



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111457635 A

(43)申请公布日 2020.07.28

(21)申请号 202010249586.0

(22)申请日 2020.04.01

(71)申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 王磊 刘柏文 上官石 谢福寿
马原 厉彦忠

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215

代理人 贺建斌

(51)Int.Cl.

F25D 3/10(2006.01)

F25D 21/04(2006.01)

F25B 40/02(2006.01)

F25B 43/00(2006.01)

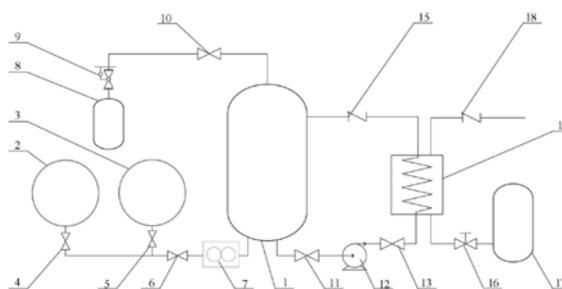
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统

(57)摘要

一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,包括推进剂组分调制+循环过冷装置或推进剂组分调制+传输过冷装置;利用多元流体掺混后凝固点温度低于纯质流体凝固点温度的物性规律,在液甲烷中加入适当比例的乙烷、丙烷、或乙烷/丙烷混合物等轻质烷烃组分,构成双组元或三组元混合推进剂,再利用常压液氮换热进行冷却降温,在获得大过冷度甲烷推进剂的同时,有效避免冰堵危害的发生;本发明结构简单,操作简便灵活,推进剂过冷度更大,密度提升率与蓄热能力提升率显著提升,价格低廉,性能稳定。



1. 一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,包括推进剂组分调制+循环过冷装置或推进剂组分调制+传输过冷装置,其特征在于:

所述的推进剂组分调制+循环过冷装置,包括调制储罐(1),调制储罐(1)的进液口与第一液体储罐(2)、第二液体储罐(3)出口通过管道相接,第一液体储罐(2)出口支管设置第一泄流阀(4),第二液体储罐(3)出口支管设置第二泄流阀(5),两支管连接至总管,并在总管设置流量调节阀(6)、流量计(7);调制储罐(1)的出液口经第三泄流阀(11)、循环泵(12)、泵后调节阀(13)连接低温换热器(14)推进剂侧入口,低温换热器(14)推进剂侧出口经回流阀(15)反流至调制储罐(1)的回流口,调制储罐(1)顶部加压口通过稳压阀(10)、第一泄压阀(9)和第一高压氦气瓶(8)出口连接;低温换热器(14)液氮侧入口与液氮储罐(17)接通,并在连接管路设置液氮流量调节阀(16);低温换热器(14)液氮侧出口经氮气泄流阀(18)排空;

所述的推进剂组分调制+传输过冷装置,包括调制储罐(1),调制储罐(1)的进液口与第一液体储罐(2)、第二液体储罐(3)出口通过管道相接,第一液体储罐(2)出口支管设置第一泄流阀(4),第二液体储罐(3)出口支管设置第二泄流阀(5),两支管连接至总管,并在总管设置流量调节阀(6)、流量计(7);调制储罐(1)顶部加压口连接增压气体管路,增压气体管路设置增压气体调节阀(19);调制储罐(1)的出液口依次经第三泄流阀(11)、低温换热器(14)推进剂通道、推进剂加注阀(20)连接箭上贮箱(24)底部加注口,低温换热器(14)液氮侧入口与液氮储罐(17)接通,并在连接管路设置液氮流量调节阀(16),低温换热器(14)液氮侧出口经氮气泄流阀(18)排空;箭上贮箱(24)顶部卸压口经第二泄压阀(22)和第二高压氦气瓶(21)入口连接,箭上贮箱(24)顶部设置排气阀(23)。

2. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的第一液体储罐(2)、第二液体储罐(3)采用移动式或固定式低温容器,不锈钢材质,真空绝热;具备液体质量、组分监测功能,顶部具有增压、稳压接口及安全排气系统;内部装载纯质液甲烷、液乙烷、液丙烷或组分已知的多元混合推进剂,且第一液体储罐(2)、第二液体储罐(3)内液体推进剂温度相近,均低于110K。

3. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的第一高压氦气瓶(8)、第二高压氦气瓶(21)采用钢瓶结构,单气瓶布置或多气瓶并联布置,储气压力15MPa~70MPa,储气温度为常温。

4. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的第一泄压阀(9)、第二泄压阀(22)采用节流阀或节流孔板结构,节流背压须大于0.1MPa。

5. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的稳压阀(10)由阀后压力控制,根据调制储罐(1)内压力与设定压力差控制氮气向调制储罐(1)内注入。

6. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的循环泵(12)采用潜液式或非潜液式防爆低温泵。

7. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的低温换热器(14)采用管壳式、套管式、板式、板翅式结构;材质为铝合金;耐压小于0.5MPa;低温换热器(14)外采用聚氨酯发泡或珠光砂绝热包裹,绝热厚度>30mm。

8. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的液氮流量调节阀(16)受低温换热器(14)换热能力控制阀门开度;当低温换热器(14)采用管壳式结构且液氮位于壳侧时,液氮流量调节阀(16)根据低温换热器(14)内液氮液位控制开度;当低温换热器(14)采用套管式、板式、板翅式结构时,液氮流量调节阀(16)受低温换热器(14)推进剂出口温度控制开度。

9. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的液氮储罐(17)采用液氮槽车或固定式液氮储罐结构,具备增压、泄压及安全排气功能。

10. 根据权利要求1所述的一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,其特征在于:所述的氮气泄流阀(18)受低温换热器(14)内液氮侧压力控制开度。

一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统

技术领域

[0001] 本发明涉及航天液甲烷推进剂大过冷度获取技术领域,具体涉及一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统。

背景技术

[0002] 采用液氧/液甲烷作为推进剂的运载火箭在进入空间、空间推进领域发挥重要作用,而液甲烷具有低沸点、易蒸发的特性,实际应用必须处理各类涉及气液相变与两相流所带来的技术挑战。在火箭发射前采用地面过冷装置增大液甲烷的过冷度,具有减小火箭发射质量或增大载荷携带量的优势,也利于延长甲烷的无损贮存周期。

[0003] 纯质液甲烷在常压下的沸点约111.5K,凝固点约90.7K,将液甲烷由饱和温度过冷至近凝固点温度,密度提升率约为7%;若希望进一步增大密度提升率,则会出现固态甲烷,即获得液-固混合物的浆态甲烷,给整个过冷工艺及火箭设计带来更大挑战。过冷液甲烷通常采用液氮作为冷源获得,液氮常压下饱和温度约77.4K,远低于甲烷凝固点温度。采用常压液氮换热方法过冷甲烷,极可能造成液甲烷侧的冰堵,影响过冷操作的正常开展。

[0004] 在甲烷中添加乙烷、丙烷等轻质烷烃组分,则可将混合流体的凝固点温度降至更低温度,同时存在最佳配比,使混合流体的冷凝温度最低,即共晶点温度,此温度甚至低于液氮温度。例如:甲烷凝固点约90.7K,乙烷凝固点约90.4K,甲烷-乙烷混合流体凝固点温度随甲烷/乙烷配比关系改变,当甲烷/乙烷比为72:28时达到最佳,混合流体共晶点温度为73K,已低于常压下液氮的饱和温度。采用液氮冷却该配比的甲烷-乙烷混合流体,则不会发生甲烷侧推进剂的冰堵危害。

[0005] 对于甲烷/丙烷混合流体,当甲烷与丙烷配比为68:32时达到最佳,共晶点温度约72K;对于乙烷/丙烷混合流体,配比为46:54时达到最佳,共晶点温度为76K;对于甲烷/乙烷/丙烷混合流体,配比为63:16:21时达到最优,共晶点温度为63K。由此可见,在纯质液甲烷中添加乙烷、丙烷等轻质烷烃类燃料,并采用液氮过冷,在获得更大过冷度的同时,可有效避免冰堵危害的发生。

[0006] 已开展的甲烷发动机热试车表明,在甲烷中添加乙烷、丙烷等形成多组元推进剂,该多组元推进剂与纯质甲烷推进剂在发动机性能方面未见明显的差异。

发明内容

[0007] 为了克服上述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供了一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,在获得大过冷度甲烷推进剂的同时,有效避免冰堵危害的发生;结构简单,操作简便,推进剂过冷度更大,密度提升率与蓄热能力提升率显著提升,价格低廉。

