

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01R 31/34 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810169772.2

[43] 公开日 2009 年 4 月 22 日

[11] 公开号 CN 101413991A

[22] 申请日 2008.10.15

[21] 申请号 200810169772.2

[30] 优先权

[32] 2007.10.15 [33] US [31] 11/872211

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 G·L·弗利金格 G·J·奇米尔
D·N·约翰逊

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 柯广华 王丹昕

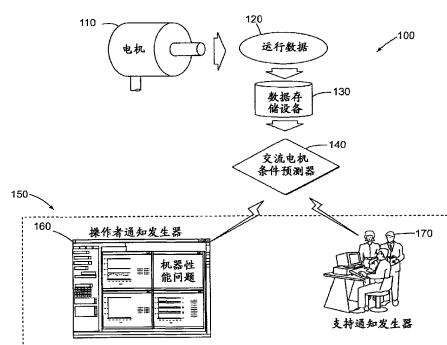
权利要求书 3 页 说明书 23 页 附图 8 页

[54] 发明名称

用于远程预测交流电机系统剩余寿命的方法和系统

[57] 摘要

本发明用于远程预测交流电机系统剩余寿命的方法和系统，提供一种用于远程预测交流电机系统(110)的可靠度和故障之前剩余时间的方法和系统。利用交流电机条件预测器，通过统计置信度，所述方法和系统可远程确定可靠度和故障之前的剩余时间。所述方法和系统可包括获取历史电机数据，获得运行数据(120)，执行故障分析，开发因果网络，以及执行完整的因果网络和交流电机系统(110)的可靠度分析。该方法和系统可提供关于交流电机系统(110)或至少一个交流电机系统(110)部件的问题的至少一个通知。



1. 一种远程确定位于场所(100)的至少一个交流电机系统(110)的可靠度和故障之前剩余时间的方法, 所述方法包括:

提供至少一个远程监视和诊断(RM&D)系统(150), 其中所述至少一个 RM&D 系统(150)处在不同于具有所述至少一个交流电机系统(110)的场所(100)的位置;

将所述至少一个 RM&D 系统(150)与至少一个条件预测器结合, 其中所述至少一个条件预测器(140)从所述至少一个交流电机系统(110)接收多个运行数据(120)。

从所述条件预测器(810)接收所述多个运行数据(120);

将对应于所述至少一个交流电机系统(110)的多个历史运行数据(120)从至少一个历史数据库发送到所述至少一个 RM&D 系统(150)、(810)、(830);

利用所述多个运行数据(120)来确定所述至少一个交流电机系统(110)的可靠度和故障之前剩余时间是否在报警范围(840)内; 以及

如果所述至少一个交流电机系统(110)的可靠度和故障之前剩余时间在所述报警范围内; 则通知至少一个支持网络(860)、(870)。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其中将所述至少一个 RM&D 系统(150)与所述至少一个条件预测器(140)结合的所述步骤还包括:

根据对应于与所述至少一个交流电机系统(110)、(500)相关的历史故障原因预定部分总体的可靠度概率分布的组合, 所述至少一个条件预测器(140)执行至少一次故障分析;

所述至少一个条件预测器(140)开发用于多个交流电机系统(110)的可靠度建模的至少一个因果网络, 包括所述至少一个交流电机系统(110)并且根据所述至少一个因果网络(500)评估至少一个交流电机系统(110)部件条件; 以及

所述至少一个条件预测器(140)执行至少一个完整的因果网

络,还执行所述至少一个交流电机系统(110)的可靠度分析,其中所述至少一次分析产生的结果与根据所述至少一个因果网络评估所述至少一个交流电机系统(110)部件条件的步骤所产生的结果结合,从而计算所述故障之前时间剩余的定量值。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其中从所述条件预测器(140)接收所述多个运行数据(120)的所述步骤还包括从至少一个 $\tan \delta$ 传感器(600)接收至少一个泄漏电流数据。

4. 如权利要求 2 所述的方法,其中开发所述至少一个因果网络(500)的所述步骤还包括利用模糊逻辑。

5. 如权利要求 2 所述的方法,其中执行所述至少一次故障分析(500)的所述步骤包括利用威布尔概率分布函数对所述交流电机系统(110)的至少一个部件的故障率进行建模。

6. 如权利要求 2 所述的方法,还包括响应于所述泄漏电流数据确定绝缘击穿。

7. 如权利要求 1 所述的方法,还包括将所述至少一个 RM&D 系统(150)与至少一个远程交流电机系统(110)结合,其中所述至少一个远程交流电机系统(110)处于与具有所述至少一个交流电机系统(110)的场所(100)不同的位置。

8. 一种用于远程确定位于场所(100)的至少一个交流电机系统(110)的可靠度和故障之前剩余时间的系统,所述系统包括:

至少一个远程监视和诊断(RM&D)系统(150),其中所述至少一个 RM&D 系统(150)位于与具有所述至少一个交流电机系统(110)的所述场所(100)不同的场所(100),其中所述至少一个 RM&D 系统(150)监视所述至少一个交流电机系统(110)的多个运行数据(120);

至少一个交流条件预测器(140),其中所述至少一个交流条件预测器(140):

根据对应于与所述至少一个交流电机系统(110)相关的历史故障原因预定部分总体的可靠度概率分布组

合, 执行至少一次故障分析;

开发至少一个用于多个交流电机系统(110)的可靠度建模的因果网络, 包括所述至少一个交流电机系统(110)并且根据所述因果网络评估至少一个交流电机系统(110)部件条件; 以及

执行至少一个完整的因果网络, 还执行所述至少一个交流电机系统(110)的可靠度分析; 其中所述至少一次分析产生的结果与根据所述至少一个因果网络评估所述至少一个交流电机系统(110)部件条件的所述步骤产生的结果结合, 从而计算故障之前时间剩余的定量值;

其中, 所述多个运行数据(120)包括来自至少一个 tan delta 传感器(600)的数据;

用于将所述至少一个 RM&D 系统(150)与所述至少一个交流条件预测器(140)结合的装置; 以及

用于将所述多个运行数据(120)从所述交流条件预测器(140)发送到所述至少一个 RM&D 系统(150)的装置。

9. 如权利要求 13 所述的系统, 其中所述至少一个交流条件预测器(140)接收至少一个泄漏电流数据;

其中, 所述至少一个泄漏电流数据包括来自所述至少一个 tan delta 传感器(600)的数据; 以及

其中, 所述至少一个泄漏电流数据还包括至少一个泄漏电流相位数据。

10. 如权利要求 13 所述的系统, 其中, 所述至少一个交流条件预测器(140)还包括至少一个结构, 其中所述至少一个结构响应于泄漏电流数据预测绝缘击穿; 并且响应于在所述至少一个交流电机系统(110)处测量的所述泄漏电流数据预测至少一个交流电机系统(110)部件的绝缘击穿。

用于远程预测交流电机系统剩余寿命的方法和系统

技术领域

本发明涉及交流电机系统的可靠度，更具体地说，涉及利用确定的统计置信度，用于远程确定交流电机系统的部件故障之前的剩余时间的方法和系统。

背景技术

交流电机系统的某些操作者采用某种形式的远程监视和诊断(RM&D)系统等供确定系统可靠度使用。当前已知的RM&D系统为了发展的目的倾向于关注收集。

交流电机系统运行条件、状态和性能相关的精确信息的获取对保持这类系统成功的商业运转通常是至关重要的，例如但不限于，在“关键”工业制造过程、发电系统等中使用的电机。因此，常常花费很大的努力来开发和改进用于监视和诊断这类系统中电机和线圈设备的运行和性能的现有方法和系统。对于这类关键过程的电机通常希望有健壮的检查方法，因为如果电机必须离线，则它的不能运转会有害地影响效益的生成。

用于交流电机系统检查和预测性维护的健壮过程通常涉及监视诸如电机电流、电压、振动、漏磁等各种工作参数以便检测即将来临的故障。按照惯例，一个或多个参数随时间被监视并且当被监视的参数值超出预定的阈值时用来触发维护停机/建议。当代技术趋势是通过将各种传感器和换能器附加在交流电机上以使检查过程自动化，从而通过离线监视或在线监视技术不断地收集信息。然后正在运行的电机的运行指示器可被连续地跟踪，并且如果超出特定指示器的预定阈值就立即触发报警。例如但不限于，超出或偏离预定范围或数值的振幅

或频谱数据可用于启动报警从而通知设备操作者：特定类型的故障模式即将来临。

将电机运行指示器数据用作故障预测工具并评估电机健康状况在过去已由各种研究者在某种程度上进行了探索。不同的交流电机系统指示器可被用于这种目的，并且可包括交流电机系统“不平衡度”，诸如负序电流以及电压不匹配。

当前已知的用于远程监视和诊断交流电机系统剩余寿命的方法有缺陷。传统的 RM&D 系统通常仅仅以可表示即将来临的故障的数据作为目标，而不提供剩余的电机寿命或电机可靠度的定量的确定。某些传统的系统根据来自单个监视指示器的报警条件的检测，只提供即将来临的电机故障的一般警告。这些系统既不能提供电机可靠度的评估，直到需要修理之前也不提供运行时间剩余的估计。

出于上述原因，需要一种用于远程确定交流电机系统剩余寿命的方法和系统。该方法和系统应该在交流电机系统的部件上接收多个运行数据。该方法和系统还应该分析电机数据并根据交流电机系统的绝缘条件确定电机可靠度和故障之前的估计运行时间。

