

(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 12 月 10 日 (10.12.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/244256 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 15/08 (2006.01) *G01N 3/26* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/076449
- (22) 国际申请日: 2020 年 2 月 24 日 (24.02.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910487153.6 2019年6月5日 (05.06.2019) CN
- (71) 申请人: 东南大学 (SOUTHEAST UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区东南大学路2号, Jiangsu 211189 (CN)。
- (72) 发明人: 张云升 (ZHANG, Yunsheng); 中国江苏省南京市江宁区东南大学路2号, Jiangsu 211189 (CN)。 钱如胜 (QIAN, Rusheng); 中国江苏省南京市江宁区东南大学路2号, Jiangsu 211189 (CN)。

石加顺 (SHI, Jiashun); 中国江苏省南京市江宁区东南大学路2号, Jiangsu 211189 (CN)。 乔宏霞 (QIAO, Hongxia); 中国江苏省南京市江宁区东南大学路2号, Jiangsu 211189 (CN)。

(74) 代理人: 南京苏高专利商标事务所 (普通合伙) (NANJING SUGAO PATENT AND TRADEMARK FIRM (ORDINARY PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京市白下区中山东路198号龙台国际大厦1912室, Jiangsu 210005 (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,

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR TESTING RADIAL GAS PERMEABILITY OF CONCRETE

(54) 发明名称: 一种混凝土气体径向渗透性能测试装置及方法

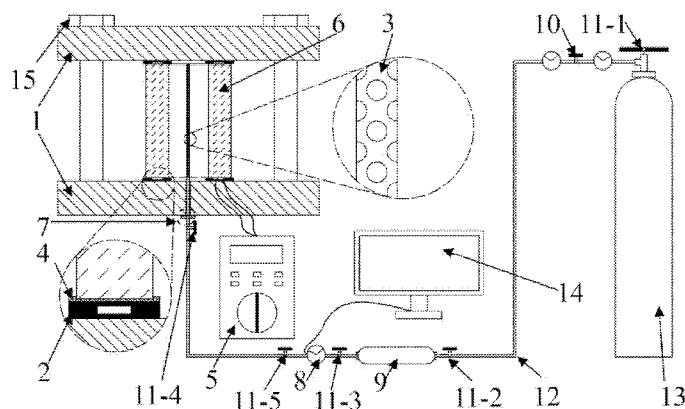


图 1

(57) Abstract: A device and method for testing the radial gas permeability of concrete, the device comprising a pressure device and a gas transmission device; the pressure device comprises samples (6), rigid sealing devices (1) disposed between upper and lower ends of the samples (6), loading devices (15) acting on the rigid sealing devices (1), induction washers (2) placed between the samples (6) and contact surfaces of the rigid sealing devices (1), and a multimeter (5) connected to an induction washer (2); and the gas transmission device is connected to the pressure device. By means of embedding flexible sensors in elastic washers to prepare self-inductive washers (2) so as to monitor the load received by the samples (6), the device achieves concrete sealing and the quantification of the load; moreover, the quantitative real-time capture of air pressure changes in the process of gas permeation is achieved by means of a high-precision barometer (8) in the gas transmission device, thus solving the problem of the quantitative characterization of a coefficient of the radial gas permeability of concrete.

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, 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))。
- 包括经修改的权利要求(条约第19条(1))。

(57) 摘要: 一种混凝土气体径向渗透性能测试装置及方法, 该装置包括压力装置和输气装置; 压力装置包括试样(6)、设置于试样(6)上下端之间的刚性密封装置(1)、作用于刚性密封装置(1)上的加载装置(15)、放置于试样(6)与刚性密封装置(1)接触面之间的感应垫圈(2)、与感应垫圈(2)连接的万用表(5); 输气装置与压力装置连接。该装置将柔性传感器嵌入弹性垫圈制备成自感应垫圈(2)监测试样(6)所受载荷, 实现了混凝土密封性和载荷定量化, 通过输气装置中的高精度气压表(8)实现气体渗透过程中气压变化的定量实时捕捉, 解决了混凝土气体径向渗透系数的定量表征问题。

一种混凝土气体径向渗透性能测试装置及方法

技术领域

本发明涉及一种渗透性能测试装置及方法，尤其涉及一种混凝土气体径向渗透性能测试装置及方法。

背景技术

混凝土是当今最重要的建筑材料，广泛应用于建筑、交通、桥梁、水利、地下工程等领域，同时面临严峻环境考验，比如岩土环境、海洋环境、大气环境等。作为混凝土耐久性指标之一的渗透性备受关注，主要包括水渗透性、离子渗透性和气体渗透性。水渗透性针对高强和超高强混凝土不再适用，因其太过密实。离子渗透性测试因为需要前期处理，比如饱和度等而适用范围受限。因此，混凝土气体渗透性成为混凝土耐久性重要指标，且其可在低温环境中使用而弥补水渗透性和气体渗透性表征的不足，尤其是在冰点以下环境用于混凝土渗透性的表征。

