(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 7 月 2 日 (02.07.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/134580 A1

(51) 国际专利分类号:
G01N 3/307 (2006.01) *G01N 29/11* (2006.01)
G01N 29/07 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/115483

(22) 国际申请日: 2019 年 11 月 5 日 (05.11.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811602351.4 2018年12月26日 (26.12.2018) CN

(71) 申请人:深圳大学(SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 谢和平(XIE, Heping); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518000 (CN)。 朱建波(ZHU, Jianbo); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518000 (CN)。 周韬(ZHOU, Tao); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市科吉华烽知识产权事务所(普通合伙) (SZ KINDWALF INTELLECTUAL PROPERTY FIRM); 中国广东省深圳市南山区深南西路深南花园裙楼A区四层402室, Guangdong 518057 (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,

(54) **Title:** METHOD OF USING TRUE-TRIAXIAL HOPKINSON BAR TO TEST DYNAMIC DAMAGE TO SOLID AND ULTRASONIC PROPAGATION

(54) 发明名称: 真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法

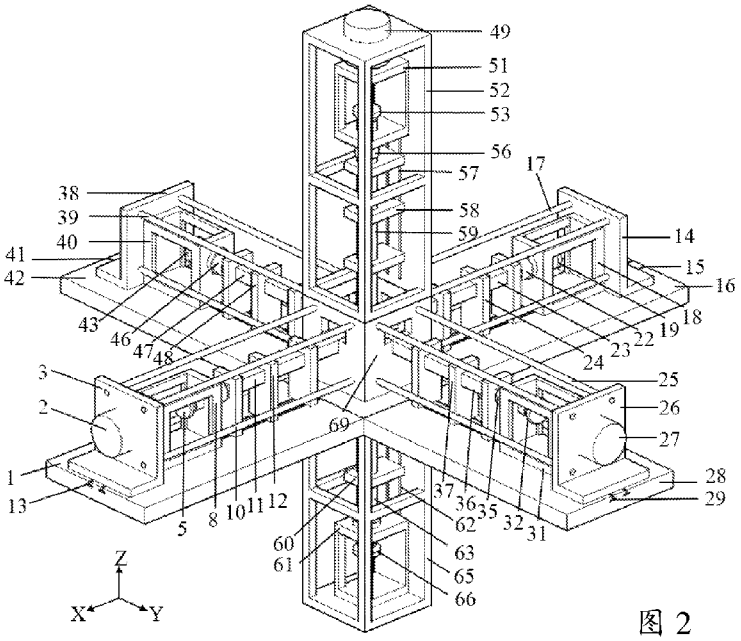


图 2

(57) **Abstract:** A method of using a true-triaxial Hopkinson bar to test dynamic damage to a solid and ultrasonic propagation comprises: first, before applying a static prestress and impact load, recording and storing complete ultrasonic signals in X, Y, and Z directions without a static prestress or an impact load; second, applying a static prestress; third, recording and storing complete ultrasonic signals in the X, Y, and Z directions while applying the static prestress; fourth, applying an impact load, using a three-axis six-direction synchronous coordinated controlled electromagnetic loading system to apply a dynamic impact load to a cubic sample (70); and fifth,

WO 2020/134580 A1

[见续页]

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, 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))。

after the dynamic impact load test is completed, and without releasing the static prestress, again recording and storing complete ultrasonic signals in the X, Y, and Z directions while the static prestress is applied and the dynamic impact load is no longer present. The method tests, in an in-situ pressure-maintaining state, the evolution of damage caused by a dynamic impact for solid materials such as rock and concrete, and the effects thereof on attenuation patterns of ultrasonic propagation speed, amplitude, and frequency spectrum, etc.

(57) 摘要：真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，第一：在施加静态预应力和冲击荷载之前，记录并保存无静态预应力和冲击荷载作用下X、Y、Z方向完整的超声波信号；第二：施加静态预应力；第三：记录并保存施加静态预应力下X、Y、Z方向完整的超声波信号；第四：施加冲击荷载，利用三轴六向同步协调控制电磁加载系统对立方体试样（70）施加动态冲击荷载；第五：待动态冲击加载试验结束后，在不解除静态预应力下，再次记录并保存施加静态预应力和动态冲击荷载后X、Y、Z方向完整的超声波信号。该方法实现了原位保压状态下测试岩石、混凝土等固体材料动态冲击损伤演化及其对超声波传播速度，幅值和频谱等衰减规律的影响。

真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及岩石、混凝土、聚合物等固体材料的动态力学性能测试方法，尤其涉及基于真三轴霍普金森杆动静组合加载条件下岩石、混凝土、聚合物等固体材料动态损伤演化及其对超声波、应力波传播和衰减规律影响的研究。

背景技术

[0002] 岩石、混凝土等材料内部包含着大量的孔洞，裂隙，节理等缺陷。研究岩石、混凝土等材料在动态冲击加载下的损伤破坏规律能更好的分析岩石、混凝土等固体材料的动力学特性。同时，了解岩石、混凝土等固体材料的动态损伤演化规律将有助于定性和定量的分析固体材料动态损伤演化对超声波与应力波传播和衰减规律的影响。目前，对岩石、混凝土等材料的动态损伤的研究主要是基于霍普金森杆的动态冲击或动静组合加载后，利用CT扫描设备或超声波仪器等来标定岩石、混凝土等材料的动态损伤。

[0003] 已有的研究动态损伤的技术方法是在霍普金森杆动静加载以后拆卸试样，然后利用其它设备（例如CT扫描设备或超声波仪器）对试样进行损伤检测。已有的方法将动静组合加载与损伤检测分开进行，目前尚无法实现在原位保压状态下研究岩石、混凝土等材料的动态损伤及其对超声波传播和衰减规律的影响。另一方面，现有的岩石、混凝土等固体材料动力学特性测试装置，只是实现了一维冲击加载或等围压静态预应力作用下的一维冲击加载的岩石和混凝土等材料的动力学特性研究。然而在实际工程中，岩石或者混凝土等材料不仅仅受到一个方向的冲击荷载，很多时候会受到单轴双向、双轴四向甚至是三轴六向的冲击荷载以及静态预应力（例如地下岩体承受三轴六向的地应力作用）的共同作用，而上述动静荷载作用下的岩石、混凝土等固体材料动态损伤演化特性的研究是现有霍普金森杆装置技术无法实现的，进一步的研究上述动静荷载作用下的岩石、混凝土等固体材料动态损伤演化对超声波传播和衰减规律的影响也是无法用现有装置和技术实现的。

发明概述

技术问题

问题的解决方案

技术解决方案

[0004] 本发明的目的是提供一种可以在原位保压状态下测试岩石、混凝土等固体材料动态冲击损伤演化及其对超声波传播速度、幅值和频谱等衰减规律影响的方法，以弥补现有基于霍普金森杆的岩石、混凝土等固体材料动力学测试的技术方法在原位保压状态下材料动态损伤测试及其对超声波传播和衰减规律影响研究等方面的缺陷。

[0005] 三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆系统的一个重点突破是真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法。该方法是指在原位未解除静态预应力（围压）情况下通过超声波发射与接收系统研究动态冲击损伤及其对超声波传播与衰减规律的影响。在三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆系统的基础上，分别在加载前、施加真三轴静态预应力（围压）之后、施加冲击荷载之后的三个过程中，分别在X、Y、Z三个方向的入射杆和透射杆端部利用超声波探头发射并接收记录超声波穿过不同损伤状态下岩石、混凝土等材料中的透射超声波信号，进而利用超声波信号来分析岩石、混凝土等材料在原位保压状态下的动态损伤演化和损伤演化各向异性特征及其对超声波传播和衰减规律的影响。

[0006] 为了解决现有技术中问题，本发明提供了一种真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，所述测试方法利用三轴六向霍普金森杆系统进行测试，测试装置置于水平十字支撑平台上，该平台包括X_+向支撑平台、X_-向支撑平台、Y_+向支撑平台和Y_-向支撑平台以及中心支撑平台，中心立方体方箱上表面完全开口，即沿Z_+向完全开口，沿X_+向、X_-向、Y_+向、Y_-向、和Z_-向分别于中心立方体方箱正中间位置设置方形开口，且方形开口尺寸与方形杆尺寸相同，方形孔中放置X、Y、Z方向的方形杆，方形杆上靠近入射应力波加载端的一侧均设置一个凸台；中心立方体方箱置于中心支撑平台的上表面正中心，且与水平十字支撑平台构成正交坐标系用于三轴六向霍普金森杆系统的精准定位和

