

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G05B 9/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 99809879.5

[45] 授权公告日 2006年10月25日

[11] 授权公告号 CN 1282048C

[22] 申请日 1999.8.11 [21] 申请号 99809879.5

[30] 优先权

[32] 1998.8.21 [33] US [31] 09/138,446

[86] 国际申请 PCT/US1999/018264 1999.8.11

[87] 国际公布 WO2000/011524 英 2000.3.2

[85] 进入国家阶段日期 2001.2.20

[71] 专利权人 罗斯蒙德公司

地址 美国明尼苏达州

共同专利权人 微动公司

[72] 发明人 埃弗瑞·埃尔于雷克

耶格什·沃瑞尔 安德鲁·T·帕藤

审查员 许凌云

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公

司

代理人 刘晓峰

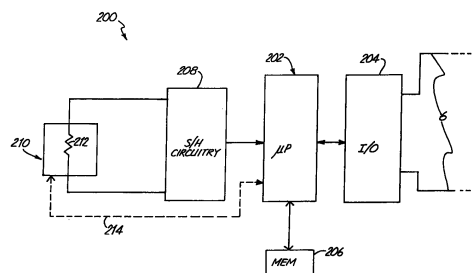
权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称

包含电阻性器件的过程控制装置诊断

[57] 摘要

一种在过程控制系统(2)中的装置,其包括一个电气元件(210),具有电阻(212)。与元件(210)相连的自热电路(208)提供与元件(210)的电阻(212)相关的自热信号。诊断电路(202)提供一个作为自热信号输出的函数的诊断输出。



- 1.一种用于过程控制系统的过程控制装置，包括：
- 5 一个电阻性电气器件；
- 同所述电气器件相连并实现过程控制功能的程序控制电路；
- 同所述电气器件相连并提供所述电气器件自热信号的自热电路，其中所述自热信号同所述电气器件因阻抗产生自热的自热指数相关；
- 用于连接所述控制装置的过程控制回路；
- 10 与所述自热电路相连且提供诊断输出的诊断电路，其中所述诊断输出同所述电气器件正常工作状态相关，所述电气器件正常工作状态是所述自热信号的函数；以及
- 其中所述电气器件包括电磁线圈。
- 2、如权利要求 1 所述装置，进一步还包括一个与设置在控制装置中的微处理器相连的用于至少存贮着与所述自热信号相关的一个预期结果的存贮器。
- 15 3、如权利要求 1 所述装置，其中所述诊断电路包括一个神经网络。
- 4、如权利要求 1 所述装置，其中所述诊断电路包括模糊逻辑。
- 5、如权利要求 1 所述装置，其中所述诊断电路包括回归模型。
- 20 6、如权利要求 1 所述装置，其中所述诊断输出同所述电气器件的剩余寿命相关。
- 7、如权利要求 6 所述装置，其中所述诊断电路对作为所述自热信号变化率（ROC）函数的所述剩余寿命进行预测。
- 8、如权利要求 1 所述装置，其中所述自热电路包括一个与所述电气器件连接并向其供给电流的电流源和同所述电气器件相连并检测所述电气器件两端压降的电压测量电路。
- 25 9、如权利要求 8 所述装置，其中所述自热指数 SH 按 $(R1-R2) / (P1-P2)$ 计算，其中 R1 和 R2 分别表示在不同输入电流下的电阻性器件的电阻，而 P1 和 P2 分别表示在不同输入电流下的电阻性器件的输入
- 30 功率。

10、如权利要求 1 所述装置，其中所述自热电路用于确定作为所述电气器件阻值变化函数的自热指数 SH 的数值，其中所述电气器件阻值的变化是响应其供电电源的变化而产生的。

5 11、如权利要求 1 所述装置，其特征在于所述诊断电路对作为自热信号函数的电子元件进行校正。

12、如权利要求 1 所述装置，其中所述电气器件还包括控制器件。

13、如权利要求 1 所述装置，其中所述电气器件还包括传感器件。

14、如权利要求 1 所述装置，其中所述电磁线圈位于科里奥利流量计中的传感器中。

10 15、如权利要求 1 所述装置，其中所述电磁线圈位于科里奥利流量计的驱动器中。

16、一种对过程控制装置中电气器件的诊断方法，包括：

获取装置中具有阻抗的电气器件的自热指数 (SHI)；以及
提供作为所述 SHI 函数的有关所述电气器件的诊断输出；

15 其中所述电气器件包括电磁线圈。

17、如权利要求 16 所述方法，其中所述获取 SHI 包括检测所述电气器件响应其供电电源变化而产生的阻抗变化。

18、如权利要求 17 所述方法，其中所述自热指数按 $(R1-R2)/(P1-P2)$ 计算，其中 R1 和 R2 分别表示在不同输入电流下的电阻性器件的电阻，
20 而 P1 和 P2 分别表示在不同输入电流下的电阻性器件的输入功率。

