



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101999101 B

(45) 授权公告日 2015. 10. 14

(21) 申请号 200980113066. 9

(22) 申请日 2009. 04. 01

(30) 优先权数据

0852171 2008. 04. 02 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 10. 08

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2009/002378 2009. 04. 01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/121583 FR 2009. 10. 08

(73) 专利权人 欧洲航空防务与空间公司 EADS 法国

地址 法国巴黎

(72) 发明人 卡特尔·莫罗 文森特·鲁埃
布鲁诺·福切尔

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 李春晖 李德山

(51) Int. Cl.

G05B 23/02(2006. 01)

G06F 11/30(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2009046405 A1, 2009. 02. 19, 全文.

US 4987367 A, 1991. 01. 22, 全文.

US 7514941 B2, 2009. 04. 07, 全文.

Siyu Zhang, function estimation
for multiple indices trend analysis
using self-organizing mapping.

《EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY

AUTOMATION, 1994, ETFA '94. IEEE

SYMPOSIUM ON TOKYO, JAPAN 6-10

NOV. 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 6 novemb
er1994(1994-11-06)》. 1994, 160-165.

审查员 宋淑鹏

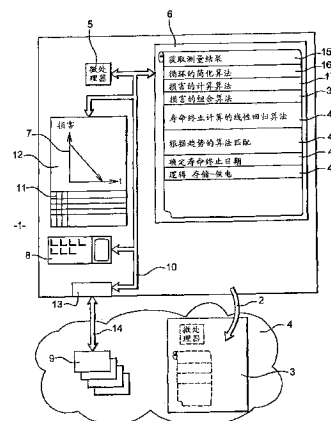
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

系统运行预测的确定方法

(57) 摘要

为确定对系统运行的预测,进行对该系统周围环境的环境值的测量。随后在处理单元中处理测量结果,以便确定该系统消耗的寿命。该消耗的寿命归因于该系统在环境中的经历。由此推导正常运行寿命的预测。根据本发明,通过自适应线性回归来进行预测的推导。可证明通过这样做,预测的全部计算被简化并且能够由系统自身实时进行。



1. 一种系统运行预测的确定方法, 其中,
 - 执行对所述系统周围环境的环境值的测量,
 - 在处理单元中处理测量结果, 以便确定所述系统的损害,
 - 该损害归因于所述系统在所述环境中的经历, 以及
 - 由此推导出对正常运行寿命的预测,其特征在于
 - 通过分段线性回归来推导所述预测, 且通过测量线性相关系数来确定分段,
 - 计算第一趋势,
 - 然后基于至多为 n 个的滑动点的组来计算第二趋势,
 - 在所述第一趋势的相关系数下降到预定阈值以下的情况下, 通过将所述第二趋势赋值给所述第一趋势来重新初始化所述第一趋势, 以及
 - 测量两个预测, 一个为乐观预测, 一个为保守预测, 真实的预测介于这两个预测之间。
2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于
 - 在当前时间测量消耗的寿命的变化趋势, 并由此在当前时间推导直到发生故障之前的运行寿命的校正后预测。
3. 根据权利要求 2 所述的方法, 其特征在于通过自适应数值回归来测量所述趋势。
4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于
 - 所述线性回归被应用于从最近一次初始化起的所有点。
5. 根据权利要求 4 所述的方法, 其特征在于
 - 每 $n/2$ 个点对至多 n 个点同时计算新趋势。
6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, n 等于 200。
7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述预定阈值为 98%。
8. 根据权利要求 1 至 3 中任意一项所述的方法, 其特征在于
 - 测量温度。
9. 根据权利要求 8 所述的方法, 其中所述测量温度包括测量在被监测的所述系统的电路板上的焊接点处的温度。

系统运行预测的确定方法

[0001] 本发明涉及一种基于系统的环境值来实时确定该系统的运行预测的方法。本发明尤其有利于应用在（但不限于）航空领域、核领域、航海领域、汽车领域以及石油化工领域等。

[0002] 本发明的目的之一在于通过实时判断系统的故障来优化对该受到监测的系统的维护。本发明的另一目的在于将监测设备装载到受监测的系统中。本发明还涉及实时确定受监测系统的寿命终止预测。

[0003] 目前，受监测系统（实际中为电路板）的诊断是通过环境值记录设备实现的。该设备以英文名“Time Stress Measurement Device”，TSMD（时间应力测量设备）而被熟知。文献FR-A1-2844902中描述了一种这样的设备。该设备包括两个组件。第一组件被装载在受监测系统中。而第二组件位于受监测系统的外部。

[0004] 第一组件随着时间的流过测量受监测系统的环境变量或事实变量，比如温度、湿度、振动、冲击等。第一组件包括允许记录所测量变量的值的存储器。在获得完整的记录值测线（可能持续数月）之后，将所存储的测量结果（尤其以数字格式）传递给作为处理单元的第二组件。第二组件分析记录值以提供系统诊断。处理单元从这些记录值的集合中提取出关于受监测系统消耗的寿命的信息。

[0005] 故障形式及其影响是预先知道的。例如，已知对于某种疲劳，系统能够在故障前对其耐受N次。由此可以测量出在承受该疲劳的情况下，系统已消耗其寿命的1/N。对于另一种疲劳，系统能够对其耐受M次，并且因此遭受等价于1/M的寿命的寿命损失。通过逐一累加所有的寿命消耗或者损害，可以得知诊断（系统的总的疲劳状态）。

[0006] 在一个示例中，当受监测系统是飞行器中的机载电路板时，只有在获得了完整的测线时才通过处理单元收集并分析所记录的数据。例如，能够在飞行350小时后获得完整测线。因此，在所记录的数据被传送给处理单元之前，监视一个相当长的时间段。处理单元提供的结果不是即时的。实际上，待分析数据的量如此之大，以至于在获得受监测系统所消耗的寿命的百分比之前必须计算好几天。因此，该关于受到监测的系统的故障的结果并不是合适的。

