



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118318213 A

(43) 申请公布日 2024. 07. 09

(21) 申请号 202280068251.6

(22) 申请日 2022.10.06

(30) 优先权数据

CH070373/2021 2021.10.11 CH

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.04.09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2022/077837 2022.10.06

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/061850 DE 2023.04.20

(71) 申请人 雷肖尔股份公司

地址 瑞士

(72) 发明人 克里斯蒂安·迪茨

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

专利代理师 周涛 刘刚

(51) Int.Cl.

G05B 19/406 (2006.01)

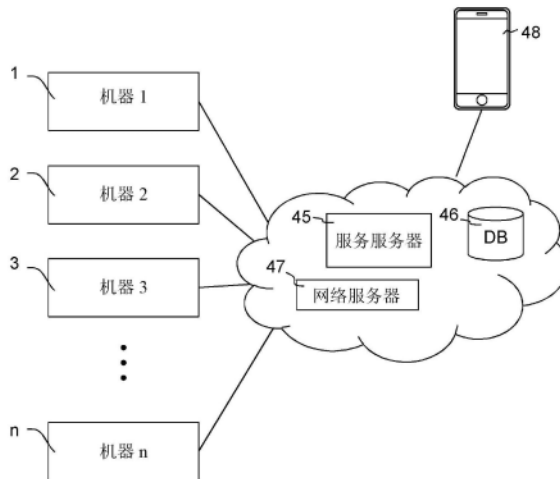
权利要求书3页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

用于监控机床的状态的方法

(57) 摘要

在用于监控具有多个机器轴线的机床(1)的状态的方法中执行测试循环,其中操纵机器轴线的至少一部分,并且求取相关联的状态数据。基于此,执行状态诊断,其中将状态数据与参考变量进行比较。从参考状态数据中求取参考变量,在参考机器(2,3,...,n)处在多个参考测试循环中获得所述参考状态数据。



1. 一种用于监控机床(1)的状态的方法,所述机床具有多个机器轴线,所述方法具有以下步骤:

执行测试循环,其中操纵所述机器轴线的至少一部分,并且通过测量求取相关联的状态数据(Z);以及

执行状态诊断,其中将所述状态数据(Z)与至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_R, \sigma_R; \mu_A - \mu_D; \sigma_A - \sigma_D$)进行比较,

其特征在于,

从参考状态数据(Z_R)中求取所述至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_R, \sigma_R; \mu_A - \mu_D; \sigma_A - \sigma_D$),其中在多个参考机器(2,3,...,n)处在多个参考测试循环中获得所述参考状态数据(Z_R)。

2. 根据权利要求1所述的方法,

其中所述至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_R, \sigma_R; \mu_A - \mu_D; \sigma_A - \sigma_D$)包括用于至少一个类型的状态数据(Z)的公差极限(LL,UL),

其中根据至少一个统计学参考特征值(μ_R, σ_R)自动化地规定所述公差极限(LL,UL),

其中通过对所述参考状态数据(Z_R)的统计学分析,求取所述统计学参考特征值(μ_R, σ_R)。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述至少一个统计学参考特征值(μ_R, σ_R)包括至少一个类型的参考状态数据(Z_R)的期望值(μ_R)和用于相关类型的参考状态数据(Z_R)的方差(σ_R^2)的指标。

4. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,

其中在不同的时间点多次重复所述测试循环,其中在所述测试循环之间借助所述机床(1)加工工件(23),

其中所述状态诊断包括在多个测试循环中获得的状态数据(Z)和所述至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_R, \sigma_R; \mu_A, \dots, \mu_D; \sigma_A, \dots, \sigma_D$)的比较性评估。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述比较性评估包括:

求取从所述多个测试循环中获得的所述状态数据(Z)的至少一个统计学特征值(μ, σ);以及

执行所述统计学特征值(μ, σ)与所述至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_R, \sigma_R; \mu_A, \dots, \mu_D; \sigma_A, \dots, \sigma_D$)的比较。

6. 根据权利要求4或5所述的方法,其中所述比较性评估包括:

对从所述多个测试循环中获得的所述状态数据(Z)随时间或借助所述机床加工的工件的数量的变化的发展进行分析;以及

将所述分析的结果与所述至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_A - \mu_D; \sigma_A - \sigma_D$)进行比较,

其中对所述发展的分析优选地包括所述状态指标(Z)的未来值的外插。

7. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,

其中从所述参考状态数据(Z_R)形成至少两个状态类别(A-D),

其中针对每个状态类别(A-D)分别计算至少一个统计学参考特征值($\mu_A, \dots, \mu_D, \sigma_A, \dots, \sigma_D$),并且

其中在所述状态诊断中,将所述状态数据(Z)与所述状态类别(A-D)的统计学参考特征

值 $(\mu_A, \dots, \mu_D, \sigma_A, \dots, \sigma_D)$ 进行比较。

8. 根据上述权利要求中任一项所述的方法, 所述方法具有:

触发与所述状态诊断的结果相关的动作。

9. 根据权利要求8所述的方法,

其中所述动作包括将诊断通知输出给用户,

其中所述诊断通知优选地经由网络传输给在空间上与所述机床(1)分开的终端设备(48)并且在那里输出,

其中可选地经由消息收发服务、通过推送通知或通过电子邮件进行所述传输。

10. 根据权利要求8或9所述的方法, 所述方法具有:

根据所述状态诊断的结果自动地改变至少一个过程参数, 以在所述机床(1)中加工工件(23)。

11. 根据上述权利要求中任一项所述的方法, 其中所述状态数据(Z)包括以下类型的数据和/或包括从以下类型的数据中导出的数据:

方位偏差数据, 所述方位偏差数据表征所述部件中的至少一个部件与期望方位的方位偏差, 其中所述方位偏差数据借助至少一个位置传感器(19)求取,

振动数据, 所述振动数据表征所述部件中的至少一个部件的振动状态, 其中所述振动数据借助至少一个运动传感器(18)求取; 和/或

功率数据, 所述功率数据表征所述部件中的至少一个部件的驱动马达中的电流消耗。

12. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,

其中求取所述状态数据(Z)包括对测量数据的频谱分析,

其中借助所述频谱分析优选地求取用于离散的激励频率或激励阶次的频谱强度值, 并且其中所述状态数据(Z)包括这样的强度值或从所述强度值中导出的变量。

13. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,

其中所述状态数据(Z)包括至少一个特定的状态指标, 所述至少一个特定的状态指标来自多于一个源的测量数据或从涉及多于一个机器轴线的操纵的测量数据中导出。

14. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,

其中所述状态数据(Z)包括预测的EOL数据, 所述预测的EOL数据说明: 当借助切齿机加工的带齿工件被装入到齿轮组件中并且在所述齿轮组件中在配对齿部上滚动时, 在EOL测试台上预期在EOL频谱中有哪些阶次的激励。

15. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,

其中将所述参考状态数据(Z_R)存储在数据库(DB)中。

16. 根据权利要求15所述的方法,

其中为了执行所述状态分析, 评估计算机(45)访问所述数据库(DB), 并且

其中所述评估计算机(45)优选地在空间上与所述机床分开地设置并且通过网络连接与所述机床(1)连接。

17. 根据权利要求15或16所述的方法,

其中将所述状态数据(Z)存储到所述数据库(DB)中, 使得所述状态数据作为参考状态数据(Z_R)可用于将来的测试循环。

18. 一种用于监控机床(1)的状态的设备, 所述机床具有多个机器轴线, 所述设备具有

处理器(451)和存储介质(452),在所述存储介质上存储有计算机程序,在所述计算机程序在所述处理器上执行时,所述计算机程序引起以下步骤的执行:

接收在所述机床(1)的测试循环中所求取的状态数据(Z),其中在所述测试循环中操纵机器轴线的至少一部分,其中执行相关联的测量并且其中通过测量求取所述状态数据(Z); 以及

执行状态诊断,其中将所述状态数据(Z)与至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_R,\sigma_R;\mu_A-\mu_D;\sigma_A-\sigma_D$)进行比较,

其中从参考状态数据(Z_R)中求取所述至少一个参考变量(LL,UL; $\mu_R,\sigma_R;\mu_A-\mu_D;\sigma_A-\sigma_D$),其中在多个参考机器(2,3,...,n)处,在多个参考测试循环中获得所述参考状态数据(Z_R)。

用于监控机床的状态的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于监控具有多个机器轴线的机床的状态的方法。机床能够是用于切削加工带齿工件的切齿机、尤其磨齿机。

