

(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
2016年6月9日 (09.06.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/086504 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 25/20 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/000834
- (22) 国际申请日: 2015年12月28日 (28.12.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201410720161.8 2014年12月2日 (02.12.2014) CN
201410720854.7 2014年12月2日 (02.12.2014) CN
- (71) 申请人: 北京空间飞行器总体设计部 (BEIJING INSTITUTE OF SPACECRAFT SYSTEM ENGINEERING) [CN/CN]; 中国北京市海淀区友谊路104号, Beijing 100094 (CN)。
- (72) 发明人; 及
- (71) 申请人: 苗建印 (MIAO, Jianyin) [CN/CN]; 中国北京市海淀区友谊路104号, Beijing 100094 (CN)。 连红奎 (LIAN, Hongkui) [CN/CN]; 中国北京市海淀区友谊路104号, Beijing 100094 (CN)。 张红星 (ZHANG, Hongxing) [CN/CN]; 中国北京市海淀区友

谊路104号, Beijing 100094 (CN)。 莫青 (MO, Qing) [CN/CN]; 中国北京市海淀区友谊路104号, Beijing 100094 (CN)。 王录 (WANG, Lu) [CN/CN]; 中国北京市海淀区友谊路104号, Beijing 100094 (CN)。 丁汀 (DING, Ting) [CN/CN]; 中国北京市海淀区友谊路104号, Beijing 100094 (CN)。

(74) 代理人: 北京理工大学专利中心 (BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PATENT CENTER); 中国北京市海淀区北三环西路66号理工国际教育交流大厦812杨志兵, Beijing 100081 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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。

[见续页]

(54) Title: VACUUM THERMAL PERFORMANCE TEST DEVICE FOR TWO-PHASE FLUID LOOP, AND METHOD

(54) 发明名称: 一种两相流体回路真空热性能试验装置及方法

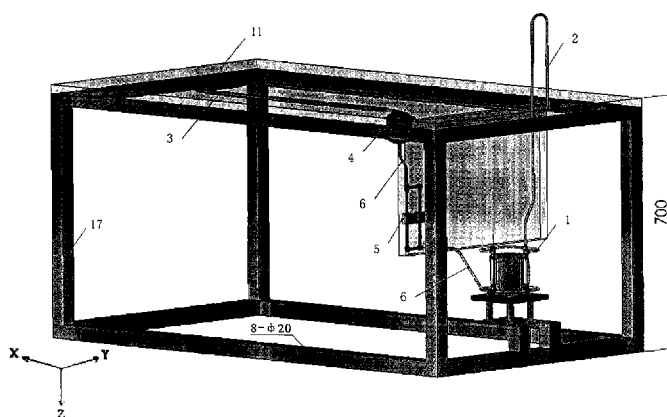


图2 / FIG. 2

(57) Abstract: Provided are a vacuum thermal performance test device for a two-phase fluid loop, and a test method, for testing and evaluating the heat transfer capability and the blocking performance of a two-phase fluid loop at different operating temperatures. The test device comprises a heat dissipation plate (11), a temperature control heater, a multi-layer heat insulation assembly, a temperature sensor, a simulation heat source (15) and a loop support (17). The operating temperature of a two-phase fluid loop is altered by controlling the temperature of an evaporator (1) and the temperature of the heat dissipation plate (11). The test method tests the heat transfer and blocking capabilities of the vacuum thermal performance of a gravity-driven two-phase fluid loop. The arrangement of the temperature sensor is beneficial for the observation of the state of an ammonia working medium within the two-phase fluid loop, each component within the two-phase fluid loop is examined as to whether a temperature requirement is satisfied, and the two-phase fluid loop is also examined as to whether balance is achieved.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/086504 A1



(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)。

根据细则 4.17 的声明:

— 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。
— 包括关于请求恢复一项或多项优先权要求的信息(细则 26 之二.3 和 48.2(b)(vii))。

提供一种两相流体回路真空热性能试验装置及试验方法, 能够对两相流体回路在不同工作温度下的传热能力和阻断性能进行测试和评估。所述试验装置包括散热板(11)、控温加热器、多层隔热组件、温度传感器、模拟热源(15)和回路支架(17), 通过控制蒸发器(1)温度和散热板(11)温度改变两相流体回路的工作温度, 设计试验方法, 对重力驱动两相流体回路真空热性能进行传热、阻断能力试验, 其中, 温度传感器的布置有利于观察两相流体回路中氨工质的状态, 查看两相流体回路中的各部件是否满足温度要求, 同时还可以查看两相流体回路是否达到平衡。

一种两相流体回路真空热性能试验装置及方法

技术领域

本发明涉及航天器热控制技术领域，尤其涉及一种两相流体回路真空热性能试验装置及方法。

背景技术

两相流体回路技术是近二十年来国内外重点发展的航天器热控制技术，主要包括环路热管技术、机械泵驱动两相流体回路技术、重力驱动两相流体回路技术等。重力驱动两相流体回路系统是解决嫦娥探月工程中巡视器和着陆器度过月夜的关键技术，通过两相流体回路系统，将同位素热源的热量带入到载荷舱内，保证载荷舱各设备的温度不至于过低。重力驱动两相流体回路的系统组成如图1所示，包括蒸发器1（包括丝网蒸发器7、液体分流器8和蒸气汇流器9）、蒸气管路2、冷凝管路3、储液器4、液体管路6和控制阀5，其中，冷凝管路3位于储液器4重力场上方，蒸发器1位于储液器4重力场的下方、并与同位素热源耦合安装，储液器4内液面和蒸发器1底部之间形成重力辅助高度差；储液器4通过液体管路6连接至蒸发器1入口，在液体管路6上设有控制阀5，蒸发器1出口依次通过蒸气管路2、冷凝管路3连接至储液器4，形成封闭的管路系统。为确保重力驱动两相流体回路在 $-50^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 温度范围内具有良好的传热特性，选择氨作为工作介质。月夜期间，重力驱动两相流体回路控制阀5开启，启动重力驱动两相流体回路，将同位素核热源的热量引入探测器内部。月昼期间，重力驱动两相流体回路控制阀5关闭，关闭重力驱动两相流体回路，阻断同位素核热源向探测器内部传递热源。

