

(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
2018 年 11 月 1 日 (01.11.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/196188 A1

- (51) 国际专利分类号:
F16F 15/02 (2006.01) *A01F 12/18* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/094227
- (22) 国际申请日: 2017 年 7 月 25 日 (25.07.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710283552.1 2017 年 4 月 26 日 (26.04.2017) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 唐忠 (TANG, Zhong); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学农业装备工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 李耀明 (LI, Yaoming); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏

大学农业装备工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 张浩天 (ZHANG, Haotian); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学农业装备工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 赵慧敏 (ZHAO, Huimin); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学农业装备工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。 卢红亮 (LU, Hongliang); 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号江苏大学农业装备工程学院, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (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: QUASI-ZERO STIFFNESS COMPOSITE BEAM STRUCTURE FOR CONTROLLING LOW-FREQUENCY VIBRATION OF LONGITUDINAL AXIAL FLOW THRESHING DRUM

(54) 发明名称: 一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构

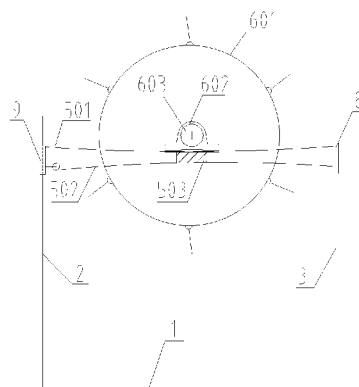


图 2

(57) Abstract: A quasi-zero stiffness composite beam structure for controlling low-frequency vibration of a longitudinal axial flow threshing drum. The structure comprises a left column (2), a right column (3), a quasi-zero stiffness composite beam (5), a composite beam right connecting member (8), and a composite beam left connecting member (9). A right side of the quasi-zero stiffness composite beam (5) is connected to the composite beam right connecting member (8). A left side of the composite beam (5) is connected to the composite beam left connecting member (9). The composite beam right connecting member (8) is connected to the right column (3). The composite beam left connecting member (9) is connected to the left column (2). The composite beam right connecting member (8) and the composite beam left connecting member (9) are connected, at a quasi-zero stiffness composite beam bearing position, to a threshing drum shaft (603) via a threshing drum bearing seat (602). When the combined total stiffness of the positive stiffness of a positive stiffness cross beam bearing a dynamic load of a longitudinal axial flow threshing drum and located in a balance position and the negative stiffness generated by prestress at an end of a negative stiffness bending shaft is approximately zero, a quasi-zero stiffness composite beam balance point is formed. The positive and negative stiffness beam structures are fixed, in a position where the quasi-zero stiffness composite beam is balanced, by a connecting screw. A gap between balance positions of the positive stiffness beam

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))。

and the negative stiffness bending beam is filled with a connection pad. The invention can effectively control low-frequency vibration caused during longitudinal axial flow threshing.

(57) 摘要: 一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构, 包括左立柱(2)、右立柱(3)、准零刚度复梁(5)、复梁右连接件(8)和复梁左连接件(9), 准零刚度复梁(5)右侧与复梁右连接件(8)相连、复梁(5)左侧与复梁左连接件(9)相连, 复梁右连接件(8)与右立柱(3)相连、复梁左连接件(9)与左立柱(2)相连, 在准零刚度复梁承载位置通过脱粒滚筒轴承座(602)与脱粒滚筒轴(603)相连; 正刚度横梁受纵轴流脱粒滚筒动载作用处于平衡位置时的正刚度与负刚度屈梁轴端预应力产生负刚度的总刚度近似为零时, 形成准零刚度复梁平衡点; 在准零刚度复梁平衡状态处由连接螺杆对正负刚度梁结构进行固定, 在正刚度横梁与负刚度屈梁平衡位置空隙内填充连接垫; 从而能有效控制纵轴流滚筒脱粒过程中产生的低频振动。

一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构

技术领域

本发明属于联合收割机脱粒分离装置承载机架结构领域，尤其是涉及一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构。

背景技术

联合收割机纵轴流脱粒滚筒在脱粒过程中受水稻茎秆缠绕约束，纵轴流滚筒脱粒过程中滚筒产生的明显振动随脱粒开始而产生、随喂入量波动而变化、随脱粒结束而消失，振动特性瞬变，难以减振。纵轴流滚筒脱粒过程中产生的振动常引起承载机架上离心风机、振动筛、回程板、抖动板、切流滚筒或机架等结构共振，严重影响脱粒装置结构可靠性和脱粒性能。2014 年《农业工程学报》的 30(8)期文章《履带式全喂入水稻联合收获机振动测试与分析》指出联合收割机脱粒滚筒空载及田间收获的最大激振频率分别 12.70Hz 和 23.44Hz；2014 年《Applied Mechanics and Materials》的 69(3)期文章《Dynamic balancing of the threshing drum in combine harvesters-The process, sources of imbalance and negative impact of mechanical vibrations》指出联合收割机脱粒滚筒主频振动小于 30Hz。国外大型联合收割机自重达 10t~15t，常通过调节滚筒转动惯量的方法控制脱粒过程中的振动，但该方法将增大滚筒脱粒过程中的功耗或整机重量；通过液压驱动阻尼控制滚筒脱粒过程中振动的方法，目前很难与现有履带式联合收割机结构相匹配。

由于结构固有频率与刚度成正比，则刚度近似为零的准零刚度结构其固有频率也近似为零，准零刚度结构常被用于中低频的隔振控制。专利 CN201510418855.0 发明了一种准零刚度隔振系统及其非线性反馈控制方法，能解决被动隔振系统及反馈控制系统中的抑制共振峰，减少隔振系统主共振峰出的振幅；专利 CN201610182527.X 发明了一种准零刚度压杆，可安装于各类隔振平台，使其在各自由度上具有高静低动刚度特性，从而实现低频隔振；专利 CN201610599158.4 发明了一种带准零刚度特性的三维隔震/振支座，发明的碟形弹簧刚好处于压平状态，竖向隔震/振系统处于准零刚度状态，能起到隔离竖向振动或地震目的；但现有准零刚度减振结构无法与联合收割机脱粒滚筒结构及承载机架匹配。由于联合收割机收获中，水稻喂入具有时变性，滚筒脱粒过程中随着籽粒的分离及柔性稻秆的旋绕约束，滚筒脱粒过程中存在的偏心负载及不平衡振动无法避免，但难以采用配重、反向振动、液压可控阻尼等方法对滚筒脱粒过程中的振动进行控制。因此，需要针对我国水稻收获期特性设计履带式联合收割机纵轴流滚筒脱粒过程的振动控