背景技术

[0002] 在机床中加工工件时,自然地出现制造偏差,所述制造偏差表现为工件的实际制造的实际几何结构与预设的期望几何结构的偏差。制造偏差尤其可能因机床的不同部件的故障或磨损或者因部件的不恰当的安装引起。例如,制造偏差可能通过如下方式引起:驱动器将机床的滑块移动至与通过机器控制装置预设的期望位置不同的位置、主轴的轴承磨损或机器部件以不合适的方式彼此连接,使得振动未得到充分衰减。

[0003] 因此期望的是,尽可能提早地识别到机器部件的故障和磨损、安装错误和机床的可能引起制造偏差的其他错误,以便能够及时采取维护措施。为此熟知的是,机床在加工工件之前或在加工停顿中进行测试循环,其中系统地移动一些或全部机器轴线,并且执行相关联的测量。在此,例如能够检测相应机器轴线与预设的期望方位的方位偏差或振动数据。随后根据测量结果对机器或各个机器轴线的状态进行评估。为此,例如能够将测量结果与预设的公差极限进行比较。如果脱离通过公差极限所限界的公差范围,则这表明对应的机器轴线的失效,并且能够采取维护措施。

[0004] 规定公差极限是一项需要大量专业知识的非常有挑战性的任务。规定公差极限是容易出错的迭代过程。此外,因为通常检测几十个传感器直至多于一百个传感器的信号,所以所述任务会是非常耗时的。

[0005] EP3229088A1公开一种用于监控齿部加工的机器的机器几何结构的方法,其中在测量装置中测量工件,以便求取实际数据。使实际数据与预设数据相关,以便因此求取机器的轴线的几何设定值的偏差。对于大量工件而言,存储几何设定值的偏差,并且对所存储的偏差执行统计学评估,以便求取机器的轴线的几何改变。统计学评估包括短期评估和长期评估。所述评估彼此关联,以便自动地识别过程偏差。所述方法基于在借助所监控的机器加工的工件处获得的测量值。

[0006] W02021048027A1公开一种用于监控精细加工过程的方法,其中在加工工具期间检测测量值。测量值被归一化,并且从归一化值中计算加工过程的特征变量,所述特征变量以已知的方式与工件的加工错误相关联。以所述方式能够识别过程偏差。本文件未得出关于机器部件的状态的监控的结论。

发明内容

[0007] 在第一方面中,本发明的目的是给出一种用于监控机床的状态的方法,其中机床状态的评估以客观的方式进行,所述评估不需要特殊的专业知识。

[0008] 所述目的通过根据权利要求1所述的方法来实现。其他实施方式在从属权利要求中给出。

[0009] 因此,给出一种用于监控机床的状态的方法,所述机床具有多个机器轴线,所述方法具有以下步骤:

[0010] 执行测试循环,其中系统性地操纵机器轴线的至少一部分,并且通过测量求取相关联的状态数据;以及

[0011] 执行状态诊断,其中将状态数据与至少一个参考变量进行比较。

[0012] 所述方法的特征在于,从参考状态数据中求取至少一个参考变量,其中在多个参考机器处通过多个参考测试循环获得参考状态数据。

[0013] 因此,在所提出的方法中,状态数据以测量数据或从所述测量数据中导出的变量的形式存在,所述测量数据或所述变量描绘多个机器的大量状态。所述机器在此称为“参考机器”,并且对应的状态数据称为“参考状态数据”。参考状态数据能够保存在数据库中。参考状态数据在参考机器处通过多个测试循环获得,尤其在参考机器的加工停顿中获得。所述测试循环称为“参考测试循环”。术语“参考机器”、“参考测试循环”和“参考状态数据”肯定没有隐含:参考机器是特别可靠的机器,参考测试循环是特别仔细实施的测试循环,或者参考状态数据是特别可靠的数据。相反,使用这些术语仅用于在逻辑上将待判断的机器与其状态被用作为比较基础的机器区分。参考状态数据在此也完全能够包括在较早的测试循环中在待判断的机器处获得的状态数据。就此而言,待判断的机器本身也能够用作为参考机器中的一个参考机器。但是重要的是,参考状态数据不局限于仅借助待判断的机器本身所获得的状态数据。相反,本发明的一个重要的方面在于,使多个机器的状态数据可用于判断另一机器。

[0014] 所基于的假设在于,在实践中,参考测试循环的绝大部分在参考机器的加工停顿中执行,而对应的参考机器处于“好的”状态中,即处于参考机器能够制造无瑕的工件的状态中。在实践中,仅少数测试循环将涉及“差的”状态,因为根据制造偏差,这种“差的”状态通常不久被识别和消除。因此,在许多参考机器和许多参考测试循环范围内的统计学手段中,参考状态数据基本上代表参考机器的“好的”状态。利用所述知识,以便对待判断的机器执行自动的状态诊断。为此,不需要关于待判断的机器本身的先验知识。

[0015] 在此不足的是,仅考虑待判断的机器本身的较早测试循环中的历史状态数据。例如,在待判断的机器中可能从一开始就安装到有缺陷的轴承上,使得在所述机器处获得的状态数据在机器的整个使用寿命内比在安装有无瑕的轴承时明显更差。尽管如此可能几乎可行的是,尽管轴承有缺陷,但是仍制造出无瑕的工件。通过将待判断的机器的状态数据与在其他机器处通过测量获得的参考状态数据或从所述参考状态数据中导出的参考变量进行比较,才有可能识别到待判断的机器具有问题,并且限制所述问题,使得能够识别出有缺陷的轴承。

[0016] 参考机器优选地与待判断的机床是相同类型的。参考机器在此不需要与待判断的机器相同。相反,在所述上下文中,如果机器在尺寸、构造和轴线布置中与待判断的机器在很大程度上一致,则所述机器随后称为与所述待判断的机器“相同类型”的。例如,在实践中,制造商的相同类型的机器被视为是相同类型的。但是,机器可能在其附加装配中不同。

[0017] 参考状态数据尤其能够获得,其方式为:借助参考机器执行与在待判断的机器中相同类型的测试循环,即其中系统地移动参考机器的机器轴线并且执行参考测量的测试循环。在待判断的机器的测试循环中所求取的状态数据也能够本身存储到数据库中,使得所

述状态数据能够再次作为参考状态数据用于同一机器或另一机器本身的未来的测试循环。

[0018] 在测试循环中求取的测量数据能够包括：方位偏差数据，所述方位偏差数据表征可运动的部件的至少一部分与通过机器控制装置预设的期望方位的方位偏差；和/或振动数据，所述振动数据表征可运动的部件的至少一部分的振动状态。方位偏差数据能够借助如从现有技术中充分已知的位置传感器求取。振动数据能够借助如同样从现有技术中充分已知的运动传感器、例如加速度传感器检测。测量数据也包括功率数据，所述功率数据表征至少一个可运动的部件的驱动马达中的电流消耗。大量其他类型的数据是可考虑的。这种数据能够通过单独的传感器获得或直接从机器控制装置中读出。

[0019] 从测量变量中导出的状态数据能够包括不同类型的数据。例如，状态数据能够包括直接的测量数据、例如各个方位偏差或当前振动幅度。但是，状态数据也能够包括通过数学或算法处理由测量数据形成的变量。这种状态数据例如能够是测量数据的平均值、从测量数据中导出的其他统计学变量或从这种统计学变量中导出的变量。从测量数据中计算状态数据能够包括对测量数据、尤其方位偏差数据、振动数据和/或功率数据进行频谱分析（尤其阶次分析(Ordnungsanalyse)）。借助频谱分析求取测量数据在特定频率或阶次范围内的频谱强度值，并且状态数据能够包括在所选择的离散频率值或阶次处的频谱强度值或者由此导出的变量，例如这种强度值在特定的频率或阶次范围内的总和或应用于频谱的谱峰拟合程序(Peakfitting-Routine)的结果。状态数据也能够包括测量变量的完整时间序列和/或完整频谱。

[0020] 状态数据能够包括特定指标，所述特定指标来自多于一个源（尤其多于一个传感器）的测量数据和/或涉及操纵多于一个机器轴线的测量数据中导出。这种特定指标能够允许得出非常具体的错误源的结论。

[0021] 如果机床是切齿机(Verzahnmaschine)、尤其用于对齿部进行滚动加工的切齿机，则状态数据也能够包括预测的EOL数据，所述预测的EOL数据说明：当借助切齿机加工的带齿工件被装入到齿轮组件中并且在齿轮组件中在配对齿部上滚动时，预期在EOL测试台(EOL=End ofLine, 下线)上的EOL频谱中有哪些阶次的激励。所提出的方法于是允许自动预测：预期借助待判断的机器所制造的工件在哪些阶次存在噪声问题。关于所述方法所基于的考虑和其他实施可行性，参考同一申请人在与本申请相同的日期提交的名称为“用于监控切齿机的状态的方法”的专利申请，其内容通过引用完全并入到本公开中。

