



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109469896 A

(43)申请公布日 2019.03.15

(21)申请号 201811625505.1

(22)申请日 2018.12.28

(71)申请人 佛山科学技术学院

地址 528000 广东省佛山市南海区狮山镇  
仙溪水库西路佛山科学技术学院

(72)发明人 张彩霞 王向东

(74)专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有  
限公司 44205

代理人 谢泳祥

(51) Int. Cl.

F22B 37/42(2006.01)

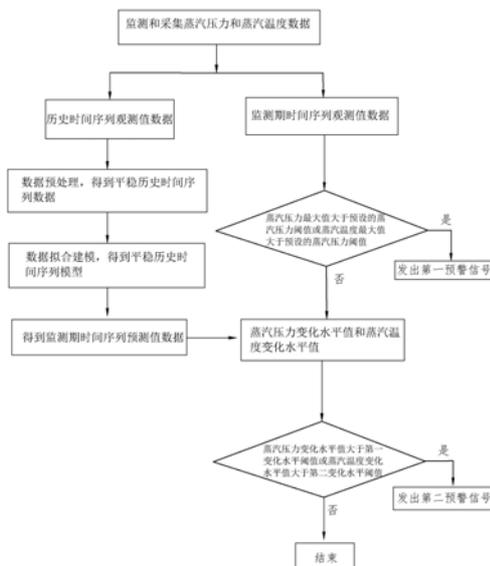
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法及系统,监测和采集蒸汽压力值和蒸汽温度值,作为时间序列观测值数据,分割出历史时间序列观测值数据和监测期时间序列观测值数据;对历史时间序列观测值数据进行数据预处理,数据拟合建模,得到平稳历史时间序列模型,将蒸汽压力最大值和蒸汽温度最大值与蒸汽压力阈值和蒸汽温度阈值进行比较,发出预警信号,计算出蒸汽压力变化水平值和蒸汽温度变化水平值,与第一变化水平阈值和第二水平阈值进行比较;本发明对工业锅炉蒸汽温度和蒸汽压力实时监测和及时预测诊断,并发出预警信号,有利于尽快对蒸汽温度和蒸汽压力进行调整,避免出现温度过高造成部分零件损坏和压力过大造成爆炸。



CN 109469896 A

1. 一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,其特征在于:包括:
  - 实时监测和采集工业锅炉的蒸汽压力值和蒸汽温度值,作为时间序列观测值数据;
  - 从时间序列观测值数据中分割出待监测期之前的时间序列观测值数据,得到历史时间序列观测值数据;
  - 从时间序列观测值数据中分割出待监测期区间的时间序列观测值数据,得到监测期时间序列观测值数据;
  - 对历史时间序列观测值数据进行数据预处理,得到平稳历史时间序列数据;
  - 对平稳历史时间序列数据进行数据拟合建模,得到平稳历史时间序列模型;
  - 通过平稳历史时间序列模型预测出监测期区间蒸汽温度和蒸汽压力的时间序列数据,即监测期时间序列预测值数据;
  - 将监测期时间序列观测值数据中的蒸汽压力最大值与预设的蒸汽压力阈值进行比较,将监测期时间序列观测值数据中的蒸汽温度最大值与预设的蒸汽温度阈值进行比较;
  - 当所述蒸汽压力最大值大于预设的蒸汽压力阈值或所述蒸汽温度最大值大于预设的蒸汽压力阈值时,发出第一预警信号;
  - 计算所述监测期时间序列观测值数据与监测期时间序列预测值数据之间的差值,得到蒸汽压力和蒸汽温度的预测误差数据,分别计算出蒸汽压力变化水平值和蒸汽温度变化水平值;
  - 当所述蒸汽压力变化水平值大于预设的第一变化水平阈值或所述蒸汽温度变化水平值大于预设的第二变化水平阈值时,发出第二预警信号。
2. 根据权利要求1所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,其特征在于:所述对历史时间序列观测值数据进行数据预处理为:
  - 对历史时间序列观测值数据进行数据清洗和数据滤波,从而得到滤波时序;
  - 采用单位根检验方法检验滤波时序的平稳性,对于不符合平稳性的滤波时序进行差分处理,得到平稳历史时间序列数据。
3. 根据权利要求2所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,其特征在于:所述单位根检验方法为ADF检验。
4. 根据权利要求1所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,其特征在于:所述平稳历史时间序列模型为ARMA模型。
5. 根据权利要求1所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,其特征在于:分别计算出蒸汽压力变化水平值和蒸汽温度变化水平值包括:
  - 所述蒸汽压力变化水平值为蒸汽压力的预测误差数据的众数,所述蒸汽温度变化水平值为蒸汽温度的预测误差数据的众数。
6. 一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统,其特征在于:包括权利要求1所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,所述诊断系统包括:
  - 压力采集模块:用于监测和采集工业锅炉蒸汽压力数据,并将采集所得数据发送到处理模块;
  - 温度采集模块:用于监测和采集工业锅炉蒸汽温度数据,并将采集所得数据发送到处理模块;
  - 处理模块:用于建立时间序列模型,计算出监测期时间序列预测值;

