



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102789226 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 01

(21) 申请号 201210261807. 1

审查员 马镛

(22) 申请日 2007. 09. 28

(30) 优先权数据

60/847, 750 2006. 09. 28 US

(62) 分案原申请数据

200780036001. X 2007. 09. 28

(73) 专利权人 费舍—柔斯芒特系统股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 约翰·菲利普·米勒

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018

代理人 宋颖娉 宋志强

(51) Int. Cl.

G05B 23/02(2006. 01)

G05B 17/02(2006. 01)

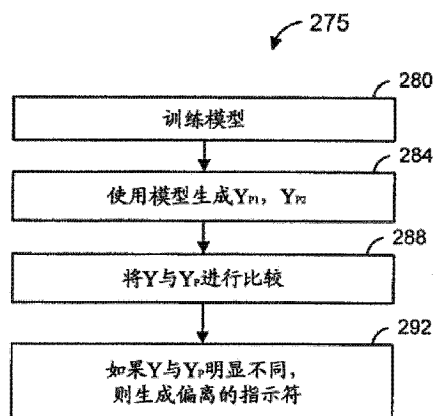
权利要求书2页 说明书32页 附图21页

(54) 发明名称

热交换器中的异常情况预防

(57) 摘要

公开了在热交换器中的异常情况预防的前提下方便监控和诊断过程控制系统及其任何元件的系统和方法。监控和诊断热交换器中的故障包括统计分析技术,例如回归和负荷跟踪。具体来说,在线过程数据从正在操作的热交换器中被采集。统计分析被用于开发该过程的回归模型。输出可以使用来自模型的多个参数,并且可以包括基于训练数据的归一化过程变量和过程变量极限或模型组件。每个输出可以用于生成用于过程监控和诊断的可视化显示,并施行警报诊断,以探测热交换器中的异常情况。



1. 一种探测热交换器中的异常状况的方法,该方法包括:

计算根据多个负荷变量生成的负荷变量数据,每个负荷变量均包括多个热交换器过程变量的采样值,所述多个热交换器过程变量是在热交换器操作期间在多个采样窗口内采集的,所述多个负荷变量包括流体流速;

计算根据多个过程变量生成的监控变量,每个过程变量均包括在热交换器操作期间在多个采样窗口内采集的多个热交换器过程变量的采样值,所述监控变量包括单个值,该单个值包括差动压力或热阻;

将点添加到数组中,所述点包括第一序偶,该第一序偶包括在所述多个采样窗口的一采样窗口内的所述负荷变量数据和所述监控变量数据;

接收包括第二序偶的新数据点,该第二序偶包括在所述多个采样窗口的一新采样窗口内的所述负荷变量数据和所述监控变量数据;

在具有负荷变量轴和监控变量轴的曲线上绘制所述第一序偶和所述第二序偶;

基于所述曲线:

1) 将所述监控变量建模为所述负荷变量数据的函数,

2) 确定所述监控变量的预测值,以及

3) 探测异常状况,其中所述异常状况包括所述监控变量的值明显偏离计算的监控变量的预测值;

在配置所述新数据点的负荷变量数据位于所述数组中的该点的负荷变量值的阈值之外时,执行包括将所述新数据点添加到所述数组中的学习功能;以及

在配置所述新数据点的负荷变量数据位于所述数组中的该点的负荷变量值的阈值之内时,执行包括丢弃所述新数据点的监控功能。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

计算第一函数与第二函数之间的第一误差,其中所述第一函数基于包括第一序偶的曲线,并且所述第二函数基于移除所述第一序偶的曲线;

计算所述第一函数与所述第二函数之间的第二误差,其中所述第一函数基于包括第二序偶的曲线,并且所述第二函数基于移除所述第二序偶的曲线,以及

采用包括所述序偶的导致最小误差的数组。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中:

所述新数据点包括新流体流速的值以及新单个值,所述新单个值包括新差动压力或新热阻。

4. 一种监控热交换器中的异常情况的系统,包括:

存储器;

处理器;

数据采集工具,存储在所述存储器中,并且包括一个或多个例程以使所述处理器在所述热交换器的操作期间从所述热交换器采集在线过程数据,其中所采集的在线过程数据包括流体流速和单个过程值,所述单个过程值包括差动压力或热阻,并且所采集的在线过程数据根据多个热交换器过程变量生成;

分析工具,存储在所述存储器中,并且包括一个或多个例程以使所述处理器将所述单个过程值建模为所述流体流速的函数,所述分析工具包括:负荷跟踪分析引擎,存储在所述

存储器中,并且包括一个或多个例程以使所述处理器通过将点添加到数组中,基于所采集的流体流速生成所述单个过程值的预测值,所述点包括所采集的在线过程数据的序偶,所采集的在线过程数据包括流体流速和单个过程值;以及

监控工具,存储在所述存储器中,并且包括一个或多个例程以使所述处理器生成指示所述单个过程值的预测值是否偏离所述差动压力和所述热阻中的一个以上的相应采集值的热交换器状态。

5. 根据权利要求 4 所述的系统,其中所述流体流速包括冷流体流速和热流体流速中的一个以上,所述差动压力包括冷流体入口压力、冷流体出口压力、热流体入口压力和热流体出口压力中的一个以上;并且所述热阻包括所述流体流速、以及冷流体入口温度、冷流体出口温度热流体入口温度和热流体出口温度中的一个以上。

热交换器中的异常情况预防

[0001] 本申请是于2007年9月28日提交的申请号为200780036001.X (PCT/US2007/079989)的标题为“热交换器中的异常情况预防”的专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请

[0003] 本申请要求2006年9月28日递交的、名称为“Abnormal Situation Prevention in a Heat Exchange (热交换器中的异常情况预防)”的美国临时专利申请 No. 60/847, 750, 该申请的全部内容通过引用特别合并于此。

技术领域

[0004] 本公开内容总的来说涉及过程控制装置中的异常情况预防,更具体地说,涉及热交换器中的异常情况预防。

背景技术

[0005] 过程控制系统,例如化学、石油、或其他过程中所使用的过程控制系统,通常包括一个以上以可通信方式连接至至少一个主机或操作员工作站的集中式或分散式过程控制器。过程控制器通常还通过模拟总线、数字总线或模拟/数字相结合的总线连接至诸如现场设备之类的一个以上过程控制和仪表设备。现场设备可以是例如阀、阀定位器、开关、变送器和传感器(例如温度传感器、压力传感器和流速传感器),它们位于加工厂环境中,并在诸如开启或关闭阀和测量过程参数、增加或减小流体流量等的过程中施行功能。诸如符合公知的 FOUNDATION™ Fieldbus (以下称作 Fieldbus) 协议或高速可寻址远程变送器 (HART®) 协议的现场设备之类的智能现场设备还施行控制运算、报警功能和过程控制器中通常实现的其它控制功能。

[0006] 通常位于加工厂环境中的过程控制器接收表示现场设备所进行的或所关联的过程测量值或过程变量的信号和/或与现场设备有关的其它信息,并执行控制器应用程序。控制器应用程序实现例如不同的控制模块,这些控制模块进行过程控制决策,基于所接收的信息生成控制信号,并且与诸如 HART® 和 Fieldbus 现场设备之类的现场设备中正在施行的控制模块或块一起协调工作。过程控制器中的控制模块通过通信线路或信号路径向现场设备发送控制信号,从而控制过程的操作。

[0007] 来自现场设备和过程控制器的信息对于诸如操作员工作站、维护工作站、个人计算机、手持设备、历史数据库、报告发生器、集中式数据库等的一个以上其它硬件设备可用,从而使操作员或维护人员能够施行针对过程的期望的功能,例如改变过程控制例程的设置、更改过程控制器或智能现场设备中的控制模块的操作、查看过程的当前状态或加工厂中的特定设备的当前状态、查看由现场设备和过程控制器生成的警报、对过程的操作进行仿真以训练人员或测试过程控制软件,以及诊断加工厂中的问题或硬件故障。

[0008] 尽管典型的加工厂有诸如阀、变送器、传感器等的连接至一个以上过程控制器的很多过程控制和仪表设备,但是还有对过程操作来说也是必需的或与过程操作有关的很多其它支持设备。这些附加设备包括例如位于典型工厂中的诸多位置的供电装置、发电和配

电装置、诸如涡轮机、发动机等的旋转装置。尽管该附加装置不一定会产生或使用过程变量,并且在很多情况下不会为了影响过程操作而被控制或甚至被连接至过程控制器,但是该装置对于过程的正确操作来说很重要,并且最终是过程的正确操作所必需的。

[0009] 已知的是,在加工厂环境中,尤其是在具有大量现场设备和支持装置的加工厂中,经常会有问题出现。这些问题可能是坏了的或故障的设备,诸如软件例程之类的逻辑元件驻留在不正确的模式,过程控制环路被不正确地调谐,加工厂中的设备之间的通信失败一次以上,等等。这些和其它问题实际上会同时出现多个,通常会导致过程在异常状态下操作(即加工厂处于异常情况),这经常与加工厂的次最佳性能相关联。

[0010] 已经开发了很多诊断工具和应用程序来探测和确定加工厂中问题的产生原因,并且一旦问题发生并被探测到,就协助操作员或维护人员诊断并校正这些问题。例如,通常通过诸如直接或无线总线、以太网、调制解调器、电话线等的通信连接连接至过程控制器的操作员工作站具有适于运行诸如由爱默生过程管理公司出售的 DeltaV™和 Ovation®.控制系统之类的软件的处理器和存储器。这些控制系统具有大量的控制模块和控制环路诊断工具。维护工作站可以通过用于过程控制(OPC)的对象连接和嵌入(OLE)连接、手持连接等以可通信方式连接至过程控制设备。工作站通常包括被设计为查看由加工厂中的现场设备生成的维护警报和警告、对加工厂中的设备进行测试并对现场设备和加工厂中的其它设备施行维护活动的一个以上应用程序。已经开发出类似的诊断应用程序来诊断加工厂中的支持装置的问题。

[0011] 诸如 AMS™程序组:来自爱默生过程管理公司的智能设备管理器之类的商用软件能够与现场设备进行通信,并存储与现场设备有关的数据,以确定并跟踪现场设备的操作状态。同时参考名称为“Integrated Communication Network for use in a Field Device Management System(用于现场设备管理系统的集成通信网络)”的美国专利 No. 5,960,214。在某些情况下,AMS™程序组:智能设备管理器软件可以用来与现场设备进行通信以改变现场设备中的参数,从而使现场设备本身运行诸如自校准例程或自诊断例程之类的应用程序,以获取关于现场设备的状态或健康等的信息。这些信息可以包括例如状态信息(例如是否发生了警报或其它类似的事件)、设备配置信息(例如现场设备当前或可能被配置的方式以及现场设备所使用的测量单元的类型)、设备参数(例如现场设备范围值和其它参数)等。当然,这些信息可以被维护人员用来监控、维护和/或诊断现场设备的问题。

[0012] 类似地,很多加工厂都包括诸如 CSI 系统所提供的 Machinery Health®应用程序之类的装置监控和诊断应用程序,或用于监控、诊断和优化各种旋转装置的操作状态的任意其它已知应用程序。维护人员经常使用这些应用程序来维护或检查工厂中的旋转装置的性能,以确定旋转装置的问题,并确定旋转装置是否必须被修理或替换以及修理或替换的时间。类似地,很多过程工厂包括电力控制和诊断应用程序,例如由 Liebert 和 ASCO 公司提供的那些电力控制和诊断应用程序,以控制并维护发电和配电装置。同时已知的是,在加工厂中运行诸如实时优化器(RTO+)之类的控制优化应用程序,以优化加工厂的控制活动。这种优化应用程序通常使用复杂的算法和/或加工厂的模型预测可以以何种方式改变输入以针对诸如利润之类的某个期望的优化变量优化加工厂的操作。

[0013] 这些和其它诊断和优化应用程序通常以全系统为基础在一个以上操作员或维护工作站中实现,并且可以给操作员或维护人员提供关于加工厂或加工厂中的现场设备和装

置的操作状态的预配置显示。典型的显示包括接收过程控制器或加工厂中的其它设备所生成的警报的报警显示、指示过程控制器和加工厂中的其它设备的操作状态的控制显示、指示加工厂中的设备的操作状态的维护显示等。同样地,这些和其它诊断应用程序可以使操作员或维护人员能够重新调谐控制环路或重新设置其它控制参数,以运行对一个以上现场设备的测试,从而确定那些现场设备的当前状态,或校准现场设备或其它装置。

[0014] 尽管这些多种应用程序和工具可以方便加工厂中的问题识别和校正,但是这些诊断应用程序通常被配置为仅在加工厂中已经发生问题之后使用,因此这些诊断应用程序仅在加工厂中已经存在异常情况之后使用。不幸的是,在使用这些工具来探测、识别和校正异常情况之前,异常情况可能已经存在一段时间。延迟的异常情况处理可能导致问题被探测、识别和校正期间加工厂的次最佳性能。在很多情况下,控制操作员首先基于警报、警告或加工厂的不良性能探测到存在问题。然后操作员会通知潜在问题的维护人员。维护人员可能探测到或探测不到实际的问题,并且可能在实际运行测试或其它诊断应用程序之前需要进一步的提示,或施行识别其它活动所需的实际问题。一旦问题被识别出,维护人员就可能需要定购零件并调度维护程序,所有这些都会导致问题的发生与该问题的校正之间有很长的时间段。在该延迟期间,加工厂可能在通常与工厂的次最佳操作相关联的异常情况下运行。

[0015] 另外,很多加工厂可能会经历在相对较短的时间量内在工厂中产生严重的代价或损坏的异常情况。例如,如果某些异常情况存在,则即使存在极短的时间量,这些异常情况也会引起对装置的重大损坏、原材料的损耗或明显不期望的停工。因此,仅仅在问题已经发生后探测工厂中的问题,则不管该问题被校正得多快,都会在加工厂中导致严重的损耗或损坏。因此,期望首先尝试预防异常情况的出现,而不是在异常情况出现后再尝试作出反应并校正加工厂中的问题。

[0016] 在名称为“Root Cause Diagnostics (根本原因诊断)”的现为美国专利 No. 7,085,610 的美国专利申请 No. 09/972,078 (部分基于现为美国专利 No. 6,017,143 的美国专利申请 No. 08/623,569)中公开的一种技术,可以用于在异常情况实际出现之前预测加工厂中的异常情况。这两个申请的全部公开内容由此通过引用将合并于此。一般而言,该技术在加工厂中的诸如现场设备之类的多个设备中的每一个设备中布置统计数据采集和处理块或统计处理监控 (SPM) 块。该统计数据采集和处理块采集过程变量数据,并确定与所采集的数据相关联的某些统计测量值,例如均值、中值、标准差等。然后这些统计测量值被发送给用户并被分析,以得出表示已知异常情况在未来发生的模式。一旦系统预测到异常情况,即采取措施以校正潜在的问题,并避免异常情况。

[0017] 已经开发出用于监控和探测加工厂中的问题的其它技术。这种技术之一称作统计过程控制 (SPC)。SPC 已被用于监控与过程相关联的变量,并当品质变量偏离其“统计”标准时向操作员告警。利用 SPC,可以使用诸如关键品质变量之类的小样本变量来生成针对小样本的统计数据。然后,将针对小样本的统计数据与对应于较大样本的该变量的统计数据进行比较。该变量可以由实验室或分析器生成,或从历史数据库获取。当小样本的均值或标准差偏离大样本的均值或标准差某一预定量时,生成 SPC 警报。SPC 的目的在于避免基于小样本的正常统计偏差来进行过程调节。小样本的均值或标准差的图表可以在与控制操纵台分离的操纵台上显示给操作员。

[0018] 另一技术对多个变量进行分析,并被称为多变量统计过程控制 (MSPC)。该技术使

用诸如主成分分析(PCA)和偏最小二乘(PLS)之类的分析历史数据的算法创建过程的统计模型。具体来说,对与正常操作对应的变量样本和与异常操作对应的变量样本进行分析,以生成模型来确定什么时候应当生成警报。一旦定义了模型,就可以给模型提供与当前过程对应的变量,如果变量指示异常操作,则该模型可以生成警报。

[0019] 再一技术包括使用可配置的过程模型探测加工厂中过程的异常操作。该技术包括与加工厂的若干离散操作对应的多个回归模型。加工厂中的回归模型在名称为“Method and system for Detecting Abnormal Operation in a Process Plant (用于探测加工厂中的异常操作的方法和系统)”的美国专利申请 No. 11/492, 467 中被公开,该申请的全部公开内容由此通过引用合并于此。回归模型确定被观察的过程是否严重偏离该模型的正常输出。如果发生了严重偏离,则该技术警告操作员,或以其它方式使该过程返回正常的操作范围。

[0020] 使用基于模型的性能监控系统技术,诸如基于相关的模型、第一原理模型或回归模型之类的将过程输入与过程输出相关的模型被使用。对于回归建模,确定因变过程变量与一个以上自变量之间的关联或函数。该模型可以通过调节内部调谐常数或偏置项而被校准为实际的工厂操作。该模型可用于预测过程什么时候转向异常状况,并警告操作员采取行动。在实际行为与预测行为之间存在严重偏离时或在计算出的效率参数上有显著变化时,可以生成警报。

[0021] 基于模型的性能监控系统通常覆盖像单个单元操作(例如泵、压缩机、柱等)一样小的操作,或覆盖组成加工厂的过程单元(例如原油蒸馏单元、流体催化裂化单元(FCCU)、重整器等)的操作的组合。特定的一块过程装置是热交换器。热交换器在一端取得较冷流体而在另一段取得较热流体。当两种流体经过热交换器时,热量从较热流体传到较冷流体。热交换器中一种普遍的异常状况是淤塞。当来自一种或两种流体的残留材料堆积到热交换器的内壁上时,发生淤塞。当发生淤塞时,热交换器的性能恶化,使得同样的流体量不会传送同样多的热量。而且,随着淤塞材料堆积,供流体流经的横截面积减小,因此或者是不会有同样多的流体流过,或者是驱动机构(例如泵)需要更加努力地工作以迫使流体经过。由于热交换器的恶化会对工厂的其它部分生成负面影响,因此期望尽早探测到淤塞,从而采取校正行动。

发明内容

[0022] 公开了在热交换器中的异常情况预防的前提下方便监控和诊断过程控制系统及其任何元件的系统和方法。监控和诊断热交换器中的故障包括统计分析技术,例如回归和负荷跟踪。具体来说,可以从正在操作的热交换器中采集在线过程数据。该过程数据可以表示在过程在线并且正常操作时该过程的正常操作。统计分析可用于基于采集的数据来开发过程的回归模型,并且回归模型可以与采集的过程数据一起存储。可替换地,或结合地,可以施行过程的监控,其利用通过使用统计分析开发出的该过程的回归模型以基于回归模型的参数产生输出。该输出可以包括基于模型结果的统计输出,基于训练数据、过程变量极限或模型组件的归一化过程变量以及基于训练数据和模型组件的过程变量额定值。每个输出可以用于生成用于过程监控和诊断的可视化显示,并施行警报诊断,以探测热交换器中的异常情况。

附图说明

[0023] 图 1 是具有分布式过程控制系统和网络的加工厂的示例性框图,其中分布式过程控制系统和网络包括一个以上操作员和维护工作站、控制器、现场设备和支持装置;

[0024] 图 2 是图 1 的加工厂的一部分的示例性框图,示出位于包括热交换器的加工厂的不同元件中的异常情况预防系统的各种部件之间的通信互连;

[0025] 图 3 是外壳和管道热交换器的一个示例;

[0026] 图 4 是用于热交换器的采用可扩展回归算法的热交换器异常情况预防模块的图;

[0027] 图 5 是热交换器中使用热交换器异常情况预防模块的异常情况预防的流程图的示例;

[0028] 图 6 是对热交换器异常情况预防模块进行初始训练的示例的流程图的;

[0029] 图 7A 是描绘热交换器中的过程变量的正常操作范围的图的一个示例;

[0030] 图 7B 是描绘针对热交换器中的过程变量的正常操作范围的模型的图的一个示例;

[0031] 图 8 是可以使用图 4 的热交换器异常情况预防模块来实现的示例方法的流程图;

[0032] 图 9A 是示出所接收的数据集和在热交换器异常情况预防模块的监控状态期间生成的对应的预测值的图;

[0033] 图 9B 是示出所接收的另一数据集和由热交换器异常情况预防模块生成的对应的另一预测值的图;

[0034] 图 9C 是示出所接收的超出热交换器异常情况预防模块的有效范围的数据集的图;

[0035] 图 10A 是示出在热交换器异常情况预防模块的学习状态期间采集的不同操作区域中的并且可以由热交换器异常情况预防模块用来开发在不同操作区域中的第二回归模型的多个数据集的图;

[0036] 图 10B 是示出使用图 10A 的多个数据集开发出的第二回归模型的图;

[0037] 图 10C 是示出更新后的模型及其有效性范围并且示出所接收的数据集和在热交换器异常情况预防模块的监控状态期间所生成的对应的预测值的图;

[0038] 图 11 是更新热交换器异常情况预防模块的模型的示例方法的流程图;

[0039] 图 12 是与诸如图 4 的热交换器异常情况预防模块之类的热交换器异常情况预防模块的可替换操作对应的示例状态转移图;

[0040] 图 13 是在热交换器异常情况预防模块的学习状态下操作的示例方法的流程图;

[0041] 图 14 是更新热交换器异常情况预防模块的模型的示例方法的流程图;

[0042] 图 15 是在热交换器异常情况预防模块的监控状态下操作的示例方法的流程图;

[0043] 图 16 是采用用于热交换器的负荷跟踪算法的可替换热交换器异常情况预防模块的图;

[0044] 图 17 是图 16 中所示的诊断块的详细框图;

[0045] 图 18 是示出一个数组的数据点的表格和当该数组包括两个数据点时由该数组中的数据点定义的函数的对应图;

[0046] 图 19 是示出一个数组的数据点的表各和当该数组包括三个数据点时由该数组中

的数据点定义的函数的对应图；

[0047] 图 20 是示出一个数组的数据点的表格和当该数组包括四个数据点时由该数组中的数据点定义的函数的对应图；

[0048] 图 21 是示出一个数组的数据点的表格和当该数组包括六个数据点时由该数组中的数据点定义的函数的对应图；

[0049] 图 22 是示出由三个相邻的数据点形成的三角形和通过从将监控变量建模为负荷变量的函数的数组中移除数据点产生的误差量的图；

[0050] 图 23 是将监控变量建模为图 21 中所示的负荷变量的函数的函数并且数据点之一被移除的图；

[0051] 图 24 是将监控变量建模为负荷变量的函数并探测异常状况的方法的流程图；

[0052] 图 25 是用于热交换器中的异常情况预防的操作员显示的一个示例；

[0053] 图 26 是用于热交换器中的异常情况预防的操作员显示的另一示例；

[0054] 图 27 是用于热交换器中的异常情况预防的操作员显示的又一示例。

具体实施方式

[0055] 现在参见图 1, 可实现异常情况预防系统的示例加工厂 10 包括通过一个以上通信网络与支持装置一起互连的若干个异常情况预防系统。过程控制系统 12 可以是诸如 PROVOX 或 RS3 系统之类的传统过程控制系统, 也可以是任何其它控制系统, 所述其它控制系统包括连接至控制器 12B 和输入 / 输出 (I/O) 卡 12C 的操作员接口 12A, 控制器 12B 和输入 / 输出 (I/O) 卡 12C 又连接至诸如模拟和 HART[®] 现场设备 15 之类的各种现场设备。过程控制系统 14 可以是分布式过程控制系统, 包括通过诸如以太网总线之类的总线连接至一个以上分布式控制器 14B 的一个以上操作员接口 14A。控制器 14B 可以是例如得克萨斯州奥斯汀市的爱默生过程管理公司销售的 DeltaV[™] 控制器或任何其它期望类型的控制器。控制器 14B 通过 I/O 设备连接到一个以上现场设备 16, 例如 HART[®] 或 Fieldbus 现场设备, 或任何其它包括例如使用 PROFIBUS[®]、WORLDFIP[®]、Device-Net[®]、AS-Interface 以及 CAN 协议中的任一种的智能或非智能现场设备。已知现场设备 16 可以向控制器 14B 提供与过程变量和其它设备信息有关的模拟或数字信息。操作员接口 14A 可以存储和执行过程控制操作员可用的工具 17、19 以控制过程的操作, 所述工具 17、19 包括例如控制优化器、诊断专家、神经网络、调谐器等。

[0056] 更进一步, 维护系统, 例如执行 AMS[™] 程序组: 以上所述的智能设备管理器应用程序和 / 或以下所述的监控、诊断和通信应用程序的计算机, 可以连接至过程控制系统 12 和 14 或连接至其中的单个设备以施行维护、监控和诊断活动。例如, 维护计算机 18 可以通过任何期望的通信线路或网络 (包括无线或手持设备网络) 连接至控制器 12B 和 / 或连接至设备 15, 以与设备 15 通信, 或在某些情况下重新配置设备 15 或对设备 15 施行维护活动。类似地, 诸如 AMS[™] 程序组: 智能设备管理器应用程序之类的维护应用程序可以安装在与分布式过程控制系统 14 相关联的一个以上用户接口 14A 上, 并由所述用户接口 14A 执行, 以施行包括与设备 16 的操作状态有关的数据采集的维护和监控功能。

[0057] 加工厂 10 还包括诸如涡轮机、发动机等的各种旋转装置 20, 这些旋转装置 20 通过一些永久性或临时性通信链路 (例如, 总线、无线通信系统或连接到装置 20 以进行读取