[0022] 参考变量也能够是不同类型的变量。通常而言，参考变量能够直接是以与上述讨论的状态数据相同的方式确定的参考状态数据，或者也是通过数学或算法处理由参考状态数据、尤其通过对参考状态数据进行统计学分析而形成的变量。

[0023] 参考变量尤其能够包括用于至少一个类型的状态数据的至少一个公差极限。公差极限的规定在此通过计算机根据通过对相关类型的参考状态数据进行统计学分析求取的至少一个统计学参考特征值来自动化地进行。以所述方式，公差极限不再需要手动费力地规定，并且不需要专业知识来规定公差极限。

[0024] 因此，在此通过对参考状态数据进行统计学分析来进行待判断的机器的公差极限的规定。在此，关于在多个相同类型的机器上的多个较早的测试循环期间的参考状态数据的统计学分布的知识可用于自动化地规定待判断的机器的公差极限。所基于的假设在于，参考状态数据不仅仅平均地表征“好的”状态，而是此外也以对于所考虑的部件或所考虑的

机器类型典型的方式统计学地波动,使得在待判断的机器上也预期具有类似统计特性的波动。

[0025] 作为统计学参考特征值,尤其能够计算参考状态数据的预期值和用于相关参考状态数据的方差的指标(或者与其等效地,标准偏差)。随后,能够围绕预期值以对应于标准偏差的预先确定的倍数的间距对称地设定待监控的机器的对应状态数据的公差极限。

[0026] 测试循环能够在不同的时间点重复多次,其中在测试循环之间借助机床加工工件,并且在加工停顿中执行测试循环,在所述加工停顿中,加工刀具不与工件加工接合。在加工期间,例如可能出现机床的部件的磨损或失效。为了更好地识别这种情况,状态诊断能够包括对来自多个测试循环的状态数据与至少一个参考变量进行比较性的评估。

[0027] 比较性的评估尤其能够包括比较性统计学评估,其具有以下步骤:

[0028] 求取从多个测试循环中获得的状态数据的至少一个统计学特征值;以及

[0029] 执行统计学特征值与至少一个参考变量的比较。

[0030] 由此能够将状态数据在测试循环与测试循环之间的统计学波动有针对性地可用于分析。例如,即使状态数据值的平均值在多个测试循环范围内未示出异常,所述状态数据值的强烈波动可能指示部件的失效。就此而言,用于来自多个测试循环的至少一个类型的状态数据的值的方差的量值尤其能够用作为统计特征值。

[0031] 在有利的实施方式中,在状态诊断的过程中,根据时间或所加工的工件的数量对机器的状态的时间发展进行分析,以便及时识别出机器部件的即将来临的失效。为此,能够分析从多个测试循环中获得的状态数据随时间或所加工的工件的变化的发展,并且将所述分析的结果与至少一个参考变量进行比较。对所述发展的分析尤其能够包括对状态数据的未来值的外插。为了进行外插,例如能够借助多项式函数、尤其二次函数执行对状态数据的回归分析,并且能够将回归分析的结果与至少一个参考变量进行比较,例如以便预测部件的预期失效时间点。尤其当外插状态数据是与特定的部件的质量直接相关的状态数据时,所述方法是特别有价值的。以所述方式能够提早预测部件的即将来临的失效,并且能够在出现失效之前采取对应的措施(“预测性维护(Predictive Maintenance)”)。

[0032] 在一些实施方式中,为了进行状态诊断,存储在数据库中的参考状态数据能够划分为至少两个状态类别(例如“好的”和“差的”,或在细化的变型方案中“新状态”、“中等状态”、“临界状态”和“缺陷状态”)。对于状态类别中的每个状态类别,于是分别从参考状态数据中计算至少一个统计学参考特征值,并且为了进行状态诊断,将状态数据与至少两个状态类别的统计参考特征值进行比较。以所述方式能够求取允许对机器或其部件的状态进行有区别的评估的评估变量。

[0033] 能够根据状态诊断的结果触发动作。例如,能够将诊断通知输出给用户(例如维护专家)。诊断通知在此能够经由网络传输给在空间上与机床分开的终端设备,并且在那里输出。这例如能够通过消息收发服务如SMS或WhatsApp、作为推送通知(Push-Mitteilung)或通过电子邮件进行。例如,用于所选择的部件和/或用于被监控的机器的整体状态的诊断通知能够包含评估变量,所述评估变量能够采用两个、三个、四个或更多个离散值,例如“好的”和“差的”,或者以更可区分的设计方案“好的”、“中等的”、“临界的”和“有缺陷的”。状态诊断的结果能够借助终端设备以合适的方式被可视化。终端设备例如能够是台式电脑或笔记本电脑、平板电脑或智能手机。由此能够从任意地点监控一个或多个机器的状态。

[0034] 附加地或备选地,能够根据状态诊断的结果在机床中加工工件时自动改变至少一个过程参数、例如主轴转速,或者能够将过程建议自动地输出给机床的用户。在极端情况下,也能够自动停止继续加工。

[0035] 状态诊断能够包括用于至少两个不同类型的状态数据的对状态数据和参考状态数据的比较性统计学分析,以便区分不同部件的状态。例如,多个类型的状态数据、例如振动信号在不同频率处的频谱强度可能受到两个部件的磨损影响,然而以不同的方式影响。通过用于所述两个类型的状态数据的对状态数据和参考状态数据n的比较性统计学分析,能够得出如下部件的结论:所述部件的磨损状态对所求取的状态指标负责。

[0036] 如已经提及的那样,参考状态数据优选地存储在数据库中。数据库能够远离待监控的机器。所述数据库也能够云端中实现,即以通过多个使用者共享的作为服务的计算机资源的形式实现。为了执行状态分析,评估计算机能够访问数据库。评估计算机也优选地在空间上与机床分开地设置。所述评估计算机通过网络连接与机床连接。评估计算机也不需要是单个物理单元,而是能够在云端中实现。终端设备经由网络、尤其经由因特网与评估计算机通信。

[0037] 本发明还提供一种用于监控机床的状态的设备,所述机床具有多个机器轴线,所述设备配置用于实施上述方法。所述设备具有处理器和存储介质,在所述存储介质上存储有计算机程序,在处理器上执行所述计算机程序时,所述计算机程序引起以下步骤的实施:

[0038] 接收在机床的测试循环中所求取的状态数据,其中在测试循环中操纵机器轴线的至少一部分,其中执行相关联的测量并且其中通过测量求取状态数据;以及

[0039] 执行状态诊断,其中将状态数据与至少一个参考变量进行比较,

[0040] 其中从参考状态数据中求取至少一个参考变量,其中在多个参考机器处在多个参考测试循环中获得参考状态数据。

[0041] 对于根据本发明的方法的上述实施方案也符合意义地适用于根据本发明的设备。

[0042] 本发明还提供一种对应的计算机程序。计算机程序能够存储在非易失性存储介质上。

附图说明

[0043] 下文中根据附图描述本发明的优选的实施方式,所述附图仅用于阐述而不应被解释为是限制性的。在附图中示出:

[0044] 图1示出滚动磨床的示意性视图;

[0045] 图2示出用于阐述对测量数据的分析的图表;

[0046] 图3示出具有多个相同类型的滚动磨床的网络的草图,所述滚动磨床经由服务服务器与数据库通信;

[0047] 图4示出用于阐述对参考状态指标的值的统计学分布的图表;

[0048] 图5示出用于阐述根据第一示例的状态诊断的图表;

[0049] 图6示出用于阐述根据第二示例的状态诊断的图表;以及

[0050] 图7示出用于监控滚动磨床的方法的流程图。

具体实施方式

[0051] 滚动磨床的示例性的构造

[0052] 作为用于机床的示例,在图1中示例性地示出滚动磨床1,所述滚动磨床在下文中也简称为“机器”。机器1具有机座11,在所述机座上沿着径向进给方向X可移动地引导工具承载件12。工具承载件12承载轴向滑块13,所述轴向滑块沿着进给方向Z相对于工具承载件12被可移动地引导。在轴向滑块13上安装有磨削头14,所述磨削头可围绕平行于X方向伸展的枢转轴线(所谓的A轴线)枢转,以匹配于待加工的齿部的斜率角。磨削头14又承载偏移滑块,工具主轴15可在所述偏移滑块上沿着偏移方向Y相对于磨削头14移动。蜗形轮廓化的磨削盘(磨削蜗杆)16夹紧在工具主轴15上。磨削蜗杆16由工具主轴15驱动,以围绕工具轴线B旋转。

