



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114739055 B

(45) 授权公告日 2022.12.06

(21) 申请号 202210371796.6

F25B 41/20 (2021.01)

(22) 申请日 2022.04.11

F25B 41/24 (2021.01)

F25B 43/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114739055 A

(43) 申请公布日 2022.07.12

(73) 专利权人 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 马原 厉彦忠 孙靖阳 孙强

谢福寿

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务

所 61215

专利代理师 贺建斌

(56) 对比文件

CN 111412695 A, 2020.07.14

CN 105627638 A, 2016.06.01

CN 109469558 A, 2019.03.15

CN 113586286 A, 2021.11.02

CN 109083768 A, 2018.12.25

US 2013239544 A1, 2013.09.19

US 2018171933 A1, 2018.06.21

审查员 黄璐

(51) Int. Cl.

F25B 40/02 (2006.01)

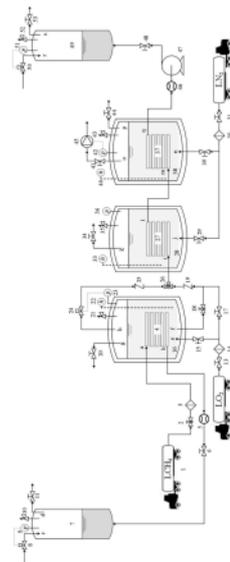
权利要求书3页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统及方法

(57) 摘要

一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统及方法,包括液甲烷槽车、液氧槽车、液氮槽车、常压液氧储罐、常压液氮储罐、负压液氮储罐、箭上甲烷贮箱、箭上液氧贮箱以及氧-甲烷换热芯、常压氧-氮换热芯、负压氧-氮换热芯和抽真空设备;利用常压饱和和液氧冷量实现液甲烷深度过冷,一方面,能够有效规避传统基于液氮冷量过冷方案发生液甲烷冻结的风险,不需要进行严格的防冻结/冻结消除措施;另一方面,通过在液氧储罐内布置换热芯,将液氧和液甲烷的过冷加注流程进行了有机结合,在满足液氧/液甲烷综合过冷的同时实现了系统精简。



1. 一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统,包括液甲烷槽车(1),其特征在于:液甲烷槽车(1)出口通过第一低温流量调节阀(2)、第一过滤器(3)与氧-甲烷换热芯(4)的入口a相连接,氧-甲烷换热芯(4)的出口b通过第一低温液体流量计(5)、第一低温截止阀(6)与箭上甲烷贮箱(7)入口相连接;箭上甲烷贮箱(7)顶部设有第一增压气体端口c、第一压力传感器(9)、第一安全阀(10)、甲烷排气口d,第一增压气体端口c通过第一电磁比例调节阀(8)与增压气源相连接,甲烷排气口d通过第二低温截止阀(11)与甲烷安全排放系统相连接;

氧-甲烷换热芯(4)安装于常压液氧储罐(16)内;常压液氧储罐(16)的液氧加注口e通过第四低温截止阀(15)、第二过滤器(14)、第三低温截止阀(13)与液氧槽车(12)出口相连接;常压液氧储罐(16)的液氧排放口f通过第二低温流量调节阀(18)与液氧加注管路止回阀(19)入口相连接,液氧加注管路止回阀(19)入口通过第五低温截止阀(17)与第二过滤器(14)出口相连接;常压液氧储罐(16)顶部设有第一氧气排放口g、第二氧气排放口h、第二安全阀(21)、第一液位计(22)和第二压力传感器(23),第一氧气排放口g通过第六低温截止阀(20)与大气环境相连接,第二氧气排放口h通过第二电磁比例调节阀(24)与气氧加注管路止回阀(25)入口相连接;液氧加注管路止回阀(19)出口和气氧加注管路止回阀(25)出口通过三通混合阀(26)连接于常压氧-氮换热芯(27)的入口i;

