

(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
2013 年 8 月 22 日 (22.08.2013)



(10) 国际公布号
WO 2013/120372 A1

- (51) 国际专利分类号:
E04G 21/04 (2006.01) F16F 15/027 (2006.01)
G05D 19/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/085979
- (22) 国际申请日: 2012 年 12 月 5 日 (05.12.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210037035.3 2012 年 2 月 17 日 (17.02.2012) CN
- (71) 申请人: 中联重科股份有限公司 (ZOOMLION HEAVY INDUSTRY SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国湖南省长沙市岳麓区银盆南路 361 号, Hunan 410013 (CN)。
- (72) 发明人: 黄毅 (HUANG, Yi); 中国湖南省长沙岳麓区银盆南路 361 号, Hunan 410013 (CN)。王佳茜 (WANG, Jiaqian); 中国湖南省长沙岳麓区银盆南路 361 号, Hunan 410013 (CN)。
- (74) 代理人: 北京润平知识产权代理有限公司 (RUN-PING & PARTNERS); 中国北京市海淀区北四环西路 9 号银谷大厦 515 室, Beijing 100190 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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, 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))。

(54) Title: CONTROLLER, SYSTEM AND METHOD FOR ACTIVE CONTROL OF ARM SUPPORT VIBRATION

(54) 发明名称: 用于臂架振动主动控制的控制器、系统以及方法

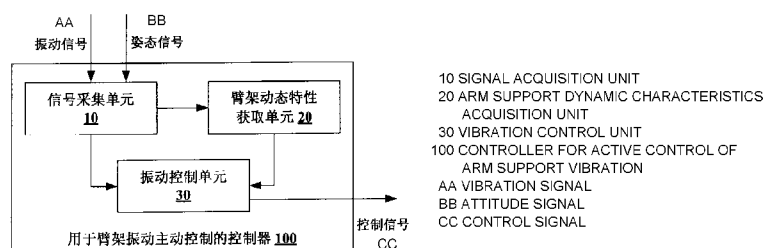


图 1 / FIG. 1

(57) Abstract: A controller, system and method for active control of arm support vibration. The controller comprises a signal acquisition unit (10), an arm support dynamic characteristics acquisition unit (20) and a vibration control unit (30). The signal acquisition unit (10) collects vibration signal representing the vibration of the arm support and attitude signal representing the attitude of the arm support, and converts the vibration signal and attitude signal into vibration data and attitude data. The arm support dynamic characteristics acquisition unit (20) achieves dynamic characteristics of the arm support according to the attitude data converted by the signal acquisition unit. The vibration control unit (30) calculates the control signal according to the vibration data and dynamic characteristics of the arm support and outputs the control signal to an arm section actuating control unit. The invention also discloses a control system and a control method corresponding to the controller. The controller, system and the method have a good damping effect, and improve the system stability and reliability.

(57) 摘要: 一种用于臂架振动主动控制的控制器、系统以及方法。控制器包括信号采集单元 (10)、臂架动态特性获取单元 (20) 和振动控制单元 (30)。信号采集单元 (10) 用于采集表征臂架振动情况的振动信号以及表征臂架姿态的姿态信号并将振动信号和姿态信号分别转换为振动数据和姿态数据, 臂架动态特性获取单元 (20) 用于根据信号采集单元转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性, 振动控制单元 (30) 用于根据振动数据以及臂架动态特性来计算控制信号并将该控制信号输出到臂节作动控制单元。本申请还记载了与控制器相对应的控制系统以及控制方法。本申请的控制器、系统和方法减震效果良好、系统稳定可靠。

WO 2013/120372 A1

用于臂架振动主动控制的控制器、系统以及方法

技术领域

5 本发明涉及工程机械领域，具体地，涉及一种用于臂架振动主动控制的控制器、系统以及方法。

背景技术

具有臂架的工程机械（例如混凝土泵车）工作时臂架部分伸展较大，在力学上属悬臂梁结构，受力比较复杂，容易产生振动。混凝土泵车臂架
10 振动是影响泵车整车性能和施工质量的重要因素之一，振动过大会造成臂架末端的软管无法精确定位，同时产生的动应力直接影响泵车的疲劳寿命。随着高压、大排量泵送和超长臂架技术的发展，臂架振动问题越发受到重视，如何有效地主动抑制臂架振动的需求日益迫切。

现有的主动抑制臂架振动的方法一种方式是增设抑制油缸，通过调整
15 抑制油缸的动作来达到减振的目的，但是这种方式要增加抑制油缸、改造机械结构，实施起来较为复杂；另一种方式是如 CN102071809A 中记载的，采集臂架振动幅度和角度参数来控制电磁比例阀以达到减振的目的，但是这种方式只能起到简单的主动抑制作用，不够精确。

20 发明内容

本发明的目的是提供一种用于臂架振动主动控制的控制器、系统以及方法。

为了实现上述目的，本发明提供一种用于臂架振动主动控制的控制器，该控制器包括：信号采集单元，用于采集表征臂架振动情况的振动信号以
25 及表征臂架姿态的姿态信号并将振动信号和姿态信号分别转换为振动数据

和姿态数据；臂架动态特性获取单元，用于根据信号采集单元转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性；以及振动控制单元，用于根据信号采集单元转换得到的振动数据以及臂架动态特性获取单元获取的臂架动态特性来计算控制信号并将该控制信号输出到臂节作动控制单元。

根据本发明的另一方面，本发明还提供一种用于臂架振动的主动控制系统，该系统包括：本发明提供的用于臂架振动主动控制的控制器；臂架振动监测单元，用于检测臂架的振动情况，生成振动信号并输出到所述控制器中的信号采集单元；臂架姿态监测单元，用于检测臂架的姿态，生成姿态信号并输出到所述控制器中的信号采集单元；以及臂节作动控制单元，用于接收来自所述控制器中振动控制单元的控制信号并根据该控制信号运行。

