

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 29/34 (2006.01)

G01H 17/00 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810064762.2

[43] 公开日 2008年11月5日

[11] 公开号 CN 101299034A

[22] 申请日 2008.6.18

[21] 申请号 200810064762.2

[71] 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街92号

[72] 发明人 董毓利 朱崇绩 房圆圆

[74] 专利代理机构 哈尔滨市哈科专利事务所有限公司

代理人 刘 娅

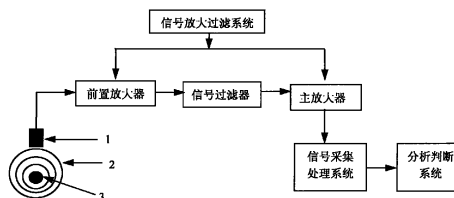
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 4 页

## [54] 发明名称

火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统及其监测方法

## [57] 摘要

本发明提供了一种火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统及其监测方法，监控系统主要由传感系统、信号放大过滤系统、信号采集系统及信号分析判断系统依次电信号连接组成，信号放大过滤系统由前置放大器、信号过滤器和主放大器组成；分析判断系统主要由监控软件及显示设备组成。本发明通过分析建筑结构火灾时的声发射参数与建筑结构构件断裂及稳定性等的关系，判断结构是否处于安全状态，即时为消防人员提供有用信息。



- 1、一种火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统，其特征在于它主要由传感系统、信号放大过滤系统、信号采集系统及信号分析判断系统依次电信号连接组成，信号放大过滤系统由前置放大器、信号过滤器和主放大器组成；分析判断系统主要由监控软件及显示设备组成。
- 2、根据权利要求1所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统，其特征在于所述的传感系统由波导杆和传感器组成。
- 3、一种根据权利要求1所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监测方法，其特征在于：
  - (1) 设置监测点的位置，在结构易出现裂缝的位置，包括弯矩较大点、应力集中点，通过对尽量少的特征点的监测达到对结构整体监测的目的；
  - (2) 采集火灾时的声发射信号，并对声发射信号进行去噪音及过滤处理；对门槛、增益、板卡参数进行设置，以便搜集到积极有效的参数包括事件计数、幅度、能量计数；
  - (3) 利用火灾时建筑结构倒塌声发射监测软件对采集到的声发射参数进行分析，作出相应判断，能够了解建筑结构的工作状态是否安全，即时为消防人员提供有用信息。
- 4、根据权利要求3所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监测方法，其特征在于：
  - (1) 在建筑物梁、板、柱的最大弯矩处以及应力集中处，即固支端、钢结构连接部分，布置声发射传感器；依据波的传播衰减确定传感器间距，依据所选传感器间距和构件大小确定结构构件测点数量；在时差定位中，最大传感器间距所对应的传播衰减，不宜大于预定最小检测信号幅度与检测门槛值之差，在区域定位中，传感器阵列采用三角平面；
  - (2) 波导杆与探头的连接，选取合适的钢螺杆，将钢螺杆预埋在测点位置，螺冒顶部要用砂纸打磨干净平整，与探头紧密的接触在一起，采用真空硅脂作为耦合剂；
  - (3) 声发射检测系统的灵敏度决定于传感器的灵敏度、传感器间距和检测门槛设置，检测门槛为35~55dB的中灵敏度下进行，声发射检测系统设置增益和板卡参数，板卡参数包括采样频率、采样长度、参数间隔和锁闭时间，采样频率采用中心频率即既大于10倍而又要小于30倍的采样频率；
  - (4) 本发明的建筑结构火灾时声发射监控软件中，设置有声发射源的定位模块，通过时差定位法和区域定位法分析突发信号和连续信号确定声发射源的位置；设置了各种结构，包括混凝土结构、钢结构和砌体结构的火灾安全极限准则，当各种结构的构件在火灾下达到安全极限时会做出预警报告；设定了累积计数参数与结构内部累积变化所导致的结构外部变化的关系；设定了声发射变化率参数与结构裂缝发展速度的关系；设置了各种结构在倒塌时的声发射信号的特征及判据。

