



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106855483 B

(45)授权公告日 2020.02.14

(21)申请号 201611203915.8

(22)申请日 2016.12.23

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106855483 A

(43)申请公布日 2017.06.16

(73)专利权人 中国矿业大学  
地址 221116 江苏省徐州市铜山区大学路  
中国矿业大学科研院

(72)发明人 王艳飞 周志凌 沈利民 窦东阳

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51)Int.Cl.  
G01N 3/12(2006.01)

(56)对比文件  
CN 205607605 U,2016.09.28,  
CN 205067238 U,2016.03.02,  
CN 1523259 A,2004.08.25,  
CN 205261091 U,2016.05.25,  
CN 104634665 A,2015.05.20,

CN 202256061 U,2012.05.30,  
CN 2739460 Y,2005.11.09,  
CN 204254105 U,2015.04.08,  
CN 204942877 U,2016.01.06,  
CN 201866457 U,2011.06.15,  
CN 104215513 A,2014.12.17,  
CN 2675996 Y,2005.02.02,  
CN 101782487 A,2010.07.21,  
CN 104330312 A,2015.02.04,  
CN 2588168 Y,2003.11.26,  
CN 205606028 U,2016.09.28,  
CN 104272003 A,2015.01.07,  
CN 202955398 U,2013.05.29,  
CN 105784496 A,2016.07.20,  
CN 2469296 Y,2002.01.02,  
CN 203798681 U,2014.08.27,  
CN 106247044 A,2016.12.21,  
CN 203131267 U,2013.08.14,  
CN 204314155 U,2015.05.06,  
CN 102269304 A,2011.12.07,

(续)

审查员 尹文杰

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

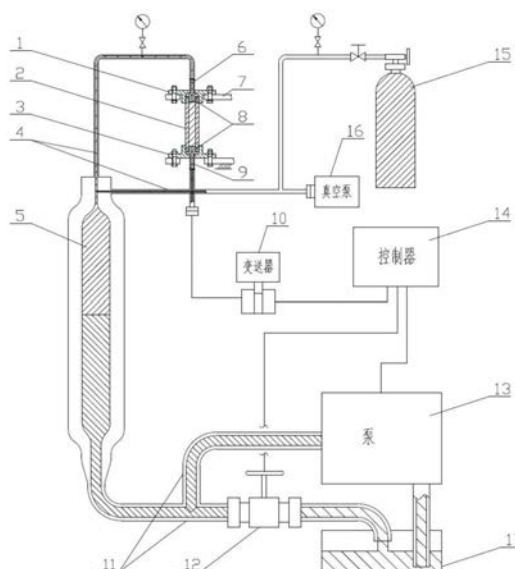
(54)发明名称

氢气压力疲劳破断及氢致滞后断裂敏感性  
试验装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种适应于评价材料在高压  
氢气压力波动下发生压力疲劳断裂敏感性以及  
氢致滞后断裂敏感性的试验方法及装置。装置包  
括管试样、管试样固定件、管路、压力容器、压力  
变送器、控制器、低压气源、真空泵、液体自动给  
排装置以及储液槽。该装置以及基于装置的方法  
简便、易操作、功能多,并且能模拟实际高压氢气  
存储容器和输送管道面临的充氢和放氢操作时  
的压力变化过程及规律,故具有很好的针对性和  
实用性。此外,该方法及装置避开采用压缩机等  
气体加压设备对易燃易爆的氢气进行直接压缩,  
从而安全性高,试验成本低。

CN 106855483 B



[转续页]

[接上页]

**(56)对比文件**

CN 201159693 Y,2008.12.03,  
CN 104024714 A,2014.09.03,  
CN 205078952 U,2016.03.09,  
CN 203549194 U,2014.04.16,  
CN 104568591 A,2015.04.29,  
CN 1523259 A,2004.08.25,

TW 200923359 A,2009.06.01,  
CN 1408058 A,2003.04.02,  
CN 202647010 U,2013.01.02,  
CN 1629531 A,2005.06.22,  
CN 204314156 U,2015.05.06,  
CN 2397346 Y,2000.09.20,  
CN 205479820 U,2016.08.17,  
CN 203241303 U,2013.10.16,

1. 一种氢气压力疲劳破断敏感性试验方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1,将管试样(2)固定在管试样固定件上,并将所述管试样(2)两端与管路(4)连接,将压力容器(5)的一端、低压气源(15)以及真空泵(16)均连接在所述管路(4)上,将所述压力容器(5)的另一端通过液体自动给排装置连接储液槽(17),在所述管路(4)上设置压力变送器(10),所述压力变送器(10)的信号输出端连接控制器(14),所述控制器(14)的信号输出端连接所述液体自动给排装置;其中,所述低压气源(15)为氢气源,所述储液槽(17)为氢难溶解液体;