[0053] 此外,机座11承载呈旋转塔形式的可枢转的工件承载件20,所述工件承载件可围绕枢转轴线C3在至少三个位置之间枢转。在工件承载件20上彼此沿直径相对置地安装有两个相同的工件主轴,其中在图1中仅一个工件主轴21连带所属的尾座22可见。在工件主轴中的每个工件主轴上可分别夹紧有一个工件,并且工件可被驱动以围绕工件轴线C1或C2旋转。在图1中可见的工件主轴21处于加工位置中,在所述加工位置中能够借助磨削蜗杆16对夹紧在其上的工件23进行加工。另一错开180°设置的和在图1中不可见的工件主轴处于工件更换位置中,在所述工件更换位置中,能够从所述主轴上取下完成加工的工件并且夹紧新的坯件。校准装置30相对于工件主轴错开90°地安装。

[0054] 因此,机器1具有多个可运动的部件如滑块或主轴,所述部件可通过对应的驱动器受控地运动。所述驱动器在本领域中通常称为“NC轴线”、“机器轴线”或简称为“轴线”。所述名称有时也包括由驱动器驱动的部件如滑块或主轴。

[0055] 此外,机器1具有多个传感器。示例性地在图1中示意性地示出仅两个传感器18和19。传感器18是用于检测磨削主轴15的壳体的振动的振动传感器。传感器19是用于检测轴向滑块13相对于工具承载件12沿着Z方向的位置的位置传感器。但是此外,机器1还包括多个其他传感器。这些传感器尤其包括用于检测各一个线性轴线的实际位置的其他位置传感器、用于检测各一个旋转轴线的旋转位置的旋转角度传感器、用于检测各一个轴线的驱动电流的电流消耗器和用于检测各一个被驱动的部件的振动的其他振动传感器。

[0056] 机器1的所有被驱动的轴线通过机器控制装置40数字控制。机器控制装置40包括多个轴线模块41、控制计算机42和控制面板43。控制计算机42从控制面板43接收操作者命令以及机器1的不同传感器的传感器信号,并且由此计算用于轴线模块41的控制命令。此外,所述控制计算机将运行参数输出给控制面板43以用于显示。轴线模块41在其输出端处为各一个机器轴线提供控制信号。

[0057] 监控装置44与控制计算机42连接。

[0058] 监控装置44能够是与机器1相关联的单独的硬件单元。所述监控装置能够经由本身已知的接口、例如经由已知的Profinet标准或经由网络、例如经由因特网与控制计算机42连接。所述监控装置在空间上能够是机器1的一部分,或者所述监控装置也能够是在空间上远离机器1地设置。

[0059] 在机器的运行中,监控装置44从控制计算机42接收多个不同的测量数据。由控制计算机接收的测量数据包括由控制计算机42直接检测的传感器数据和由控制计算机42从轴

线模块41读出的数据,例如描述不同的机器轴线的期望位置和轴线模块中的期望电流消耗的数据。

[0060] 监控装置44能够可选地具有自己的模拟和/或数字传感器输入端,以便直接从其他传感器接收传感器数据作为测量数据。其他传感器典型地是不需要直接用于控制实际加工过程的传感器、例如加速度传感器,以便用于检测震动,或温度传感器。

[0061] 监控装置44也能够替选地实现为机器控制装置40的软件部件,所述软件部件例如在控制计算机42的处理器上执行,或者所述监控装置也能够构成为下文中详细描述的服务服务器45的软件部件。在图1中对应地示出服务服务器45的处理器451和存储设备452。

[0062] 监控装置44直接或经由因特网和网络服务器47与服务服务器45通信。服务服务器45又与具有数据库DB的数据库服务器46通信。所述服务器能够远离机器1地设置。服务器不需要是唯一的物理单元。尤其地,服务器能够实现为所谓的“云端”中的虚拟单元。

[0063] 服务服务器45通过网络服务器47与终端设备48通信。终端设备48尤其能够运行网络浏览器,借助所述网络浏览器将所接收的数据及其评估可视化。终端设备不需要满足对于计算性能的特殊要求。例如,终端设备能够是台式电脑、笔记本电脑、平板电脑、移动电话等。

[0064] 工件批量加工

[0065] 为了完整性,在下文中描述如何借助机器1加工工件。

[0066] 为了加工未被加工的工件(坏件),通过自动的工件更换器将工件夹紧在处于工件更换位置中的工件主轴上。工件更换与在另一工件主轴上加工另一工件在时间上并行地进行。当待新加工的工件夹紧并且另一工件的加工结束时,工件承载件20围绕C3轴线枢转180°,使得具有待新加工的工件的主轴到达加工位置中。在枢转过程之前和/或枢转过程期间,借助于相关联的定心探头执行定心操作。为此,将工件主轴21置于旋转,并且借助于定心探头24测量工件23的齿隙的方位。基于此确定滚动角。

[0067] 当承载待加工的工件23的工件主轴到达加工位置时,通过沿着X轴线移动工具承载件12,使工件23与磨削蜗杆16无碰撞地接合。现在,工件23以滚动接合的方式通过磨削蜗杆16被加工。在加工期间,在径向X进给恒定的情况下工件沿着Z轴线被连续前推。此外,工具主轴15沿着偏移轴线Y缓慢持续地移动,以便能够在加工时持续使用磨削蜗杆16的尚未使用的区域(所谓的偏移运动)。

[0068] 在时间上与工件加工并行地,从另一工件主轴上取下完成加工的工件,并且将另一坏件夹紧在所述主轴上。

[0069] 如果在加工特定数量的工件之后磨削蜗杆16的使用进展到使得磨削蜗杆太钝和/或侧面几何结构太不精确,那么对磨削蜗杆进行校准。为此,将工件承载件20枢转 $\pm 90^\circ$,使得校准装置30到达所述校准装置与磨削蜗杆16相对置的位置中。现在借助校准工具33对磨削蜗杆16进行校准。

[0070] 测试循环

[0071] 在加工停顿中,通过监控装置44与机器控制装置42一起执行测试循环,借助所述测试循环检查机器1的个别或所有部件的状态。在这种测试循环期间,机器轴线中的所选择的机器轴线或所有机器轴被系统地操纵,并且在此对机器执行测量。

[0072] 例如,移动每个可线性移动的部件连同相关联的机器轴线,并且借助于上文中提

及的位置传感器连续或针对所选择的位置确定部件的当前位置。由此求取预设(期望位置)与测量(实际位置)之间的方位偏差,并且将其传输给监控装置44。对于旋转驱动的主轴而言,也能够相同进行,其中旋转角度传感器随后用于求取方位偏差。

[0073] 也针对所选择的部件(尤其滑块和主轴)求取振动特性,而相关部件通过相关联的机器轴线驱动。为此使用与所述部件连接的振动传感器。振动测量的结果也传输给监控装置44。

[0074] 此外,求取机器轴线的驱动马达的功率消耗。例如,集成到轴线模块41中的电流传感器能够用于此。附加地,能够确定驱动马达的温度和其他测量变量。

[0075] 在单独操纵一个机器轴线时,所有这种情况都会发生。但是也可行的是,以耦合方式操纵两个或更多个机器轴线,使得在同时操控两个或更多个机器轴线时检测机器的特性。在此,例如可能出现比仅由于在操纵唯一的机器轴线时的振动特性所预期的振动更大的加强的振动,或者能够识别到在同步操纵两个机器轴线时才能够确定的调节器错误。

[0076] 附加地可设想,有针对性地引起振动并且检测不同机器部件的响应,以便研究机器的衰减特性。从所述研究中能够推断出机器部件之间的接合部位的质量。尤其地,能够执行自动的频率响应测量。

[0077] 监控装置44从接收到的测量数据中确定不同的状态数据。状态数据直接或间接允许得出机器或其各个部件的状态的结论。

[0078] 状态数据通过从测量数据中选择和/或通过数学处理和分析从测量数据中获得。以下给出用于状态数据的一些示例。

[0079] a) 基本指标

[0080] 某些类型的状态数据在下文中称为基本指标,所述状态数据通过对单个传感器的信号进行选择或数学分析而获得并且允许得出单个部件的状态的结论。

[0081] 基本指标的一个示例是方位偏差指标。在此,所述方位偏差指标例如能够是单个所测量的方位偏差或同一部件在不同期望位置处的多个所测量的方位偏差的平均值。方位偏差指标提供对于相关部件的定位精度的直接指示。