- 
- 5、根据权利要求 4 所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监测方法，其特征在于：检测阈值为 40dB。
  - 6、根据权利要求 5 所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监测方法，其特征在于：采样频率采用中心频率 20 倍。
  - 7、根据权利要求 6 所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监测方法，其特征在于：板卡参数的设置为采样频率 625KHZ，采样长度 2048（点数），参数间隔和锁闭时间均为 2000 $\mu$ s。
  - 8、根据权利要求 7 所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监测方法，其特征在于：时差定位法为经对各个声发射通道信号到达时间差、波速、探头间距等参数的测量及复杂的算法运算，确定波源的位置。
  - 9、根据权利要求 8 所述的火灾时建筑结构倒塌声发射监测方法，其特征在于：累积计数参数包括声发射事件总数、振铃总计数、总能量、幅度总计数，声发射变化率参数包括事件计数率、振铃计数率、能量释放率。

## 火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统及其监测方法

### （一）技术领域

本发明属于建筑物的防灾减灾技术领域，具体涉及火灾时建筑结构倒塌声发射监控技术。

### （二）背景技术

声发射技术在工程领域的研究始终是以应用为目的的，即借助声发射技术事先对工程材料整个破坏过程进行监测和评价，从而为工程领域提供一种有效和动态的监测方法。

过去和现在对声发射的研究主要集中在建筑工程中混凝土材料声发射的基本属性、混凝土中裂纹的产生和扩展规律、混凝土的失稳模式同声发射间的关系、裂纹缺陷的定位技术、凯塞效应机理及其在混凝土材料中的应用等方面。随着科技的发展，对混凝土声发射技术的研究也发展很快，主要表现在对混凝土声发射的研究内容方面日趋深入，从单轴状态到三轴状态，从单因素分析到多因素分析等。

但是目前关于高温下建筑结构声发射特性的研究还没有。

### （三）发明内容

本发明的目的在于提供一种火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统及其监测方法，它通过分析建筑结构火灾时的声发射参数与建筑结构构件断裂及稳定性等的关系，判断结构是否处于安全状态。

本发明的火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统是这样实现的：它主要由传感系统、信号放大过滤系统、信号采集系统及信号分析判断系统依次电信号连接组成，信号放大过滤系统由前置放大器、信号过滤器和主放大器组成；分析判断系统主要由监控软件及显示设备组成。

本发明的火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统还有这样一些技术特征：

1、所述的传感系统由波导杆和传感器组成。

建筑物在火灾时在高温作用下发出声发射信号，由传感系统对信号进行接收、传播，再由信号放大过滤系统对信号进行放大、过滤及二级放大，接着由信号采集处理系统对信号进行处理，最后由分析判断系统对信号进行分析并作出判断。其中，传感系统由波导杆和传感器组成，以解决高温下声发射信号的接收、传导问题；信号放大过滤系统由前置放大器、信号过滤器和主放大器组成；分析判断系统主要由监控软件及显示设备组成。

火灾时建筑结构在高温作用下会产生裂缝，导致构件出现破坏及出现结构失稳破坏等。通过建立声发射参数与结构状态之间的关系，利用声发射监测系统对建筑结构火灾时的状态进行监测，了解建筑结构的工作状态是否安全，即时为消防人员提供有用信息。

本发明通过波导杆的使用解决了火灾时声发射检测系统难以应用的难题。在大量实验的

基础上，通过计算模拟确定了突发信号及连续信号与声发射源位置的关系；确定了累积计数参数（声发射事件总数、振铃总计数、总能量、幅度总计数等）与结构内部累积变化所导致的结构外部变化的关系；确定了声发射变化率参数（事件计数率、振铃计数率、能量释放率等）与结构裂缝发展速度的关系；以及结构在接近倒塌时的参数特征及判据。

