



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105388884 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 09

(21) 申请号 201510749968. 9

(22) 申请日 2015. 11. 05

(71) 申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号天津大学

(72) 发明人 孙贺江 丁会芳 周浩 冯连元

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理事务所 12201

代理人 王丽

(51) Int. Cl.

G05B 23/02(2006. 01)

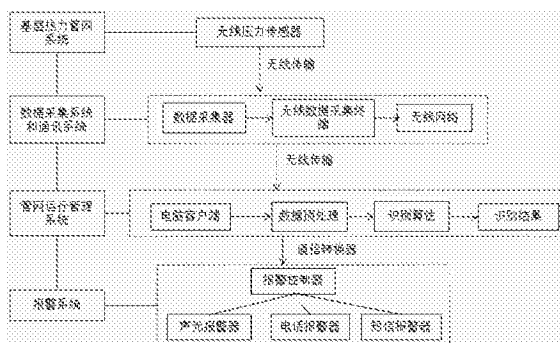
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于由数据驱动的认识算法检测供热管网泄漏故障的报警系统及方法

(57) 摘要

本发明为一种基于由数据驱动的认识算法检测供热管网泄漏故障的报警系统及方法。根据循环水泵或用户端的进、出口压力实时监测数据,将数据按照认识算法的输入要求进行一定的转换,识别正常运行或者发生泄漏故障时的管网实时运行状态,进行识别、检测。系统包括基层热力管网系统,数据采集系统和通讯系统,管网运行管理系统和报警系统;在热力管网系统上连接循环水泵和用户端的压力表或无线压力传感器,数据采集系统连接通讯系统将采集的数据以 GPRS 为媒介传送到管网运行管理系统,系统经过进行数据的预处理和特征的提取,进行识别,最后由识别结果发出命令至报警系统。实现识别规则的自动调整与改进,提高认识算法的准确率,减少误报。



1. 一种用于检测供热管网是否存在泄漏的数据驱动的认识方法 ;其特征是根据循环水泵或用户端的进、出口压力实时监测数据,将数据按照识别算法的输入要求进行一定的转换,识别正常运行或者发生泄漏故障时的管网实时运行状态,进行识别、检测。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征是泄漏故障时的管网实时运行状态步骤:按时间顺序在压力数据的时间序列曲线上搜索;将曲线上的各点或各段的特征与识别规则进行匹配;确定实时状态;若其特征符合识别规则中的泄漏故障特征,则认为该段发生了泄漏故障;否则,确定该段是正常运行状态。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其特征是泄漏识别规则的建立过程为:首先,管网的实时监测数据被收集;经过数据预处理后,被用于对曲线描述算法进行训练、验证及测试过程;最后输出泄漏故障的识别规则。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其特征是曲线描述算法进行训练、验证及测试过程为:在已预处理好的数据被分为训练集和测试集;随后,训练集被用于识别算法的训练及验证。

5. 一种基于由数据驱动的认识算法检测供热管网泄漏故障的报警系统;包括基层热力管网系统,数据采集系统和通讯系统,管网运行管理系统,报警系统;在热力管网系统上连接循环水泵和用户端的压力表或无线压力传感器,数据采集系统连接通讯系统将采集的数据以无线网络为媒介传送至管网运行管理系统,管网运行管理系统经过进行数据的预处理、特征的提取和识别算法的实现,进行识别,识别结果通过连接在电脑端的通信转换器将信号转换并传输至报警控制器,最后由报警控制器输出信号,使声光报警、电话报警或者短信报警发出警报,完成本发明所述系统的实现。

一种基于由数据驱动的认识算法检测供热管网泄漏故障的报警系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于暖通空调工程和信息技术等的交叉领域。提出了一种仅仅基于循环水泵或用户端的进、出口压力监测数据及识别算法就可以检测供热管网泄漏故障的报警系统及方法。具体为一种基于由数据驱动的认识算法检测供热管网泄漏故障的报警系统及方法。

背景技术

[0002] 随着集中供热系统规模的扩大和运行年代的增长,我国大、中城市热力管网泄漏事故的不断发生,其中以泄漏故障最为常见。当管道泄漏后如果检测定位和维修不及时,将会造成严重的资源浪费和经济损失,还会造成环境的污染,甚至是人身伤亡事故。作为热网可靠性的一个重要组成部分,进行热网的泄漏故障诊断是保证供热管网经济、安全运行和提高供热管网自控、管理水平的有效手段。

[0003] 故障诊断是指确定系统是否发生故障的过程,即对一非正常状态的检测过程。通过不断监测系统可测量变量的变化,根据系统输出或状态变量的估计残差的特性来判断。结合目前国内外热力管网故障诊断的方法,可将其分为两大类:基于硬件诊断法和基于软件诊断法[1]。基于硬件诊断法主要是依靠人工巡检或者利用各种物理和化学的原理,通过直接检测伴随故障出现的各种物理和化学现象以实现故障诊断。基于软件的故障诊断方法主要依靠检测热力管网发生泄漏时压力、流量以及温度等特性参数的变化,利用特定的算法来进行故障泄漏诊断和定位。