[0082] 另一示例是驱动马达在运动期间的最大电流消耗。所述最大电流消耗允许得出例如相关的机器轴线的过度摩擦或夹紧的结论。

[0083] 第三示例是在运动过程期间振动传感器的信号的平均幅值(例如RMS值)。平均幅值允许直接得出部件的振动趋势的结论。

[0084] 从对单个运动过程进行振动信号的频谱分析而求取的某些振动指标同样能够属于基本指标。在此,频谱强度能够在所选择的离散的激励频率或激励阶次求取。所述强度能够直接用作为基本指标,或者也能够通过简单的数学运算、例如加法或平均值形成从所述强度中计算出基本指标。

[0085] 这示例性地在图2中图解说明,图2示例性地图解说明与工具主轴连接的振动传感器的时间信号以及能够通过滤波和FFT运算从时间信号中获得的频谱。监控装置能够从时间信号中计算出例如RMS幅值。所述监控装置还能够评估多个离散频率值周围的频谱,以便求取所述频谱在所述频率值处的强度。在此,所述离散频率值例如能够是工件转速(阶次)的特定倍数。图2的频谱在这种频率值处包含多个清楚可见的峰值。

[0086] 例如,工具转速及其整数倍处(即整数阶次处)的强峰值可能表明工具主轴处的同

心度误差。工具转速的特定的、整数或非整数倍(整数或非整数阶次)处的峰值可能表明工具主轴中的轴承损坏。如果轴承阶次是已知的,则可能可以从峰值的阶次辨识所涉及的轴承。有时通过差分诊断才得出与各个误差类型的关联。例如可设想,对峰值相对于彼此的相对强度比的分析才允许得出机器的哪个部件对峰值负责的结论。

[0087] 在最简单的情况下,能够简单地将特定频率或阶次范围内的峰值的强度相加,以便得到用于整个部件的全局基本指标。虽然所述基本指标不允许得出部件状况差的个别原因(例如同心度误差或轴承损坏),但是就能够足以确定相关部件的故障并且采取对应的维护措施。

[0088] 替代求取各个峰值的强度和将所述强度用作为基本指标,也可行的是,使用完整光谱的所有值作为状态变量。

[0089] b) 特定指标

[0090] 能够称为特定的指标的是在操纵多于一个机器轴线时(例如还有机器轴线的耦合运动)由来自不同源(尤其不同传感器)的测量变量或单个传感器的测量变量的数学或算法组合得出的状态数据。这种状态指标能够允许得出问题状态的原因的非常特定的结论,但是需要关于机器的各个部件的共同作用的特定知识。

[0091] 这种特定的指标的示例是通过计算得出的状态变量,所述计算一方面包含线性轴线的驱动马达的平均电流消耗并且另一方面包含加速度传感器在宽频率范围内的频谱强度。例如,这种指标例如能够允许限制相关线性轴线的摩擦增加的原因(例如磨损的滚珠螺杆传动)。

[0092] 这种特定的指标的另一示例是状态变量,所述状态变量针对工具主轴和滑移滑块的耦合运动所确定,其方式为:执行以下计算:

$$[0093] \quad Z_{SF} = \Delta\phi_{WZ} \cdot m_n \cdot \pi \frac{z_0}{\cos\gamma} - \Delta Y$$

[0094] 在此, $\Delta\phi_{WZ}$ 表示磨削蜗杆的旋转角度变化, m_n 表示磨削蜗杆的法向模量, z_0 表示磨削蜗杆的螺纹数, γ 表示磨削蜗杆的斜率角,和 ΔY 表示偏移路径。旋转角度变化 $\Delta\phi_{WZ}$ 和偏移路径 ΔY 选择成,使得变量 Z_{SF} 应为零。那么,偏离零则表示滞后误差。就此而言, Z_{SF} 或 Z_{SF} 在一个测试循环内的最大值能够被视为用于这种滞后误差的特定的指标。

[0095] 用于对部件进行整体判断的总状态指标也能够由表征相关部件的所有状态数据形成。借此,每个部件的状态通过仅唯一的指标来描绘。如果总状态指标显示问题,那么能够借助于个体化的状态变量进行故障寻找。

[0096] 通常通过对许多机器范围内的非常大的数据量进行数据分析才可看出允许计算这种特定的指标的相关性(例如通过对已知的损坏模式与相关联的基本指标进行相关性分析)。特定的指标通常对于特定的机器类型是特定的,并且不能轻易转用于其他的机器类型。

[0097] 数据库

[0098] 现在,根据图3阐述数据库DB的功能。待监控的机器1和多个与其相同类型的机器2、3、...、n经由网络服务器47与服务服务器45和具有数据库DB的数据库服务器46连接。

[0099] 所述机器中的每个机器具有监控装置,所述监控装置在相应的机器的运行中持续地将特定的数据传送给数据库DB。所述数据尤其包括机器的明确的标志、时间戳和如上文

中描述的多个状态数据。数据也还能够可选地包括其他数据,例如关于在测试循环后加工的工件的数据,例如用于所实现的工件质量的指标。

[0100] 所述数据存储于数据库DB中。由此,随着时间的推移,数据库包含非常大量的状态数据,所述状态数据针对多个相同类型的机器在许多不同的测试循环中获得。所述状态指标在下文中称为参考状态数据。

[0101] 参考状态指标的评估

[0102] 能够对参考状态指标进行统计学评估。尤其能够进行这种统计学评估,以便获得关于参考状态变量的典型的波动特性的知识,并且基于此限定用于待监控的机器的状态变量的公差极限。也能够对机器的生命周期内的状态变量的变化进行统计学评估,并且能够将特定的机器的当前状态变量与存储在数据库中的参考状态变量进行比较,以便例如自动获得部件磨损的指示。

[0103] 这应在下文中根据一些示例进行详细阐述。

[0104] a) 自动化地规定公差极限

[0105] 根据图4,在下文中示例性的阐述:如何能够借助于数据库中的数据来规定用于待监控的机器1的状态数据的公差极限。对应的计算能够由服务服务器45进行。

[0106] 数据库包含用于许多相同类型的机器中的大量测试循环的参考状态数据的值。能够假设,所述值大部分针对无错误地工作的机器获得,因为干扰通常迟早被识别和消除。就此而言,能够假设参考状态数据的值基本上如对于无瑕的机器所预期的那样统计学地分布,仅有少量的统计学异常值,所述统计学异常值因具有磨损的部件的机器引起。

[0107] 图4示例性地图解说明任意类型的参考状态数据的值的分布。参考状态数据的值绘制在水平轴线上,在垂直轴线上作为条形图绘制用于分别等大的值区间(“框(bin)”)的相对频率。可看出,在本示例中的参考状态数据的值的分布基本上符合正态分布,所述分布的密度函数同样在图4中用虚线绘制。图4的分布具有期望值 μ_R 和标准偏差 σ_R 或方差 σ_R^2 。

[0108] 术语“期望值”在此与术语“抽样平均值”同义地使用。抽样的值与抽样平均值的均方差在此称为“方差”。方差的平方根称为“标准偏差”。

[0109] 现在能够根据所述统计学分布自动规定待监控的机器的对应的状态数据的公差下限和公差上限LL、UL。为此,对参考状态数据的值的分布进行合适的密度函数(在此正态分布的密度函数)拟合,以便确定期望值 μ_R 和标准偏差 σ_R 。在实践中,数据库中的参考状态数据越多,拟合就将提供越精确的结果。现在能够将公差范围围绕期望值 μ_R 对称地规定为范围 $[\mu_R - p \cdot \sigma_R, \mu_R + p \cdot \sigma_R]$,其中因子p是正实数,其说明公差极限与预期值相差多少个标准偏差。根据已知的 6σ 概念(其然而通常用于另一目的),能够选择例如 $p=6$ 。如果客户的要求对公差不那么敏感,则也能够选择更大的因子p。

[0110] 现在,在将来的任何测试循环中,服务服务器45将相关状态数据与公差限值LL、UL进行比较。在图2中示意性地绘出用于一些类型的状态数据的这种公差极限。如果状态数据的值脱离公差范围,则服务服务器45触发合适的动作。例如,服务服务器45能够向维护专家发送SMS、推送通知或电子邮件。可选地,服务服务器也能够影响将来的加工过程,或者甚至暂时停止机器1上的加工。

