(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
2021 年 5 月 14 日 (14.05.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/088239 A1

(51) 国际专利分类号:
G01N 3/06 (2006.01) *G01N 3/30* (2006.01)
G01N 3/08 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/129987

(22) 国际申请日: 2019 年 12 月 30 日 (30.12.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201911085119.2 2019年11月8日 (08.11.2019) CN

(71) 申请人: 山东科技大学(SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。

(72) 发明人: 宁建国(NING, Jianguo); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 邱鹏奇(QIU, Pengqi); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 李壮(LI, Zhuang); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 李学慧(LI, Xuehui); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 杨书浩(YANG, Shuhao); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 胡善超(HU, Shanchao); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 王俊(WANG, Jun); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 沈圳(SHEN, Zhen); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。

(74) 代理人: 青岛锦佳专利代理事务所(普通合伙) (QINGDAO JINJIA PATENT AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国山东省青岛市

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR MEASURING DYNAMIC LATERAL STRAIN OF TEST PIECE BY MEANS OF LIQUID VOLUME

(54) **发明名称:** 一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置及方法

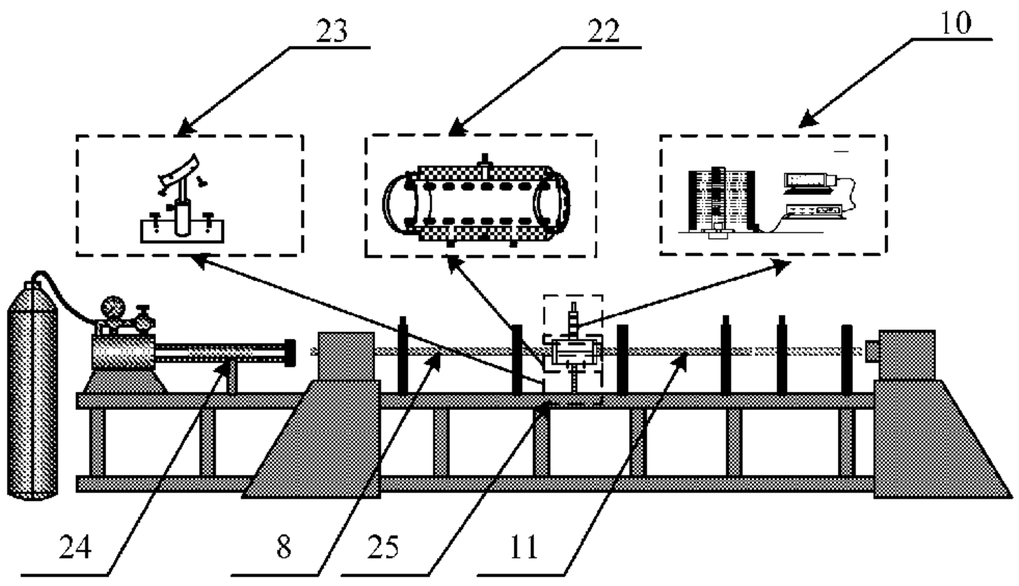


图 2

(57) **Abstract:** Disclosed are a device and method for measuring the dynamic lateral strain of a test piece by means of liquid volume, the measuring device comprising a conversion device which is used for converting dynamic lateral strain information of a piece to be tested into liquid elevation dynamic change information, an collection device which is used for acquiring the liquid elevation dynamic change information in real time, and a fixing device which is used for fixing the conversion device to an SHPB experiment platform and adjusting the vertical height of the conversion device. The present invention converts the lateral strain of a test piece to a change in measured liquid volume, and same is further converted into a change in liquid elevation. A high-speed dynamic signal collection instrument collects an elevation signal received by an elevation signal sensor, converts the elevation signal of a liquid into a digital signal and transmits same to a computer. A curve of volume changing over time is formed in the computer, and a curve of the lateral strain of the test piece changing over time under a dynamic load may be obtained according to specific size information and so on of the test piece. In the present invention, measurement results of the dynamic lateral strain of a test piece are accurate, and the measurement method is reasonable and reliable.

[见续页]

WO 2021/088239 A1

黄岛区香江路713-1号拓谱产教园H座115室（联系人：朱玉建）, Shandong 266555 (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, 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：本发明公开一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置及方法，该测量装置包括用于将待测试件的动态侧向应变信息转化为液体高程动态变化信息的转换装置，用于实时获取液体高程动态变化信息的采集装置，以及用于将转换装置固定在SHPB实验台上且调节转换装置竖直高度的固定装置。本发明将试件的侧向应变转化为测量液体体积的变化，进一步转化成液体高程的变化，由高速动态信号采集仪采集高程信号传感器收到的高程信号，并将液体的高程信号转变为数字信号传送到计算机，在计算机形成体积随时间变化的曲线，再根据试件的具体尺寸信息等可以得到在动载下试件侧向应变随时间变化的曲线。本发明对试件动态侧向应变的测量结果准确，测量方法合理可靠。

一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及采用SHPB实验系统进行煤岩等脆性材料动态力学特性测试的技术领域，具体涉及一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置及方法。

背景技术

[0002] 在实际工程应用中，煤岩等材料常常受高强度动态冲击，材料在受短时间内高强度动载冲击时，表现出与静态加载截然不同的力学特性。由于分离式霍普金森压杆装置结构简单，设计思想新颖，一直是研究高应变率（10^{2}～10^{4}）下材料力学特性最主要的实验方法。在测量动载条件下煤岩等脆性材料的力学特性时，试件的轴向应变和轴向应力可以对波导杆上的应变信号进行换算获得。试件的动态侧向应变也是研究材料动态特性的一个重要参数。

发明概述

技术问题

[0003] 采用SHPB实验平台对煤岩等脆性材料进行加载试验时，现多采用在试件侧面粘贴应变片的方法来获得材料的侧向应变。该方法具有一定的局限性，其一，试件在受动载冲击下，试件的侧向应变往往是不均匀的，采用粘贴应变片的方法只能测试出试件侧面某一点的应变，以此来表示试件整体的侧向应变是不准确的。其二，对于动载冲击，短时间内试件的侧向应变急剧增加，很容易造成应变片的断路，导致侧向应变测量的不准确。其三，对于煤岩等脆性材料，由于其表面是相对粗糙的弧面，造成了应变片不易粘贴，且不能很好的贴合试件表面，动载作用下很容易造成应变片脱落，影响实验数据的完整性。其四，应变片粘贴在试件的表面，难以重复使用。

问题的解决方案

技术解决方案

[0004] 为了弥补现有采用粘贴应变片的方式获得试件动载侧向应变所存在的缺陷，本发明提出一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置及方法。

[0005] 本发明所采用的技术解决方案是：

[0006] 一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置，包括用于将待测试件的动态侧向应变信息转化为液体高程动态变化信息的转换装置，用于实时获取液体高程动态变化信息的采集装置，以及用于将转换装置固定在SHPB实验台上且调节转换装置竖直高度的固定装置；