而后被拿走的手持设备)连接到维护计算机 22。维护计算机 22 可以存储和执行由例如 CSI (爱默生过程管理公司) 提供的包括可商用的应用程序的任意数目的监控和诊断应用程序 23 以及以下所述的用于诊断、监控和优化旋转装置 20 和加工厂中的其它装置的操作状态的应用程序、模块和工具。维护人员通常使用应用程序 23 维护和监视工厂 10 中的旋转装置 20 的性能,以确定旋转装置 20 的问题并确定是否必须维修或更换旋转装置 20 以及维修或更换的时间。在某些情况下,外界顾问或服务组织可以临时获取或测量与旋转装置 20 有关的数据,并使用该数据对旋转装置 20 进行分析,以探测问题、不良性能或影响旋转装置 20 的其它事件。在这些情况下,运行分析的计算机可以通过任何通信链路连接到系统 10 的其余部分,也可以仅临时连接到系统 10 的其余部分。

[0058] 类似地,具有与工厂 10 相关联的发电和配电装置 25 的发电和配电系统 24 通过例如总线连接到运行并监视工厂 10 内的发电和配电装置 25 的操作的另一计算机 26。计算机 26 可以执行例如由 Liebert 和 ASCO 或其它公司提供的已知电力控制和诊断应用程序 27,以控制和维护发电和配电装置 25。再次,在很多情况下,外界顾问或服务组织可以使用临时获取或测量与装置 25 有关的数据并使用该数据对装置 25 施行分析的服务应用程序来探测问题、不良性能或影响装置 25 的其它事件。在这些情况下,运行分析的计算机(例如计算机 26)可以不通过任何通信链路连接到系统 10 的其余部分,也可以仅临时连接到系统 10 的其余部分。

[0059] 如图 1 所示,计算机 30 实现异常情况预防系统 35 的至少一部分,具体而言,计算机系统 30 存储并实现配置应用程序 38 和作为可选的异常操作探测系统 42,其若干实施例将在下文中更详细地描述。另外,计算机系统 30 可以实现警告 / 警报应用程序 43。

[0060] 一般而言,异常情况预防系统 35 可以与可选地位于加工厂 10 内的现场设备 15、16,控制器 12B、14B,旋转装置 20 或其支持计算机 22,发电装置 25 或其支持计算机 26,以及任何其它期望设备或装置中的异常操作探测系统(未在图 1 中示出)和 / 或计算机系统 30 中的异常操作探测系统 42 通信,以配置这些异常操作探测系统中的每一个并在这些异常操作探测系统监控时接收关于这些设备或子系统的操作的信息。异常情况预防系统 35 可以以可通信的方式通过硬线总线 45 连接到工厂 10 内的至少某些计算机或设备中的每一个,或者可替代地,可以通过包括例如无线连接、使用 OPC 的专用连接、诸如依靠手持设备采集数据等的间歇性连接的任何其它期望通信连接连接到工厂 10 内的至少某些计算机或设备中的每一个。同样,异常情况预防系统 35 可以通过 LAN 或诸如因特网、电话连接等的公共连接(在图 1 中示出为因特网连接 46)获取与加工厂 10 内的现场设备和装置有关的数据以及由例如第三方服务提供商采集的数据。进一步,异常情况预防系统 35 可以以可通信方式通过包括例如以太网、Modbus、HTML、专有技术 / 协议等的各种技术和 / 或协议连接至工厂 10 中的计算机 / 设备。因此,尽管这里描述了使用 OPC 以可通信方式将异常情况预防系统 35 连接至工厂 10 中的计算机 / 设备的具体示例,但是本领域普通技术人员将认知到,也可以使用各种其它方法将异常情况预防系统 35 连接至工厂 10 中的计算机 / 设备。

[0061] 图 2 示出图 1 的示例加工厂 10 的一部分 50,以描绘异常情况预防系统 35 和 / 或警告 / 警报应用程序 43 可以与示例加工厂 10 的部分 50 中的热交换器 64 通信的一种方式。尽管图 2 示出异常情况预防系统 35 与热交换器 64 内的一个以上异常操作探测系统之间的通信,应当理解,类似的通信可以发生在异常情况预防系统 35 与加工厂 10 内的其它设备以

及装置之间,包括图 1 中示出的设备和装置中的任一种。

[0062] 图 2 中示出的加工厂 10 的部分 50 包括具有一个以上过程控制器 60 的分布式过程控制系统 54,过程控制器 60 通过可以是符合任何期望通信或控制器协议的任何期望类型的 I/O 设备的输入 / 输出(I/O) 卡或设备 69 和 70 连接到一个以上热交换器 64。另外,热交换器 64 可以符合任何期望的开放、专有或其它通信或编程协议,应当理解 I/O 设备 69 和 70 应当与热交换器 64 所使用的期望协议相兼容。尽管并未详细示出,但是热交换器 64 可以包括任意数量的附加设备,所述附加设备包括但不限于现场设备、HART[®]设备、传感器、阀、变送器、定位器等。

[0063] 在任何情况下,可由诸如配置工程师、过程控制操作员、维护人员、工厂管理员、监管员等的工厂人员访问的一个以上用户接口或计算器 72 和 74 (可以是任意类型的个人计算机、工作站等) 通过通信线路或总线 76 被连接至过程控制器 60,其中通信线路或总线 76 可以使用任意期望的硬线或无线通信结构和使用诸如以太网协议之类的任意期望的或合适的通信协议来实现。另外,数据库 78 可以连接至通信总线 76,以作为采集或存储配置信息以及在线过程变量数据、参数数据、状态数据和与过程控制器 60、热交换器 64 以及加工厂 10 中的其它现场设备相关联的其它数据的历史数据库操作。因此,数据库 78 可以操作为配置数据库,以存储包括过程配置模块的当前配置,并且在过程控制系统 54 的控制配置信息下载并存储到过程控制器 60、热交换器 64 的设备以及其它现场设备时存储过程控制系统 54 的控制配置信息。同样地,数据库 78 可以存储历史异常情况预防数据,包括由热交换器 64 (或更具体地说,热交换器 64 的设备) 和加工厂 10 中的其它现场设备采集的统计数据、根据由热交换器 64 (或更具体地说,热交换器 64 的设备) 和其它现场设备采集的过程变量确定的统计数据 and 以下将描述的其它类型的数据。

[0064] 过程控制器 60、I/O 设备 69 和 70 以及热交换器 64 通常位于且遍布于有时严峻的加工厂环境中,而工作站 72、74 和数据库 78 经常位于可由操作员、维护人员等轻松访问的控制室、维护室或其它不太严峻的环境中。虽然只示出一个热交换器 64,但是应当理解,加工厂 10 可以有多个热交换器 64 以及诸如图 1 中所示的各种其它类型的装置。这里所描述的异常情况预防技术同样适用于若干热交换器 64 中的任意热交换器。

[0065] 一般而言,过程控制器 60 可以存储并执行使用多个不同的独立执行的控制模块或块实现控制策略的一个以上控制器应用程序。控制模块中的每一个可以由通常所说的功能块组成,其中每个功能块是总控制例程中的一部分或子例程,并且与其它的功能块结合起来操作(通过称为链路的通信),以实现加工厂 10 中的过程控制环路。公知的是,可以作为面向对象的编程协议中的对象的功能块通常施行输入功能、控制功能或输出功能之一。例如,输入功能可以与变送器、传感器或其它过程参数测量设备相关联。控制功能可以与施行 PID、模糊逻辑或其它类型的控制的控制例程相关联。而且,输出功能可以控制诸如阀之类的一些设备的操作,以施行加工厂 10 中的某些物理功能。当然,还存在诸如模型预测控制器(MPC)、优化器等混合和其它类型的复杂功能块。应当理解的是,尽管 Fieldbus 协议和 DeltaV[™]系统协议使用以面向对象的编程协议设计和实现的控制模块和功能块,但是控制模块也可以使用包括例如顺序功能块、梯形逻辑等的任意期望的控制编程方案来设计,并且不限于使用功能块或任意其它特定的编程技术来设计。

[0066] 如图 2 所示,维护工作站 74 包括处理器 74A、存储器 74B 和显示设备 74C。存储器

74B 以下面的方式存储针对图 1 所讨论的异常情况预防应用程序 35 和警告 / 警报应用程序 43,即可以在处理器 74A 上实现这些应用程序以通过显示器 74C(或诸如打印机之类的任意其它显示设备)向用户提供信息。

[0067] 热交换器 64,具体来说是热交换器 64 的设备,可以包括存储器(未示出),以存储诸如用于实现与检测设备所检测的一个以上过程变量有关的统计数据采集的例程和 / 或以下将描述的用于异常操作探测的例程之类的例程。一个以上热交换器 64 中的每一个和 / 或具体来说是一个以上热交换器 64 的设备中的一些或所有,都可以包括处理器(未示出),该处理器用于执行诸如实现统计数据采集的例程和 / 或用于异常操作探测的例程之类的例程。统计数据采集和 / 或异常操作探测不需要由软件来实现。相反,本领域普通技术人员应当认识到,这种系统可以由一个以上现场设备和 / 或其它设备中的软件、固件和 / 或硬件的任意组合来实现。

[0068] 如图 2 所示,热交换器 64 的设备和 / 或热交换器 64 本身(和工厂 10 中可能的某些或所有热交换器)包括以下将更详细描述的一个以上异常操作探测块 80。尽管图 2 的块 80 被示为位于热交换器 64 中,但是该块或类似的块可以位于任意数目的热交换器 64 中或位于工厂 10 的各种其它装置和设备中,其中其它设备例如控制器 60、I/O 设备 68、70 或图 1 中所示的任意设备。另外,如果工厂 10 或工厂的部分 50 包括两个以上热交换器 64,则块 80 可以在热交换器 64 的任意子集中,例如在热交换器 64 的一个以上设备(例如温度传感器、温度变送器)中。

[0069] 一般而言,块 80 或块 80 的子元件从它们所处的设备和 / 或从其它设备采集诸如过程变量数据之类的数据。例如,块 80 可以从热交换器 64 内的诸如温度传感器、温度变送器之类的设备或其它设备中采集温度差,也可以根据来自设备的温度测量值确定温度差变量。块 80 可以包括在热交换器 64 中,并且可以通过阀、传感器、变送器或任意其它现场设备采集数据。另外,块 80 或该块的子元件可以出于若干原因对变量数据进行处理并而对该数据施行分析。例如,被示为与热交换器 64 相关联的块 80 可以具有对热交换器 64 的几个过程变量进行分析的淤塞探测例程 82,下面将进一步解释。

[0070] 块 80 可以包括一个以上统计过程监控(SPM)块或单元的集合,例如块 SPM1 — SPM4,这些块可以采集热交换器 64 中的过程变量数据或其它数据,并对所采集的数据施行一个以上统计计算,以确定例如所采集的数据的均值、中值、标准差、均方根(RMS)、变化率、范围、最小值、最大值等和 / 或探测所采集的数据中的诸如漂移、偏置、噪音、毛刺等的事件。所生成的具体统计数据和生成的方法并不重要。因此,还可以生成不同类型的统计数据,作为以上所述的具体类型的补充或替代。另外,包括已知技术的多种技术可以用于生成这类数据。这里术语“统计过程监控(SPM)块”被用于描述对诸如 R_{tot} 和 / 或 ΔP 变量之类的至少一个过程变量或其它过程参数施行统计过程监控的功能,该功能可以由数据被采集的设备中的或甚至是该设备外部的任意期望的软件、固件或硬件来实现。应当理解,由于 SPM 通常位于在其中设备数据被采集的设备中,因此 SPM 能够获得数量更多并且质量更准确的过程变量数据。因此对于所采集的过程变量数据,SPM 块通常能够比位于其中过程变量数据被采集的设备外部的块确定更好的统计计算。

[0071] 应该理解,尽管在图 2 中块 80 被示为包括 SPM 块,但是相反,SPM 块可以是与块 80 和 82 分离的独立块,并且可以位于与另一异常操作探测块相同的热交换器 64 中,也可以位

于不同的设备中。这里所讨论的 SPM 块可以包括已知的 FOUNDATION™ Fieldbus SPM 块、或者与已知的 FOUNDATION™ Fieldbus SPM 块相比具有不同的或附加能力的 SPM 块。这里使用的术语“统计过程监控(SPM)块”是指采集诸如过程变量数据之类的数据并对该数据施行某些统计处理以确定诸如均值、标准差等的统计测量值的任意类型的块或元件。因此,该术语意在覆盖可以施行该功能的软件、固件、硬件和 / 或其它元件,而不管这些元件是否采用功能块、或其它类型的块、程序、例程或元件的形式,也不管这些元件是否符合 FOUNDATION™ Fieldbus 协议或诸如 Profibus、HART®、CAN 等协议之类的某些其它协议。如果需要,块 80、82 的基础操作可以至少部分如美国专利 No. 6, 017, 143 中所描述的那样来施行或实现,该专利通过引用合并于此。

[0072] 进一步应当理解,尽管在图 2 中块 80 被示为包括 SPM 块,但是 SPM 块不是必需的。例如,块 80 的异常操作探测例程可以使用未被 SPM 块处理的过程变量数据来操作。作为另一示例,块 80 可以接收由位于其它设备中的一个以上 SPM 块提供的数据,并对该数据进行操作。作为再一示例,过程变量数据可以通过并不是由很多典型的 SPM 块提供的方式来处理。仅作为一个示例,过程变量数据可以由诸如带通滤波器或某种其它类型的滤波器之类的有限脉冲响应(FIR)或无限脉冲响应(IIR)滤波器滤波。作为另一示例,可以对过程变量数据进行削减,从而使其保持在特定的范围内。当然,可以对已知的 SPM 块进行修改,以提供这种不同的或附加的处理能力。尽管块 80 包括四个 SPM 块,但是块 80 中可以具有其它任意数目的 SPM 块以采集和确定统计数据。

[0073] 参见图 3,异常操作探测块 80 可以对热交换器 64 进行监控以检查淤塞。外壳和管道型热交换器 64 可以包括外壳部分 70 和管道部分 74。外壳部分 70 可以包括入口 78、出口 82 和多个障板 86。管道部分 74 可以包括入口 90、出口 94 和被外壳部分 70 包围的多个管道 98。在操作时,冷流体通过入口 78 进入外壳部分 70,包围管道 98,围绕障板 86 流动以产生湍流 102,并继续到出口 82。同时,热流体进入入口 90,流经管道 98,在这里湍流的冷水吸收流体的热量,并继续到出口 94。这样,热交换器 64 降低了热流体的温度。当然,该过程可以被颠倒,由此冷流体进入入口 90,且热流体进入入口 78。入口 78、90 和出口 82、94 还可以包括在热交换器 64 操作期间测量和控制流体温度,流体压力、流速和其它度量的任意数目的现场设备(未示出)、控制器(未示出)、阀 106、泵 110 或其它设备。

[0074] 在典型的热交换器应用程序中,有几种测量值可用。热交换器 64 测量值的一些示例是冷流体流速(F_c)、冷流体入口温度($T_{c, in}$)、冷流体出口温度($T_{c, out}$)、冷流体入口压力($P_{c, in}$)、冷流体出口压力($P_{c, out}$)、热流体流速(F_h)、热流体入口温度($T_{h, in}$)、热流体出口温度($T_{h, out}$)、热流体入口压力($P_{h, in}$)和热流体出口压力($P_{h, out}$)。某些热交换器 64 仅可以捕获这些测量中的几个,而其它热交换器 64 则可以变更测量值。变更后的测量值的一个示例可以仅包括差动压力的单个测量值,而不是独立的入口压力和出口压力。

[0075] 探测热交换器 64 中的淤塞异常情况可以包括以上所述的一些或所有测量值。淤塞探测的一种方法可以包括监控差动压力。差动压力可以 1) 由跨接在热交换器两端以直接测量差动压力(ΔP)的差动压力变送器来测量,或 2) 由测量热交换器上的入口压力 P_{in} 和出口压力 P_{out} 的绝对压力变送器来测量。这样,

[0076]
$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \quad (\text{公式 1})$$

[0077] 差动压力(ΔP)依赖于通过热交换器的流体的流速。因此,基于 ΔP 探测淤塞的

算法也包括流速的改变。进一步地, ΔP 可以允许淤塞探测块 80 在热交换器 64 的热端和冷端处测量和探测 P_{in} 和 P_{out} 值。

[0078] 淤塞探测的另一方法可以包括监控总热阻 (R_{tot})。热交换器中的传热速率 ($\dot{Q}$) 可以使用热端或冷端的测量值来计算:

[0079] $\dot{Q} = \dot{m}_c \cdot C_c \cdot \Delta T_c = \dot{m}_h \cdot C_h \cdot \Delta T_h$ (公式 2)

[0080] 其中 $\dot{m}_c$ 和 $\dot{m}_h$ 是冷流体和热流体的质量流速, C_c 和 C_h 是冷流体和热流体的比热, ΔT_c 和 ΔT_h 是冷流体和热流体的温度差, 其中 $\Delta T_c = T_{c, out} - T_{c, in}$, 并且 $\Delta T_h = T_{h, in} - T_{h, out}$ 。

[0081] 总的传热还可以使用对数平均温度差 (LMTD) 和热交换器的属性来计算。

[0082] $\dot{Q} = U \cdot A \cdot LMTD$ (公式 3)

[0083] 其中 U 是平均传热系数, A 是热交换器的传热表面积, LMTD 是对数平均温度差, 被定义为:

[0084] $LMTD = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)}$ (公式 4)

[0085] 其中, 对于平行流或并发流热交换器:

[0086] $\Delta t_1 = t_{h, in} - t_{c, in}, \Delta t_2 = t_{h, out} - t_{c, out}$ (公式 5)

[0087] 并且对于逆流热交换器:

[0088] $\Delta t_1 = t_{h, in} - t_{c, out}, \Delta t_2 = t_{h, out} - t_{c, in}$ (公式 6)

[0089] 尽管公式 3 的 A 可以从产品说明书中获得, 但是 U 可能很难通过分析确定。然而, U 和 A 可以被视为单个变量: 总体总传热速率。UA 的倒数是总热阻 R_{tot} 。

[0090] $R_{tot} = \frac{1}{UA}$ (公式 7)

[0091] 针对 $\dot{Q}$ 合并两个不同的公式:

[0092] $UA \cdot LMTD = \dot{Q} = \dot{m}_c \cdot C_c \cdot \Delta T_c$ (公式 8)

[0093] 或

[0094] $R_{tot, c} = \frac{1}{UA} = \frac{LMTD}{F_c \cdot C_c \cdot \Delta T_c}$ (公式 9)

[0095] 对于热端的流速:

[0096] $R_{tot, h} = \frac{1}{UA} = \frac{LMTD}{F_h \cdot C_h \cdot \Delta T_h}$ (公式 10)

[0097] 使用公式 9 或公式 10, 总热阻的增加可以指示热交换器中有淤塞。

[0098] 对于给定的应用, 项 C_c 和 C_h 可以是常数。由于淤塞探测算法实际上可以不包括热阻的值, 而是可以仅在值变化时进行探测, 因此公式 9 和公式 10 可以简化为:

[0099] $R_{tot} \propto \frac{LMTD}{F_h \cdot \Delta T_h} \propto \frac{LMTD}{F_c \cdot \Delta T_c}$ (公式 11)

[0100] 为了基于热阻监控淤塞, 可以针对以下过程变量中的一些或全部来监控热交换器 64: 热流体或冷流体的流速 (流量) (F_c 或 F_h)、热流体的入口温度 ($T_{h, in}$)、热流体的出口温度 ($T_{h, out}$)、冷流体的入口温度 ($T_{c, in}$) 和冷流体的出口温度 ($T_{c, out}$)。可以使用各种方法探测热交换器 64 的异常操作。在一种实施方式中, 可以使用可扩展回归探测热交换器的异常操作。在另一实施方式中, 可以使用针对负荷跟踪应用程序中的异常情况预防的简化算法探

测热交换器的异常操作。

[0101] 热交换器中的异常情况预防模块的综述

[0102] 在热交换器正常操作状况下, R_{tot} 和 ΔP 都会基于负荷变量(流量)而改变。回归算法可以用于探测异常情况, 其中回归算法将 R_{tot} 和 ΔP 两者或其中任一者建模为经过热交换器 64 的流量的函数。

[0103] 图 4 是用于热交换器异常情况预防模块的可以在异常操作探测块 80 中使用的或可以作为图 2 的异常操作探测系统 42 的示例异常情况预防模块 150 的框图。异常情况预防模块 150 可以用于探测热交换器 64 已经发生的或正在发生的异常操作, 例如通过增加 R_{tot} 和 / 或 ΔP 而指示的淤塞状况, 其中异常操作在本申请的全部内容中可以称作异常情况或异常状况。在下文中, 异常情况预防模块 150 将被称作热交换器异常情况预防模块 150。热交换器异常情况预防模块 150 可以用于在异常操作在热交换器 64 中实际发生之前预测这些异常操作的发生, 其目的在于, 在热交换器 64 或加工厂 10 中产生任何严重损失之前, 例如通过与异常情况预防系统 35 结合操作, 来采取措施预防预测到的异常操作。在一个示例中, 热交换器 64 可以有相应的热交换器异常情况预防模块 150, 虽然应当理解, 普通热交换器异常情况预防模块 150 可以用于多个热交换器 64。由于正常操作状况期间 ΔP 和 / 或 R_{tot} 可以作为某诸如流量之类的负荷变量的函数而改变, 因此热交换器异常情况预防模块 150 针对负荷变量(流量)的值的范围学习正常或基线 ΔP 和 / 或 R_{tot} 值。

[0104] 参见图 4, 热交换器异常情况预防模块 150 可以采用多个过程变量作为输入, 如上所述。例如, 热交换器异常情况预防模块 150 的输入可以是冷流体入口温度($T_{c, in}$)152、冷流体出口温度($T_{c, out}$)154、热流体入口温度($T_{h, in}$)156、热流体出口温度($T_{h, out}$)158、冷流体流速(F_c)160、热流体流速(F_h)162、冷流体差动压力(ΔP_c)164 和热流体差动压力(ΔP_h)166。进一步地, 热交换器异常情况预防模块可以使用绝对压力测量值: 冷流体入口压力($P_{c, in}$)、冷流体出口压力($P_{c, out}$)、热流体入口压力($P_{h, in}$)和热流体出口压力($P_{h, out}$)来替换 ΔP 输入。然后, 热交换器异常情况预防模块 150 可以使用绝对压力测量值来计算 ΔP 输入。根据公式 11, 热交换器异常情况预防模块 150 可以在块 168 处计算 $R_{tot, c}$, 并在块 170 处计算 $R_{tot, h}$ 。

[0105] 负荷变量 160、162 可以传递到对应的负荷变量 SPM 块 172, 而监控变量值 152、154、156 和 158 可以与负荷变量 160、162 结合使用, 以计算监控变量 R_{tot} 168、170, 然后监控变量 R_{tot} 168、170 可以与监控变量值 164、166 一起传递到多个监控变量 SPM 块 173。SPM 块 172、173 可以用于计算各个监控输入的统计特征(statistical signature)以及流速。在一种实施方式中, 在 SPM 块 172 中计算的均值(μ)作为回归块的输入(x 和 y)。统计特征也可以是根据输入计算出的各种统计数据中的任一种, 例如均值、中值、标准差数据、变化率数据、范围数据等。这种数据可以基于输入的滑动窗口(sliding window)或基于输入的非重叠窗口来计算。作为一个示例, 负荷变量 SPM 块 172 可以生成在用户指定的样本窗口尺寸内的均值和标准差数据, 所述用户指定的样本窗口尺寸例如最近的负荷变量样本和先前的负荷变量样本或在统计上有用的任意数目的样本或数据量。在该示例中, 可以针对由负荷变量 SPM 块 172 接收的每个新的负荷变量样本生成平均负荷变量值和标准差负荷变量值。作为另一示例, 负荷变量 SPM 块 172 可以使用非重叠的时间段生成均值和标准差数据。在该示例中, 可以使用五分钟(或某些其它合适的时间段)的窗口, 因此均值和 / 或标准差负荷变量值可以每五分钟生成一次。以类似的方式, 监控变量 SPM 块 173 接收监控变量 164、

166、168 和 170,从而以与负荷变量 SPM 块 172 类似的方式生成第二统计数据,例如特定样本窗口内的均值和标准差数据。这些统计特征还可以在现场设备或者在主机系统中计算。在另一实施例中,为了计算 R_{tot} ,可以使用先前所描述的后面使用的公式在现场设备中计算温度和流速的均值。热交换器异常情况预防模块 150 将这些值从 SPM 块 172、173 传递到多个回归块 176、180、184、188。

[0106] 在学习阶段期间,回归块 176、180、184、188 分别将监控变量(R_{tot} 和 / 或 ΔP)建模为负荷变量(流量)的函数。在监控阶段期间,回归块 176、180、184、188 计算监控值的预测值,并将监控变量与预测值进行比较。在一个实施例中,回归块 176 预测作为 F_c 的函数的 ΔP_c 的值,回归块 180 预测作为 F_c 的函数的 $R_{tot,c}$ 的值,回归块 184 预测作为 F_h 的函数的 $R_{tot,h}$ 的值,回归块 188 预测作为 F_h 的函数的 ΔP_h 的值。例如,在以下更详细描述的学习阶段期间,回归块 176、180、184、188 创建回归模型,以预测根据监控变量 R_{tot} 、 ΔP 生成的数据,其中监控变量 R_{tot} 、 ΔP 是根据负荷变量(F_h 、 F_c , 统称流量)生成的数据的函数。根据监控变量 R_{tot} 、 ΔP 生成的数据和根据负荷变量生成的数据可以包括监控数据和负荷变量数据,已经被滤波或以其它方式被处理的监控数据和负荷变量数据,以及根据监控数据和负荷变量数据生成的统计数据等。在以下同样被更详细描述监控阶段期间,回归模型预测在热交换器 64 的操作期间根据 R_{tot} 和 / 或 ΔP 生成的数据的值。回归块 176、180、184、188 基于根据 R_{tot} 和 / 或 ΔP 生成的数据的预测值和根据 R_{tot} 和 / 或 ΔP 生成的数据的监控值之间的偏差(如果有的话)输出对应的状态 175、179、183、187。例如,如果 R_{tot} 和 ΔP 两者或其中的任一者的监控值明显偏离它们的预测值,则回归块 176、180、184、188 可以输出指示热交换器中存在淤塞状况的“Up”状态。否则,回归块 176、180、184、188 可以输出“正常”状态。

