

(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)



(10) 国际公布号
WO 2020/134579 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 3/30 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/115480
- (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:
201811601104.2 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: 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)。 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)。 周韬(ZHOU, Tao); 中国广东省深圳市南
山区南海大道 3688 号, Guangdong 518000 (CN)。
李玉龙(LI, Yulong); 中国陕西省西安市碑林
区友谊西路 127 号, Shaanxi 710000 (CN)。 赵
坚(ZHAO, Jian); 中国广东省深圳市南山区南
海大道 3688 号, Guangdong 518000 (CN)。 索涛
(SUO, Tao); 中国陕西省西安市碑林区友谊西
路 127 号, Shaanxi 710000 (CN)。 汤忠斌(TANG,
Zhongbin); 中国陕西省西安市碑林区友谊西
路 127 号, Shaanxi 710000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市科吉华烽知识产权事务所
(普通合伙) (SZ KINDWOLF 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)。

(54) Title: DYNAMIC AND STATIC LOAD SYNCHRONOUS SERVO CONTROL SYSTEM FOR THREE-AXIS SIX-DIRECTION HOPKINSON PRESSURE BAR

(54) 发明名称: 三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统

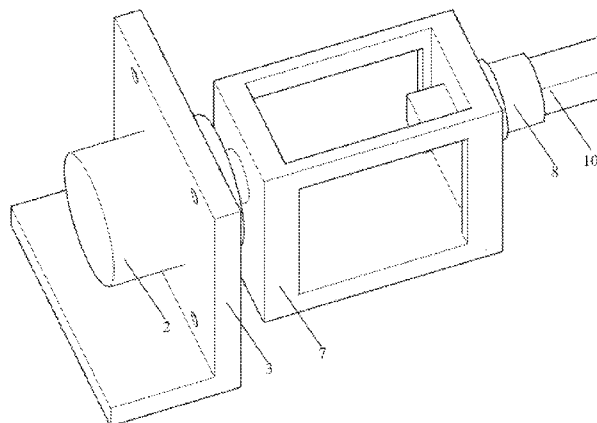


图 7

(57) Abstract: Provided is a dynamic and static load synchronous servo control system for a three-axis six-direction Hopkinson pressure bar, wherein a square bar (10, 21, 34, 43, 53, 60) is fixed by a self-lubricating square bar and a support frame (11, 18, 33, 44, 52, 55), and the square bar (10, 21, 34, 43, 53, 60) is in centring connection with a central cube square box (63) in a square opening; a confining pressure loading hydraulic cylinder (2, 24, 45) and a confining pressure loading actuator (2, 27, 46) are combined with a confining pressure loading frame (7, 31, 47) in series; an electromagnetic pulse excitation chamber (6, 14, 29, 40, 49, 57) is placed in the confining pressure loading frame (7, 17, 31, 37, 47, 58) and is freely and tightly fitted with an incident end of the square bar (10, 21, 34, 43, 53, 60); and the confining pressure loading frame (7, 17, 31, 37, 47, 58) is connected to a boss (8, 20, 32, 42, 51, 61) in series, and the boss (8, 20, 32, 42, 51, 61) is disposed at the incident end of the square bar (10, 21, 34, 43, 53, 60). The arrangement of the boss (8, 20, 32, 42, 51, 61) can ensure that the incident end of the Hopkinson pressure bar is a free end after a test sample (64) is subjected to a static confining



WO 2020/134579 A1

(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, 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))。

pressure, the problem of being unable to ensure the free state of the end of a Hopkinson incident bar after static pre-stress is applied in the traditional dynamic and static combination Hopkinson bar system is solved, and test conditions are provided for subsequent application of electromagnetic excitation stress pulses and an ultrasonic test under in-situ pressure maintenance conditions.

(57) 摘要: 三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统, 方形杆 (10、21、34、43、53、60) 由自润滑方形杆固定和支撑架 (11、18、33、44、52、55) 固定, 方形杆 (10、21、34、43、53、60) 与中心立方体方箱 (63) 于方形开口实现中对连接; 围压加载液压油缸 (2、24、45) 和围压加载作动器 (4、27、46) 与围压加载框 (7、31、47) 串联组合, 电磁脉冲激发腔 (6、14、29、40、49、57) 放置在围压加载框 (7、17、31、37、47、58) 内, 且与方形杆 (10、21、34、43、53、60) 的入射端自由且紧密的贴合, 围压加载框 (7、17、31、37、47、58) 与凸台 (8、20、32、42、51、61) 串联连接, 凸台 (8、20、32、42、51、61) 安置于方形杆 (10、21、34、43、53、60) 入射端。凸台 (8、20、32、42、51、61) 的设置可实现给测试试样 (64) 施加静态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以及原位保压条件下的超声波测试提供测试条件。

三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及岩石、混凝土、聚合物等材料的动态力学性能测试，尤其涉及基于霍普金森杆动静组合加载条件下材料的力学性能测试系统。