[0004] 基于硬件的故障诊断主要有人工巡检、热学诊断、声学诊断、漏磁通诊断和分布式光纤诊断等方法,其中通过基于声学的诊断技术与信号分析方法的结合,提高了热网泄漏故障的检测率[2]。虽然基于硬件的故障检测技术灵敏性好、定位准确,但是成本较高、实际管网发生泄漏情况无法预知。所以基于硬件的故障诊断技术一般不作为热力管网故障诊断的主要手段。

[0005] 基于软件的故障诊断(基于信号处理、基于解析模型和基于人工智能)方法正逐渐成为管网故障的主流。基于信号处理的诊断方法主要有负压波法和压力点分析法,负压波法利用管道泄漏处出现瞬时压力突降形成的负压波信号进行泄漏判断。虽然该法对于检漏和定位有很高的精确度,但是负压波的特性决定它只适合快速和突发的泄漏,对于泄漏速度很慢没有明显负压波的状况则无效[3],常被用于输油管道的测漏。压力点分析法利用统计的方法提取管道沿线的压力变化曲线与管道正常运行状态时的曲线对比判断泄漏的发生与否,因为该方法只需要一个或者几个检测点的压力信号,所以响应时间较短,计算量小,但是对泄漏量的评估能力比较差[4]。基于解析模型的诊断需要建立热网水力分析的数学模型,在给定边界条件下求解管内流场分布,将实际测量值与模型计算值对比定位泄漏点,主要有基于状态估计法和基于参数估计法[5][6]。前者的检测方法不仅要求测量仪器的精度型高,且仅适用于小泄漏的管网故障诊断。后者虽然有更好的实用性和准确性,

但是算法复杂,响应时间慢,且在热网工况变化不大时,极易发生不收敛情况。基于人工智能的方法主要是指基于神经网络的方法,神经网络方法主要利用神经网络技术与统计技术或者遗传算法或者证据理论等相结合的方法进行故障诊断 [7]。虽然基于人工智能的方法有较高的检测率,较低的误报和漏报率,但是由于训练数据的局限性,只能针对某些泄漏情况,对实际管网泄漏故障的评估性较差。

[0006] 在真实供热管网中,管网远要比一般的简化模型复杂得多,且往往只是监测循环水泵及用户末端进出口的压力和流量数据,并无更多的信号或数据收集。因而,综观以上热网泄漏故障诊断方法,都存在一定的局限性:基于数据解析的诊断方法很难建立准确的热网水力分析模型,而基于信号处理的诊断方法则由于无压力波数据而无法使用,这些都会造成管网泄漏事故的误报或漏报。因此,亟需开发一种适用于供热管网的基于现有监测数据的泄漏故障检测系统。

[0007] [1] 赵锴. 热力网故障诊断方法研究 [D]. 华北电力大学, 2012.

[0008] [2] Sato T, Mita A. Leak detection using the pattern of sound signals in water supply systems [C] // The 14th International Symposium on: Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring International Society for Optics and Photonics, 2007: 65292K-65292K-9.

[0009] [3] 付道明, 孙军, 贺志刚, 等. 国内外管道泄漏检测技术研究进展 [J]. 石油机械, 2004, 03 期 (3): 48-51. DOI: doi:10.3969/j.issn.1001-4578.2004.03.018.

[0010] [4] Gamboa-Medina M M, Reis L F R, Guido R C. Feature Extraction in Pressure Signals for Leak Detection in Water Networks [J]. Procedia Engineering, 2014, 70: 688 - 697.

[0011] [5] Daneti M. On using phase data information for pipeline leak location [C] // Electrical and Electronics Engineers in Israel, 2008. IEEE I 2008. IEEE 25th Convention of IEEE, 2008: 494-498.

[0012] [6] 秦绪忠, 江亿. 区域热网管网阻力系数的在线辨识与故障诊断 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2000, 02 期 (2): 81-85. DOI: doi:10.3321/j.issn:1000-0054.2000.02.022.

[0013] [7] 段兰兰, 田琦, 段鹏飞, 等. 基于遗传优化 BP 神经网络的供热管网故障诊断模型 [J]. 中北大学学报: 自然科学版, 2014, 03 期.

发明内容

[0014] 本发明旨在通过数据挖掘的方法,从供热管网的压力监测数据中提取泄漏工况下的特征量,开发具有较高准确率的管网泄漏故障识别算法,并基于此算法发明一种泄漏检测和报警系统。根据管网运行过程中的实时监测数据,通常是循环水泵及用户端的进出口压力和流量数据,检测是否存在泄漏情况,可直接用于不同规模的集中供热管网的日常运行管理工作。

[0015] 本发明提出一种基于循环水泵或用户端的进、出口压力监测数据及识别算法就可以检测管网泄漏故障的报警系统。

[0016] 本发明采用如下技术方案:

[0017] 一种用于检测供热管网是否存在泄漏的数据驱动的认识方法 ;其特征是根据循环水泵或用户端的进、出口压力实时监测数据,将数据按照识别算法的输入要求进行一定的转换,识别正常运行或者发生泄漏故障时的管网实时运行状态,进行识别、检测。

