

(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
2023 年 11 月 16 日 (16.11.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/216451 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01M 1/16 (2006.01) **G01M 1/22** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/113169
- (22) 国际申请日: 2022 年 8 月 18 日 (18.08.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202210507652.9 2022年5月10日 (10.05.2022) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人: 汪玉冰 (WANG, Yubing); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。林葵庚 (LIN, Kuigeng); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。蒋建群 (JIANG, Jianqun); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。郑

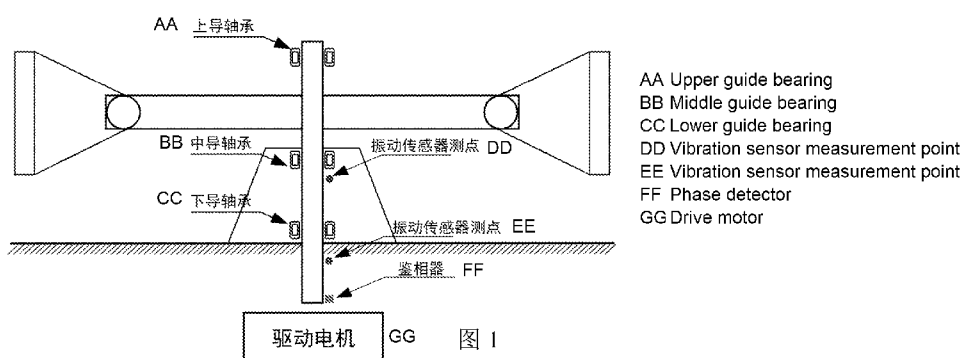
建靖 (ZHENG, Jianjing); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。凌道盛 (LING, Daosheng); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。陈云敏 (CHEN, Yunmin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区古墩路 701 号紫金广场 C 座 1506 室/林超, Zhejiang 310030 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, 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,

(54) Title: LONG-TERM METHOD FOR MONITORING DYNAMIC BALANCE OF HYPERGRAVITY CENTRIFUGE

(54) 发明名称: 一种超重力离心机动平衡长期监测方法



(57) Abstract: A long-term method for monitoring the dynamic balance of a hypergravity centrifuge, comprising: setting an imbalance mass for the hypergravity centrifuge for vibration response testing to obtain vibration response characteristics of the hypergravity centrifuge under different centrifugal accelerations; calculating, according to the vibration response characteristics under each centrifugal acceleration, an influence coefficient of the imbalance mass on the vibration response under the centrifugal acceleration, and constructing, from the influence coefficients of different centrifuge accelerations, a table of influence coefficients of the imbalance mass on the vibration response under different centrifuge accelerations; and in the monitoring period, judging the imbalance mass performance of the hypergravity centrifuge in real time according to the table of influence coefficients. The monitoring method achieves the identification of the imbalance mass of the hypergravity centrifuge under different load and working conditions and evaluation of safety performance based on imbalance mass monitoring. The method is highly operable, reduces the vibration of the hypergravity centrifuge through long-term monitoring of the dynamic balance, thereby ensuring the safe operation of the hypergravity centrifuge.

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, SC, 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: 一种超重力离心机动平衡长期监测方法, 包括: 对超重力离心机设置不平衡质量进行振动响应测试, 得到超重力离心机在不同离心加速度下的振动响应特征; 根据每个离心加速度下的振动响应特征, 计算得到该离心加速度下不平衡质量对振动响应的影响系数, 由不同离心加速度的影响系数构建成包含不同离心加速度下的不平衡质量对振动响应的影响系数表; 在监测期, 根据影响系数表实时判断超重力离心机的不平衡质量性能。通过监测方法, 能够实现在不同负载和运行状态下对超重力离心机的不平衡质量进行识别, 基于监测不平衡质量对安全性能进行评估, 可操作性强, 通过动平衡长期监测降低超重力离心机振动、保障超重力离心机安全运行。

说明书

一种超重力离心机动平衡长期监测方法

技术领域

本发明属于超重力离心机运行控制与安全评估领域的一种监测方法，尤其是涉及了一种超重力离心机动平衡不平衡量监测方法与安全评估方法。

背景技术

旋转机械在不平衡质量作用下进行高速旋转产生的不平衡力是机械振动的主要来源，由振动产生的轴系故障影响超重力离心机的安全运行。超重力离心机作为一种臂式旋转机械，具有工作离心加速度多、离心加速度大、振动控制要求高的特点，因而准确识别超重力离心机在不同运行状态下的不平衡质量，评估其在不平衡质量作用下的安全状态具有重要的意义。