背景技术

[0002] 现有的岩石、混凝土等材料的动力学试验装置有一维霍普金森杆、动静组合加载三轴霍普金森杆、一维霍普金森束杆、基于真三轴静载的岩石霍普金森杆。

基于霍普金森杆装置的对岩石、混凝土等材料动力学特性的研究方法，加载方式最初只有一维冲击加载，然后有预加静态围压的一维冲击加载。

[0003] 在复杂的工程问题中，岩石、混凝土等材料经常受到多向冲击荷载或者三向不等的地应力，并且岩石、混凝土等材料受到的双轴或者三轴冲击荷载可能是各向同时加载也可能是各向差分延时的（例如爆破过程中的毫秒延时爆破）。目前国内对岩石、混凝土等材料在冲击加载下的动力学特性的研究装置只能实现单向和环向等围压的动静组合加载。专利号为201620574575.9的实用新型介绍了一种真三轴霍普金森压杆装置，该装置给岩石类试样同时施加三向静态预应力(三个主方向的应力满足： $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$)后，并对试样进行单向冲击加载，可实现预加静态真三轴应力状态下岩石类试样的单向冲击加载。然而单向冲击加载的三轴霍普金森杆测试无法真实的反映岩石、混凝土等材料多向同时或者延时冲击加载的动态力学行为，这是现有装置急需攻克的技术问题。

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实现真三轴超高静态和动态载荷同步加载，并实现测试过程中围压的伺服控制的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统。

[0005] 三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统的动静载荷同步伺服控制装置包括凸台、挡板、围压加载液压油缸与围压加载框。凸台是该装置的创新要点。三轴六向霍普金森杆系统的每个方向均为单轴双向液压加载系统，单轴双向液压加载系统置于支撑平台上，中心支撑平台上放置中心立方体方箱，中心立方体方箱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。以X₊方向为例，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7接触；继续施加油压推动X₊向围压加载作动器4向前移动，将轴向压力通过凸台8传递至X₊方向方形杆10，进而作用到立方体试样64上，使其受到精准静态围压。同理，Y、Z方向静态围压加载原理与X方向相同。待X、Y、Z三向围压施加完毕后，即可通过放置于方形杆入射端的电磁脉冲激发腔对试样施加动态应力脉冲。动态冲击加载过程，利用伺服液压控制系统中的精密位移传感器和精密压力传感器，将冲击过程中方形杆的位移信号和压力信号传输至围压加载系统的工控机实现对加载油缸的位移和加载力大小的精准控制，从而保证测试试样动态冲击加载过程静态围压始终维持在一相对稳定的应力值，实现静态围压伺服控制。

[0006] 为了解决现有技术中问题，本发明提供了一种三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，所述测试系统设有中心立方体方箱、水平十字支撑平台、中心支撑平台；中心立方体方箱Z₊向完全开口，沿X₊向、X₋向、Y₊向、Y₋向、和Z₋向分别于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；以中心立方体方箱为对称中心，水平十字支撑平台上分别对称布置X₊向、X₋向、Y₊向、Y₋向围压加载液压油缸、围压加载作动器、围压加载框、电磁脉冲激发腔、凸台、方形杆以及自润滑方形杆固定和支撑架；水平十字支撑平台中心的上下分

别设置Z+向和Z-向围压加载液压油缸、围压加载作动器、围压加载框、电磁脉冲激发腔、凸台、方形杆以及自润滑方形杆固定和支撑架，X+向、X-向、Y+向、Y-向、Z+向和Z-向六组系统共同构成三轴六向霍普金森杆系统；

[0007] 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中对连接；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，电磁脉冲激发腔放置在围压加载框内，并放置于方形杆的入射端，且与方形杆的入射端自由且紧密的贴合，围压加载框与凸台串联连接，凸台安置于方形杆入射端，距离端部为杆长的3%至7%处。。

[0008] 作为本发明的进一步改进，所述凸台距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%。

[0009] 作为本发明的进一步改进，所述凸台的长度为方形杆长度的1.5%至4%。

[0010] 作为本发明的进一步改进，所述凸台的直径为方形杆横截面边长的1.5至2.5倍。

[0011] 作为本发明的进一步改进，还包括方形杆对中定位导轨，方形杆沿方形杆对中定位导轨与中心立方体方箱于方形开口实现中对连接。

[0012] 作为本发明的进一步改进，还包括电磁脉冲激发腔支撑架，所述电磁脉冲激发腔支撑架放置在围压加载框内，且放置于方形杆的入射端，所述电磁脉冲激发腔支撑架支撑所述电磁脉冲激发腔。

[0013] 作为本发明的进一步改进，X+向、X-向、Y+向、Y-向分别设有连杆支撑杆和围压加载端挡板和围压加载固定端挡板，所述连杆支撑杆将围压加载端挡板和围压加载固定端挡板与中心立方体方箱连接起来。

[0014] 作为本发明的进一步改进，Z+向和Z-向分别设有竖向固定与支撑框架，所述竖向固定与支撑框架与中心立方体方箱连接起来为Z+向和Z-向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。

发明的有益效果

有益效果

[0015] 本发明的有益效果是：

[0016] 凸台的设置可实现给测试试样施加静态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以及原位保压条件下的超声波测试提供测试条件。

