

(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 23 日 (23.01.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/014852 A1

(51) 国际专利分类号:
G01M 13/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/095875

(22) 国际申请日: 2018 年 7 月 17 日 (17.07.2018)

(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: 孙清超 (SUN, Qingchao); 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)。 林清源 (LIN, Qingyuan); 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)。 张豹 (ZHANG, Bao); 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)。 杨斌 (YANG, Bin); 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)。 穆晓凯 (MU, Xiaokai); 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, 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,

(54) **Title:** CLOSED-LOOP CONTROL METHOD FOR TRANSVERSE LOAD AMPLITUDE OF MULTI-BOLT LOOSENING TESTER

(54) 发明名称: 一种多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法

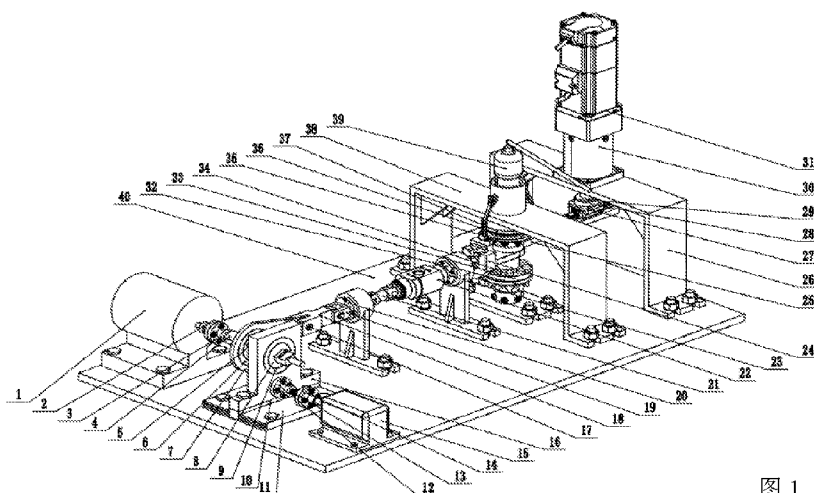


图 1

(57) **Abstract:** A closed-loop control method for a transverse load amplitude of a multi-bolt loosening tester. The closed-loop control method is used for stepless amplitude regulation and accurate control of the transverse load of a multi-bolt loosening tester, analyzing a signal that is collected by a sensor, then performing calculation by means of a PLC control system, and finally sending an instruction to a motor control system to control the rotation of a motor, and therefore, the stepless amplitude regulation and accurate control of the transverse load are realized. The method is realized based on the multi-bolt loosening tester; the tester consists of four parts, including a transverse load amplitude control part, a transverse load transfer part, a torque load transfer part, and an axial load transfer part. By means of the method, the present invention can provide continuous transverse load capable of stepless amplitude regulation for a flange bolt group, and can ensure the accuracy of the transverse load by means of a closed-loop control system.



WO 2020/014852 A1

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：一种多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法，用于多螺栓松脱试验机的横向载荷无级调幅与精确控制，对传感器采集到的信号进行分析，然后通过PLC控制系统进行计算，最后对电机控制系统发出指令控制电机的转动，从而实现横向载荷的无级调幅与精确控制。该方法是基于多螺栓松脱试验机实现的，该试验机由四个部分组成，分别为横向载荷幅值控制部分、横向载荷传递部分、扭矩载荷传递部分和轴向载荷传递部分。该方法可实现为法兰盘螺栓组提供可以无级调幅的连续横向载荷，并且可以通过闭环控制系统保证横向载荷的准确性。

一种多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法

技术领域

本发明属于多螺栓横向载荷松脱试验机技术领域，涉及一种多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法。