[0008] 为了达到上述目的,本发明采取的技术方案为:

[0009] 一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,包括推进剂组分调制+循环过冷装置或推进剂组分调制+传输过冷装置;

[0010] 所述的推进剂组分调制+循环过冷装置,包括调制储罐1,调制储罐1的进液口与第

一液体储罐2、第二液体储罐3出口通过管道相接,第一液体储罐2出口支管设置第一泄流阀4,第二液体储罐3出口支管设置第二泄流阀5,两支管连接至总管,并在总管设置流量调节阀6、流量计7;调制储罐1的出液口经第三泄流阀11、循环泵12、泵后调节阀13连接低温换热器14推进剂侧入口,低温换热器14推进剂侧出口经回流阀15反流至调制储罐1的回流口,调制储罐1顶部加压口通过稳压阀10、第一泄压阀9和第一高压氦气瓶8出口连接;低温换热器14液氮侧入口与液氮储罐17接通,并在连接管路设置液氮流量调节阀16;低温换热器14液氮侧出口经氮气泄流阀18排空。

[0011] 所述的推进剂组分调制+传输过冷装置,包括调制储罐1,调制储罐1的进液口与第一液体储罐2、第二液体储罐3出口通过管道相接,第一液体储罐2出口支管设置第一泄流阀4,第二液体储罐3出口支管设置第二泄流阀5,两支管连接至总管,并在总管设置流量调节阀6、流量计7;调制储罐1顶部加压口连接增压气体管路,增压气体管路设置增压气体调节阀19;调制储罐1的出液口依次经第三泄流阀11、低温换热器14推进剂通道、推进剂加注阀20连接箭上贮箱24底部加注口,低温换热器14液氮侧入口与液氮储罐17接通,并在连接管路设置液氮流量调节阀16,低温换热器14液氮侧出口经氮气泄流阀18排空;箭上贮箱24顶部卸压口经第二泄压阀22和第二高压氦气瓶21入口连接,箭上贮箱24顶部设置排气阀23。

[0012] 所述的调制储罐1采用立式或卧式布局,材质为不锈钢,表面采用真空粉末或真空纤维绝热,储罐耐压大于1MPa。

[0013] 所述的第一液体储罐2、第二液体储罐3采用移动式或固定式低温容器,不锈钢材质,真空绝热;具备液体质量、组分监测功能,顶部具有增压、稳压接口及安全排气系统;内部装载纯质液甲烷、液乙烷、液丙烷或组分已知的多元混合推进剂,且第一液体储罐2、第二液体储罐3内液体推进剂温度相近,均低于110K。

[0014] 所述的第一泄流阀4、第二泄流阀5采用防爆低温截止阀,工作温区60K~300K,采用低温法兰连接于传输管路;流量调节阀6采用电动低温调节阀或气动低温调节阀。

[0015] 所述的第一高压氦气瓶8、第二高压氦气瓶21采用钢瓶结构,单气瓶布置或多气瓶并联布置,储气压力15MPa~70MPa,储气温度为常温。

[0016] 所述的第一泄压阀9、第二泄压阀22采用节流阀或节流孔板结构,节流背压须大于0.1MPa。

[0017] 所述的稳压阀10由阀后压力控制,根据调制储罐1内压力与设定压力差控制氦气向调制储罐1内注入。

[0018] 所述的循环泵12采用潜液式或非潜液式防爆低温泵。

[0019] 所述的低温换热器14采用管壳式、套管式、板式、板翅式结构;材质为铝合金;耐压小于0.5MPa;低温换热器14外采用聚氨酯发泡或珠光砂绝热包裹,绝热厚度>30mm。

[0020] 所述的回流阀15采用单向阀结构,流动方向为低温换热器14至调制储罐1。

[0021] 所述的液氮流量调节阀16受低温换热器14换热能力控制阀门开度;当低温换热器14采用管壳式结构且液氮位于壳侧时,液氮流量调节阀16根据低温换热器14内液氮液位控制开度;当低温换热器14采用套管式、板式、板翅式结构时,液氮流量调节阀16受低温换热器14推进剂出口温度控制开度。