对中；三轴六向霍普金森杆系统的X_+向、X_-向、Y_+向、Y_-向、Z_+向和Z_-向六个方向的方形杆由自润滑方形杆固定和支撑架固定，方形杆与中心立方体方箱于方形开口实现对中连接；围压加载液压油缸和围压加载作动器与围压加载框串联组合，围压加载框与凸台串联连接，用于将围压加载液压油缸的作用力传递至方形杆和测试试样上；

[0007] 测试方法步骤如下：

[0008] 第一步：在施加静态预应力和冲击荷载之前，在六个方向的方形杆的入射端均放置一枚超声波探头，对于X_+向，超声波发射探头发射超声波入射信号，超声波信号沿X_+向方形杆传播并穿过立方体试样，随后继续向X_-向方形杆传播，直至被X_-向方形杆一侧的超声波接收探头接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力和冲击荷载作用下X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，超声波信号沿Y_+向方形杆传播并穿过立方体试样，随后继续向Y_-向方形杆传播，直至被Y_-向方形杆一侧的超声接收探头接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力和冲击荷载作用下Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，超声波信号沿Z_+向方形杆传播并穿过立方体试样，随后继续向Z_-向方形杆传播，直至被Z_-向方形杆一侧的超声波接收探头接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力和冲击荷载作用下Z方向完整的超声波信号；

[0009] 第二步：施加静态预应力，以X方向为例给出施加静态预应力的方式：打开高压油管，通过进油口给X_+向围压加载液压油缸充油，推动X_+向围压加载作动器向前运动，并与X_+向围压加载框接触；继续施加油压推动X_+向围压加载作动器向前移动，将轴向压力通过X_+向凸台传递至X_+方向方形杆，进而作用到立方体试样上，使其受到X方向精准静态预应力，同理，Y、Z方向静态围压加载原理与X方向相同；

[0010] 第三步：在第二步的静态预应力作用下，再次利用X_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，并利用X_-向方形杆一侧的超声波接收探头接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力下X

方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，并利用Y_-向方形杆一侧的超声波接收探头接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力下Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，并利用Z_-向方形杆一侧的超声波接收探头接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力下Z方向完整的超声波信号；

[0011] 第四步：施加冲击荷载，以X方向为例给出施加冲击荷载的方式：待上述第三步操作结束后，分别移开紧贴在X_+和X_-向方形杆和上的超声波发射探头和超声波接收探头，然后将X_+向电磁脉冲激发腔与X_+向电磁脉冲激发腔支撑架放置于X_+向围压加载框内，并放置于X_+向方形杆的入射端，且与X_+向方形杆的入射端自由且紧密的贴合，用于沿X_+向方形杆的入射端对测试试样施加X_+向动态应力脉冲荷载，将X_-向电磁脉冲激发腔与X_-向电磁脉冲激发腔支撑架放置于X_-向围压加载框内，并放置于X_-向方形杆的入射端，且与X_-向方形杆的入射端自由且紧密的贴合，用于沿X_-向方形杆的入射端对测试试样施加X_-向动态应力脉冲荷载；同理，待Y、Z方向按照与X方向进行相同的操作后，便可利用三轴六向同步协调控制电磁加载系统对测试试样施加动态冲击荷载；

[0012] 第五步：待动态冲击加载试验结束后，继续保持X、Y、Z三个方向静态预应力不变，即不解除静态预应力，移开X_+向电磁脉冲激发腔与X_+向电磁脉冲激发腔支撑架，再将超声波发射探头放置在X_+向围压加载框内，并放置于X_+向方形杆的入射端，且与X_+向方形杆的入射端自由且紧密的贴合；同理，将X_-、Y_+、Y_-、Z_+、Z_-方向按照与X_+向进行相同的操作后，便可实现将所有电磁脉冲激发腔与电磁脉冲激发腔支撑架移开，并将超声波发射探头和超声波接收探头分别与方形杆的入射端自由且紧密的贴合；随后在未解除静态预应力状态下，利用X_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，并利用X_-向方形杆一侧的超声波接收探头接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力和动态冲击荷载后X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，并利用Y-向方形杆一侧的

超声波接收探头接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力和动态冲击荷载后Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆一侧的超声波发射探头发射超声波入射信号，并利用Z_-向方形杆的一侧的超声波接收探头接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力和动态冲击荷载后Z方向完整的超声波信号。

[0013] 作为本发明的进一步改进，凸台离方形杆入射应力波加载端的距离为方形杆长度的3%至7%。

[0014] 作为本发明的进一步改进，凸台的长度为方形杆长度的1.5%至4%。

[0015] 作为本发明的进一步改进，凸台的直径为方形杆横截面边长的1.5至2.5倍。

[0016] 作为本发明的进一步改进，第二步中，通过静态围压加载伺服控制器系统，实现X、Y、Z三个方向静态预应力同步控制加载，并且X、Y、Z三个方向静态预应力根据实验测试需要可灵活的设定各自的荷载幅值。

[0017] 作为本发明的进一步改进，第四步中，通过三轴六向同步协调控制电磁加载系统，实现X、Y、Z三个方向动态冲击荷载的同步或者延时控制加载，并且X、Y、Z三个方向动态冲击荷载可根据实验测试需要灵活的设定各自的荷载幅值。

[0018] 作为本发明的进一步改进，X_+向静态围压和X_-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系；Y_+向静态围压和Y_-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系；Z_+向静态围压和Z_-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系。

发明的有益效果

有益效果

[0019] 本发明的有益效果是：

[0020] 本发明首次实现了原位保压状态下测试岩石、混凝土等固体材料动态冲击损伤演化及其对超声波传播速度，幅值和频谱等衰减规律的影响。凸台的设置可实现给测试试样施加静态预应力（围压）后还能保证霍普金森压杆入射端为自由端，解决了传统动静组合加载霍普金森杆系统施加静态预应力后，无法保证霍普金森入射杆和透射杆端部处于自由状态的问题，从而为后续施加电磁激发应力脉冲（动态冲击载荷）以及原位保压条件下的超声波测试提供测试条件。

[0021] X、Y、Z三向超声波传播测试可以实现分析岩石动态冲击损伤演化各向异性及其对超声波传播与衰减规律的影响。

对附图的简要说明

附图说明

[0022] 图1是三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆测试系统三维图；

[0023] 图2是三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆动态损伤测试系统三维图；

[0024] 图3是三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆动态损伤测试系统主视图；

[0025] 图4是三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆动态损伤测试系统俯视图；

[0026] 图5是方形杆与凸台构造三维示意图；

[0027] 图6是方形杆与凸台构造二维主视图；

[0028] 图7是方形杆与凸台构造二维左视图；

[0029] 图8是X_+凸台构造与围压加载系统连接三维示意图；

[0030] 图9是X_+凸台构造与围压加载系统连接二维主视图。

[0031] 图中各部件名称如下：

[0032] 1-X_+向支撑平台，2-X_+向围压加载液压油缸，3-X_+向围压加载端挡板，4-X_+向围压加载作动器，5-X_+向超声波发射探头，6-X_+向电磁脉冲激发腔支撑架，7-X_+向电磁脉冲激发腔，8-X_+向围压加载框，9-X_+向凸台，10-X_+向连杆支撑杆，11-X_+向方形杆，12-X_+向自润滑方形杆固定支撑架，13-X_+向方形杆对中定位导轨，14-X_-向围压加载固定端挡板，15-X_-向方形杆对中定位导轨，16-X_-向支撑平台，17-X_-向连杆支撑杆，18-X_-向围压加载框，19-X_-向超声波接收探头，20-X-向电磁脉冲激发腔，21-X-向电磁脉冲激发腔支撑架，22-X_-向凸台，23-X_-向方形杆，24-X_-向自润滑方形杆固定和支撑架，25-Y_+向连杆支撑杆，26-Y_+向围压加载端挡板，27-Y_+向围压加载液压油缸，28-Y_+向支撑平台，29-Y_+向方形杆对中定位导轨，30-Y_+向围压加载作动器，31-Y_+向围压加载框，32-Y_+向超声波发射探头，33-Y_+向电磁脉冲激发腔支撑架，34-Y_+向电磁脉冲激发腔，35-Y_+向凸台，36-Y_+向方形杆，37-Y_+向自润滑束杆固定和支撑架，38-Y_-向围压加载固定端挡板，39-Y_-向连杆支撑杆，40-Y_-向围压加载框，41-Y_-向方形