[0007] 根据这种已知的算法类型，计算资源的需求以及存储器资源的需求相对较大。因此，处理单元不能机载。

[0008] 一旦清楚地得知电子设备的运行环境以及该设备的运行的某些特点，就能够使用与TSMD很相近，但具有更智能的功能的监测工具（这些更智能的功能能够执行预定义的临界阈值的检测并且能够向用户报警）。HUMS(Health and Usage Monitoring System, 健康与使用监测系统)就是这样的一种装置，该装置能够通过其诊断（通常很简要）来在用户设备的维护中协助用户。

[0009] 根据对设备的更确切的认知（这种认知可以通过与真实测试相结合的建模和模拟而获得），能够通过使HUMS具有诊断算法和特定预测来优化HUMS。这种具有高级功能的HUMS（还被称作LAMS(Lifetime Assessment Monitoring System, 寿命估计监测系统））能够实时给出劣化百分比（诊断）。另外，通过分析该劣化随时间的变化，还能给出电子设备

的寿命终止的预计（预测）。

[0010] 目前，如文献 US2006/0271255A1 中所描述的，诊断并预测的系统和方法借助于特定参数和预定义的阈值的跟踪来发挥作用。为了改进的目的，基于引入了故障物理学（如文献 W02007085756 中所描述）的计算来建立这些系统和方法，以进行诊断计算。因此，在这里，预测对应于估算电子设备的剩余寿命的天数。

[0011] 因此，要解决的问题在于，通过得知系统、尤其是机载系统的诊断，优选谨慎地（因此是实际的寿命终止日期之前的日期）建立预测（寿命终止日期），并由此在当前时间变为超过该预测之前产生报警信号。相反，HUMS 仅指示超出了临界阈值，这时，由于受到监测的系统将在很长一段时间后才接受维护，因此该指示可能为时太晚。

[0012] 基于诊断的寿命终止计算、预测计算遭遇到与诊断计算所遭遇到的同样的问题。所需的计算资源在处理器规模上、计算时间上、供电上均不与实际标准相兼容，在附加设备的重量被严格控制的飞行器中尤为如此，因而无法实现机载。

[0013] 本发明中，能够利用装载在受监测系统自身的程序存储器中的软件来确保 TSMD、HUMS 和 LAMS 的三种功能。因此，受监测系统尤其还执行其承受的温度、相对湿度、以及冲击（三轴加速）和振动的测量。在一种现行的版本中，尤其能够对于低频测量波道（即，对于温度、相对湿度、压强）大量地（目前为 250 个，但该数量是可增加的）连接传感器模块。

[0014] 在其实际版本中，本发明的监测系统是物理上可装卸的，以允许转移记录在存储卡上的数据。然而，可以布置成一种无线方案（例如已测试过的紫蜂（Zigbee）连接）。在这种情况下，为了优化能耗，可根据监测的应用来限定监控的实施以及 RF（无线电频率）模块的启动的管理。

[0015] 被编程为 TSMD 的工具应当在其监测开始之前配置，其运行所需的信息仅为根据各个传感器的测量而被占用的不同频率。能够将这些信息直接植入到 TSMD 的运行系统中，并且能够创建对应于特定应用的默认配置。在这种情况下，只需将 TSMD 和传感器模块紧贴受监测部件放置，对组件供电并启动监控即可。还可以在开始监测前下载这些信息，但这意味着 TSMD 要经由串接线缆与微型计算机连接。

[0016] 可以将 1 兆比特的数据存储在四个非易失性存储器中（每个存储 256 千比特）。在借助于微型计算机的测量任务结束时，可以将这些存储器从串接电缆（如果没有 RF 模块的话），以及先前已提及的应用中卸除。还可想到使用 MMC（多媒体存储卡）类型的、容量更大可拆卸且非易失性的存储器。

[0017] 可以在现场监测电子设备的环境的基础上建立电子设备劣化状态的估计，该估计使得能够计算相关的损害。如果设置了不能被超出的阈值，则被编程为 HUMS 的工具可以发出警告。总之，这些工具能够实时执行数据的简化（考虑最小阈值），并且能够识别疲劳循环。因此可以只记录经简化的测线，甚至仅记录通过循环的幅度、平均值及其时长而识别并表征的循环。疲劳循环是指例如，温度循环，如飞行器所经受的循环（起飞、在大气层的上层达到很低的温度，然后降落）。但本发明的方法不限于疲劳循环测量。该方法可涉及能够测量与寿命相对应的消耗的所有其它疲劳。

[0018] 根据本发明，机载且实时的诊断和预测按照特定的方法展开。例如，在每个识别出的循环中，可以依靠包含模拟的结果（或者实验反馈的结果）的模型来规定单位损害。单位损害之和允许获得受监测电子系统的健康状态的估计，从而获得该受检测系统的诊断。计

算中出现的持续的取整致使通过乐观值和保守值来界定诊断。当然,当电子系统承受多种故障机制时,累计相关的损害,以便考查其相互影响。

[0019] 尽管已包含 TSMD 和 HUMS,本发明还涉及改进并集成 LAMS 功能。根据该功能,通过研究其随时间的变化,诊断(可以是例如,损害百分比)的计算可允许估计受监测系统的故障日期。为此,存在多种方法:线性回归、自回归综合滑动平均 (ARIMA)、时间序列分解。然而,这些静态预测技术并不特别相关或适用于机载且实时的计算(因为所支配的计算资源很少)。例如 ARIMA 模型,尽管其性能特别出色,但需要识别大量的延迟及要使用到的系数,并且在资源上要求过高。至于线性回归,由于变化不是线性的,因而可能表现为完全错误。并且,实验表明在实际环境下诊断的变化极少是线性的。

[0020] 为解决这个问题,在本发明中,选择实现线性回归,但分段地实现线性回归。由此获得如下结果:该方法简单、可机载,且避免了非线性。实际上,能够通过测量线性相关系数来确定这些段。一旦线性相关系数超出阈值,就确定创建另一段。或者,段具有固定长度,例如共有一百次测量,每一分钟测量一次。因此,这些布置成首尾相接的不同的段允许在最后一段的延长部分中快速地建立实际的预测。另外,由于对每一个新的段都建立新预测,因而是实时的。