目前混凝土气体渗透性测试方法有常压流量法、变压流量法和变压压力法。前两者需要精密的气体流量计作为测试准确性的保障，相对而言变压压力法的测试更加准确且易于操作。但目前大量关于混凝土气体渗透性的研究集中于气体的一维传输，即轴向传输。代表研究方法 CemBure 法，解决了圆柱式样侧面密封问题-提供围压进行密封，该方法得到了广泛应用。但是，混凝土建筑处于大气之中，气体不仅仅有一维传输，更多的是多维传输。同时，多维传输在工程应用中十分广泛。例如西气东输的天然气管道中气体传输，其气体储存罐和传输管道涉及混凝土保护层。在和能源开发过程中，核反应堆外围重混凝土保护层，在核反应应用过程中产生大量高压气体。而且，在全世界范围内频频发生的火灾过程中产生大量气体，瞬间高压渗透于混凝土建筑的方方面面，气体渗透性传输为火灾后混凝土耐久性的评估起到重要作用。因此，混凝土气体的多维传输应用广泛，不仅涉及日常生活中的建筑，而且关系到天然气的运输与储存、核能源开发及火灾后建筑物的安全性评估。

目前的气体渗透性测试设备仅能研究混凝土气体一维(轴向)传输过程，无法实现混凝土气体径向渗透过程研究。

发明内容

发明目的：本发明的其中一个目的是提供一种混凝土气体径向渗透性能测试装置，该装置能够解决混凝土气体径向渗透性能测试的密封性和载荷定量化的问题。

本发明的另一个目的是提供一种混凝土气体径向渗透性能测试的方法，通过该方法，能够研究各状态下混凝土气体径向渗透的变化规律，以及根据所推导方

程进行气体径向渗透系数计算。

技术方案：本发明的混凝土气体径向渗透性能测试装置包括压力装置和输气装置；所述压力装置包括试样、设置于试样上下端之间用于密封试样的刚性密封装置、作用于刚性密封装置上用于对试样施加载荷的加载装置、放置于试样与刚性密封装置接触面之间用于密封及感应压力的感应垫圈、与感应垫圈连接用于检测感应垫圈电阻的万用表；所述输气装置包括与压力装置通过气体导管连接的气瓶、与气体导管连接用于检测气体导管内气体压力的气压表、与气压表连接的计算机、安装于气体导管上用于控制气体流通的气阀。

优选地，所述感应垫圈为内嵌柔性压力传感器的弹性感应垫圈。

优选地，所述气体导管与压力装置的连接处安装有增加密封性的气嘴。

优选地，在感应垫圈分别与刚性密封装置和试样的接触面上涂覆用于增加密封性的粘结剂。

优选地，还包括一端与输气装置连接另一端与刚性密封装置的上顶端连接用于使气体在试样内腔中均匀化流通的气体弥散管。

优选地，在气体导管上安装有气体缓冲瓶，在所述气体缓冲瓶两侧分别安装有第二气阀、第三气阀。

优选地，在气体导管上安装有用于对气压进行微调的气压微型调节器。

本发明还提供一种利用上述装置的测试方法，包括如下步骤：

(1) 预制试样，对所述测量装置进行气密性检验；

(2) 放置试样，对试样内通入气体，启动加载装置对试样施加载荷，通过万用表检测感应垫圈电阻，通过气压表实时检测渗透气体的气压变化，计算机进行数据采集；

(3) 基于推导的混凝土气体径向渗透表达式定量计算渗透系数，实现混凝土气体径向渗透过程性能测试。

优选地，所述气密性测试的步骤包括：打开气瓶使输气装置的导管内处于气体压力下，观察气压表的读数不变即为输气装置气密性良好；然后将密封性完好的输气装置与压力装置连接，向压力装置中通入气体，压力装置中未放置试样，若气压表读数不变则压力装置气密性良好。

优选地，所述气体径向渗透系数的计算公式如下：

$$K_r = \mu V \cdot \frac{\ln(\frac{r_e}{r_w})}{\pi L} \cdot \frac{\Delta P / \Delta t}{p_e^2 - p_w^2}$$

式中： K ——混凝土径向气体渗透系数，单位为 m^2 ，

p_e ——气体进气端的绝对压力，单位为 Pa ，

p_w ——试验环境压力，单位为 Pa ，
 μ ——气体的动力粘度，单位为 $Pa \cdot s$ ，
 r_e ——被测混凝土试块的内径，单位为 m ，
 r_w ——被测混凝土试块的外径，单位为 m ，
 L ——被测混凝土试块的高度，单位为 m ，
 ΔP ——稳定渗流气压降，单位为 Pa ，
 Δt ——稳定渗流时间，单位为 s 。