杆对中定位导轨，42-Y₋向支撑平台，43-Y₋向超声波接收探头，44-Y-向电磁脉冲激发腔，45-Y-向电磁脉冲激发腔支撑架，46-Y₋向凸台，47-Y₋向方形杆，48-Y₋向自润滑束杆固定和支撑架，49-Z₊向围压加载液压油缸，50-Z₊向围压加载作动器，51-Z₊向围压加载框，52-Z₊向竖向固定与支撑框架，53-Z₊向超声波发射探头，54-Z₊向电磁脉冲激发腔支撑架，55-Z₊向电磁脉冲激发腔，56-Z₊向凸台，57-Z₊向方形杆对中定位导轨，58-Z₊向自润滑束杆固定和支撑架，59-Z₊向方形杆，60-Z₋向自润滑束杆固定和支撑架，61-Z₋向围压加载框，62-Z₋向方形杆对中定位导轨，63-Z₋向方形杆，64-Z₋向凸台，65-Z₋向竖向固定与支撑框架，66-Z₋向超声波接收探头，67-Z₋向电磁脉冲激发腔，68-Z-向电磁脉冲激发腔支撑架，69-中心立方体方箱，70-立方体试样，71-中心支撑平台。

发明实施例

本发明的实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明做进一步说明。

[0034] 图1为三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆系统三维图。试验装置置于水平十字支撑平台上，该平台包括X₊向支撑平台1、X₋向支撑平台16、Y₊向支撑平台28和Y₋向支撑平台42以及中心支撑平台71。中心立方体方箱69上表面（沿Z₊向）完全开口，沿X₊向、X₋向、Y₊向、Y₋向、和Z₋向分别于中心立方体方箱正中间位置设置方形开口，且方形开口尺寸与方形杆尺寸相同；中心立方体方箱69置于中心支撑平台71的上表面正中心，且与水平十字支撑平台构成正交坐标系用于三轴六向霍普金森杆系统的精准定位和对中。

[0035] 以中心立方体方箱69为对称中心，分别对称布置X₊向、X₋向、Y₊向、Y₋向、Z₊向和Z₋向围压加载系统、电磁脉冲激发腔、方形杆以及自润滑方形杆固定和支撑架，构成三轴六向霍普金森杆系统。其中X₊向方形杆11由X₊向自润滑方形杆固定和支撑架12固定，并沿X₊向方形杆对中定位导轨13与中心立方体方箱69于X₊向方形开口实现对中连接；X₊向围压加载液压油缸2和X₊向围压加载作动器4与X₊向围压加载框8串联组合，X₊向电磁脉冲激发腔7与X₊向电磁脉冲激发腔支撑架6放置在X₊向围压加载框8内，并放置于X₊向方形杆11的入射端，

且与X_+向方形杆11的入射端自由且紧密的贴合，X_+向围压加载框8与X_+向凸台9串联连接，用于沿X_+向方形杆11的入射端对测试试样施加X_+向静态围压和动态应力脉冲荷载；X_+向连杆支撑杆10将X_+向围压加载端挡板3与中心立方体方箱69连接起来为X_+向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。X_-向方形杆23由X_-向自润滑方形杆固定和支撑架24固定，并沿X_-向方形杆对中定位导轨15与中心立方体方箱69于X_-向方形开口实现对中连接；X_-向电磁脉冲激发腔20与X_-向电磁脉冲激发腔支撑架21置于X_-向围压加载框18内部，并放置于X_-向方形杆23的入射端，且与X_-向方形杆23的入射端自由且紧密的贴合，X_-向围压加载框18与X_-向凸台22连接，用于沿X_-向方形杆23的入射端对测试试样施加X_-向静态围压和动态应力脉冲荷载，需要说明的是X_+向静态围压和X_-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系；X_-向连杆支撑杆17将X_-向围压加载固定端挡板14与中心立方体方箱69连接起来为X_-向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。Y_+向方形杆36由Y_+向自润滑方形杆固定和支撑架37固定，并沿Y_+向方形杆对中定位导轨29与中心立方体方箱69于Y_+向方形开口实现对中连接；Y_+向围压加载液压油缸27和Y_+向围压加载作动器30与Y_+向围压加载框31串联组合，Y_+向电磁脉冲激发腔34与Y_+向电磁脉冲激发腔支撑架33放置在Y_+向围压加载框31内，并放置于Y_+向方形杆36的入射端，且与Y_+向方形杆36的入射端自由且紧密的贴合，Y_+向围压加载框31与Y_+向凸台35串联连接，用于沿Y_+向方形杆36的入射端对测试试样施加Y_+向静态围压和动态应力脉冲荷载；Y_+向连杆支撑杆25将Y_+向围压加载端挡板26与中心立方体方箱69连接起来为Y_+向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。Y_-向方形杆47由Y_-向自润滑方形杆固定和支撑架48固定，并沿Y_-向方形杆对中定位导轨41与中心立方体方箱69于Y_-向方形开口实现对中连接；Y_-向电磁脉冲激发腔44与Y_-向电磁脉冲激发腔支撑架45置于Y_-向围压加载框40内部，并放置于Y_-向方形杆47的入射端，且与Y_-向方形杆47的入射端自由且紧密的贴合，Y_-向围压加载框40与Y_-向凸台46连接，用于沿Y_-向方形杆47的入射端对测试试样施加Y_-向静态围压和动态应力脉冲荷载，同理，Y_+向静态围压和Y_-

向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系；Y_-向连杆支撑杆39将Y_-向围压加载固定端挡板38与中心立方体方箱69连接起来为Y_-向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。Z_+向方形杆59由Z_+向自润滑方形杆固定和支撑架58固定，并沿Z_+向方形杆对中定位导轨57与中心立方体方箱69于Z_+向方形开口实现对中连接；Z_+向围压加载液压油缸49和Z_+向围压加载作动器50与Z_+向围压加载框51串联组合，Z_+向电磁脉冲激发腔55与Z_+向电磁脉冲激发腔支撑架54放置在Z_+向围压加载框51内，并放置于Z_+向方形杆59的入射端，且与Z_+向方形杆59的入射端自由且紧密的贴合，Z_+向围压加载框51与Z_+向凸台56串联连接，用于沿Z_+向方形杆59的入射端对测试试样施加Z_+向静态围压和动态应力脉冲荷载；Z_+向竖向固定与支撑框架52与中心立方体方箱69连接起来为Z_+向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。Z_-向方形杆63由Z_-向自润滑方形杆固定和支撑架60固定，并沿Z_-向方形杆对中定位导轨62与中心立方体方箱69于Z_-向方形开口实现对中连接；Z_-向电磁脉冲激发腔67与Z_-向电磁脉冲激发腔支撑架68置于Z_-向围压加载框61内部，并放置于Z_-向方形杆63的入射端，且与Z_-向方形杆63的入射端自由且紧密的贴合，Z_-向围压加载框61与Z_-向凸台64连接，用于沿Z_-向方形杆63的入射端对测试试样施加Z_-向静态围压和动态应力脉冲荷载，同理，Z_+向静态围压和Z_-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系；Z_-向竖向固定与支撑框架65与中心立方体方箱69连接起来为Z_-向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。

[0036] 中心支撑平台71上放置中心立方体方箱69，中心立方体方箱69的六个面分别预留方形孔和观察孔，方形孔中放置X、Y、Z方向的方形杆，方形杆上靠近入射应力波加载端的一侧均设置一个凸台，凸台离方形杆入射应力波加载端的距离可为方形杆长度的3%至7%，凸台的长度可为方形杆长度的1.5%至4%，凸台的直径可为方形杆横截面边长的1.5至2.5倍。