预警模块:发出第一预警信号和第二预警信号;

所述处理模块分别与压力采集模块、温度采集模块和预警模块相连接。

7.根据权利要求6所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统,其特征在于:所述压力采集模块为压力变送器。

8.根据权利要求6所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统,其特征在于:所述温度采集模块为热电阻温度变送器。

## 一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及工业生产锅炉监测领域,更具体地说涉及一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法及系统。

### 背景技术

[0002] 锅炉在生产和生活中都占有很重的地位;其应用范围广泛,在石油化学工业、能源工业、科研和军工等国民经济的各个部门都起着重要作用,但由于锅炉压力容器密封、承压及介质等原因,当锅炉蒸汽压力过大时,造成承压部件压力上升,造成部分部件变形或损坏,容易发生爆炸、燃烧起火而危及人员、设备和财产的安全及污染环境的安全事故。但是当蒸汽温度不变时,锅炉蒸汽压力降低,整个锅炉运行的经济性降低,存在管道阀门和锅筒等泄漏的可能。同时蒸汽温度过高的话还会加快金属材料的蠕变,严重的话还会使过热器、蒸汽管道、汽轮机高压等产生额外的热量,从而使蒸汽管道表面氧化严重,减少锅炉使用寿命。所以对锅炉蒸汽压力和蒸汽温度的监测非常重要。

### 发明内容

[0003] 针对现有技术中存在的问题,本发明提供一种实时监测锅炉蒸汽压力和蒸汽温度,通过时间序列的及时诊断,并发出预警信号的诊断及系统。

[0004] 本发明解决其技术问题的解决方案是:一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,包括:

[0005] 实时监测和采集工业锅炉的蒸汽压力值和蒸汽温度值,作为时间序列观测值数据;

[0006] 从时间序列观测值数据中分割出待监测期之前的时间序列观测值数据,得到历史时间序列观测值数据;

[0007] 从时间序列观测值数据中分割出待监测期区间的时间序列观测值数据,得到监测期时间序列观测值数据;

[0008] 对历史时间序列观测值数据进行数据预处理,得到平稳历史时间序列数据;

[0009] 对平稳历史时间序列数据进行数据拟合建模,得到平稳历史时间序列模型;

[0010] 通过平稳历史时间序列模型预测出监测期区间蒸汽温度和蒸汽压力的时间序列数据,即监测期时间序列预测值数据;

[0011] 将监测期时间序列观测值数据中的蒸汽压力最大值与预设的蒸汽压力阈值进行比较,将监测期时间序列观测值数据中的蒸汽温度最大值与预设的蒸汽温度阈值进行比较;

[0012] 当所述蒸汽压力最大值大于预设的蒸汽压力阈值或所述蒸汽温度最大值大于预设的蒸汽压力阈值时,发出第一预警信号;