有益效果：与现有技术相比，本发明具有下列有益效果：1、本发明采用的内嵌式柔性力学传感器制备的感应垫圈，解决了混凝土气体径向渗透的密封性和载荷量化问题。2、本发明的装置可研究各状态下水泥混凝土气体径向渗透的变化规律。3、本发明的装置结构简单，应用前景十分广阔。4、本发明的方法简单易行，基于推导的混凝土气体径向渗透表达式定量计算其渗透系数，实现混凝土气体径向渗透过程的快速与准确测试。

附图说明

图1为本发明的装置示意图；
 图2为本发明的刚性密封装置与气体弥散管结构示意图；
 图3为本发明的感应垫圈示意图；
 图4为本发明实施例1的测试结果曲线图；
 图5为本发明实施例2的测试结果曲线图；
 图6为本发明实施例3的测试结果曲线图。

具体实施方式

下面结合附图及实施例对本发明作进一步说明。

实施例1

如图1所示，其中：1-1 上刚性密封装置，1-2 下刚性密封装置，2 感应垫圈，3 气体弥散管，4 粘结剂，5 万用表，6 试样，7 气嘴，8 气压表，9 气体缓冲瓶，10 气压微型调节器，11-1 第一气阀，11-2 第二气阀，11-3 第三气阀，11-4 第四气阀，11-5 第五气阀，12 气体导管，13 气瓶，14 计算机，15 加载装置。本发明的混凝土气体径向渗透性能测试装置包括压力装置和输气装置。压力装置包括试样6，本实施例试样6为混凝土环形试样，测试时根据需要可以设置不同形状的试样；在试样6上下端面分别涂覆自流平粘结剂4，再分别正中粘结感应垫圈2，然后分别在感应垫圈2表面上再次涂覆自流平粘结剂4，整体正中粘贴于上刚性密封装置1-1和下刚性密封装置1-2之间，气体弥散管3处于环形试样6正中央；本实施例的刚性密封装置1为两个圆形垫片，如图2所示，下刚性密封装置1-2的圆形垫片中间开有供气体弥散管3贯穿插入的小孔，气体弥散管3一端穿过下刚性密封

装置 1-2 与气嘴 7 连接, 然后依次贯穿下感应垫圈 2、试样 6、上感应垫圈 2 到达上刚性密封装置 1-1, 上下刚性密封装置 1 的圆形垫片的四周对称设有小孔, 本实施例的加载装置 15 为设置于小孔内的螺钉与螺母, 测试时, 通过旋紧小孔内的螺钉螺母对试样 6 施加载荷; 本实施例的感应垫圈 2 为内嵌柔性压力传感器的弹性感应垫圈, 如图 3 所示, 感应垫圈 2 中间开有小孔, 感应垫圈 2 中间的小孔比环形试样 6 的小孔半径小, 使试样 6 的边缘密封效果好; 当试样 6 上施加载荷时, 感应垫圈 2 感应到压力, 输出电阻信号, 通过与感应垫圈 2 连接的万用表 5 检测出电阻值, 基于传感器特性换算感应垫圈 2 中电阻所受压力等同试样所处压力环境, 直至试样 6 到达所需载荷, 使试样所受载荷定量化, 具体的, 本实施例在测试前, 通过单独对感应垫圈施加特定的压力从而检测出相应的电阻值并记录, 选取某一个电压对应的电阻值作为加载载荷的标准, 当在旋紧螺母的过程中, 观察到万用表 5 达到该电阻值, 则此时施加在试样 6 上的压力即为试验前记录的与该电阻值对应的压力值。

本发明的输气装置包括与压力装置通过气体导管 12 连接的气瓶 13, 在压力装置与气体导管 12 之间安装有控制气体进出压力装置的气嘴 7, 与气体导管 12 连接用于检测气体导管 12 内气体压力的气压表 8, 与气压表 8 连接的计算机 14, 在气瓶 13 的出口处安装有第一气阀 11-1, 在气体导管 12 上气压表 8 与气瓶 13 之间安装有气体缓冲瓶 9, 在所述气体缓冲瓶 9 与两侧分别安装有第二气阀 11-2、第三气阀 11-3, 在气压表 8 与气嘴 7 之间安装有第四气阀 11-4、第五气阀 11-5, 在气体导管 12 上第二气阀 11-2 与气瓶 13 之间安装有用于对气压进行微调的气压微型调节器 10。气压微型调节器 10 和高精度气压表 8 能够实现对气体的精确调节和气压的准确记录。

本发明还提供了利用上述装置测量的方法, 包括以下步骤:

(1) 采用 P.II52.5 硅酸盐水泥、自来水预制环形混凝土试样 6, 配合比 (g): 水泥-355.0, 砂-703, 粗集料(5~20mm)-1147, 水-195, 外加剂-0.00。按照配合比成型混凝土试样, 标准养护 90d。试验前预制环形混凝土试样, 105℃烘干至恒重, 同时进行压力装置和输气装置气密性检验: 关闭气阀 11-4, 打开气阀 11-1、11-2、11-3, 然后打开气瓶 13 使输气装置的导管 12 内处于气体压力下, 观察气压表 8 的读数不变即为输气装置气密性良好; 然后将密封性完好的输气装置与压力装置连接, 向压力装置中通入气体, 压力装置中未放置试样 6, 若气压表 8 读数不变则压力装置气密性良好。测试时, 在试样 6 两端分别涂覆适量自流平粘结剂 4, 再分别正中粘结感应垫圈 2, 然后在感应垫圈 2 端上再次涂覆自流平粘结剂 4, 整体正中放置于刚性密封装置 1 上, 确保气体弥散管 3 处于试样 6 正中央, 最后刚性密封装置 1 上进行螺栓加载, 加载过程中利用万用表 5 检测感应垫圈 2 中各电阻均

为 $5.2\text{K}\Omega$ ，基于传感器特性换算感应垫圈所受压力等同试样所处压力，为 0.2MPa 。

(3) 将气体导管 12 通过特性气嘴 7 与压力装置连接。测试时，打开高压气瓶 13 上的气阀 11-1 使气压达到约 1.01Bar 。利用气压微型调节器 10 进行气体导管 12 中气压微调至约 1.01Bar ，通过高精度气压表 8 及计算机 14 采集和记录气压信息。若气体导管 12 中高于所需气压，利用气阀 11-5 卸压。待输气装置稳定输出气压，试样 6 中气体稳定渗透，关闭第二气阀 11-2，利用气体缓冲瓶 9 中气体给试样 6 输气，正式测试开始。

(4) 打开气压表 8 进行气压检测，在计算机 14 上启动测试软件自动记录混凝土气体径向渗透过程的气压变化曲线，并通过下列公式进行气体径向渗透系数的计算，测试结果如图 4 所示：

$$K_r = \mu V \cdot \frac{\ln(r_e/r_w)}{\pi L} \cdot \frac{\Delta P / \Delta t}{p_e^2 - p_w^2}$$

式中： K ——混凝土径向气体渗透系数，单位为 m^2 ，

p_e ——气体进气端的绝对压力，单位为 Pa ，

p_w ——试验环境压力，单位为 Pa ，

μ ——气体的动力年度，单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，

r_e ——被测混凝土试块的内径，单位为 m ，

r_w ——被测混凝土试块的外径，单位为 m ，

L ——被测混凝土试块的高度，单位为 m ，

ΔP ——稳定渗流气压降，单位为 Pa ，

Δt ——稳定渗流时间，单位为 s 。

实施例 2

与实施例 1 不同的是，预制环形混凝土试样 6 的配合比 (g)：水泥-433.0，砂-655，粗集料(5~20mm)-1117，水-195，外加剂-2.20。加载过程中利用万用表检测感应垫圈中各电阻均为 $2.6\text{K}\Omega$ ，基于传感器特性换算感应垫圈所受压力等同试样所处压力，为 0.5MPa 。测试时，打开高压气瓶上气阀使气压达到约为 4.01Bar ，利用气压微型调节器进行气体导管中气压微调至约 4.01Bar ，测试结果如图 5 所示。

实施例 3

与实施例 1 不同的是，预制环形混凝土试样 6 的配合比 (g)：水泥-445.0，砂-652，粗集料(5~20mm)-1142，水-156，外加剂-4.45。加载过程中利用万用表检测感应垫圈中各电阻均为 $1.62\text{K}\Omega$ ，基于传感器特性换算感应垫圈所受压力等同试样所处压力，为 10.0MPa 。测试时，打开高压气瓶上气阀使气压达到约为 8.01Bar ，利用气压微型调节器进行气体导管中气压微调至约 8.01Bar ，测试结果如图 6 所示。

权 利 要 求 书

1、一种混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，包括压力装置和输气装置；所述压力装置包括用于对试样（6）进行密封的刚性密封装置（1）、作用于刚性密封装置（1）上用于对试样（6）施加载荷的加载装置（15）、放置于试样（6）与刚性密封装置（1）接触面之间用于密封及感应试样（6）所受压力的感应垫圈（2）、与感应垫圈（2）连接用于检测感应垫圈（2）电阻的万用表（5）；所述输气装置包括与压力装置通过气体导管（12）连接的气瓶（13）、与气体导管（12）连接用于检测气体导管（12）内气体压力的气压表（8）、与气压表（8）连接的计算机（14）、安装于气体导管（12）上用于控制气体流通的气阀（11）。

