



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104369628 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 25

(21) 申请号 201410394500. 8

(22) 申请日 2014. 08. 12

(30) 优先权数据

13/964307 2013. 08. 12 US

(71) 申请人 固特异轮胎和橡胶公司

地址 美国俄亥俄州阿克伦东市场街
1 1 4 4 号

(72) 发明人 K. B. 辛赫 陆耀华 A. W. 帕森斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
司 72001

代理人 李涛 胡斌

(51) Int. Cl.

B60C 23/04(2006. 01)

G06F 19/00(2011. 01)

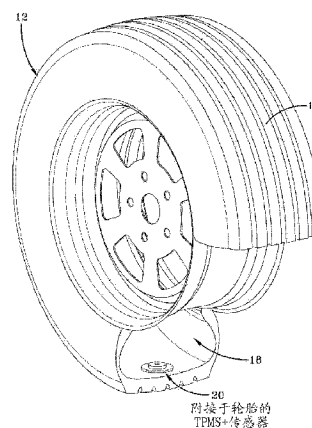
权利要求书2页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称

扭振模式轮胎磨损状态估算系统和方法

(57) 摘要

一种轮胎磨损状态估算系统,包括:轮胎压力测量装置,其附接至交通工具轮胎,来测量轮胎充气压力,并生成轮胎充气压力数据;轮胎扭振模式测量装置,其用于测量轮胎扭振模式频率,并生成轮胎扭振模式频率数据;和轮胎识别装置,其使用轮胎特定识别数据来生成轮胎特定扭振模式系数。基于轮胎充气压力数据、扭振模式频率数据和轮胎识别所推导出的扭振模式系数进行轮胎磨损估算。



1. 一种轮胎磨损状态估算系统,其特征在于包括:
 支承交通工具的至少一个轮胎;
 轮胎压力测量装置,其附接至所述一个轮胎,来测量轮胎充气压力,并生成轮胎充气压力数据;
 轮胎扭振模式测量装置,其用于测量轮胎扭振模式频率,并生成轮胎扭振模式频率数据;
 轮胎识别装置,其使用轮胎特定识别数据来生成轮胎特定频率模式系数;和
 轮胎磨损估算装置,其基于所述轮胎充气压力数据、所述扭振模式频率数据和所述轮胎特定频率模式系数来计算轮胎磨损状态的估算值。
2. 如权利要求 1 所述的轮胎磨损状态估算系统,其特征在于,所述轮胎压力测量装置包括安装于轮胎的压力测量装置,其进行操作以通过压力传感器测量轮胎腔体压力,并传输来自轮胎腔体压力测量的轮胎充气压力数据。
3. 如权利要求 2 所述的轮胎磨损状态估算系统,其特征在于,所述轮胎特定识别数据存储在所述安装于轮胎的压力测量装置内,并且从所述安装于轮胎的压力测量装置是可访问的。
4. 如权利要求 3 所述的轮胎磨损状态估算系统,其特征在于,使用轮速信号或安装于轮毂的加速计传感器信号来生成轮胎特定扭振频率模式系数。
5. 如权利要求 4 所述的轮胎磨损状态估算系统,其特征在于,所述轮胎扭振模式频率的测量值来自于安装于轮子的加速计或安装于轮胎胎冠的加速计。
6. 如权利要求 4 所述的轮胎磨损状态估算系统,其特征在于,所述轮胎磨损估算装置包括所述轮胎磨损状态与所述轮胎扭振模式频率之间的关联模型。
7. 如权利要求 6 所述的轮胎磨损状态估算系统,其特征在于,所述关联模型包括基于多项式模型的递归最小二乘算法,其捕捉轮胎的磨损状态、轮胎充气压力数据和轮胎扭振模式频率之间的依存性。
8. 如权利要求 1 所述的轮胎磨损状态估算系统,其特征在于,所述轮胎磨损估算装置包括所述轮胎磨损状态与所述轮胎扭振模式频率之间的关联模型。
9. 一种轮胎磨损状态估算系统,其特征在于包括:
 用于支承交通工具的至少一个轮胎;
 安装于轮胎的压力测量装置,其附接至所述一个轮胎,进行操作以测量轮胎腔体压力,并传输来自轮胎腔体压力测量的轮胎充气压力数据;
 轮胎特定识别数据,其存储在安装于轮胎的数据存储装置内,并且从安装于轮胎的数据存储装置是可访问的;
 轮胎扭振模式测量装置,其用于测量轮胎扭振模式频率,并生成轮胎扭振模式频率数据;
 轮胎识别装置,用于使用所述轮胎特定识别数据以及轮胎扭振模式频率的轮速信号或纵向加速度信号测量值,来生成轮胎特定扭振模式频率系数;和
 轮胎磨损估算装置,其基于所述轮胎充气压力数据、所述轮胎扭振模式频率数据和所述轮胎特定扭振模式系数来计算轮胎磨损状态的估算值。
10. 一种轮胎磨损状态估算的方法,其特征在于包括:

将轮胎压力测量装置附接至支承交通工具的轮胎,所述压力测量装置具有至少一个压力传感器,其测量轮胎腔体充气压力并生成轮胎充气压力数据;

测量轮胎扭振模式频率并生成轮胎扭振模式频率数据;

基于所述轮胎特定识别数据生成轮胎特定扭振模式系数;以及

基于所述轮胎特定识别数据,在所述轮胎充气压力数据、所测的扭振模式频率数据和所述轮胎特定频率模式系数的基础上,计算轮胎磨损状态的估算值。

扭振模式轮胎磨损状态估算系统和方法

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及用于在交通工具操作期间收集所测轮胎参数数据的轮胎监测系统,并且更特别地涉及基于这些测量值来估算轮胎磨损状态的系统和方法。

背景技术

[0002] 安装于交通工具的轮胎可以由轮胎压力监测系统 (TPMS) 监测,所述轮胎压力监测系统 (TPMS) 测量交通工具操作期间的比如压力和温度等轮胎参数。来自配备有 TPMS 轮胎的系统的的数据被用于基于所测轮胎参数确定轮胎的状态,并提醒驾驶员这些状况,比如低轮胎压力或漏气,其可能需要补救维修。每个轮胎内的传感器被安装在轮胎制造的固化前阶段或在向轮胎的固化后组装中。

[0003] 其它因素比如轮胎磨损状态等对于交通工具操作和安全性来说是重要的考虑因素。相应地进一步希望的是测量轮胎磨损状态并将磨损状态与压力和温度等所测轮胎参数一起传送至交通工具系统比如制动和稳定性控制系统。

发明内容

[0004] 根据本发明的一个方面,一种轮胎磨损状态估算系统包括:轮胎压力测量装置,其附接至交通工具轮胎,来测量轮胎充气压力,并生成轮胎充气压力数据;轮胎扭振模式测量装置 (means),其用于测量轮胎扭振模式频率,并生成轮胎扭振模式频率数据;和轮胎识别装置,其使用轮胎特定识别数据来生成轮胎特定扭振模式系数。基于轮胎充气压力数据、扭振模式频率数据和轮胎特定扭振模式系数进行轮胎磨损估算。

[0005] 在另一方面,安装于轮胎的压力测量装置进行操作,以通过压力传感器测量轮胎腔体压力,并传输来自轮胎腔体压力测量的轮胎充气压力数据。轮胎特定识别数据被存储在基于轮胎的数据存储器内,并且从基于轮胎的数据存储器是可访问的,所述基于轮胎的数据存储器例如为但不限于安装于轮胎的压力测量装置。

[0006] 根据本发明的另一方面,从获得于安装于轮毂的加速计或安装于基于轮胎的胎冠的加速计的纵向加速度信号或轮速信号生成轮胎特定扭振模式系数。

[0007] 另一方面,轮胎磨损状态估算系统使用轮胎磨损状态与轮胎扭振模式频率之间的关联模型,其中所述关联模型采用基于多项式模型的递归最小二乘算法,其捕捉轮胎的磨损状态、轮胎充气压力数据和轮胎扭振模式频率之间的依存性 (dependency)。

[0008] 本公开还提供以下技术方案:

1. 一种轮胎磨损状态估算系统,包括:

支承交通工具的至少一个轮胎;

轮胎压力测量装置,其附接至所述一个轮胎,来测量轮胎充气压力,并生成轮胎充气压力数据;

轮胎扭振模式测量装置,其用于测量轮胎扭振模式频率,并生成轮胎扭振模式频率数据;

轮胎识别装置,其使用轮胎特定识别数据来生成轮胎特定频率模式系数;和

轮胎磨损估算装置,其基于所述轮胎充气压力数据、所述扭振模式频率数据和所述轮胎特定频率模式系数来计算轮胎磨损状态的估算值。

[0009] 2. 如技术方案 1 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述轮胎压力测量装置包括安装于轮胎的压力测量装置,其进行操作以通过压力传感器测量轮胎腔体压力,并传输来自轮胎腔体压力测量的轮胎充气压力数据。

[0010] 3. 如技术方案 2 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述轮胎特定识别数据存储在所述安装于轮胎的压力测量装置内,并且从所述安装于轮胎的压力测量装置是可访问的。

[0011] 4. 如技术方案 3 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,使用轮速信号或安装于轮毂的加速计传感器信号来生成轮胎特定扭振频率模式系数。

[0012] 5. 如技术方案 4 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述轮胎扭振模式频率的测量值来自于安装于轮子的加速计或安装于轮胎胎冠的加速计。

[0013] 6. 如技术方案 4 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述轮胎磨损估算装置包括所述轮胎磨损状态与所述轮胎扭振模式频率之间的关联模型。

[0014] 7. 如技术方案 6 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述关联模型包括基于多项式模型的递归最小二乘算法,其捕捉轮胎的磨损状态、轮胎充气压力数据和轮胎扭振模式频率之间的依存性。