19、如权利要求 16 所述方法，进一步包括基于所述 SHI 变化率对所述电气器件剩余寿命的估测。

20、如权利要求 19 所述方法，其中所述获取 SHI 值的方法包括使至少两个不同强度的电流依次通过所述电气器件并测量其在所述电气器件
25 两端的电压降。

21、如权利要求 16 所述方法，进一步包括确定所述电气器件的作为所述诊断输出函数的预期寿命。

22、如权利要求 16 所述方法，进一步包括对作为所述 SHI 函数的所述电气器件输出进行校正。

30 23. 如权利要求 16 所述的方法，其特征在于其中所述电气器件还包

括控制器件。

24. 如权利要求 16 所述的方法，其特征在于其中所述电气器件还包括传感器件。

25. 如权利要求 16 所述的方法，其特征在于其中所述电磁线圈位于科里奥利流量计中的传感器中。

26. 如权利要求 16 所述的方法，其特征在于其中所述电磁线圈位于科里奥利流量计的驱动器中。

27. 一种用于过程控制系统中的装置，包括：

适宜同过程控制回路连接的 I/O 电路；

10 一个具有阻抗的电气器件；

一个与所述电气器件连接并向其供给电流的电流源；

同所述电气器件相连并检测所述电气器件两端压降的电压测量电路；以及

15 提供自热指数（SH）输出的诊断电路，所述自热指数输出是所述电流源供给的电流和因阻抗使所述电气器件两端产生电压差的函数；

其中所述电气器件包括电磁线圈。

28. 如权利要求 27 所述装置，其中所述诊断电路提供作为所述 SH 指数的函数的所述电气器件剩余寿命预期输出信号。

29. 如权利要求 27 所述装置，进一步包括提供与过程变量相关输出的测量电路，所述与过程变量相关的输出是 SH 指数和电气器件输出信号的函数。

30. 如权利要求 27 所述装置，其中所述 SH 指数作为所述电气器件阻抗变化的函数而加以确定，所述电气器件阻抗的变化是响应向其供电的电源变化而发生的。

25 31. 如权利要求 27 所述装置，其中所述 SH 指数按 $(R1-R2) / (P1-P2)$ 计算，其中 R1 和 R2 分别表示在不同输入电流下的电阻性器件的电阻，而 P1 和 P2 分别表示在不同输入电流下的电阻性器件的输入功率。

32. 如权利要求 27 所述装置，其中所述电气器件还包括控制器件。

33. 如权利要求 27 所述装置，其中所述电气器件还包括传感器件。

30 34. 如权利要求 27 所述的装置，其特征在于其中所述电磁线圈位于

科里奥利流量计中的传感器中。

35、如权利要求 27 所述的装置，其特征在于其中所述电磁线圈位于科里奥利流量计的驱动器中。

包含电阻性器件的过程控制装置诊断

技术领域

本发明涉及用于过程控制工业中的装置；更具体地说，涉及一种用于过程控制装置的诊断，其中该种诊断为电阻的函数。

背景技术

过程控制装置用于监测过程参数和控制工业过程。例如，可使用一个过程控制变送器来监测温度并将这一信息反馈传送至控制室。然后，使用阀门控制器等过程控制器对过程进行控制。

由于传感器控制器件或其它器件会受到环境因素的影响，从而使系统精度减低。这种性能降低可通过定期校准进行补偿。采用这种办法一般要求操作人员身入现场并在现场对装置进行校准。对操作人员而言，这样做既不方便又要浪费许多时间。此外，也难以在装置完全失效前准确确定其所处状态。

同时，需要对老化的器件或装置进行及时更换；但却难以准确确定何时应当进行这种更换。因此，往往远在器件失效前就对其进行了更换，或者在某些情况下没能及时更换器件而造成系统的意外停机。

发明内容

本发明提供了一种包括电阻性电气器件的用于过程控制系统中的装置。同所述电器件相连接的自热电路可提供与所述电阻性器件相关的自热信号。诊断电路可提供一个反映自热信息的输出信号，例如对器件剩余寿命进行估测或用于校准的输出信号。

附图说明

图1为包含本发明变送器的过程控制系统示意图。

图 2 为按本发明的变送器框图。

图 3 为按本发明一个实施例的变送器简化框图。

图 4 为本发明一个实施例的简化框图。

图 5 为按本发明的过程控制装置的简化框图。

图 6 为按本发明一个实施例的科里奥利互补流量计的简化示意图。

具体实施方式

图 1 为包含安装于现场的温度变送器 40 和阀门控制器 12 的过程控制系统示意图，所述温度变送器 40 和阀门控制器 12 在电气上分别通过两条导线同控制室 4 相连，构成过程控制回路 6 和 14。变送器 40 安装在歧管上并通过歧管与管道相连，用于监测工艺过程管道 8 中的过程参数。本发明可应用于过程控制装置中的任何电气器件。包含电阻性器件的过程变量传感器包括用于检测压力、流量、PH 值、浑浊度和料位等参数的传感器。在一个实施例中，变送器 40 为一温度变送器，通过控制回路 6 中的电流并经回路 6 将有关温度的信息传送到控制室。例如，可将回路 6 中的电流控制在 4-20mA 之间并经适当校准，从而反映温度值。此外，按本发明的变送器也能以 HART®或现场总线数字通信协议的形式通过回路 6 向控制室 4 传送数字化的温度信息。变送器 40 中包括可对传感器工作状况进行诊断的电路结构，本文对此将做详细描述。

本发明一方面是对自热 (SH) 指数同 RTD 传感器 “ α ” 系数之间的密切关系进行识别，在某些情况下这两个参数线形相关。正如所知，传感器的 “ α ” 系数与传感器的校准有关，从而同传感器的寿命相关。因此，如果检测出 SH 指数，就可对传感器的寿命进行预测。此外，对作为精确度降低（即 SH 指数的预选值与真实值之间的差异）函数的传感器输出也可进行适时校正。这样，对变送器的输出提供了自动校正机制。

本发明的另一方面是提供了确定变送器中电阻性器件自热 (SH) 指数的新方法。一般而言，自热指数的确定是通过检测器件因电流而产生的温度变化来实现的。然而，因为存在电源的限制和需要进行另外的温度测量，在过程控制装置中进行上述检测是不现实的。本发明将自热指数同电气器件在给定输入电源变化下的阻值变化联系起来，不再需要按