2、根据权利要求 1 所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，所述感应垫圈（2）为内嵌柔性压力传感器的弹性感应垫圈。

3、根据权利要求 1 所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，所述气体导管（12）与压力装置的连接处安装有增加密封性的气嘴（7）。

4、根据权利要求 1 所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，在感应垫圈（2）分别与刚性密封装置（1）和试样（6）的接触面上涂覆用于增加密封性的粘结剂（4）。

5、根据权利要求 1 所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，还包括一端与输气装置连接另一端与刚性密封装置（1）的上顶端连接用于使气体在试样（6）内腔中均匀化流通的气体弥散管（3）。

6、根据权利要求 1 所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，在气体导管（12）上安装有气体缓冲瓶（9），在所述气体缓冲瓶（9）两侧分别安装有第二气阀（11-2）、第三气阀（11-3）。

7、根据权利要求 1 所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，在气体导管（12）上安装有用于对气压进行微调的气压微型调节器（10）。

8、一种利用权利要求 1 所述混凝土径向气体渗透性能测试装置的测试方法，其特征在于，包括如下步骤：

（1）预制试样（6），对所述测量装置进行气密性检验；

（2）放置试样（6），向试样（6）内通入气体，启动加载装置（15）对试样（6）施加载荷，通过万用表（5）检测感应垫圈（2）电阻，通过气压表（8）实时检测渗透气体的气压变化，计算机（14）进行数据采集；

（3）基于推导的混凝土气体径向渗透表达式定量计算渗透系数，实现混凝土气体径向渗透过程性能测试。

9、根据权利要求 8 所述的混凝土径向气体渗透系数测试的方法，其特征在于，所述气密性测试的步骤包括：打开气瓶（13）使输气装置的导管（12）内处于气体压力下，观察气压表（8）的读数不变即为输气装置气密性良好；然后将密封性

完好的输气装置与压力装置连接，向压力装置中通入气体，压力装置中未放置试样(6)，若气压表(8)读数不变则压力装置气密性良好。

10、根据权利要求 8 所述的混凝土径向气体渗透系数测试的方法，其特征在于，所述气体径向渗透系数的计算公式如下：

$$K_r = \mu V \cdot \frac{\ln(r_e/r_w)}{\pi L} \cdot \frac{\Delta P / \Delta t}{p_e^2 - p_w^2}$$

式中： K ——混凝土径向气体渗透系数，单位为 m^2 ，

p_e ——气体进气端的绝对压力，单位为 Pa ，

p_w ——试验环境压力，单位为 Pa ，

μ ——气体的动力粘度，单位为 $Pa \cdot s$ ，

r_e ——被测混凝土试块的内径，单位为 m ，

r_w ——被测混凝土试块的外径，单位为 m ，

L ——被测混凝土试块的高度，单位为 m ，

ΔP ——稳定渗流气压降，单位为 Pa ，

Δt ——稳定渗流时间，单位为 s 。

国际局收到日：2020年6月10日（10.06.2020）

1、一种混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，包括压力装置和输气装置；所述压力装置包括用于对试样（6）进行密封的刚性密封装置（1）、作用于刚性密封装置（1）上用于对试样（6）施加载荷的加载装置（15）、放置于试样（6）与刚性密封装置（1）接触面之间用于密封及感应试样（6）所受压力的感应垫圈（2）、与感应垫圈（2）连接用于检测感应垫圈（2）电阻的万用表（5）；所述输气装置包括与压力装置通过气体导管（12）连接的气瓶（13）、与气体导管（12）连接用于检测气体导管（12）内气体压力的气压表（8）、与气压表（8）连接的计算机（14）、安装于气体导管（12）上用于控制气体流通的气阀（11）。

2、根据权利要求1所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，所述感应垫圈（2）为内嵌柔性压力传感器的弹性感应垫圈。

3、根据权利要求1所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，所述气体导管（12）与压力装置的连接处安装有增加密封性的气嘴（7）。

4、根据权利要求1所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，在感应垫圈（2）分别与刚性密封装置（1）和试样（6）的接触面上涂覆用于增加密封性的粘结剂（4）。

5、根据权利要求1所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，还包括一端与输气装置连接另一端与刚性密封装置（1）的上顶端连接用于使气体在试样（6）内腔中均匀化流通的气体弥散管（3）。

6、根据权利要求1所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，在气体导管（12）上安装有气体缓冲瓶（9），在所述气体缓冲瓶（9）两侧分别安装有第二气阀（11-2）、第三气阀（11-3）。