制准零刚度减振复梁结构。

发明内容

针对现有履带式联合收割机纵轴流滚筒脱粒过程中滚筒产生的明显振动现象，随脱粒开始而产生、随喂入量波动而变化、随脱粒结束而消失，振动特性瞬变且难以减振，本发明提供了一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构，准零刚度复梁右侧与复梁右连接件相连、左侧与复梁左连接件相连，复梁右连接件与右立柱相连、复梁左连接件与左立柱相连，准零刚度复梁中部通过脱粒滚筒轴承座与脱粒滚筒轴相连；正刚度横梁受纵轴流脱粒滚筒动载作用处于平衡位置时正刚度与负刚度屈梁轴端受预应力螺杆挤压产生预应力时负刚度的总刚度近似为零时形成准零刚度复梁平衡点；通过准零刚度复梁平衡点对纵轴流脱粒滚筒脱粒过程中产生的低频振动进行隔振控制。

本发明是通过以下技术手段实现上述技术目的的。

一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构，其特征在于，包括固定在底盘机架上的左立柱和右立柱、准零刚度复梁、复梁右连接件和复梁左连接件；所述准零刚度复梁包括正刚度横梁、负刚度屈梁和正负刚度梁连接垫，所述正刚度横梁位于负刚度屈梁上侧、且两者的中部固定连接，正负刚度梁连接垫位于正刚度横梁和负刚度屈梁中部之间的空隙处；所述准零刚度复梁左右两端分别通过复梁右连接件、复梁左连接件连接在左立柱和右立柱上，所述复梁右连接件处设置预应力螺杆，对负刚度屈梁施加预应力；所述脱粒滚筒的脱粒滚筒轴两端通过轴承座装在准零刚度复梁中部。

进一步地，所述正刚度横梁受纵轴流脱粒滚筒动载作用处于平衡位置时的正刚度

$$k^+ = \frac{E_1 I_1 \pi^2}{2L^2}, \text{ 其中 } E_1 \text{ 为正刚度横梁的弹性模量, } I_1 \text{ 为正刚度横梁的惯性矩, } \pi \text{ 为常数 } 3.14,$$

L 为正刚度横梁的长度；负刚度屈梁轴端受预应力螺杆挤压产生预应力时的负刚度

$$K^- = \frac{2E_2 I_2 k^3}{\frac{kl}{2} - \tan \frac{kl}{2}}, \text{ 其中 } E_2 \text{ 为负刚度屈梁的弹性模量, } I_2 \text{ 为负刚度屈梁惯性矩, } \pi \text{ 为常数}$$

3.14, l 为负刚度屈梁的长度, k 为负刚度屈梁自由状态的刚度；正刚度横梁和负刚度屈梁在平衡点处的刚度 $k^+ + K^- \approx 0$ 即产生准零刚度复梁平衡点，在准零刚度复梁平衡状态处由正负刚度梁连接螺杆固定，所述正负刚度梁连接螺杆为 U 型螺杆。

进一步地，所述负刚度屈梁右端连接有负刚度屈梁应力横板，所述应力横板的右端面上设置有螺杆定位套，所述预应力螺杆延伸至螺杆定位套中、由其定位，所述负刚度

屈梁应力横板左端面设有负刚度屈梁右连接耳，负刚度屈梁右端通过螺栓与负刚度屈梁右连接耳相连。

进一步地，所述复梁右连接件包括复梁右连接 U 形套、预应力螺帽，复梁右连接 U 形套由 2 个螺栓固定在右立柱上；所述复梁右连接 U 形套上部设置有用用于装配正刚度横梁的圆形通孔，预应力螺帽固定在所述复梁右连接 U 形套右端面上，预应力螺杆穿过右立柱和预应力螺帽与负刚度屈梁应力横板相连；所述复梁左连接件包括复梁左连接 U 套和左连接 U 形套耳，复梁左连接 U 套由 2 个螺栓固定在左立柱上；复梁左连接件上部设置有用用于装配正刚度横梁的圆形通孔；负刚度屈梁左端为圆环状，通过螺栓固定在左连接 U 形套耳上；正刚度横梁两端分别装在复梁左连接件、复梁右连接 U 形套的圆形通孔内。

进一步地，所述负刚度屈梁中部上侧、正刚度横梁中部下侧分别固定有一个定位套圈 504；所述负刚度屈梁中部与正刚度横梁中部通过定位套圈相连。

进一步地，所述准正刚度横梁和负刚度屈梁均为宽度 40mm~60mm，厚 2mm~4mm，长 500mm~600mm 的板簧；负刚度屈梁左侧弯出内径为 12mm~16mm 圆钩，负刚度屈梁右侧边缘以内 25mm 处开有内孔径为 12mm~16mm 的两个通孔。

本发明的有益效果：

(1) 本发明针对纵轴流脱粒过程中受水稻茎秆缠绕约束产生的低频隔振设计了一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构，由正刚度横梁、负刚度屈梁、定位套圈、正负刚度梁连接螺杆、正负刚度梁连接垫构成，在正刚度横梁受纵轴流脱粒滚筒动载作用处于平衡位置时正刚度与负刚度屈梁轴端预应力产生负刚度的总刚度近似为零时，即形成准零刚度复梁平衡点；在准零刚度复梁平衡点位置具有高静低动刚度特性；通过准零刚度复梁平衡点对纵轴流脱粒滚筒脱粒过程中产生的低频振动进行隔振控制，解决了滚筒脱粒过程中随着籽粒的分离及柔性稻秆的旋绕约束存在的偏心负载及不平衡振动产生的振动传递。

(2) 本发明的预应力螺杆穿过预应力螺帽并与负刚度屈梁应力横板接触，预应力螺杆左端头由螺杆定位套限位，由预应力螺杆与预应力螺帽进行预紧对负刚度屈梁应力横板施加预应力，负刚度屈梁的轴端预应力施加结构简单，通过调节预应力螺杆可以方便控制负刚度屈梁的负刚度大小，负刚度屈梁结构调节和操作简单；也可以根据田间作物的产量和生长特性精准调节负刚度屈梁轴端预应力构建适用不同作物收获的准零刚度复梁结构。

