

## (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2020 年 1 月 9 日 (09.01.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/006723 A1**

(51) 国际专利分类号:  
**G01P 15/16** (2013.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/094587

(22) 国际申请日: 2018 年 7 月 5 日 (05.07.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 大连理工大学 (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。

(72) 发明人: 李建波 (LI, Jianbo); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 杨凯 (YANG, Kai); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 肖诗云 (XIAO, Shiyun); 中国辽宁省大

连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 梅润雨 (MEI, Runyu); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 胡志强 (HU, Zhiqiang); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 周磊 (ZHOU, Lei); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 刘俊 (LIU, Jun); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 李志远 (LI, Zhiyuan); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,

(54) **Title:** STRUCTURE ANGULAR ACCELERATION MEASUREMENT APPARATUS AND METHOD BASED ON DYNAMIC MEASUREMENT OF CENTRIFUGAL FORCE

(54) 发明名称: 一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置及方法

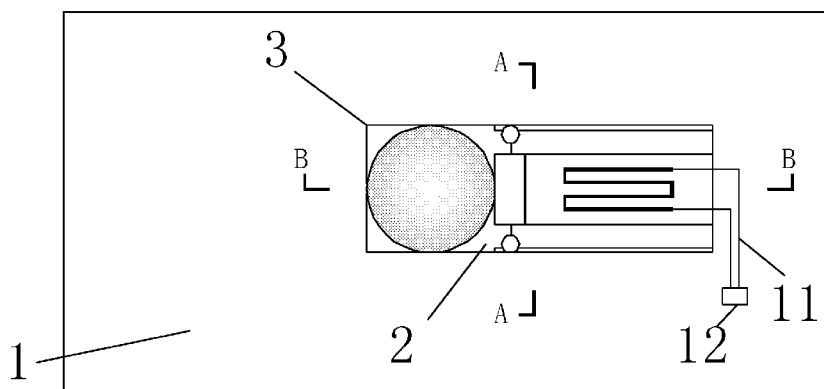


图 2

(57) **Abstract:** Disclosed are a structure angular acceleration measurement apparatus and method based on the dynamic measurement of centrifugal force. There is a solid ball (4) in the apparatus; the solid ball (4) is free to move radially along the outer wall packaging cover (3); the centrifugal force after the movement of the solid ball (4) is transmitted to a flexible block body (6) by means of a rigid block body (5); the flexible block (6) serves as a substrate subjected to force; a strain tab (7) is fixed on the surface of the flexible block body (6), and used for measuring the radial strain of the flexible block body (6) and inversely calculating, by means of a formula, the centrifugal force to which the solid ball (4) is subjected when the structure is twisted; a lateral position-limit connecting rod (8) is used for connecting the rigid block body (5) and a pulley (9) and limiting the displacement of the solid ball (4) such that same can move only in the longitudinal direction of the apparatus; the pulley (9) causes the rigid block body (5) to move freely. The apparatus converts the measurement of transient angular acceleration into a dynamic measurement of the centrifugal force of the solid ball (4); furthermore, by means of the apparatus, the centrifugal force is converted into a strain measurement in the longitudinal direction of the flexible block body (6); the strain tab (7) is used to achieve low-cost dynamic monitoring, and the dynamic angular acceleration of the structure due to occasional dynamic powered force is obtained relatively accurately.

JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 公开了一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置及方法。该装置中有一实心球(4), 实心球(4)可沿外壁封装罩(3)径向自由运动, 实心球(4)运动后的离心力通过刚性块体(5)传递至柔性块体(6), 柔性块体(6)作为受力基体; 应变片(7)固定在柔性块体(6)表面, 用于检测柔性块体(6)的径向应变, 通过公式反算结构扭转时实心球(4)所受的离心力; 侧向限位连杆(8)用于连接刚性块体(5)和滑轮(9), 并限制实心球(4)的位移, 使其只能沿装置纵向运动; 滑轮(9)使刚性块体(5)自由移动。该装置将瞬态角加速度的测量转化为实心球(4)离心力的动态测量; 并通过装置将离心力转化为柔性块体(6)纵向上的应变测量; 利用应变片(7)实现低成本的动态监测, 从而相对准确的求得结构由于偶遇动力作用引起的动态角加速度。

## 一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置及方法

### 技术领域

本发明属于工程结构动态扭转变形测量技术领域，涉及一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置及方法，适用于动态监测地震、爆破、风载作用下土木工程结构扭转动力响应的瞬态角加速度。