背景技术

螺栓松脱是螺栓连接结构的主要失效形式之一，螺栓松脱试验机可以用来研究螺栓在不同工况下的松脱情况。现在使用的螺栓松脱试验机可以分为单螺栓松脱试验机与多螺栓松脱试验机。单螺栓松脱试验机主要有 Junker 松脱试验机、NAS 松脱试验机与电-液伺服振动试验机三种，以上三种单螺栓松脱试验机均无法对螺栓组的松脱状况进行测试，而且可施加的载荷较为单一，难以模拟真实工况。而目前的多螺栓松脱试验机，提供的横向载荷大多为固定载荷，即便可以通过改变零件尺寸来获得不同载荷，也会因为制造、装配等误差的存在导致横向载荷难以精确控制，而且调整横向载荷的代价大，周期长，很难准确有效地模拟螺栓组的真实工况。

因此设计出此多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法，可以为法兰盘螺栓组提供可无级调幅的连续横向载荷，并且可以通过反馈系统精确控制横向载荷数值，更加准确地模拟法兰盘在工作状况下的松脱情况。目前在多螺栓松脱试验机方面尚无相关专利。

发明内容

本发明的目的是针对多螺栓松脱试验机提供一种横向载荷幅值闭环控制方法，能够对多螺栓连接法兰盘所受到的横向载荷进行连续的无级调幅，并且通过反馈控制系统保证横向载荷的准确性。

本发明的技术方案：

一种多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法，所述的闭环控制方法用于多螺栓松脱试验机的横向载荷无级调幅与精确控制，对传感器采集到的信号进行分析，然后通过 PLC 控制系统进行计算，最后对电机控制系统发出指令控制电机的转动，从而实现横向载荷的无级调幅与精确控制；

所述的闭环控制方法是基于多螺栓松脱试验机实现的，所述的多螺栓松脱试验机由四个部分组成，分别为横向载荷幅值控制部分、横向载荷传递部分、扭矩载荷传递部分和轴向载荷传递部分；

所述的扭矩载荷传递部分包括扭力臂 25、减速器支撑架 26、导轨滑块 27、轴承外套 28、扭矩偏心联轴器 29、减速器 30 和扭矩伺服电机 31；所述的减速器支撑架 26 固定在底板 40 上，扭矩伺服电机 31 外接减速器 30，减速器 30 的输出轴穿过减速器支撑架 26，并固定在减速器支撑架 26 上；所述的减速器 30 的输出轴与扭矩偏心联轴器 29 连接在一起，扭矩偏心联轴器 29 与轴承外套 28 上端面固定在一起，轴承外套 28 下端面固定在导轨滑块 27 的滑块上，导轨滑块 27 所在的导轨固定在扭力臂 25 上，扭力臂 25 上设有内六角头的一端套在厚试件 33 的外六角上，位于拉力板 24 之上；

所述的轴向载荷传递部分包括薄试件 32、厚试件 33、试件螺栓 34、轴承盖 35、推力球轴承 36、上夹持板 37、轴向加载支撑架 38 和液压拉马 39；所述的薄试件 32 和厚试件 33 止口对应装配在一起；所述的厚试件 33 上端与拉力板 24 右端圆孔装配在一起，厚试件 33 末端安装在上夹持板 37 内圈中；所述的轴承盖 35 穿过上夹持板 37，并将推力球轴承 36 夹在轴承盖 35 与上夹持板 37 之间；所述的液压拉马 39 的油压起动杆一端置于轴向加载支撑架 38 上的圆筒内，其上的爪勾勾住轴承盖 35 边缘；

所述的横向载荷幅值控制部分包括第二方轴衬套 8、方轴轴承 9、横载导轨

移动板 10、横载导轨固定基板 11、丝杠螺母 12、滚珠丝杠 13、伺服电机联轴器 14、伺服电机 15 以及 T 型滑块 16；所述的第二方轴衬套 8 与方轴轴承 9 相连接，方轴轴承 9 通过过盈配合安装在 T 型滑块 16 中；所述的 T 型滑块 16 安装在横载导轨移动板 10 上，随横载导轨移动板 10 一同运动；所述的横载导轨移动板 10 可在横载导轨固定基板 11 上实现滑动，横载导轨固定基板 11 安装在底板 40 上；所述的 T 型滑块 16 与丝杠螺母 12 相连接，丝杠螺母 12 与滚珠丝杠 13 配合，位于方轴轴承 9 下方；所述的滚珠丝杠 13 通过伺服电机联轴器 14 与伺服电机 15 相连，伺服电机 15 固定在底板 40 上；

