



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114673936 A

(43) 申请公布日 2022.06.28

(21) 申请号 202210278688.4

F17C 3/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.03.17

F17C 13/02 (2006.01)

(71) 申请人 北京航天试验技术研究所

F17C 13/00 (2006.01)

地址 100074 北京市丰台区云岗田城中里1号

F02K 9/42 (2006.01)

(72) 发明人 张春伟 陈静 李山峰 赵康
曲捷 郭嘉翔 周博文 景卓
焦亚明

(74) 专利代理机构 北京理工大学专利中心
11120

专利代理师 许姣

(51) Int. Cl.

F17D 1/08 (2006.01)

F17D 1/14 (2006.01)

F17D 3/01 (2006.01)

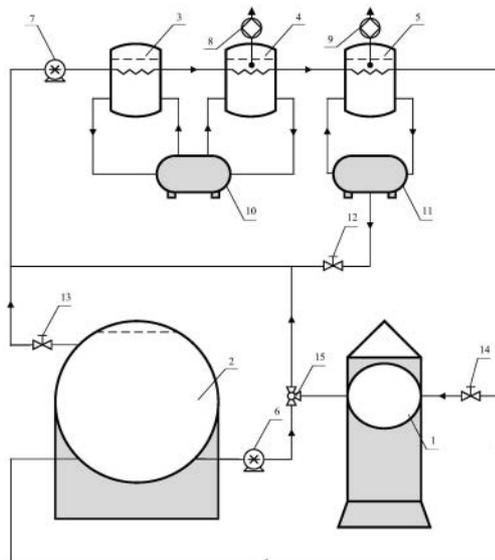
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统及方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,具备较高的热力学效率。该全过冷加注系统包括:液氧过冷单元和液氧加注单元;液氧过冷单元对作为推进剂的液氧进行三级分段冷却;液氧加注单元中的液氧源通过设置有低温截止阀和过冷液氧泵的管路与液氧过冷单元的入口相连;地面液氧储罐的液氧排出口通过设置有低温截止阀的管路接入低温截止阀与过冷液氧泵之间的管路;与液氧过冷单元出口相连的管路分成两个支路,一个支路直接与地面液氧储罐相连,另一个支路通过设置有低温截止阀的管路与箭上液氧箱相连;三通阀通过三个端口形成两个通路,分别为箭上液氧箱与过冷液氧泵之间的预冷通路以及地面液氧储罐与箭上液氧箱之间的加注通路。



1. 基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其特征在於:包括:液氧过冷单元和液氧加注单元;

所述液氧过冷单元采用三个冷却器串联的方式对作为推进剂的液氧进行三级分段冷却,使其达到设定的过冷温度;

所述液氧加注单元包括:箭上液氧箱(1)、地面液氧储罐(2)、加注液氧泵(6)、第三低温截止阀(14)和三通阀(15);

液氧源(11)通过设置有第一低温截止阀(12)和过冷液氧泵(7)的管路与所述液氧过冷单元的入口相连,以提供作为低温助推剂的液氧;所述地面液氧储罐(2)的液氧排出口通过设置有第二低温截止阀(13)的管路接入第一低温截止阀(12)与过冷液氧泵(7)之间的管路;

与所述液氧过冷单元出口相连的管路分成两个支路,一个支路直接与地面液氧储罐(2)相连,另一个支路通过设置有第三低温截止阀(14)的管路与箭上液氧箱(1)相连;

所述三通阀(15)通过三个端口形成两个通路,分别为箭上液氧箱(1)与过冷液氧泵(7)之间的预冷通路以及地面液氧储罐(2)与箭上液氧箱(1)之间的加注通路;所述加注通路上设置有加注液氧泵(6)。

2. 如权利要求1所述的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其特征在於:

所述液氧过冷单元包括依次串联的液氮直接冷却器(3)、液氮抽空冷却器(4)和液氧抽空冷却器(5);其中所述液氮直接冷却器(3)用于液氧的第一级冷却、所述液氮抽空冷却器(4)用于液氧的第二级冷却、所述液氧抽空冷却器(5)用于液氧的第三级冷却。

3. 如权利要求2所述的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其特征在於:

通过液氮源(10)分别向所述液氮直接冷却器(3)和液氮抽空冷却器(4)内注作为冷却介质的液氮;液氮抽空泵(8)与所述液氮抽空冷却器(4)相连,通过抽真空使所述液氮抽空冷却器(4)中的冷却介质气化,实现冷却介质的降温;

通过液氧源(11)向所述液氧抽空冷却器(5)内注作为冷却介质的液氧;液氧抽空泵(9)与所述液氧抽空冷却器(5)相连,通过抽真空使所述液氧抽空冷却器(5)中的冷却介质气化,实现冷却介质的降温。

4. 如权利要求2所述的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其特征在於:

通过液氮源(10)分别向所述液氮直接冷却器(3)和液氮抽空冷却器(4)内注作为冷却介质的液氮;液氮抽空泵(8)与所述液氮抽空冷却器(4)相连,通过抽真空使所述液氮抽空冷却器(4)中的冷却介质气化,实现冷却介质的降温;

与所述液氮抽空冷却器(4)出口相连的管路分为两条支路,一条支路中的液氧经第四低温截止阀(16)后通过液氧抽空冷却器(5)的换热盘管流出作为低温助推剂;另一条支路中的液氧经第五低温截止阀(17)后直接进入液氧抽空冷却器(5)内部,作为液氧抽空冷却器(5)的冷却介质。

5. 如权利要求3所述的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其特征在於:

所述液氮直接冷却器(3)和液氮抽空冷却器(4)均设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氮源(10)相连;