常压氧-氮换热芯(27)安装于常压液氮储罐(28)内,常压液氮储罐(28)的第一液氮加注口j通过第七低温截止阀(29)、第三过滤器(30)、第八低温截止阀(31)与液氮槽车(32)出口相连接;常压液氮储罐(28)顶部设有第二液位计(33)、第一氮气排放口k、第三安全阀(35)和第三压力传感器(36),第一氮气排放口k通过第九低温截止阀(34)与大气环境相连接,常压氧-氮换热芯(27)的出口l与负压氧-氮换热芯(37)的入口m相连接;

负压氧-氮换热芯(37)安装于负压液氮储罐(38)内,负压液氮储罐(38)的第二液氮加注口n通过第十低温截止阀(39)与第三过滤器(30)出口相连接;负压液氮储罐(38)顶部设有第三液位计(40)、第二氮气排放口o、第四压力传感器(42)、第四安全阀(43)和第三氮气排放口p,第二氮气排放口o依次通过第十一低温截止阀(41)、抽真空设备(45)与大气环境相连接;第三氮气排放口p通过第十二低温截止阀(44)与大气环境相连接;负压氧-氮换热芯(37)的出口q通过第二低温液体流量计(46)、低温液体循环泵(47)、第十三低温截止阀(48)与箭上液氧贮箱(49)相连接;箭上液氧贮箱(49)顶部设有第二增压气体端口r、第五压力传感器(51)、第五安全阀(52)和第三氧气排放口s,第二增压气体端口r通过第三电磁比例调节阀(50)与增压气源相连接,第三氧气排放口s通过第十四低温截止阀(53)与大气环境相连接。

2. 根据权利要求1所述的一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统,其特征在于:所述的低温贮箱和连接管道均采用高真空多层绝热、包裹绝热或堆积绝热的形式进行热防护处理。

3. 根据权利要求1所述的一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统,其特征在于:所述的氧-甲烷换热芯(4)、常压氧-氮换热芯(27)和负压氧-氮换热芯(37)采用板翅式换热结构,或采用管壳式管热结构。

4. 根据权利要求1所述的一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统,其特征在于:所述的抽真空设备(45)采用多级压缩机、引射器、水环真空泵设备,抽空减压操作直接

应用于低温气体,或采用复温器对低温气体进行复温后进行。

5. 根据权利要求1所述的一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统,其特征在于:所述的第一安全阀(10)、第二安全阀(21)、第三安全阀(35)、第四安全阀(43)、第五安全阀(52)均为低温安全角阀,当箭上甲烷贮箱(7)、常压液氧储罐(16)、常压液氮储罐(28)、负压液氮储罐(38)或箭上液氧贮箱(49)超过安全压力上限后,对应安全阀开启。

6. 权利要求1所述的一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统的使用方法,包括以下步骤:

第一步:液氧系统预冷与换热器加注:完成加注系统的气密性检查、吹扫和气体置换后,关闭所有阀门;打开第三低温截止阀(13)、第四低温截止阀(15),利用液氧槽车(12)压力驱动液氧由液氧加注口e进入常压液氧储罐(16);当第二压力传感器(23)监测到常压液氧储罐(16)气枕压力超过设定值时,控制打开第二电磁比例调节阀(24)进行氧气排放,同时打开第十三低温截止阀(48);排放氧气流经常压氧-氮换热芯(27)和负压氧-氮换热芯(37)后进入箭上液氧贮箱(49),对氧系统进行预冷;当第五压力传感器(51)监测箭上液氧贮箱(49)气枕压力超过设定值时,打开第十四低温截止阀(53)进行氧气排放泄压;当第一液位计(22)监测到液氧液位达到设定值后,关闭第三低温截止阀(13)和第四低温截止阀(15),完成常压液氧储罐(16)的液氧加注;

第二步:液氮系统预冷与换热器加注:打开第七低温截止阀(29)、第八低温截止阀(31)和第十低温截止阀(39),利用液氮槽车(32)压力驱动液氮由第一液氮加注口j、第二液氮加注口n分别进入常压液氮储罐(28)、负压液氮储罐(38)内;当第三压力传感器(36)监测到常压液氮储罐(28)气枕压力超过设定值时,打开第九低温截止阀(34)进行氮气排放泄压,保持常压液氮储罐(28)处于微正压环境;当第四压力传感器(42)监测到负压液氮储罐(38)气枕压力超过设定值时,打开第十二低温截止阀(44)进行氮气排放泄压,保持负压液氮储罐(38)处于微正压环境;当第二液位计(33)和第三液位计(40)分别监测到液氮液位达到设定值后,对应关闭第七低温截止阀(29)和第十低温截止阀(39)后,关闭第八低温截止阀(31),完成常压液氮储罐(28)和负压液氮储罐(38)的液氮加注;

