



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104888977 B

(45)授权公告日 2017.02.08

(21)申请号 201510310133.3

审查员 何飘

(22)申请日 2015.06.08

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104888977 A

(43)申请公布日 2015.09.09

(73)专利权人 江南大学

地址 214122 江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号

(72)发明人 陈海卫 张秋菊 仇庆章

(74)专利代理机构 无锡华源专利商标事务所

(普通合伙) 32228

代理人 孙力坚

(51)Int.Cl.

B04B 9/14(2006.01)

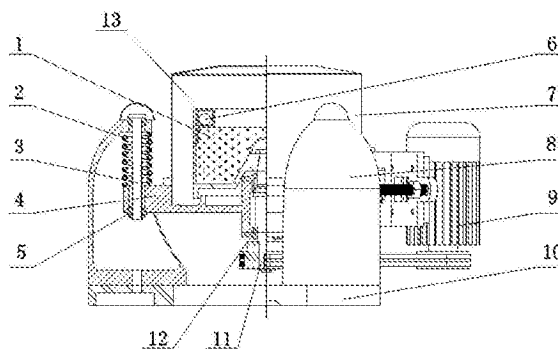
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

带平衡环装置三足离心机临界倾覆转速的计算方法

(57)摘要

本发明涉及一种带平衡环装置三足离心机临界倾覆转速的计算方法,通过估算最大偏心负载质量,偏心负载旋转半径,偏心负载的高度;计算平衡环内所有球体的最大质量矩,并计算出所有球体的等效旋转半径;计算偏心距,最后得出大盘发生倾覆时的临界转速。本发明针对带有平衡环装置的三足离心机,提供了一种准确、有效的临界倾覆转速计算方法,为其减振、抑振以及动力学特性的优化奠定了基础。



1. 一种带平衡环装置三足离心机临界倾覆转速的计算方法, 所述三足离心机包括对称安装于三脚底盘 (10) 上的三个柱脚 (8), 三个柱脚 (8) 之间悬挂安装有大盘 (4)、主轴 (11)、及转鼓 (1), 转鼓 (1) 与主轴 (11) 固连, 大盘 (4) 通过轴承 (12) 与主轴 (11) 转动连接, 主轴 (11) 通过大盘 (4) 上的电机 (9) 驱动; 转鼓 (1) 的外周安装有外壳 (7), 柱脚 (8) 通过摆杆 (3) 与大盘 (4) 连接, 摆杆 (3) 上套置有减震弹簧 (2);

所述平衡环装置包括设于转鼓 (1) 上的平衡环 (13), 所述平衡环 (13) 中安装有多个球体 (6), 其特征在于, 该计算方法包括以下步骤:

第一步: 测量三足离心机的具体设计参数, 包括大盘组件的总质量 m_s , 所述大盘组件包括转鼓 (1)、大盘 (4)、外壳 (7) 及电机 (9), 电机 (9) 本身质量为 m_m ;

第二步: 估算最大偏心负载质量 m_u , 偏心负载旋转半径 r_u , 偏心负载等效质心相对大盘悬挂平面 $P'_1P'_2P'_3$ 的安装高度 h_u ;

第三步: 计算平衡环内所有球体的最大质量矩 M_b , 当球体的个数为奇数时, 其计算公式为:

$$M_b = m_b r_b \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{N_b} \cos(k\psi) \right)$$

当球体的个数为偶数时, 其计算公式为:

$$M_b = 2m_b r_b \sum_{k=1}^{N_b} \cos\left(k\psi - \frac{\psi}{2}\right)$$

式中, m_b 为单个球体质量; r_b 为球体旋转半径; 相邻两球的夹角 $\psi \approx d/r_b$, d 为球体直径; N_b 为平衡环内上半部球体的个数;

第四步: 计算所有球体的等效旋转半径 r_{be} , 若所有球体最大质量矩 M_b 小于偏心负载质量矩 $m_u r_u$ 时, 其计算公式为:

$$r_{be} = M_b / (N_t m_b)$$

式中 N_t 为平衡环内所有球体个数, $N_t = 2N_b$ 或 $N_t = 2N_b + 1$; 若 $M_b \geq m_u r_u$, r_{be} 计算公式为:

$$r_{be} = m_u r_u / (N_t m_b)$$

第五步: 计算偏心距 e , 当所有球体的最大质量矩 M_b 小于偏心负载的质量矩 $m_u r_u$ 时, 其计算公式为:

$$e = (m_u r_u - N_t m_b r_{be}) / (m_u + N_t m_b + m_s)$$

当 $M_b \geq m_u r_u$ 后, e 为 0;

第六步: 计算大盘发生倾覆时的临界转速 Ω^* , 其计算公式为:

$$\Omega^* = \begin{cases} \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} + r_{be}) + m_u g (r_{s2} - r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{-\Delta}} & \Delta < 0 \\ \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} - r_{be}) + m_u g (r_{s2} + r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{\Delta}} & \Delta > 0 \end{cases}$$

式中, g 为重力加速度; $\Delta = N_t m_b (r_{be} + e) h_b + m_s e h_s - m_u (r_u - e) h_u$, 这里 h_b 、 h_s 和 h_u 分别为平衡环、大盘组件等效质心和偏心负载等效质心相对大盘悬挂平面 $P'_1P'_2P'_3$ 的安装高度; N_t 为平衡环内球体的总个数; 三根摆杆中, 摆杆一 $P_1P'_1$ 底端铰链 P'_1 与离心机中心轴 A 轴的距离为 r_{s1} , 摆杆二、三底端铰链 $P'_2P'_3$ 连线相对中心轴 A 轴的距离为 r_{s2} ; F_{pre} 为摆杆一 $P_1P'_1$ 上减震

弹簧的预紧力; m_m 为电机的质量; D_m 为电机中心轴与离心机中心轴A在正视图上的投影距离。

带平衡环装置三足离心机临界倾覆转速的计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机械振动研究技术领域,特别涉及三足离心机的减振、抑振及动力学特性的优化方法。