温度对电阻性器件进行标定，从而更适用于过程控制装置。此外，这种方法不需要将器件从过程中分离出来，在无中断工艺过程的不便和成本下实现实时数据采集。过程控制装置中的自热指数可通过向电气器件输入两个不同电流（例如 5mA 和 15mA）而进行计算。检测电阻性器件两端的电压，通过方程 $R=V/I$ 可计算出它在两个不同电流下的阻值。器件在这两个不同电流下的输入功率可由 $P=I*V$ 算出。按方程式 1 计算自热指数 SHI:

$$SHI = (R1 - R2) / (P1 - P2) \quad \text{方程式 1}$$

本发明可应用于诸多场合的过程控制系统。特别是以软件和微处理器形式实施的本发明可安装在中央控制器或阀门、马达和开关等最终控制器件中。此外，现场总线、数据总线等现代化数字协议技术可使实施本发明的软件在过程控制系统各部件之间进行通信，也可由某一变送器来监测过程变量然后将信号传送给软件。

图 2 为本发明一个实施例的简化框图，温度变送器 40 同 RTD 温度传感器 10 相连。温度变送器 40 包括端口 44、电流源 45、多路转换器 46、差动放大器 48、高精度 A/D 转换器 50，微处理器 52、时钟电路 54、存储器 56 和输入/输出电路 58。

端口 44 包括用于同其它器件连接的接线端子 1-5，例如用于连接 RTD 温度传感器 10。温度传感器 10 可外置也可内置于变送器 40 之中。传感器 10 包括 RTD 传感器件 61，其阻值 $R1$ 随环境温度的变化而变化。端口引线部包括引线 62、64、66、68 等四个部分。引线 62 用于连接传感器件 61 和端子 7，引线 64 连接传感器件 61 和端子 3，引线 66 连接传感器件 61 和端子 2，引线 68 连接在传感器件 61 和端子 1 之间。

电流源 45 同端口 44 相连，并通过接线端子 7、传感器件 61、接线端子 1、参照电阻 R_{ref} 、偏置电阻 $R2$ 和接地端子 72 供给测量电流 I_s 。传感器件 61 在端子 2 和 3 之间产生的电压降是电阻 $R1$ 的函数，进而是传感器件 61 感受温度的函数。参照电阻 R_{ref} 连接在接线端子 1 和偏置电阻 $R2$ 之间。

多路转换器 46 被分割成两个部分，即输出端同差动放大器 48 未转换输入端相连的有源多路转换器和输出端同差动放大器 48 转换输入端相

连的参照多路转换器。微处理器 52 控制多路转换器 46，对来自端子 1-3 的模拟信号进行适当转换，并将其输入到差动放大器 48 的非转换和转换输入端。差动放大器 48 的输出同 A/D 转换器 50 相连。在一个实施例中，A/D 转换器 50 的精度为 17 比特，转换速率为 14 采样/秒。A/D 转换器 50 将差动放大器 48 的输出电压转换成数字信号，并将其通过输入/输出电路 58 和过程控制回路 6 传送给微处理器 52，以便进行分析和通信。

在最佳实施例中，为按选定协议和以已知模式通过回路 6 进行模拟的或双向的数字通信，输入/输出电路 58 包括 HART®通信、现场总线通信和 4-20mA 模拟信号传输回路等部件。也可选用其它通信协议，例如采用由另外电源供电的四线结构。回路 6 同时也用于通过输入/输出电路 58 向变送器 40 的各个部件进行供电。变送器 40 最好全部由两线回路 6 进行供电。

存贮器 56 为微处理器 52 存贮指令和信息，其运作速度取决于时钟电路 54。时钟电路 54 包括一个实时时钟和一个精密的高速时钟，它也用于规定 A/D 转换器的操作时序。微处理器 52 可发挥几种功能，包括控制多路转换器 46 和 A/D 转换器 50，控制通过回路 6 进行的通信，进行温度补偿，存贮变送器结构参数和进行传感器诊断等。

微处理器 52 应用以下方程式来计算 RTD 传感器件 61 的温度：

$$R1=Rrefnom*Vr1/Vrref \quad \text{方程式 2}$$

式中：

R1：为 RTD 传感器件 61 的电阻值；

Vr1：为 RTD 传感器件 61 两端的压降；

Vrref：为参照电阻 Rref 上的电压降；

Rrefnom：为参照电阻 Rref 的标称阻值，以欧姆为单位，存贮在存贮器 56 中。

微处理器 52 通过多路转换器 46 检测连接在接线端子 2 和 3 之间的传感器件 61 两端压降 Vr1 和参照电阻 Rref 上的电压降 Vrref。在如图 2 所示的四线电阻测量结构中，接线端子 2 和 3 之间的压降只能大致估计，因为电流 Is 的绝大部分在端子 1 和 7 之间流动，几乎对测量精度没有影响。利用存贮在存贮器 30 中的适当方程式进行计算或通过查表，微处理

器 52 将检测到的电阻值 R1 转换成温度。例如，可以使用的一个方程式是 Callender-Van Dusen 方程：

$$R(t)=R_0\left\{1+\alpha\left(t-\delta\left(\frac{t}{100}\right)\left(\frac{t}{100}-1\right)-\beta\left(\frac{t}{100}-1\right)\left(\frac{t}{100}\right)^3\right)\right\}$$

5

方程式 3

式中：

R (t)：为温度 t 时的电阻值，以欧姆为单位；

10

R₀：温度为 0 度时的电阻值，以欧姆为单位；

T：为摄氏温度；

α，β，δ：校正系数；在温度高于 0 度时，β=0。

然而对于具体的 RTD 温度传感器而言，必须对存贮的方程 2 和备查表进行适当校正。而且由于传感器 α 的漂移，这种校正也会随时间而发生变化。为准确确定 α，R₀ 和 δ 的值，对 RTD 的校正要求使用精密的温