所述液氧抽空冷却器(5)设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氧源(11)相连。

6. 如权利要求4所述的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其特征在于:
所述液氮直接冷却器(3)和液氮抽空冷却器(4)均设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氮源(10)相连;

所述液氧抽空冷却器(5)设置有加注口和排放口,其加注口与所述第五低温截止阀(17)所在支路相连,排放口与所述液氧源(11)相连。

7. 如权利要求1所述的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其特征在于:
所述地面液氧储罐(2)的上部设有液氧排出口。

8. 基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注方法,其特征在于:采用上述权利要求3所述的液氧推进剂全过冷加注系统;

初始时,所有低温截止阀处于关闭状态;

首先为深度过冷液氧制备及箭上液氧箱(1)箱体预冷期:

所述液氮源(10)向所述液氮直接冷却器(3)和液氮抽空冷却器(4)内注入液氮;所述液氧源(11)向液氧抽空冷却器(5)注入液氧;启动液氮抽空泵(8),使所述液氮抽空冷却器(4)内部的冷却介质温度处于设定温度范围;启动液氧抽空泵(9),使所述液氧抽空冷却器(5)内部的冷却介质温度处于设定温度范围;

打开所述第一低温截止阀(12)和第三低温截止阀(14),所述三通阀(15)中箭上液氧箱(1)和过冷液氧泵(7)之间的预冷通路连通;启动过冷液氧泵(7),所述液氧源(11)提供的常态饱和液氧通过过冷液氧泵(7)首先进入所述液氧过冷单元进行三级冷却;

冷却后达到预设温度的液氧分为两路,一路流经第三低温截止阀(14)、箭上液氧箱(1)和预冷通路,对流经的箱体及管路进行预冷后,再次进行三级冷却;另一路直接进入所述地面液氧储罐(2);

当所述地面液氧储罐(2)内部的液氧容量达到设定值后,关闭过冷液氧泵(7)、液氮抽空泵(8)和液氧抽空泵(9);关闭所有低温截止阀,将三通阀(15)地面液氧储罐(2)和箭上液氧箱(1)之间的加注通路连通;

深度过冷液氧加注期:启动液氧泵(6),将地面液氧储罐(2)内部的深度过冷液氧泵入箭上液氧箱(1),实现液氧推进剂的全过冷加注。

9. 基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注方法,其特征在于:采用上述权利要求4所述的液氧推进剂全过冷加注系统;

初始时,所有低温截止阀处于关闭状态;

首先为深度过冷液氧制备及箭上液氧箱(1)箱体预冷期:

所述液氮源(10)向所述液氮直接冷却器(3)和液氮抽空冷却器(4)内注入液氮;启动液氮抽空泵(8),使所述液氮抽空冷却器(4)内部的冷却介质温度处于设定温度范围;打开第一低温截止阀(12)和第五低温截止阀(17),启动过冷液氧泵(7),所述液氧源(11)内部的常态饱和液氧经过所述液氮直接冷却器(3)和液氮抽空冷却器(4)预冷后,进入液氧抽空冷却器(5)内部作为冷却介质;同时启动液氧抽空泵(9),使所述液氧抽空冷却器(5)内部的冷却介质温度处于设定温度范围;

然后打开第三低温截止阀(14)和第四低温截止阀(16);关闭第五低温截止阀(17),所述三通阀(15)中箭上液氧箱(1)和过冷液氧泵(7)之间的预冷通路连通;启动过冷液氧泵(7),所述液氧源(11)提供的常态饱和液氧通过过冷液氧泵(7)进入所述液氧过冷单元进行

三级冷却；

冷却后达到预设温度的液氧分为两路，一路流经第三低温截止阀(14)、箭上液氧箱(1)和预冷通路，对流经的箱体及管路进行预冷后，再次进行三级冷却；另一路直接进入所述地面液氧储罐(2)；

当所述地面液氧储罐(2)内部的液氧容量达到设定值后，关闭过冷液氧泵(7)、液氮抽空泵(8)和液氧抽空泵(9)；关闭所有低温截止阀，将三通阀(15)地面液氧储罐(2)和箭上液氧箱(1)之间的加注通路连通；

深度过冷液氧加注期：启动液氧泵(6)，将地面液氧储罐(2)内部的深度过冷液氧泵入箭上液氧箱(1)，实现液氧推进剂的全过冷加注。

10. 如权利要求8或9所述的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注方法，其特征在于：当需要进行二次过冷及预冷时，依据所述地面液氧储罐(2)内部的液氧温度确定所述液氮直接冷却器(3)、液氮抽空冷却器(4)和液氧抽空冷却器(5)的启停状态：

令从液氮直接冷却器(3)流出的液氧温度为 T_1 ，从液氮抽空冷却器(4)流出的液氧温度为 T_2 ，从液氧抽空冷却器(5)流出的液氧温度为 T_3 ，地面液氧储罐(2)内的液氧温度为 T ；

当 $T \geq T_1$ 时，同时启动液氮直接冷却器(3)、液氮抽空冷却器(4)和液氧抽空冷却器(5)；

当 $T_2 \leq T < T_1$ 时，同时启动液氮抽空冷却器(4)和液氧抽空冷却器(5)；

当 $T_3 \leq T < T_2$ 时，仅启动液氧抽空冷却器(5)。

基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种加注系统,具体涉及一种基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统及方法,属于航天低温运载火箭技术领域。