背景技术

[0002] 三足离心机是目前用途较为广泛的立式离心设备,其安装结构(以三足过滤式离心机为例)如图1所示,包括对称安装于三脚底盘10上的三个柱脚8,三个柱脚8之间悬挂安装有大盘4、主轴11及转鼓1,转鼓1与主轴11固连,大盘4通过轴承12与主轴11转动连接,主轴11通过三脚底盘10上的电机9驱动;转鼓1的外周安装有外壳7,柱脚8通过减震弹簧2与大盘4之间安装有摆杆3,摆杆3的下端带有铰链5。三足离心机自身悬挂结构的特点决定了其最高工作转速不能过大。当转速过大时,在偏心负载(被分离物)离心力的作用下,大盘组件(包括转鼓1,大盘4,外壳7和电机9等)易与摆杆3的铰链5脱离,由于摆杆3本身轴向阻尼较弱,机体会出现剧烈振动,这里将这种现象称为倾覆现象,将倾覆现象出现的临界转速称为临界倾覆转速。倾覆现象本身会严重影响三足离心机的正常工作。目前,三足离心机仍属低速离心设备,其离心效果不佳,应用场合较窄。为减小三足离心机的振动,提高其最高工作转速,可采用球体平衡环装置6对机体进行动力学特性的调整。但目前,还缺少带平衡环装置的三足离心机临界倾覆转速的计算方法,从而三足离心机动力学特性的优化设计缺少参考基础。

发明内容

[0003] 本申请人针对上述带平衡环装置的三足离心机,为其提供一种临界倾覆转速的计算方法,为其动力学特性的优化设计奠定基础。

[0004] 为了解决上述问题,本发明采用如下方案:

[0005] 一种带平衡环装置三足离心机临界倾覆转速的计算方法,所述三足离心机包括对称安装于三脚底盘上的三个柱脚,三个柱脚之间悬挂安装有主轴、转鼓及大盘,转鼓与主轴固连,大盘通过轴承与主轴转动连接,主轴通过三脚底盘上的电机驱动;转鼓的外周安装有外壳,柱脚通过摆杆与大盘连接,摆杆上套置有减震弹簧;所述平衡环装置包括设于转鼓上的平衡环,所述平衡环中安装有多个球体,所述计算方法包括以下步骤:

[0006] 第一步:测量三足离心机的具体设计参数,包括大盘组件的总质量 m_s ,所述大盘组件包括转鼓(1)、大盘(4)、外壳(7)、主轴11及电机(9)等,电机(9)本身质量为 m_m ;

[0007] 第二步:估算最大偏心负载质量 m_u ,偏心负载旋转半径 r_u ,偏心负载等效质心相对大盘悬挂平面 $P_1'P_2'P_3'$ 的安装高度 h_u ;

[0008] 第三步:计算平衡环内所有球体的最大质量矩 M_b ,当球体的个数为奇数时,其计算公式为:

$$[0009] \quad M_b = m_b r_b \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{N_b} \cos(k\psi) \right)$$

[0010] 当球体的个数为偶数时,其计算公式为:

$$[0011] \quad M_b = 2m_b r_b \sum_{k=1}^{N_h} \cos(k\psi - \frac{\psi}{2})$$

[0012] 式中, m_b 为单个球体质量; r_b 为球体旋转半径;相邻两球的夹角 $\psi \approx d/r_b$, d 为球体直径; N_h 为平衡环内上半部球体的个数;

[0013] 第四步:计算所有球体的等效旋转半径 r_{be} ,若所有球体最大质量矩 M_b 小于偏心负载质量矩 $m_u r_u$ 时,其计算公式为:

$$[0014] \quad r_{be} = M_b / (N_t m_b)$$

[0015] 式中 N_t 为平衡环内所有球体个数, $N_t = 2N_h$ 或 $N_t = 2N_h + 1$;若 $M_b \geq m_u r_u$, r_{be} 计算公式为:

$$[0016] \quad r_{be} = m_u r_u / (N_t m_b)$$

[0017] 第五步:计算偏心距 e ,当所有球体的最大质量矩 M_b 小于偏心负载的质量矩 $m_u r_u$ 时,其计算公式为:

$$[0018] \quad e = (m_u r_u - N_t m_b r_{be}) / (m_u + N_t m_b + m_s)$$

[0019] 当 $M_b \geq m_u r_u$ 后, e 为0;

[0020] 第六步:计算大盘发生倾覆时的临界转速 Ω^* ,其计算公式为:

$$[0021] \quad \Omega^* = \begin{cases} \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} + r_{be}) + m_u g (r_{s2} - r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{-\Delta}} & \Delta < 0 \\ \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} - r_{be}) + m_u g (r_{s2} + r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{\Delta}} & \Delta > 0 \end{cases}$$

[0022] 式中, g 为重力加速度; $\Delta = N_t m_b (r_{be} + e) h_b + m_s e h_s - m_u (r_u - e) h_u$,这里 h_b 、 h_s 和 h_u 分别为平衡环、大盘组件等效质心和偏心负载等效质心相对大盘悬挂平面 $P_1'P_2'P_3'$ 的安装高度; N_t 为平衡环内球体的总个数;三根摆杆中,摆杆一 P_1P_1' 底端铰链 P_1' 与离心机中心轴A轴的距离为 r_{s1} ,摆杆二、三底端铰链 $P_2'P_3'$ 连线相对中心轴A轴的距离为 r_{s2} ; F_{pre} 为摆杆一 P_1P_1' 上减震弹簧的预紧力; m_m 为电机的质量; D_m 为电机中心轴与离心机中心轴A在正视图上的投影距离。

[0023] 本发明的技术效果在于:

[0024] 本发明针对带有平衡环装置的三足离心机,提供了一种准确、有效的临界倾覆转速计算方法,为其减振、抑振以及动力学特性的优化奠定了基础。

附图说明

[0025] 图1为本发明中三足离心机的结构图。

[0026] 图2为本发明中平衡环的工作原理图。

[0027] 图3为本发明中带双球体的平衡环的工作原理图。

[0028] 图4为本发明中带多球体的平衡环的工作原理图。

[0029] 图5(a)为本发明中大盘出现倾覆时的状态图。

[0030] 图5(b)为图5(a)的俯视图。

[0031] 图6(a)为本发明中大盘出现倾覆时的另一状态图。

[0032] 图6 (b) 为图6 (a) 的俯视图。

[0033] 图中:1、转鼓;2、减震弹簧;3、摆杆;4、大盘;6、球体;7、外壳;8、柱脚;9、电机;10、三脚底盘;11、主轴;12、轴承;13、平衡环。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明。