### 背景技术

在土木工程中，受风、爆破、地震等偶遇动力作用的影响，由于结构的非对称性，刚度中心与作用力合力方向多有不重合，结构会在水平面内围绕刚度中心可能发生快速瞬态扭转运动，严重时会影响工程结构的整体安全，故瞬态角加速度的测量对于定量判断结构扭转变形及所受外力扭矩大小具有重要意义。但由于快速瞬态变形监测的复杂性，尤其扭转角又是相对于扭转中心的相对测量值，受外载荷多变，结构刚度中心可能变化等因素的影响，导致目前在工程结构变形日常监测过程中，捕捉由于偶遇动力作用引起的瞬态角加速度所采用的方式比较原始。

在土木工程领域，对于角变形的测量多基于结构刚体假定，确定扭转中心后，先测量两个远距离参考点的线加速度，然后计算两个点线加速度的差值，再通过求该差值与两点距离的比值，来获得结构的角加速度。但使用这种方法的前提是结构各个位置处的角加速度一致，但在土木工程的实际应用中，结构的角加速度往往因为位置的不同而出现变化，所以该方法只能近似测得结构的整体角加速度，并且两个参考点的位置对所测角加速度受影响较大。如果研究角加速度在结构某一面上各个位置上的分布特征时，该方法并不合适。

测量动态角加速度还可以使用角速率陀螺仪，利用它得到角速度，再经过对时间处理得到角加速度。陀螺仪利用角动量守恒原理，概括来说就是利用当

合外力矩为零时，物体高速旋转产生较大的角动量，由于角动量保持不变，旋转轴会一直稳定地指向一个方向的性质。但是，它存在以下缺点：1) 需要足够的、相对稳定的角动量，否则不足以维持陀螺仪转动的稳定性；2) 需要一直保持转动，这不适用于长期监测建筑物或者结构基础的角加速度；3) 角速率陀螺仪结构复杂精密，长期使用需要大量维护费用。现阶段，已经发展出了利用计算光程差的激光陀螺仪、光纤陀螺仪，以及基于物理学的科里奥利力的微机电陀螺仪等，但这些角速率陀螺仪多适用于航空机械电子领域，在土木工程的复杂长期的恶劣环境下运用极少。目前，还有其他几种比如压阻式角加速度传感器、液环式角加速度传感器、压电式角加速度传感器等测角加速度的仪器，但往往结构复杂，同样多用于机械电子工程。

在建筑结构变形长期监测过程中，在受风、爆破、地震等偶遇动力作用的复杂恶劣环境下，结构扭转等动态变化具有突发性、瞬时性和短暂性的特点，现在亟需要一种原理简单，维护简便、便于安装且能长期处于待命状态，能够及时响应激发，并迅速捕捉结构某一位置处动态瞬时角加速度动力状态的仪器。

## 发明内容

针对现有技术存在的问题，本发明提供一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置，本发明采用的基本原理是：当结构扭转时，与结构一起扭转的有质量的装置会产生离心力效应，本发明把瞬态角加速度的测量转化为动态离心力的测量，并通过装置将离心力转化为应变片上的应力测量，利用应变片实现动态监测过程。而应变片具有操作稳定、工作长效、在复杂工况下应用效果好等特点，从而实现长期监测条件下，对于偶遇动力作用引起的角加速度的实时测量。

为了达到上述目的，本发明采用的技术方案为：

一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置，包括内部核心装置、外壁封装罩和数据采集处理模块，内部核心装置通过外壁封装罩固定在所测结构表面上，并与数据采集处理模块通过导线相连；外壁封装罩用于保护内部核心装置，并限制实心球的位移，使其只能沿装置纵向运动。

内部核心装置包括实心球、刚性块体、柔性块体、应变片、侧向限位连杆、滑轮、轨道。实心球为球形实体，其材料特性均匀，质心在球心处。实心球与外壁封装罩和刚性块体均为点接触，其可自由活动。刚性块体两侧分别与实心球点接触、与柔性块体的一端连接，用于传递实心球与柔性块体之间的力；刚性块体的另外两侧通过侧向限位连杆与滑轮连接，滑轮限制在轨道上。柔性块体的另一端固定在外壁封装罩内壁上，作为受力基体。应变片固定在柔性块体的表面，应变片通过导线与数据采集处理模块相连。

采用上述装置测量结构角加速度的方法，该方法采用应变片可实现动态监测过程，从而相对准确的求得结构由于风、爆破、地震等偶遇动力作用引起的角加速度。包括以下步骤：

第一步，将测量结构角加速度仪的装置固定在所需测量的结构表面。若以装置中实心球为头部，则装置头部均面向结构的扭转中心。

第二步，结构扭转情况下，由于实心球离心力的存在，使得实心球作用于刚性块体，同时由于理想的刚性块体不会变形，故将力传递给柔性块体，柔性块体受力挤压后产生的应变由应变片测出，由应变片所得的应变  $\varepsilon$  得到离心力  $F$  的大小：

$$F = \varepsilon \times E \times A$$

其中， $E$  为柔性块体的弹性模量； $A$  为柔性块体的横截面面积； $\varepsilon$  为柔性块体的应变，并且  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{测}} - \varepsilon_0$ ，其中  $\varepsilon_{\text{测}}$  为直接测得的柔性块体的应变， $\varepsilon_0$  为由于