发明内容

根据本发明的实施例，用于远程确定位于场所 100 的至少一个交流电机系统 110 的可靠度和故障之前剩余时间的方法，该方法包括：提供至少一个远程监视和诊断(RM&D)系统 150，其中至少一个 RM&D 系统 150 处在不同于具有至少一个交流电机系统 110 的场所 100 的位置；将至少一个 RM&D 系统 150 与至少一个条件预测器结合，其中至少一个条件预测器 140 从至少一个交流电机系统 110 接收多个运行数据 120；从条件预测器 810 接收多个运行数据 120；将对应于至少一个交流电机系统 110 的多个历史运行数据 120 从至少一个历史数据库发送到至少一个 RM&D 系统 150、810 和 830；利用多个运行数据 120 确定至少一个交流电机系统 110 的可靠度和故障之前剩余时

间是否在报警范围 840 内；并且如果至少一个交流电机系统 110 的可靠度和故障之前剩余时间在报警范围内；则通知至少一个支持网络 850、860 和 870。

将至少一个 RM&D 系统 150 与至少一个条件预测器 140 结合的步骤还包括：根据对应于与至少一个交流电机系统 110、500 相关的历史故障原因的预定部分总体的可靠度概率分布的组合，至少一个条件预测器 140 执行至少一次故障分析；至少一个条件预测器 140 开发至少一个用于多个交流电机系统 110 的可靠度建模的因果网络，包括至少一个交流电机系统 110 并且根据至少一个因果网络 500 评估至少一个交流电机系统 110 部件的条件；以及至少一个条件预测器 140 执行至少一个完整的因果网络 (integrated casual network)，还执行至少一个交流电机系统 110 的可靠度分析，其中至少一次分析产生的结果与根据至少一个因果网络评估至少一个交流电机系统 110 部件条件的步骤产生的结果结合，从而计算故障之前时间剩余的定量值。

从条件预测器 140 接收多个运行数据 120 的步骤还包括从至少一个 tan delta 传感器 600 接收至少一个泄漏电流。

开发至少一个因果网络 500 的步骤还包括利用模糊逻辑。执行至少一次故障分析 500 的步骤可包括利用威布尔概率分布函数对交流电机系统 110 的至少一个部件的故障率进行建模。

方法还包括响应于泄漏电流数据确定绝缘击穿。

方法还包括将至少一个 RM&D 系统 150 与至少一个远程交流电机系统 110 结合，其中至少一个远程交流电机系统 110 处在不同于具有至少一个交流电机系统 110 的场所 100 的位置。

根据本发明的备选实施例，用于远程确定位于场所 100 的至少一个交流电机系统 110 的可靠度和故障之前剩余时间的系统，该系统包括：至少一个远程监视和诊断(RM&D)系统 150，其中至少一个 RM&D 系统 150 处在不同于具有至少一个交流电机系统 110 的场所 100 的场所 100，其中至少一个 RM&D 系统 150 监视至少一个交流电机系统

110 的多个运行数据 120; 至少一个交流条件预测器 140, 其中至少一个交流条件预测器 140: 根据对应于与至少一个交流电机系统 110 相关的历史故障原因的预定部分总体的可靠度概率分布的组合, 执行至少一次故障分析; 开发至少一个用于多个交流电机系统 110 的可靠度建模的因果网络, 包括至少一个交流电机系统 110 并且根据因果网络评估至少一个交流电机系统 110 部件条件; 以及执行至少一个集成因果网络和至少一个交流电机系统 110 的可靠度分析; 其中至少一次分析产生的结果与根据至少一个因果网络评估至少一个交流电机系统 110 部件条件的步骤产生的结果结合, 从而计算故障之前时间剩余的定量值; 其中多个运行数据 120 包括来自至少一个 tan delta 传感器 600 的数据; 用于将至少一个 RM&D 系统 150 与至少一个交流条件预测器 140 结合的装置; 以及用于将多个运行数据 120 从交流条件预测器 140 发送到至少一个 RM&D 系统 150 的装置。

至少一个交流条件预测器 140 可接收至少一个泄漏电流数据; 其中至少一个泄漏电流数据包括来自至少一个 tan delta 传感器 600 的数据; 并且其中至少一个泄漏电流数据还包括至少一个泄漏电流相位数据。

至少一个交流条件预测器 140 还可包括至少一个结构, 其中至少一个结构响应于泄漏电流数据预测绝缘击穿; 并且响应于在至少一个交流电机系统 110 处所测量的泄漏电流数据预测至少一个交流电机系统 110 部件的绝缘击穿。

附图说明

图 1 是描述本发明的实施例运行的环境的示意图。

图 2 是描述作为故障率和服务时间函数的电机系统部分的使用寿命范围的图表。

图 3 是描述可引发/促使电机系统故障的示例性电气的、机械的、环境的和系统的问题的鱼骨图。

图 4 是描述根据本发明的实施例，条件预测器所利用的方法的高层流程图。

图 5 是描述根据本发明实施例的图 4 中方法的详细流程图。

图 6 是描述根据本发明的实施例配置成获取现场数据的传感器的示意图。

图 7 是描述图 6 中传感器所测量的泄漏电流的波形图。

图 8 是描述根据本发明的实施例利用 RM&D 系统预测交流电机系统剩余寿命的方法的示例的流程图。

图 9 是根据本发明的实施例用于远程预测交流电机系统剩余寿命的示例系统的框图。

场所	100
交流电机系统	110
数据	120
数据存储设备	130
交流条件预测器	140
RM&D 系统	150
操作者通知发生器	160
支持通知发生器	170
系统	900
通信设备	902
系统存储器	904
操作系统	906
浏览器	908
数据结构	910
高速缓存存储器	912
处理单元	914
系统总线	916
输入/输出设备	918

介质	920
监视器	922
硬盘驱动器	924
服务器	926
网络	928
网络接口	930
存储器	932
操作系统	934
数据结构	936
其它文件	938
处理器	942
I/O 设备	944
其它设备	946
硬盘驱动器	948
系统总线	950
网络接口	952

具体实施方式

下面对优选实施例的详细描述参考描述本发明特定实施例的附图。具有不同结构和操作的其它实施例并不背离本发明的范围。

本发明的实施例采取具有从远程位置确定至少一个交流电机系统剩余寿命的技术效果的应用和过程的形式。本发明可应用于在各种应用中使用的交流电机系统，包括：工业生产过程、动力厂过程及其组合。

交流电机系统可包括交流电机以及至少如下之一：传感器、发射机、温度元件等，以及其中可监视交流电机的组合。

远程监视和诊断(RM&D)系统可位于不同于至少一个交流电机系统的位置的场所。RM&D 系统可包括多个无线连接和/或有线连接到

运行交流电机系统的场所的发射机和接收机；并且从该场所接收运行数据。RM&D 系统通常包括多个计算机系统、服务器和软件工具。可操作 RM&D 系统的团队可采用软件工具来远程确定至少一个交流电机系统的运行状态。

RM&D 系统的软件工具可包括，例如但不限于，如下任务的执行。远程监视-它可涉及利用自动和手动技术监视运行数据，允许团队支持场所运行活动。决策支持-它可协助交流电机系统的操作者理解可能发生的操作、过程偏差和不可预见的运行事件情况。决策支持还可提供推荐的故障解决步骤。运行数据存档和检索-存储可被检索的运行数据。运行数据可用于为单元运行比较、开发技术问题检测提供运行记录，并且协助确定不可预见的运行事件的根源。报告-可产生运行评估报告以提供关键工作参数和重大运行事件、趋势和异常的记录。概括该数据以协助性能不足的识别和维护活动的计划。

RM&D 系统可接收对应于至少一个交流电机系统的数据(以下称为运行数据)。交流电机系统可具有对应于传感器、发射机、温度元件等的多个运行指示器，如所述，它们可以是所述交流电机系统的一部分。运行指示器可用于确定交流电机的可靠度。例如但不限于，表示交流电机上的振动级的运行指示器的名字可以是“Vib_1”。对应的运行数据可在规定的时间范围内为 Vib_1 提供值，它可由 RM&D 系统接收。

现在参考附图，其中各种标记表示贯穿各个视图的相似元件，图 1 是描述本发明的实施例运行的环境的示意图。图 1 描述了包含交流电机系统 110 的场所 100；多个运行数据 120；数据存储设备 130；交流条件预测器 140；以及包含操作者通知发生器 160 和支持通知发生器 170 的 RM&D 系统 150。

场所 100 可包括至少一个控制系统等(未描述)，它可从交流电机系统 110 接收多个运行数据 120。多个运行数据 120 可包括对应于热的、化学的、机械的和电气的运行数据的运行指示器；并且可用于评

估交流电机系统 100 的可靠度。

多个运行数据 120 可被发送到至少一个数据存储设备 130，此外它还可收集、处理和存储多个运行数据 120。数据存储设备 130 可近似地位于场所 100。

在本发明的实施例中，数据存储设备 130 可将多个运行数据发送到至少一个交流电机条件预测器 140，它可近似地位于用户场所 100。

交流电机条件预测器 140 可预测交流电机系统 110 的至少一个元件和/或整个交流电机系统 110 的可靠度并估计无故障工作时间。交流电机条件预测器 140 可与至少一个 RM&D 系统 150 结合。

RM&D 系统 150 可设有和/或包括多个规则等。多个规则可检测交流电机系统 110 上部件故障的可能性，例如但不限于，实时地。

根据检测到的问题的本质和严重程度，RM&D 系统 150 可将被确定的问题的细节发送到至少一个操作者通知发生器 160 和/或至少一个支持通知发生器 170。

操作者通知发生器 160 可自动地向交流电机系统 110 的操作者提供问题通知。在本发明的实施例中，通知可提供至少一个用于解决问题的建议。

支持通知发生器 170 可自动地向第三方支持系统提供被发现的问题的细节。在这里，例如但不限于，如果 RM&D 系统 150 确定该问题需要专家参与，则可接触第三方支持系统。