7、根据权利要求1所述的混凝土径向气体渗透性能测试装置，其特征在于，在气体导管（12）上安装有用于对气压进行微调的气压微型调节器（10）。

8、一种利用权利要求1所述混凝土径向气体渗透性能测试装置的测试方法，其特征在于，包括如下步骤：

（1）预制试样（6），对所述测量装置进行气密性检验；

（2）放置试样（6），向试样（6）内通入气体，启动加载装置（15）对试样（6）施加载荷，通过万用表（5）检测感应垫圈（2）电阻，通过气压表（8）实时检测渗透气体的气压变化，计算机（14）进行数据采集；

（3）基于推导的混凝土气体径向渗透表达式定量计算渗透系数，实现混凝土气体径向渗透过程性能测试。

9、根据权利要求8所述的测试方法，其特征在于，所述气密性测试的步骤包括：打开气瓶（13）使输气装置的导管（12）内处于气体压力下，观察气压表（8）的读数不变即为输气装置气密性良好；然后将密封性完好的输气装置与压力装置

连接，向压力装置中通入气体，压力装置中未放置试样(6)，若气压表(8)读数不变则压力装置气密性良好。

10、根据权利要求 8 所述的测试方法，其特征在于，所述气体径向渗透系数的计算公式如下：

$$K_r = \mu V \cdot \frac{\ln(r_e/r_w)}{\pi L} \cdot \frac{\Delta P / \Delta t}{p_e^2 - p_w^2}$$