结构表面不平整引起的柔性块体的初始应变。

第三步，本发明将瞬态角加速度的测量转化为动态离心力的测量，计算结构扭转的角速度 $\omega$ 的公式为：

$$\omega = \sqrt{\frac{F}{m \times r}}$$

其中， $m$  为实心球的质量； $\omega$  为结构扭转的角速度，同时也是实心球随结构扭转的角速度； $r$  为结构扭转中心与实心球的距离； $F$  为实心球的离心力。

第四步，利用（6）式计算结构扭转的角加速度 $\alpha$ ，即

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

其中 $t_1$ 、 $t_2$ 为任意的两个无限接近的时刻， $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 为 $t_1$ 、 $t_2$ 时刻分别对应的结构扭转时的角速度。

综合以上四步，可直接得出：

$$\alpha = \frac{(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}) \times \sqrt{\frac{E \times A}{m \times r}}}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

其中 $\alpha$ 为结构的瞬时角加速度， $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 为 $t_1$ 、 $t_2$ 时刻分别对应的柔性块体的应变，其他参数物理意义见前所述。

本发明的有益效果是：维护成本相对较低，可长期实时监测结构突发性扭转以及结构的转动状态；不易受外部环境影响，可在复杂环境中迅速捕捉结构某一位置处的动态瞬时角加速度。

## 附图说明

图 1 为装置固定在结构上的立体示意图；

图 2 为装置固定在结构表面平面示意图；

图 3 为装置内部核心装置平面示意图；

图 4 为装置内部核心装置 A-A 剖面示意图；

图 5 为装置内部核心装置 B-B 剖面示意图。

图中：1 结构外表面；2 内部核心装置；3 外壁封装罩；4 实心球；5 刚性块体；6 柔性块体；7 应变片；8 侧向限位连杆；9 滑轮；10 轨道；11 导线；12 数据采集处理模块。

## 具体实施方式

下面结合技术方案和附图，详细叙述本发明的具体实施方式：

一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置，该装置包括内部核心装置 2、外壁封装罩 3 及数据采集处理模块 12；内部核心装置 2 通过外壁封装罩 3 固定在所测结构外表面 1，内部核心装置 2 与数据采集处理模块 12 通过导线 11 相连，外壁封装罩 3 用于保护内部核心装置 2，并限制实心球 4 的位移，使其只能沿装置纵向运动。

所述的内部核心装置 2 包括实心球 4、刚性块体 5、柔性块体 6、应变片 7、侧向限位连杆 8、滑轮 9、轨道 10。所述的实心球 4 为球形实体，其材料特性均匀，质心在球心处。实心球 4 与外壁封装罩 3 内壁的五个面（以图 3 位为标准，包括上、下、前、后、左侧内壁）和刚性块体 5 均为点接触，实心球 4 可自由活动，但受限于外壁封装罩 3 和刚性块体 5，在未受外力的状态下处于相对于外壁封装罩 3 固定的状态。所述的刚性块体 5 一端(左侧面)与实心球 4 点接触，相对的另一端（右侧面）与柔性块体 6 的一端连接，用于传递实心球 4 与柔性块体 6 之间的力。所述的刚性块体 5 另外相对的两端（图 3 中的上下侧面）通过侧向限位连杆 8 与滑轮 9 连接，滑轮 9 限制在轨道 10 上，轨道 10 固定在外壁封装罩 3 内壁，保证刚性块体 5 在受力的情况下能够沿纵向自由移动。所述的柔性块体 6 的另一端固定在外壁封装罩 3 的右侧内壁，作为受力基体；应变片 7

固定在柔性块体 6 表面，通过导线 11 与数据采集处理模块 12 相连，用于检测柔性块体 6 的应变，通过计算得到结构扭转时实心球产生的离心力。

采用上述装置测量结构角加速度的方法，步骤如下：

第一步，将测量结构角加速度仪的装置固定在所需测量的结构外表面 1。若以装置中实心球 4 为头部，则头部都面向结构的扭转中心。

第二步，测量结构角加速度仪的装置在扭转情况下，由于实心球 4 离心力的存在，使得实心球 4 作用于刚性块体 5，由于理想的刚性块体 5 不会变形，故将力传递给柔性块体 6，柔性块体 6 受力挤压后产生的应变由应变片 7 测出，由应变片 7 所得的应变  $\varepsilon$  得到离心力大小：

$$F = \varepsilon \times E \times A \quad (1)$$

其中，E 为装置里的柔性块体 6 的弹性模量；A 为装置的柔性块体 6 与实心球 4 点接触所在面的横截面面积，即为装置柔性块体 6 的横截面面积； $\varepsilon$  为柔性块体 6 的应变，并且  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{测}} - \varepsilon_0$ ，其中  $\varepsilon_{\text{测}}$  为直接测得的柔性块体 6 的应变， $\varepsilon_0$  为由于结构表面不平整引起的初始应变。