[0111] b) 状态类别的限定

[0112] 为了能够对部件的状态进行更有区别的评估,可设想,将参考状况数据的值划分为两个、三个、四个或更多个状态类别。这能够纯粹根据所述值本身或根据其他信息进行。例如,对参考状态数据的分析可得出,总是又存在参考状态变量突然占据“更好”的的时间点。随后可以推断出,所述突然的改进是维护或更换部件的结果。

[0113] 能够容易地在参考状态数据整体中辨识出这种事件,并且用于直接在这种事件之后的特定数量的测试循环的参考状态数据的值能够归到类别A中,所述类别A表示新状态。相反,用于直接在这种事件之前的特定数量的测试循环的参考状态数据的值能够归到类别C中,所述类别C表示临界状态。类别A与类别C之间的参考状态数据的值能够划分为类别B,所述类别B表示中等使用状态,并且比类别C的值“更差”的状态数据的异常值能够划分为类别D,所述类别D表示缺陷状态。

[0114] 根据除了参考状态数据的值中的突然变化之外的其他标准,也能够划分为不同的状态类别。例如可设想,在数据库中直接存储有关于已经借助部件执行的加工过程的数量、关于相关部件的运行小时数量或关于在测试循环之后借助机器制造的工件的质量的信息。随后能够在考虑所述信息的情况下划分为状态类别。例如,能够借助于机器学习算法(ML算法)进行对应的划分。

[0115] 现在,针对状态类别中的每个状态类别能够对参考状态件数据的值单独地进行统计学分析。例如,能够针对每个状态类别单独地确定期望值和方差。

[0116] 现在例如能够将状态变量的当前值与用于不同状态类别的对应的参考状态变量的期望值进行比较,以便得出部件的磨损状态的结论。

[0117] c) 考虑来自多个测试循环的状态数据:外插和统计学分析

[0118] 通过考虑来自不同测试循环的状态数据的值可行的是,比这通过考虑单个值是可行的情况下还更好地表征部件的状态。

[0119] 图5示例性地图解说明作为时间或相继的测试循环的函数的状态变量Z的值。Z的值随着测试循环而改变。最初,所述Z的值围绕值 μ_A 波动。所述值是用于状态类别A的对应的参考状态变量的期望值。因此能够推断出,其状态由状态变量Z表征的部件最初在一定程度上处于新状态中。但是,Z的当前值随着时间增加,并且最初达到值 μ_B ,所述值 μ_B 涉及用于状态类别B的对应的参考状态变量的期望值,并且随后达到值 μ_C ,所述值 μ_C 涉及用于状态类别C的对应的参考状态变量的期望值。对应地可以推断出,相关部件经由中等使用状态改变到临界状态。为了预测部件失效的时间点,能够进行用于将来的Z的值的外插。这例如能够通过回归分析来进行。对此,在图5中,平方回归曲线示例性地绘制为虚线的曲线。随后,例如能够将所述曲线达到用于状态类别D的典型值范围的时间点假设为预测的失效时间 t_0 。所述类型的分析能够实现在部件失效之前对所述部件进行预测性维护(“预测性维护”)。

[0120] 此外可设想,在多个测试循环范围内求取状态变量的值,并且对如此收集的值的整体执行统计学分析,以便将所述值的分布与参考状态变量的值的分布进行比较。

[0121] 对此,在最简单的情况下,能够从所收集的值中确定状态变量的当前期望值,并且将所述当前期望值与参考状态变量的期望值进行比较。在此,特定数量的测试循环范围内的预期值称为“当前期望值”。

[0122] 替代对期望值进行比较,也能够比较其他统计学特征值。例如,能够为状态类别中的每个状态类别确定参考状态变量的值的对应方差或标准偏差。通常,随着部件的磨损增

加,不仅对应的状态变量的期望值改变,而且其波动增加。与此对应地,对方差或标准偏差的监控也允许得出部件的磨损状态的结论。

[0123] 这在图6中示例性地图解说明。在图6中绘出状态变量的当前标准偏差 σ 的时间变化曲线。可看出,标准偏差在时间点 t_0 附近突然强烈增加,并且近似对应于状态类别D中的参考状态变量的标准偏差。这表明对应的部件的突然失效。

[0124] 在所述情况下,即使对应的状态变量的期望值完全没有改变,对统计特征值“标准偏差”或“方差”的监控也能够提供部件失效的指示。就此而言,统计学分析允许比在仅监控单个值时可靠得多地识别部件的即将来临或实际的失效。

[0125] 替代上述类型的简单的统计学分析,例如也能够使用分类算法,所述分类算法将特定量的状态变量与参考状态变量相关联,以便得出部件状态的结论。为此,又能够使用ML算法。

[0126] d) 结果的输出和可视化

[0127] 自动的部件诊断的结果能够容易地可视化、例如借助交通灯系统可视化,在所述交通灯系统中,每个部件的状态被单独评估为绿色(好)、黄色(要注意)或红色(差)。根据部件的状态,能够以相同的方式对整个机器的状态进行评估。这能够实现机器及其部件的状态的特别简单的概览。也能够输出在“预测性维护”意义上的即将来临的失效的指示。

[0128] 通过点击部件中的一个部件,能够以简单的方式将引起对应评估的所属数据可视化。

[0129] 能够以与平台不相关的方式经由网络浏览器在任意的终端设备上进行可视化。其他评估措施也能够对应地以与平台不相关的方式实现。由此也简化远程分析。尤其地,能够经由云端从任意的移动终端设备开始详细地检查任意机器的状态。

[0130] 附加地可设想,在存在需要干预的状态的情况下,通过SMS、推送通知或电子邮件自动化地发送对应的信息,如在上文中已经实施的那样。

[0131] 流程图

[0132] 图7概括地示出用于监控滚动磨床的状态的示例性的流程图。

[0133] 在块110中首先规定用于状态变量的公差极限。为此,在步骤111中从数据库中调用用于类似的加工情景的参考状态变量,并且在步骤112中对其进行统计学分析。基于所述统计学分析,在步骤113中进行公差极限的规定。

[0134] 在块120中,使用所述公差极限进行测试循环连同随后的状态诊断。移动机器的部件(步骤121),并且在此期间持续检测测量数据(步骤122)。从测量数据中形成状态变量(步骤123),并且将其传送给数据库以进行存储(步骤124)。在步骤125中,将状态变量与公差极限进行比较,并且基于比较触发动作、例如以图形方式输出部件的状态评估。

[0135] 在块130中,对机器的部件的未来失效进行预测。为此,将当前状态变量外插到未来(步骤131)。在步骤132中,将外插结果与参考状态变量的统计学特征值或公差极限进行比较,并且基于比较触发动作、例如输出所预测的失效时间点。