本发明的监测方法技术方案为：

(1) 在建筑物梁、板、柱的最大弯矩处以及应力集中处（固支端、钢结构连接部分等），布置声发射传感器。依据波的传播衰减确定传感器间距，依据所选传感器间距和构件大小确定结构构件测点数量。在时差定位中，最大传感器间距所对应的传播衰减，不宜大于预定最小检测信号幅度与检测阈值之差。在区域定位中，传感器阵列采用三角平面。

(2) 波导杆与探头的连接，选取合适的钢螺杆，将钢螺杆预埋在测点位置，螺帽顶部要用砂纸打磨干净平整，与探头紧密的接触在一起，采用真空硅脂作为耦合剂。由于探头本身带有很强的磁性，波导杆是铁的，正好可以很好地耦合在一起。

(3) 声发射检测系统的灵敏度决定于传感器的灵敏度、传感器间距和检测阈值设置。其中，阈值设置为其主要的可控制因素。检测阈值越低，测得信息越多，但易受噪声的干扰，因此，检测阈值在灵敏度和噪声干扰之间做了折衷选择。多数检测是在阈值为 35~55dB 的中灵敏度下进行，最为常用阈值为 40dB。声发射检测系统设置了合理的增益，增益是仪器主放大器对声发射波形信号放大倍数的设置，它直接影响能量的测量和声发射信号的能量计数，本发明系统采用增益为 40dB 前置放大器。另外对板卡参数也要进行合理设置，板卡参数包括采样频率、采样长度、参数间隔和锁闭时间等。采样频率的设置要根据检测对象的不同进行不同的设置，中心频率即既大于 10 倍而又要小于 30 倍的采样频率是我们最关心的频率段，根据经验 20 倍左右时效果最好。例如混凝土的声发射频域，本发明板卡参数的设置为采样频率 625KHZ，采样长度 2048（点数），参数间隔和锁闭时间均为 2000 $\mu$ s。

(4) 本发明的建筑结构火灾时声发射监控软件（监控系统的监控软件）中，设置了声发射源的定位模块，通过时差定位法（经对各个声发射通道信号到达时间差、波速、探头间距等参数的测量及复杂的算法运算，确定波源的位置）和区域定位法（处理速度快、简便而又粗略的定位方法）分析突发信号和连续信号确定声发射源的位置；设置了各种结构（混凝土结构、钢结构、砌体结构等）的火灾安全极限准则，当各种结构的构件在火灾下达到安全极限时会做出预警报告；设定了累积计数参数（声发射事件总数、振铃总计数、总能量、幅度总计数等）与结构内部累积变化所导致的结构外部变化的关系；设定了声发射变化率参数（事件计数率、振铃计数率、能量释放率等）与结构裂缝发展速度的关系；设置了各种结构在倒塌时的声发射信号的特征及判据。

本发明正是为解决高温下建筑结构声发射特性的检测问题，提供一种可用于实践的火灾时结构倒塌声发射监控系统。

(1) 设置监测点的位置，在结构易出现裂缝的位置（弯矩较大点、应力集中点等）。通过对尽量少的特征点的监测达到对结构整体监测的目的。

(2) 采集火灾时的声发射信号，并对声发射信号进行去噪音及过滤处理。对门槛、增益、板卡参数等进行设置，以便搜集到积极有效的参数如事件计数、幅度、能量计数等。

(3) 利用火灾时建筑结构倒塌声发射监测软件对采集到的声发射参数进行分析，作出相应判断，能够了解建筑结构的工作状态是否安全，即时为消防人员提供有用信息。

#### (四) 附图说明

图 1 为火灾时建筑结构倒塌声发射监控系统示意图；

图 2-3 为某楼板测点布置及采集系统测点编号图；

图 4 为波导杆与传感器连接图；

图 5-图 7 为 1 点、7 点、13 点的事件数示意图；

图 8 为监控软件的程序流程图。

#### (五) 具体实施方式

下面结合附图和实施例作进一步说明：

结合图 1，建筑结构火灾时声发射监测系统主要包括：传感系统 1、信号放大过滤系统、信号采集处理系统及分析判断系统依次电信号连接。其中，传感系统由波导杆和传感器组成，以解决高温下声发射信号的接收、传导问题；信号放大、过滤系统由前置放大器、信号过滤器和主放大器组成；分析判断系统主要由监控软件及显示设备组成。