为了保证重力驱动两相流体回路技术能够正常运行，同时保证在月夜时重力驱动两相流体回路能够传递满足系统所需要的传热量、在月昼时重力驱动两相流体回路系统能够正常阻断，必须对重力驱动两相流体回路进行真空试验，要求重力驱动两相流体回路在给定的稳态工作温度（即储液器 4 温度）下，重力驱动两相流体回路的稳态传热量和稳态传热温差（蒸发器 1 与储液器 4 之间的温差）满足技术指标。

由于重力驱动两相流体回路技术是航天器热控制的新型热控方法，没有固定的测试方式和测试方法。同时，考虑到月球恶劣的环境，重力驱动两相流体回路同位素热源联合使用，此种情况下的传热能力、阻断性能的测试方法未见文献报道，需要自行摸索，从而指导重力驱动两相流体回路的在轨应用。

发明内容

有鉴于此，本发明提供了一种两相流体回路真空热性能试验装置，采用该装置，能够对两相流体回路在不同工作温度下的传热能力和阻断性能进行测试、评估。

为了解决上述技术问题，本发明是这样实现的：

两相流体回路真空热性能试验装置包括：散热板、控温加热器、多层隔热组件、温度传感器、模拟热源和回路支架；其中，散热板通过隔热垫隔热安装在回路支架的上部；两相流体回路的冷凝管路埋在散热板中，两相流体回路的储液器半埋在散热板中；两相流体回路中的蒸发器隔热安装在回路支架的下部；控温加热器安装在两相流体回路的蒸汽管路、储液器、控制阀和液体管路上；温度传感器安装在两相流体回路的蒸发器、蒸汽管路、冷凝管路、储液器、控制阀和液体管路、模拟热源以及散热板边缘区域上；多层隔热组件包裹在蒸汽

管路、储液器、控制阀和液体管路上；模拟热源为 RHU 同位素电模拟热源，固定安装在蒸发器内；安装为散热板提供工作温度的散热板加热器，所述散热板加热器为安装在散热板外侧空间的红外加热器或粘贴在散热板上的加热片；回路支架放置在真空仓中；

其中，所述蒸发器安装在隔热板上，模拟热源放置在蒸发器的内部，模拟热源工装的耳片通过螺钉和隔热垫固定在隔热板上，所述隔热板通过 4 个隔热柱固定安装在回路支架上；

模拟热源用于控制蒸发器的温度，使蒸发器的温度为 $-55^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；散热板加热器用于控制散热板的温度，使散热板的温度为 $-60^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；控温加热器用于防止蒸汽管路、储液器、控制阀和液体管路冻结，控温加热器的自控门限设置为 $-55^{\circ}\text{C}\sim -30^{\circ}\text{C}$ ；

所述温度传感器用于观察重力驱动两相流体回路中氨工质在各部件中的状态，温度传感器的安装位置为：

蒸发器的 4 个翅片上沿高度方向分别布置至少 2 个温度传感器，其中一个位于蒸发器翅片的下端，一个位于蒸发器翅片的上端；

蒸气管路的进口、顶部和出口处分别布置 1 个温度传感器；

冷凝管路的进口、出口分别布置 1 个温度传感器，在冷凝管路的翅片上布置至少 1 个温度传感器；

储液器的外表面沿高度方向布置 3 个温度传感器，分别位于储液器的气空间、气液界面和液体空间；

连接储液器和控制阀的液体管路上布置至少 1 个温度传感器，在连接控制阀和蒸发器的液体管路上布置至少 1 个温度传感器；

控制阀上布置 1 个温度传感器；

模拟热源上布置至少 1 个温度传感器；

散热板的内表面的边缘区域布置至少 1 个温度传感器。

其中，所述隔热板 (12)、隔热垫 (13) 和隔热柱 (14) 材料为聚酰亚胺或玻璃钢。

所述散热板 (11) 的基板为铝板或蜂窝板，散热板 (11) 的表面粘贴有 OSR 片或喷涂高发射率的涂层。

所述控温加热器为加热片、加热丝、加热带或加热板。

本发明还提供了一种采用上述试验装置的两相流体回路真空热性能试验方法，能够对两相流体回路在不同工作温度下的传热能力和阻断性能进行测试、评估。

所述试验方法包括如下步骤：

步骤 2，将回路支架放入真空仓中，抽真空，使得真空度小于 2×10^{-3} Pa，设置储液器、控制阀、液体管路和蒸气管路上的控温加热器为自控状态，自控门限为 $-55^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ ；设置散热板加热器的自控门限为 $-55^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ ；

步骤 3，向真空仓的热沉通液氮，降低真空仓温度至 -150°C ；将储液器的温度降至第一测试温度 -50°C ，且达到两相流体回路工况平衡；所述工况平衡为储液器温度在半小时维持不变或单调变化小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；储液器的温度即为两相流体回路的工作温度；

步骤 4，极限传热能力测试：

开启模拟热源，按照设定的步长增加模拟热源的加热功率，在每次增加模拟热源的加热功率的同时减小散热板加热器的加热功率，使储液器的温度维持在 -50°C ，且达到两相流体回路工况平衡，直至散热板加热器的加热功率为零或者因蒸发器的温度突升导致无法维持工况平衡；则散热板加热器的加热功率为

零时或者蒸发器的温度突升前一平衡时刻的模拟热源的加热功率即为该工作温度下两相流体回路的极限传热能力；

步骤 5，通过降低蒸发器的功率、同时增加散热板的功率，改变储液器的温度至各测试温度，依照步骤 4 的方法，获得各测试温度下两相流体回路的极限传热能力，其中，按照递升的方式改变储液器温度；