推导过程为：材料力学公式

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E \quad (2)$$

其中， $\sigma$  为物体横截面所受应力， $\varepsilon$  为柔性物体因受应力而发生的应变，E 为材料的弹性模量。

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

其中，F 为柔性块体横截面所受外力，A 为外力所作用的横截面。

由公式 (3) 代入 (2) 可得关系式 (1)。

第三步，将瞬态角加速度的测量转化为动态离心力的测量，计算结构扭转的角速度  $\omega$ ：

$$\omega = \sqrt{\frac{F}{m \times r}} \quad (4)$$

其中， $m$  为实心球 4 的质量， $\omega$  为结构扭转的角速度，同时也是实心球 4 随结构扭转的角速度； $r$  为结构扭转中心与实心球 4 的距离； $F$  为实心球 4 的离心力。

推导过程：当物体围绕一点做圆周运动时，会产生离心力，使得该物体有离开转动中心的趋势。在本发明中， $\omega$  为结构转动的角速度，同时也是实心球 4 转动的角速度， $m$  为实心球 4 的质量， $r$  为结构扭转中心与实心球 4 的距离； $F$  为实心球 4 的离心力。则有

$$F = m\omega^2 r \quad (5)$$

由 (5) 即可得关系式 (4)。

第四步，利用 (6) 式计算结构转动的角加速度  $\alpha$ ，即

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

其中  $t_1$ 、 $t_2$  为任意的两个无限接近的时刻， $\omega_1$ 、 $\omega_2$  为  $t_1$ 、 $t_2$  时刻分别对应的结构扭转时的角速度。

综合以上四步，可直接得出：

$$\alpha = \frac{(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}) \times \sqrt{\frac{E \times A}{m \times r}}}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

其中  $\alpha$  为结构的瞬时角加速度， $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$  为  $t_1$ 、 $t_2$  时刻分别对应的柔性块体的应变，其他参数物理意义见前所述。

推导过程：

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\sqrt{\frac{F_2}{m \times r}} - \sqrt{\frac{F_1}{m \times r}}}{t_2 - t_1} = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon_2 \times E \times A}{m \times r}} - \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \times E \times A}{m \times r}}}{t_2 - t_1} = \frac{(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}) \times \sqrt{\frac{E \times A}{m \times r}}}{t_2 - t_1}$$

$F_1$ 、 $F_2$  为  $t_1$ 、 $t_2$  时刻分别对应的柔性块体横截面所受外力，数值上等于实心

球所受的离心力，其他参数物理意义见前所述。

由于本发明可以确定某一定点的瞬态角加速度，一方面可以精确测量结构某一关键位置处的角加速度；另一方面，结构整体的角加速度也可以利用多个定点的测量来确定。

## 权 利 要 求 书

1.一种基于动态量测离心力的结构角加速度测量装置，其特征在于，所述的结构角加速度测量装置包括内部核心装置(2)、外壁封装罩(3)及数据采集处理部件(12)；内部核心装置(2)通过外壁封装罩(3)固定在所测结构外表面(1)，内部核心装置(2)与数据采集处理模块(12)相连，外壁封装罩(3)用于保护内部核心装置(2)，并限制实心球(4)的位移，使其只能沿装置纵向运动；

所述的内部核心装置(2)包括实心球(4)、刚性块体(5)、柔性块体(6)、应变片(7)、侧向限位连杆(8)、滑轮(9)、轨道(10)；所述的实心球(4)为球形实体，其材料特性均匀，质心在球心处；实心球(4)与外壁封装罩(3)内壁和刚性块体(5)均为点接触，实心球(4)可自由活动，但受限于外壁封装罩(3)和刚性块体(5)，在未受外力的状态下相对于外壁封装罩(3)处于固定的状态；所述的刚性块体(5)一端与实心球(4)点接触，其相对的另一端与柔性块体(6)的一端连接，用于传递实心球(4)与柔性块体(6)之间的力；所述的刚性块体(5)另外两端通过侧向限位连杆(8)与滑轮(9)连接，滑轮(9)限制在轨道(10)上，轨道(10)固定在外壁封装罩(3)内壁，保证刚性块体(5)在受力的情况下能够自由移动；所述的柔性块体(6)的另一端固定在外壁封装罩(3)的右侧内壁，作为受力基体；应变片(7)固定在柔性块体(6)表面，且与数据采集处理部分(12)相连，用于检测柔性块体(6)的应变，通过计算得到结构扭转时实心球(4)产生的离心力。