CN113932970A 号发明专利申请公开了一种用于汽轮机转子振型重塑的动平衡方法。该方法的工作原理：以预设离心加速度下分别在无测试配重和有测试配重状态下旋转汽轮机转子，测量振动量并计算转子振动的影响系数，利用影响系数计算临界配重；再拆除测试配重，安装临界配重，通过判断预设离心加速度下是否实现反相位评价动平衡效果。

CN112556931A 号发明专利申请公开了一种基于粒子群算法的高速轴承转子系统模态动平衡方法。该方法的工作原理：首先建立轴承转子的三维模型并导入到 ANSYS 软件中进行模态分析确定平衡较正面位置，进而根据模态平衡法的平衡条件建立不平衡量与需要添加的矫正质量的函数关系；采用粒子群优化算法求解每个校正质量的最优值。

CN112729681A 号发明专利申请公开了一种转子现场动平衡的检测方法和检测系统。该方法的工作原理：对转子初始不平衡状态、左侧加试重后状态和右侧加试重后状态下的转子动平衡信号进行采集、分析和计算，获得转子不平衡量大小和相角；通过在左右侧校正面加重或去重进行现场不平衡量校正，以达到转子动平衡要求。

CN112720068A 号发明专利申请公开了一种超精密机床主轴动平衡测量方法。该方法的工作原理：构建机床 X 轴进给系统的机电模型；获取机床主轴离心加速度稳定后的主轴实际角度、X 轴实际位置和 X 轴电机交向电流；根据前述参数和模型得出主轴动不平衡对进给系统的扰动力、主轴实际角度与动不平衡对 X

轴进给系统扰动力之间的关系；对多圈的绕动力数据在相同的主轴实际角度下进行滤波处理；根据滤波处理后的数据，计算出扰动力的最大值和相应的主轴位置以及扰动力的最小值和相应的主轴位置，并计算出主轴动不平衡数据。

现有相关技术或方法的主要缺点如下：

(1) 现有的建立转子模型的动平衡量测试手段是建立在被测转子系统的规模小、结构简单的基础上，因而可以用理论模型的手段模拟出转子系统的不平衡响应。超重力离心机结构规模大、运行状态复杂、未知参数多，很难通过理论计算的方式得到超重力离心机的不平衡响应，因而需要通过现场测试数据进行不平衡质量的识别。

(2) 现有的动平衡测试理论都是基于被测转子在一定的工作离心加速度下得到的单次动平衡测试数据。超重力离心机作为一种试验设备，根据不同试验要求存在多种工作离心加速度；搭载不同试验装置时，转子的结构也因此发生改变。目前针对单一工作离心加速度的针对固定转子结构的动平衡方法无法在超重力离心机工况条件下给出当前不平衡质量，因而需要提供一种能够针对超重力离心机运行模式的动平衡长期监测方法。

(3) 现有的动平衡理论和不平衡质量测试方法的目标都是降低转子系统的不平衡质量或不平衡力矩。超重力离心机在进行不同试验时需要搭载不同试验装置并进行配重实现平衡，其运行时往往会存在因配重精度等原因引起的不平衡状态，而难以实现完全的平衡。现有技术由于缺乏对超重力离心机运行时不平衡状态的评价方法，难以实现对超重力离心机的不平衡状态的安全评估，因而需要在动平衡长期监测的基础上提出超重力离心机平衡状态评估方法。

现有技术缺少了针对超重力离心机多离心加速度、多工况的动平衡长期监测方法和不平衡状态评估方法。

发明内容

本发明目的在于解决上述背景技术中的技术问题而提出的超重力离心机动平衡长期监测方法。本发明提供了一种超重力离心机在多离心加速度、多工况条件下的动平衡长期监测方法，能够在超重力离心机运行阶段监测当前运行状态下的不平衡质量，并基于监测所得不平衡质量评估超重力离心机安全状态。

本发明通过下述技术方案实现：

步骤一、在事先情况下，对设计建成的超重力离心机设置不平衡质量进行振动响应测试，得到超重力离心机在不同离心加速度下的振动响应特征；

步骤二、根据每个离心加速度下的振动响应特征，计算得到该离心加速度

下不平衡质量对振动响应的影响系数，由不同离心加速度的影响系数构建包含不同离心加速度下的不平衡质量对振动响应的影响系数表；

步骤三、在之后的长期监测期，根据影响系数表实时判断超重力离心机的不平衡质量性能。

所述步骤一的振动响应测试中，设置振动响应测点，具体为在超重力离心机的中导轴承或下导轴承附近设置同相位的振动响应测点，在振动响应测点处布置振动传感器，所述的振动响应测点为振动速度测点或振动加速度测点，同时在超重力离心机上合适位置设置鉴相器，在超重力离心机的一侧吊篮中放置试重质量块作为不平衡质量。

