



(21) 申请号 202011475800.0

(22) 申请日 2020.12.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114623990 A

(43) 申请公布日 2022.06.14

(73) 专利权人 阿里巴巴集团控股有限公司

地址 英属开曼群岛大开曼资本大厦一座四
层847号邮箱

(72) 发明人 江苏 徐宇 干瑞 邓超

(74) 专利代理机构 北京太合九思知识产权代理

有限公司 11610

专利代理师 刘戈

(51) Int. Cl.

G01M 3/32 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101839795 A, 2010.09.22

CN 106918033 A, 2017.07.04

CN 111626360 A, 2020.09.04

审查员 刘晓波

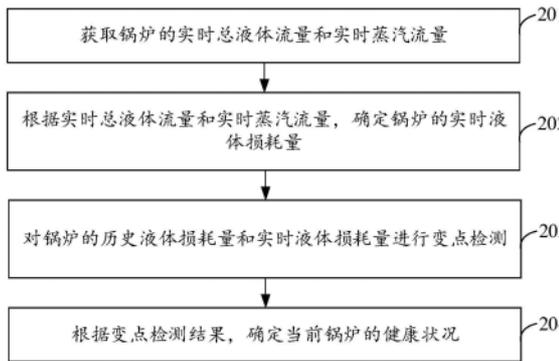
权利要求书6页 说明书28页 附图4页

(54) 发明名称

监测和泄漏定位方法、设备、锅炉、系统及存储介质

(57) 摘要

本申请实施例提供一种监测和泄漏定位方法、设备、锅炉、系统及存储介质。在本申请实施例中,对锅炉现有的流量计采集的锅炉历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况,实现了锅炉泄漏的实时监测,且利用液体损耗量进行变点检测,响应速度较快,无需积累大量变点即可检测出变点,有助于及时检测出锅炉泄漏,提高锅炉泄漏实时检测的灵敏度。



1. 一种监测系统,其特征在于,包括:监测节点、锅炉及安装于所述锅炉内的流量计;
其中,所述流量计用于采集所述锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量;

所述监测节点,用于根据所述实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定所述锅炉的实时液体损耗量;利用贝叶斯变点检测模型对所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,其中,在所述贝叶斯变点检测模型中,利用所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量,计算所述实时液体损耗量为变点的概率;根据所述实时液体损耗量为变点的概率确定变点检测结果,所述变点检测结果表征所述实时液体损耗量是否为变点;并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,还包括:显示节点;所述监测节点,还用于:将当前锅炉的健康状况提供给所述显示节点;

所述显示节点,用于显示当前锅炉的健康状况。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述显示节点,还用于:显示反映所述锅炉的实时液体损耗量随时间的变化关系的数据看板;并在存在变点的情况下,以设定的显示格式在所述数据看板中显示变点。

4. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述监测节点,还用于:

计算所述锅炉的实时液体损耗量的损耗速度;将所述锅炉的实时液体损耗量的损耗速度提供给所述显示节点;

所述显示节点,用于显示所述锅炉的实时液体损耗量的损耗速度。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述监测节点,还用于:

在当前锅炉发生泄漏的情况下,输出泄漏报警信息。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,还包括:设置于所述锅炉内的液位计;所述液位计用于采集所述锅炉的液位;

所述监测节点,用于在所述锅炉的液位低于设定的第一液位阈值的情况下,控制所述锅炉的进水口开启;并在所述锅炉的液位达到设定的第二液位阈值的情况下,控制所述锅炉的进水口关闭;

和/或,所述监测节点,用于在所述锅炉的液位低于设定的第一液位阈值的情况下,输出缺水提示信息,以提示所述锅炉的管理人员进行补水;并在在所述锅炉的液位达到设定的第二液位阈值的情况下,输出满液位提示信息,以提示所述锅炉的管理人员停止补水;

其中,所述第二液位阈值大于所述第一液位阈值。

7. 根据权利要求1-6任一项所述的系统,其特征在于,还包括:安装于所述锅炉的多个烟压测点的多个压强计;所述多个压强计,用于监测对应烟压测点处的烟压;

所述多个烟压测点,包括:所述锅炉的辐射通道的出入口、过热器的出入口及省煤器的出入口中的至少两处;所述过热器包括:高温过热器、中温过热器及低温过热器中的至少一种;

所述监测节点,还用于:在锅炉发生液体泄漏的情况下,获取在所述锅炉维修之前所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列;其中,所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列包括:所述锅炉发生液体泄漏前后的烟压数据;对所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点;基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序

列的正常样本区间和异常样本区间；利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压，计算该烟压测点的异常指数；根据所述多个烟压测点的异常指数的大小，确定所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序，以供维修人员基于所述风险顺序进行泄漏定位。

8. 根据权利要求7所述的系统，其特征在于，还包括：显示节点；所述监测节点，还用于将所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序提高给所述显示节点；

所述显示节点，用于：按照所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序，展示所述多个烟压测点，以供维修人员按照所述风险顺序对所述多个烟压测点检修。

9. 根据权利要求7所述的系统，其特征在于，所述对所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测，以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点，包括：

针对第一烟压测点，利用PELT算法对所述第一烟压测点的烟压序列进行变点检测，以确定所述第一烟压测点对应烟压序列中的烟压变点；所述第一烟压测点为所述多个烟压测点中的任一烟压测点。

10. 一种监测方法，其特征在于，包括：

获取锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量；

根据所述实时总液体流量和实时蒸汽流量，确定所述锅炉的实时液体损耗量；

利用贝叶斯变点检测模型对所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测，其中，在所述贝叶斯变点检测模型中，利用所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量，计算所述实时液体损耗量为变点的概率；根据所述实时液体损耗量为变点的概率确定变点检测结果，所述变点检测结果表征所述实时液体损耗量是否为变点；

根据变点检测结果，确定当前锅炉的健康状况。

11. 根据权利要求10所述的方法，其特征在于，所述根据所述实时液体损耗量为变点的概率，确定所述实时液体损耗量是否为变点，包括：

若所述实时液体损耗量为变点的概率大于设定的概率阈值，则确定所述实时液体损耗量为变点。

12. 根据权利要求10所述的方法，其特征在于，所述根据变点检测结果，确定当前锅炉的健康状况，包括：

若所述变点检测结果为实时液体损耗量为变点，则确定当前锅炉发生液体泄漏。

13. 根据权利要求10-12任一项所述的方法，其特征在于，在利用贝叶斯变点检测模型对所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测之前，还包括：

按照第一采样周期，对所述锅炉的历史液体损耗量进行降采样，以得到降采样后的历史液体损耗量；所述第一采样周期大于锅炉中流量计的采样周期；

采用贝叶斯变点检测模型对所述降采样后的历史液体损耗量和所述实时液体损耗量进行变点检测。

14. 根据权利要求13所述的方法，其特征在于，所述采用贝叶斯变点检测模型对所述降采样后的历史液体损耗量和所述实时液体损耗量进行变点检测，包括：

对所述降采样后的历史液体损耗量和所述实时液体损耗量进行平滑处理，以得到平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量；

采用贝叶斯变点检测模型对所述平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测。

15. 根据权利要求14所述的方法,其特征在於,所述对所述降采样后的历史液体损耗量和所述实时液体损耗量进行平滑处理,包括:

采用指数加权的移动窗口函数对所述降采样后的历史液体损耗量和所述实时液体损耗量进行平滑处理。

16. 根据权利要求10所述的方法,其特征在於,还包括:

显示当前锅炉的健康状况,或者,将所述当前锅炉的健康状况提供给所述锅炉对应的显示节点进行展示。

17. 根据权利要求16所述的方法,其特征在於,还包括:

显示反映所述锅炉的实时液体损耗量随时间的变化关系的数据看板;并在存在变点的情况下,以设定的显示格式在所述数据看板中显示变点。

18. 根据权利要求10-12任一项所述的方法,其特征在於,还包括:

在锅炉存在液体泄漏的情况下,获取在锅炉维修之前分布于锅炉内的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列;所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列包括:所述多个烟压测点的压强计采集到的在锅炉存在液体泄漏前后的烟压数据;

对所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点;

基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间;

利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数;

根据所述多个烟压测点的异常指数的大小,确定所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于所述风险顺序进行泄漏定位。

19. 根据权利要求18所述的方法,其特征在於,还包括:

按照所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,展示所述多个烟压测点,以供维修人员按照所述风险顺序对所述多个烟压测点检修。

20. 根据权利要求18所述的方法,其特征在於,所述根据所述多个烟压测点的异常指数的大小,确定所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,包括:

按照所述多个烟压测点的异常指数的从大到小的顺序,对所述多个烟压测点进行排序,以得到所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序。

21. 根据权利要求18所述的方法,其特征在於,所述对所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,包括:

针对第一烟压测点,利用PELT算法对所述第一烟压测点的烟压序列进行变点检测,以确定所述第一烟压测点对应烟压序列中的烟压变点;所述第一烟压测点为所述多个烟压测点中的任一烟压测点。

22. 根据权利要求18所述的方法,其特征在於,所述基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区

间,包括:

针对第一烟压测点,对所述第一烟压测点对应的烟压序列进行寻峰,以确定所述第一烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值;

从所述第一烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值中,确定最大烟压峰值;

从所述第一烟压测点对应的烟压序列中的烟压变点中,获取采集时间与所述最大烟压峰值对应的采集时间相邻的第一烟压变点和第二烟压变点;

从所述第一烟压测点对应的烟压序列中,获取所述第一烟压变点至所述第二烟压变点的采集时间段内采集的烟压,作为所述第一烟压测点对应的烟压序列的异常样本区间;

从所述第一烟压测点对应的烟压序列中,获取采集时间位于所述第一烟压变点之前,且与所述第一烟压变点的时间间隔为设定的时间间隔的第一烟压数据;

从所述第一烟压测点对应的烟压序列中,选择采集时间位于指定烟压数据和所述第一烟压数据的采集时间段的烟压序列,作为所述第一烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间;

其中,指定烟压数据的采集时间位于所述第一烟压数据之前。

23. 根据权利要求18所述的方法,其特征在于,所述利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数,包括:

针对第一烟压测点,利用所述第一烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算所述第一烟压测点的至少一种特征参数值;

按照所述第一烟压测点的至少一种特征参数值在所述多个烟压测点的相同属性的特征参数中的排序,确定所述第一烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数;

对所述第一烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数进行加权求和,以得到所述第一烟压测点的异常指数。

24. 根据权利要求23所述的方法,其特征在于,所述利用所述第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压,计算所述第一烟压测点的至少一种特征参数值,包括执行以下至少一种计算方式:

计算所述第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的均方根的相对变化比例;

计算所述第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的标准差变化量;

计算所述第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压之间的动态时间规整距离;

对所述第一烟压测点对应的异常样本区间的烟压进行寻谷,以确定所述第一烟压测点对应的异常样本区间的烟压波谷;计算所述第一烟压测点对应的异常样本区间中最大烟压峰值与所述烟压波谷的相对变化量;

从所述第一烟压测点对应的烟压序列中,确定采集时间位于所述锅炉发生泄漏之后的烟压,且超过所述第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压均值设定比例的目标烟压;计算所述目标烟压的最小值的采集时间与所述锅炉发生泄漏之间的时间间隔,作为所述第一烟压测点对锅炉泄漏的响应时间;

计算所述第一烟压测点对应的烟压序列从所述锅炉发生泄漏至达到所述第一烟压测

点对应的异常样本区间中最大烟压峰值之间的时间间隔。

25. 根据权利要求24所述的方法,其特征在于,还包括:

获取与所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列处于相同采集时间段的液体损耗量序列;

对所述液体损耗量序列进行变点检测,以确定所述液体损耗量序列中的变点;

将所述液体损耗量序列中的变点中采集时间最早的变点的采集时间,作为所述锅炉发生泄漏的时间。

26. 根据权利要求25所述的方法,其特征在于,所述对所述液体损耗量序列进行变点检测,以确定所述液体损耗量序列中的变点,包括:

利用PELT算法对所述液体损耗序列进行变点检测,以确定所述液体损耗量序列中的变点。

27. 一种泄漏定位方法,其特征在于,包括:

在采用权利要求10-15任一项方法确定锅炉存在液体泄漏的情况下,获取在锅炉维修之前分布于锅炉内的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列;所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列包括:所述多个烟压测点的压强计采集到的在锅炉存在液体泄漏前后的烟压数据;

对所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点;

基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间;

利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数;

根据所述多个烟压测点的异常指数的大小,确定所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于所述风险顺序定位存在泄漏的烟压测点。

28. 一种锅炉,其特征在于,包括:安装于所述锅炉内的流量计及监测模块;

其中,所述流量计用于采集所述锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量;

所述监测模块,用于根据所述实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定所述锅炉的实时液体损耗量;利用贝叶斯变点检测模型对所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,其中,在所述贝叶斯变点检测模型中,利用所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量,计算所述实时液体损耗量为变点的概率;根据所述实时液体损耗量为变点的概率确定变点检测结果,所述变点检测结果表征所述实时液体损耗量是否为变点;并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。

29. 根据权利要求28所述的锅炉,其特征在于,还包括:安装于所述锅炉的多个烟压测点的多个压强计;所述多个压强计,用于监测对应烟压测点处的烟压;

所述多个烟压测点,包括:所述锅炉的辐射通道的出入口、过热器的出入口及省煤器的出入口中的至少两处;所述过热器包括:高温过热器、中温过热器及低温过热器中的至少一种;

所述监测模块,还用于:在锅炉发生液体泄漏的情况下,获取在所述锅炉维修之前所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列;其中,所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序

列包括:所述锅炉发生液体泄漏前后的烟压数据;对所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点;基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间;利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数;根据所述多个烟压测点的异常指数的大小,确定所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于所述风险顺序进行泄漏定位。

30.一种计算机设备,其特征在于,包括:存储器和处理器;其中,所述存储器,用于存储计算机程序;

所述处理器耦合至所述存储器,用于执行所述计算机程序以用于执行权利要求10-27任一项所述方法中的步骤。

31.一种存储有计算机指令的计算机可读存储介质,其特征在于,当所述计算机指令被一个或多个处理器执行时,致使所述一个或多个处理器执行权利要求10-27任一项所述方法中的步骤。