[0007] 所述转换装置包括缸体、盖板和橡胶皮套，缸体呈空心圆筒状，水平布置，缸体的两端分别与盖板螺纹连接，在盖板的中心设置有供入射杆或透射杆穿过的圆孔，在缸体与盖板之间还设置有用于缸体内部空间密封的橡胶垫圈；待测试件呈圆柱状，所述橡胶皮套套在待测试件的外侧，并将待测试件紧紧包裹，待测试件置于缸体内部中心处，待测试件的两端分别与入射杆和透射杆的端部相抵触；在缸体的底部两侧开设有进液孔和第一出液孔，在缸体的顶部开设有第二出液孔，进液孔和第一出液孔与输液管路连接，在缸体的上方设置有量管，量管为两端敞口的透明玻璃管，竖直放置，量管的底部与第二出液孔相连通；

[0008] 所述采集装置包括高程信号传感器和高速动态信号采集仪，高程信号传感器包括传感器外壳，传感器外壳套设在量管的外部，在传感器外壳的一侧布置有垂直分布光源，在传感器外壳的另一侧布置有垂直分布感光元件；高程信号传感器通过导线与高速动态信号采集仪连接，高速动态信号采集仪与计算机连接；

[0009] 所述固定装置包括底座、活柱和弧形托板，底座固定在SHPB试验台上，活柱的底端与底座连接，活柱的顶端与弧形托板连接，弧形托板与缸体的底部连接，在活柱上配置有用于调节活柱升降的调节螺栓。

[0010] 优选的，在第二出液孔处设置有连通件，连通件呈倒T形结构，在连通件的内部竖向设置有贯通的连通孔，连通件的底部与缸体的顶部连接，连通件的上部插入量管中，且连通件将量管的底端敞口密封。

[0011] 优选的，所述盖板的外表面设置成磨砂面。

[0012] 优选的，所述进液孔和第一出液孔与输液管路之间采用锥形螺纹连接。

[0013] 优选的，所述传感器外壳为不透光的黑色外壳。

[0014] 一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的方法，采用如上所述的装置，包括以下步骤：

[0015] 第一步，将待测试件加工成圆柱形，测量并记录待测试件的径向半径和轴向长度；

[0016] 第二步，将转换装置放置在SHPB试验台的夹持试件位置处，通过固定装置的活柱调节转换装置的缸体至合适高度；将试件安置于橡胶皮套内，并将试件与橡胶皮套置于缸体内部，且试件通过SHPB实验装置中的入射杆与透射杆夹紧；

[0017] 第三步，安装好采集装置，打开高程信号传感器和高速动态信号采集仪，打开进液孔和第二出液孔，关闭第一出液孔，由进液孔向缸体内部注入液体，直到高程信号传感器开始收到信号；

[0018] 第四步，关闭进液孔，启动SHPB实验装置的冲击加载系统，发射子弹开始动载实验，高程信号传感器将量管内液体的高程信号转化为电信号，然后传输到高速动态信号采集仪中；

[0019] 第五步，由计算机保存高速动态信号采集仪采集到的数据，形成高程随时间变化的曲线，再结合量管内半径，试件原始径向半径和轴向长度，换算出在一次动载冲击中试件侧向应变随时间变化的曲线；

[0020] 第六步，打开第一出液孔，回收缸体内液体，然后拧开两侧盖板，将缸体取下，将试件从橡胶皮套中取出，清理试验台。

[0021] 上述第五步中所述的高程随时间变化的曲线与侧向应变随时间变化的曲线采用以下步骤换算：

[0022] 假设由高速动态信号采集仪采集到的由高程信号传感器获得的动态高程变化为$\triangle h(t)$，由于试件受到动载冲击产生的侧向扩容体积为$V_{侧}$，量管内获得的液体体积增量为$V_{量}$，计圆柱形试件的原长为l，试件原始半径为r，量管内半径为$R_{管}$，应力波加载到t时刻，轴向应变为$\varepsilon_{轴}(t)$，侧向应变为$\varepsilon_{侧}(t)$，则：

[0023] $$V_{侧}=\pi\{[r(1+\varepsilon_{侧}(t))]^{2}-r^{2}\}\times l(1-\varepsilon_{侧}(t))$$

[0024] $$V_{量}=\pi R_{管}^{2}\times\triangle h(t)$$

[0025] 由于缸体内部与量管相通，且量管与大气相通，故试件由于受动载冲击造成侧向应变增加的体积等于量管内部增加的液体体积，即

[0026] $$V_{量}=V_{侧}$$

[0027] 通过换算得到：

[]

$$\varepsilon_{侧}(t)=\sqrt{\frac{\Delta h(t)R_{管}^{2}}{R^{2}(1-\varepsilon_{轴}(t))}}+1-1$$

[0028] 即为应力波加载到 t时刻时试件的侧向应变。

发明的有益效果

[0029] （1）煤岩等脆性材料试件在受到动载冲击时的侧向应变是不均匀的，本发明将测量试件的侧向应变信息巧妙的转变为测量液体的体积变化信息，再根据液体体积变化信息结合试件基本信息换算出试件的侧向应变，测量方法合理，测量结果准确。

[0030] （2）煤岩类试件受动载时侧向应变率较高，以往采用粘贴应变片的方法很容易造成应变片断路，导致数据缺失，本发明采用液体体积转换的方法间接测量试件的侧向应变，避免了采用应变片测量的不足，测量方法更加可靠。

[0031] （3）煤岩类试件测量时，其表面为粗糙的曲面，手工粘贴应变片的方法常因粘贴角度不合适，或粘贴不牢固而不能捕获到试件真实的侧向应变，本发明避免了煤岩试件不光滑的曲面的影响以及人工误差，测量精度明显提高。

[0032] （4）本发明装置测量原理简单，操作方便，且可以重复使用。

对附图的简要说明

附图说明

[0033] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步说明：

[0034] 图1为本发明一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置结构原理示意图；

[0035] 图2为本发明装置在SHPB试验系统中的装配总图；

[0036] 图3为本发明装置中固定装置的结构示意图；

[0037] 图4为本发明装置中转换装置的结构示意图；

[0038] 图5为本发明装置中采集装置的结构示意图；

[0039] 图6为本发明中试件的参数标注示意图；

[0040] 图7为本发明测量方法的实验流程图。

[0041] 图中：1-底座，2-活柱，3-弧形托板，4-进液孔，5-缸体，6-入射杆侧盖板，7-橡胶垫圈，8-入射杆，9-待测试件，10-高程信号传感器，11-透射杆，12-透射杆侧盖板，13-橡胶皮套，14-第一出液孔，15-量管，16-导线，17-高速动态信号采集仪，18-计算机，19-垂直分布光源，20-传感器外壳，21-垂直分布感光元件，22-转换装置，23-固定装置，24-动载冲击装置，25-SHPB实验装置基座，26-采集装置，27-第二出液孔，28-连通件。

