



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106969792 A

(43)申请公布日 2017.07.21

(21)申请号 201710094820.5

(22)申请日 2017.02.22

(71)申请人 中国科学院合肥物质科学研究院
地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路350号

(72)发明人 陈磊 刘松林 陈有华 祝庆军
黄凯 李敏 马学斌

(74)专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理有限公司 34112

代理人 朱荣

(51)Int.Cl.
G01D 21/02(2006.01)

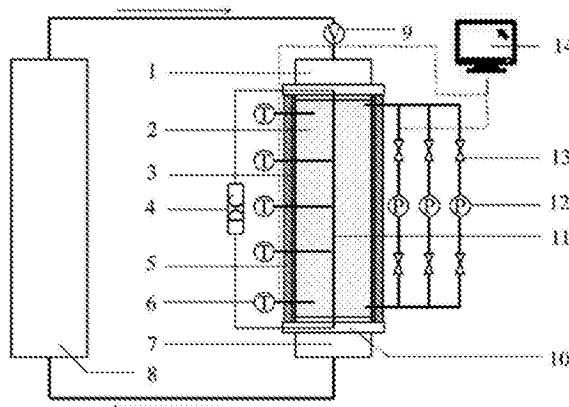
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种球床综合实验测量装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种球床综合实验测量装置及方法,由球床实验段本体供气系统和实验数据测量与采集系统组成,球床实验段本体的进、出气腔分别通过管道与供气系统的出气口和进气口连通,球床实验段本体由金属网封闭,外侧设有加热带,球床实验段本体内的中部安装有热线,球床实验段本体上安装有用于采集实验段温度、压力/压差以及流量信号并传递给数据采集端的温度传感器、压力传感器以及实验段入口处的流量传感器,温度传感器用于检测热线及球床温度变化。本发明可用于球床热工流体参数测量中,不仅球床测量工况范围广,而且可在一次实验中同时实施各个参数的测量,有效降低了实验成本和实验时间。



1. 一种球床综合实验测量装置,其特征在于:由球床实验段本体(2)、供气系统(8)和实验数据测量与采集系统组成,所述球床实验段本体(2)的进、出气腔分别通过管道与供气系统的出气口和进气口连通,所述球床实验段本体(2)由金属网(17)封闭,外侧设有加热带(3),所述球床实验段本体(2)内的中部安装有热线(11),所述球床实验段本体(2)上安装有用于采集实验段温度、压力/压差以及流量信号并传递给数据采集端(14)的温度传感器(6)、压力传感器(12)以及实验段入口处的流量传感器(9),所述温度传感器(6)用于检测热线及球床温度变化。

2. 根据权利要求1所述的球床综合实验测量装置,其特征在于:所述的球床实验段本体(2)中的热线(11)通过使用辅助螺杆(20)安装,保证热线安装的同轴度,所述热线(11)由直流电源(4)供电。

3. 根据权利要求2所述的球床综合实验测量装置,其特征在于:所述的热线(11)两端为电极接头(19-1和19-2),所述电极接头(19-1和19-2)上分别插入热线电极(15-1和15-2),所述热线(11)由热线电极(15-1和15-2)支撑。

4. 根据权利要求3所述的球床综合实验测量装置,其特征在于:所述的电极接头(19-1和19-2)与其两端的金属网(17)之间设有陶瓷垫(16)。

5. 根据权利要求1所述的球床综合实验测量装置,其特征在于:所述的压力传感器(10)由阀门(13)实现量程切换,以适应不同范围的球床吹扫气压差测量需求,并保证压差测量精度。

6. 根据权利要求1所述的球床综合实验测量装置的实验方法,其特征在于具体步骤如下:

步骤1:实验前首先安装热线,填充待测球床,安装球床实验段本体(2),并连接供气系统(8),做好密封,准备实验;

步骤2:实验开始时,打开供气系统(8),对球床实验段本体(2)进行抽真空和流洗,将实验本体内的空气置换为指定要求的高纯气体;

步骤3:将供气系统(8)的供气压力和流量调节至实验指定值,打开球床实验段本体(2)上的加热带(3),加热球床实验段本体(2),至实验指定温度;

步骤4:根据压力传感器(12)的读数显示,通过各并联支路阀门(13)的开闭,选择合适的量程和精度,测量球床实验段本体(2)的进出口压差;