所述的横向载荷传递部分包括主轴电机 1、主轴电机输出轴法兰 2、方轴法兰 3、方轴 4、第一方轴衬套 5、曲柄轴承 6、偏心摇杆 7、摇杆连接销 17、摇杆连接块 18、U 型连杆 19、第一直线轴承 20、弹性杆 21、力传感器 22、第二直线轴承 23、拉力板 24 以及底板 40；所述的主轴电机 1 固定在底板 40 上，主轴电机 1 的输出轴通过主轴电机输出轴法兰 2 和方轴法兰 3 实现与方轴 4 的连接，方轴 4 通过第一方轴衬套 5 带动曲柄轴承 6 产生转动；所述的曲柄轴承 6 将运动传递给偏心摇杆 7，偏心摇杆 7 与摇杆连接块 18 通过摇杆连接销 17 进行连接；所述的 U 型连杆 19 固定在摇杆连接块 18 上，并穿过第一直线轴承 20 与弹性杆 21 相连，弹性杆 21 与力传感器 22 相连，通过第二直线轴承 23 将横向载荷传递到拉力板 24；

基于多螺栓松脱试验机的横向载荷无级调幅与精确控制方法，步骤如下：

步骤 a) 读入用户输入的各项试验参数，包括被连接件厚度 d 、被连接件间润滑状况 m 、螺栓个数 n 、目标横向载荷幅值 F_0 以及误差允许值 e ；其中 m_1 代表无润滑， m_2 代表有一定润滑， m_3 代表润滑良好；

步骤 b) 系统自动将步骤 a) 中的试验参数代入到修正函数 $K = g(d, m, n)$ 中，计

算出修正系数 K ，然后将目标横向载荷幅值 F_0 与修正系数 K 自动代入到载荷函数 $F = f(x, K)$ 中，计算获得 T 型滑块 16 的目标位置点 x_0 ， x 表示 T 型滑块 16 的位置点，其中修正函数与载荷函数存储在试验机控制器中；

步骤 c) 启动伺服电机 15，滚珠丝杠 13 通过丝杠螺母 12 带动 T 型滑块 16 连同横载导轨移动板 10 一起在横载导轨固定基板 11 上移动，调整 T 型滑块 16 至目标位置点 x_0 处，得到一个接近于目标横向载荷幅值 F_0 的实际横向载荷幅值 F ；

步骤 d) 主轴电机 1 开始工作，同时力传感器 22 实时监测实际横向载荷幅值 F 大小；

步骤 e) 计算实际横向载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 的差值， $\Delta_1 = F - F_0$ ，比较差值绝对值 $|\Delta_1|$ 与误差允许值 e 的大小关系，若 $|\Delta_1| \leq e$ ，则直接进入步骤 f)，若 $|\Delta_1| > e$ ，则计算更新横向载荷幅值 $F_1 = F_0 - \Delta_1 \cdot \frac{F_0}{F}$ ，并将计算结果代入到载荷函数 $F = f(x, K)$ 中，计算得出更新位置点 x_1 ，伺服电机 15 开始启动，迅速将 T 型滑块 16 微调至更新位置点 x_1 ，然后重新对比实际横向载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间的差值；循环上述过程，直到实际横向力载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间差值小于误差允许值 e ；误差允许值 e 越小表明载荷稳定性和准确度越好，但是过小的误差允许值 e 会导致调节时间增长；

步骤 f) 由于横向载荷幅值具有不稳定性，在实际横向载荷幅值 F 达到要求之后，即实际横向力载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间差距小于误差允许值 e ，持续监测实际横向载荷幅值 F 的大小，并且反复进行步骤 e)；

