



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113051791 A

(43) 申请公布日 2021.06.29

(21) 申请号 202110257086.6

G08B 21/18 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.09

(71) 申请人 中国安全生产科学研究院

地址 100012 北京市朝阳区北苑路32号甲1  
号楼

(72) 发明人 张红 赵军 李全明 李振涛  
付搏涛

(74) 专利代理机构 北京冠和权律师事务所  
11399

代理人 吴金水

(51) Int. Cl.

G06F 30/23 (2020.01)

G06F 30/27 (2020.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

G06Q 50/02 (2012.01)

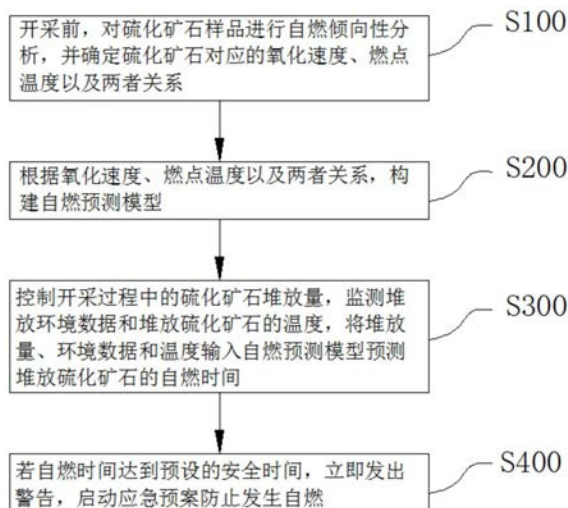
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控  
方法

(57) 摘要

本发明提供了一种硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,包括以下步骤:S100开采前,对硫化矿石样品进行自燃倾向性分析,并确定硫化矿石对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系;S200根据氧化速度、燃点温度以及两者关系,构建自燃预测模型;S300控制开采过程中的硫化矿石堆放量,监测堆放环境数据和堆放硫化矿石的温度,将堆放量、环境数据和温度输入自燃预测模型预测堆放硫化矿石的自燃时间;S400若自燃时间达到预设的安全时间,立即发出警告,启动应急预案防止发生自燃。本发明可以降低硫化矿石的自燃风险,有效防止发生自燃。



1. 一种硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,包括以下步骤:

S100开采前,对硫化矿石样品进行自燃倾向性分析,并确定硫化矿石对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系;

S200根据氧化速度、燃点温度以及两者关系,构建自燃预测模型;

S300控制开采过程中的硫化矿石堆放量,监测堆放环境数据和堆放硫化矿石的温度,将堆放量、环境数据和温度输入自燃预测模型预测堆放硫化矿石的自燃时间;

S400若自燃时间达到预设的安全时间,立即发出警告,启动应急预案防止发生自燃。

2. 根据权利要求1所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,在S100步骤中,对硫化矿石样品进行自燃倾向性分析的方法如下:

获取硫化矿石的自燃倾向性图谱,采用成分分析模型对硫化矿石样本进行成分分析,根据分析得到的硫化矿石样本成分,结合自燃倾向性图谱确定硫化矿石样本对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系;

所述自燃倾向性图谱通过以下方式得到:

采用多种成分不同的硫化矿石样本在不同初始温度下进行升温氧化测试,确定各个硫化矿石样本的燃点温度;

根据各个硫化矿石样本的燃点温度,确定第一自燃预测模型;

根据由初始温度升温到燃点温度过程中各个硫化矿石样本的吸氧量,确定第二自燃预测模型;

根据各个硫化矿石样本的孔体积和燃点温度,确定第三自燃预测模型;

提取所述第一自燃预测模型、第二自燃预测模型和第三自燃预测模型的权重,将所述权重带入硫化矿石样本成分分析模型进行分析,得到成分不同的硫化矿石的自燃倾向性图谱。

3. 根据权利要求2所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,还包括对所述倾向性图谱进行验证,具体步骤如下:

步骤1:确定自燃倾向性图中硫化矿石在各时间下的自燃倾向性分布点坐标 $(t_i, y_j)$ ;并基于正态分布函数,采用下式计算自燃倾向性分布点的熵:

$$F(t_i, y_j) = \exp\left\{-\frac{(t_i - \delta t_0)^2}{2} \delta k\right\} (y_j - \delta y_0)$$

其中, $F(t_i, y_j)$ 表示自燃倾向性分布点 $(x_i, y_j)$ 的熵; $t_i$ 表示硫化矿石样本具有第*i*种成分下的反应时间; $t_0$ 表示平均反应时间; $i$ 表示硫化矿石样本中的成分编号,为由1开始顺序编号; $y_j$ 表示第*j*种初始温度下的倾向性结果; $y_0$ 表示最低初始温度下的倾向性结果; $j$ 表示硫化矿石样本中的初始温度编号,为由1开始顺序编号; $\delta$ 表示硫化矿石的活化能,所述*k*表示熵指标;