[0107] 回归块 176、180、184、188 包括来自 SPM 块 172 的作为自变量输入(x)的负荷变量输入和来自 SPM173 的作为至少一个因变量输入(y)的监控变量输入。正如以上所讨论的,监控变量 152、154、156、160 和 162 被用于计算热交换器 64 中的 R_{tot} 。如以上更详细描述,可以使用多个数据集训练回归块 176、180、184、188,以将监控变量 R_{tot} 或 ΔP 建模为负荷变量 F_c 160 或 F_h 162 的函数。回归块 176、180、184、188 可以使用来自 SPM 172、173 的负荷变量和监控变量的均值、标准差或其它统计测量值作为用于回归建模的自变量和因变量输入(x , y)。例如,负荷变量和监控变量的均值可以在回归建模中用作(x , y)点,标准差可以被建模为负荷变量的函数,并被用于确定监控阶段期间探测到异常情况的阈值。同样应当理解,尽管热交换器异常情况预防模块 150 被描述为将差动压力和 / 或热阻变量建模为负荷变量的函数,但是热交换器异常情况预防模块 150 可以基于提供给回归模型的自变和因变输入,将根据差动压力和 / 或热阻变量生成的各种数据建模为根据负荷变量生成的各种数据的函数,其中自变和因变输入包括但不限于差动压力和 / 或热阻数据和负荷变量数据、根据差动压力和 / 或热阻数据和负荷变量数据生成的统计数据,以及已经被滤波或以其它方式被处理的差动压力和 / 或热阻数据和负荷变量数据。另外,尽管热交换器异常情况预防模块 150 被描述为预测差动压力和 / 或热阻变量的值,并将差动压力和 / 或热阻变量的预测值与监控值进行比较,但是预测值和监控值可以包括根据差动压力和 / 或热阻变量生成的各种预测值和监控值,例如预测和监控差动压力和 / 或热阻数据,由差动压力和 / 或热阻数据生成的预测和监控统计数据,以及已经被滤波或以其它方式被处理的预测和监控差动压力和 / 或热阻数据。

[0108] 如以下将更详细描述, 回归块 176、180、184、188 可以包括一个以上回归模型, 每个回归模型针对不同的操作区域而被提供。各回归模型可以使用函数将 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变值建模为负荷自变量(流量)在负荷变量的某个范围内的函数。回归模型可以包括例如线性回归模型或一些其它回归模型。通常, 线性回归模型包括函数 $f(X)$ 、 $g(X)$ 、 $h(X)$ 、... 的某一线性组合。为了为工业过程建模, 典型的合适线性回归模型可以包括一阶函数 X (例如, $Y=m*X+b$) 或二阶函数 X (例如, $Y=a*X^2+b*X+c$), 然而其它函数可能也是合适的。

[0109] 在图 4 所示的示例中, 在学习阶段期间, (x, y) 点被存储。在学习阶段结束时, 计算回归系数, 以开发预测作为负荷变量的函数的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 的回归模型。用于开发回归模型的负荷变量的最大值和最小值也被存储。在一个示例中, 回归拟合 p 阶多项式, 从而可以基于负荷变量值 (x) 来计算 (例如, $y_{px}=a_0+a_1+\dots+a_px^p$) R_{tot} 和 / 或 ΔP 的预测值 (y_p) 。通常, 多项式的阶数 p 可以是用户输入, 但是也可以提供自动确定该多项式的阶数的其它算法。当然, 也可以使用其它类型的函数, 例如更高阶多项式、正弦函数、对数函数、指数函数、幂函数等。

[0110] 在热交换器异常情况预防模块 150 被训练之后, 在监控阶段期间, 由对应的偏差探测器 190、192、194、196 利用回归模型来基于给定的负荷自变量(流量)输入 (x) 生成 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量 Y 的至少一个预测值 (y) 。偏差探测器 190、192、194、196 进一步将监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 输入 (y) 和负荷自变量(流量)输入 (x) 用于回归模型。一般而言, 偏差探测器 190、192、194、196 计算针对特定负荷变量值的预测值 (y) , 并将预测值用作“正常”或“基线” R_{tot} 和 / 或 ΔP 。每个偏差探测器 190、192、194、196 分别将对应的监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y) 与由回归块 176、180、184、188 生成的预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y_p) 进行比较, 以确定是否 R_{tot} 和 ΔP (y) 两者或其中任一个明显偏离预测值 (y_p) (例如, $\Delta y=y-y_p$)。如果监控值 (y) 明显偏离预测值 (y_p) , 则这可能指示异常情况已发生、正在发生或在不久的将来会发生, 因此偏差探测器 190、192、194、196 生成偏差的指示符。例如, 如果监控 R_{tot} 值 (y) 高于预测 R_{tot} 值 (y_p) 并且差超出阈值, 则可以生成异常情况的指示 (例如“Up”)。否则, 状态为“正常”。在某些实施方式中, 异常情况的指示符可能包括警告或警报。

[0111] 在另一实施例中, 当可用的变量比针对图 4 所描述的所有变量少时, 热交换器异常情况预防模块 150 可以被简化。例如, 如果可用的测量变量仅是 ΔP_c 164、 F_c 160、 $T_{c, in}$ 152、 $T_{c, out}$ 154、 $T_{h, in}$ 156 和 $T_{h, out}$ 158 时, 则热交换器异常情况预防模块 150 可以仅使用冷端的 R_{tot} 168 和 ΔP 164 监控淤塞。类似地, 如果可用的测量变量仅是 ΔP_h 166、 F_h 162、 $T_{c, in}$ 152、 $T_{c, out}$ 154、 $T_{h, in}$ 156 和 $T_{h, out}$ 158 时, 则热交换器异常情况预防模块 150 可以仅使用热端的 R_{tot} 170 和 ΔP 166 监控淤塞。

[0112] 除了针对异常情况对热交换器 64 进行监控之外, 偏差探测器还检查负荷变量是否位于在模型开发和训练期间所看到的极限内。例如, 在监控阶段, 偏差探测器监控负荷变量的给定值是否位于在模型的学习阶段期间使用的负荷变量的最大值和最小值所确定的回归模型的操作范围内。如果负荷变量值超出了极限, 则偏差探测器可以输出“超出范围”的状态或表示负荷变量超出回归模型的操作区域的其它指示。或者回归块可以等待来自用户的输入, 以针对新的操作区域开发并训练新的回归模型, 或针对新的操作区域自动开发并训练新的回归模型, 其示例在下面进一步提供。

[0113] 本领域普通技术人员将认识到, 可以以各种方式修改热交换器异常情况预防模块

150 和回归块 176、180、184、188。例如,SPM 块 172、173 可以被省略,并且负荷变量和监控变量的原始值可以被直接提供给块作为用于回归建模的(x, y)点,并被直接提供给偏差探测器用于监控。作为另一示例,还可以使用其它类型的处理作为对 SPM 块 172、173 的补充或替代。例如,可以在 SPM 块 172、173 之前,或在使用 SPM 块 172、173 的地方,对过程变量数据进行滤波、削减等。

[0114] 另外,尽管回归块 176、180、184、188 被示为具有单个负荷自变量输入(x)、单个因变量(y)和单个预测值(y_p),但是这些块可以包括将一个以上监控变量建模为多个负荷变量的函数的回归模型。例如,这些块可以包括多元线性回归(MLR)模型、主成分回归(PCR)模型、偏最小二乘(PLS)模型、岭回归(ridge regression,RR)模型、变量子集选择(VSS)模型、支持向量机(SVM)模型等。

[0115] 热交换器异常情况预防模块 150 可以整体或部分在热交换器 64 或热交换器 64 的设备中实现。仅作为一个示例,SPM 块 172、173 可以在热交换器 64 的温度传感器或温度变送器中实现,而回归块 176、180、184、188 和 / 或偏差探测器 190、192、194、196 可以在控制器 60 (图 2)或某个其它设备中实现。在一个特定的实施方式中,热交换器异常情况预防模块 150 可以用功能块实现,例如在实现 Fieldbus 协议的系统中使用的功能块。这样的功能块可以包括也可以不包括 SPM 块 172、173。在另一实施方式中,至少一些热交换器异常情况预防模块 150 中的每一个可以用功能块实现。例如,块 170、172、173 可以用回归功能块 188 的功能块的实现。然而,每个块的功能可以各种方式分布。例如,回归块 176、180、184、188 可以向偏差探测器 190、192、194、196 提供输出(y),而不是偏差探测器执行相应的回归模型以提供监控变量的预测(y_p)。在该实施方式中,回归块 176、180、184、188 被训练之后,可以用于基于给定的负荷自变量(流量)输入(x)生成监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)的预测值(y_p)。这些块的输出(y_p)被提供给偏差探测器。偏差探测器接收回归块的输出(y_p)以及给相应的回归块的因变量输入(x)。如上所述,偏差探测器将监控值(y)与相应的回归块生成的预测值(y_p)进行比较,以确定因变值(y)是否明显偏离预测值(y_p)。

[0116] 热交换器异常情况预防模块 150 可以与异常情况预防系统 35 (图 1 和图 2)进行通信。例如,热交换器异常情况预防模块 150 可以与配置应用程序 38 进行通信,以允许用户对热交换器异常情况预防模块 150 进行配置。例如,SPM 块 172、173、回归块 176、180、184、188 和偏差探测器 190、192、194、196 中的一个以上可以具有可通过配置应用程序 38 修改的用户可配置参数。

[0117] 另外,热交换器异常情况预防模块 150 可以给异常情况预防系统 35 和 / 或加工厂中的其它系统提供信息。例如,由偏差探测器生成的偏差指示可以被提供给异常情况预防系统 35 和 / 或警告 / 警报应用程序 43,以将异常状况通知给操作员。作为另一示例,在回归块被训练之后,回归块的参数可以被提供给异常情况预防系统 35 和 / 或加工厂中的其它系统,从而使操作员能够检查回归块和 / 或使回归块参数可以被存储在数据库中。作为再一示例,热交换器异常情况预防模块 150 可以将(x)、(y)和 / 或(y_p)值提供给异常情况预防系统 35,从而使操作员能够例如在探测到偏离时查看这些值。

[0118] 图 5 是用于探测加工厂 10 的热交换器 64 中的异常操作的示例方法 275 的流程图。方法 275 可以使用以上所述的示例热交换器异常情况预防模块 150 来实现。然而,本领域普通技术人员会认识到,方法 275 可以由另一系统实现。在块 280 处,诸如回归块 176、

180、184、188 所提供的模型之类的模型被训练。例如,可以使用负荷自变量(流量)和 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量 Y 数据集来训练模型,以将其配置为将 R_{tot} 和 / 或 ΔP 建模为负荷变量(流量)的函数。该模型可以包括针对不同负荷变量的范围分别将 R_{tot} 和 / 或 ΔP 变量建模为负荷变量(流量)的函数的多个回归模型。

[0119] 在块 284 处,训练后的模型使用所接收的负荷自变量,即流量($F_{c,h}$)生成 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变值的预测值(y_p)。接下来,在块 284 处,将 R_{tot} 和 / 或 ΔP 变量的监控值(y)与对应的预测值(y_p)进行比较,以确定 R_{tot} 和 / 或 ΔP 是否明显偏离预测值。例如,每个对应的偏差探测器 190、192、194、196 生成或接收回归块的输出(y_p),并将其与 R_{tot} 和 / 或 ΔP 各自的值进行比较。如果确定 R_{tot} 和 / 或 ΔP 的监控值已明显偏离预测值(y_p),则在块 292 处生成偏离的指示符。在热交换器异常情况预防模块 150 中,例如偏差探测器可以生成该指示符。该指示符可以是指示已探测到明显偏离(例如状态=“Up”)的例如警告或警报,或任意其它类型的信号、标志、消息等。

[0120] 如以下更详细讨论的,块 280 可以在模型被初始训练之后并在已生成 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量的预测值(y_p)之后重复。例如,如果过程中的设定点已被改变,或如果负荷自变量的值落到范围 x_{MIN} , x_{MAX} 以外,则可以对模型进行重新训练。

[0121] 回归模型的综述

[0122] 图 6 是用于对诸如回归块 176、180、184、188 所提供的模型之类的模型进行初始训练的示例方法 300 的流程图。模型的训练可以被称作学习状态,如以下进一步描述的。在块 304 处,可以接收针对负荷自变量 X (流量)和 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量 Y 的至少足够数目的数据集(x , y),以便训练模型。如上所述,数据集(x , y)可以包括监控变量(R_{tot} 和 / 或 ΔP)和负荷变量($F_{c,h}$)数据,已经被滤波或以其它方式被处理的监控变量和负荷变量数据,以及根据监控变量和负荷变量数据生成的统计数据等。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,该模型可以从 SPM 块 172、173 接收数据集(x , y)。在一个实施方式中,回归模型使用单个自变量 X (流量)和单个因变量 Y (R_{tot} 或 ΔP)作为输入。在另一实施例中,回归模型使用单个 X (流量)值和多个 Y (R_{tot} 和 ΔP)值作为输入。在任一实施例中,回归模型可以对冷端和热端两者或其中任一者施行异常情况预防诊断。在热交换器的一端实现的回归块可以比合并热端和冷端两者的回归块包括更少的功能块。现在参见图 7A,图 350 示出模型所接收的多个数据集(x , y)的示例,并示出模型被初始训练时热交换器异常情况预防模块 150 处于学习状态。具体来说,图 7A 的图 350 包括已采集的一组数据集 354。

[0123] 再次参见图 6,在块 308 处,可以生成模型的有效范围 [x_{MIN} , x_{MAX}]。有效范围可以指示该模型有效的负荷自变量 X 的范围。例如,有效范围可以指示该模型仅针对(x)大于或等于 x_{MIN} ,并且小于或等于 x_{MAX} 的负荷变量 X 是有效的。仅作为一个示例, x_{MIN} 可以被设置为在块 304 处接收的数据集(x , y)中的负荷变量的最小值,而 x_{MAX} 可以被设置为在块 304 处接收的数据集(x , y)中的负荷变量的最大值。再次参见图 7A,例如, x_{MIN} 可以被设置为数据集的最左边的负荷变量值, x_{MAX} 可以被设置为数据集的最右边的负荷变量值。当然,有效范围的确定也可以采用其它方式来实现。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,回归块 176、180、184、188 可以生成有效范围。

[0124] 在块 312 处,可以基于块 304 处接收的数据集(x , y)生成针对范围 [x_{MIN} , x_{MAX}] 的回归模型。在以下进一步描述的示例中,发出监控命令之后,或如果已采集了最大数目的数

据集,则可以生成对应于该组数据集 354 的回归模型。包括已知技术的多种技术中的任意一种都可以用于生成回归模型,并且多种函数中的任意一种都可以被用作模型。例如,模型可以包括线性公式、二次公式、更高阶的公式等。图 7B 的图 370 包括在块 304 处所接收的数据集 (x, y) 上叠加而成的曲线 358,其示出用于对数据集 (x, y) 建模的与该组数据集 354 对应的回归模型。与曲线 354 对应的回归模型在范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 内有效。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,回归块 176、180、184、188 可以针对范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 生成回归模型。

[0125] 通过操作区域改变来利用模型

[0126] 可能是在该模型在初始训练之后,该模型所模拟的系统可以进入不同的但是正常的操作区域。例如,设定点可以被改变。图 8 是使用该模型确定异常操作是否正在发生、已发生或可能发生的示例方法 400 的流程图,其中如果被建模的过程转移到不同的操作区域,则该模型可以被更新。方法 400 可以由诸如图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 之类的异常情况预防来实现。当然,方法 400 也可以由其它类型的模块来实现。方法 400 可以在初始模型已生成之后实现。例如,图 6 的方法 300 可以用于生成初始模型。

[0127] 在块 404 处,接收数据集 (x, y) 。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,回归块可以从例如 SPM 块 172、173 接收数据集 (x, y) 。然后,在块 408 处可以确定块 404 处接收的数据集 (x, y) 是否处于有效范围中。有效范围可以指示模型有效的范围。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,回归块 176、180、184、188 可以对块 404 处接收的负荷变量值 (x) 进行检查,以确定该负荷变量值 (x) 是否位于有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 内。如果确定块 404 处接收的数据集 (x, y) 在有效范围内,则流程可以前进到块 412。

[0128] 在块 412 处,可以使用该模型生成监控因变量 Y 的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 两者或其中任一者的预测值 (y_p) 。具体来说,该模型根据块 404 处接收的总流量 $(F_{c,h})$ 负荷变量值 (x) 生成预测的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y_p) 。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,回归块 176、180、184、188 根据从 SPM 块 172、173 接收的负荷变量值 (x) 生成预测值 (y_p) 。

[0129] 然后,在块 416 处,可以将块 404 处接收的监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y) 与预测的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y_p) 进行比较。该比较可以多种方式实现。例如,可以生成差或百分比差。也可以使用其它类型的比较。现在参见图 9A,将示例的所接收的数据集在图 350 中示出为点 358,并且将相应的预测值 (y_p) 示出为“x”。图 9A 的图 350 示出处于监控状态的热交换器异常情况预防模块 150 的操作。该模型利用曲线 354 所指示的回归模型生成预测值 (y_p) 。如图 9A 所示,已经计算出在块 404 处接收的监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y) 与预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y_p) 之间的差为 -1.754% 。现在参见图 9B,另一示例的所接收的数据集在图形 350 中示出为点 362,并且相应的预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y_p) 示出为“x”。如图 9B 所示,已经计算出在块 404 处接收的监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y) 与预测值 (y_p) 之间的差为 -19.298% 。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,用于 $R_{\text{tot},c}$ 、 $R_{\text{tot},h}$ 、 ΔP_c 、 ΔP_h 的偏差探测器 190、192、194、196 可以施行该比较。

[0130] 再次参见图 8,在块 420 处,可以基于块 416 的比较来确定在块 404 处接收的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y) 是否明显偏离预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值 (y_p) 。块 420 处的确定可以以多种方式实现,并且可以依赖于在块 416 处的比较如何实现。例如,如果在块 412 处生成了 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值,则可以确定该差是否超出某阈值。该阈值可以是预先确定的或者可配置的

值。同样,该阈值可以是常数也可以变化。例如,该阈值可以随在块 404 处接收的负荷自变量(流量)值(x)的值而变化。作为另一示例,如果在块 412 生成了百分比差值,则可以确定该百分比值是否超出某阈值百分比,例如高于预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y_p)的某一百分比。作为又一示例,只有在两次或某个其他次数的连续比较都超过阈值的情况下,才可以确定明显偏离。作为再一示例,只有在监控值(y)超出预测值(y_p)的量大于预测变量值(y_p)的特定数目的标准差的情况下,才可以确定明显偏离。该标准差可以被建模为负荷变量 X 的函数,或者可以根据训练数据的剩余的变量被计算得到。针对 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值中的每一个可以使用相同的或不同的阈值。

[0131] 再次参见图 9A,在块 404 处接收的监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)与预测值(y_p)之间的差为 -1.754% 。如果例如阈值 10% 将被用于确定偏离是否明显,则图 9A 中所示的差的绝对值低于该阈值。另一方面,再次参见图 9B,在块 404 处接收的监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)与预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y_p)之间的差为 -19.298% 。图 9B 所示的差的绝对值高于阈值 10% ,因此如以下所讨论的,可以生成异常状况指示。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,偏差探测器 190、192、194、196 可以实现块 420。

[0132] 通常,可以利用包括已知技术的多种技术实现对监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)是否明显偏离预测增益 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y_p)的确定。在一种实施方式中,确定监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)是否明显偏离于预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y_p)可以包括,分析(y)和(y_p)的当前值。例如,可以从预测 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y_p)中减去监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y),或者反过来,可以将结果与阈值进行比较,来看其是否超出阈值。可选地还可以包括分析(y)和(y_p)的过去值。进一步,还可以包括将(y)或(y)与(y_p)之间的差与一个以上阈值进行比较。所述一个以上阈值中的每个阈值可以是固定的也可以是变化的。例如,阈值可以随负荷变量 X 或一些其他变量的值而变化。针对不同的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值可以使用不同的阈值。已通过以上的引用被合并的、于 2006 年 7 月 25 日提交的、题为“Method And System For Detecting Deviation Of A Process Variable From Expected Values (用于探测过程变量偏离期望值的方法和系统)”的美国专利申请 No. 11/492,347,描述了用于探测过程变量是否明显偏离期望值的示例系统和方法,可以选用这些系统和方法中的任意系统和方法。本领域普通技术人员将认识到很多其他确定监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)是否明显偏离预测值(y_p)的方式。此外,可以合并块 412 和 420。

[0133] 在将(y)与(y_p)进行比较(块 416)时使用的一些或所有标准和 / 或在确定(y)是否明显偏离(y_p) (块 420)时使用的标准可以由用户通过配置应用程序 38 (图 1 和 2)来配置。举例来说,比较的类型(如:生成差、生成差的绝对值、生成百分比差等)可以是可配置的。并且,在确定偏离是否明显时使用的一个或多个阈值可以由操作员或通过其他算法来配置。可替换地,这样的标准可能是不容易配置的。

[0134] 再次参见图 8,如果确定在块 404 处接收的监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)并没有明显偏离预测值(y_p),则该流程可以返回块 404,以接收下一数据集(x, y)。然而,如果确定 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)确实明显偏离预测值(y_p),则该流程可以前进到块 424。在块 424 处,可以生成偏离的指示符。例如,该指示符可以是警告或警报。例如,所生成的指示符可以包括诸如在块 404 处接收的值(y)高于期望值还是低于期望值之类的附加信息。参见图 9A,由于在块 404 处接收的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 值(y)与预测值(y_p)之间的差为 -1.754% ,低于阈值

10%，所以不生成指示符。另一方面，参见图 9B，在块 404 处接收的 (y) 与预测值 (y_p) 之间的差为 -19.298%，高于阈值 10%。因此生成指示符。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中，与明显偏离的变量 $R_{tot,c}$ 、 $R_{tot,h}$ 、 ΔP_c 、 ΔP_h 对应的偏差探测器 190、192、194、196 可以生成指示符。

[0135] 再次参见图 8 的块 408，如果确定在块 404 处接收的数据集 (x, y) 不在有效范围内，则该流程可以前进到块 428。然而，由热交换器异常情况预防模块 150 开发的模型通常对于训练模型的数据范围是有效的。如果负荷变量 X 超出了曲线 354 所示的模型的极限，则状态为超出范围，并且热交换器异常情况预防模块 150 不能探测出异常状况。例如，在图 9C 中，热交换器异常情况预防模块 150 接收由点 370 示出、不在有效范围之内数据集。这可能导致热交换器异常情况预防模块 150 转移到超出范围的状态，在这种情况下，热交换器异常情况预防模块 150 可以响应于操作员命令或者自动再转移到学习状态。这样，在初始学习时段结束后，如果过程移至不同的操作区域，则热交换器异常情况预防模块 150 仍然可以学习针对新的操作区域的新模型，同时保留针对原始操作区域的模型。

[0136] 现在参见图 10A，其示出了进一步示出当热交换器异常情况预防模块 150 转回学习状态时接收的不在有效范围内的数据集 232 的图。具体来说，图 10A 的图包括已采集的一组数据集 374。再次参见图 8，在块 428 处，在块 404 处接收的数据集 (x, y) 可以被添加到在后续时间可用于对模型进行训练的合适的一组数据集。参见图 10A，数据集 370 已经被添加到与 X 的值小于 x_{MIN} 的数据集相对应的一组数据集 374。例如，如果在块 404 处接收的负荷变量 X 的值小于 x_{MIN} ，则在块 404 处接收的数据集 (x, y) 可以被添加到与负荷变量 X 的值小于 x_{MIN} 的其他所接收的数据集相对应的数据组中。类似地，如果在块 404 处接收的负荷变量 X 的值大于 x_{MAX} ，则在块 404 处接收的数据集 (x, y) 可以被添加到与负荷变量值大于 x_{MAX} 的其他所接收的数据集相对应的数据组中。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中，回归块 176、180、184、188 中的任一个都可以实现块 428。

[0137] 然后，在块 432 处，可以确定在块 428 处数据集被添加到的数据组中是否有足够的数据集以生成与该组数据集 374 相对应的回归模型。该确定可以利用多种技术来实现。例如，可以将该组中数据集的数目与最小数目进行比较，如果该组中的数据集的数目至少是该最小数目，则可以确定有足够的数据集来生成回归模型。可以使用多种技术，包括本领域普通技术人员已知的技术，来选择该最小数目。如果确定有足够的数据集来生成回归模型，则在块 436 处可以更新该模型，这将在以下参考图 14 进行描述。然而，如果确定没有足够的数据集来生成回归模型，则该流程可以返回块 404 以接收下一数据集 (x, y) 。在另一示例中，操作员可以发出监控命令以使回归模型被生成。

[0138] 图 11 是在确定组中有足够的数据集来针对当前有效范围 $[x_{MIN}, x_{MAX}]$ 之外的数据集生成回归模型之后对模型进行更新的示例方法 450 的流程图。在块 454 处，可以确定新回归模型的范围 $[x'_{MIN}, x'_{MAX}]$ 。有效范围可以指示新回归模型将有效的负荷自变量 X 的范围。举例来说，有效范围可以指示该模型仅对其中 (x) 大于或等于 x'_{MIN} 并小于或等于 x'_{MAX} 的负荷变量值 (x) 有效。仅作为一个示例， x'_{MIN} 可以被设置为该组数据集 (x, y) 中负荷变量 X 的最小值， x'_{MAX} 可以被设置为该组数据集 (x, y) 中负荷变量 X 的最大值。再次参见图 10A，例如， x'_{MIN} 可以被设置为组 374 中最左边的数据集的负荷变量值 (x) ， x'_{MAX} 可以被设置为组 374 中最右边的数据集的负荷变量值 (x) 。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150