[0013] 计算所述监测期时间序列观测值数据与监测期时间序列预测值数据之间的差值,得到蒸汽压力和蒸汽温度的预测误差数据,分别计算出蒸汽压力变化水平值和蒸汽温度变

化水平值；

[0014] 当所述蒸汽压力变化水平值大于预设的第一变化水平阈值或所述蒸汽温度变化水平值大于预设的第二变化水平阈值时，发出第二预警信号。

[0015] 作为上述技术方案的进一步改进，所述对历史时间序列观测值数据进行数据预处理为：

[0016] 对历史时间序列观测值数据进行数据清洗和数据滤波，从而得到滤波时序；

[0017] 采用单位根检验方法检验滤波时序的平稳性，对于不符合平稳性的滤波时序进行差分处理，得到平稳历史时间序列数据。

[0018] 作为上述技术方案的进一步改进，所述单位根检验方法为ADF检验。

[0019] 作为上述技术方案的进一步改进，所述平稳历史时间序列模型为ARMA模型。

[0020] 作为上述技术方案的进一步改进，分别计算出蒸汽压力变化水平值和蒸汽温度变化水平值包括：

[0021] 所述蒸汽压力变化水平值为蒸汽压力的预测误差数据的众数，所述蒸汽温度变化水平值为蒸汽温度的预测误差数据的众数。

[0022] 一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统，包括所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法，所述诊断系统包括：

[0023] 压力采集模块：用于监测和采集工业锅炉蒸汽压力数据，并将采集所得数据发送到处理模块；

[0024] 温度采集模块：用于监测和采集工业锅炉蒸汽温度数据，并将采集所得数据发送到处理模块；

[0025] 处理模块：用于建立时间序列模型，计算出监测期时间序列预测值；

[0026] 预警模块：发出第一预警信号和第二预警信号；

[0027] 所述处理模块分别与压力采集模块、温度采集模块和预警模块相连接。

[0028] 作为上述技术方案的进一步改进，所述压力采集模块为压力变送器。

[0029] 作为上述技术方案的进一步改进，所述温度采集模块为热电阻温度变送器。

[0030] 本发明的有益效果是：本发明通过对工业锅炉蒸汽温度和蒸汽压力进行实时监测，基于时间序列的分析方法及时预测诊断，并发出预警信号，有利于尽快对蒸汽温度和蒸汽压力进行调整，避免出现温度过高造成部分零件损坏和压力过大造成爆炸，同时有利于定位造成蒸汽压力和蒸汽温度变化的锅炉故障。

## 附图说明

[0031] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单说明。显然，所描述的附图只是本发明的一部分实施例，而不是全部实施例，本领域的技术人员在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他设计方案和附图。

[0032] 图1是本发明的流程图；

[0033] 图2是本发明数据预处理的流程图；

[0034] 图3是本发明的模块图。

## 具体实施方式

[0035] 以下将结合实施例和附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果进行清楚、完整的描述,以充分地理解本发明的目的、特征和效果。显然,所描述的实施例只是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例,基于本发明的实施例,本领域的技术人员在不付出创造性劳动的前提下所获得的其他实施例,均属于本发明保护的范围。另外,文中所提到的所有连接关系,并非单指构件直接相接,而是指可根据具体实施情况,通过添加或减少连接辅件,来组成更优的连接结构。本发明创造中的各个技术特征,在不互相矛盾冲突的前提下可以交互组合。

[0036] 实施例1,参照图1,一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,包括:

[0037] 实时监测和采集工业锅炉的蒸汽压力值和蒸汽温度值,作为时间序列观测值数据;

[0038] 从时间序列观测值数据中分割出待监测期之前的时间序列观测值数据,得到历史时间序列观测值数据;

[0039] 从时间序列观测值数据中分割出待监测期区间的时间序列观测值数据,得到监测期时间序列观测值数据;