[0035] 如图1所示,本实施例的带平衡环装置三足离心机临界倾覆转速的计算方法,三足离心机包括对称安装于三脚底盘10上的三个柱脚8,三个柱脚8之间悬挂安装有主轴11、转鼓1及大盘4,转鼓1与主轴11固连,大盘4通过轴承12与主轴11转动连接,主轴11通过三脚底盘10上的电机9驱动;转鼓1的外周安装有外壳7,柱脚8通过摆杆3与大盘4连接,摆杆3上套置有减震弹簧2;平衡环装置包括设于转鼓1上的平衡环13,平衡环13中安装有多个球体6。

[0036] 球体平衡环是一种有效抑制圆盘转子(即本发明中的转鼓1)振动的装置,其工作原理如图2所示。为描述方便,图2中采用两个球体。图2中S为转子的几何形心,也是转子本身质心所在位置,U为偏心负载,C为转子与偏心负载的等效质心,球a和球b是可以绕环形轨道自由移动的球体。由圆盘转子自动定心现象可知,当转子工作转速大于其自身固有频率时,转子与偏心负载会绕着其等效质心C旋转。下面分析球a和球b的受力情况,如图2所示,球a所受的离心力F可沿径向和切向分解为径向力 F_n 和切向力 F_t 。径向力 F_n 与环形轨道支撑力相互抵消,而切向力 F_t 会驱动球体a沿着环形轨道向着W处移动。同理球体b也会在切向力的作用下沿着环形轨道向着W处移动。最终,球体a和球体b会停留在W附近区域,形成B处的等效质量。因为B与U相对,所以B可以有效减小或消除偏心负载U所产生的振动。

[0037] 当两个球体质量较小时,球体a和b最终的位置分布如图3 (a) 所示,图中S为转子的几何形心,U为偏心负载,C为转子与偏心负载所形成的等效质心,O为系统(包括转子,偏心负载和球体)整体的旋转中心,由圆盘转子自动定心现象可知,O也是系统(包括转子,偏心负载和球体)整体的等效质心。图中O与S间的距离e为偏心距,随着球体质量的增大,两球体抵消偏心负载U的能力逐渐增强,偏心距e会越来越小。设每个球体的质量为 m_b ,球体的旋转半径为 r_b ,偏心负载U的质量为 m_u ,偏心负载的旋转半径为 r_u ,当球体质量 m_b 增大到一定程度后,偏心负载U会被完全抵消,偏心距e会变为0,O与S将重合。如果此时球体质量 m_b 继续增大,两球体会分开,其最终位置如图3 (b) 所示,此时偏心距e仍为0,O与S仍然重合。设此时两球体的等效质心为E,E与S的距离为 r_{be} ,此时满足 $m_u r_u = 2m_b r_{be}$,即偏心负载的质量矩与两个球体的质量矩相等。

[0038] 为描述方便,上述讨论过程仅以两个球的情况为例,下面针对实际平衡环结构进行讨论,如图4所示。设球体直径为d,球体旋转半径为 r_b ,则相邻两球的夹角 $\psi \approx d/r_b$ 。如果平衡环中球体个数为奇数,则所有球体所能形成的最大质量矩

$$[0039] \quad M_b = m_b r_b \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{N_h} \cos(k\psi) \right) \quad (1)$$

[0040] 式中, N_h 为平衡环内上半部球体的个数,此时平衡环内球体的总个数 $N_t = 2N_h + 1$ 。如果平衡环内球体个数为偶数,则所有球体所能形成的最大质量矩

$$[0041] \quad M_b = 2m_b r_b \sum_{k=1}^{N_h} \cos\left(k\psi - \frac{\psi}{2}\right) \quad (2)$$

[0042] 式中, N_h 为平衡环上半部球体的个数, 此时平衡环内球体的总个数 $N_t = 2N_h$ 。为保持球体有最佳的抑制振动的能力, 平衡环内球体的总体积不能超过平衡环总容积的一半。

[0043] 当球体的最大质量矩 M_b 小于偏心负载的质量矩 $m_u r_u$ 时, 即球体不能完全抵消负载偏心时, 所有的球体紧密靠拢在平衡环的一侧, 这与图3(a)相似, 此时平衡环内所有球体的等效质心 E 与平衡环几何形心 S 间的距离

$$[0044] \quad r_{be} = M_b / (N_t m_b) \quad (3)$$

[0045] 式中, N_t 为平衡环内球体的总个数。当平衡环内球体的最大质量矩 M_b 大于或等于偏心负载的质量矩 $m_u r_u$ 时, 球体不再聚集在一起, 而是像图3(b)所示那样分开。由于此时偏心负载被完全抵消, 转子偏心距 $e = 0$, 球体的质量矩与偏心负载的质量矩 $m_u r_u$ 相等。此时平衡环内所有球体的等效质心 E 与平衡环几何形心 S 间的距离

$$[0046] \quad r_{be} = m_u r_u / (N_t m_b) \quad (4)$$

[0047] 对于三足离心机来说, 由于其固有频率非常低, 其工作转速往往远高于其固有频率, 因而其属于挠性转子, 此外, 由于三根摆杆3的刚性非常大, 大盘4的运动轨迹近似于平面运动, 因而, 三足离心机本身近似于圆盘转子。在转鼓1内部偏心负载的激励下, 大盘组件(包括转鼓1, 大盘4, 外壳7, 主轴11和电机9等)会受迫振动。由受迫振动的特点可知, 大盘组件最终的振动周期会与偏心负载的激励周期一致, 即大盘组件会和偏心负载同步运动, 此时, 大盘组件轴心的运动轨迹与图2中转子几何形心 S 的运动轨迹相同, 因而宏观上看, 大盘组件的振动特点与圆盘转子极为相似。