中,回归块 176、180、184、188 可以生成有效范围。

[0139] 在块 460 处,可以基于组中的数据集 (x, y) 生成针对范围 $[x'_{\min}, x'_{\max}]$ 的回归模型。可以使用包括已知技术的多种技术中的任一种生成回归模型,并且可以将多种函数的任一种用作模型。例如,模型可以包括线性公式、二次公式等。在图 10B 中,在组 374 上叠加而成的曲线 378 示出了已经生成的对组 374 中的数据集进行建模的回归模型。与曲线 378 对应的回归模型在范围 $[x'_{\min}, x'_{\max}]$ 内有效,而与曲线 354 对应的回归模型在范围 $[x_{\min}, x_{\max}]$ 内有效。在图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 中,回归块 176、180、184、188 可以针对范围 $[x'_{\min}, x'_{\max}]$ 生成回归模型。

[0140] 为方便解释,现在将范围 $[x_{\min}, x_{\max}]$ 称为 $[x_{\min_1}, x_{\max_1}]$,并将范围 $[x'_{\min}, x'_{\max}]$ 称为 $[x_{\min_2}, x_{\max_2}]$ 。此外,将与 $[x_{\min_1}, x_{\max_1}]$ 对应的回归模型称为 $f_1(x)$,而将与 $[x_{\min_2}, x_{\max_2}]$ 对应的回归模型称为 $f_2(x)$ 。因此,现在模型可以被表示为:

$$[0141] \quad f(x) = \begin{cases} f_1(x) & \text{对于 } x_{\min_1} \leq x \leq x_{\max_1} \\ f_2(x) & \text{对于 } x_{\min_2} \leq x \leq x_{\max_2} \end{cases} \quad (\text{公式 12})$$

[0142] 再次参见图 11,在块 464 处,可以针对曲线 354 和 378 之间的操作区域,在与范围 $[x_{\min_1}, x_{\max_1}]$ 和 $[x_{\min_2}, x_{\max_2}]$ 相对应的回归模型之间生成插值模型。以下描述的插值模型包括线性函数,但在其他实施方式中,可以使用诸如二次函数之类的其他类型的函数。如果 $x_{\max_1}$ 小于 $x_{\min_2}$,则插值模型可以被计算为:

$$[0143] \quad \left(\frac{f_2(x_{\min_2}) - f_1(x_{\max_1})}{x_{\min_2} - x_{\max_1}} \right) (x - x_{\min_2}) + f_2(x_{\min_2}) \quad (\text{公式 13})$$

[0144] 类似地,如果 $x_{\max_2}$ 小于 $x_{\min_1}$,则插值模型可以被计算为:

$$[0145] \quad \left(\frac{f_1(x_{\min_1}) - f_2(x_{\max_2})}{x_{\min_1} - x_{\max_2}} \right) (x - x_{\min_1}) + f_1(x_{\min_1}) \quad (\text{公式 14})$$

[0146] 因此,如果 $x_{\max_1}$ 小于 $x_{\min_2}$,现在可以将模型表示为:

$$[0147] \quad f(x) = \begin{cases} f_1(x) & \text{对于 } x_{\min_1} \leq x \leq x_{\max_1} \\ \left(\frac{f_2(x_{\min_2}) - f_1(x_{\max_1})}{x_{\min_2} - x_{\max_1}} \right) (x - x_{\min_2}) + f_2(x_{\min_2}) & \text{对于 } x_{\max_1} < x < x_{\min_2} \\ f_2(x) & \text{对于 } x_{\min_2} \leq x \leq x_{\max_2} \end{cases}$$

[0148] (公式 15)

[0149] 并且如果 $x_{\max_2}$ 小于 $x_{\min_1}$,则模型可以表示为:

$$[0150] \quad f(x) = \begin{cases} f_2(x) & \text{对于 } x_{\min_2} \leq x \leq x_{\max_2} \\ \left(\frac{f_1(x_{\min_1}) - f_2(x_{\max_2})}{x_{\min_1} - x_{\max_2}} \right) (x - x_{\min_1}) + f_1(x_{\min_1}) & \text{对于 } x_{\max_2} < x < x_{\min_1} \\ f_1(x) & \text{对于 } x_{\min_1} \leq x \leq x_{\max_1} \end{cases}$$

[0151] (公式 16)

[0152] 从公式 12、15 和 16 可以看出,模型可以包括多个回归模型。具体来说,第一回归模型(即 $f_1(x)$)可以用于对第一操作区域($x_{\min_1} \leq x \leq x_{\max_1}$)中的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量

Y 进行建模,而第二回归模型(即 $f_2(x)$)可以用于对第二操作区域($x_{\text{MIN}_2} \leq x \leq x_{\text{MAX}_2}$)中的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量 Y 进行建模。此外,从公式 15 和 16 可以看出,模型还可以包括插值模型,以对与回归模型对应的操作区域之间中的 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量 Y 进行建模。

[0153] 再次参见图 11,在块 468 处,可以对有效范围进行更新。例如,如果 x_{MAX_1} 小于 x_{MIN_2} ,则可以将 x_{MIN} 设置为 x_{MIN_1} ,并可以将 x_{MAX} 设置为 x_{MAX_2} 。类似地,如果 x_{MAX_2} 小于 x_{MIN_1} ,则可以将 x_{MIN} 设置为 x_{MIN_2} ,并且可以将 x_{MAX} 设置为 x_{MAX_1} 。图 10C 示出具有新有效范围的新模型。参见图 8 和 11,可以利用诸如方法 450 之类的方法对模型进行多次更新。从图 10C 可以看出,为原操作范围保留原模型,因为原模型表示 R_{tot} 和 / 或 ΔP 变量 Y 的“正常”值。否则,如果原模型被持续更新,则存在模型被更新到错误状况并且异常情况无法被探测到的可能性。当过程移到新的操作区域时,可以假定该过程仍然处于正常状况,以便开发新模型,并且该新模型可用于探测新的操作区域中发生的系统中的其它异常情况。这样,热交换器 64 的模型可以过程模型被无限扩展到不同的操作区域。

[0154] 异常情况预防系统 35 (图 1 和 2) 可以将例如与图 7A、7B、9A、9B、9C、10A、10B 和 10C 所示的一些或全部图类似的图显示在显示设备上。举例来说,如果热交换器异常情况预防模块 150 将建模标准数据提供给异常情况预防系统 35 或数据库,则例如,异常情况预防系统 35 可以使用该数据来生成显示,以显示出回归块 176、180、184、188 如何将 R_{tot} 和 / 或 ΔP 因变量 Y 建模为自变流量 ($F_{c,h}$) 负荷变量 X 的函数。例如,该显示可以包括与图 7A、7B 和 10C 的一个以上图类似的图。可选地,热交换器异常情况预防模块 150 也可以向异常情况预防系统 35 或数据库提供例如用于生成回归块 176、180、184、188 的一些或全部数据集。在这种情况下,异常情况预防系统 35 可以使用该数据生成具有与图 7A、7B、10A、10B 的一个以上图类似的图的显示。可选地,热交换器异常情况预防模块 150 也可以向异常情况预防系统 35 或数据库提供例如热交换器异常情况预防模块 150 在其监控阶段所估计的一些或全部数据集。此外,热交换器异常情况预防模块 150 也可以向异常情况预防系统 35 或数据库提供例如针对一些或全部数据集的比较数据。在这种情况下,仅作为一个示例,异常情况预防系统 35 可以使用该数据生成具有与图 7A 和 7B 的一个以上图类似的图的显示。

[0155] 热交换器异常情况预防模块的人工控制

[0156] 在针对图 6、8 和 11 描述的异常情况预防模块中,当在特定操作区域中已经获得了足够的数据集时,模型本身可以自动更新。然而,可能期望在非操作员允许的情况下不要发生这样的更新。此外,可能期望即使是在所接收的数据集处于有效范围内时也允许操作员促成模型更新。

[0157] 图 12 是与诸如图 4 的热交换器异常情况预防模块 150 之类的异常情况预防模块的可替换操作对应的示例状态转移图 550。与状态图 550 相对应的操作允许操作员更多地对热交换器异常情况预防模块 150 进行控制。例如,如以下更详细描述,当操作员期望热交换器异常情况预防模块 150 的模型被强制进入学习状态 554 时,操作员可以使学习命令被发送到热交换器异常情况预防模块 150。一般来说,在以下将进行更详细描述的学习状态 554 下,热交换器异常情况预防模块 150 获取数据集,以生成回归模型。类似地,当操作员期望热交换器异常情况预防模块 150 创建回归模型,并开始监控传入的数据集时,该操作员可以使监控命令被发送到热交换器异常情况预防模块 150。一般来说,响应于该监控命令,热交换器异常情况预防模块 150 可以转移到监控状态 558。

[0158] 热交换器异常情况预防模块 150 的初始状态例如可以是未训练状态 560。在接收到学习命令时,热交换器异常情况预防模块 150 可以从未训练状态 560 转移至学习状态 554。如果接收到监控命令,则热交换器异常情况预防模块 150 可以保持在未训练状态 560。可选地,可以在显示设备上显示指示以通知操作员热交换器异常情况预防模块 150 还没有被训练。

[0159] 在超出范围状态 562 下,可以对每个接收的数据集进行分析,以确定其是否在有效范围内。如果所接收的数据集不在有效范围内,则热交换器异常情况预防模块可以保持在超出范围状态 562。然而,如果所接收的数据集在有效范围内,则热交换器异常情况预防模块 150 可以转移到监控状态 558。此外,如果接收到学习命令,则热交换器异常情况预防模块 150 可以转移到学习状态 554。

[0160] 在学习状态 554 下,热交换器异常情况预防模块 150 可以采集数据集,从而可以在与所采集的数据集对应的一个以上操作区域中生成回归模型。此外,热交换器异常情况预防模块 150 可选地可以检查是否已经接收到最大数目的数据集。最大数目可以例如由热交换器异常情况预防模块 150 可用的存储器决定。因此,如果已经接收到最大数目的数据集,则这可能指示例如热交换器异常情况预防模块 150 已经耗尽用于存储数据集的可用存储器,或者有这种危险。通常,如果确定已经接收到最大数目的数据集,或者如果接收到监控命令,则可以更新热交换器异常情况预防模块 150 的模型,并且热交换器异常情况预防模块 150 可以转移至监控状态 558。

[0161] 图 13 是学习状态 554 下的操作的示例方法 600 的流程示意图。在块 604,可以确定是否接收到监控命令。如果接收到监控命令,则该流程可以前进至块 608。在块 608,可以确定是否已采集了最小数目的数据集以生成回归模型。如果还没有采集到最小数目的数据集,则热交换器异常情况预防模块 150 可以保持在学习状态 554。可选地,可以在显示设备上显示指示,以通知操作员由于还没有采集到最小数目的数据集,因此热交换器异常情况预防模块 150 仍然处于学习状态。

[0162] 另一方面,如果已经采集到最小数目的数据集,则该流程可以前进到块 612。在块 612,可以更新热交换器异常情况预防模块 150 的模型,这将参考图 14 进行更详细的描述。接下来,在块 616,热交换器异常情况预防模块 150 可以转移至监控状态 558。

[0163] 如果在块 604 已经确定没有接收到监控命令,则该流程可以前进到块 620,在块 620 处可以接收新数据集。接下来,在块 624,可以将所接收的数据集添加到合适的训练组。例如,合适的训练组可以基于数据集的负荷变量值来确定。作为示例性示例,如果负荷变量值小于模型的有效范围的 $x_{\min}$,则可以将数据集添加到第一训练组。并且,如果负荷变量值大于模型的有效范围的 $x_{\max}$,则可以将数据集添加到第二训练组。

[0164] 在块 628,可以确定是否已接收到最大数目的数据集。如果已接收到最大数目,则该流程可以前进到块 612,并且热交换器异常情况预防模块 150 将最终转移到如上所述的监控状态 558。另一方面,如果没有接收到最大数目,则热交换器异常情况预防模块 150 将保持在学习状态 554。本领域普通技术人员将认识到可以以多种方式对方法 600 进行修改。仅作为一个示例,如果在块 628 处确定已经接收到最大数目的数据集,则热交换器异常情况预防模块 150 可以仅停止向训练组添加数据集。作为补充地或可替换地,热交换器异常情况预防模块 150 可以提示用户给出更新模型的授权。在这种实施方式中,除非用户授权

了更新,否则即使已经获得了最大数目的数据集,模型也不会被更新。

[0165] 图 14 是可用于实现图 13 的块 612 的示例方法 650 的流程图。在块 654 处,可以使用新采集的数据集确定即将生成的回归模型的范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 。可以使用包括已知技术的多种技术实现范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 。在块 658 处,可以使用参照图 13 描述的被采集并被添加到训练组中的数据集中的一些或全部来生成与范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 对应的回归模型。可以使用包括已知技术的多种生成回归模型。

[0166] 在块 662 处,可以确定这是否是模型的初始训练。仅作为一个示例,可以确定有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 是否是指示该模型还没有被训练的某个预定范围。如果这是模型的初始训练,则该流程可以前进到块 665,在块 665 处,有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 将被设置为块 654 处确定的范围。

[0167] 如果在块 662 处确定这不是模型的初始训练,则该流程前进到块 670。在块 670 处,可以确定范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 是否与有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 交叠。如果有交叠,则该流程可以前进到块 674,在块 674 处,可以根据交叠来更新一个以上其它回归模型或插值模型的范围。可选地,如果其它回归模型或插值模型之一的范围完全位于范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 中,则可以丢弃其它回归模型或插值模型。这可以例如有助于节约存储资源。在块 678 处,如果需要的话,可以对有效范围进行更新。例如,如果 x'_{MIN} 小于有效范围的 x_{MIN} ,则可以将有效范围的 x_{MIN} 设置为 x'_{MIN} 。

[0168] 如果在块 670 处确定范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 与有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 没有交叠,则该流程可以前进到块 682。在块 682 处,如果需要的话,可以生成插值模型。在块 686 处,可以对有效范围进行更新。块 682 和 686 可以类似于针对图 11 的块 464 和 468 进行描述的方式来实现。

[0169] 本领域普通技术人员将认识到,方法 650 可以各种方式进行修改。仅作为一个示例,如果确定范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 与有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 存在交叠,则可以修改范围 $[x'_{\text{MIN}}, x'_{\text{MAX}}]$ 和其它回归模型和插值模型的操作范围中的一个以上,使这些范围不存在交叠。

[0170] 图 15 是监控状态 558 下的操作的示例方法 700 的流程图。在块 704 处,可以确定是否接收到学习命令。如果接收到学习命令,则该流程可以前进到块 708。在块 708 处,热交换器异常情况预防模块 150 可以转移到学习状态 554。如果没有接收到学习命令,则该流程可以前进到块 712。

[0171] 在块 712 处,可以接收数据集 (x, y) ,如前所述。然后,在块 716 处,可以确定所接收的数据集 (x, y) 是否处于有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 之内。如果数据集超出有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$,则该流程可以前进到块 720,在块 720 处,热交换器异常情况预防模块 150 可以转移到超出范围状态 562。但是,如果在块 716 处确定数据集处于有效范围 $[x_{\text{MIN}}, x_{\text{MAX}}]$ 内,则该流程可以前进到块 724、728 和 732。块 724、728 和 732 可分别以类似于参照图 5 所描述的块 284、288 和 292 的方式来实现。

[0172] 为了有助于进一步解释图 12 的状态转移图 550、图 13 的流程图 600、图 14 的流程图 650 和图 15 的流程图 700,再次参照图 7A、7B、9A、9B、9C、10A、10B、10C。图 7A 示出热交换器异常情况预防模块 150 处于学习状态 554,而其模型正在被初始训练的图 350。具体来说,图 7A 的图 350 包括已采集到的一组数据集 354。在操作员使监控命令被发出之后,或如果已采集到最大数目的数据集,则可以生成与该组数据集 354 对应的回归模型。图 7B 的图

350 包括指示与该组数据集 354 对应的回归模型的曲线 358。然后,热交换器异常情况预防模块 150 可以转移到监控状态 558。

[0173] 图 9A 的图形 350 示出处于监控状态 558 的热交换器异常情况预防模块 150 的操作。具体来说,热交换器异常情况预防模块 150 接收处于有效范围内的数据集 358。模型使用由曲线 354 指示的回归模型生成预测 y_p (由图 9A 的图形中的“x”指示)。在图 9C 中,热交换器异常情况预防模块 150 接收不在有效范围内的数据集 370。这可能使热交换器异常情况预防模块 150 转移到超出范围状态 562。

[0174] 如果操作员接下来使学习命令被发出,则热交换器异常情况预防模块 150 将再次转移到学习状态 554。图 10A 的图形 220 示出热交换器异常情况预防模块 150 转移回学习状态 554 之后的操作。具体来说,图 10A 的图包括已采集到的一组数据集 374。在操作员已使监控命令被发出之后,或者如果已采集到最大数目的数据集,则可以生成与该组数据集 374 对应的回归模型。图 10B 的图 350 包括指示与该组数据集 374 对应的回归模型的曲线 378。接下来,可以生成针对曲线 354 与 378 之间的操作区域的插值模型。

[0175] 然后,热交换器异常情况预防模块 150 转移回监控状态 558。图 13C 的图 350 示出的热交换器异常情况预防模块 150 再次在监控状态 558 下操作。具体来说,热交换器异常情况预防模块 150 接收处于有效范围内的数据集 382。模型使用由图 10B 的曲线 378 指示的回归模型生成预测 y_p (由图 13C 的图中的“x”指示)。

[0176] 如果操作员再次使学习命令被发出,则热交换器异常情况预防模块 150 将再次转移到学习状态 554,在该期间,另一组数据集被采集。在操作员已使监控命令被发出之后,或如果已采集到最大数目的数据集,则可以生成与该组数据集对应的回归模型。其它回归模型的范围可以被更新。例如,与曲线 354 和 378 对应的回归模型的范围可以由于在这两个回归模型之间添加回归模型而被加长或缩短。另外,与曲线 354 和 378 对应的回归模型之间的操作区域的插值模型被与曲线 354 和 378 之间的曲线对应的新回归模型取代。因此,如果期望的话,可以将插值模型从热交换器异常情况预防模块 150 所关联的存储器中删除。在转移到监控状态 558 之后,热交换器异常情况预防模块 150 可以如前所述的那样进行操作。

[0177] 在负荷跟踪应用程序中使用异常情况预防的简化算法的热交换器异常操作探测

[0178] 以上关于图 4 所描述的热交换器异常情况预防模块 150 可以适合于异常状况随时间很慢地形成的情况。例如,当在热交换器 64 中采用具有较低淤塞性能的流体(例如水)时,则来自一种或两种流体的残留材料可以持续数天或数个星期地逐渐在热交换器的内壁上堆积。可用于探测残留材料堆积的测量值可以例如每 1 秒到 10 秒获得一次。在这种情况下,5 分钟的采样窗口可以包括 30 — 300 个样本,根据这些样本可以计算出合适的统计特征,例如负荷变量均值 μ_L , 监控变量均值 μ_M , 或监控变量标准差 σ_M 。使用 5 分钟的采集窗口时,需要六个小时来基于仅 72 个均值计算回归模型(72 样本 $\times$ 5 分钟 / 样本 $\times$ 1 小时 / 60 分钟 = 6 小时)。当需要远长于六小时的时间才能形成异常情况时,则六小时训练周期对于开发回归模型不会有问题。然而,在其它情况下,异常情况可能在短得多的时间帧内建立。例如,当热交换器 64 中采用的流体尤其易于使残留材料快速堆积时。在这些情况下,六小时或其它比较长的训练周期可能完全不合适。

[0179] 图 16 中示出具有短得多的训练周期的可替换热交换器异常情况预防模块 800。可替换热交换器异常情况预防模块 800 在与本申请同日递交的、题为“SIMPLIFIED ALGORITHM

ABNORMAL SITUATION PREVENTION IN LOAD FOLLOWING APPLICATIONS INCLUDING PLUGGED LINE DIAGNOSTIC IN A DYNAMIC PROCESS (负荷跟踪应用中包括动态过程中的插接线诊断的简化算法异常情况预防)”的美国专利申请 No. _____ (代理机构案号 No. 30203/42625) 中有所描述。由此将上述专利申请以其整体通过引用合并于此。可替换热交换器异常情况预防模块 800 包括以上所述的热交换器异常情况预防模块 150 的众多特征,除了诊断块 804、808、812、816。正如使用热交换器异常情况预防模块 150,在可替换热交换器异常情况预防模块 800 中,负荷变量 160、162 可以输入至负荷变量 SPM 块 172。负荷变量 SPM 块 172 可以计算在特定采样窗口内接收到的负荷变量值的均值 μ_L 、标准差 σ_L 、或一些其它统计特征。多个监控变量 152、154、156、158、160 和 162 可以用于计算 $R_{tot,c}$ 和 $R_{tot,h}$, $R_{tot,c}$ 和 $R_{tot,h}$ 可以与监控变量 164 和 166 一起输入至监控变量 SPM 块 173。监控变量 SPM 块 173 可以计算在特定窗口内接收到的监控变量值的均值 μ_M 、标准差 σ_M 、或一些其它统计特征。从负荷变量 SPM 块 172 输出的统计特征值作为自变量 x 被输入到诊断块 804、808、812、816。从监控变量 SPM 块 173 输出的统计特征值可以作为因变量 y 输入至诊断块 804、808、812、816。诊断块 804、808、812、816 可以计算因变量的实际测量值 y 与因变量的预测值 y_p 之间的差 Δy 。诊断块 804、808、812、816 可以确定是否存在异常情况,并生成可以被发送至控制器或其它过程控制设备的合适的状态信号 175、179、183、187。

[0180] 图 17 中示出诊断块 804、808、812、816 的示例的详细框图。尽管只示出一个诊断块 804,但是以下描述也等同地适用于诊断块 808、812 和 816。负荷变量 SPM 块 172 的输出可以作为自变量 x_{820} 输入至诊断块 804,第二 SPM 块 173 的输出可以作为因变量 y_{824} 输入至诊断块 804。SPM 块 172、173 可以以共同的采样窗口操作,从而使对应的 (x, y) 值可以基本同时被诊断块 804 接收到。诊断块 804 可以实现学习功能块 828 和监控功能块 832。诊断块 804 还可以维护所选择的 (x, y) 数据点的数组 836。当从 SPM 块 172、173 接收到新的集 (x, y) 的值时,可以在判决块 840 中确定是实现学习功能块 828 还是实现监控功能块 832。在判决块 840 处,可以将新数据集的自变量 x 的值与数组 836 中所存储数据的自变量 x 的值进行比较。如果新数据集 (x, y) 中的自变量 x 的值超出已接收并存储在数组中的自变量值的范围,换句话说,如果 $x < x_{min}$ 或 $x > x_{max}$,其中是 x_{min} 是数组 836 中所存储的自变量 x 的最小值, x_{max} 是数组 836 中所存储的自变量 x 的最大值,则可以执行学习功能块 172。如果新数据集 (x, y) 中的自变量 x 的值在已接收并存储在数组中的自变量 x 的值的范围之内,换句话说,如果 $x_{min} \leq x \leq x_{max}$,则可以执行监控功能块 832。当执行学习功能块 832 时,新数据集 (x, y) 可以被添加到数组 836 中。如果 $x < x_{min}$,则新数据集可以被添加到数组 836 的顶端或前面,并且数组 836 中所存储的已有数据集的索引值可以增加 1。如果 $x > x_{max}$,则新数据集可以被添加到数组 836 的底端或后面,并且已有数据集的索引值保持不变。

[0181] 数组 836 可以定义将因变量 y 建模为所接收的自变量 x 的值的函数的函数。该数组所定义的函数可以包括由在数组 836 中存储的数据集 (x, y) 定义的数据点之间延伸的多个线性段。对应给定值 x ,可以使用下列函数预测对应的值 y 。如果所接收的 x 的值等于数组 836 中所存储的值 x_i 之一,则因变量的预测值 y_p 简单地等于数组 836 中所存储的对应值 y_i 。然而,如果自变量 x 的值并不精确地匹配数组 836 中所存储的值 x_i 之一,则可以通过在数组 836 中具有最接近自变量 x 的接收值且分别大于和小于自变量 x 的接收值的自变量 x 值的数据集 (x, y) 对之间施行线性插值计算因变量的预测值 y_p 。具体地,如果 $x_i < x < x_{i+1}$,则

可以通过根据以下公式在数据点 (x_i, y_i) 和 (x_{i+1}, y_{i+1}) 之间施行线性插值来计算 y_p :

$$[0182] \quad y_p = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}(x - x_i) + y_i \text{ (公式 17)}$$

[0183] 一旦计算出预测值 y_p , 诊断块 804 就可以根据公式 $\Delta y = y - y_p$ 计算新数据集 (x, y) 的因变量的实际值 y 与因变量的预测值 y_p 之间的差。然后诊断块 804 可以确定 Δy 是否超出了建立的阈值。如果 Δy 超出了该阈值, 则诊断块可以探测到异常情况, 并生成合适的状态信号 175、179、183、187。

[0184] 图 18 — 21 示出根据图 16 和 17 的可替换热交换器异常情况预防模块将监控变量的模型建立为对应的负荷变量的函数的过程。图 18 — 21 中的每个图都示出接收到新数据集时数组 836 的内容。数组中所存储的数据集也被示出为绘制在坐标系 850 上。横轴 852 表示负荷变量值(流量), 纵轴 854 表示监控变量值(R_{tot} 和 / 或 ΔP)。