[0017] 静态真三轴同步伺服控制围压加载系统可以实现霍普金森压杆测试系统真三轴静态围压同步加载，并实现测试过程中围压的伺服控制（位移控制和应力控制）。

[0018] 本发明可实现300MPa超高静态围压（模拟10000米深度地应力）真三轴加载，解决了无法施加超高压静态围压模拟10000米深地应力的缺陷。

对附图的简要说明

附图说明

[0019] 图1是三轴六向同步协调控制电磁加载霍普金森杆系统三维示意图；

[0020] 图2是X向单轴双向液压加载系统主视图；

[0021] 图3是X向单轴双向液压加载系统俯视图；

[0022] 图4是方形杆与凸台构造三维示意图；

[0023] 图5是方形杆与凸台构造二维主视图；

[0024] 图6是方形杆与凸台构造二维左视图；

[0025] 图7是凸台构造与围压加载系统连接三维示意图；

[0026] 图8是凸台构造与围压加载系统连接二维主视图。

[0027] 图中标号对应部件名称如下：

[0028] 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₊向电磁脉冲激发腔支撑架，6 X₊向电磁脉冲激发腔，7 X₊向围压加载框，8 X₊向凸台，9 X₊向连杆支撑杆，10 X₊向方形杆，11 X₊向自润滑方形杆固定和支撑架，12 X₊向方形杆对中定位导轨，13 X₋向围压加载固定端挡板，14 X₋向电磁脉冲激发腔，15 X₋向方形杆对中定位导轨，16 X₋向连杆支撑杆，17 X₋向围压加载框，18 X₋向自润滑方形杆固定和支撑架，19 X₋向电磁脉冲激发腔支撑架，20 X₋向凸台，21 X₋向方形杆，22 X₋向支撑平台，23 Y₊向围压加载端挡板，24 Y₊向围压加载液压油缸，25 Y₊向支撑平台，26 Y₊向方形杆对中定位导轨，27 Y₊向围压加载作动器

, 28 Y_+ 向电磁脉冲激发腔支撑架, 29 Y_+ 向电磁脉冲激发腔, 30 Y_+ 向连杆支撑杆, 31 Y_+ 向围压加载框, 32 Y_+ 向凸台, 33 Y_+ 向自润滑方形杆固定和支撑架, 34 Y_+ 向方形杆, 35 Y_- 向围压加载固定端挡板, 36 Y_- 向连杆支撑杆, 37 Y_- 向围压加载框, 38 Y_- 向方形杆对中定位导轨, 39 Y_- 向支撑平台, 40 Y_- 向电磁脉冲激发腔, 41 Y_- 向电磁脉冲激发腔支撑架, 42 Y_- 向凸台, 43 Y_- 向方形杆, 44 Y_- 向自润滑方形杆固定和支撑架, 45 Z_+ 向围压加载液压油缸, 46 Z_+ 向围压加载作动器, 47 Z_+ 向围压加载框, 48 Z_+ 向电磁脉冲激发腔支撑架, 49 Z_+ 向电磁脉冲激发腔, 50 Z_+ 向竖向固定与支撑框架, 51 Z_+ 向凸台, 52 Z_+ 向自润滑方形杆固定和支撑架, 53 Z_+ 向方形杆, 54 Z_+ 向方形杆对中定位导轨, 55 Z_- 向自润滑方形杆固定和支撑架, 56 Z_- 向竖向固定与支撑框架, 57 Z_- 向电磁脉冲激发腔, 58 Z_- 向围压加载框, 59 Z_- 向方形杆对中定位导轨, 60 Z_- 向方形杆, 61 Z_- 向凸台, 62 Z_- 向电磁脉冲激发腔支撑架, 63 中心立方体方箱, 64 立方体试样, 65 中心支撑平台。

发明实施例

本发明的实施方式

[0029] 下面结合附图对本发明做进一步说明。

[0030] 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22、 Y_+ 向支撑平台25和 Y_- 向支撑平台39以及中心支撑平台65。中心立方体方箱63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63置于中心支撑平台65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。

[0031] 以中心立方体方箱63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10由 X_+ 向自润滑方形杆固定和支撑架11固定, 并沿 X_+ 向方形杆对中定位导轨12与中心立方体方箱63于 X_+ 向方形开口实现中对连接; 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7串联组合，X₊向电磁脉冲激发腔6与X₊向电磁脉冲激发腔支撑架5放置在X₊向围压加载框7内，并放置于X₊向方形杆10的入射端，且与X₊向方形杆10的入射端自由且紧密的贴合，X₊向围压加载框7与X₊向凸台8串联连接，用于沿X₊向方形杆10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9将X₊向围压加载端挡板3与中心立方体方箱63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21由X₋向自润滑方形杆固定和支撑架18固定，并沿X₋向方形杆对中定位导轨15与中心立方体方箱63于X₋向方形开口实现中对连接；X₋向电磁脉冲激发腔14与X₋向电磁脉冲激发腔支撑架19置于X₋