[0040] 对历史时间序列观测值数据进行数据预处理,得到平稳历史时间序列数据;

[0041] 对平稳历史时间序列数据进行数据拟合建模,得到平稳历史时间序列模型;

[0042] 通过平稳历史时间序列模型预测出监测期区间蒸汽温度和蒸汽压力的时间序列数据,即监测期时间序列预测值数据,所述监测期时间序列预测值数据包括监测期间蒸汽温度预测值数据和蒸汽压力的预测值数据。

[0043] 将监测期时间序列观测值数据中的蒸汽压力最大值与预设的蒸汽压力阈值进行比较,将监测期时间序列观测值数据中的蒸汽温度最大值与预设的蒸汽温度阈值进行比较;

[0044] 当所述蒸汽压力最大值大于预设的蒸汽压力阈值或所述蒸汽温度最大值大于预设的蒸汽压力阈值时,发出第一预警信号;

[0045] 计算所述监测期时间序列观测值数据与监测期时间序列预测值数据之间的差值,得到蒸汽压力的预测误差数据和蒸汽温度的预测误差数据,分别计算出蒸汽压力变化水平值和蒸汽温度变化水平值;

[0046] 当所述蒸汽压力变化水平值大于预设的第一变化水平阈值或所述蒸汽温度变化水平值大于预设的第二变化水平阈值时,发出第二预警信号。

[0047] 所述预设的蒸汽压力阈值和预设的蒸汽温度阈值均为预设可调,所述蒸汽压力阈值为锅炉可正常运作的蒸汽压力最大值,所述蒸汽温度阈值为锅炉可正常运作的蒸汽温度最大值,本实施例以中压锅炉为例,中压锅炉的蒸汽压力阈值为3.8MPa,蒸汽温度阈值为450℃。

[0048] 所述蒸汽压力最大值大于预设的蒸汽压力阈值或所述蒸汽温度最大值大于预设的蒸汽压力阈值时,发出第一预警信号,提醒工作人员锅炉的蒸汽温度或蒸汽压力超出了可承受的阈值,有利于尽快对蒸汽温度和蒸汽压力进行调整,避免出现温度过高造成部分零件损坏,以及避免压力过大造成锅炉爆炸。同时自动监测和发出预警信号,有利于智能化,工作人员可以及时了解锅炉温度和压力情况。

[0049] 所述预设的第一变化水平阈值和第二变化水平阈值均可调,所述第一变化水平阈值为历史时间序列观测值数据中蒸汽压力值的均值的10%,所述第二变化水平阈值为历史时间序列观测值数据中蒸汽温度值的均值的10%。所述预设的第一变化水平阈值和第二变化水平阈值用于发现蒸汽压力和蒸汽温度的变化趋势,有利于监测蒸汽压力和蒸汽温度的变化,及时发现造成变化的问题,找到故障原因,防范于未然。

[0050] 参考图2,作为优化,所述对历史时间序列观测值数据进行数据预处理为:

[0051] 对历史时间序列观测值数据进行数据清洗和数据滤波,从而得到滤波时序;

[0052] 采用单位根检验方法检验滤波时序的平稳性,对于不符合平稳性的滤波时序进行差分处理,得到平稳历史时间序列数据。

[0053] 所述数据清洗是对数据进行重新审查和校验,并对脏数据进行去除的过程,所述脏数据包括缺失值、异常值以及含有特殊字符的数据,所述异常值通过利用单变量的散点图进行判断初步,再利用统计学3 $\sigma$ 法原则进行述异常值的排查。

[0054] 所述数据清洗具体为:针对单点的测量异常,采用局部数值填充,针对时段性的异常,先采用零值替换法剔除异常时间段的数值,然后利用局部平均值进行填补。

[0055] 所述数据滤波具体为:选取卡尔曼滤波对时间序列数据进行滤波处理。

[0056] 作为优化,所述单位根检验方法为ADF检验。对获得滤波时序数据,用单位根ADF进行检验,如果ADF检验的值等于0或者小于预设值,该预设值选取0.01或0.05,则判断滤波时间序列数据为平稳时间序列数据;对于非平稳时间序列数据先进行1阶差分运算,在用ADF检验判断是否为平稳时间序列,对于检验后的非平稳时间序列在进行2阶差分运算,获得平稳历史时间序列数据。