[0015] 8. 如技术方案 1 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述轮胎磨损估算装置包括所述轮胎磨损状态与所述轮胎扭振模式频率之间的关联模型。

[0016] 9. 如技术方案 8 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述关联模型包括基于多项式模型的递归最小二乘算法,其捕捉轮胎磨损状态、轮胎充气压力数据和轮胎扭振模式频率之间的依存性。

[0017] 10. 一种轮胎磨损状态估算系统,包括:

用于支承交通工具的至少一个轮胎;

安装于轮胎的压力测量装置,其附接至所述一个轮胎,进行操作以测量轮胎腔体压力,并传输来自轮胎腔体压力测量的轮胎充气压力数据;

轮胎特定识别数据,其存储在安装于轮胎的数据存储装置内,并且从安装于轮胎的数据存储装置是可访问的;

轮胎扭振模式测量装置,其用于测量轮胎扭振模式频率,并生成轮胎扭振模式频率数据;

轮胎识别装置,用于使用所述轮胎特定识别数据以及轮胎扭振模式频率的轮速信号或纵向加速度信号测量值,来生成轮胎特定扭振模式频率系数;和

轮胎磨损估算装置,其基于所述轮胎充气压力数据、所述轮胎扭振模式频率数据和所述轮胎特定扭振模式系数来计算轮胎磨损状态的估算值。

[0018] 11. 如技术方案 10 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述轮胎扭振模式频率的测量值来自于安装于轮子的加速计或安装于轮胎胎冠的加速计。

[0019] 12. 如技术方案 10 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述轮胎磨损估算装置包括所述轮胎磨损状态与所述轮胎扭振模式频率之间的关联模型。

[0020] 13. 如技术方案 12 所述的轮胎磨损状态估算系统,其中,所述关联模型包括基于多项式模型的递归最小二乘算法,其捕捉轮胎的磨损状态、轮胎充气压力数据和轮胎扭振模式频率之间的依存性。

[0021] 14. 一种轮胎磨损状态估算的方法,包括:

将轮胎压力测量装置附接至支承交通工具的轮胎,所述压力测量装置具有至少一个压力传感器,其测量轮胎腔体充气压力并生成轮胎充气压力数据;

测量轮胎扭振模式频率并生成轮胎扭振模式频率数据;

基于所述轮胎特定识别数据生成轮胎特定扭振模式系数;以及

基于所述轮胎特定识别数据,在所述轮胎充气压力数据、所测的扭振模式频率数据和所述轮胎特定频率模式系数的基础上,计算轮胎磨损状态的估算值。

[0022] 15. 如技术方案 14 所述的方法,其中,进一步包括:使用轮胎扭振模式频率的轮速信号或纵向加速度信号测量值来生成所述轮胎特定扭振模式系数。

[0023] 16. 如技术方案 15 所述的方法,其中,进一步包括:从安装于轮子的加速计或安装于轮胎胎冠的加速计测量所述轮胎扭振模式频率。

[0024] 17. 如技术方案 14 所述的方法,其中,计算轮胎磨损状态的估算值包括:采用所述轮胎磨损状态与所述轮胎扭振模式频率之间的关联模型。

[0025] 18. 如技术方案 17 所述的方法,其中,进一步包括:将所述关联模型构造为包括基于多项式模型的递归最小二乘算法,其捕捉轮胎磨损状态、轮胎充气压力数据和轮胎扭振模式频率之间的依存性。

[0026] 定义

“ANN”或“人工神经网络”是用于非线性统计数据建模的调整性工具,其基于在学习过程中流动穿过网络的外部或内部信息改变其结构。ANN 神经网络是非线性统计数据建模工具,其用于对输入与输出之间的复杂关系建立模型,或者用于发现数据中的模式。

[0027] 轮胎的“高宽比”是指其断面高度 (SH) 与其断面宽度 (SW) 的比值,该比值乘以 100%,以作为百分比来表达。

[0028] “不对称胎面”是指具有关于轮胎的中心面或赤道面 EP 不对称的胎面花纹的胎面。

[0029] “轴向”和“轴向地(沿轴向)”是指平行于轮胎旋转轴线的线或方向。

[0030] “CAN 总线”是控制器区域网络的缩写。

[0031] “胎圈包布”是围绕轮胎胎圈的外侧放置的窄材料带,用以防止帘线层磨损和被轮辋切割,并将挠曲分布在轮辋上方。

[0032] “周向”是指垂直于轴向方向沿环形胎面表面的周长延伸的线或方向。

[0033] “赤道中心面 (CP)”是指垂直于轮胎的旋转轴线并穿过胎面中心的平面。

[0034] “印迹”是指在轮胎旋转或滚动时由轮胎胎面与平坦表面生成的接触区块或接触区域。

[0035] “沟槽”是指轮胎壁中的细长空隙区域,其可以围绕轮胎壁周向地或横向地延伸。“沟槽宽度”等于在其整个长度之上的平均宽度。沟槽的尺寸做成适应如所描述的气管。

[0036] “内侧面 (inboard side)”是指当轮胎安装在轮子上并且轮子安装在交通工具上时轮胎的最靠近交通工具的侧面。

[0037] “卡尔曼滤波器 (Kalman Filter)”是一组数学公式,其实施预测校正式型估量值,

其从它在一些假定状况被满足时使估算误差协方差最小化这个意义上来说是最优的。

[0038] “横向”是指轴向方向。

[0039] “横向边缘”是指在正常载荷和轮胎充气情况下测量的、与轴向最外侧的胎面接触区块或印迹相切的线,所述线平行于赤道中心面。

[0040] “龙贝格观测器 (Luenberger Observer)”是状态观测器或估算模型。“状态观测器”是这样一种系统,其从给定真实系统的输入和输出的测量值,来提供给定真实系统的内状态的估算值。它通常由计算机实施,并且提供许多实际应用的基础。

[0041] “MSE”是均方误差的缩写,即所测信号与由卡尔曼滤波器最小化的估算信号之间的误差。

[0042] “净接触面积”是指围绕胎面的整个圆周的横向边缘之间的接地胎面元件的总面积除以横向边缘之间整个胎面的全面积。

[0043] “非定向胎面”是指这样一种胎面,其没有优选的向前行进方向也不要求定位在交通工具上特定的轮子位置或多个轮子位置来保证胎面花纹与优选的行进方向对齐。相反地,定向胎面花纹具有需要特定轮子定位的优选行进方向。

[0044] “外侧面 (outboard side)”是指当轮胎安装在轮子上并且轮子安装在交通工具上时最远离交通工具的轮胎的侧面。

[0045] “蠕动”是指通过沿管状通道推动内含物(例如空气)的波状收缩所进行的操作。

[0046] “压电膜传感器”是呈膜体形式的装置,其使用由膜体的弯曲致动的压电效果,来测量压力、加速度、应变或作用力,方法是将它们转换为电荷。

[0047] “PSD”是功率谱密度(FFT(快速傅里叶变换)的技术同义词)。

[0048] “径向”和“径向地(沿径向)”是指沿径向朝向或远离轮胎的旋转轴线的方向。

[0049] “肋”是指胎面上沿周向延伸的橡胶条,其由至少一个周向沟槽与第二个这样的沟槽或横向边缘限定出,该条在横向方向上未被全深度沟槽分割。

[0050] “细缝(sipe)”是指模制到轮胎的胎面元件中、细分胎面表面并改进牵引的小狭槽,细缝通常在宽度上窄并且在轮胎印迹内闭合,这与在轮胎印迹中保持敞开的沟槽相反。

[0051] “胎面元件”或“牵引元件”是指通过具有邻近沟槽的形状限定出的肋或块状元件。

[0052] “胎面弧宽”是指如在胎面的横向边缘之间测得的胎面的弧长。

附图说明

[0053] 将通过示例并参考附图描述本发明,附图中:

图 1 是具有被包含到胎面区域中的轮胎压力监测系统的轮胎的透视图。

[0054] 图 2 是频率图示,示出了轮胎的振幅 vs 频率,并且指出了用于提取扭振模式分量的感兴趣的图示区域。

[0055] 图 3A 是在 32psi 时处于三个载荷水平的轮胎的频率 vs 振幅图示,并且示出了处于不同载荷的第二扭振模式频率。

[0056] 图 3B 是频率 vs 振幅图示,示出了在 36psi 时处于三个轮胎载荷的扭振模式。

[0057] 图 3C 是频率 vs 振幅图示,示出了处于三个轮胎载荷并且处于 40psi 的轮胎充气的扭振模式。

[0058] 图 4A 是在三个不同轮胎充气压力水平时用于 3mm 大的轮胎楔障的概要频率 vs 振

幅图示。

[0059] 图 4B 是在三个不同压力水平时用于 5mm 大的轮胎楔障的概要频率 vs 振幅图示，其中轮胎设定在 60kph 并且轮胎载荷为 1300 磅。

[0060] 图 5 是一组图示，示出了频率 vs 振幅以及第二扭振模式区域，其用于处于全、半和无胎面状况以及 1300 磅载荷的轮胎，比较在三个轮胎胎面状况水平时取得的扭振模式频率的实验结果。

[0061] 图 6A、6B 和 6C 是扭振模式频率 vs 振幅的比较图示，其分别用于处于 32、36 和 40psi 的全、半和无胎面状况，并且以表格形式示出了处于三个充气压力用于三个轮胎状况的扭振模式的敏感度。

[0062] 图 7 是轮胎磨损估算系统的模块级图示，所述轮胎磨损估算系统使用交通工具轮速信号或纵向加速度信号以及轮胎充气压力和轮胎识别信息，来基于此获得轮胎扭振模式频率和轮胎磨损状态的估算值。