步骤2,将所述管试样(2)、管试样固定件以及管路(4)均置于恒温装置中,所述恒温装置中具有流动恒温水环境;

步骤3,控制所述低压气源(15)的阀门以及液体自动给排装置均处于关闭状态,然后控制所述真空泵(16)对所述管试样(2)、管路(4)以及压力容器(5)进行抽真空操作;

步骤4,给所述控制器(14)设定压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及及压力变化规律曲线;首先,控制所述液体自动给排装置将一定量的所述氢难溶解液体给入所述压力容器(5),然后控制低压气源(15)向所述管路(4)、压力容器(5)、以及管试样(2)的内部充满压力为 $P_0$ 的气体;

步骤5,若通过压力变送器(10)检测到的压力 $P_0$ 低于所述 $P_{min}$ ,则进行步骤6,否则执行步骤7;

步骤6,所述控制器(14)控制所述液体自动给排装置继续将所述氢难溶解液体给入所述压力容器(5),直至所述压力变送器(10)检测到的压力值达到所述 $P_{min}$ 后,所述控制器(14)根据预设的压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及压力变化规律曲线控制所述液体自动给排装置循环工作;

步骤7,所述控制器(14)控制所述液体自动给排装置继续将所述压力容器(5)的氢难溶解液体排出,直至所述压力变送器(10)检测到的压力值达到所述 $P_{min}$ 后,所述控制器(14)根据预设的压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及压力变化规律曲线控制所述液体自动给排装置循环工作;

步骤8,通过观察所述恒温装置中水的情况,当判断管试样(2)发生疲劳破裂或断裂时,记录所经历的充放气循环次数。

2. 根据权利要求1所述的氢气压力疲劳破断敏感性试验方法,其特征在于:还包括在所述管试样(2)上预制缺陷的步骤;所述预制缺陷为沿管试样轴向或周向的裂纹或缺口或划痕,预制缺陷的位置在管内部或外部,数量为单个或多个。

3. 根据权利要求2所述的氢气压力疲劳破断敏感性试验方法,其特征在于:还包括利用惰性气源替换低压气源(15)并重复所述步骤2至步骤8的步骤,然后采用相对次数 $R=n_{H_2}/n_{N_2}$ 评价氢气压力疲劳破断敏感性,其中 $n_{H_2}$ 和 $n_{N_2}$ 分别为管试样(2)在氢气源和惰性气源下断裂所经历的充放气循环次数。

## 氢气压力疲劳破断及氢致滞后断裂敏感性试验装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种氢气压力疲劳破断以及氢致滞后断裂敏感性试验装置及方法。

### 背景技术

[0002] 氢能有望替代煤、石油等传统能源成为未来广泛使用的清洁、高效能源。氢能的使用需要安全经济氢储运、输送技术的支持,以高压氢气的形式储运和输送氢较为简单、经济且实用,是现阶段可大规模实施的氢储运与输送方式。随着氢能使用的逐步推广,未来必将有大量的氢气储运容器与输送管道或管线被建造。但众所周知,氢对几乎所有常用金属材料如碳钢、低合金钢、不锈钢等,都具有降低其力学性能的不利影响,氢进入金属可引起金属发生包括塑性减损、断裂抗性降低、低应力下的滞后断裂以及疲劳断裂性能降低等现象,通常统称为氢脆或氢损伤。因此,若要保证高压氢气储运容器与输送管道、管线的安全生产与长期服役,必须对所用金属材料在高压氢气中进行广泛、深入的氢脆敏感性评价试验研究,以指导未来高压氢气储运容器与输送管道、管线的设计、制造、检验与监测。

[0003] 具有一定设计寿命的高压氢气储运容器及输送管道、管线在服役期间将面临非常频繁的充氢和放氢操作,充氢时其内压力升高,放氢时压力降低,如此往复循环,如氢燃料电池汽车的车载储氢容器及其输氢管道、加氢站的大型储氢罐及其输氢管道等结构在服役时都将面临这一问题。由于氢可降低材料的疲劳性能,因此往复充氢放氢引起的压力波动极可能引起容器或管道发生压力疲劳断裂,导致氢气泄漏,引发事故。因此,有必要基于一定的试验技术与装置评价高压氢气储运容器与输氢管道、管线所用金属材料在这种频繁充氢、放氢操作引起的压力波动下发生压力疲劳断裂的敏感性,从而指导这些容器与管道、管线的设计、制造、检验与监测。目前,国内外对金属材料在高压氢气中的氢脆敏感性试验研究多为在高压氢气腔中进行单轴拉伸试验,试验类型单一,且仅可获得材料在高压氢气中的塑性及强度性能,而对疲劳性能的研究则不多见,对材料在高压氢气压力波动下发生压力疲劳断裂敏感性的试验评价研究则更鲜有报道。

