



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103149046 B

(45) 授权公告日 2016.01.06

(21) 申请号 201310071480.6

US 2004/0078171 A1, 2004.04.22, 全文.

(22) 申请日 2013.03.07

硅谷令等. 汽车液压制动系的计算机诊断系统. 《南京林业大学学报》. 2000, 第24卷(第4期),

(73) 专利权人 北京化工大学

审查员 秦鲲

地址 100029 北京市朝阳区北三环东路15号

(72) 发明人 马波 胡敬芬 江志农 张进杰

(74) 专利代理机构 北京五月天专利商标代理有限公司 11294

代理人 任淑华

(51) Int. Cl.

G01M 99/00(2011.01)

(56) 对比文件

CN 101798957 A, 2010.08.11,

CN 102074091 A, 2011.05.25, 全文.

CN 1514209 A, 2004.07.21,

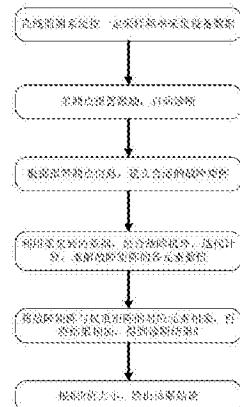
权利要求书2页 说明书12页 附图13页

(54) 发明名称

一种基于专家思维的多维度故障诊断方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于专家思维的多维度故障诊断方法,通过实时在线监测各测点运行状态信息,根据采集到的报警测点基本数据及故障机理,判定设备可能存在的故障类型,从而建立对应的故障矩阵;根据采集到的各测点数据及故障机理,对应故障矩阵,建立权重矩阵;将故障矩阵与权重矩阵相乘,求解诊断结果给出最终诊断结论,确定设备是否存在某一故障。本发明的诊断方法可排除单测点单时间点信号异常故障,可尽可能排除设备误报故障,同时有助于区分征兆较相似故障类型以给出最符合实际的故障诊断结果,解决基于不同测点、不同时间点诊断结论存在冲突的问题,对现场设备管理及监测人员具有积极的工程指导作用。



1. 一种基于专家思维的多维度故障诊断方法, 其特征在于包括如下步骤:

1) 通过实时在线监测系统按一定采样频率采集设备各测点运行状态信息, 将采集到的数据转化为可读特征参数, 当特征参数中有超过报警值的数据时, 即启动故障诊断;

2) 根据采集到的报警测点基本数据及故障机理, 判定设备可能存在的故障类型, 从而建立对应的故障矩阵,

$$F = \begin{bmatrix} F_{11p1} & F_{12p1} & \cdots & F_{1mp1} \\ F_{11p2} & F_{12p2} & \cdots & F_{1mp2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{1(m-1)p1} & F_{1(m-1)p2} & \cdots & F_{1mp(m-1)} \\ F_{mp1} & F_{mp2} & \cdots & F_{mp(m-1)} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

上式中各参数意义:

F: 故障矩阵所代表的故障类型, 故障不同, 故障矩阵也不同, 一个故障矩阵只代表一种故障;

P_j : 第 j 个测点 P;

t_i : 第 i 个时间点;

F_{tipj} : 故障矩阵中第 t_i 行第 P_j 列的元素, 即依据测点 P_j 在时刻 t_i 时的数据及故障机理进行一般诊断, 将得出的故障类型与故障矩阵代表的故障进行比较, 相同数值则为 1, 否则为 0, 其具体数值只能为 0 或 1;

$m \times n$: 故障矩阵的维数, 其中 m 为故障矩阵的行数, 即选取的时间点的个数, n 为故障矩阵的列数, 即选取的相关测点的个数;

3) 根据采集到的各测点数据及故障机理, 迭代求解故障矩阵中各元素具体数值, 各元素数值为 0 或 1, 从而使故障矩阵变为一个由 0 和 1 具体数值组成的矩阵;

4) 对应故障矩阵, 建立权重矩阵;

5) 将故障矩阵与权重矩阵相乘, 求解诊断结果 R, 当 $R \geq 0.6$ 时, 则说明该设备确实存在故障矩阵所代表的故障, 否则说明设备不存在故障矩阵所代表的故障;

6) 给出最终诊断结论, 即设备是否存在某一故障。

2. 根据权利要求 1 所述的基于专家思维的多维度故障诊断方法, 其特征在于, 步骤 3) 中故障矩阵中各元素具体数值的求解方法为:

$$F_{tipj} = [(K_{tipj1} \ K_{tipj2} \ \cdots \ K_{tipj(n-1)} \ K_{tipjn}) \ F] = 0 \text{ 或 } 1$$

上式中各参数意义:

K_{tipji} : 采集到的测点 P_j 在时刻 t_i 时的第 i 个特征值。

3. 根据权利要求 2 所述的基于专家思维的多维度故障诊断方法, 其特征在于, 步骤 4) 中建立的权重矩阵为:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} W_{1p1} & W_{1p2} & \cdots & W_{1p(n-1)} & W_{1pn} \\ W_{2p1} & W_{2p2} & \cdots & W_{2p(n-1)} & W_{2pn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ W_{(m-1)p1} & W_{(m-1)p2} & \cdots & W_{(m-1)p(n-1)} & W_{(m-1)pn} \\ W_{mp1} & W_{mp2} & \cdots & W_{mp(n-1)} & W_{mpn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

上式中各参数意义：

\mathbf{W} : 权重矩阵；

$W_{i,j}$: $F_{i,j}$ 在最终结果判定中所占的比例系数, 即该元素对最终结果的影响因子。

4. 根据权利要求 3 所述的基于专家思维的多维度故障诊断方法, 其特征在于, 步骤 5) 中求解诊断结果 R 的方法为权重加和法 :

$$R = F \otimes W = (F_{1,p1} \times W_{1p1} + F_{1,p2} \times W_{1p2} + \cdots + F_{1,p(n-1)} \times W_{1p(n-1)} + F_{1,nn} \times W_{1pn}) + \cdots + (F_{2,p1} \times W_{2p1} + F_{2,p2} \times W_{2p2} + \cdots + F_{2,p(n-1)} \times W_{2p(n-1)} + F_{2,nn} \times W_{2pn}) + \cdots + (F_{(m-1),p1} \times W_{(m-1)p1} + F_{(m-1),p2} \times W_{(m-1)p2} + \cdots + F_{(m-1),p(n-1)} \times W_{(m-1)p(n-1)} + F_{(m-1),nn} \times W_{(m-1)pn}) + (F_{mp1} \times W_{mp1} + F_{mp2} \times W_{mp2} + \cdots + F_{mp(n-1)} \times W_{mp(n-1)} + F_{mpn} \times W_{mpn})$$

。

5. 根据权利要求 1-4 任一项所述的基于专家思维的多维度故障诊断方法, 其特征在于, 对于离心设备, 将采集到的数据转化为通频、主导频率、幅值、相位、轴心轨迹 ; 对于往复设备, 将采集到的数据转化为温度、活塞杆沉降、缸体振动、曲轴箱振动。

6. 根据权利要求 2-4 任一项所述的基于专家思维的多维度故障诊断方法, 其特征在于, 对于发展较慢、趋势缓变的故障, 选择间隔较长的少量时间点 ; 对于发展较快、特征值变化剧烈的故障, 选择间隔较短的多个时间点。

一种基于专家思维的多维度故障诊断方法

技术领域

[0001] 本发明属于设备故障诊断技术领域，涉及一种基于专家思维的多维度信息设备故障诊断方法。

背景技术

[0002] 设备或者说机器是当代工业体系中不可或缺的组成部分。大型的、高效的、高自动化的设备给人类创造了巨大经济财富，为国民经济的迅速发展起到重大作用。设备在高速长周期的运转过程中，不可避免的会出现零部件老化、性能下降及损坏故障。一旦设备，尤其是在流程工业中占主要地位或者起关键作用的设备发生故障，必将给整个企业带来不可避免的经济损失，更有甚者，造成不必要的人员伤亡并给环境造成不可逆转的破坏。因此研究设备故障机理、提高设备故障诊断准确率，对保障设备安全可靠运行，从而减少因故障停机带来的直接和间接经济损失具有重要意义。

[0003] 早在半个世纪以前，人们就开始对这些重要的设备进行故障诊断。原始的故障诊断主要靠“眼看、手摸、耳听”，由于原始手段自身的局限性和所获得信息的不完备性，导致不能非常及时、准确地诊断故障。随着传感器技术和信号处理技术的发展，上世纪 80 年代出现了依靠不同信号及仪器进行的故障诊断技术。其中由于振动信号能够准确、及时的反映设备的运行状态，并且其时域、频域和幅值均可以作为故障征兆。基于振动信号的故障诊断技术应用较广，且一直延续到现在。随着计算机技术、智能化技术及信息融合技术的发展，越来越多的专家系统和融合技术也应用在了设备故障诊断上。

[0004] 专家在进行故障诊断时，总是先充分分析所获得的设备运行状态信息。这些信息包括报警测点不同时刻的各项特征参数、同时也包括相邻或者相关其他测点的各项参数。通过分析这些参数，结合故障机理给出最终结论。因为现场诊断专家考虑信息比较全面，诊断准确率相对较高。目前，大多数设备均已安装了实时在线监测系统，且具备一定的智能诊断功能。

[0005] 现有的智能诊断专家系统虽然在一定程度上能诊断出某些故障，但由于往往只考虑单一测点特征值变化或者只考虑单一时刻的各特征值变化。从而出现基于不同时刻或者不同测点进行诊断时，诊断结论不同的现象，同时也不能很好的排除由于单一信号异常而非设备故障造成的系统报警问题。