步骤 6，两相流体回路阻断能力测试：

不同工作温度下，当两相流体回路运行在平衡工况时，保持模拟热源和散热板加热器的加热功率不变，对控制阀进行开关操作，检查两相流体回路的阻断性能：如果关闭控制阀后，蒸发器的温度不断升高后突升、散热板的温度不断降低，而重新开启控制阀后，蒸发器温度降低、散热板温度提升，直至达到工况平衡，表明两相流体回路阻断性能正常；如果关闭控制阀后，蒸发器的温度不变或平稳升高，则表明两相流体回路阻断性能不正常。

其中，所述步骤 3 的降温过程中，开启模拟热源，使得两相流体回路运行，加快蒸发器的降温速率。

有益效果：

(1) 采用本发明试验装置和试验方法可对两相流体在真空环境下的传热和阻断性能进行全面、有效的评估。

(2) 散热板的基板选为铝板或蜂窝板，在其表面粘贴 OSR 片或喷涂高发射率的涂层，有利于提高散热板的散热率。

(3) 温度传感器的布置有利于观察两相流体回路中氨工质的状态，查看两相流体回路中的各部件是否满足温度要求，同时还可以查看两相流体回路是否达到平衡。

(4) 由于冷凝管路和蒸发器降温速率不同，在降温过程中加大模拟热源的

加热功率可以使得蒸发器的温度提升，两相流体回路中的氨工质将蒸发器的热量传递至冷凝管路，能够提高蒸发器的降温速率。

附图说明

图 1 为重力驱动两相流体回路系统组成示意图。

图 2 为两相流体回路真空热性能试验装置示意图。

图 3 为两相流体回路蒸发器的安装示意图。

图 4 为两相流体回路上的温度传感器的布置示意图。

图 5 为散热板（包括冷凝管路）上温度传感器的布置示意图。

其中，1-蒸发器，2-蒸汽管路，3-冷凝管路，4-储液器，5-控制阀，6-液体管路，7-丝网蒸发器，8-液体分流器，9-蒸汽汇流器，10-真空仓，11-散热板，12-隔热板，13-隔热垫，14-隔热柱，15-模拟热源，16-红外加热器，17-回路支架。

具体实施方式

下面结合附图并举实施例，对本发明进行详细描述。

本发明提供了一种两相流体回路真空热性能试验装置，如图 2 所示，包括散热板 11、控温加热器、多层隔热组件、温度传感器、模拟热源 15 和回路支架 17。

其中，两相流体回路和散热板 11 隔热安装在回路支架 17 上，散热板 11 用隔热垫隔热安装在回路支架 17 的上部，用于模拟两相流体回路在轨的散热部分；两相流体回路的冷凝管路 3 埋在散热板 11 中，两相流体回路的储液器 4 半埋在散热板 11 中，位于冷凝管路 3 的出口处；两相流体回路中的蒸发器 1 隔热安装

在回路支架 17 的下部，位于冷凝管路 3 的下方；控温加热器安装在两相流体回路的蒸汽管路 2、储液器 4、控制阀 5 和液体管路 6 上，防止管路冻结；温度传感器安装在两相流体回路的蒸发器 1、蒸汽管路 2、冷凝管路 3、储液器 4、控制阀 5 和液体管路 6，以及散热板 11 上，用于测量两相流体回路各部件以及散热板的温度，检测两相流体回路的运行情况；多层隔热组件安装在蒸汽管路 2、储液器 4、控制阀 5 和液体管路 6 上，用来防止管路部分环境漏热，模拟在轨工况；模拟热源 15 采用 RHU 同位素电模拟热源，固定安装在蒸发器 1 内，用来模拟同位素加热器件，模拟热源 15 同时也是蒸发器 1 的控温加热器；回路支架 17 放置在真空仓 10 中，真空仓 10 提供温度不大于 80K，真空度小于 2×10^{-3} pa 的真空环境。

其中，散热板的基板可以采用铝板或蜂窝板等导热性能较好的材料制成，其外表面粘贴有 OSR 片，或喷涂高发射率的涂层，从而有利于散热。

蒸发器 1、模拟热源 15 与回路支架 17 之间的隔热方式如图 3 所示，蒸发器 1 安装在隔热板 12 上，模拟热源 15 放置在蒸发器 1 的内部，模拟热源 15 工装的耳片通过螺钉和隔热垫 13 固定在隔热板 12 上，所述隔热板 12 通过 4 个隔热柱 14 固定安装在回路支架 17 上。其中，隔热板 12、隔热垫 13 和隔热柱 14 材料为聚酰亚胺或玻璃钢等导热率低材料。液体分流器 8 下表面与隔热板 12 上表面间的距离大于 10mm，隔热板 12 与回路支架 17 间的有效隔热距离大于 100mm，隔热垫 13 的外径小于 10mm。

温度传感器为热电偶温度传感器，其布置如图 4 所示。在两相流体回路上布置 34 个温度传感器：

①在蒸发器 1 的 4 个翅片上沿高度方向由下至上分别均匀布置 3 个温度传感器，共 12 个，编号 T1~T12，也可以只在蒸发器翅片的下端和上端布置传感

器，主要是用于测量蒸发器中液态工质和气态工作的温度，从而反应蒸发器 1 的工作状态。

②在蒸气管路 2 的进口、顶部和出口处分别布置 1 个温度传感器，编号分别为 T13、T14 和 T15。

③在冷凝管路 3 的进口、出口及冷凝管路上布置 9 个温度传感器，编号 T16~T24，如图 5 所示；冷凝管路 3 一般安装有翅片，用于增大散热面积，温度传感器一般安装在翅片上。