根据本发明的又一方面，本发明还提供一种用于臂架振动的主动控制方法，该方法包括以下步骤：采集表征臂架振动情况的振动信号以及表征臂架姿态的姿态信号并将振动信号和姿态信号分别转换为振动数据和姿态数据；根据转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性；以及根据转换得到的振动数据以及获取的臂架动态特性来计算控制信号并将该控制信号输出到臂节作动控制单元。

通过上述技术方案，本发明提供的用于臂架振动的主动控制的控制器、控制系统以及方法通过对臂架进行振动监测和姿态监测从而得到振动信号和姿态信号，然后利用姿态信号得到臂架在当前姿态下的动态特性，结合振动信号计算出控制信号用以控制臂节作动控制单元，从而达到了较好的主动减振的目的。本发明获得的减振效果良好，理想泵送工况下可消减混凝土泵车各臂节 90%以上的振动量，且系统稳定可靠。

本发明的其他特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

附图是用来提供对本发明的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本发明，但并不构成对本发明的限制。

5 在附图中：

图 1 是根据本发明提供的用于臂架振动主动控制的控制器的结构框图；

图 2 是根据本发明优选实施方式提供的控制器中振动控制单元的计算原理图；

图 3 是根据本发明提供的用于臂架振动的主动控制系统的结构框图；

10 图 4 是根据本发明优选实施方式提供的臂架振动监测单元的结构图；

图 5 是根据本发明提供的用于臂架振动的主动控制方法的流程图；

图 6 是采用本发明的主动控制策略所达到的控制效果示意图。

附图标记说明

15	10	信号采集单元	20	臂架动态特性获取单元
	30	振动控制单元	100	用于臂架振动主动控制的控制器
	200	臂架振动监测单元	201	第一振动传感器
	202	第二振动传感器	203	角度传感器
	204	安装架	205	保护罩
20	300	臂节作动控制单元	400	臂架姿态监测单元

具体实施方式

以下结合附图对本发明的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明，并不用于限制本发
25 明。

如图 1 所示，为本发明提供的用于臂架振动主动控制的控制器 100（以

下简称为“控制器 100”), 该控制器 100 包括: 信号采集单元 10, 用于采集表征臂架振动情况的振动信号以及表征臂架姿态的姿态信号并将振动信号和姿态信号分别转换为振动数据和姿态数据; 臂架动态特性获取单元 20, 用于根据信号采集单元 10 转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性; 以及振动控制单元 30, 用于根据信号采集单元 10 转换得到的振动数据以及臂架动态特性获取单元 20 获取的臂架动态特性来计算控制信号并将该控制信号输出到臂节作动控制单元。

其中, 信号采集单元 10 所采集的振动信号为任何能够表征臂架振动情况的信号, 优选是表征臂架末端的振动情况的信号, 包括但不限于位移信号、速度信号、加速度信号、倾角信号等振动信号, 只要是能够表征振动的信号均可以。所采集的姿态信号为任何能够表征臂架姿态的信号, 可以包括各个臂节相对于水平面的倾角信号和/或臂架整体相对于回转台轴线的回转角度信号。

信号采集单元 10 对振动信号和姿态信号的处理主要是模数转换处理, 因为振动信号和姿态信号一般是通过传感器采集到的电流值为 4-20mA 的模拟信号, 而信号采集单元 10 通过对模拟信号进行模数转换得到数字信号, 也就是将振动信号转换成振动数据, 将姿态信号转换成姿态数据。除此之外, 优选情况下, 信号采集单元 10 还可以对接收到的信号进行滤波、调理等处理。

信号采集单元 10 在将振动信号和姿态信号转换成数据之后, 还进一步将振动数据输出到振动控制单元 30, 将姿态数据输出到臂架动态特性获取单元 20。

臂架动态特性获取单元 20 用于根据姿态数据得到臂架在该姿态数据所代表的情况下的臂架动态特性并传送给振动控制单元 30。该臂架动态特性获取单元 20 中预设有数据库, 该数据库存储有臂架动态特性与姿态数据之间的关系, 从而可以根据姿态数据查找得到臂架动态特性。该数据库可通

过理论方法建立臂架系统的数学模型获取，也可以通过大量实验获取，例如设定臂架的一个姿态（即设定臂节的一组倾角和/或回转角度），然后对臂架进行激振，测定臂架此时的动态特性，并对应存储起来，备以调用。所谓臂架动态特性可以包括但不限于臂架的质量矩阵、刚度矩阵、阻尼矩阵等等。优选情况下，所述数据库中还存储有臂架的结构参数，与臂架动态特性对应，臂架动态特性获取单元 20 在获得臂架动态特性时还考虑臂架的结构参数。

接着，振动控制单元 30 根据振动数据和臂架的动态特性来进行控制，计算得到臂节作动控制单元的控制信号，该信号通过 PWM 的方式发送给臂节作动控制单元（例如臂节油缸电磁阀的引线插头端），通过使臂节作动控制单元在该控制信号的控制下工作，得以控制臂节的运动状态，给臂节施加主动控制作用，从而使得臂架振动得到抑制。其中，该控制信号可以为控制电压信号或控制电流信号。

优选情况下，振动控制单元 30 利用独立模态空间分析算法来计算控制信号。模态分析是指将线性定常系统振动微分方程组中的物理坐标变换为模态坐标，使方程组解耦，成为一组以模态坐标及模态参数描述的独立方程，以便求出系统的模态参数。坐标变换的变换矩阵为模态矩阵，其每列为模态振型。

下面结合图 2 来详细说明振动控制单元 30 的工作原理。本领域普通技术人员可以理解的是，下面介绍的计算过程并不是唯一的，该具体实施方式也不是用于限定本发明的范围，而是提供一种实现方式，然而本领域普通技术人员在本发明的教导下可以灵活地运用模态分析的方法。在下面的实施方式中，假定采集到的振动信号为加速度信号 $\ddot{x}$ ，获取的臂架动态特性为在当前姿态下臂架系统的质量矩阵 M 、刚度矩阵 K 和阻尼矩阵 C 。

（1）为了实现臂架系统的独立模态空间主动控制，需要知道振动系统

的模态位移响应 q_i 和模态速度响应 $\dot{q}_i$ ，而根据加速度信号 $\ddot{x}$ 可以得到模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ ，下面具体介绍。