[0021] 因此,本发明涉及一种系统运行预测的确定方法,该方法中,

[0022] - 执行对系统周围的环境的环境值的测量,

[0023] - 在处理单元中处理测量值,以便确定系统消耗的寿命,

[0024] - 该损害的寿命归因于系统在环境中的经历,以及

[0025] - 由此推导出正常运行寿命的预测,

[0026] 该方法的特征在于

[0027] - 通过分段线性回归来推导预测。

[0028] 通过阅读随后的说明并研究附图将更好地理解本发明。附图仅是为了举例说明的目的示出而绝非限制本发明。附图包括:

[0029] - 图 1:一种实施根据本发明的方法的设备的示意图;

[0030] - 图 2 和图 3:利用本发明的方法获取测量值、简化测量值、以及计算并获取受监测系统的寿命循环的图;

[0031] - 图 4:系于图 2 和图 3 所示的寿命循环的寿命消耗表;

[0032] - 图 5:不同的线性回归的计算的图示;

[0033] - 图 6:在 T 时刻,通过保守值 T1 和乐观值 T2 所界定的诊断及相关预测的一个示例;

[0034] - 图 7:受监测系统的寿命终止预测的变化;

[0035] - 图 8:机载实现的实时寿命终止预测算法;以及

[0036] - 图 9:对前述算法的改进,图示所模拟的最优和最差的预测的结合。

[0037] 图 1 示出一种实施本发明的方法的设备 1 的示意图。设备 1 允许实时监测。其优选地被装载 (2) 在受监测系统 3 中。设备 1 是允许诊断系统 3 的健康状态的机载自主智能设备。在一个示例中,受监测系统 3 是飞行器上的机载电路板。在本发明中,监测设备 1 即时地测量并分析系统 3 的环境 4 的环境量值。在一个示例中,被测量并分析的环境值是系统 3 的温度。特别地,对系统 3 的电路板上的焊接点的温度进行测量。

[0038] 设备 1 由此监测电路板所经受的热循环。例如,对于飞行器而言,这种循环是由飞行器的部分所承受的循环,飞行器的部分承受了相当低的温度(例如 -40°C)以及相当高的温度(例如 $+85^{\circ}\text{C}$,在太阳照射下降落在沙漠中的情况)。当然,可以测量其它类型的环境量值,尤其是例如湿度、压强、冲击。

[0039] 设备 1 通常被实现为集成电路的形式,设备 3 也是如此。设备 1 包括处理单元。该处理单元包括微处理器 5 和程序存储器 6。微处理器 5 通过内部通信总线 10 被连接到程序存储器 6、数据存储器 7、屏幕或键盘 8(可选)以及至少一个传感器 9。存储器 7 包括区域 11 和区域 12,区域 11 例如包含故障循环模型 M,区域 12 包含预测信息。通过接口 13 将设备 1 连接到传感器 9。接口 13 连接到总线 10 和外部总线 14,外部总线 14 连接到所有传感器。系统 3 具有同样的类型。设备 1 或者被装载在系统 3 中,或者被外置。

[0040] 在一种变型中,处理单元 1 被装载在系统 3 中,然而没有如图 1 中的情况那样被就此集成在系统 3 中。

[0041] 设备 1 由未示出的独立电池供电。该电池优选是可充电的。当要更换电池时,在受监测系统 3 被破坏前,能够将涉及到消耗的寿命的数据保存在非易失性存储器中。

[0042] 设备 1 通过输出输入接口 10 将测量命令发送给传感器 9。设备 1 通过该接口 10 接收由传感器 9 产生的测量结果。传感器 9 测量环境 4 的变量的数值。传感器 9 以电信号的形式通过总线 14 和 10 将测量结果传送给微处理器 5。在一个示例中,传感器 9 是温度传感器。

[0043] 传感器 9 可以由现有的其它类型的传感器替代。根据本发明不同的实施方式,设备 1 可包括与其实施应用所需的传感器的数量一样多的传感器。传感器 9 可被置于受监测系统 3 上。

[0044] 程序存储器 6 被划分为多个区域,每个区域对应于用于实现设备 1 的功能的指令。区域 15 因此包括用于获取由传感器 9 执行的测量的结果的指令。对应于此,图 2 左边部分示出随时间变化的温度值的获取。区域 16 包括如下的指令,该指令用于对每个获取的测量值应用数据的简化算法,以便更方便地确定极值。通常,图 2 左边部分的测量结果被平滑成右边部分所示的测量结果。被简化的平滑测线由相继的最小峰值和最大峰值构成。可以基于具有预先定义的滤波阈值的低通滤波来获得该简化测线。设备认为相邻的两个极值形成一个半循环。区域 16 优选地包括文献 W02007085756 中提及的所有处理。

[0045] 区域 17 包括如下的指令,该指令用于对所确定的每个极值应用计算循环的算法以便确定系统 3 承受的热循环,以及用于通过读取图 4 的表来基于所确定的循环产生系统 3 的消耗的寿命。通过读取存储器的区域 11 来进行该消耗的寿命的估计,区域 11 包含图 3 的故障循环模型,该模型是通过模拟或通过实验反馈而获得的。设备为每个所确定的循环确定损害值。

[0046] 计算循环的算法包括三个参量:形成半循环的相邻的两个相极值间的温度差参量 ΔT 、该半循环的平均温度 T_{moy} 、以及半循环的斜坡时间或持续时间 (t_{ramp})。

[0047] 计算循环的算法是循环函数。因此,出于对实时性和随机存取器规模的要求,使用三个用于周转的缓冲存储器(每个参数对应一个)来存储半循环。在一种优选的实施方式中,这三个缓冲存储器能够存储多至十个相邻的半循环。可以根据应用来调整缓冲存储器的规模。

[0048] 对大量温度测线所进行的试验已能够表明,当使用具有十个半循环的深度的缓冲存储器时,计算循环的算法的收效最优。实际上,在使用这种缓冲存储器的情况下没有损失任何半循环。