步骤5:打开直流电源(4)为热线(11)通电,通过测温传感器测量热线和球床温度变化;

步骤6:通过数据采集端(14)自动采集并记录实验数据,处理实验数据,获得球床的有效热导率、有效热扩散系数以及吹扫气压降,球床有效热导率和热扩散系数的计算方法依照国家标准GB/T 5990-2006执行;

步骤7:调节装置参数至新的吹扫气目标压力、流量和温度,直至完成所有实验;实验完成后,关闭加热带(3)和直流电源(4),直至气体温度降至室温后关闭供气系统(8),最后再关闭其他设备,断开电源,结束实验。

7. 根据权利要求6所述的球床综合实验测量装置的实验方法,其特征在于:所述的步骤1中热线(11)安装时,先将实验段本体(2)侧壁开孔穿入的测温探头的引线通过高温胶固定在热线(11)上,再依靠辅助螺杆(20)固定缠绕热线(11)的电极接头(19-1和19-2),并插入实验段本体(2)中,使一端的电极接头正好落入陶瓷垫(16-1或16-2)的对应中心孔内,然

后插入热线电极(15-1和15-2)固定电极接头(19-1和19-2),最后取出辅助螺杆(20)。

一种球床综合实验测量装置及方法

[0001] 技术领域:

本发明属于热工水力学测量技术领域,主要涉及一种球床综合实验测量装置及方法。

[0002] 背景技术:

球床广泛应用于高效换热器、化学反应器和球床式反应堆等领域。在核聚变领域,氦增殖包层是聚变堆的核心部件之一,主要任务是实现氦自持、输出能量及提供屏蔽。而氦增殖球床既是聚变堆固态氦增殖包层内产氦载体,也是包层内实现核能转换成热能的功能区域。其在包层工作条件下的综合性能直接关系包层的能量转换和传递效率、氦提取效率和使用寿命。依托于国家磁约束核聚变发展研究专项课题,等离子体所开展了面向CFETR候选概念之一水冷陶瓷增殖剂包层概念(WCCB)设计研究。WCCB采用新型的 $\text{Li}_2\text{TiO}_3/\text{Be}_{12}\text{Ti}$ 混合球床作为产氦载体。这种新型的混合球床虽具有卓越的产氦性能,但仍然缺少相关综合性能参数,尤其是热工水力学参数(例如有效热导率、有效热扩散系数、吹扫气压降等)。因此本专利旨在设计一种球床综合实验测量装置,对增殖剂球床有效热导率、有效热扩散系数、吹扫气压降等参数进行实验测量,为水冷陶瓷增殖剂包层研发提供基础数据支持。

[0003] 聚变堆固态包层一般通过氦气(携带有少量氢气)流经增殖剂球床颗粒之间的孔隙,利用氦同位素置换的方法提取在增殖区产生的氦,然后输送到包层外部的氦回收系统,实现氦提取。一般情况下,吹扫气流速约为 $0.01\sim 0.5\text{m/s}$,温度最高可达 800°C ,微球尺寸约为 $0.5\sim 2\text{mm}$ 。球床的综合性能,特别是热工水力学参数,与上述流速、温度、微球直径等密切相关,实验测量时不仅需要完全覆盖上述参数范围,并且要兼顾实验测量周期和成本。这就要求测量装置不但能够适应较大的工况范围,而且兼具要求的测量功能。

[0004] 目前,德国KIT、日本JAERI和美国UCLA等单位,相继开展了 Li_4SiO_4 、 Li_2TiO_3 和Be等聚变堆包层球床的热导率测量研究工作;德国KIT还进行了球床吹扫气压降测量工作,日本JAERI也进行了球床热扩散系数测量。中国专利CN104122071、CN104730104和CN105784257也分别涉及聚变包层球床的实验模拟、热导率测量和吹扫压降测量。这些实验测量装置均能完成聚变包层球床单一参数的测量实验,但也存在不足之处:(1)一次实验只能完成球床在单一工况变化条件下,单一参数的测量,需要针对不同球床参数设计不同功能的实验段分别测量;(2)实验测量未考虑传热和流动的耦合效应,与存在气体流动的球床实际工况存在一定差异;(3)实验测量范围较窄,不能适应多个参数同时变化的测量需求。此外,国家标准GB/T 5990-2006规定了耐火材料的导热系数试验方法——瞬态热线法,但该国家标准的具体实施方案针对块状固体材料提出,不能直接应用于由大量颗粒堆积而成的球床有效热导率的测量。