15

度计以获取精确的温度值。在 1985 年 2 月 Rosemount 出版发行的 PRT 手册中，对方程 3 和变送器校正有较为详细的讨论，在此提及以便参考。

当微处理器 52 驱动开关 138 将电流源 140 同传感器 61 连接起来时，开始对 SH 指数进行计算。方程式 1 中的 P1 和 R1 通过电流源 140 到传感器 61 的电流 I_{sh} 进行计算。微处理器 52 据电源 45 的电流 I_s 计算 P2 和 R2。然后应用方程式 1 来计算 SH 指数。如果变送器 40 完全由回路 6 进行供电，电流 I_{sh} 和 I_s 受限于回路 6 中的电流 I，小于变送器 40 中任何电路所需要的驱动电流。

20

微处理器 52 应用 SH 指数对变送器 40 的工作情况进行诊断。以下将对变送器 40 诊断电路的一些实施例进行描述。所述诊断包括确定传感器是否处于正常状态，估计传感器的剩余寿命-即判断传感器是否已临近失效期，以及实施温度测量的自动校正。

25

另一方面，本发明利用 SH 指数对温度测量进行校正，以减少因 α 和 R₀ 的漂移而引起的误差。随着 RTD 传感器的老化，传感器的 α 和 R₀（方

程式 2 中) 数值会发生变化, 从而引起温度测量结果的不精确。已经发现, 在 SH 指数和因 α 和 R_0 漂移而引起的温度测量误差之间存在大致为线性的相互关系。因此可应用下式对测量的温度进行校正:

$$T_c = T_m * \Delta SHI * K \quad \text{方程式 4}$$

式中:

T_m 为测量的温度;

K 为比例系数;

ΔSHI 为自热指数的变化量;

T_c 为自动校正后的温度。

图 3 框图 150 表明本发明将温度输出作为 SH 指数的函数并进行自动校正的工作流程。在典型的实施例中, 框图 150 所示流程可用图 2 中所示的微处理器 52 进行实施。如程序块 152 所示, 首先要获取自热指数的初始值 (SHI_1), 例如可由存贮器 56 读取该值。这一参数值可以在生产制造过程中存放在存贮器中, 也可能是由微处理器 52 在以前的工作中生成, 还可能是在变送器 40 投入使用时或在使用过程中的选定时间所确定和存贮起来的。在程序块 154 中, SH 指数的实时值 (SHI_2) 由微处理器 52 确定。如果变化率 m 大于或等于允许的最大变化率 (M_{max}), 则判定程序块 158 输出报警信号。一般由程序块 156 对 SHI_2 和 SHI_1 进行比较并计算其差异的大小。推荐的方法是计算两个 SHI 的差异对时间的斜率。也可采用其他方法来评估 SHI 的变化, 有些简单的方法是仅将 SHI_2 同某一阈值进行比较, 此时不再需要程序块 156。输出信号可以传送出去, 例如通过回路 6 进行传送, 以表明传感器的性能已退化到即将失效的程度, 需要立即更换。还可进行其他形式的诊断, 例如进行 WO98/20469 中提出的那些诊断。 M_{max} 的值存贮在存贮器 56 中, 用户可根据具体应用所要求的精确度对其进行调整。程序块 158 的报警功能为任选项, 但本发明推荐最好选择这一功能。

如果还不到报警状态, 控制过程进入程序块 160, 在此, 将监测到的自热指数 (SHI_2) 同存贮的自热指数 (SHI_1) 进行比较。如果它们大致相等, 控制程序直接进入程序块 162, 检测的温度得以确定。另一方面, 如果这两个参数值之间存在明显差异, 则执行程序块 164, 由微处理器 52

计算方程式 4 中的 ΔSHI 的新值。然后采用较复杂的曲线拟合技术找出 SHI 指数同传感器校正之间的相关关系。控制转到程序块 162，方程式 4 中 ΔSHI 的新值将用于确定温度值。 ΔSHI 的新值取代原先的旧值，存贮在存贮器中。

图 3 所述各项功能可在控制室中的过程控制装置和不在现场的计算机上远程实施，或者由位于不同地点的设备共同实施。总的说来，本发明可在置于不同场所的过程控制系统中实施。例如，实施本发明的软件和微处理器可置于中央控制器中，也可安装在如图 1 所示的阀门、马达、或开关等终端控制器中。此外，现场总线和数据总线等现代通信协议使得实施本发明的软件可在过程控制系统各部件之间进行交换和通信，也使得过程变量可由某一变送器进行监测，然后将信息传送给处理软件。

在本发明的一个实施例中，诊断电路对自热指数 SH 函数采用了经验模型或多项式曲线拟合技术。例如，利用一个 SH 的多项式函数来计算和预估剩余寿命。系数和方程均可通过两线回路传送到变送器 40。在诊断电路另一个实施例中，应用了多层神经网络模型。针对不同的应用目标，有许多算法可被用来开发神经网络模型；在本发明的一个实施例中应用了 BPN 算法构建的神经网络模块，它可以处理一系列输入和输出之间的非线性关系。

在诊断电路 52 的另一个实施例中，应用了一系列“如果-则”条件判断规则，以判断 RTD 温度传感器 61 的工作状态。监测自热指数 SH 并将其实时值同其上限和下限值进行比较。所述上限值和下限值是通过 RTD 传感器的实验而经验设定的。然后根据比较的结果作出判断。

本发明的另一方面，是将 SH 指数的变化率 (ROC) 同对传感器 61 的寿命估计联系起来。SH 指数的变化率提供给诊断电路，微处理器 52 输出一个反映传感器预计寿命的输出信号，包括在传感器预期寿命低于最低值时发出报警信号。