发明实施例

本发明的实施方式

[0042] 分离式霍普金森压杆实验系统是研究中高应变率（10^{2}～10^{4}）下材料力学性能的最主要的实验方法，是爆炸与冲击动力学实验技术中重要组成成分。针对现有常用往试件侧面贴应变片的方法获得试件侧向应变的局限性，本发明提出了一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置及方法。本发明利用试件在受动态冲击时试件侧面体积的膨胀，巧妙地将试件受动载时侧面体积的变化转换为液体体积的变化，进而获得试件受动载过程中动态的侧向应变参数。与传统手工贴应变片的方式相比，本发明实现原理简单，大大提高了测量精度，并且本发明装置可以重复使用，总体来说具有经济型。

[0043] 下面结合附图对本发明装置及方法进行更为具体地说明。

[0044] 结合附图，一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置，包括转换装置22、采集装置26和固定装置23，转换装置用于将待测试件的动态侧向应变信息转化为液体高程动态变化信息，具体地是通过密闭缸体等部件，将试件在受动态冲击时侧面体积的膨胀，转换为量管内液体高程的变化。采集装置26用于实时获取液体高程动态变化信息，具体地是通过高程信号传感器获得量管内液体高程动态变化信息，再通过计算机处理最终获得试件的实时动态侧向应变。固定装置23用于将转换装置固定在SHPB实验台上，保证在进行动载实验时转换装置不会发生移动造成实验误差，而且固定装置可调节转换装置的竖直高度，使缸体处于合适高度。

[0045] 所述转换装置22包括缸体5、入射杆侧盖板6、透射杆侧盖板12和橡胶皮套13，

缸体5呈空心圆筒状，水平布置，缸体的两端分别与入射杆侧盖板6和透射杆侧盖板12螺纹连接，以上两侧盖板均为圆形，中部有一略大于入射杆8或透射杆11直径的圆孔，以方便入射杆或透射杆穿过并移动。在缸体5与盖板之间还设置有用于缸体内部空间密封的橡胶垫圈7，橡胶垫圈7具体为圆环形橡胶垫片，其固定在缸体5的端面与盖板内侧面之间，橡胶垫圈的内环与穿过的入射杆或透射杆紧密接触，起到密封作用，保证两侧盖板与缸体5形成密闭的储液空间。

[0046] 待测试件9加工成圆柱状，直径与入射杆8或透射杆11的直径相等。橡胶皮套13套在待测试件的外侧，并将待测试件紧紧包裹。待测试件置于缸体内部中心处，待测试件的两端分别与入射杆和透射杆的端部相抵触。待测试件侧面包裹橡胶皮套的目的是将试件与缸体内充注的液体隔绝，消除液体对试件侧向应变的影响。这样通过橡胶皮套将试件的侧面包裹，通过入射杆和透射杆将试件的两端掩盖，可使得试件与缸体内的液体完全隔绝，在实验过程中不用考虑试件材料会否与缸体内的液体发生吸附等问题，保证了实验结果的准确性。

[0047] 在缸体的底部两侧开设有进液孔4和第一出液孔14，在缸体的顶部开设有第二出液孔27，进液孔4和第一出液孔14与输液管路连接。在缸体的上方设置有量管15，量管15为两端敞口的透明玻璃管，竖直放置，量管15的底部与第二出液孔27相连通。

[0048] 所述采集装置26包括高程信号传感器10和高速动态信号采集仪17，高程信号传感器10包括传感器外壳20，传感器外壳20套设在量管15的外部，在传感器外壳的一侧布置有垂直分布光源19，在传感器外壳的另一侧布置有垂直分布感光元件21。高程信号传感器10通过导线16与高速动态信号采集仪17连接，高速动态信号采集仪17通过导线与计算机18连接。

[0049] 所述传感器外壳20为不透光的黑色外壳，可以阻隔外部光线对感光元件的干扰。所述缸体内的液体可选择不透光的黑色液体等。这样垂直分布光源19射出的光线通过透明量管15后由垂直分布感光元件21接收到，可以将量管内液体的高程信号转化为电信号，再由数据线传输到高速动态信号采集仪中，最终传输到计算机中形成高程随时间变化的曲线，经过处理得到试件的侧向应变随时间变化的曲线。

[0050] 所述固定装置23包括底座1、活柱2和弧形托板3，底座1为长板型，两侧开有两孔，可以通过螺栓固定在SHPB实验装置基座25上。活柱2的底端与底座连接，活柱2的顶端与弧形托板3连接，弧形托板3与缸体的底部连接。在活柱上配置有调节螺栓，用于调节活柱的升降，以保证被测试件与SHPB波导杆（入射杆和透射杆）满足同一高度。

[0051] 作为对本发明的进一步设计，在第二出液孔处设置有连通件28，连通件28呈倒T形结构，在连通件的内部竖向设置有贯通的连通孔，连通件的底部与缸体的顶部连接，连通件的上部插入量管15中，且连通件将量管的底端敞口密封。缸体5内的液体经连通件28进入量管15中。连通件28的设置既方便了缸体与量管的连通，又方便了量管的安装固定。

[0052] 更进一步的，所述入射杆侧盖板6与透射杆侧盖板12的外表面均设置成磨砂面，便于装卸。

[0053] 进一步的，上述橡胶皮套的两端设置有向外突出的圆环，橡胶皮套的伸展方向与圆环所处于的平面相垂直。这样在盖板与缸体之间进行螺纹连接时，橡胶皮套的圆环和橡胶垫圈一并置于盖板内侧和缸体端面之间，由盖板和缸体压紧，可进一步起到缸体内部的密封效果。

[0054] 更进一步的，所述进液孔4和第一出液孔14分别与输液管路的进液管和出液管之间采用锥形螺纹连接，锥形螺纹可以实现过盈配合，保证密封性。

[0055] 本发明还提供一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的方法。试件在受到动载冲击时，产生动态的侧向应变，但试件在受动载时的侧向应变是不均匀的，本发明方法巧妙的将测量试件的侧向应变转移到测量液体体积的变化，再根据液体体积的动态变化换算获得试件的动态侧向应变。

[0056] 一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的方法，采用如上所述的装置，包括以下步骤：

[0057] 第一步，将待测试件9加工成圆柱形，测量并记录待测试件的径向半径和轴向长度。

[0058] 第二步，将转换装置22放置在SHPB实验装置的基座上，并置于夹持试件位置处，通过固定装置的活柱2调节转换装置的缸体5至合适高度。将待测试件9安置

于橡胶皮套13内，并将试件与橡胶皮套置于缸体5内部，且试件通过SHPB实验装置中的入射杆8与透射杆11夹紧。

[0059] 第三步，安装好采集装置26，打开高程信号传感器10和高速动态信号采集仪17，打开进液孔4和第二出液孔27，关闭第一出液孔14，由进液孔向缸体内部注入黑色液体，直到高程信号传感器10开始收到信号。