(1) 如图 1 所示建筑结构火灾时声发射监测系统的主要步骤为：a. 波源 3 产生波的传播 2，传感器接收声发射信号；b. 前置放大器对信号进行放大；c. 滤波器过滤掉信号中的噪音及非重要参数；d. 主放大器对过滤后的信号进行二级放大；e. 监测软件对信号进行分析做出判断。

(2) 如图 2-图 3 所示选取特征节点，某楼板的简支板在中间位置设置测点，根据板的尺寸及波的传播衰减设置了 13 个测点。波导杆与传感器的连接如图 3 所示。

(3) 由于传感器输出信号的电压有时低至微伏数量级，这样微弱的信号，若经过长距离的传输，信噪比必然要降低。如图 1 所示，在建筑结构火灾时声发射监测系统中传感器之后设置信号放大过滤系统。首先由前置放大器对声发射信号进行放大；其次为减少环境噪音及电器设备的电磁干扰，在前置放大器之后设置滤波器，对声发射信号进行过滤；最后在滤波器之后设置主放大器对声发射信号进行二级主放大以提高系统的动态范围。

(4) 建筑结构火灾时声发射监测系统的分析判断系统对经主放大器放大后的声发射信号进行分析判断并显示, 如图 5-图 7 所示 1 点、7 点、13 点的事件数, 监测软件根据软件当中的混凝土结构板的事件数与板开裂及裂缝发展的关系以及软件当中板的破坏极限对事件数进行分析做出判断。监测软件的程序流程图如图 8 所示。其它参数如振铃数、能量计数、振幅等监测软件也同样依据相关参数判断准则及安全准则做出相应判断。