第三步,建立负压液氮浴环境:关闭第十二低温截止阀(44),打开第十一低温截止阀(41),开启抽真空设备(45)对负压液氮储罐(38)气枕进行抽空减压;当第四压力传感器(42)达到并稳定于目标负压值后,完成负压液氮储罐(38)的负压环境建立;如果第三液位计(40)数据显示负压液氮储罐(38)内液氮液位过低,需关闭第十一低温截止阀(41)和开启抽真空设备(45),重新进行第二步完成液氮补加后,再按第三步操作进行抽空减压;

第四步,液甲烷深度过冷加注:打开第一低温流量调节阀(2)和第一低温截止阀(6),利用液甲烷槽车(1)压力驱动液甲烷由入口a进入氧-甲烷换热芯(4),与常压液氧储罐(16)内饱和液氧进行换热降温后,由氧-甲烷换热芯(4)的出口b流出并注入箭上甲烷贮箱(7);加注过程中,根据第一压力传感器(9)数据控制第一电磁比例调节阀(8)开度,控制箭上甲烷贮箱(7)保持微正压状态;当液甲烷加注至指定液位后,关闭第一低温流量调节阀(2)和第一低温截止阀(6),完成液甲烷深度过冷加注;当加注过程中第一液位计(22)显示常压液氧储罐(16)内液氧液位过低时,需要暂停第四步,重复第一步进行液氧补加后再进行上述液甲烷过冷加注过程;

第五步:液氧深度过冷加注:打开低温液体循环泵(47)和第十三低温截止阀(48),液氧

过冷加注过程与液甲烷过冷加注过程同时或单独进行；当与液甲烷过冷同时进行时，打开第二电磁比例调节阀(24)，打开第二低温流量调节阀(18)，在低温液体循环泵(47)的驱动下，氧气由第二氧气排放口h排出，常压液氧储罐(16)内液氧由液氧排放口f排出；气路与液路由三通混合阀(26)合并后由入口i进入常压氧-氮换热芯(27)，温度较高的气液混合流体经常压氧-氮换热芯(27)与常压液氮储罐(28)内低温液氮进行换热降温，并全部转化为液相氧；离开常压氧-氮换热芯(27)出口l后，初步降温的液氧由入口m进入负压氧-氮换热芯(37)，与负压液氮储罐(38)接近三相点温度的液氮进行换热后由出口q离开负压氧-氮换热芯(37)；被过冷至目标深度过冷温度后的液氧经低温液体循环泵(47)泵入箭上液氧贮箱(49)；加注过程中，根据第五压力传感器(51)数据控制第三电磁比例调节阀(50)开度，即调节增压气体流量，控制箭上液氧贮箱(49)保持微正压状态；当液氧加注至指定液位后，关闭低温液体循环泵(47)、第二电磁比例调节阀(24)、第二低温流量调节阀(18)和第十三低温截止阀(48)，完成液氧深度过冷加注；当液氧过冷加注与液甲烷过冷独立进行时，关闭第二电磁比例调节阀(24)，仅进行液氧传输过冷；当第一液位计(22)显示常压液氧储罐(16)内液氧不足时，关闭第二低温流量调节阀(18)，打开第三低温截止阀(13)和第五低温截止阀(17)，直接由液氧槽车(12)供给待过冷的饱和液氧。

## 一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及低温推进剂过冷加注技术领域,具体涉及一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统及方法。