[0060] 第四步，关闭进液孔4，启动SHPB实验装置的冲击加载系统（包括动载冲击装置24），发射子弹开始动载实验，高程信号传感器10将量管内液体的高程信号转化为电信号，然后传输到高速动态信号采集仪17中。

[0061] 第五步，由计算机保存高速动态信号采集仪采集到的数据，形成高程随时间变化的曲线，再结合量管内半径，试件原始径向半径和轴向长度，换算出在一次动载冲击中试件侧向应变随时间变化的曲线。

[0062] 第六步，打开第一出液孔14，回收缸体内液体，然后拧开两侧盖板即入射杆侧盖板6和透射杆侧盖板12，将缸体5取下，将试件从橡胶皮套中取出，清理试验台。

[0063] 上述第五步中所述的高程随时间变化的曲线与侧向应变随时间变化的曲线采用以下步骤换算：

[0064] 假设由高速动态信号采集仪采集到的由高程信号传感器获得的动态高程变化为$\triangle h(t)$，由于试件受到动载冲击产生的侧向扩容体积为$V_{侧}$，量管内获得的液体体积增量为$V_{量}$，计圆柱形试件的原长为l，试件原始半径为r，量管内半径为$R_{管}$，应力波加载到t时刻，轴向应变为$\varepsilon_{轴}(t)$，侧向应变为$\varepsilon_{侧}(t)$，则：

[0065] $$V_{侧}=\pi\{[r(1+\varepsilon_{侧}(t))]^{2}-r^{2}\}\times l(1-\varepsilon_{侧}(t))$$

[0066] $$V_{量}=\pi R_{管}^{2}\times\triangle h(t)$$

[0067] 由于缸体内部与量管相通，且量管与大气相通，故试件由于受动载冲击造成侧向应变增加的体积等于量管内部增加的液体体积，即

[0068] $$V_{量}=V_{侧}$$

[0069] 通过换算得到：

[]

$$\varepsilon_{侧}(t)=\sqrt{\frac{\Delta h(t)R_{管}^{2}}{h^{2}(1-\varepsilon_{轴}(t))}+1}-1$$

[0070] 即为应力波加载到 t时刻时试件的侧向应变。

[0071] 上述方式中未述及的部分采取或借鉴已有技术即可实现。

[0072] 需要说明的是，在本说明书的教导下，本领域技术人员所作出的任何等同替代方式，或明显变型方式，均应在本发明的保护范围之内。

权利要求书

[权利要求 1] 一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置，其特征在于：包括用于将待测试件的动态侧向应变信息转化为液体高程动态变化信息的转换装置，用于实时获取液体高程动态变化信息的采集装置，以及用于将转换装置固定在SHPB实验台上且调节转换装置竖直高度的固定装置；

所述转换装置包括缸体、盖板和橡胶皮套，缸体呈空心圆筒状，水平布置，缸体的两端分别与盖板螺纹连接，在盖板的中心设置有供入射杆或透射杆穿过的圆孔，在缸体与盖板之间还设置有用于缸体内部空间密封的橡胶垫圈；待测试件呈圆柱状，所述橡胶皮套套在待测试件的外侧，并将待测试件紧紧包裹，待测试件置于缸体内部中心处，待测试件的两端分别与入射杆和透射杆的端部相抵触；在缸体的底部两侧开设有进液孔和第一出液孔，在缸体的顶部开设有第二出液孔，进液孔和第一出液孔与输液管路连接，在缸体的上方设置有量管，量管为两端敞口的透明玻璃管，竖直放置，量管的底部与第二出液孔相连通；

所述采集装置包括高程信号传感器和高速动态信号采集仪，高程信号传感器包括传感器外壳，传感器外壳套设在量管的外部，在传感器外壳的一侧布置有垂直分布光源，在传感器外壳的另一侧布置有垂直分布感光元件；高程信号传感器通过导线与高速动态信号采集仪连接，高速动态信号采集仪与计算机连接；

所述固定装置包括底座、活柱和弧形托板，底座固定在SHPB试验台上，活柱的底端与底座连接，活柱的顶端与弧形托板连接，弧形托板与缸体的底部连接，在活柱上配置有用于调节活柱升降的调节螺栓。

[权利要求 2] 根据权利要求1所述的一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置，其特征在于：在第二出液孔处设置有连通件，连通件呈倒T形结构，在连通件的内部竖向设置有贯通的连通孔，连通件的底部与缸体的顶部连接，连通件的上部插入量管中，且连通件将量管的底端敞口

密封。

[权利要求 3] 根据权利要求1所述的一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置，其特征在于：所述盖板的外表面设置成磨砂面。

[权利要求 4] 根据权利要求1所述的一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置，其特征在于：所述进液孔和第一出液孔与输液管路之间采用锥形螺纹连接。

[权利要求 5] 根据权利要求1所述的一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的装置，其特征在于：所述传感器外壳为不透光的黑色外壳。

[权利要求 6] 一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的方法，采用如权利要求1-5中任一权利要求所述的装置，其特征在于包括以下步骤：

第一步，将待测试件加工成圆柱形，测量并记录待测试件的径向半径和轴向长度；

第二步，将转换装置放置在SHPB试验台的夹持试件位置处，通过固定装置的活柱调节转换装置的缸体至合适高度；将试件安置于橡胶皮套内，并将试件与橡胶皮套置于缸体内部，且试件通过SHPB实验装置中的入射杆与透射杆夹紧；

第三步，安装好采集装置，打开高程信号传感器和高速动态信号采集仪，打开进液孔和第二出液孔，关闭第一出液孔，由进液孔向缸体内部注入液体，直到高程信号传感器开始收到信号；

第四步，关闭进液孔，启动SHPB实验装置的冲击加载系统，发射子弹开始动载实验，高程信号传感器将量管内液体的高程信号转化为电信号，然后传输到高速动态信号采集仪中；

第五步，由计算机保存高速动态信号采集仪采集到的数据，形成高程随时间变化的曲线，再结合量管内半径，试件原始径向半径和轴向长度，换算出在一次动载冲击中试件侧向应变随时间变化的曲线；

第六步，打开第一出液孔，回收缸体内液体，然后拧开两侧盖板，将缸体取下，将试件从橡胶皮套中取出，清理试验台。

[权利要求 7] 根据权利要求6所述的一种通过液体体积测量试件动态侧向应变的方

法，其特征在于，第五步中所述的高程随时间变化的曲线与侧向应变随时间变化的曲线采用以下步骤换算：

假设由高速动态信号采集仪采集到的由高程信号传感器获得的动态高程变化为△h(t)，由于试件受到动载冲击产生的侧向扩容体积为 $V_{侧}$，量管内获得的液体体积增量为 $V_{量}$，计圆柱形试件的原长为 l，试件原始半径为 r，量管内半径为 $R_{管}$，应力波加载到 t时刻，轴向应变为 $\varepsilon_{轴}$(t)，侧向应变为 $\varepsilon_{侧}$(t)，则：

$$V_{侧}=\pi\{[\,r(1+\varepsilon_{侧}(t))]^{2}-r^{2}\}\times l\,(1-\varepsilon_{侧}(t))$$

$$V_{量}=\pi R_{管}^{2}\times\Delta h(t)$$

由于缸体内部与量管相通，且量管与大气相通，故试件由于受动载冲击造成侧向应变增加的体积等于量管内部增加的液体体积，即

$$V_{量}=V_{侧}$$

通过换算得到：

$$\varepsilon_{侧}(t)=\sqrt{\frac{\Delta h(t)R_{管}^{2}}{r^{2}(1-\varepsilon_{轴}(t))}+1}-1$$