在继续本发明的 RM&D 系统 150 的实施例的论述之前，下一步给出交流电机条件预测器 140 的实施例的论述。

工业和发电的电机通常配备和安装有运行指示器从而指示运行条件，目的是了解运行指示器数据的趋势并计划维护程序。运行指示器可配置成提供电动机的在线和/或离线测试。在线测试比起离线测试具有优势，因为易于数据获取和能够避免电动机停机。用于在线测试的运行指示器配置成获取交流电机 110 的工作参数。运行指示器可包括，例如但不限于，电压、电流、相位、频率、总振幅、转矩和转差

率(slip)。

设计了一种方法用于根据包括运行参数的传感器输入来远程预测电动机中的故障模式和剩余寿命。该方法可引入用于传感器输入的概率分析的检查信息和工业标准数据的大型数据库，还可引入因果网络，它利用模糊逻辑把各种输入与可能的结果相联系。

工程系统分析已被成功应用于诸如电子设备的相关领域中的可靠度计算。在系统的各部件上收集到故障的平均时间(MTTF)数据。然后设计者根据可靠度框图来计算系统可靠度并产生整个系统的可靠度分布 R 。 R 的相关性是系统个体参数 λ 的函数，如下所述：

$$R = f(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$$

每一个个体参数 λ 都描述了系统中对应部件的故障率。系统的每个部件都经历了可以“浴盆”曲线形式被描述的有用的寿命，参见图2。

如果多个部件的故障率是独立的，则可用相乘的关系来计算系统可靠度：

$$p(\lambda) = \prod_{i=1}^k f(\lambda_i)$$

否则，需要对联合的、相关的概率密度函数(pdf)进行仿真。方法随机地对联合的 pdf 进行采样，计算它运转(runs)的可靠度，然后根据运转的累积创建总的可靠度分布函数。部件寿命根据概率密度函数分布，并可采取指数、对数正态或威布尔分布的形式。由于具有形状和尺度参数 β 和 η 的灵活的分布形状，威布尔分布是最有用的，其中 (t) 是时间范围：

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}}$$

通过形状和尺度参数 β 和 η 描述的用于个体威布尔分布的数据可从数据库提取，该数据库从各种部件的类别的根源故障进行编辑。通过影响诸如 Arrhenius 等式的关系，指示器可用于促进威布尔分布的

尺度 η_f 。利用 Arrhenius 等式的加速因子 (Af) 被给出为:

$$Af = \exp(\text{actE}/V_n - \text{actE}/V_a)$$

这里激活能 (actE) 可被设为 0.1, V_n 可被恒定地设为 1, 并且

$$V_a = 1/E[\text{指示器}]$$

这里函数 E 用于随时间合计指示器的数目和持续时间。在本发明的实施例中, 回归可在先前历史数据之上进行。然而当未给出函数 E 时, 其它方法, 诸如但不限于, 随时间而降低指示器的效果的衰减模型。当有足够的故障数据使用时, 激活能和 V_n 常量可被重校准。当没有数据用于预测故障时, 则加速因子 (Af) 可被设为 1。加速因子在寿命计算中将尺度参数减少到:

$$\eta_f = \eta / Af$$

因为简单, 该方法可用于加速寿命计算。然而, 其它方法可用于加速寿命计算等式。

电机可靠度的条件概率 $f(A(t)|B(t))$ 通过系统现场数据的收集来确定。一般来说, 条件概率是指假定事件 A 已经发生时事件 B 发生的概率。现场数据的收集, 例如但不限于, 通过数据收集的在线或离线方法被实现。当创建因果网络评估时 (例如但不限于其中的模糊模型), 可使用条件概率。

图 3 是描述可促使电机系统故障的示例性的电气的、机械的、环境的和系统的问题的鱼骨图。图 3 所示鱼骨图描述了一个考虑可引起或促使整个电机系统故障的各种因素和部件故障模式的系统故障树分析的示例。历史上引起电动机系统或发电机意外跳闸到离线 (即, 系统操作上的关机) 的已知部件故障模式和其它原因/因素在一个或多个原因相关的子类别中列出。

子类别还根据更一般的故障问题级别/类别进行组织, 例如但不限于, 这些故障问题级别/类别指示故障原因是否与系统的、环境的、电气的或机械的问题相关。通常, 在系统故障树分析中使用的各种部件故障模式和故障原因开发来自或根据历史经验数据、测试和在合理的

时段内从多个电机系统收集的观察值。

图 4 是描述根据本发明的实施例条件预测器 140 利用的方法 400 的高层流程图。图 4 还描述了可与 RM&D 系统 150 结合的条件预测器 140 的示例实施例。

方法 400 最初涉及在步骤 401 接收并组织历史电机修理数据到数据库中。在步骤 401 获取的历史电机修理数据对应于相同的或相似的电机系统。在步骤 403, 更新和清理数据库以便移除任何错误或不相关的数据。在步骤 405, 执行数据质量检查和清理。

如果方法 400 在步骤 405 确定数据质量是可接受的, 则在步骤 407, 可根据与电气的、机械的、环境的和系统的故障问题/故障模式的各部分总体对应的可靠度分布的组合对交流电机系统 110 执行至少一次故障分析; 然后方法 400 可进入步骤 412, 在那里可执行如上所述的利用因果网络评估所识别参数的可靠度估计。

如果在步骤 405 执行的数据质量检查和清理已经发现了错误, 则方法 400 可进入步骤 409。在步骤 409, 不满足预定质量标准的任何数据都可从当前分析中的使用排除。

在步骤 410, 方法 400 可确定是否可修正被排除的数据的问题源。如果被排除的数据的问题源可被修正, 则方法 400 可进入步骤 411; 否则方法 400 可进入步骤 415。在步骤 411, 方法 400 可执行至少一个纠正行动以修正被排除的数据的问题源。在步骤 415, 方法 400 可向用户提供被排除的数据的问题或错误的通知等。

执行步骤 401-407 的同时, 方法 400 还可执行一系列并发的步骤 402-408。在步骤 402, 方法 400 可从要对其可靠度和无故障工作时间进行评估的交流电机系统 110 的运行指示器实时地监视和获取当前的运行数据 120。当前的运行指示器数据 120 还可在步骤 402 的其它数据库中被编辑(或集成到历史数据库)以及不断地更新。

在步骤 404, 方法 400 可设置传感器界限并将这些界限装载到数据库中。用于特定交流电机 110 运行指示器的特定数据范围和界限或

计算的量度也可在数据中被设置和监视并用以, 例如但不限于, 在步骤 404 当合适时触发通知/报警条件。

类似于步骤 405, 方法 400 还可在步骤 406 执行数据质量检查和清理。如果步骤 406 确定数据满足预定的质量标准, 则方法 400 可进入步骤 408; 如上所述, 否则方法 400 可进入步骤 409, 并由此在步骤 409 被执行后, 方法 400 随后可转到步骤 402。

在步骤 408, 方法 400 可提供至少一个因果网络, 它可评估交流电机系统 110 的部件的条件。因果网络可形成用于开发故障模式的至少一个条件。

在步骤 412, 方法 400 可利用步骤 408 的因果网络评估所识别的参数来估计可靠度。这里, 方法 400 可结合/合并历史数据产生的可靠度分析结果, 纠正步骤 408 的因果网络评估产生的结果, 然后形成故障之前时间剩余的统计可靠度预测。步骤 412 可执行与前述相似的方法; 结合步骤 407 产生的而不是步骤 408 产生的数据。

在本发明的实施例中, 方法 400 的实现可包括计算因果网络所识别的交流电机系统 110 和/或设备部件的威布尔可靠度参数的最大似然估计(MLE)。

在步骤 414, 方法 400 可允许用户观察上述分析的结果。计算得到的系统可靠度和故障之前时间剩余的统计估计可利用传统的计算机输入/输出接口/显示设备进行显示。在本发明的实施例中, 故障之前的时间剩余和计算得到的可靠度利用诸如但不限于滚动条图形和改变数据计程仪等的动态图形图像进行显示。

一般来说, 可避免各种数据验证和校准步骤(例如 405 和 406), 但是, 它们的使用可改进故障分析以及形成可靠度的统计预测所依赖的因果网络。

图 5 是描述方法 500 的详细流程图, 与根据本发明的实施例在图 4 中的方法 400 类似。图 5 提供了描述方法 500 的详细程序流程图, 它用于计算电机可靠度并预测可被条件预测器 140 使用并可与 RM&D

系统 150 结合的到下次修理(或故障)的时间。

在步骤 501, 方法 500 可识别交流电机系统 110 类型的历史数据来源。在步骤 501, 例如但不限于, 可识别在一个时段内获取的用于正被评估的交流电机系统 110 类型的历史测试数据和/或故障分析记录并可编辑部分/部件故障率数据的历史数据库。RM&D 系统 150 可维护历史数据库并且可执行电机可靠度计算。历史数据库还可由至少一个手动数据传输装置更新, 例如但不限于, 利用可移动存储介质(如 CD ROM、紧凑式闪存(compact flash)等)。

步骤 502 直到 51 的方法 500 可表示为了实现结构化以及合并之后可用于可靠度计算的历史电机数据而执行的一般数据预处理步骤。在步骤 502, 方法 500 可执行数据评估以确定步骤 501 中接收的数据的缺乏和质量。在步骤 503, 如果从多个源获取数据, 则方法 500 可综合这些数据。下一步, 在步骤 504, 方法 500 可结构化数据以便分析引擎使用。下一步, 在步骤 505, 方法 500 可将数据划分为验证和校准类型的数据。下一步, 在步骤 506, 方法 500 可创建用于交流电机系统 110 部件的系统故障树库。下一步, 在步骤 507, 方法 500 可创建系统故障模式(诸如但不限于, 可靠度框图)。下一步, 在步骤 508, 方法 500 可使故障/寿命范围概率模型适于历史数据(例如但不限于, 利用概率分布等)。下一步, 在步骤 509, 方法 500 可创建多个库, 诸如但不限于, 故障模式和影响分析(FMEA)库以识别共有的故障模式。下一步, 在步骤 510, 方法 500 可创建直接(directed)原因参考模型、网络等; 诸如但不限于, 模糊逻辑。模型可用于计算电机部件老化的条件概率。下一步, 在步骤 51, 方法 500 可根据因果网络中的模型选择用于收集的数据变量。