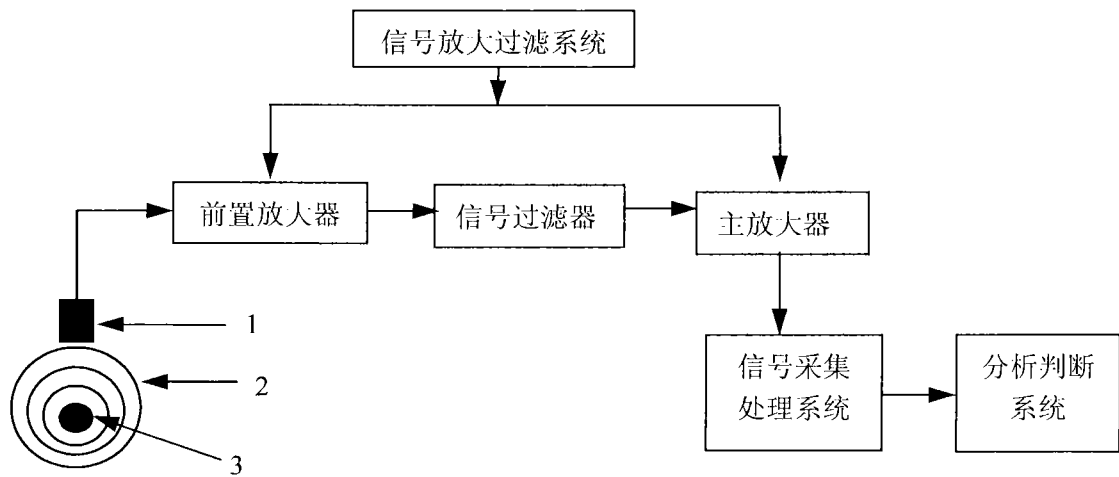


图 1

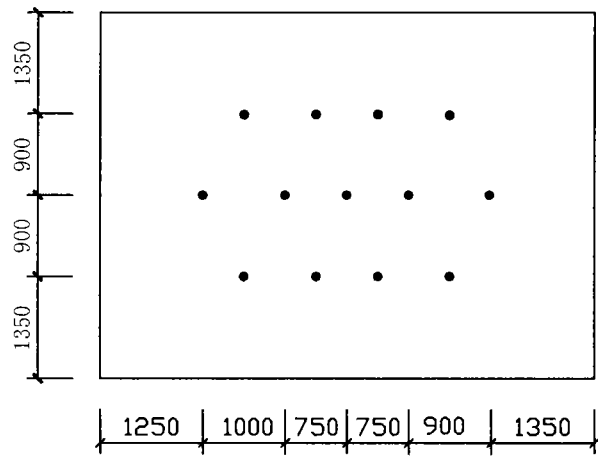


图 2

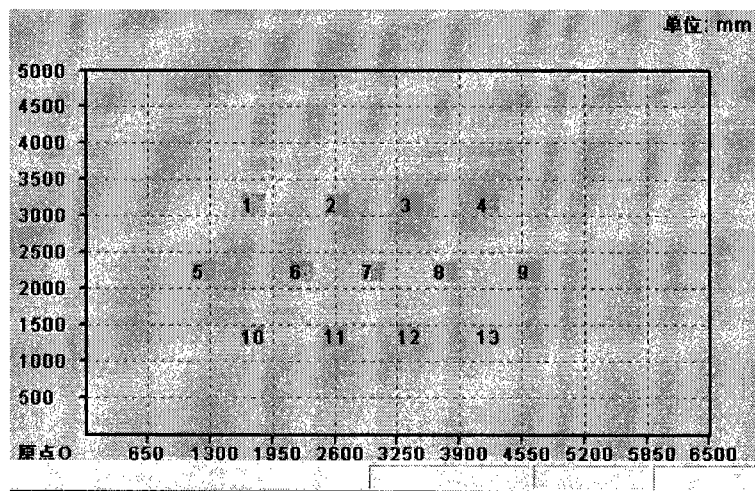