### 背景技术

[0002] 低温推进剂因其比冲高、无毒无污染等优势,已经广泛应用于新一代运载火箭。其中,液氧/液甲烷组合因其在成本上的显著优势,得到了商业航天领域的高度关注。然而低温运载火箭中仅少数型号在发射前进行液氧过冷补加外,普遍采用饱和态低温推进剂。饱和态低温推进剂受热极易蒸发,不仅造成液体推进剂损失,两相流的引入也给系统安全和控制带来了诸多问题。使用过冷态低温推进剂的概念应运而生,一方面,过冷推进剂具有更高密度,有益于提高系统运载效率或降低系统质量;另一方面,过冷推进剂具有更大的储冷量,有益于推进剂长期储存并提高系统可靠性。

[0003] 目前,液氧系统采用的小流量补加与射前过冷补加流程并不能适用于大流量深度过冷液氧加注的需求,初步探究阶段一般基于抽空减压或换热法开展过冷度获取方案设计与系统研究。对于液甲烷系统,由于缺乏过冷态使用经验,初步探究阶段普遍采用了基于液氮冷量的换热式过冷方案。然而,饱和液氮温度(77.4K)低于甲烷三相点温度(90.7K)超过10K,使用饱和液氮冷量进行液甲烷过冷的过程中存在甲烷冻结风险,需要对过冷加注流程进行严格精密的控制,并需要一套完备的防冻结/冻结消除预案。

[0004] 总体来看,针对低温推进剂目前尚未形成成熟的深度过冷加注方案,目前仍处于初步研究阶段,并不具备工程应用能力。为了加快推动深度过冷低温推进剂在中国低温火箭中的应用,提高火箭的载荷效率,提升运载系统可靠性和安全性,亟需开发一套深度过冷快速加注系统。

### 发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统及方法,利用与甲烷三相点温度(90.7K)温差更小的饱和液氧冷量(90.4K),通过饱和液氧过冷液甲烷规避甲烷冻结问题以提高过冷系统的安全与稳定性,通过对蒸发氧气的有效回收再液化以提高液氧过冷系统的工作效率,从而提升低温推进剂深度过冷与快速加注系统的工作性能。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统,包括液甲烷槽车1,液甲烷槽车1出口通过第一低温流量调节阀2、第一过滤器3与氧-甲烷换热芯4的入口a相连接,氧-甲烷换热芯4的出口b通过第一低温液体流量计5、第一低温截止阀6与箭上甲烷贮箱7入口相连接;箭上甲烷贮箱7顶部设有第一增压气体端口c、第一压力传感器9、第一安全阀10、甲烷排气口d,第一增压气体端口c通过第一电磁比例调节阀8与增压气源相连接,甲烷排气口d通过第二低温截止阀11与甲烷安全排放系统相连接;

[0008] 氧-甲烷换热芯4安装于常压液氧储罐16内;常压液氧储罐16的液氧加注口e通过第四低温截止阀15、第二过滤器14、第三低温截止阀13与液氧槽车12出口相连接;常压液氧储罐16的液氧排放口f通过第二低温流量调节阀18与液氧加注管路止回阀19入口相连接,液氧加注管路止回阀19入口通过第五低温截止阀17与第二过滤器14出口相连接;常压液氧储罐16顶部设有第一氧气排放口g、第二氧气排放口h、第二安全阀21、第一液位计22和第二压力传感器23,第一氧气排放口g通过第六低温截止阀20与大气环境相连接,第二氧气排放口h通过第二电磁比例调节阀24与气氧加注管路止回阀25入口相连接;液氧加注管路止回阀19出口和气氧加注管路止回阀25出口通过三通混合阀26连接于常压氧-氮换热芯27的入口i;

[0009] 常压氧-氮换热芯27安装于常压液氮储罐28内,常压液氮储罐28的第一液氮加注口j通过第七低温截止阀29、第三过滤器30、第八低温截止阀31与液氮槽车32出口相连接;常压液氮储罐28顶部设有第二液位计33、第一氮气排放口k、第三安全阀35和第三压力传感器36,第一氮气排放口k通过第九低温截止阀34与大气环境相连接,常压氧-氮换热芯27的出口l与负压氧-氮换热芯37的入口m相连接;