### 发明内容

[0004] 发明目的:针对上述现有技术,提出一种氢气压力疲劳破断以及氢致滞后断裂敏感性试验装置及方法。

[0005] 技术方案:一种氢气压力疲劳破断以及氢致滞后断裂敏感性试验装置,包括管试样、管试样固定件、管路、压力容器、压力变送器、控制器、低压气源、真空泵、液体自动给排装置以及储液槽;

[0006] 管试样固定在管试样固定件上,管路与所述管试样两端密封连接,形成气体回路;压力容器的一端、低压气源以及真空泵均连接在所述管路上;所述压力容器的另一端通过液体自动给排装置连接储液槽;压力变送器设置在所述管路上,所述压力变送器的信号输出端连接控制器,所述控制器的信号输出端连接所述液体自动给排装置。

[0007] 进一步的,所述管试样为光滑管试样或为带预制缺陷的管试样;所述预制缺陷为

沿管试样轴向或周向的裂纹或缺口或划痕,预制缺陷的位置在管内部或外部,数量为单个或多个。

[0008] 进一步的,所述管试样固定件包括上夹持件、下夹持件、基座、具有内外锥密封面的密封垫片、带有外锥密封面的箭头形密封件;所述管试样两端的外壁加工有螺纹,内壁加工有内锥密封面;所述密封垫片设置在所述密封件的外锥密封面与所述管试样的内锥密封面之间;所述管试样的两端通过外壁的螺纹分别与上夹持件和下夹持件连接并压紧,使所述管试样两端内壁的内锥密封面与所述密封垫片的外锥密封面、所述密封件的内锥密封面与所述密封件的外锥密封面分别紧密贴合,形成高压密封;所述上夹持件和下夹持件分别紧固于基座上,所述管路与所述箭头形密封件密封连接。

[0009] 进一步的,还包括恒温装置,所述恒温装置中具有流动恒温水环境,所述管试样、管试样固定件、管路均置于所述恒温装置的流动恒温水环境中。

[0010] 进一步的,所述液体自动给排装置包括三通管路、排液阀、液体泵,所述压力容器的一端与三通管路的第一端口连接,所述三通管路的第二端口连接排液阀,第三端口连接液体泵的出口,所述排液阀连接所述储液槽,所述液体泵的入口连通所述储液槽;所述排液阀和液体泵的信号控制端连接所述控制器的信号输出端。

[0011] 进一步的,所述储液槽内容置氢难溶解液体。

[0012] 一种氢气压力疲劳破断敏感性试验方法,包括如下步骤:

[0013] 步骤1,将管试样固定在管试样固定件上,并将所述管试样两端与管路连接,将压力容器的一端、低压气源以及真空泵均连接在所述管路上,将所述压力容器的另一端通过液体自动给排装置连接储液槽,在所述管路上设置压力变送器,所述压力变送器的信号输出端连接控制器,所述控制器的信号输出端连接所述液体自动给排装置;其中,所述低压气源为氢气源,所述储液槽为氢难溶解液体;

[0014] 步骤2,将所述管试样、管试样固定件以及管路均置于恒温装置中,所述恒温装置中具有流动恒温水环境;

[0015] 步骤3,控制所述低压气源的阀门以及液体自动给排装置均处于关闭状态,然后控制所述真空泵对所述管试样、管路以及压力容器进行抽真空操作;

[0016] 步骤4,给所述控制器设定压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及及压力变化规律曲线;首先,控制所述液体自动给排装置将一定量的所述氢难溶解液体给入所述压力容器,然后控制低压气源向所述管路、压力容器、以及管试样的内部充满压力为 $P_0$ 的气体;

[0017] 步骤5,若通过压力变送器检测到的压力 $P_0$ 低于所述 $P_{min}$ ,则进行步骤6,否则执行步骤7;

[0018] 步骤6,所述控制器控制所述液体自动给排装置继续将所述氢难溶解液体给入所述压力容器,直至所述压力变送器检测到的压力值达到所述 $P_{min}$ 后,所述控制器根据预设的压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及压力变化规律曲线控制所述液体自动给排装置循环工作;