[0037] 以下为结合示意图的具体试验方法：

[0038] 第一步：在施加静态预应力（围压）和冲击荷载之前，X方向上，利用X_+向方形杆11一侧的超声波发射探头5发射超声波入射信号，超声波信号沿X_+

向方形杆11传播并穿过立方体试样70，随后继续向X_-向方形杆23传播，直至被X_-向方形杆23一侧的超声波接收探头19接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力（围压）和冲击荷载作用下X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆36一侧的超声波发射探头32发射超声波入射信号，超声波信号沿Y_+向方形杆36传播并穿过立方体试样70，随后继续向Y_-向方形杆47传播，直至被Y_-向方形杆47一侧的超声接收探头43接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力（围压）和冲击荷载作用下Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆59一侧的超声波发射探头53发射超声波入射信号，超声波信号沿Z_+向方形杆59传播并穿过立方体试样70，随后继续向Z_-向方形杆63传播，直至被Z_-向方形杆63一侧的超声波接收探头66接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力（围压）和冲击荷载作用下Z方向完整的超声波信号；

[0039] 第二步：施加静态预应力（围压），以X方向为例给出施加静态预应力（围压）的方式：按图1所示方式安装好装置和立方体试样70后，打开高压油管，通过进油口给X_+向围压加载液压油缸2充油，推动X_+向围压加载作动器4向前运动，并与X_+向围压加载框8接触；继续施加油压推动X_+向围压加载作动器4向前移动，将轴向压力通过X_+向凸台9传递至X_+

方向方形杆11，进而作用到立方体试样70上，使其受到X方向精准静态预应力（围压）。同理，Y、Z方向静态围压加载原理与X方向相同。需要说明的是：通过静态围压加载伺服控制器系统，可实现X、Y、Z三个方向静态预应力同步控制加载，并且X、Y、Z三个方向静态预应力可根据实验测试需要灵活的设定各自的荷载幅值；

[0040] 第三步：施加静态预应力（围压）后，再次利用X_+向方形杆11一侧的超声波发射探头5发射超声波入射信号，并利用X_-向方形杆23一侧的超声波接收探头19接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力（围压）下X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆36一侧的超声波发射探头32发射超声波入射信号，并利用Y_-向方形杆47一侧的超声波接收探头43接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力（围压）下Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆59一

侧的超声波发射探头53发射超声波入射信号，并利用Z_-向方形杆63一侧的超声波接收探头66接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力（围压）下Z方向完整的超声波信号；

[0041] 第四步：施加冲击荷载，以X方向为例给出施加冲击荷载的方式：待上述第三步操作结束后，分别移开紧贴在X_+和X_-向方形杆11和23上的超声波发射探头5和超声波接收探头19，然后将X_+向电磁脉冲激发腔7与X_+向电磁脉冲激发腔支撑架6放置于X_+向围压加载框8内，并放置于X_+向方形杆11的入射端，且与X_+向方形杆11的入射端自由且紧密的贴合，用于沿X_+向方形杆11的入射端对测试试样施加X_+向动态应力脉冲荷载，将X_-向电磁脉冲激发腔20与X_-向电磁脉冲激发腔支撑架21放置于X_-向围压加载框18内，并放置于X_-向方形杆23的入射端，且与X_-向方形杆23的入射端自由且紧密的贴合，用于沿X_-向方形杆23的入射端对测试试样施加X_-向动态应力脉冲荷载；同理，待Y、Z方向按照与X方向进行相同的操作后，便可利用三轴六向同步协调控制电磁加载系统对测试试样施加动态冲击荷载。需要说明的是：通过三轴六向同步协调控制电磁加载系统，可实现X、Y、Z三个方向动态冲击荷载的同步或者延时控制加载，并且X、Y、Z三个方向动态冲击荷载可根据实验测试需要灵活的设定各自的荷载幅值；

[0042] 第五步：待动态冲击加载试验结束后，继续保持X、Y、Z三个方向静态预应力不变，即不解除静态预应力，移开X_+向电磁脉冲激发腔7与X_+向电磁脉冲激发腔支撑架6，再将超声波发射探头5放置在X_+向围压加载框8内，并放置于X_+向方形杆11的入射端，且与X_+

向方形杆11的入射端自由且紧密的贴合；同理，将X_-、Y_+、Y_-、Z_+、Z_-方向按照与X_+向进行相同的操作后，便可实现将所有电磁脉冲激发腔与电磁脉冲激发腔支撑架移开，并将超声波发射探头和超声波接收探头分别与方形杆的入射端自由且紧密的贴合；随后在未解除静态预应力（围压）状态下，利用X_+向方形杆11一侧的超声波发射探头5发射超声波入射信号，并利用X_-向方形杆23一侧的超声波接收探头19接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力（围压）和动态冲击荷载后X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆36一侧的超声波发射探头32发射超声波入射信号，并利用Y-向

方形杆47一侧的超声波接收探头43接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力（围压）和动态冲击荷载后Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆59一侧的超声波发射探头53发射超声波入射信号，并利用Z_-向方形杆63的一侧的超声波接收探头66接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力（围压）和动态冲击荷载后Z方向完整的超声波信号。

[0043] 综上，本技术分三次测损伤，第一是没有任何静态压力和动态冲击荷载作用下的测试，第二是只施加了静态压力下的测试，第三是施加静态荷载下并产生动态冲击后，然后继续保持静态压力不变下测试的超声波情况。

[0044] 通过利用三次记录的不同应力加载状态下的完整波形，通过比较分析不同应力加载状态下，超声波从测试试样内部传播所用时间、透射波超声波和入射超声波最大幅值之比以及超声波穿过测试试样前后的频谱变化，可研究岩石、混凝土等测试试样在真三轴动静组合加载下处于原位保压状态的动态损伤演化规律，同时通过分析记录的X、Y、Z方向超声波波速、幅值和频率等信号的变化差异，可研究岩石、混凝土等试样动态冲击损伤演化的各向异性及其对超声波传播与衰减规律的影响。

[0045] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明，不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演或替换，都应当视为属于本发明的保护范围。

权利要求书

[权利要求 1] 一种真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，其特征在于：

所述测试方法利用三轴六向霍普金森杆系统进行测试，测试装置置于水平十字支撑平台上，该平台包括X_+向支撑平台（1）、X_-向支撑平台（16）、Y_+向支撑平台（28）和Y_-向支撑平台（42）以及中心支撑平台（71），中心立方体方箱（69）上表面完全开口，即沿Z_+向完全开口，沿X_+向、X_-向、Y_+向、Y_-向、和Z_-向分别于中心立方体方箱正中间位置设置方形开口，且方形开口尺寸与方形杆尺寸相同，方形孔中放置X、Y、Z方向的方形杆，方形杆上靠近入射应力波加载端的一侧均设置一个凸台；中心立方体方箱（69）置于中心支撑平台（71）的上表面正中心，且与水平十字支撑平台构成正交坐标系用于三轴六向霍普金森杆系统的精准定位和对中；

三轴六向霍普金森杆系统的X_+向、X_-向、Y_+向、Y_-向、Z_+向和Z_-向六个方向的方形杆由自润滑方形杆固定和支撑架固定，方形杆与中心立方体方箱于方形开口实现对中连接；围压加载液压油缸和围压加载作动器与围压加载框串联组合，围压加载框与凸台串联连接，用于将围压加载液压油缸的作用力传递至方形杆和测试试样上；

测试方法步骤如下：

第一步：在施加静态预应力和冲击荷载之前，在六个方向的方形杆的入射端均放置一枚超声波探头，对于X_+向，超声波发射探头（5）发射超声波入射信号，超声波信号沿X_+向方形杆（11）传播并穿过立方体试样（70），随后继续向X_-向方形杆（23）传播，直至被X_-向方形杆（23）一侧的超声波接收探头（19）接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力和冲击荷载作用下X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆（36）一侧的超声波发射探头（32）发射超声波入射信号，超声波信号沿Y_+向方形杆（36）传播并穿过立方体试样（70），随后继续向Y_-向方形杆（47）传播，直至被Y_-向

方形杆（47）一侧的超声接收探头（43）接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力和冲击荷载作用下Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆（59）一侧的超声波发射探头（53）发射超声波入射信号，超声波信号沿Z_+向方形杆（59）传播并穿过立方体试样（70），随后继续向Z_-向方形杆（63）传播，直至被Z_-向方形杆（63）一侧的超声波接收探头（66）接收该超声波透射信号，记录并保存无静态预应力和冲击荷载作用下Z方向完整的超声波信号；