(3) 本发明的正刚度横梁和负刚度屈梁在平衡点处的正负总刚度为零时，即产生准

零刚度复梁平衡点控制纵轴流滚筒脱粒过程振动，准零刚度复梁结构及外形尺寸与现有履带式联合收割机匹配，可以直接替换现有履带式联合收割机上纵轴流脱粒滚筒承载横梁，也可以将本发明直接应用在现有结构尺寸的履带式水稻联合收割机上，减少了研发成本，极大的提高了本发明的通用性和普适性。

(4) 本发明的准零刚度复梁右侧与复梁右连接件相连、准零刚度复梁左侧与复梁左连接件相连，复梁右连接 U 形套套在右立柱上、所述复梁左连接 U 套套在左立柱上，再将准零刚度复梁中部通过脱粒滚筒轴承座与脱粒滚筒的脱粒滚筒轴相连，本发明采用在轴端施加预应力的方法构建可控负刚度屈梁，预应力屈梁不改变滚筒机架原有结构和工作参数，保证了动载激振下承载横梁强度和稳定性，解决了采用现有准零刚度结构承载纵轴流滚筒动载时难以保证滚筒脱粒过程中动载荷承载的强度和稳定性问题。

附图说明

图 1 准零刚度复梁结构与纵轴流脱粒滚筒的装配图。

图 2 准零刚度复梁结构与纵轴流脱粒滚筒装配结构原理图。

图 3 准零刚度复梁通过连接件与立柱装配的俯视图。

图 4 负刚度屈梁右侧应力构件装配示意图。

图 5 负刚度屈梁应力板受力构件装配示意图。

图 6 复梁左连接件俯视图。

图 7 复梁左连接件右视图。

图 8 复梁右连接件俯视图。

图 9 复梁右连接件左视图。

图 10 复梁右连接件右视图。

图 11 正刚度横梁主视图。

图 12 负刚度屈梁主视图。

图 13 负刚度屈梁俯视图。

图 14 正负刚度梁连接螺杆主视图。

图 15 定位套圈俯视图。

图 16 负刚度屈梁右连接耳主视图。

图 17 负刚度屈梁应力横板主视图。

图 18 螺杆定位套主视图。

图 19 左连接 U 形套耳主视图。

图 20 预应力螺杆主视图。

图 21 左立柱主视图。

图 22 右立柱主视图。

图 23 正刚度横梁与负刚度屈梁自由状态结构示意图。

图 24 准零刚度复梁控制纵轴流滚筒低频振动原理图。

附图标记说明如下：

1-底盘机架，2-左立柱，3-右立柱，4-凹板筛，5-准零刚度复梁，501-正刚度横梁，501A-正刚度横梁左侧，501B-正刚度横梁右侧，502-负刚度屈梁，502A-负刚度曲梁左侧，502B-负刚度曲梁右侧，503-正负刚度梁连接垫，504A-正刚度横梁套圈，504B-负刚度屈梁套圈，505-正负刚度梁连接螺杆，506-螺杆定位套，507-负刚度屈梁连接右螺杆，508-负刚度屈梁右连接耳，509-负刚度屈梁应力横板，5010-激振力，6-脱粒滚筒，601-脱粒滚筒体，602-脱粒滚筒轴承座，603-脱粒滚筒轴，7-滚筒顶盖，8-复梁右连接件，801-复梁右连接 U 形套，802-预应力螺帽，803-预应力螺杆，9-复梁左连接件，901-复梁左连接 U 套，902- 左连接 U 形套耳，902A-左连接 U 形套耳 A，902B-左连接 U 形套耳 B。

具体实施方式

下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明，但本发明的保护范围并不限于此。

如图 1 和图 2 所述，本发明所述的控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构，包括左立柱 2、右立柱 3、准零刚度复梁 5、复梁右连接件 8 和复梁左连接件 9。左立柱 2、右立柱 3 固定在底盘机架上。所述准零刚度复梁 5 右侧通过复梁右连接件 8 连接在右立柱 3 上，准零刚度复梁 5 左侧通过复梁左连接件 9 连接在左立柱 2 上。所述脱粒滚筒 6 包括脱粒滚筒体 601、脱粒滚筒轴承座 602、脱粒滚筒轴 603，脱粒滚筒体 601 上侧为滚筒顶盖 7、下侧为凹板筛 4；脱粒滚筒 6 的脱粒滚筒轴 603 通过脱粒滚筒轴承座 602 固定在所述准零刚度复梁 5 中部。

所述准零刚度复梁 5 包括正刚度横梁 501、负刚度屈梁 502 和正负刚度梁连接垫 503，所述正刚度横梁 501 位于负刚度屈梁 502 上侧，正负刚度梁连接垫 503 位于正刚度横梁 501 和负刚度屈梁 502 之间。所述正刚度横梁 501 与负刚度屈梁 502 的中部固定连接。

如图 3、图 4 和图 5 所示，所述负刚度屈梁 502 上侧中部安装有负刚度屈梁套圈 504B，负刚度屈梁 502 右端与负刚度屈梁应力横板 509 相连；所述负刚度屈梁应力横板 509 左侧面上下对称安装有两个负刚度屈梁右连接耳 508，负刚度屈梁应力横板 509 右侧中心

位置安装有螺杆定位套 506；负刚度屈梁 502 右侧与负刚度屈梁右连接耳 508 通过负刚度屈梁连接右螺杆 507 固定。

如图 6 和图 7 所示，所述复梁左连接件 9 包括复梁左连接 U 套 901 和左连接 U 形套耳 902，所述复梁左连接 U 套 901 左右两侧面上开有直径为 12mm~16mm 的 2 个通孔，两孔中心间距为 100mm~120mm。所述复梁左连接 U 套 901 套在左立柱 2 上，复梁左连接 U 套 901 由 2 个直径为 10mm~14mm 的螺栓与左立柱 2 进行固定。复梁左连接件 9 上部设有用于装配正刚度横梁 501 的圆形通孔；正刚度横梁 501 的左端穿入复梁左连接件 9 上部的圆形通孔内。左连接 U 形套耳 902 位于所述复梁左连接件 9 右侧下部，分别为左连接 U 形套耳 A 902A 和左连接 U 形套耳 B 902B，位于所述 2 通孔中间且对称安装。左连接 U 形套耳 A 902A 和左连接 U 形套耳 B 902B 间距为 6mm~8mm。负刚度屈梁 502 左端为圆环状，并位于左连接 U 形套耳 A 902A 和左连接 U 形套耳 B 902B 中间，通过螺栓固定在左连接 U 形套耳 902 上。