发明内容

[0006] 为充分利用所采集的信息，提高诊断准确率，并使设备尽可能的减少误报，本发明提出了一种基于专家思维的多维度故障诊断方法，包括如下步骤：

[0007] 1) 通过实时在线监测系统按一定采样频率采集设备各测点运行状态信息，将采集到的数据转化为可读特征参数，当特征参数中有超过报警值的数据时，即启动故障诊断；

[0008] 2) 根据采集到的报警测点基本数据及故障机理，判定设备可能存在的故障类型，从而建立对应的故障矩阵；

- [0009] 3) 根据采集到的各测点数据及故障机理, 迭代求解故障矩阵中各元素具体数值, 各元素数值为 0 或 1, 从而使故障矩阵变为一个由 0 和 1 具体数值组成的矩阵;
- [0010] 4) 对应故障矩阵, 建立权重矩阵;
- [0011] 5) 将故障矩阵与权重矩阵相乘, 求解诊断结果 R, 当 $R \geq 0.6$ 时, 则说明该设备确实存在故障矩阵所代表的故障, 否则说明设备不存在故障矩阵所代表的故障;
- [0012] 6) 给出最终诊断结论, 即设备是否存在某一故障。
- [0013] 进一步, 步骤 2) 中建立的故障矩阵为:

$$[0014] F = \begin{bmatrix} F_{1p1} & F_{1p2} & \cdots & F_{1p(n-1)} & F_{1pn} \\ F_{2p1} & F_{2p2} & \cdots & F_{2p(n-1)} & F_{2pn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ F_{(m-1)p1} & F_{(m-1)p2} & \cdots & F_{(m-1)p(n-1)} & F_{(m-1)pn} \\ F_{mp1} & F_{mp2} & \cdots & F_{mp(n-1)} & F_{mpn} \end{bmatrix}$$

- [0015] 上式中各参数意义:
- [0016] F : 故障矩阵所代表的故障类型, 故障不同, 故障矩阵也不同, 一个故障矩阵只代表一种故障;
- [0017] P_j : 第 j 个测点 P ;
- [0018] t_i : 第 i 个时间点;
- [0019] F_{tipj} : 故障矩阵中第 t_i 行第 P_j 列的元素, 即依据测点 P_j 在时刻 t_i 时的数据及故障机理进行一般诊断, 将得出的故障类型与故障矩阵代表的故障进行比较, 相同数值则为 1, 否则为 0, 其具体数值只能为 0 或 1;
- [0020] $m \times n$: 故障矩阵的维数, 其中 m 为故障矩阵的行数, 即选取的时间点的个数, n 为故障矩阵的列数, 即选取的相关测点的个数。

- [0021] 进一步, 步骤 3) 中故障矩阵中各元素具体数值的求解方法为:

$$[0022] F_{ip} = [(K_{ip1} \ K_{ip2} \ \cdots \ K_{ip(n-1)} \ K_{ipn}) \ F] = 0 \text{ 或 } 1$$

- [0023] 上式中各参数意义:

[0024] K_{ipj} : 采集到的测点 P_j 在时刻 t_i 时的第 i 个特征值。

- [0025] 进一步, 步骤 4) 中建立的权重矩阵为:

- [0026]

$$W = \begin{bmatrix} W_{1p1} & W_{1p2} & \cdots & W_{1p(n-1)} & W_{1pn} \\ W_{2p1} & W_{2p2} & \cdots & W_{2p(n-1)} & W_{2pn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ W_{(n-1)p1} & W_{(n-1)p2} & \cdots & W_{(n-1)p(n-1)} & W_{(n-1)pn} \\ W_{np1} & W_{np2} & \cdots & W_{np(n-1)} & W_{npn} \end{bmatrix}_{n \times n}$$

[0027] 上式中各参数意义：

[0028] W ：权重矩阵；

[0029] $W_{i,j}$ ： $F_{i,j}$ 在最终结果判定中所占的比例系数，即该元素对最终结果的影响因子。

[0030] 进一步，步骤 5) 中求解诊断结果 R 的方法为权重加和法：

[0031]

$$R = F \otimes W = (F_{1,1} \times W_{1,1} + F_{1,2} \times W_{1,2} + \cdots + F_{1,n} \times W_{1,n}) + \cdots + (F_{n,1} \times W_{n,1} + F_{n,2} \times W_{n,2} + \cdots + F_{n,n} \times W_{n,n})$$

[0032] 进一步，对于离心设备，将采集到的数据转化为通频、主导频率、幅值、相位、轴心轨迹；对于往复设备，将采集到的数据转化为温度、活塞杆沉降、缸体振动、曲轴箱振动。

[0033] 进一步，对于发展较慢、趋势缓变的故障，选择间隔较长的少量时间点；对于发展较快、特征值变化剧烈的故障，选择间隔较短的多个时间点。

[0034] 本发明提供的故障矩阵诊断方法充分考虑了某一故障对设备相邻和相关测点的影响，将相邻和相关测点的信息与报警测点信息充分融合，从多维角度进行诊断，符合专家分析、诊断思路。利用实时在线监测系统采集的各测点各时间点信息融合得到的故障矩阵进行诊断，可排除单测点单时间点信号异常故障，可尽可能排除设备误报故障，同时有助于区分征兆较相似故障类型以给出最符合实际的故障诊断结果，同时解决基于不同测点、不同时间点诊断结论存在冲突的问题，对现场设备管理及监测人员具有积极的工程指导作用。

附图说明

[0035] 图 1 是本发明的流程图；

[0036] 图 2 是本发明的故障矩阵各元素具体数值求解过程示意图；

[0037] 图 3 是本发明的故障矩阵权重加权法求解过程示意图；

[0038] 图 4 是对应故障矩阵的权重矩阵示意图；

[0039] 图 5 某石化 102 设备概貌和传感器布置图；

[0040] 图 6 某石化 102 设备 1V 测点频谱比较图；

[0041] 图 7 某石化 102 设备 1H 测点频谱比较图；

[0042] 图 8 某石化 102 设备 2V 测点频谱比较图；

- [0043] 图 9 某石化 102 设备 2H 测点频谱比较图；
- [0044] 图 10 某石化 102 设备 1H-1V 测点轴心轨迹图（椭圆）；
- [0045] 图 11 某石化 102 设备 1H-1V 测点轴心轨迹图(8 字型)；
- [0046] 图 12 某石化 102 设备 2H-2V 测点轴心轨迹图(椭圆)；
- [0047] 图 13 某石化 102 设备 2H-2V 测点轴心轨迹图(8 字型)。

具体实施方式

- [0048] 下面结合附图对本发明进行具体说明。
- [0049] 结合图 1-4, 本发明的多维度故障诊断方法包括以下步骤：
- [0050] 1) 通过实时在线监测系统按一定采样频率采集设备各测点运行状态信息，并通过一定的数据处理手段，将采集到的数据转变为可读特征参数，对于离心设备，通常转化为通频、幅值、相位、轴心轨迹等特征参数，对于往复设备则可转化为温度、活塞杆沉降、缸体振动等特征参数。当特征参数中有超过报警值的数据时，即启动故障诊断；
- [0051] 2) 根据采集到的报警测点基本数据及故障机理，判定设备可能存在的故障类型，从而建立合适的故障矩阵；
- [0052] 具体判断过程如图 2 所示，由于故障发生的部位不同、或是故障类型不同，导致设备表现特征不同，即设备特征参数变化不同，各诊断专家已给出故障类型与设备特征参数间对应关系，据此可大致判断设备可能存在的故障类型。如对于离心设备不平衡故障主要表现在 1 倍频(1X) 主导，离心设备油膜涡动类故障表现特征为分频变化较大，等等。但由于故障的复杂性，不同故障间表现特征关联性，根据单一测点信息无法给出准确结论。根据设备可能存在的故障，建立合适故障矩阵。

[0053] 该步骤中建立的故障矩阵为：

$$[0054] \mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_{11p_1} & F_{12p_1} & \cdots & F_{1np_1} & F_{11p_2} \\ F_{12p_1} & F_{22p_1} & \cdots & F_{2np_1} & F_{22p_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ F_{11p_m} & F_{12p_m} & \cdots & F_{1np_m} & F_{11p_n} \\ F_{12p_m} & F_{22p_m} & \cdots & F_{2np_m} & F_{22p_n} \end{bmatrix}$$

[0055] 上式中各参数意义：

- [0056] \mathbf{F} : 故障矩阵所代表的故障类型，故障不同，故障矩阵也不同，一个故障矩阵只代表一种故障；
- [0057] P_j : 第 j 个测点 P；
- [0058] t_i : 第 i 个时间点；
- [0059] F_{tip_j} : 故障矩阵中第 t_i 行第 P_j 列的元素，即依据测点 P_j 在时刻 t_i 时的数据及故障机理进行一般诊断，将得出的故障类型与故障矩阵代表的故障进行比较，相同数值则为 1，否则为 0，其具体数值只能为 0 或 1；
- [0060] $m \times n$: 故障矩阵的维数，其中 m 为故障矩阵的行数，即选取的时间点的个数， n 为故障矩阵的列数，即选取的相关测点的个数。

[0061] 故障不同,所建立的故障矩阵不同,则维数 $m \times n$ 也不同,譬如:对于发展较慢、趋势缓变的故障,可选择少量、间隔较长的时间点,即故障矩阵的行数 m 较小,且包含时间范围较宽;对于发展较快、特征值变化剧烈的故障,则尽量选择间隔较短的多个时间点,即 m 值较大,但包含时间可能较短。

[0062] 一种故障对应一个故障矩阵和一个权重矩阵,故障矩阵和对应的权重矩阵维数 $m \times n$ 相同。故障矩阵是由数值 0 和 1 组成的矩阵,其行数 m 与选取的时间点数相同,其列数 n 与相关测点数相同。权重矩阵是由加和结果为 1 的 $m \times n$ 个实数值组成的矩阵,各元素数值大小是根据故障机理和故障劣化规律得出的,代表了故障矩阵中对应元素对诊断结果的影响系数。