同相位的是指振动响应测点布置的位置位于同一径向方向上。

具体实施是在超重力离心机的主轴下端设置鉴相器，鉴相器和超重力离心机的主轴同步旋转，鉴相器用于振动传感器所采集信号的参考信号，以鉴相器的相位作为参考，消除振动传感器采集信号中随超重力离心机的主轴同步旋转产生的相位干扰。

所述步骤一中，振动响应测试包含离心加速度工况，每个离心加速度工况下包含至少一组不平衡质量，在每个离心加速度下放置一个固定质量不变的试重质量块。

所述步骤二中，离心加速度下的影响系数 f_g 根据公式计算：

$$\frac{\vec{V}_{11} - \vec{V}_{10}}{\vec{Q}_1} = f_g$$

其中：

$\vec{V}_{11}$ 为试重状态下的振动传感器的振动矢量，试重状态即超重力离心机放置不平衡质量后的状态，包含超重力离心机一阶旋转频率振动幅值及相对于鉴相器的相位差；

$\vec{V}_{10}$ 为空载状态下的振动传感器的振动矢量，空载状态即超重力离心机空置、未放置不平衡质量的状态，包含超重力离心机一阶旋转频率振动幅值及相对于鉴相器的相位差；

$\vec{Q}_1$ 为不平衡质量的矢量，即包含试重质量块的质量及试重质量块位置相对于鉴相器的相位差。

所述步骤三具体为：

实时采集超重力离心机的当前离心加速度和振动响应特征数据，输入到影响系数表查询当前离心加速度下的影响系数并计算当前不平衡质量；

再根据以下公式计算判断是否满足安全因子：

$$\frac{M_d}{M_t} \geq K_M$$

其中， M_t 为超重力离心机的当前不平衡质量， M_d 为超重力离心机设计当前离心加速度下可承受的不平衡质量； K_M 表示超重力离心机不平衡质量性能安全因子；

其中 $M_d = M/g$ ， M 为设计不平衡力承受能力，单位 t； g 为当前离心加速度，单位 g。

当满足上述公式时，则认为此时超重力离心机在当前运行状态下整体不平衡质量性能满足要求；

当不满足上述公式时，则认为超重力离心机在当前运行状态下整体不平衡质量性能不满足要求，停机进行配重。

所述步骤三中，当前不平衡质量 $\vec{M}_t$ 通过下述公式得到：

$$\vec{M}_t = -\frac{\vec{V}}{f_g'}$$

其中， $\vec{V}$ 为超重力离心机实时运行时振动传感器的振动矢量，包含超重力离心机一阶旋转频率振动幅值及相对于鉴相器的相位差； f_g' 表示影响系数表中当前离心加速度对应的影响系数。

所述步骤二中，具体为：

若影响系数表中当前离心加速度无对应的影响系数，则当前离心加速度对应的影响系数 f_g 根据影响系数表中的影响系数按照以下线性插值得到：

$$f_g = \frac{f_{g2} - f_{g1}}{r_2 - r_1} (r - r_1) + f_{g1}$$

其中， r_2 为影响系数表中大于当前离心加速度的最临近离心加速度（单位为 rpm）， f_{g2} 为离心加速度 r_2 对应的影响系数； r_1 为影响系数表中小于当前离心加速度的最临近离心加速度（单位为 rpm）， f_{g1} 为离心加速度 r_1 对应的影响系数； r 为当前离心加速度（单位为 rpm）。

具体实施中，安全因子根据不同超重力离心机性能及安全性要求进行设置，如可以设置为 2.0。

本发明通过设置影响系数进而利用影响系数计算实时的不平衡质量，进而表征超重力离心机的动平衡情况。

本发明能够在监测期未知重量负载情况下，根据计算的不平衡质量准确判断超重力离心机的整体不平衡质量性能。计算的不平衡质量虽然并不能准确代

表未知重量，但是能够准确表征重力离心机的整体不平衡质量性能。

本发明能够实现在不同负载和运行状态下对超重力离心机的不平衡质量进行识别，基于监测不平衡质量对安全性能进行评估，可操作性强，通过动平衡长期监测降低超重力离心机振动、保障超重力离心机安全运行。