步骤 g) 将更新横向载荷幅值 F_1 作为新的目标横向载荷幅值，当用户输入新的目标横向载荷幅值 F_1 与误差允许值 e 时，重新进行步骤 a)-步骤 g)。

本发明的有益效果：本发明提供的基于多螺栓松脱试验机的横向载荷幅值闭环控制方法可以实现为法兰盘螺栓组提供可以无级调幅的连续横向载荷，并

且可以通过闭环控制系统保证横向载荷的准确性。

附图说明

图 1 为试验台的正三轴测图。

图中：1 主轴电机；2 主轴电机输出轴法兰；3 方轴法兰；4 方轴；
5 第一方轴衬套；6 曲柄轴承；7 偏心摇杆；8 第二方轴衬套；9 方轴轴承；
10 横载导轨移动板；11 横载导轨固定基板；12 丝杠螺母；13 滚珠丝杠；
14 伺服电机联轴器；15 伺服电机；16 T 型滑块；17 摇杆连接销；
18 摇杆连接块；19 U 型连杆；20 第一直线轴承；21 弹性杆；22 力传感器；
23 第二直线轴承；24 拉力板；25 扭力臂；26 减速器支撑架；27 导轨滑块；
28 轴承外套；29 扭矩偏心联轴器；30 减速器；31 扭矩伺服电机；
32 薄试件；33 厚试件；34 试件螺栓；35 轴承盖；36 推力球轴承；
37 上夹持板；38 轴向加载支撑架；39 液压拉马；40 底板。

具体实施方式

以下结合附图和技术方案，进一步说明本发明的具体实施方式。

试验台的结构如图 1 所示：

1、横向载荷幅值闭环控制方法

(1) 读入用户输入的各项试验参数，包括被连接件厚度 d 、被连接件间润滑状况 m 、螺栓个数 n 、目标横向载荷幅值 F_0 以及误差允许值 e ；其中 m_1 代表无润滑， m_2 代表有一定润滑， m_3 代表润滑良好。

(2) 系统自动将上述参数代入到修正函数 $K = g(d, m, n)$ 中，计算出修正系数 K ，然后将目标横向载荷幅值 F_0 与修正系数 K 自动代入到载荷函数 $F = f(x, K)$ 中，计算获得 T 型滑块 16 的目标位置点 x_0 ，其中修正函数与载荷函数存储在试验机控制器中。

(3) 启动伺服电机 15, 滚珠丝杠 13 通过丝杠螺母 12 带动 T 型滑块 16 连同横载导轨移动板 10 一起在横载导轨固定基板 11 上移动, 调整 T 型滑块 16 至目标位置点 x_0 处, 得到一个接近于目标横向载荷幅值 F_0 的实际横向载荷幅值 F 。

(4) 主轴电机 1 开始工作, 同时力传感器 22 实时监测实际横向载荷幅值 F 的大小。

(5) 计算实际横向载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 的差值, $\Delta_1 = F - F_0$, 比较差值绝对值 $|\Delta_1|$ 与误差允许值 e 的大小关系, 若 $|\Delta_1| \leq e$, 则直接进入步骤 f), 若 $|\Delta_1| > e$, 则计算更新横向载荷幅值 $F_1 = F_0 - \Delta_1 \cdot \frac{F_0}{F}$, 并将计算结果代入到载荷函数 $F = f(x, K)$ 中, 计算得出更新位置点 x_1 , 伺服电机 15 开始启动, 迅速将 T 型滑块 16 微调至更新位置点 x_1 , 然后重新对比实际横向载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间的差值; 循环上述过程, 直到实际横向力载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间差值小于误差允许值 e ; 误差允许值 e 越小表明载荷稳定性和准确度越好, 但是过小的误差允许值 e 会导致调节时间增长。

(6) 由于横向载荷幅值具有不稳定性, 在实际横向载荷幅值 F 达到要求之后, 即实际横向力载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间差距小于误差允许值 e , 持续监测实际横向载荷幅值 F 的大小, 并且反复进行 (5)。