图 5 为表示本发明一般意义的简化框图，过程控制装置 200 与过程控制回路 6 相连。装置 200 可以是带有可检测电阻性电气器件的任何型式的过程控制装置。图 1 中所示变送器 40 是器件 202 的一个例子。控制装置 200 包括微处理器 202，它同存贮器 206 相连，同时通过 I/O 电路 204

同回路 6 相连接。自热电路 208 同过程控制器件 210 相连接，可将自热信号传送给微处理器 202。过程控制器件 210 中包括一个电阻性器件 212，其电阻的自热值由自热电路 208 按本发明进行确定。电阻 212 的连接可采用四点开尔芬连接法，以实现较精确的测量。器件 210 和微处理器 202 通过一条虚线 214 进行连接，表示在器件 210 和微处理器 202 之间的任何形式的连接和信号交换。例如，如果器件 210 为一过程变量传感器，则连接 214 可将过程变量的数据传送给微处理器 202。与此类似，如果器件 210 为一控制器件，则连接手段 214 可将微处理器 202 的控制信号输入给器件 210。本发明的意义在于应用自热诊断技术可对任何型式的过程控制器件进行诊断。在此所说的“过程控制器件”包括其中包含有电阻性器件的用于过程控制中的任何型式的器件，例如变送器、RTD、应变传感器、检波器、驱动线圈等等。过程控制装置包括用于测量流量（如科里奥利、电磁、涡轮、差压等）、温度、压力、料位、PH 值、浑浊度等参数的检测器件和阀门驱动器、电磁线圈等控制器件。过程控制器件的实例包括上述 RTD61，以及电磁线圈、与传感器的连接端子、端口部件、应变仪或其他型式的传感器、驱动器以及其他各种电气器件等。

如 1993 年 8 月 3 日公布的美国专利 NO. 5, 231, 884 所述，控制装置 200 可包括一个科里奥利流量计，其中的过程控制器件 210 是一个安装在速度传感器或驱动器中的电磁线圈。例如，图 6 是按本发明一个实施例的科里奥利流量计 230 的简化框图，包括流体管道 232 和流量计电子部件 234。测量管 236 与管道 232 相通，驱动器件中的驱动线圈 240 响应驱动信号使测量管 236 产生振动，包括传感线圈 242 和感应磁体 244 的传感器件可输出与测量管 236 振动有关的左、右速度信号。采用一个 RTD 温度传感器 246 以提供有关测量管 236 温度的 RTD 信号。本发明的诊断电路包含在科里奥利流量计 230 中，用于监测线圈 240 或 242 或 RTD 传感器 246，同时输出诊断信号。

这样，本发明可用于检测过程控制装置中的各种失效情况，包括电气部件的腐蚀。例如，由于时间关系，导线、接线端子、线圈、RTD、热电偶、印刷电路板或其它电气部件中的电连接都可能受到腐蚀，从而使电阻增加，引起局部性能降低。本发明可以在器件和装置彻底失效前对其

工作状态的恶化作出检测。电气部件也会因长期的多次使用而降低性能，进而导致疲劳失效。本发明的自热技术也可对这种疲劳提供监测。此外，还可检测因“冷焊”和接线端松动等引起的接触不良。

应用本发明可以检测的各种故障包括：线圈松绕、焊点开断或接触不良、电路板连线损坏、接线端子接触不良、焊接错误、由于搬运等原因造成的部件松动和电连接问题，以及因温度循环引起的部件故障等。例如参阅图 3，可见这类故障的检测程序：在程序块 158 中将自热指数的变化 (ΔSHI) 同某一阈值进行比较，比较的结果用于表明故障的可能模式。另一方面，本发明的诊断输出可用于对器件性能恶化进行补偿，例如可对传感器的输出进行补偿，也可对提供给控制器件的输入信号进行补偿。