[0185] 最初, 数组 836 中没有存储数据集。第一集的值 (x_a, y_a) 从 SPM 块 172、173 接收。值 x_a 与数组 836 中存储的数据集的 $F_{c,h}$ 负荷变量的最大值和最小值 (x_{min}, x_{max}) 相比较。由于数组中最初没有存储数据集, 因此没有建立针对 x_{min} 和 x_{max} 的值, 并且 x_a 值不可能落在 $x_{min} \leq x_a \leq x_{max}$ 的范围内。所以实施学习功能块 828, 并且将数据集 (x_a, y_a) 添加到数组 836 中。由于在数据集 (x_a, y_a) 被添加到数组中时数组 836 中没有存储其它数据集, 因此数据集 (x_a, y_a) 被添加到数组中的第一位置, 并且被指配索引值“1”。这样, 当在坐标系 850 中绘制数组 836 时, 点 (x_1, y_1) 856 对应于从 SPM 块 172、173 接收的第一数据集的值 (x_a, y_a) 。

[0186] 从 SPM 块 172、173 接收负荷的第二集 $(F_{c,h})$ 和监控 (R_{tot} 和 / 或 ΔP) 变量值 (x_b, y_b) 。负荷变量的接收值 x_b 再次与数组 836 中存储的负荷变量值进行比较。由于数组 836 中仅存储有一个数据集 (x_a, y_a) , 并且接收的负荷变量值 x_b 不可能落在 $x_{min} \leq x_a \leq x_{max}$ 之间的范围内, 除非 x_b 恰好等于 x_a 。在该示例中, 假设 $x_b > x_a$ 。学习功能块 828 被再一次实施, 并且数据集 (x_b, y_b) 被添加到数组 836 的末端。由于数据集 (x_b, y_b) 是数组 836 中存储的第二个数据集, 因此其被指配索引值“2”。当在坐标系 850 上绘制数组 836 时, 点 (x_2, y_2) 858 对应于从 SPM 块 172、173 接收的接收负荷和监控变量值 (x_b, y_b) 。在该点处, 监控变量 (R_{tot} 和 / 或 ΔP) 的模型包括在数据点 (x_1, y_1) 856 和 (x_2, y_2) 858 之间延伸并包括数据点 (x_1, y_1) 856 和 (x_2, y_2) 858 的线段 860。

[0187] 在图 19 中, 从 SPM 块 172、173 接收包括负荷 ($F_{c,h}$) 和监控 (R_{tot} 和 / 或 ΔP) 变量值的第三数据集 (x_c, y_c) 。在这种情况下, 假设 $x_c > x_b$ 。在这一点处, $x_{min} = x_a$ (数组 836 中存储的监控变量的最低值) 并且 $x_{max} = x_b$ (数组 836 中存储的监控变量的最高值)。由于 x_c 大于 x_b , x_c 没有落在 $x_{min} \leq x_c \leq x_{max}$ 的范围之内, 因此再次实施学习功能块 828。数据集 (x_c, y_c) 被添加到数组 836 中。由于 $x_c > x_{max} (x_b)$, 因此数据集 (x_c, y_c) 被添加到数组 836 的末端, 并被指配索引值“3”。当在图 19 所示的坐标系 850 上绘制数组 836 时, 点 (x_3, y_3) 862 对应于从 SPM 块 172、173 接收的接收负荷和监控变量值 (x_c, y_c) 。现在监控变量的模型包括在数据点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 之间延伸并包括数据点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 的线段 860。

[0188] 接下来, 从 SPM 块 172、173 接收第四数据集 (x_d, y_d) 。在这种情况下, 假设 $x_b < x_d < x_c$ 。在该阶段, 数组 836 中存储的监控变量的最小值是 x_a , 并且数组 836 中存储的监控变量的最大值是 x_c 。换句话说, $x_{min} = x_a$ 并且 $x_{max} = x_c$ 。此时, 监控变量的接收值 x_d 在 $x_{min} < x_d < x_{max}$ 的范围之内。因此针对数据集 (x_d, y_d) 实施监控功能块 832, 而非学习功能块 828, 并且数据集

(x_d, y_d) 不被添加到数组 836 中。

[0189] 在针对数据集 (x_d, y_d) 实现监控功能块 832 时, 该算法基于已有的模型和负荷变量的接收值 x_d 计算监控变量的预测值 y_d 。如上所述, 假设负荷变量的接收值 x_d 落在 $x_b < x_d < x_c$ 的范围之内, 由于 x_d 在值 x_b 和 x_c 之间, 因此可以基于模型 850 的、在 (x_2, y_2) 858 和 (x_3, y_3) 862 (即 (x_b, y_b) 和 (x_c, y_c)) 之间延伸并包括 (x_2, y_2) 858 和 (x_3, y_3) 862 的线性段 864 所表示的部分, 来计算监控变量的预测值。回到公式 17, 用于计算监控变量的预测值 y_p 的公式是:

$$[0190] \quad y_p = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} (x_d - x_2) + y_2$$

[0191] 或

$$[0192] \quad y_p = \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b} (x_d - x_b) + y_b$$

[0193] 在可替换的实施例中, 可以由除了在数组中的点之间施行线性插值之外的其它方法生成对监控变量进行建模的函数。例如, 可以生成用平滑曲线连接数组中的点的样条。在二阶或二次样条中, 可以定义二阶多项式以连接各对相邻的点。可以选择这样的曲线: 这些曲线的一阶导数在这些曲线相交的点处 (即在数组中定义的点处) 相等。

[0194] 在三阶或三次样条中, 可以定义三阶多项式以连接各对相邻的点。在这种情况下, 可以选择这样的曲线: 相邻的曲线在这些曲线相交的点处具有相等的一阶和二阶导数。

[0195] 一旦确定了监控变量的预测值, 则将监控变量的预测值 y_p 和监控变量的接收值 y_d 之差与一阈值进行比较。如果 $y_d - y_p$ 大于该阈值, 则探测到异常情况。如果 $y_d - y_p$ 不大于该阈值, 则该过程是在可接受的极限内操作, 并且接收下一数据集时继续监控监控变量。在一个示例中, 该阈值可以被提供为绝对值。

[0196] 继续图 20, 从 SPM 块 172、173 接收第五数据集 (x_e, y_e) 。在这种情况下, 假设 $x_e < x_a$ 。当接收到数据集 (x_e, y_e) 时, 数组 836 中存储的负荷变量的最小值是 x_a , 并且数组 836 中存储的负荷变量的最大值是 x_c 。换句话说, $x_{\min} = x_a$ 并且 $x_{\max} = x_c$ 。在这种情况下 $x_e < x_a$, 并且负荷变量的接收值 x_e 不在数组 836 中已存储的负荷变量值的范围内。因此针对数据集 (x_e, y_e) 实施学习功能块 828, 并且新数据集被添加到数组 836 中。然而, 此时, 由于 $x_e < x_{\min} (x_a)$, 因此新数据集被添加到数组 836 的前面。新数据集 (x_e, y_e) 被指配索引值“1”, 并且给数组 836 中已存储的数据集中的每一个指配的索引值都被增加 1。这样, 当在坐标系 850 上绘制该数组时, 点 (x_1, y_1) 866 对应于数据集 (x_e, y_e) , 点 (x_2, y_2) 856 对应于数据集 (x_a, y_a) , 点 (x_3, y_3) 858 对应于数据集 (x_b, y_b) , 点 (x_4, y_4) 862 对应于数据集 (x_c, y_c) 。现在监控变量的模型包括在数据点 (x_1, y_1) 866 和 (x_2, y_2) 856 之间延伸并包括数据点 (x_1, y_1) 866 和 (x_2, y_2) 856 的线性段 868、在数据点 (x_2, y_2) 856 和 (x_3, y_3) 858 之间延伸并包括数据点 (x_2, y_2) 856 和 (x_3, y_3) 858 的线性段 860 以及在数据点 (x_3, y_3) 858 和 (x_4, y_4) 862 之间延伸并包括数据点 (x_3, y_3) 858 和 (x_4, y_4) 862 的线性段 864。

[0197] 图 21 示出给模型添加两个以上数据点。从 SPM 块 172、173 接收数据集 (x_f, y_f) 。在这种情况下, x_f 小于数组 836 中存储的负荷变量的最小值 ($x_f < x_e$)。因此, 数据集 (x_f, y_f) 被添加到数组 836 的前面, 并且被指配索引值“1”。数组中存储的所有其它数据集的索引值都增加 1。接下来, 从 SPM 块 172、173 接收数据集 (x_g, y_g) 。在这种情况下, x_g 大于数组 836 中存储的负荷变量的最大值 ($x_g > x_c$)。因此, 新数据集 (x_g, y_g) 被添加到数组 836 的末端, 并

且被指配下一可用的索引号,在这种情况下是索引值“6”。在图 21 中整个数组 836 被绘制在坐标系 850 上。第一点 (x_1, y_1) 870 对应于数据集 (x_f, y_f) ,第二点 (x_2, y_2) 866 对应于数据集 (x_e, y_e) ,第三点 (x_3, y_3) 856 对应于数据集 (x_a, y_a) ,第四点 (x_4, y_4) 858 对应于数据集 (x_b, y_b) ,第五点 (x_5, y_5) 862 对应于数据集 (x_c, y_c) ,并且第六点 (x_6, y_6) 872 对应于数据集 (x_g, y_g) 。监控变量的模型包括在数据点 (x_1, y_1) 870 和 (x_2, y_2) 866 之间延伸并包括数据点 (x_1, y_1) 870 和 (x_2, y_2) 866 的线性段 874、在点 (x_2, y_2) 866 和 (x_3, y_3) 856 之间延伸并包括点 (x_2, y_2) 866 和 (x_3, y_3) 856 的线性段 868、在点 (x_3, y_3) 856 和 (x_4, y_4) 858 之间延伸并包括点 (x_3, y_3) 856 和 (x_4, y_4) 858 的线性段 860、在点 (x_4, y_4) 858 和 (x_5, y_5) 862 之间延伸并包括点 (x_4, y_4) 858 和 (x_5, y_5) 862 的线性段 864 以及在数据点 (x_5, y_5) 862 和 (x_6, y_6) 872 之间延伸并包括数据点 (x_5, y_5) 862 和 (x_6, y_6) 872 的线性段 876。

[0198] 在理论上,可以添加到矩阵 836 中用于创建诸如图 18 – 21 中开发的可扩展模型之类的可扩展模型的点的数目没有限制。但实际上,处理限制可能对包括在特定模型中的点的数目强加了上限。在这种情况下,问题出现了,当即将添加到模型中的新的点超出数组中点的数目的处理上限时,已建立的可扩展模型会在不过度改变模型准确率的情况下被移除。例如,如果生成图 21 的可扩展模型的异常情况预防算法具有五个点的处理限制,那么可以确定可以将数据点 870、866、856、858、862、872 中的哪一个从数组 836 中移除并使得对模型的准确率的影响最小。

[0199] 参见图 22,其中示出三个点 (x_1, y_1) 880、 (x_2, y_2) 882 和 (x_3, y_3) 884 的序列。这三个点 880、882、884 定义一个三角形,该三角形具有由线段 $(x_1, y_1) - (x_2, y_2)$ 886、 $(x_2, y_2) - (x_3, y_3)$ 888 和 $(x_1, y_1) - (x_3, y_3)$ 890 定义的边。线段 $(x_1, y_1) - (x_2, y_2)$ 886 和 $(x_2, y_2) - (x_3, y_3)$ 888 形成 $[x_1, x_3]$ 范围内的可扩展模型的原始部分。然而,如果点 (x_2, y_2) 882 从模型中移除,则线段 $(x_1, y_1) - (x_3, y_3)$ 890 代替线段 $(x_1, y_1) - (x_2, y_2)$ 886 和 $(x_2, y_2) - (x_3, y_3)$ 888。包含所有三个点 (x_1, y_1) 880、 (x_2, y_2) 882 和 (x_3, y_3) 884 的原始函数与仅包含两个点 (x_1, y_1) 880 和 (x_3, y_3) 884 的简化函数之间的误差量仅仅是由所有三个点 880、882、884 形成的三角形 892 的面积。三角形 892 的面积可由下列公式来计算:

$$[0200] \quad A = \frac{1}{2} |x_1 y_2 - x_1 y_3 - x_2 y_1 + x_2 y_3 + x_3 y_1 - x_3 y_2| \quad (\text{公式 18})$$

[0201] 如果从诸如图 21 中所示的可扩展模型之类的可扩展模型中移除一个点,则要移除的点可以是使修改后的可扩展模型尽可能接近原始可扩展模型的那个点。确定该点的一种方法是确定哪个点从原始可扩展模型中移除时会在原始可扩展模型与修改后的可扩展模型之间产生最小的误差量。由移除任何特定点所引入的误差可以通过使用公式(18)所记录的公式计算由该点本身和该点两侧的各个相邻点形成的三角形的面积来确定。该过程可以针对原始可扩展模型中除两端的两个点之外的每个点来实施。具有最小面积的三角形会定义原始可扩展模型与修改后的可扩展模型之间的最小变化量。因此,当处理限制需要必须从模型中移除一个点以便改善处理效率时,或满足用于实现异常情况预防算法的硬件设备或系统的处理极限时,与其两个相邻的邻居形成最小三角形的点是从可扩展模型中移除的最佳选择。

[0202] 返回图 21 中所示的可扩展模型,可以看出点 (x_3, y_3) 856 几乎与两个相邻点 (x_2, y_2) 866 和 (x_4, y_4) 858 共线。很明显,由这三个点形成的三角形的面积非常小。移除点 $(x_3,$

y_3)856 将会对可扩展模型 900 的总体形状具有可忽略的影响,这可以通过将图 21 的可扩展模型与图 23 中所示的修改后的可扩展模型 900 进行比较而得到证实。图 21 中的原始可扩展模型中的点 (x_3, y_3) 856 已从图 23 的修改后的可扩展模型 900 中移除。即使没有点 (x_3, y_3) 856,图 23 的修改后的可扩展模型 900 也具有与图 21 的原始可扩展模型基本相同的形状。(应当注意定义图 23 的修改后的可扩展模型的点的索引值已被调整,以便反映出从图 21 的原始可扩展模型中移除了点 (x_3, y_3) 856。但是标识这些点的附图标记保持不变。因此,修改后的可扩展模型 900 中的点 (x_1, y_1) 870 和 (x_2, y_2) 866 对应于图 21 的原始可扩展模型中的相同点 (x_1, y_1) 870 和 (x_2, y_2) 866。然而,图 23 的修改后的可扩展模型 900 中的点 (x_3, y_3) 856 对应于图 21 的原始可扩展模型中的点 (x_4, y_4) 858。图 23 的修改后的可扩展模型 900 中的点 (x_4, y_4) 862 对应于图 21 的原始可扩展模型中的点 (x_5, y_5) 862,图 23 的修改后的模型 900 中的点 (x_5, y_5) 872 对应于图 21 的原始可扩展模型中的点 (x_6, y_6) 862。)

[0203] 现在转到图 24,其中示出用于实现异常情况预防系统的方法 910。根据该方法,在 912 处接收新的点 (x, y) 。新的点 (x, y) 的自变量 x 可以包括第一过程变量在预定义的采样窗口内的统计特征(例如,均值、标准差或其它统计测量值)。新的点 (x, y) 的因变量 y 可以包括第二过程变量的统计特征。在热交换器中,可替换热交换器异常情况预防模块 800 可以对作为第一变量(负荷 $F_{c,h}$ 变量)的函数的第二变量(监控 R_{tot} 和 / 或 ΔP 变量)进行监控。在监控变量并不以预测的方式基于负荷变量的运转而运转时,异常情况预防系统可能会探测到异常情况。在判决块 914 中对自变量 x 的值进行检查。将新的点 (x, y) 的自变量 x 的值与先前接收的点的自变量值进行比较。如果接收的点的自变量 x 的值在先前接收的点的自变量 x 的值的范围内,即如果 $x_{min} \leq x \leq x_{max}$,其中 x_{min} 是已接收的 x 的最低值,而 x_{max} 是已接收的 x 的最高值,则执行监控功能块 916。如果 x 的接收值不在 x_{min} 与 x_{max} 之间的范围内,则施行学习功能块 918。

[0204] 如果新点的 x 值不在已接收的值的范围内,则在 920 处,新点被添加到定义可扩展模型的点的数组中。如果 x 的值小于 x_{min} ,则新点被添加到数组的前面,并且数组中已存储的其它点的索引值被增加 1。如果 x 的值大于 x_{max} ,则新点被添加到数组的后面。在判决块 922 处,估计数组中存储的点的数目,以确定在数组中已存储的点的数目是否等于数组中可以存储的点的最大数目。如果 $n \neq n_{max}$,则在块 924 处,异常情况预防系统继续。然而,如果 $n = n_{max}$,则在块 926 处,从数组中移除一个点。移除的点可以是与其相邻点形成具有最小面积 A_i 的三角形的点 (x_i, y_i) ,如上所述。可替换地,可以采用误差平方积分算法来识别当从数组中移除时将在相应的可扩展模型中引入最小误差量的点。

[0205] 返回判决块 914,如果自变量 x 的值在已接收的变量值的范围内,则通过在 928 处计算因变量的预测值 y_p 继续监控功能块 916。基于自变量 x 的接收值和数组中存储的点所体现的可扩展模型计算因变量的预测值。一旦计算出因变量的预测值 y_p ,则在块 930 处通过从接收的新数据点中 y 的实际值中减去因变量的预测值 y_p 来计算差值 Δy 。然后在 932 处,将该值 Δy 与用户定义的阈值进行比较。如果 Δy 大于阈值,则在 934 处探测到异常情况。如果在 932 处 Δy 的值不大于阈值,则认为被监控过程的状态正常,并且在 924 处异常情况预防算法继续。

[0206] 热交换器异常情况预防模块 150、800 的一个方面是用户界面例程,该用户界面例程提供与这里所述的热交换器异常情况预防模块集成的图形用户界面(GUI),以方便用户

与热交换器异常情况预防模块所提供的各种异常情况预防能力的交互。然而,在更详细地讨论 GUI 之前,应当认识 GUI 可以包括使用任意合适的编程语言和技术实现的一个以上软件例程。另外,组成 GUI 的软件例程可以存储在诸如工厂 10 中的工作站、控制器等的单个处理站或单元中,或在处理站或单元中被处理,或可替换地,可以使用在热交换器异常情况预防模块中以可通信方式互相连接的多个处理单元以分布式存储和执行 GUI 的软件例程。

[0207] 优选地但不是必需地, GUI 可以使用熟悉的图形、基于 windows 的架构和外观来实现,其中多个互相联接的图形视图或页面包括使用户能够以期望的方式通览(navigate through)页面以查看和 / 或获取特定类型的信息的一个以上下拉菜单。以上所述的热交换器异常情况预防模块的特征和 / 或能力可以通过 GUI 的一个以上相应的页面、视图或显示来表示、访问、调用等。此外,组成 GUI 的各种显示可以逻辑方式互相联接,以方便用户快速且直观地通览所述显示,以获取特定类型的信息或访问和 / 或调用热交换器异常情况预防模块的特定能力。

[0208] 一般而言,这里所述的 GUI 提供过程控制区域、单元、环路、设备等的直观的图形描绘或显示。这些图形显示中的每一个都可以包括与 GUI 所显示的特定视图相关联的状态信息和指示(其中一些或全部状态信息和指示可以由以上所述的热交换器异常情况预防模块生成)。用户可以使用任意视图、页面或显示中的指示来快速评估该显示中描绘的热交换器 64 中是否存在问题。

[0209] 另外, GUI 可以就与热交换器 64 中已经出现的或即将出现的诸如异常情况之类的问题向用户提供消息。这些消息可以包括图形和 / 或文本信息,用于描述该问题、建议对系统进行可以被实施以消除当前问题或可以被实施以避免潜在问题的可能改变、描述可以被继续以校正或避免问题的一系列行动等。

[0210] 热交换器异常情况预防模块 150、800 可以包括一个以上操作员显示。图 25 — 27 示出用于热交换器异常情况预防模块 150、800 的、针对加工厂 10 的热交换器 64 中的异常情况预防的操作员显示 950 的示例。参见图 25, 操作员显示 950 可以示出热交换器 952、多个入口 954、管道 956 和用于说明正被监控的实际热交换器 952 的其它结构。显示 950 可以自动调节为示出操作员显示 950 所表示的物理系统的管道 956 的准确数目。热交换器 952 的一部分可以包括按钮或其它可选择的用户界面结构,当这些结构被用户选择时,可以在显示 950 上显示关于热交换器中与该按钮相关联的部分的信息 958。

[0211] 参见图 26,一旦探测到异常状况,操作员显示 950 可以产生该状况或该状况的位置的视觉指示 960。在一个实施例中,该指示可以包括该过程中受影响的单元或其它被监控装置的区域的图形显示,如操作员显示 800 中所表示的。例如,如果热交换器异常情况预防模块 150、800 探测到管道 956 之一中出现的异常情况,则受影响的管道可以通过改变在显示 950 中的颜色或任意其它视觉特征来进行视觉改变,以将故障指示传达给操作员。同样,异常情况的探测可以触发任意其它可视的或听得见的警报,并将该警报传达给操作员。

[0212] 参见图 27,视觉指示 960 的选择可以启动(lanuch)面板 962,该面板可以显示与该状况所关联的热交换器 952 有关的信息 964 或与热交换器 952 的操作有关的其它信息。面板 962 可以包括与加工厂 10 和热交换器有关的模式、状态、当前或预测差动压力(ΔP)、当前或预测热阻(R_{tot})、过程变量所关联的任意值、当前回归模型、回归拟合的质量或任意其它信息。面板 962 还可以包括修改热交换器 952 的任意可配置参数的用户可调节的控

制。例如,通过面板中的控制,操作员可以配置学习模式时段、统计计算周期、回归阶数或阈值极限中的任意一个。另外,操作员可以采取的措施以减轻探测到的异常情况。例如,操作员可以减小送入的产品的流速、检查热交换器的管道入口或任意其它部分的产品淤塞、或打开热交换器旁路以清洗热交换器。当然,操作员可以对热交换器 952 进行很多其它调节,以预防或减轻异常情况。其它信息也可以显示在面板 962 上,并且其它变量也可以通过面板 962 来配置。

[0213] 基于前述内容,公开了在热交换器 64 中的异常情况预防的具体前提下方便监控和诊断过程控制系统的系统和方法。监控和诊断热交换器中的故障可以包括统计分析技术,例如回归。具体来说,从正在操作的热交换器中采集在线过程数据。当过程在线且操作正常时,过程数据表示过程的正常操作。统计分析用于基于所采集的数据开发过程的模型。可替换地,或可结合地,可以施行过程的监控,其使用用统计分析所开发的过程模型来基于该模型的参数生成输出。该输出可以包括基于模型的结果的统计输出和基于训练数据的归一化过程变量。每个输出可以用于生成用于过程监控和诊断的可视化显示,并且可用于施行警报诊断,以探测过程中的异常情况。

[0214] 通过本公开内容的这一方面,可以定义热交换器异常情况预防模块 150、800,并将其用于在线诊断,这对于热交换器和加工厂 10 中的多种过程装置故障或异常情况是有用的。模型可以使用回归建模得到。在某些情况下,所公开的热交换器异常情况预防模块 150 可以用于观察热交换器中的长期淤塞。在其它情况下,热交换器异常情况预防模块 800 可以用于观察热交换器中的短期或瞬时变化。例如,所公开的方法可用于在线、长期的合作诊断或相对短期的诊断。可替换地或作为补充地,所公开的方法可以提供回归分析的可替换方法。

[0215] 所公开的方法可以结合包括例如 DeltaV™ 970 和 Ovation® 多种控制系统平台一起实施,并且与诸如柔斯芒特 3420FF 接口模块、Foundation Fieldbus 功能或换能器块、现场设备接口模块或手持通信器之类的各种过程装置和设备一起实施。可替换地,所公开的方法和系统可以被实施为独立的异常情况预防应用程序。或者,所公开的方法和系统可以被配置为生成警告,以及其它方式支持热交换器中淤塞程度的调节。

[0216] 公开了以上所述的涉及热交换器中的异常情况预防的示例,其中应当理解所公开的系统、方法和技术的实践并不限于这类内容。相反,所公开的系统、方法和技术适于与包括能够选择用于监控、数据采集等的具有不同组织结构、元件布置或分散零件、单元、组件或项的其它集合的任意诊断系统、应用程序、例程、技术或程序一起使用。指定在诊断中使用的过程参数的其它诊断系统、应用程序等也可以被开发,或者受益于这里所描述的系统、方法和技术。然后,参数的这种单独指定可以被用于对其所关联的过程数据进行定位、监控和存储。此外,所公开的系统、方法和技术不一定仅仅与过程控制系统的诊断方面一起使用,尤其是在这类方面还没有被开发或还处于开发的早期阶段时。相反,所公开的系统、方法和技术还适于与过程控制系统、加工厂或过程控制网络等的任意元素或方面一起使用。

[0217] 这里所描述的方法、过程、程序和技术可以使用硬件、固件和软件的任意组合来实现。因此,这里所述的系统和技术可以在标准多用途处理器中实现,或根据需要使用专用设计硬件或固件来实现。当以软件实现时,该软件可以存储在任意计算机可读存储器中,例如存储在磁盘、光盘或其它存储介质上,存储在计算机、处理器、I/O 设备、现场设备、接口设备