[0019] 步骤7,所述控制器控制所述液体自动给排装置继续将所述压力容器的氢难溶解液体排出,直至所述压力变送器检测到的压力值达到所述 $P_{min}$ 后,所述控制器根据预设的压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及压力变化规律曲线控制所述液体自动给排装置循环工作;

[0020] 步骤8,通过观察所述恒温装置中水的情况,当判断管试样发生疲劳破裂或断裂时,记录所经历的充放气循环次数。

[0021] 进一步的,还包括在所述管试样上预制缺陷的步骤;所述预制缺陷为沿管试样轴向或周向的裂纹或缺口或划痕,预制缺陷的位置在管内部或外部,数量为单个或多个。

[0022] 进一步的,还包括利用惰性气源替换低压气源并重复所述步骤2至步骤8的步骤,然后采用相对次数 $R = n_{H_2} / n_{N_2}$ 评价氢气压力疲劳破断敏感性,其中 $n_{H_2}$ 和 $n_{N_2}$ 分别为管试样在氢气源和惰性气源下断裂所经历的充放气循环次数。

[0023] 一种氢致滞后断裂敏感性试验方法,包括如下步骤:

[0024] 步骤1,将管试样固定在管试样固定件上,并将所述管试样两端与管路连接,将压力容器的一端、低压气源以及真空泵均连接在所述管路上,将所述压力容器的另一端通过液体自动给排装置连接储液槽,在所述管路上设置压力变送器,所述压力变送器的信号输出端连接控制器,所述控制器的信号输出端连接所述液体自动给排装置;其中,所述低压气源为氢气源,所述储液槽为氢难溶解液体;

[0025] 步骤2,将所述管试样、管试样固定件以及管路均置于恒温装置中,所述恒温装置中具有流动恒温水环境;

[0026] 步骤3,控制所述低压气源的阀门以及液体自动给排装置均处于关闭状态,然后控制所述真空泵对所述管试样、管路以及压力容器进行抽真空操作;

[0027] 步骤4,给所述控制器设定恒定压力 $P_m$ ;首先,控制所述液体自动给排装置将一定量的所述氢难溶解液体给入所述压力容器,然后控制低压气源向所述管路、压力容器、以及管试样的内部充满压力为 $P_0$ 的气体;

[0028] 步骤5,若通过压力变送器检测到的压力 $P_0$ 低于所述 $P_m$ ,所述控制器控制所述液体自动给排装置继续将所述氢难溶解液体给入所述压力容器,直至所述压力变送器检测到的压力值达到所述 $P_m$ ;若通过压力变送器检测到的压力 $P_0$ 高于所述 $P_m$ ,所述控制器控制所述液体自动给排装置继续将所述压力容器的氢难溶解液体排出,直至所述压力变送器检测到的压力值达到所述 $P_m$ ;

[0029] 步骤6,通过观察所述恒温装置中水的情况,当判断管试样发生断裂时,记录维持压力 $P_m$ 的时间。

[0030] 有益效果:与现有技术相比,本发明的优点在于开发了一种适应于评价材料在高压氢气压力波动下发生压力疲劳断裂敏感性以及氢致滞后断裂敏感性的试验方法及装置。该方法及装置简便、易操作、功能多,并且能模拟实际高压氢气存储容器和输送管道面临的充氢和放氢操作时的压力变化过程及规律,故具有很好的针对性和实用性。此外,该方法及装置避开采用压缩机等气体加压设备对易燃易爆的氢气进行直接压缩,从而安全性高,试验成本低。

## 附图说明

[0031] 图1为用于评价材料在高压氢气压力波动下发生压力疲劳断裂敏感性的试验方法及装置图;

[0032] 图2为裂纹或缺口的形式,其中:(a)为裂纹或划痕;(b)为U型缺口;(c)为V型缺口;

[0033] 图3为管试样与管试样固定件连接的局部图。

## 具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明做更进一步的解释。

[0035] 实施例1:

[0036] 如图1所示,一种氢气压力疲劳破断以及氢致滞后断裂敏感性试验装置,包括管试样2、管试样固定件、管路4、压力容器5、压力变送器10、控制器14、低压气源15、真空泵16、液体自动给排装置、储液槽17以及恒温装置。