向围压加载框17内部，并放置于X₋向方形杆21的入射端，且与X₋向方形杆21的入射端自由且紧密的贴合，X₋向围压加载框17与X₋向凸台20连接，用于沿X₋向方形杆21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16将X₋向围压加载固定端挡板13与中心立方体方箱63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34由Y₊向自润滑方形杆固定和支撑架33固定，并沿Y₊向方形杆对中定位导轨26与中心立方体方箱63于Y₊向方形开口实现中对连接；Y₊向围压加载液压油缸24和Y₊向围压加载作动器27与Y₊向围压加载框31串联组合，Y₊向电磁脉冲激发腔29与Y₊向电磁脉冲激发腔支撑架28放置在Y₊向围压加载框31内，并放置于Y₊向方形杆34的入射端，且与Y₊向方形杆34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32串联连接，用于沿Y₊向方形杆34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30将Y₊向围压加载端挡板23与中心立方体方箱63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43由Y₋向自润滑方形杆固定和支撑架44固定，并沿Y₋向方形杆对中定位导轨38与中心立方体方箱63于Y₋向方形开口实现中对连接；Y₋向电磁脉冲激发腔40与Y₋向电磁脉冲激发腔支撑架41置于Y₋向围压加载框37内部，并放置于Y₋向方形杆43的入射端，且与Y₋向方形杆43的入射端自由且紧密的贴合，Y₋向围压加载框37与Y₋向凸台42连接，用于沿Y₋

向方形杆43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36将Y₁向围压加载固定端挡板35与中心立方体方箱63连接起来为Y₁向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。Z₁向方形杆53由Z₁向自润滑方形杆固定和支撑架52固定，并沿Z₁向

方形杆对中定位导轨54与中心立方体方箱63于Z₁向方形开口实现中对连接；Z₁向围压加载液压油缸45和Z₁向围压加载作动器46与Z₁向围压加载框47串联组合，Z₁向电磁脉冲激发腔49与Z₁向电磁脉冲激发腔支撑架48放置在Z₁向围压加载框47内，并放置于Z₁向方形杆53的入射端，且与Z₁向方形杆53的入射端自由且紧密的贴合，Z₁向围压加载框47与Z₁向凸台51串联连接，用于沿Z₁向方形杆53的入射端对测试试样施加Z₁向静态围压和动态应力脉冲荷载；Z₁向竖向固定与支撑框架50与中心立方体方箱63连接起来为Z₁向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。Z₂向方形杆60由Z₂向自润滑方形杆固定和支撑架55固定，并沿Z₂向方形杆对中定位导轨59与中心立方体方箱63于Z₂向方形开口实现中对连接；Z₂向电磁脉冲激发腔57与Z₂向电磁脉冲激发腔支撑架62置于Z₂向围压加载框58内部，并放置于Z₂向方形杆60的入射端，且与Z₂向方形杆60的入射端自由且紧密的贴合，Z₂向围压加载框58与Z₂向凸台61连接，用于沿Z₂向方形杆60的入射端对测试试样施加Z₂向静态围压和动态应力脉冲荷载；Z₂向竖向固定与支撑框架56与中心立方体方箱63连接起来为Z₂向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。

[0032] 如图4至图6所示，凸台安置于方形杆入射端，距离端部约为杆长的3%至7%处。

[0033] 本发明专利三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统的工作原理为（取X向单轴双向液压加载系统为例）：

[0034] X₁向霍普金森杆系由X₁向围压加载端挡板3、X₁向围压加载液压油缸2、X₁向围压加载作动器4、X₁向电磁脉冲激发腔6、X₁向连杆支撑杆9、X₁向方形杆10、X₁向自润滑方形杆固定和支撑架11、X₁向电磁脉冲激发腔支撑架5和X₁向方形杆对中定位导轨12构成；其中X₁向方形杆10由X₁向自润滑方形杆固定和支撑架11固定，并沿X₁向方形杆对中定位导轨12与中心立方体方箱63于X₁向方形开口实现中对连接；X₁向围压加载液压油缸2和X₁向围压加载作动器4与X₁向围压

加载框7串联组合，X₊向围压加载框7与X₊向凸台8串联连接，用于沿X₊向方形杆10的入射端对测试试样施加X₊静态围压，X₊向电磁脉冲激发腔6与X₊向电磁脉冲激发腔支撑架5放置在X₊向围压加载框7内，并放置于X₊向方形杆10的入射端，且与X₊向方形杆10的入射端自由且紧密的贴合，用于沿X₊向方形杆10的入射端对测试试样施加X₊向动态应力脉冲荷载；X₊向连杆支撑杆9将X₊向围压加载端挡板3与中心立方体方箱63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21由X₋向自润滑方形杆固定和支撑架18固定，并沿X₋向方形杆对中定位导轨15与中心立方体方箱63于X₋向方形开口实现中对连接；X₋向电磁脉冲激发腔14与X₋向电磁脉冲激发腔支撑架19置于X₋向围压加载框17内部，并放置于X₋向方形杆21的入射端，且与X₋向方形杆21的入射端自由且紧密的贴合，X₋向围压加载框17与X₋向凸台20连接，用于沿X₋向方形杆21的入射端对测试试样施加X₋静态围压和动态应力脉冲荷载；X₋向连杆支撑杆16将X₋向围压加载固定端挡板13与中心立方体方箱63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。