[0063] 3) 根据采集到的各测点数据及故障机理,迭代求解故障矩阵中各元素具体数值,各元素数值为 0 或 1,从而使故障矩阵变为一个由 0 和 1 具体数值组成的矩阵;

[0064] 该步骤中提出的故障矩阵中各元素求解方法为:

[0065]

$$F_{ij} = [(K_{(t_1, p_1)} \ K_{(t_1, p_2)} \ \dots \ K_{(t_1, p_{n-1})} \ K_{(t_1, p_n)}) \ F] = 0 \text{ 或 } 1$$

[0066] 上式中各参数意义:

[0067] $K_{(t_i, p_j)}$: 采集到的测点 P_j 在时刻 t_i 时的第 i 个特征值。

[0068] 4) 对应故障矩阵,建立合适的权重矩阵,即故障矩阵中每一个元素具体数值对最终结果的判定产生的影响系数;

[0069] 该步骤中建立的权重矩阵:

[0070]

$$W = \begin{bmatrix} W_{1,1} & W_{1,2} & \dots & W_{1,(n-1)} & W_{1,n} \\ W_{2,1} & W_{2,2} & \dots & W_{2,(n-1)} & W_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ W_{(m-1),1} & W_{(m-1),2} & \dots & W_{(m-1),(n-1)} & W_{(m-1),n} \\ W_{m,1} & W_{m,2} & \dots & W_{m,(n-1)} & W_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0071] 上式中各参数意义:

[0072] W : 权重矩阵;

[0073] $W_{i,j}$: $K_{(t_i, p_j)}$ 在最终结果判定中所占的比例系数,即该元素对最终结果的影响因子。

[0074] 5) 将故障矩阵与权重矩阵相乘,求解诊断结果 R ,当 $R \geq 0.6$ 时,则说明该设备确实存在故障矩阵所代表的故障,否则说明设备不存在故障矩阵所代表的故障;和

[0075] 该步骤中求解诊断结果的方法为权重加和法:

[0076]

$$R = F \odot W = F_{1,1} \times W_{1,1} + F_{1,2} \times W_{1,2} + \dots + F_{1,n} \times W_{1,n} + \dots + (F_{m,1} \times W_{m,1} + F_{m,2} \times W_{m,2} + \dots + F_{m,n} \times W_{m,n})$$

[0077] 上式中各参数意义:

[0078] F : 故障矩阵;

[0079] \mathbf{W} :权重矩阵；

[0080] \mathbf{R} :诊断结果。

[0081] 诊断矩阵中的各元素,数值不同,最终的结果也会不同。每一个元素对最终结果的影响因子不同,即权重大小不同,对诊断结果也有一定的影响。将每一个元素与其对应权重数值相乘,再将相乘所得结果相加,即可求得诊断结果 R,若 $R \geq 0.6$ 时,说明该设备确实存在故障矩阵所代表的故障;否则说明设备不存在故障矩阵所代表的故障。

[0082] 6) 给出最终诊断结论,即设备是否存在某一故障。

实施例

[0083] 下面选择某石化企业化肥厂 102 设备为对象对该方法进行检验。如图 5 所示,102 设备为透平 + 低压缸 + 高压缸三轴连接式设备,每一轴都由两个滑动轴承支撑,轴与轴之间用刚性联轴节连接。该设备 1V、2V 测点在 2012 年 12 月 23 日超过危险值,现针对这两个测点及其相邻和相关测点特征值信息进行诊断。其中 1V、1H 测点为透平自由端两夹角为 90 度径向测点,2V、2H 测点为透平非自由端两夹角为 90 度径向测点,这四个测点用于测量透平转轴振动特征。

[0084] 具体实施措施如下:

[0085] 1、采用现有在线监测系统,实时采集该设备所有测点的相应信息。该设备用 12 个电涡流传感器测各轴承径向测点,透平、低压缸、高压缸三轴,在每轴两端的轴承处分别安置两个夹角为 90 度的传感器,从透平自由端到高压缸自由端,编号依次为 1H/1V、2H/2V...6H/6V;并用 5 个电涡流传感器测轴向测点,其中透平自由端轴向安置两个传感器,为 1A1/1A2,低压缸与高压缸联接处轴向安置两个传感器,为 4A1/4A2,高压缸自由端安置一个传感器,为 6A。设备概貌及传感器具体安置方位可查看附图 5。采集到的径向测点特征参数有:工作转速、通频值、1 倍频 (1X)、2 倍频 (2X)、1/2 倍频 (1/2X)、1 倍频波形、1 倍频相位、频谱图、轴心轨迹等。轴向测点主要特征参数有直流量和振动幅值等。

[0086] 结合图 6-13,该设备 1V、2V 测点处于报警状态,启动故障诊断,在 2012 年 12 月 23 日凌晨左右振值出现较大变化,现选择 2012 年 12 月 22 号 0:0:00 到 2012 年 12 月 24 号 0:0:00 两天 48 小时内等时间间隔的 7 组数据对该设备进行诊断。

[0087] 用在线监测系统采集到的该设备相应数据见下表:

[0088]

测点 1B 不同时间点特征参数数据

时间点 (2013年12月)	通频值 (us)	1B 主导频 率幅值 (us)	1X 相位	常伴频率 (Hz; us)	前后 10 分钟 内波动趋势	轴心轨迹
22 日 6 时 (t6)	23.15	1X: 18.5	28.8 度		稳定	椭圆
22 日 12 时 (t4)	25.67	1X: 18.9	35.1 度		稳定	椭圆
22 日 18 时 (t2)	33.30	1X: 20.3	42.1 度	55:4.9us; 105:3.1us	不稳定	S 字型
22 日 24 时 (t1)	32.77	1X: 19.8	43.3 度	55:4.5us; 105:2.5us	不稳定	S 字型
23 日 6 时 (t3)	30.82	1X: 20.9	33 度	55:6.8us; 105:2.4us	不稳定	S 字型
23 日 12 时 (t5)	28.05	1X: 19.0	39.9 度	55:3.7us; 105:2.1us	不稳定	S 字型
23 日 18 时 (t7)	25.78	1X: 19.7	27.1 度		稳定	椭圆

测点 1V 不同时间点特征参数

时间点 (2013年12月)	通频值 (us)	1V 主导频 率 Hz	1X 相位	常伴频率	前后 10 分钟 内波动趋势	轴心轨迹
22 日 6 时 (t6)	58.13	1X: 41.7	111.4 度	40: 7.8us	稳定	椭圆
22 日 12 时 (t4)	70.75	1X: 47.1	122.7 度	50:7.1us; 110:4us	不稳定	椭圆
22 日 18 时 (t2)	94.47	1X: 45.7	128.9 度	55:32.9us; 105:17.2us	不稳定	S 字型
22 日 24 时 (t1)	88.31	1X: 44.6	119.3 度	55:37.5us; 105:12us	不稳定	S 字型
23 日 6 时 (t3)	86.64	1X: 42.6	122.2 度	55:35.1us; 105:18.1us	不稳定	S 字型
23 日 12 时 (t5)	79.38	1X: 43.5	130.1 度	55:24.8us; 105:10.8us	不稳定	S 字型
23 日 18 时 (t7)	69.54	1X: 46.7	114.6 度	55:11.8us; 105:6.1us	不稳定	椭圆

[0089]

测点 2B 不同时相点特征参数						
时间点 (2012 年 12 月)	通频值 (Hz)	2X 主导频 率 Hz	1X 相位	常伴频率	前后 10 分钟 内波动趋势	轴心轨迹
22 日 6 时 (t3)	36.39	1X: 21.3	79.4 度	480:3.8us	稳定	椭圆
22 日 12 时 (t4)	34.9	1X: 20.7	89.6 度	480:3.8us; 320:3.7us	稳定	椭圆
22 日 18 时 (t2)	36.32	1X: 20.5	69.5 度	480:3.7us; 320:3.8us; 55:2.2us; 110:1.6us	稳定	8 字型
22 日 24 时 (t1)	34.94	1X: 19.6	96.3 度	480:3.9us; 320:3.4us; 存在 55 和 110Hz 频率成分	稳定	8 字型
23 日 6 时 (t3)	36.49	1X: 20.7	79.6 度	480:4us; 320:3.8us; 存 在 55 和 105Hz 频率成分	稳定	8 字型
23 日 12 时 (t5)	33.95	1X: 19.2	95.5 度	480:3.8us; 320:3.3us; 存在 55 和 105Hz 频率成分	稳定	8 字型
23 日 18 时 (t7)	34.47	1X: 20.3	79.6 度	480:3.7us; 320:3.5us	稳定	8 字型
测点 2W 不同时相点特征参数						
时间点 (2012 年 12 月)	通频值 (Hz)	2Y 主导频 率 Hz	1X 相位	常伴频率	前后 10 分钟 内波动趋势	轴心轨迹
22 日 6 时 (t3)	60.23	1X: 40.8	190.2 度	480:4.1us; 320:5.7us; 50:4.4us	稳定	椭圆
22 日 12 时 (t4)	60.4	1X: 38.6	212.9 度	480:4.2us; 320:5.9us;	不稳定	椭圆
22 日 18 时 (t2)	78.41	1X: 34.6	180.6 度	55:21.9us; 105:10.1us	不稳定	8 字型
22 日 24 时 (t1)	71.24	1X: 31.9	216.1 度	55:17.9us; 105:8.5us	不稳定	8 字型
23 日 6 时 (t3)	72.38	1X: 34.6	197.6 度	55:24.3us; 105:10.5us	不稳定	8 字型
23 日 12 时 (t5)	63.33	1X: 32	217.3 度	55:15.8us; 105:6.7us	不稳定	8 字型
23 日 18 时 (t7)	58.11	1X: 33	203.2 度	55:9.3us; 105:4.2us; 3 20:8.1us	不稳定	8 字型