(7) 将更新横向载荷幅值 F_1 作为新的目标横向载荷幅值, 当用户输入新的目标横向载荷幅值 F_1 与误差允许值 e 时, 重新进行 (1) - (7)。

2、扭矩载荷传递部分

所述的扭矩载荷传递部分包括扭力臂 25、减速器支撑架 26、导轨滑块 27、轴承外套 28、扭矩偏心联轴器 29、减速器 30 和扭矩伺服电机 31; 所述的减速器支撑架 26 固定在底板 40 上, 扭矩伺服电机 31 外接减速器 30, 减速器 30 的输出轴穿过减速器支撑架 26, 并固定在减速器支撑架 26 上; 所述的减速器 30

的输出轴与扭矩偏心联轴器 29 连接在一起，扭矩偏心联轴器 29 与轴承外套 28 上端面固定在一起，轴承外套 28 下端面固定在导轨滑块 27 的滑块上，导轨滑块 27 所在的导轨固定在扭力臂 25 上，扭力臂 25 上设有内六角头的一端套在厚试件 33 的外六角上，位于拉力板 24 之上。

3、轴向载荷传递部分

所述的轴向载荷传递部分包括薄试件 32、厚试件 33、试件螺栓 34、轴承盖 35、推力球轴承 36、上夹持板 37、轴向加载支撑架 38 和液压拉马 39；所述的薄试件 32 和厚试件 33 止口对应装配在一起；所述的厚试件 33 上端与拉力板 24 右端圆孔装配在一起，厚试件 33 末端安装在上夹持板 37 内圈中；所述的轴承盖 35 穿过上夹持板 37，并将推力球轴承 36 夹在轴承盖 35 与上夹持板 37 之间；所述的液压拉马 39 的油压起动杆一端置于轴向加载支撑架 38 上的圆筒内，其上的爪勾勾住轴承盖 35 边缘；

4、横向载荷传递部分

所述的横向载荷传递部分包括主轴电机 1、主轴电机输出轴法兰 2、方轴法兰 3、方轴 4、第一方轴衬套 5、曲柄轴承 6、偏心摇杆 7、摇杆连接销 17、摇杆连接块 18、U 型连杆 19、第一直线轴承 20、弹性杆 21、力传感器 22、第二直线轴承 23、拉力板 24 以及底板 40；所述的主轴电机 1 固定在底板 40 上，主轴电机 1 的输出轴通过主轴电机输出轴法兰 2 和方轴法兰 3 实现与方轴 4 的连接，方轴 4 通过第一方轴衬套 5 带动曲柄轴承 6 产生转动；所述的曲柄轴承 6 将运动传递给偏心摇杆 7，偏心摇杆 7 与摇杆连接块 18 通过摇杆连接销 17 进行连接；所述的 U 型连杆 19 固定在摇杆连接块 18 上，并穿过第一直线轴承 20 与弹性杆 21 相连，弹性杆 21 与力传感器 22 相连，通过第二直线轴承 23 将横向载荷传递到拉力板 24。

权利要求书

1.一种多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法，其特征在于，所述的多螺栓松脱试验机横向载荷幅值闭环控制方法用于多螺栓松脱试验机的横向载荷无级调幅与精确控制，对传感器采集到的信号进行分析，然后通过 PLC 控制系统进行计算，最后对电机控制系统发出指令控制电机的转动，从而实现横向载荷的无级调幅与精确控制；

所述的闭环控制方法是基于多螺栓松脱试验机实现的，所述的多螺栓松脱试验机由四个部分组成，分别为横向载荷幅值控制部分、横向载荷传递部分、扭矩载荷传递部分和轴向载荷传递部分；

所述的扭矩载荷传递部分包括扭力臂（25）、减速器支撑架（26）、导轨滑块（27）、轴承外套（28）、扭矩偏心联轴器（29）、减速器（30）和扭矩伺服电机（31）；所述的减速器支撑架（26）固定在底板（40）上，扭矩伺服电机（31）外接减速器（30），减速器（30）的输出轴穿过减速器支撑架（26），并固定在减速器支撑架（26）上；所述的减速器（30）的输出轴与扭矩偏心联轴器（29）连接在一起，扭矩偏心联轴器（29）与轴承外套（28）上端面固定在一起，轴承外套（28）下端面固定在导轨滑块（27）的滑块上，导轨滑块（27）所在的导轨固定在扭力臂（25）上，扭力臂（25）上设有内六角头的一端套在厚试件（33）的外六角上，位于拉力板（24）之上；