[0057] 作为优化,所述平稳历史时间序列模型为ARMA模型。

[0058] 本实施例的建立平稳历史时间序列模型的过程:

[0059] 历史时间序列观测值数据表示为 $Y_t$ ,如上所述ADF检验,对 $Y_t$ 进行d次差分运算( $d=0,1,\dots,n$ ),得到平稳历史时间序列数据 $X_t$ ,进行零均值处理:即: $X'_t = X_t - \bar{X}$ ,其中 $\bar{X}$ 为平稳历史时间序列数据的均值,得到一组预处理后的新序列 $X'_t$ 。

[0060] 通过计算预处理后的序列 $X'_t$ 的自相关函数(ACF)  $\hat{\rho}_k$ 和偏自相关函数(PACF)  $\hat{\phi}_{k,k}$ 来进行模型识别。具体的计算公式为:

$$[0061] \quad \hat{\rho}_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} X'_{t+k} X'_t}{N}$$

$$[0062] \quad \begin{cases} \hat{\phi}_{11} = \hat{\rho}_1 \\ \hat{\phi}_{k+1,k+1} = (\hat{\rho}_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\rho}_{k+1-j} \hat{\phi}_{k,j}) (1 - \sum_{j=1}^k \hat{\rho}_j \hat{\phi}_{k,j})^{-1} \\ \hat{\phi}_{k+1,j} = \hat{\phi}_{k,j} - \hat{\phi}_{k+1,k+1} \hat{\phi}_{k,k+1-j}, j = 1, 2, \dots, k \end{cases}$$

[0063] 根据上述计算结果,可以确定 $X'_t$ 符合的模型。

[0064] 在上述模型识别的基础上,利用样本矩估计法、最小二乘估计法或极大似然估计法等对ARMA (p, q) 的未知参数,即自回归系数、滑动平均系数以及白噪声方差进行估计,得出 $\hat{\varphi}_1, \dots, \hat{\varphi}_p, \hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_q, \hat{\sigma}^2$ 。

[0065] 利用赤池信息量准则AIC进行模型定阶。

[0066] 首先要检验所建立模型是否能满足平稳性和可逆性,即要求下式(1)、式(2)根在单位圆外,具体公式如下:

$$[0067] \quad \varphi(B) = 1 - \sum_{j=1}^p \varphi_j B^j = 0 \quad (1)$$

$$[0068] \quad \theta(B) = 1 - \sum_{j=1}^q \theta_j B^j = 0 \quad (2)$$

[0069] 其中B为延迟算子。

[0070] 再进一步判断上述模型的残差序列是否为白噪声,如果不是,则需要重新进行模型识别,如果是,则通过检验,得出ARMA (p, q) 预测模型,即平稳历史时间序列模型:

$$[0071] \quad X'_t = \hat{\varphi}_1 X'_{t-1} + \dots + \hat{\varphi}_p X'_t + \varepsilon_t - \hat{\theta}_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \hat{\theta}_q \varepsilon_{t-q}$$

[0072] 其中,  $\hat{\varphi}_1 X'_{t-1} + \dots + \hat{\varphi}_p X'_t + \varepsilon_t$  为自回归部分,非负整数p为自回归阶数,  $\hat{\varphi}_1, \dots, \hat{\varphi}_p$  为自回归系数,  $\hat{\theta}_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \hat{\theta}_q \varepsilon_{t-q}$  为滑动平均部分,非负整数q为滑动平均阶数,  $\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_q$  为滑动平均系数,  $\sigma^2$  白噪声方差;  $X'_t$  为平稳历史时间序列,  $\varepsilon_t$  为WN(0,  $\sigma^2$ )。