监测和泄漏定位方法、设备、锅炉、系统及存储介质

技术领域

[0001] 本申请涉及工业监测技术领域,尤其涉及一种监测和泄漏定位方法、设备、锅炉、系统及存储介质。

背景技术

[0002] 锅炉是一种能量转换设备,向锅炉输入的能量有燃料中的化学能、电能,锅炉输出具有一定热能的蒸汽、高温水或有机热载体。锅炉中产生的热水或蒸汽可直接为工业生产和人民生活提供所需热能,也可通过蒸汽动力装置转换为机械能,或再通过发电机将机械能转换为电能等。

[0003] 目前,锅炉蒸汽泄漏事故是影响锅炉安全稳定运行的主要原因,是电厂效能下降的主要因素,也是停机的主要原因。实践证明,大多数泄漏皆由微小泄漏发展而来,当达到工人能够感知的时候,泄漏所造成的破坏已相当严重,并且往往造成巨大的损失。因此,如何对锅炉蒸汽管路的泄漏进行实时预测,对保证工人人身安全、减小经济损失、合理安排检修具有重大意义。

发明内容

[0004] 本申请的多个方面提供一种监测和泄漏定位方法、设备、锅炉、系统及存储介质,用以提高对锅炉蒸汽泄漏的实时监测的灵敏度。

[0005] 本申请实施例提供一种监测系统,包括:监测节点、锅炉及安装于所述锅炉内的流量计;

[0006] 其中,所述流量计用于采集所述锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量;

[0007] 所述监测节点,用于根据所述实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定所述锅炉的实时液体损耗量;对所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测;并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。

[0008] 本申请实施例还提供一种监测方法,包括:获取锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量;根据所述实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定所述锅炉的实时液体损耗量;对所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测;以及,根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。

[0009] 本申请实施例还提供一种泄漏定位方法,包括:

[0010] 在锅炉存在液体泄漏的情况下,获取在锅炉维修之前分布于锅炉内的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列;所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列包括:所述多个烟压测点的压强计采集到的在锅炉存在液体泄漏前后的烟压数据;

[0011] 对所述多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点;

[0012] 基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间;

[0013] 利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数;

[0014] 根据所述多个烟压测点的异常指数的大小,确定所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于所述风险顺序定位存在泄漏的烟压测点。

[0015] 本申请实施例还提供一种锅炉,包括:安装于所述锅炉内的流量计及监测模块;

[0016] 其中,所述流量计用于采集所述锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量;

[0017] 所述监测模块,用于根据所述实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定所述锅炉的实时液体损耗量;对所述锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测;并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。

[0018] 本申请实施例还提供一种计算机设备,包括:存储器和处理器;其中,所述存储器,用于存储计算机程序;

[0019] 所述处理器耦合至所述存储器,用于执行所述计算机程序以用于执行上述各方法中的步骤。

[0020] 本申请实施例还提供一种存储有计算机指令的计算机可读存储介质,当所述计算机指令被一个或多个处理器执行时,致使所述一个或多个处理器执行上述各方法中的步骤。

[0021] 在本申请实施例中,对锅炉现有的流量计采集的锅炉历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况,实现了锅炉泄漏的实时监测,且利用液体损耗量进行变点检测,响应速度较快,无需积累大量变点即可检测出变点,有助于及时检测出锅炉泄漏,提高锅炉泄漏实时检测的灵敏度。

附图说明

[0022] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解,构成本申请的一部分,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0023] 图1a和图1b为本申请实施例提供的监测系统的结构示意图;

[0024] 图1c为本申请实施例提供的反映锅炉健康状况的数据看板示意图;

[0025] 图1d为本申请实施例提供的另一种监测系统的结构示意图;

[0026] 图2为本申请实施例提供的监测方法的流程示意图;

[0027] 图3为本申请实施例提供的泄漏定位方法的流程示意图;

[0028] 图4为本申请实施例提供的计算机设备的结构示意图。

具体实施方式

[0029] 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请具体实施例及相应的附图对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0030] 电站的锅炉长期处于高温、高压、高腐蚀的环境下,易发生蒸汽管道的泄漏甚至爆管。锅炉蒸汽泄漏事故是影响锅炉安全稳定运行的主要原因,是电厂效能下降的主要因素,也是停机的主要原因。目前检测锅炉蒸汽泄漏的方法主要包括以下两种方式:

[0031] 方式1:通过温度传感器模块测量温度数据,红外热成像模块获取图像数据,后再对温度数据和图像数据进行分析,实现高温蒸汽管路中高温蒸汽的位置进行定位。

[0032] 方式2:将声波传感器与声波传导器并行安装于锅炉管道上,通过分析声波数据进行爆管位置的定位。

[0033] 上述两种方式的实施的前提均需要额外安装大量的传感器,以达到爆管位置定位的作用,检测成本较高。另一方面,针对上述方式1,由于温度的滞后性较强,且响应速度较慢,当温度变化幅度超过一定阈值时,往往泄漏已经发展到比较严重的阶段,泄漏检测灵敏度较低,导致温度传感器的泄漏预警作用大大降低。

[0034] 针对上述方式2,对于垃圾焚烧的电站锅炉而言,最常发生泄漏和爆管的位置主要分布在锅炉第一辐射通道附近,而第一辐射通道是锅炉的最大的部分。如果将声波传感器安装于锅炉第一辐射的外壁,由于第一辐射通道的壁厚较厚,难以探测到声波信号。如果直接将声波传感器安装于蒸汽管道上,则声波传感器将与高温高压高腐蚀性的烟气直接接触,极易损坏,成本极高。

[0035] 为了实现对锅炉蒸汽管路的泄漏进行实时预测,并提高泄漏检测灵敏度,在本申请一些实施例中,利用概率统计方法对锅炉现有的流量计采集的锅炉历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况,实现了锅炉泄漏的实时监测,且利用液体损耗量进行变点检测,响应速度较快,无需积累大量变点即可检测出变点,有助于及时检测出锅炉泄漏,提高锅炉泄漏实时检测的灵敏度。

[0036] 另一方面,由于流量计是锅炉的基础设施,利用锅炉现有的流量计采集的流量数据,对锅炉进行泄漏检测,无需额外安装传感器,有助于节约检测成本。

[0037] 以下结合附图,详细说明本申请各实施例提供的技术方案。

[0038] 应注意到:相同的标号在下面的附图以及实施例中表示同一物体,因此,一旦某一物体在一个附图或实施例中被定义,则在随后的附图和实施例中不需要对其进行进一步讨论。

[0039] 图1a为本申请实施例提供的监测系统的结构示意图。如图1a所示,该系统主要包括:锅炉11、安装于锅炉11内的流量计12及监测节点13。

[0040] 锅炉11包括:锅和炉。上面的存储液体的部件为锅,下面的加热部分为炉,锅和炉的一体化设计称为锅炉。锅炉是一种能量转换器,它是利用燃料燃烧释放的热能或其他热能将工质水或其他液体加热到一定参数的设备。

[0041] 在本实施例中,锅炉11内安装有多个流量计12。多个是指2个或2个以上。多个流量计12分别用于采集锅炉11的实时总液体流量和实时蒸汽流量。其中,用于采集锅炉11的实时总液体流量的流量计可设置于炉筒18的内壁或外壁,以及设置于给水入口处。用于采集锅炉11的实时蒸汽流量的流量计12可安装于锅炉11的蒸汽出口。在本实施例中,多个流量计12可按照设定的采样周期 T_1 ,周期性地采集锅炉11的实时总液体流量和实时蒸汽流量。多个流量计11的采样周期可以相同,也可不同。优选地,多个流量计11的采样周期相同。在本实施例中,不限定多个流量计11的采样周期 T_1 的具体取值。为了提高安全监测的灵敏度,便于及时发现锅炉11的健康状况。多个流量计11的采样周期 T_1 不宜过大,可以为秒量级。例如,多个流量计11的采样周期 T_1 可以为5s、10s、15s等等,但不限于此。

[0042] 在本实施例中,监测节点13是指具有数据处理能力的装置、模块或计算机设备。其

中,计算机设备可为终端设备或服务端设备。其中,终端设备可以为智能手机、平板电脑、个人电脑、穿戴设备等。服务端设备可以为单一服务器设备,也可以云化的服务器阵列,或者为云化的服务器阵列中运行的虚拟机(Virtual Machine, VM)。另外,服务端设备也可以指具备相应服务能力的其他计算设备,例如电脑等终端设备(运行服务程序)等。在本实施例中,监测节点13可位于锅炉11的机房内,并与流量计12进行通信。

[0043] 在本实施例中,监测节点13可获取流量计12采集的实时总液体流量和实时蒸汽流量;并根据实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定锅炉的实时液体损耗量。进一步,监测节点13还可获取锅炉的历史液体损耗量。其中,锅炉11的历史液体损耗量是指位于当前时刻之前的液体损耗量,即监测节点13在确定实时液体损耗量之前所获取的锅炉11的液体损耗量。在本申请实施例中,锅炉11的历史液体损耗量为距离实时液体损耗量的采集时间最近时间段内的液体损耗量。在本实施例中,不限定历史液体损耗量的采集时间段的具体取值。例如,历史液体损耗量的采集时间段可以为当前时刻之前的1天、2天、一周、半个月、1个月、2个月等时间段内采集的历史液体损耗量。

[0044] 进一步,监测节点13可对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。在本申请实施例中,不限定对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测的具体实施方式。

[0045] 在一些实施例中,监测节点13可利用神经网络模型对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。然而,由于锅炉出现泄漏等异常情况,为小概率事件,而神经网络模型在训练阶段需要大量的异常样本,因此,对神经网络模型进行训练可能存在异常液体损耗量样本不足,导致训练出的神经网络模型进行变点检测的准确率较低。另一方面,由于神经网络模型结构复杂,计算量大,导致变点检测效率低,进而导致锅炉泄漏实时检测灵敏度较低。

[0046] 为了解决上述问题,在一些实施例中,监测节点13可采用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。确切地说,监测节点13可采用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,以判断实时液体损耗量是否为变点。其中,利用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,无需大量的异常样本,有助于提高变点检测的准确度。另一方面,利用概率统计方法进行变点检测,无需积累大量变点接口检测出变点,有助于及时检测出锅炉泄漏,提高锅炉泄漏实时检测的灵敏度。

[0047] 可选地,可采用贝叶斯变点检测算法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。相应地,监测节点13可利用贝叶斯变点检测模型对锅炉11的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。

[0048] 其中,贝叶斯在线变点检测算法的原理为:贝叶斯变点检测假设变点由随机过程产生,变点间的数据是独立同分布的。该算法可输出每个数据点为变点的概率。假设时间序列数据为 $y_{1:n} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$,则该算法输出为概率序列 $p_{1:n} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 。当某个数据点 $p_i > \theta$ 时,认为 y_i 为变点。其中 θ 为设置的阈值。在本申请实施例中, $\theta = 0.5$ 。这是因为液体损耗量的变点是独立同分布的,对于某时刻的液体损耗量来说,其是变点和不是变点的概率均为0.5。因此,可设置 $\theta = 0.5$ 。

[0049] 目前用于泄漏预警的方法大多依赖阈值的选取,例如上述方式1中设置温度阈值

和方式2设置声波阈值等。阈值选的太小,需要在锅炉发生泄漏并积累一段时间之后才能被发现,容易漏报,漏报会错过合适的检修时间;而阈值太大则容易发生误报,误报过多会使得预警失去价值。且阈值的选取依赖于工程经验,针对不同的设备需要设定不同的阈值,预警系统很难取得较好的泛化能力,难以在不同的场景使用,限制了技术的推广。

[0050] 而贝叶斯变点检测算法基于变点间的数据是独立同分布的特征,设置概率阈值,无需为不同设备设置不同的阈值,可适用于各种锅炉场景中,有助于促进预警方法的技术推广。另一方面,贝叶斯变点检测算法只需在锅炉11实际出现变点之后积累少量样本点就可以准确检测出该变点,有助于提高对锅炉泄漏检测的及时性和灵敏度,起到预警作用。而且,该算法还可以检测出除阶跃以外其他类型的拐点,可以捕捉到爆管前数十天前水损耗数据分布的微小变化。

[0051] 相应地,监测节点13可将锅炉11的历史液体损耗量和实时液体损耗量输入贝叶斯变点检测模型;在贝叶斯变点检测模型中,可利用锅炉11的历史液体损耗量和实时液体损耗量,计算实时液体损耗量为变点的概率;并根据实时液体损耗量为变点的概率,确定实时液体损耗量是否为变点。可选地,若实时液体损耗量为变点的概率大于设定的概率阈值 θ ,则确定实时液体损耗量为变点。

[0052] 可选地,在贝叶斯变点检测模型中,可以初始设置的先验条件和后验条件检测历史液体损耗量和实时液体损耗量形成的时序序列中的第一个液体损耗量是变点的概率,若该概率小于设定的概率阈值 θ ,则确定第一个液体损耗量对应的采集时刻在变点前。接着,根据所确定的第一个液体损耗量对应的采集时刻在变点前的概率,调整先验条件和后验条件,再利用调整后的先验条件和后验条件,计算历史液体损耗量和实时液体损耗量形成的时序序列中的第二个液体损耗量是变点的概率,若该概率小于设定的概率阈值 θ ,则确定第二个液体损耗量对应的采集时刻在变点前。以此类推,按照采集时间的先后顺序,迭代地检测历史液体损耗量和实时液体损耗量形成的时序序列中的各液体损耗量为变点的概率,若在迭代过程中检测到是变点的概率大于设定的概率阈值 θ 的液体损耗量,则确定该液体损耗量为变点。对于历史液体损耗量和实时液体损耗量形成的时序序列中的实时液体损耗量,可利用其前一液体损耗量的检测结果,调整先验条件和后验条件;并利用调整后的先验条件和后验条件,计算实时液体损耗量是变点的概率;进一步,若该概率大于设定的概率阈值 θ ,则确定实时液体损耗量为变点。