首先，振动控制单元 30 引入模态滤波器对加速度信号 $\ddot{x}$ 进行处理，以实现从物理加速度到各阶模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ 的转换。

5 根据模态叠加原理有：

$$\ddot{x} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \ddot{q}_i \quad \text{公式 (1)}$$

其中 $\ddot{x}$ 为加速度信号， φ_i 为第 i 阶振型向量， $\ddot{q}_i$ 为第 i 阶模态加速度响应， i 为模态的阶数，可以任意控制选定的模态振动，控制的模态阶数越多，控制精度就越高。对于臂架的振动控制，因为在泵送过程中泵车臂架系统
10 主要以第一阶模态振动为主，所以选择控制第一阶模态振动，效果就很明显，也就是取 $i=1$ 。

然后在公式(1)的两边乘以模态滤波器向量 Φ_i^T ($\Phi_i^T = \varphi_i^T M$ ， M 为质量矩阵， φ_i^T 为第 i 阶振型向量的转置矩阵)，则有

$$\Phi_i^T \ddot{x} = \Phi_i^T \sum_{i=1}^n \varphi_i \ddot{q}_i \quad \text{公式 (2)}$$

$$15 \quad \text{又因为 } \Phi_i^T \varphi_j = \begin{cases} 1 & \text{如果 } i = j \\ 0 & \text{如果 } i \neq j \end{cases} \quad \text{公式 (3)}$$

$$\text{则得到 } \Phi_i^T \ddot{x} = \ddot{q}_i \quad \text{公式 (4)}$$

$$\text{从而得到 } \ddot{q}_i = \Phi_i^T \ddot{x} = \varphi_i^T M \ddot{x} \quad \text{公式 (6)}$$

实现了从物理加速度 $\ddot{x}$ 到各阶模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ 的转换。

(2)然后，通过状态观测器实现从模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ 到模态速度响应 $\dot{q}_i$
20 和模态位移响应 q_i 的转换。这个步骤对于本领域技术人员是公知的，下面简单介绍。其中模态速度响应 $\dot{q}_i$ 和模态位移响应 q_i 按照如下方式得到：

$$\dot{q}_i = fun_1(K_o, \ddot{q}) \quad \text{公式 (7)}$$

$$q_i = fun_2(K_o, \ddot{q}) \quad \text{公式 (8)}$$

其中 K_o 为状态观测器的增益矩阵, $fun_1()$ 为模态速度响应观测器函数, $fun_2()$ 为模态位移响应观测器函数。

5 (3) 然后, 针对要控制的第 i 阶模态, 按照公式 (9) 计算出对应的模态控制力 f_i 。

$$f_i = -g_i q_i - h_i \dot{q}_i \quad \text{公式 (9)}$$

其中, g_i 为模态控制力位移增益, h_i 为模态控制力速度增益。这两个增益值是通过极点配置法来确定的。

10 例如, 由闭环特征方程 $\ddot{q}_i + h_i \dot{q}_i + (g_i + \omega_i^2) q_i = 0$ 及其对应的特征方程 $\lambda^2 + h_i \lambda + \omega_i(\omega_i + g_i) = 0$, 则可以得出, 若要求第 i 阶模态极点配置在 $\lambda_i = \alpha_i \pm \beta_i j$ 处 (即 α 、 β 分别为要求配置的第 i 阶模态极点的坐标为 $\lambda_i = \alpha_i \pm \beta_i j$), g_i 和 h_i 如下式所示:

$$\begin{cases} g_i = \frac{(\alpha_i^2 + \beta_i^2)}{\omega_i} - \omega_i \\ h_i = 2\alpha_i \end{cases} \quad \text{公式 (10)}$$

15 其中 ω_i 为系统第 i 阶固有频率, 是由质量矩阵 M 、刚度矩阵 K 和阻尼矩阵 C 共同确定的。

(4) 然后, 对独立模态空间控制算法来说, 振动系统的各阶模态都是相互独立的, 所以可以根据模态控制力 f_i 得到实际控制力 F_{ctrl} 。

$$F_{ctrl} = V_i f_i \quad \text{公式 (11)}$$

20 其中 V_i 为由模态控制力 f_i 到实际控制力 F_{ctrl} 的变换矩阵。

对于振动方程 $M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F$, 由模态理论 $x = \varphi q$, 则可以得到 $M\varphi\ddot{q} + C\varphi\dot{q} + K\varphi q = F_{ctrl}$ 。而 $\varphi^T M\varphi = I$, I 为单位矩阵, 即 $\ddot{q} + C\varphi\dot{q} + K\varphi q = f$, 而两边同乘以 $M\varphi$, 就可以从模态控制力 f_i 转换到实际控制力 F_{ctrl} 。所以, 可

以得到:

$$V_i = \sum_{i=1}^n \mathbf{M} \boldsymbol{\phi}_i \quad \text{公式 (12)}$$

代入公式 (11) 得到

$$\mathbf{F}_{ctrl} = V_i f_i = - \sum_{i=1}^n \mathbf{M} \boldsymbol{\phi}_i (g_i q_i + h_i \dot{q}_i) \quad \text{公式 (13)}$$

- 5 (5) 最后, 根据实际控制力 $\mathbf{F}_{ctrl}$ 将实际控制力 $\mathbf{F}_{ctrl}$ 转换为臂节作动控制单元的控制信号 S_{ctrl} 。

$$S_{ctrl} = W_i \mathbf{F}_{ctrl} = -W_i \sum_{i=1}^n \mathbf{M} \boldsymbol{\phi}_i (g_i q_i + h_i \dot{q}_i) \quad \text{公式 (14)}$$

其中 W_i 为由实际控制力 $\mathbf{F}_{ctrl}$ 到臂节作动控制单元的控制信号 S_{ctrl} 的变换矩阵, 相当于由臂架油缸控制力到臂节作动控制单元的控制信号的转换系数。最终得到的控制信号 S_{ctrl} 为一矩阵, 振动控制单元 30 根据该矩阵来控制臂节作动控制单元以相对应的信号来运作。事实上是对臂架系统施加了大小为 $\mathbf{F}_{ctrl}$ 的控制力, 在臂架系统的激励力 $\mathbf{F}_{exi}$ 和控制力 $\mathbf{F}_{ctrl}$ 的共同作用下, 对臂架的振动实施主动抑制。