背景技术

[0002] 液氧作为最常用的低温助推剂,具有无毒、无污染、比冲高等优势。我国CZ-3A系列、CZ-6及海南发射场的CZ-5、CZ-7运载火箭均采用液氧作为推进剂,但液氧热力状态处于饱和状态,密度和单位体积显冷量较小,不适用于作为未来大推力火箭的氧化剂。为了进一步改善液氧热力学性能,可采用过冷手段改善液氧品质,提升火箭运载能力和发射待机时间,防止液氧加注过程中出现两相流,具有重要的工程应用价值。

[0003] 我国运载火箭的液氧均采用常规加注手段,即加注过程分为预冷、大流量加注、停放、射前补加几个阶段。加注一般在发射前7小时开始,加注后液氧通过长时间停放蒸发吸热降低液氧温度。约于射前30min,液氧开始进行过冷补加,过冷液氧通过与液氮直接换热获得,温度一般在82K左右,补加推进剂量一般占总加注量的20%~40%。相较于上述的常规过冷方法,液氧全过冷技术是指将液氧推进剂深度过冷,在经过预冷后,直接进行大流量加注,舍弃常规的小流量自动补加和射前补加等过程。目前,大规模采用全过冷加注技术主要为Falcon9火箭,通过将液氧降低至66K,使得其运载能力提升10%以上。

[0004] 现在常用的液氧过冷方法主要可分为三种:低温制冷剂换热过冷、低温液体换热过冷、抽空减压过冷。

[0005] 其中低温制冷剂换热过冷是利用制冷装置,把低温制冷剂温度降到低温推进剂温度以下。但制冷装置投资成本高,系统复杂难维修,且存在制冷剂泄漏污染的危险,目前未在实际的加注系统中应用。

[0006] 低温液体换热过冷是利用比低温推进剂温度更低的低温液体,通过换热设备把冷量传递给低温推进剂的一种过冷方式。主要的低温液体为液氮,但受其三相点温度限制,过冷后的液氧温度通常在78K以上;此外,也有部分方案采用蒸发后的低温氢气对液氧进行冷却,但效率较差,同时应用场景受限。

[0007] 抽空减压过冷是通过控制低温贮罐内气枕区压力,来使低温推进剂温度降低的一种冷却方式。是目前实现液氧深度过冷最具潜力的方式。但抽空减压制冷的调控难度和功耗较大,同时需消耗一定量的液氮或液氧介质,且低温贮罐内会出现负压,外界空气很容易泄漏到贮罐内,造成低温推进剂的污染。

[0008] 上述过冷方法不能满足未来大批量、深过冷等液氧推进剂制备需求,需要提出具有高效率、低成本、简单可靠的全过冷加注技术。且国内发射基地对大流量液氧的过冷保障能力有限,存在过冷流量较小、过冷度低等问题,需要提出新型的液氧推进剂全过冷加注方法。

[0009] 此外,全过冷加注技术除要求深度过冷氧制备外,还需对箭上储箱及管路进行预冷,防止液氧推进剂过冷度减小。目前,大多数全过冷加注方案只涉及深度过冷氧制备部

分,没有预冷部分。申请号:202011065667.1的专利申请“低温火箭发射场中深度过冷液氧加注与控制系统及方法”虽然提出了相应的预冷流程,但新增液氮和氦气预冷系统实现箱体及管路的预冷,但同时增加了系统的复杂度,同时,氦气价格昂贵,使整体系统成本增加。

发明内容

[0010] 有鉴于此,本发明提供一种基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,具备较高的热力学效率,且直接采用过冷液氧对箭上箱体及其附件进行预冷,方便快捷。

[0011] 本发明的技术方案是:基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,包括:液氧过冷单元和液氧加注单元;

[0012] 所述液氧过冷单元采用三个冷却器串联的方式对作为推进剂的液氧进行三级分段冷却,使其达到设定的过冷温度;

[0013] 所述液氧加注单元包括:箭上液氧箱、地面液氧储罐、加注液氧泵、第三低温截止阀和三通阀;

[0014] 液氧源通过设置有第一低温截止阀和过冷液氧泵的管路与所述液氧过冷单元的入口相连,以提供作为低温助推剂的液氧;所述地面液氧储罐的液氧排出口通过设置有第二低温截止阀的管路接入第一低温截止阀与过冷液氧泵之间的管路;

[0015] 与所述液氧过冷单元出口相连的管路分成两个支路,一个支路直接与地面液氧储罐相连,另一个支路通过设置有第三低温截止阀的管路与箭上液氧箱相连;

[0016] 所述三通阀通过三个端口形成两个通路,分别为箭上液氧箱与过冷液氧泵之间的预冷通路以及地面液氧储罐与箭上液氧箱之间的加注通路;所述加注通路上设置有加注液氧泵

[0017] 优选的:所述液氧过冷单元包括依次串联的液氮直接冷却器、液氮抽空冷却器和液氧抽空冷却器;其中所述液氮直接冷却器用于液氧的第一级冷却、所述液氮抽空冷却器用于液氧的第二级冷却、所述液氧抽空冷却器用于液氧的第三级冷却。

[0018] 优选的:通过液氮源分别向所述液氮直接冷却器和液氮抽空冷却器内注作为冷却介质的液氮;液氮抽空泵与所述液氮抽空冷却器相连,通过抽真空使所述液氮抽空冷却器中的冷却介质气化,实现冷却介质的降温;

[0019] 通过液氧源向所述液氧抽空冷却器内注作为冷却介质的液氧;液氧抽空泵与所述液氧抽空冷却器相连,通过抽真空使所述液氧抽空冷却器中的冷却介质气化,实现冷却介质的降温。