即为应力波加载到 t时刻时试件的侧向应变。

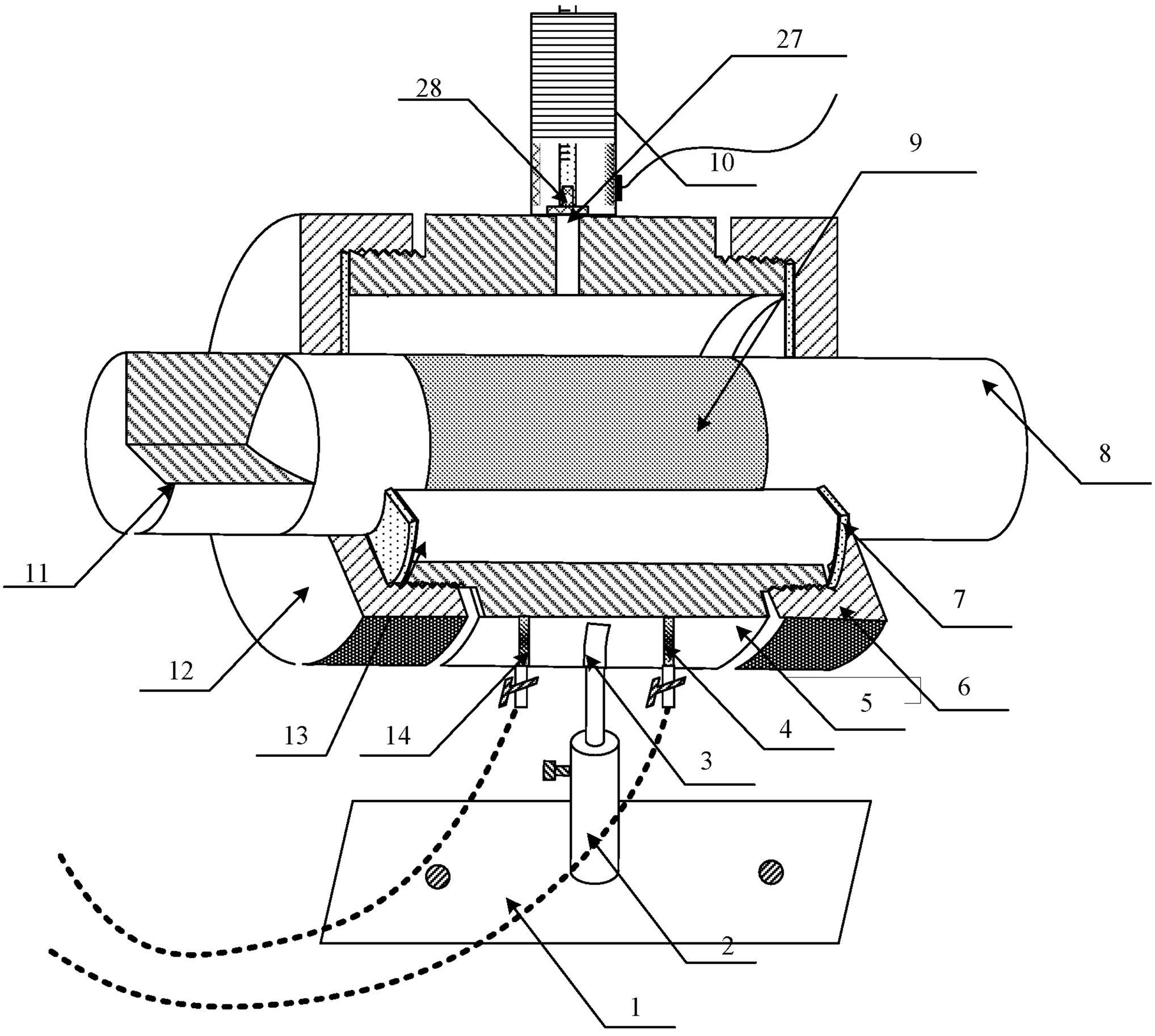


图 1

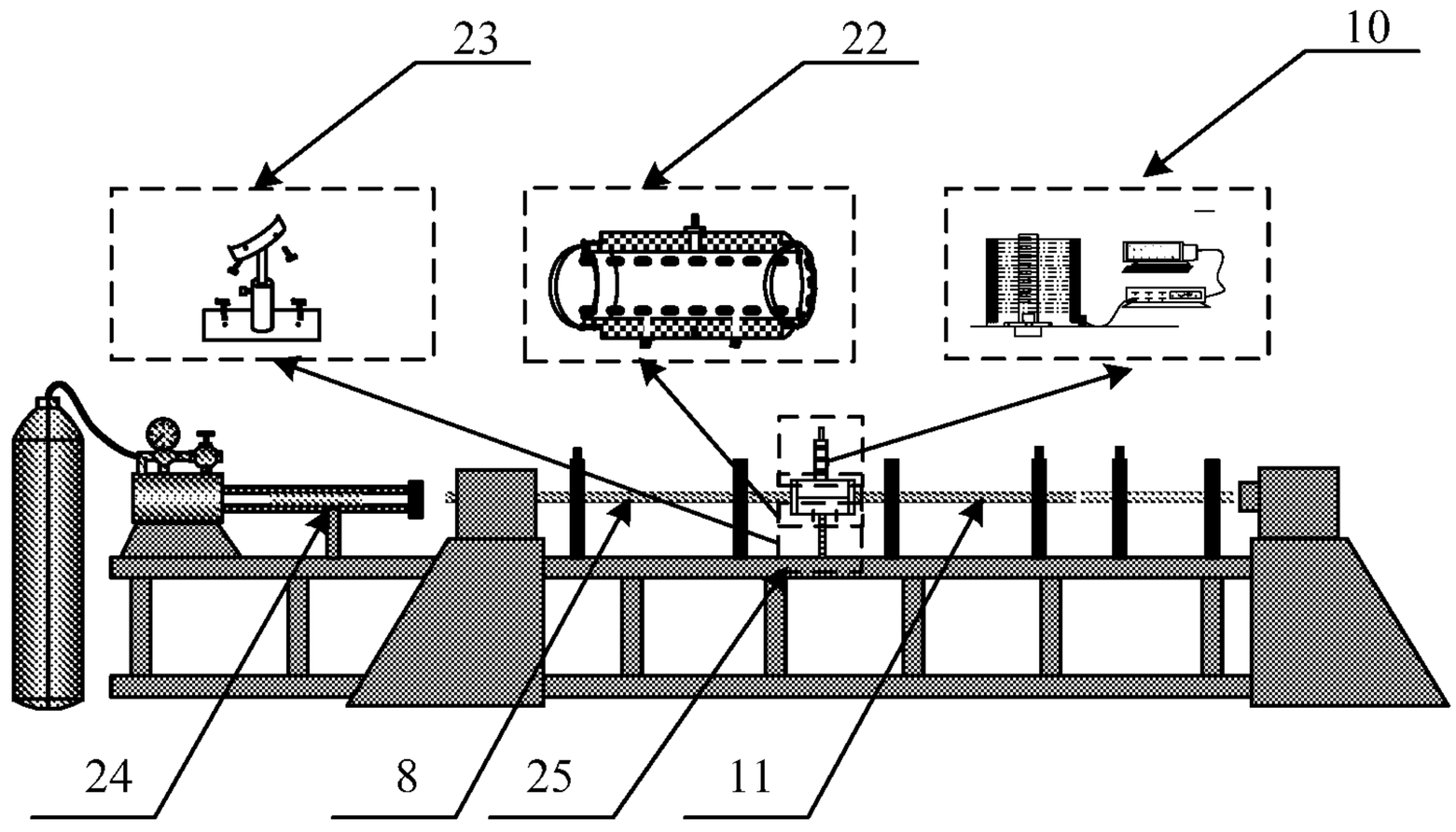


图 2

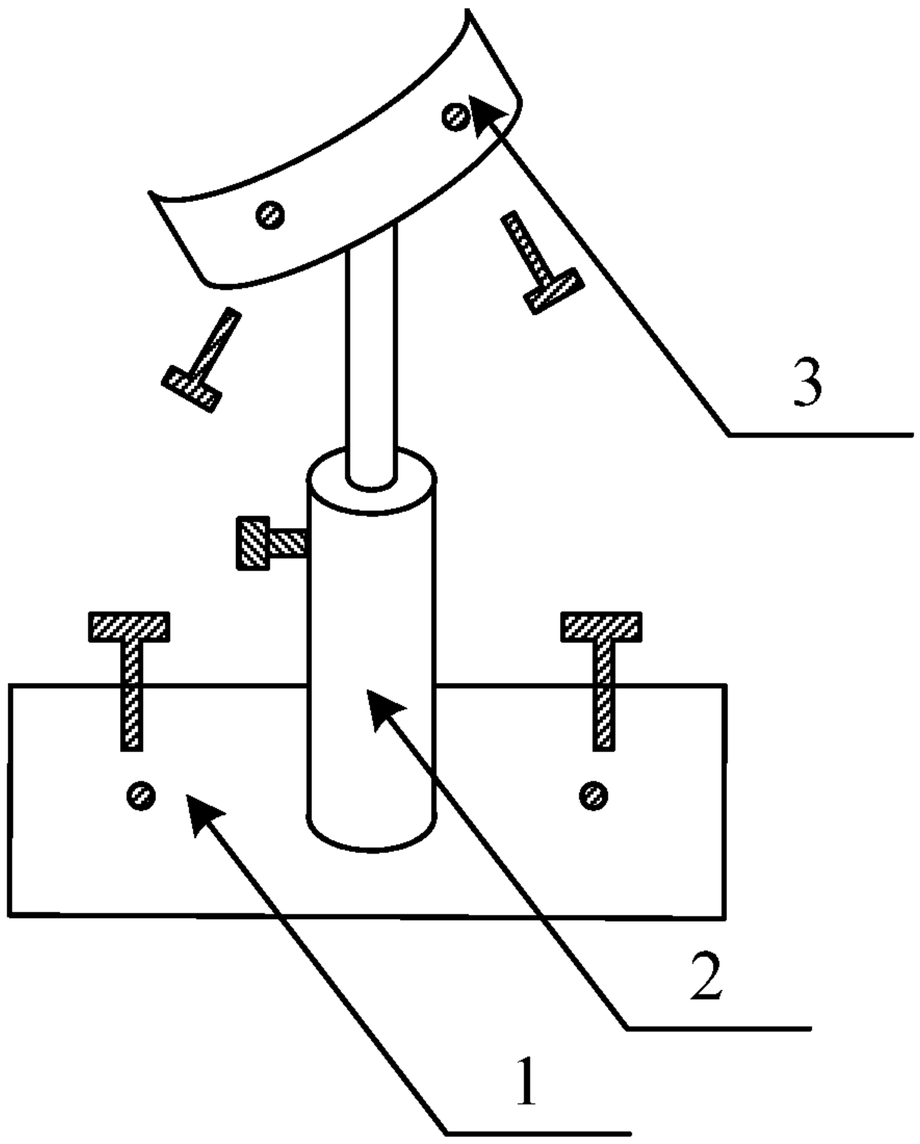


图 3

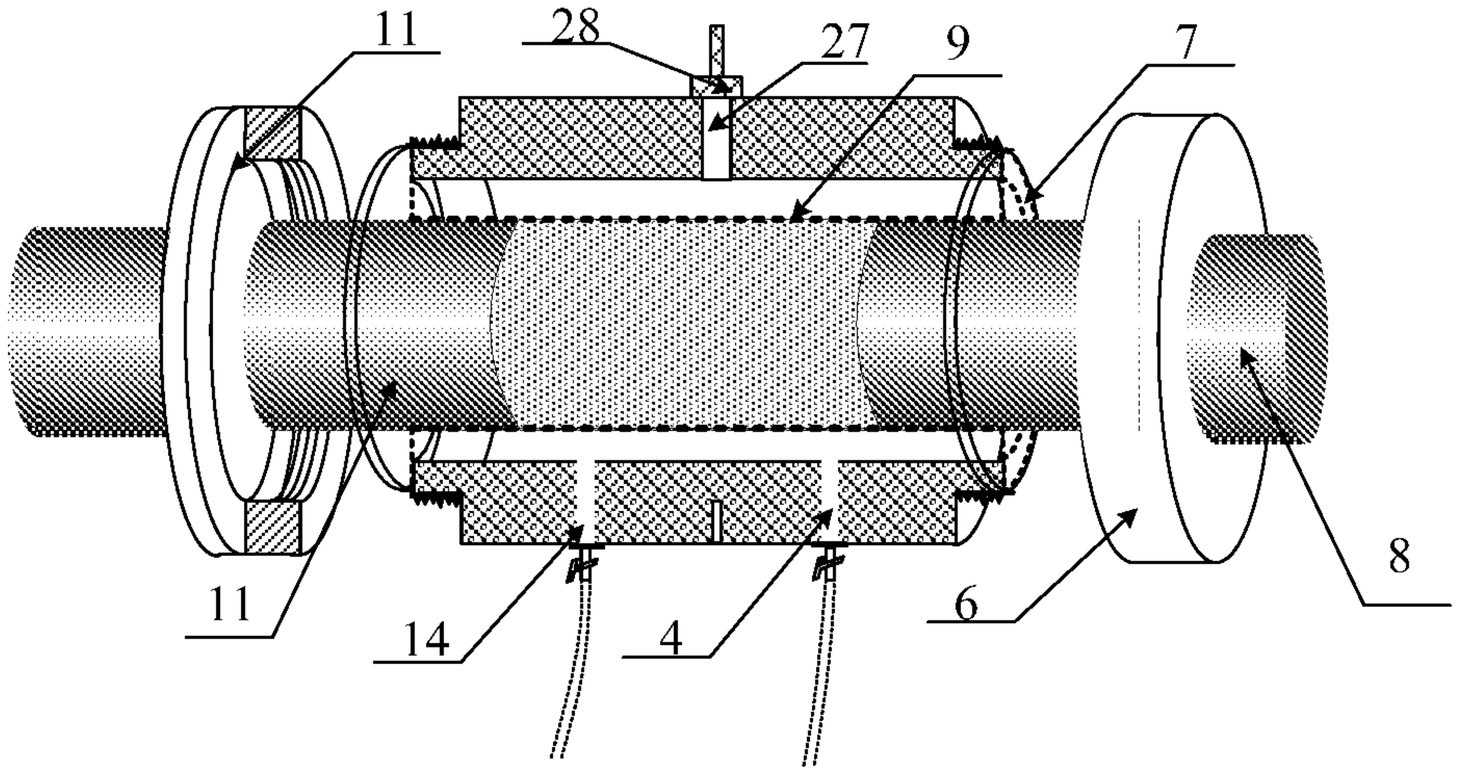


图 4

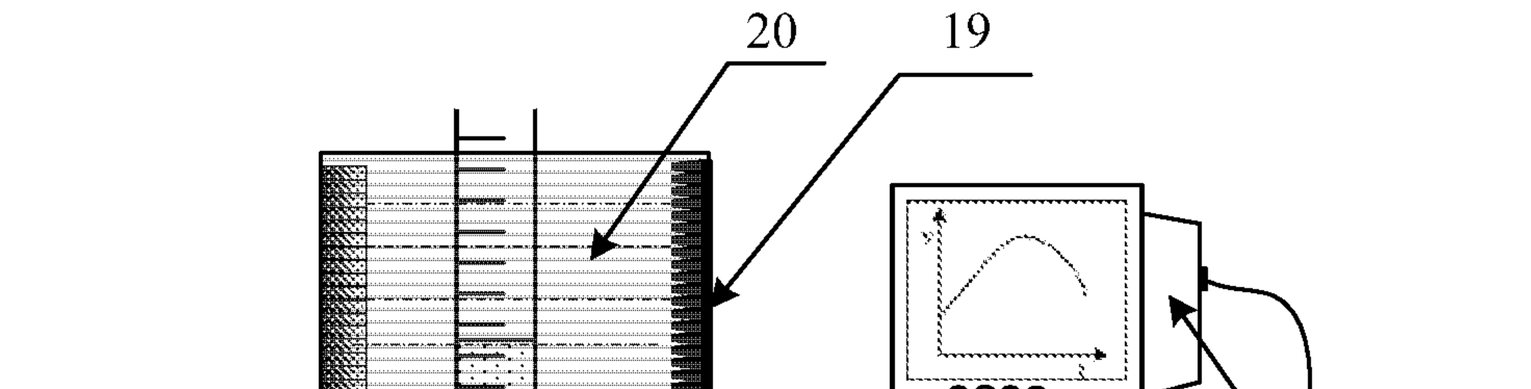


图 5

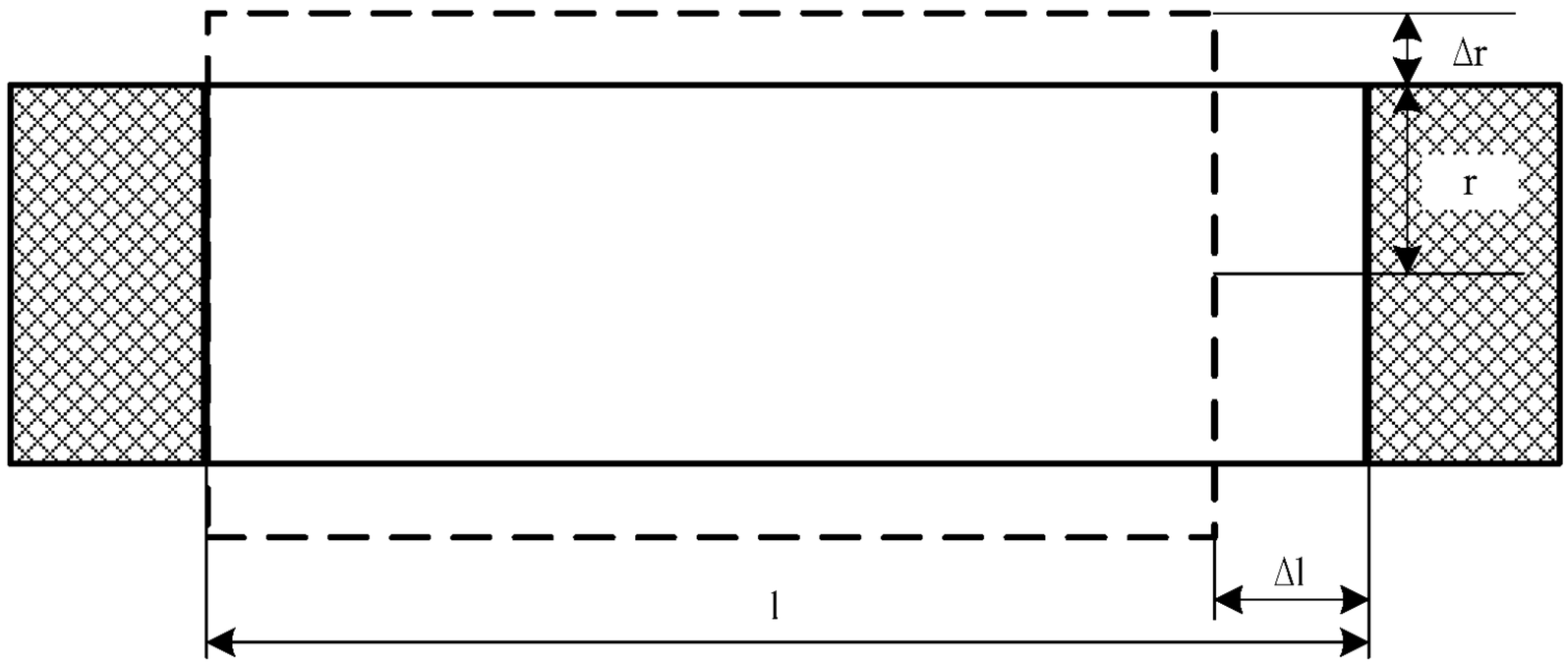

Δr
r
Δl
l

图 6

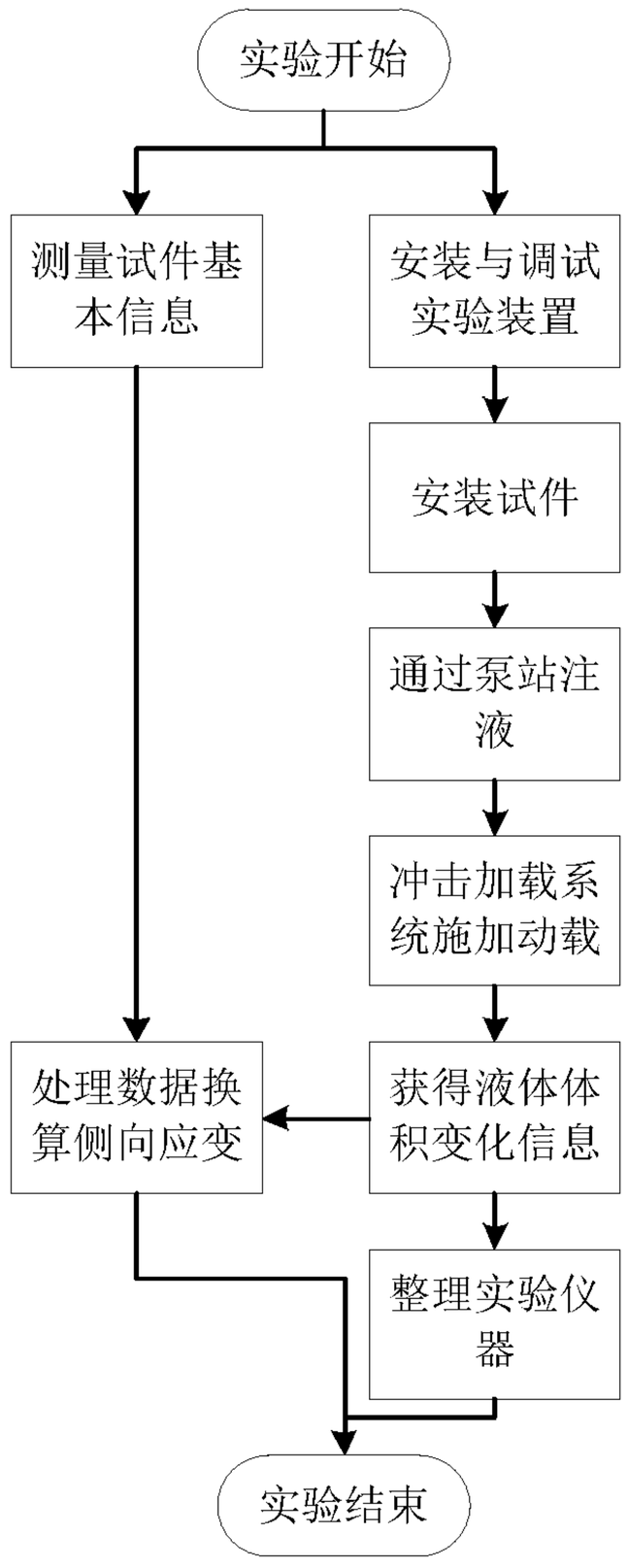

实验开始
测量试件基本信息
安装与调试实验装置
安装试件
通过泵站注液
冲击加载系统施加动载
获得液体体积变化信息
处理数据换算侧向应变
整理实验仪器
实验结束

图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/129987

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 3/06(2006.01)i; G01N 3/08(2006.01)i; 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)

G01N3

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; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT: 液体, 液位, 液面, 油, 水, 高度, 体积, 高程, 变化, 应变, 变形, 形变, liquid, water, oil, volume, height, level, strain, deformat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 