[0005] 发明内容:

本发明目的就是克服现有球床实验测量装置只能针对单一参数实施测量、不能考虑热流动耦合效应,测量工况范围较窄的缺点,本发明提出一种球床综合实验测量装置,可用于球床热工流体参数(如球床有效热导率、有效热扩散系数以及吹扫气压降)测量中;该方案不仅球床测量工况范围广,而且可在一次实验中同时实施各个参数的测量;有效降低了实验成本和实验时间,为新型球床,特别是聚变包层球床研发提供相关参数快速测试手段。

[0006] 本发明是通过以下技术方案实现的：

一种球床综合实验测量装置，其特征在于：由球床实验段本体(2)、供气系统(8)和实验数据测量与采集系统组成，所述球床实验段本体(2)的进、出气腔分别通过管道与供气系统的出气口和进气口连通，所述球床实验段本体(2)由金属网(17)封闭，外侧设有加热带(3)，所述球床实验段本体(2)内的中部安装有热线(11)，所述球床实验段本体(2)上安装有用于采集实验段温度、压力/压差以及流量信号并传递给数据采集端(14)的温度传感器(6)、压力传感器(12)以及实验段入口处的流量传感器(9)，所述温度传感器(6)用于检测热线及球床温度变化。

[0007] 所述的球床实验段本体(2)中的热线(11)通过使用辅助螺杆(20)安装，

保证热线安装的同轴度，所述热线(11)由直流电源(4)供电。

[0008] 所述的热线(11)两端为电极接头(19-1和19-2)，所述电极接头(19-1和19-2)上分别插入热线电极(15-1和15-2)，所述热线(11)由热线电极(15-1和15-2)支撑。

[0009] 所述的电极接头(19-1和19-2)与其两端的金属网(17)之间设有陶瓷垫(16)。

[0010] 所述的压力传感器(10)由阀门(13)实现量程切换，以适应不同范围的球床吹扫气压差测量需求，并保证压差测量精度。

[0011] 所述的球床综合实验测量装置的实验方法，其特征在于具体步骤如下：

步骤1：实验前首先安装热线，填充待测球床，安装球床实验段本体(2)，并连接供气系统(8)，做好密封，准备实验；

步骤2：实验开始时，打开供气系统(8)，对球床实验段本体(2)进行抽真空和流洗，将实验本体内的空气置换为指定要求的高纯气体；

步骤3：将供气系统(8)的供气压力和流量调节至实验指定值，打开球床实验段本体(2)上的加热带(3)，加热球床实验段本体(2)，至实验指定温度；

步骤4：根据压力传感器(12)的读数显示，通过各并联支路阀门(13)的开闭，选择合适的量程和精度，测量球床实验段本体(2)的进出口压差；

步骤5：打开直流电源(4)为热线(11)通电，通过测温传感器测量热线和球床温度变化；

步骤6：通过数据采集端(14)自动采集并记录实验数据，处理实验数据，获得球床的有效热导率、有效热扩散系数以及吹扫气压降，球床有效热导率和热扩散系数的计算方法依照国家标准GB/T 5990-2006执行；

步骤7：调节装置参数至新的吹扫气目标压力、流量和温度，直至完成所有实验；实验完成后，关闭加热带(3)和直流电源(4)，直至气体温度降至室温后关闭供气系统(8)，最后再关闭其他设备，断开电源，结束实验。

[0012] 所述的步骤1中热线(11)安装时，先将从实验段本体(2)侧壁开孔穿入的测温探头的引线通过高温胶固定在热线(11)上，再依靠辅助螺杆(20)固定缠绕热线(11)的电极接头(19-1和19-2)，并插入实验段本体(2)中，使一端的电极接头正好落入陶瓷垫(16-1或16-2)的对应中心孔内，然后插入热线电极(15-1和15-2)固定电极接头(19-1和19-2)，最后取出辅助螺杆(20)。