图 3



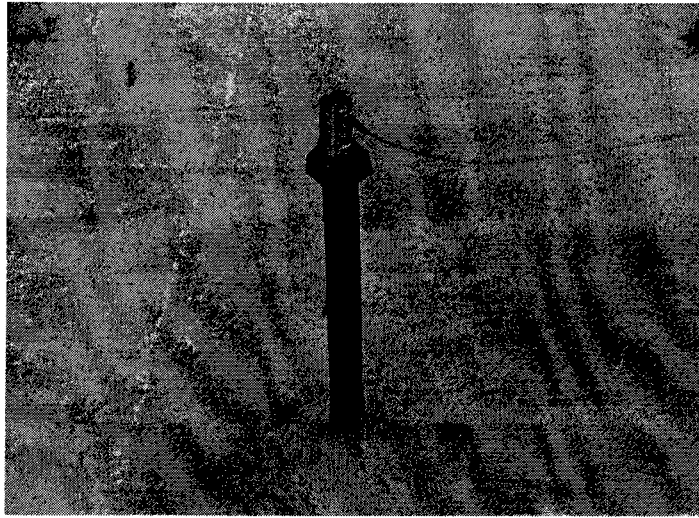


图 4

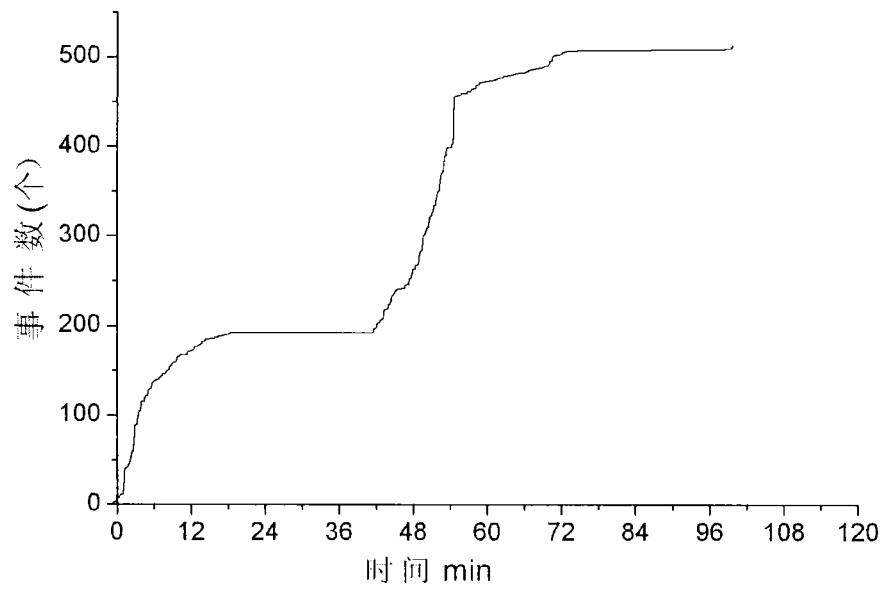


图 5