所述的轴向载荷传递部分包括薄试件（32）、厚试件（33）、试件螺栓（34）、轴承盖（35）、推力球轴承（36）、上夹持板（37）、轴向加载支撑架（38）和液压拉马（39）；所述的薄试件（32）和厚试件（33）止口对应装配在一起；所述的厚试件（33）上端与拉力板（24）右端圆孔装配在一起，厚试件（33）末端安装在上夹持板（37）内圈中；所述的轴承盖（35）穿过上夹持板（37），并将推力球轴承（36）夹在轴承盖（35）与上夹持板（37）之间；所述的液压拉马

(39) 的油压起动杆一端置于轴向加载支撑架 (38) 上的圆筒内, 其上的爪勾勾住轴承盖 (35) 边缘;

所述的横向载荷幅值控制部分包括第二方轴衬套 8、方轴轴承 9、横载导轨移动板 (10)、横载导轨固定基板 (11)、丝杠螺母 (12)、滚珠丝杠 (13)、伺服电机联轴器 (14)、伺服电机 (15) 以及 T 型滑块 (16); 所述的第二方轴衬套 (8) 与方轴轴承 (9) 相连接, 方轴轴承 (9) 通过过盈配合安装在 T 型滑块 (16) 中; 所述的 T 型滑块 (16) 安装在横载导轨移动板 (10) 上, 随横载导轨移动板 (10) 一同运动; 所述的横载导轨移动板 (10) 可在横载导轨固定基板 (11) 上实现滑动, 横载导轨固定基板 (11) 安装在底板 (40) 上; 所述的 T 型滑块 (16) 与丝杠螺母 (12) 相连接, 丝杠螺母 (12) 与滚珠丝杠 (13) 配合, 位于方轴轴承 (9) 下方; 所述的滚珠丝杠 (13) 通过伺服电机联轴器 (14) 与伺服电机 (15) 相连, 伺服电机 (15) 固定在底板 (40) 上;

所述的横向载荷传递部分包括主轴电机 (1)、主轴电机输出轴法兰 (2)、方轴法兰 (3)、方轴 (4)、第一方轴衬套 (5)、曲柄轴承 (6)、偏心摇杆 (7)、摇杆连接销 (17)、摇杆连接块 (18)、U 型连杆 (19)、第一直线轴承 (20)、弹性杆 (21)、力传感器 (22)、第二直线轴承 (23)、拉力板 (24) 以及底板 (40); 所述的主轴电机 (1) 固定在底板 (40) 上, 主轴电机 (1) 的输出轴通过主轴电机输出轴法兰 (2) 和方轴法兰 (3) 实现与方轴 (4) 的连接, 方轴 (4) 通过第一方轴衬套 (5) 带动曲柄轴承 (6) 产生转动; 所述的曲柄轴承 (6) 将运动传递给偏心摇杆 (7), 偏心摇杆 (7) 与摇杆连接块 (18) 通过摇杆连接销 (17) 进行连接; 所述的 U 型连杆 (19) 固定在摇杆连接块 (18) 上, 并穿过第一直线轴承 (20) 与弹性杆 (21) 相连, 弹性杆 (21) 与力传感器 (22) 相连, 通过第二直线轴承 (23) 将横向载荷传递到拉力板 (24);

基于多螺栓松脱试验机的横向载荷无级调幅与精确控制方法，步骤如下：

步骤 a) 读入用户输入的各项试验参数，包括被连接件厚度 d 、被连接件间润滑状况 m 、螺栓个数 n 、目标横向载荷幅值 F_0 以及误差允许值 e ；其中 m_1 代表无润滑， m_2 代表有一定润滑， m_3 代表润滑良好；