[0020] 优选的:通过液氮源分别向所述液氮直接冷却器和液氮抽空冷却器内注作为冷却介质的液氮;液氮抽空泵与所述液氮抽空冷却器相连,通过抽真空使所述液氮抽空冷却器中的冷却介质气化,实现冷却介质的降温;

[0021] 与所述液氮抽空冷却器出口相连的管路分为两条支路,一条支路中的液氧经第四低温截止阀后通过液氧抽空冷却器的换热盘管流出作为低温助推剂;另一条支路中的液氧经第五低温截止阀后直接进入液氧抽空冷却器内部,作为液氧抽空冷却器的冷却介质。

[0022] 优选的:所述液氮直接冷却器和液氮抽空冷却器均设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氮源相连;

[0023] 所述液氧抽空冷却器设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氧源

相连。

[0024] 优选的:所述液氮直接冷却器和液氮抽空冷却器均设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氮源相连;

[0025] 所述液氧抽空冷却器设置有加注口和排放口,其加注口与所述第五低温截止阀所在支路相连,排放口与所述液氧源相连。

[0026] 优选的:所述地面液氧储罐的上部设有液氧排出口。

[0027] 基于上述全过冷加注系统,本发明还提供一种基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注方法:

[0028] 初始时,所有低温截止阀处于关闭状态;

[0029] 首先为深度过冷液氧制备及箭上液氧箱箱体预冷期:

[0030] 所述液氮源向所述液氮直接冷却器和液氮抽空冷却器内注入液氮;所述液氧源向液氧抽空冷却器注入液氧;启动液氮抽空泵,使所述液氮抽空冷却器内部的冷却介质温度处于设定温度范围;启动液氧抽空泵,使所述液氧抽空冷却器内部的冷却介质温度处于设定温度范围;

[0031] 打开所述第一低温截止阀和第三低温截止阀,所述三通阀中箭上液氧箱和过冷液氧泵之间的预冷通路连通;启动过冷液氧泵,所述液氧源提供的常态饱和液氧通过过冷液氧泵首先进入所述液氧过冷单元进行三级冷却;

[0032] 冷却后达到预设温度的液氧分为两路,一路流经第三低温截止阀、箭上液氧箱和预冷通路,对流经的箱体及管路进行预冷后,再次进行三级冷却;另一路直接进入所述地面液氧储罐;

[0033] 当所述地面液氧储罐内部的液氧容量达到设定值后,关闭过冷液氧泵、液氮抽空泵和液氧抽空泵;关闭所有低温截止阀,将三通阀地面液氧储罐和箭上液氧箱之间的加注通路连通;

[0034] 深度过冷液氧加注期:启动液氧泵,将地面液氧储罐内部的深度过冷液氧泵入箭上液氧箱,实现液氧推进剂的全过冷加注。

[0035] 有益效果:

[0036] (1) 高效的液氧三级过冷方式:本发明对约90K的饱和态液氧采用三级过冷方式,从液氮直接冷却器(第一级冷却)流出的液氧温度可达78K,从液氮抽空冷却器(第二级冷却)流出的液氧温度可达64K,从液氧抽空冷却器(第三级冷却)流出的液氧温度可达55K,每一级冷却器的温度降幅均约为12K,整体过程温差均匀性十分优良,具备较高的热力学效率,同时可减小液氮、液氧的消耗。

[0037] (2) 简单可靠、低成本的预冷方式:本发明直接采用过冷液氧对箭上箱体及其附件进行预冷,无需新增其他部件,方便快捷;而专利“低温火箭发射场中深度过冷液氧加注与控制系统及方法”中通过新增液氮和氮气管路等实现预冷功能,系统复杂度大幅提升,同时,氮气价格昂贵,使整体系统成本增加。

[0038] (3) 安全稳定的过冷度维持方式:在实际的应用过程中,火箭发射推迟不可避免,本发明将过冷度维持相关部分设置在地面设备中,且只需增加第二低温截止阀及相应支路即可,最小程度改变箭体结构,保证安全性;而专利“低温火箭发射场中深度过冷液氧加注与控制系统及方法”中将过冷度维持相关部分设置在箭体中,需额外配置氮气储罐及管路

等,结构复杂度提升,同时由于对箭体结构更改较大,使火箭发射风险性提升。

[0039] (4)液氧过冷单元中,液氧源注入液氧抽空冷却器内作为冷却介质的液氧首先经过液氮直接冷却器和液氮抽空冷却器预冷,达到过冷状态后再进入液氧抽空冷却器内部,充分利用液氮抽空降温快的优势,减少液氧抽空达到设定温度的时间,由此能够减少液氧抽空冷却器的启动时间。二次过冷时,当需要冷量较少时,液氧抽空冷却器内的抽空介质可直接采用地面液氧储罐的过冷液氧。

附图说明

[0040] 图1为实施例1中基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统示意图;

[0041] 图2为实施例4中基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统示意图。

[0042] 其中:1-箭上液氧箱、2-地面液氧储罐、3-液氮直接冷却器、4-液氮抽空冷却器、5-液氧抽空冷却器、6-加注液氧泵、7-过冷液氧泵、8-液氮抽空泵、9-液氧抽空泵、10-液氮源、11-液氧源、12-第一低温截止阀、13-第二低温截止阀、14-第三低温截止阀、15-三通阀、16-第四低温截止阀、17-第五低温截止阀

具体实施方式

[0043] 下面结合附图和实施例,对本发明做进一步的详细说明。

[0044] 实施例1:

[0045] 本实施例提供一种基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,热力学效率高且成本低。