方法 500 的步骤 512 直到 514, 描述了用于将交流电机系统 110 分割成部件并在因果网络中建立相关性的程序步骤。例如但不限于, 在步骤 512 可确定机器部件模型的系统层次; 在步骤 513 组装条件概率量度的结构化系统; 以及在步骤 514 可随后提取包括共变/条件相关

性的假设系统模型。

下一步，在步骤 515 和 516，步骤 512-514 中论述的系统模型可相关于所研究的交流电机系统 110 来适当地校准。例如但不限于，系统模型可在步骤 515 利用来自概率分布的数据进行校准；然后在步骤 516 利用来自概率分布的数据进行验证。

在步骤 517，方法 500 可开始收集数据。步骤 517 可表示从运行指示器收集现场数据的程序阶段的起始，运行指示器可被附加到分析中的交流电机系统 110。在该点，当前的运行/测试数据可在分析中的特定交流电机系统 110 上获得并被发送到可执行分析的 RM&D 系统 150。该现场数据可从场所 100 处交流电机系统 110 的运行指示器或其它传统装置进行收集。

在步骤 518，方法 500 可设置阈值和监视数据。在步骤 518，可创建/建立交流电机系统 110 的阈值和报警界限，并且可监视来自电机系统的现场数据。如果超过阈值或报警界限，则实时反馈的某些形式，诸如但不限于，报警通知可立即被提供。

在步骤 519，方法 500 可预测交流电机系统 110 的当前状态。如步骤 519 所述，交流电机系统 110 的“状态”可根据因果网络、步骤 518 中获取的阈值以及监视数据进行预测。

在步骤 520，方法 500 可利用系统模型预测各种交流电机系统 110 部件的期望无故障工作时间。步骤 520 还可确定所预测故障的原因。在本发明的实施例中，系统模型还可预测，例如但不限于，共变/条件相关性。

下一步，如步骤 521 和 522 所述，可到达判定点，在此 RM&D 系统 150 的操作者可能需要评估：报警条件；评估模型性能；和/或决定是否推荐部件的修理和替换。如果在步骤 521 操作者确定评估的模型性能产生了错误，则方法 500 可进入步骤 524；否则方法 500 可进入步骤 522。在步骤 522，方法 500 可根据分析确定维护计划。这里，例如但不限于，操作者可开发维护计划。

下一步,步骤 523 和 524 描述进一步的步骤,它们可用来改进因果网络的预测能力并优化可靠度模型。在步骤 523,方法 500 可通过获取的数据更新历史数据库,演化并优化模型以增加准确性。在步骤 524,方法 500 可确定是否需要进一步的分析。在步骤 524,如果操作者确定系统模型可能是不准确或不实际的,则整个方法 500 可能被重新启动。如果操作者确定方法 500 需要被重新启动,则方法 500 可返回步骤 501;否则方法 500 终止。

图 6 是描述根据本发明的实施例配置成获取现场数据的传感器的示意图。图 7 是由图 6 中传感器测量的泄漏电流的波形图。传感器可以是“tan delta”传感器组件 600。Tan delta 传感器组件 600 可用于从交流机器 602 获取现场数据,交流机器 602 包括,例如但不限于,电机或发生器。尽管交流机器 602 可以是发生器,下面的描述涉及可在交流电机系统 110 中的交流机器 602。交流机器 602 包括三相绕组:第一相绕组 603、第二相绕组 604 和第三相绕组 605。相位电压可应用于第一、第二和第三相绕组 603、604 和 605 中的每一个,分别通过相应的第一输入终端 606、第二输入终端 607 和第三输入终端 608。第一、第二和第三相绕组 603、604 和 605 中每一个的输出终端都可被连结到公共或中立节点(neutral node)610。

tan delta 传感器组件 600 可布置在交流机器 602 最近处以测量泄漏电流。Tan delta 传感器包括第一电流变换器 620、第二电流变换器 622 和第三电流变换器 624。第一、第二和第三电流变换器 620、622 和 624 可以是,例如但不限于,差分电流变换器。第一、第二和第三电流变换器 620、622 和 624 是环形或环状的电流变换器,它们布置在交流机器 602 最近处从而使携带源电流和返回电流的导体经过每个环形电流变换器 620、622 和 624 的中心部分。由于第一、第二和第三电流变换器 620、622 和 624 的设置,源电流和返回电流倾向于彼此对消。这样,第一、第二和第三电流变换器 620、622 和 624 测量源电流和返回电流之间的差异。源电流和返回电流之间的差异可以是

泄漏电流。

如图 7 所示,可测量泄漏电流的相位和幅度。可描述特定的相位电压或参考电压 V 。也可描述各种泄漏电流。每个泄漏电流对应于特定的绕组电阻值。泄漏电流幅度的变化可指示正检查的相绕组电阻值的变化。相移作为泄漏电流波形的时间上的移动也是可见的。相移指示正检查的相绕组阻抗值的变化。由于绕组绝缘随时间衰竭,相应的泄漏电流的相位和幅度变化通过利用 $\tan \delta$ 传感器组件 600 是能够检测的。利用确定电机可靠度的方法,历史泄漏电流数据可与当前的泄漏电流数据进行比较,如图 4 和图 5 所述,从而辅助预测由热的、电子的、环境的和机械的应力所引起的绝缘击穿。

可以理解,本发明可被实现为方法、系统或计算机程序产品。相应地,本发明可采取一般称为“电路”、“模块”或“系统”的全部硬件实施例,全部软件实施例(包括固件、常驻软件、微代码等)或结合软件和硬件方面的实施例的形式。此外,本发明可采取在具有在其中实现计算机可用程序代码的计算机可用存储介质上的计算机程序产品的形式。

可利用任意合适的计算机可读介质。计算机可用或计算机可读介质可以是,例如但不限于,电子的、磁的、光学的、电磁的、红外线的或半导体的系统、仪器、设备或传播介质。更多计算机可读介质的具体示例(非穷举的清单)将包括如下:具有一个或多个电线的电气连接、便携式计算机磁碟、硬盘、随机访问存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦除可编程只读存储器(EPROM 或闪存)、光纤、便携式压缩磁盘只读存储器(CD-ROM)、光存储设备、诸如那些支持因特网或内联网的传输介质,或磁存储设备。注意计算机可用或计算机可读介质甚至可以是程序可打印在上面的纸张或其它合适的介质,因为程序可通过例如纸张或其它介质的光学扫描被电子捕获,然后被编辑、解释,或者如果需要以合适的方式进行处理,然后存储在计算机存储器中。在本文的上下文中,计算机可用或计算机可读介质可以是包含、

存储、传递、传播或传输程序的任意介质，程序由指令执行系统、仪器或设备使用或与它们相连接。

用于执行本发明操作的计算机程序代码可用面向对象的编程语言，诸如 Java7、Smalltalk 或 C++等编写。然而，用于执行本发明操作的计算机程序代码也可用传统的过程编程语言诸如“C”编程语言或类似的语言编写。程序代码可全部在用户计算机上、部分在用户计算机上、作为独立软件包、部分在用户计算机且部分在远程计算机上或全部在远程计算机上执行。在后面的场景中，远程计算机可通过局域网(LAN)或广域网(WAN)连接到用户计算机，或者该连接可到外围计算机(例如但不限于，通过利用因特网服务提供商的因特网)。

下面结合根据本发明实施例的方法、仪器(系统)和计算机程序产品的流程图描述和/或框图对本发明进行描述。可以理解，流程图描述和/或框图的每一块以及流程图描述和/或框图的块的组合可通过计算机程序指令实现。这些计算机程序指令可提供给公共计算机、专用计算机或其它可编程数据处理仪器的处理器以产生机器，从而使通过计算机或其它可编程数据处理仪器执行的指令创建用于实现在流程图和/或框图块中指定的函数/行为的装置。

这些计算机程序指令还可存储在计算机可读存储器中，计算机可读存储器可指引计算机或其它可编程数据处理仪器以特定的方式起作用，从而使存储在计算机可读存储器中的指令产生一件制品，该制品包括实现在流程图和/或框图块中定义的函数/行为的指令装置。计算机程序指令还可被装载到计算机或其它可编程数据处理仪器以引起要在计算机或其它可编程仪器上执行的一系列操作步骤以便产生计算机实现的过程，从而使在计算机或其它可编程仪器上执行的指令提供用于实现在流程图和/或框图块中定义的函数/行为的步骤。

图 8 是描述根据本发明的实施例远程预测交流电机系统剩余寿命的方法 800 的示例的流程图。方法 800 可将 RM&D 系统 150 与交流电机条件预测器 140 结合。

在步骤 810, 方法 800 可从至少一个交流电机系统 110(图 1 所示)接收多个运行数据 120。本发明的实施例可允许从位于场所 100 的多个交流电机系统 110 接收多个运行数据 120。例如但不限于, 在步骤 810, 方法 800 可从耦合到工业过程的交流电机系统 110 接收多个运行数据 120; 交流电机系统 110 用在分布式系统中; 并且交流电机系统 110 用在发电系统中; 或其组合。

多个运行数据 120 可以不同的采样率等接收, 诸如但不限制本发明, 每秒一个数据点(1/sec)或每 30 秒一个数据点(1/30 sec)。通常在交流电机系统 110 的运行期间, 某些运行数据点可用于监视的目的, 而其它运行数据点可用于控制或要求较高采样率的其它目的。这里, 为了储备可用于存储运行数据 120 的存储空间, 用于监视的运行数据点可以较低的采样率进行接收, 诸如 1/30 sec。此外, 用于控制的运行数据点可以较高的采样率进行接收, 诸如 1/sec。例如但不限于, 用于监视振动级的运行数据点可以较慢的采样率进行接收, 诸如 1/10sec; 以及用于控制定子温度的运行数据点可以较高的采样率进行接收, 诸如 1/sec。