本发明的有益效果为：

本发明基于超重力离心机现场测试数据，相比较已有的技术和方法，得到不同离心加速度下准确的不平衡力响应数据，避免了对复杂超重力离心机的建模和计算过程，得到的不平衡质量对振动响应的影响系数更加真实可靠。

本发明能够实现对多超重力离心机在多种运行状态下的不平衡质量进行长期监测，对比已有的技术和方法，具备在多离心加速度下实时监测超重力离心机当前不平衡质量的能力，弥补了现有方法无法应用于多工作离心加速度设备的缺陷。

本发明为超重力离心机在不平衡状态下的安全状态提供了评估方法，基于监测的不平衡质量对超重力离心机不平衡力承载能力进行评估，能够定量评价不同运行状态下超重力离心机不平衡安全状态，保证超重力离心机安全运行。

附图说明

图 1 为实施例的超重力离心机振动响应测试传感器布置示意图；

图 2 为超重力离心机振动响应测试试重质量块布置位置示意图。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明做进一步说明

按照本发明发明内容完整方法实施的具体实施例及其实施过程如下：

首先，对超重力离心机在不同不平衡质量和离心加速度条件下进行振动响应测试，得到其在不同不平衡质量和离心加速度下的振动响应，共需要布置两个振动传感器和一个鉴相器，振动传感器可以为速度或加速度传感器，振动传感器和鉴相器的布置方案如图 1 所示。振动传感器的选取原则为能否满足测试精度需求，速度传感器和加速度传感器测得的响应数值存在差异，选取能够满足传感器灵敏度和计算分析精度的物理量进行测试。

根据离心加速度根据超重力离心机实验需求进行振动响应测试试验组设置，如超重力离心机实验中常用离心加速度值为 25g、30g、50g、80g、100g、150g，则振动响应测试试验组应包含以上常用离心加速度并根据需求增加测试组。每个离心加速度下应至少包含无不平衡质量（空载状态）和有不平衡质量（试重

状态) 的两组试验。具体实施中, 试重质量的大小需根据超重力离心机承载能力以及振动传感器数据有效性进行确定: 低离心加速度下超重力离心机不平衡质量承载能力较强, 传感器测点位置振动响应相对较小, 为保证振动响应测试数据准确需设置较大不平衡质量; 在高离心加速度状态下, 超重力离心机不平衡质量承载能力较弱, 传感器测点位置振动响应相对较大, 需适当减小试重质量, 使得振动响应测试准确。实施例中, 超重力离心机离心加速度为 25g、30g、50g、80g、100g、150g 时的试重状态振动响应测试中, 不平衡质量分别为 85kg、70kg、63kg、53kg、42kg、30kg。

然后, 根据每个离心加速度条件下, 无不平衡质量(空载状态)和有不平衡质量(试重状态)的两组试验的振动传感器的振动数据, 选取两个振动传感器其中一个的测试数据计算该离心加速度下不平衡质量对振动响应的影响系数。超重力离心机转动频率与离心加速度的关系通过下式进行计算:

$$a=(2\pi f_T)^2 R \quad (1.1)$$

其中 f_T 为超重力离心机旋转频率(Hz), a 为超重力离心机的离心加速度(m/s^2), R 为超重力离心机有效旋转半径。

接着, 在对各个试验离心加速度下的不平衡质量对振动响应的影响系数计算完成后, 将影响系数汇总形成各离心加速度下不平衡质量对振动响应的影响系数表, 如表 1, 实施例的某一实测结果见表 1, 其中离心加速度以万有引力常数 g 为单位。

表 1 实施例各离心加速度下不平衡质量对振动响应的影响系数表

超重力离心机 离心加速度 (g)	试重振动矢 量	空载振动矢 量	试重质量 块矢量	影响系数
25g	0.0052 $\angle$ -232°	0.0248 $\angle$ -51°	85 $\angle$ 170°	0.00035 $\angle$ -221°
30g	0.0059 $\angle$ -239°	0.0255 $\angle$ -58°	70 $\angle$ 170°	0.00044 $\angle$ -228°
50g	0.0062 $\angle$ -247°	0.0287 $\angle$ -64°	63 $\angle$ 170°	0.00055 $\angle$ -234°
80g	0.0085 $\angle$ -267°	0.0357 $\angle$ -74°	53 $\angle$ 170°	0.00083 $\angle$ -246°
100g	0.0099 $\angle$ -272°	0.0389 $\angle$ -85°	42 $\angle$ 170°	0.00120 $\angle$ -256°
150g	0.0113 $\angle$ -283°	0.0419 $\angle$ -86°	30 $\angle$ 170°	0.00180 $\angle$ -259°