[0022] 所述的液氮储罐17采用液氮槽车或固定式液氮储罐结构,具备增压、泄压及安全排气功能。

- [0023] 所述的氮气泄流阀18受低温换热器14内液氮侧压力控制开度。
- [0024] 所述的增压气体调节阀19受调制储罐1压力控制,采用氦气提供增压效果。
- [0025] 所述的排气阀23受箭上贮箱24气枕压力控制开度,实现由箭上贮箱24向环境单向排气。
- [0026] 所述的箭上贮箱24为立式布局,铝合金或不锈钢材质,表面采用发泡绝热或发泡+多层绝热材料层包裹,内设液位监测系统。
- [0027] 本发明的有益效果:
- [0028] 本发明采用推进剂组分调制与液氮过冷相结合的方法实现液甲烷防结冰大过冷度获取,通过第一泄流阀4、第二泄流阀5交替打开、流量调节阀6与流量计7监控流量,并结合调制储罐1内液位监测,可实现调制储罐1内推进剂组分的定量调制,具有调试工艺便捷、可控,设备简单,投资少等优势。
- [0029] 本发明采用先组分调制、后过冷的方案可在较宽的组分调制区间避免冰堵危害。例如,对甲烷/乙烷双组元推进剂,当甲烷浓度为54%~80%时,推进剂凝固点温度低于常压液氮饱和温度,在该较宽的浓度区间内采用常压液氮过冷均可有效避免冰堵。因此,本发明具有防结冰组分调制区间宽、便于过冷操作等优点。
- [0030] 本发明提供了一种深度发掘甲烷推进剂过冷度效能的可选方案,对纯质甲烷采用过冷操作,最低温度须高于其凝固点温度90.7K;当在甲烷中掺混适当比例的轻质烷烃组分后,采用液氮过冷可获得常压液氮温区的过冷推进剂,推进剂温度降至78K附近;若推进剂组分分配比靠近共晶点,并采用负压液氮浴冷却,可制备72K甚至低于70K的超级过冷甲烷推进剂,从而使得甲烷推进剂地面及空间无损贮存时间显著延长,有效拓展深空探测领域、降低流体管理技术挑战。
- [0031] 本发明提供了两种液甲烷推进剂防结冰过冷方式,可根据发射场整体布局与航天探测技术特征灵活选用。其中,循环过冷方式在获得大过冷度低温推进剂的同时,也具备过冷度维持功能,通过消耗一定量的液氮实现了火箭延迟发射;传输过冷方式与现有发射场加注系统高度兼容,可利用现有发射场固有设备开展大过冷度获取操作。
- [0032] 此外,本发明采用常压液氮换热实现液甲烷过冷度获取,换热系统的设计与运行管理更加简便。相较于高压饱和液氮防结冰过冷方案,本发明所要求的换热器设计及工艺更易实现;常压饱和液氮更易获取,价格低廉,准备周期短,有利于加快过冷进程。
- [0033] 综上,本发明提出的推进剂组分调制与常压液氮过冷相结合的方案,设备结构简单,操作简便灵活,推进剂过冷度更大,密度提升率与蓄热能力提升率显著提升,价格低廉,能够有效避免甲烷推进剂过冷操作中的结冰危害,具备可观的应用前景。

附图说明

- [0034] 图1为甲烷/乙烷混合流体凝固点温度随甲烷摩尔含量变化曲线。
- [0035] 图2为本发明推进剂组分调制+循环过冷方式示意图。
- [0036] 图3为本发明推进剂组分调制+传输过冷方式示意图。

具体实施方式

- [0037] 下面结合附图对本发明做详细描述。

[0038] 如图1所示,图1为甲烷/乙烷二元混合流体凝固点温度随甲烷摩尔含量变化曲线,其中, $X_1=0.54$; $X_2=0.80$; $X_C=0.68$; $T_{\text{sat}}=78\text{K}$; $T_c=72\text{K}$ 。采用常压液氮过冷甲烷/乙烷混合推进剂时,只要甲烷含量处于 X_1 与 X_2 之间,则无论推进剂的流速如何,均可有效避免结冰危害的发生。甲烷/丙烷二元混合流体也具有类似的规律,甲烷边界浓度分别为 $X_1=0.41$, $X_2=0.79$,在该区间采用液氮预冷,也可避免结冰危害的发生;对甲烷/乙烷/丙烷三元混合推进剂,也具有类似的规律。