在步骤 810 接收的多个运行数据 120 可被发送到至少一个数据存储设备 130。本发明的实施例可容许多个数据存储设备 130。例如但不限于, 单独的数据存储设备 130 可被指派用于场所 100 上的每一个交流电机系统 110。数据存储设备 130 可近似地位于场所 100。

正如所论述的, 交流电机系统 110 可包括至少一个控制系统等, 它通常接收多个运行数据 120。在步骤 830, 方法 800 可与交流电机条件预测器 140 结合, 交流电机条件预测器 140 可将至少一个分析引擎应用于对应于运行指示器的多个运行数据。正如所论述的, 交流电机条件预测器 140 可实时地预测交流电机系统 110 的至少一个部件和/或整个交流电机系统 110 的可靠度和故障之前剩余时间。该评估可确定至少一个运行指示器是否在规定的范围内。正如所论述的, 运行指示器可包括, 例如但不限于: 振动级、定子温度、电流泄漏数据, 以

及其它可直接或间接用于估计交流电机系统 110 的热、化学、机械和电子特性的数据。

在本发明的实施例中，用户，例如但不限于操作者、支持专家等，可选择多个运行数据 120 中的哪一个可与运行指示器关联。例如但不限于，操作者可选择定子温度的信号名(STEMP 等)作为运行指示器。这里，在步骤 830，方法 800 可将至少一个交流电机条件预测器 140 应用于与 STEMP 信号对应的多个运行数据 120。在步骤 830，方法 800 还可将多个运行数据 120 发送到至少一个数据存储设备 130。

在步骤 840，方法 800 可确定多个规则中的至少一个规则是否被满足。多个规则中的每一个规则可与特定的可靠度相关问题关联。例如但不限于，规则可与 STEMP 信号关联。这里，如果 STEMP 信号不在规定的范围内，则规则可被满足。本发明的实施例可允许第三方支持专家等规定或修改多个规则中的每一个规则。本发明的备选实施例可提供给交流电机系统 110 的操作者以限定或修改多个规则中的每一个规则。本发明的实施例可利用至少一个数学引擎等确定运行指示器是否可在规定的范围内。数学引擎还可执行多个统计测试，包括：正态性测试(normality testing)；SPC 规则等；置信区间等。如果至少一个规则在步骤 840 被满足，则方法 800 可进入步骤 850，否则方法 800 返回步骤 810。

在步骤 850，方法 800 可确定是否需要至少一个操作者通知。操作者通知可警告发电厂机器 110 的操作者潜在性能问题。本发明的实施例可允许发电厂机器 110 的操作者选择多个规则中的哪一个如果被满足需要立即的通知。当监视规则相关的特定运行指示器时，该特征可能是非常有用的。例如但不限于，如果 STEMP 信号与满足的规则相关，则方法 800 可自动产生通知。如果需要至少一个操作者通知，则方法 800 可进入步骤 860，否则方法 800 进入步骤 870。

在步骤 860，方法 800 可自动产生潜在可靠度问题的操作者通知。操作者通知可告知交流电机系统电源 110 的操作者关于潜在可靠度

问题的多个运行条件。操作者通知还可提供用于研究可靠度问题的建议。例如但不限于，告知操作者关于 STEMP 信号问题的操作者通知可提供如何确定问题是否可能是 STEMP 信号相关的问题或交流电机系统 110 的定子内的纯粹的温度问题的建议。

在步骤 870，方法 800 可自动将潜在的可靠度问题通知给支持系统。支持系统可包括交流电机专家和/或交流电机系统的其它熟悉者。专家可分析多个运行数据 120 和交流条件预测器 140 产生的结果，从而确认交流电机系统 110 部件的可靠度问题和故障之前剩余时间。支持系统可以是交流电机系统 110 的操作者订阅的第三方服务。例如但不限于，支持系统可由原始设备制造商(OEM)等提供。

图 9 是根据本发明的实施例用于远程预测交流电机系统 110 剩余寿命的示例系统 900 的框图。方法 800 的元件可在系统 900 中实现并由其执行。系统 900 可包括一个或多个用户或客户通信设备 902 或类似的系统或设备(两个在图 9 中描述)。每个通信设备 902 可以是，例如但不限于，计算机系统、个人数字助理、移动电话或能够发送和接收电子消息的类似设备。

通信设备 902 可包括系统存储器 904 或本地文件系统。系统存储器 904 可包括，例如但不限于，只读存储器(ROM)和随机访问存储器(RAM)。ROM 可包括基本输入/输出系统(BIOS)。BIOS 可包括帮助在通信设备 902 的元件或部件之间传输信息的基本程序。系统存储器 904 可包含操作系统 906 以控制通信设备 902 的全部运行。系统存储器 904 还包括浏览器 908 或 web 浏览器。系统存储器 904 还包括数据结构 910 或计算机可执行代码，以远程预测可与图 8 中方法 800 的元件相似或包括其元件的交流电机系统 110 的剩余寿命。

系统存储器 904 还可包括模板高速缓冲存储器(template cache memory) 912，它可与图 8 中的方法 800 结合用于远程预测交流电机系统 110 的剩余寿命。

通信设备 902 还包括处理器或处理单元 914，以控制通信设备 902

其它部件的运行。操作系统 906、浏览器 908 和数据结构 910 在处理单元 914 上是可操作的。处理单元 914 可通过系统总线 916 耦合到存储器系统 904 和通信设备 902 的其它部件上。

通信设备 902 还包括多端输入设备、输出设备(I/O)或输入/输出组合设备 918。每个输入/输出设备 918 可通过输入/输出接口(图 9 中未示出)耦合到系统总线 916。输入和输出设备或组合 I/O 设备 918 允许用户操作和接口至(interface with)通信设备 902, 并且允许用户控制浏览器 908 和数据结构 910 的运行, 以便访问、操作和控制远程预测交流电机系统 110 的剩余寿命的软件。I/O 设备 918 可包括键盘和计算机定点设备等以执行这里论述的操作。

I/O 设备 918 还包括, 例如但不限于, 磁盘驱动器、光的、机械的、磁的、或红外线输入/输出的设备、调制解调器等。I/O 设备 918 可用于访问存储介质(920)。介质 920 可包括、存储、传递或传输计算机可读或计算机可执行指令或其它由系统使用或与系统结合的信息, 诸如通信设备 902。

通信设备 902 还可包括或连接到其它设备, 诸如显示器或监视器 922。监视器 922 可允许用户接口至通信设备 902。

通信设备 902 还可包括硬盘驱动器 924。硬盘驱动器 924 可通过硬盘驱动器接口(图 9 中未示出)耦合到系统总线 916。硬盘驱动器 924 还可形成本地文件系统或系统存储器 904 的部分。程序、软件和数据可为了通信设备 902 的运行而在系统存储器 904 和硬盘驱动器 924 之间传输和交换。

通信设备 902 可与远程服务器 926 通信并可通过网络 928 访问其它服务器或其它与通信设备 902 相似的通信设备。系统总线 916 可通过网络接口 930 耦合到网络 928。网络接口 930 可以是用于耦合到网络 928 的调制解调器、以太网卡、路由器、网关等。耦合可以是有线或无线连接。网络 928 可以是因特网、专用网络、内联网等。

服务器 926 还可包括系统存储器 932, 系统存储器 932 可包括文

件系统、ROM、RAM等。系统存储器932可包括与通信设备902中的操作系统906类似的操作系统934。系统存储器932可包括数据结构936，以远程预测交流电机系统110的剩余寿命。数据结构(936)可包括相关用于远程预测交流电机系统110的剩余寿命的方法800来描述的那些操作类似的操作。服务器系统存储器932还可包括其它文件938、应用、模块等。

服务器926还可包括处理器942或处理单元以控制服务器926中其它设备的运行。服务器926还可包括I/O设备944。I/O设备944可类似于通信设备902的I/O设备918。服务器926还可包括其它设备946，诸如监视器等以提供接口还有I/O设备944给服务器926。服务器926还可包括硬盘驱动器948。系统总线950可连接服务器926的不同部件。网络接口952可通过系统总线950将服务器926耦合到网络928。

图中的流程图和步骤表描述了根据本发明的各种实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的架构、功能和操作。在这点上，流程图或步骤表中的每一步都可表示包括一个或多个用于实现特定逻辑功能的可执行指令的模块、分段或代码部分。还应该注意到，在某些备选实施中，步骤中指出的功能可不以图中指出的顺序发生。例如，连续示出的两个步骤其实本质上可同时执行，或者根据所涉及的功能有时步骤可以相反的顺序执行。还应该注意到，步骤表和/或流程图描述中的每一步以及步骤表和/或流程图描述中的步骤的组合都可由特定目的基于硬件的系统实现，它们执行特定的功能或行为，或特定目的硬件和计算机指令的组合。

这里使用的术语仅是为了描述特定的实施例，并不旨在限制本发明。如这里所使用的，单数形式“一(a、an)”和“该(the)”也旨在包括复数形式，除非文中清晰的指示。还可以理解，当用在详细说明中时，术语“包含”和/或“包括”规定了所述特征、整体(integers)、步骤、操作、元件和/或部件的出现，但不排除一个或多个其它特征、整

体、步骤、操作、元件、部件和/或其组合的出现。

尽管这里已描述和解释了特定的实施例，应该理解，打算用于实现相同目标的任意设置对应示出的特定实施例可被替换并且本发明在其它环境中还有其它的应用。本申请旨在覆盖本发明的任意的调整或变型。下面的权利要求决不旨在将本发明的范围限制为这里描述的特定实施例。