接着, 在超重力离心机日常运行的长期监测期内, 在振动响应测试的振动传感器测点和鉴相器测点布置振动传感器和鉴相器, 并采集振动传感器和鉴相器数据。在超重力离心机运行状态时, 查询各离心加速度下不平衡质量对振动

响应的影响系数表获取当前离心加速度下的影响系数，利用振动传感器和鉴相器数据计算当前不平衡质量，实施例结果见表 2。其中若离心机当前离心加速度未包含在影响系数表中，则采用线性插值方法对临近两组离心加速度的不平衡质量对振动响应的影响系数计算当前离心加速度下的不平衡质量对振动响应的影响系数。

表 2 实施例超重力离心机动平衡监测计算数据

项目	当前离心加速度	离心加速度对影响系数	当前振动矢量	不平衡质量监测值
状态 1	80g	0.00083 $\angle$ -246°	0.0257 $\angle$ -74°	30.9 $\angle$ -20°
状态 2	50g	0.00055 $\angle$ -234°	0.0227 $\angle$ -44°	41.3 $\angle$ 15°
状态 3	65g	0.00069 $\angle$ -240°	0.0232 $\angle$ -50°	33.6 $\angle$ 10°

最后根据当前不平衡质量和当前离心加速度计算计算不平衡力，校核当前不平衡力与超重力离心机不平衡力承载能力之间的关系，进行不平衡安全性评价，结果见下表 3。

表 3 实施例超重力离心机不平衡安全性评价

项目	离心加速度	当前不平衡质量	承载能力	评价系数	安全因子	安全性
超重力离心机状态 1	50g	40kg	3t	1.5	2	不安全
超重力离心机状态 2	60g	10kg	3t	5	2	安全
超重力离心机状态 3	100g	10kg	3t	3	2	安全

由此通过上述实施例可见，本发明通过对超重力离心机在不同不平衡质量和离心加速度条件下的振动响应测试得到各离心加速度下不平衡质量对振动响应的影响系数表，基于同测点的振动传感器数据实现对超重力离心机运行状态下的不平衡质量的长期监测。基于实时监测的超重力离心机不平衡质量，对超重力离心机在不平衡力作用下的安全性能进行评估，保障超重力离心机安全运行。

权利要求书

1、一种超重力离心机动平衡长期监测方法，其特征在于：方法主要包括以下步骤：

步骤一、对超重力离心机设置不平衡质量进行振动响应测试，得到超重力离心机在不同离心加速度下的振动响应特征；

步骤二、根据每个离心加速度下的振动响应特征，计算得到该离心加速度下不平衡质量对振动响应的影响系数，由不同离心加速度的影响系数构建包含不同离心加速度下的不平衡质量对振动响应的影响系数表；

步骤三、在监测期，根据影响系数表实时判断超重力离心机的不平衡质量性能。

2、根据权利要求1所述的超重力离心机动平衡长期监测方法，其特征在于：

所述步骤一的振动响应测试中，设置振动响应测点，具体为在超重力离心机的中导轴承或下导轴承附近设置同相位的振动响应测点，在振动响应测点处布置振动传感器，同时在超重力离心机上设置鉴相器，在超重力离心机的一侧吊篮中放置试重质量块作为不平衡质量。

3、根据权利要求1所述的超重力离心机动平衡长期监测方法，其特征在于：

所述步骤一中，振动响应测试包含离心加速度工况，在每个离心加速度下放置一个固定质量不变的试重质量块。

4、根据权利要求2所述的超重力离心机动平衡长期监测方法，其特征在于：

所述步骤二中，离心加速度下的影响系数 f_g 根据公式计算：

$$\frac{\vec{V}_{11} - \vec{V}_{10}}{\vec{Q}_1} = f_g$$

其中：

$\vec{V}_{11}$ 为试重状态下的振动传感器的振动矢量；

$\vec{V}_{10}$ 为空载状态下的振动传感器的振动矢量；

$\vec{Q}_1$ 为不平衡质量的矢量。

5、根据权利要求1所述的超重力离心机动平衡长期监测方法，其特征在于：

所述步骤三具体为：

实时采集超重力离心机的当前离心加速度和振动响应特征数据，输入到影响系数表查询当前离心加速度下的影响系数并计算当前不平衡质量；

再根据以下公式计算判断是否满足安全因子：

$$\frac{M_d}{M_t} \geq K_M$$

其中， M_t 为超重力离心机的当前不平衡质量， M_d 为超重力离心机设计当前离心加速度下可承受的不平衡质量； K_M 表示超重力离心机不平衡质量性能安全因子；