[0018] 泄漏故障时的管网实时运行状态步骤 :按时间顺序在压力数据的时间序列曲线上搜索 ;将曲线上的各点或各段的特征与识别规则进行匹配 ;确定实时状态 ;若其特征符合识别规则中的泄漏故障特征,则认为该段发生了泄漏故障 ;否则,确定该段是正常运行状态。

[0019] 泄漏识别规则的建立过程为 :首先,管网的实时监测数据被收集 ;经过数据预处理后,被用于对曲线描述算法进行训练、验证及测试过程 ;最后输出泄漏故障的识别规则。

[0020] 曲线描述算法进行训练、验证及测试过程为 :在已预处理好的数据被分为训练集和测试集 ;随后,训练集被用于识别算法的训练及验证。

[0021] 本发明的一种基于由数据驱动的认识算法检测供热管网泄漏故障的报警系统 ;包括基层热力管网系统,数据采集系统和通讯系统,管网运行管理系统,报警系统 ;在热力管网系统上连接循环水泵和用户端的压力表或无线压力传感器,数据采集系统连接通讯系统将采集的数据以 GPRS 为媒介传送至管网运行管理系统,管网运行管理系统经过进行数据的预处理和特征的提取,进行识别,最后由识别结果发出命令至报警系统。

[0022] 具体说明如下 :

[0023] 供热管网,可以是一个换热站范围的管网 (二级管网),也可以是一个热力站范围内的管网 (一级管网),其中各换热站可被视为用户端 :一个完整的供回水循环网络即可被视为此发明中所述的供热管网。当供热管网中的任一管段或用户端热水泄漏,包括用户在供热末端装置处进行人为放水等热网泄漏故障发生时,通过压力监测数据的提取和识别算法的分析,将识别结果的数字信号转换为声、光等信号,发送给报警系统,完成热网泄漏故障的检测。其中,识别算法为检测中心层,是该系统的核心部分。

[0024] 所述压力监测数据的提取,采集供热管网的循环水泵或用户末端的供 (进)、回 (出)水管上的压力表或压力传感器等数据,通过有线或无线 (互联网)的方式向管理中心的存储设备如手机或者电脑传输压力数据。然后根据采集数据提取泄漏故障时的压力特征,主要是泄漏对循环水泵或用户端的进、出口压力产生的明显区别于正常运行时的特征,如泄漏发生时,循环水泵和用户端的进、出口压力曲线的变化量和变化率有明显变化 ;提取压力特征可采用机械学习 (数据挖掘)中的信息增益、属性子集选择或主成分分析等方法。

[0025] 所述识别算法,采用了一种有监督的机械学习 (数据挖掘)分类算法,可以通过少量样本量的学习与训练,提取供热管网发生泄漏故障时的循环水泵或用户端的进、出口压力特征,形成泄漏故障识别规则,进而利用识别规则进行实时监测,并将识别结果在人机交互界面上呈现给管网运行管理者。其中分类算法,为曲线描述算法,通过描述曲线的形状特征,来挖掘曲线中隐藏的行为模式,形成特定模式的模板 (识别规则);进而,将该模板与实时曲线进行对比,若曲线段与该模板相匹配,则认为此曲线段内出现了该模式。该算法可在任何具有数据处理能力的设备上运行,如单片机、电脑、服务器等。少量样本量,即是分类算法的训练集,可通过实验室小尺寸试验台采集,或在实际运行的管网中收集 ;只要存在泄漏样本 (1次泄漏故障可作为1个泄漏样本),即可形成训练集 ;训练完后仍可持续收集新的泄漏样本,形成新的训练集,从而对算法进行校准与改善。识别规则,是由提取的泄漏故障

时的压力特征形成的曲线模板或文字表达,用于与实时的压力数据曲线进行对比和匹配,检测是否存在 泄漏故障发生。

[0026] 所述识别结果,可采用多种形式进行表述与输出。一种可能的形式是将循环水泵或用户的实时压力数据与管网运行状态识别结果,在管理中心的人机界面上进行可视化展示;也可以是直接以声音的形式进行报警提示,一旦检测到泄漏故障,将立即在管理中心响起警报声;还可能通过电话或者短信的方式报警。

[0027] 本发明区别于传统报警系统的检测方法:

[0028] 1) 不需要额外布置众多的压力或流量传感器,本发明仅利用管网设计与运行时固有的压力表或传感器监测的数据作为算法的输入量;

[0029] 2) 不需要建立复杂的或简化的热力网水力分析模型,避免了管网水力分析模型与实际模型之间的差距带来的泄漏预测误差,提高报警系统的准确度;

[0030] 3) 本发明仅需在管网调试或运行阶段,或在实验室小尺寸的试验运行中,收集 10 次左右的泄漏故障数据,对算法进行训练与验证,即可建立一个准确度较高的识别规则;

[0031] 4) 本发明中训练样本可随管网中的泄漏故障的增多而持续更新,可以实现识别规则的自动调整与改进,不断提高识别算法的准确率,减少误报和漏报。

附图说明

[0032] 图 1 管网泄漏故障识别方法流程图;

[0033] 图 2 检测管网泄漏故障的流程图;

[0034] 图 3 管网泄漏故障识别规则的建立过程框图;