具体实施方式

[0063] 参考图 1，轮胎胎面磨损估算系统 10 被示出，其基于轮胎扭振振动信号的光谱分析。这种系统有利于告知交通工具所有者何时更换轮胎，并且可以用于为驾驶员提供轮胎胎面磨损的状态与其它因素比如道路状况之间的相互关系。轮胎性能一般根据轮胎磨损而改变。相应地，轮胎胎面磨损水平的估算可以被用于轮胎状态估算的一个输入。

[0064] 安装至交通工具 22 的轮胎（代表性的一个）12 包括接地胎面区域 14，其随时间推移而磨损。轮胎 12 借助于轮胎内衬 16 封闭轮胎腔体 18。轮胎压力监测系统模块（TPMS）20 可以被附接至轮胎内衬 16。模块 20 存储轮胎 ID 信息，从其可以识别轮胎特定构造数据。

[0065] 采用轮胎磨损状态估算算法的系统 10 使用可在交通工具 22 的 CAN（控制器区域网络）总线 24 上获得的信号 26。所述信号可以包括：轮速信号，作为用于 ABS（防抱死制动系统）的输入而有用；和/或轮毂纵向加速度信号，这是在配备有主动悬架管理系统的交通工具上。从轮速信号或纵向加速度信号，进行模式提取 28，从而提取扭振模式。另外，从轮毂加速度信号，可以进行轮胎垂直模式提取，并基于提取的轮胎垂直模式进行轮胎磨损估算。2013 年 6 月 14 日提交的共同未决美国专利申请 No. 13/917,691 描述了一种基于垂直振动信号的光谱分析的轮胎磨损估算系统，并通过引用并入本文。本发明利用所提取的扭振模式，并使本轮胎磨损估算基于其上。

[0066] 图 1 示出了 TPMS 模块 20，其处于轮胎 12 中的胎冠安装位置，相反于胎面区域 14。如本文中所使用的命名方式“TPMS+”意指在其中构建有无线数据通信能力的轮胎压力监测系统。相应地，TPMS 模块监测腔体 18 内的轮胎压力，并将压力数据传输至远程接收器用于处理。接收器（未示出）可以基于交通工具和/或位于远程。

[0067] 继续参考图 7，于是通过使用光谱分析方法 28，对轮胎扭振模式频率提取进行评估 30，以使轮胎磨损状态（轮胎胎面 14 的深度水平）的影响与轮胎扭振模式相关联。应用关联模型 36（见图 6A-6C），其中对于给定的所测轮胎充气压力，轮胎磨损状态估算基于轮胎扭振模式频率。通过轮胎模型识别号建立轮胎特定模型，并且轮胎压力值被生成并被存储来用于咨询。一旦 TPMS 促进的轮胎识别信息从轮胎获得后，使用所提取的第二模式扭振频率和 TPMS 测量轮胎压力，来应用正确的关联模型。咨询适当的轮胎特定关联模型将得到

轮胎磨损水平的准确估算。从图 7,将进一步看出的是:关联模型进一步包含数据 38,其指示用以检测轮胎自由滚动状态的节流阀位置。

[0068] 现在将说明用于使用扭振模式频率与轮胎磨损状态之间的关联的基础。参考图 2,轮胎振幅对频率 [Hz] 的图示被示出,其中长暂停 (suspension)、同相旋转和反相旋转峰值被标出。该图示的以虚线示出的区域 40 表示在进行本载荷估算时感兴趣的模式,即第二扭振模式。正是振动轮胎的该模式有利于轮胎磨损状态 (胎面 14 的深度水平),其可以在建立轮胎磨损状态与轮胎扭振模式之间的关联模型时,通过使用光谱分析方法来分析。

[0069] 扭振 (旋转) 振动模式在下面概述。如本文中所使用的“带束 (belt)”是指轮胎的结构性带束增强件。

[0070] 第一扭振模式:在处于 30 ~ 40Hz 的同相模式中,轮辋具有旋转振动,并且带束旋转具有处于相同相位的振动。

[0071] 第二扭振模式:轮辋和带束的旋转速度在反相模式 (约 80Hz) 中处于相反相位。

[0072] 为了本文所依赖的实验测试目的,使用了固特异 Eagle F1 不对称轮胎,尺寸 255/45ZR19。轮胎的胎面深度被分类为:“新”,其表示 12kg 的轮胎重量;“半磨损”,其表示 11Kg 的轮胎重量;或者“完全磨损”,其表示 9.9Kg 的轮胎重量。胎面深度每减小 2.5mm,轮胎重量损失大致 10%。

[0073] 使用固定主轴机器上的楔障式转鼓 (cleated wheel) 在轮胎上进行测试。工业中常用的固定主轴机器代表对轮胎载荷和滚动速度的良好控制。在每次测试之前手动地改变充气压力,并且通过使用具有不同水平的防滑深度的轮胎来捕捉磨损依存性。楔障输入是已知的用以在轮胎中引入扭振和垂直激励,并且本测试设备相应地在本磨损估算操作方法的评估中生成感兴趣的轮胎激励。

[0074] 在图 3A 中,使用 3mm 和 5mm 的楔障,并且在 32psi 充气对于 700、1000 和 1300 磅的载荷确定扭振模式 FFT-Fx。在图 3B 中,对于相同的两个楔障尺寸,示出了在 36psi 的充气时对于相同轮胎载荷的图示。在图 3C 的图示中,使用了 40psi 的充气。图 3A-3C 的图示结果表明轮胎载荷状况的变化影响信号振幅,但是信号光谱含量 (模式频率) 的变化相对较低。

[0075] 在图 4A 和 4B 的图示中比较了 3mm 和 5mm 的楔障尺寸。还测试了轮胎充气依存性,如图 4A 和 4B 的测试结果中所反映的。图 4A 示出了对于 32、36 和 40psi 的充气压力对于楔障尺寸为 3mm 的楔障式转鼓上的轮胎的测试结果。处于所测试充气压力的第二扭振模式分别被发现为 81、82.5 和 85Hz。这些结果表明信号振幅及其光谱含量的变化作为轮胎充气变化的结果而适度地高。图 4B 示出了轮胎在具有 5mm 的楔障的转鼓上在一系列载荷作用下的测试结果。处于所测试充气压力的第二扭振模式分别被发现为 81、83 和 85Hz。这些结果表明信号振幅及其光谱含量的变化作为轮胎充气变化的结果而适度地高。

[0076] 图 5 图解地并且通过表格概述了对于三个胎面磨损状况水平在 60kph 的速度、1300 磅的载荷时的第二扭振模式变化。对在扭振模式的光谱分析中感兴趣的图示部分给出了标识。表格表明了对于三个胎面状况的第二扭振模式。

[0077] 在图 6A-6C 中,对于处于全胎面、半胎面和无胎面的轮胎图解地示出了扭振模式频率 FFT-Fx 的压力依存性。如通过表格中的不同扭振模式计算看出的,轮胎磨损状态依存性生成最高的扭振模式分散度。相对较高的轮胎磨损状态依存性基于根据本发明的扭振模

式分析为轮胎磨损状态估算算法的建立提供验证和基础。另外，图示表明轮胎充气压力在分析中具有的关系，并且提供基础来将所测轮胎压力数据用作向轮胎磨损状态模型中的输入。

[0078] 从以上，将看出的是：充气压力、胎面深度、垂直载荷和速度（旋转速度）等影响因素是依存性的。充气压力影响轮胎的垂直和扭振刚度；胎面深度影响胎面质量；垂直载荷影响对轮胎的冲击力；而速度影响冲击力和刚度（离心强化效果）。每个影响因素的水平体现在振幅和频率中。对于充气变化，振幅和频率变化相对较适度。胎面深度高度地影响振幅和频率。垂直载荷变化对振幅影响高但对频率影响低，而速度高度地影响振幅，但只是适度地影响频率。

[0079] 多个依存性使基于“振幅”的途径有问题。然而，轮胎第二扭振模式频率对轮胎磨损状态和充气压力的依存性使本操作方法的基于“频率”的途径有效。

[0080] 从图 7，将看出的是，关于轮胎扭振频率的信息可使用以下方法之一获得：

途径 1：从轮速信号。

[0081] 途径 2：从安装于轮毂的加速计传感器的纵向加速度信号的测量。

[0082] 已通过实验证明：胎面磨损估算模型的拟合优度是可接受的。模型拟合与实验数据进行比较，并且拟合得到关联系数 (r)=0.988。因此表明了模型的验证。多项式模型（压力上为二阶而胎面深度上为一阶）被发现给予良好拟合。

[0083] 从图 7 中示出的基于轮胎的流程图模型实施方式，推导出轮胎磨损状态，从而捕捉轮胎磨损状态、充气压力和轮胎扭振模式频率之间的依存性。从安装至轮胎的 TPMS 模块 20 获得轮胎 12 的充气压力和轮胎 ID 信息 34。模型系数是特定于轮胎构造的，并且由从 TPMS 存储数据获得的轮胎标识来确定。对于给定轮胎构造，可使用轮胎充气压力、轮胎 ID（用以使用正确的模型系数）和轮胎扭振模式频率信息，来进行轮胎磨损状态的递归最小二乘 (RLS) 估算。传感器和存储于 TPMS 模块 20 内的数据被用于获得压力和轮胎 ID 信息。从以上表明并在图 7 中由 26 指示的途径推导交通工具上的轮胎扭振模式的测量。可以使用安装于轮子的加速计或安装于轮胎胎冠的加速计来提供信号。

[0084] RLS 估算算法（具有遗忘因子）提供一种方法来在每个采样时间迭代地更新未知参数，以使用包含在回归向量内的过去数据，来使建模误差的平方和最小化。以下是捕捉轮胎磨损状态、充气压力和轮胎扭振模式频率之间的依存性的模型：