第二步：施加静态预应力，以X方向为例给出施加静态预应力的方式：打开高压油管，通过进油口给X_+向围压加载液压油缸（2）充油，推动X_+向围压加载作动器（4）向前运动，并与X_+向围压加载框（8）接触；继续施加油压推动X_+向围压加载作动器（4）向前移动，将轴向压力通过X_+向凸台（9）传递至X_+方向方形杆（11），进而作用到立方体试样（70）上，使其受到X方向精准静态预应力，同理，Y、Z方向静态围压加载原理与X方向相同；

第三步：在第二步的静态预应力作用下，再次利用X_+向方形杆（11）一侧的超声波发射探头（5）发射超声波入射信号，并利用X_-向方形杆（23）一侧的超声波接收探头（19）接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力下X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆（36）一侧的超声波发射探头（32）发射超声波入射信号，并利用Y_-向方形杆（47）一侧的超声波接收探头（43）接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力下Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆（59）一侧的超声波发射探头（53）发射超声波入射信号，并利用Z_-向方形杆（63）一侧的超声波接收探头（66）接收穿过静态预应力加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力下Z方向完整的超声波信号；

第四步：施加冲击荷载，以X方向为例给出施加冲击荷载的方式：待上述第三步操作结束后，分别移开紧贴在X_+和X_-向方形杆（11）和

（23）上的超声波发射探头（5）和超声波接收探头（19），然后将X_+向电磁脉冲激发腔（7）与X_+向电磁脉冲激发腔支撑架（6）放置于X_+向围压加载框（8）内，并放置于X_+向方形杆（11）的入射端，且与X_+向方形杆（11）的入射端自由且紧密的贴合，用于沿X_+向方形杆（11）的入射端对测试试样施加X_+向动态应力脉冲荷载，将X_-向电磁脉冲激发腔（20）与X_-向电磁脉冲激发腔支撑架（21）放置于X_-向围压加载框（18）内，并放置于X_-向方形杆（23）的入射端，且与X_-向方形杆（23）的入射端自由且紧密的贴合，用于沿X_-向方形杆（23）的入射端对测试试样施加X_-向动态应力脉冲荷载；同理，待Y、Z方向按照与X方向进行相同的操作后，便可利用三轴六向同步协调控制电磁加载系统对测试试样施加动态冲击荷载；

第五步：待动态冲击加载试验结束后，继续保持X、Y、Z三个方向静态预应力不变，即不解除静态预应力，移开X_+向电磁脉冲激发腔（7）与X_+向电磁脉冲激发腔支撑架（6），再将超声波发射探头（5）放置在X_+向围压加载框（8）内，并放置于X_+向方形杆（11）的入射端，且与X_+向方形杆（11）的入射端自由且紧密的贴合；同理，将X_-、Y_+、Y_-、Z_+、Z_-方向按照与X_+向进行相同的操作后，便可实现将所有电磁脉冲激发腔与电磁脉冲激发腔支撑架移开，并将超声波发射探头和超声波接收探头分别与方形杆的入射端自由且紧密的贴合；随后在未解除静态预应力状态下，利用X_+向方形杆（11）一侧的超声波发射探头（5）发射超声波入射信号，并利用X_-向方形杆（23）一侧的超声波接收探头（19）接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力和动态冲击荷载后X方向完整的超声波信号；Y方向上，利用Y_+向方形杆（36）一侧的超声波发射探头（32）发射超声波入射信号，并利用Y-向方形杆（47）一侧的超声波接收探头（43）接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力和动态冲击荷载后Y方向完整的超声波信号；Z方向上，利用Z_+向方形杆（59）一侧的超声波发射探

头（53）发射超声波入射信号，并利用Z^-向方形杆（63）的一侧的超声波接收探头（66）接收穿过冲击加载试样后的超声波透射信号，记录并保存施加静态预应力和动态冲击荷载后Z方向完整的超声波信号。

[权利要求 2] 根据权利要求1所述的真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，其特征在于：凸台离方形杆入射应力波加载端的距离为方形杆长度的3%至7%。

[权利要求 3] 根据权利要求1所述的真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，其特征在于：凸台的长度为方形杆长度的1.5%至4%。

[权利要求 4] 根据权利要求1所述的真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，其特征在于：凸台的直径为方形杆横截面边长的1.5至2.5倍。

[权利要求 5] 根据权利要求1所述的真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，其特征在于：第二步中，通过静态围压加载伺服控制器系统，实现X、Y、Z三个方向静态预应力同步控制加载，并且X、Y、Z三个方向静态预应力根据实验测试需要可灵活的设定各自的荷载幅值。

[权利要求 6] 根据权利要求1所述的真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，其特征在于：第四步中，通过三轴六向同步协调控制电磁加载系统，实现X、Y、Z三个方向动态冲击荷载的同步或者延时控制加载，并且X、Y、Z三个方向动态冲击荷载可根据实验测试需要灵活的设定各自的荷载幅值。

[权利要求 7] 根据权利要求1所述的真三轴霍普金森杆固体动态损伤与超声波传播测试方法，其特征在于：X^+向静态围压和X^-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系；Y^+向静态围压和Y^-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系；Z^+向静态围压和Z^-向静态围压属于大小相等方向相反的作用力与反作用力关系。

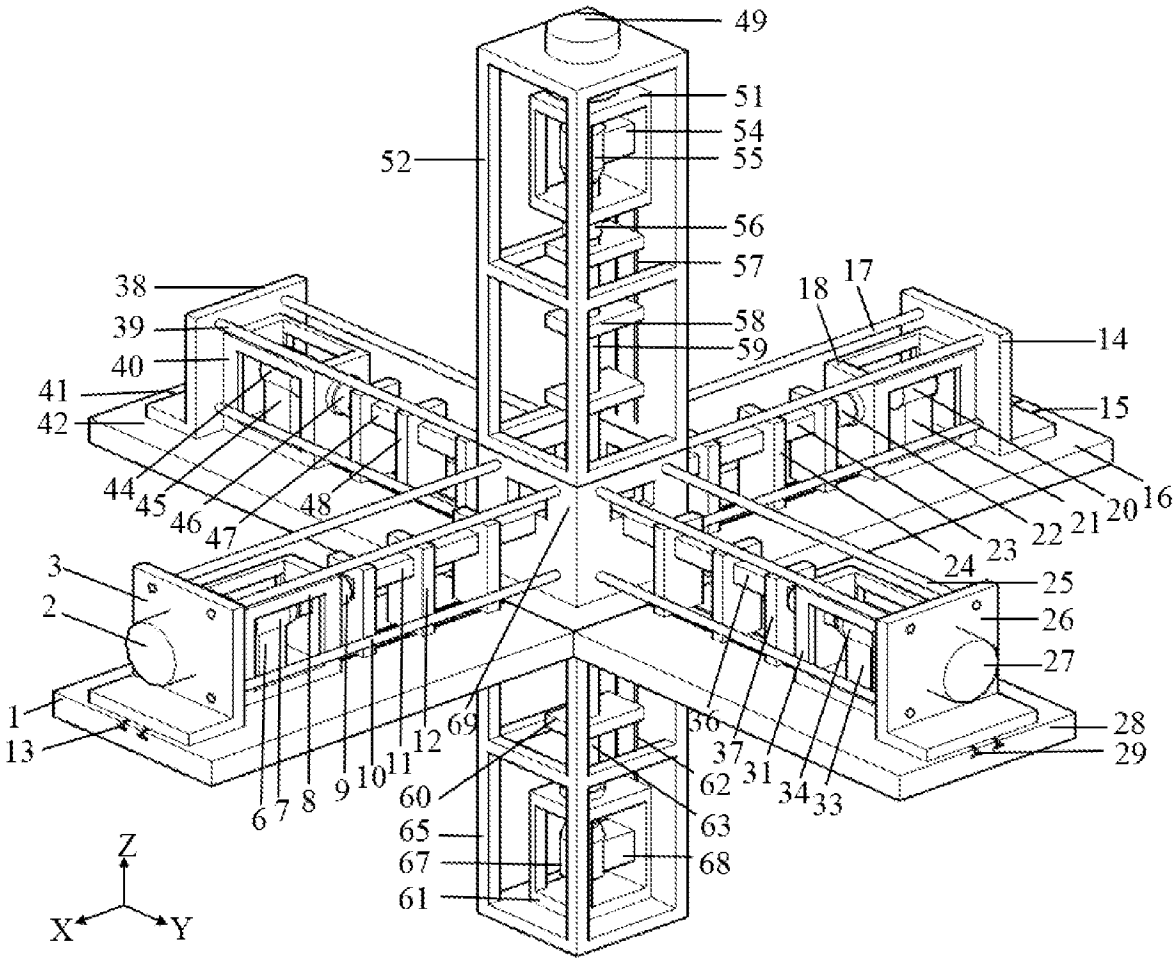

49
51
54
55
52
56
57
38
18
17
39
58
14
40
59
41
15
42
16
44
45
46
47
48
22
21
20
23
24
3
25
2
26
27
1
28
13
29
69
36
37
31
34
33
6
7
8
9
10
11
12
60
62
63
65
67
68
61
Z
X
Y