[0049] 为了确定循环,算法 16 验证如下两个条件是否被遵守。第一个条件是有至少两个半循环存储在缓冲存储器中。第二个条件是新的半循环的温度差 ΔT 大于前半循环的温度差。温度差 ΔT 是形成半循环的检测出的极值的温度差的绝对值。例如,图 3 中示出半循环 18 至 27。算法 16 计算出第二个半循环 19 的温度差小于第三个半循环 20 的温度差。在这种情况下,第二个半循环 19 被作为一个循环记录。相应地,第二个半循环的极值 28 和 29 被删除。

[0050] 因此,通过对每个温度循环提取平均温度 T_{moy} 和差 ΔT ,借助于前述关系并读取图 4 中可见的表 11,对每个新的循环或剩余的半循环计算消耗的寿命。这种读取允许将每个确定的循环转换为损害值,该损害值等价于与其疲劳类型对应的故障循环数量的倒数。该读取进行损害值的累加。这种累加可以包括通过加载在图 1 中的存储器 6 的区域 30 中的指令来计算不同性质的损害(这些损害源自不同的环境类型(湿度、压强等))相组合。该累加被传送给比较器。该比较器在第二输入接收系统 3 的预先定义的最大损害阈值。一旦损害值的累加超过阈值,设备 1 就启动报警机制,从而能够优化系统的维护。该报警机制可以是启动报警器(该报警器是声音和/或视觉报警器)和/或向操作者发送消息。这种消息的发送可通过无线通信协议(例如 UMTS(通用移动通信系统)标准、或者 GSM(全球移动通信系统)标准、或者 Zigbee 等)来传送。

[0051] 根据本发明,不满足于偶然察觉到超过阈值。优选计算寿命(例如故障前的运行天数)的预测。实验表明对关联于系统 3 的使用时长(从系统 3 投入运行时算起)的损害累加进行简单外推并不足够精确。例如,在飞行器上可能有多个系统要在不同日期改变,而且飞行器只在每飞行约 350 小时(根据飞行器种类)后才会为了所谓“A 类”的检查而停留,所以应当准确地获知这种预测以便最佳地安排预防性的更换。

[0052] 图 5 中的线性回归在于:基于少量测量点来确定等式 $y = ax+b$ 的直线;根据线性相关系数来估计 a 和 b 的值并对该关系式的有效性进行量化。在目前的情况下,在图 5 的线图上绘制的点根据时间(当前时间及随后的时间)表示系统 3 的健康状态。虽然从一个测量结果到另一测量结果健康状态只能变差,但是已经证明,根据循环或疲劳的严酷性而或快或慢地变差。如果循环较温和(例如在 -40°C 和 $+85^{\circ}\text{C}$ 之间),则损害将较小,无论如何都不如在循环很严酷(例如在 -55°C 和 $+125^{\circ}\text{C}$ 之间)的情况下造成的损害大。在图 5 和图 6 的图形中,时间是横坐标,而根据累加的损害得出的健康状态是纵坐标。

[0053] 尝试线性回归,因此首先回到求出等式为 $y = ax+b$ 的直线 D,该直线最贴近地通过点。根据最小二乘法,“最贴近地通过”指的是点到直线的间距的平方之和最小。还可以求出等式 $x = a'y+b'$ 的直线 D',其使可比和最小。当然希望重合在同一条直线上。这将在且只能在 $a' = 1/a$ 的情况下出现。将量 aa' 称作 x 和 y 之间的线性相关系数。在实际中,该系数的绝对值极少会等于 1,但只要其绝对值大于 $\sqrt{3}/2$,则一般认为拟合有效。在本发明中,可以使用优选地取值为 98% 的该相关系数来确定段的长度。

[0054] 尽管如此,优选地,进行测量的有规律的计数。直至达到 n 次测量为止,例如, n 等于 200,计算图 5 中的线性回归直线 31。能够通过延长该直线 31 来同时地计算出寿命预测

T31。在本发明中,在随后的至多为 n 次的一组测量中考查该直线的变化。要么该随后的 n 次测量得出同一直线,要么该随后的 n 次测量修正该直线。修正的直线还可以通过其延长线产生寿命终止预测。然而,由于现象并不是线性的,因此这种观点并不合理。

[0055] 另外,优选地基于新的测量结果群组来计算新的直线段 32。为了改进的目的,当基于至多为 n 次的测量来计算直线 31 和 32 时,每次所考查的 n 次测量并非必须是独立的。相反地,可通过每次仅取紧接之前的 $n/2$ 次测量的新的 $n/2$ 次测量(该新的 $n/2$ 次测量与先前的 $n/2$ 次测量相关)来选择每测量 $n/2$ 次就执行计算。始终进行被限制在 n 个点的线性回归的计算,且并非只有达到 n 个点才执行计算。优选地,只有在超出主线性回归的相关系数的阈值时执行重新赋值;利用具有更多个点(介于 $n/2$ 个和 n 个点之间)的受限制线性回归来重新初始化主线性回归。

[0056] 参照图 5 可观察到直线 31 给出(理想情况下的)预测 T31,而直线 32 给出较不理想的预测 T32。当 $n/2$ 次测量的第四个群组的获取结束时,图中将示出本发明的算法利用更不理想的直线 33 及预测 T33 来替代直线 32 及其预测 T32。就这样进行下去,预测按照时间变化,从 T31 变到 T33,并且该信息被呈现给维护操作者的安排中以便其考虑预防性的更换。例如,预测结果为五天意味着如果是在“A 类”检查期间,则对受监测的系统 3 进行预防性的更换,因为已知下一次“A 类”检查将在飞行 350 小时后才进行。

[0057] 图 6 示出在 T 时刻由保守值和乐观值及其分别相关的预测 T1 和 T2 的所界定的诊断和预测的一个示例。高级的自适应线性回归方法使得能够计算出乐观和保守的环境变化。在温度测量的情况下,乐观估计 34 不考虑在处理期间去除的半循环,而保守方法 35 考虑所有可能的疲劳。因此并行地计算三个典型的线性回归:主线性回归以及另外两个线性回归,主线性回归从 T_0 开始,并且只要相关系数大于所定义的阈值(例如 0.98)就继续进行。另外两个线性回归将基于 n 个点(例如 200 个)的最大值来计算;第一个线性回归 31 从 T_0 开始,第二个线性回归 32 在 $n/2$ 个测量点之后开始,其余亦然。这些线性回归的计算在每一次新的测量时实现且在每进行 n 次测量后重新初始化。当主线性回归的相关系数变得小于阈值时,该线性回归立即取两个被限制为 n 个点的线性回归中具有较多点(介于 $n/2$ 和 n 之间)的线性回归的值。由此,主线性回归考查最新的突发事件且允许通过外推来更好地进行寿命(在优选示例中为天数)终止预测。