步骤2:对所述自燃倾向性图谱中的坐标进行归一化处理,构建矩阵的归一矩阵*H*:

$$H = \begin{Bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{ij} \\ y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{ij} \end{Bmatrix}$$

其中, $t_{ij}$ 表示具有第*i*种成分的硫化矿石样本第*j*种初始温度下的反应时间; $y_{ij}$ 表示具

有第*i*种成分的硫化矿石样本第*j*种初始温度下的倾向性结果；

步骤3:处理所述归一矩阵,对所述归一矩阵中的坐标,进行重复计算,获取熵权重:

$$G_{ij} = \sum_{1=j}^{1=i} \frac{t_{ij} y_{ij}}{T}$$

其中, $G_{ij}$ 表示熵权重; $T$ 表示初始温度;

步骤4:根据所述自燃倾向性分布点熵,将所述归一化矩阵进行熵权重转换得到熵权重模型:

$$H = \sum_{1=j}^{1=i} G_{ij} \left( \frac{t_{ij}}{y_{ij}} \right)^2$$

步骤5:通过所述自燃倾向性分布点熵权重模型对所述自燃倾向性分布点的熵进行验证:

$$\sum_{1=j}^{1=i} G_{ij} \left( \frac{t_{ij}}{y_{ij}} \right)^2 = \exp\left\{ \frac{(t_i - \delta t_0)^2}{(y_j - \delta y_0)^2} \delta k \right\}$$

即: $F(t_i, y_j) = H$ ;

其中,当 $F(t_i, y_j) = H$ ,所述自燃倾向性图谱准确;

当 $F(t_i, y_j) \neq H$ ,所述自燃倾向性图谱不准确。

4. 根据权利要求1所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,在S200步骤中,所述自燃预测模型包括以下自燃时间计算公式:

$$T_i = \frac{C_{\text{矿}} M_i (t_2 - t_1)}{w_i \varepsilon - C_{\text{气}} \rho_{\text{气}} V_i \left( \frac{t_1 + t_2}{2} - t_0 \right)}$$

上式中, $T_i$ 表示硫化矿石堆放第*i*点的自燃时间; $C_{\text{矿}}$ 表示硫化矿石的比热,预先测定; $M_i$ 表示第*i*点硫化矿石的质量; $t_2$ 表示硫化矿石的燃点温度; $t_1$ 表示硫化矿石的初始温度; $t_0$ 表示环境温度; $w_i$ 表示第*i*点硫化矿石单位时间内的氧化质量,预先测定; $\varepsilon$ 表示单位质量的硫化矿石氧化产生的热量,预先测定; $C_{\text{气}}$ 表示硫化矿石堆放处空气的比热; $\rho_{\text{气}}$ 表示空气的密度; $V_i$ 表示第*i*点的空气流动速度; $t$ 表示第*i*点硫化矿石的实时温度,实时温度由初始温度 $t_1$ 随着硫化矿石的氧化升温至燃点温度 $t_2$ 。

5. 根据权利要求4所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,在S300步骤中,建立硫化矿石堆放的有限元分析模型,采用自燃预测模型预测硫化矿石堆放的有限元单元的自燃时间,以每个有限元单元作为一个硫化矿石堆放测点,采用自燃时间计算公式计算各有限元单元测点的自燃时间,取各有限元单元测点的自燃时间最小值作为硫化矿石堆整体的自燃时间。

6. 根据权利要求1所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,所述自燃倾向性分析采用BP神经网络,所述BP神经网络包括输入层、隐含层和输出层,所述输入层采用硫化矿石的厚度、倾角、氧化增重量和燃点温度;所述输出层将硫化矿石的自燃

倾向性发生自燃的可能性由易至难分为三级;所述隐含层节点数不超过训练样本数。

7. 根据权利要求1所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,采用以下公式计算硫化矿石的最大堆放量:

$$M_{\max} = Q_{\text{均}} T_{\max}$$

其中, $M_{\max}$ 表示硫化矿石的最大堆放量; $Q_{\text{均}}$ 表示硫化矿石的平均转移速度; $T_{\max}$ 表示硫化矿石的最长堆放时间;

根据计算结果,控制开采过程中的硫化矿石堆放量不超过最大堆放量 $M_{\max}$ 。

8. 根据权利要求1所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,通过红外线热成像方式对矿场堆放的硫化矿石进行实时热成像温度场检测,构建硫化矿石的温度场模型,获取温度超过温度阈值的硫化矿石堆放点位置;

对温度超过温度阈值的硫化矿石堆放点采用强制散热设备进行降温处理,以阻止该堆放点的温度达到燃点温度。

9. 根据权利要求1所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,采用阻化剂对矿场堆放的硫化矿石进行抑制氧化处理,具体为配置阻化剂溶液,采用管道输送到硫化矿石的堆放处,并喷洒在硫化矿石的堆放表面,使阻化剂溶液通过流动渗透进入硫化矿石堆放内部。