[0039] 一种甲烷混合推进剂调制/防结冰过冷系统,包括推进剂组分调制+循环过冷装置或推进剂组分调制+传输过冷装置;

[0040] 如图2所示,所述的推进剂组分调制+循环过冷装置,包括调制储罐1,调制储罐1的进液口与第一液体储罐2、第二液体储罐3出口通过管道相接,第一液体储罐2出口支管设置第一泄流阀4,第二液体储罐3出口支管设置第二泄流阀5,两支管连接至总管,并在总管设置流量调节阀6、流量计7;调制储罐1的出液口经第三泄流阀11、循环泵12、泵后调节阀13连接低温换热器14推进剂侧入口,低温换热器14推进剂侧出口经回流阀15反流至调制储罐1的回流口,调制储罐1顶部加压口通过稳压阀10、第一泄压阀9和第一高压氦气瓶8出口连接;低温换热器14液氮侧入口与液氮储罐17接通,并在连接管路设置液氮流量调节阀16;低温换热器14液氮侧出口经氮气泄流阀18排空。

[0041] 如图2所示,推进剂组分定量调制由调制储罐1、第一液体储罐2、第二液体储罐3、第一泄流阀4、第二泄流阀5、流量调节阀6、流量计7配合实现,调制之前,开启第一泄流阀4对传输管路、调制储罐1箱体开展预冷,将传输管、调制储罐1壁面温度降至甲烷推进剂温区;预冷结束后,维持第一泄流阀4开启,调节流量调节阀6开度,通过监测流量计7、调制储罐1内液位,控制第一液体储罐2向调制储罐1的液体加注量,至第一目标液位;关闭第一泄流阀4,打开第二泄流阀5,调节流量调节阀6开度,通过监测流量计7、调制储罐1内液位,控制第二液体储罐3内液体加注量至第二目标液位;以上通过流量控制与液位控制,实现第一液体储罐2、第二液体储罐3内液体在调制储罐1内的定量调制;也可改变第一泄流阀4与第二泄流阀5的开启顺序;

[0042] 如图2所示,完成定量调制的甲烷混合推进剂贮存于调制储罐1内,其防结冰循环过冷获取由调制储罐1、第三泄流阀11、循环泵12、泵后调节阀13、低温换热器14、回流阀15、液氮储罐17、液氮流量调节阀16、氮气泄流阀18、高压氦气瓶8、泄压阀9、稳压阀10配合完成,过冷获取之前,需对循环泵12开展充分预冷;循环泵12预冷完成后,打开泄压阀9、调节稳压阀10至设定值;打开液氮流量调节阀16、氮气泄流阀18对低温换热器14开展充分过冷;当低温换热器14温度降至液氮温区后,打开第三泄流阀11、泵后调节阀13、回流阀15,启动循环泵12,开展推进剂过冷操作;通过监测调制储罐1内的液体温度掌握过冷度获取进程;循环过冷中,通过高压氦气瓶8、泄压阀9、稳压阀10确保调制储罐1内压力维持正压,避免空气等杂质渗入。

[0043] 如图3所示,所述的推进剂组分调制+传输过冷装置,包括调制储罐1,调制储罐1的进液口与第一液体储罐2、第二液体储罐3出口通过管道相接,第一液体储罐2出口支管设置第一泄流阀4,第二液体储罐3出口支管设置第二泄流阀5,两支管连接至总管,并在总管设置流量调节阀6、流量计7;调制储罐1顶部加压口连接增压气体管路,增压气体管路设置增压气体调节阀19;调制储罐1的出液口依次经第三泄流阀11、低温换热器14推进剂通道、推

进剂加注阀20连接箭上贮箱24底部加注口,低温换热器14液氮侧入口与液氮储罐17接通,并在连接管路设置液氮流量调节阀16,低温换热器14液氮侧出口经氮气泄流阀18排空;箭上贮箱24顶部卸压口经第二泄压阀22和第二高压氦气瓶21入口连接,箭上贮箱24顶部设置排气阀23。