[0048] 以下分析大盘组件(包括转鼓1, 大盘4, 外壳7, 主轴11和电机9等)运动过程中所受到的离心力情况。图5(a)(b)分别描述了大盘组件的正视图与俯视图, 为表达清楚, 这里用简图表示。图中 $P_1 P_1'$, $P_2 P_2'$ 和 $P_3 P_3'$ 分别为三根摆杆; 图中 M 为电机等效质心, A 为大盘组件的几何形心轴, 为描述方便, 这里首先忽略电机 M 偏心位置的影响, 设大盘组件的等效质心 S 位于其几何形心轴 A 上, 最后再进行修正。图中 E 为所有球体等效质心所在位置, U 为偏心负载。图中 A^* 为系统自动定心后的旋转轴。其与 A 轴的间距 e 即为偏心距。设大盘组件的质量为 m_s , 单个球体的质量为 m_b , 偏心负载质量为 m_u ; 设所有球体等效质心 E 与 A 轴的距离为 r_{be} , 设偏心负载与 A 轴的距离为 r_u 。

[0049] 当平衡环中所有球体的最大质量矩 M_b 小于偏心负载的质量矩 $m_u r_u$ 时, 偏心距 e 可表达为

$$[0050] \quad e = (m_u r_u - N_t m_b r_{be}) / (m_u + N_t m_b + m_s) \quad (5)$$

[0051] 式中, N_t 为平衡环内球体的总个数。此时作用到偏心负载质心 U , 大盘组件等效质心 S (这里首先忽略电机偏心位置的影响, 设大盘组件的等效质心位于其几何形心轴上, 最后进行修正) 和球体等效质心 E 上的离心力可分别表述为

$$[0052] \quad F_u = m_u (r_u - e) \Omega^2 \quad (6)$$

$$[0053] \quad F_s = m_s e \Omega^2 \quad (7)$$

$$[0054] \quad F_{be} = N_t m_b (r_{be} + e) \Omega^2 \quad (8)$$

[0055] 式中 Ω 为三足离心机稳态工作转速。由于三根摆杆的轴向拉伸刚度非常大, 大盘组件的摇摆运动很小, 主要以平面运动为主, 因而 F_u , F_s 和 F_{be} 三者会相互抵消, 即满足

$$[0056] \quad F_u - F_s - F_{be} = 0 \quad (9)$$

[0057] 当平衡环中所有球体的最大质量矩 M_b 大于或等于偏心负载的质量矩 $m_u r_u$ 时, 偏心负

载被完全抵消,偏心距 $e=0$ 。由(7)式可知,此时作用到大盘组件等效质心S上的离心力 F_s 为0,此时满足

$$[0058] \quad F_u - F_{be} = 0 \quad (10)$$

[0059] 以下讨论大盘组件所受离心力偶的平衡情况。设偏心负载质心U,大盘组件等效质心S和球体等效质心E相对于悬挂平面 $P_1'P_2'P_3'$ 的距离分别为 h_u, h_s 和 h_b ,则 F_u, F_s 和 F_{be} 三者相对于悬挂平面 $P_1'P_2'P_3'$ 的离心力偶分别为 $F_u h_u, F_s h_s$ 和 $F_{be} h_b$ 。由于大多数情况下, h_u, h_s 和 h_b 三者不相等,在满足(9)式的情况下,三个力偶不会相互抵消,即

$$[0060] \quad F_u h_u - F_s h_s - F_{be} h_b \neq 0 \quad (11)$$

[0061] 这会使得三个离心力相对悬挂平面 $P_1'P_2'P_3'$ 产生力偶差,由于 F_u, F_s 和 F_{be} 三者随三足离心机工作转速 Ω 的增大而增大,该力偶差会越来越大。正常情况下,该力偶差可借助作用到偏心负载,大盘组件,球体等效质心E上的重力力偶以及减震弹簧2弹性恢复力的力偶等加以抵消,但如果 Ω 过大,这种力偶差会无法得到平衡,从而引起大盘组件在一个运动周期过程中,摆杆 P_1P_1' 底端铰链 P_1' 会与大盘短暂的脱离接触,大盘整体在瞬间会绕着 $P_2'P_3'$ 轴摇摆振动。同样道理,一个运动周期内,大盘也会相继和其它摆杆底端铰链出现短暂的脱离接触的现象。由于摆杆本身的轴向阻尼有限,这种运动趋势会引起大盘剧烈的振动,这对于三足离心机来说是不可接受的。这里将这种现象称为大盘的倾覆现象,将引起这种现象的临界工作转速 Ω 称为临界倾覆转速。

[0062] 下面分两种情况讨论大盘的倾覆现象。

[0063] 当负载离心力偶 $F_u h_u$ 大于 $F_s h_s + F_{be} h_b$ 时,大盘最容易出现的倾覆位置为图5(a)(b)所示的位置,这是由于此时重力相对于 $P_2'P_3'$ 轴的力臂最短,其抵消力偶不平衡的能力最弱。如图5(b)所示,设摆杆 P_1P_1' 底端铰链 P_1' 与A轴的距离为 r_{s1} , $P_2'P_3'$ 连线相对A轴的距离为 r_{s2} ,大盘发生倾覆的临界条件可表达为

$$[0064] \quad F_u h_u - F_{be} h_b - F_s h_s - G_s r_{s2} - G_b (r_{s2} + r_{be}) - G_u (r_{s2} - r_u) - F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) = 0 \quad (12)$$

[0065] 式中 $G_u = m_u g, G_s = m_s g$ 和 $G_b = N_t m_b g$ 分别为作用到偏心负载,大盘组件和球体等效质心E上的重力, F_{pre} 为摆杆 P_1P_1' 上减震弹簧的预紧力。将(6)(7)(8)与 $G_u = m_u g, G_s = m_s g$ 和 $G_b = N_t m_b g$ 一起代入到(12)式中,可得此时大盘发生倾覆时的临界转速为

$$[0066] \quad \Omega^* = \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} + r_{be}) + m_u g (r_{s2} - r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2})}{m_u (r_u - e) h_u - N_t m_b (r_{be} + e) h_b - m_s e h_s}} \quad (13)$$

[0067] 当负载离心力偶 $F_u h_u$ 小于或等于 $F_s h_s + F_{be} h_b$ 时,大盘最容易出现的倾覆位置为图6(a)(b)所示的位置。图中A为大盘组件的几何形心轴, A^* 为系统自动定心后的旋转轴,两轴间距 e 即为偏心距。依据(12)式同样的方法,可得到此时大盘发生倾覆的临界条件为

$$[0068] \quad F_{be} h_b + F_s h_s - F_u h_u - G_s r_{s2} - G_b (r_{s2} - r_{be}) - G_u (r_{s2} + r_u) - F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) = 0 \quad (14)$$