[0037] 管试样2固定在管试样固定件上,管路4与管试样2两端密封连接,形成气体回路。具体的,如图3所示,管试样固定件包括上夹持件1、下夹持件3、基座7、具有内外锥密封面的密封垫片8、带有外锥密封面的箭头形密封件6,9。管试样2两端的外壁加工有螺纹,内壁加工有内锥密封面,管试样2的两端内分别设有具有箭头形密封件6,9,密封垫片8设置在密封件6,9的外锥密封面与管试样2的内锥密封面之间。管试样2的两端通过外壁的螺纹分别与上夹持件1和下夹持件3连接并压紧,考虑到夹持件和螺栓的尺寸和刚度均较大,可提供较高的压紧力,使管试样2两端内壁的内锥密封面与密封垫片8的外锥密封面、密封件8的内锥密封面与密封件6,9的外锥密封面分别紧密贴合,形成高压密封。上夹持件1和下夹持件3分别紧固于基座7上,管路4与密封件6,9密封连接。密封垫片8采用延性较好的退火铝、退火紫铜、软钢或不锈钢制的金属垫片,以保证高压密封效果。其中,基座7包含固定部分和可移动部分,可移动部分与上夹持件1或下夹持件3连接,以便于试样2的安装和位置调节。上夹持件1、下夹持件3、管路4,密封件6和9、压力容器5需要与氢气接触,其材料选择氢脆敏感性低的材料,优选为00Cr19Ni10、0Cr17Ni12Mo2、00Cr17Ni14Mo2、0Cr18Ni10Ti或0Cr18Ni11Nb奥氏体不锈钢。

[0038] 压力容器5的一端、低压气源15以及真空泵16均连接在管路4上,压力容器5的另一端通过液体自动给排装置连接储液槽17,储液槽17内容置氢难溶解液体,如水或液压油等。压力变送器10设置在管路4上,压力变送器10的信号输出端连接控制器14,控制器14的信号输出端连接液体自动给排装置。恒温装置中具有流动恒温水环境,管试样2、管试样固定件、管路4均置于恒温装置的流动恒温水环境中。

[0039] 本实施例中,液体自动给排装置包括三通管路11、排液阀12、液体泵13。

[0040] 压力容器5的一端与三通管路11的第一端口连接,三通管路11的第二端口连接排液阀12,第三端口连接液体泵13的出口,排液阀12连接储液槽17,液体泵13的入口连通所述储液槽17。排液阀12和液体泵13的信号控制端连接控制器14的信号输出端。排液阀12用于将压力容器5中的氢难溶解液体排出到储液槽17内,以此降低管路以及压力容器中的气体压力;液体泵13用于将储液槽17内的氢难溶解液体给入压力容器中,以此升高管路以及压力容器中的气体压力。

[0041] 一种氢气压力疲劳破断敏感性试验方法,包括如下步骤:

[0042] 步骤1,按上述试验装置装配,低压气源15为氢气源。管试样2选取长度为150mm,外径为32mm,壁厚为5mm的20#和45#碳钢钢管,将其清洗后分别在20#和45#碳钢钢管上预制缺陷,该预制缺陷为沿管试样轴向或周向的裂纹或缺口或划痕,预制缺陷的位置在管内部或外部,数量为单个或多个,如图2所示。20#和45#碳钢钢管分别进行以下步骤2至步骤9。

[0043] 步骤2,将管试样2、管试样固定件以及管路4均置于恒温装置中,恒温装置中具有流动恒温水环境。水能够对管试样2进行冷却,避免试验过程中气体循环压缩产生的高温影

响试验,保证管试样2试验温度恒定,同时便于在管试样2破裂时及时观察到气体逸出,且水能够吸收一部分高压气体喷出的能量,提高试验的安全性。

[0044] 步骤3,控制低压气源15的阀门以及液体自动给排装置均处于关闭状态,然后控制真空泵16对管试样2、管路4以及压力容器5进行抽真空操作,以排除其中的空气等杂质气体。

[0045] 步骤4,给控制器14设定压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及及压力变化规律曲线。首先,控制液体自动给排装置将一定量的氢难溶解液体给入压力容器5,然后控制低压气源15向管路4、压力容器5、以及管试样2的内部充满压力为 $P_0$ 的气体。