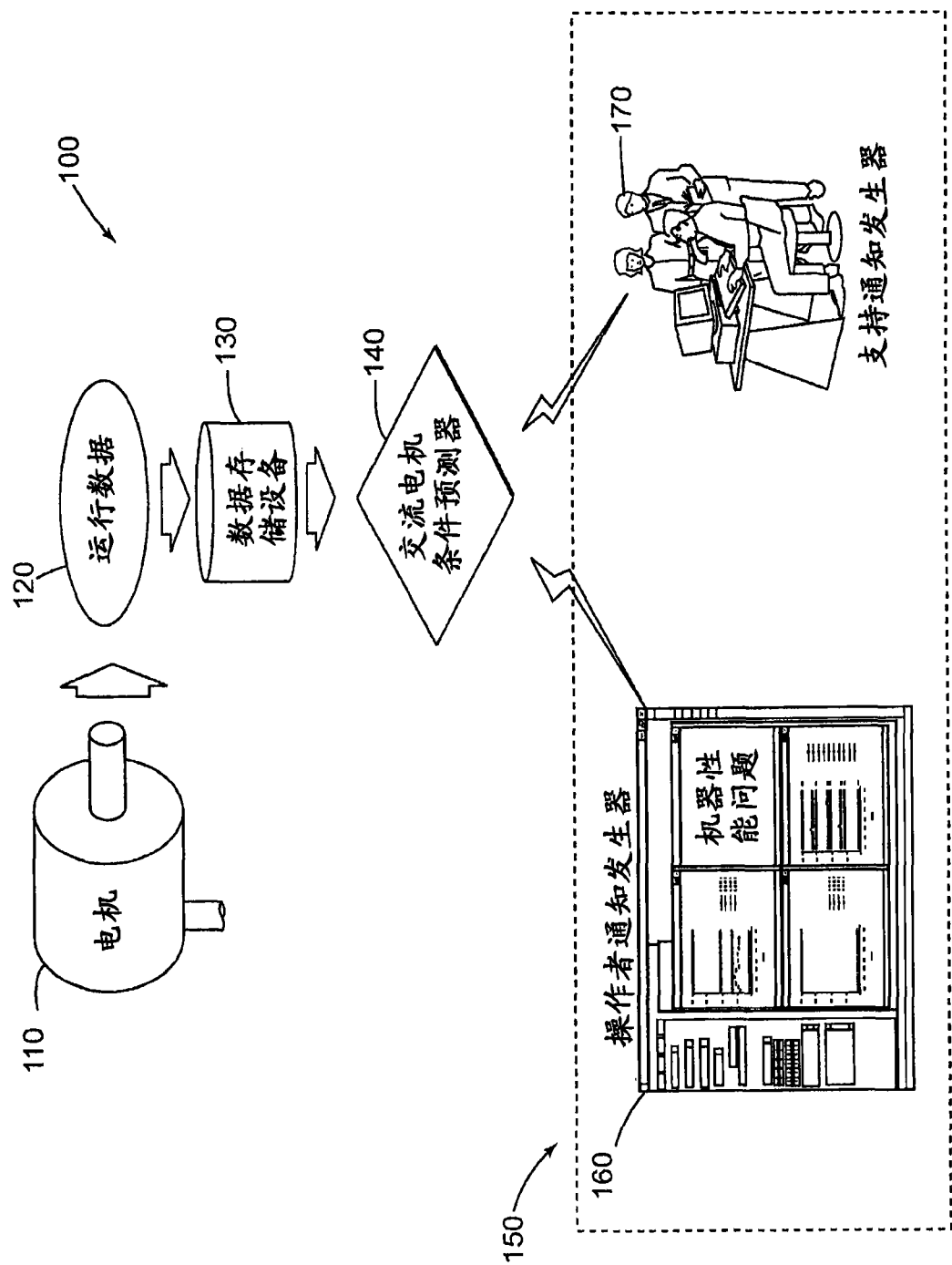


图 1

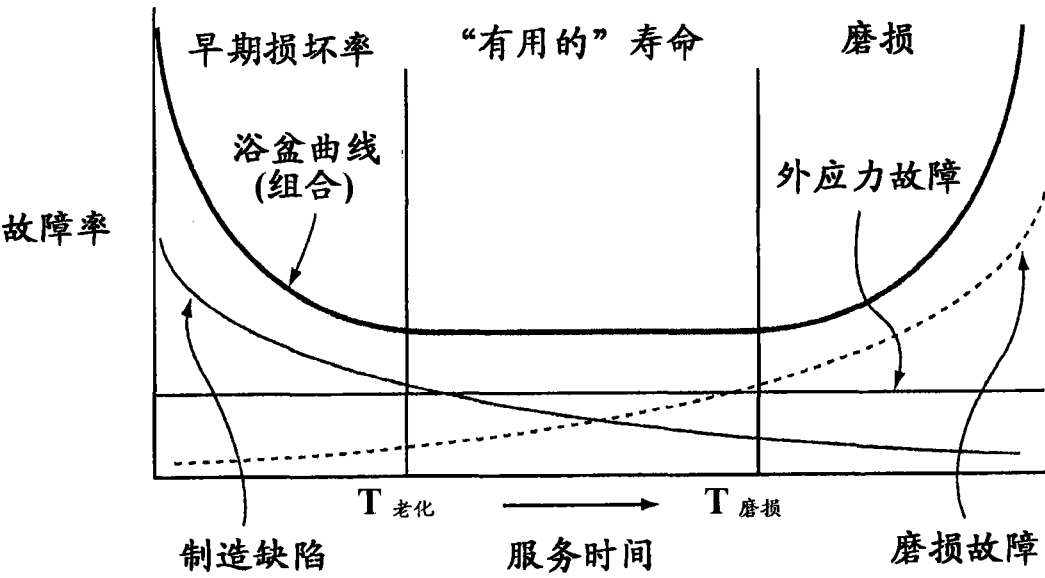


图 2

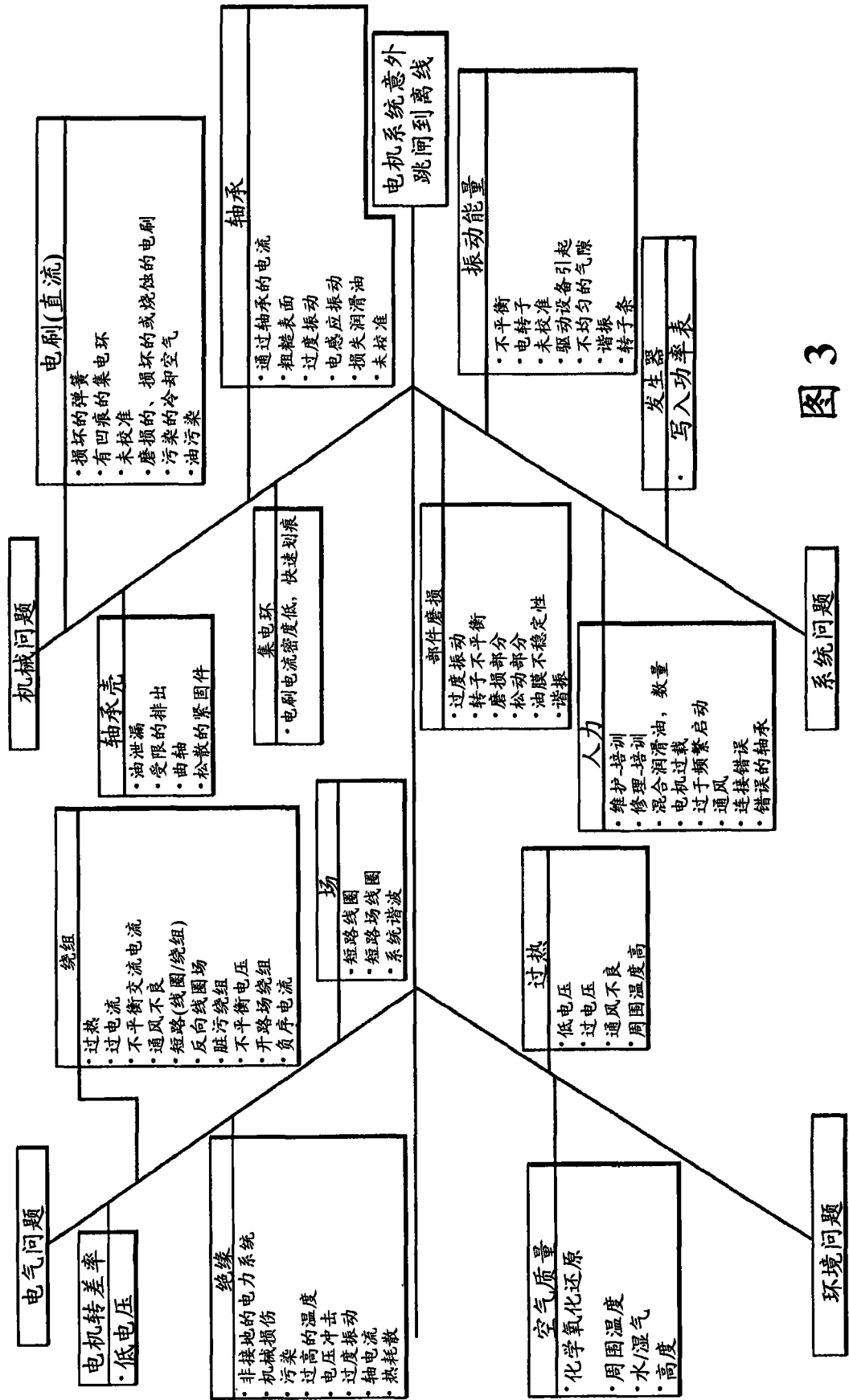


图 3