上述模态控制算法可实现对所需振动模态的独立控制, 而不影响其它未控模态, 具有易设计的优点, 容易实现, 能够方便地应用到现有工程机械如混凝土泵车的臂架上, 实现实时振动主动控制。

下面根据本发明的另一方面, 结合图 3 来介绍本发明提供的用于臂架振动的主动控制系统。如图 3 所示, 该系统包括: 上述控制器 100; 臂架振动监测单元 200, 用于检测臂架的振动情况, 生成振动信号并输出到所述控制器 100 中的信号采集单元 10; 臂架姿态监测单元 400, 用于检测臂架的姿态, 生成姿态信号并输出到所述控制器 100 中的信号采集单元 10; 以及臂节作动控制单元 300, 用于接收来自所述控制器 100 中振动控制单元 30 的控制信号并根据该控制信号运行。

其中, 臂架振动监测单元 200 可以为各种能够检测臂架的振动情况 (优

选检测臂架末端的振动情况)的装置,例如为位移传感器、速度传感器、加速度传感器、角度传感器中的一者或几者。所生成的振动信号为能够表征臂架振动情况的信号,可以包括位移信号、速度信号、加速度信号、倾角信号中的一者或几者,以供信号采集单元 10 采集。

5 优选情况下,可以采用如图 4 所示的这种臂架振动监测单元 200,该臂架振动监测单元 200 包括第一振动传感器 201、第二振动传感器 202 和角度传感器 203,其中第一振动传感器 201 与第二振动传感器 202 的检测方向彼此正交,角度传感器 203 用于检测臂架与水平面之间的夹角。其中,第一振动传感器 201 和第二振动传感器 202 可以为加速度传感器、速度传感器
10 或者位移传感器,优选为加速度传感器,所述角度传感器 203 可以为单轴的角度传感器。这样臂架振动监测单元 200 生成的振动信号包括两个加速度信号(或速度信号、位移信号)和一个角度信号,从而信号采集单元 10 可以根据角度信号对两个加速度信号(或速度信号、位移信号)转换成任意给定方向上的加速度信号,例如重力加速度方向或水平方向,以得到给
15 定方向上的振动信号。

为了便于安装上述第一振动传感器 201 和第二振动传感器 202 以使得二者正交,该臂架振动监测单元 200 还包括安装架 204,该安装架 204 为彼此正交的两块板,第一振动传感器 201 和第二振动传感器 202 分别安装在其中一块板上,以保证检测方向彼此正交,角度传感器 203 安装在其中一
20 块板上。

为了保护各传感器,优选情况下,该臂架振动监测单元 200 还可以包括保护罩 205,上述第一振动传感器 201、第二振动传感器 202、角度传感器 203 和安装架 204 均置于保护罩 205 中,并且安装架 204 与保护罩 205 固定连接,保护罩 205 具有一开口,用于将第一振动传感器 201、第二振动
25 传感器 202、角度传感器 203 的输出线引出。

所述臂架姿态监测单元 400 所生成的所述姿态信号包括各臂节相对于

水平面的倾角和/或臂架相对于回转台轴线的回转角度。因此，所述臂架姿态监测单元 400 可以包括多个角度传感器，所述多个角度传感器分别安装在臂架的各个臂节上和/或回转台上，用于检测各个臂节相对于水平面的倾角和/或臂架整体相对于回转台轴线的回转角度。

5 臂节作动控制单元 300 可以为臂节油缸电磁阀（各臂节油缸的有杆腔和无杆腔的电磁阀）或者用于臂节减振的电磁阀，该电磁阀能够控制减振。

本发明提供的用于臂架振动的主动控制系统通过对臂架进行振动监测和姿态监测从而得到振动信号和姿态信号，然后利用姿态信号得到臂架在当前姿态下的动态特性，结合振动信号计算出控制信号用以控制臂节作动
10 控制单元，从而达到了较好的主动减振的目的。

此外，本发明还提供一种用于臂架振动的主动控制方法，如图 5 所示，该方法包括以下步骤：

采集表征臂架振动情况的振动信号以及表征臂架姿态的姿态信号并将振动信号和姿态信号分别转换为振动数据和姿态数据；

15 根据转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性；以及

根据转换得到的振动数据以及获取的臂架动态特性来计算控制信号并将该控制信号输出到臂节作动控制单元。

上述三个步骤分别由本发明提供的控制器 100 中的信号采集单元 10、
20 臂架动态特性获取 20、振动控制单元 30 所执行，由于前面已经对各单元的工作原理进行了说明，同样的内容在此不再赘述。

尤其需要说明的是，所述根据转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性的步骤是通过查找预设的数据库得到的，该数据库存储有臂架动态特性与姿态数据之间的关系。

25 所述计算控制信号的步骤利用独立模态空间分析算法来计算控制信号。独立模态空间分析算法与上述的振动控制单元 30 所执行的流程一样，

在此不再赘述。

如图 6 所示，为施加本发明的主动减振策略之前与之后的臂架末端的位移随时间变化的虚线图，从中可以看出，施加本发明的主动减振策略之后获得的减振效果良好，理想泵送工况下可消减混凝土泵车各臂节 90% 以上的振动量，且系统稳定可靠。

以上结合附图详细描述了本发明的优选实施方式，但是，本发明并不限于上述实施方式中的具体细节，在本发明的技术构思范围内，可以对本发明的技术方案进行多种简单变型，这些简单变型均属于本发明的保护范围。

另外需要说明的是，在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征，在不矛盾的情况下，可以通过任何合适的方式进行组合，为了避免不必要的重复，本发明对各种可能的组合方式不再另行说明。

此外，本发明的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合，只要其不违背本发明的思想，其同样应当视为本发明所公开的内容。