[0013] 本发明的优点是：

1. 本发明的球床实验装置兼具球床有效热导率、有效热扩散系数以及球床压降测量

的功能,单次实验可以同时测量多个球床参数,大大降低了实验成本,节约了实验时间;

2. 本发明的球床实验装置可以考虑流动和传热的耦合效应,研究气体流动状态下球床的传热特性,更接近气体流动的球床的实际工况,弥补了现有实验测量装置的不足;

3. 本发明的球床实验装置球床压力、温度和流量均可调节,可测量的球床实际工况范围广,针对压差变化大的特点还设置了不同量程,在保证实验覆盖范围的同时也保证了实验数据的准确度。

[0014] 附图说明:

图 1 为本发明的实验原理图;

图 2 为本发明的球床试验段本体三维轴测图;

图 3 为本发明的热线安装及固定图;

图 4 为本发明的实验步骤图。

[0015] 图中:1. 进气腔;2. 球床试验段本体;3. 加热带;4. 直流电源;5. 保温层;6. 温度传感器(6-1至6-7均为温度传感器);7. 出气腔;8. 供气系统;9. 流量传感器;10. 法兰(10-1至10-2均为法兰);11. 热线;12. 压力传感器;13. 阀门;14. 数据采集端;15-1/15-2. 热线电极;16. 陶瓷垫(实验段两端各一只);17. 金属网(实验段两端各一只);18. 引压管(接压力传感器10);19-1/19-2. 电极接头;20. 辅助螺杆。

[0016] 图1 实线箭头表示气体流动方向。

[0017] 具体实施方式:

参见附图。

[0018] 下面结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明的保护范围。

[0019] 如图1所示,一种球床综合实验测量装置,它主要由球床实验段本体2、供气系统8和实验数据测量与采集系统组成。一定温度、压力、流速的气体由供气系统8经进气腔1流入球床实验段本体2,再经出气腔流回供气系统8。实验球床由金属网密封于实验段本体2内,由功率可控的加热带3直接加热管壁实现实验段温度控制,为减少高温下的热量损失,加热带外侧敷设保温层5。在实验段本体2内布置有用直流电源4供电的热线11、温度传感器6和压力传感器10,实验段入口处布置有流量传感器9,用于采集实验段温度、压力/压差以及温度信号并传递给数据采集端14。由于实验测量的吹扫气流速范围大,流经球床实验段的进出口压差变化较大。为了保证压差测量精度,选用不同量程的压力传感器,分别测量不同范围的压差。各压力传感器量程的选择由阀门13控制。

[0020] 图2显示了本发明球床实验段本体2的三维轴测图。布置于实验段本体2腔体内的热线11固定在电极接头19-1及19-2上,而电极接头19-1及19-2通过螺纹与热线电极15-1及15-2连接。温度传感器6-1和6-5探头伸入球床内,用于探测球床的温度。三支温度传感器6-2、6-3、6-4通过高温胶粘结在热线11上,用于测量热线11加热时热线上的温度。温度传感器6-6及6-7探头离开热线11一定距离布置于球床内,用于测量热线11加热时球床的温度变化。此外,试验段腔体进出口端各布置有一组陶瓷垫16和金属网17。陶瓷垫16不仅保证热线11安装的同心度,也可以使金属网与电极接头绝缘,并减少实验段端部热损失。金属网17则

用于将球床颗粒限定在实验段本体2内。进出口气腔1和7通过法兰10-1和10-2与实验段本体2连接,并采用金属密封方式实现高温密封。进出口气腔1和7用于缓冲和稳定气流。

[0021] 图3显示了本发明中热线11的安装过程。实验依据瞬态热线法测量球床有效热扩散系数,要求热线11具有较高的安装精度,以保证其与温度探头6-6和6-7的相对位置。实验前,先将测温探头6-2、6-3和6-4的引线从实验段管壁开孔穿入腔内并抽出腔体外,通过高温胶固定在热线11上,然后将热线11缠绕在电极接头19-1和19-2上。依靠辅助螺杆20固定电极接头19-1和19-2,并插入实验段本体2,使一端的电极接头正好落入陶瓷垫16-1或16-2的对应中心孔内,然后将热线电极15-1和15-2与相应电极接头19-1和19-2相连。通过这种安装方式,可以由陶瓷垫16-1和16-2限定电极接头19-1及19-2的轴心位置,从而保证热线11安装的同心度。根据实践经验,如果采用传统目测方法安装热线11,其同心度误差一般约为 ± 1 cm,而依据本发明改进热线11安装方法后,其同心度误差约为 ± 1 mm,效果显著。