[0069] 将(6)(7)(8)与 $G_u = m_u g, G_s = m_s g$ 和 $G_b = N_t m_b g$ 一起代入到(14)式中,可得此时大盘发生倾覆时的临界转速为

$$[0070] \quad \Omega^* = \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} - r_{be}) + m_u g (r_{s2} + r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2})}{N_t m_b (r_{be} + e) h_b + m_s e h_s - m_u (r_u - e) h_u}} \quad (15)$$

[0071] 令

$$[0072] \quad \Delta = N_t m_b (r_{be} + e) h_b + m_s e h_s - m_u (r_u - e) h_u \quad (16)$$

[0073] 此时 (13) 和 (15) 两式可统一表达为

$$[0074] \quad \Omega^* = \begin{cases} \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} + r_{be}) + m_u g (r_{s2} - r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2})}{-\Delta}} & \Delta < 0 \\ \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} - r_{be}) + m_u g (r_{s2} + r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2})}{\Delta}} & \Delta > 0 \end{cases} \quad (17)$$

[0075] 为简化描述,在确定临界倾覆转速 Ω^* 的过程中,未考虑电机偏心位置的影响,这里进行修正。设电机本身的质量为 m_m ,电机质心相对于A轴的距离在正视图上的投影为 D_m ,则电机重力相对于图5与图6中 $P_2'P_3'$ 连线的力偶为 $m_m g (D_m - r_{s2})$,将该项代入 (12) (14) 两式中,并重新推导 (17) 式可得

$$[0076] \quad \Omega^* = \begin{cases} \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} + r_{be}) + m_u g (r_{s2} - r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{-\Delta}} & \Delta < 0 \\ \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} - r_{be}) + m_u g (r_{s2} + r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{\Delta}} & \Delta > 0 \end{cases} \quad (18)$$

[0077] 以下为本发明的计算实例。

[0078] 计算实例1:

[0079] 1、测量得到某三足离心机的具体设计参数如下:大盘组件(包括转鼓1,大盘4,外壳7,主轴11和电机9等)总质量 m_s 为80kg,电机本身质量 m_m 为18kg,电机质心相对于A轴的距离在正视图上的投影 D_m 为0.36m,平衡环中球体旋转半径 r_b 为0.13m,设平衡环内球体的直径 $d=0.029m$,球体采用钢球,其密度 $\rho=7850kg/m^3$,则球体的重量 $m_b=1/6\pi d^3\rho\approx 0.1kg$,弹簧预紧力 F_{pre} 为100N,摆杆 P_1P_1' 底端铰链 P_1' 与A轴的距离 r_{s1} 为0.27m, $P_2'P_3'$ 连线相对A轴的距离 r_{s2} 为0.135m,平衡环相对悬挂平面 $P_1'P_2'P_3'$ 的安装高度 h_b 为0.2m,大盘组件质心相对悬挂平面 $P_1'P_2'P_3'$ 的高度 h_s 为0.05m。

[0080] 2、估算最大偏心负载质量 $m_u=1kg$,偏心负载旋转半径 $r_u=0.1m$,偏心负载的高度 $h_u=0.1m$ 。

[0081] 3、由平衡环中球体旋转半径 r_b 为0.13m,球体的直径 $d=0.029m$,可得两个球体间的夹角

$$[0082] \quad \psi \approx \frac{d}{r_b} = \frac{0.029}{0.13} \approx 0.2231 \text{ rad},$$

[0083] 这里设球体个数为3,则图4中平衡环上半部球体个数为1,按照 (1) 式计算此时球体的最大质量矩为

$$[0084] \quad M_b = m_b r_b \left(1 + 2 \sum_{k=1}^1 \cos(k\psi) \right) = 0.1 \times 0.13 \times (1 + 2 \cos 0.2231) \approx 0.0384 \text{ kg m}$$

[0085] 4、偏心负载质量矩 $m_u r_u = 1 \times 0.1 = 0.1 \text{ kg m}$,由于 $M_b < m_u r_u$,按照 (3) 式计算球体等效旋转半径

$$[0086] \quad r_{be} = M_b / (N_t m_b) = 0.0384 / (3 \times 0.1) \approx 0.128 \text{ m}$$

[0087] 5、由于 $M_b < m_u r_u$,根据 (5) 式计算偏心距 e

$$[0088] \quad e = (m_u r_u - N_t m_b r_{be}) / (m_u + N_t m_b + m_s)$$

$$[0089] \quad = (1 \times 0.1 - 3 \times 0.1 \times 0.128) / (1 + 3 \times 0.1 + 80)$$

$$[0090] \approx 7.58 \times 10^{-4} \text{m}$$

[0091] 6、根据(16)计算 Δ

$$[0092] \Delta = N_t m_b (r_{be} + e) h_b + m_s e h_s - m_u (r_u - e) h_u$$

$$[0093] = 3 \times 0.1 \times (0.128 + 7.58 \times 10^{-4}) \times 0.2 + 80 \times 7.58 \times 10^{-4} \times 0.05 - 1 \times (0.1 - 7.58 \times 10^{-4}) \times 0.1$$

$$[0094] \approx 8.25 \times 10^{-4} \text{kg m}^2$$

[0095] 7、按照(18)式计算临界倾覆转速,由于 $\Delta > 0$,固

$$[0096] \Omega^* = \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} - r_{be}) + m_u g (r_{s2} + r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{\Delta}}$$

$$= \sqrt{\frac{80 \times 9.8 \times 0.135 + 3 \times 0.1 \times 9.8 \times (0.135 - 0.128) + 1 \times 9.8 \times (0.135 + 0.1) + 100 \times (0.27 + 0.135) - 18 \times 9.8 \times (0.36 - 0.135)}{8.25 \times 10^{-4}}}$$

$$\approx 363.36 \text{ rad/s}$$

$$\approx 57.8 \text{ Hz}$$

[0097] 计算实例2

[0098] 1、设某三足离心机的具体设计参数与计算实例1相同,但本实例中不考虑平衡环的作用。

[0099] 2、设最大偏心负载与计算实例1相同。

[0100] 3、本例不考虑平衡环的作用,设球体个数为0,球体最大质量矩 $M_b = 0$ 。

[0101] 4、偏心负载质量矩 $m_u r_u = 1 \times 0.1 = 0.1 \text{ kg m}$,由于 $M_b < m_u r_u$,按照(3)式计算球体等效旋转半径 $r_{be} = 0$ 。