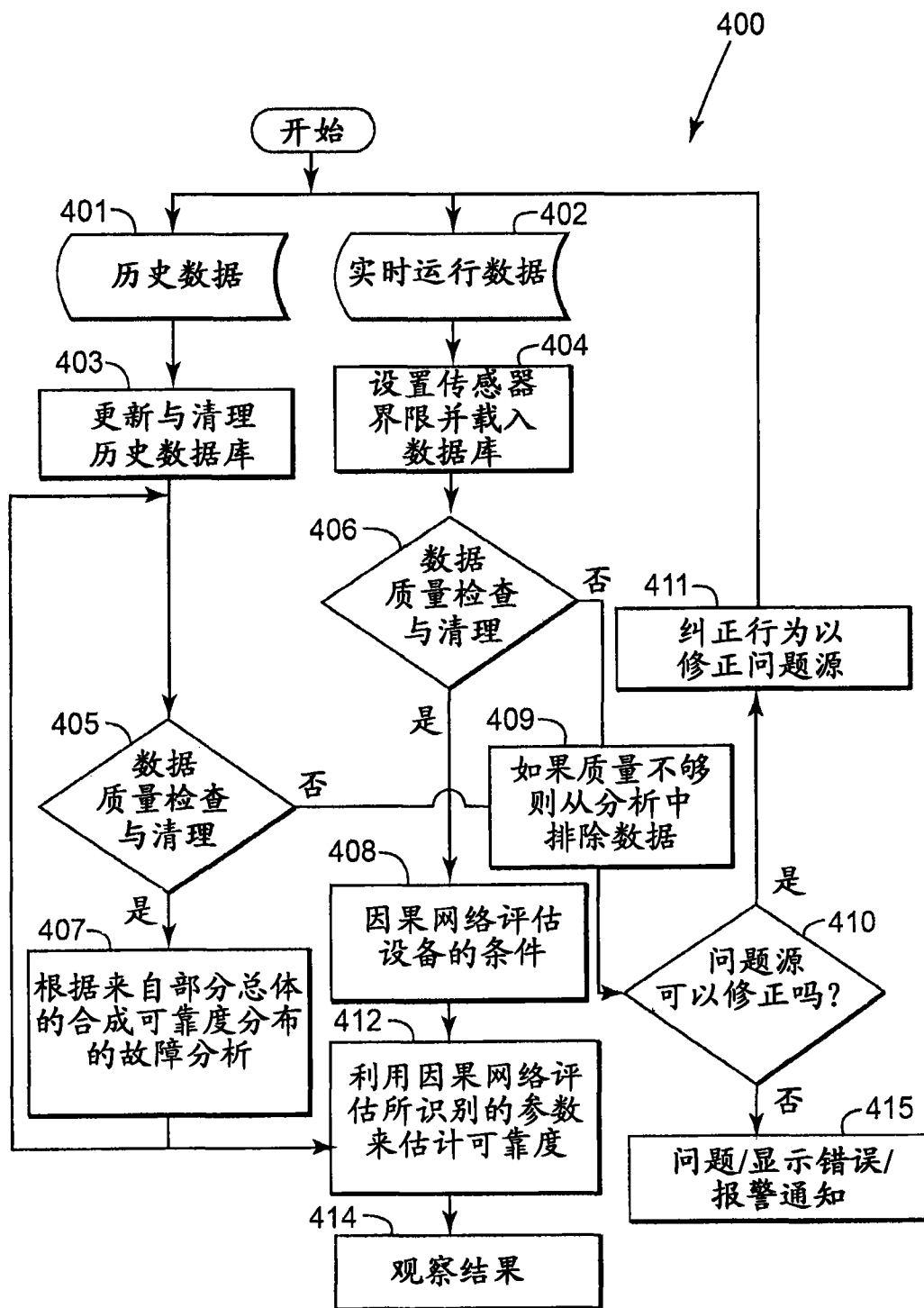


图 4

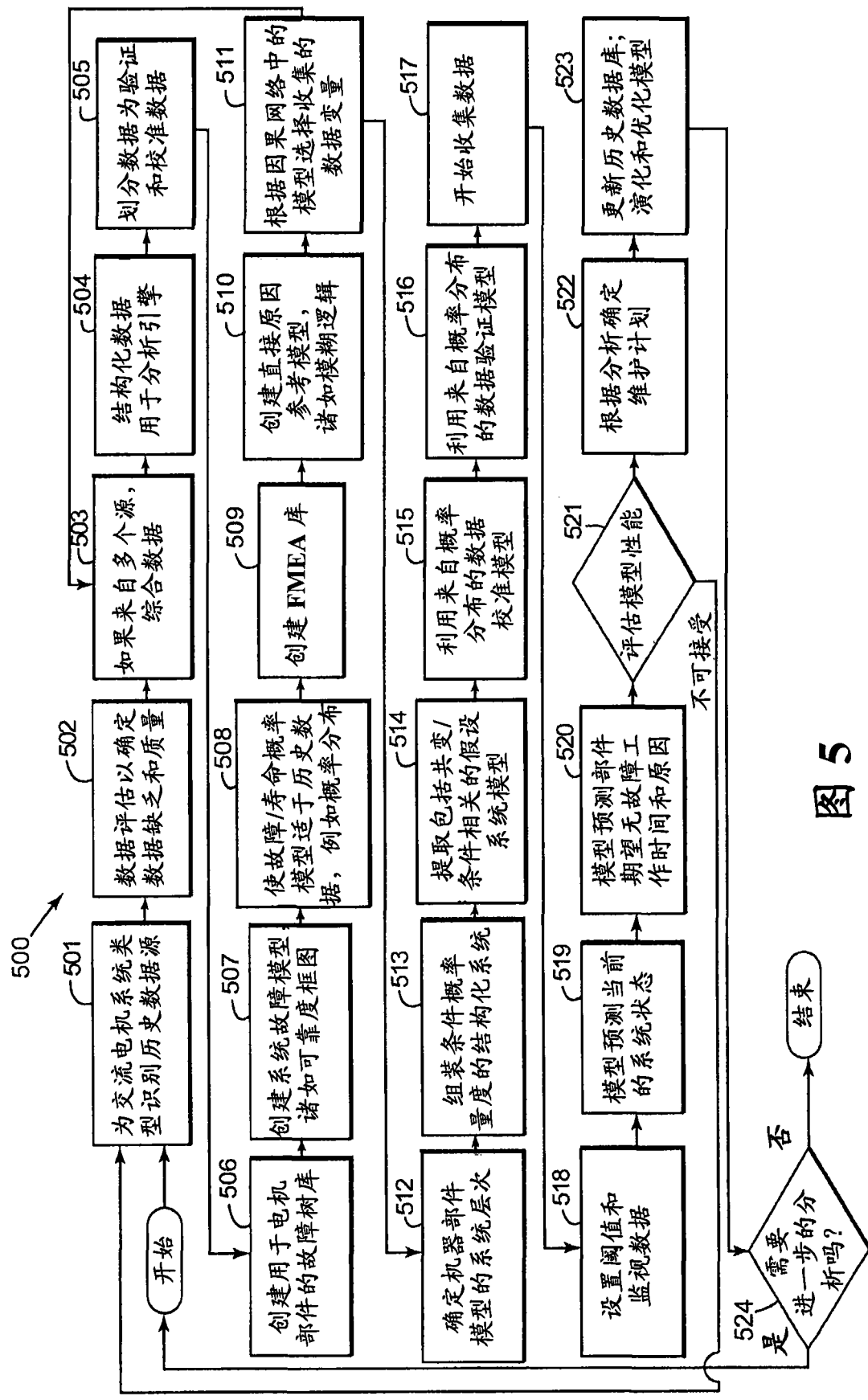


图 5

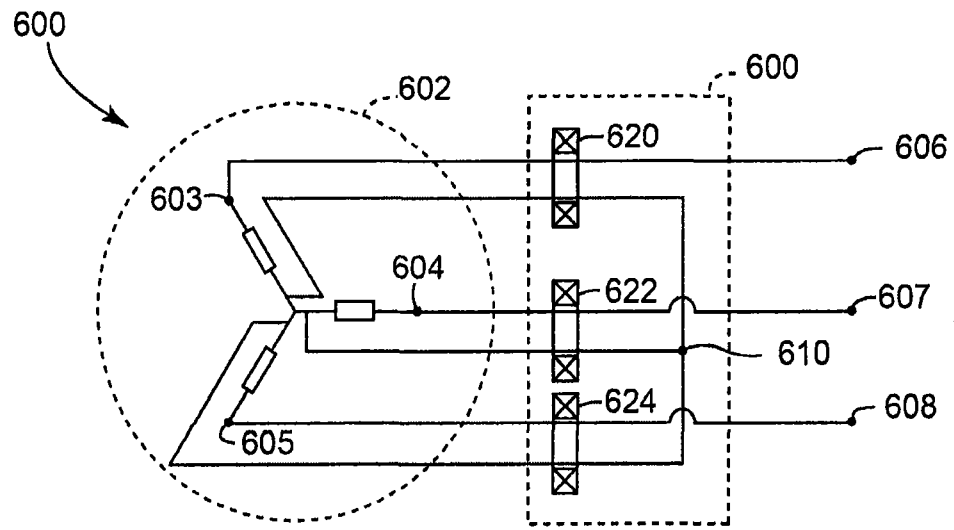


图 6