[0035] 图 4 识别算法的训练、验证及测试流程框图;

[0036] 图 5 曲线描述算法中用于数据转换的语素示意图;

[0037] 图 6 曲线描述算法所建立的识别规则的一种表达形式;

[0038] 图 7 管网泄漏故障识别规则示例(从循环水泵的进、出口压力数据中提取泄漏特征);

[0039] 图 8 管网泄漏识别结果展示示例(直接显示在循环水泵的进、出口压力的时间序列曲线上);

[0040] 图 9 基于识别算法的泄漏检测与报警系统工作流程图;

[0041] 图 10 检测管网泄漏故障报警系统示例。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0043] 设备连接说明:包括基层热力管网系统,数据采集系统和通讯系统,管网运行管理系统,报警系统;在热力管网系统上连接循环水泵和用户端的压力表或无线压力传感器,数据采集系统连接通讯系统将采集的数据以无线网络为媒介传送至管网运行管理系统,管网运行管理系统经过进行数据的预处理、特征的提取和识别算法的实现,进行识别,识别结果通过连接在电脑端的通信转换器将信号转换并传输至报警控制器,最后由报警控制器输出信号,使声光报警、电话报警或者短信报警发出警报,完成本发明所述系统的实现。

[0044] 操作等方法根据附图具体说明如下:

[0045] 如图 1 所示为一个正常运行或者发生泄漏故障的管网实时运行状态的识别方法流程图。由安装在循环水泵或用户端进、出口管段上的压力表或压力传感器实时采集数据 101, 采集的数据 101 通过无线传输至电脑客户端, 并利用客户端数据处理软件比如 excel 等按照识别算法的输入要求进行数据转换 102, 数据转换是将数据按照识别算法的输入要求进行一定的转换, 如标准化, 如本实施中用到的压力数据向曲线符号链的转换等, 以便于识别算法的处理。随后根据识别方法检测管网正常运行或者发生泄漏故障 103。

[0046] 如图 2 所示为检测管网泄漏故障 103 的工作流程图, 包括 3 个步骤: 按时间顺序在压力数据的时间序列曲线上搜索 201; 将曲线上的各点或各段的特征与识别规则进行匹配 202; 确定管网实时运行状态 203。在按时间顺序在压力数据的时间序列曲线上搜索 201 的过程中, 可对预处理过的数据 102 进行逐点搜索或逐曲线段搜索, 本实施例中的算法采用了逐曲线段的搜索方式。此后, 将搜索到的曲线段的特征与识别规则进行匹配, 若其特征符合识别规则中的泄漏故障特征, 则认为该段发生了泄漏故障; 否则, 确定该段是正常运行状态。

[0047] 如图 3 所示为确定管网泄漏故障 103 中所使用的管网泄漏识别规则的建立过程。首先, 管网的实时监测数据 301 被收集, 包括循环水泵和用户端的进、出口压力; 经过数据预处理 302 后, 被用于对曲线描述算法进行训练、验证及测试过程 303; 最后输出泄漏故障的识别规则 304。其中, 数据预处理 302 的内容与数据转换过程 102 相似, 但一个额外工作, 是对压力数据进行类标记, 如正常运行时的数据点可标记为 0, 泄漏故障下运行时的数据点可标记为 1。

[0048] 如图 4 所示为 303 识别算法的训练、验证及测试流程。在数据预处理过程 302 中已预处理好的数据被分为训练集 401 和测试集 402。随后, 训练集 401 被用于识别算法的训练及验证 403。算法的训练及验证过程 403, 实际上是提取泄漏故障下的压力特征以及建立识别规则的过程。在本实施例中, k 折交叉验证方法被用于算法的训练和验证工作, 目的在于降低过拟合 (over - fitting) 的可能性。经过训练, 可得到候选识别规则 405, 利用测试集 402 对该识别规则进行测试, 并对测试结果进行评估 406。若识别准确率可接受, 如达到 90% 以上, 则可作为识别规则进行输出, 否则, 需回到训练过程 403。

[0049] 由于管网运行状态实际上是分为正常运行和泄漏故障运行两种状态, 因此识别泄漏故障实际上是将这两种运行状态区分开, 即一个分类过程。在按时间顺序在压力数据的时间曲线上搜索过程 201 中, 搜索是按逐点还是逐段的方式, 实际上是由分类算法决定的。常见的统计类算法, 如 C4.5 决策树、人工神经网络等, 是逐点搜索的; 而曲线描述算法则是逐段搜索。本实施案例采用了更适合于处理时间序列曲线的曲线描述算法。

[0050] 如图 5 为曲线描述算法中用于数据转换的语素示意图 500, 包括基本语素 501, 扩展语素 502, 未包含扩展语素 503, 以及通配语素 504。其中, 基本语素 501 包含 3 种, 分别是上升段或点 0 ($x(i) - x(i-1) > 0$), 下降段 / 点 1 ($x(i) - x(i-1) < 0$) 和平滑段 / 点 2 ($x(i) - x(i-1) = 0$); 扩展语素包括 2 种, 峰值点 3 和谷值点 4; 本实施例中通配语素 504 通常用来定义那些不需要了解其具体特征的曲线段。