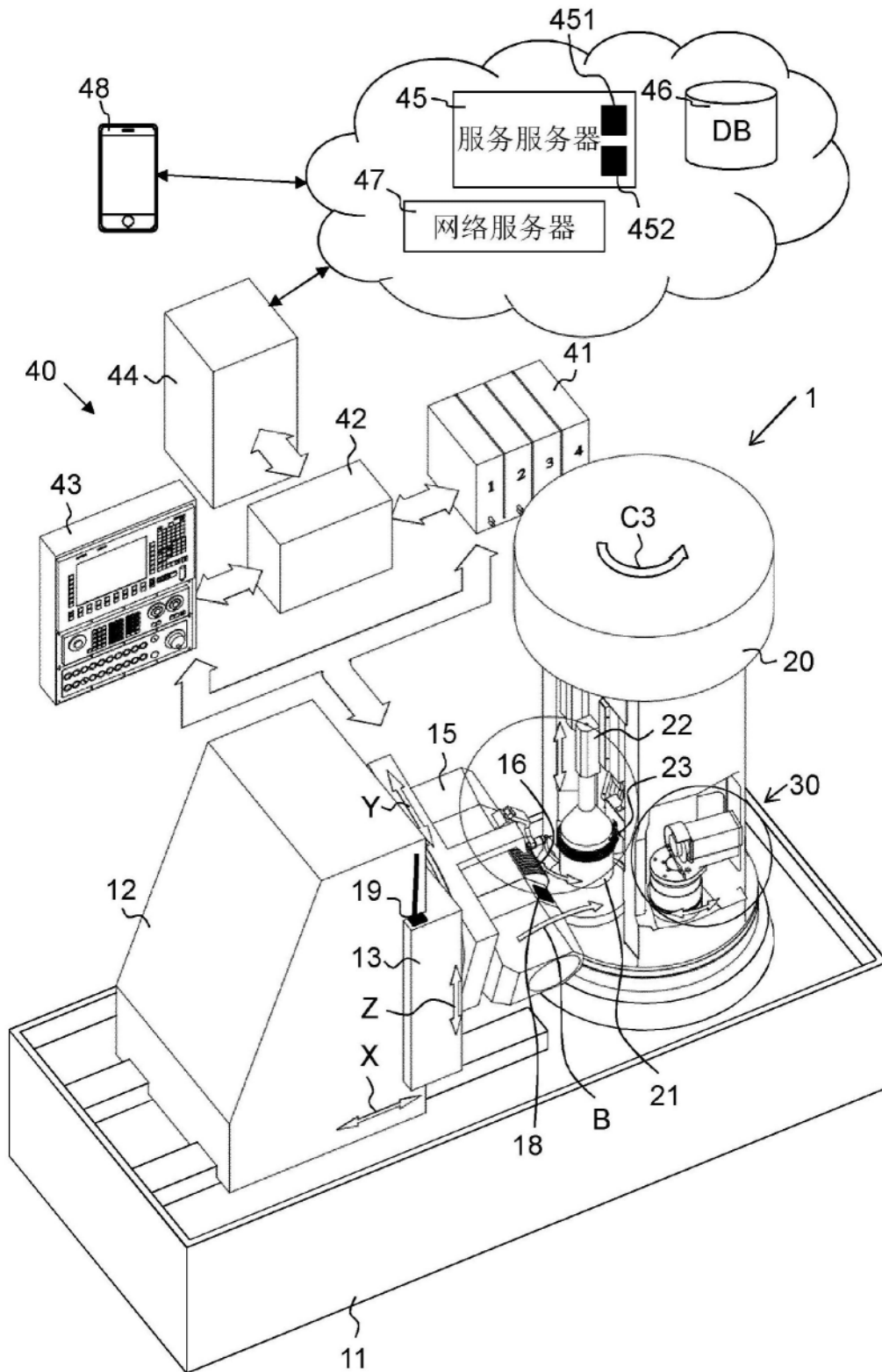


图1

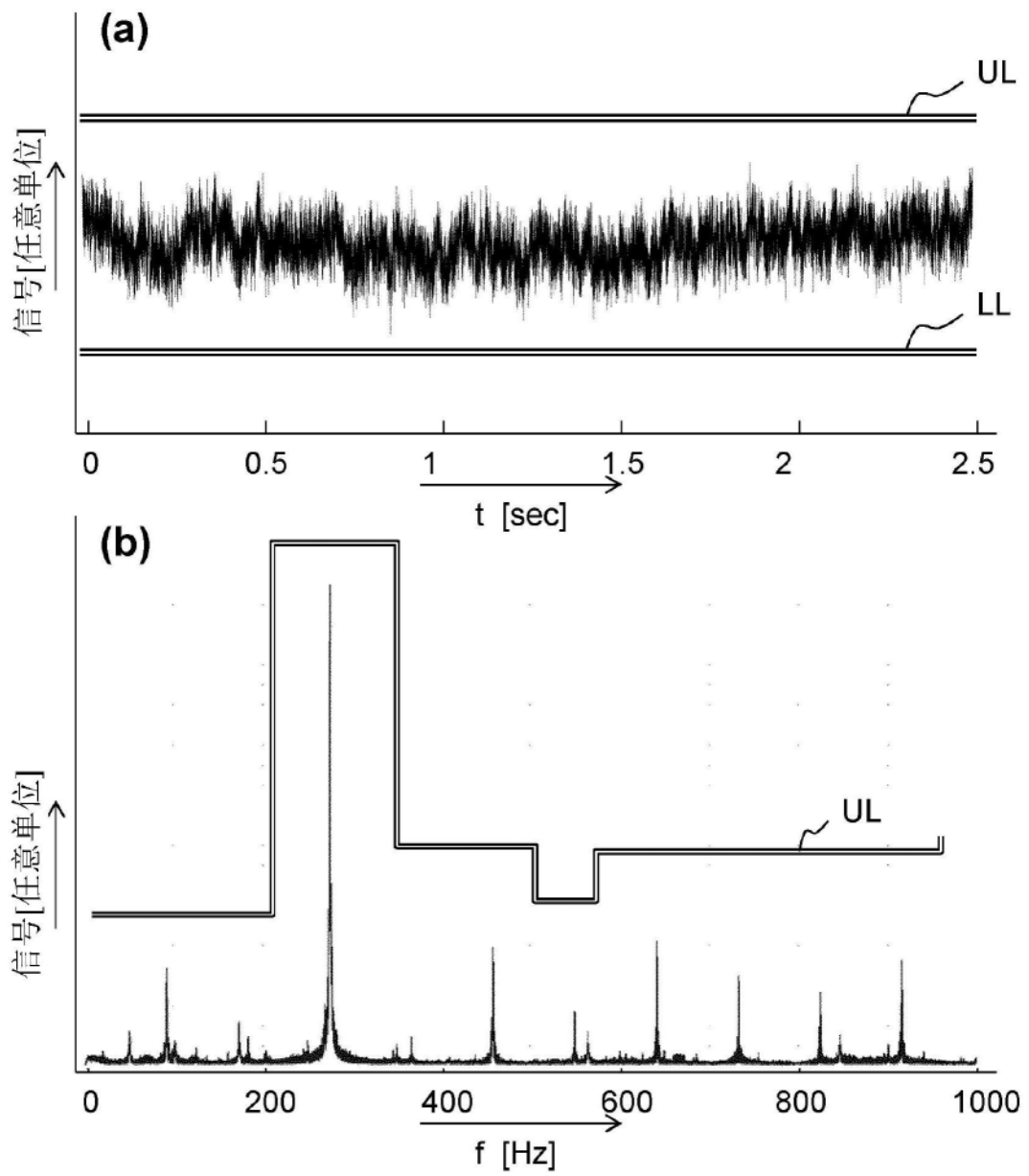


图2

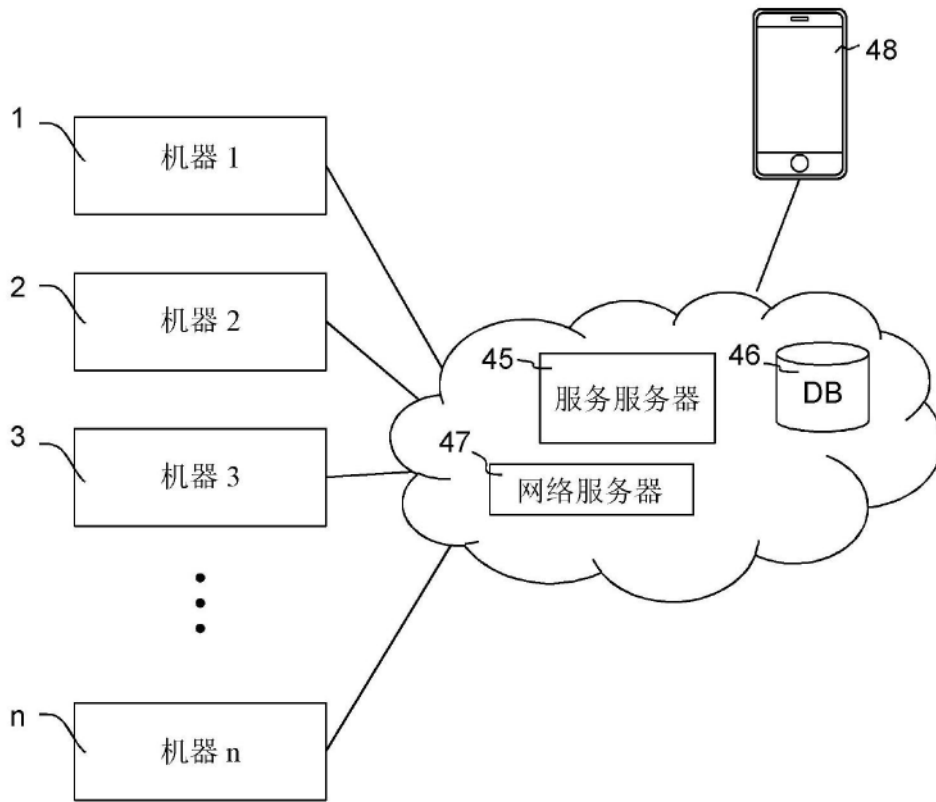


图3

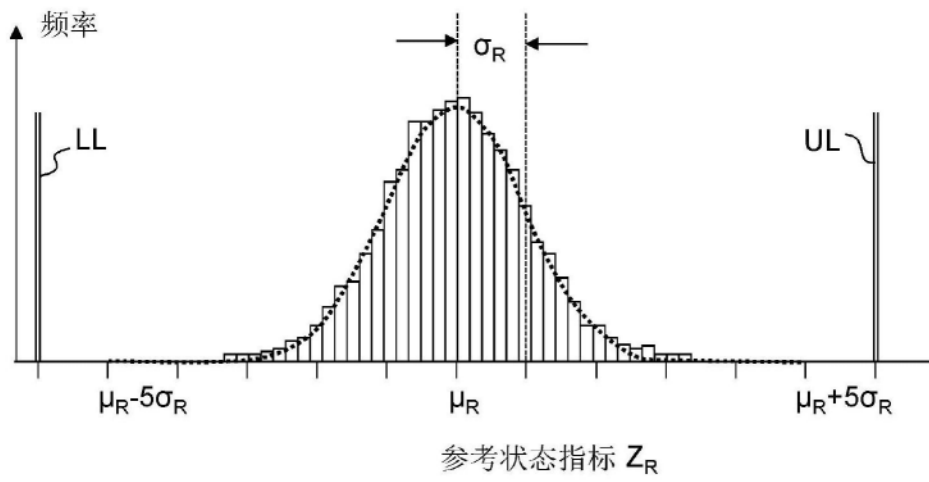