10. 根据权利要求1所述的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,其特征在于,先对不同的阻化剂进行抑制氧化处理实验,采用以下公式计算阻化剂的阻化率:

$$p_k = \frac{M_1 - M_k}{M_1} \times 100\%$$

上式中, $p_k$ 表示第k种阻化剂的阻化率; $M_1$ 表示添加阻化剂前的氧化增重率; $M_k$ 表示添加第k种阻化剂后的氧化增重率;

然后选取阻化率 $p_k$ 最大的阻化剂用于硫化矿石的抑制氧化处理。

## 硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及采矿安全与预防技术领域,特别涉及一种硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法。

### 背景技术

[0002] 对于硫化矿石的开采,硫化矿石自燃引发火灾是其主要灾害之一,因此,防止硫化矿石自燃是新建矿山安全生产的主要问题,硫化矿石发生自燃必须具备三个要素:具有氧化性的矿石、持续供氧条件和良好的聚热环境,三者缺一不可,安全预防管控一般是围绕这三个方面来实施针对性措施。目前,主要的防火、灭火技术措施和方法包括:洒水、黄泥灌浆、喷洒阻化剂、注凝胶等。

[0003] 对于硫化矿石的自燃风险,重点在于预防,但至今没有高效便捷的预防硫化矿石自燃的安全管控解决方案。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,包括以下步骤:

[0005] S100开采前,对硫化矿石样品进行自燃倾向性分析,并确定硫化矿石对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系;

[0006] S200根据氧化速度、燃点温度以及两者关系,构建自燃预测模型;

[0007] S300控制开采过程中的硫化矿石堆放量,监测堆放环境数据和堆放硫化矿石的温度,将堆放量、环境数据和温度输入自燃预测模型预测堆放硫化矿石的自燃时间;

[0008] S400若自燃时间达到预设的安全时间,立即发出警告,启动应急预案防止发生自燃。

[0009] 可选的,在S100步骤中,对硫化矿石样品进行自燃倾向性分析的方法如下:

[0010] 获取硫化矿石的自燃倾向性图谱,采用成分分析模型对硫化矿石样本进行成分分析,根据分析得到的硫化矿石样本成分,结合自燃倾向性图谱确定硫化矿石样本对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系;

[0011] 所述自燃倾向性图谱通过以下方式得到:

[0012] 采用多种成分不同的硫化矿石样本在不同初始温度下进行升温氧化测试,确定各个硫化矿石样本的燃点温度;

[0013] 根据各个硫化矿石样本的燃点温度,确定第一自燃预测模型;

[0014] 根据由初始温度升温到燃点温度过程中各个硫化矿石样本的吸氧量,确定第二自燃预测模型;

[0015] 根据各个硫化矿石样本的孔体积和燃点温度,确定第三自燃预测模型;

[0016] 提取所述第一自燃预测模型、第二自燃预测模型和第三自燃预测模型的权重,将所述权重带入硫化矿石样本成分分析模型进行分析,得到成分不同的硫化矿石的自燃倾向

性图谱。

[0017] 可选的,还包括对所述倾向性图谱进行验证,具体步骤如下:

[0018] 步骤1:确定自燃倾向性图中硫化矿石在各时间下的自燃倾向性分布点坐标  $(t_i, y_j)$ ;并基于正态分布函数,采用下式计算自燃倾向性分布点的熵:

$$[0019] \quad F(t_i, y_j) = \exp\left\{-\frac{(t_i - \delta t_0)^2}{(y_j - \delta y_0)^2} \delta k\right\}$$

[0020] 其中,  $F(t_i, y_j)$  表示自燃倾向性分布点  $(x_i, y_j)$  的熵;  $t_i$  表示硫化矿石样本具有第  $i$  种成分下的反应时间;  $t_0$  表示平均反应时间;  $i$  表示硫化矿石样本中的成分编号,为由1开始顺序编号;  $y_j$  表示第  $j$  种初始温度下的倾向性结果;  $y_0$  表示最低初始温度下的倾向性结果;  $j$  表示硫化矿石样本中的初始温度编号,为由1开始顺序编号;  $\delta$  表示硫化矿石的活化能,所述  $k$  表示熵指标;

[0021] 步骤2:对所述自燃倾向性图谱中的坐标进行归一化处理,构建矩阵的归一矩阵  $H$ :

$$[0022] \quad H = \begin{Bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{ij} \\ y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{ij} \end{Bmatrix}$$

[0023] 其中,  $t_{ij}$  表示具有第  $i$  种成分的硫化矿石样本第  $j$  种初始温度下的反应时间;  $y_{ij}$  表示具有第  $i$  种成分的硫化矿石样本第  $j$  种初始温度下的倾向性结果;