④在储液器 4 的外表面沿高度方向布置 3 个温度传感器，编号 T25~T27，分别用于测量储液器 4 中气体、气液界面和液体的温度。

⑤液体管路 6 分为两段，一段连接储液器 3 和控制阀 5，另一段连接控制阀 5 和蒸发器 1。其中，在连接储液器 3 和控制阀 5 的液体管路的中点处布置 1 个温度传感器，编号 T28；在连接控制阀 5 和蒸发器 1 的液体管路的进口和出口处分别布置 1 个温度传感器，编号分别为 T31 和 T32，也可以在连接控制阀 5 和蒸发器 1 的液体管路的中点处布置 1 个温度传感器。

⑥在控制阀 5 上布置温度传感器。若控制阀 5 由两个并行的阀(a 阀和 b 阀)组成，则在 a 阀和 b 阀上分别布置 1 个温度传感器，编号分别为 T29 和 T30；

⑦在模拟热源上布置 2 个温度传感器，编号为 T33 和 T34；

⑧在散热板 11 的内表面的边缘区域布置 4 个温度传感器，编号为 T35 和 T38，4 个温度传感器距散热板边缘 100mm，如图 5 所示。

温度传感器所在位置即为测点位置。

控温加热器可以是加热片、加热丝、加热带、加热板或其他加热方式，采用 PID 控制或通断控温的方式，主要是防止两相流体回路各部件被冻结。其中，储液器 4 上的控温加热器采用在储液器 4 上串联安装 2 个加热片实现；控制阀 5

上的控温加热器采用在控制阀 5 连接的液体管路上安装加热带, 如图 2 所示的 (测点 28 和测点 29 之间管路、测点 29 与测点 31 之间管路、测点 28 与测点 30 之间管路、测点 30 与测点 31 之间管路) 分别安装 1 个加热带, 4 个加热带串联, 每段管路长约 50mm; 液体管路 6 上的控温加热器采用在液体管路 6 上的测点 31 与测点 32 之间安装 1 个加热带实现; 蒸气管路 2 上的控温加热器采用 3 个串联安装的加热带实现。

储液器 4、控制阀 5、液体管路 6 和蒸气管路 2 上的控温加热器主要起防止管路冻结的作用。

蒸发器 1 的温度控制依靠安装在其内部的模拟热源 15 实现。由于在传热过程中, 同位素热源的热量被两相流体回路传递带走, 同位素热源自身表面的温度会降低到与蒸发器的温度一致。

冷凝管路 2 预埋在散热板 11 中, 与散热板 11 的温度基本一致, 散热板 11 的温度控制依靠安装在散热板 11 外侧的红外加热器 16 或者是粘贴在散热板上的加热片实现。

其中, 控制散热板 11 的温度为 $-60^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。由于两相流体回路运行过程中氨工质的热传递作用, 蒸发器 1、蒸汽管路 2、冷凝管路 3、储液器 4、控制阀 5 和液体管路 6 的温度基本在 $-55^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围内。其中, 储液器 4 的温度即为两相流体回路的工作温度。

选择测点 T1 (蒸发器 1 下部, 靠近液体管路 6 的出口)、T3 (蒸发器 1 上部, 靠近蒸气管路 2 的进口)、T14 (蒸气管路 2 中部)、T17 (冷凝管路 3 进口)、T23 (冷凝管路 3 出口)、T25 (储液器 4 上部, 即储液器气空间)、T27 (储液器下部)、T29~T30 (控制阀 a 和控制阀 b)、T31 (液体管路 6 进口)、T35~T38 (散热板 11 的 4 个角) 为温度监测点, 监控模拟热源 15、散热板 11 和两相流体回路是否满足温度要求, 同时, 通

过比较温度监测点与其他测点的温度，判断是否达到平衡。

利用上述试验装置进行重力驱动两相流体回路真空热性能试验，测试重力驱动两相流体回路在不同的工作温度下的极限传热性能和阻断性能。其中，两相流体回路的工作温度为储液器 4 的温度，测试过程中，依靠改变蒸发器 1 和散热板 11 的温度改变储液器 4 的温度，储液器 4、控制阀 5、液体管路 6 和蒸气管路 2 上的控温加热器仅用于防止两相流体回路中各部件被冻结，具体实现步骤如下：

步骤 1，将回路支架 17 放入真空仓 10 中，抽真空（真空度小于 2×10^{-3} pa），设置储液器 4、控制阀 5、液体管路 6 和蒸气管路 2 上的控温加热器为自控状态，自控门限为 $-55^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ ，即当温度小于自控门限时，控温加热器自动开启，防止其被冻结。设置散热板加热器的自控门限为 $-55^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 。

步骤 2，向真空仓的热沉通液氮，降低真空仓温度至 -150°C ，由于两相流体回路的蒸汽管路（2）、储液器（4）、控制阀（5）和液体管路（6）被多层隔热组件包裹，其降温速率慢，散热板的降温速率最快，为提高两相流体回路各部件的降温速率，在降温过程中，开启模拟热源 15，使得两相流体回路运行，通过散热板中的冷凝管路带动蒸发器、储液器降温，加快蒸发器的降温速率，直到将储液器的温度降至 -50°C ，当储液器温度在半小时维持不变或单调变化小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时，认为工况平衡。储液器的温度即为两相流体回路的工作温度。

步骤 3，极限传热能力测试：按照一定的步长增加蒸发器的加热功率（即模拟热源的加热功率），在每次增加模拟热源的加热功率的同时同步减小散热板加热器的加热功率，使储液器的温度维持在 -50°C ，每次加热功率调整后均需等待两相流体回路工况平衡，直至散热板加热器的加热功率为零或者因蒸发器的温度突升导致无法维持工况平衡。当散热板加热功率为 0 时，散热板达到此工作

温度下的最大散热能力，蒸发器加热功率的继续提升会使得储液器的温度升高，不能继续维持在 -50°C 。当蒸发器的加热功率大于两相流体回路极限传热能力时，蒸发器内的液体被烧干，导致蒸发器的温度突升。因此，散热板加热器的加热功率为零时或者蒸发器的温度突升前一平衡时刻的蒸发器的加热功率为该工作温度下两相流体回路的极限传热能力。