[0073] 根据上述预测模型,依据一步预测的方法对 $X'_t$ 进行预测,监测期时间序列预测值数据。

[0074] 作为优化,分别计算出蒸汽压力变化水平值和蒸汽温度变化水平值包括:

[0075] 所述蒸汽压力变化水平值为蒸汽压力的预测误差数据的众数,所述蒸汽温度变化水平值为蒸汽温度的预测误差数据的众数。

[0076] 本发明实时监测锅炉蒸汽压力,通过时间序列的分析方法,实现对锅炉的故障及时预测和诊断的基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,及时提醒工作人员锅炉的蒸汽温度或蒸汽压力超出了可承受的阈值,有利于尽快对蒸汽温度和蒸汽压力进行调整,定位造成温度和压力超出阈值的故障原因,避免出现温度过高造成部分零件损坏,以及避免压力过大造成锅炉爆炸。

[0077] 参考图3,一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统,包括所述的一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断方法,所述诊断系统包括:

[0078] 压力采集模块:用于监测和采集工业锅炉蒸汽压力数据,并将采集所得数据发送到处理模块;

[0079] 温度采集模块:用于监测和采集工业锅炉蒸汽温度数据,并将采集所得数据发送到处理模块;

[0080] 处理模块:用于建立时间序列模型,计算出监测期时间序列预测值;

- [0081] 预警模块:发出第一预警信号和第二预警信号;
- [0082] 所述处理模块分别与压力采集模块、温度采集模块和预警模块相连接。
- [0083] 作为优化,所述压力采集模块为压力变送器。
- [0084] 作为优化,所述温度采集模块为热电阻温度变送器。
- [0085] 所述压力变送器和热电阻温度变送器实时监测蒸汽压力数据和蒸汽温度数据,将采集所得的数据发送到处理模块。
- [0086] 所述处理模块包括处理器、存储器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序。所述处理器可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等,所述处理器是所述一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统的控制中心,利用各种接口和线路连接整个一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统可运行装置的各个部分。
- [0087] 所述存储器可用于存储所述计算机程序和/或模块,所述处理器通过运行或执行存储在所述存储器内的计算机程序和/或模块,以及调用存储在存储器内的数据,实现所述一种基于时间序列分析工业锅炉故障的诊断系统的各种功能。所述存储器可主要包括存储程序区和存储数据区,其中,存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序(比如数据读取功能、图像播放功能等)等;存储数据区可存储根据手机的使用所创建的数据(比如音频数据、电话本等)等。此外,存储器可以包括高速随机存取存储器,还可以包括非易失性存储器,例如硬盘、内存、插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)、至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他易失性固态存储器件。
- [0088] 以上对本发明的较佳实施方式进行了具体说明,但本发明创造并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可作出种种的等同变型或替换,这些等同的变型或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