[0035] 按以上方式安装好装置和立方体试样64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7接触；继续施加油压推动X₊向围压加载作动器4向前移动，将轴向压力通过凸台8传递至X₊向方形杆10，进而作用到立方体试样64上，使其受到精准静态围压。立方体试样64可以受到同步精准真三轴静态围压加载，且围压可以是伺服控制的。X₊向方形杆10、X₋向方形杆21远离立方体试样64的一侧均为自由端，可以在X₊向方形杆10、X₋向方形杆21两侧通过电磁脉冲激发腔施加幅值可控、脉宽可调的冲击荷载，并且冲击荷载可以是三向同时加载或者各向差分延时加载，同时也可以实现单轴双向和双轴四向同步控制精准加载。

[0036] 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] 一种三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于：所述测试系统设有中心立方体方箱、水平十字支撑平台、中心支撑平台；中心立方体方箱Z₊向完全开口，沿X₊向、X₋向、Y₊向、Y₋向、和Z₋向分别于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；以中心立方体方箱为对称中心，水平十字支撑平台上分别对称布置X₊向、X₋向、Y₊向、Y₋向围压加载液压油缸、围压加载作动器、围压加载框、电磁脉冲激发腔、凸台、方形杆以及自润滑方形杆固定和支撑架；水平十字支撑平台中心的上下分别设置Z₊向和Z₋向围压加载液压油缸、围压加载作动器、围压加载框、电磁脉冲激发腔、凸台、方形杆以及自润滑方形杆固定和支撑架，X₊向、X₋向、Y₊向、Y₋向、Z₊向和Z₋向六组系统共同构成三轴六向霍普金森杆系统；
- 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中对连接；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，电磁脉冲激发腔放置在围压加载框内，并放置于方形杆的入射端，且与方形杆的入射端自由且紧密的贴合，围压加载框与凸台串联连接，凸台安置于方形杆入射端，距离端部为杆长的3%至7%处。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于：所述凸台距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所述的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于：所述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所述的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于：所述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所述的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于：还包括方形杆对中定位导轨，方形杆沿方形杆对中定位导轨与中心立方体方箱于方形开口实现中对连接。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于：还包括电磁脉冲激发腔支撑架，所述电磁脉冲激发腔支撑架放置在围压加载框内，且放置于方形杆的入射端，所述电磁脉冲激发腔支撑架支撑所述电磁脉冲激发腔。
- [权利要求 7] 根据权利要求1所述的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于： X_+ 向、 X_- 向、 Y_+ 向、 Y_- 向分别设有连杆支撑杆和围压加载端挡板和围压加载固定端挡板，所述连杆支撑杆将围压加载端挡板和围压加载固定端挡板与中心立方体方箱连接起来。
- [权利要求 8] 根据权利要求1所述的三轴六向霍普金森压杆的动静载荷同步伺服控制系统，其特征在于： Z_+ 向和 Z_- 向分别设有竖向固定与支撑框架，所述竖向固定与支撑框架与中心立方体方箱连接起来为 Z_+ 向和 Z_- 向静态围压施加提供固定框架与反力支撑系统。