[0053] 在一些实施例中,流量计12的采样周期较短,历史液体损耗量对应的时间跨度较长,导致历史液体损耗量的数据量较大。为了提高变点检测效率,可对历史液体损耗量进行降采样。相应地,监测节点13可按照设定的采样周期 T_2 ,对锅炉的历史液体损耗量进行降采样。为了便于描述和区分,在本申请实施例中,将流量计12的采样周期定义为第一采样周期 T_1 ,并将降采样采用的采样周期,定义为第二采样周期 T_2 。其中,第二采样周期 T_2 大于第一采样周期 T_1 , $T_2 > T_1$ 。在本申请实施例中,不限定第二采样周期 T_2 的具体取值。第二采样周期 T_2 可根据变点检测效率及变点检测准确度进行灵活设置。例如,第二采样周期 T_2 可以为10min、20min、30min等。

[0054] 降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量形成的液体损耗序列可表示为: $g(t_1:t_n) = \{g(t_1), g(t_2), \dots, g(t_n)\}$,其中,降采样后的液体损耗序列相邻两个液体损耗量之间的时间间隔为: $t_i - t_{i-1} = T_2$;其中, $1 < i \leq n$ 。可选地, $g(t_i)$ 可为历史液体损耗数据中最近

一次停机维修后的第一个时间点 t_1 对应的液体损耗量。 $g(t_n)$ 可为当前时刻 t_n 对应的液体损耗量。

[0055] 进一步,监测节点13可采用概率统计方法对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。可选地,为了避免液体损耗量中的噪声干扰,可对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理,以得到平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量。

[0056] 可选地,可采用指数加权的移动窗口函数对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理。指数加权的移动窗口函数进行平滑处理的公式可表示为:

$$[0057] \quad \hat{g}(t_{i+1}) = \alpha g(t_i) + (1-\alpha)\hat{g}(t_i) \quad (1)$$

[0058] 其中, $g(t_i)$ 表示 t_i 时刻的观测值,即 t_i 时刻平滑处理前的液体损耗值; $\hat{g}(t_i)$ 表示 t_i 时刻指数加权的预测值,即对 t_i 时刻平滑处理后的液体损耗量。 α 为平滑系数。可选地, $\alpha=0.2$ 。

[0059] 进一步,监测节点13可采用概率统计方法对平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测。可选地,可采用贝叶斯变点检测算法对平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测,具体实施方式可参见上述采用贝叶斯变点检测模型对历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测的相关内容,在此不再赘述。

[0060] 进一步,监测节点13可根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。可选地,若变点检测结果为实时液体损耗量为变点,则确定当前锅炉发生液体泄漏。

[0061] 进一步,为了使技术人员直观地了解锅炉的健康状况,如图1b所示,监测系统还可设置显示节点14。其中,显示节点14是指具有成像功能的模块、装置或设备。其中,显示节点14可配置有屏幕。屏幕可以为显示屏、幕布等。可选地,显示节点14可只具有成像功能的屏幕,如显示屏、幕布等。或者,显示节点14也可为配置有显示屏的计算机设备。如显示节点14可以是智能手机、平板电脑、笔记本电脑、台式电脑或智能电视机等。

[0062] 在本实施例中,显示节点14与监测节点13可位于同一物理机,也可位于不同的物理机。不同的物理机之间通信连接。不同的物理机之间可以是无线或有线连接。可选地,不同的物理机可以通过移动网络通信连接,相应地,移动网络的网络制式可以为2G(GSM)、2.5G(GPRS)、3G(WCDMA、TD-SCDMA、CDMA2000、UTMS)、4G(LTE)、4G+(LTE+)、5G、WiMax等中的任意一种。可选地,不同物理机也可以通过蓝牙、WiFi、红外线等方式通信连接。

[0063] 相应地,监测节点13可将当前锅炉的健康状况提供给显示节点14。显示节点14可显示当前锅炉的健康状况。在本申请实施例中,不限定显示节点14显示当前锅炉的健康状况的具体格式和信息。在一种实施例中,如图1b所示,显示节点14可显示反映锅炉的健康状况随时间的变化关系的数据看板。可选地,反映锅炉的健康状况随时间的变化关系的数据看板可表示为:反映锅炉的实时液体损耗量随时间的变化关系的数据看板,并在存在变点的情况下,以设定的显示格式在数据看板中显示变点。其中,如图1b所示,对于变点,可以变点对应的时刻与液体损耗量之间的连线显示变点;和/或将变点对应的时刻显示于数据看板上。其中,反映锅炉的实时液体损耗量随时间的变化关系的数据看板可为图形化看板或列表看板等。其中,图形化看板可为散点图看板、曲线图看板、折线图看板、直方图看板、子

弹图看板、面积图看板及瀑布图看板中的至少一种。图1b仅以曲线图看板的形式进行图示，但不构成限定。

[0064] 在另一些实施例中，反映锅炉的健康状况随时间的变化关系的数据看板可为图形化看板或列表看板(图1c所示)等。其中，图形化看板可为散点图看板、曲线图看板、折线图看板、直方图看板、子弹图看板、面积图看板及瀑布图看板中的至少一种。

[0065] 在又一些实施例中，监测节点13还可在当前锅炉发生泄漏的情况下，输出泄漏报警信息。在本实施例中，不限定监测节点13输出泄漏报警信息的具体实施方式。在一些实施方式中，监测节点13可在当前锅炉发生泄漏的情况下，可将泄漏报警信息提供给显示节点14。相应地，显示节点14可显示泄漏报警信息。在该实施例中，泄漏报警信息可为文本信息、图片信息或动画信息等。

[0066] 在另一些实施方式中，监测节点13可语音播报泄漏报警信息。在该实施方式中，泄漏报警信息实现为语音消息。

[0067] 在又一些实施方式中，监测节点13可在当前锅炉发生泄漏的情况下，控制蜂鸣器等发出鸣叫声，作为泄漏报警信息。

[0068] 在其它一些实施方式中，监测节点13可在当前锅炉发生泄漏的情况下，控制指示灯点亮或闪烁等，作为泄漏报警信息。

[0069] 在一些实施例中，监测节点13还可计算锅炉11的实时液体损耗量的损耗速度；并将锅炉11的实时液体损耗量的损耗速度提供给显示节点14。相应地，显示节点14可显示锅炉的实时液体损耗量的损耗速度，这样，可使技术人员对锅炉的实时液体损耗量的损耗速度有直观地了解，可为技术人员判断锅炉是否发生泄漏提供参考信息。

[0070] 在另一些实施例中，监测系统还可包括：设置于锅炉11内的液位计(图1a中未示出)；该液位计可用于采集锅炉11的液位。

[0071] 针对监测节点13，可在锅炉11的液位低于设定的第一液位阈值的情况下，控制锅炉11的进水口开启；并在锅炉12的液位达到设定的第二液位阈值的情况下，控制锅炉11的进水口关闭；其中，所述第二液位阈值大于所述第一液位阈值。

[0072] 和/或，监测节点13可在锅炉的液位低于设定的第一液位阈值的情况下，输出缺水提示信息，以提示锅炉的管理人员进行补水；并在在锅炉11的液位达到设定的第二液位阈值的情况下，输出满液位提示信息，以提示锅炉的管理人员停止补水；等等。

[0073] 在本申请实施例中，显示节点14显示锅炉的实时健康状况，可使技术人员对锅炉的实时健康状况有直观地了解，有助于提高检修的及时性。可选地，技术人员可根据实时液体损耗量决定停机维修时间。

[0074] 为了提高检修效率，本申请实施例提供的监测系统还可进行泄漏定位。在本申请实施例中，为了降低泄漏定位成本，可使用锅炉内现有的多个压强计(图1a和图1b未示出)进行泄漏定位。多个是指2个或2个以上。在本申请实施例中，多个压强计可安装于锅炉11的多个烟压测点，用于检测对应烟压测点处的烟压。烟压是指烟道内烟气的压强。在本申请实施例中，每个烟压测点至少安装一个压强计。

[0075] 在本申请实施例中，多个烟压测点，包括：锅炉的辐射通道15的出入口、过热器16的出入口及省煤器17的出入口中的至少两处。过热器16可包括：高温过热器16a、中温过热器16b及低温过热器16c中的至少一种。在本实施例中，不限定高温过热器16a、中温过热器

16b及低温过热器16c仅为说明经过三者的蒸汽的温度大小关系,即经过高温过热器16a的蒸汽的温度大于中温过热器16b;经过中温过热器16b的蒸汽的温度大于低温过热器16c,不限定通过高温过热器16a、中温过热器16b及低温过热器16c的蒸汽的具体温度。可选地,烟压测点包括如下12个:第一辐射通道出口左侧,第一辐射通道出口右侧,高温过热器入口左侧,高温过热器入口右侧,中温过热器入口左侧,中温过热器入口右侧,低温过热器入口左侧,低温过热器入口右侧,省煤器入口左侧,省煤器入口右侧,省煤器出口左侧,省煤器出口右侧。

[0076] 其中,过热器16是锅炉的辅助受热面,可在压力不变的情况下,从锅筒19中引出饱和蒸汽,再经加热使湿饱和蒸汽中的水分蒸发,成为干饱和蒸汽,并继续加热提高温度,成为过热蒸汽。

[0077] 省煤器17为布置在锅炉尾部烟道内,利用排烟余热来提高给水温度的热交换器,进而提高液体温度,减少排烟损失,提高锅炉热效率。

[0078] 在本申请实施例中,监测节点13可在锅炉11发生液体泄漏的情况下,获取在锅炉11维修之前多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。可选地,监测节点13可在上述监测出变点的情况下,确定锅炉11存在液体泄漏。监测节点13可在锅炉11发生液体泄漏的情况下,获取当前时刻之前设定时间段内多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。其中,当前时刻为停机维修前的任意时刻。设定时间段内的烟压序列可包括:锅炉11发生液体泄漏之前的烟压数据及锅炉11发生液体泄漏之后的烟压数据。设定时间段可根据当前时刻距离锅炉11发生液体泄漏的时间间隔进行灵活确定。例如,监测节点13可在锅炉11发生液体泄漏的情况下,获取当前时刻之前10h(10小时)内,多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。在本实施例中,不限定压强计的采样周期。压强计的采样周期可与流量计的采样周期相同。为了提高锅炉的安全性,压强计的采样周期不宜过长。可选地,压强计的采样周期可为5s、10s等等。

[0079] 可选地,如图1d所示,监测节点13可部署实时泄漏预警模型和泄漏定位模型。图1d中历史生产数据库可存储数据采集设备采集的数据。在本申请实施例中,数据采集设备主要包括上述流量计和压强计。相应地,历史生产数据库中存储有流量计采集的历史总液体流量和历史蒸汽流量,以及,压强计采集的烟压序列。前端界面是指部署于上述显示节点14的前端界面,用于显示锅炉11的实时健康状况。在图1d中,实时泄漏预警模型用于实现上述锅炉健康状况实时监测,以及,在监测到锅炉存在泄漏的情况下,触发泄漏定位模型运行,以定义锅炉11泄漏位置。在一些实施例中,由于停机维修时间是由技术人员根据液体损耗量决定的,为了提高泄漏定位的准确度,对于泄漏定位模型来说,可按照设定的调度周期,周期性地调度多个烟压测点的压强计实时采集的烟压序列,并利用当前调度周期调度到的烟压序列,进行泄露定位,直至停机维修。其中,泄漏定位模型在每个调度周期调度到的烟压序列,可包括:多个烟压测点的压强计在当前调度周期采集到的烟压序列及在当前调度周期之前设定时间段内的烟压序列。在本申请实施例中,不限定调度周期的具体取值。可选地,调度周期大于压强计的采样周期,可为分钟量级,例如3min、5min、8min等等。

[0080] 进一步,监测节点13可对调度到的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点。

[0081] 其中,监测节点13对调度到的每个烟压测点对应的烟压序列进行变点检测的方式

相同。下面以监测节点13中的第j个烟压测点为例,进行示例性说明。其中, $j=1,2,\dots,k$, k 表示烟压测点的总数量。第j个烟压测点为上述多个烟压测点中的任一烟压测点。

[0082] 针对第j个烟压测点,监测节点13可利用PELT(Pruned Exact Linear Time)算法对当前调用周期调度到的第j个烟压测点的烟压序列进行变点检测,以确定第j个烟压测点对应烟压序列中的烟压变点。烟压测点为所述多个烟压测点中的任一烟压测点。其中,第j个烟压测点对应的烟压序列可为第j个烟压测点安装的压强计在当前调度周期采集到的烟压序列。下面对PELT算法原理进行说明:

[0083] 对于任一时间序列 $y_{1:n} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$,假设其变点为 $\tau_{1:m} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m)$;

[0084] 该算法目标是最小化:

$$[0085] \quad \sum_{i=1}^{m+1} [C(y_{(\tau_{i-1}+1):\tau_i}) + \beta] \quad (2)$$

[0086] 其中, C 表示损失函数, β 表示防止过拟合的惩罚系数。其中,损失函数可表示为:

$$[0087] \quad C(y_{(t+1):s}) = -\max_{\theta} \sum_{i=t+1}^s \log f(y_i | \theta) \quad (3)$$

[0088] 其中, $f(y_i | \theta)$ 表示独立同分布的密度函数。

[0089] 对于时间序列 $y_{1:s}$,设变点集合为 $T_s = \{\tau: 0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_m < \tau_{m+1} = s\}$,令:

$$[0090] \quad F(s) = \min_{\tau \in T_s} \left\{ \sum_{i=1}^{m+1} [C(y_{(\tau_{i-1}+1):\tau_i}) + \beta] \right\} \\ = \min_t \{F(t) + C(y_{(t+1):n}) + \beta\} \quad (4)$$

[0091] 因此,最小化 $y_{1:s}$ 的损失可以通过递归求最小化 $y_{1:t}$ 的损失来求解,其中, $t < s$, $s = 1, 2, \dots, n$ 。最终即可求出时间序列 $y_{1:n} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ 中的一系列变点。在本实施例中, $y_{1:n} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ 时间序列为烟压测点的烟压序列。

[0092] 在本申请实施例中,为了降低计算量,提高定位效率,可对当前调用周期内的烟压数据进行降采样。可选地,可按照第三采样周期 T_3 对当前调度周期内的每个烟压测点对应的烟压序列进行降采样。在本实施例中,第三采样周期小于压强计的采样周期,不限定第三采样周期 T_3 的具体取值。可选地,第三采样周期 T_3 可为30s、1min、2min等等。