权利要求

1. 一种用于臂架振动主动控制的控制器，该控制器包括：

信号采集单元（10），用于采集表征臂架振动情况的振动信号以及表征
5 臂架姿态的姿态信号并将振动信号和姿态信号分别转换为振动数据和姿态数据；

臂架动态特性获取单元（20），用于根据信号采集单元（10）转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性；以及

振动控制单元（30），用于根据信号采集单元（10）转换得到的振动数
10 据以及臂架动态特性获取单元（20）获取的臂架动态特性来计算控制信号并将该控制信号输出到臂节作动控制单元。

2. 根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述臂架动态特性获取单元
（20）中预设有数据库，该数据库存储有臂架动态特性与姿态数据之间的关
15 系。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的控制器，其中，所述臂架动态特性包括臂架的质量矩阵、刚度矩阵、阻尼矩阵。

20 4. 根据权利要求 1 所述的控制器，其中，所述振动控制单元（30）利用独立模态空间分析算法来计算控制信号。

5. 根据权利要求 4 所述的控制器，其中，所述信号采集单元（10）采集到的振动信号为加速度信号 $\ddot{x}$ ，所述臂架动态特性获取单元（20）获取的
25 臂架动态特性为在当前姿态下臂架系统的质量矩阵 M 、刚度矩阵 K 和阻尼矩

阵 C ，所述振动控制单元（30）按照如下方式计算控制信号：

1) 使用模态滤波器对加速度信号 $\ddot{x}$ 进行处理，以从物理加速度转换到各阶模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ ：

$$\ddot{q}_i = \Phi_i^T \ddot{x} = \varphi_i^T M \ddot{x}$$

5 其中 $\ddot{x}$ 为加速度信号， φ_i 为第 i 阶振型向量， φ_i^T 为第 i 阶振型向量的转置矩阵， M 为质量矩阵， $\ddot{q}_i$ 为第 i 阶模态加速度响应， i 为模态的阶数；

2) 通过状态观测器实现从模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ 到模态速度响应 $\dot{q}_i$ 和模态位移响应 q_i 的转换；

3) 针对要控制的第 i 阶模态，计算出对应的模态控制力 f_i ：

$$10 \quad f_i = -g_i q_i - h_i \dot{q}_i$$

其中， g_i 为模态控制力位移增益， h_i 为模态控制力速度增益；

4) 根据模态控制力 f_i 得到实际控制力 F_{ctrl} ：

$$F_{ctrl} = V_i f_i$$

其中 V_i 为由模态控制力 f_i 到实际控制力 F_{ctrl} 的变换矩阵， $V_i = \sum_{i=1}^n M \varphi_i$

15 ;

5) 根据实际控制力 F_{ctrl} 将实际控制力 F_{ctrl} 转换为臂节作动控制单元的控制信号 S_{ctrl} ：

$$S_{ctrl} = W_i F_{ctrl} = -W_i \sum_{i=1}^n M \varphi_i (g_i q_i + h_i \dot{q}_i)$$

20 其中 W_i 为由实际控制力 F_{ctrl} 到臂节作动控制单元的控制信号 S_{ctrl} 的变换矩阵。

6. 根据权利要求 5 所述的控制器，其中，所述模态控制力位移增益 g_i 和模态控制力速度增益 h_i 通过极点配置法来确定。

7. 一种用于臂架振动的主动控制系统，该系统包括：

根据权利要求 1-6 中任一项权利要求所述的用于臂架振动主动控制的控制器（100）；

臂架振动监测单元（200），用于检测臂架的振动情况，生成振动信号并
5 输出到所述用于臂架振动主动控制的控制器（100）中的信号采集单元（10）；

臂架姿态监测单元（400），用于检测臂架的姿态，生成姿态信号并输出
到所述用于臂架振动主动控制的控制器（100）中的信号采集单元（10）；以
及

臂节作动控制单元（300），用于接收来自所述用于臂架振动主动控制的
10 控制器（100）中振动控制单元（30）的控制信号并根据该控制信号运行。

8. 根据权利要求 7 所述的系统，其中，所述臂架振动监测单元（200）
包括第一振动传感器（201）、第二振动传感器（202）和角度传感器（203），
其中第一振动传感器（201）与第二振动传感器（202）的检测方向彼此正交，
15 角度传感器（203）用于检测臂架与水平面之间的夹角。

9. 根据权利要求 7 所述的系统，其中，所述臂架姿态监测单元（400）
所生成的所述姿态信号包括各臂节相对于水平面的倾角和/或臂架相对于回
转台轴线的回转角度。

20

10. 根据权利要求 9 所述的系统，其中，所述臂架姿态监测单元（400）
包括多个角度传感器，所述多个角度传感器分别安装在臂架的各个臂节上和
/或回转台上，用于检测各个臂节相对于水平面的倾角和/或臂架整体相对于
回转台轴线的回转角度。

25

11. 一种用于臂架振动的主动控制方法，该方法包括以下步骤：

采集表征臂架振动情况的振动信号以及表征臂架姿态的姿态信号并将振动信号和姿态信号分别转换为振动数据和姿态数据；

根据转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性；以及

5 根据转换得到的振动数据以及获取的臂架动态特性来计算控制信号并将该控制信号输出到臂节作动控制单元。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其中，所述根据转换得到的姿态数据获取与该姿态数据对应的臂架动态特性的步骤是通过查找预设的数据库
10 得到的，该数据库存储有臂架动态特性与姿态数据之间的关系。

13. 根据权利要求 11 或 12 所述的方法，其中，所述臂架动态特性包括臂架的质量矩阵、刚度矩阵、阻尼矩阵。

14. 根据权利要求 11 所述的方法，其中，所述计算控制信号的步骤利用独立模态空间分析算法来计算控制信号。

15. 根据权利要求 14 所述的方法，其中，所采集到的振动信号为加速度信号 $\ddot{x}$ ，所获取的臂架动态特性为在当前姿态下臂架系统的质量矩阵 M 、
20 刚度矩阵 K 和阻尼矩阵 C ，所述计算控制信号的步骤包括：