2. 采用权利要求 1 所述的装置测量结构角加速度的方法，其特征在于以下步骤：

第一步，将测量结构角加速度仪的装置固定在所需测量的结构外表面(1)；若以装置中实心球(4)为头部，则头部都面向结构的扭转中心；

第二步，测量结构角加速度仪的装置在扭转情况下，由于实心球(4)离心力的存在，使得实心球(4)作用于刚性块体(5)，由于理想的刚性块体(5)不会变形，故将力传递给柔性块体(6)，柔性块体(6)受力挤压后产生的应变由应变片(7)测出，

由应变片(7)所得的应变  $\varepsilon$  得到离心力大小:

$$F = \varepsilon \times E \times A \quad (1)$$

其中,  $E$  为装置里的柔性块体(6)的弹性模量;  $A$  为装置的柔性块体(6)与实心球(4)点接触所在面的横截面面积, 即为装置柔性块体(6)的横截面面积;  $\varepsilon$  为柔性块体(6)的应变, 并且  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{测}} - \varepsilon_0$ , 其中  $\varepsilon_{\text{测}}$  为直接测得的柔性块体(6)的应变,  $\varepsilon_0$  为由于结构表面不平整引起的柔性块体(6)的初始应变;

由公式 (3) 代入 (2) 可得关系式 (1);

第三步, 将瞬态角加速度的测量转化为动态离心力的测量, 计算结构扭转的角速度  $\omega$ :

$$\omega = \sqrt{\frac{F}{m \times r}} \quad (4)$$

其中,  $m$  为实心球(4)的质量,  $\omega$  为结构扭转的角速度, 同时也是实心球(4)随结构扭转的角速度;  $r$  为结构扭转中心与实心球(4)球心的距离;  $F$  为实心球(4)的离心力;

第四步, 利用 (6) 式计算结构转动的角加速度  $\alpha$ , 即

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

其中  $t_1$ 、 $t_2$  为任意的两个无限接近的时刻,  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  为  $t_1$ 、 $t_2$  时刻分别对应的结构扭转时的角速度;

综合以上四步, 可直接得出:

$$\alpha = \frac{(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}) \times \sqrt{\frac{E \times A}{m \times r}}}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

其中  $\alpha$  为结构的瞬时角加速度,  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$  为  $t_1$ 、 $t_2$  时刻分别对应的柔性块体的应变, 其他参数物理意义见前所述。