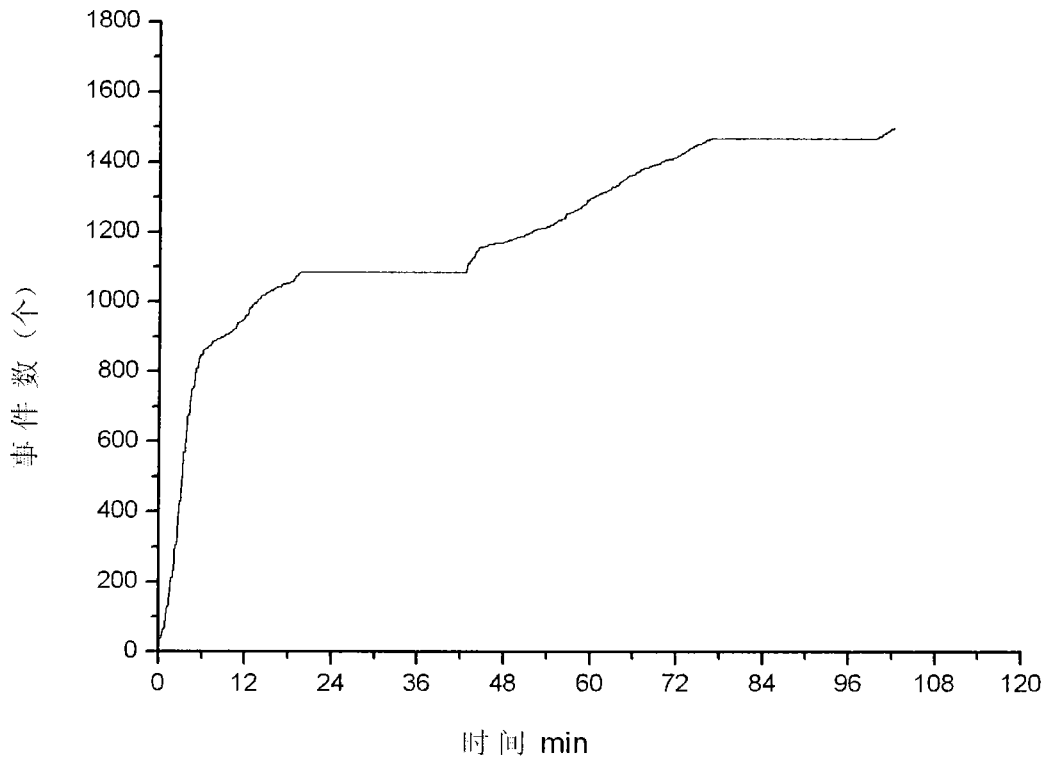


图 6

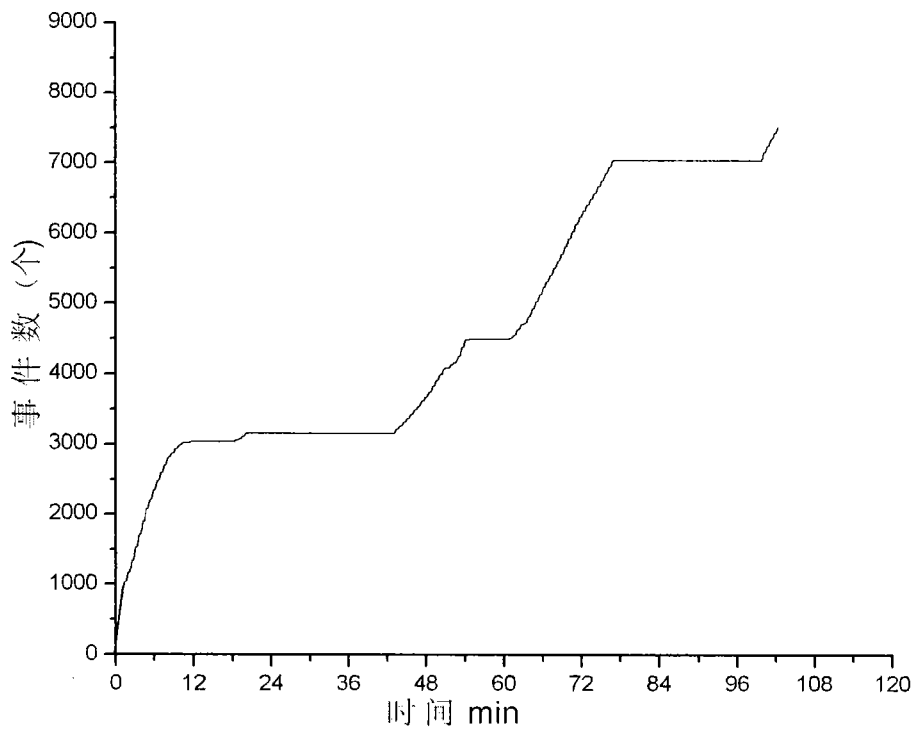


图 7

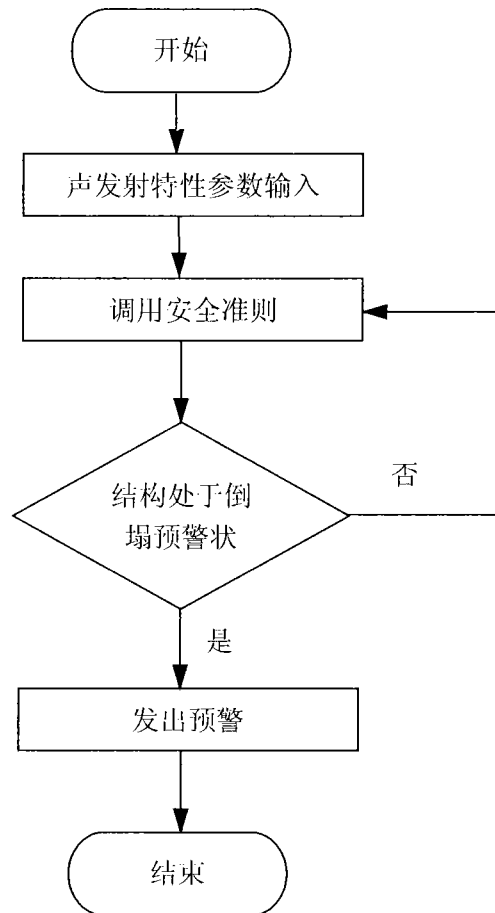


图 8