虽然参照最佳实施例对本发明进行了以上描述，但熟悉本门技术的人们都会了解，在不超出本发明所声明的权利要求的范围和要义下，对本发明作出增添、减少和修改是可能的。

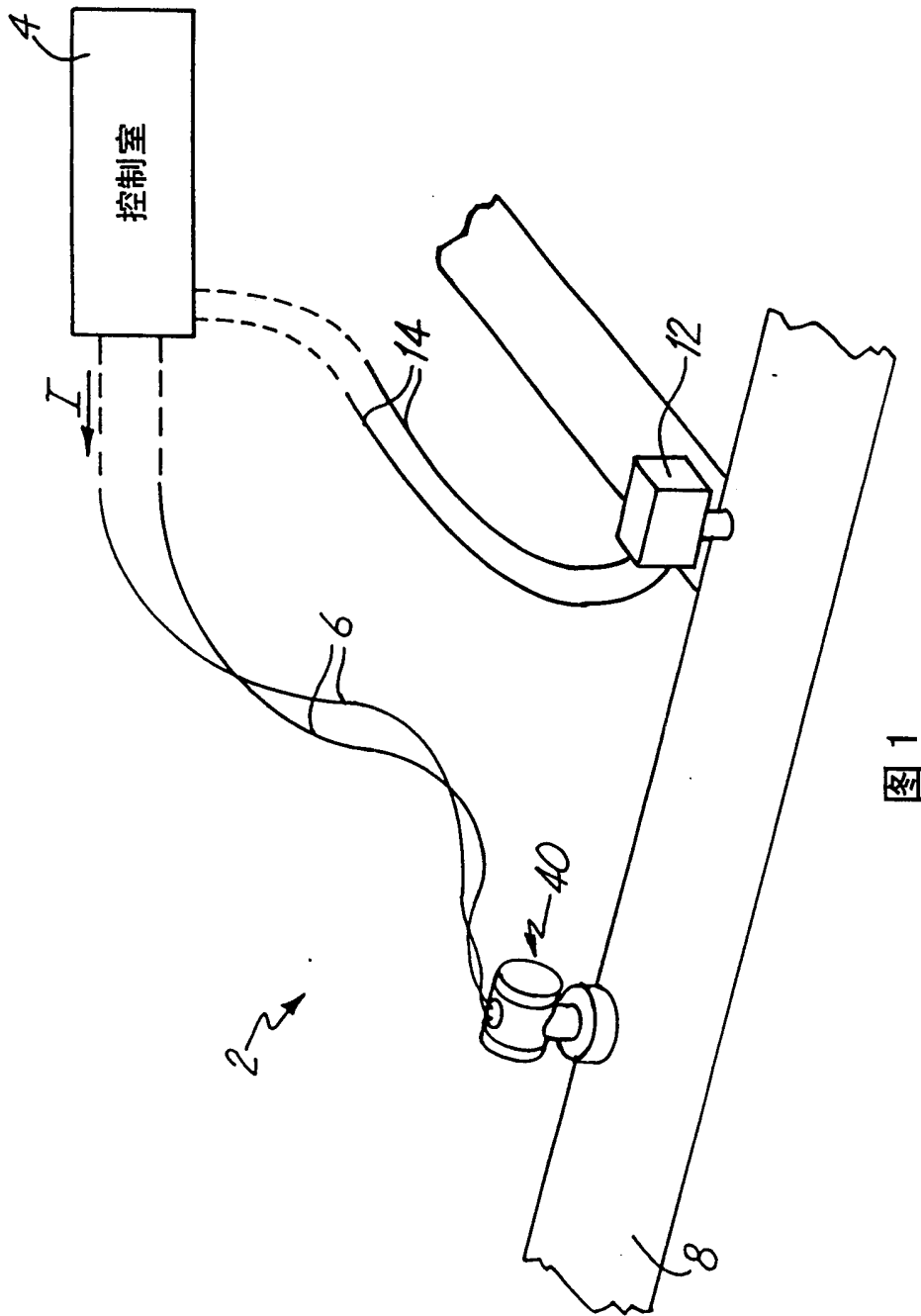