[0046] 该液氧推进剂全过冷加注系统包括:液氧过冷单元和液氧加注单元两部分。

[0047] 如图1所示,液氧过冷单元采用三级分段冷却方式,包括:液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5、过冷液氧泵7、液氮抽空泵8、液氧抽空泵9、液氮源10、液氧源11、第一低温截止阀12和第二低温截止阀13;

[0048] 液氧加注单元包括:箭上液氧箱1、地面液氧储罐2、加注液氧泵6、第三低温截止阀14和三通阀15。

[0049] 整体连接关系为:液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4分别与液氮源10相连通,液氮源10用于向液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4内提供液氮介质,且能够通过液氮源10调节液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4内部的液氮量(具体的,液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4均设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氮源10相连);液氮抽空冷却器4与液氮抽空泵8相连,通过抽真空操作可使液氮抽空冷却器4中的液氮气化,实现液氮介质降温,最低可达63.2K;液氧抽空冷却器5与液氧源11相连通,液氧源11用于向液氧抽空冷却器5内提供液氧介质,且能够通过液氧源11调节液氧抽空冷却器5内部的液氧量(具体的,液氧抽空冷却器5设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氧源11相连);液氧抽空冷却器5与液氧抽空泵9相连,通过抽真空操作可使液氧抽空冷却器5中的液氧气化,实现液氧介质降温,最低可达54.4K。液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5通过液氧过冷管路依次串联连接,以实现液氧的三级分段冷却,其中液氮直接冷却器3用于液氧的第一级冷却、液氮抽空冷却器4用于液氧的第二级冷却、液氧抽空冷却器5用于液氧的第三级冷却。

[0050] 地面液氧储罐2内部存放过冷后的液氧,地面液氧储罐2通过设置有加注液氧泵6和三通阀15的液氧管路与箭上液氧箱1连接,地面液氧储罐2内部过冷液氧通过加注液氧泵6加注到箭上液氧箱1中。

[0051] 同时,液氧源11通过设置有第一低温截止阀12和过冷液氧泵7的管路与液氮直接冷却器3相连,以提供作为低温助推剂的液氧;地面液氧储罐2上部设有液氧排出口并连接第二低温截止阀13,地面液氧储罐2通过设置有第二低温截止阀13的管路接入第一低温截止阀12与过冷液氧泵7之间的管路,由此将地面液氧储罐2与液氮直接冷却器3相连,用于将热分层后的高温液氧优先进行过冷,提升过冷效率。

[0052] 箭上液氧箱1两侧分别连接有第三低温截止阀14和三通阀15,用于控制箱体及管路的预冷进程。具体的:与液氧抽空冷却器5出口相连的管路分成两个支路,一个支路直接与地面液氧储罐2相连,另一个支路通过设置有第三低温截止阀14的管路与箭上液氧箱1相连;三通阀15具有三个端口,一个端口通过管路与箭上液氧箱1相连,一个端口通过管路与加注液氧泵6相连,另一个端口通过管路接入第一低温截止阀12与过冷液氧泵7之间的管路;三通阀15通过上述三个端口形成两个通路,其中一个通路为箭上液氧箱1与过冷液氧泵7之间的预冷通路;另一个通路为地面液氧储罐2与箭上液氧箱1之间的加注通路。

[0053] 上述系统中液氮、液氧等所涉及的管路、阀门、换热器等均使用绝热材料实现保温。

[0054] 实施例2:

[0055] 基于上述实施例1中的液氧推进剂全过冷加注系统,本实施例提供采用该全过冷加注系统的加注方法:

[0056] 初始时,所有低温截止阀处于关闭状态。

[0057] (1)深度过冷液氧制备及箱体预冷期:液氮源10向液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4内注入液氮;液氧源11向液氧抽空冷却器5注入液氧;液氮抽空泵8启动,使液氮抽空冷却器4内部的液氮介质温度趋近64K左右;液氧抽空泵9启动,使液氧抽空冷却器5内部的液氧介质温度趋近55K左右;

[0058] 打开第一低温截止阀12和第三低温截止阀14,三通阀15中箭上液氧箱1和过冷液氧泵7之间的预冷通路连通(此时三通阀15的另一条通路不连通);启动过冷液氧泵7,液氧源11提供的常态饱和液氧通过过冷液氧泵7首先进入液氮直接冷却器3,与液氮直接冷却器3内部的常规液氮通过换热盘管换热,进行第一次冷却;随后进入液氮抽空冷却器4,与液氮抽空冷却器4内部的过冷液氮通过换热盘管换热,进行第二次冷却;最后进入液氧抽空冷却器5,与内部的过冷液氧通过换热盘管换热,进行第三次冷却。

[0059] 达到预设温度后的液氧分为两路,一路流经第三低温截止阀14、箭上液氧箱1和三通阀15,对流经的箱体及管路进行预冷后,再次进行三级过冷;另一路直接从地面液氧储罐2下方进入其内部;当地面液氧储罐2内部的液氧容量达到设定值时(通过液位传感器监测),关闭过冷液氧泵7、液氮抽空泵8和液氧抽空泵9;然后将液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5内部的液氮或液氧排空,关闭所有低温截止阀,三通阀15连通地面液氧储罐2和箭上液氧箱1,过冷液氧制备完成。

[0060] (2)深度过冷液氧加注期:启动液氧泵6,三通阀15中地面液氧储罐2与箭上液氧箱1之间的加注通路连通(此时三通阀15的另一条通路不连通);将地面液氧储罐2内部的深度

过冷液氧泵入箭上液氧箱1,实现液氧推进剂的全过冷加注。

[0061] 实施例3:

[0062] 在上述实施例2的基础上:

[0063] 若第一阶段的深度过冷液氧制备及箱体预冷期完成后,不能直接进行第二阶段的深度过冷液氧加注期(如火箭发射推迟),由于漏热的影响,地面液氧储罐2会产生热分层且箭上液氧箱1会升温,需采取相关措施进行二次过冷及预冷,使地面液氧储罐2内部的液氧和箭上液氧箱1保持深度过冷态(即过冷维持)。具体可根据地面液氧储罐2内部的液氧温度来确定液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5的启停状态,具体的,以从液氮直接冷却器(第一级冷却)流出的液氧温度可达78K,从液氮抽空冷却器(第二级冷却)流出的液氧温度可达64K,从液氧抽空冷却器(第三级冷却)流出的液氧温度可达55K为例,令地面液氧储罐2内的液氧温度为T,

[0064] 当 $T \geq 78K$ 时,同时启动液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5;

[0065] 当 $64K \leq T < 78K$ 时,同时启动液氮抽空冷却器4和液氧抽空冷却器5;

[0066] 当 $55K \leq T < 64K$ 时,仅启动液氧抽空冷却器5。

[0067] 下面以液氧温度 $T = 62K$ 为例进行说明。

[0068] 当地面液氧储罐2内的液氧温度为62K时,直接冷却器3和液氮抽空冷却器4不启用,只启用液氧抽空冷却器5即可,具体如下:

[0069] 液氧源11向液氧抽空冷却器5注入液氧,启动液氧抽空泵9,使液氧抽空冷却器5内部的液氧介质温度趋近55K左右;打开第二低温截止阀13和第三低温截止阀14,三通阀15中箭上液氧箱1和过冷液氧泵7之间的预冷通路连通(此时三通阀15的另一条通路不连通);启动过冷液氧泵7,将地面液氧储罐2上面分层的“高温”液氧泵入液氮直接冷却器3,通过液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4后,进入液氧抽空冷却器5进行冷却降温;达到预设温度后分为两路,一路流经第三低温截止阀14、箭上液氧箱1和三通阀15,对箱体及管路进行二次预冷,另一路直接进入地面液氧储罐2下部;当地面液氧储罐2内部的液氧容量达到设定值时,关闭所有低温截止阀,三通阀15连通地面液氧储罐2和箭上液氧箱1,液氧二次过冷及箭上液氧箱1的二次预冷完成。

[0070] 实施例4:

[0071] 如图2所示,本实施例提供另一种结构形式的基于三级分段冷却的液氧推进剂全过冷加注系统,其与实施例1的区别仅在于:本实施例的液氧过冷单元中,液氧源11注入液氧抽空冷却器5内作为冷却介质的液氧首先经过液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4预冷,达到过冷状态后再进入液氧抽空冷却器5内部;由此能够使液氧抽空冷却器5快速启动;具体的:

[0072] 本实施例中的液氧过冷单元包括:液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5、过冷液氧泵7、液氮抽空泵8、液氧抽空泵9、液氮源10、液氧源11、第一低温截止阀12、第二低温截止阀13、第四低温截止阀16和第五低温截止阀17。

[0073] 液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4分别与液氮源10相连通,液氮源10用于向液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4内提供液氮介质,且能够通过液氮源10调节液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4内部的液氮量(具体的,液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4均设置有加注口和排放口,分别通过加注口和排放口与液氮源10相连);液氮抽空冷却器4与

液氮抽空泵8相连,通过抽真空操作可使液氮抽空冷却器4中的液氮气化,实现液氮介质降温,最低可达63.2K;与液氮抽空冷却器4出口相连的过冷液氧管路分为两条支路,一条支路经第四低温截止阀16后通过液氧抽空冷却器5的换热盘管流出;另一条经过第五低温截止阀17后直接进入液氧抽空冷却器5内部,作为液氧抽空泵9的冷却介质;多余的液氧冷却介质可通过排空管路直接返回液氧源11(即液氧抽空冷却器5的加注口与第五低温截止阀17所在支路相连,排放口与液氧源11相连);液氧抽空冷却器5与液氧抽空泵9相连,通过抽空操作可使液氧抽空冷却器5中的液氧气化,实现液氧介质降温,最低可达54.4K。液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5通过液氧过冷管路依次串联连接,用于实现液氧的三级分段冷却。

[0074] 实施例5:

[0075] 基于上述实施例4中的加注系统,本实施例提供该加注系统的使用方法:

[0076] 初始时,所有低温截止阀处于关闭状态

[0077] (1) 深度过冷液氧制备及箱体预冷期:

[0078] 液氮源10向液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4内注入液氮;液液氮抽空泵8启动,使液氮抽空冷却器4内部的液氮介质温度趋近64K左右;打开第一低温截止阀12、第五低温截止阀17,启动过冷液氧泵7,液氧源11内部的常规液氧通过液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4预冷后,进入液氧抽空冷却器5内部作为冷却介质;同时启动液氧抽空泵9,使液氧抽空冷却器5内部的液氧介质温度趋近55K左右;

[0079] 然后打开第三低温截止阀14、第四低温截止阀16;关闭第五低温截止阀17,三通阀15中箭上液氧箱1和过冷液氧泵7之间的预冷通路连通;液氧源11提供的常态饱和液氧通过过冷液氧泵7首先进入液氮直接冷却器3,与内部的常规液氮通过换热盘管换热,进行第一次冷却;随后进入液氮抽空冷却器4,与内部的过冷液氮通过换热盘管换热,进行第二次冷却;最后进入液氧抽空冷却器5,与内部的过冷液氧通过换热盘管换热,进行第三次冷却;