[0102] 5、由于 $M_b < m_u r_u$,根据(5)式计算偏心距 e

$$[0103] e = (m_u r_u - 0) / (m_u + 0 + m_s)$$

$$[0104] = 1 \times 0.1 / (1 + 80)$$

$$[0105] \approx 0.0012 \text{ m}$$

[0106] 6、根据(16)计算 Δ

$$[0107] \Delta = N_t m_b (r_{be} + e) h_b + m_s e h_s - m_u (r_u - e) h_u$$

$$[0108] = 0 + 80 \times 0.0012 \times 0.05 - 1 \times (0.1 - 0.0012) \times 0.1$$

$$[0109] \approx -0.0049 \text{ kg m}^2$$

[0110] 7、按照(18)式计算临界倾覆转速,由于 $\Delta < 0$,固

$$[0111] \Omega^* = \sqrt{\frac{m_s g r_{s2} + N_t m_b g (r_{s2} + r_{be}) + m_u g (r_{s2} - r_u) + F_{pre} (r_{s1} + r_{s2}) - m_m g (D_m - r_{s2})}{-\Delta}}$$

$$= \sqrt{\frac{80 \times 9.8 \times 0.135 + 0 + 1 \times 9.8 \times (0.135 - 0.1) + 100 \times (0.27 + 0.135) - 18 \times 9.8 \times (0.36 - 0.135)}{-(-0.0049)}}$$

$$\approx 147.2 \text{ rad/s}$$

$$\approx 23.43 \text{ Hz}$$

[0112] 通过计算实例1与2的对比不难发现,在同样的设计参数值与同样偏心负载的情况下,平衡环的采用可以极大提高三足离心机的临界倾覆转速。

[0113] 以上所举实施例为本发明的较佳实施方式,仅用来方便说明本发明,并非对本发

明作任何形式上的限制,任何所属技术领域中具有通常知识者,若在不脱离本发明所提技术特征的范围内,利用本发明所揭示技术内容所作出局部改动或修饰的等效实施例,并且未脱离本发明的技术特征内容,均仍属于本发明技术特征的范围内。