104198291 A (TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 10 December 2014 (2014-12-10) description paragraphs [0035]-[0054], figure 1	1-7
Y	CN 204389284 U (LUOYANG LIWEI TECHNOLOGY CO., LTD.) 10 June 2015 (2015-06-10) description paragraphs [0013], [0014], figure 1	1-7
A	RU 2697416 C1 (TOROPETSKIJ KONSTANTIN VIKTOROVICH) 14 August 2019 (2019-08-14) entire document	1-7
A	JP S57199937 A (CHIYODA CHEM ENG CONSTRUCT CO) 08 December 1982 (1982-12-08) entire document	1-7
A	CN 106644750 A (LING, Xianchang) 10 May 2017 (2017-05-10) entire document	1-7
A	CN 106525598 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM (EAST CHINA)) 22 March 2017 (2017-03-22) 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
24 June 2020	**24 July 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
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/129987

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	104198291	A	10 December 2014	CN	104198291	B	25 May 2016
CN	204389284	U	10 June 2015		None		
RU	2697416	C1	14 August 2019		None		
JP	S57199937	A	08 December 1982		None		
CN	106644750	A	10 May 2017	CN	106644750	B	05 July 2019
CN	106525598	A	22 March 2017	CN	106525598	B	18 June 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/129987

A. 主题的分类

G01N 3/06(2006.01)i; G01N 3/08(2006.01)i; 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)

G01N3

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;CNTXT;CNKI;VEN;USTXT;WOTXT;EPTXT:液体，液位，液面，油，水，高度，体积，高程，变化，应变，变形，形变，liquid，water，oil，volume，height，level，strain，deformat+

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
Y	CN 104198291 A (太原理工大学) 2014年 12月 10日 (2014-12-10) 说明书第[0035]-[0054]段，图1	1-7