式中： K ——混凝土径向气体渗透系数，单位为 m^2 ，

p_e ——气体进气端的绝对压力，单位为 Pa ，

p_w ——试验环境压力，单位为 Pa ，

μ ——气体的动力年度，单位为 $Pa \cdot s$ ，

r_e ——被测混凝土试块的内径，单位为 m ，

r_w ——被测混凝土试块的外径，单位为 m ，

L ——被测混凝土试块的高度，单位为 m ，

ΔP ——稳定渗流气压降，单位为 Pa ，

Δt ——稳定渗流时间，单位为 s 。

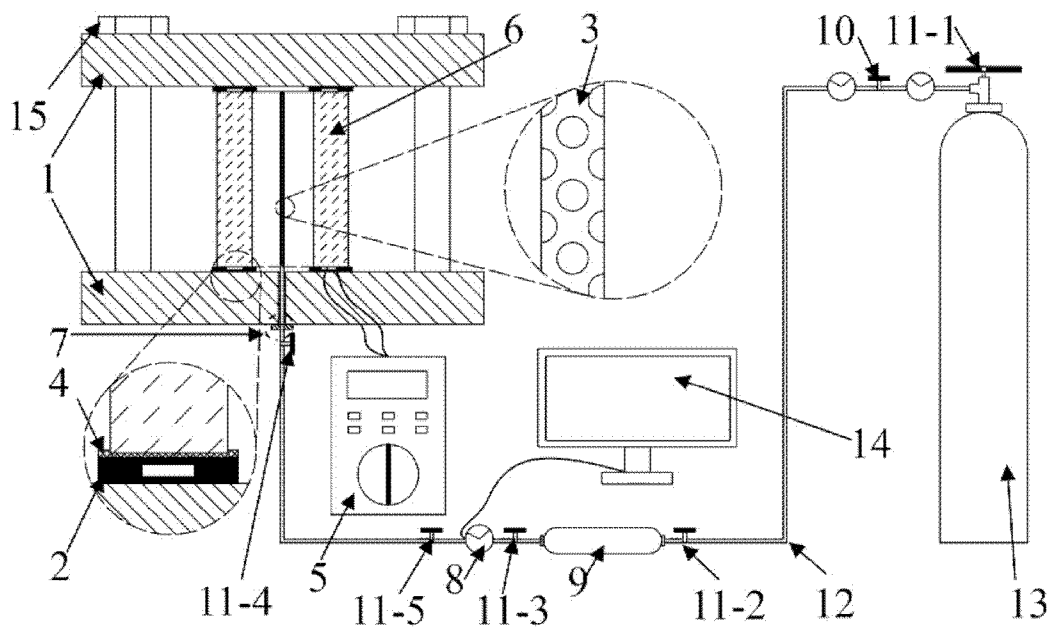


图 1

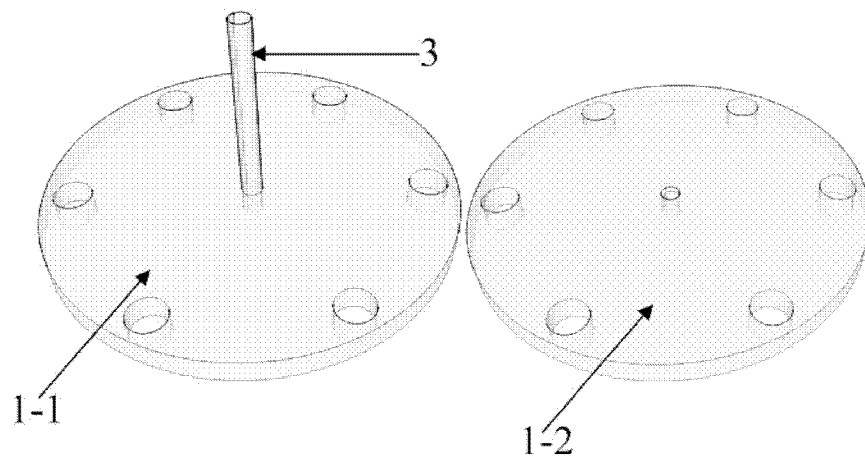


图 2

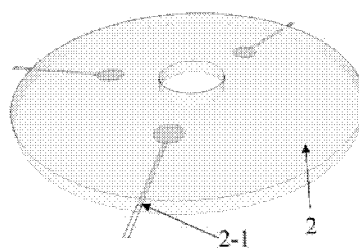


图 3

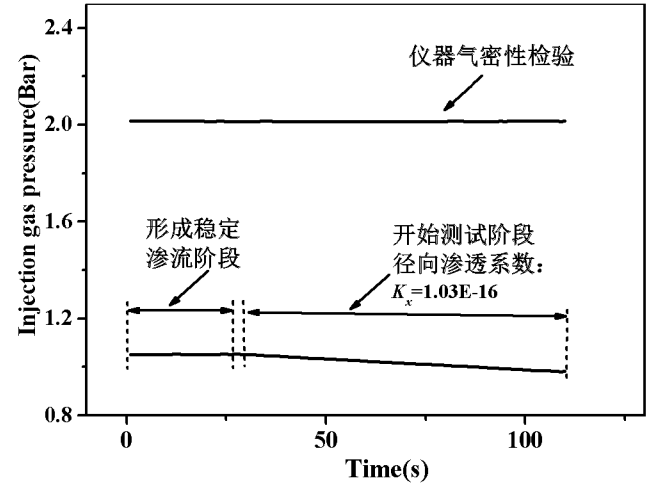


图 4

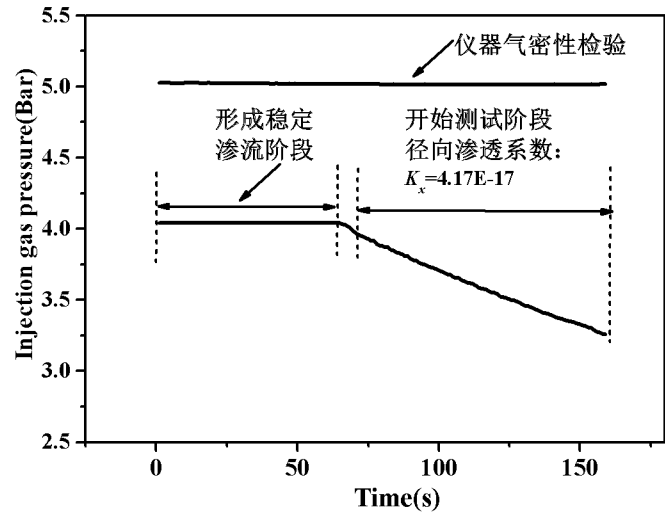


图 5

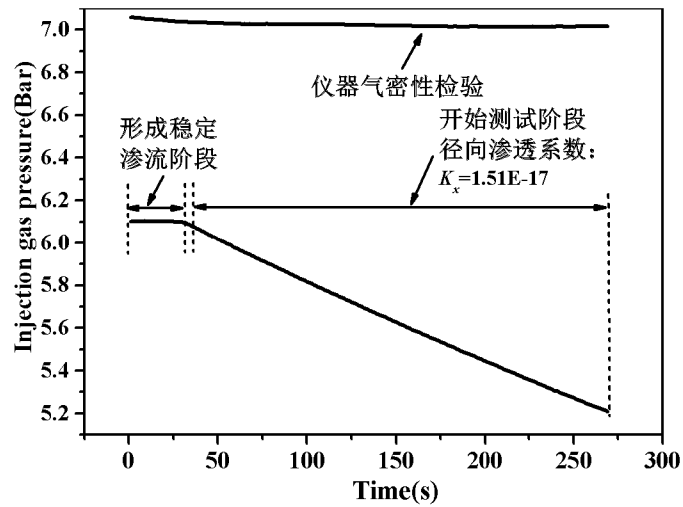


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/076449

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 15/08(2006.01)i; G01N 3/26(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)