[0090] 2、1V 测点在 t1 时刻, 通频值较大, 各项特征值较明显, 选择此时刻 1V 测点数据进行初步判断。1V 测点 t1 时刻的主要特征参数有: 1 倍频(1X) 主导, 相位不稳定, 常伴频率为 55Hz, 即 1/3 倍频频率, 约占到 1 倍频幅值的 1/2, 变化较大的频率成分为 55Hz 频率成分, 趋势不稳定, 波形为 8 字型。

[0091]

$$[K_1 \ K_2 \ \dots \ K_{n-1} \ K_n] = F$$

|主导导频 1X 相位 常伴频率 相对对变化量较大频 趋势 轴心轨迹| = F

|1X 不稳定 1/3X 1/3X 不稳定 8字型| = 油膜涡动

[0092] 根据以上特征信息, 判定设备可能存在油膜涡动故障, 选择油膜涡动故障矩阵。

[0093]

$$F = \begin{bmatrix} F_{t1p1V} & F_{t1p1H} & F_{t1p2V} & F_{t1p2H} \\ F_{t2p1V} & F_{t2p1H} & F_{t2p2V} & F_{t2p2H} \\ F_{t3p1V} & F_{t3p1H} & F_{t3p2V} & F_{t3p2H} \\ F_{t4p1V} & F_{t4p1H} & F_{t4p2V} & F_{t4p2H} \\ F_{t5p1V} & F_{t5p1H} & F_{t5p2V} & F_{t5p2H} \\ F_{t6p1V} & F_{t6p1H} & F_{t6p2V} & F_{t6p2H} \\ F_{t7p1V} & F_{t7p1H} & F_{t7p2V} & F_{t7p2H} \end{bmatrix}$$

[0094] 该故障矩阵代表着油膜涡动故障,若该矩阵计算结果 R>0.6,则说明设备存在油膜涡动故障,否则就说明设备不存在油膜涡动故障。

[0095] 3、根据采集到的各测点数据及故障机理,迭代求解故障矩阵中各元素具体数值。

[0096] 依据 1V 测点 23 日 0 时刻数据结合故障机理诊断出的结论为油膜涡动,将该结果与故障矩阵所代表的故障 - 油膜涡动进行比较,两者相同,则 $r_{t1p1V}=1$,依次依据其它测点其它时刻数据,进行求解,结果为:

[0097]

$$F_{t1p1V} = [QX \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0098]

$$F_{t2p1V} = [QX \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0099]

$$F_{t3p1V} = [QX \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0100]

$$F_{t4p1V} = [QX \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0101]

$$F_{t5p1V} = [QX \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0102]

$$F_{t6p1V} = [QX \text{ 稳定 } 1/4X \text{ 1X 稳定 } 椭圆) \text{ 油膜涡动}] = 0$$

[0103]

$$F_{t7p1V} = [QX \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0104]

$$F_{t1p2V} = [QX \text{ 稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0105]

$$F_{t2p2V} = [QX \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型}) \text{ 油膜涡动}] = 1$$

[0106]

- [0107] $F_{\alpha_2,1H} = [0X \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0108] $F_{\alpha_2,1H} = [0X \text{ 稳定 } 0 \text{ 1X 稳定 椭圆) 油膜涡动}] = 0$
- [0109] $F_{\alpha_2,1H} = [0X \text{ 稳定 } 0X \text{ 1X 稳定 椭圆) 油膜涡动}] = 0$
- [0110] $F_{\alpha_2,1H} = [0X \text{ 不稳定 } 0X \text{ 1X 不稳定 椭圆) 油膜涡动}] = 0$
- [0111] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0112] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0113] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0114] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 椭圆) 油膜涡动}] = 1$
- [0115] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0116] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 2X|3X|1/3X \text{ 1X 稳定 椭圆) 油膜涡动}] = 0$
- [0117] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 1/3X \text{ 1/3X 不稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0118] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 2X|3X \text{ 3X 稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 0$
- [0119] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 2X|3X|1/3X \text{ 1/3X 稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0120] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 2X|3X|1/3X \text{ 1/3X 稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0121] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 3X \text{ 1X 稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 0$
- [0122] $F_{\alpha_2,2H} = [0X \text{ 不稳定 } 2X|3X|1/3X \text{ 1/3X 稳定 } 8\text{字型) 油膜涡动}] = 1$
- [0123]

$$F_{i6p2H} = [QX \text{ 稳定 } 3X \text{ IX 稳定 椭圆) 油膜涡动}] = 0$$

[0124]

$$F_{i7p2H} = [QX \text{ 不稳定 } 2X | 3X \text{ IX 稳定 8字型) 油膜涡动}] = 0$$

[0125] 则该设备油膜涡动故障矩阵为：

[0126]

$$F = \begin{bmatrix} F_{i1p1V} & F_{i1p1H} & F_{i1p2V} & F_{i1p2H} \\ F_{i2p1V} & F_{i2p1H} & F_{i2p2V} & F_{i2p2H} \\ F_{i3p1V} & F_{i3p1H} & F_{i3p2V} & F_{i3p2H} \\ F_{i4p1V} & F_{i4p1H} & F_{i4p2V} & F_{i4p2H} \\ F_{i5p1V} & F_{i5p1H} & F_{i5p2V} & F_{i5p2H} \\ F_{i6p1V} & F_{i6p1H} & F_{i6p2V} & F_{i6p2H} \\ F_{i7p1V} & F_{i7p1H} & F_{i7p2V} & F_{i7p2H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

[0127] 4、对应故障矩阵,选择合适的权重矩阵。

[0128] 故障矩阵中每一个元素对最终结果的计算影响不同,即故障矩阵中每一个元素在结果计算过程中所占权重不同,权重矩阵是基于故障机理及故障劣化规律的考虑所给出的能反映各元素所占结果影响因子的矩阵。一般来说,越靠近报警测点报警时刻的元素所占权重越大。考虑油膜涡动故障机理和油膜涡动故障劣化规律,给出本例的权重矩阵为:

[0129]

$$W = \begin{bmatrix} W_{i1p1V} & W_{i1p1H} & W_{i1p2V} & W_{i1p2H} \\ W_{i2p1V} & W_{i2p1H} & W_{i2p2V} & W_{i2p2H} \\ W_{i3p1V} & W_{i3p1H} & W_{i3p2V} & W_{i3p2H} \\ W_{i4p1V} & W_{i4p1H} & W_{i4p2V} & W_{i4p2H} \\ W_{i5p1V} & W_{i5p1H} & W_{i5p2V} & W_{i5p2H} \\ W_{i6p1V} & W_{i6p1H} & W_{i6p2V} & W_{i6p2H} \\ W_{i7p1V} & W_{i7p1H} & W_{i7p2V} & W_{i7p2H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{32} & \frac{1}{64} & \frac{1}{64} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{32} & \frac{1}{64} & \frac{1}{64} \\ \frac{1}{32} & \frac{1}{64} & \frac{1}{128} & \frac{1}{128} \end{bmatrix}$$

[0130] 5、将故障矩阵与权重矩阵结合,求解故障矩阵最终结果 R,若 $R \geq 0.6$,则说明该设备确实存在故障矩阵所代表的故障,相反则说明设备不存在故障矩阵所代表的故障;

[0131]

$$\begin{aligned} R = F \otimes W &= (F_{0,0} \times W_{0,0} + F_{0,1} \times W_{0,1} + \dots + F_{0,128} \times W_{0,128}) + \dots + (F_{128,0} \times W_{128,0} + F_{128,1} \times W_{128,1} + \dots + F_{128,128} \times W_{128,128}) \\ &= 1 \times \frac{1}{4} + 1 \times \frac{1}{8} + \dots + 1 \times \frac{1}{128} + 0 \times \frac{1}{128} \\ &= 0.875 \end{aligned}$$

$$R = 0.875 > 0.6$$

[0132] 6、经以上分析，该设备透平端确实存在油膜涡动故障；

[0133] 7、在发现设备报警后，用故障矩阵方法对设备异常进行故障诊断，诊断出设备透平端存在油膜涡动故障。经与现场人员核实，该设备透平端确实存在油膜涡动故障。证明了故障矩阵诊断方法的准确性和有效性。