拟合模型

轮胎扭振模式频率 = $p_{00} + p_{10} * \text{压力} + p_{01} * \text{胎面深度} + p_{20} * \text{压力}^2 + p_{11} * \text{压力} * \text{胎面深度}$

模型系数（具有 95% 置信度边界）：

p00	=	-35.94	(-171.6, 99.72)
p10	=	6.586	(-0.9712, 14.14)
p01	=	-2.31	(-5.37, 0.7512)
p20	=	-0.08333	(-0.1881, 0.02144)
p11	=	0.01786	(-0.06682, 0.1025)

以上公式可重写为如下标准参数识别形式：

$$y = \psi^T \theta$$

其中：

$$y = (\text{轮胎扭振模式频率} - p_{00} - p_{10} * \text{压力} - p_{20} * \text{压力}^2) / (p_{11} * \text{压力} + p_{01})$$

$$\psi = 1$$

$$\theta = \text{胎面深度(未知-待估算)}$$

用于解决 RLS 问题的程序如下：

步骤 0：初始化未知参数 $\theta(0)$ 和协方差矩阵 $P(0)$ ；设定遗忘因子 λ 。

步骤 1：测量系统输出 $y(t)$ 并计算回归向量 $\varphi(t)$ 。

步骤 2：计算识别误差 $e(t)$ ：

$$e(t) = y(t) - \varphi^T(t) \cdot \theta(t-1)$$

步骤 3：计算增益 $k(t)$ ：

$$k(t) = P(t-1)\varphi(t) \left[\lambda + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t) \right]^{-1}$$

步骤 4：计算协方差矩阵：

$$P(t) = \left(1 - k(t)\varphi^T(t) \right) \lambda^{-1} P(t-1)$$

步骤 5：更新未知参数：

$$\theta(t) = \theta(t-1) + k(t)e(t)$$

步骤 6：对于每个时间步长重复步骤 1-5。

[0085] 其中： y 是输出； ψ 是回归向量；并且 θ 是未知参数。回归向量的输入和输出分别被用作递归最小二乘（具有遗忘因子）参数估算算法中的输入和输出，来求解轮胎胎面深度的未知参数。

[0086] 用于轮胎磨损估算的本方法可以采用轮胎扭振模式的交通工具上 (on-vehicle) 测量、或轮胎扭振模式的轮胎中 (in-tire) 测量、或两者，以便达到交叉验证的目的。对于交通工具上测量，从轮速信号或来自安装于轮毂的加速计的纵向加速度信号 26 提取扭振模式。安装于轮毂的加速计是可在市场上获得的，并且被用作交通工具悬架管理系统的一部分。从在各种表面上进行的测试，发现：在所有道路状况下均成功地检测到轮胎扭振模式。测试结果均验证了根据本操作方法从任一途径提取扭振模式以便达到胎面磨损估算的目的。

[0087] 本系统的交通工具上算法实施方式可以用于轮胎扭振模式的轮胎中测量。交通工具 22 通过 CAN 总线 24 提供交通工具速度、载荷和节流阀位置作为向轮胎磨损状态估算模型中的输入。从轮胎 12，TPMS（包括加速计）模块 20 提供充气压力、轮胎 ID 数据和来自安装于胎冠的加速计的加速度信号。从径向加速度信号的光谱分析，如以上所说明的，轮胎扭振模式频率被获得并输入至轮胎磨损状态估算模型（图 6A）。因此可获得估算轮胎磨损状态。

[0088] 从前述内容,将理解的是:本胎面磨损估算系统采用新颖算法来估算轮胎磨损状态。通过使用 RLS 算法来递归地估算轮胎磨损状态,所述 RLS 算法是基于捕捉轮胎磨损状态、充气压力和轮胎扭振模式频率之间的依存性的多项式模型而形成的。用于 RLS 算法的模型输入包括:轮胎充气压力、轮胎 ID(使用正确的轮胎特定模型系数所需的)和轮胎扭振模式频率。轮胎充气压力和轮胎 ID 信息可从附接于轮胎的 TPMS 模块获得。关于轮胎扭振模式频率的信息可通过使用本文给出的途径之一来获得。

[0089] 两个途径都可以被采用来交叉验证结果。实时 RLS 算法在实现所需胎面磨损估算中的应用以及准确的估算结果都通过实验得到验证。

[0090] 鉴于本文提供的对本发明的描述,本发明的变型是有可能的。尽管为了说明本发明的目的而示出了某些代表性的实施例和细节,但对本领域的技术人员来说显而易见的是:在不背离本发明的范围的情况下,能够在其中做出各种变化和修改。因此,应该明白的是:能够在所描述的特定实施例中做出变化,其将落入如后面所附权利要求书限定出的本发明的完整预期范围内。