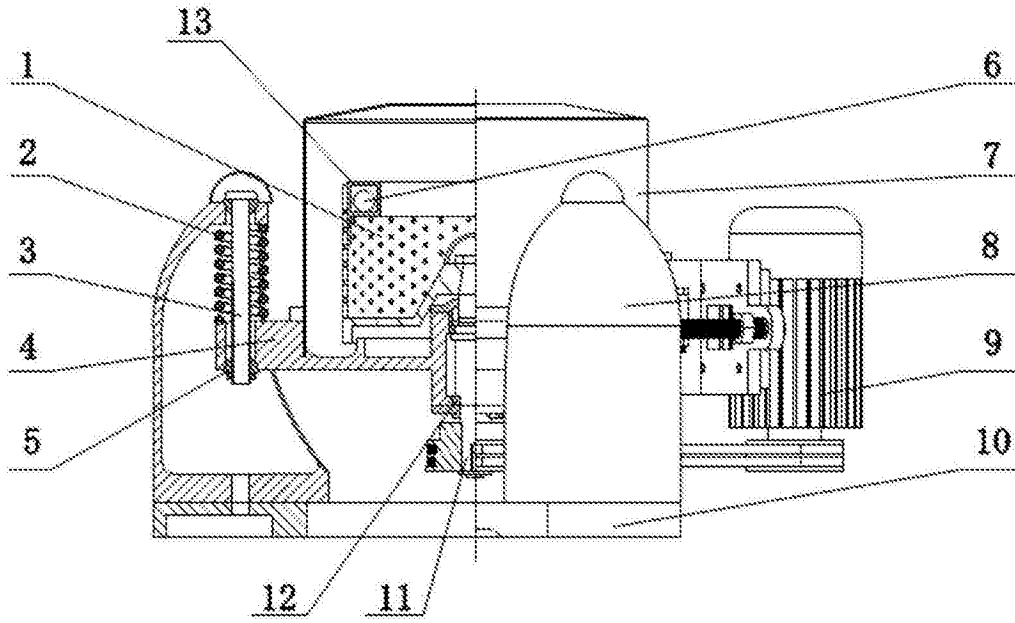


图1

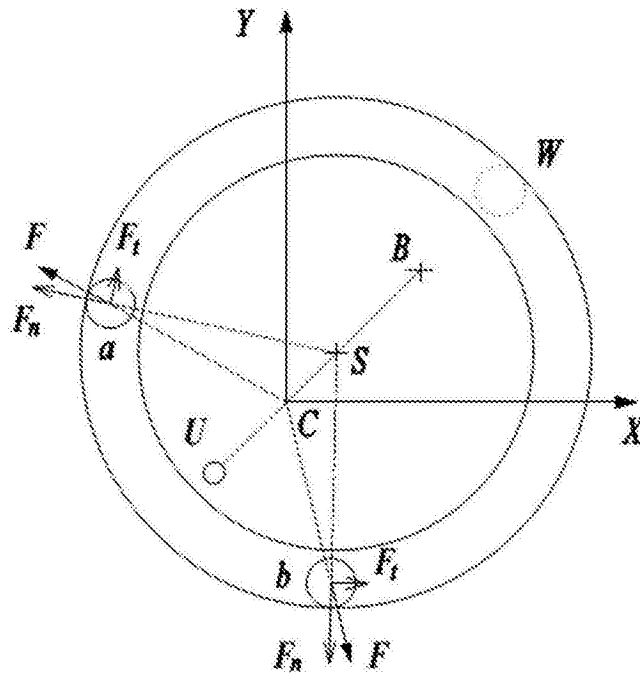


图2

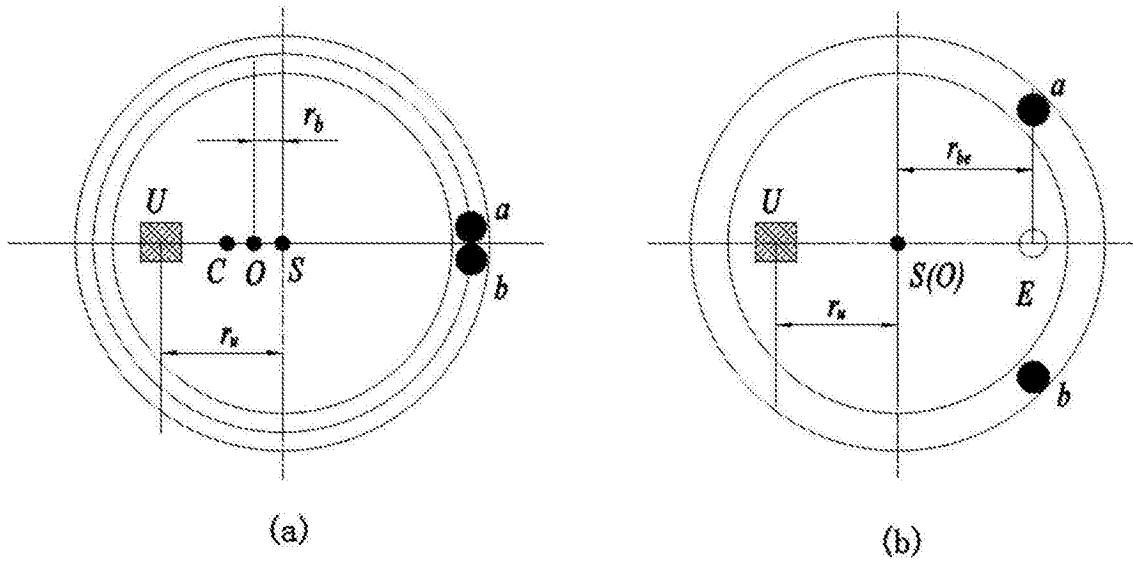


图3

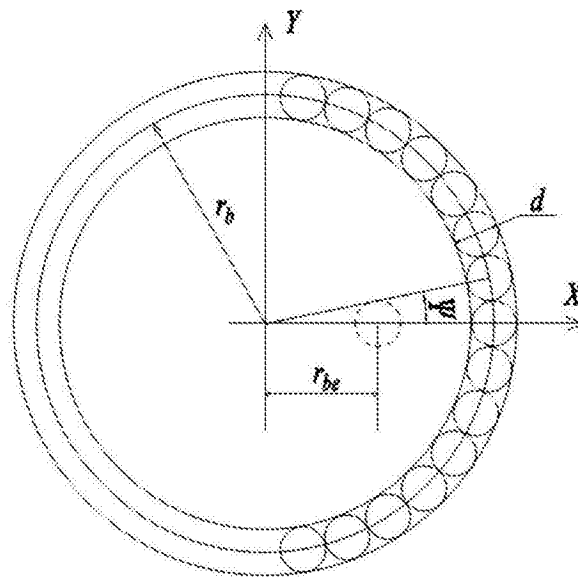


图4

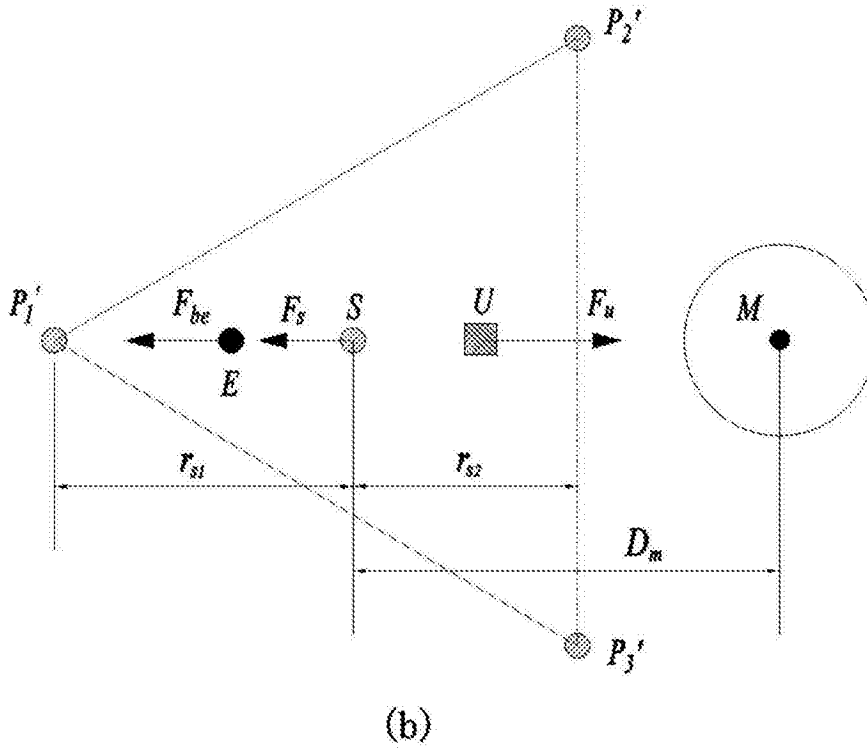
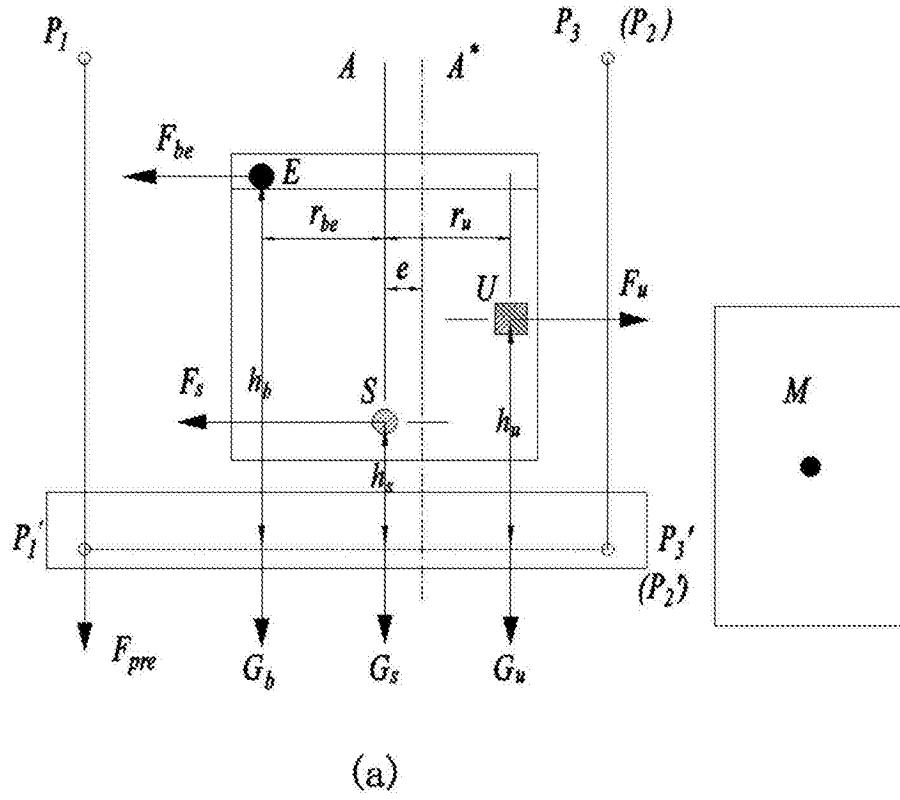