[0024] 步骤3:处理所述归一矩阵,对所述归一矩阵中的坐标,进行重复计算,获取熵权重:

$$[0025] \quad G_{ij} = \sum_{1=j}^{1=i} \frac{t_{ij} y_{ij}}{T}$$

[0026] 其中,  $G_{ij}$  表示熵权重;  $T$  表示初始温度;

[0027] 步骤4:根据所述自燃倾向性分布点熵,将所述归一化矩阵进行熵权重转换得到熵权重模型:

$$[0028] \quad H = \sum_{1=j}^{1=i} G_{ij} \left( \frac{t_{ij}}{y_{ij}} \right)^2$$

[0029] 步骤5:通过所述自燃倾向性分布点熵权重模型对所述自燃倾向性分布点的熵进行验证:

$$[0030] \quad \sum_{1=j}^{1=i} G_{ij} \left( \frac{t_{ij}}{y_{ij}} \right)^2 = \exp\left\{-\frac{(t_i - \delta t_0)^2}{(y_j - \delta y_0)^2} \delta k\right\}$$

[0031] 即:  $F(t_i, y_j) = H$ ;

[0032] 其中,当  $F(t_i, y_j) = H$ ,所述自燃倾向性图谱准确;

[0033] 当  $F(t_i, y_j) \neq H$ ,所述自燃倾向性图谱不准确。

[0034] 可选的,在S200步骤中,所述自燃预测模型包括以下自燃时间计算公式:

$$[0035] \quad T_i = \frac{C_{\text{矿}} M_i (t_2 - t_1)}{w_i \varepsilon - C_{\text{气}} \rho_{\text{气}} V_i \left( \frac{t_1 + t_2}{2} - t_0 \right)}$$

[0036] 上式中,  $T_i$  表示硫化矿石堆放第  $i$  点的自燃时间;  $C_{\text{矿}}$  表示硫化矿石的比热, 预先测定;  $M_i$  表示第  $i$  点硫化矿石的质量;  $t_2$  表示硫化矿石的燃点温度;  $t_1$  表示硫化矿石的初始温度;  $t_0$  表示环境温度;  $w_i$  表示第  $i$  点硫化矿石单位时间内的氧化质量, 预先测定;  $\varepsilon$  表示单位质量的硫化矿石氧化产生的热量, 预先测定;  $C_{\text{气}}$  表示硫化矿石堆放处空气的比热;  $\rho_{\text{气}}$  表示空气的密度;  $V_i$  表示第  $i$  点的空气流动速度;  $t$  表示第  $i$  点硫化矿石的实时温度, 实时温度由初始温度  $t_1$  随着硫化矿石的氧化升温至燃点温度  $t_2$ 。

[0037] 可选的, 在 S300 步骤中, 建立硫化矿石堆放的有限元分析模型, 采用自燃预测模型预测硫化矿石堆放的有限元单元的自燃时间, 以每个有限元单元作为一个硫化矿石堆放测点, 采用自燃时间计算公式计算各有限元单元测点的自燃时间, 取各有限元单元测点的自燃时间最小值作为硫化矿石堆整体的自燃时间。

[0038] 可选的, 所述自燃倾向性分析采用 BP 神经网络, 所述 BP 神经网络包括输入层、隐含层和输出层, 所述输入层采用硫化矿石的厚度、倾角、氧化增重量和燃点温度; 所述输出层将硫化矿石的自燃倾向性发生自燃的可能性由易至难分为三级; 所述隐含层节点数不超过训练样本数。

[0039] 可选的, 采用以下公式计算硫化矿石的最大堆放量:

$$[0040] \quad M_{\text{max}} = Q_{\text{均}} T_{\text{max}}$$

[0041] 其中,  $M_{\text{max}}$  表示硫化矿石的最大堆放量;  $Q_{\text{均}}$  表示硫化矿石的平均转移速度;  $T_{\text{max}}$  表示硫化矿石的最长堆放时间;

[0042] 根据计算结果, 控制开采过程中的硫化矿石堆放量不超过最大堆放量  $M_{\text{max}}$ 。

[0043] 可选的, 通过红外线热成像方式对矿场堆放的硫化矿石进行实时热成像温度场检测, 构建硫化矿石的温度场模型, 获取温度超过温度阈值的硫化矿石堆放点位置;

[0044] 对温度超过温度阈值的硫化矿石堆放点采用强制散热设备进行降温处理, 以阻止该堆放点的温度达到燃点温度。

[0045] 可选的, 采用阻化剂对矿场堆放的硫化矿石进行抑制氧化处理, 具体为配置阻化剂溶液, 采用管道输送到硫化矿石的堆放处, 并喷洒在硫化矿石的堆放表面, 使阻化剂溶液通过流动渗透进入硫化矿石堆放内部。