[0044] 如图3所示,推进剂组分定量调制操作与图2所述过程一致,传输过冷获取由调制储罐1、增压气体调节阀19、第三泄流阀11、低温换热器14、推进剂加注阀20、箭上贮箱24、液氮储罐17、液氮流量调节阀16、氮气泄流阀18、高压氦气瓶21、泄压阀22、排气阀23配合完成,传输过冷前,打开液氮流量调节阀16、氮气泄流阀18对低温换热器14进行冷却;低温换热器14冷却至目标温度后,打开增压气体调节阀19对调制储罐1进行增压,在调制储罐1与箭上贮箱24之间建立输送压差;打开第三泄流阀11、推进剂加注阀20、泄压阀22、排气阀23;在输送压差作用下,调制储罐1内的混合液体推进剂依次流经第三泄流阀11、低温换热器14、推进剂加注阀20,箭上贮箱24,并在低温换热器14获得冷量;高压氦气瓶21、泄压阀22根据箭上贮箱24的设定压力控制氦气注入,确保甲烷推进剂加注过程中箭上贮箱24维持正压;排气阀23保持开启状态,避免甲烷推进剂加注中箭上贮箱24超压。

[0045] 所述的调制储罐1采用立式或卧式布局,材质为不锈钢,表面采用真空粉末或真空纤维绝热,储罐耐压大于1MPa。

[0046] 所述的第一液体储罐2、第二液体储罐3采用移动式或固定式低温容器,不锈钢材质,真空绝热;具备液体质量、组分监测功能,顶部具有增压、稳压接口及安全排气系统;内部装载纯质液甲烷、液乙烷、液丙烷或组分已知的多元混合推进剂,且第一液体储罐2、第二液体储罐3内液体推进剂温度相近,均低于110K。

[0047] 所述的第一泄流阀4、第二泄流阀5采用防爆低温截止阀,工作温区60K~300K,采用低温法兰连接于传输管路;流量调节阀6采用电动低温调节阀或气动低温调节阀。

[0048] 所述的第一高压氦气瓶8、第二高压氦气瓶21采用钢瓶结构,单气瓶布置或多气瓶并联布置,储气压力15MPa~70MPa,储气温度为常温。

[0049] 所述的第一泄压阀9、第二泄压阀22采用节流阀或节流孔板结构,节流背压须大于0.1MPa。

[0050] 所述的稳压阀10由阀后压力控制,根据调制储罐1内压力与设定压力差控制氦气向调制储罐1内注入。

[0051] 所述的循环泵12采用潜液式或非潜液式防爆低温泵。

[0052] 所述的低温换热器14采用管壳式、套管式、板式、板翅式结构;材质为铝合金;耐压小于0.5MPa;低温换热器14外采用聚氨酯发泡或珠光砂绝热包裹,绝热厚度>30mm。

[0053] 所述的回流阀15采用单向阀结构,流动方向为低温换热器14至调制储罐1。

[0054] 所述的液氮流量调节阀16受低温换热器14换热能力控制阀门开度;当低温换热器14采用管壳式结构且液氮位于壳侧时,液氮流量调节阀16根据低温换热器14内液氮液位控制开度;当低温换热器14采用套管式、板式、板翅式结构时,液氮流量调节阀16受低温换热器14推进剂出口温度控制开度。

[0055] 所述的液氮储罐17采用液氮槽车或固定式液氮储罐结构,具备增压、泄压及安全排气功能。

[0056] 所述的氮气泄流阀18受低温换热器14内液氮侧压力控制开度。

[0057] 所述的增压气体调节阀19受调制储罐1压力控制,采用氦气提供增压效果。

[0058] 所述的排气阀23受箭上贮箱24气枕压力控制开度,实现由箭上贮箱24向环境单向排气。

[0059] 所述的箭上贮箱24为立式布局,铝合金或不锈钢材质,表面采用发泡绝热或发泡+多层绝热材料层包裹,内设液位监测系统。

[0060] 本发明利用多元流体掺混后凝固点温度低于纯质流体凝固点温度的物性规律,在液甲烷中加入适当比例的乙烷、丙烷、或乙烷/丙烷混合物等轻质烷烃组分,构成双组元或三组元混合推进剂,再利用常压液氮换热进行冷却降温。可根据推进剂综合性能及航天任务的特征选择甲烷/乙烷、甲烷/丙烷、或甲烷/乙烷/丙烷混合低温推进剂作为被过冷介质,并采用常压液氮提供冷量,以实现防结冰大过冷度低温推进剂制备,选择不同的组元推进剂对应不同的防结冰调制区间。以甲烷/乙烷双组元推进剂为例,阐述本发明的工作原理。