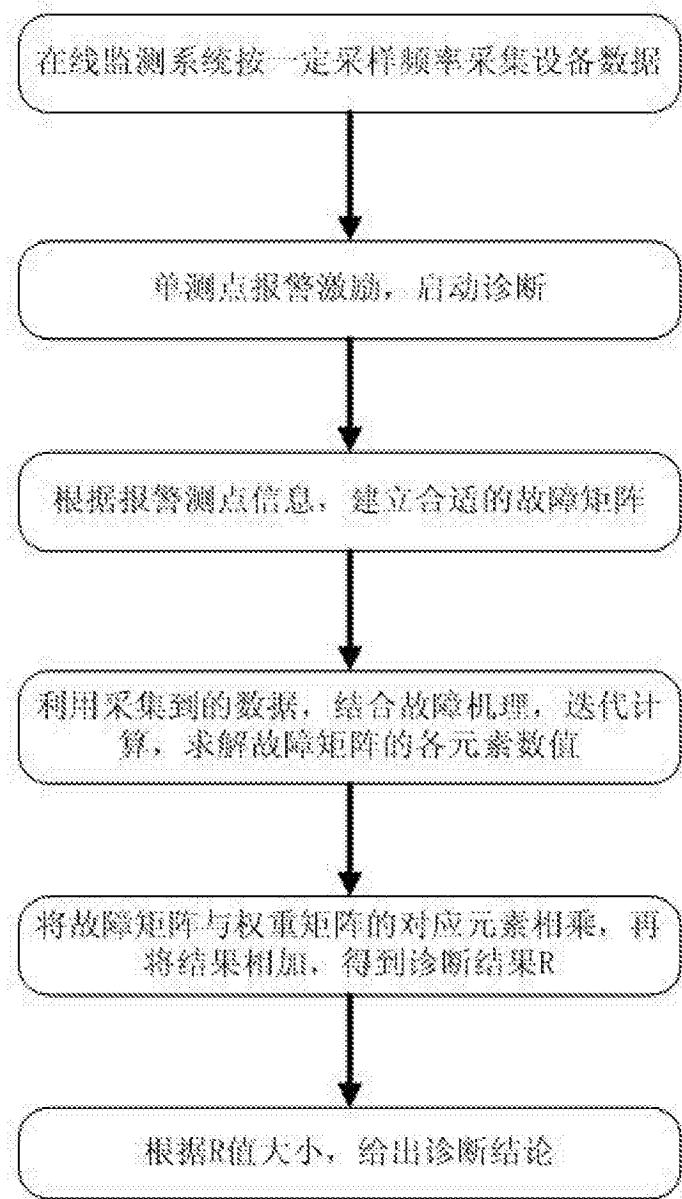


图 1

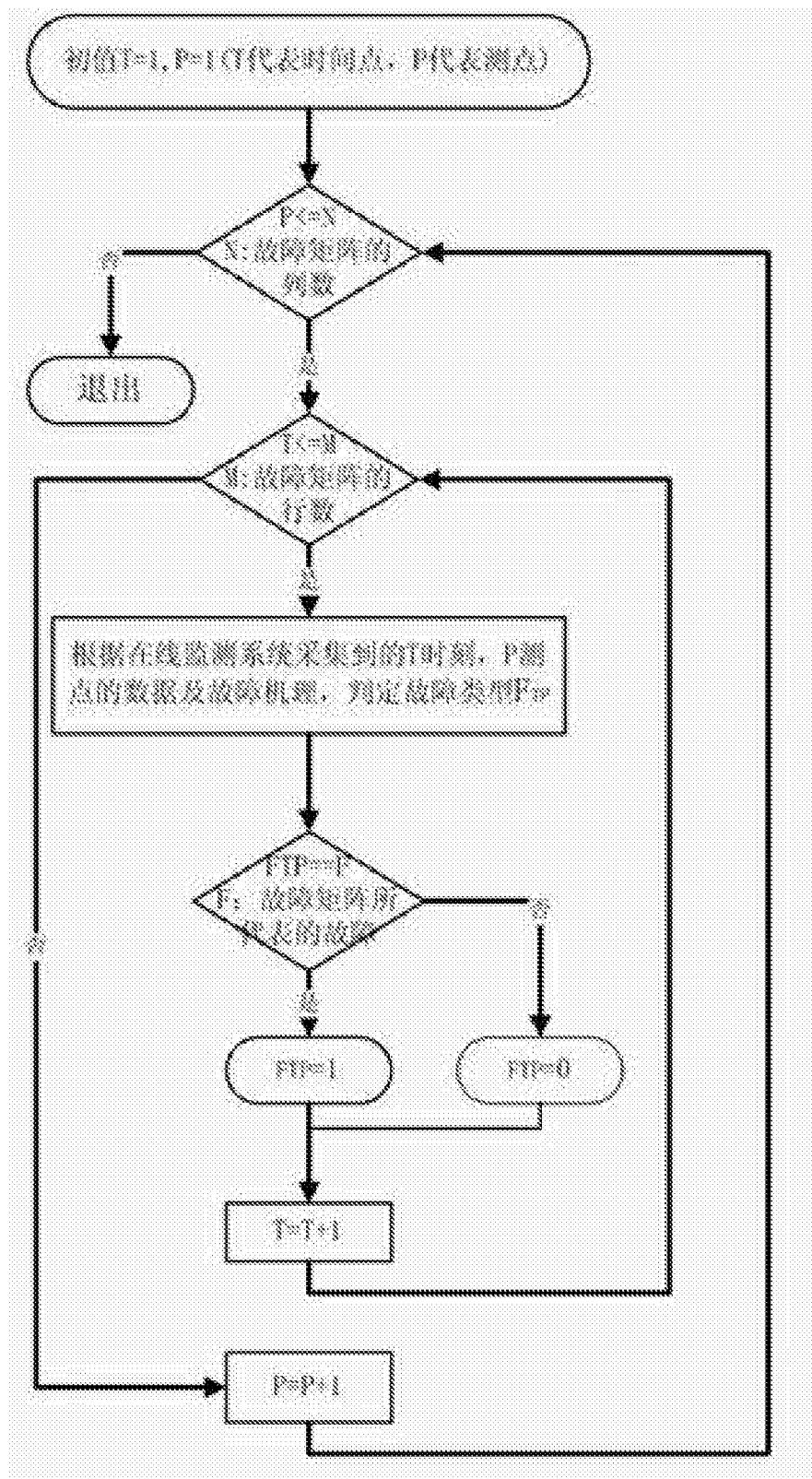


图 2

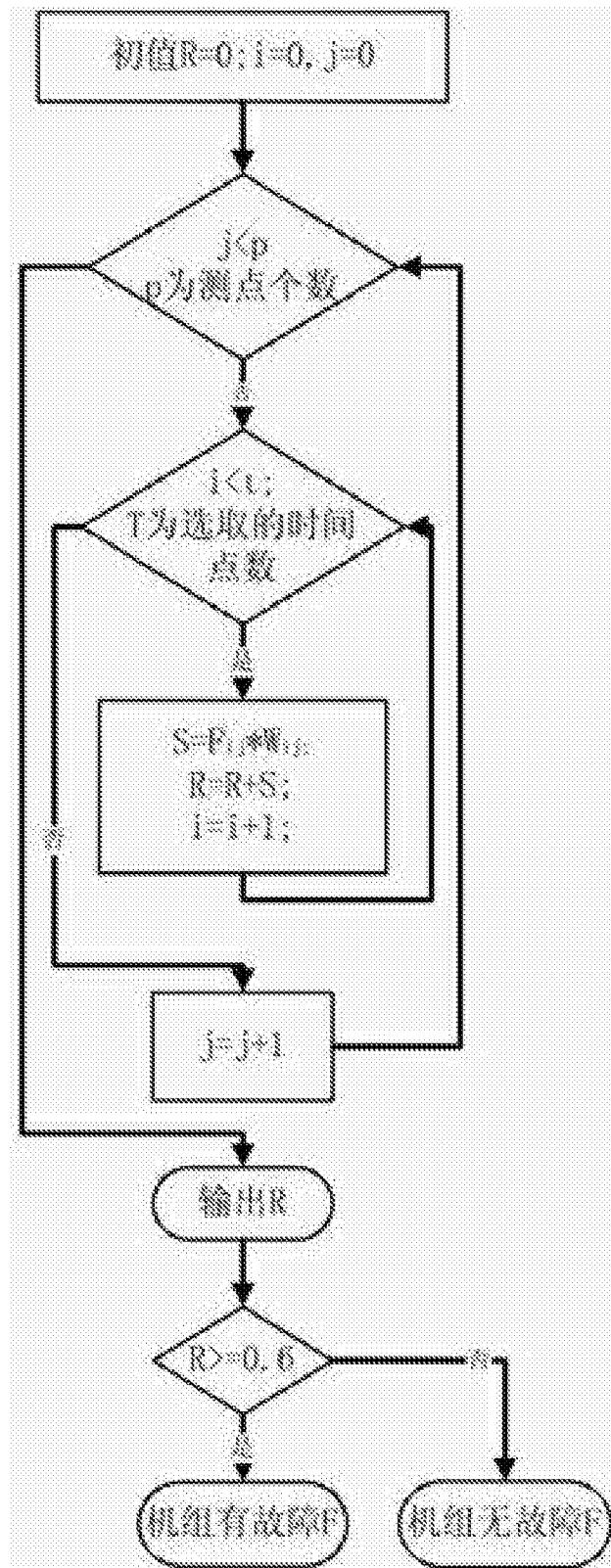


图 3