当满足上述公式时，则认为此时超重力离心机在当前运行状态下整体不平衡质量性能满足要求；

当不满足上述公式时，则认为超重力离心机在当前运行状态下整体不平衡质量性能不满足要求，停机进行配重。

6、根据权利要求 5 所述的超重力离心机动平衡长期监测方法，其特征在于：所述步骤三中，当前不平衡质量 $\vec{M}_t$ 通过下述公式得到：

$$\vec{M}_t = -\frac{\vec{V}}{f_g'}$$

其中， $\vec{V}$ 为超重力离心机实时运行时振动传感器的振动矢量， f_g' 表示影响系数表中当前离心加速度对应的影响系数。

7、根据权利要求 6 所述的超重力离心机动平衡长期监测方法，其特征在于：所述步骤二中，具体为：

若影响系数表中当前离心加速度无对应的影响系数，则当前离心加速度对应的影响系数 f_g 根据影响系数表中的影响系数按照以下线性插值得到：

$$f_g = \frac{f_{g2} - f_{g1}}{r_2 - r_1}(r - r_1) + f_{g1}$$

其中， r_2 为影响系数表中大于当前离心加速度的最临近离心加速度， f_{g2} 为离心加速度 r_2 对应的影响系数； r_1 为影响系数表中小于当前离心加速度的最临近离心加速度， f_{g1} 为离心加速度 r_1 对应的影响系数； r 为当前离心加速度。