图1

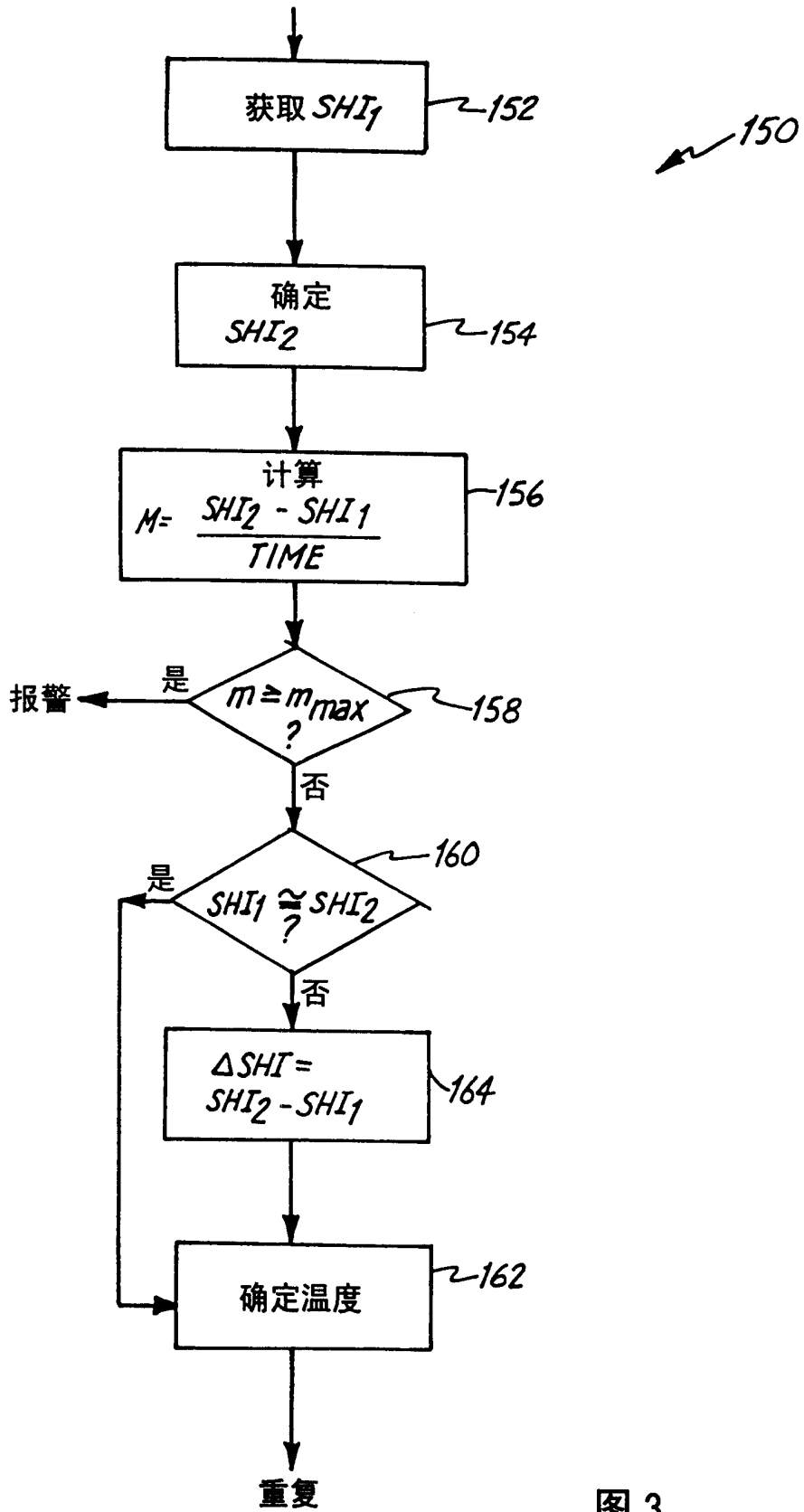


图 3

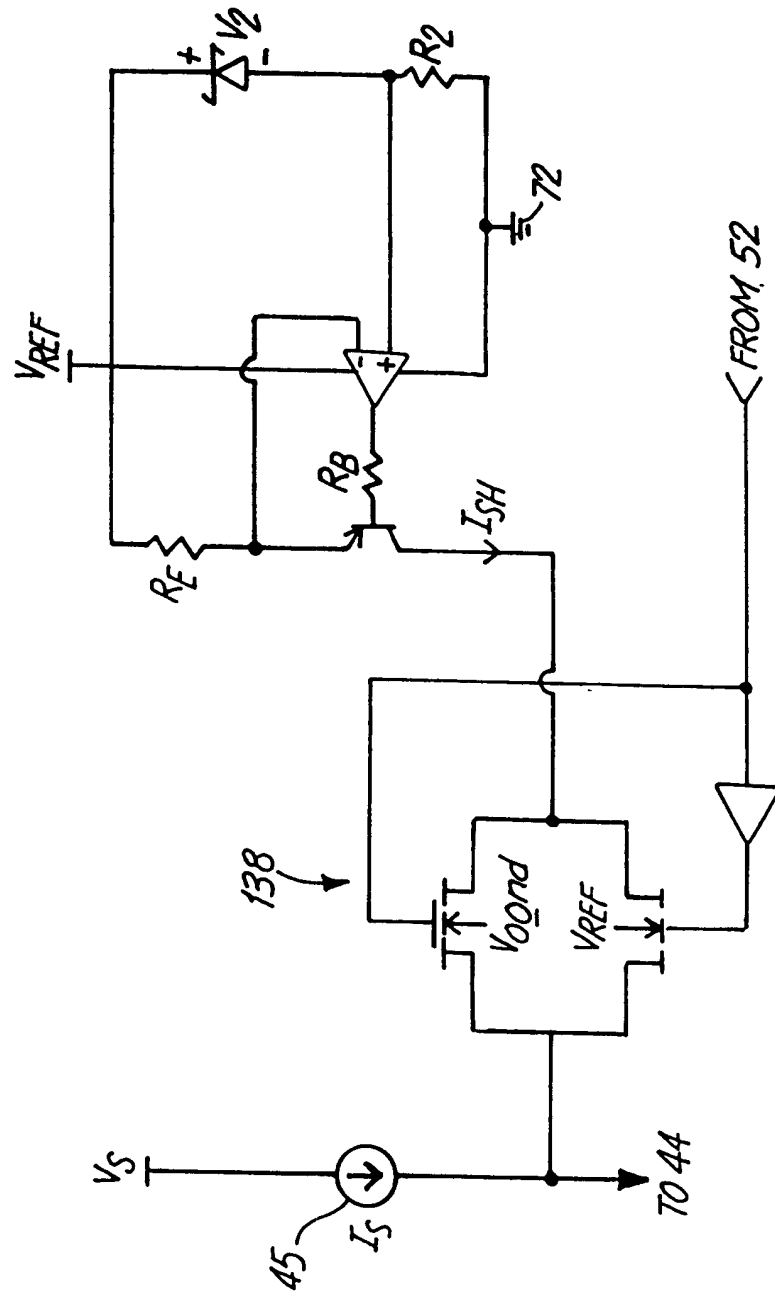