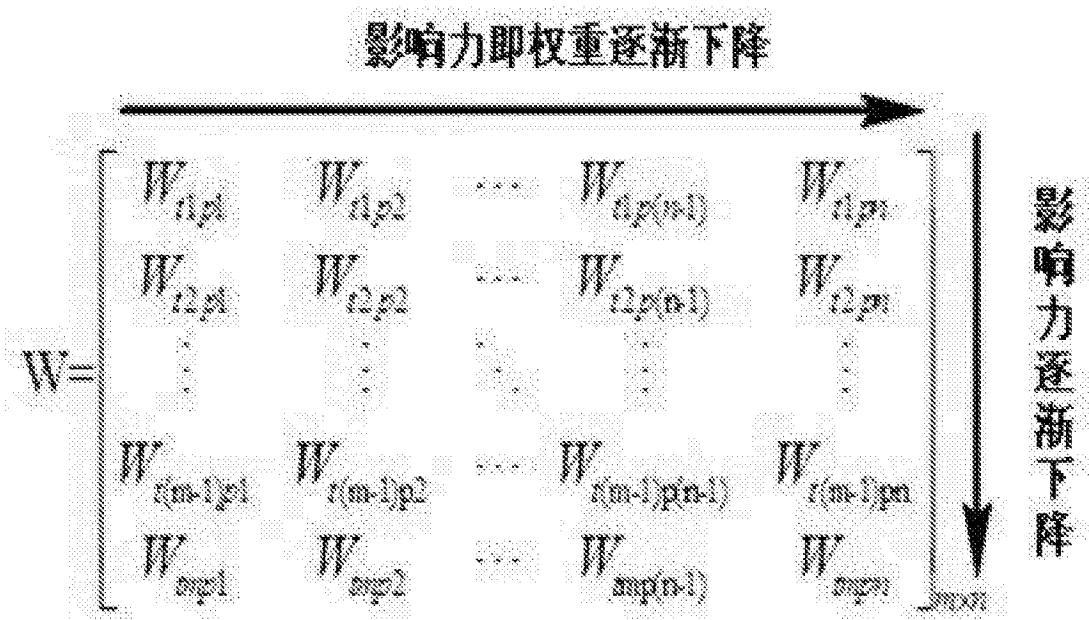


图 4

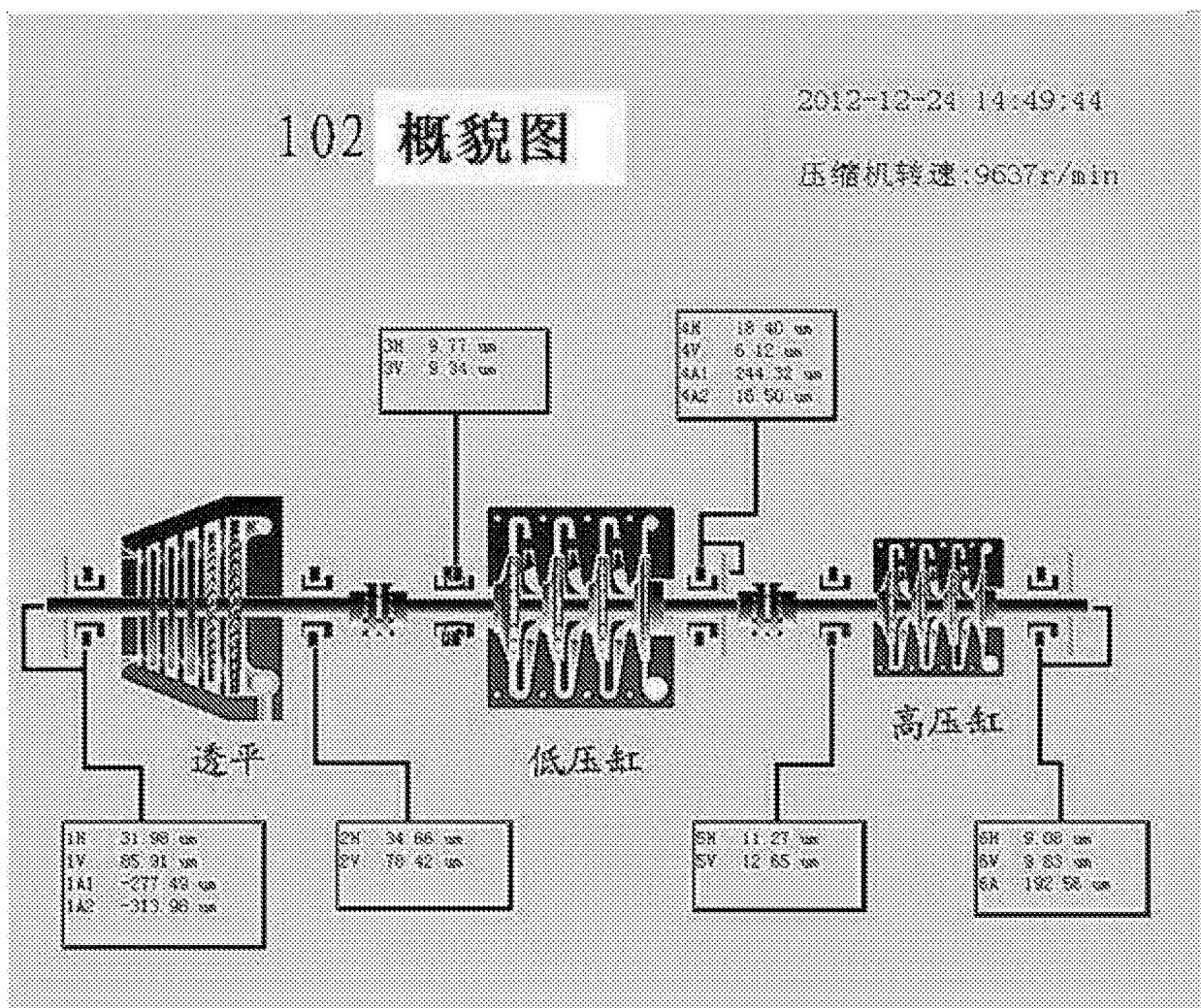


图 5

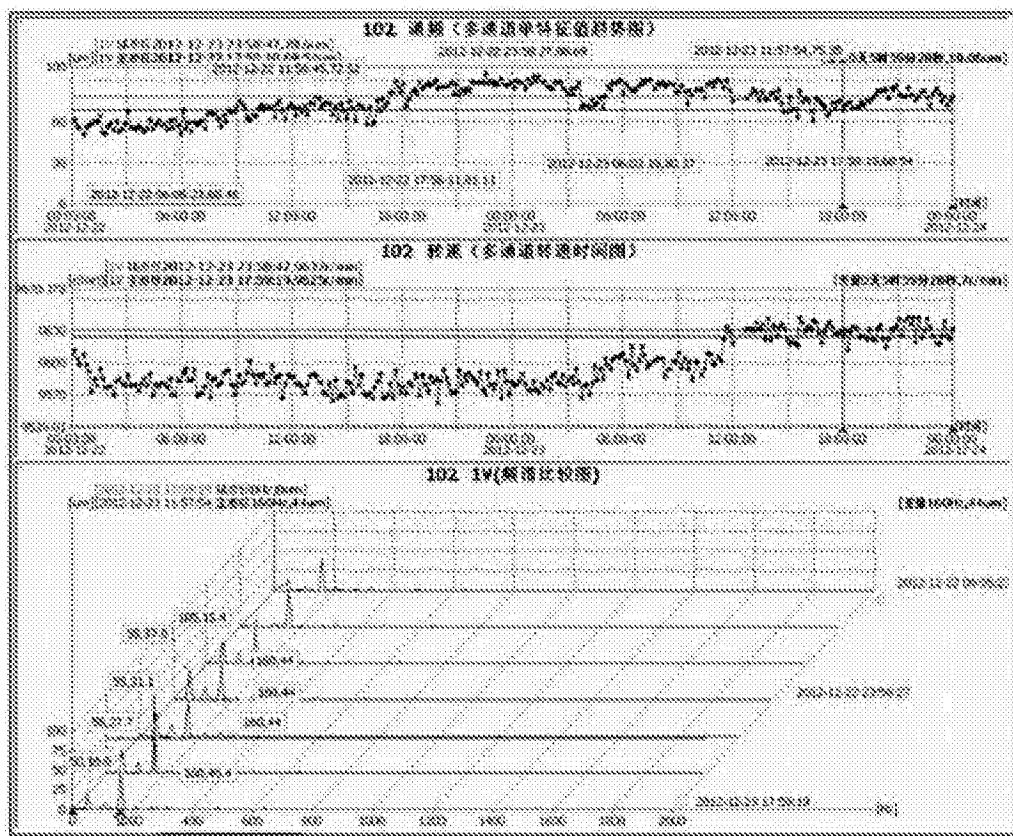


图 6

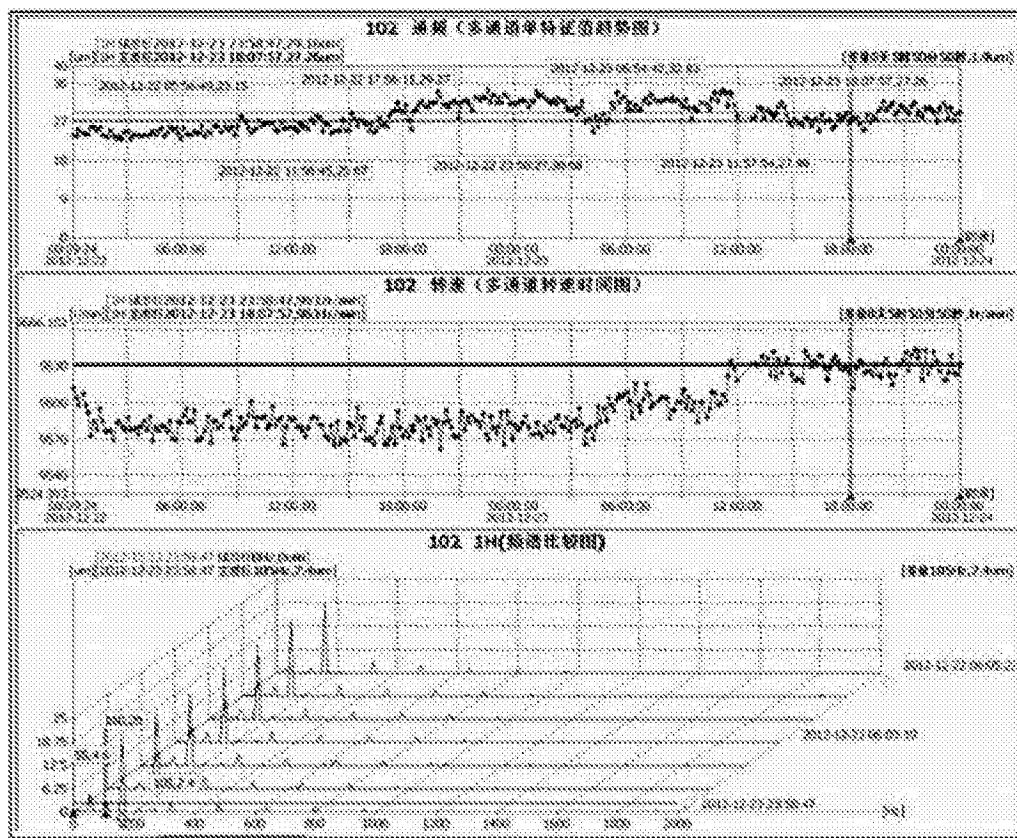