[0046] 可选的, 先对不同的阻化剂进行抑制氧化处理实验, 采用以下公式计算阻化剂的阻化率:

$$[0047] \quad p_k = \frac{M_1 - M_k}{M_1} \times 100\%$$

[0048] 上式中,  $p_k$  表示第  $k$  种阻化剂的阻化率;  $M_1$  表示添加阻化剂前的氧化增重率;  $M_k$  表示添加第  $k$  种阻化剂后的氧化增重率;

[0049] 然后选取阻化率  $p_k$  最大的阻化剂用于硫化矿石的抑制氧化处理。

[0050] 本发明的硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法, 在开采前, 先对硫化矿石进行取样, 对样品进行自燃倾向性分析, 确定硫化矿石对应的氧化速度、燃点温度以及两

者关系,结合对当前项目硫化矿石的分析结果,构建与即将开采的硫化矿石项目具有高度切合的自燃预测模型,可以提高并保证自燃预测模型的预测精度;通过控制开采过程中的硫化矿石堆放量,降低硫化矿石的自燃风险;通过实时监测并将监测数据输入自燃预测模型,精确预测硫化矿石的自燃时间,将自燃时间与预先设定的安全时间进行对比,若自燃时间达到预设的安全时间,说明当前处于较高的自燃风险状态,此时立即发出警告,启动应急预案,对硫化矿石进行干预,包括移除或者降温等,防止发生自燃。

[0051] 本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

[0052] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

### 附图说明

[0053] 附图用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本发明的实施例一起用于解释本发明,并不构成对本发明的限制。在附图中:

[0054] 图1为本发明实施例中一种硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法的流程图。

### 具体实施方式

[0055] 以下结合附图对本发明的优选实施例进行说明,应当理解,此处所描述的优选实施例仅用于说明和解释本发明,并不用于限定本发明。

[0056] 如图1所示,本发明实施例提供了一种硫化矿石新建矿床开采过程安全预防管控方法,包括以下步骤:

[0057] S100开采前,对硫化矿石样品进行自燃倾向性分析,并确定硫化矿石对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系;

[0058] S200根据氧化速度、燃点温度以及两者关系,构建自燃预测模型;

[0059] S300控制开采过程中的硫化矿石堆放量,监测堆放环境数据和堆放硫化矿石的温度,将堆放量、环境数据和温度输入自燃预测模型预测堆放硫化矿石的自燃时间;

[0060] S400若自燃时间达到预设的安全时间,立即发出警告,启动应急预案防止发生自燃。

[0061] 上述技术方案的工作原理和有益效果为:本发明在硫化矿石开采前,先对硫化矿石进行取样,对样品进行自燃倾向性分析,确定硫化矿石对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系,结合对当前项目硫化矿石的分析结果,构建与即将开采的硫化矿石项目具有高度切合的自燃预测模型,可以提高并保证自燃预测模型的预测精度;通过控制开采过程中的硫化矿石堆放量,降低硫化矿石的自燃风险;通过实时监测并将监测数据输入自燃预测模型,精确预测硫化矿石的自燃时间,将自燃时间与预先设定的安全时间进行对比,若自燃时间达到预设的安全时间,说明当前处于较高的自燃风险状态,此时立即发出警告,启动应急预案,对硫化矿石进行干预,包括移除或者降温等,防止发生自燃。

[0062] 在一个实施例中,在S100步骤中,对硫化矿石样品进行自燃倾向性分析的方法如下:



[0063] 获取硫化矿石的自燃倾向性图谱,采用成分分析模型对硫化矿石样本进行成分分析,根据分析得到的硫化矿石样本成分,结合自燃倾向性图谱确定硫化矿石样本对应的氧化速度、燃点温度以及两者关系;

[0064] 所述自燃倾向性图谱通过以下方式得到:

[0065] 采用多种成分不同的硫化矿石样本在不同初始温度下进行升温氧化测试,确定各个硫化矿石样本的燃点温度;

[0066] 根据各个硫化矿石样本的燃点温度,确定第一自燃预测模型;

[0067] 根据由初始温度升温到燃点温度过程中各个硫化矿石样本的吸氧量,确定第二自燃预测模型;

[0068] 根据各个硫化矿石样本的孔体积和燃点温度,确定第三自燃预测模型;

[0069] 提取所述第一自燃预测模型、第二自燃预测模型和第三自燃预测模型的权重,将所述权重带入硫化矿石样本成分分析模型进行分析,得到成分不同的硫化矿石的自燃倾向性图谱。

[0070] 上述技术方案的工作原理和有益效果为:本方案通过模拟氧化氧化升温过程,建立自燃倾向性图谱,揭示硫化矿石的成分与氧化的关系;再根据对应项目中的硫化矿石的成分,与自燃倾向性图谱进行对照,从中得到硫化矿石的氧化速度、燃点温度以及两者关系,以便构建与项目具有高度切合的自燃预测模型,提高自燃预测精度。

[0071] 在一个实施例中,还包括对所述倾向性图谱进行验证,具体步骤如下:

[0072] 步骤1:确定自燃倾向性图中硫化矿石在各时间下的自燃倾向性分布点坐标  $(t_i, y_j)$ ;并基于正态分布函数,采用下式计算自燃倾向性分布点的熵:

$$[0073] \quad F(t_i, y_j) = \exp\left\{-\frac{(t_i - \delta t_0)^2}{(y_j - \delta y_0)^2} \delta k\right\}$$

[0074] 其中,  $F(t_i, y_j)$  表示自燃倾向性分布点  $(x_i, y_j)$  的熵;  $t_i$  表示硫化矿石样本具有第  $i$  种成分下的反应时间;  $t_0$  表示平均反应时间;  $i$  表示硫化矿石样本中的成分编号,为由1开始顺序编号;  $y_j$  表示第  $j$  种初始温度下的倾向性结果;  $y_0$  表示最低初始温度下的倾向性结果;  $j$  表示硫化矿石样本中的初始温度编号,为由1开始顺序编号;  $\delta$  表示硫化矿石的活化能,所述  $k$  表示熵指标;

[0075] 步骤2:对所述自燃倾向性图谱中的坐标进行归一化处理,构建矩阵的归一矩阵  $H$ :

$$[0076] \quad H = \begin{Bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{ij} \\ y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{ij} \end{Bmatrix}$$

[0077] 其中,  $t_{ij}$  表示具有第  $i$  种成分的硫化矿石样本第  $j$  种初始温度下的反应时间;  $y_{ij}$  表示具有第  $i$  种成分的硫化矿石样本第  $j$  种初始温度下的倾向性结果;

[0078] 步骤3:处理所述归一矩阵,对所述归一矩阵中的坐标,进行重复计算,获取熵权重:

$$[0079] \quad G_{ij} = \sum_{1=j}^{1=i} \frac{t_{ij} y_{ij}}{T}$$

[0080] 其中,  $G_{ij}$  表示熵权重;  $T$  表示初始温度;

[0081] 步骤4: 根据所述自燃倾向性分布点熵, 将所述归一化矩阵进行熵权重转换得到熵权重模型:

$$[0082] \quad H = \sum_{j=1}^{1=i} G_{ij} \left( \frac{t_{ij}}{y_{ij}} \right)^2$$

[0083] 步骤5: 通过所述自燃倾向性分布点熵权重模型对所述自燃倾向性分布点的熵进行验证:

$$[0084] \quad \sum_{j=1}^{1=i} G_{ij} \left( \frac{t_{ij}}{y_{ij}} \right)^2 = \exp\left\{ \frac{(t_i - \delta t_0)^2}{(y_j - \delta y_0)^2} \delta k \right\}$$

[0085] 即:  $F(t_i, y_j) = H$ ;

[0086] 其中, 当  $F(t_i, y_j) = H$ , 所述自燃倾向性图谱准确;

[0087] 当  $F(t_i, y_j) \neq H$ , 所述自燃倾向性图谱不准确。

[0088] 上述技术方案的工作原理和有益效果为: 本方案根据正态分布, 计算硫化矿石堆各分布点的熵, 通过归一化处理, 得到熵权重模型, 对照分布点的熵与熵权重模型, 对自燃倾向性图谱的准确性进行验证, 以提高所采用的自燃倾向性图谱的准确度和可靠性, 避免由于自燃倾向性图谱的误差影响后续构建出的自燃预测模型的预测精度, 减少预测偏差。

[0089] 在一个实施例中, 在S200步骤中, 所述自燃预测模型包括以下自燃时间计算公式:

$$[0090] \quad T_i = \frac{C_{\text{矿}} M_i (t_2 - t_1)}{w_i \varepsilon - C_{\text{气}} \rho_{\text{气}} V_i \left( \frac{t_1 + t_2}{2} - t_0 \right)}$$

[0091] 上式中,  $T_i$  表示硫化矿石堆放第  $i$  点的自燃时间;  $C_{\text{矿}}$  表示硫化矿石的比热, 预先测定;  $M_i$  表示第  $i$  点硫化矿石的质量;  $t_2$  表示硫化矿石的燃点温度;  $t_1$  表示硫化矿石的初始温度;  $t_0$  表示环境温度;  $w_i$  表示第  $i$  点硫化矿石单位时间内的氧化质量, 预先测定;  $\varepsilon$  表示单位质量的硫化矿石氧化产生的热量, 预先测定;  $C_{\text{气}}$  表示硫化矿石堆放处空气的比热;  $\rho_{\text{气}}$  表示空气的密度;  $V_i$  表示第  $i$  点的空气流动速度;  $t$  表示第  $i$  点硫化矿石的实时温度, 实时温度由初始温度  $t_1$  随着硫化矿石的氧化升温至燃点温度  $t_2$ 。