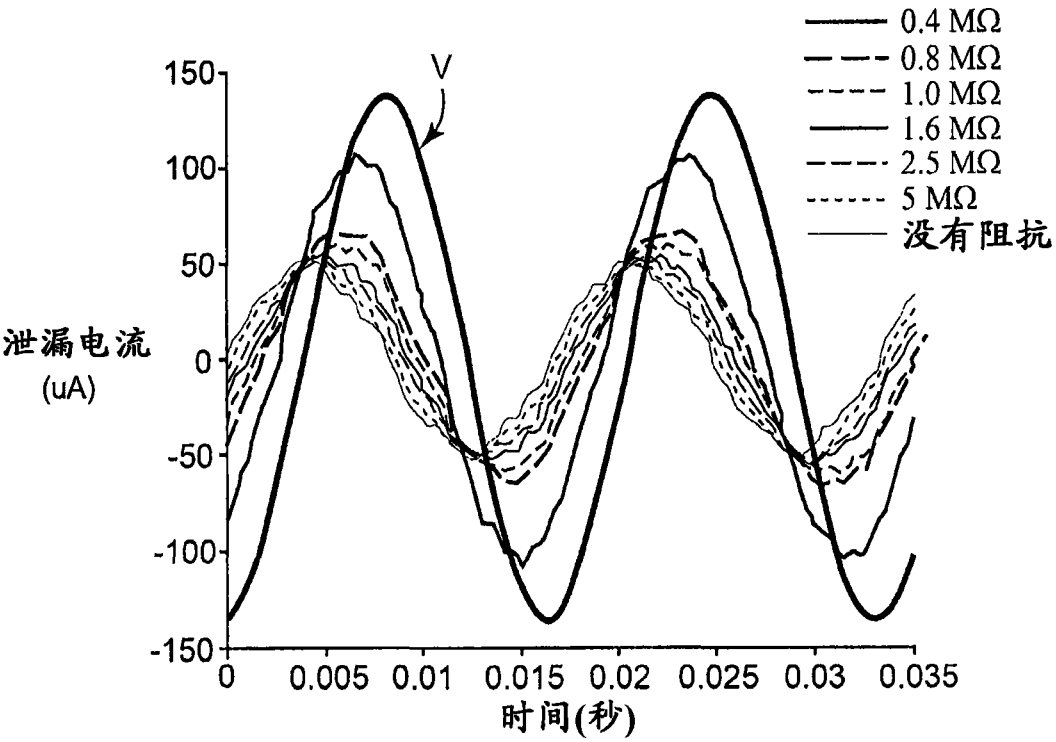


图 7

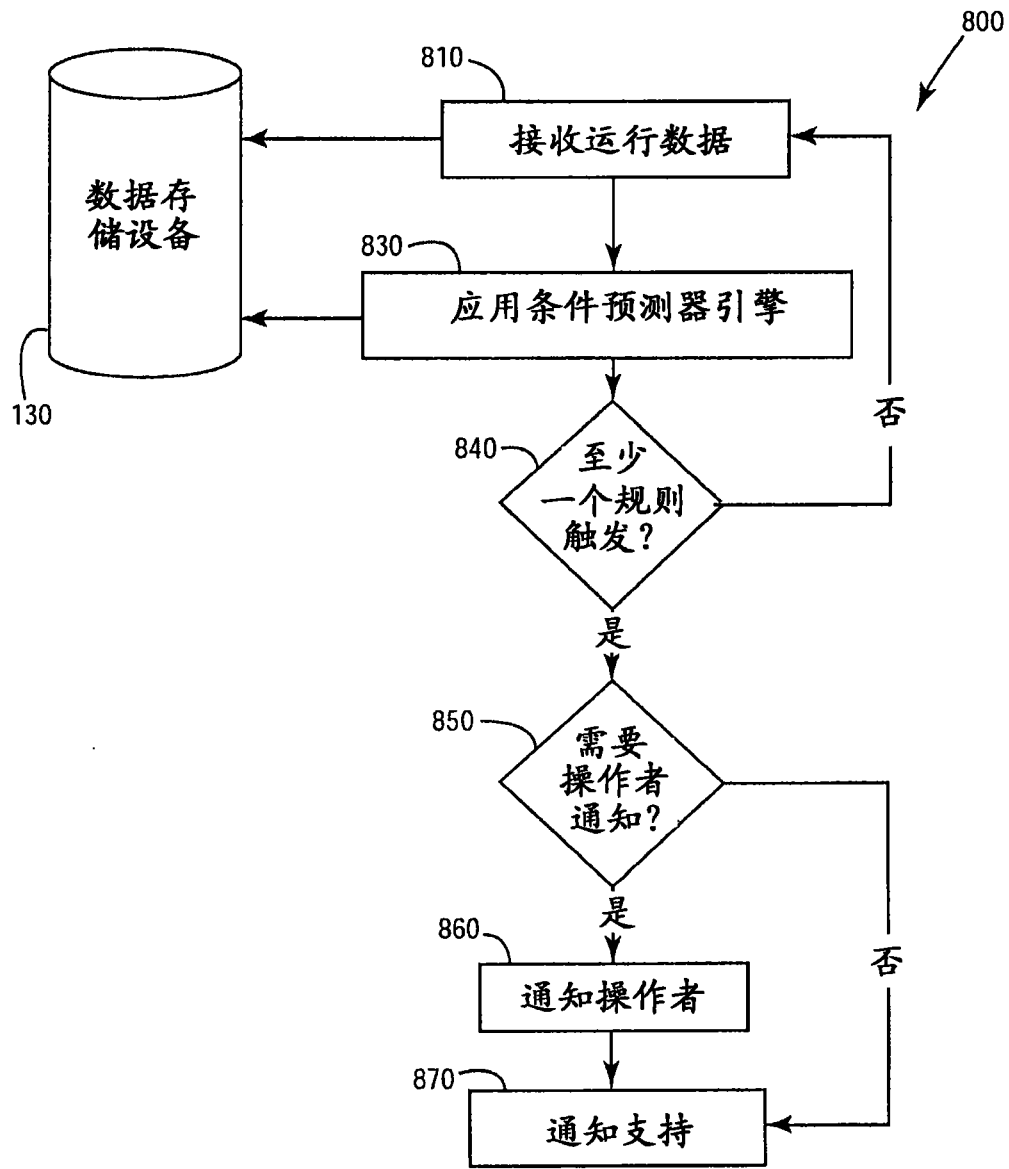


图 8

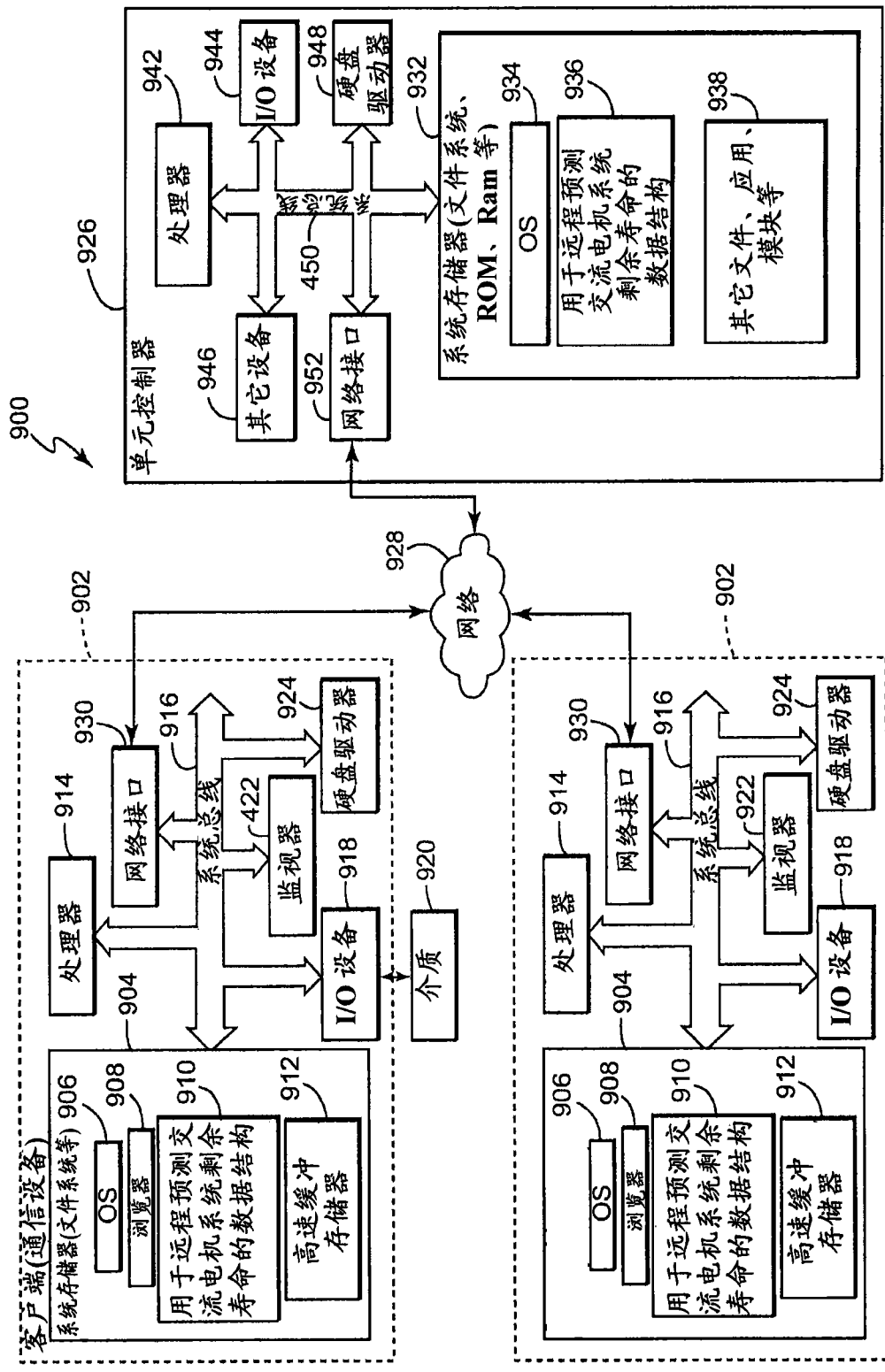


图 9