图 1

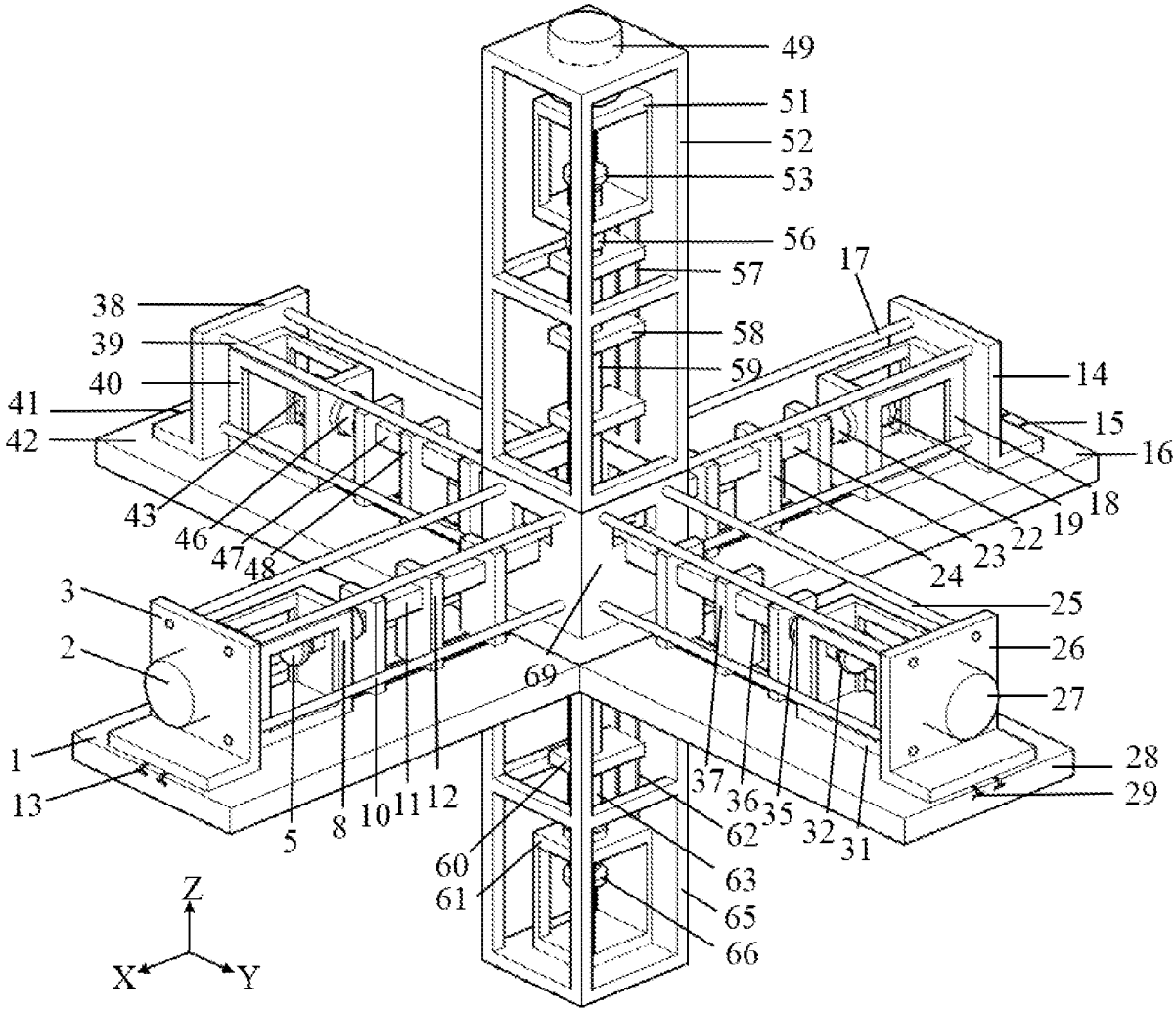

49
51
52
53
56
57
17
38
39
40
41
42
58
59
14
15
16
43
46
47
48
18
19
22
23
24
3
2
25
26
27
69
1
13
5
8
10
11
12
28
29
37
36
35
32
31
62
63
65
66
60
61
Z
X
Y