[0093] 进一步,为了避免降采样后的烟压序列中的噪声干扰,可对降采样后的烟压序列进行平滑处理,以得到平滑处理后的烟压序列。其中,平滑处理后的烟压序列可表示为:

$$[0094] \quad f^j(t_1:t_{\text{stop}}) = \{f^j(t_1), f^j(t_{1+1}), \dots, f^j(t_i), f^j(t_{i+1}), \dots, f^j(t_{\text{stop}})\} \quad (5)$$

[0095] 在式(5)中, $t_{i+1} - t_i = T_3$, $1 \leq j \leq k$, k 为烟压测点的总数量, j 表示第j个烟压测点,即烟压测点的编号。其中,式(5)仅以当前时刻为停机维修时刻 t_{stop} 为例进行示例性说明, t_1 为距离 t_{stop} 设定时间段的采集时间。

[0096] 值得说明的是,下述各烟压测点对应的烟压序列可为降采样和平滑处理后的烟压序列,也可为未进行降采样和平滑处理的烟压序列。

[0097] 进一步,监测节点13可基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间。下面仍以第j个烟压测点为例,对确定烟压序列的正常样本区间和异常样本区间的具体实施方式,进行示例性

说明。

[0098] 可选地,可对第j个烟压测点对应的烟压序列进行寻峰,以确定第j个烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值。其中,烟压峰值对应的时间分别为: $p_1^j, p_2^j, \dots, p_{h_j}^j$, h_j 表示第j个烟压测点对应的烟压序列存在的烟压峰总数量。

[0099] 进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值中,确定最大烟压峰值,并从第j个烟压测点对应的烟压序列中的烟压变点中,获取采集时间与最大烟压峰值对应的采集时间相邻的第一烟压变点和第二烟压变点。其中,最大烟压峰值的采集时间为 p^j ;第一烟压变点和第二烟压变点的采集时间分别为: τ_a^j 和 τ_{a+1}^j ,其中, $\tau_a^j \leq p^j \leq \tau_{a+1}^j$,且

$$[0100] \quad p^j = \operatorname{argmax}_{t \in \{p_1^j, p_2^j, \dots, p_{h_j}^j\}} f^j(t) \quad (6)。$$

[0101] 进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中,获取第一烟压变点至第二烟压变点的采集时间段内采集的烟压,作为第j个烟压测点对应的烟压序列的异常样本区间,即 $[\tau_a^j, \tau_{a+1}^j]$ 对应的烟压序列为异常样本区间。

[0102] 进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中,从所述第j个烟压测点对应的烟压序列中,获取采集时间位于所述第一烟压变点之前,且与第一烟压变点的时间间隔为设定的时间间隔 ΔT 的第一烟压数据。可选地,设定的时间间隔可为30min、40min、1h、1.5h等,但不限于此。其中,第一烟压数据对应的采集时间可表示为:

$$[0103] \quad t_e = \tau_a^j - \Delta T \quad (7)$$

[0104] 进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中,选择采集时间位于指定烟压数据和第一烟压数据的采集时间段的烟压序列,作为第j个烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间;其中,指定烟压数据的采集时间位于第一烟压数据之前。可选地,指定烟压数据可为第j个烟压测点对应的烟压序列中采集最早的烟压数据,即采集时间下界 t_1 对应的烟压数据。相应地,正常样本区间为采集时间位于 $[t_1, t_e]$ 的烟压序列。

[0105] 在本申请实施例中,上述划分各烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间,采用离线变点检测算法,不再依赖于人工经验,有助于提高样本区间划分的准确性,进而有利于后续基于正常样本区间和异常样本区间中的烟压数据进行泄漏定位的准确度。

[0106] 进一步,监测节点13可利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数。

[0107] 可选地,针对第j个烟压测点,监测节点13可利用第j个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算第j个烟压测点的至少一种特征参数值;并对第j个烟压测点的至少一种特征参数值进行加权求和,以得到第j个烟压测点的异常指数。

[0108] 在本申请实施例中,监测节点在计算第j个烟压测点的至少一种特征参数值,包括执行以下至少一种计算方式:

[0109] 计算方式1:计算第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的均方根的相对变化比例。

[0110] 其中,假设第j个烟压测点的异常样本区间的的数据长度为M;正常样本区间长度为N。第j个烟压测点的异常样本的均值为:

$$[0111] \quad f_{mean-M}^j = \frac{1}{M} \sum_{t=\tau_a^j}^{\tau_{a+1}^j} f^j(t) \quad (8);$$

$$[0112] \quad \text{正常样本的均值为: } f_{mean-N}^j = \frac{1}{N} \sum_{t=t_l}^{t_e} f^j(t) \quad (9)。$$

[0113] 进一步,第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的均方根的相对变化比例,可表示为:

$$[0114] \quad r_{rms}^j = \left| \frac{\left(\sqrt{\frac{\sum_{t=\tau_a^j}^{\tau_{a+1}^j} [f^j(t)]^2}{M}} - \sqrt{\frac{\sum_{t=t_l}^{t_e} [f^j(t)]^2}{N}} \right)}{\sqrt{\frac{\sum_{t=t_l}^{t_e} [f^j(t)]^2}{N}}} \right| \quad (10)$$

[0115] 计算方式2:计算所述第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的标准差变化量。其中,可采用下述公式(11)计算标准差变化量:

$$[0116] \quad r_{std}^j = \left| \sqrt{\frac{\sum_{t=\tau_a^j}^{\tau_{a+1}^j} [f^j(t) - f_{mean-M}^j]^2}{M-1}} - \sqrt{\frac{\sum_{t=t_l}^{t_e} [f^j(t) - f_{mean-N}^j]^2}{N-1}} \right| \quad (11)$$

[0117] 计算方式3:计算所述第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压之间的动态时间规整(Dynamic Time Warping,DTW)距离。

[0118] 其中,DTW距离的计算原理如下:

[0119] 两个时间序列 $Q = [q_1, q_2, \dots, q_n]$ 和 $C = [c_1, c_2, \dots, c_m]$,其长度分别为n和m;那么DTW距离的计算方法如下:

[0120] 1) 第一步:构建大小为 $n \times m$ 的矩阵D,矩阵元素 $d_{ij} = \text{dist}(q_i, c_j)$,其中dist表示距离计算函数,通常采用欧几里得距离。

[0121] 2) 第二步:在矩阵D中采用动态规划方法搜索从 d_{11} 到 d_{nm} 的最短路径,在 d_{ij} 位置,路径搜索方向可选择向上、向右或者向斜右上方。

[0122] 3) 第三步:将矩阵D中搜索从 d_{11} 到 d_{nm} 的最短路径作为Q和C序列的相似程度。

[0123] 4) 总的计算公式如下:

$$[0124] \quad D(i, j) = \text{dist}(i, j) + \min[D(i-1, j), D(i, j-1), D(i-1, k-1)] \quad (12)$$

[0125] 在本申请实施例中,Q和C分别表示正常样本区间中烟压序列和异常样本中的烟压序列。由上述DTW距离计算方法可计算出正常样本区间和异常样本区间的DTW距离 r_{DTW}^j 。

[0126] 计算方式4:对第j个烟压测点对应的异常样本区间的烟压进行寻谷,以确定第j个烟压测点对应的异常样本区间的烟压波谷。其中,烟压波谷对应的采集时间标记为 v^j ,且 v^j

满足下式:

$$[0127] \quad \tau_a^j \leq v^j \leq p^j \leq \tau_{a+1}^j \quad (13)$$

[0128] 若不存在符合上述式(13)限制的特征谷 v^j ,则定义 v^j 为 $f^j(t)$ 区间 $[\tau_a^j, \tau_{a+1}^j]$ 内最小值所在的位置:

$$[0129] \quad v^j = \underset{t \in \{\tau_a^j, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots, \tau_{a+1}^j\}}{\operatorname{argmin}} f^j(t) \quad (14)$$

[0130] 进一步,可计算第 j 个烟压测点对应的异常样本区间中最大烟压峰值与烟压波谷的相对变化量。计算公式可表示为:

$$[0131] \quad r_{pp}^j = \left| \frac{f^j(t_{pj}) - f^j(t_{vj})}{f^j(t_{vj})} \right| \quad (15)$$

[0132] 计算方式5:从第 j 个烟压测点对应的烟压序列中,确定采集时间位于所述锅炉发生泄漏之后的烟压,且超过第 j 个烟压测点对应的正常样本区间的烟压均值设定比例的目标烟压。其中,设定比例可为90%、100%等,但不限于此。进一步,可计算目标烟压的最小值的采集时间与锅炉发生泄漏之间的时间间隔,作为第 j 个烟压测点对锅炉泄漏的响应时间。其计算公式可表示为:

$$[0133] \quad r_{rt}^j = \underset{t \in \{\mu_1, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots, t_h\}}{\operatorname{argmin}} \left(\left| \frac{f^j(t) - f_{mean-N}^j}{f_{mean-N}^j} \right| > 100\% \right) \quad (16)$$

[0134] 其中,式(16)中仅以设定比例为100%进行示出,但不限于此。

[0135] 计算方式6:计算第 j 个烟压测点对应的烟压序列从锅炉发生泄漏至达到第 j 个烟压测点对应的异常样本区间中最大烟压峰值之间的时间间隔,其计算公式可表示为:

$$[0136] \quad r_{pt}^j = p^j - \mu_1 \quad (17)$$

[0137] 其中, μ_1 表示锅炉发生泄漏的时间。

[0138] 在计算方式6中,可以上述监测节点13在停机维修之前,首次在线检测出的变点的采集时间,作为锅炉发生泄漏时间。或者,监测节点13也可获取与多个烟压测点的压强计采集的烟压序列处于相同采集时间段的液体损耗量序列。可选地,可对液体损耗量序列进行降采样和平滑处理,其中降采样和平滑处理过程可参见上述实施例的相关内容,在此不再赘述。其中,降采样和平滑处理后的液体损耗量序列可表示为:

$$[0139] \quad g(t_1:t_{stop}) = \{g(t_1), g(t_{1+1}), \dots, g(t_i), g(t_{i+1}), \dots, g(t_{stop})\} \quad (18)$$

[0140] 在式(18)中仅以当前时刻为锅炉停机维修时刻为例进行示出,但不限于此。

[0141] 进一步,可对液体损耗量序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点,得到液体损耗序列中的变点为: $\mu_{1:m} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$ 。其中, m 表示液体损耗序列中变点总数。可选地,可采用PELT算法对液体损耗序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点。在本实施例中,上述式(2)、(3)和(4)中的时间序列 $y_{1:n}$ 为液体损耗序列。其中,PELT算法进行变点检测为离线变点检测,有助于提高变点检测的准确度。

[0142] 进一步,可将液体损耗量序列中的变点中采集时间最早的变点的采集时间,作为锅炉发生泄漏的时间。

[0143] 进一步,可按照第j个烟压测点的至少一种特征参数值在多个烟压测点的相同属性的特征参数中的排序,确定第j个烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数。例如,对于计算方式1-4计算出的烟压测点的特征参数值 $r_{rms}^j, r_{std}^j, r_{DTW}^j, r_{pp}^j, j=1,2,\dots,k$,k表示烟压测点的总数量,对于这4种特征参数,相同属性的特征参数值越大,表明异常指数越高。相应地,针对计算方式1-4计算中的任一特征参数值,可对k个烟压测点的特征参数值按照从小到大的顺序进行排序,并将烟压测点在该排序中的占位作为该烟压测点的异常指数。例如,可将特征参数值最大的烟压测点的特征参数值的异常指数赋值为k,将特征参数值最小的烟压测点的特征参数值的异常指数赋值为1等等。例如,针对计算方式1计算出的烟压测点的特征参数值 r_{rms}^j ,按照 r_{rms}^j 的大小对k个烟压测点进行排序,其中,烟压测点的 r_{rms}^j 越大,排序越靠前,该烟压测点的 r_{rms}^j 异常指数越大。按照上述方式,得到计算方式1-4计算出的第j个烟压测点的特征参数值 $r_{rms}^j, r_{std}^j, r_{DTW}^j, r_{pp}^j$ 的异常指数分别表示为:

$$s_{rms}^j, s_{std}^j, s_{DTW}^j, s_{pp}^j。$$

[0144] 又例如,对于计算方式5和6计算出的烟压测点的特征参数值 $r_{rt}^j, r_{pt}^j, j=1,2,\dots,k$,k表示烟压测点的总数量,对于这2种特征参数,相同属性的特征参数值越大,表明异常指数越低。相应地,针对计算方式5和6计算中的任一特征参数值,可对k个烟压测点的特征参数值按照从大到小的顺序进行排序,并将烟压测点在该排序中的占位作为该烟压测点的异常指数。例如,可将特征参数值最大的烟压测点的特征参数值的异常指数赋值为1,将特征参数值最小的烟压测点的特征参数值的异常指数赋值为k等等。按照上述方式,得到计算方式5和6计算出的第j个烟压测点的特征参数值 r_{rt}^j, r_{pt}^j 的异常指数分别表示为: s_{rt}^j, s_{pt}^j 。

[0145] 进一步,可对第j个烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数进行加权求和,以得到第j个烟压测点的异常指数。计算公式可表示为:

$$score^j = \omega_1 s_{rms}^j + \omega_2 s_{std}^j + \omega_3 s_{DTW}^j + \omega_4 s_{pp}^j + \omega_5 s_{rt}^j + \omega_6 s_{pt}^j \quad (19)$$

[0147] 在本申请实施例中,各特征参数的权重可根据实际情况进行灵活设置。可选地, $\omega_i=1, i=1,2,\dots,6$ 。其中,烟压测点的异常指数越大,该烟压测点发生泄漏的风险越高。

[0148] 进一步,根据多个烟压测点的异常指数的大小,确定多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于多个烟压测点发生泄漏的风险顺序定位发生泄漏的烟压测点。可选地,监测节点13可按照多个烟压测点的异常指数的从大到小的顺序,对所述多个烟压测点进行排序,以得到所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序。

[0149] 上述烟压测点的异常指数的计算方式对比了锅炉11泄漏前后的烟压数据,即对比了锅炉11正常运行时的烟压数据和发生泄漏后的烟压数据,充分利用了历史数据中蕴含的特征信息,可提高异常指数计算的准确度。另一方面,采用多种特征参数来确定烟压测点发生泄漏的可能性,有助于提高泄漏定位方法的鲁棒性。