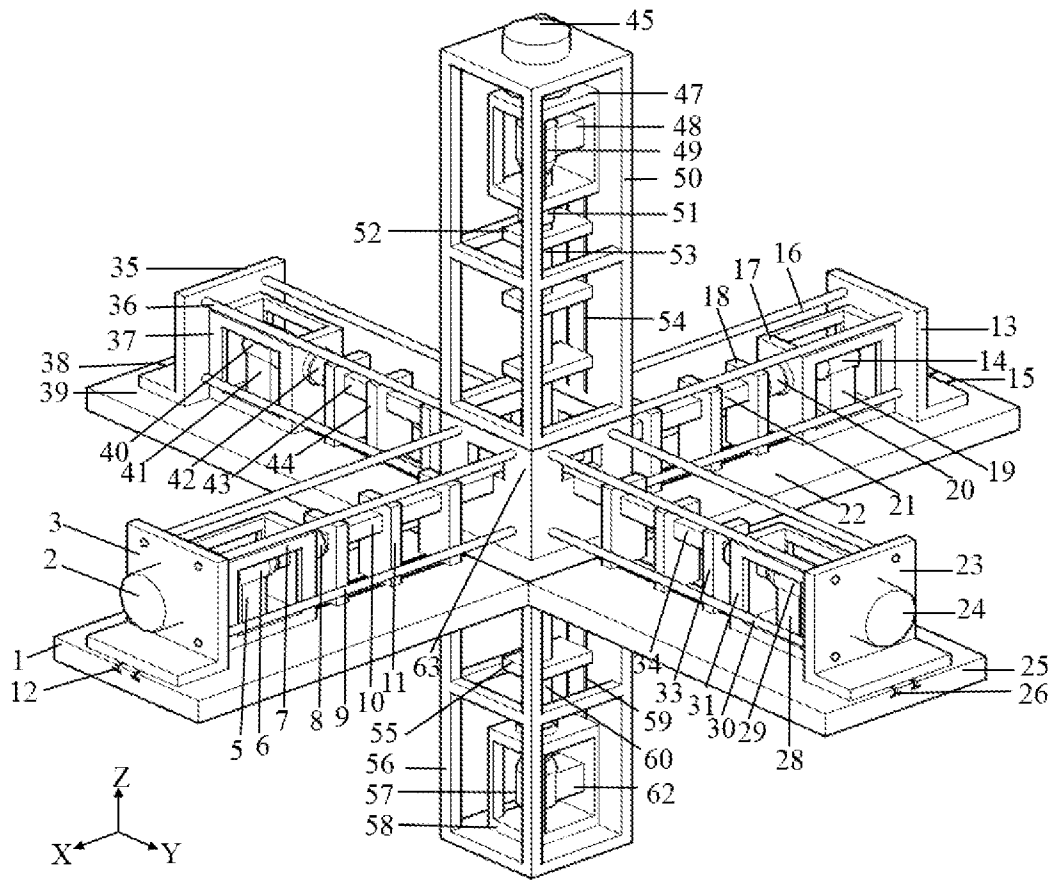


图 1

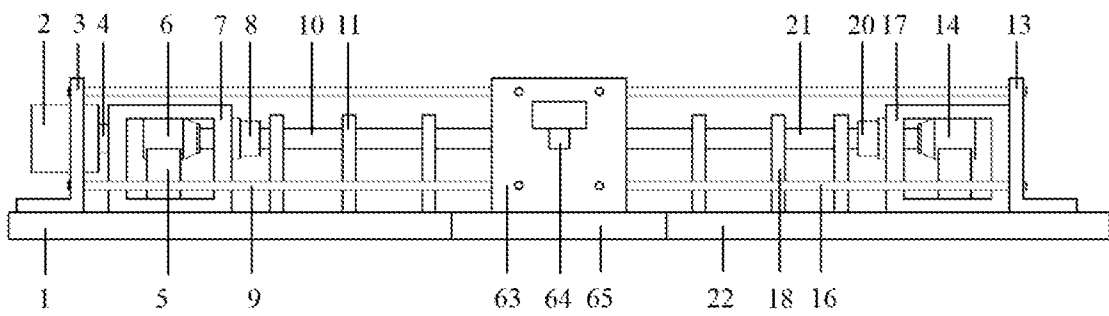


图 2

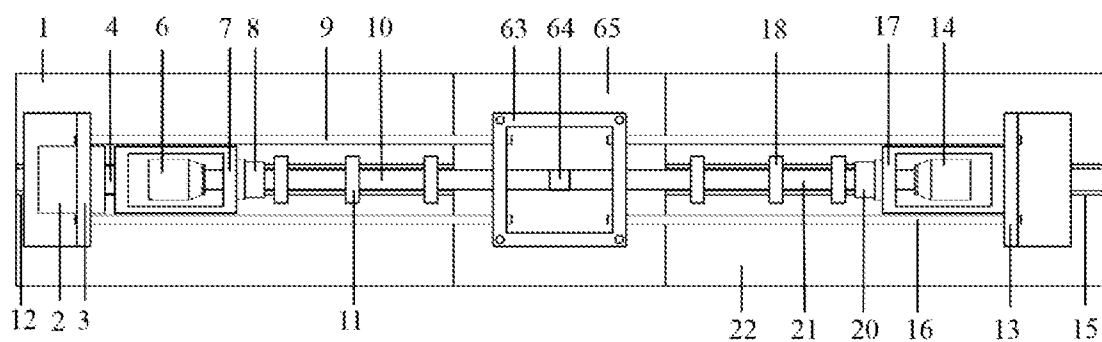


图 3

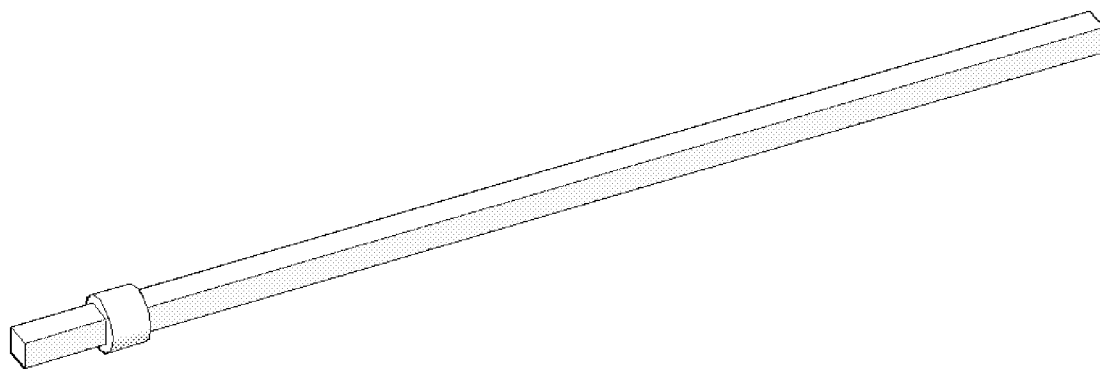


图 4

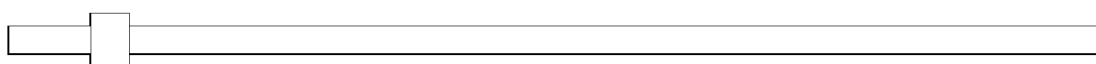


图 5

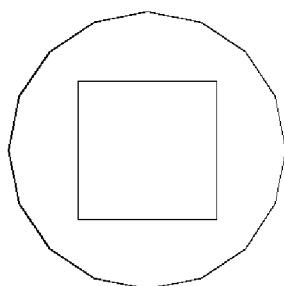


图 6

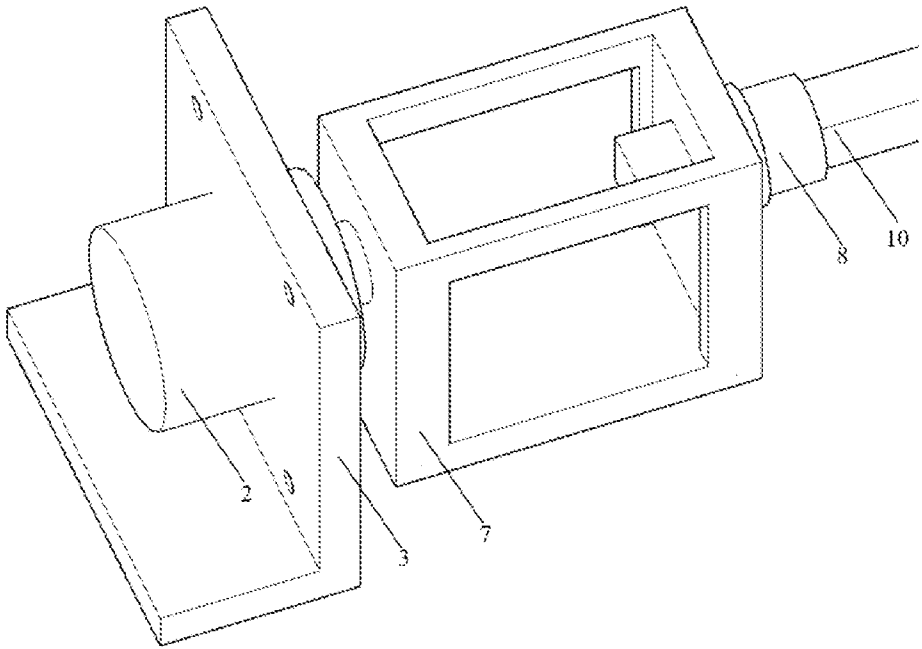


图 7

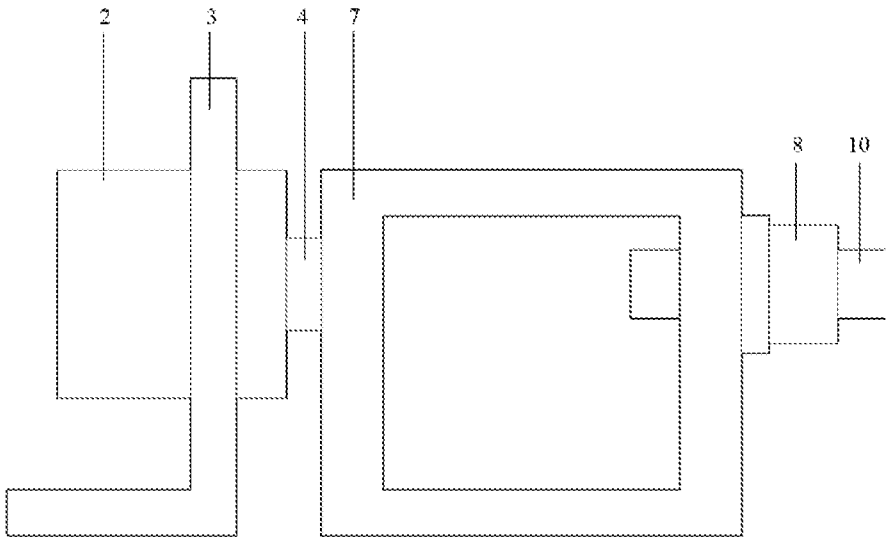


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/115480

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N 3/30(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+																				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109406310 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 01 March 2019 (2019-03-01) description, paragraphs [0019]-[0035], and figures 1-8</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 205719826 U (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 23 November 2016 (2016-11-23) description, paragraphs [0019]-[0046], and figures 1-4b</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106198227 A (LIAONING TECHNICAL UNIVERSITY) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>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 (<i>Explosion and Shock Waves</i>), Vol. 38, No. (3), 31 May 2018 (2018-05-31), ISSN: 1001-1455, entire document</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107014690 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 04 August 2017 (2017-08-04) entire document</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	PX	CN 109406310 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 01 March 2019 (2019-03-01) description, paragraphs [0019]-[0035], and figures 1-8	1-8	A	CN 205719826 U (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 23 November 2016 (2016-11-23) description, paragraphs [0019]-[0046], and figures 1-4b	1-8	A	CN 106198227 A (LIAONING TECHNICAL UNIVERSITY) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-8	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 (<i>Explosion and Shock Waves</i>), Vol. 38, No. (3), 31 May 2018 (2018-05-31), ISSN: 1001-1455, entire document	1-8	A	CN 107014690 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 04 August 2017 (2017-08-04) entire document	1-8
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																		
PX	CN 109406310 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 01 March 2019 (2019-03-01) description, paragraphs [0019]-[0035], and figures 1-8	1-8																		
A	CN 205719826 U (UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 23 November 2016 (2016-11-23) description, paragraphs [0019]-[0046], and figures 1-4b	1-8																		
A	CN 106198227 A (LIAONING TECHNICAL UNIVERSITY) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-8																		
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 (<i>Explosion and Shock Waves</i>), Vol. 38, No. (3), 31 May 2018 (2018-05-31), ISSN: 1001-1455, entire document	1-8																		
A	CN 107014690 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 04 August 2017 (2017-08-04) entire document	1-8																		
☒ 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 13 January 2020		Date of mailing of the international search report 23 January 2020																		
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration 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/CN2019/115480**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104535409 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 22 April 2015 (2015-04-22) entire document	1-8
A	CN 102135480 A (BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 27 July 2011 (2011-07-27) entire document	1-8
A	CN 202101910 U (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 04 January 2012 (2012-01-04) entire document	1-8
A	KR 10-1727405 B1 (UNIV. CHONBUK IND.NAT.COOP. FOUND) 02 May 2017 (2017-05-02) entire document	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/115480