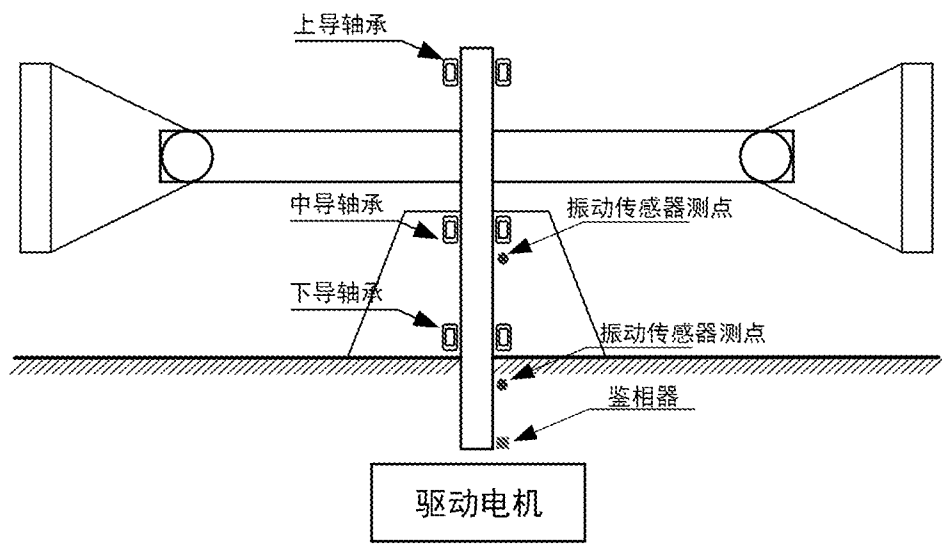


图 1

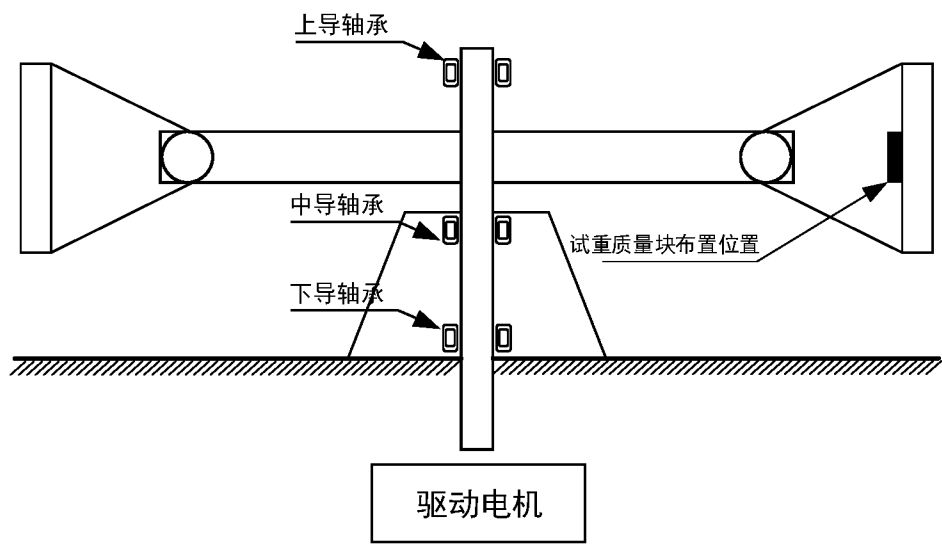


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/113169

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 1/16(2006.01)i; G01M 1/22(2006.01)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)

G01M 1/-

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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 浙江大学, 林葵庚, 汪玉冰, 蒋建群, 郑建靖, 凌道盛, 陈云敏, 超重力, 离心机, 动平衡, 监测, 不平衡质量, 振动, 加速度, 影响系数, 轴承, 传感器, 鉴相器, 试重, 配重, 安全因子, 线性插值, super-gravity, centrifuga+, balance, monitor+, vibrat+, long-term, accelerat+, influence coefficient, equilibrium, bearing, sensor?, evaluat+, safety factor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 114838872 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 02 August 2022 (2022-08-02) description, paragraphs [0054]-[0068]	1-7
Y	CN 104568313 A (HUNAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 29 April 2015 (2015-04-29) description, paragraphs [0003]-[0033]	1-7
Y	CN 111881525 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 03 November 2020 (2020-11-03) description, paragraphs [0027]-[0031]	1-7
A	CN 109876931 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 14 June 2019 (2019-06-14) entire document	1-7
A	CN 109855801 A (STATE GRID SHANDONG ELECTRIC POWER CO., LTD., ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.) 07 June 2019 (2019-06-07) entire document	1-7
A	CN 113814072 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 21 December 2021 (2021-12-21) entire document	1-7



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

23 November 2022

Date of mailing of the international search report

19 December 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/113169

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112720068 A (INSTITUTE OF MECHANICAL MANUFACTURING TECHNOLOGY, CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS) 30 April 2021 (2021-04-30) entire document	1-7
A	CN 112556931 A (SHENYANG JIANZHU UNIVERSITY) 26 March 2021 (2021-03-26) entire document	1-7
A	CN 113932970 A (SHENHUA SHENDONG POWER CO., LTD. et al.) 14 January 2022 (2022-01-14) entire document	1-7
A	CN 112729681 A (XIAMEN UNIVERSITY) 30 April 2021 (2021-04-30) entire document	1-7
A	US 2005160811 A1 (DYER, S. W.) 28 July 2005 (2005-07-28) entire document	1-7
A	郝光香等 (HAO, Guangxiang et al.). "基于影响系数法的离心机现场动平衡研究 (Research of Centrifuge Field Dynamic Balance Based on the Influence Coefficient Method)" 高师理科学刊 (<i>Journal of Science of Teachers' College and University</i>), Vol. vol. 36, No. 12, 30 December 2016 (2016-12-30), ISSN: 1007-9831, pages 27-29	1-7
A	谭蔚等 (TAN, Wei et al.). "非对称转子动力学特性数值模拟 (Numerical Study on the Dynamic Characteristics of Asymmetric Rotor System)" 天津大学学报 (自然科学与工程技术版) (<i>Journal of Tianjin University (Science and Technology)</i>), Vol. vol. 49, No. 06, 15 June 2016 (2016-06-15), ISSN: 0493-2137, pages 603-609	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/113169

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	114838872	A	02 August 2022	None			
CN	104568313	A	29 April 2015	CN	104568313	B	17 May 2017
CN	111881525	A	03 November 2020	CN	111881525	B	17 May 2022
CN	109876931	A	14 June 2019	None			
CN	109855801	A	07 June 2019	CN	109855801	B	15 December 2020
CN	113814072	A	21 December 2021	CN	113814072	B	02 August 2022
CN	112720068	A	30 April 2021	CN	112720068	B	24 June 2022
CN	112556931	A	26 March 2021	CN	112556931	B	02 July 2020
CN	113932970	A	14 January 2022	None			
CN	112729681	A	30 April 2021	None			
US	2005160811	A1	28 July 2005	US	2007062278	A1	22 March 2007
				US	2009281669	A1	12 November 2009
				JP	2000310576	A	07 November 2000
				US	2004098168	A1	20 May 2004
				CA	2303521	A1	30 September 2000
				EP	1063506	A2	27 December 2000
				MX	2000003146	A1	01 May 2002
				US	6618646	B1	09 September 2003
				EP	2261626	A2	15 December 2010
				EP	2261627	A2	15 December 2010
				EP	1063506	A3	13 June 2001
				EP	2261626	A3	28 December 2011
				EP	2261627	A3	28 December 2011