[0022] 本发明在实验时热线11需要通电,需要对热线11及相关零件绝缘。实验段本体2侧壁开孔处焊接有耐高温不锈钢套管,套管内安装有石英玻璃管,电极和温度传感器探头从石英玻璃管中引出,可以达到与实验管段绝缘的目的。此外,本发明在实验时通有较高温度的供气,需要对装置密封。装置的法兰连接处采用耐高温的金属垫圈密封。实验段本体侧壁开孔处使用不锈钢套管引到低温区,采用橡胶垫密封。

[0023] 图4显示了本发明具体实验方法和步骤,具体阐述如下:

步骤1:实验前,依据本发明图3方法安装热线,填充待测球床,安装实验段段本体2,并连接供气系统8,做好密封,准备实验;

步骤2:实验开始时,打开供气系统8,对实验本体2进行抽真空和流洗,将实验本体内的空气置换为指定要求的高纯气体;

步骤3:将供气系统8的供气压力和流量调节至实验指定值,打开实验本体2上的加热带3,加热实验本体2,至实验指定温度;

步骤4:根据压力传感器12的读数显示,通过各并联支路阀门13的开闭,选择合适的量程和精度,测量实验段本体2的进出口压差;

步骤5:打开直流电源4为热线11通电,通过测温传感器(6-2,6-3,6-4,6-6和6-7)测量热线和球床温度变化;

步骤6:通过数据采集端14自动采集并记录实验数据,处理实验数据,获得球床的有效热导率、有效热扩散系数以及吹扫气压降。球床有效热导率和热扩散系数的计算方法依照国家标准GB/T 5990-2006执行。

[0024] 步骤7:调节装置参数至新的吹扫气目标压力、流量和温度,直至完成所有实验。实验完成后,关闭加热带4和直流电源4,直至气体温度降至室温后关闭供气系统8。最后再关闭其他设备,断开电源,结束实验。

[0025] 本发明未详细描述的部分,属于本领域公知技术。

[0026] 尽管以上内容对本发明说明性的具体实施方式进行了描述,以便于本领域的技术人员理解本发明。但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求和本发明确定的精神和范围内,这些变化是显而易见的,均在本发明保护之列。

