A\bar{W})_i}{\bar{W}_i}$ 计算得出:

[0156]  $\bar{\lambda}_{\max}^1 = 4.085$

[0157]  $\bar{\lambda}_{\max}^2 = 2$

[0158]  $\bar{\lambda}_{\max}^3 = 4.031$

[0159]  $\bar{\lambda}_{\max}^4 = 0.304$

[0160]  $\bar{\lambda}_{\max}^5 = 3.096$

[0161] 根据公式 $CI = \frac{-1}{n-1} \sum_{i=2}^n \lambda_i = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} (n > 1)$ 进行一致性检验,得到:

[0162]  $CI^1 = 0.019$

[0163]  $CI^2 = 0$

[0164]  $CI^3 = 0.031$

[0165]  $CI^4 = 0.020$

[0166]  $CI^5 = 0.048$

[0167] 由公式 $CR = \frac{CI}{RI}$ 得:

[0168]  $CR^1 = 0.022$

[0169]  $CR^2 = 0$

[0170]  $CR^3 = 0.035$

[0171]  $CR^4 = 0.038$

[0172]  $CR^5 = 0.092$

[0173]  $CR < 0.1$ ,均满足一致性要求,因此各因素的相对权重

[0174]

$$\bar{W}^1 = (0.663 \quad 0.172 \quad 0.063 \quad 0.102)^T; \bar{W}^2 = (0.5 \quad 0.5)^T; \bar{W}^3 = (0.381 \quad 0.093 \quad 0.055 \quad 0.534)^T;$$

[0175]  $\bar{W}^4 = (0.633 \quad 0.106 \quad 0.261)^T; \bar{W}^5 = (0.707 \quad 0.201 \quad 0.092)^T;$

[0176] 隶属度计算:

[0177] 多位使用频数统计法,对被评价的各项指标按评价集对在役化工装置各项指标的  
危险程度进行评级,得到因素集的隶属度:

[0178] 确定评判隶属矩阵:

[0179] 由得到第k个因素集的相对隶属度矩阵:

[0180] 
$$R_k = \begin{pmatrix} r_{k11} & \cdots & r_{k1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{km1} & \cdots & r_{kmn} \end{pmatrix}$$

[0181] 其中：
$$r_{kij} = \frac{p_{kij}}{\sum_j p_{kij}}$$

[0182] 式中： $R_k$ —第 $k$ 个因素集的相对隶属度矩阵；

[0183]  $r_{kij}$ —第 $k$ 个因素集的第 $i$ 个因素属于评价集中的 $j$ 的隶属度；

[0184]  $p_{kij}$ —组成员对第 $k$ 个因素集的第 $i$ 个因素指标评级为 $j$ 的频数。

[0185] 存储器5,与风险性评估模块4连接,用于对风险性评估模块4的评估结果进行存储。

[0186] 所述极限压力获得模块1的超压值计算方法包括：

[0187] 
$$\frac{R}{R^\circ} = \left( \frac{q}{q^\circ} \right)^{\frac{1}{3}} = \alpha \quad (1)$$

[0188]  $\Delta P = \Delta p^\circ$

[0189]  $R$ 表示目标与爆炸中心距离,m; $R^\circ$ 表示目标与基准爆炸中心的相当距离,m; $q^\circ$ 表示基准爆炸能量,TNT,kg; $q$ 表示爆炸时产生冲击波消耗的能量,TNT,kg; $\Delta P$ 表示目标处的解压,Mpa; $\Delta p^\circ$ 表示基准目标处的超压Mpa; $\alpha$ 表示炸药爆炸实验模拟比。

[0190] 所述极限压力获得模块1进一步包括如下模块：

[0191] 三维模型的建立模块,运用三维建模技术构建所述化工装置的三维模型；

[0192] 化工装置内风场分析以及通风换气分析模块,根据所述化工装置周边环境以及现场气象资料,在计算机上实现装置内风场分析以及通风换气分析；

[0193] 泄漏扩散后果评估模块,通过对所述风场分析以及通风换气分析步骤获得的风场及通风换气数据进行归类,再使其结合化工装置特点选择不同的泄漏点、泄漏量、泄漏时间、泄漏物质等,利用三维数值模拟技术实现泄漏场景模拟分析与计算,得出其最坏情况下的工艺气泄漏场景以及影响区域；