G01N15/-, 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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 东南大学, 张云升, 钱如胜, 石加顺, 乔宏霞, 径向, 渗透, 渗透率, 渗透性, 气渗性, 混凝土, 密封垫, 感应垫, 气体, 气体渗透, concrete, penetrat+, permea+, gas, air, radial, press+, load

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110231270 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 13 September 2019 (2019-09-13) claims 1-10	1-10
Y	CN 105067494 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 18 November 2015 (2015-11-18) description, paragraphs [0026]-[0049], and figures 1-4	1-10
Y	CN 107314141 A (SHENZHEN HONGSHANG TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 November 2017 (2017-11-03) description, paragraphs [0027]-[0041], and figure 1	1-10
A	CN 201583477 U (TSINGHUA UNIVERSITY) 15 September 2010 (2010-09-15) entire document	1-10
A	CN 101074912 A (HOHAI UNIVERSITY) 21 November 2007 (2007-11-21) entire document	1-10
A	US 5226310 A (EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY) 13 July 1993 (1993-07-13) entire document	1-10



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

27 April 2020

Date of mailing of the international search report

21 May 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/CN2020/076449

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110231270	A	13 September 2019	None			
CN	105067494	A	18 November 2015	None			
CN	107314141	A	03 November 2017	None			
CN	201583477	U	15 September 2010	None			
CN	101074912	A	21 November 2007	None			
US	5226310	A	13 July 1993	NO	913408	L	02 March 1992
				NO	913408	A	02 March 1992

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/076449

A. 主题的分类 G01N 15/08(2006.01)i; G01N 3/26(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) G01N15/-, 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)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 东南大学, 张云升, 钱如胜, 石加顺, 乔宏霞, 径向, 渗透, 渗透率, 渗透性, 气渗性, 混凝土, 密封垫, 感应垫, 气体, 气体渗透, concrete, penetrat+, permea+, gas, air, radial, press+, load																							
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 110231270 A (东南大学) 2019年 9月 13日 (2019 - 09 - 13) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 105067494 A (中国矿业大学) 2015年 11月 18日 (2015 - 11 - 18) 说明书第[0026]-[0049]段, 图1-4</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107314141 A (深圳市红尚科技有限公司) 2017年 11月 3日 (2017 - 11 - 03) 说明书第[0027]-[0041]段, 图1</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 201583477 U (清华大学) 2010年 9月 15日 (2010 - 09 - 15) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101074912 A (河海大学) 2007年 11月 21日 (2007 - 11 - 21) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5226310 A (EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY) 1993年 7月 13日 (1993 - 07 - 13) 全文</td> <td>1-10</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 110231270 A (东南大学) 2019年 9月 13日 (2019 - 09 - 13) 权利要求1-10	1-10	Y	CN 105067494 A (中国矿业大学) 2015年 11月 18日 (2015 - 11 - 18) 说明书第[0026]-[0049]段, 图1-4	1-10	Y	CN 107314141 A (深圳市红尚科技有限公司) 2017年 11月 3日 (2017 - 11 - 03) 说明书第[0027]-[0041]段, 图1	1-10	A	CN 201583477 U (清华大学) 2010年 9月 15日 (2010 - 09 - 15) 全文	1-10	A	CN 101074912 A (河海大学) 2007年 11月 21日 (2007 - 11 - 21) 全文	1-10	A	US 5226310 A (EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY) 1993年 7月 13日 (1993 - 07 - 13) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 110231270 A (东南大学) 2019年 9月 13日 (2019 - 09 - 13) 权利要求1-10	1-10																					
Y	CN 105067494 A (中国矿业大学) 2015年 11月 18日 (2015 - 11 - 18) 说明书第[0026]-[0049]段, 图1-4	1-10																					
Y	CN 107314141 A (深圳市红尚科技有限公司) 2017年 11月 3日 (2017 - 11 - 03) 说明书第[0027]-[0041]段, 图1	1-10																					
A	CN 201583477 U (清华大学) 2010年 9月 15日 (2010 - 09 - 15) 全文	1-10																					
A	CN 101074912 A (河海大学) 2007年 11月 21日 (2007 - 11 - 21) 全文	1-10																					
A	US 5226310 A (EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY) 1993年 7月 13日 (1993 - 07 - 13) 全文	1-10																					
☐ 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 2020年 4月 27日		国际检索报告邮寄日期 2020年 5月 21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 丁丽君 电话号码 86-(10)-53962474																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/076449

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	110231270	A	2019年 9月 13日	无			
CN	105067494	A	2015年 11月 18日	无			
CN	107314141	A	2017年 11月 3日	无			
CN	201583477	U	2010年 9月 15日	无			
CN	101074912	A	2007年 11月 21日	无			
US	5226310	A	1993年 7月 13日	NO	913408	L	1992年 3月 2日
				NO	913408	A	1992年 3月 2日