步骤4，通过降低蒸发器的功率、同时增加散热板的功率，改变储液器的温度，依照步骤3的方法，获得不同工作温度下两相流体回路的极限传热能力。其中，在测试不同工作温度下两相流体回路的极限传热能力时，工作温度的调整方法为逐步升高，如首先测 -50°C 工作温度时的极限传热能力，然后依次测量 -40°C 、 -30°C 、 -20°C ……工作温度时的极限传热能力。

步骤5，两相流体回路阻断能力测试：

不同工作温度下，当两相流体回路运行在平衡工况时，保持蒸发器和散热板加热器的加热功率不变，对重力驱动两相流体回路的阀进行开关操作，检查两相流体回路的阻断性能：如果关闭控制阀后，蒸发器的温度不断升高并迅速突升，散热板的温度不断降低，重新开启控制阀，蒸发器温度降低、散热板温度提升，直至达到工况平衡，表明两相流体回路阻断性能正常；如果关闭控制阀后，蒸发器的温度不变或缓慢升高，则表明两相流体回路阻断性能不正常。

综上所述，以上仅为本发明的较佳实施例而已，并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

1、一种两相流体回路真空热性能试验装置,其特征在于,包括:散热板(11)、控温加热器、多层隔热组件、温度传感器、模拟热源(15)和回路支架(17);其中,散热板(11)通过隔热垫隔热安装在回路支架(17)的上部;两相流体回路的冷凝管路(3)埋在散热板(11)中,两相流体回路的储液器(4)半埋在散热板(11)中;两相流体回路中的蒸发器(1)隔热安装在回路支架(17)的下部;控温加热器安装在两相流体回路的蒸汽管路(2)、储液器(4)、控制阀(5)和液体管路(6)上;温度传感器安装在两相流体回路的蒸发器(1)、蒸汽管路(2)、冷凝管路(3)、储液器(4)、控制阀(5)和液体管路(6)、模拟热源(15)以及散热板(11)边缘区域上;多层隔热组件包裹在蒸汽管路(2)、储液器(4)、控制阀(5)和液体管路(6)上;模拟热源(15)为RHU同位素电模拟热源,固定安装在蒸发器(1)内;安装为散热板(11)提供工作温度的散热板加热器,所述散热板加热器为安装在散热板外侧空间的红外加热器(16)或粘贴在散热板上的加热片;回路支架(17)放置在真空仓(10)中;

其中,所述蒸发器(1)安装在隔热板(12)上,模拟热源(15)放置在蒸发器(1)的内部,模拟热源(15)工装的耳片通过螺钉和隔热垫(13)固定在隔热板(12)上,所述隔热板(12)通过4个隔热柱(14)固定安装在回路支架(17)上;

模拟热源(15)用于控制蒸发器的温度,使蒸发器(1)的温度为 $-55^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$;散热板加热器用于控制散热板(11)的温度,使散热板(11)的温度为 $-60^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$;控温加热器用于防止蒸汽管路(2)、储液器(4)、控制阀(5)和液体管路(6)冻结,控温加热器的自控门限设置为 $-55^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

2、如权利要求1所述的两相流体回路真空热性能试验装置,其特征在于,

所述温度传感器的安装位置为：

蒸发器（1）的4个翅片上沿高度方向分别布置至少2个温度传感器，其中一个位于蒸发器翅片的下端，一个位于蒸发器翅片的上端；

蒸气管路（2）的进口、顶部和出口处分别布置1个温度传感器；

冷凝管路（3）的进口、出口分别布置1个温度传感器，在冷凝管路（3）的翅片上布置至少1个温度传感器；

储液器（4）的外表面沿高度方向布置3个温度传感器，分别位于储液器（4）的气空间、气液界面和液体空间；

连接储液器（3）和控制阀（5）的液体管路上布置至少1个温度传感器，在连接控制阀（5）和蒸发器（1）的液体管路上布置至少1个温度传感器；

控制阀（5）上布置1个温度传感器；

模拟热源（15）上布置至少1个温度传感器；

散热板（11）的内表面的边缘区域布置至少1个温度传感器。

3、如权利要求1所述的两相流体回路真空热性能试验装置，其特征在于，所述隔热板（12）、隔热垫（13）和隔热柱（14）材料为聚酰亚胺或玻璃钢。

4、如权利要求1所述的两相流体回路真空热性能试验装置，其特征在于，所述散热板（11）的基板为铝板或蜂窝板，散热板（11）的表面粘贴有OSR片或喷涂高发射率的涂层。

5、如权利要求1所述的两相流体回路真空热性能试验装置，其特征在于，所述控温加热器为加热片、加热丝、加热带或加热板。

6、一种采用如权利要求1~5任意一项所述的试验装置的两相流体回路真空热性能试验方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤1，将回路支架（17）放入真空仓（10）中，抽真空，使得真空度小于

$2 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 设置储液器 (4)、控制阀 (5)、液体管路 (6) 和蒸气管路 (2) 上的控温加热器为自控状态, 自控门限为 $-55^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$; 设置散热板加热器的自控门限为 $-55^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$;

步骤 2, 向真空仓 (10) 的热沉通液氮, 降低真空仓温度至 -150°C ; 将储液器的温度降至第一测试温度 -50°C , 且达到两相流体回路工况平衡; 所述工况平衡为储液器温度在半小时维持不变或单调变化小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$; 储液器的温度即为两相流体回路的工作温度;

步骤 3, 极限传热能力测试:

开启模拟热源, 按照设定的步长增加模拟热源的加热功率, 在每次增加模拟热源的加热功率的同时减小散热板加热器的加热功率, 使储液器的温度维持在 -50°C , 且达到两相流体回路工况平衡, 直至散热板加热器的加热功率为零或者因蒸发器的温度突升导致无法维持工况平衡; 则散热板加热器的加热功率为零时或者蒸发器的温度突升前一平衡时刻的模拟热源的加热功率即为该工作温度下两相流体回路的极限传热能力;