[0046] 步骤5,若通过压力变送器10检测到的压力 $P_0$ 低于 $P_{min}$ ,则进行步骤6,否则执行步骤7。

[0047] 步骤6,控制器14控制液体自动给排装置继续将氢难溶解液体给入压力容器5,直至压力变送器10检测到的压力值达到所述 $P_{min}$ 后,控制器14根据预设的压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及压力变化规律曲线控制液体自动给排装置循环工作。当液体自动给排装置将氢难溶解液体给入压力容器5,管路以及压力容器5内的气压因体积减小而压力升高;当液体自动给排装置将氢难溶解液体从压力容器5的氢难溶解液体排出到储液槽17的过程中,管路以及压力容器5内的气压因体积增大而压力降低。充放气循环过程中,管路中的气体压力在 $P_{min}$ 和 $P_{max}$ 之间循环变化,根据压力变化规律曲线控制来模拟实际储氢压力容器或管道在充氢放氢过程中的压力变化规律。需要说明的是,压力容器5的容积比管试样2、管路4的内部容积之和大得多,从而使管试样2内部气体的压力在较大的范围内变化,制造时选定上述两者的容积之比,可确定装置所能对气体压缩达到的压力上限。

[0048] 步骤7,控制器14控制液体自动给排装置继续将压力容器5的氢难溶解液体排出,直至压力变送器10检测到的压力值达到 $P_{min}$ 后,控制器14根据预设的压力波动上限 $P_{max}$ 和下限 $P_{min}$ 以及压力变化规律曲线控制液体自动给排装置循环工作。

[0049] 步骤8,通过观察恒温装置中水的情况,当判断管试样2在循环变化压力和氢气的共同作用下最终发生疲劳破裂或断裂时,记录所经历的充放气循环次数,并采用扫描电子显微镜SEM观察试样破裂处的断裂面。

[0050] 步骤9,利用惰性气源来替换低压气源15并重复所述步骤2至步骤8的步骤。然后,通过与惰性气体如氮气、氦气情况下的破裂循环次数对比来评价材料氢致压力疲劳破裂的敏感性,并采用相对次数 $R = n_{H_2} / n_{N_2}$ 评价20#和45#碳钢钢管的氢气压力疲劳破断敏感性,其中 $n_{H_2}$ 和 $n_{N_2}$ 分别为管试样2在氢气源和惰性气源下断裂所经历的充放气循环次数, $R$ 越小,材料疲劳断裂敏感性越大。

[0051] 实施例2:与实施例1的区别在于,采用同样的装置进行氢致滞后断裂敏感性试验,其试验步骤具体为:

[0052] 步骤1,按试验装置装配好,低压气源15为氢气源。管试样2选取长度为150mm,外径为32mm,壁厚为5mm的20#和45#碳钢钢管,将其清洗后分别在20#和45#碳钢钢管上预制缺陷,该预制缺陷为沿管试样轴向或周向的裂纹或缺口或划痕,预制缺陷的位置在管内部或外部,数量为单个或多个,如图2所示。20#和45#碳钢钢管分别进行以下步骤2至步骤9。其中,储液槽17为氢难溶解液体。

[0053] 步骤2,将管试样2、管试样固定件以及管路4均置于恒温装置中,恒温装置中具有



流动恒温水环境。

[0054] 步骤3,控制低压气源15的阀门以及液体自动给排装置均处于关闭状态,然后控制真空泵16对管试样2、管路4以及压力容器5进行抽真空操作。

[0055] 步骤4,给控制器14设定恒定压力 $P_m$ 。首先,控制液体自动给排装置将一定量的氢难溶解液体给入所述压力容器5,然后控制低压气源15向管路4、压力容器5、以及管试样2的内部充满压力为 $P_0$ 的气体。

[0056] 步骤5,若通过压力变送器10检测到的压力 $P_0$ 低于 $P_m$ ,控制器14控制液体自动给排装置继续将氢难溶解液体给入所述压力容器5,直至压力变送器10检测到的压力值达到 $P_m$ ;若通过压力变送器10检测到的压力 $P_0$ 高于 $P_m$ ,控制器14控制液体自动给排装置继续将压力容器5的氢难溶解液体排出,直至压力变送器10检测到的压力值达到所述 $P_m$ ,维持压力保持 $P_m$ 。

[0057] 步骤6,通过观察所述恒温装置中水的情况,随着氢扩散进入预裂纹或缺口的尖端,氢通过某种脆化机制使材料的性能劣化,导致预裂纹扩展并最终导致试样断裂,当判断管试样2发生断裂时,记录维持压力 $P_m$ 的时间,并采用扫描电子显微镜SEM观察试样破裂处的断裂面。

[0058] 步骤7,在同样的试验条件下,分别对20#和45#碳钢钢管进行上述试验,比较两种钢试样发生氢致滞后断裂所需要的时间,时间越长,氢致滞后断裂的敏感性越低。