[0058] 当诊断的计算由最小值和最大值这两个值来界定时,必须将线性回归的数量加倍。图 7 示出电子系统 3(意图提供该系统的寿命终止预测)在时间值 T_1 和 T_2 期间的变化的示例。该预测对应于从主线性回归得到的直线与横坐标轴(持续时长)的交点,以获取被规定为 100% 损害的寿命终止。然而,为了规划预防性的维护,可以根据对受监测系统的了解而将该 100% 的阈值定义为较低的损害比,例如 60%。在这种情况下,由 T_1 和 T_2 所表示的给定预测将通过从主线性回归得到的直线与剩余寿命直线 $y = 40\%$ 的交点来提供(参见图 6)。

[0059] 根据图 7,在加倍预测(乐观和保守)的情况下,如果在这两种计算之一中主线性回归的赋值突然改变(检测到超出相关阈值),则有必要通过将相同的值赋值给尚未被重新赋值的线性回归来维持乐观预测和保守预测的一致性,例如图 7 中的从 46 天调整为 53 天。图 7 还示出通过改变暴露条件(从 -40°C 、 $+85^{\circ}\text{C}$ 变为 -55°C 、 $+125^{\circ}\text{C}$),本发明的自适应计算允许用两个新曲线 36 和 37 替代乐观和保守曲线 34 和 35,从而给出远不及所期望的

75 天预测的 65 天预测。利用本发明,由此在当前时间测量消耗的寿命的变化趋势,并在当前时间推导消耗的寿命的校正后的预测。实验表明,两个被监测的系统分别在 70 天和 97 天,即恰好在由预测所计算出的期限之后发生故障。

[0060] 图 8 和图 9 示出在本发明中使用的用于计算受监测系统 3 的寿命终止预测的算法。图 9 的算法只是图 8 的算法的加倍,应用于涉及到乐观计算和保守计算的情况。图 8 的算法包括以传统方式进行的初始化 38。其还包括主线性回归以及两个被限制于 n 次测量且时间上偏移 $n/2$ 次测量的线性回归。每次计算出新的 n 个测量点的群组,就重新初始化受限线性回归 40 和 41。继测试步骤 42 和 43 之后的步骤 40 和 41 分别分段建立对线性回归的计算。测试 44 测量寿命终止预测是否超过当前时间或者超过下一次 A、B、C 或 D 类检查的日期,以便产生更换信息。

[0061] 根据图 9 的算法,图 8 的算法的操作被执行两次:一次针对乐观评估,一次针对保守评估。因此,测量两个预测,一个乐观预测和一个保守预测,真实的预测介于这两个预测之间。

[0062] 因此,图 1 中的存储器 6 包括区域 45 至区域 47,其中分别存储图 8 和图 9 的算法的功能 38、39 和 44。存储器 6 还包括区域 48,用于操控系统、管理测量结果、供电及可能情况下结果的传送。