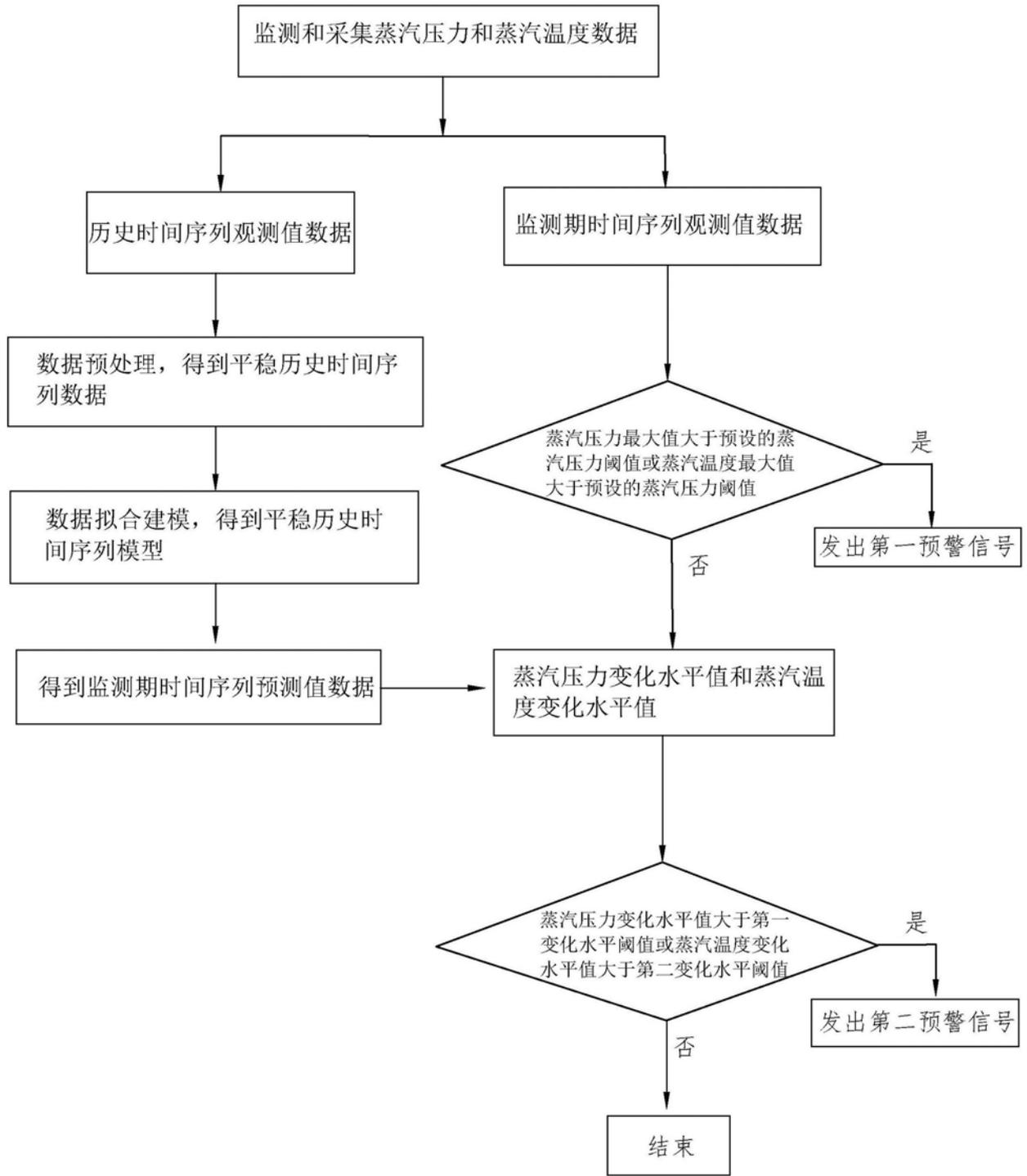


图1

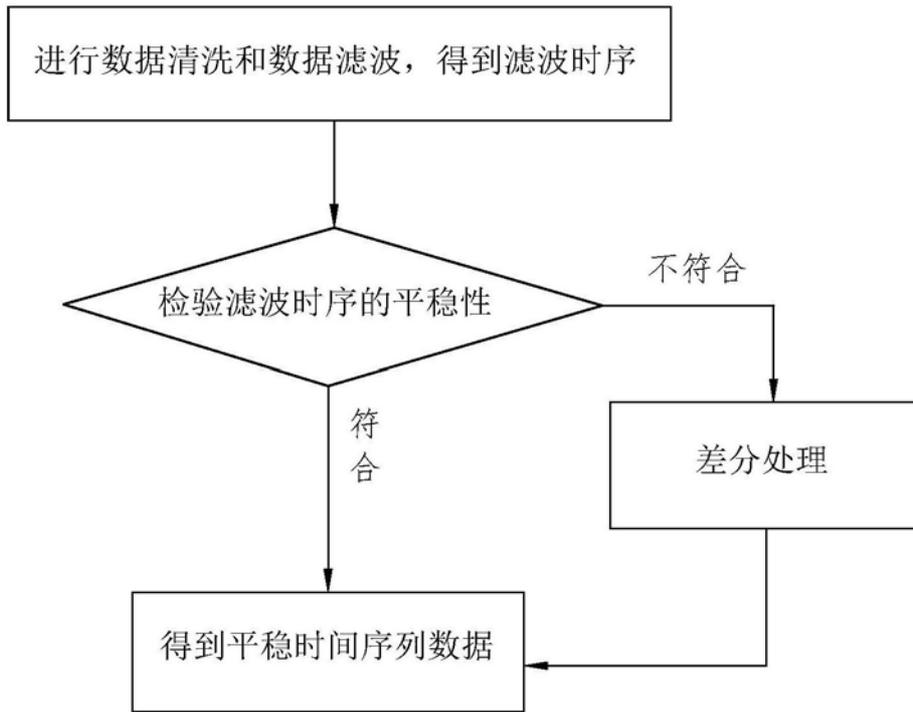