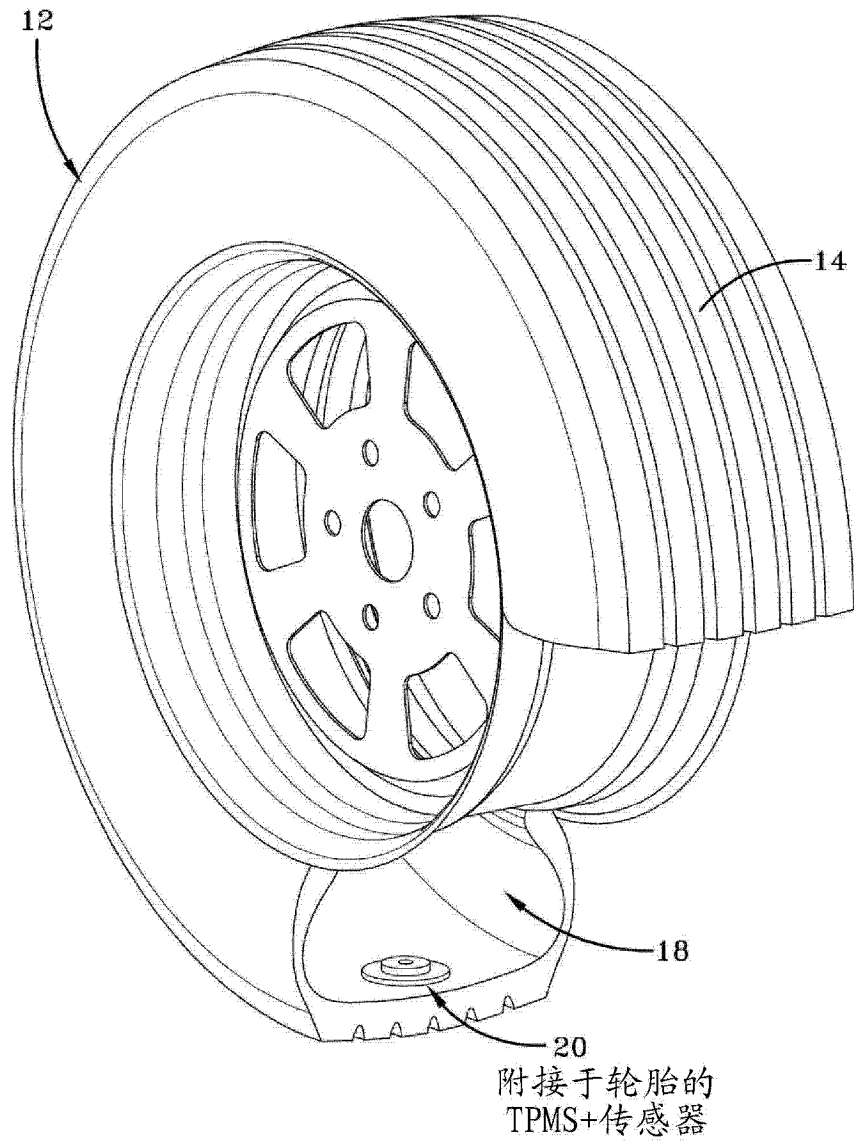


图 1

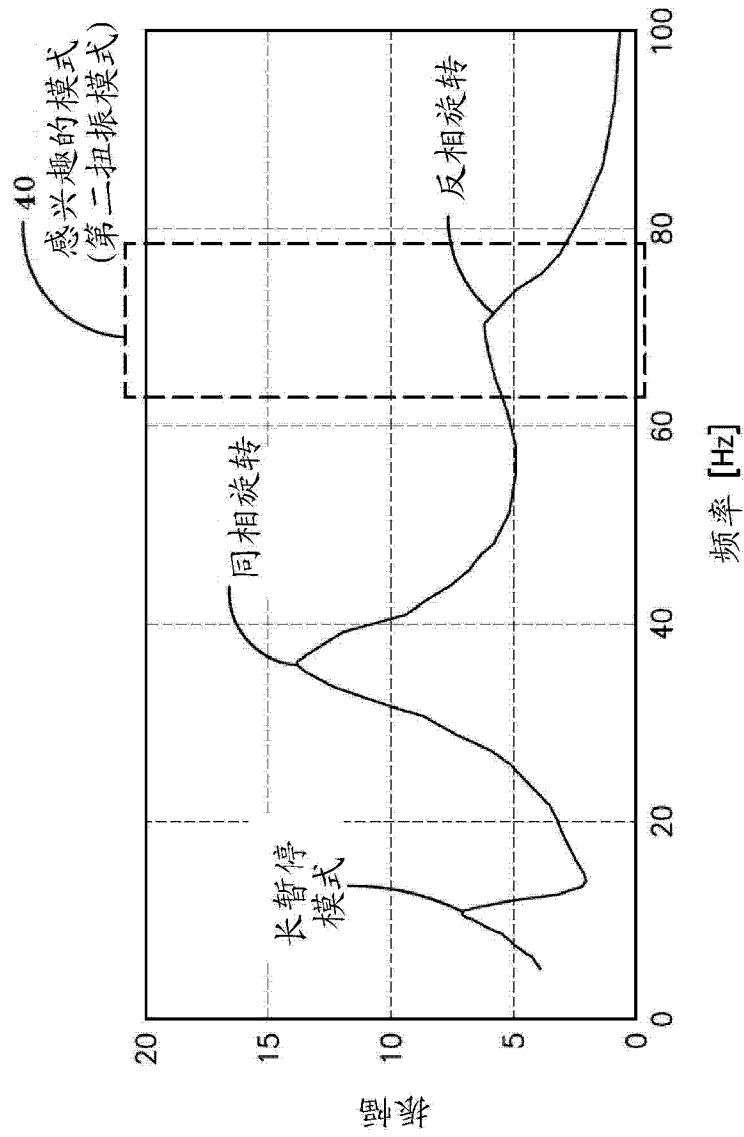


图 2

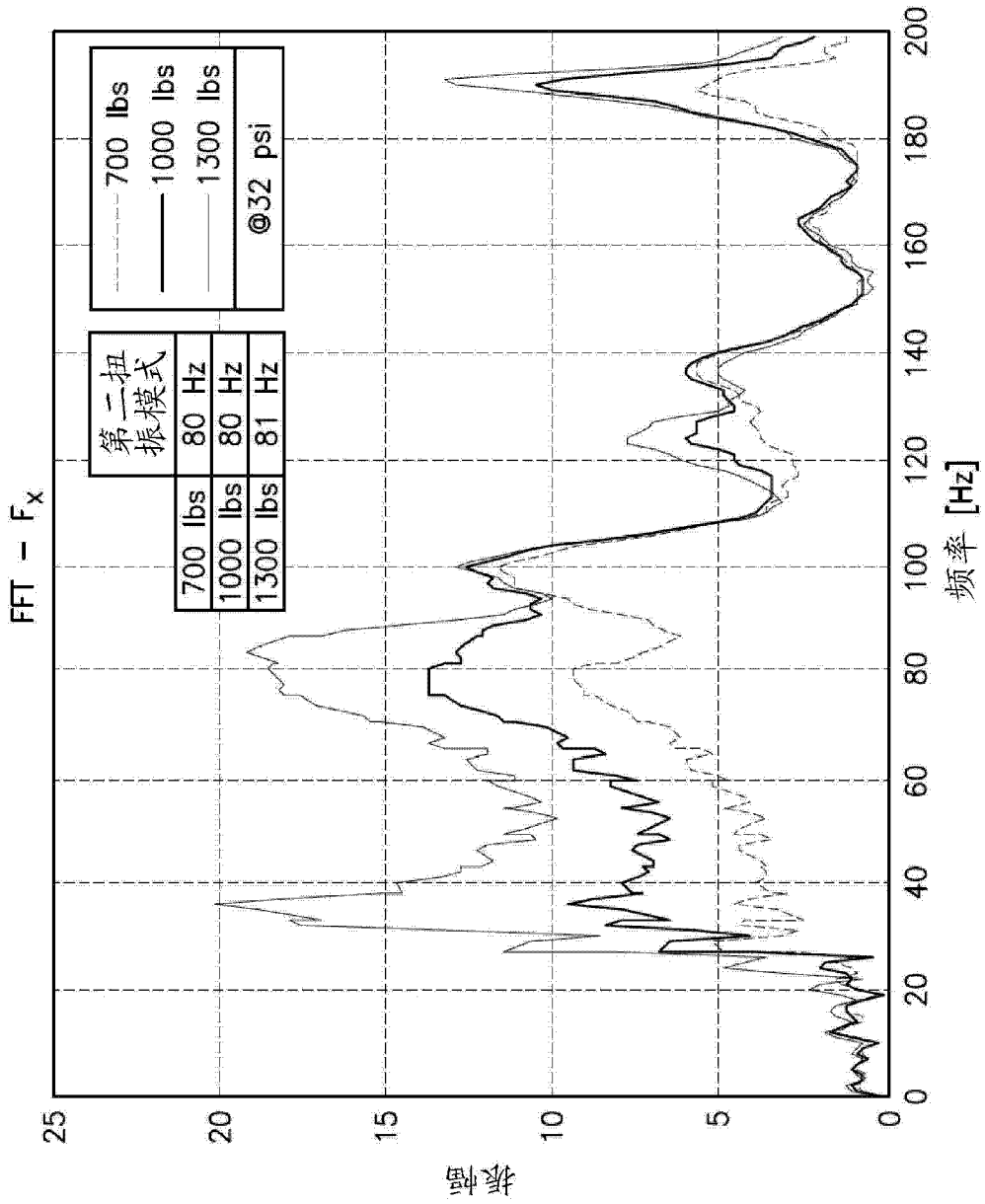


图 3A