等的 RAM 或 ROM 或闪存中。同样地,该软件可以通过任意已知的期望的发送方法,包括例如计算机可读盘上或其它可传输计算存储机构或通信介质,发送给用户或过程控制系统。通信介质通常将计算机可读指令、数据结构、程序模块或其它数据具体体现为诸如载波或其它传输机制之类的调制数据信号。术语“调制数据信号”意指使其一个以上特征以将信息编码在信号中的方式被设置或改变的信号。以示例而非限制的方式,通信介质包括诸如有线网络或直接连接的网络之类的有线介质和诸如声、射频、红外和其它无线介质之类的无线介质。因此,该软件可以通过诸如电话线、因特网等的通信通道发送给用户或过程控制系统(这被视为与通过可传输存储介质提供这类软件相同或可互换)。

[0218] 因此,尽管已参考具体的示例描述了本发明,这些示例仅仅是示例性的,而并不对本发明构成限制,但是对于本领域技术人员来说,很显然可以在不超出本发明的精神和范围的情况下对所公开的实施例进行改变、增加或删除。

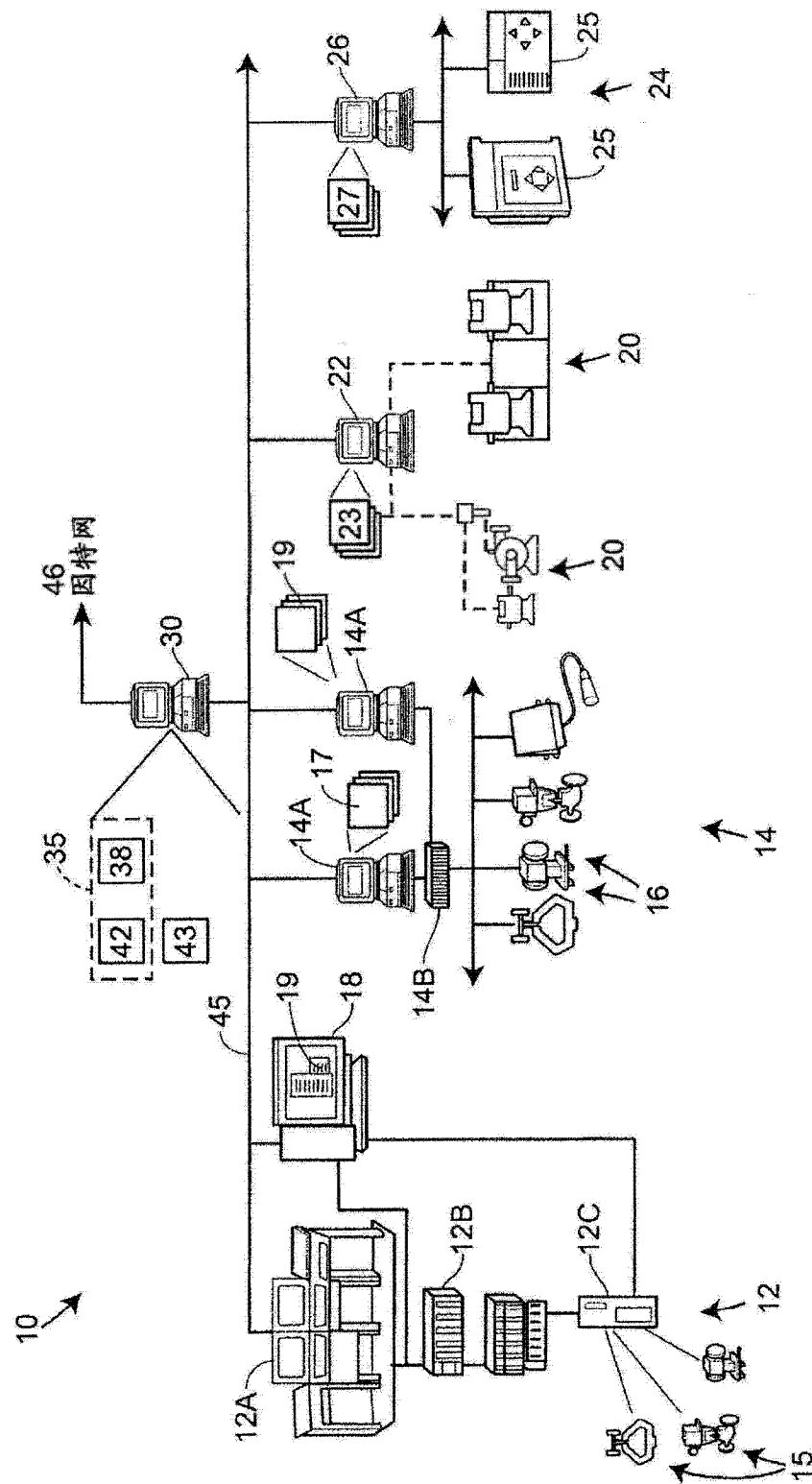


图 1

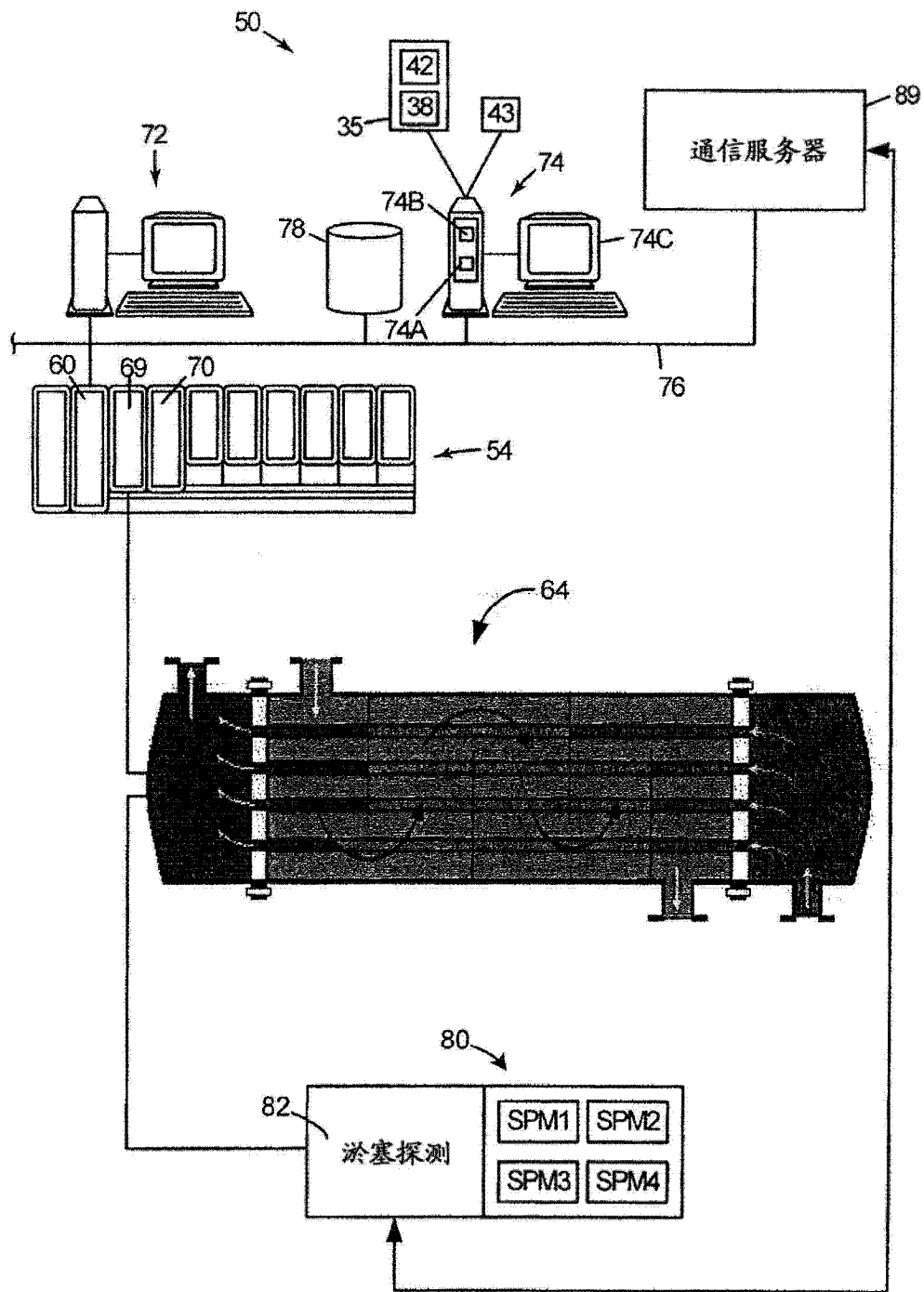


图 2

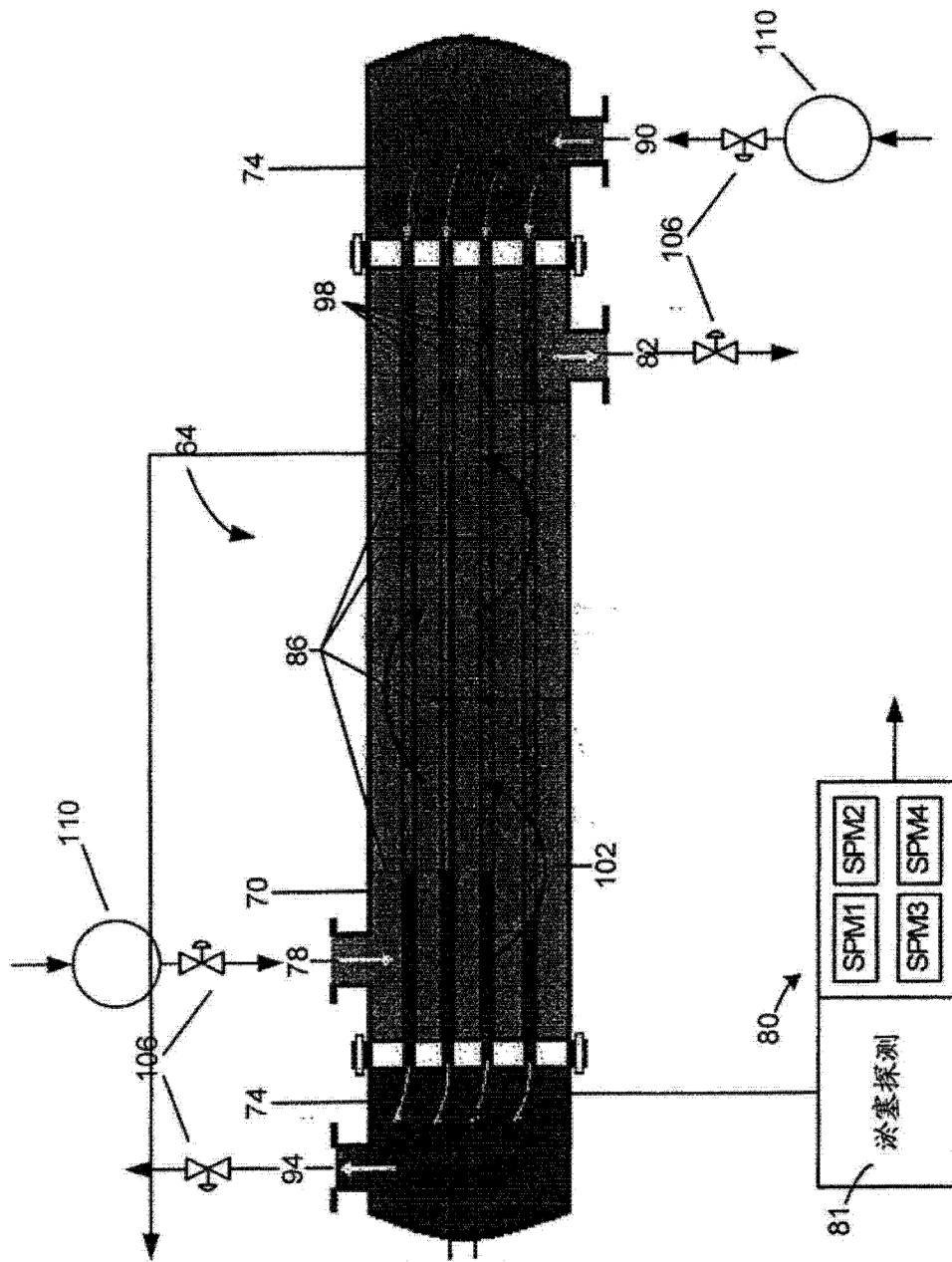


图 3

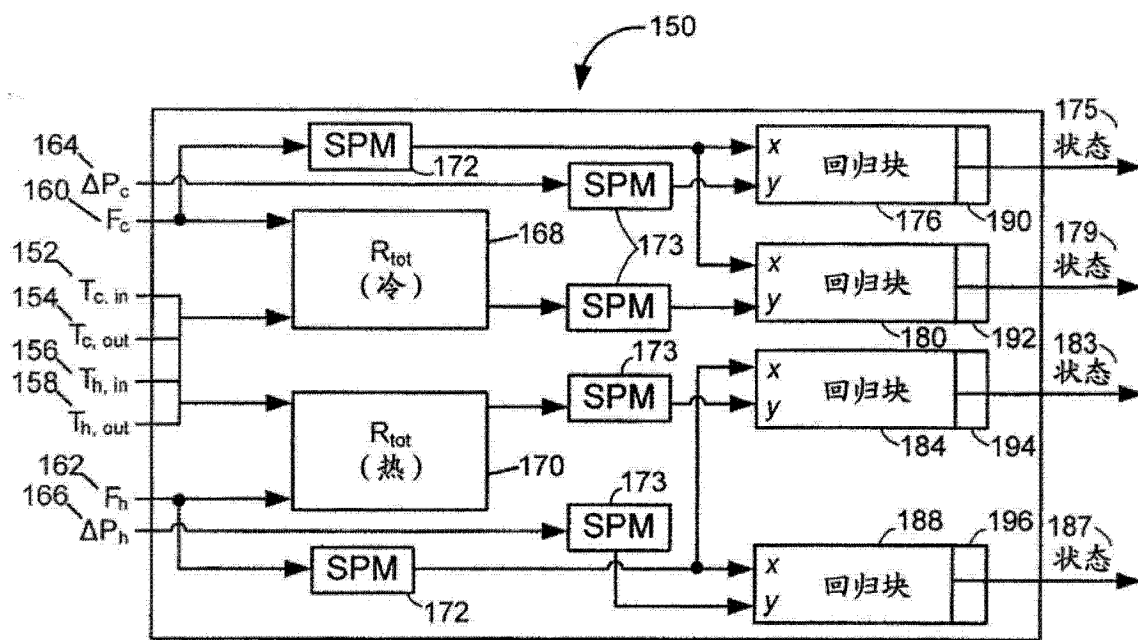


图 4

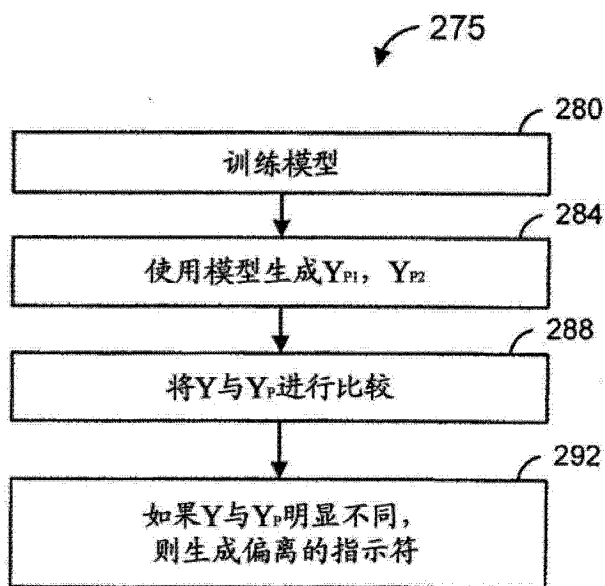


图 5

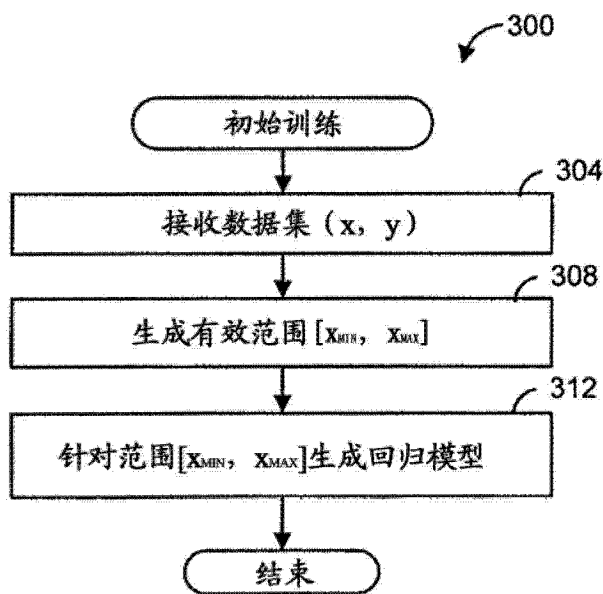


图 6

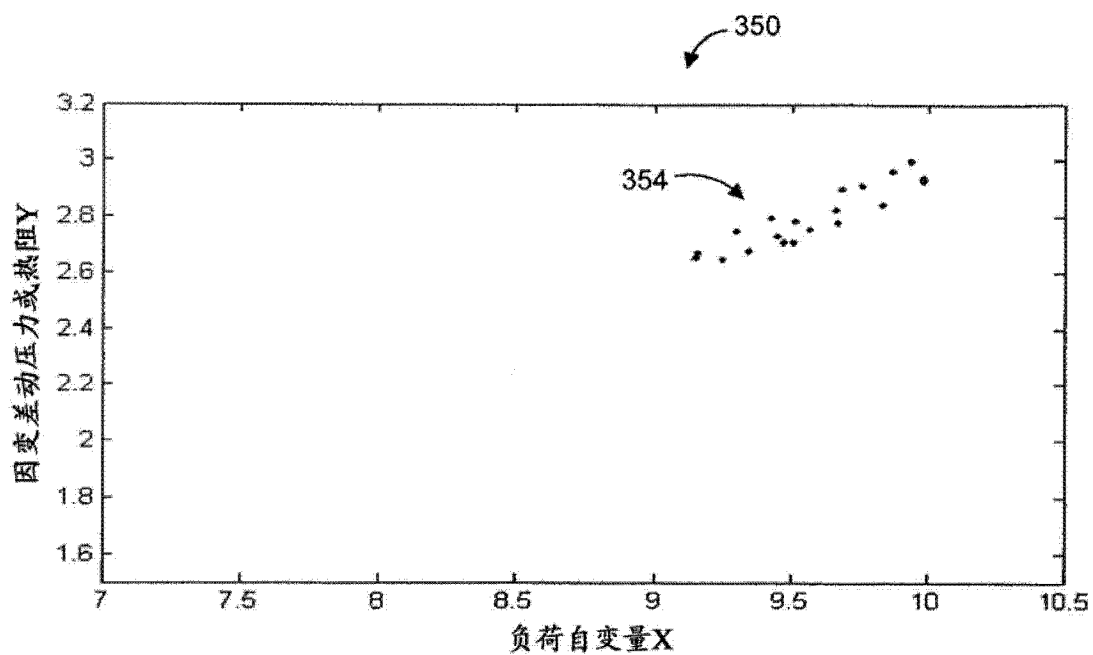


图 7A

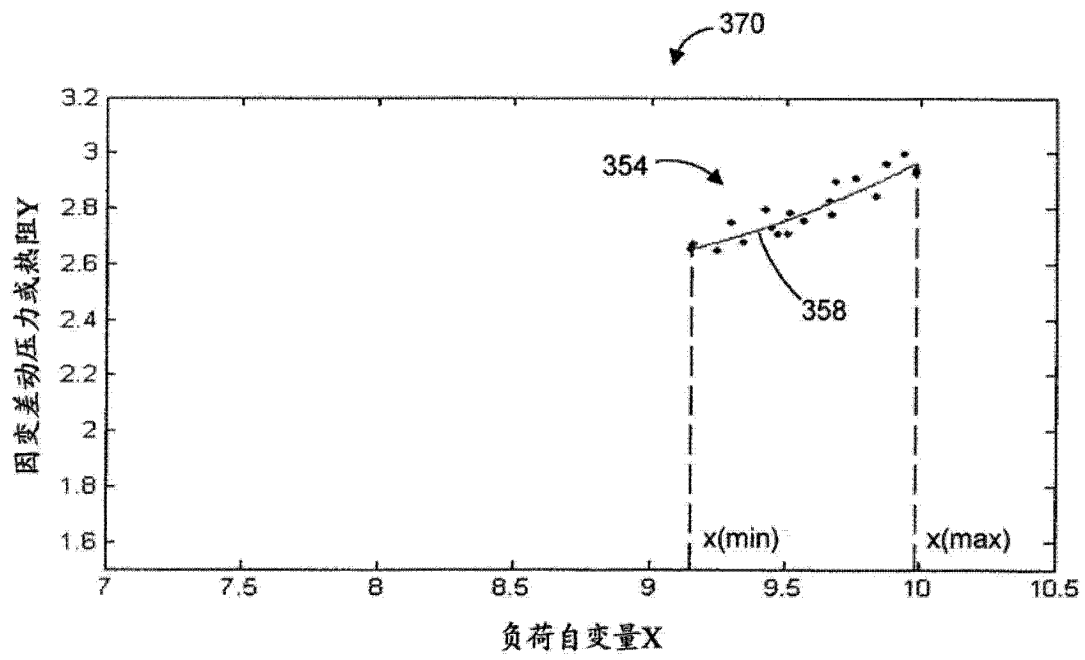


图 7B

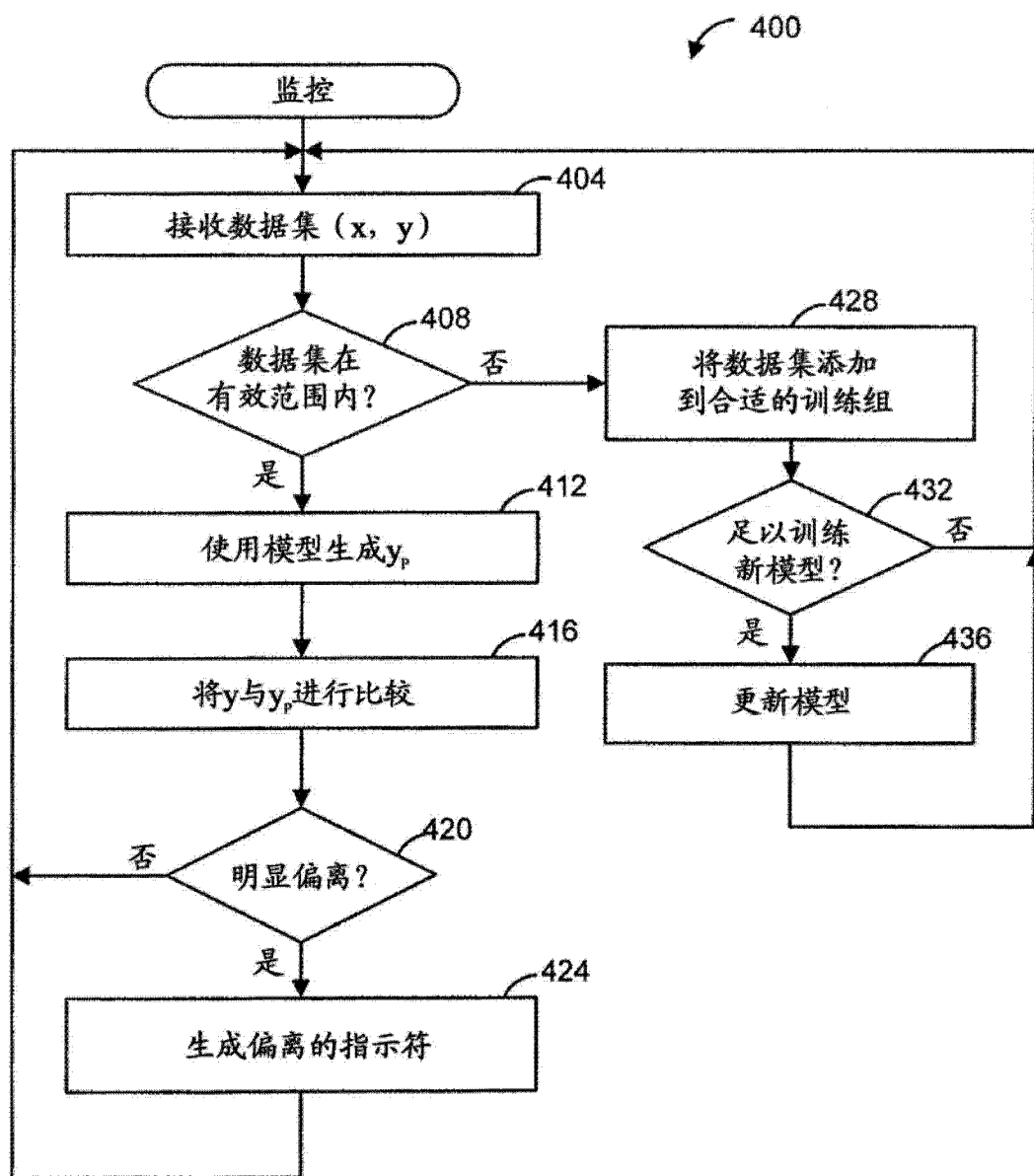
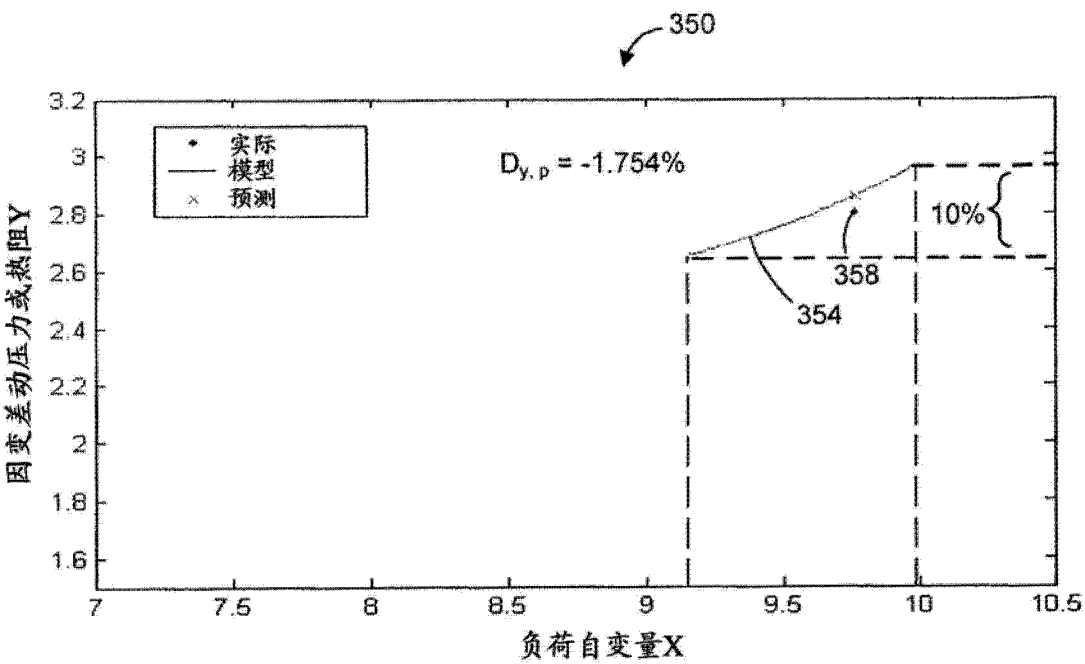
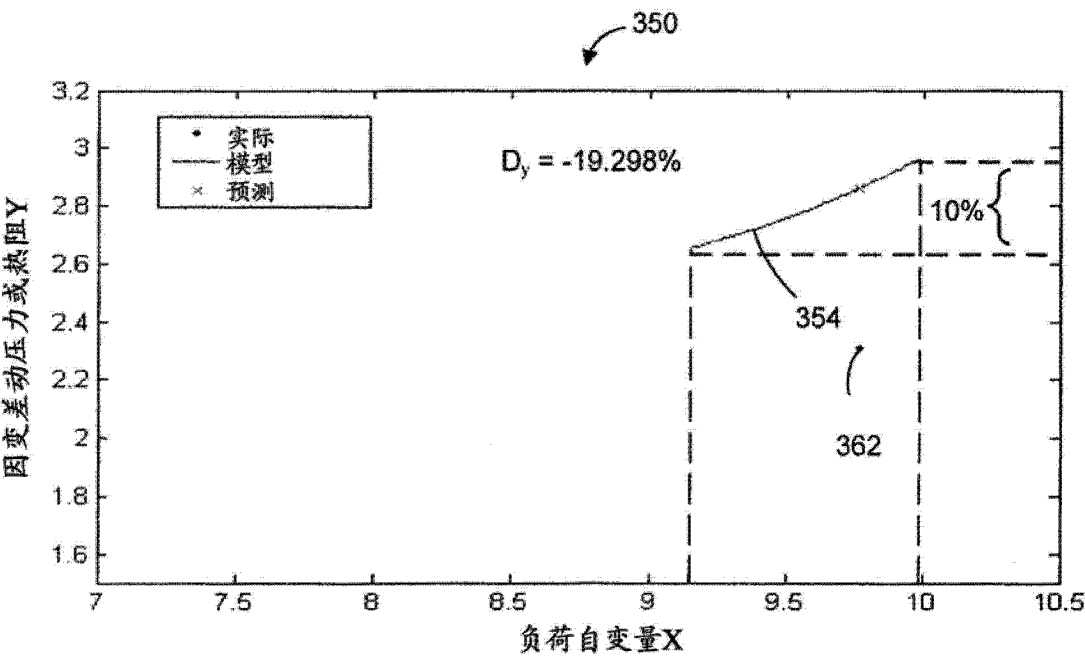