1) 使用模态滤波器对加速度信号 $\ddot{x}$ 进行处理，以从物理加速度转换到各阶模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ ：

$$\ddot{q}_i = \Phi_i^T \ddot{x} = \varphi_i^T M \ddot{x}$$

其中 $\ddot{x}$ 为加速度信号， φ_i 为第 i 阶振型向量， φ_i^T 为第 i 阶振型向量的转
25 置矩阵， M 为质量矩阵， $\ddot{q}_i$ 为第 i 阶模态加速度响应， i 为模态的阶数；

2)通过状态观测器实现从模态加速度响应 $\ddot{q}_i$ 到模态速度响应 $\dot{q}_i$ 和模态位移响应 q_i 的转换;

3) 针对要控制的第 i 阶模态, 计算出对应的模态控制力 f_i :

$$f_i = -g_i q_i - h_i \dot{q}_i$$

5 其中, g_i 为模态控制力位移增益, h_i 为模态控制力速度增益;

4) 根据模态控制力 f_i 得到实际控制力 F_{ctrl} :

$$\mathbf{F}_{ctrl} = V_i f_i$$

其中 V_i 为由模态控制力 f_i 到实际控制力 F_{ctrl} 的变换矩阵, $V_i = \sum_{i=1}^n \mathbf{M} \boldsymbol{\varphi}_i$

;

10 5)根据实际控制力 F_{ctrl} 将实际控制力 F_{ctrl} 转换为臂节作动控制单元的控制信号 S_{ctrl} :

$$S_{ctrl} = W_i \mathbf{F}_{ctrl} = -W_i \sum_{i=1}^n \mathbf{M} \boldsymbol{\varphi}_i (g_i q_i + h_i \dot{q}_i)$$