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109406310	A	01 March 2019	None			
CN	205719826	U	23 November 2016	None			
CN	106198227	A	07 December 2016	None			
CN	107014690	A	04 August 2017	WO	2018170933	A1	27 September 2018
				US	2018275034	A1	27 September 2018
				US	10324014	B2	18 June 2019
CN	104535409	A	22 April 2015	WO	2016110067	A1	14 July 2016
				CN	104535409	B	08 December 2017
CN	102135480	A	27 July 2011	CN	102135480	B	12 June 2013
CN	202101910	U	04 January 2012	None			
KR	10-1727405	B1	02 May 2017	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/115480

A. 主题的分类 G01N 3/30 (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, EPDOC, 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+																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109406310 A (深圳大学) 2019年 3月 1日 (2019 - 03 - 01) 说明书第[0019]-[0035]段, 图1-8</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 205719826 U (中国科学技术大学) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 说明书第[0019]-[0046]段, 图1-4b</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106198227 A (辽宁工程技术大学) 2016年 12月 7日 (2016 - 12 - 07) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>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</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107014690 A (东北大学) 2017年 8月 4日 (2017 - 08 - 04) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104535409 A (中国矿业大学) 2015年 4月 22日 (2015 - 04 - 22) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102135480 A (北京理工大学) 2011年 7月 27日 (2011 - 07 - 27) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109406310 A (深圳大学) 2019年 3月 1日 (2019 - 03 - 01) 说明书第[0019]-[0035]段, 图1-8	1-8	A	CN 205719826 U (中国科学技术大学) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 说明书第[0019]-[0046]段, 图1-4b	1-8	A	CN 106198227 A (辽宁工程技术大学) 2016年 12月 7日 (2016 - 12 - 07) 全文	1-8	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	1-8	A	CN 107014690 A (东北大学) 2017年 8月 4日 (2017 - 08 - 04) 全文	1-8	A	CN 104535409 A (中国矿业大学) 2015年 4月 22日 (2015 - 04 - 22) 全文	1-8	A	CN 102135480 A (北京理工大学) 2011年 7月 27日 (2011 - 07 - 27) 全文	1-8
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 109406310 A (深圳大学) 2019年 3月 1日 (2019 - 03 - 01) 说明书第[0019]-[0035]段, 图1-8	1-8																								
A	CN 205719826 U (中国科学技术大学) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 说明书第[0019]-[0046]段, 图1-4b	1-8																								
A	CN 106198227 A (辽宁工程技术大学) 2016年 12月 7日 (2016 - 12 - 07) 全文	1-8																								
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	1-8																								
A	CN 107014690 A (东北大学) 2017年 8月 4日 (2017 - 08 - 04) 全文	1-8																								
A	CN 104535409 A (中国矿业大学) 2015年 4月 22日 (2015 - 04 - 22) 全文	1-8																								
A	CN 102135480 A (北京理工大学) 2011年 7月 27日 (2011 - 07 - 27) 全文	1-8																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> * 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 </td> <td style="vertical-align: top;"> "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 </td> </tr> </table>			* 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																						
* 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 2020年 1月 13日		国际检索报告邮寄日期 2020年 1月 23日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 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 传真号 (86-10)62019451		受权官员 何孟珂 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	CN 202101910 U (中国矿业大学) 2012年 1月 4日 (2012 - 01 - 04) 全文	1-8
A	KR 10-1727405 B1 (UNIV. CHONBUK IND. NAT. COOP. FOUND) 2017年 5月 2日 (2017 - 05 - 02) 全文	1-8

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/115480

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	109406310	A	2019年 3月 1日	无			
CN	205719826	U	2016年 11月 23日	无			
CN	106198227	A	2016年 12月 7日	无			
CN	107014690	A	2017年 8月 4日	WO	2018170933	A1	2018年 9月 27日
				US	2018275034	A1	2018年 9月 27日
				US	10324014	B2	2019年 6月 18日
CN	104535409	A	2015年 4月 22日	WO	2016110067	A1	2016年 7月 14日
				CN	104535409	B	2017年 12月 8日
CN	102135480	A	2011年 7月 27日	CN	102135480	B	2013年 6月 12日
CN	202101910	U	2012年 1月 4日	无			
KR	10-1727405	B1	2017年 5月 2日	无			