[0080] 冷却后的液氧达到预设温度后分为两路,一路流经第三低温截止阀14、箭上液氧箱1和三通阀15对箱体及管路进行预冷后,再次进行三级过冷;另一路直接进入地面液氧储罐2下部;当地面液氧储罐2内部的液氧容量达到设定值时,关闭过冷液氧泵7、液氮抽空泵8、液氧抽空泵9,液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5内部的液氮或液氧排空,关闭所有低温截止阀,将三通阀15地面液氧储罐2和箭上液氧箱1之间的加注通路连通,过冷液氧制备完成。

[0081] (2) 深度过冷液氧加注期:

[0082] 液氧泵6启动,将地面液氧储罐2内部的深度过冷液氧泵入箭上液氧箱1,实现液氧推进剂的全过冷加注。

[0083] 实施例6:

[0084] 在上述实施例5的基础上:

[0085] 若第一阶段的深度过冷液氧制备及箱体预冷期完成后,不能直接进行第二阶段的深度过冷液氧加注期(如火箭发射推迟),由于漏热的影响,地面液氧储罐2会产生热分层且箭上液氧箱1会升温,需采取相关措施进行二次过冷及预冷,使地面液氧储罐2内部的液氧和箭上液氧箱1保持深度过冷态(即过冷维持)。具体可根据地面液氧储罐2内部的液氧温度来确定液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5的启停状态,具体的,以从液

氮直接冷却器(第一级冷却)流出的液氧温度可达78K,从液氮抽空冷却器(第二级冷却)流出的液氧温度可达64K,从液氧抽空冷却器(第三级冷却)流出的液氧温度可达55K为例,令地面液氧储罐2内的液氧温度为T,

[0086] 当 $T \geq 78\text{K}$ 时,同时启动液氮直接冷却器3、液氮抽空冷却器4、液氧抽空冷却器5;

[0087] 当 $64\text{K} \leq T < 78\text{K}$ 时,同时启动液氮抽空冷却器4和液氧抽空冷却器5;

[0088] 当 $55\text{K} \leq T < 64\text{K}$ 时,仅启动液氧抽空冷却器5。

[0089] 下面以液氧温度 $T = 62\text{K}$ 为例进行说明。

[0090] 当地面液氧储罐2内的液氧温度为62K时,直接冷却器3和液氮抽空冷却器4不启用,只启用液氧抽空冷却器5即可,同时由于二次过冷所需冷量较少,液氧抽空冷却器5内作为冷却介质的液氧可直接源自地面液氧储罐2内的液氧,具体如下:

[0091] 打开第二低温截止阀13和第五低温截止阀17,启动过冷液氧泵7和液氧抽空泵9,地面液氧储罐2上层液氧进入液氧抽空冷却器5中作为冷却介质,并使液氧抽空冷却器5内部的液氧冷却介质温度趋近55K左右;然后打开第四低温截止阀16,关闭第五低温截止阀17,三通阀15中连通箭上液氧箱1和过冷液氧泵7的预冷通路连通;来自地面液氧储罐2上面分层的“高温”液氧通过液氮直接冷却器3和液氮抽空冷却器4后,进入液氧抽空冷却器5进行冷却降温;达到预设温度后分为两路,一路流经第三低温截止阀14、箭上液氧箱1和三通阀17,对箱体及管路进行二次预冷,另一路直接进入地面液氧储罐2下部;当地面液氧储罐2内部的液氧容量达到设定值时,关闭所有低温截止阀,三通阀15中连通地面液氧储罐2和箭上液氧箱1的加注通路连通,液氧二次过冷及箭上液氧箱1的二次预冷完成。