[0150] 进一步,监测节点13还可多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,提供给显示节点14。

显示节点14可按照多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,展示所述多个烟压测点。其中,排序靠前的烟压测点发生泄漏的风险顺序越高,这样,维修人员按照风险顺序对多个烟压测点检修,以快速定位发生泄漏的烟压测点。

[0151] 在本申请实施例中,利用锅炉现有的压强计对锅炉进行泄漏定位,无需增加额外的传感器,有助于降低泄漏定位成本。另一方面,由于烟压数据的响应时间较短,可及时获取烟压测点的特征参数,有助于提高泄漏定位的及时性和时间灵敏度。

[0152] 本申请实施例除了提供监测系统之外,还提供锅炉。下面对本申请实施例提供的锅炉进行示例性说明。

[0153] 本实施例提供的锅炉包括:安装于锅炉内的流量计及监测模块。在本实施例中,锅炉内安装有多个流量计。多个是指2个或2个以上。多个流量计分别用于采集锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量。其中,关于流量计的设置位置和采集数据方式可参见上述实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0154] 在本实施例中,关于监测模块的实现形态可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。在本实施例中,监测模块可设置于锅炉上。为了防止锅炉高温高腐蚀等环境对监测模块造成损伤,锅炉还可设置针对监测模块的防高温防腐蚀的保护装置。在本实施例中,监测模块与流量计进行通信。

[0155] 在本实施例中,监测模块可获取流量计采集的实时总液体流量和实时蒸汽流量;并根据实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定锅炉的实时液体损耗量。进一步,监测模块还可获取锅炉的历史液体损耗量。其中,锅炉的历史液体损耗量是指位于当前时刻之前的液体损耗量,即监测模块在确定实时液体损耗量之前所获取的锅炉的液体损耗量。在本申请实施例中,锅炉的历史液体损耗量为距离实时液体损耗量的采集时间最近时间段内的液体损耗量。

[0156] 进一步,监测模块可对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。在本申请实施例中,不限定对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测的具体实施方式。

[0157] 在一些实施例中监测模块可利用神经网络模型对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。然而,由于锅炉出现泄漏等异常情况,为小概率事件,而神经网络模型在训练阶段需要大量的异常样本,因此,对神经网络模型进行训练可能存在异常液体损耗量样本不足,导致训练出的神经网络模型进行变点检测的准确率较低。另一方面,由于神经网络模型结构复杂,计算量大,导致变点检测效率低,进而导致锅炉泄漏实时检测灵敏度较低。

[0158] 为了解决上述问题,在一些实施例中,监测模块可采用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。确切地说,监测模块可采用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,以判断实时液体损耗量是否为变点。其中,利用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,无需大量的异常样本,有助于提高变点检测的准确度。另一方面,利用概率统计方法进行变点检测,无需积累大量变点接口检测出变点,有助于及时检测出锅炉泄漏,提高锅炉泄漏实时检测的灵敏度。

[0159] 可选地,可采用贝叶斯变点检测算法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量

进行变点检测。相应地,监测模块可利用贝叶斯变点检测模型对监测模块的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。关于贝叶斯变点检测算法的原理,及利用贝叶斯变点检测模型对监测模块的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测的具体实施方式,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0160] 在一些实施例中,流量计的采样周期较短,历史液体损耗量对应的时间跨度较长,导致历史液体损耗量的数据量较大。为了提高变点检测效率,可对历史液体损耗量进行降采样。相应地,监测模块可按照设定的第二采样周期 T_2 ,对锅炉的历史液体损耗量进行降采样。其中,第二采样周期 T_2 大于第一采样周期 T_1 , $T_2 > T_1$ 。其中,关于第二采样周期 T_2 的取值可参见上述实施例的相关内容,在不再赘述。

[0161] 进一步,监测模块可采用概率统计方法对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。可选地,为了避免液体损耗量中的噪声干扰,可对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理,以得到平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量。

[0162] 可选地,可采用指数加权的移动窗口函数对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理。具体计算公式可参见上述系统实施例。

[0163] 进一步,监测模块可采用概率统计方法对平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测。可选地,可采用贝叶斯变点检测算法对平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测,具体实施方式可参见上述采用贝叶斯变点检测模型对历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测的相关内容,在此不再赘述。

[0164] 进一步,监测模块可根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。可选地,若变点检测结果为实时液体损耗量为变点,则确定当前锅炉发生液体泄漏。

[0165] 进一步,为了使技术人员直观地了解锅炉的健康状况,锅炉上还可设置显示模块。关于显示模块的实现形态,可参见上述系统实施例中显示节点的相关内容,在此不再赘述。为了防止锅炉高温、高腐蚀等环境对监测模块造成损伤,锅炉还可设置针对监测模块的防高温、防腐蚀以及防尘灯的保护装置。

[0166] 在本实施例中,显示模块与监测模块可位于同一物理机,也可位于不同的物理机。物理机之间的通信方式,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0167] 相应地,监测模块可将当前锅炉的健康状况提供给显示模块。显示模块可显示当前锅炉的健康状况。关于显示模块显示当前锅炉的健康状况的具体实施方式,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0168] 在又一些实施例中,监测模块还可在当前锅炉发生泄漏的情况下,输出泄漏报警信息。关于监测模块输出泄漏报警信息的具体实施方式,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0169] 在一些实施例中,监测模块还可计算锅炉的实时液体损耗量的损耗速度;并将锅炉的实时液体损耗量的损耗速度提供给显示模块。相应地,显示模块可显示锅炉的实时液体损耗量的损耗速度,这样,可使技术人员对锅炉的实时液体损耗量的损耗速度有直观地了解,可为技术人员判断锅炉是否发生泄漏提供参考信息。

[0170] 在另一些实施例中,锅炉还可包括:设置于锅炉内的液位计;该液位计可用于采集

锅炉的液位。

[0171] 针对监测模块,可在锅炉的液位低于设定的第一液位阈值的情况下,控制锅炉的进水口开启;并在锅炉的液位达到设定的第二液位阈值的情况下,控制锅炉的进水口关闭;其中,所述第二液位阈值大于所述第一液位阈值。

[0172] 和/或,监测模块可在锅炉的液位低于设定的第一液位阈值的情况下,输出缺水提示信息,以提示锅炉的管理人员进行补水;并在在锅炉的液位达到设定的第二液位阈值的情况下,输出满液位提示信息,以提示锅炉的管理人员停止补水;等等。

[0173] 在本申请实施例中,显示模块显示锅炉的实时健康状况,可使技术人员对锅炉的实时健康状况有直观地了解,有助于提高检修的及时性。可选地,技术人员可根据实时液体损耗量决定停机维修时间。

[0174] 为了提高检修效率,本申请实施例提供的监测系统还可进行泄漏定位。在本申请实施例中,为了降低泄漏定位成本,可使用锅炉内现有的多个压强计进行泄漏定位。多个是指2个或2个以上。关于多个压强计的分布位置的描述,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0175] 在本申请实施例中,监测模块可在锅炉发生液体泄漏的情况下,获取在锅炉维修之前多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。可选地,监测模块可在上述监测出变点的情况下,确定锅炉存在液体泄漏。监测模块可在锅炉发生液体泄漏的情况下,获取当前时刻之前设定时间段内多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。其中,当前时刻为停机维修前的任意时刻。设定时间段内的烟压序列可包括:锅炉发生液体泄漏之前的烟压数据及锅炉发生液体泄漏之后的烟压数据。设定时间段可根据当前时刻距离锅炉发生液体泄漏的时间间隔进行灵活确定。

[0176] 可选地,监测模块可按照设定的调度周期,周期性地调度多个烟压测点的压强计实时采集的烟压序列,并利用当前调度周期调度到的烟压序列,进行泄露定位,直至停机维修。其中,泄漏定位模型在每个调度周期调度到的烟压序列,可包括:多个烟压测点的压强计在当前调度周期采集到的烟压序列及在当前调度周期之前设定时间段内的烟压序列。

[0177] 进一步,监测模块可对调度到的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点。关于对调度到的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测的具体实施方式,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0178] 进一步,监测模块可基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间。关于确定烟压序列的正常样本区间和异常样本区间的实施方式,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0179] 在本申请实施例中,划分各烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间,采用离线变点检测算法,不再依赖于人工经验,有助于提高样本区间划分的准确性,进而有利于后续基于正常样本区间和异常样本区间中的烟压数据进行泄漏定位的准确度。

[0180] 进一步,监测模块可利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数。

[0181] 可选地,针对第j个烟压测点,监测模块可利用第j个烟压测点对应的正常样本区

间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算第j个烟压测点的至少一种特征参数值;并对第j个烟压测点的至少一种特征参数值进行加权求和,以得到第j个烟压测点的异常指数。

[0182] 在本申请实施例中,监测模块在计算第j个烟压测点的至少一种特征参数值的具体实施方式可参见上述计算方式1-6,在此不再赘述。

[0183] 进一步,可对液体损耗量序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点,得到液体损耗序列中的变点为: $\mu_{1:m} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$ 。其中,m表示液体损耗序列中变点总数。可选地,可采用PELT算法对液体损耗序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点。其中,PELT算法进行变点检测为离线变点检测,有助于提高变点检测的准确度。

[0184] 进一步,可将液体损耗量序列中的变点中采集时间最早的变点的采集时间,作为锅炉发生泄漏的时间。

[0185] 进一步,可按照第j个烟压测点的至少一种特征参数值在多个烟压测点的相同属性的特征参数中的排序,确定第j个烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数。进一步,可对第j个烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数进行加权求和,以得到第j个烟压测点的异常指数。在本申请实施例中,各特征参数的权重可根据实际情况进行灵活设置。其中,烟压测点的异常指数越大,该烟压测点发生泄漏的风险越高。

[0186] 进一步,可根据多个烟压测点的异常指数的大小,确定多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于多个烟压测点发生泄漏的风险顺序定位发生泄漏的烟压测点。可选地,监测模块可按照多个烟压测点的异常指数的从大到小的顺序,对所述多个烟压测点进行排序,以得到所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序。

[0187] 上述烟压测点的异常指数的计算方式对比了锅炉泄漏前后的烟压数据,即对比了锅炉正常运行时的烟压数据和发生泄漏后的烟压数据,充分利用了历史数据中蕴含的特征信息,可提高异常指数计算的准确度。另一方面,采用多种特征参数来确定烟压测点发生泄漏的可能性,有助于提高泄漏定位方法的鲁棒性。

[0188] 进一步,监测模块还可多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,提供给显示模块。显示模块可按照多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,展示所述多个烟压测点。其中,排序靠前的烟压测点发生泄漏的风险顺序越高,这样,维修人员按照风险顺序对多个烟压测点检修,以快速定位发生泄漏的烟压测点。

[0189] 在本申请实施例中,利用锅炉现有的压强计对锅炉进行泄漏定位,无需增加额外的传感器,有助于降低泄漏定位成本。另一方面,由于烟压数据的响应时间较短,可及时获取烟压测点的特征参数,有助于提高泄漏定位的及时性和时间灵敏度。

[0190] 除了上述监测系统和锅炉之外,本申请实施例还提供监测方法和泄漏定位方法,下面结合具体实施例进行示例性说明。

[0191] 图2为本申请实施例提供的监测方法的流程示意图。如图2所示,该方法包括:

[0192] 201、获取锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量。

[0193] 202、根据实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定锅炉的实时液体损耗量。

[0194] 203、对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。

[0195] 204、根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。

[0196] 在本实施例中,关于锅炉内安装有多个流量计。多个是指2个或2个以上。多个流量计分别用于采集锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量。可选地,多个流量计可按照设定

的采样周期 T_1 ，周期性地采集锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量。关于 T_1 可参见系统实施例的相关内容，在此不再赘述。相应地，针对监测设备，在步骤201中，可获取锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量。

[0197] 在步骤202中，可根据实时总液体流量和实时蒸汽流量，确定锅炉的实时液体损耗量。进一步，还可获取锅炉的历史液体损耗量。其中，关于历史液体损耗量的描述，可参见上述系统实施例的相关内容，在此不再赘述。

[0198] 进一步，在步骤203中，可对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。在本实施例中，不限定对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测的具体实施方式。

[0199] 可选地，步骤203的一种可选实施方式为：可利用神经网络模型对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。然而，由于锅炉出现泄漏等异常情况，为小概率事件，而神经网络模型在训练阶段需要大量的异常样本，因此，对神经网络模型进行训练可能存在异常液体损耗量样本不足，导致训练出的神经网络模型进行变点检测的准确率较低。另一方面，由于神经网络模型结构复杂，计算量大，导致变点检测效率低，进而导致锅炉泄漏实时检测灵敏度较低。

[0200] 为了解决上述问题，在一些实施例中，可采用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。确切地说，可采用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测，以判断实时液体损耗量是否为变点。其中，利用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测，无需大量的异常样本，有助于提高变点检测的准确度。另一方面，利用概率统计方法进行变点检测，无需积累大量变点接口检测出变点，有助于及时检测出锅炉泄漏，提高锅炉泄漏实时检测的灵敏度。

[0201] 可选地，可采用贝叶斯变点检测算法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。相应地，可利用贝叶斯变点检测模型对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。其中，关于贝叶斯变点检测原理可参见上述系统实施例的相关内容，在此不再赘述。

[0202] 目前用于泄漏预警的方法大多依赖阈值的选取，例如上述方式1中设置温度阈值和方式2设置声波阈值等。阈值选的太小，需要在锅炉发生泄漏并积累一段时间之后才能被发现，容易漏报，漏报会错过合适的检修时间；而阈值太大则容易发生误报，误报过多会使得预警失去价值。且阈值的选取依赖于工程经验，针对不同的设备需要设定不同的阈值，预警系统很难取得较好的泛化能力，难以在不同的场景使用，限制了技术的推广。

[0203] 而贝叶斯变点检测算法基于变点间的数据是独立同分布的特征，设置概率阈值，无需为不同设备设置不同的阈值，可适用于各种锅炉场景中，有助于促进预警方法的技术推广。另一方面，贝叶斯变点检测算法只需在锅炉实际出现变点之后积累少量样本点就可以准确检测出该变点，有助于提高对锅炉泄漏检测的及时性和灵敏度，起到预警作用。而且，该算法还可以检测出除阶跃以外其他类型的拐点，可以捕捉到爆管前数十天前水损耗数据分布的微小变化。