图4

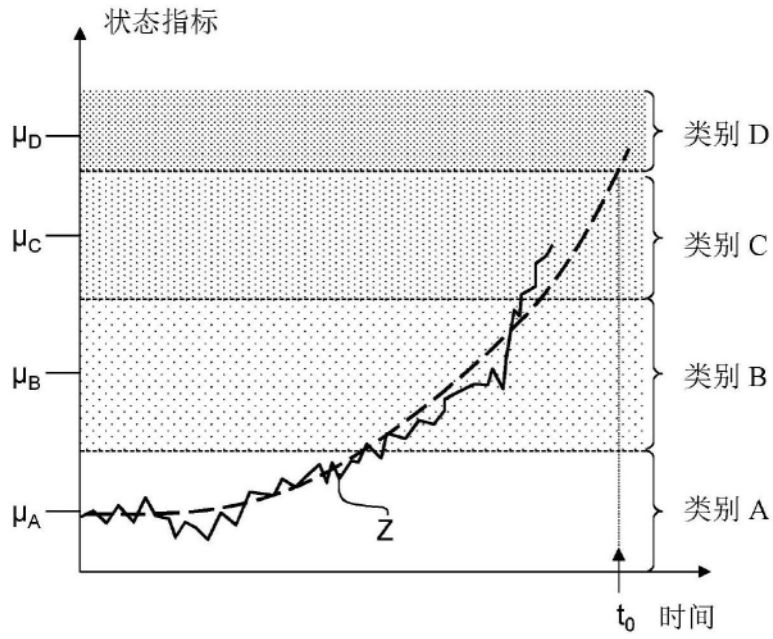


图5

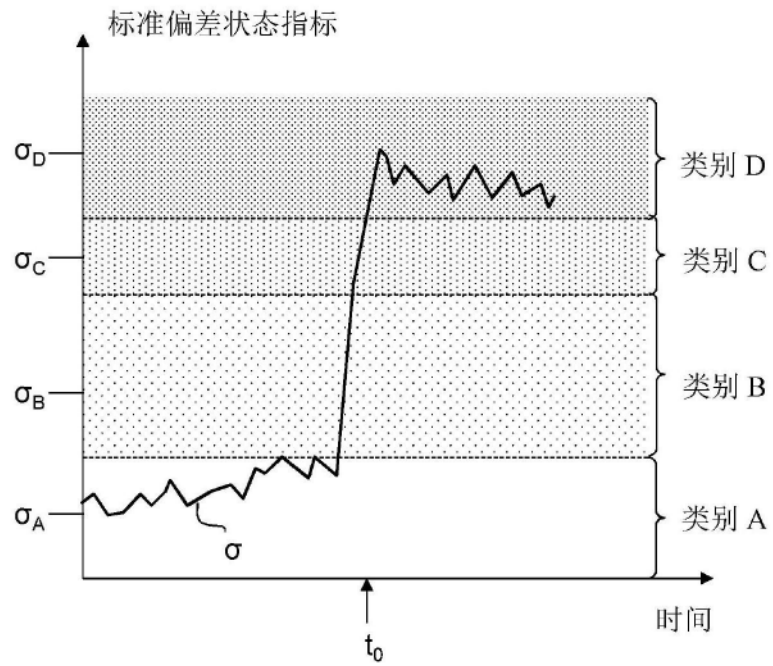


图6

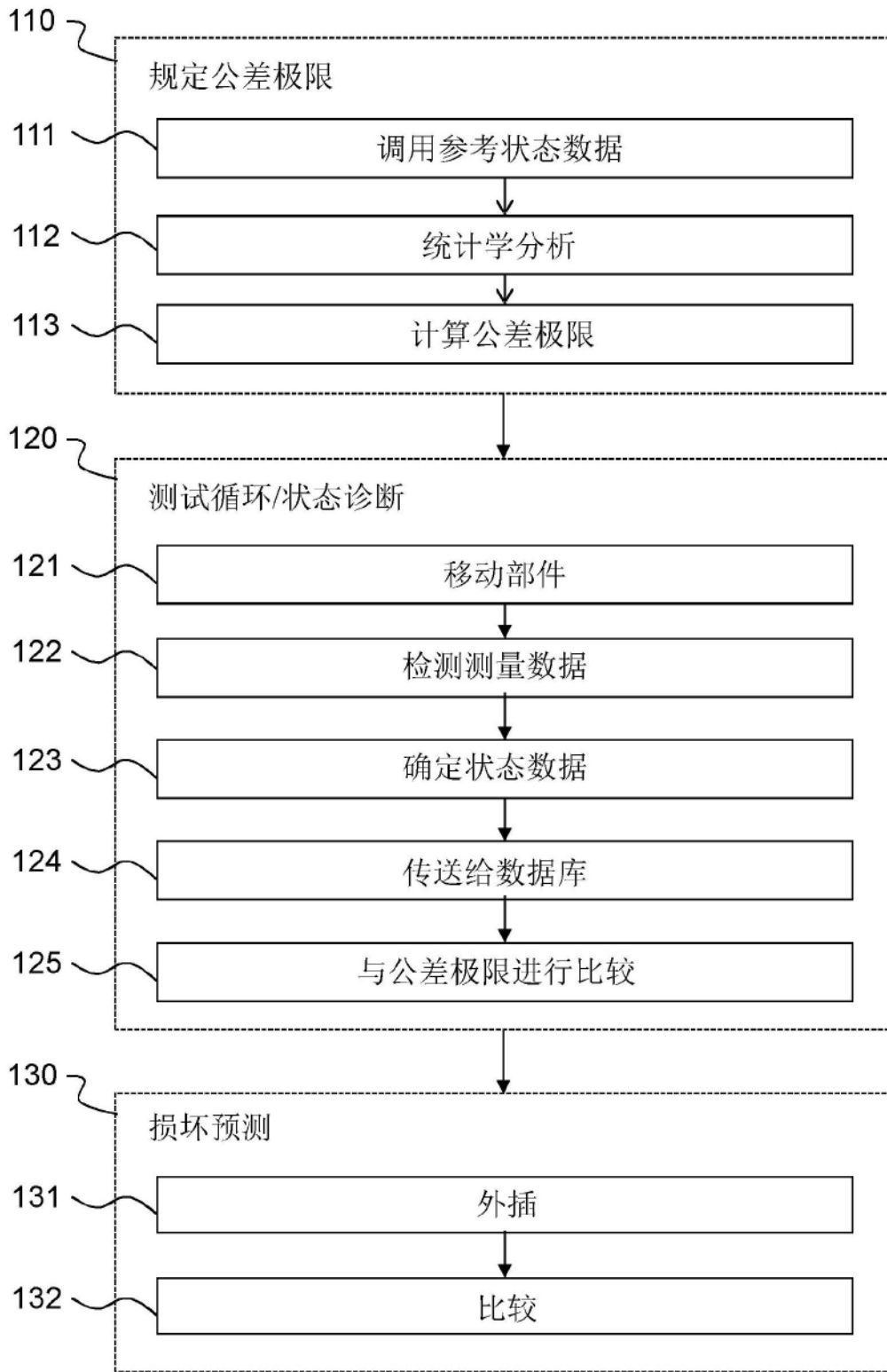


图7