Y	CN 204389284 U (洛阳利维科技有限公司) 2015年 6月 10日 (2015-06-10) 说明书第[0013]、[0014]段，图1	1-7
A	RU 2697416 C1 (TOROPETSKIJ KONSTANTIN VIKTOROVICH) 2019年 8月 14日 (2019-08-14) 全文	1-7
A	JP S57199937 A (CHIYODA CHEM ENG CONSTRUCT CO) 1982年 12月 8日 (1982-12-08) 全文	1-7
A	CN 106644750 A (凌贤长) 2017年 5月 10日 (2017-05-10) 全文	1-7
A	CN 106525598 A (中国石油大学华东) 2017年 3月 22日 (2017-03-22) 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 6月 24日	2020年 7月 24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 传真号 (86-10)62019451	全先荣 电话号码 86-（0512）-88997257

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/129987

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	104198291	A	2014年 12月 10日	CN	104198291	B	2016年 5月 25日
CN	204389284	U	2015年 6月 10日		无		
RU	2697416	C1	2019年 8月 14日		无		
JP	S57199937	A	1982年 12月 8日		无		
CN	106644750	A	2017年 5月 10日	CN	106644750	B	2019年 7月 5日
CN	106525598	A	2017年 3月 22日	CN	106525598	B	2019年 6月 18日