步骤 4, 通过降低蒸发器的功率、同时增加散热板的功率, 改变储液器的温度至各测试温度, 依照步骤 3 的方法, 获得各测试温度下两相流体回路的极限传热能力, 其中, 按照递升的方式改变储液器温度;

步骤 5, 两相流体回路阻断能力测试:

不同工作温度下, 当两相流体回路运行在平衡工况时, 保持模拟热源和散热板加热器的加热功率不变, 对控制阀进行开关操作, 检查两相流体回路的阻断性能: 如果关闭控制阀后, 蒸发器的温度不断升高后突升、散热板的温度不断降低, 而重新开启控制阀后, 蒸发器温度降低、散热板温度提升, 直至达到工况平衡, 表明两相流体回路阻断性能正常; 如果关闭控制阀后, 蒸发器的温

度不变或平稳升高，则表明两相流体回路阻断性能不正常。

7、如权利要求6所述的两相流体回路真空热性能试验方法，其特征在于，所述步骤2的降温过程中，开启模拟热源（15），使得两相流体回路运行，加快蒸发器（1）的降温速率。

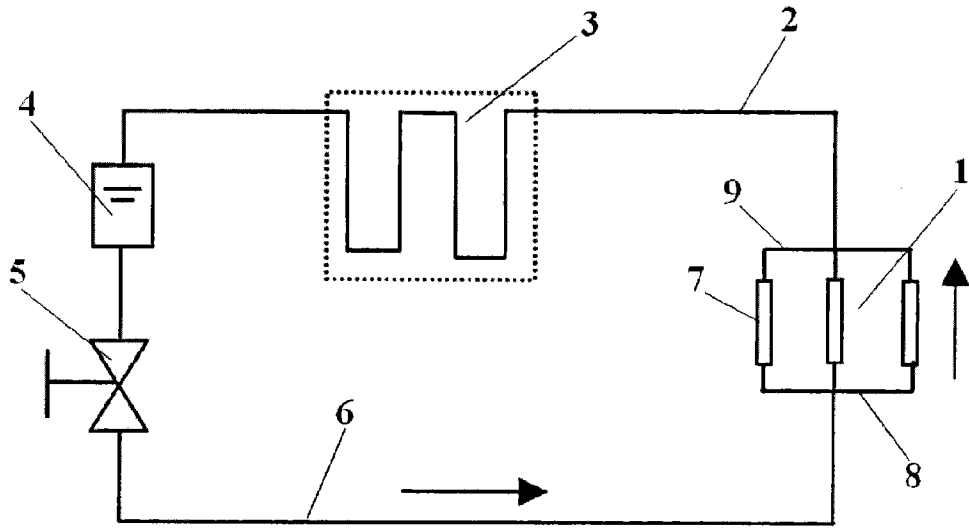


图 1

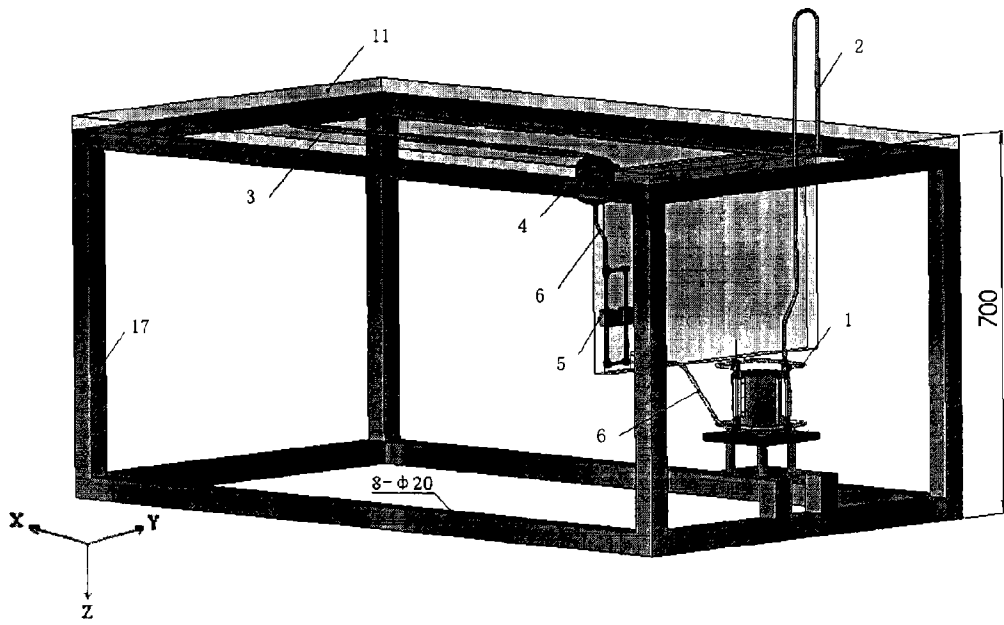


图 2

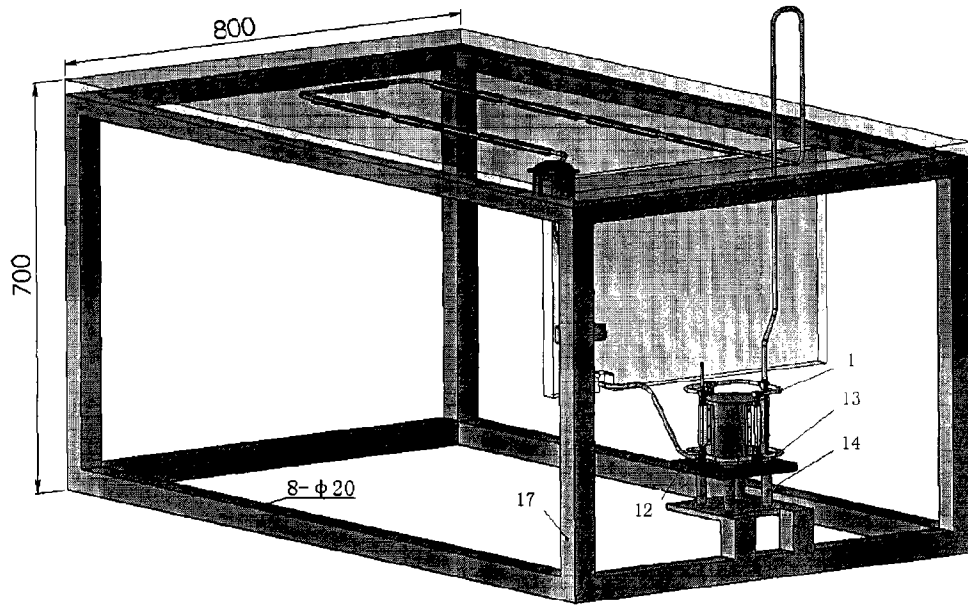


图 3

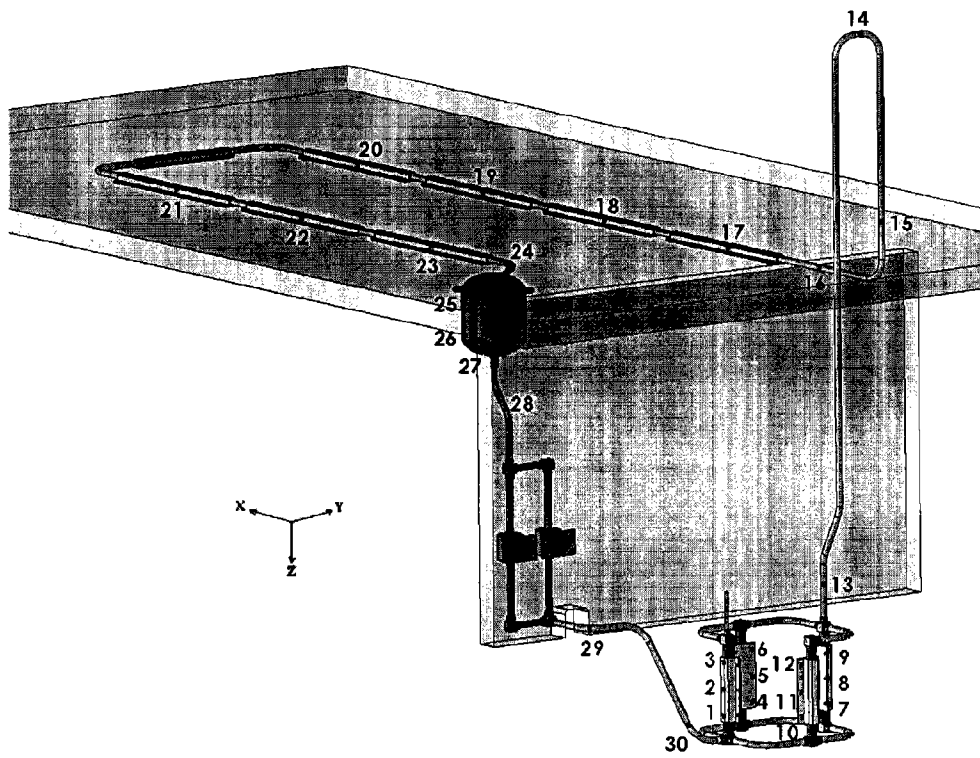


图 4

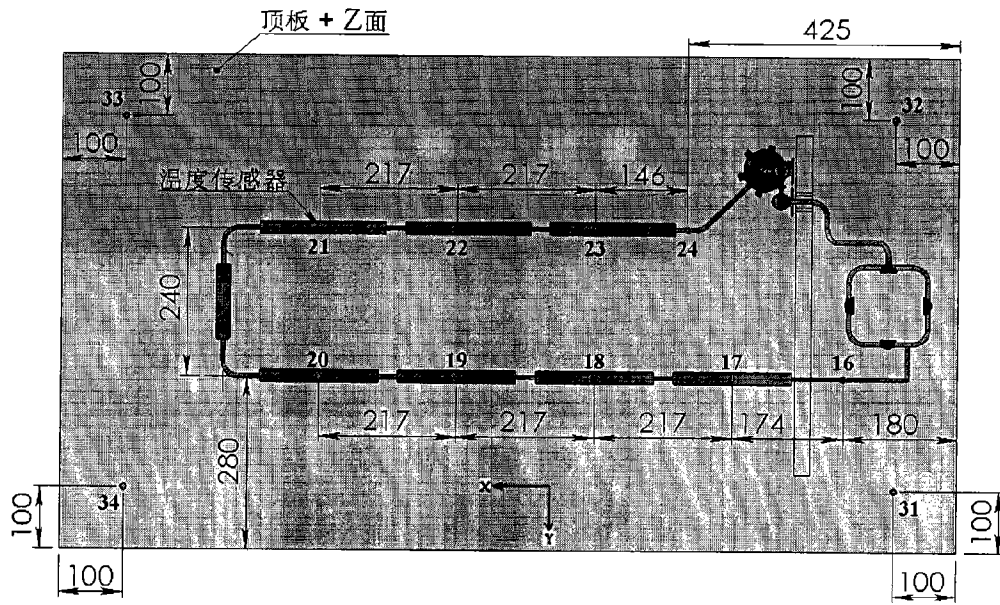


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/000834

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 25/20 (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 25/-