[0092] 上述技术方案的工作原理和有益效果为: 本方案提供了自燃预测模型中设置的一种可用自燃时间计算公式, 采用该公式可以量化计算出硫化矿石达到燃点温度发生自燃所需要的自燃时间, 从而可以在采矿中根据自燃时间对硫化矿石进行避免自燃的防控, 促进采矿安全, 确保采矿生产的顺利, 防止由于自燃事故产生的损失。

[0093] 在一个实施例中, 在S300步骤中, 建立硫化矿石堆放的有限元分析模型, 采用自燃预测模型预测硫化矿石堆放的有限元单元的自燃时间, 以每个有限元单元作为一个硫化矿石堆放测点, 采用自燃时间计算公式计算各有限元单元测点的自燃时间, 取各有限元单元测点的自燃时间最小值作为硫化矿石堆整体的自燃时间。

[0094] 上述技术方案的工作原理和有益效果为: 本方案通过将硫化矿石堆放建立有限元分析模型, 以有限元单元为基础对硫化矿石堆模型单元进行升温分析, 从而实现多点检测,

避免硫化矿石堆出现单点高温而引发自燃,进一步加强自燃风险控制,降低自燃风险。

[0095] 在一个实施例中,所述自燃倾向性分析采用BP神经网络,所述BP神经网络包括输入层、隐含层和输出层,所述输入层采用硫化矿石的厚度、倾角、氧化增重量和燃点温度;所述输出层将硫化矿石的自燃倾向性发生自燃的可能性由易至难分为三级;所述隐含层节点数不超过训练样本数。

[0096] 上述技术方案的工作原理和有益效果为:本方案中的隐含层还可采用金字塔法则,即一个单隐含层网络,输入、输出层节点数分别为n和m,则隐含层节点数可取 $\sqrt{nm}$ ;为了控制训练效果和效率,训练样本数可以选择15-30个;本方案在自燃倾向性分析采用BP神经网络,并对BP神经网络的输入层、隐含层和输出层进行限定,以保证分析效果的前提下,减少训练工作量和时间,提高分析效率。

[0097] 在一个实施例中,采用以下公式计算硫化矿石的最大堆放量:

$$M_{\max} = Q_{\text{均}} T_{\max}$$

[0099] 其中, $M_{\max}$ 表示硫化矿石的最大堆放量; $Q_{\text{均}}$ 表示硫化矿石的平均转移速度; $T_{\max}$ 表示硫化矿石的最长堆放时间;

[0100] 根据计算结果,控制开采过程中的硫化矿石堆放量不超过最大堆放量 $M_{\max}$ 。

[0101] 上述技术方案的工作原理和有益效果为:本方案通过上述公式计算得到的最大堆放量,控制开采过程中的硫化矿石堆放量不超过最大堆放量,避免堆放量过大降低散热,避免升温过程加速,防止达到燃点温度发生自燃,提高了硫化矿石采矿的安全性。

[0102] 在一个实施例中,通过红外线热成像方式对矿场堆放的硫化矿石进行实时热成像温度场检测,构建硫化矿石的温度场模型,获取温度超过温度阈值的硫化矿石堆放点位置;

[0103] 对温度超过温度阈值的硫化矿石堆放点采用强制散热设备进行降温处理,以阻止该堆放点的温度达到燃点温度。

[0104] 上述技术方案的工作原理和有益效果为:本方案通过对矿场堆放的硫化矿石进行实时热成像温度场检测,构建硫化矿石的温度场模型,确定温度超高的硫化矿石堆放点位置,有针对有重点地进行降温处理,一方面可以有效防止自燃发生,另一方面可以控制降温能耗和成本。

[0105] 在一个实施例中,采用阻化剂对矿场堆放的硫化矿石进行抑制氧化处理,具体为配置阻化剂溶液,采用管道输送到硫化矿石的堆放处,并喷洒在硫化矿石的堆放表面,使阻化剂溶液通过流动渗透进入硫化矿石堆放内部;所述阻化剂可以采用凝胶泡沫阻化剂,所述凝胶泡沫阻化剂由发泡剂、稳泡剂、胶凝剂和交联剂组成,所述发泡剂的质量浓度为0.3~0.4%、稳泡剂的质量浓度为0.4~0.55%、胶凝剂的质量浓度为11~12.3%、交联剂的质量浓度为7.5~8.5%。

[0106] 上述技术方案的工作原理和有益效果为:本方案中采用的阻化剂抑制含硫矿石氧化自燃的机理,主要有隔氧降温机理、副催化机理等。隔氧降温机理认为,阻化剂的阻化作用是水的防火性能的延伸和扩展。其作用是保持矿石的外在水分或一定湿度,将矿石的温度控制在较低状态,从而抑制矿石的氧化自燃;另在矿石表面造成液膜,从而使矿石与空气隔绝,阻止空气中的氧气与矿石的接触氧化。副催化机理认为,由于阻化剂分子与矿石表面活性中心的相互吸引,破坏了矿石表面自由力场,促使氧原子恢复到分子状态,提高了氧的活化能,减少了反应物分子间的有效碰撞机会,从而降低了矿石表面的氧化速度;通过阻化