其中 W_i 为由实际控制力 F_{ctrl} 到臂节作动控制单元的控制信号 S_{ctrl} 的变换矩阵。

15

16. 根据权利要求 15 所述的方法, 其中, 所述模态控制力位移增益 g_i 和模态控制力速度增益 h_i 通过极点配置法来确定。

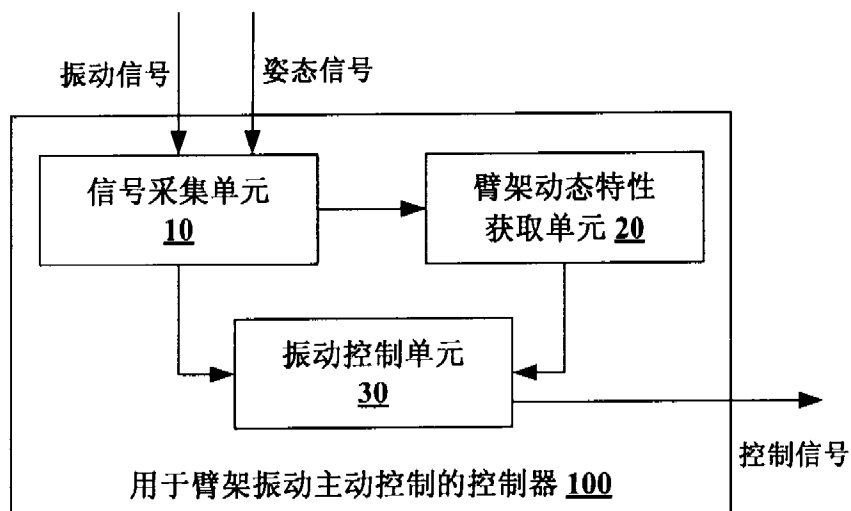


图 1

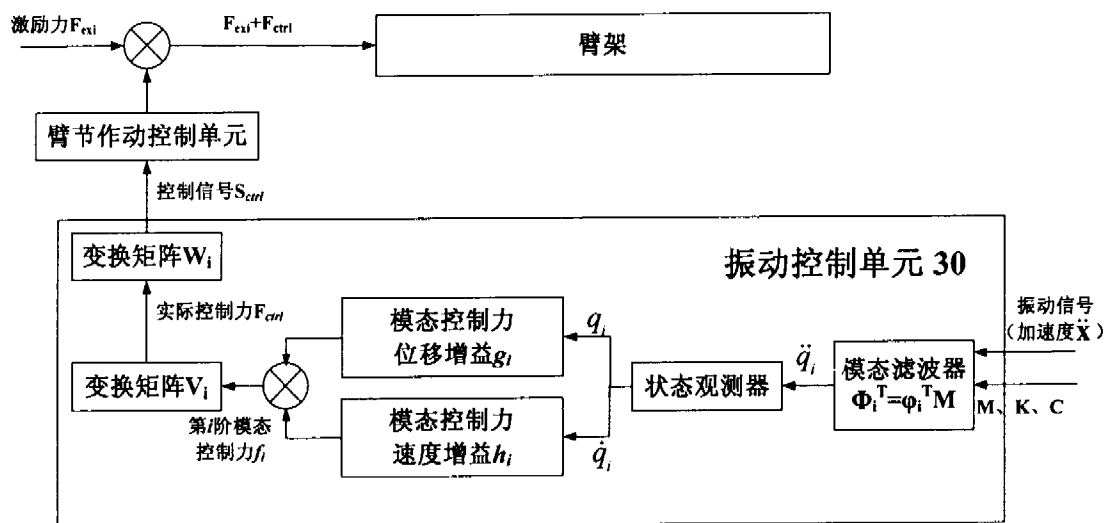


图 2

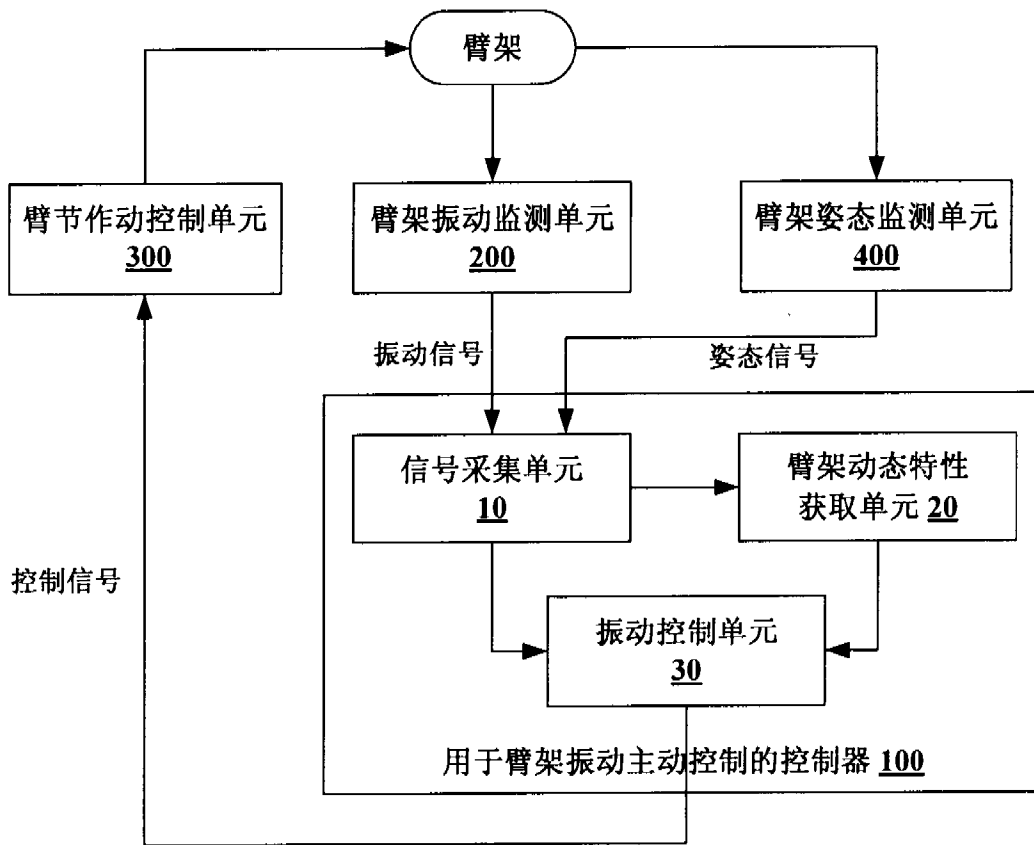


图 3

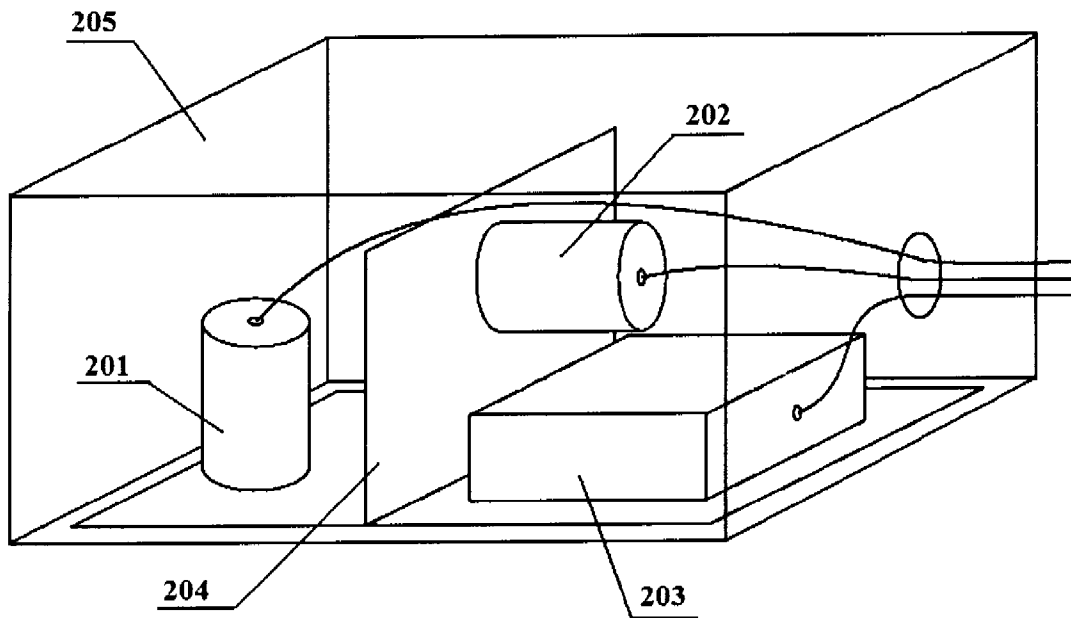


图 4

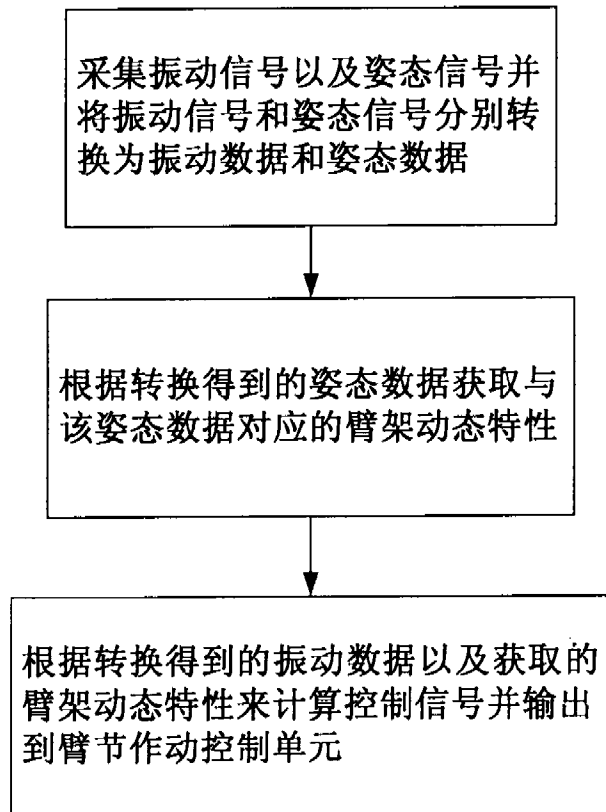


图 5

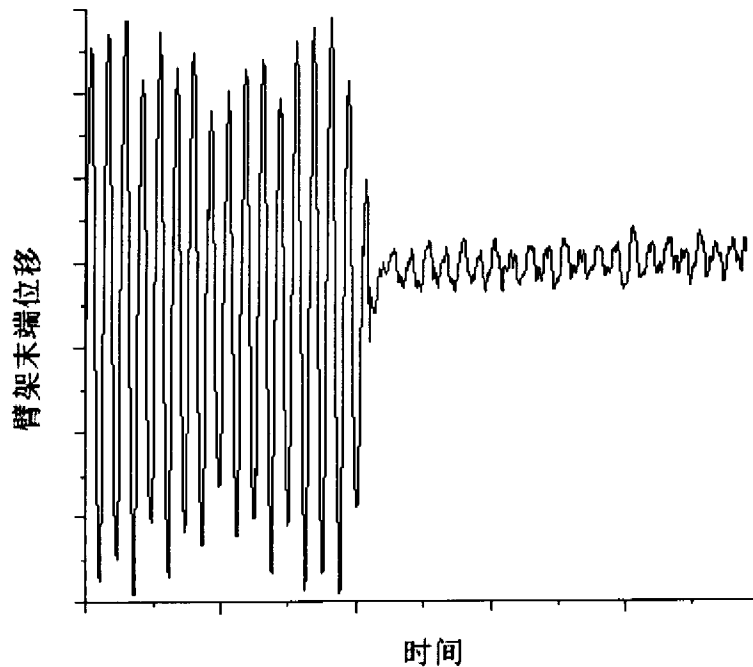


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2012/085979

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

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)

IPC: E04G 21/+; G05D 19/+; F16F 15/+

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)

EPODOC, WPI, CNPAT, CNKI: arm w support, arm w frame, pump, damping, vibration, signal, attitude, angle, speed, velocity, control+,
dynamic, matrix

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102071809 A (CHANGSHA ZHONGLIAN HEAVY IND. TECHNOLOGY) 25 May 2011 (25.05.2011) the abstract, description, page 2, paragraph [0024] to page 5, paragraph [0046] and figures 1-4	1-16
A	CN 102108790 A (ANY HEAVY IND. CO., LTD.) 29 June 2011 (29.06.2011) the whole document	1-16
A	CN 201526164 U (ANY HEAVY IND. CO., LTD.) 14 July 2010 (14.07.2010) the whole document	1-16
A	CN 201636126 U (LIAONING HAINUO CONSTR MACHINE GROUP CO.) 17 November 2010 (17.11.2010) the whole document	1-16
A	JP 2000-282687 A (ISHIKAWAJIMA KENKI KK.) 10 October 2000 (10.10.2000) the whole document	1-16
A	JP 2966605 B2 (MITSUBISHI HEAVY IND. LTD.) 25 October 1999 (25.10.1999) the whole document	1-16
A	JP 10-159341 A (MITSUBISHI JUKOGYO KK.) 16 June 1998 (16.06.1998) the whole document	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
22 February 2013 (22.02.2013)

Date of mailing of the international search report
14 March 2013 (14.03.2013)

Name and mailing address of the ISA
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer
ZHUANG, Lili
Telephone No. (86-10) 62412942

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2012/085979

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102071809 A	25.05.2011	WO 2012094893 A	19.07.2012