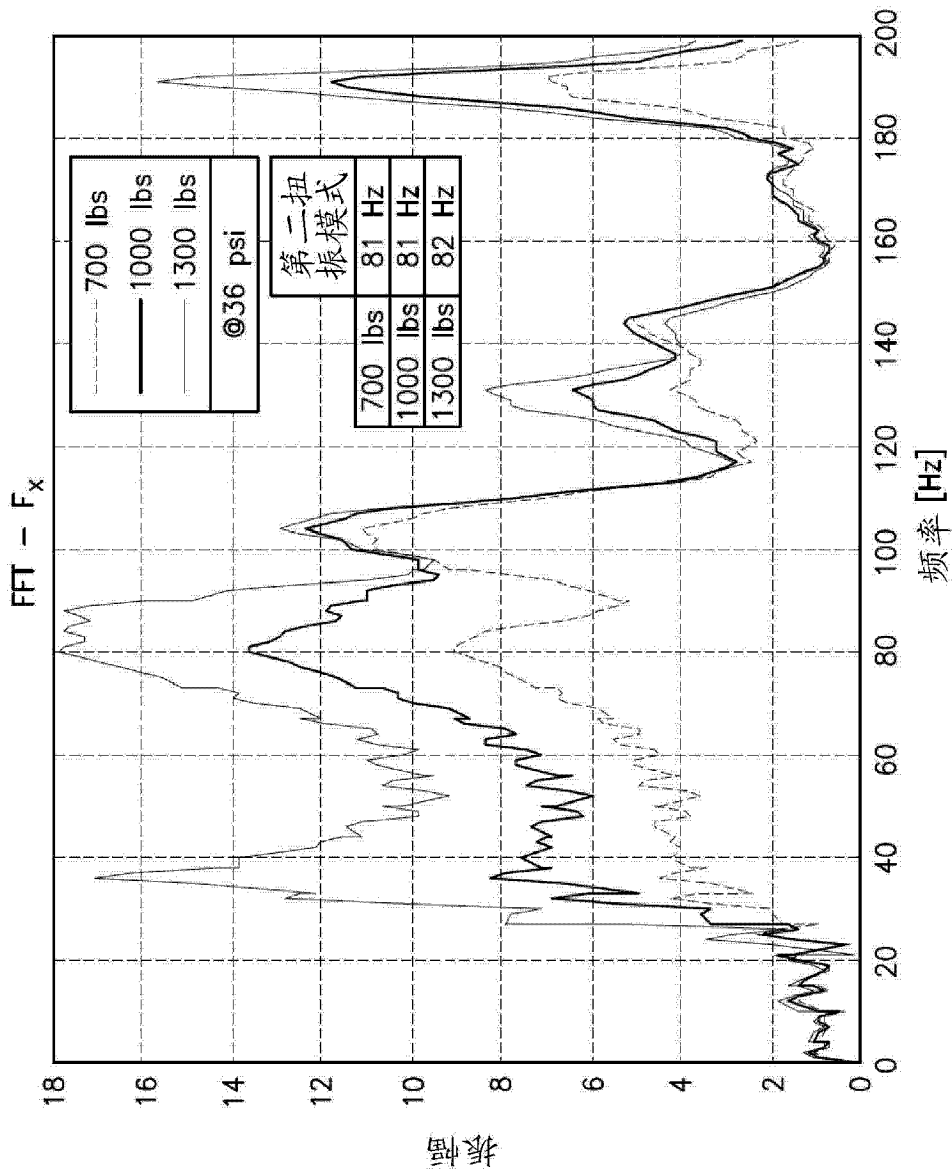


图 3B

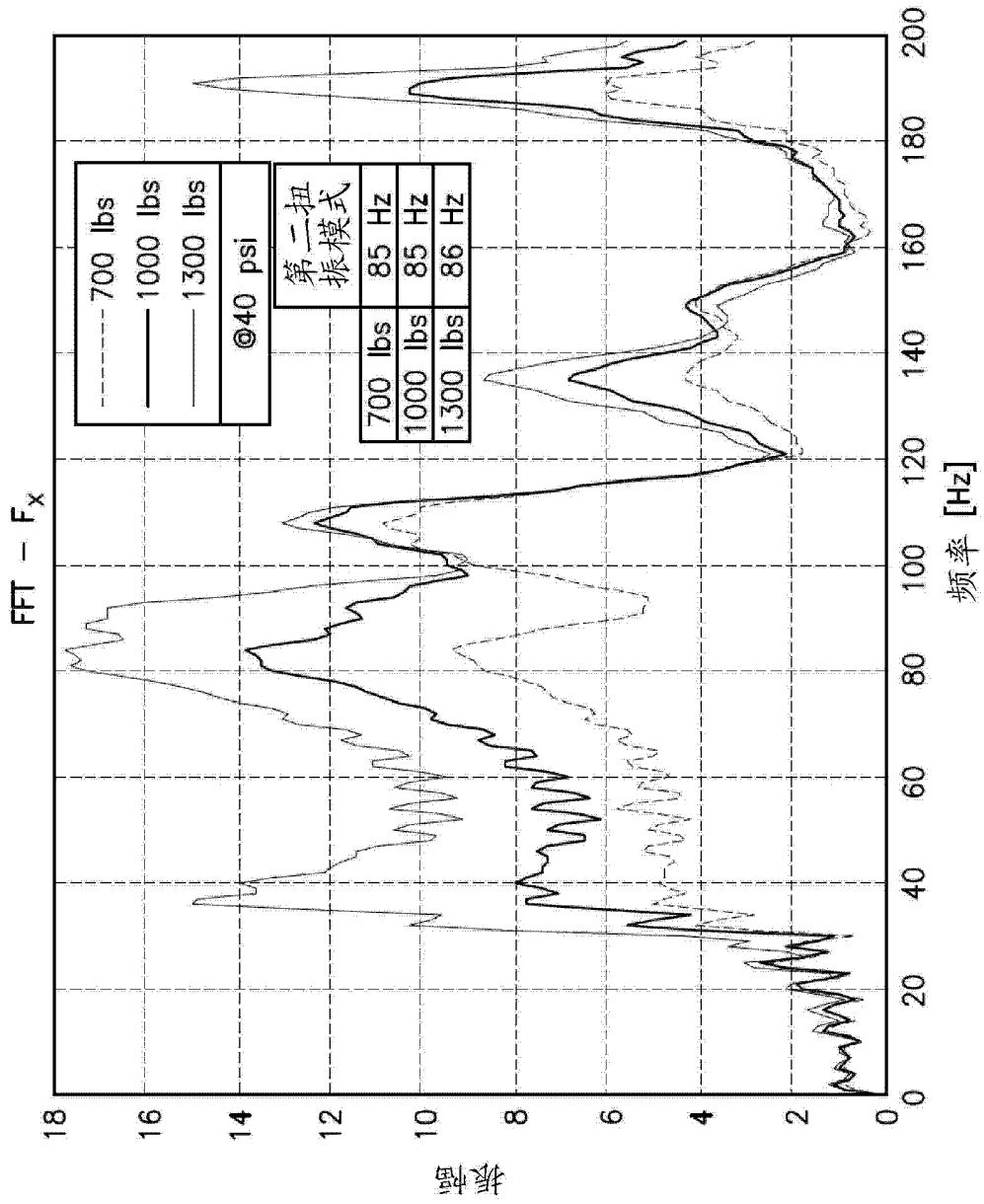


图 3C

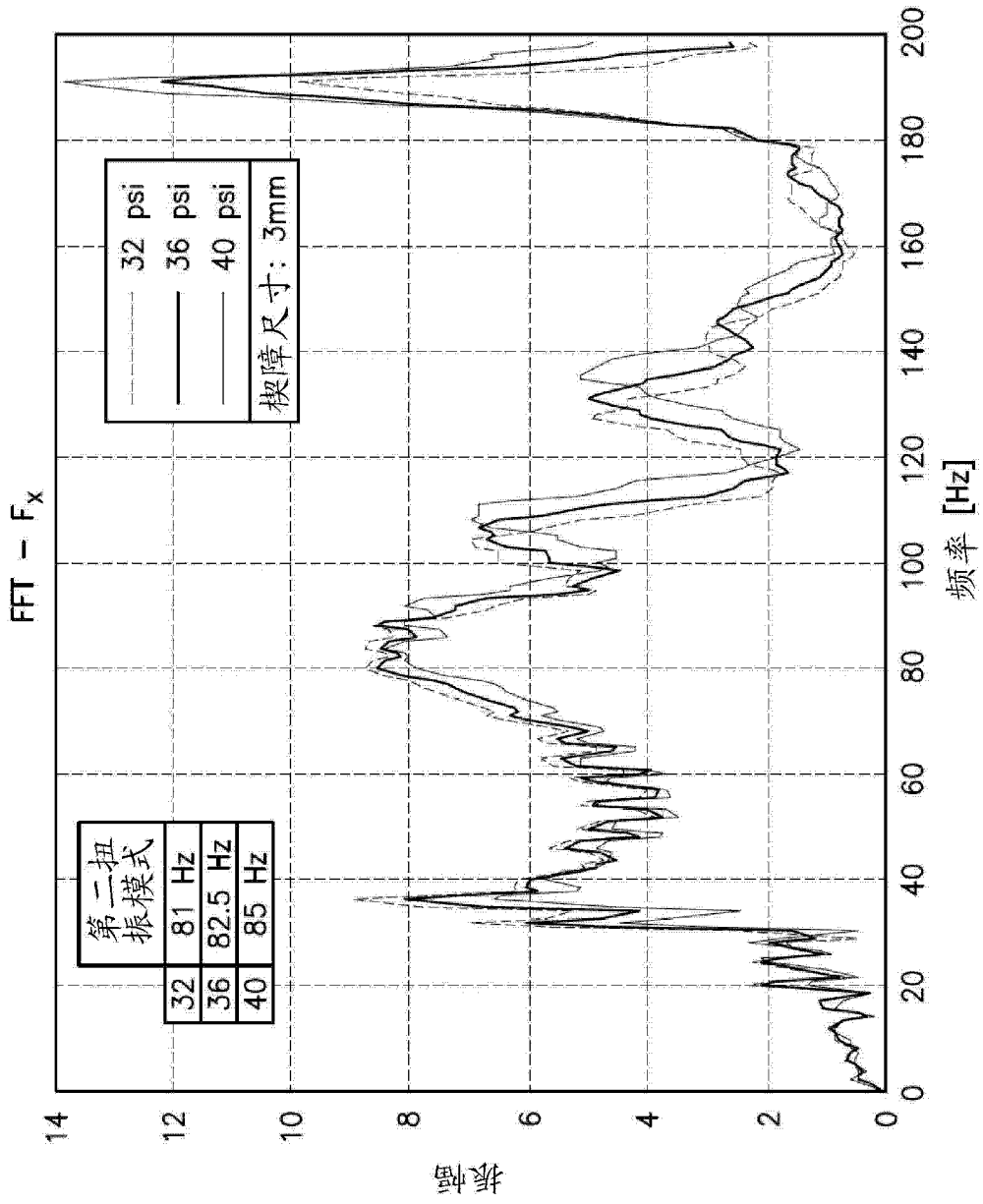


图 4A