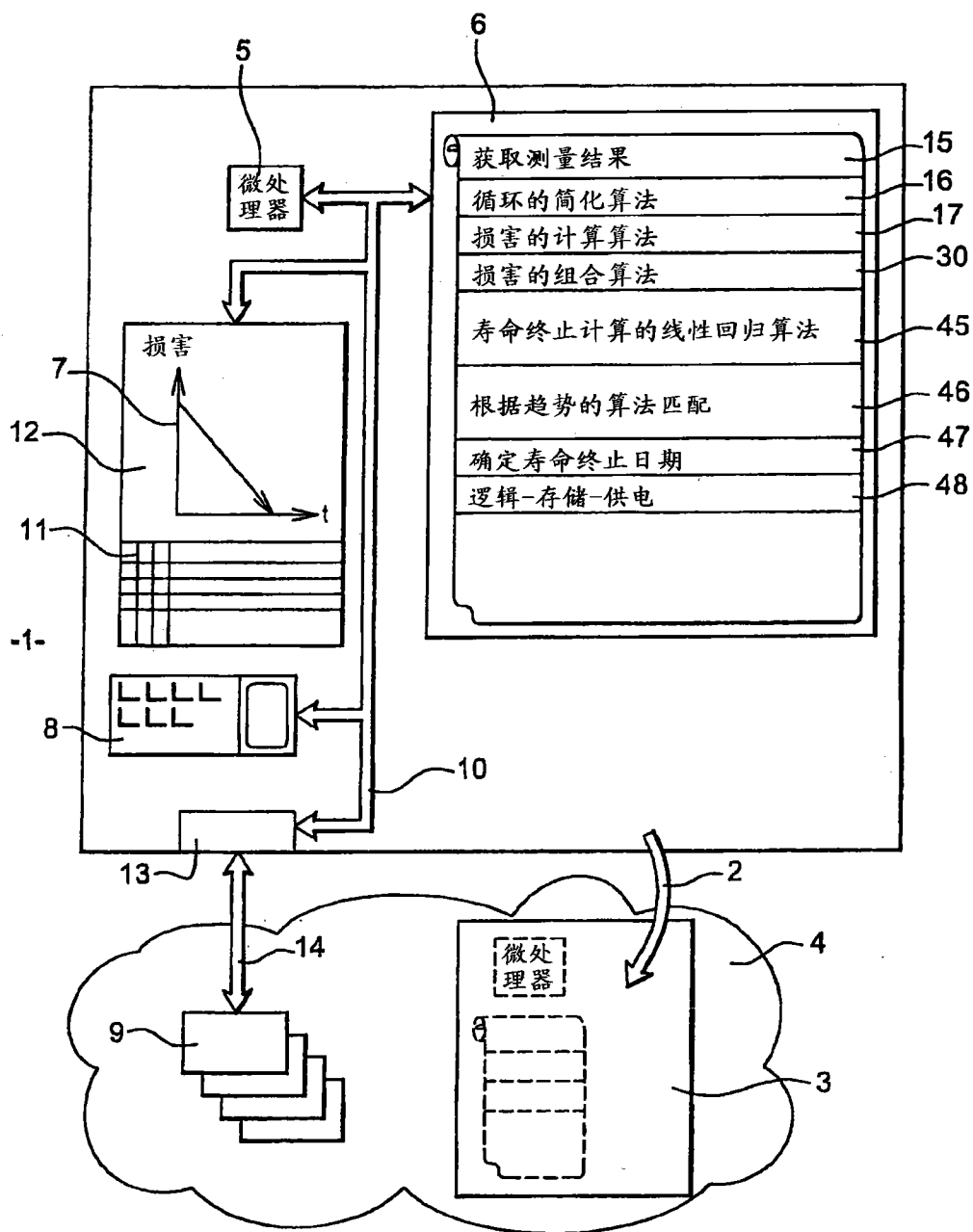


图 1

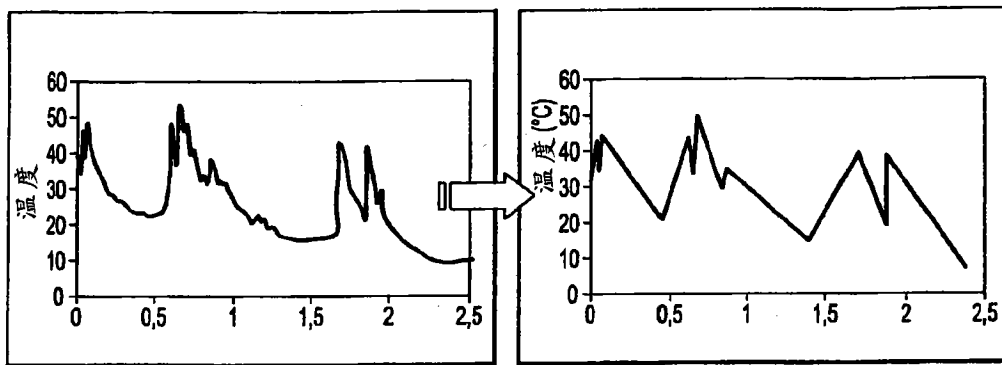


图 2

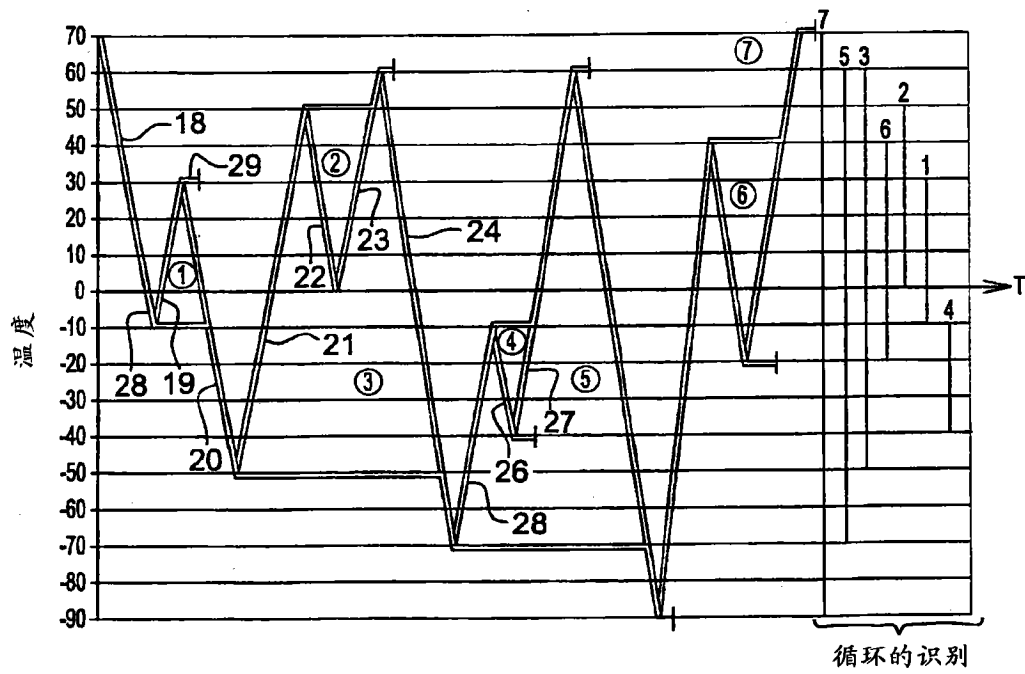


图 3

$T_{\text{moy}} \Delta T$	30°C	45°C	60°C	75°C	90°C	105°C	120°C	135°C	150°C	165°C	180°C
30°C	65535	39968	16612	9819	5950	3906	2713	1967	1475	1138	898
-15°C	65535	31763	13907	7906	4842	3201	2238	1633	1232	555	757
0°C	65535	25190	11250	6023	3760	2511	1775	1307	955	777	621
15°C	49567	17630	9037	5102	3194	2146	1524	1126	860	674	540
30°C	40401	14723	6753	3994	2538	1725	1237	922	710	560	452
45°C	29554	10830	5545	3152	2027	1396	1011	760	590	469	380
60°C	22776	8687	4380	2365	1562	1094	804	612	480	385	315
75°C	15086	5724	3299	1844	1243	884	657	506	401	324	267
90°C	14345	5694	2972	1792	1186	837	619	474	374	302	248
105°C	10254	4192	2300	1389	940	675	505	393	312	254	210
120°C	9381	3869	2076	1278	861	616	461	358	285	232	192