[0061] 甲烷凝固点约90.7K,乙烷凝固点约90.4K,而甲烷-乙烷混合流体的凝固点温度低于组成纯质的凝固点温度,且凝固点温度随组分含量呈现如图1所示的变化。当甲烷/乙烷比为72:28时,混合流体共晶点温度为73K;当甲烷摩尔含量在 $X_1=0.54$ 与 $X_2=0.80$ 之间时,混合流体的凝固点温度均低于常压下液氮饱和温度。因此,可采用常压液氮对一定调制比例的甲烷/乙烷混合液体开展过冷操作,从而可有效避免甲烷推进剂过冷中所存在的结冰危害。

[0062] 本发明采用先调制、后循环过冷的方式对调制储罐1内的混合推进剂开展防结冰过冷度制备;也可采用先调制、后传输过冷的方式直接向箭上贮箱24加注过冷甲烷推进剂。两种方式中,按比例调制是防结冰过冷度获取的基础。实际中,可将甲烷摩尔比例目标设置为 $X=0.67$ 附近,依次向调制储罐1内加注定量的纯质甲烷、纯质乙烷,加注量可由流量计7、调制储罐1内液位计监测确定,从而获得目标比例需求的混合推进剂。即使调制过程存在偏差($\Delta X < 0.13$),也不会发生甲烷结冰的危害。

[0063] 完成调制的甲烷推进剂,可选择循环过冷与传输过冷两种方式。循环过冷采用循环泵12驱动,将调制储罐1内混合推进剂抽出,在低温换热器14内换热后重新注入调制储罐1,随着时间的持续,调制储罐1内混合推进剂温度逐渐降低,最终可将混合推进剂全部过冷至液氮温区。传输过冷方式中,混合推进剂在增压驱动下由调制储罐1向箭上贮箱24加注,并在传输过程中由低温换热器14完成过冷推进剂制备。由于调制后的混合推进剂凝固点温度低于液氮温度,即使过冷操作停止,残留在低温换热器14、管路内的混合推进剂也不会结冰。综上所述,本发明所提方法在获得更大过冷甲烷推进剂的同时,可有效避免冰堵危害的发生。