图 4

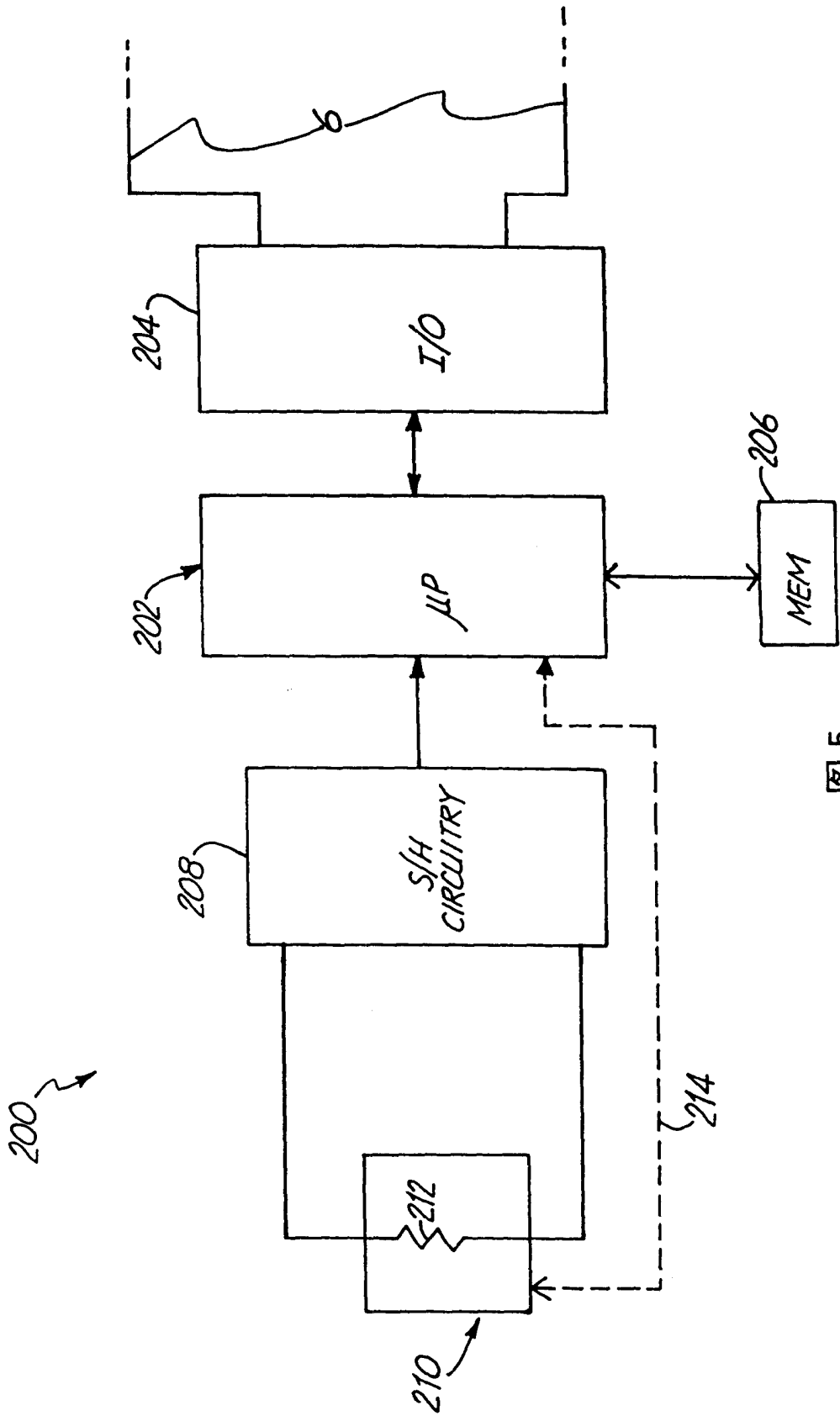


图 5

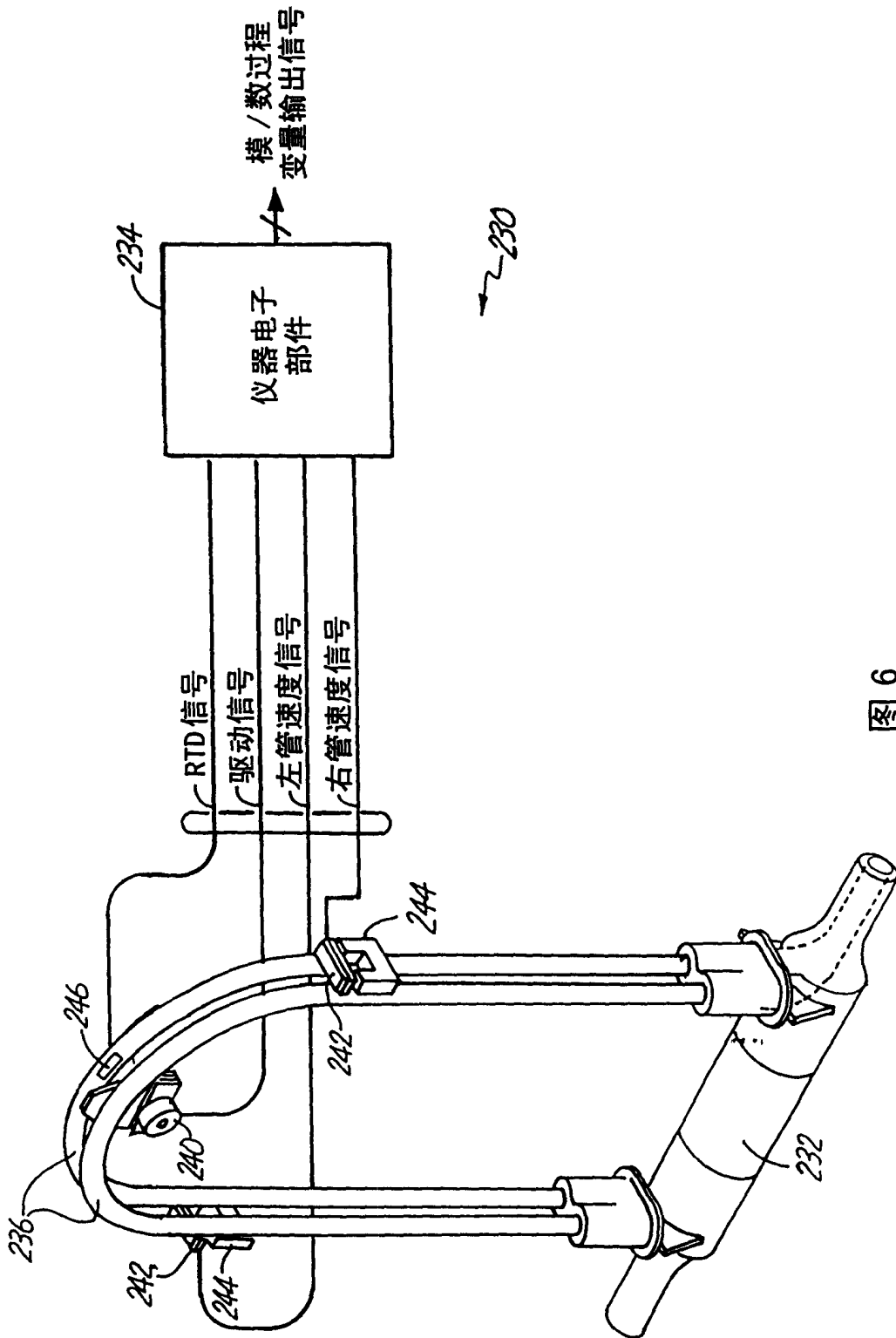


图6