图 4

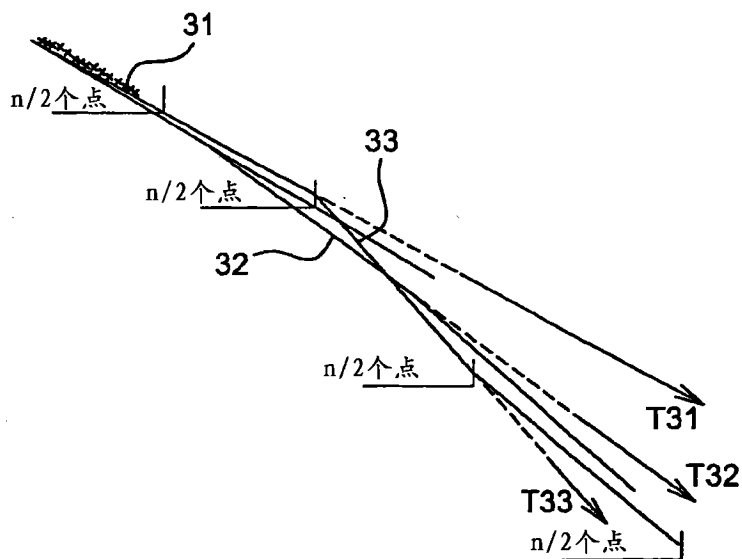


图 5

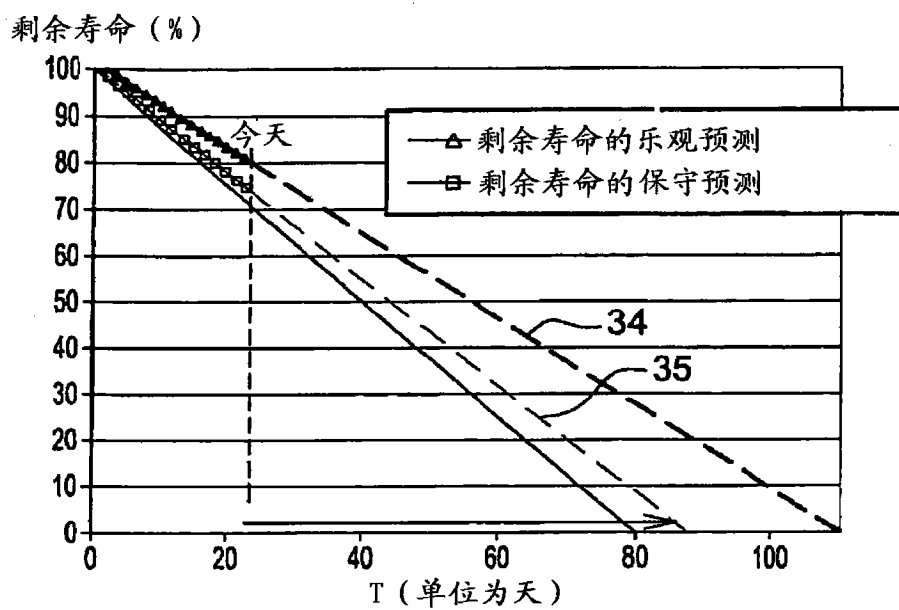


图 6

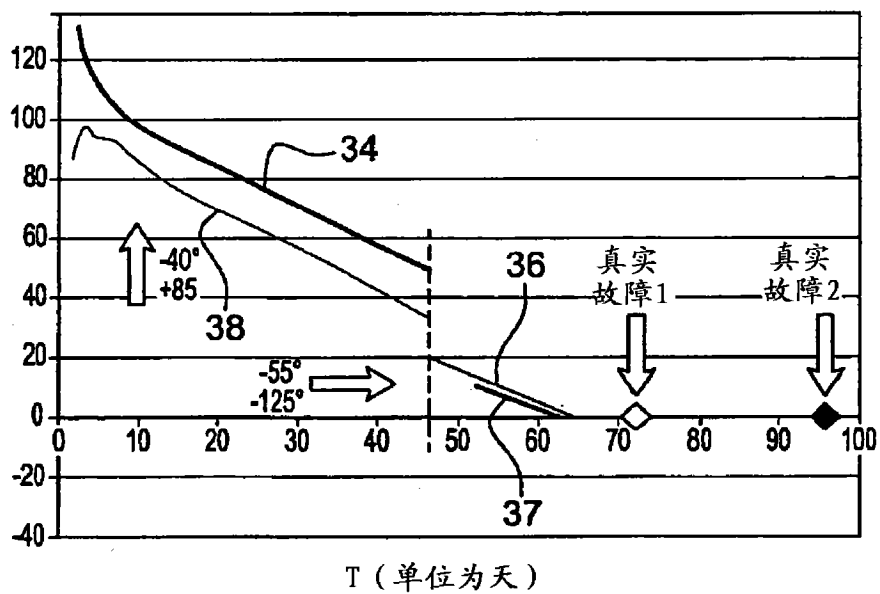