图 7

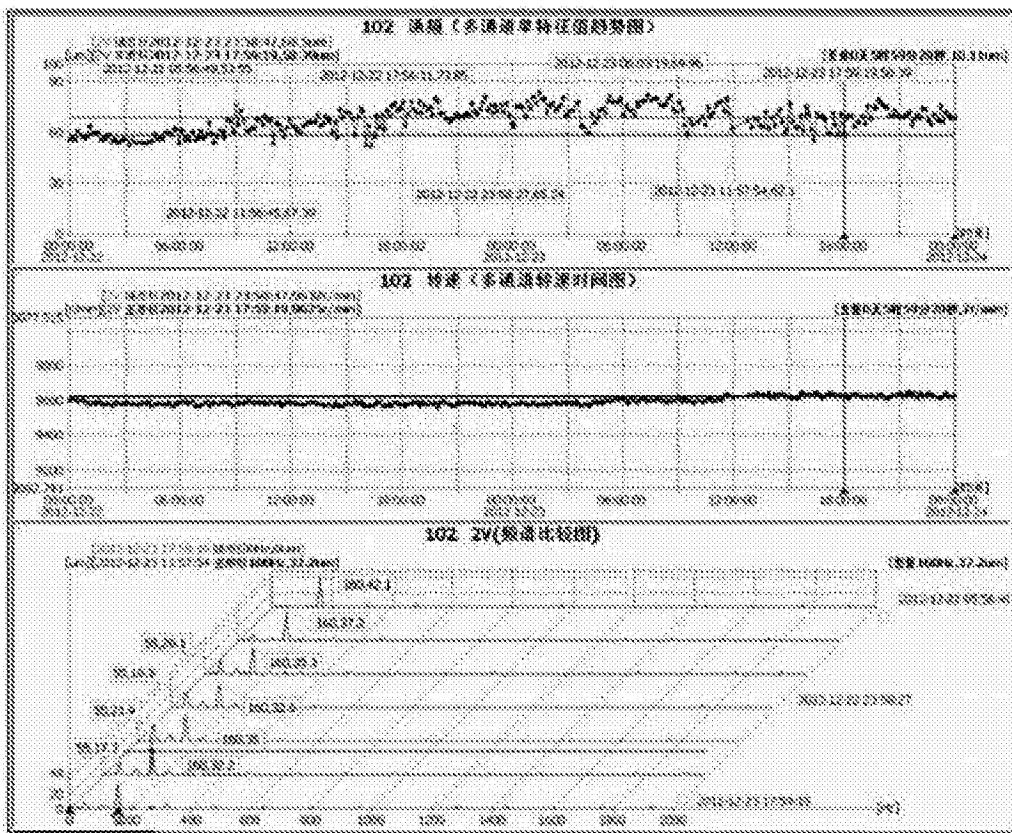


图 8

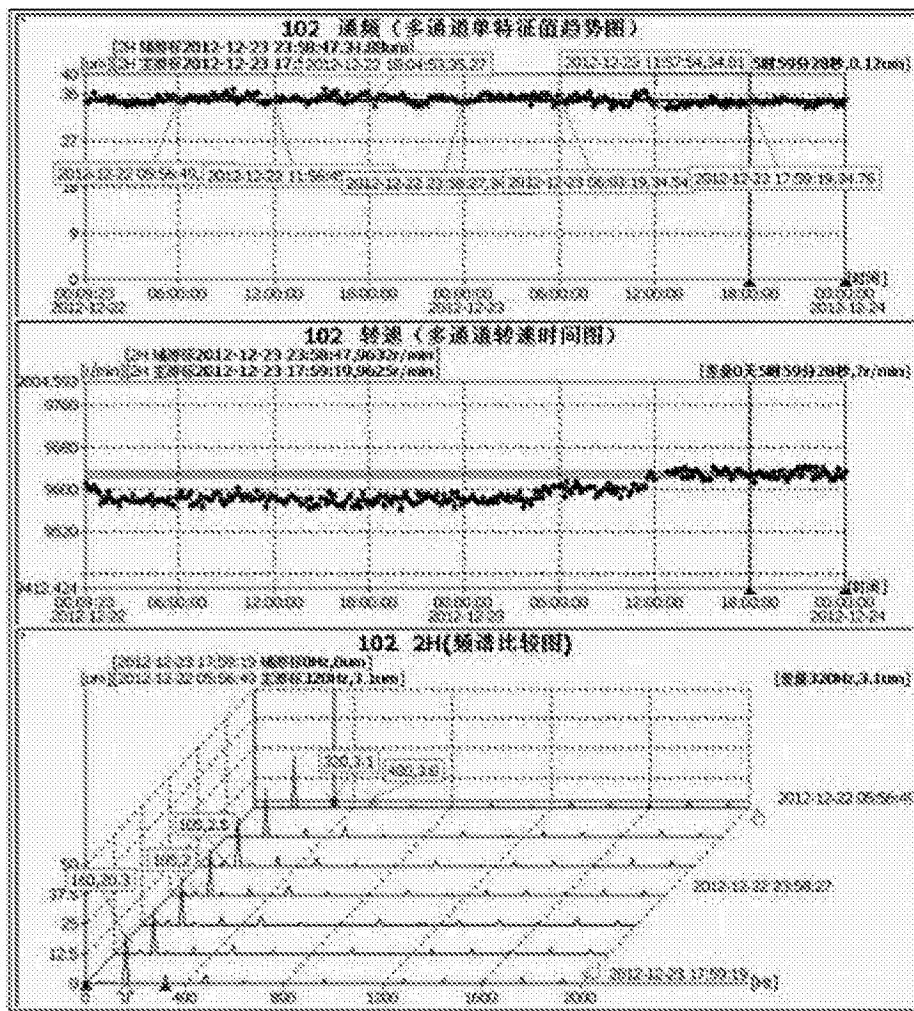


图 9

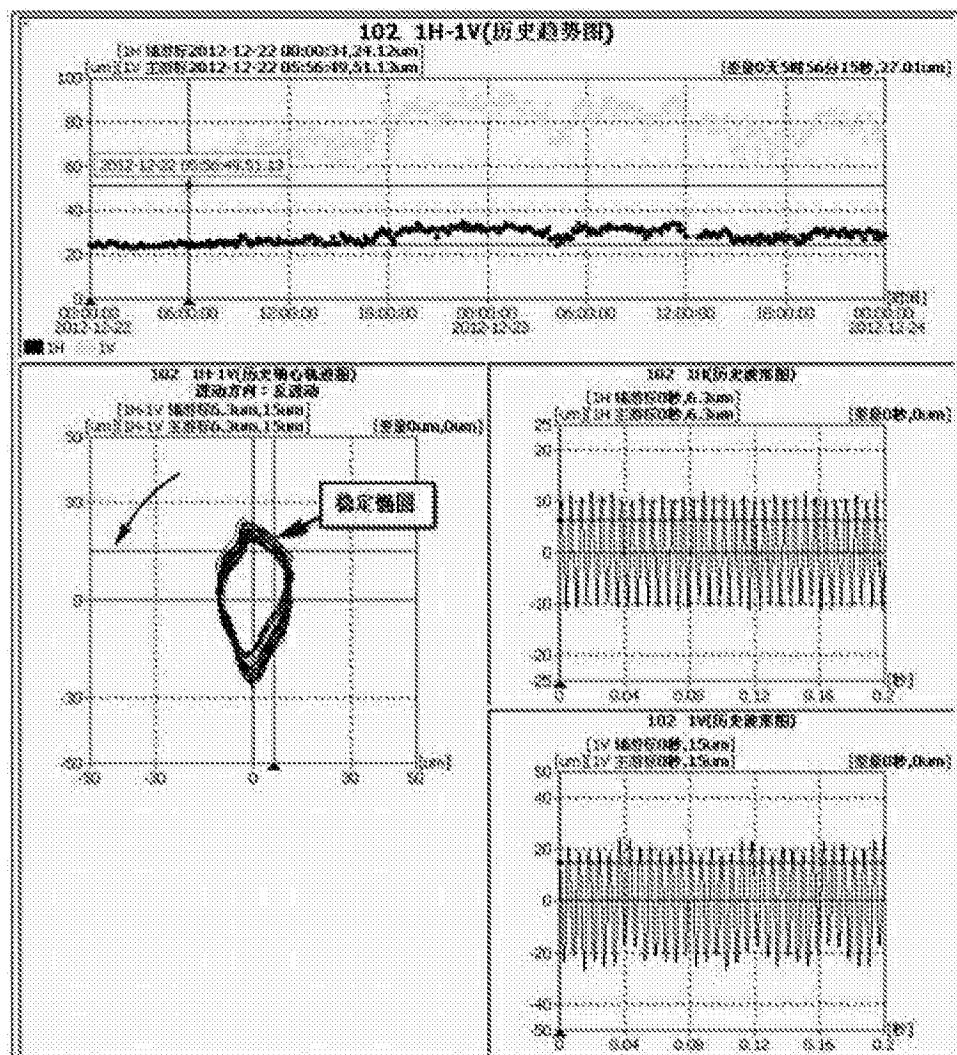