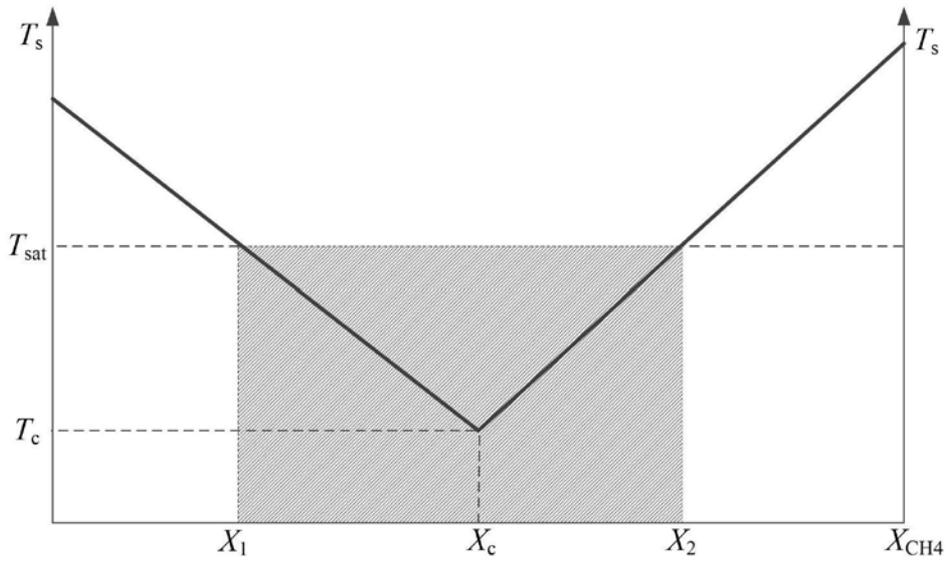


图1

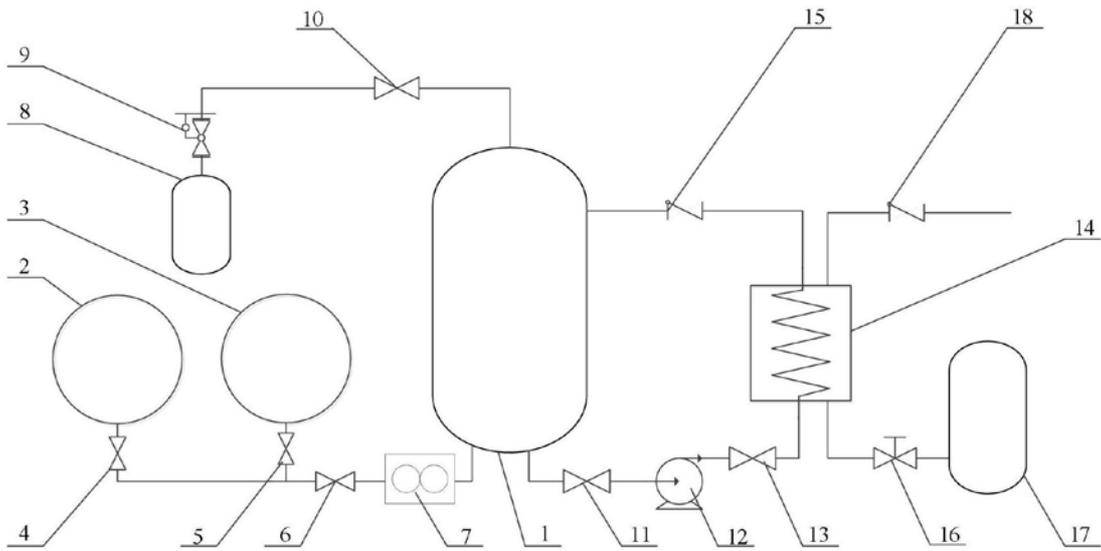


图2

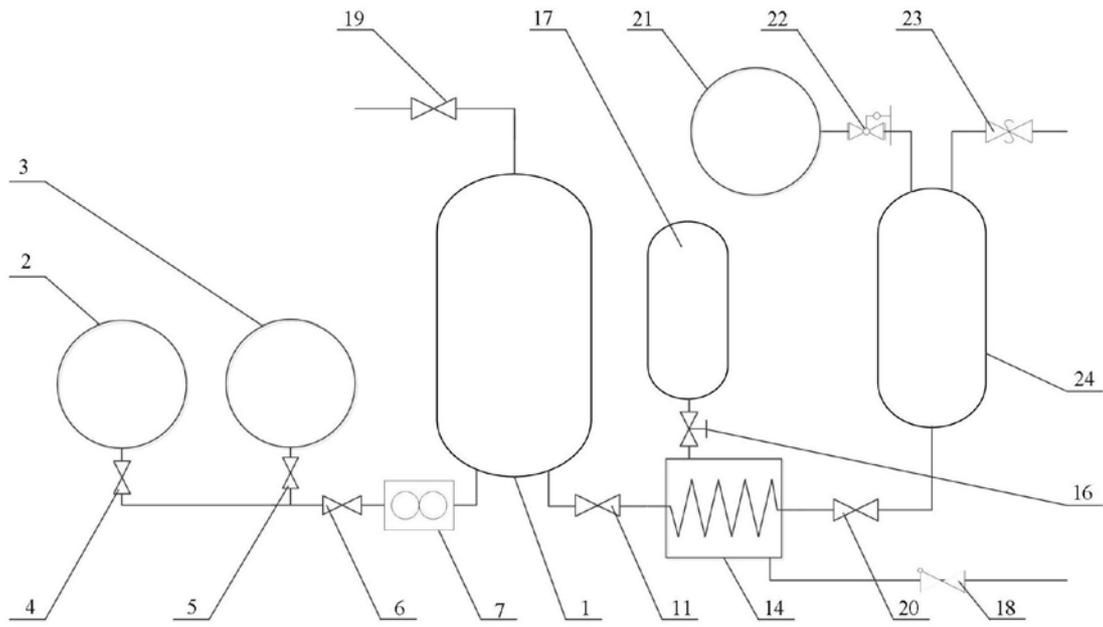


图3