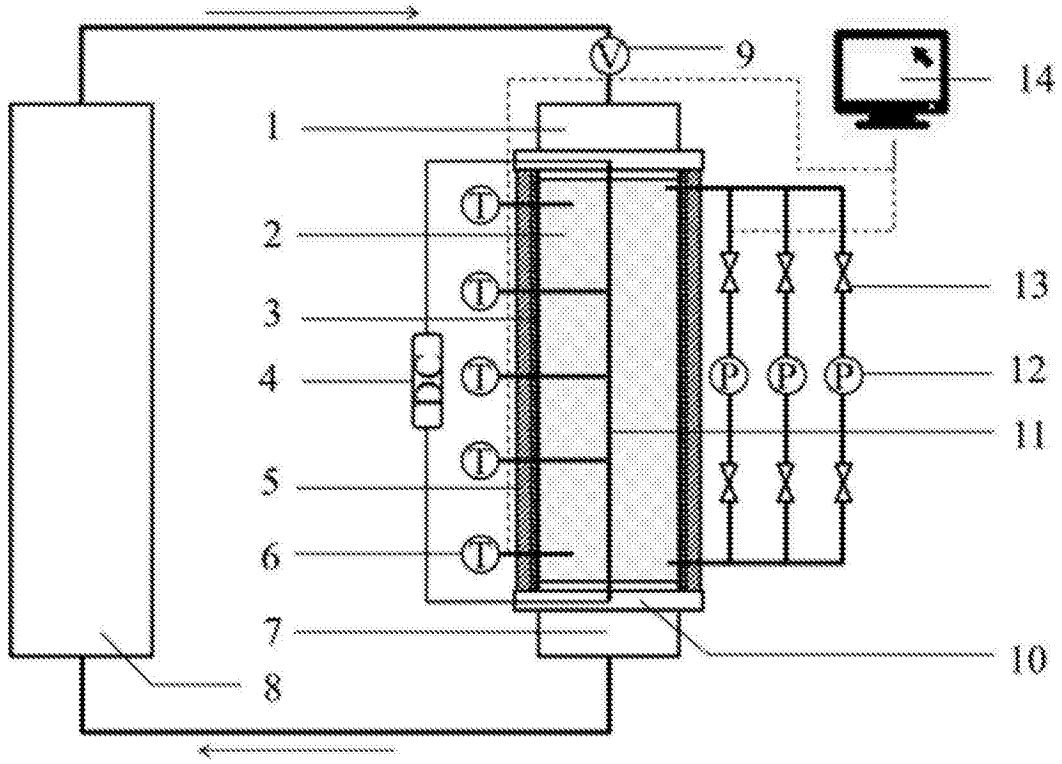


图1

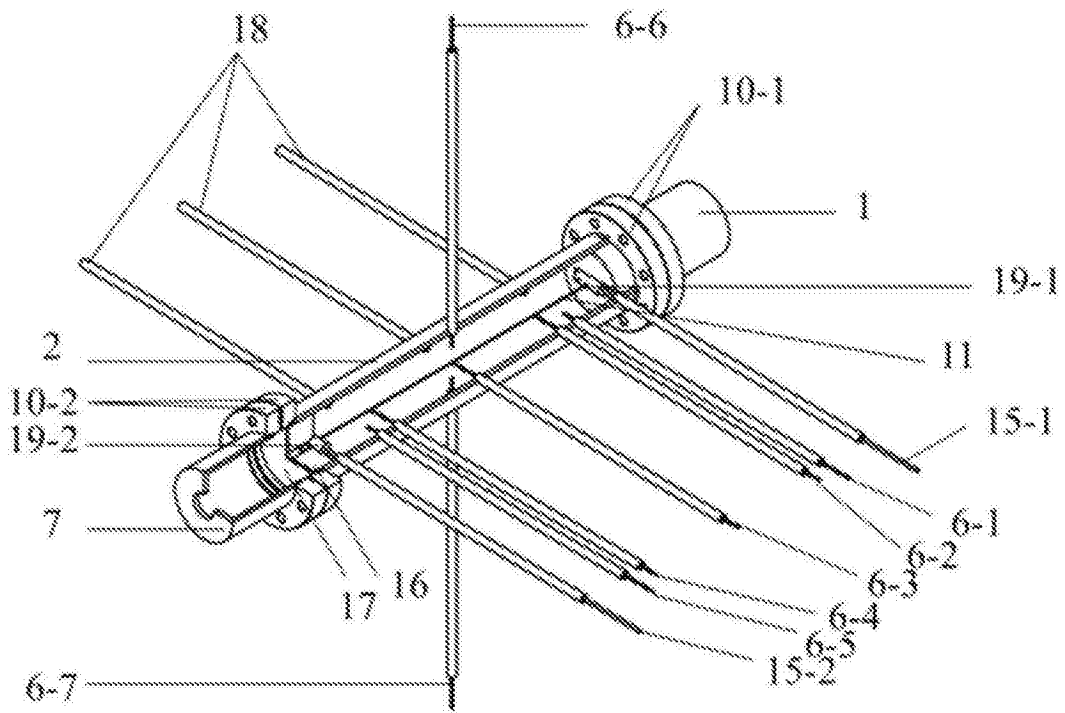


图2