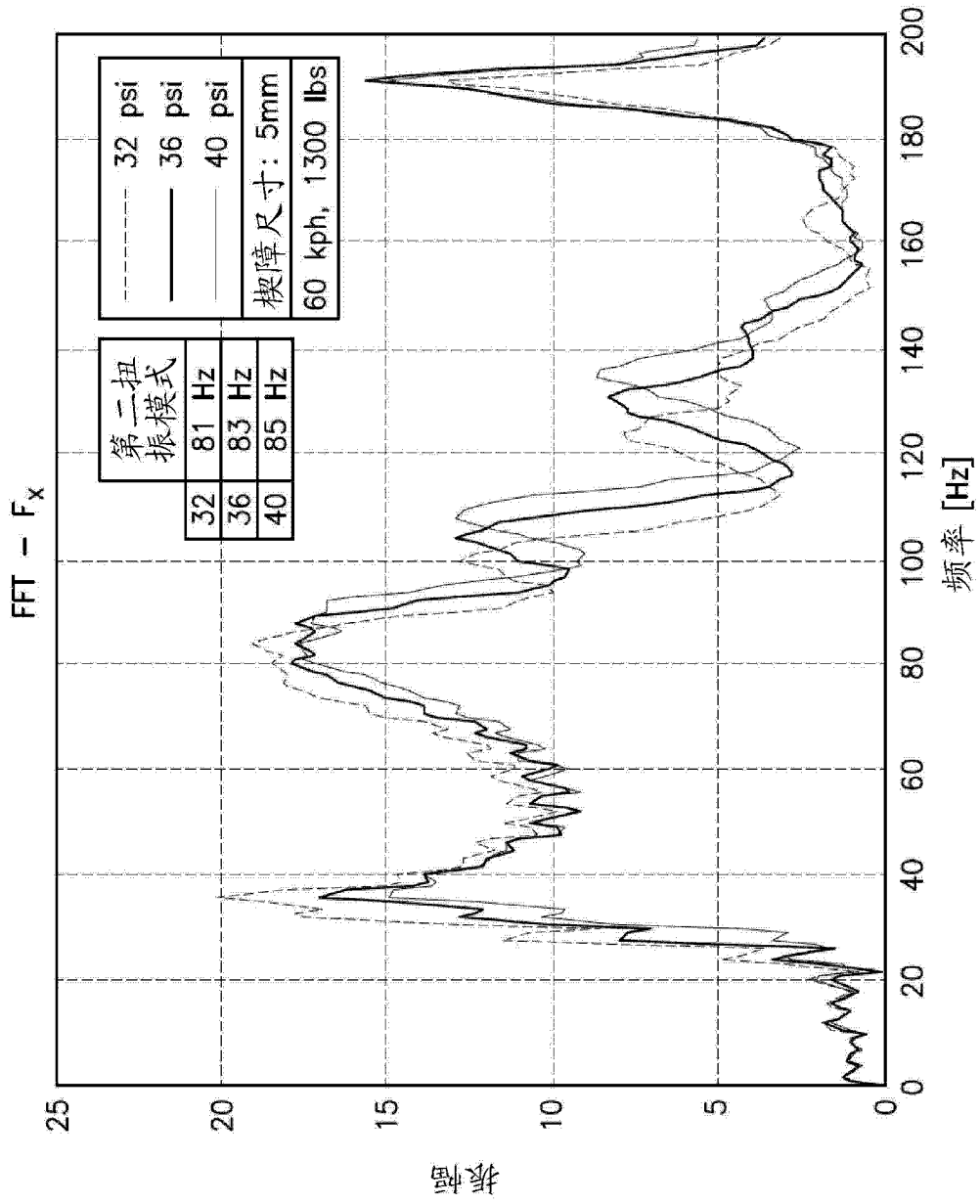


图 4B

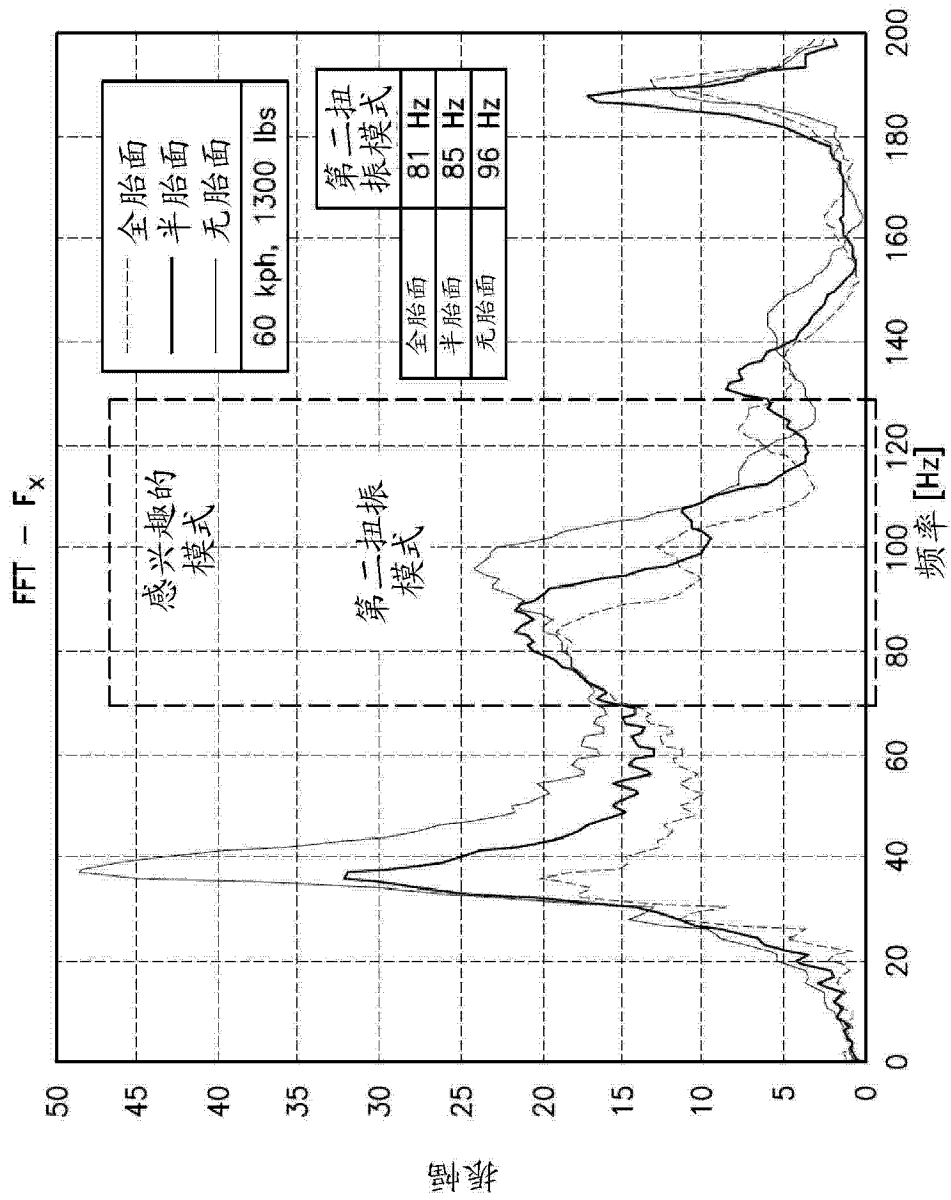


图 5

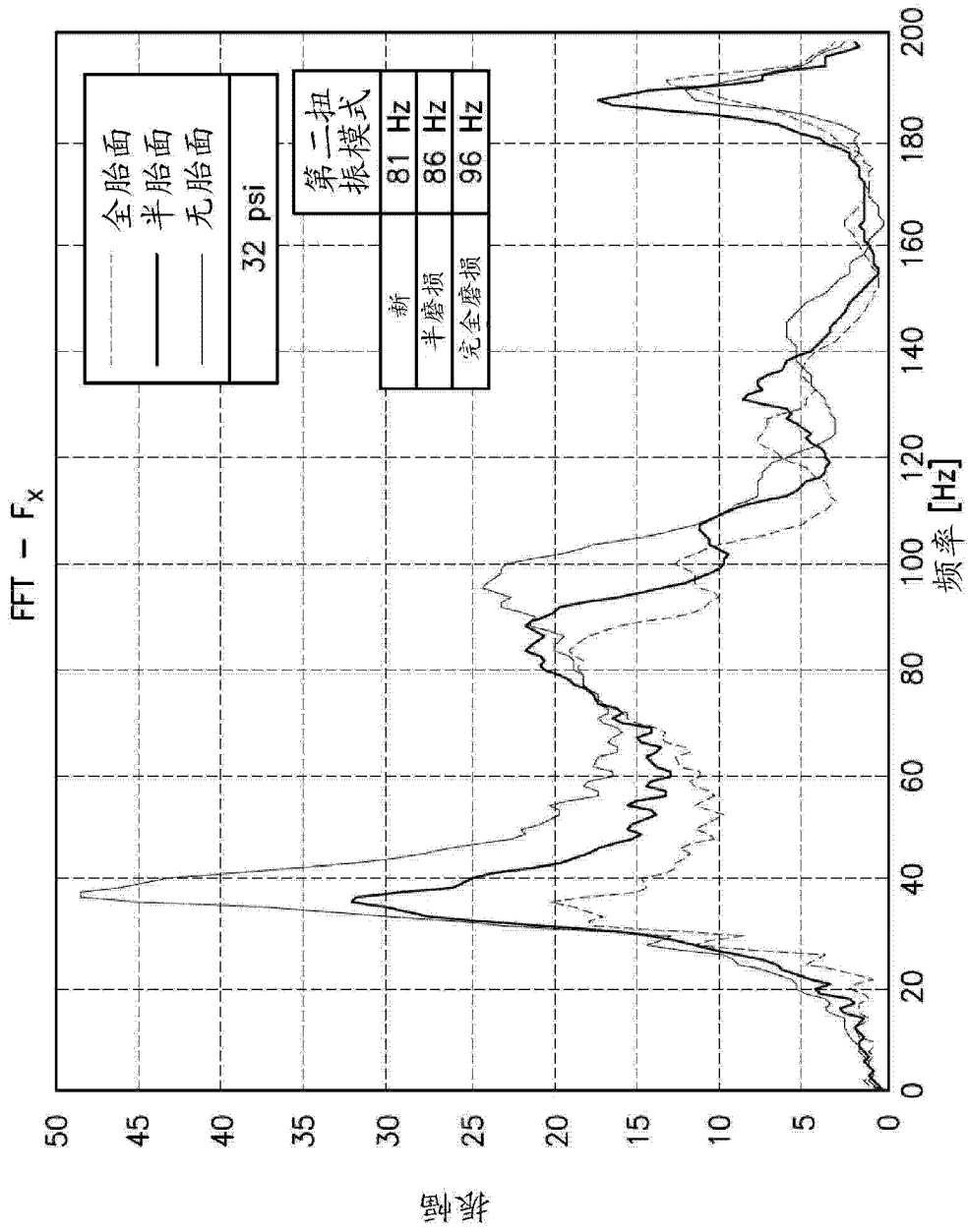


图 6A