图 10

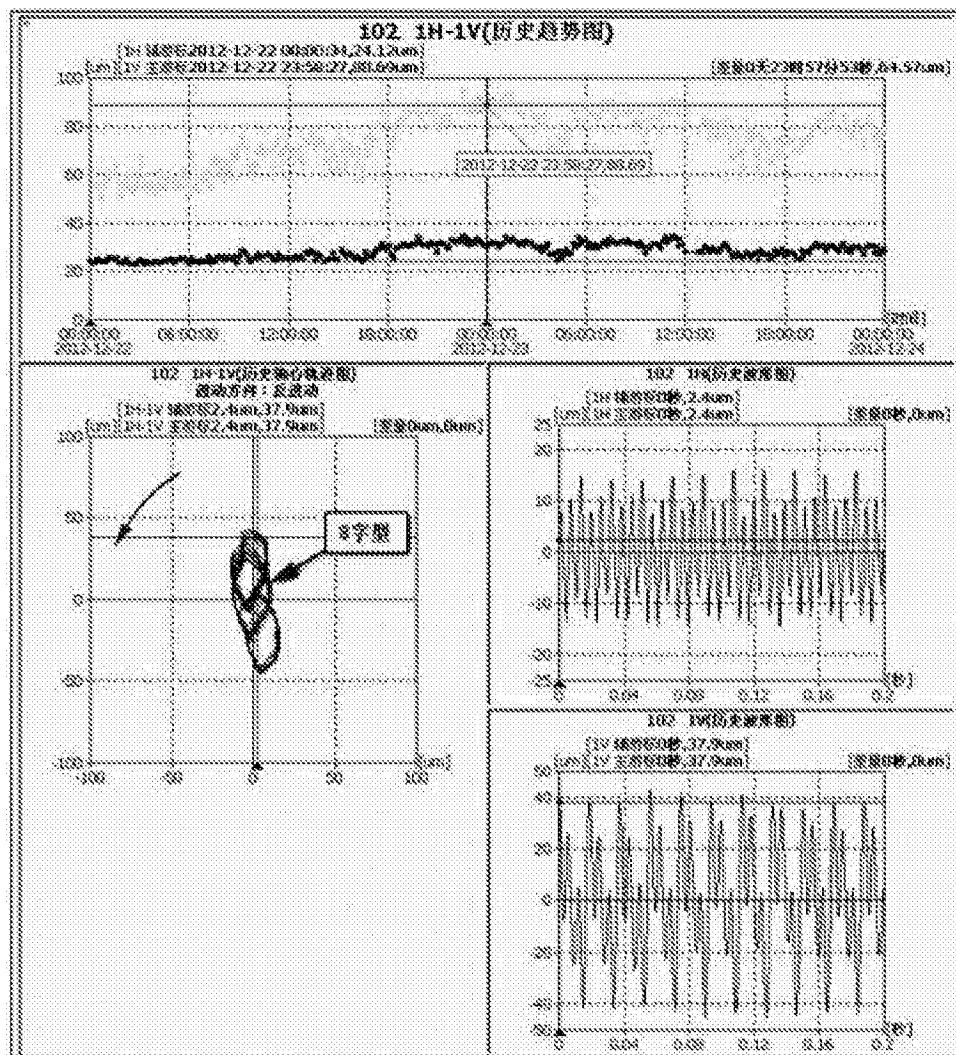


图 11

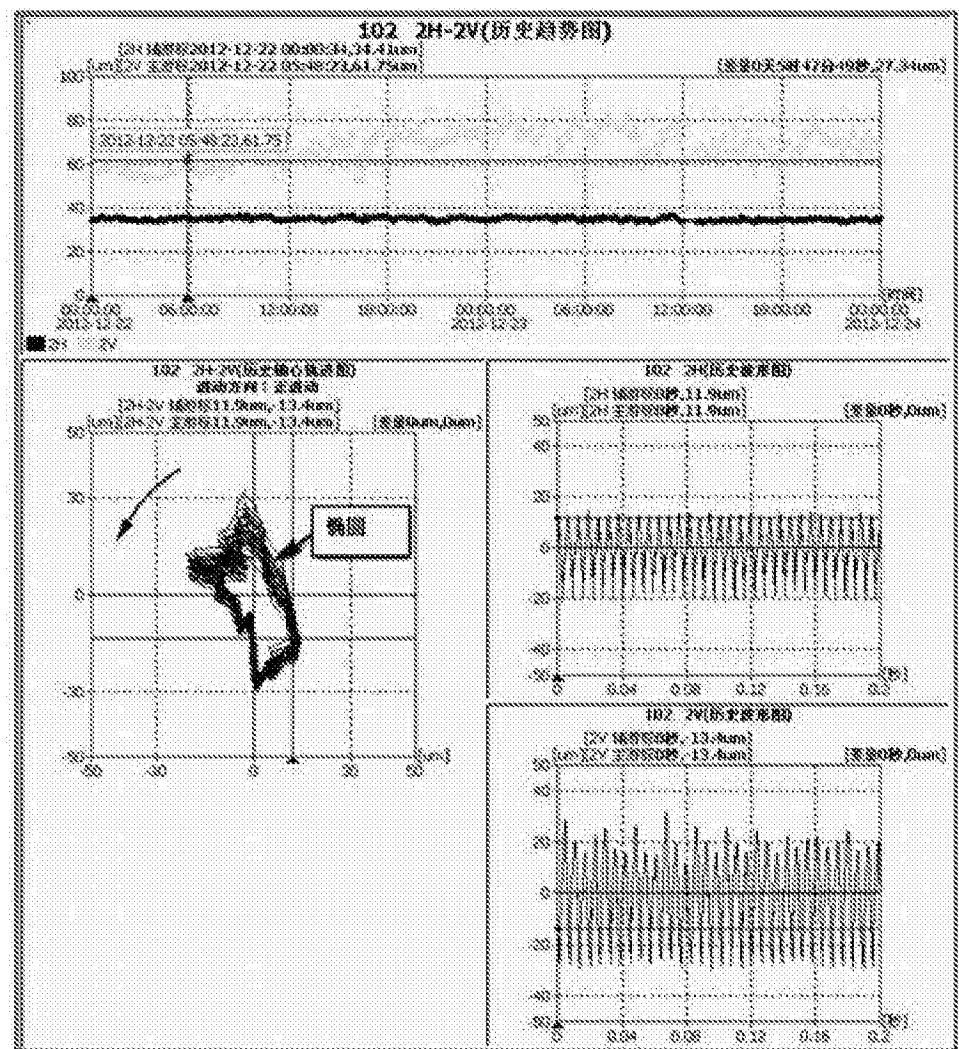


图 12

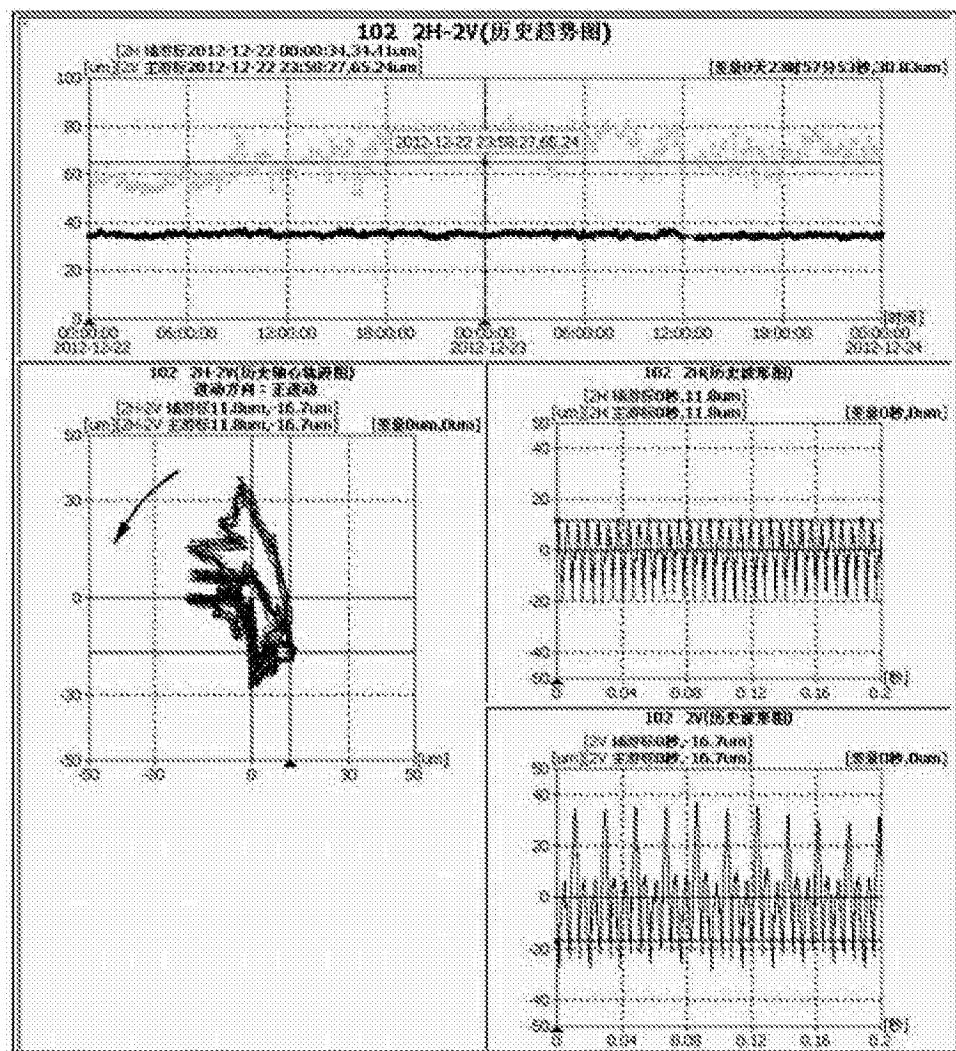


图 13