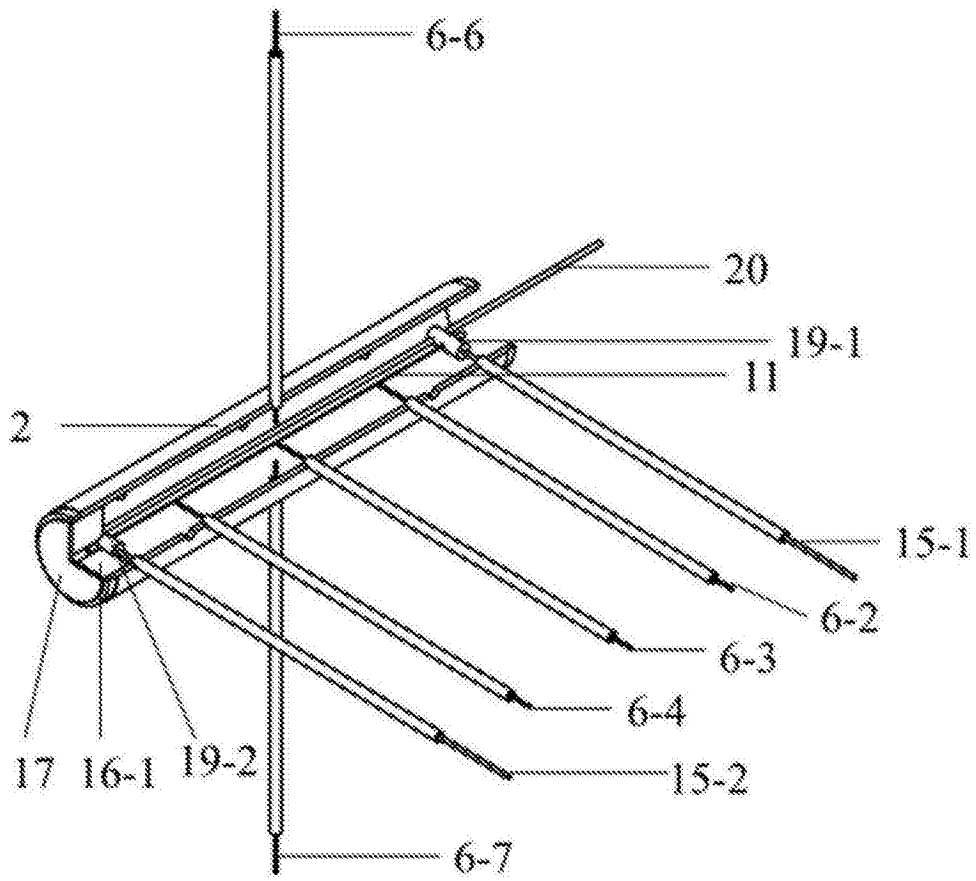


图3

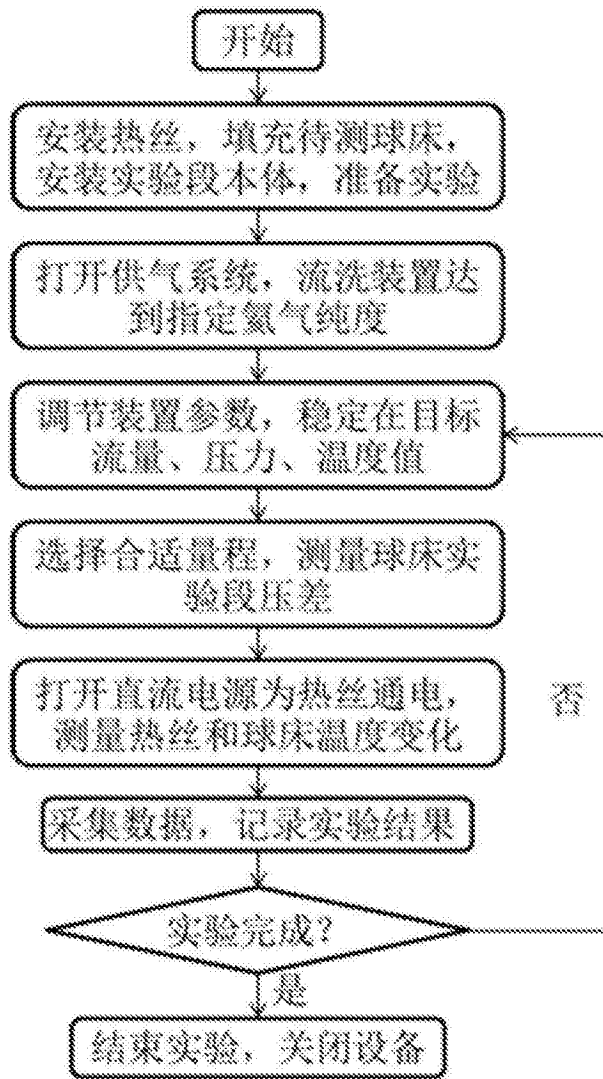


图4