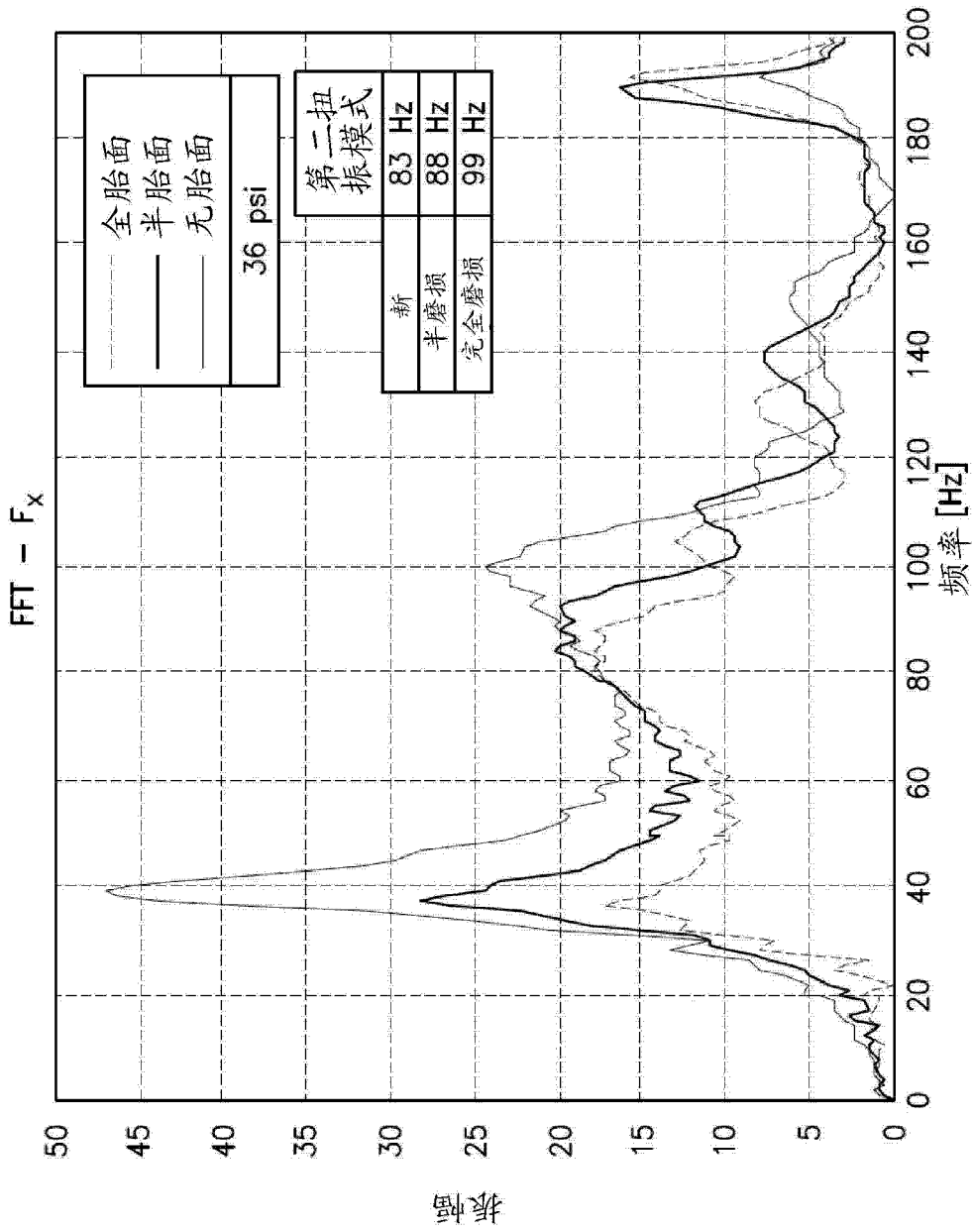


图 6B

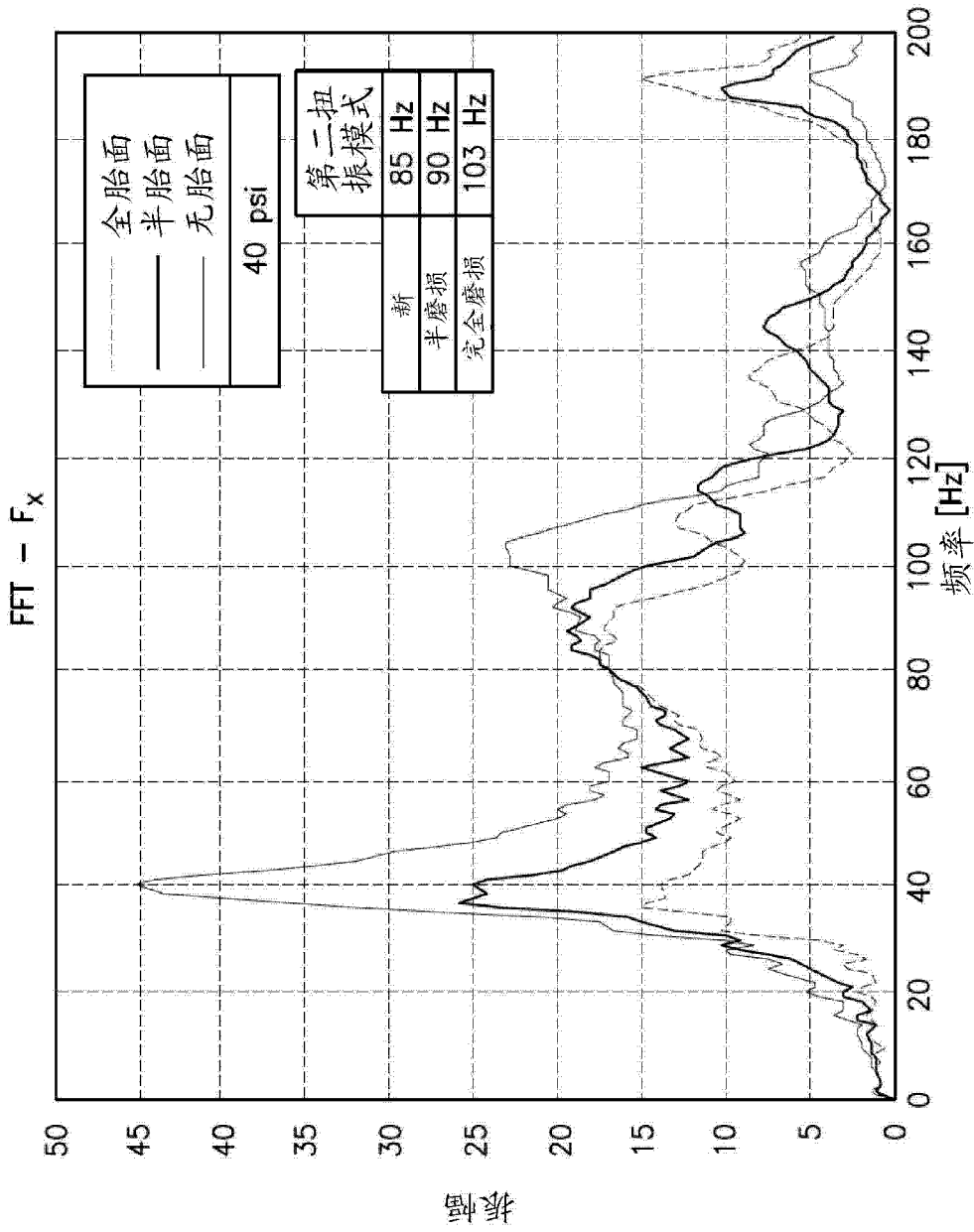


图 6C

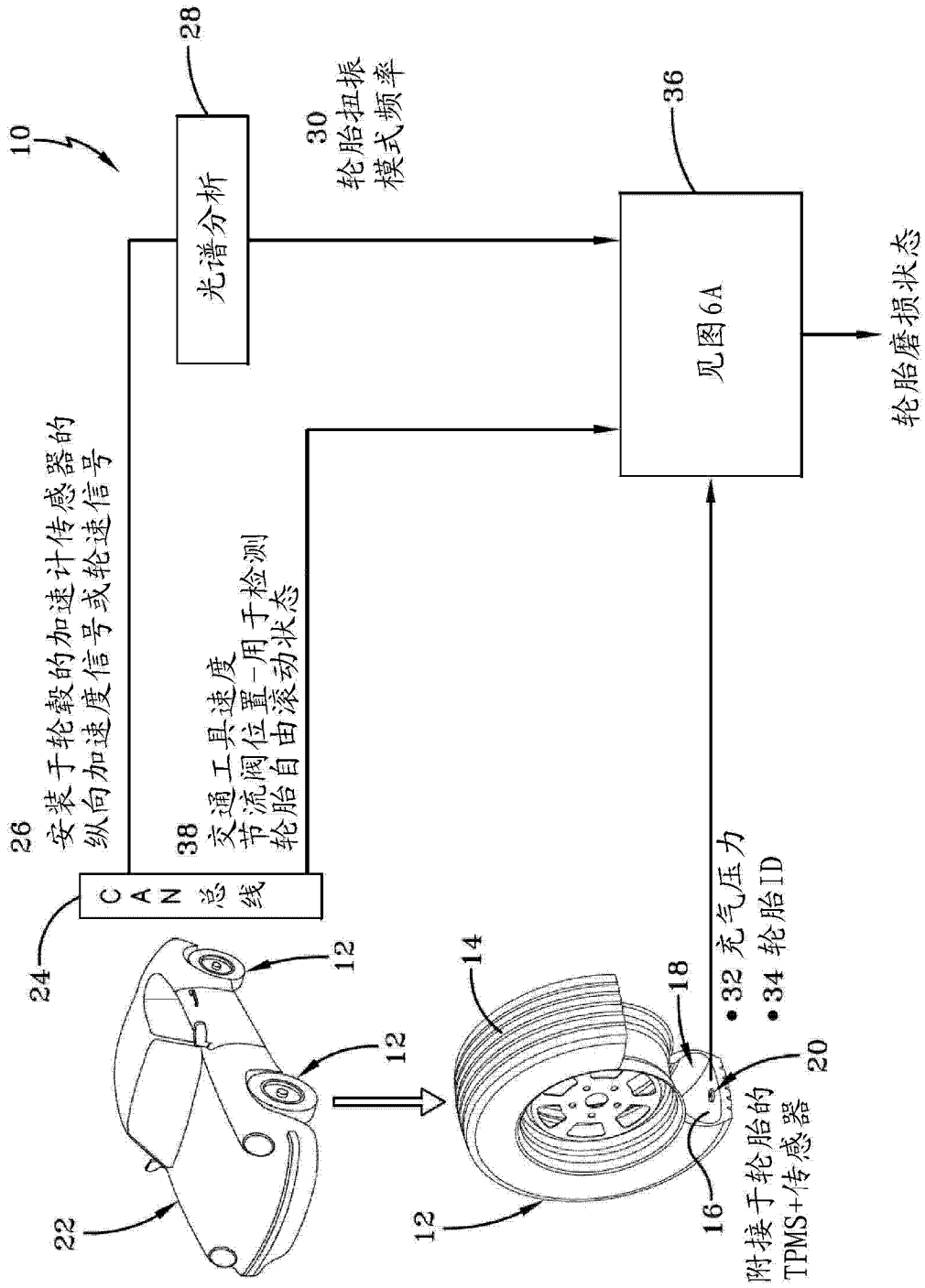


图 7