[0051] 如图 6 所示为曲线描述算法所建立的识别规则的一种表达形式。曲线描述算法首先将压力数据时间序列曲线 601, 根据定义的语素 500, 转换为符号链 602, 并用特征向量组 603 对该曲线段的数值特征进行描述。

[0052] 特征向量组 603 中,任一特征向量被定义为 $F = (M, f_1, f_2, \dots, f_n)$ 。其中, M 是每个符号 (如压力数据时间序列曲线 601 中的 A-E) 的语素值, f_1, f_2, \dots, f_n 是用来描述该符号的数值特征的特征量。不同的符号可拥有不同的特征量,选取合适的特征量可减小算法的运算量并提高识别准确率。特征量的选取及阈值确定工作在算法的训练、验证过程 303 中完成。本实施例中采用了信息增益的特征量选取方法。

[0053] 如图 7 所示为一个管网泄漏故障识别规则 304 范例。当泄漏故障发生时,循环水泵的进、出口压力曲线会同时产生明显的大幅下降趋势,随后会因补水缘故而逐渐恢复。于是,此段曲线被抓取为泄漏模式 702 的曲线模板 701,并通过训练与测试过程建立特征向量组 703 和 704。其中,选取的特征量为循环水泵进(出)口压力曲线上两点间的变化量 d_{AB} 及变化率 dr_{AB} 。曲线模板 701 和特征向量组 703 及 704 一起组成了泄漏故障模式的识别规则,该规则也可用文本进行描述,如文本框中识别规则建立步骤 705 所示:如果满足识别规则建立 705 的条件,则认为发生了泄漏故障,否则认为管网是正常运行的。

[0054] 如图 8 所示为管网泄漏识别结果展示示例,将识别结果 802 直接展示在了循环水泵的进、出口压力的时间序列曲线 801 上。这样可及时发现泄漏故障,并可观察到泄漏故障对循环水泵的进、出口压力的影响。

[0055] 如图 9 展示了基于识别算法的泄漏检测与报警系统工作流程图,包括基层热力管网系统、数据采集系统和通讯系统、管网运行管理系统和报警系统。首先通过布置在热网系统循环水泵和用户进出口处的无线压力传感器传输测量的压力数据至数据采集器。如果管网系统比较复杂,分布式的数据采集器可以将数据传输到无线数据采集终端集中处理。然后利用通讯手段如无线网络将采集的数据传输至电脑客户端或者服务器进行数据的预处理、特征的提取和算法的实现,其中的具体操作方法在上文有详细说明,这里不再解释。最后由算法的识别结果发出命令到达报警系统,可以是声光报警、电话报警或者短信报警完成管网泄漏的检测和警报。

[0056] 如图 10 展示了一个检测管网泄漏故障报警系统示例,包括一个热力管网系统 1001;一个数据采集系统,其中数据采集系统包括热网循环水泵 1003、用户端进出口 1004 以及安装的无线压力传感器 1005 组成;一个通讯系统 1006;一个热网运行管理系统 1002;一个报警系统 1008。其工作流程为:循环水泵 1003 和用户端 1004 的进、出口压力数据由无线压力传感器 1005 采集后,通过有线或无线通讯网路 1006 传送至热网管理系统 1002,在热网管理系统 1002 中对管网进行实时监测,并通过识别算法的方法进行泄漏故障检测工作,得到识别结果。识别结果通过连接在电脑端的通信转换器 1007 将信号转换并传输至报警控制器,最后由报警控制器输出信号,使声光报警、电话报警或者短信报警发出警报,完成本发明所述系统的实现。