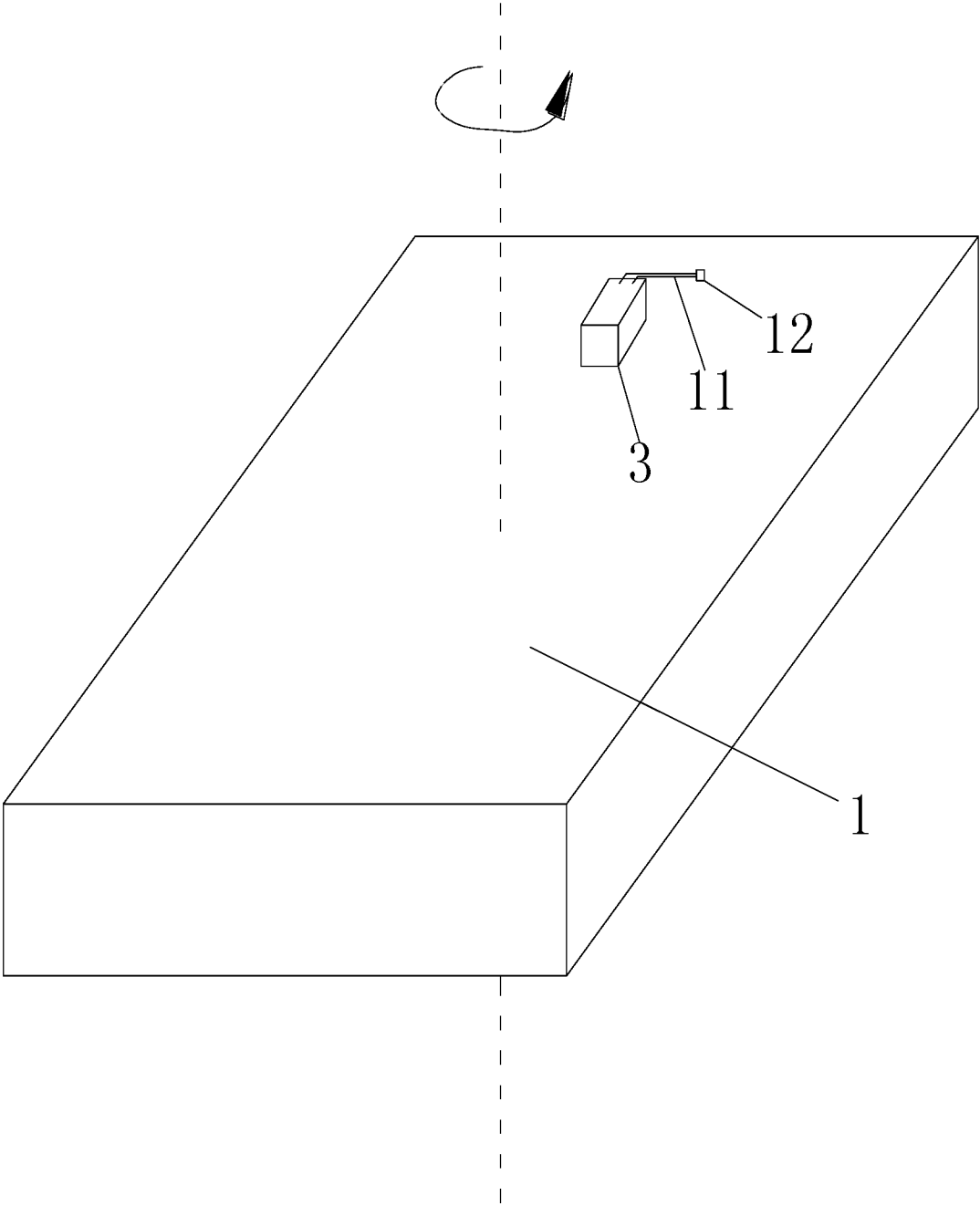


图 1



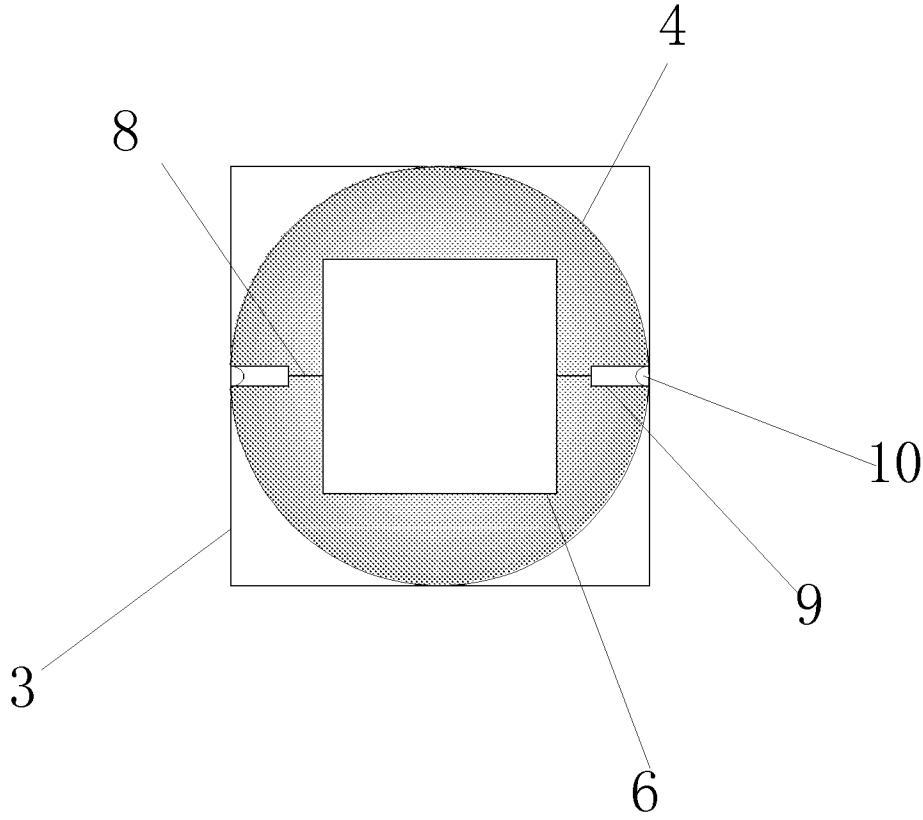


图 4

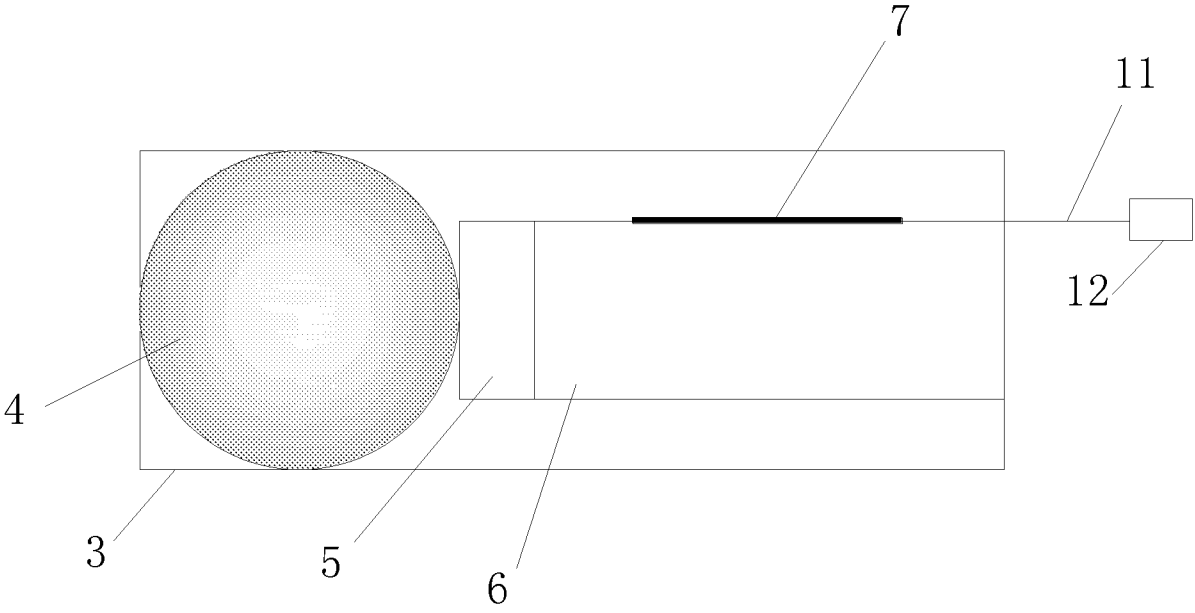


图 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/094587

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01P 15/16(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT; CNABS; DWPI; SIPOABS; CNKI: 角加速度, 离心力, 应变, 球, 角速度, angular, acceleration, centrifugal, strain, ball, velocity

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | CN 1844933 A (BEIHANG UNIVERSITY) 11 October 2006 (2006-10-11)<br>description, page 2, the last paragraph to page 3, paragraph 1  | 1, 2                  |
| A         | CN 101825429 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 08 September 2010<br>(2010-09-08)<br>entire document                             | 1, 2                  |
| A         | CN 102262167 A (ZHANG, FENG) 30 November 2011 (2011-11-30)<br>entire document                                                     | 1, 2                  |
| A         | CN 107462196 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 12 December 2017<br>(2017-12-12)<br>entire document                              | 1, 2                  |
| A         | CN 106248996 A (ZHAO, HAO) 21 December 2016 (2016-12-21)<br>entire document                                                       | 1, 2                  |
| A         | WO 2015107197 A1 (COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX<br>ÉNERGIES ALTERNATIVES) 23 July 2015 (2015-07-23)<br>entire document | 1, 2                  |
| A         | JP 0395467 A (MITSUBISHI MOTORS CORPORATION) 19 April 1991 (1991-04-19)<br>entire document                                        | 1, 2                  |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 August 2018

Date of mailing of the international search report

28 August 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China (ISA/  
CN)  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing  
100088  
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2018/094587**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |           |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|-----------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 1844933    | A  | 11 October 2006                      | CN                      | 100335906 | C  | 05 September 2007                    |
| CN                                        | 101825429  | A  | 08 September 2010                    | None                    |           |    |                                      |
| CN                                        | 102262167  | A  | 30 November 2011                     | None                    |           |    |                                      |
| CN                                        | 107462196  | A  | 12 December 2017                     | None                    |           |    |                                      |
| CN                                        | 106248996  | A  | 21 December 2016                     | None                    |           |    |                                      |
| WO                                        | 2015107197 | A1 | 23 July 2015                         | FR                      | 3016693   | A1 | 24 July 2015                         |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 3094981   | A1 | 23 November 2016                     |
| JP                                        | 0395467    | A  | 19 April 1991                        | None                    |           |    |                                      |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/094587