如图 8、图 9、图 10 所示，所述复梁右连接件 8 包括复梁右连接 U 形套 801、预应力螺帽 802、预应力螺杆 803；所述复梁右连接 U 形套 801 左侧面上开有直径为 12mm~16mm 的 2 个通孔，相邻两孔中心间距为 40mm~60mm，2 个通孔中间位置开有 6mm×6mm 的方形通孔；复梁右连接 U 形套 801 右侧面上开有直径为 12mm~16mm 的 3 个通孔，相邻两孔中心间距为 40mm~60mm；复梁右连接 U 形套 801 右侧中间通孔内嵌有外径为 12mm~16mm 的预应力螺帽 802。复梁右连接 U 形套 801 套在右立柱 3 上，复梁右连接 U 形套 801 由 2 个直径为 10mm~14mm 的螺栓与右立柱 3 进行固定；所述复梁右连接 U 形套 801 上部设置有用于装配正刚度横梁 501 的圆形通孔，正刚度横梁 501 右端穿入所述复梁右连接 U 形套 801 左上部的圆形通孔内。负刚度屈梁 502 右侧穿过复梁右连接 U 形套 801 左侧方孔，预应力螺杆 803 穿过预应力螺帽 802、右立柱 3 与负刚度屈梁应力横板 509 接触，预应力螺杆 803 左端头由螺杆定位套 506 限位，由预应力螺杆 803 与预应力螺帽 802 进行预紧对负刚度屈梁应力横板 509 施加预应力。

如图 11、图 12、图 13 所示，所述准正刚度横梁 501 和负刚度屈梁 502 均为宽度 40mm~60mm，厚 2mm~4mm，长 500mm~600mm 的板簧；负刚度屈梁 502 左侧弯出内径为 12mm~16mm 圆钩，负刚度屈梁 502 右侧边缘以内 25mm 处开有内孔径为 12mm~16mm 的两个通孔。

所述正刚度横梁 501 下侧中部安装有正刚度横梁套圈 504A，负刚度屈梁套圈 504B 与正刚度横梁套圈 504A 通过正负刚度梁连接螺杆 505 相连，实现负刚度屈梁 502 与正刚

度横梁 501 中部的固定连接。所述正负刚度梁连接螺杆 505 为直径为 10mm~12mm 的 U 型螺杆,如图 14 所示,两端螺杆中心间距为 50mm~60mm。所述正刚度横梁套圈 504A 和负刚度屈梁套圈 504B 的内孔径为 12mm~16mm、厚度为 2mm、长度为 10mm~12mm 的空心圆柱,如图 15 所示。

所述负刚度屈梁右连接耳 508 外形为 40mm×60mm、厚为 4mm~6mm 的钢板,中间对称开有 12mm~16mm 的 2 个通孔,如图 16 所示。所述负刚度屈梁应力横板 509 外形为 40mm×60mm、厚为 4mm~6mm 的钢板,如图 17 所示;所述螺杆定位套 506 内径为 12mm~16mm、高度为 8mm~10mm、厚为 4mm~6mm 的钢圈,如图 18 所示。

左连接 U 形套耳 A902A 和左连接 U 形套耳 B 902B 厚度为 4mm~6mm、宽度为 40mm~60mm、高度为 50mm~60mm 的矩形与半圆组合钢板,在 U 形套耳 A 902A 和左连接 U 形套耳 B 902B 一段开有内孔径为 12mm~16mm 的通孔,如图 19 所示。所述预应力螺杆 803 直径为 10mm~14mm、长度为 50mm~60mm 的螺栓,如图 20 所示。

如图 21 和图 22 所示,所述左立柱 2 和右立柱 3 为壁厚 2mm~3mm,截面形状为 40mm×40mm 的方钢;左立柱 2 左右两侧面上开有直径为 12mm~16mm 的 2 个通孔,两孔中心间距为 100mm~120mm;右立柱 3 左右两侧面上开有直径为 12mm~16mm 的 3 个通孔,两孔中心间距为 40mm~60mm;左立柱 2 上中间 12mm~16mm 的通孔内嵌有外径为 12mm~16mm 的预应力螺帽 802。

如图 23 所示,所述正刚度横梁 501 受纵轴流脱粒滚筒 6 动载作用处于平衡位置时的正刚度 $k^+ = \frac{E_1 I_1 \pi^2}{2L^2}$, 其中 E_1 为正刚度横梁 501 的弹性模量, I_1 为正刚度横梁 501 的惯性矩, π 为常数 3.14, L 为正刚度横梁 501 的长度;负刚度屈梁 502 轴端受预应力螺杆 803

挤压产生预应力时的负刚度 $K^- = \frac{2E_2 I_2 k^3}{\frac{kl}{2} - \tan \frac{kl}{2}}$, 其中 E_2 为负刚度屈梁 502 的弹性模量, I_2

为负刚度屈梁 502 惯性矩, π 为常数 3.14, l 为负刚度屈梁 502 的长度, k 为负刚度屈梁 502 自由状态的刚度;正刚度横梁 501 和负刚度屈梁 502 在平衡点处的刚度 $k^+ + K^- \approx 0$ 即产生准零刚度复梁 5 平衡点,在准零刚度复梁 5 平衡状态处由正负刚度梁连接螺杆 505 固定,在正刚度横梁 501 和负刚度屈梁 502 平衡状态的中间放置正负刚度梁连接垫 503。

如图 24 所示,所述正刚度横梁 501 包括正刚度横梁左侧 501A 和正刚度横梁右侧 501B,负刚度屈梁 502 包括负刚度曲梁左侧 502A 和负刚度曲梁右侧 502B;正刚度横梁