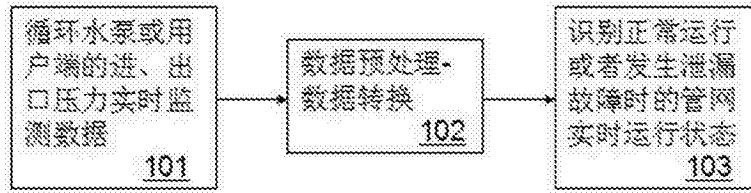


图 1



图 2

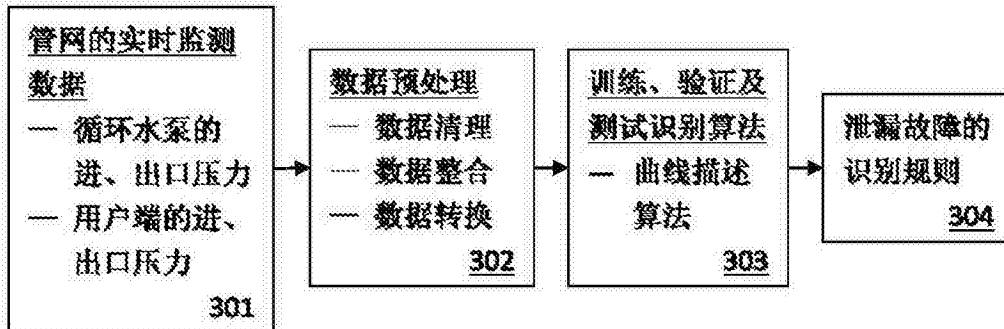


图 3

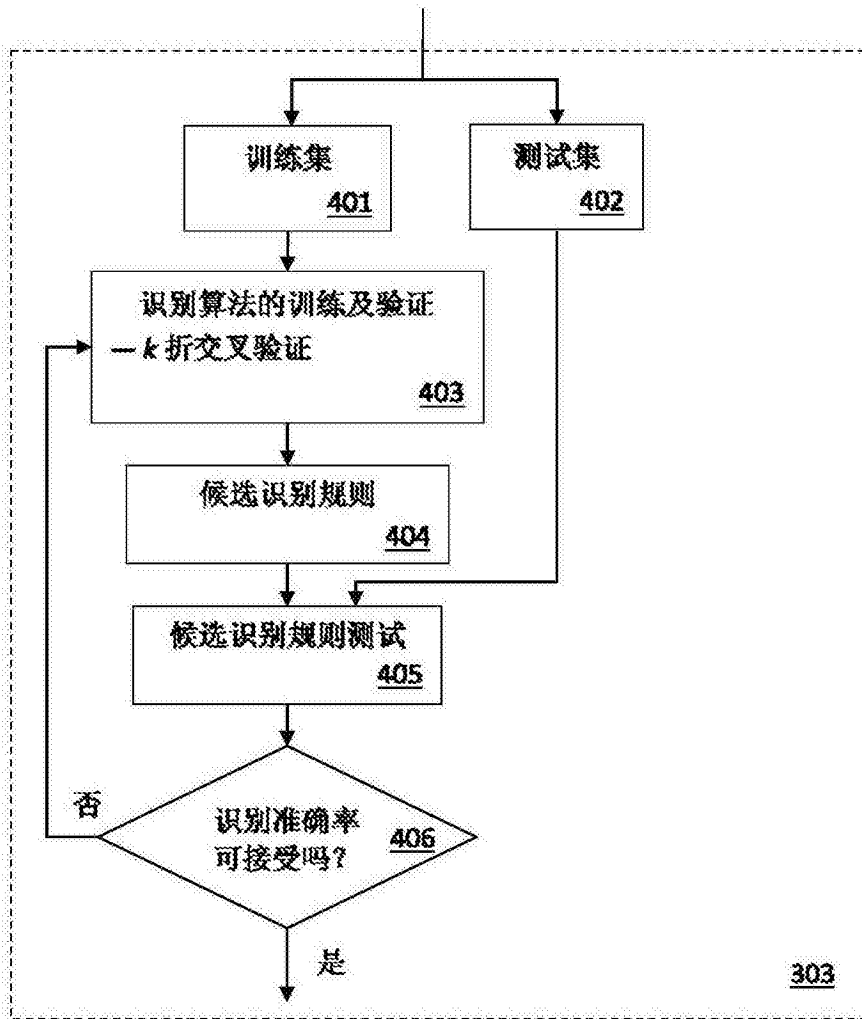