[0204] 相应地，可将锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量输入贝叶斯变点检测模型；在贝叶斯变点检测模型中，可利用锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量，计算实时液体损耗量为变点的概率；并根据实时液体损耗量为变点的概率，确定实时液体损耗量是

否为变点。可选地,若实时液体损耗量为变点的概率大于设定的概率阈值 θ ,则确定实时液体损耗量为变点。

[0205] 在一些实施例中,流量计的采样周期较短,历史液体损耗量对应的时间跨度较长,导致历史液体损耗量的数据量较大。为了提高变点检测效率,可对历史液体损耗量进行降采样。相应地,可按照设定的采样周期 T_2 ,对锅炉的历史液体损耗量进行降采样。为了便于描述和区分,在本申请实施例中,将流量计的采样周期定义为第一采样周期 T_1 ,并将降采样采用的采样周期,定义为第二采样周期 T_2 。其中,第二采样周期 T_2 大于第一采样周期 T_1 , $T_2 > T_1$ 。其中,关于第二采样周期 T_2 的取值可参见上述实施例的相关内容,在不再赘述。

[0206] 进一步,可采用概率统计方法对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。可选地,为了避免液体损耗量中的噪声干扰,可对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理,以得到平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量。

[0207] 可选地,可采用指数加权的移动窗口函数对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理。具体计算公式可参见上述系统实施例。

[0208] 进一步,可采用概率统计方法对平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测。可选地,可采用贝叶斯变点检测算法对平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测,具体实施方式可参见上述采用贝叶斯变点检测模型对历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测的相关内容,在此不再赘述。

[0209] 进一步,在步骤204中,可根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。可选地,若变点检测结果为实时液体损耗量为变点,则确定当前锅炉发生液体泄漏。

[0210] 进一步,为了使技术人员直观地了解锅炉的健康状况,还可显示当前锅炉的健康状况。在本申请实施例中,不限定显示当前锅炉的健康状况的具体格式和信息。在一种实施例中,可显示反映锅炉的健康状况随时间的变化关系的数据看板。可选地,反映锅炉的健康状况随时间的变化关系的数据看板可表示为:反映锅炉的实时液体损耗量随时间的变化关系的数据看板,并在存在变点的情况下,以设定的显示格式在数据看板中显示变点。在另一些实施例中,反映锅炉的健康状况随时间的变化关系的数据看板可为图形化看板或列表看板等。

[0211] 或者,可将当前锅炉的健康状况提供给锅炉对应的显示节点进行展示。其中,显示节点展示当前锅炉的健康状况的描述,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0212] 在又一些实施例中,还可在当前锅炉发生泄漏的情况下,输出泄漏报警信息。关于输出泄漏报警信息的具体实施方式可参见上述实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0213] 在一些实施例中,还可计算锅炉的实时液体损耗量的损耗速度;并显示锅炉的实时液体损耗量的损耗速度,这样,可使技术人员对锅炉的实时液体损耗量的损耗速度有直观地了解,可为技术人员判断锅炉是否发生泄漏提供参考信息。

[0214] 在另一些实施例中,锅炉还可包括:设置于锅炉内的液位计;该液位计可用于采集锅炉的液位。相应地,可在锅炉的液位低于设定的第一液位阈值的情况下,控制锅炉的进水口开启;并在锅炉的液位达到设定的第二液位阈值的情况下,控制锅炉的进水口关闭;其中,所述第二液位阈值大于所述第一液位阈值。

[0215] 和/或,在锅炉的液位低于设定的第一液位阈值的情况下,输出缺水提示信息,以提示锅炉的管理人员进行补水;并在在锅炉的液位达到设定的第二液位阈值的情况下,输出满液位提示信息,以提示锅炉的管理人员停止补水;等等。

[0216] 在本申请实施例中,可显示锅炉的实时健康状况,可使技术人员对锅炉的实时健康状况有直观地了解,有助于提高检修的及时性。可选地,技术人员可根据实时液体损耗量决定停机维修时间。

[0217] 为了提高检修效率,本申请实施例提供的监测系统还可进行泄漏定位。在本申请实施例中,为了降低泄漏定位成本,可使用锅炉内现有的多个压强计进行泄漏定位。多个是指2个或2个以上。关于多个压强计的分布位置的描述,可参见上述系统实施例的相关内容,在此不再赘述。下面对本申请实施例提供的泄漏定位方法进行示例性说明。

[0218] 图3为本申请实施例提供的泄漏定位方法的流程示意图。如图3所示,该方法包括:

[0219] 301、在锅炉存在液体泄漏的情况下,获取在锅炉维修之前分布于锅炉内的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。

[0220] 其中,多个烟压测点的压强计采集的烟压序列包括:多个烟压测点的压强计采集到的在锅炉存在液体泄漏前后的烟压数据。

[0221] 302、对多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点。

[0222] 303、基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间。

[0223] 304、利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数。

[0224] 305、根据多个烟压测点的异常指数的大小,确定多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于风险顺序进行泄漏定位。

[0225] 在本申请实施例中,在步骤301中,可在锅炉发生液体泄漏的情况下,获取在锅炉维修之前多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。其中,多个烟压测点的压强计采集的烟压序列包括:多个烟压测点的压强计采集到的在锅炉存在液体泄漏前后的烟压数据。

[0226] 可选地,可在上述监测出变点的情况下,确定锅炉存在液体泄漏。可在锅炉发生液体泄漏的情况下,获取当前时刻之前设定时间段内多个烟压测点的压强计采集的烟压序列。其中,当前时刻为停机维修前的任意时刻。设定时间段内的烟压序列可包括:锅炉发生液体泄漏之前的烟压数据及锅炉发生液体泄漏之后的烟压数据。设定时间段可根据当前时刻距离锅炉发生液体泄漏的时间间隔进行灵活确定。

[0227] 可选地,可按照设定的调度周期,周期性地调度多个烟压测点的压强计实时采集的烟压序列,并利用当前调度周期调度到的烟压序列,进行泄露定位,直至停机维修。其中,泄漏定位模型在每个调度周期调度到的烟压序列,可包括:多个烟压测点的压强计在当前调度周期采集到的烟压序列及在当前调度周期之前设定时间段内的烟压序列。进一步,在步骤302中,可对调度到的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点。

[0228] 其中,对调度到的每个烟压测点对应的烟压序列进行变点检测的方式相同。下面第j个烟压测点为例,进行示例性说明。其中, $j=1,2,\dots,k$,k表示烟压测点的总数量。第j

个烟压测点为上述多个烟压测点中的任一烟压测点。

[0229] 针对第j个烟压测点,可利用PELT算法对当前调用周期调度到的第j个烟压测点的烟压序列进行变点检测,以确定第j个烟压测点对应烟压序列中的烟压变点。烟压测点为多个烟压测点中的任一烟压测点。其中,第j个烟压测点对应的烟压序列可为第j个烟压测点安装的压强计在当前调度周期采集到的烟压序列。关于PELT算法原理可参见上述系统实施例的相关内容。

[0230] 在本申请实施例中,为了降低计算量,提高定位效率,可对当前调用周期内的烟压数据进行降采样。可选地,可按照第三采样周期 T_3 对当前调度周期内的每个烟压测点对应的烟压序列进行降采样。在本实施例中,第三采样周期小于压强计的采样周期。可选地,进一步,为了避免降采样后的烟压序列中的噪声干扰,可对降采样后的烟压序列进行平滑处理,以得到平滑处理后的烟压序列。值得说明的是,下述各烟压测点对应的烟压序列可为降采样和平滑处理后的烟压序列,也可为未进行降采样和平滑处理的烟压序列。

[0231] 进一步,在步骤303中,可基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间。下面仍以第j个烟压测点为例,对确定烟压序列的正常样本区间和异常样本区间的具体实施方式,进行示例性说明。

[0232] 可选地,可对第j个烟压测点对应的烟压序列进行寻峰,以确定第j个烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值。进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值中,确定最大烟压峰值,并从第j个烟压测点对应的烟压序列中的烟压变点中,获取采集时间与最大烟压峰值对应的采集时间相邻的第一烟压变点和第二烟压变点。进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中,获取第一烟压变点至第二烟压变点的采集时间段内采集的烟压,作为第j个烟压测点对应的烟压序列的异常样本区间。进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中,从所述第j个烟压测点对应的烟压序列中,获取采集时间位于所述第一烟压变点之前,且与第一烟压变点的时间间隔为设定的时间间隔 ΔT 的第一烟压数据。进一步,可从第j个烟压测点对应的烟压序列中,选择采集时间位于指定烟压数据和第一烟压数据的采集时间段的烟压序列,作为第j个烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间;其中,指定烟压数据的采集时间位于第一烟压数据之前。可选地,指定烟压数据可为第j个烟压测点对应的烟压序列中采集最早的烟压数据,即采集时间下界 t_1 对应的烟压数据。相应地,正常样本区间为采集时间位于 $[t_1, t_e]$ 的烟压序列。

[0233] 在本申请实施例中,上述划分各烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间,采用离线变点检测算法,不再依赖于人工经验,有助于提高样本区间划分的准确性,进而有利于后续基于正常样本区间和异常样本区间中的烟压数据进行泄漏定位的准确度。

[0234] 进一步,在步骤304中,可利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数。

[0235] 可选地,针对第j个烟压测点,可利用第j个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算第j个烟压测点的至少一种特征参数值;并对第j个烟压测点的至少一种特征参数值进行加权求和,以得到第j个烟压测点的异常指数。

[0236] 在本申请实施例中,计算第j个烟压测点的至少一种特征参数值,包括执行以下至

少一种计算方式:

[0237] 计算方式1:计算第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的均方根的相对变化比例。

[0238] 计算方式2:计算所述第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的标准差变化量。

[0239] 计算方式3:计算所述第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压之间的动态时间规整(Dynamic Time Warping,DTW)距离。

[0240] 计算方式4:对第j个烟压测点对应的异常样本区间的烟压进行寻谷,以确定第j个烟压测点对应的异常样本区间的烟压波谷;计算第j个烟压测点对应的异常样本区间中最大烟压峰值与烟压波谷的相对变化量。

[0241] 计算方式5:从第j个烟压测点对应的烟压序列中,确定采集时间位于所述锅炉发生泄漏之后的烟压,且超过第j个烟压测点对应的正常样本区间的烟压均值设定比例的目标烟压。其中,设定比例可为90%、100%等,但不限于此。进一步,可计算目标烟压的最小值的采集时间与锅炉发生泄漏之间的时间间隔,作为第j个烟压测点对锅炉泄漏的响应时间。

[0242] 计算方式6:计算第j个烟压测点对应的烟压序列从锅炉发生泄漏至达到第j个烟压测点对应的异常样本区间中最大烟压峰值之间的时间间隔。

[0243] 在计算方式6中,可以上述在停机维修之前,首次在线检测出的变点的采集时间,作为锅炉发生泄漏时间。或者,也可获取与多个烟压测点的压强计采集的烟压序列处于相同采集时间段的液体损耗量序列。可选地,可对液体损耗量序列进行降采样和平滑处理,其中降采样和平滑处理过程可参见上述实施例的相关内容,在此不再赘述。

[0244] 进一步,可对液体损耗量序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点,得到液体损耗序列中的变点为: $\mu_{1:m} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$ 。其中,m表示液体损耗序列中变点总数。可选地,可采用PELT算法对液体损耗序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点。在本实施例中,上述式(2)、(3)和(4)中的时间序列 $y_{1:n}$ 为液体损耗序列。其中,PELT算法进行变点检测为离线变点检测,有助于提高变点检测的准确度。

[0245] 进一步,可将液体损耗量序列中的变点中采集时间最早的变点的采集时间,作为锅炉发生泄漏的时间。

[0246] 进一步,可按照第j个烟压测点的至少一种特征参数值在多个烟压测点的相同属性的特征参数中的排序,确定第j个烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数;并对第j个烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数进行加权求和,以得到第j个烟压测点的异常指数。

[0247] 在本申请实施例中,各特征参数的权重可根据实际情况进行灵活设置。其中,烟压测点的异常指数越大,该烟压测点发生泄漏的风险越高。

[0248] 进一步,在步骤305中,可根据多个烟压测点的异常指数的大小,确定多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于多个烟压测点发生泄漏的风险顺序定位发生泄漏的烟压测点。可选地,可按照多个烟压测点的异常指数的从大到小的顺序,对所述多个烟压测点进行排序,以得到所述多个烟压测点发生泄漏的风险顺序。

[0249] 上述烟压测点的异常指数的计算方式对比了锅炉泄漏前后的烟压数据,即对比了锅炉正常运行时的烟压数据和发生泄漏后的烟压数据,充分利用了历史数据中蕴含的特征

信息,可提高异常指数计算的准确度。另一方面,采用多种特征参数来确定烟压测点发生泄漏的可能性,有助于提高泄漏定位方法的鲁棒性。

[0250] 进一步,还可按照多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,展示所述多个烟压测点。其中,排序靠前的烟压测点发生泄漏的风险顺序越高,这样,维修人员按照风险顺序对多个烟压测点检修,以快速定位发生泄漏的烟压测点。

[0251] 在本申请实施例中,利用锅炉现有的压强计对锅炉进行泄漏定位,无需增加额外的传感器,有助于降低泄漏定位成本。另一方面,由于烟压数据的响应时间较短,可及时获取烟压测点的特征参数,有助于提高泄漏定位的及时性和时间灵敏度。

[0252] 值得说明的是,上述监测方法和泄漏定位方法可单独实施,也可结合实施。对于计算机设备来说,可只部署上述监测方法或泄漏定位方法,也可部署监测方法和泄漏定位方法两种方法。

[0253] 需要说明的是,上述实施例所提供方法的各步骤的执行主体均可以是同一设备,或者,该方法也由不同设备作为执行主体。比如,步骤301和302的执行主体可以为设备A;又比如,步骤301的执行主体可以为设备A,步骤302的执行主体可以为设备B;等等。