剂防止自燃发生,降低风险。

[0107] 在一个实施例中,先对不同的阻化剂进行抑制氧化处理实验,采用以下公式计算阻化剂的阻化率:

$$[0108] \quad p_k = \frac{M_1 - M_k}{M_1} \times 100\%$$

[0109] 上式中, $p_k$ 表示第k种阻化剂的阻化率; $M_1$ 表示添加阻化剂前的氧化增重率; $M_k$ 表示添加第k种阻化剂后的氧化增重率;

[0110] 然后选取阻化率 $p_k$ 最大的阻化剂用于硫化矿石的抑制氧化处理。

[0111] 上述技术方案的工作原理和有益效果为:本方案中的氧化增重率也可叫氧化增重速度,是单位时间内硫化矿石因氧化所产生的质量增加量;本方案通过实验对不同阻化剂的阻化率进行评估,以选择效果最佳的阻化剂使用,进一步增强阻化剂防止自燃发生和降低风险的效果;且采用的实验简单易行,便于操作,实验成本低。

[0112] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

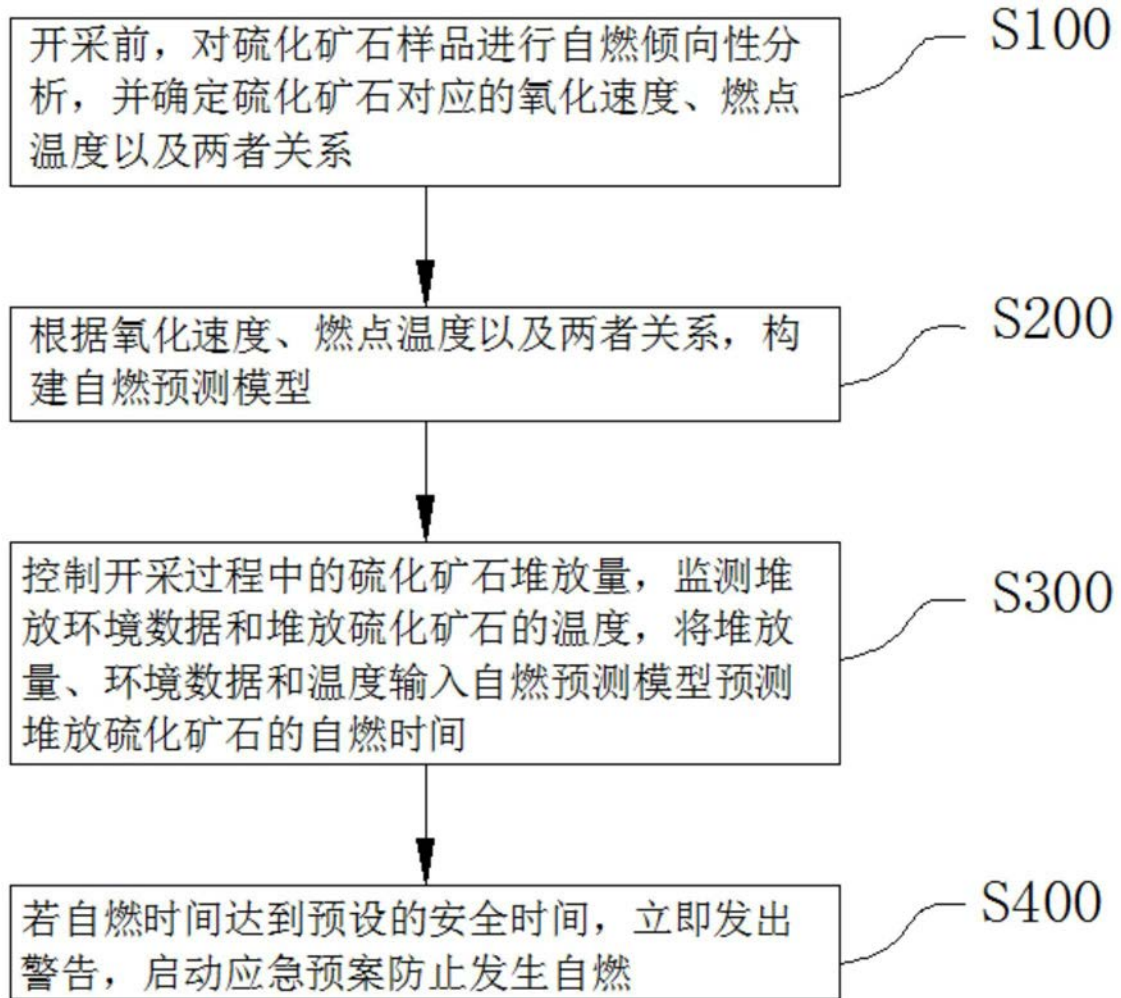


图1