图 2

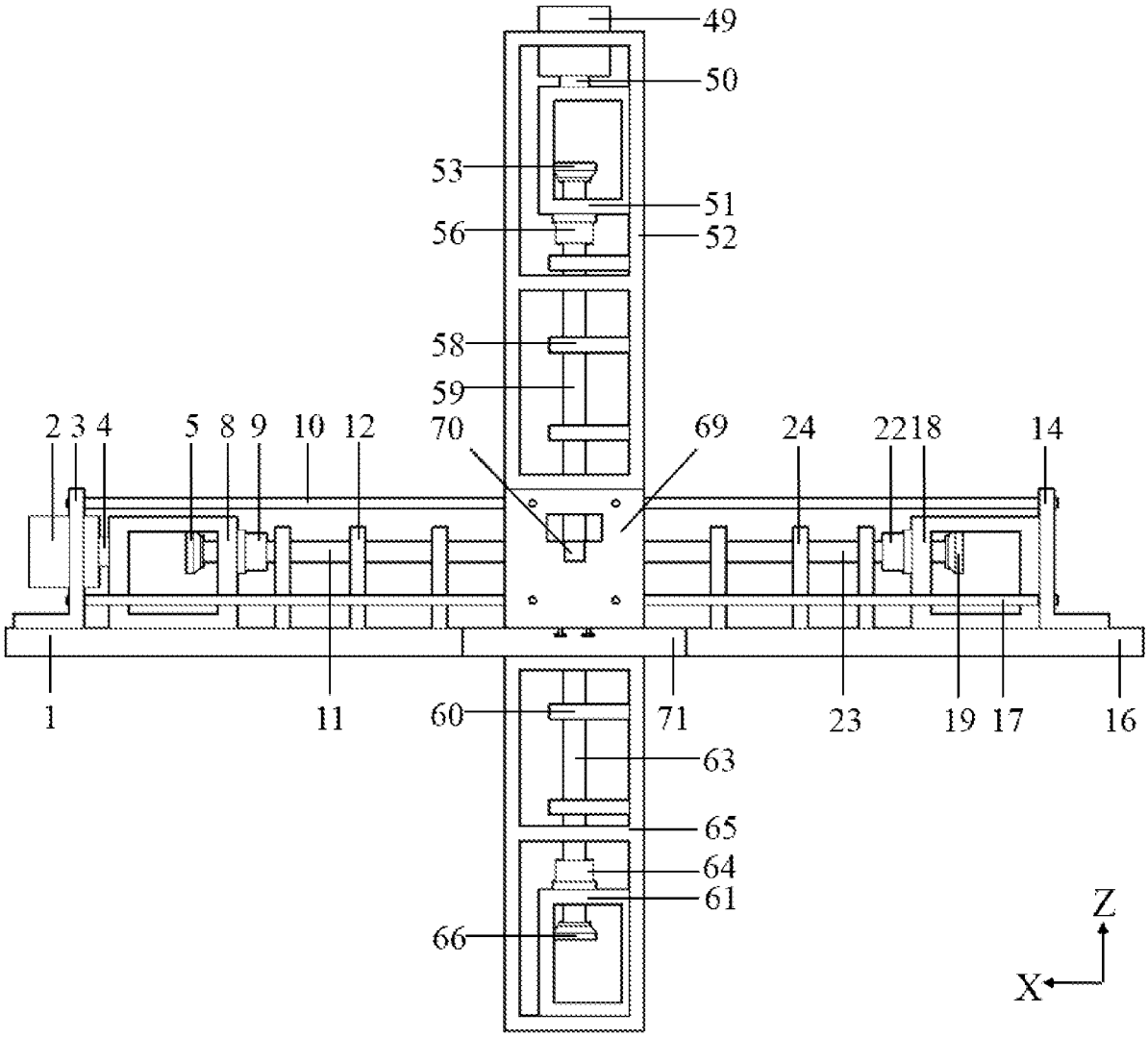

49
50
53
51
56
52
58
59
2 3 4
5 8 9 10 12
70
69
24
22 18
14
1
11
60
71
23
19 17
16
63
65
64
61
66
Z
X

图 3

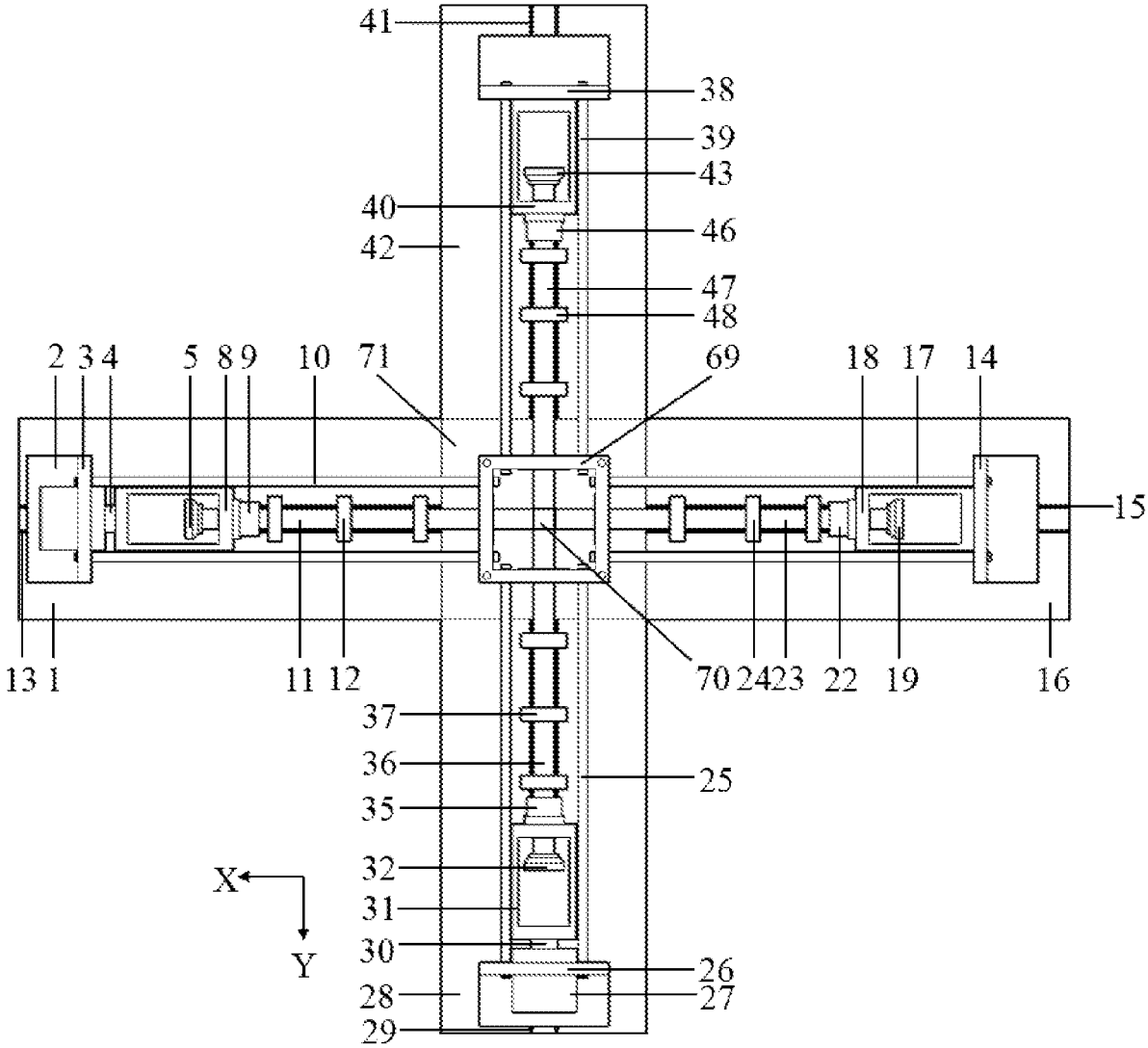

41
38
39
43
40
46
42
47
48
2 3 4 5 8 9 10 71 69 18 17 14
15
13 1 11 12 70 24 23 22 19 16
37
36
25
35
32
31
30
26
28
27
29
X
Y