步骤 b) 系统自动将步骤 a) 中的试验参数代入到修正函数 $K = g(d, m, n)$ 中，计算出修正系数 K ，然后将目标横向载荷幅值 F_0 与修正系数 K 自动代入到载荷函数 $F = f(x, K)$ 中，计算获得 T 型滑块 (16) 的目标位置点 x_0 ， x 表示 T 型滑块 (16) 的位置点，其中修正函数与载荷函数存储在试验机控制器中；

步骤 c) 启动伺服电机 (15)，滚珠丝杠 (13) 通过丝杠螺母 (12) 带动 T 型滑块 (16) 连同横载导轨移动板 (10) 一起在横载导轨固定基板 (11) 上移动，调整 T 型滑块 (16) 至目标位置点 x_0 处，得到一个接近于目标横向载荷幅值 F_0 的实际横向载荷幅值 F ；

步骤 d) 主轴电机 (1) 开始工作，同时力传感器 (22) 实时监测实际横向载荷幅值 F 大小；

步骤 e) 计算实际横向载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 的差值， $\Delta_1 = F - F_0$ ，比较差值绝对值 $|\Delta_1|$ 与误差允许值 e 的大小关系，若 $|\Delta_1| \leq e$ ，则直接进入步骤 f)，若 $|\Delta_1| > e$ ，则计算更新横向载荷幅值 $F_1 = F_0 - \Delta_1 \cdot \frac{F_0}{F}$ ，并将计算结果代入到载荷函数 $F = f(x, K)$ 当中，计算得出更新位置点 x_1 ，伺服电机 (15) 开始启动，迅速将 T 型滑块 (16) 微调至更新位置点 x_1 ，然后重新对比实际横向载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间的差值；循环上述过程，直到实际横向力载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间差值小于误差允许值 e ；

步骤 f) 由于横向载荷幅值具有不稳定性，在实际横向载荷幅值 F 达到要求之后，即实际横向力载荷幅值 F 与目标横向载荷幅值 F_0 之间差距小于误差允许值

e, 持续监测实际横向载荷幅值 F 的大小, 并且反复进行步骤 e);

步骤 g) 将更新横向载荷幅值 F_1 作为新的目标横向载荷幅值, 当用户输入新的目标横向载荷幅值 F_1 与误差允许值 e 时, 重新进行步骤 a)-步骤 g)。