[0254] 另外,在上述实施例及附图中的描述的一些流程中,包含了按照特定顺序出现的多个操作,但是应该清楚了解,这些操作可以不按照其在本文中出现的顺序来执行或并行执行,操作的序号如301、302等,仅仅是用于区分开各个不同的操作,序号本身不代表任何的执行顺序。另外,这些流程可以包括更多或更少的操作,并且这些操作可以按顺序执行或并行执行。

[0255] 相应地,本申请实施例还提供一种存储有计算机指令的计算机可读存储介质,当计算机指令被一个或多个处理器执行时,致使一个或多个处理器执行上述监测方法和/或泄漏定位方法中的步骤。

[0256] 图4为本申请实施例提供的计算机设备的结构示意图。如图4所示,该计算机设备包括:存储器40a和处理器40b;其中,存储器40a,用于存储计算机程序。

[0257] 处理器40b耦合至存储器40a,用于执行计算机程序以用于:获取锅炉的实时总液体流量和实时蒸汽流量;根据实时总液体流量和实时蒸汽流量,确定锅炉的实时液体损耗量;采用概率统计方法对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测;并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况。

[0258] 在一些实施例中,处理器40b在对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测时,具体用于:利用贝叶斯变点检测模型对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。

[0259] 进一步,处理器40b在对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测时,具体用于:将锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量输入贝叶斯变点检测模型;在贝叶斯变点检测模型中,利用锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量,计算实时液体损耗量为变点的概率;并根据实时液体损耗量为变点的概率,确定实时液体损耗量是否为变点。

[0260] 可选地,处理器40b在确定实时液体损耗量对应的采样时刻是否为变点时,具体用于:若实时液体损耗量为变点的概率大于设定的概率阈值,则确定实时液体损耗量为变点。

[0261] 可选地,处理器40b在确定当前锅炉的健康状况时,具体用于:若变点检测结果为实时液体损耗量为变点,则确定当前锅炉发生液体泄漏。

[0262] 在另一些实施例中,处理器40b还用于:在对锅炉的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测之前,按照第一采样周期,对锅炉的历史液体损耗量进行降采样,以得到降采样后的历史液体损耗量;第一采样周期大于锅炉中流量计的采样周期;并采用概率统计方法对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测。

[0263] 可选地,处理器40b在对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测时,具体用于:对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理,以得到平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量;并采用概率统计方法对平滑处理后的历史液体损耗量和平滑处理后的实时液体损耗量进行变点检测。

[0264] 可选地,处理器40b在对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理时,具体用于:采用指数加权的移动窗口函数对降采样后的历史液体损耗量和实时液体损耗量进行平滑处理。

[0265] 在一些实施例中,计算机设备还包括:显示屏40c;处理器40b还用于:在显示屏40c上显示当前锅炉的健康状况。

[0266] 在另一些实施例中,计算机设备还包括:通信组件40d。处理器40b还用于:通过通信组件40d将当前锅炉的健康状况提供给锅炉对应的显示节点进行展示。

[0267] 可选地,处理器40b还用于:在显示屏40c上显示反映锅炉的实时液体损耗量随时间的变化关系的数据看板;并在存在变点的情况下,以设定的显示格式在数据看板中显示变点。

[0268] 本实施例提供的计算机设备,可利用概率统计方法对锅炉现有的流量计采集的锅炉历史液体损耗量和实时液体损耗量进行变点检测,并根据变点检测结果,确定当前锅炉的健康状况,实现了锅炉泄漏的实时监测,且利用概率统计方法进行变点检测,无需积累大量变点即可检测出变点,有助于及时检测出锅炉泄漏,提高锅炉泄漏实时检测的灵敏度。

[0269] 在本申请实施例中,处理器40b还可用于:在锅炉存在液体泄漏的情况下,获取在锅炉维修之前分布于锅炉内的多个烟压测点的压强计采集的烟压序列;多个烟压测点的压强计采集的烟压序列包括:多个烟压测点的压强计采集到的在锅炉存在液体泄漏前后的烟压数据;对多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测,以确定每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点;基于每个烟压测点的压强计采集的烟压序列中的烟压变点,确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间;并利用每个烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算该烟压测点的异常指数;以及,根据多个烟压测点的异常指数的大小,确定多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,以供维修人员基于风险顺序进行泄漏定位。

[0270] 在一些实施例中,处理器40b还用于:按照多个烟压测点发生泄漏的风险顺序,在显示屏40c上展示多个烟压测点,以供维修人员按照风险顺序对多个烟压测点检修。

[0271] 可选地,处理器40b在确定多个烟压测点发生泄漏的风险顺序时,具体用于:按照多个烟压测点的异常指数的从大到小的顺序,对多个烟压测点进行排序,以得到多个烟压测点发生泄漏的风险顺序。

[0272] 在一些实施例中,处理器40b在对多个烟压测点的压强计采集的烟压序列分别进行变点检测时,具体用于:针对第一烟压测点,利用PELT算法对第一烟压测点的烟压序列进行变点检测,以确定第一烟压测点对应烟压序列中的烟压变点;第一烟压测点为多个烟压

测点中的任一烟压测点。

[0273] 可选地,处理器40b在确定该烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间和异常样本区间时,具体用于:针对第一烟压测点,对第一烟压测点对应的烟压序列进行寻峰,以确定第一烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值;从第一烟压测点对应的烟压序列中的烟压峰值中,确定最大烟压峰值;并从第一烟压测点对应的烟压序列中的烟压变点中,获取采集时间与最大烟压峰值对应的采集时间相邻的第一烟压变点和第二烟压变点;以及,从第一烟压测点对应的烟压序列中,获取第一烟压变点至第二烟压变点的采集时间段内采集的烟压,作为第一烟压测点对应的烟压序列的异常样本区间;并从第一烟压测点对应的烟压序列中,获取采集时间位于第一烟压变点之前,且与第一烟压变点的时间间隔为设定的时间间隔的第一烟压数据;以及,从第一烟压测点对应的烟压序列中,选择采集时间位于指定烟压数据和第一烟压数据的采集时间段的烟压序列,作为第一烟压测点对应的烟压序列的正常样本区间;其中,指定烟压数据的采集时间位于第一烟压数据之前。

[0274] 可选地,处理器40b在计算该烟压测点的异常指数时,具体用于:针对第一烟压测点,利用第一烟压测点对应的正常样本区间中的烟压和异常样本区间中的烟压,计算第一烟压测点的至少一种特征参数值;并按照第一烟压测点的至少一种特征参数值在多个烟压测点的相同属性的特征参数中的排序,确定第一烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数;以及,对第一烟压测点的至少一种特征参数值的异常指数进行加权求和,以得到第一烟压测点的异常指数。

[0275] 可选地,处理器40b在计算第一烟压测点的至少一种特征参数值时,具体用于执行以下至少一种计算方式:

[0276] 计算第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的均方根的相对变化比例;

[0277] 计算第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压的标准差变化量;

[0278] 计算第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压和异常样本区间的烟压之间的动态时间规整距离;

[0279] 对第一烟压测点对应的异常样本区间的烟压进行寻谷,以确定第一烟压测点对应的异常样本区间的烟压波谷;计算第一烟压测点对应的异常样本区间中最大烟压峰值与烟压波谷的相对变化量;

[0280] 从第一烟压测点对应的烟压序列中,确定采集时间位于锅炉发生泄漏之后的烟压,且超过第一烟压测点对应的正常样本区间的烟压均值设定比例的目标烟压;计算目标烟压的最小值的采集时间与锅炉发生泄漏之间的时间间隔,作为第一烟压测点对锅炉泄漏的响应时间;

[0281] 计算第一烟压测点对应的烟压序列从锅炉发生泄漏至达到第一烟压测点对应的异常样本区间中最大烟压峰值之间的时间间隔。

[0282] 在一些实施例中,处理器40b还用于:获取与多个烟压测点的压强计采集的烟压序列处于相同采集时间段的液体损耗量序列;对液体损耗量序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点;并将液体损耗量序列中的变点中采集时间最早的变点的采集时间,作为锅炉发生泄漏的时间。

[0283] 可选地,处理器40b在对液体损耗量序列进行变点检测时,具体用于:利用PELT算法对液体损耗序列进行变点检测,以确定液体损耗量序列中的变点。

[0284] 本实施例提供的计算机设备,可利用锅炉现有的压强计对锅炉进行泄漏定位,无需增加额外的传感器,有助于降低泄漏定位成本。另一方面,由于烟压数据的响应时间较短,可及时获取烟压测点的特征参数,有助于提高泄漏定位的及时性和时间灵敏度。

[0285] 在一些可选实施方式中,如图4所示,该计算机设备还可以包括:电源组件40e、音频组件40f等可选组件。图4中仅示意性给出部分组件,并不意味着计算机设备必须包含图4所示全部组件,也不意味着计算机设备只能包括图4所示组件。

[0286] 在本申请实施例中,存储器用于存储计算机程序,并可被配置为存储其它各种数据以支持在其所在设备上的操作。其中,处理器可执行存储器中存储的计算机程序,以实现相应控制逻辑。存储器可以由任何类型的易失性或非易失性存储设备或者它们的组合实现,如静态随机存取存储器(SRAM),电可擦除可编程只读存储器(EEPROM),可擦除可编程只读存储器(EPROM),可编程只读存储器(PROM),只读存储器(ROM),磁存储器,快闪存储器,磁盘或光盘。

[0287] 在本申请实施例中,处理器可以为任意可执行上述方法逻辑的硬件处理设备。可选地,处理器可以为中央处理器(Central Processing Unit,CPU)、图形处理器(Graphics Processing Unit,GPU)或微控制单元(Microcontroller Unit,MCU);也可以为现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)、可编程阵列逻辑器件(Programmable Array Logic,PAL)、通用阵列逻辑器件(General Array Logic,GAL)、复杂可编程逻辑器件(Complex Programmable Logic Device,CPLD)等可编程器件;或者为先进精简指令集(RISC)处理器(Advanced RISC Machines,ARM)或系统芯片(System on Chip,SOC)等等,但不限于此。

[0288] 在本申请实施例中,通信组件被配置为便于其所在设备和其他设备之间有线或无线方式的通信。通信组件所在设备可以接入基于通信标准的无线网络,如WiFi,2G或3G,4G,5G或它们的组合。在一个示例性实施例中,通信组件经由广播信道接收来自外部广播管理系统的广播信号或广播相关信息。在一个示例性实施例中,所述通信组件还可基于近场通信(NFC)技术、射频识别(RFID)技术、红外数据协会(IrDA)技术、超宽带(UWB)技术、蓝牙(BT)技术或其他技术来实现。

[0289] 在本申请实施例中,显示屏可以包括液晶显示器(LCD)和触摸面板(TP)。如果显示屏包括触摸面板,显示屏可以被实现为触摸屏,以接收来自用户的输入信号。触摸面板包括一个或多个触摸传感器以感测触摸、滑动和触摸面板上的手势。所述触摸传感器可以不仅感测触摸或滑动动作的边界,而且还检测与所述触摸或滑动操作相关的持续时间和压力。

[0290] 在本申请实施例中,电源组件被配置为其所在设备的各种组件提供电力。电源组件可以包括电源管理系统,一个或多个电源,及其他与为电源组件所在设备生成、管理和分配电力相关联的组件。

[0291] 在本申请实施例中,音频组件可被配置为输出和/或输入音频信号。例如,音频组件包括一个麦克风(MIC),当音频组件所在设备处于操作模式,如呼叫模式、记录模式和语音识别模式时,麦克风被配置为接收外部音频信号。所接收的音频信号可以被进一步存储在存储器或经由通信组件发送。在一些实施例中,音频组件还包括一个扬声器,用于输出音

频信号。例如,对于具有语言交互功能的设备,可通过音频组件实现与用户的语音交互等。

[0292] 需要说明的是,本文中的“第一”、“第二”等描述,是用于区分不同的消息、设备、模块等,不代表先后顺序,也不限定“第一”和“第二”是不同的类型。

[0293] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0294] 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0295] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0296] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0297] 在一个典型的配置中,计算设备包括一个或多个处理器(CPU)、输入/输出接口、网络接口和内存。

[0298] 内存可能包括计算机可读介质中的非永久性存储器,随机存取存储器(RAM)和/或非易失性内存等形式,如只读存储器(ROM)或闪存(flash RAM)。内存是计算机可读介质的示例。

[0299] 计算机可读介质包括永久性和非永久性、可移动和非可移动媒体可以由任何方法或技术来实现信息存储。信息可以是计算机可读指令、数据结构、程序的模块或其他数据。计算机的存储介质的例子包括,但不限于相变内存(PRAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、其他类型的随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、快闪记忆体或其他内存技术、只读光盘只读存储器(CD-ROM)、数字多功能光盘(DVD)或其他光学存储、磁盒式磁带,磁盘存储或其他磁性存储设备或任何其他非传输介质,可用于存储可以被计算设备访问的信息。按照本文中的界定,计算机可读介质不包括暂存电脑可读媒体(transitory media),如调制的数据信号和载波。

[0300] 还需要说明的是,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、商品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、商品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要

素的过程、方法、商品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0301] 以上所述仅为本申请的实施例而已,并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的权利要求范围之内。