| <b>A. 主题的分类</b><br>G01P 15/16 (2013.01) i<br><br>按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---|-----------------------------------------------------------------------------|-----|---|------------------------------------------------------------|-----|---|----------------------------------------------------------|-----|---|--------------------------------------------------------------|-----|---|----------------------------------------------------------|-----|---|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>B. 检索领域</b><br>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)<br>G01P<br><br>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献<br><br>在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))<br>CNTXT; CNABS; DWPI; SIPOABS; CNKI: 角加速度, 离心力, 应变, 球, 角速度, angular, acceleration, centrifugal, strain, ball, velocity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| <b>C. 相关文件</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 1844933 A (北京航空航天大学) 2006年 10月 11日 (2006 - 10 - 11)<br/>说明书第2页最后1段-第3页第1段</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101825429 A (大连理工大学) 2010年 9月 8日 (2010 - 09 - 08)<br/>全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102262167 A (张峰) 2011年 11月 30日 (2011 - 11 - 30)<br/>全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107462196 A (大连理工大学) 2017年 12月 12日 (2017 - 12 - 12)<br/>全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106248996 A (赵浩) 2016年 12月 21日 (2016 - 12 - 21)<br/>全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2015107197 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 2015年 7月 23日 (2015 - 07 - 23)<br/>全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 0395467 A (MITSUBISHI MOTORS CORP) 1991年 4月 19日 (1991 - 04 - 19)<br/>全文</td> <td>1-2</td> </tr> </tbody> </table> |                                                                                                                                                                                     |         | 类 型*                                                                                                                                                                                                       | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                                                   | 相关的权利要求 | A | CN 1844933 A (北京航空航天大学) 2006年 10月 11日 (2006 - 10 - 11)<br>说明书第2页最后1段-第3页第1段 | 1-2 | A | CN 101825429 A (大连理工大学) 2010年 9月 8日 (2010 - 09 - 08)<br>全文 | 1-2 | A | CN 102262167 A (张峰) 2011年 11月 30日 (2011 - 11 - 30)<br>全文 | 1-2 | A | CN 107462196 A (大连理工大学) 2017年 12月 12日 (2017 - 12 - 12)<br>全文 | 1-2 | A | CN 106248996 A (赵浩) 2016年 12月 21日 (2016 - 12 - 21)<br>全文 | 1-2 | A | WO 2015107197 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 2015年 7月 23日 (2015 - 07 - 23)<br>全文 | 1-2 | A | JP 0395467 A (MITSUBISHI MOTORS CORP) 1991年 4月 19日 (1991 - 04 - 19)<br>全文 | 1-2 |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                                                   | 相关的权利要求 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 1844933 A (北京航空航天大学) 2006年 10月 11日 (2006 - 10 - 11)<br>说明书第2页最后1段-第3页第1段                                                                                                         | 1-2     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 101825429 A (大连理工大学) 2010年 9月 8日 (2010 - 09 - 08)<br>全文                                                                                                                          | 1-2     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 102262167 A (张峰) 2011年 11月 30日 (2011 - 11 - 30)<br>全文                                                                                                                            | 1-2     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 107462196 A (大连理工大学) 2017年 12月 12日 (2017 - 12 - 12)<br>全文                                                                                                                        | 1-2     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 106248996 A (赵浩) 2016年 12月 21日 (2016 - 12 - 21)<br>全文                                                                                                                            | 1-2     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | WO 2015107197 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 2015年 7月 23日 (2015 - 07 - 23)<br>全文                                                                                                | 1-2     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP 0395467 A (MITSUBISHI MOTORS CORP) 1991年 4月 19日 (1991 - 04 - 19)<br>全文                                                                                                           | 1-2     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| <input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| <table border="0"> <tr> <td>           * 引用文件的具体类型:<br/>           “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br/>           “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br/>           “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)<br/>           “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br/>           “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件         </td> <td>           “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件<br/>           “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性<br/>           “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性<br/>           “&amp;” 同族专利的文件         </td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                     |         | * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 | “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件<br>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性<br>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性<br>“&” 同族专利的文件 |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件<br>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性<br>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性<br>“&” 同族专利的文件 |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| 国际检索实际完成的日期                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 国际检索报告邮寄日期                                                                                                                                                                          |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| 2018年 8月 13日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2018年 8月 28日                                                                                                                                                                        |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| ISA/CN的名称和邮寄地址                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 受权官员                                                                                                                                                                                |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |
| 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088<br>传真号 (86-10) 62019451                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 白玉兰<br>电话号码 62085531                                                                                                                                                                |         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                             |     |   |                                                            |     |   |                                                          |     |   |                                                              |     |   |                                                          |     |   |                                                                                      |     |   |                                                                           |     |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/094587

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利           | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|----------------|----------------|
| CN          | 1844933    | A  | 2006年 10月 11日  | CN 100335906 C | 2007年 9月 5日    |
| CN          | 101825429  | A  | 2010年 9月 8日    | 无              |                |
| CN          | 102262167  | A  | 2011年 11月 30日  | 无              |                |
| CN          | 107462196  | A  | 2017年 12月 12日  | 无              |                |
| CN          | 106248996  | A  | 2016年 12月 21日  | 无              |                |
| WO          | 2015107197 | A1 | 2015年 7月 23日   | FR 3016693 A1  | 2015年 7月 24日   |
|             |            |    |                | EP 3094981 A1  | 2016年 11月 23日  |
| JP          | 0395467    | A  | 1991年 4月 19日   | 无              |                |