图 4

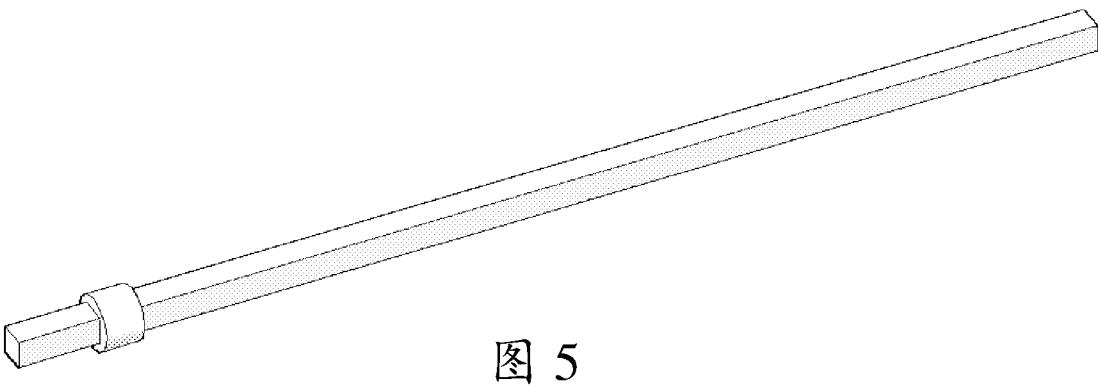


图 5



图 6

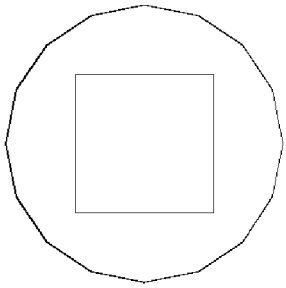


图 7

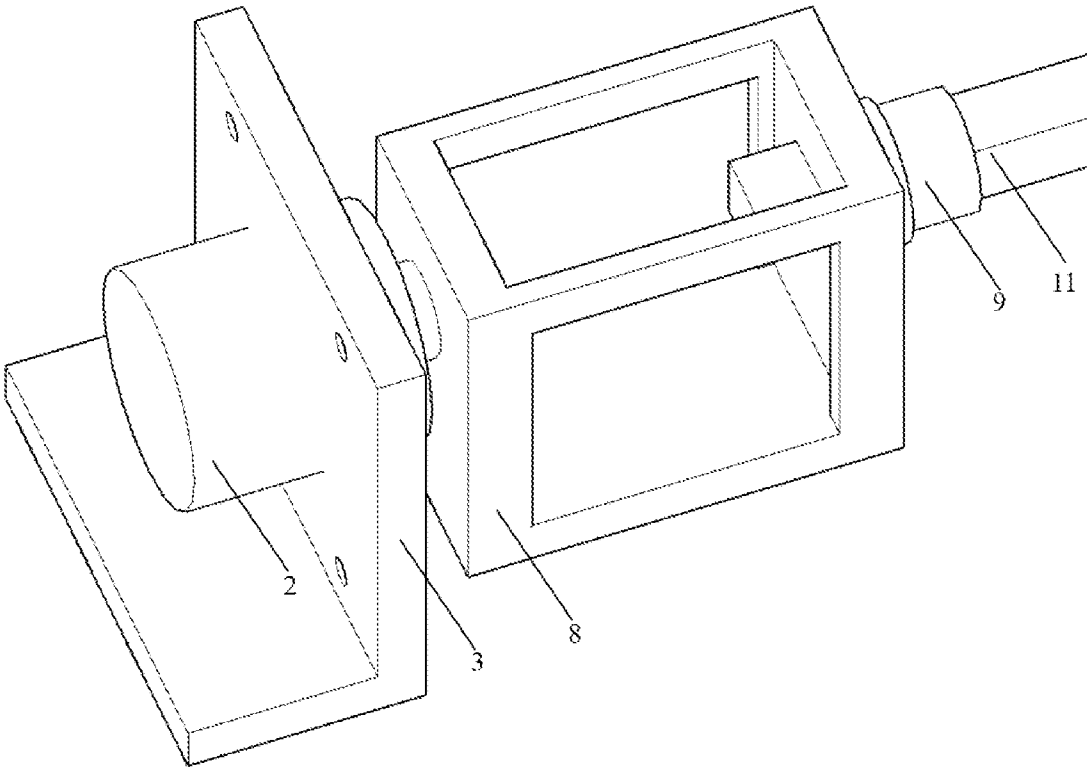


图 8

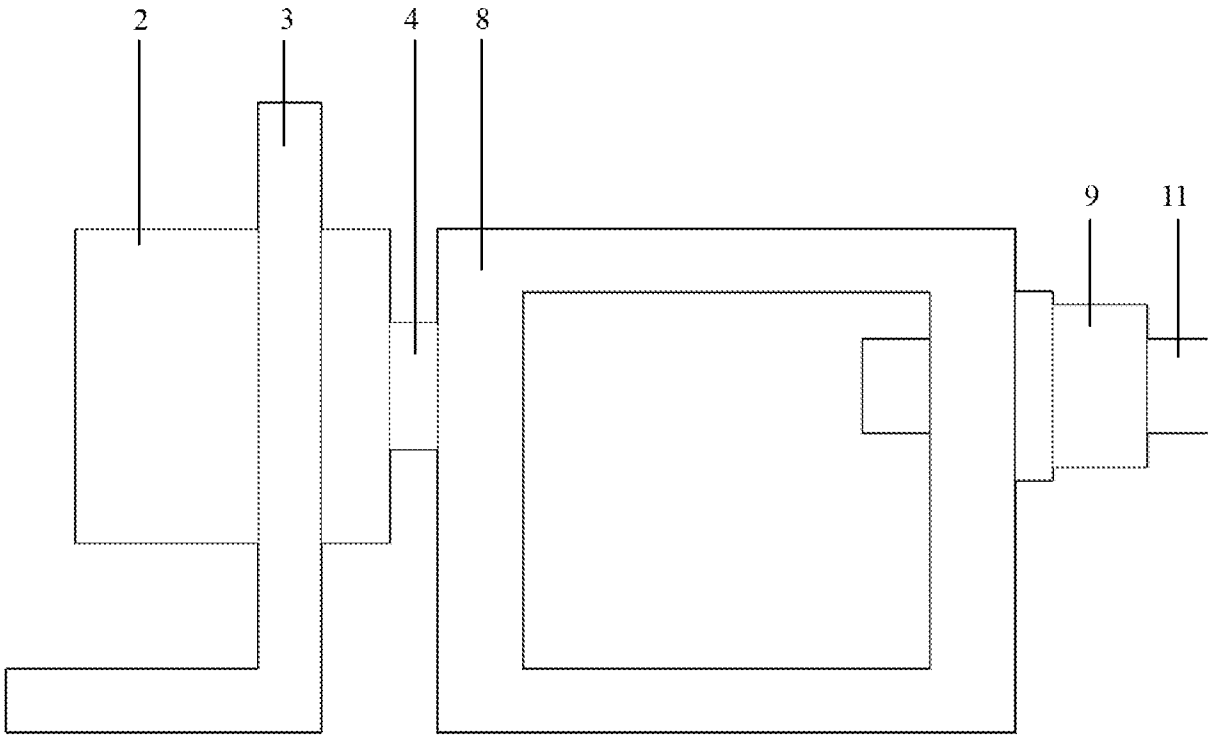


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/115483

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 3/307(2006.01)i; G01N 29/07(2006.01)i; G01N 29/11(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)

G01N

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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 霍普金森, SHPB, 真三轴, 冲击, 单轴双向, 六向, true three 2w axis??, impact, two direct+, six direct+, ultrasonic

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109406312 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 01 March 2019 (2019-03-01) description, paragraphs [0022]-[0044], and figures 1-9	1-7
A	CN 108152155 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 12 June 2018 (2018-06-12) description, paragraphs [0031]-[0092], and figures 1-9	1-7
A	CN 101852705 A (NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY) 06 October 2010 (2010-10-06) entire document	1-7
A	CN 104990777 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 21 October 2015 (2015-10-21) entire document	1-7
A	CN 106248475 A (HUNAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 21 December 2016 (2016-12-21) entire document	1-7
A	CN 205719826 U (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 23 November 2016 (2016-11-23) 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	Date of mailing of the international search report
15 January 2020	**23 January 2020**
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/CN2019/115483

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106198227 A (LIAONING TECHNICAL UNIVERSITY) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-7
A	KR 10-1727405 B1 (INDUSTRIAL COOPERATION FOUNDATION, CHONBUK NATIONAL UNIVERSITY) 02 May 2017 (2017-05-02) entire document	1-7
A	聂海亮 等 (NIE, Hailiang et al.). "单轴双向加载分离式霍普金森压杆的数据处理方法 (Data Processing Method for Bidirectional-Load Split Hopkinson Compression Bar)" *爆炸与冲击 (Explosion and Shock Waves),* Vol. 38, No. 3, 31 May 2018 (2018-05-31), ISSN: 1001-1455, entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/115483

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 109406312 A	01 March 2019	None	
CN 108152155 A	12 June 2018	None	
CN 101852705 A	06 October 2010	None	
CN 104990777 A	21 October 2015	CN 104990777 B	02 October 2018
CN 106248475 A	21 December 2016	CN 106248475 B	16 October 2018
CN 205719826 U	23 November 2016	None	
CN 106198227 A	07 December 2016	None	
KR 10-1727405 B1	02 May 2017	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/115483

A. 主题的分类

G01N 3/307(2006.01)i; G01N 29/07(2006.01)i; G01N 29/11(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)

G01N

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）)

CNPAT,WPI,EPODOC,CNKI:霍普金森，SHPB，真三轴，冲击，单轴双向，六向，true three 2w axis??, impact, two direct+, six direct+, ultrasonic

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 109406312 A (深圳大学) 2019年 3月 1日 (2019-03-01) 说明书[0022]-[0044]段，图1-9	1-7
A	CN 108152155 A (中国石油天然气股份有限公司) 2018年 6月 12日 (2018-06-12) 说明书[0031]-[0092]段，图1-9	1-7
A	CN 101852705 A (南京理工大学) 2010年 10月 6日 (2010-10-06) 全文	1-7
A	CN 104990777 A (中国矿业大学) 2015年 10月 21日 (2015-10-21) 全文	1-7
A	CN 106248475 A (湖南科技大学) 2016年 12月 21日 (2016-12-21) 全文	1-7
A	CN 205719826 U (中国科学技术大学) 2016年 11月 23日 (2016-11-23) 全文	1-7
A	CN 106198227 A (辽宁工程技术大学) 2016年 12月 7日 (2016-12-07) 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
2020年 1月 15日	2020年 1月 23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	何孟珂
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-(10)-53962472

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	KR 10-1727405 B1 (UNIV. CHONBUK IND.NAT.COOP. FOUND) 2017年 5月 2日 (2017-05-02) 全文	1-7
A	聂海亮 等. "单轴双向加载分离式霍普金森压杆的数据处理方法" 《爆炸与冲击》, 第38卷, 第3期, 2018年 5月 31日 (2018-05-31), ISSN: 1001-1455, 全文	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/115483

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 109406312 A	2019年 3月 1日	无	
CN 108152155 A	2018年 6月 12日	无	
CN 101852705 A	2010年 10月 6日	无	
CN 104990777 A	2015年 10月 21日	CN 104990777 B	2018年 10月 2日
CN 106248475 A	2016年 12月 21日	CN 106248475 B	2018年 10月 16日
CN 205719826 U	2016年 11月 23日	无	
CN 106198227 A	2016年 12月 7日	无	
KR 10-1727405 B1	2017年 5月 2日	无	