图 7

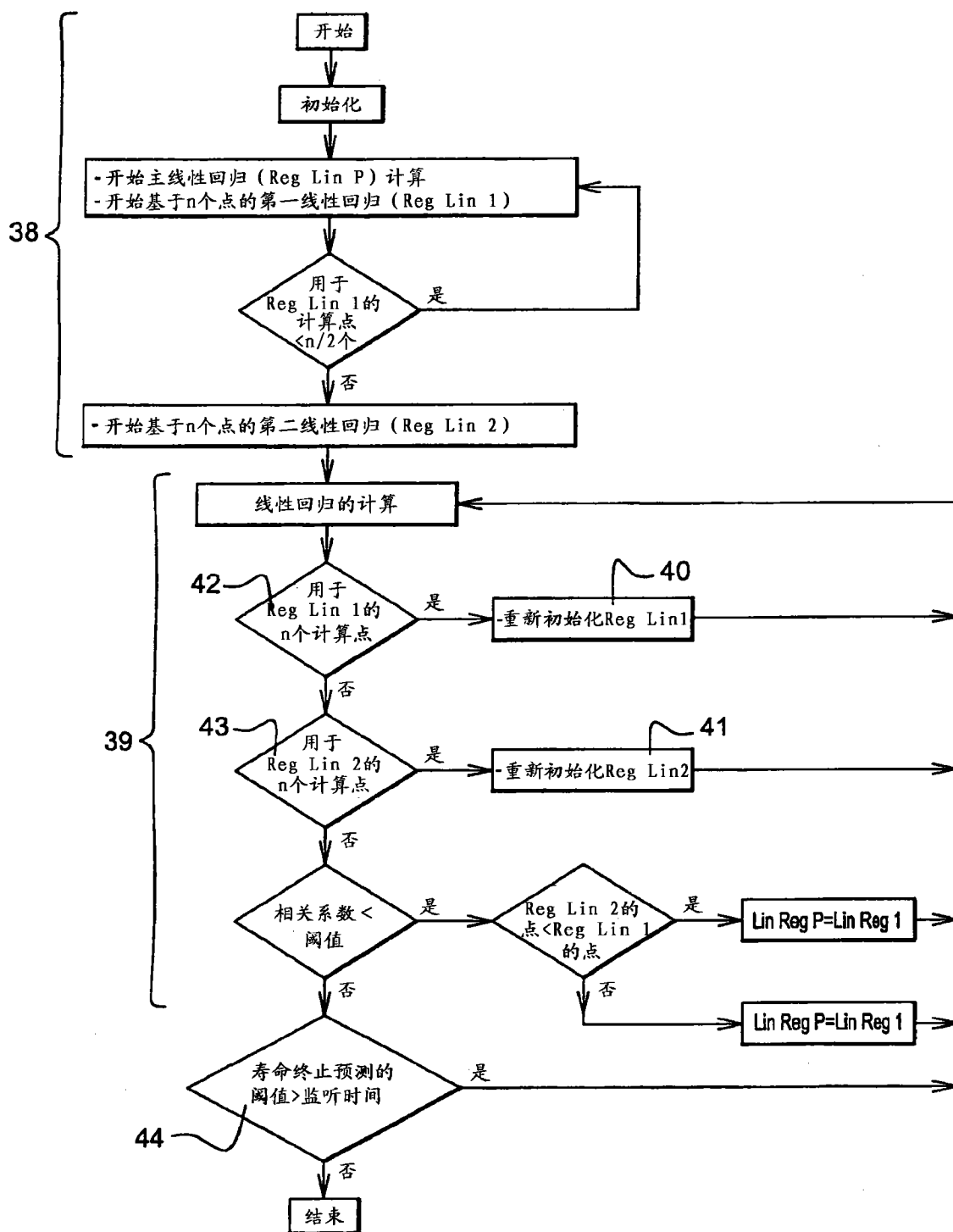


图 8

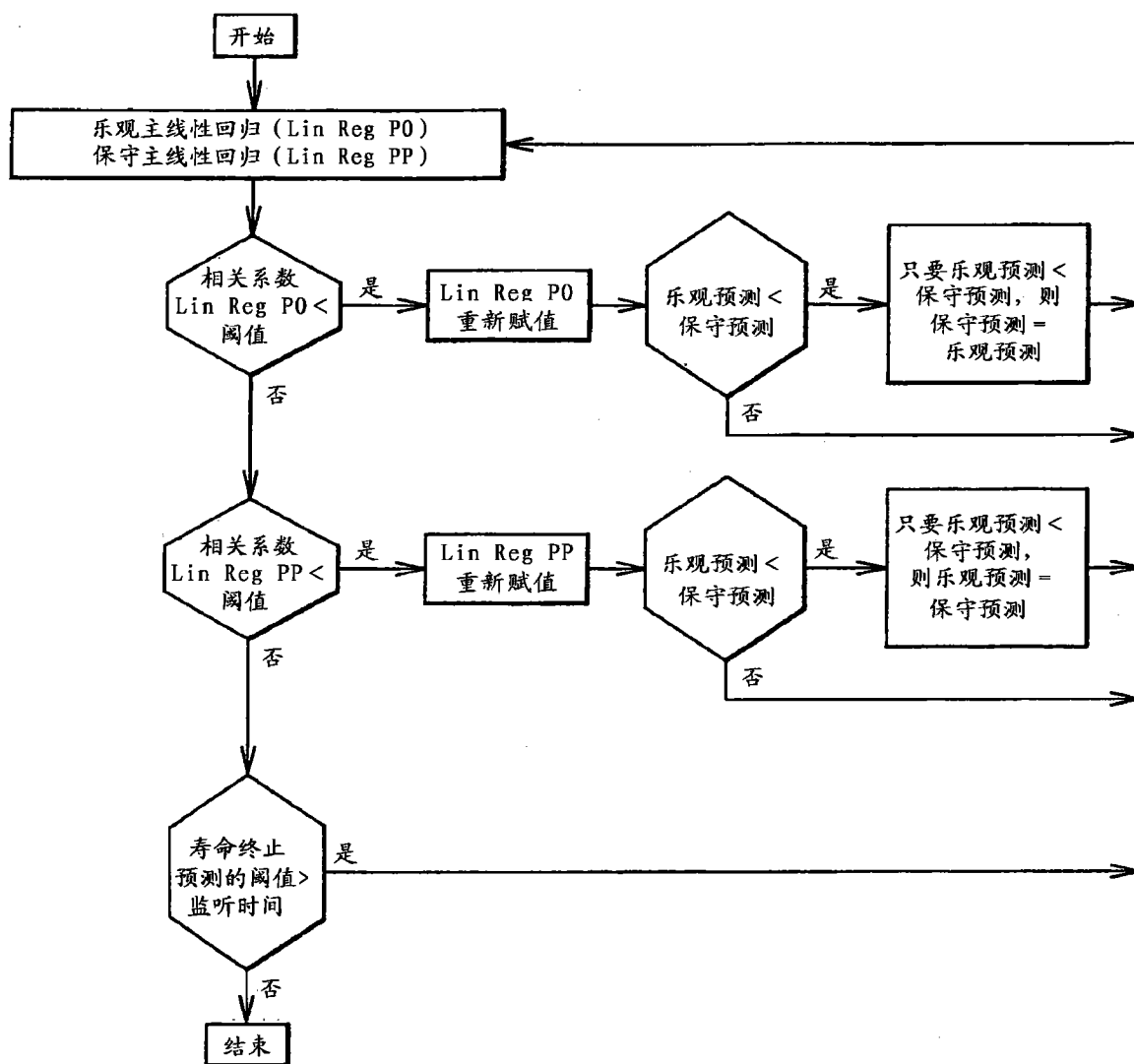


图 9