501 与负刚度屈梁 502 在正负刚度梁连接垫 503 处形成准零刚度结构平衡点；在准零刚度复梁 5 平衡点处受到激振力 5010 时，若准零刚度复梁平衡点向上运动，则正刚度横梁左侧 501A 和正刚度横梁右侧 501B 受压吸收能量，负刚度曲梁左侧 502A 和负刚度曲梁右侧 502B 受拉释放能量，准零刚度复梁 5 平衡点合力正好与激振力 5010 平衡；若准零刚度复梁平衡点向下运动，则正刚度横梁左侧 501A 和正刚度横梁右侧 501B 受拉释放能量，负刚度曲梁左侧 502A 和负刚度曲梁右侧 502B 受压吸收能量，准零刚度复梁 5 平衡点合力正好与激振力 5010 平衡。

所述实施例为本发明的优选的实施方式，但本发明并不限于上述实施方式，在不背离本发明的实质内容的前提下，本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构, 其特征在于, 包括固定在底盘机架上的左立柱 (2) 和右立柱 (3)、准零刚度复梁 (5)、复梁右连接件 (8) 和复梁左连接件 (9); 所述准零刚度复梁 (5) 包括正刚度横梁 (501)、负刚度屈梁 (502) 和正负刚度梁连接垫 (503), 所述正刚度横梁 (501) 位于负刚度屈梁 (502) 上侧、且两者的中部固定连接, 正负刚度梁连接垫 (503) 位于正刚度横梁 (501) 和负刚度屈梁 (502) 中部之间的空隙处; 所述准零刚度复梁 (5) 左右两端分别通过复梁右连接件 (8)、复梁左连接件 (9) 连接在左立柱 (2) 和右立柱 (3) 上, 所述复梁右连接件 (8) 处设置预应力螺杆 (803), 对负刚度屈梁 (502) 施加预应力; 所述脱粒滚筒 (6) 的脱粒滚筒轴 (603) 两端通过轴承座 (602) 装在准零刚度复梁 (5) 中部。

2. 根据权利要求 1 所述的控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构, 其特征在于, 所述正刚度横梁 (501) 受纵轴流脱粒滚筒 (6) 动载作用处于平衡位置时的正刚度 $k^+ = \frac{E_1 I_1 \pi^2}{2L^2}$, 其中 E_1 为正刚度横梁 (501) 的弹性模量, I_1 为正刚度横梁 (501) 的惯性矩, π 为常数 3.14, L 为正刚度横梁 (501) 的长度; 负刚度屈梁 (502) 轴端受预应力螺杆 (803) 挤压产生预应力时的负刚度 $K^- = \frac{2E_2 I_2 k^3}{kl - \tan \frac{kl}{2}}$, 其中 E_2 为负刚度屈梁 (502) 的弹性模量, I_2 为负刚度屈梁 (502) 惯性矩, π 为常数 3.14, l 为负刚度屈梁 (502) 的长度, k 为负刚度屈梁 (502) 自由状态的刚度; 正刚度横梁 (501) 和负刚度屈梁 (502) 在平衡点处的刚度 $k^+ + K^- \approx 0$ 即产生准零刚度复梁 (5) 平衡点, 在准零刚度复梁 (5) 平衡状态处由正负刚度梁连接螺杆 (505) 固定, 所述正负刚度梁连接螺杆 (505) 为 U 型螺杆。

3. 根据权利要求 1 所述的控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构, 其特征在于, 所述负刚度屈梁 (502) 右端连接有负刚度屈梁应力横板 (509), 所述应力横板 (509) 的右端面上设置有螺杆定位套 (506), 所述预应力螺杆 (803) 延伸至螺杆定位套 (506) 中、由其定位, 所述负刚度屈梁应力横板 (509) 左端面设有负刚度屈梁右连接耳 (508), 负刚度屈梁 (502) 右端通过螺栓与负刚度屈梁右连接耳 (508) 相连。

4. 根据权利要求 3 所述的控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构, 其特征在于, 所述复梁右连接件 (8) 包括复梁右连接 U 形套 (801)、预应力螺帽 (802), 复梁右连接 U 形套 (801) 由 2 个螺栓固定在右立柱 (3) 上; 所述复梁右连接 U 形套

(801)上部设置有用用于装配正刚度横梁(501)的圆形通孔,预应力螺帽(802)固定在所述复梁右连接U形套(801)右端面上,预应力螺杆(803)穿过右立柱(3)和预应力螺帽(802)与负刚度屈梁应力横板(509)相连;所述复梁左连接件(9)包括复梁左连接U套(901)和左连接U形套耳(902),复梁左连接U套(901)由2个螺栓固定在左立柱(2)上;复梁左连接件(9)上部设置有用用于装配正刚度横梁(501)的圆形通孔;负刚度屈梁(502)左端为圆环状,通过螺栓固定在左连接U形套耳(902)上;正刚度横梁(501)两端分别装在复梁左连接件(9)、复梁右连接U形套(801)的圆形通孔内。

5. 根据权利要求1所述的一种控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构,其特征在于,所述负刚度屈梁(502)中部上侧、正刚度横梁(501)中部下侧分别固定有负刚度屈梁套圈504B、正刚度横梁套圈504A;所述负刚度屈梁套圈504B、正刚度横梁套圈504A通过正负刚度梁连接螺杆(505)相连。

6. 根据权利要求1-5中任一项所述的控制纵轴流脱粒滚筒低频振动的准零刚度复梁结构,其特征在于,所述准正刚度横梁(501)和负刚度屈梁(502)均为宽度40mm~60mm,厚2mm~4mm,长500mm~600mm的板簧;负刚度屈梁(502)左侧弯出内径为12mm~16mm圆钩,负刚度屈梁(502)右侧边缘以内25mm处开有内孔径为12mm~16mm的两个通孔。