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)
CNTXT, CNABS, EPODOC, WPI, CNKI: vacuum heat, fluid loop, two-phase fluid loop, HEAT+, FLUID W CIRCUIT, ISOTOP+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104483147 A (BEIJING INSTITUTE OF SPACECRAFT SYSTEM ENGINEERING), 01 April 2015 (01.04.2015), description, paragraphs 0031-0069, and figures 1-4	1-7
PX	CN 104483346 A (BEIJING INSTITUTE OF SPACECRAFT SYSTEM ENGINEERING), 01 April 2015 (01.04.2015), description, paragraphs 0040-0068, and figures 1-5	1-7
PX	CN 104502392 A (BEIJING INSTITUTE OF SPACECRAFT SYSTEM ENGINEERING), 08 April 2015 (08.04.2015), description, paragraphs 0043-0074, and figure 1	1-5
A	CN 203512059 U (SHANGHAI INSTITUTE OF SATELLITE ENGINEERING), 02 April 2014 (02.04.2014), description, paragraphs 0029-0046, and figure 1	1-7
A	CN 103232836 A (INSTITUTE OF MODERN PHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 07 August 2013 (07.08.2013), description, paragraphs 0027-0046, and figures 1-4	1-7
A	CN 103482087 A (SHANGHAI INSTITUTE OF SATELLITE ENGINEERING), 01 January 2014 (01.01.2014), description, paragraphs 0006-0032, and figures 1-2	1-7
A	GB 2498373 A (ECONOTHERM UK LIMITED), 17 July 2013 (17.07.2013), description, page 1, line 15 to page 5, line 10, and figures 1-5	1-7

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search

06 March 2016 (06.03.2016)

Date of mailing of the international search report

24 March 2016 (24.03.2016)

Name and mailing address of the ISA/CN:
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer

ZHANG, Hui

Telephone No.: (86-10) **62414482**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2015/000834

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104483147 A	01 April 2015	None	
CN 104483346 A	01 April 2015	None	
CN 104502392 A	08 April 2015	None	
CN 203512059 U	02 April 2014	None	
CN 103232836 A	07 August 2013	CN 103232836 B	01 July 2015
CN 103482087 A	01 January 2014	None	
GB 2498373 A	17 July 2013	EP 2802832 A1	19 November 2014
		US 2015020999 A1	22 January 2015
		WO 2013104884 A1	18 July 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/000834

<p>A. 主题的分类</p> <p>G01N 25/20(2006.01)i</p> <p>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</p>																										
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>G01N25/-</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>CNXT, CNABS, EPODOC, WPI, CNKI: 真空热, 流体回路, 热, 两相流体回路, 同位素, HEAT+, FLUID W CIRCUIT, ISOTOP+</p>																										
<p>C. 相关文件</p> <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 104483147 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 说明书第0031段-0069段, 附图1-4</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 104483346 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 说明书第0040段-0068段, 附图1-5</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 104502392 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 8日 (2015 - 04 - 08) 说明书第0043段-第0074段, 附图1</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 203512059 U (上海卫星工程研究所) 2014年 4月 2日 (2014 - 04 - 02) 说明书第0029段-第0046段, 附图1</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103232836 A (中国科学院近代物理研究所) 2013年 8月 7日 (2013 - 08 - 07) 说明书第0027段-0046段, 附图1-4</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103482087 A (上海卫星工程研究所) 2014年 1月 1日 (2014 - 01 - 01) 说明书第0006段-第0032段, 附图1-2</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>GB 2498373 A (ECONTHERM UK LIMITED) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17) 说明书第1页第15行-第5页第10行, 附图1-5</td> <td>1-7</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 104483147 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 说明书第0031段-0069段, 附图1-4	1-7	PX	CN 104483346 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 说明书第0040段-0068段, 附图1-5	1-7	PX	CN 104502392 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 8日 (2015 - 04 - 08) 说明书第0043段-第0074段, 附图1	1-5	A	CN 203512059 U (上海卫星工程研究所) 2014年 4月 2日 (2014 - 04 - 02) 说明书第0029段-第0046段, 附图1	1-7	A	CN 103232836 A (中国科学院近代物理研究所) 2013年 8月 7日 (2013 - 08 - 07) 说明书第0027段-0046段, 附图1-4	1-7	A	CN 103482087 A (上海卫星工程研究所) 2014年 1月 1日 (2014 - 01 - 01) 说明书第0006段-第0032段, 附图1-2	1-7	A	GB 2498373 A (ECONTHERM UK LIMITED) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17) 说明书第1页第15行-第5页第10行, 附图1-5	1-7
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 104483147 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 说明书第0031段-0069段, 附图1-4	1-7																								
PX	CN 104483346 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 说明书第0040段-0068段, 附图1-5	1-7																								
PX	CN 104502392 A (北京空间飞行器总体设计部) 2015年 4月 8日 (2015 - 04 - 08) 说明书第0043段-第0074段, 附图1	1-5																								
A	CN 203512059 U (上海卫星工程研究所) 2014年 4月 2日 (2014 - 04 - 02) 说明书第0029段-第0046段, 附图1	1-7																								
A	CN 103232836 A (中国科学院近代物理研究所) 2013年 8月 7日 (2013 - 08 - 07) 说明书第0027段-0046段, 附图1-4	1-7																								
A	CN 103482087 A (上海卫星工程研究所) 2014年 1月 1日 (2014 - 01 - 01) 说明书第0006段-第0032段, 附图1-2	1-7																								
A	GB 2498373 A (ECONTHERM UK LIMITED) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17) 说明书第1页第15行-第5页第10行, 附图1-5	1-7																								
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																										
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“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)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>																										
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2016年 3月 6日</p>	<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2016年 3月 24日</p>																									
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>	<p>受权官员</p> <p>张辉</p> <p>电话号码 (86-10)62414482</p>																									

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/000834

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 104483147 A	2015年 4月 1日	无	
CN 104483346 A	2015年 4月 1日	无	
CN 104502392 A	2015年 4月 8日	无	
CN 203512059 U	2014年 4月 2日	无	
CN 103232836 A	2013年 8月 7日	CN 103232836 B	2015年 7月 1日
CN 103482087 A	2014年 1月 1日	无	
GB 2498373 A	2013年 7月 17日	EP 2802832 A1	2014年 11月 19日
		US 2015020999 A1	2015年 1月 22日
		WO 2013104884 A1	2013年 7月 18日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)