图2

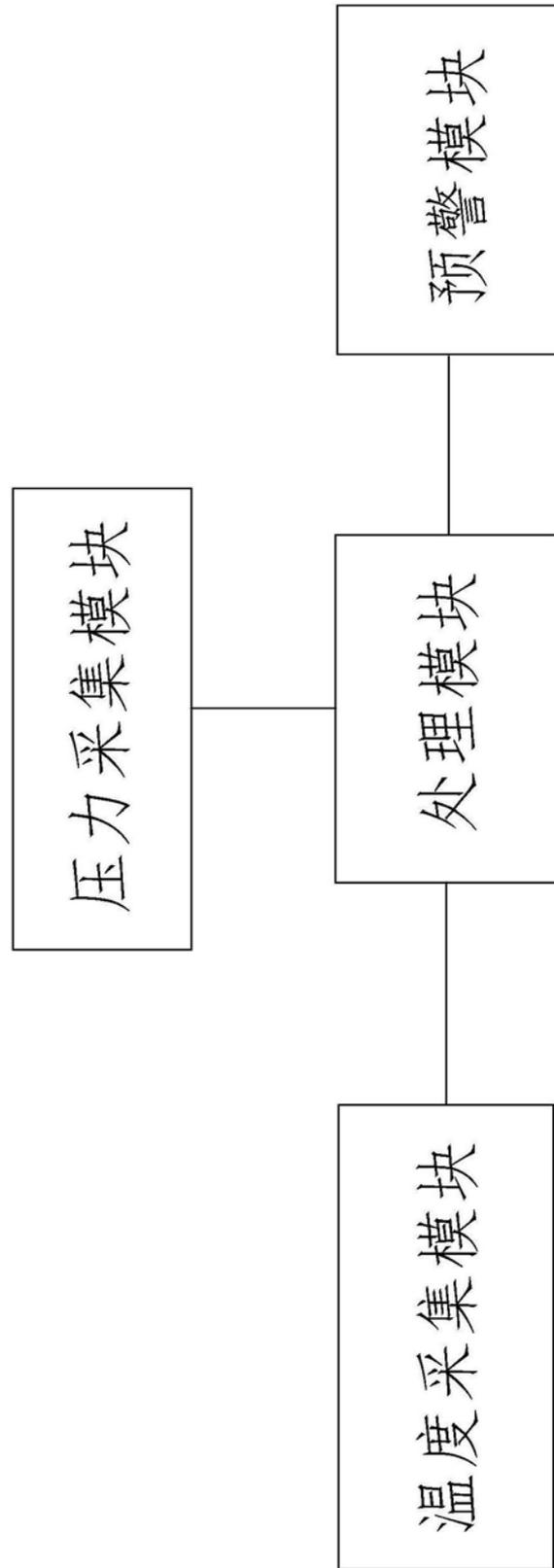


图3