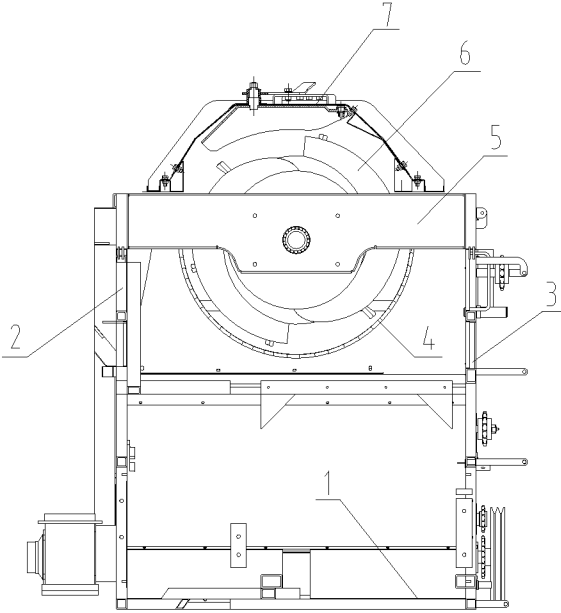


图 1

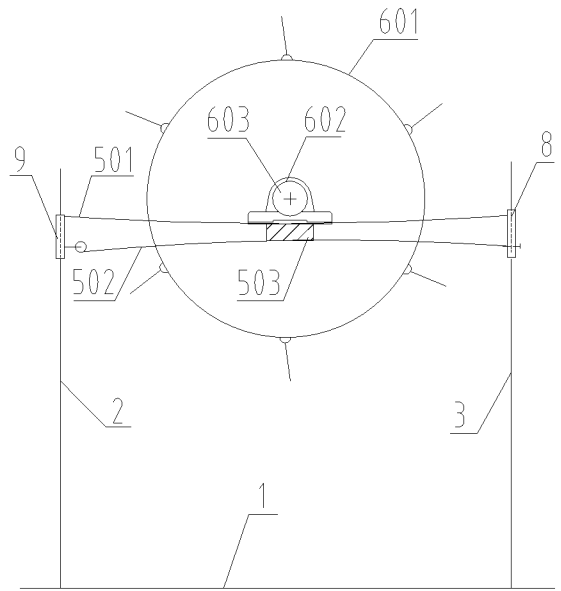


图 2

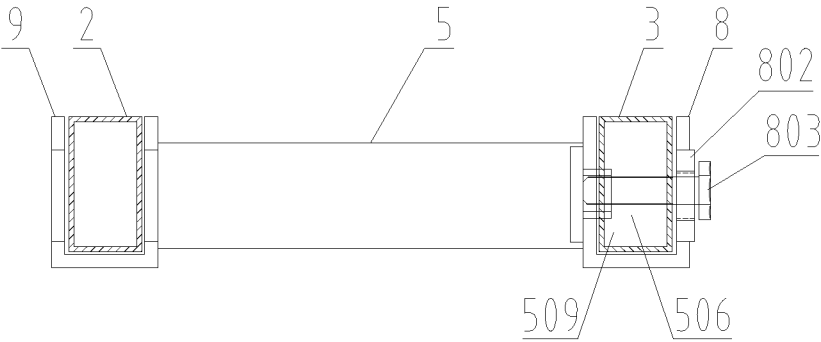


图 3

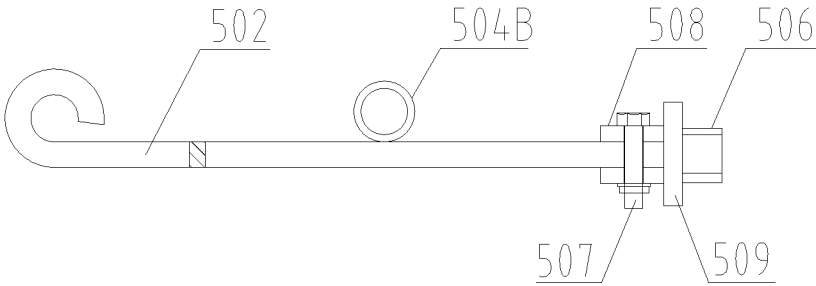


图 4

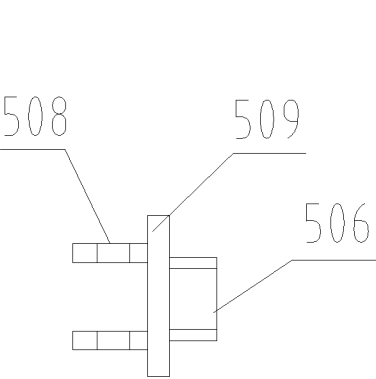


图 5

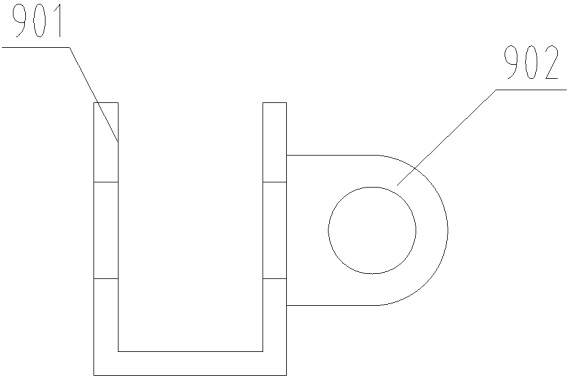


图 6

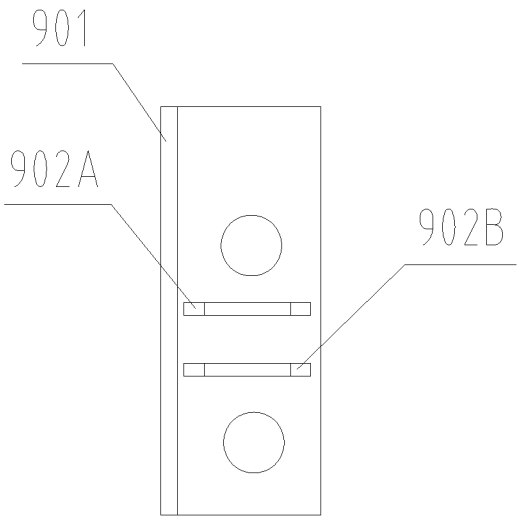


图 7

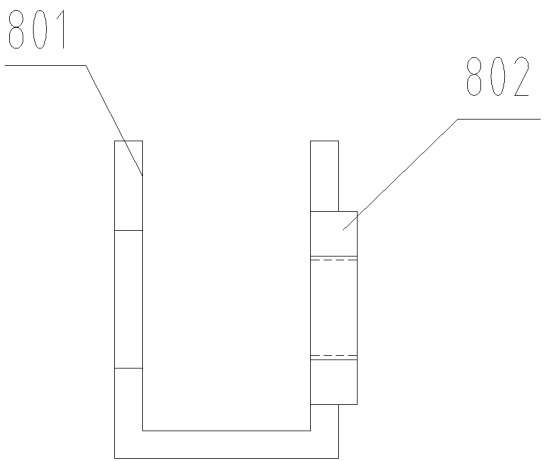


图 8

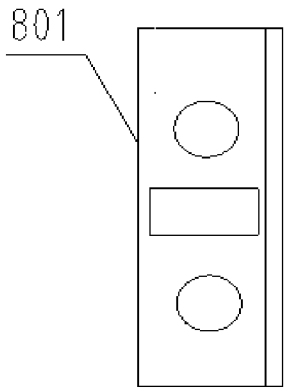


图 9

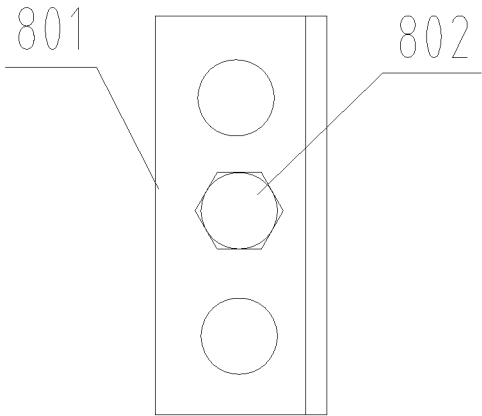


图 10

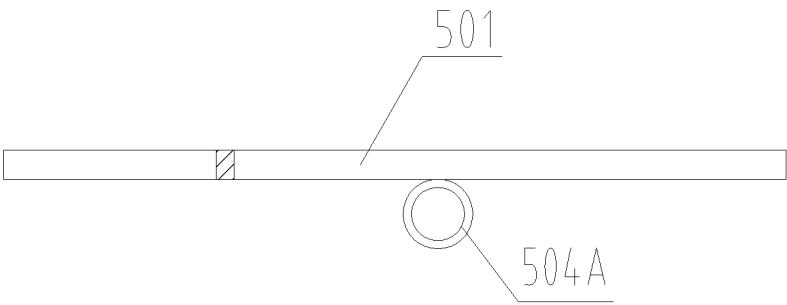


图 11

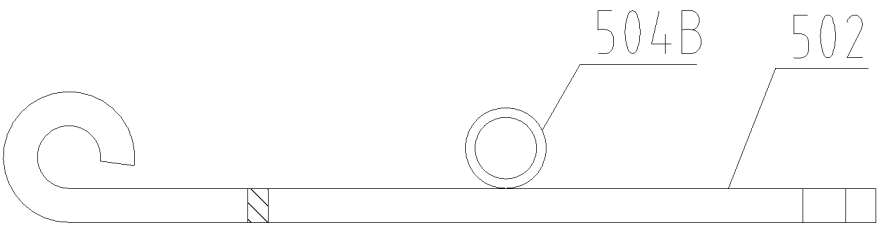


图 12



图 13

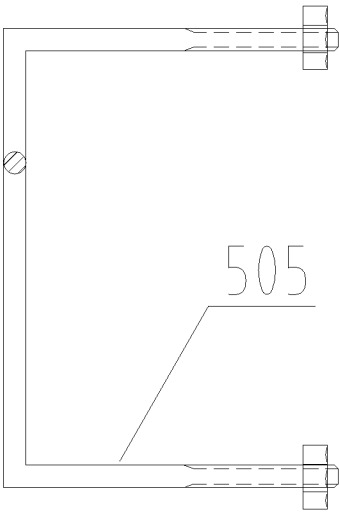


图 14

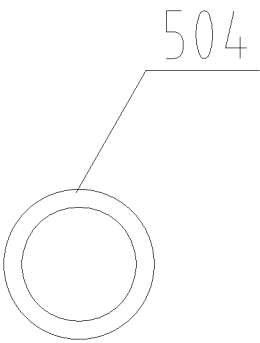


图 15

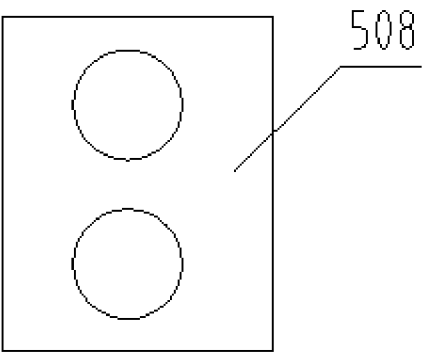


图 16

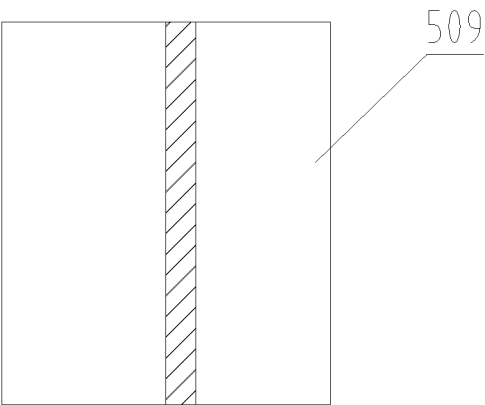


图 17

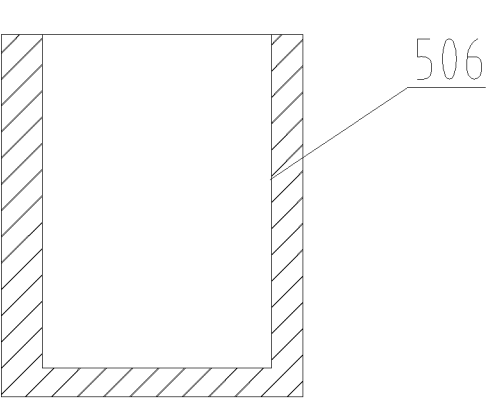


图 18

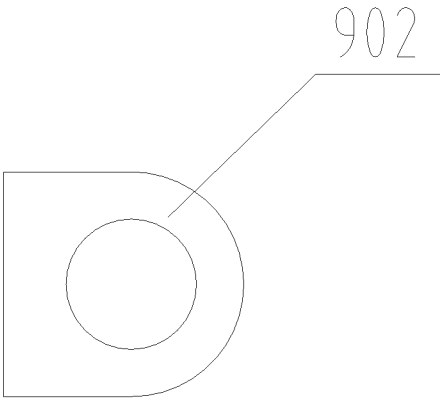


图 19

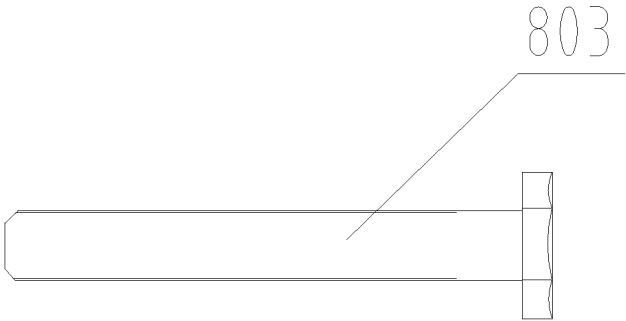


图 20

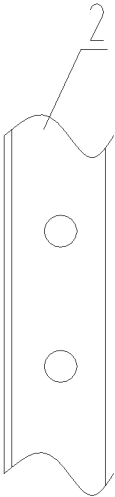


图 21

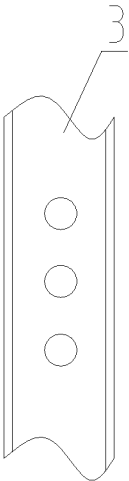


图 22

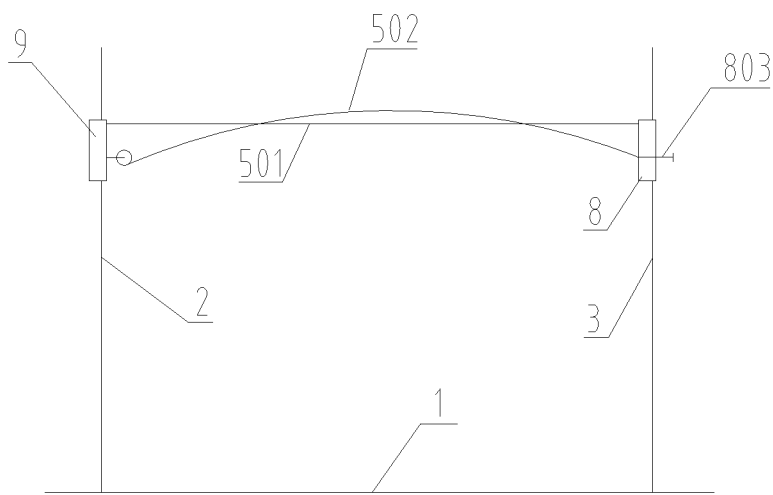


图 23

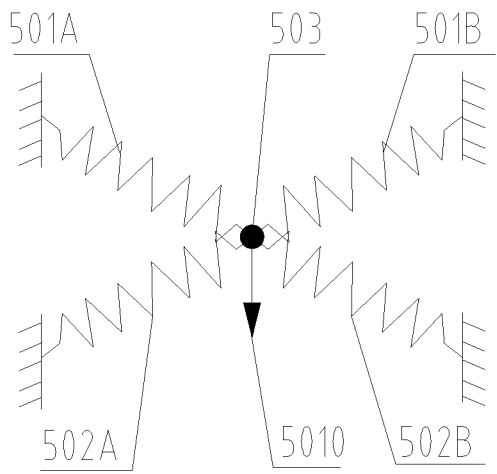


图 24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/094227

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16F 15/02 (2006.01) i; A01F 12/18 (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)