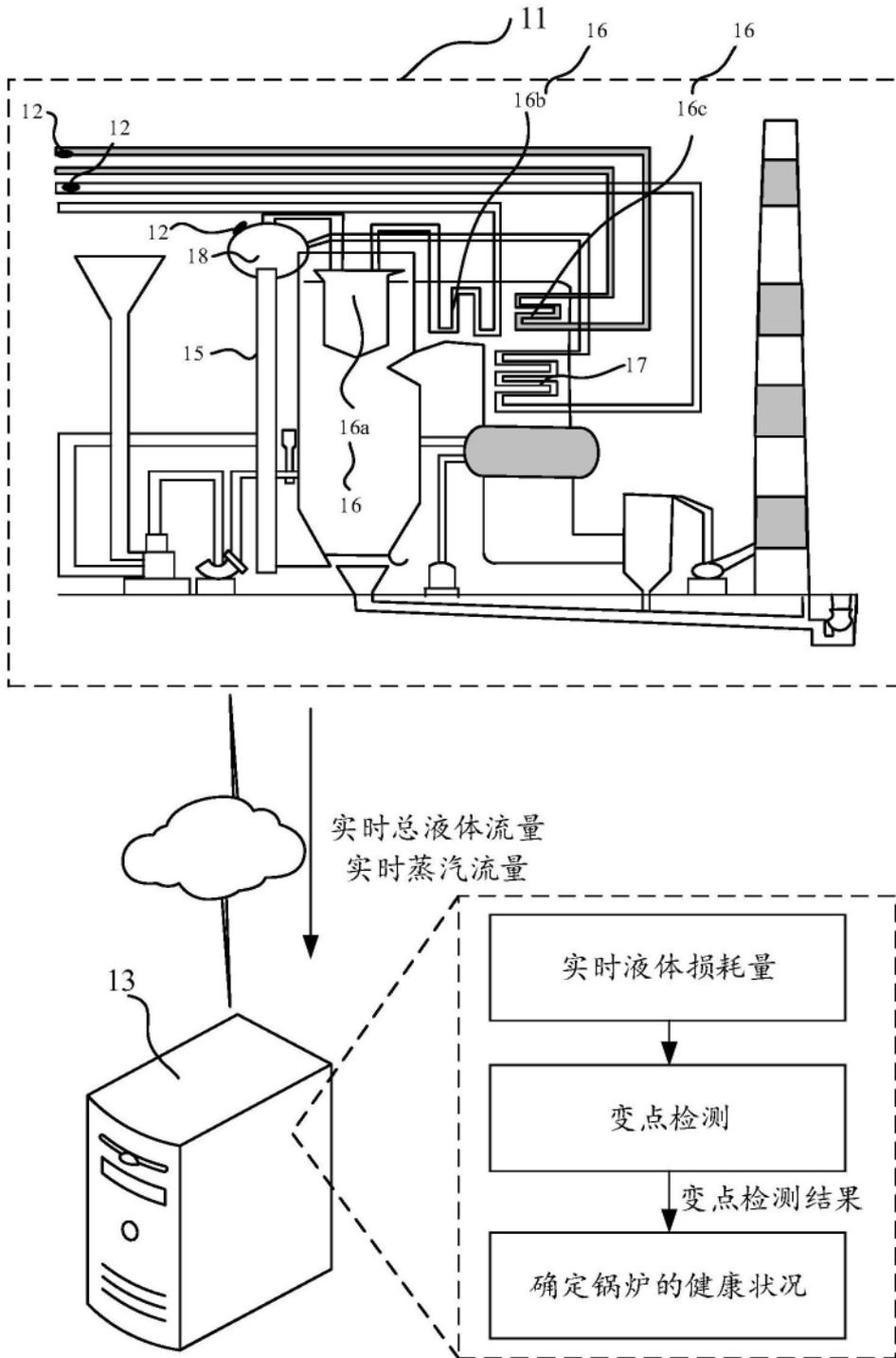


图1a

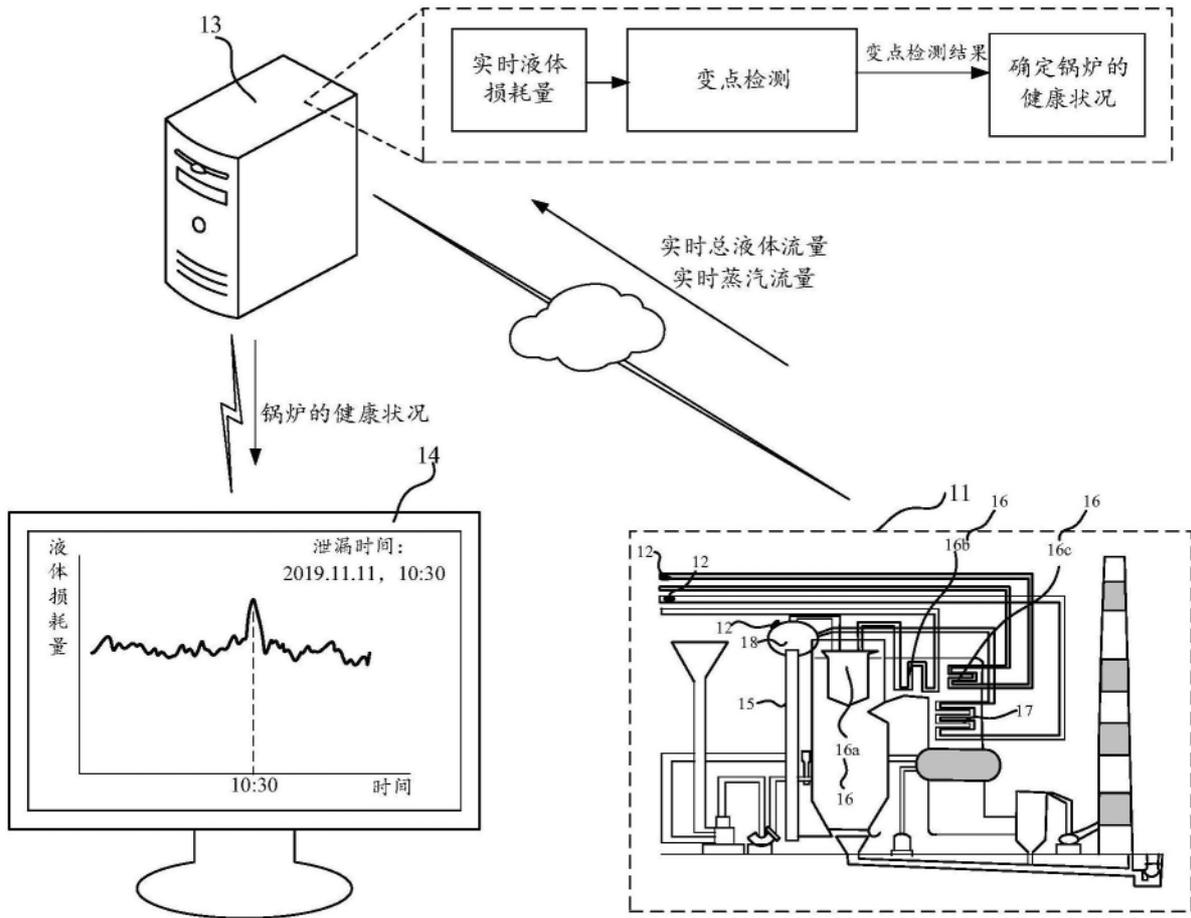


图1b

日期: 2019.11.11	
时间	健康状况
9:00	正常
9:30	正常
10:00	正常
10:30	泄漏

图1c

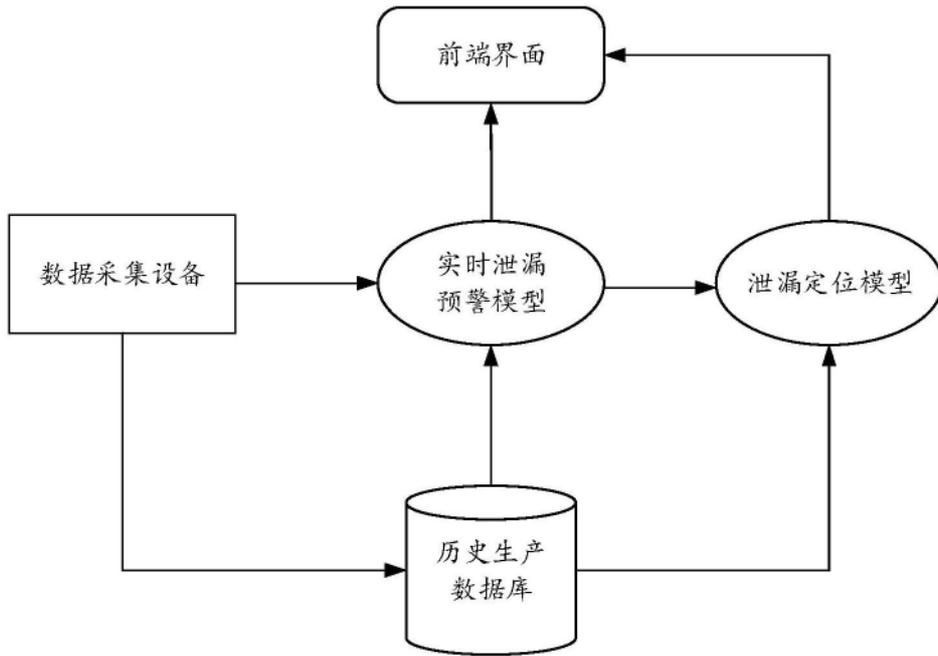


图1d

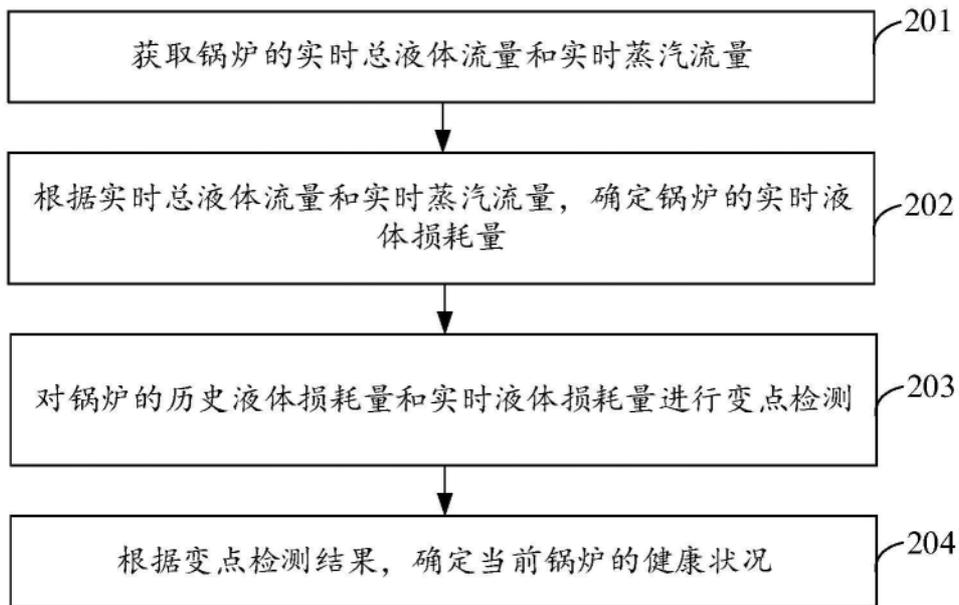


图2

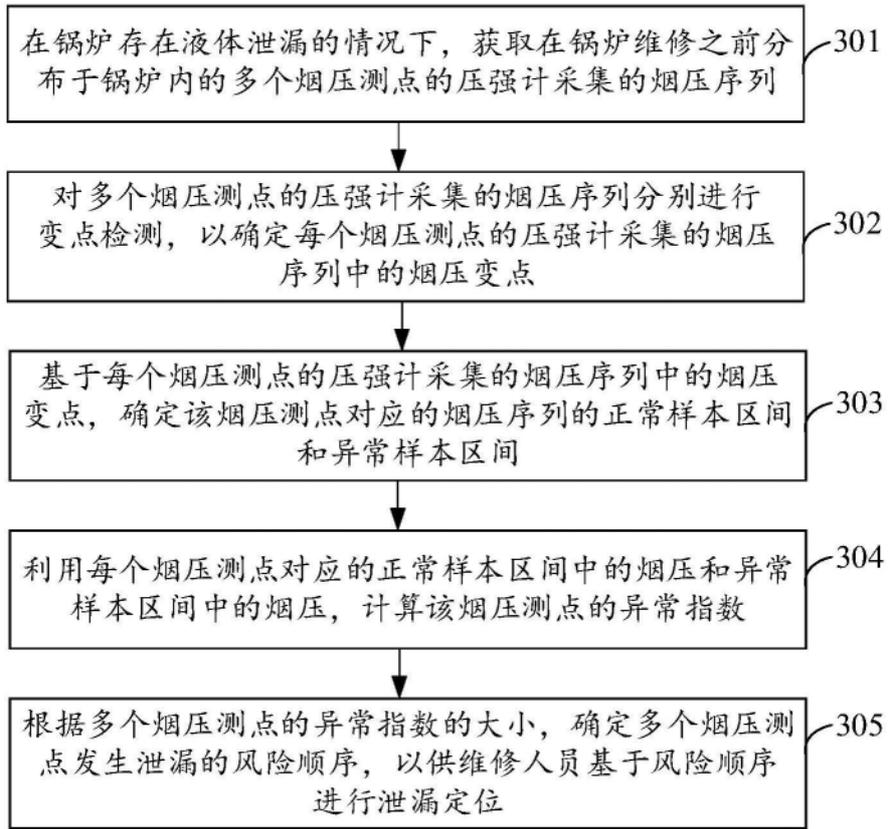


图3

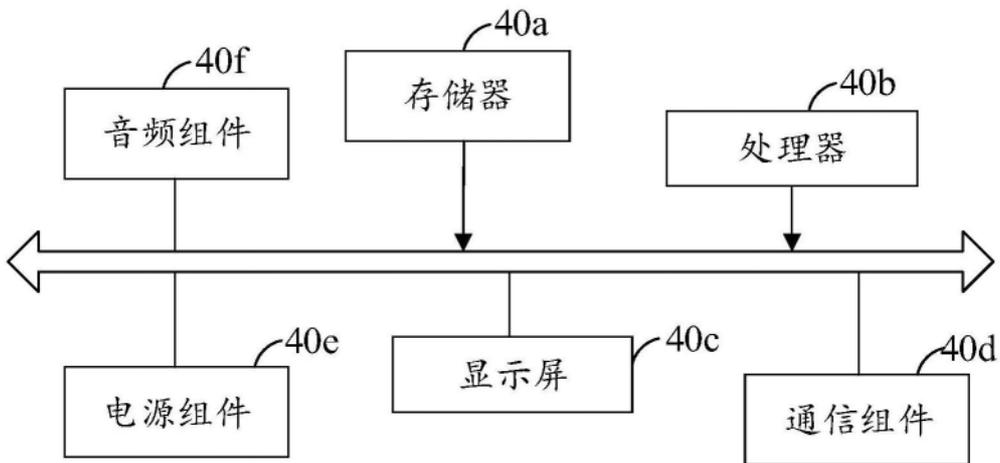


图4