[0059] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

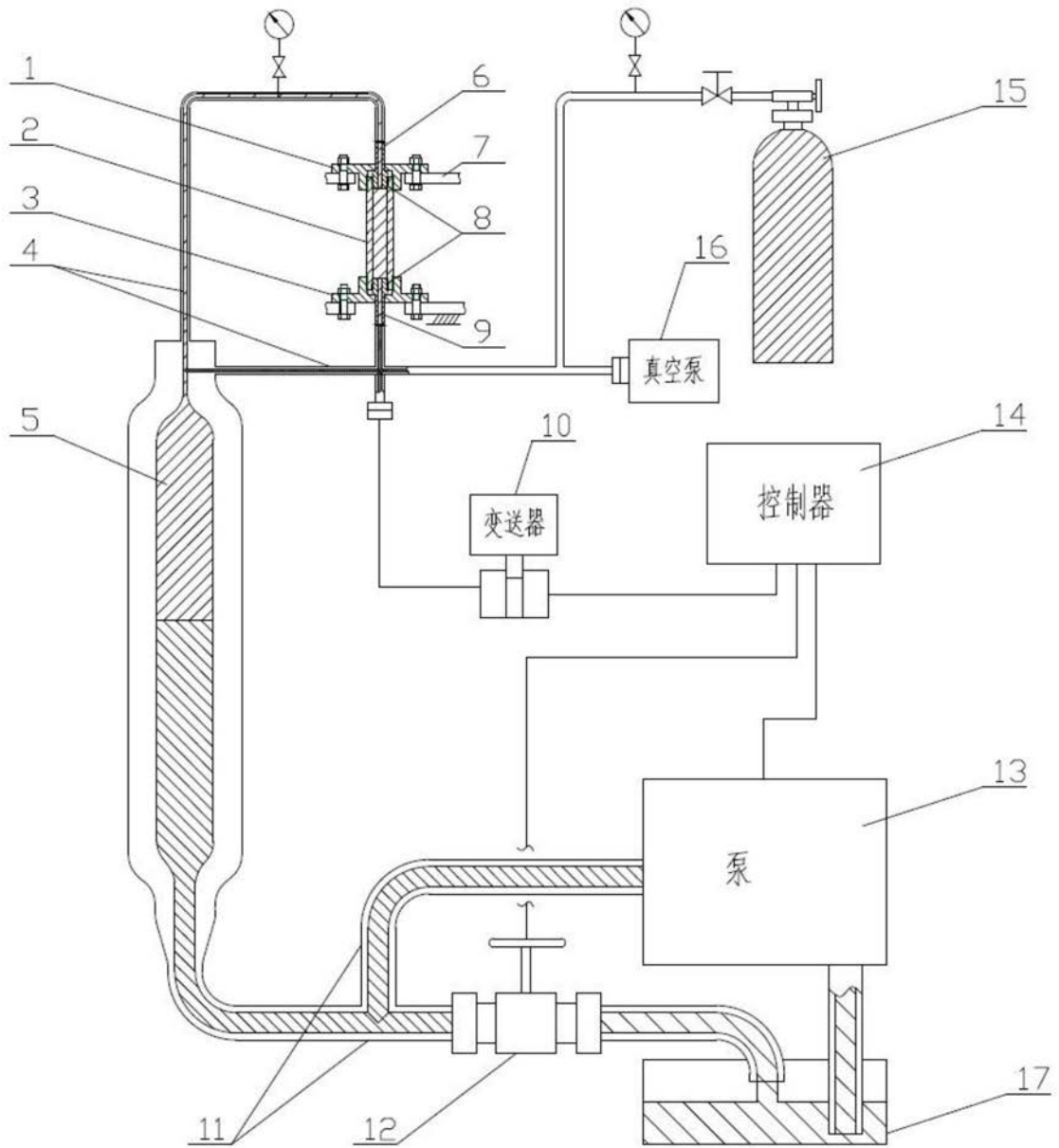