[0194] 爆炸后果评估模块,在所述泄漏扩散后果评估步骤获得的气云尺寸上,设定不同的点火源及点火位置,建立三维爆炸事故场景,得出所述化工装置在不同位置处的爆炸极限压力。

[0195] 所述爆炸概率获得模块2进一步包括如下模块：

[0196] 风向频率获得模块,综合分析当地风向风速数据,按照 $0 \sim 1\text{m/s}$ 、 $1 \sim 2\text{m/s}$ 、 $2 \sim 3\text{m/s}$ 、 $3 \sim 5\text{m/s}$ 、 $5 \sim 7\text{m/s}$ 、 $7 \sim 10\text{m/s}$ 、 $> 10\text{m/s}$ 等级别,每 $30^\circ$ 风向进行各个风向频率统计计算,利用统计数据给出各种风速风向频率分布；

[0197] 泄漏概率获得模块,利用事故统计数据库结合设备失效频率数据库,按照失效概率求和的方式(即把计算区域内的每个装置、设备、阀门等的失效概率加到一起)得到所述化工装置发生泄漏的概率。

[0198] 平面缺陷的疲劳评定采用构造的模糊评判矩阵进行评判结果,具体包括：

[0199] 由各指标的权向量 $\bar{W}$ 和矩阵 $R$ 构造模糊评判矩阵 $B$ ,

[0200]  $B = \bar{W} \cdot R$

[0201] 计算综合评判结果：

[0202] 由模糊评判矩阵 $B$ 和评价集的参数列向量,可求得综合评判结果 $Z$ ；

[0203]  $Z = B \cdot V$



[0204] 由上式可得到模糊综合评价的结果,再根据评价等级规定,可以评定在役化工装置多因素失效危险性大小。

[0205] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

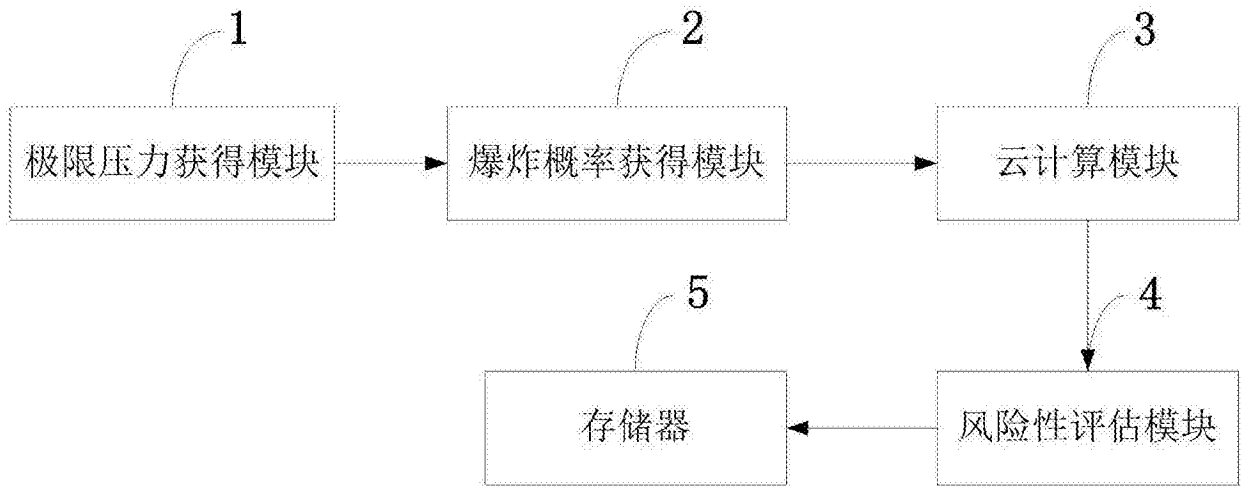


图1