F16F, A01

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)

CNABS, CNKI, VEN: 脱粒, 梁, 准零刚度, 滚筒, 振动, 隔振, 刚度, 屈梁, quasi-zero, rigid+, shock, stiff+, isolat+, vibrat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102678804 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY), 19 September 2012 (19.09.2012), description, pages 2-3, and figures 1-2	1-6
A	CN 105864339 A (FUZHOU UNIVERSITY), 17 August 2016 (17.08.2016), entire document	1-6
A	RU 2240406 C2 (UNIV IRKUT SUPPLY NETWORK), 20 November 2004 (20.11.2004), entire document	1-6
A	RU 2557865 C1 (VALEEV, A.R.), 27 July 2015 (27.07.2015), entire document	1-6
A	WO 02069693 A2 (DOTAN LTD.), 12 September 2002 (12.09.2002), entire document	1-6

☐ 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 05 January 2018	Date of mailing of the international search report 23 March 2018
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 WU, Jie Telephone No. (86-10) 62085542

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/094227

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102678804 A	19 September 2012	None	
CN 105864339 A	17 August 2016	None	
RU 2240406 C2	20 November 2004	None	
RU 2557865 C1	27 July 2015	None	
WO 02069693 A2	12 September 2002	US 2004079065 A1	29 April 2004