图1

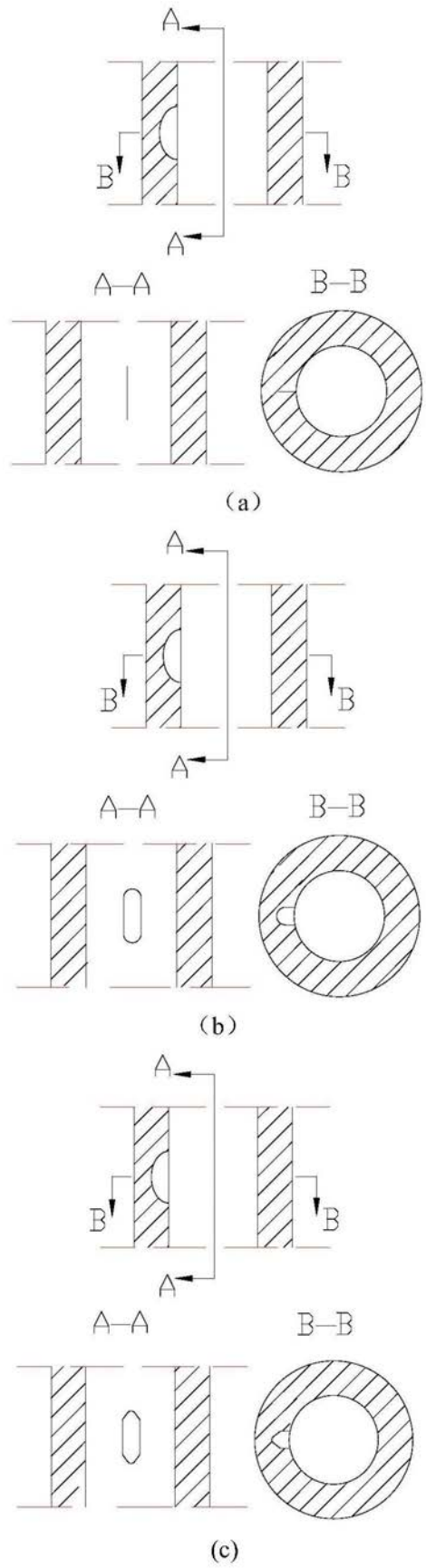


图2

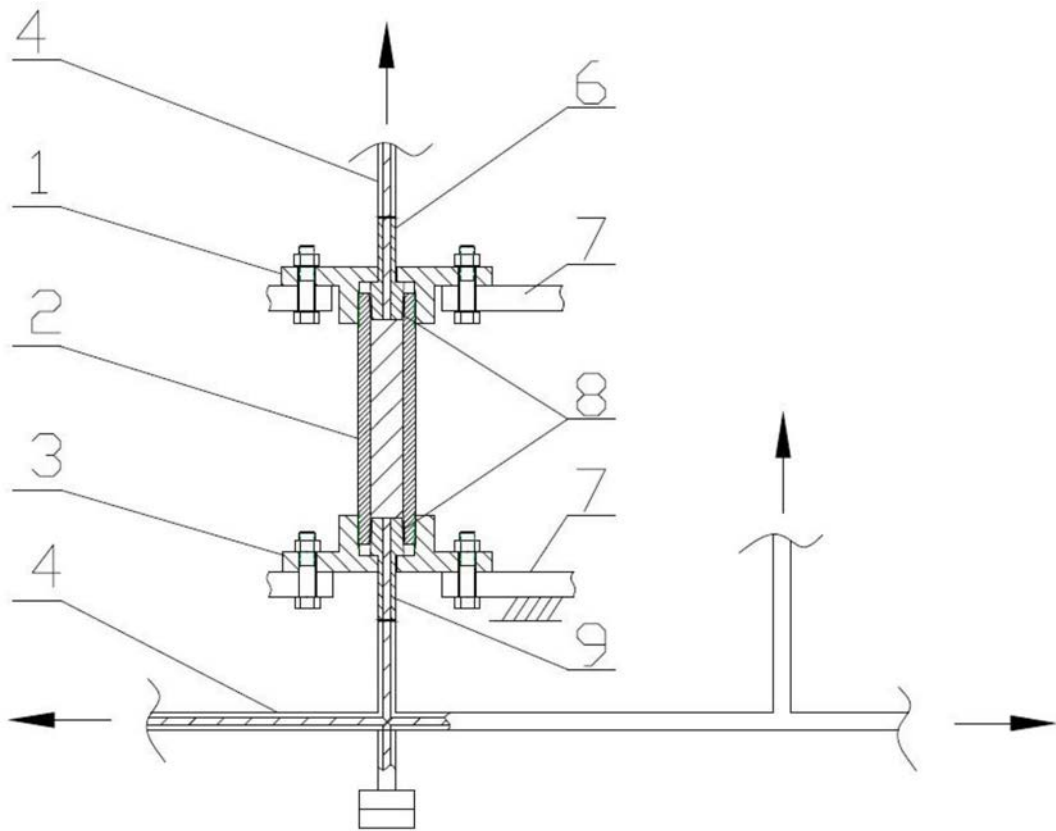


图3