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/113169

A. 主题的分类 G01M 1/16(2006.01)i; G01M 1/22(2006.01)i 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. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01M 1/- 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 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)) CNKI, CNPAT, WPI, EPDOC: 浙江大学, 林葵庚, 汪玉冰, 蒋建群, 郑建靖, 凌道盛, 陈云敏, 超重力, 离心机, 动平衡, 监测, 不平衡质量, 振动, 加速度, 影响系数, 轴承, 传感器, 鉴相器, 试重, 配重, 安全因子, 线性插值, super-gravity, centrifuga+, balance, monitor+, vibrat+, long-term, accelerat+, influence coefficient, equilibrium, bearing, sensor?, evaluat+, safety factor		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 114838872 A (浙江大学) 2022年8月2日 (2022 - 08 - 02) 说明书第[0054]-[0068]段	1-7
Y	CN 104568313 A (湖南科技大学) 2015年4月29日 (2015 - 04 - 29) 说明书第[0003]-[0033]段	1-7
Y	CN 111881525 A (浙江大学) 2020年11月3日 (2020 - 11 - 03) 说明书第[0027]-[0031]段	1-7
A	CN 109876931 A (浙江大学) 2019年6月14日 (2019 - 06 - 14) 全文	1-7
A	CN 109855801 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2019年6月7日 (2019 - 06 - 07) 全文	1-7
A	CN 113814072 A (浙江大学) 2021年12月21日 (2021 - 12 - 21) 全文	1-7
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “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) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “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 “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 “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 “&” 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
2022年11月23日		2022年12月19日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		田凤鸣 电话号码 86-(10)-53962390

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 112720068 A (中国工程物理研究院机械制造工艺研究所) 2021年4月30日 (2021 - 04 - 30) 全文	1-7
A	CN 112556931 A (沈阳建筑大学) 2021年3月26日 (2021 - 03 - 26) 全文	1-7
A	CN 113932970 A (神华神东电力有限责任公司 等) 2022年1月14日 (2022 - 01 - 14) 全文	1-7
A	CN 112729681 A (厦门大学) 2021年4月30日 (2021 - 04 - 30) 全文	1-7
A	US 2005160811 A1 (DYER, Stephen William) 2005年7月28日 (2005 - 07 - 28) 全文	1-7
A	郝光香等. “基于影响系数法的离心机现场动平衡研究” 高师理科学刊, 第36卷, 第12期, 2016年12月30日 (2016 - 12 - 30), ISSN: 1007-9831, 第27-29页	1-7
A	谭蔚等. “非对称转子动力学特性数值模拟” 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 第49卷, 第06期, 2016年6月15日 (2016 - 06 - 15), ISSN: 0493-2137, 第603-609页	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/113169

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	114838872	A	2022年8月2日	无	
CN	104568313	A	2015年4月29日	CN	104568313 B 2017年5月17日
CN	111881525	A	2020年11月3日	CN	111881525 B 2022年5月17日
CN	109876931	A	2019年6月14日	无	
CN	109855801	A	2019年6月7日	CN	109855801 B 2020年12月15日
CN	113814072	A	2021年12月21日	CN	113814072 B 2022年8月2日
CN	112720068	A	2021年4月30日	CN	112720068 B 2022年6月24日
CN	112556931	A	2021年3月26日	CN	112556931 B 2020年7月2日
CN	113932970	A	2022年1月14日	无	
CN	112729681	A	2021年4月30日	无	
US	2005160811	A1	2005年7月28日	US	2007062278 A1 2007年3月22日
				US	2009281669 A1 2009年11月12日
				JP	2000310576 A 2000年11月7日
				US	2004098168 A1 2004年5月20日
				CA	2303521 A1 2000年9月30日
				EP	1063506 A2 2000年12月27日
				MX	2000003146 A1 2002年5月1日
				US	6618646 B1 2003年9月9日
				EP	2261626 A2 2010年12月15日
				EP	2261627 A2 2010年12月15日
				EP	1063506 A3 2001年6月13日
				EP	2261626 A3 2011年12月28日
				EP	2261627 A3 2011年12月28日