图 8



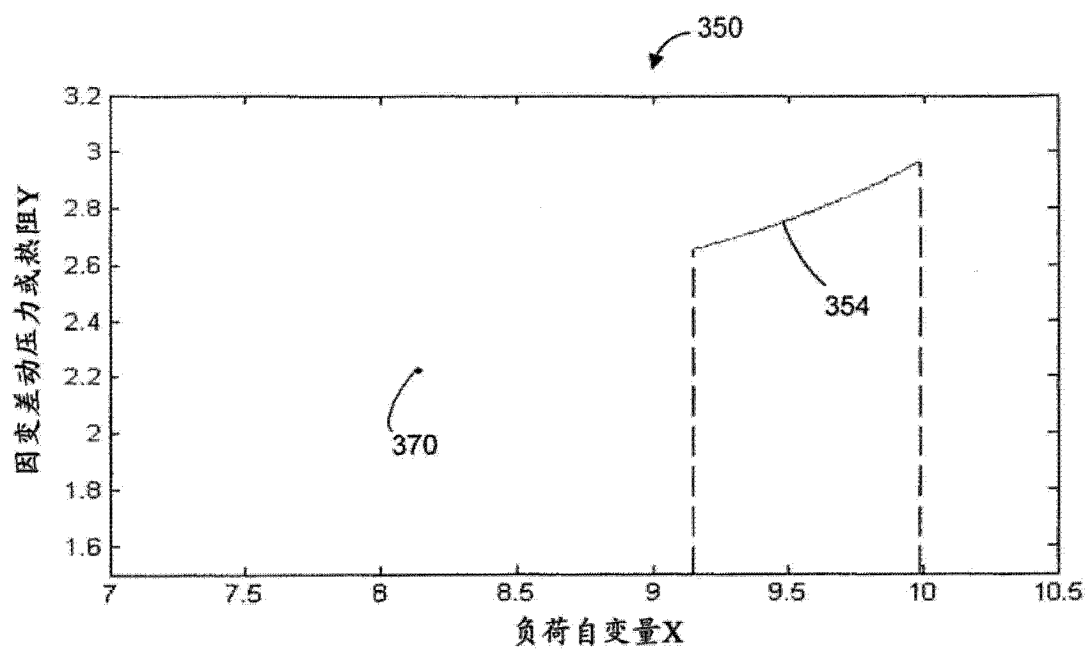


图 9C

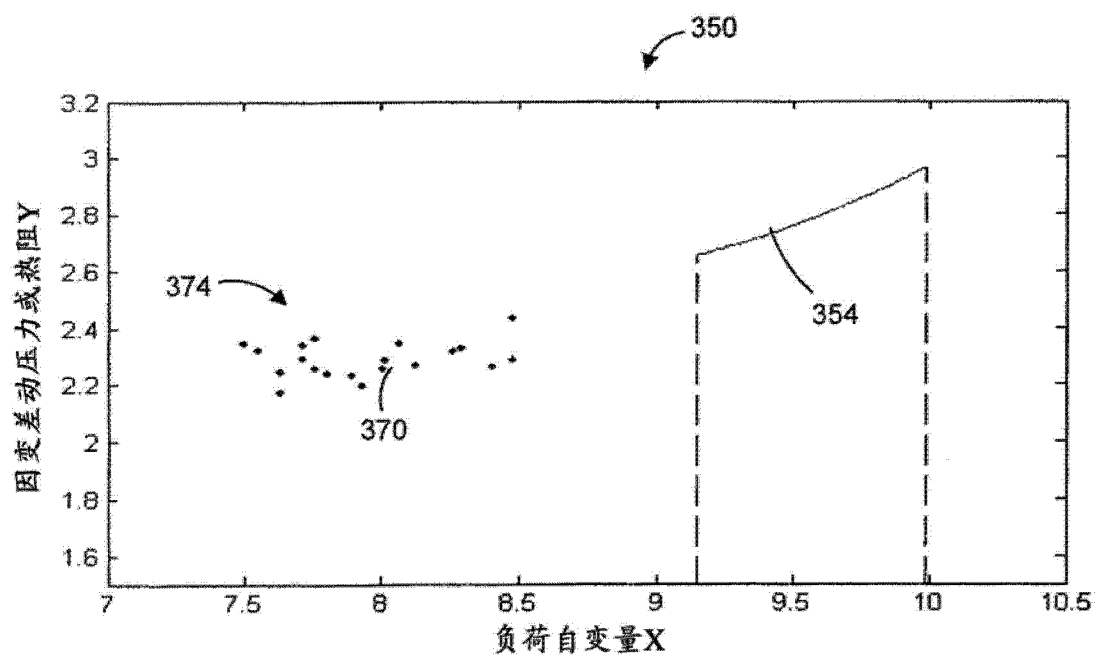


图 10A

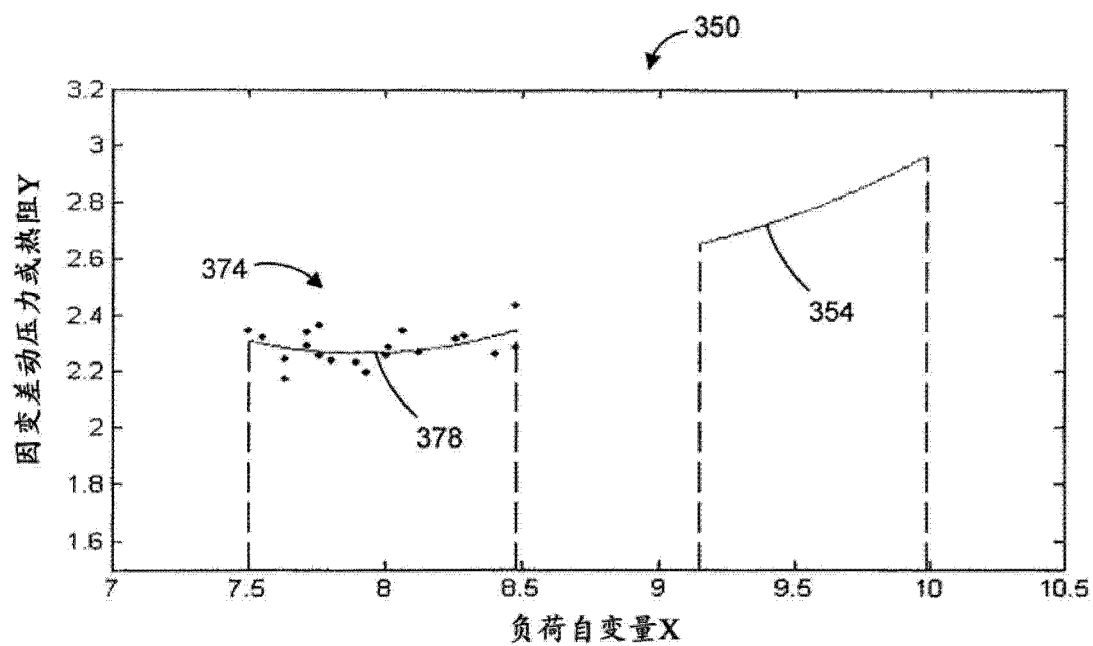


图 10B

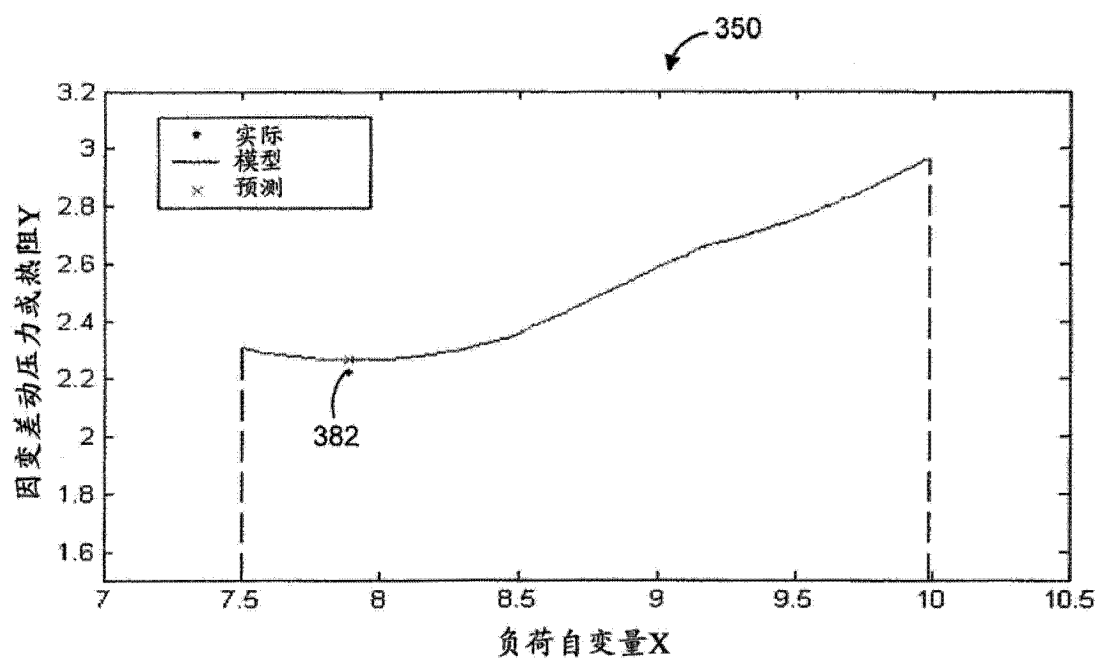


图 10C

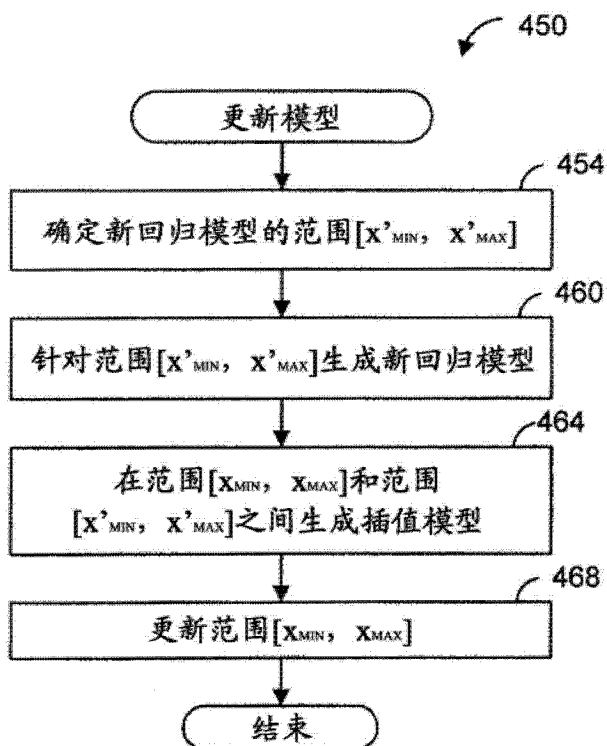


图 11

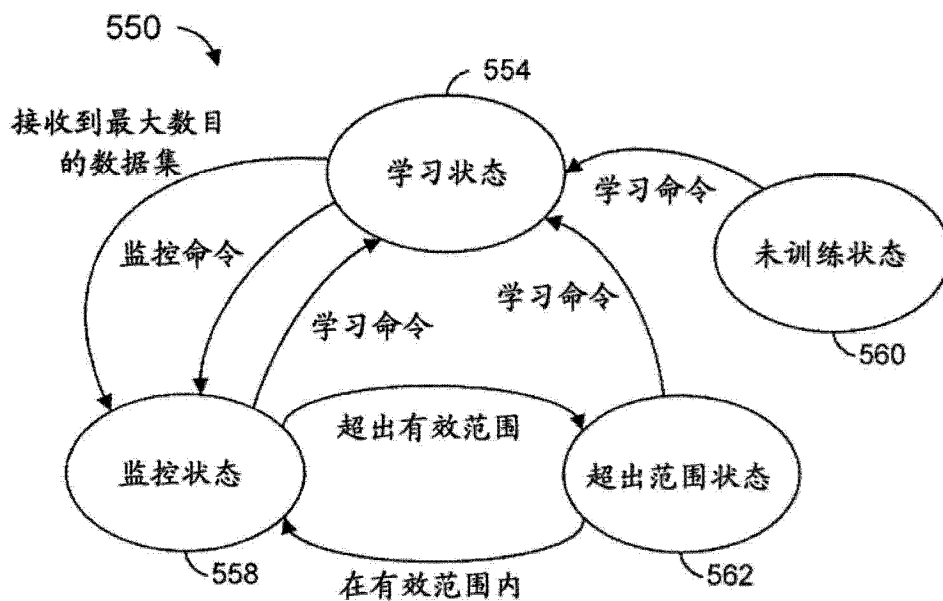


图 12

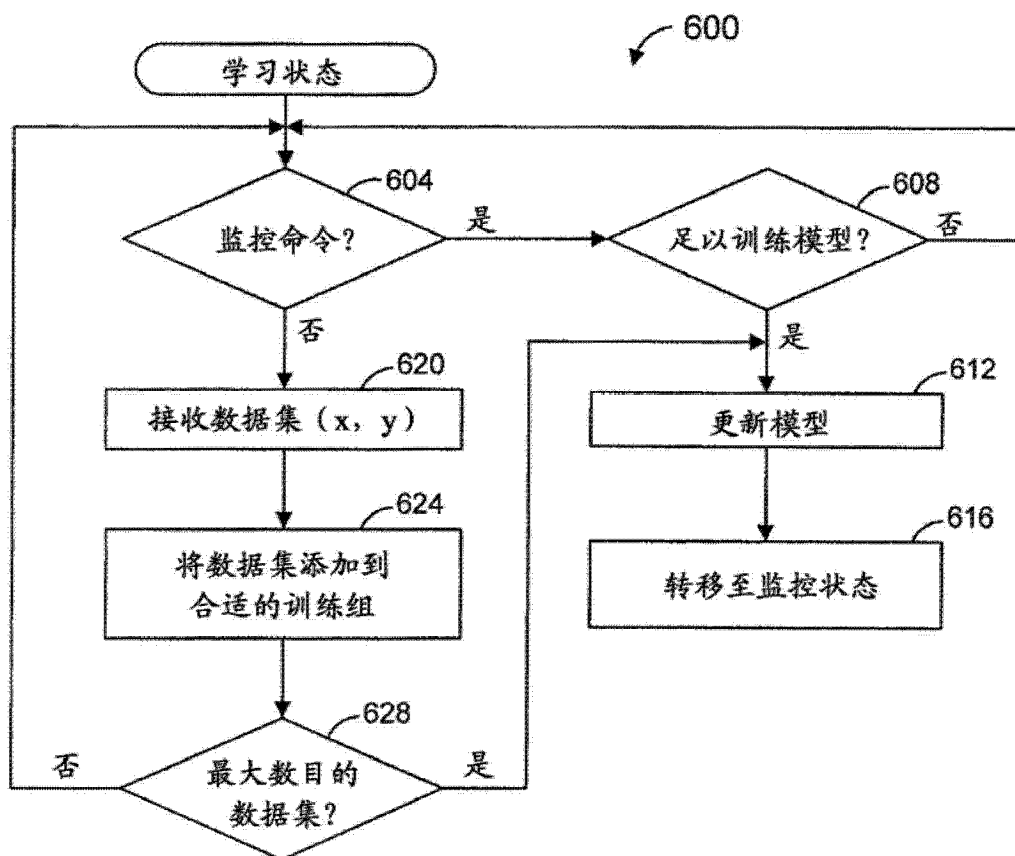


图 13

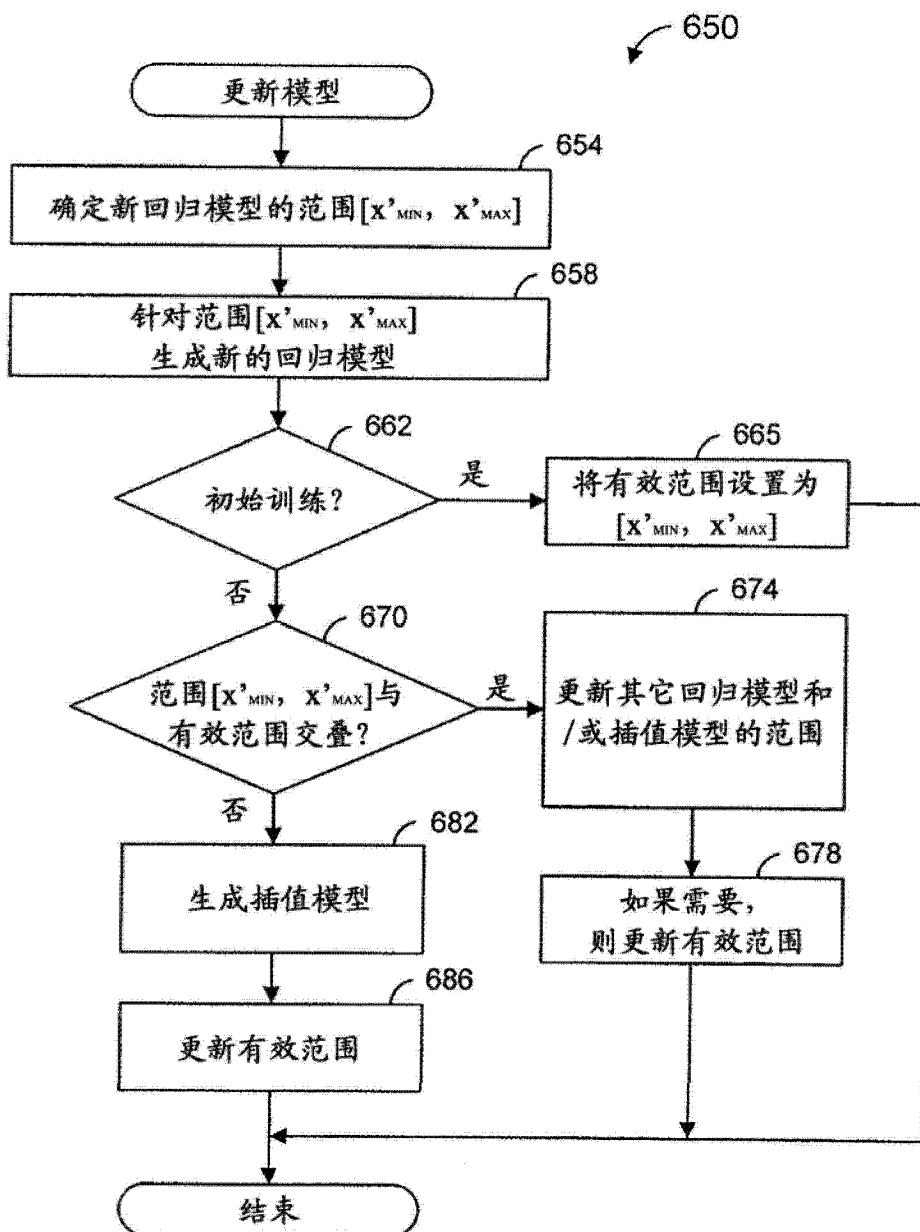


图 14

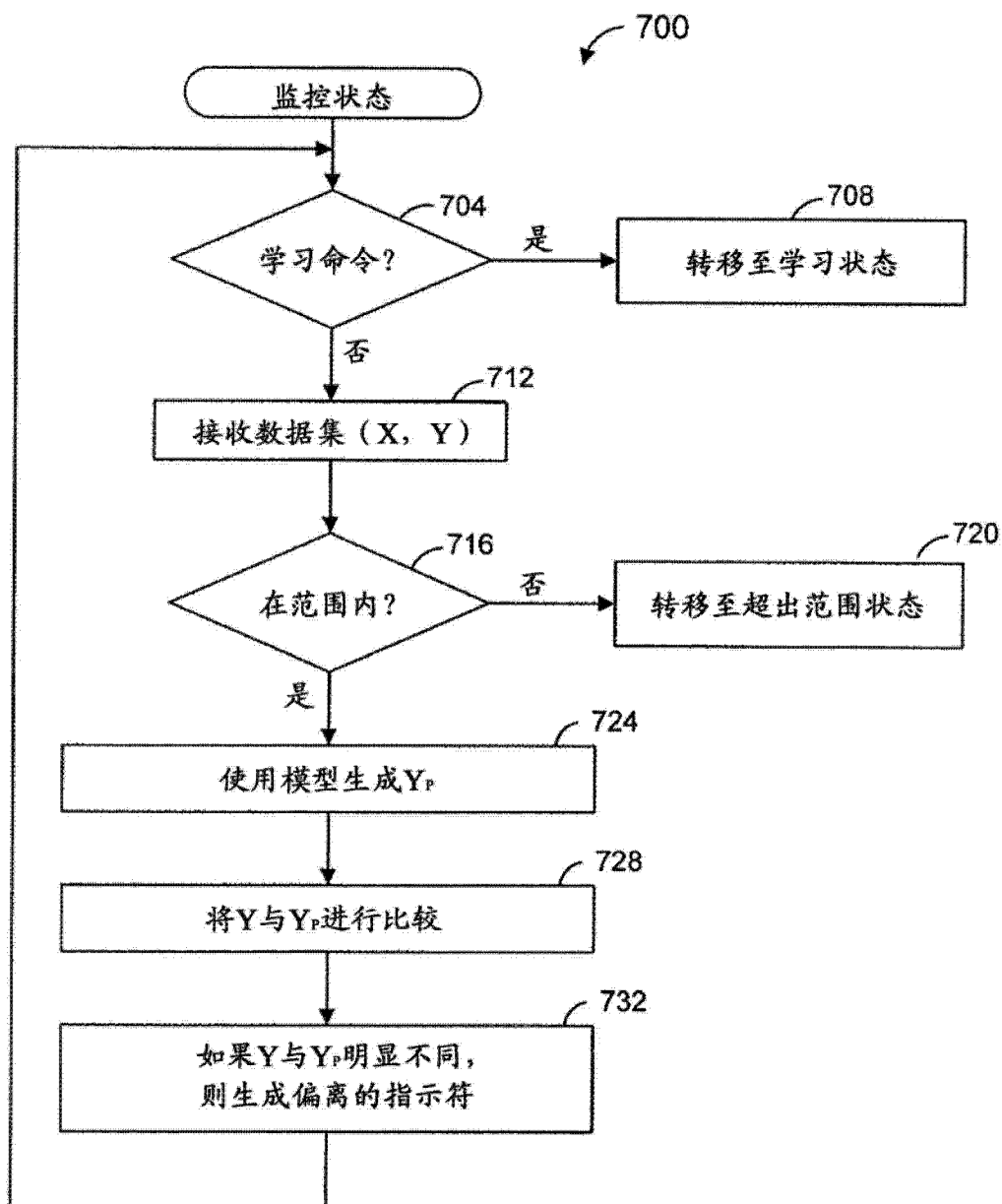


图 15

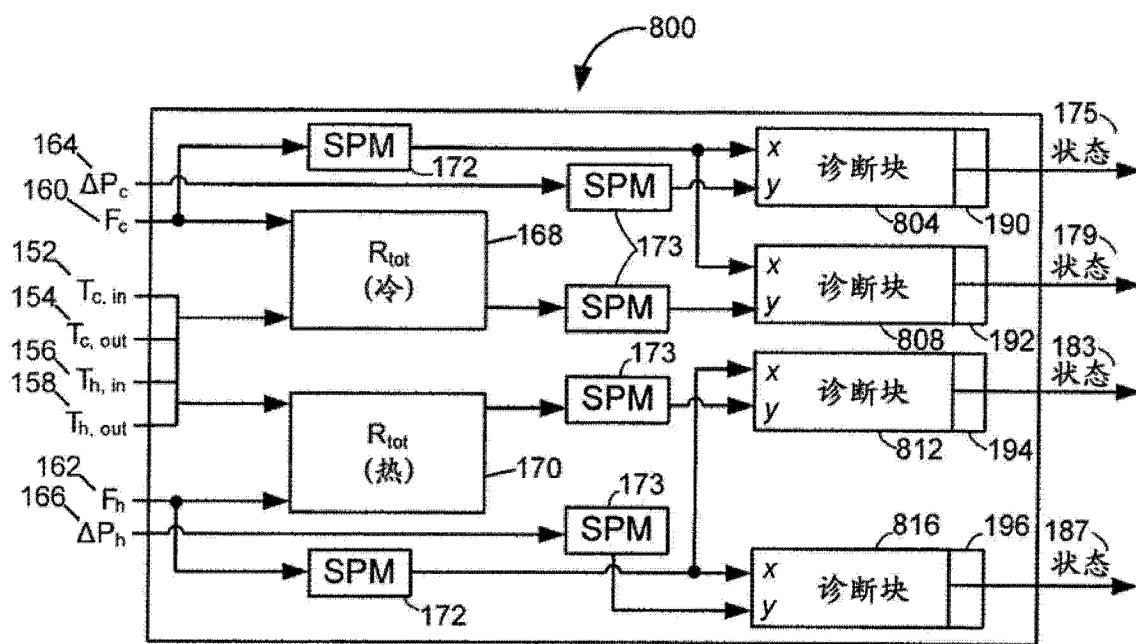


图 16

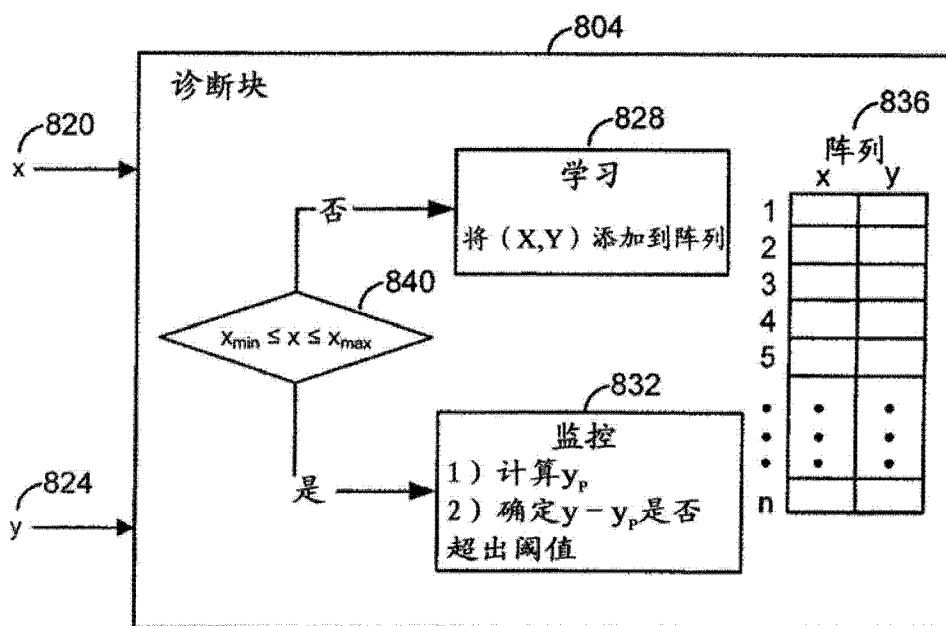