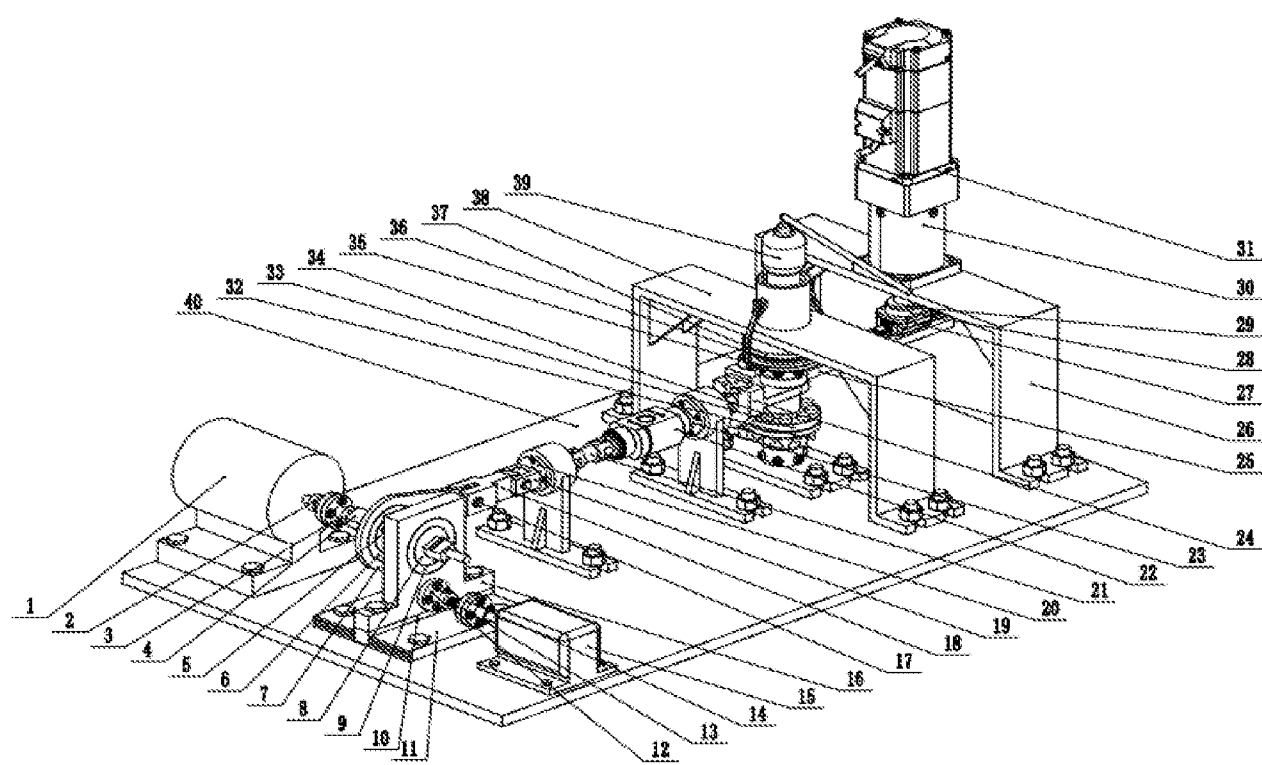


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/095875

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01M 13/00(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) G01M13 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; CNABS: 螺栓, 松脱, 扭矩, 轴向, 横向, 载荷 VEN; DWPI: bolt, loose, loosen, torque, axial, load+		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107621361 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 23 January 2018 (2018-01-23) description, paragraphs 11-25, and figures 1-3	1
A	CN 107505124 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 22 December 2017 (2017-12-22) entire document	1
A	CN 103149023 A (SHENZHEN REGER INSTRUMENT CO., LTD.) 12 June 2013 (2013-06-12) entire document	1
A	JP 2005003658 A (NIPPON DENRO MFG.) 06 January 2005 (2005-01-06) entire document	1
A	JP 5910971 B2 (INAB-N INABA GOMU CO., LTD.) 27 April 2016 (2016-04-27) entire document	1
☐ 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 2018		Date of mailing of the international search report 29 November 2018
Name and mailing address of the ISA/CN 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 Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/095875

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107621361	A	23 January 2018	None			
CN	107505124	A	22 December 2017	CN	107505124	B	04 September 2018
CN	103149023	A	12 June 2013	None			
JP	2005003658	A	06 January 2005	None			
JP	5910971	B2	27 April 2016	JP	2014228465	A	08 December 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/095875

A. 主题的分类 G01M 13/00 (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) G01M13 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; CNABS: 螺栓, 松脱, 扭矩, 轴向, 横向, 载荷 VEN; DWPI: bolt, loose, loosen, torque, axial, load+		
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 107621361 A (大连理工大学) 2018年 1月 23日 (2018 - 01 - 23) 说明书第11-25段, 图1-3	1
A	CN 107505124 A (大连理工大学) 2017年 12月 22日 (2017 - 12 - 22) 全文	1
A	CN 103149023 A (深圳市瑞格尔仪器有限公司) 2013年 6月 12日 (2013 - 06 - 12) 全文	1
A	JP 2005003658 A (NIPPON DENRO MFG) 2005年 1月 6日 (2005 - 01 - 06) 全文	1
A	JP 5910971 B2 (INAB-N INABA GOMU CO LTD) 2016年 4月 27日 (2016 - 04 - 27) 全文	1
☐ 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
2018年 11月 23日		2018年 11月 29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) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		魏晓薇 电话号码 86-010-62089508

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/095875

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	107621361	A	2018年 1月 23日	无	
CN	107505124	A	2017年 12月 22日	CN 107505124	B 2018年 9月 4日
CN	103149023	A	2013年 6月 12日	无	
JP	2005003658	A	2005年 1月 6日	无	
JP	5910971	B2	2016年 4月 27日	JP 2014228465	A 2014年 12月 8日