图 4

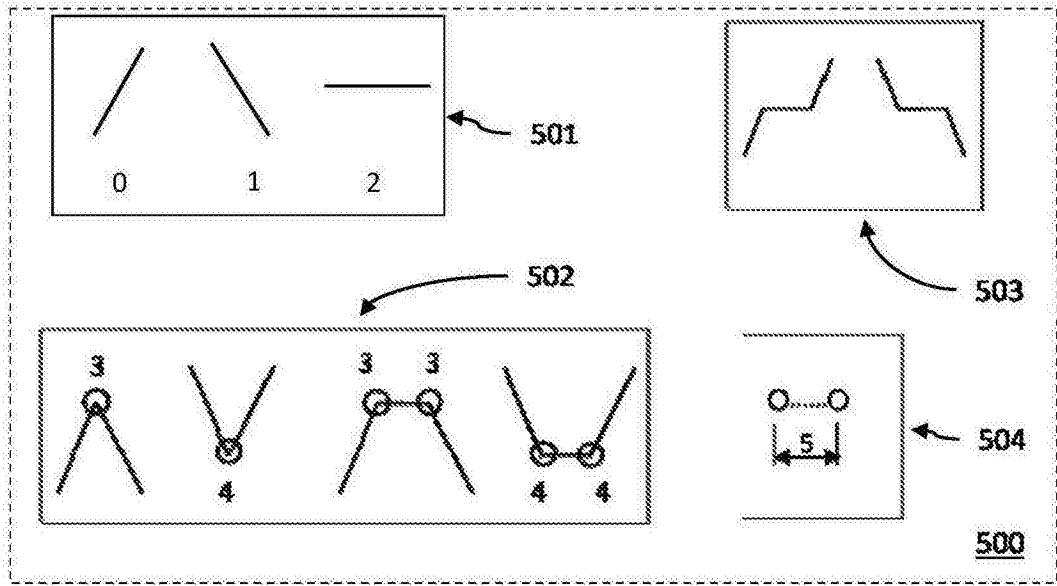


图 5

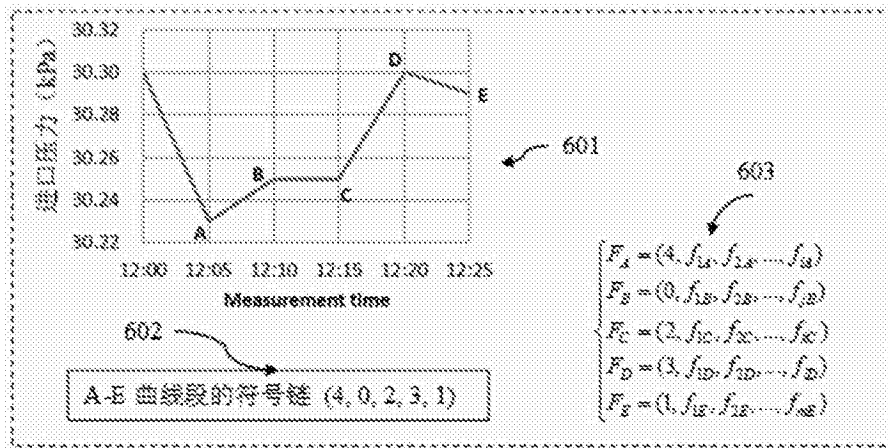


图 6

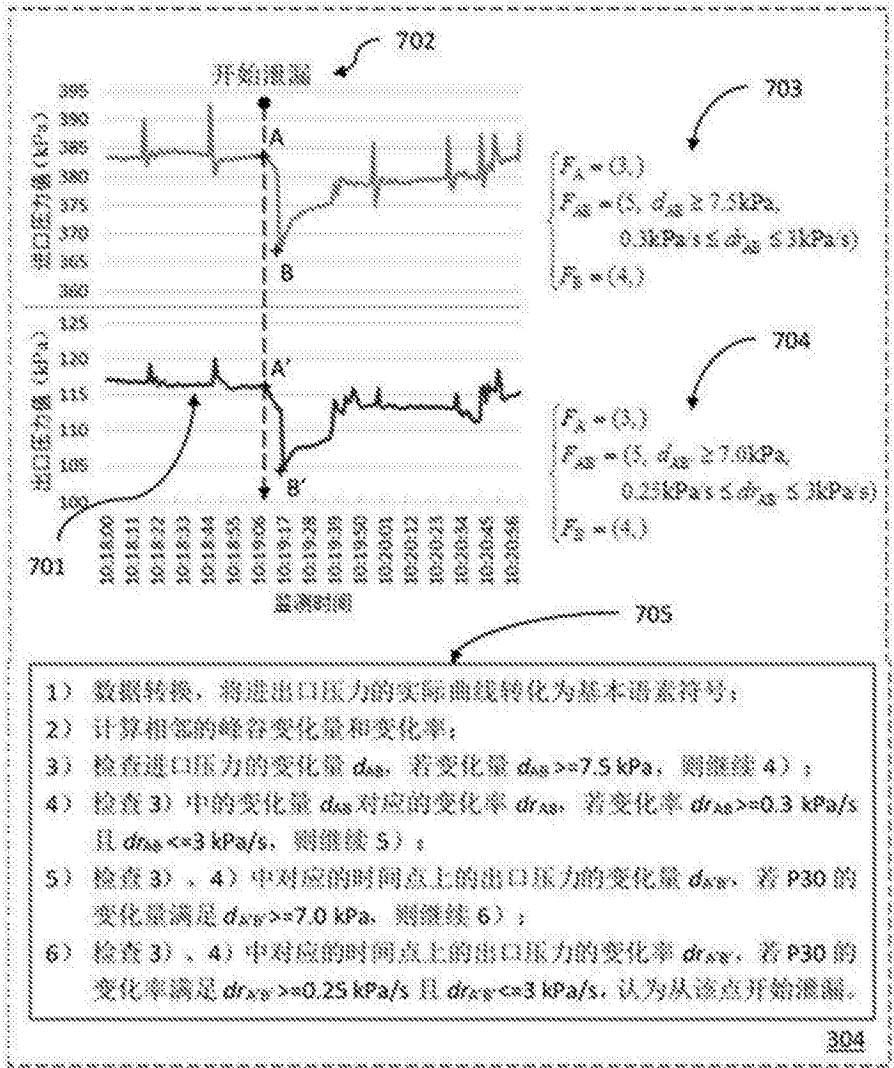