		AU 2002233617 A1	19 September 2002

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/094227

A. 主题的分类 F16F 15/02 (2006.01) i; A01F 12/18 (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) F16F, A01 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)) CNABS, CNKI, VEN: 脱粒, 梁, 准零刚度, 滚筒, 振动, 隔振, 刚度, 屈梁, quasi-zero, rigid+, shock, stiff+, isolat+, vibrat+		
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 102678804 A (上海交通大学) 2012年 9月 19日 (2012 - 09 - 19) 说明书第2-3页、附图1-2	1-6
A	CN 105864339 A (福州大学) 2016年 8月 17日 (2016 - 08 - 17) 全文	1-6
A	RU 2240406 C2 (UNIV IRKUT SUPPLY NETWORK) 2004年 11月 20日 (2004 - 11 - 20) 全文	1-6
A	RU 2557865 C1 (VALEEV A R) 2015年 7月 27日 (2015 - 07 - 27) 全文	1-6
A	WO 02069693 A2 (DOTAN LTD) 2002年 9月 12日 (2002 - 09 - 12) 全文	1-6
☐ 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 1月 5日		2018年 3月 23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		吴洁 电话号码 (86-10) 62085542

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/094227

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	102678804	A	2012年 9月 19日	无	
CN	105864339	A	2016年 8月 17日	无	
RU	2240406	C2	2004年 11月 20日	无	
RU	2557865	C1	2015年 7月 27日	无	
WO	02069693	A2	2002年 9月 12日	US 2004079065 A1	2004年 4月 29日
				AU 2002233617 A1	2002年 9月 19日