图5

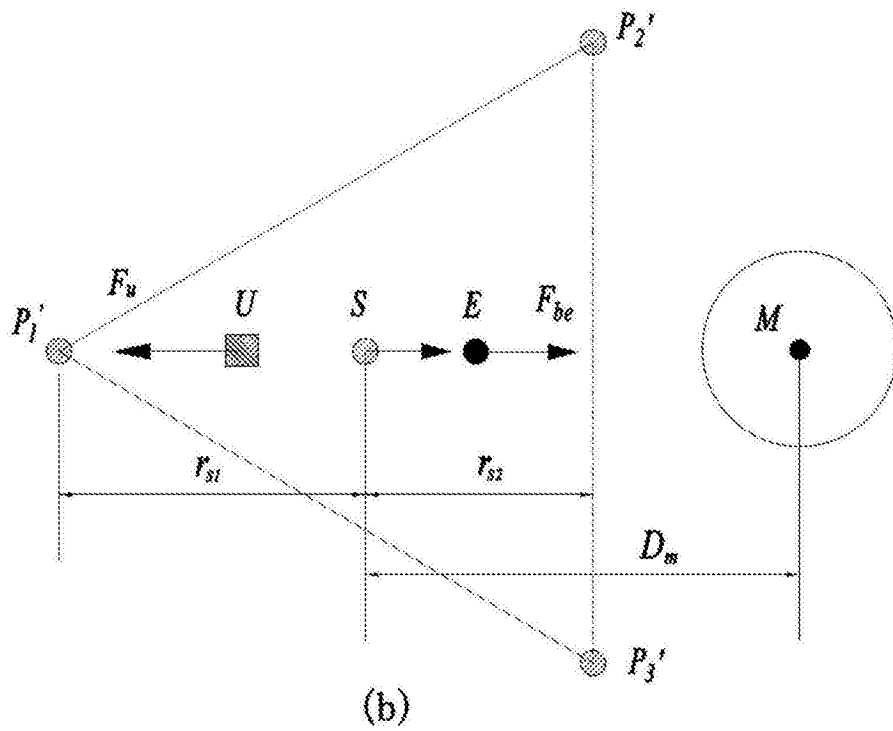
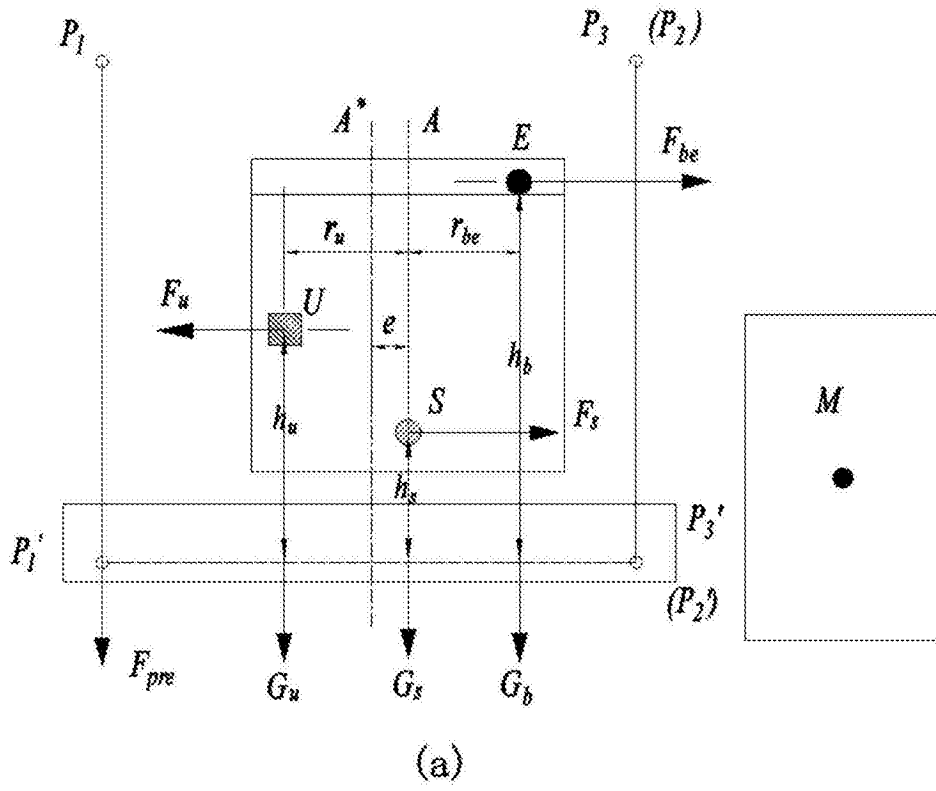


图6