图 7

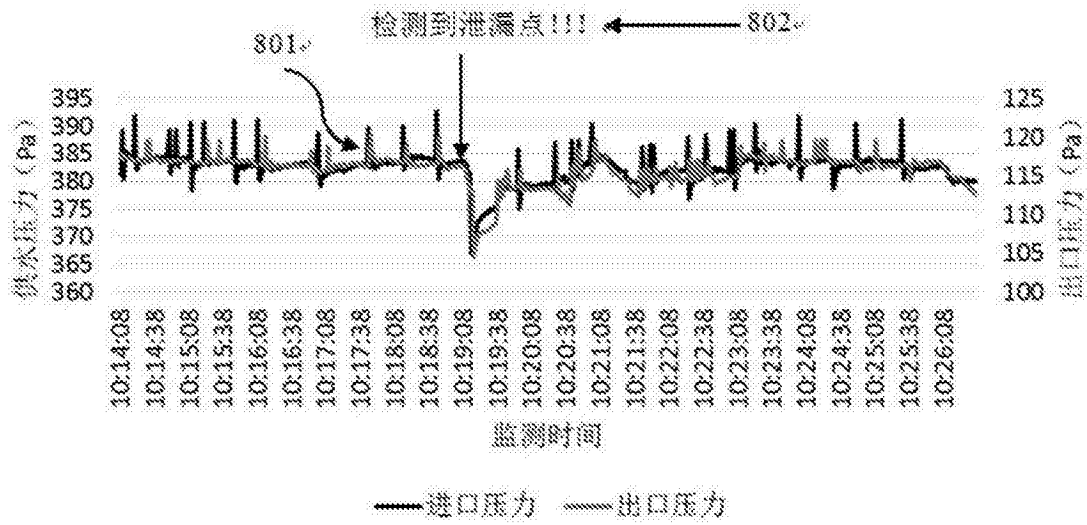


图 8

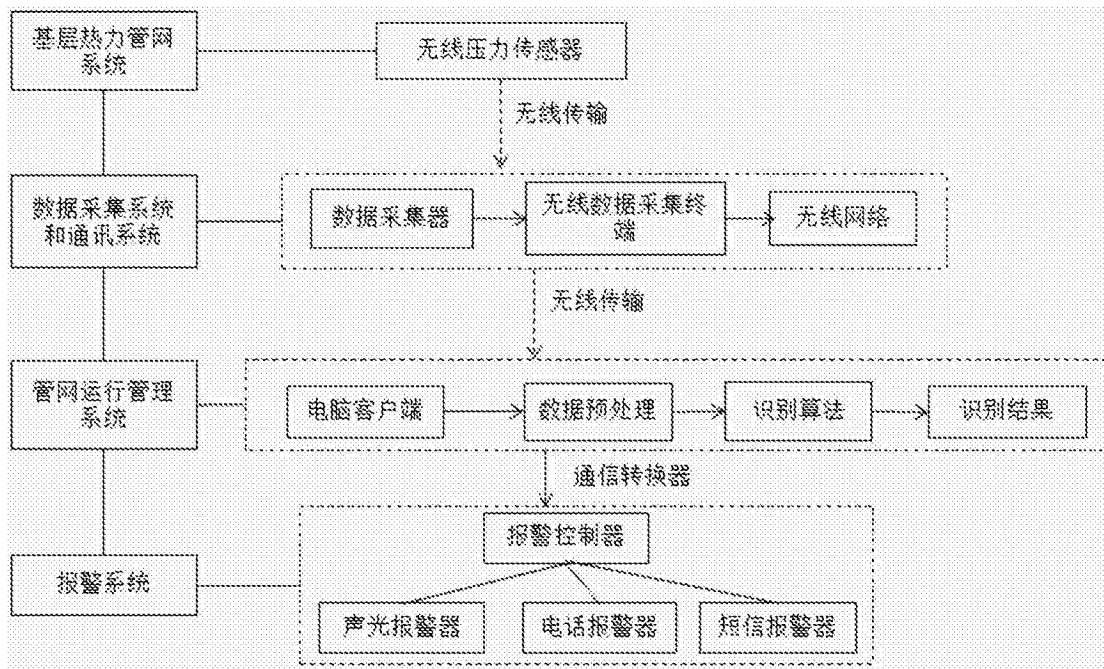


图 9

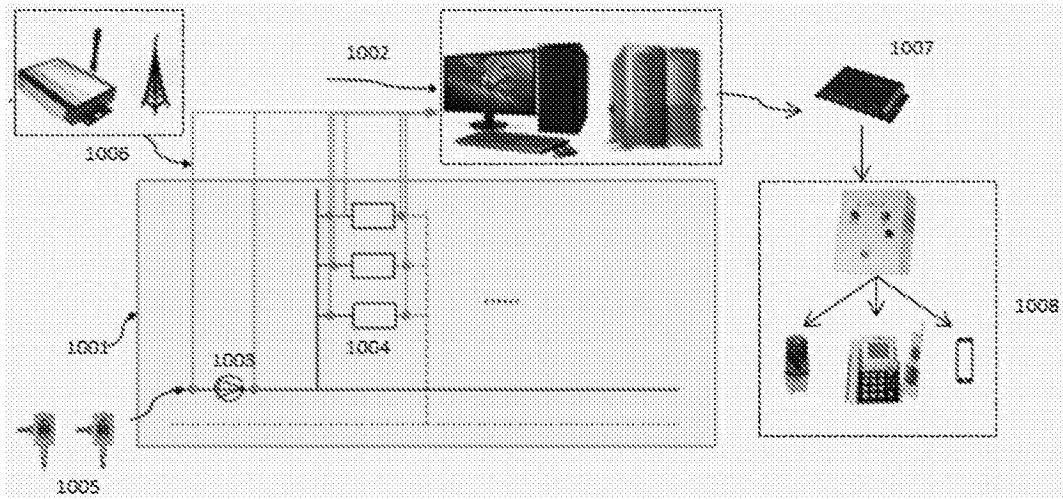


图 10