[0092] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

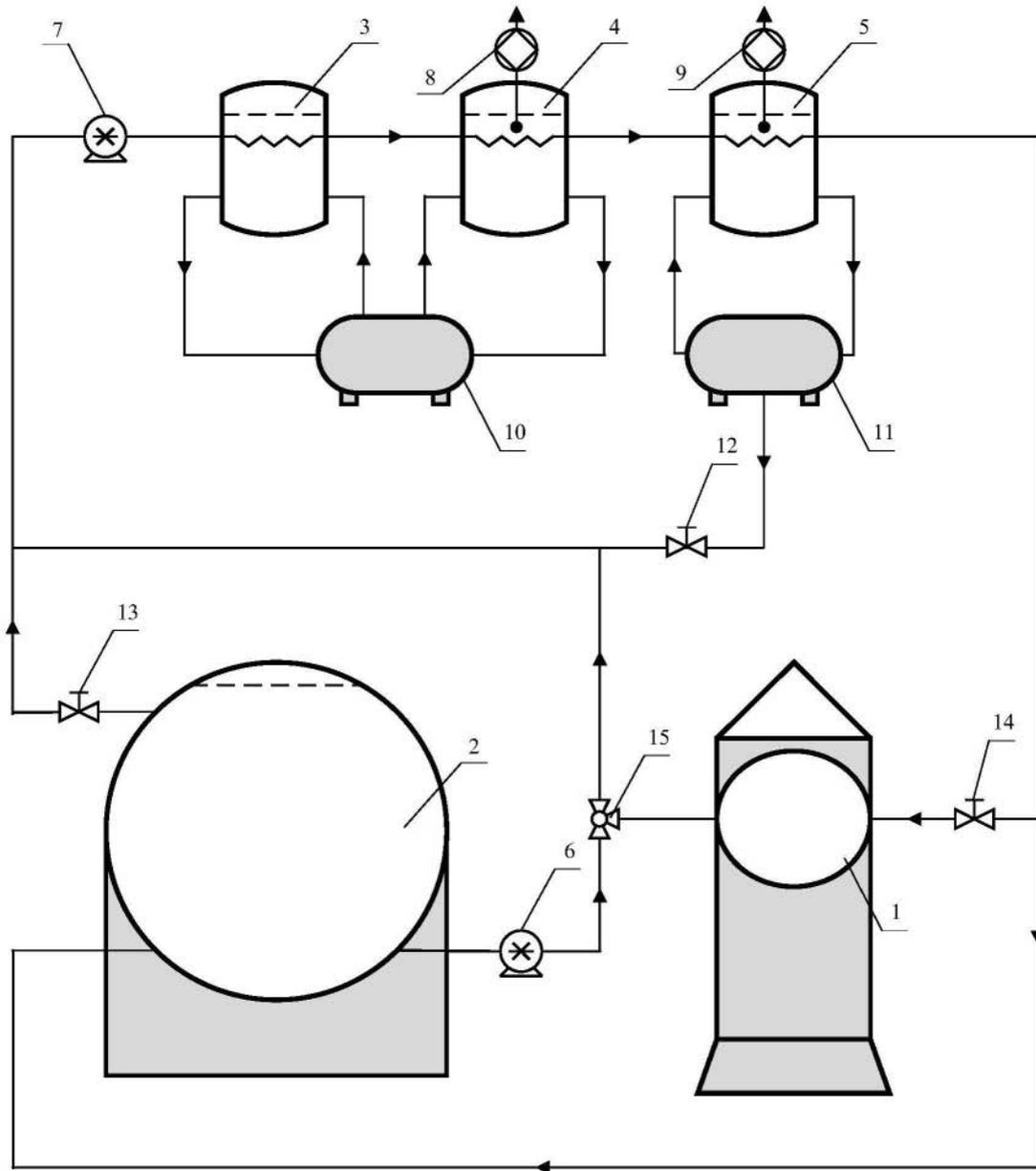


图1

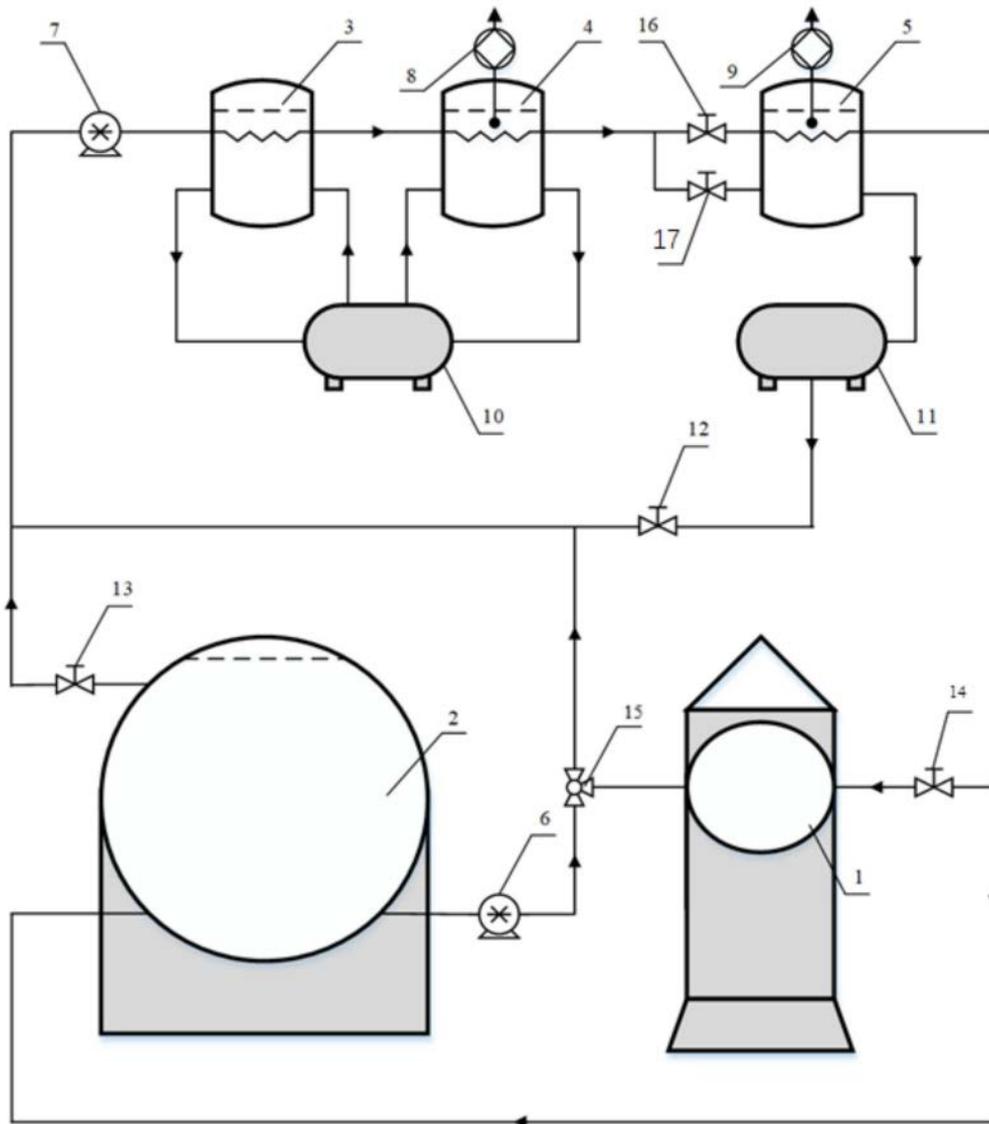


图2