CN 102108790 A	29.06.2011	WO 2012083645 A	28.06.2012
CN 201526164 U	14.07.2010	None	
CN 201636126 U	17.11.2010	None	
JP 2000-282687 A	10.10.2000	None	
JP 2966605 B2	25.10.1999	None	
JP 10-159341 A	16.06.1998	None	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/085979

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

E04G 21/04 (2006.01) i

G05D 19/02 (2006.01) i

F16F 15/027 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2012/085979

A. 主题的分类

见附加页

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)

IPC:E04G21/+;G05D19/+;F16F15/+

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))EPODOC,WPI,CNPAT,CNKI:臂架, 泵车, 振动, 震动, 减振, 信号, 姿态, 角度, 速度, 加速度, 动态特性, 控制, 计算, 矩阵, arm w support, arm w frame, pump, damping, vibration, signal, attitude, angle, speed, velocity, control+, dynamic, matrix

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	CN102071809A(长沙中联重工科技发展股份有限公司)25.5 月 2011 (25.05.2011) 摘要、说明书第 2 页第 0024 段到第 5 页 0046 段、图 1-6	1-16
A	CN102108790A(三一重工股份有限公司)29.6 月 2011 (29.06.2011) 全文	1-16
A	CN201526164U(三一重工股份有限公司)14.7 月 2010 (14.07.2010) 全文	1-16
A	CN201636126U(辽宁海诺建设机械集团有限公司)17.11 月 2010 (17.11.2010) 全文	1-16
A	JP 特开 2000-282687A(ISHIKAWAJIMA KENKI KK.) 10.10 月 2000 (10.10.2000) 全文	1-16
A	JP2966605B2(MITSUBISHI HEAVY IND. LTD.)25.10 月 1999 (25.10.1999) 全文	1-16
A	JP 特开平 10-159341A(MITSUBISHI JUKOGYO KK.)16.6 月 1998 (16.06.1998) 全文	1-16

☐ 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
22.2 月 2013 (22.02.2013)

国际检索报告邮寄日期
14.3 月 2013 (14.03.2013)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号: (86-10)62019451

受权官员
庄丽丽
电话号码: (86-10) 62412942

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/085979

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN102071809A	25.05.2011	WO2012094893A	19.07.2012
CN102108790A	29.06.2011	WO2012083645A	28.06.2012
CN201526164U	14.07.2010	无	
CN201636126U	17.11.2010	无	
JP 特开 2000-282687A	10.10.2000	无	
JP2966605B2	25.10.1999	无	
JP 特开平 10-159341A	16.06.1998	无	

国际专利分类(IPC)或国家分类和 IPC 两种分类

E04G21/04(2006.01)i

G05D19/02(2006.01)i

F16F15/027(2006.01)i