图 17

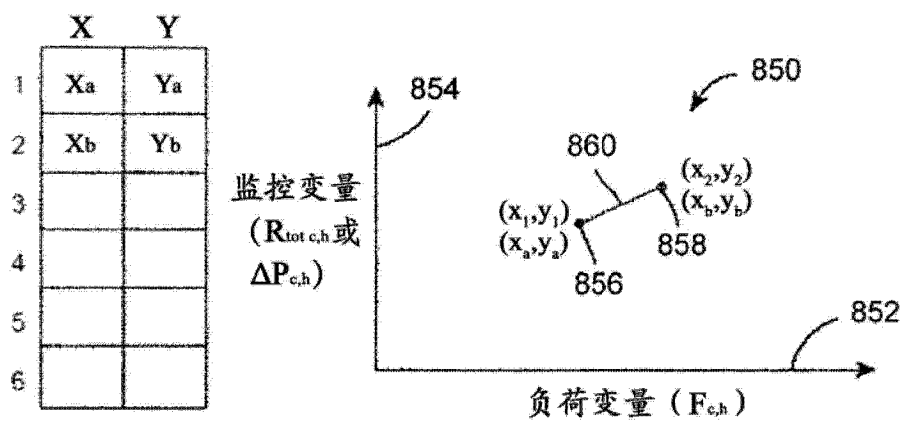


图 18

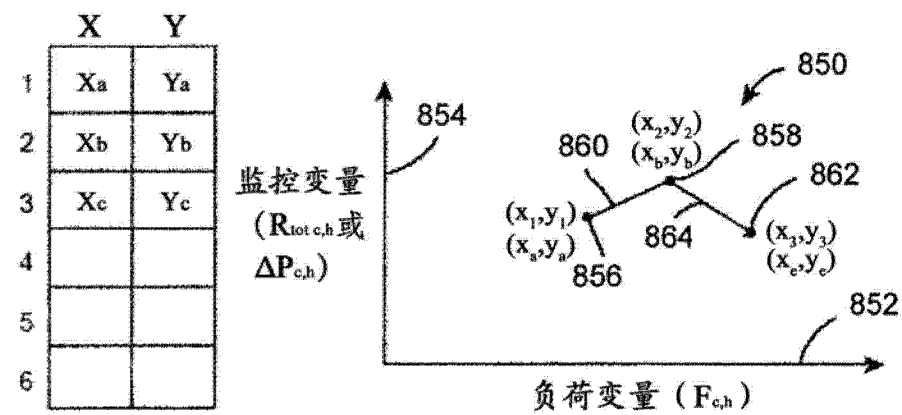


图 19

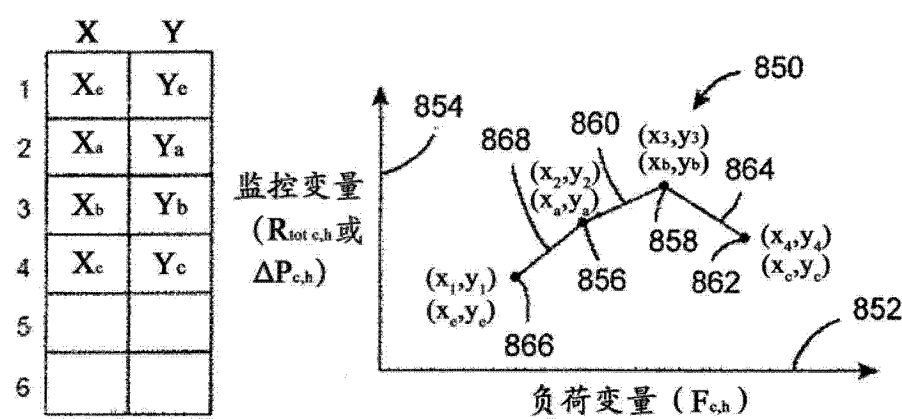


图 20

	X	Y
1	Xf	Yf
2	Xe	Ye
3	Xa	Ya
4	Xb	Yb
5	Xc	Yc
6	Xg	Yg

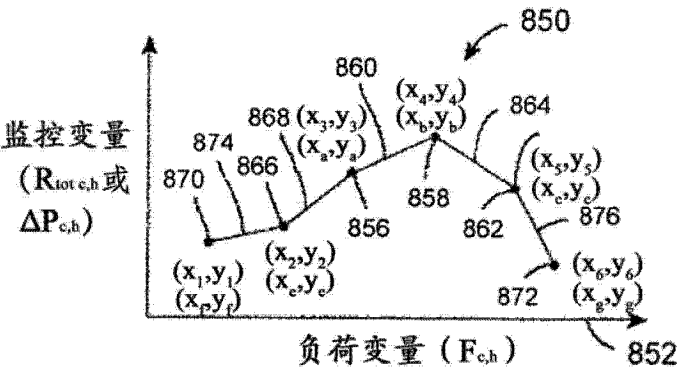


图 21

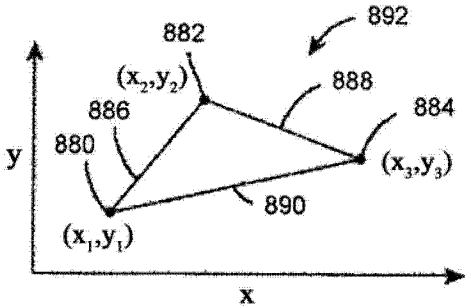


图 22

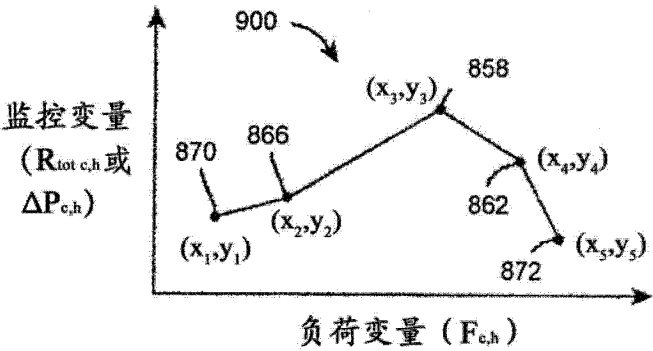


图 23

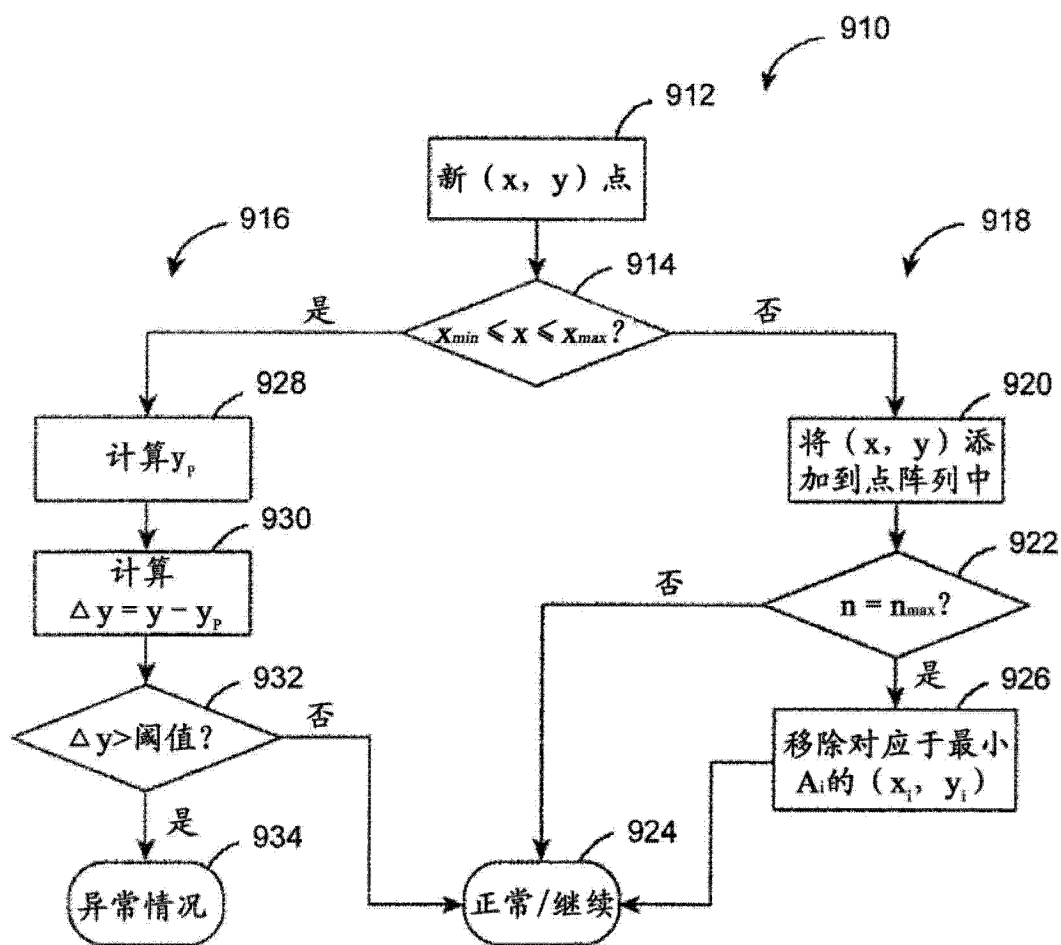


图 24

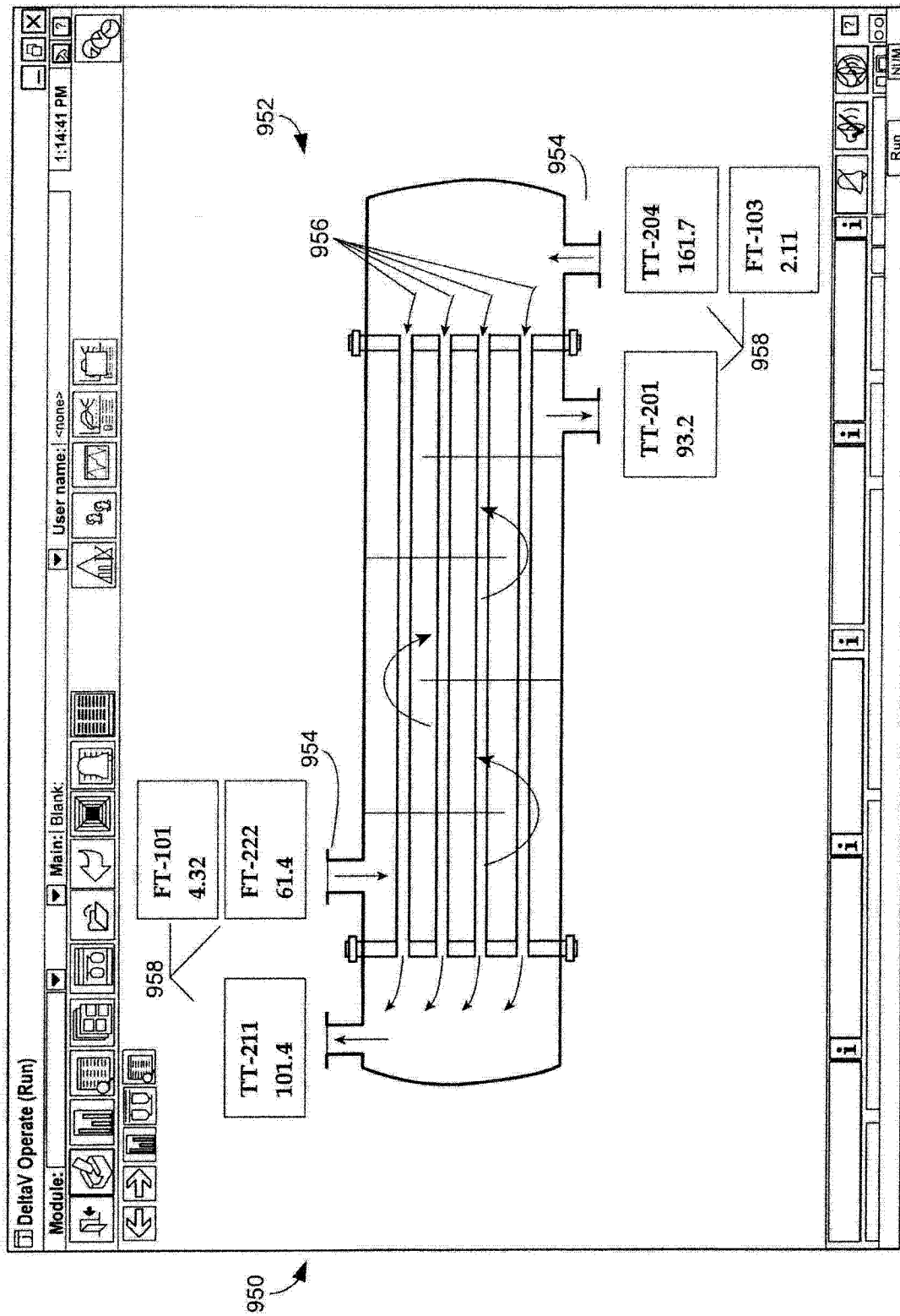


图 25

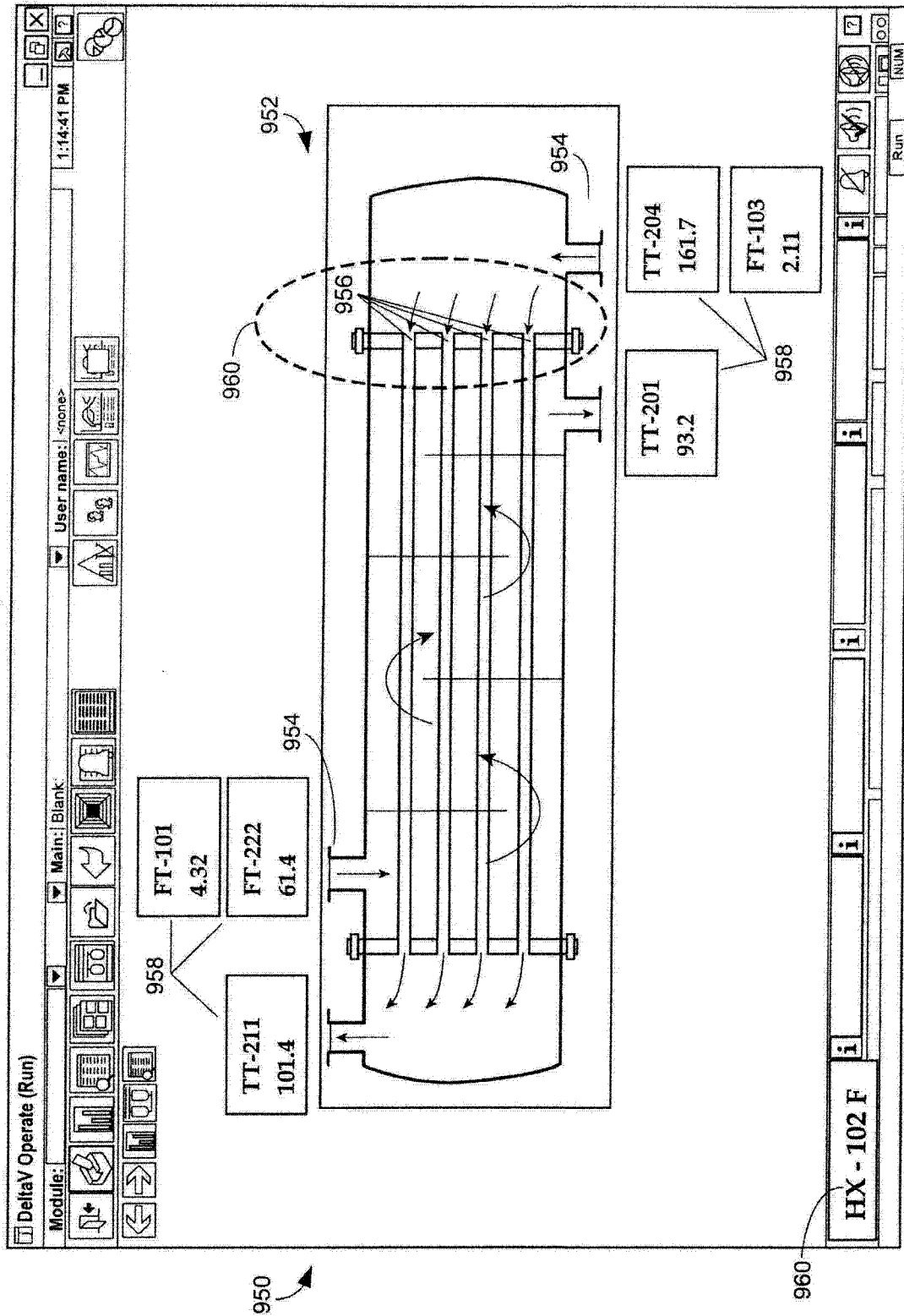


图 26

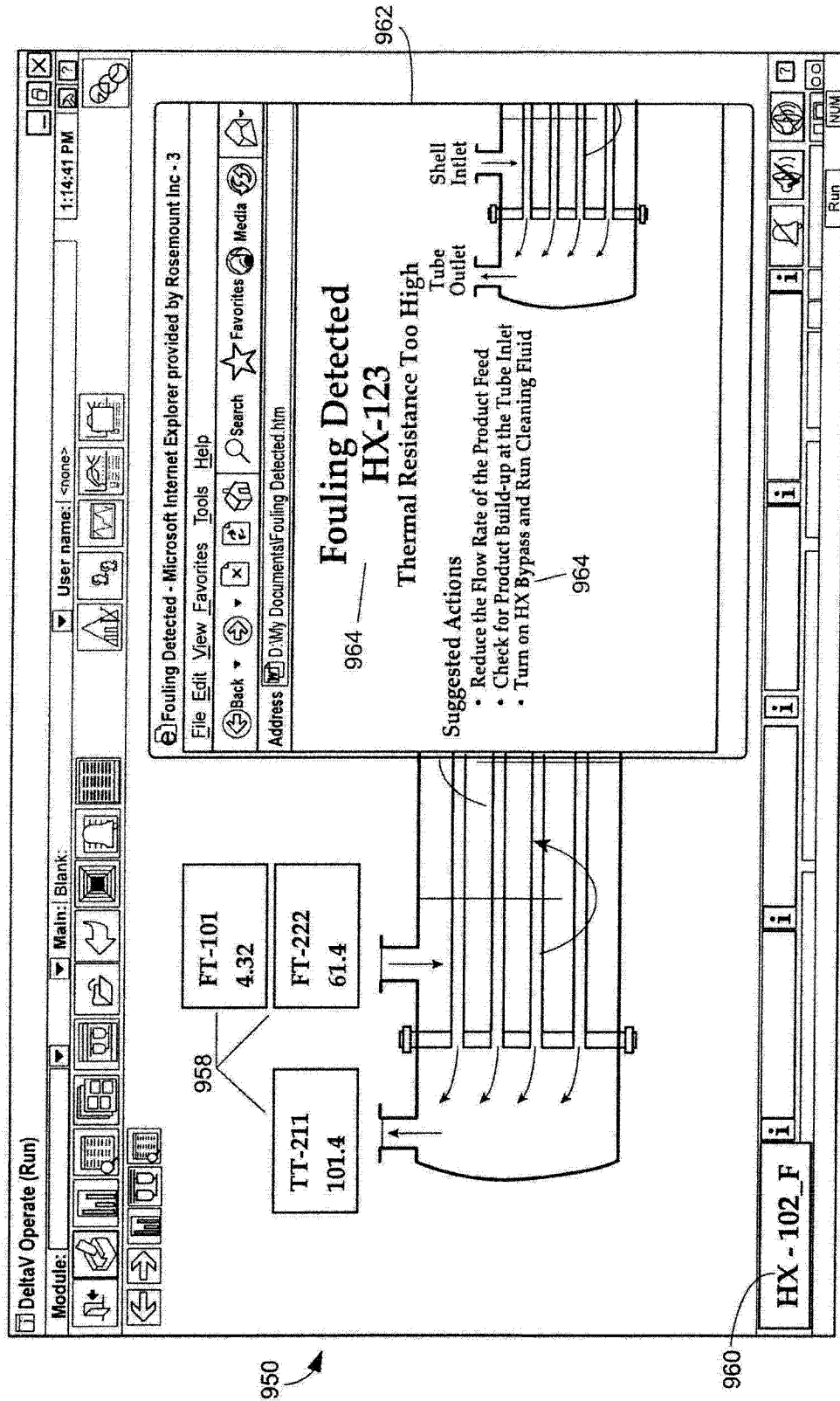


图 27