[0010] 负压氧-氮换热芯37安装于负压液氮储罐38内,负压液氮储罐38的第二液氮加注口n通过第十低温截止阀39与第三过滤器30出口相连接;负压液氮储罐38顶部设有第三液位计40、第二氮气排放口o、第四压力传感器42、第四安全阀43和第三氮气排放口p,第二氮气排放口o依次通过第十一低温截止阀41、抽真空设备45与大气环境相连接;第三氮气排放口p通过第十二低温截止阀44与大气环境相连接;负压氧-氮换热芯37的出口q通过第二低温液体流量计46、低温液体循环泵47、第十三低温截止阀48与箭上液氧贮箱49相连接;箭上液氧贮箱49顶部设有第二增压气体端口r、第五压力传感器51、第五安全阀52和第三氧气排放口s,第二增压气体端口r通过第三电磁比例调节阀50与增压气源相连接,第三氧气排放口s通过第十四低温截止阀53与大气环境相连接。

[0011] 所述的低温贮箱和连接管道均采用高真空多层绝热、包裹绝热或堆积绝热等形式进行热防护处理。

[0012] 所述的氧-甲烷换热芯4、常压氧-氮换热芯27和负压氧-氮换热芯37采用板翅式换热结构,或采用管壳式管热结构。

[0013] 所述的抽真空设备45采用多级压缩机、引射器、水环真空泵等设备,抽空减压操作可以直接应用于低温气体,或采用复温器对低温气体进行复温后进行。

[0014] 所述的第一安全阀10、第二安全阀21、第三安全阀35、第四安全阀43、第五安全阀52均为低温安全角阀,当箭上甲烷贮箱7、常压液氧储罐16、常压液氮储罐28、负压液氮储罐38或箭上液氧贮箱49超过安全压力上限后,对应安全阀开启。

[0015] 一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统的使用方法,包括以下步骤:

[0016] 第一步:液氧系统预冷与换热器加注:完成加注系统的气密性检查、吹扫和气体置换后,关闭所有阀门;打开第三低温截止阀13、第四低温截止阀15,利用液氧槽车12压力驱动液氧由液氧加注口e进入常压液氧储罐16;当第二压力传感器23监测到常压液氧储罐16气枕压力超过设定值时,控制打开第二电磁比例调节阀24进行氧气排放,同时打开第十三低温截止阀48;排放氧气流经常压氧-氮换热芯27和负压氧-氮换热芯37后进入箭上液氧贮箱49,对氧系统进行预冷;当第五压力传感器51监测箭上液氧贮箱49气枕压力超过设定值

时,打开第十四低温截止阀53进行氧气排放泄压;当第一液位计22监测到液氧液位达到设定值后,关闭第三低温截止阀13和第四低温截止阀15,完成常压液氧储罐16的液氧加注;

[0017] 第二步:液氮系统预冷与换热器加注:打开第七低温截止阀29、第八低温截止阀31和第十低温截止阀39,利用液氮槽车32压力驱动液氮由第一液氮加注口j、第二液氮加注口n分别进入常压液氮储罐28、负压液氮储罐38内;当第三压力传感器36监测到常压液氮储罐28气枕压力超过设定值时,打开第九低温截止阀34进行氮气排放泄压,保持常压液氮储罐28处于微正压环境;当第四压力传感器42监测到负压液氮储罐38气枕压力超过设定值时,打开第十二低温截止阀44进行氮气排放泄压,保持负压液氮储罐38处于微正压环境;当第二液位计33和第三液位计40分别监测到液氮液位达到设定值后,对应关闭第七低温截止阀29和第十低温截止阀39后,关闭第八低温截止阀31,完成常压液氮储罐28和负压液氮储罐38的液氮加注;

[0018] 第三步,建立负压液氮浴环境:关闭第十二低温截止阀44,打开第十一低温截止阀41,开启抽真空设备45对负压液氮储罐38气枕进行抽空减压;当第四压力传感器42达到并稳定于目标负压值后,完成负压液氮储罐38的负压环境建立;如果第三液位计40数据显示负压液氮储罐38内液氮液位过低,需关闭第十一低温截止阀41和开启抽真空设备45,重新进行第二步完成液氮补加后,再按第三步操作进行抽空减压;

[0019] 第四步,液甲烷深度过冷加注:打开第一低温流量调节阀2和第一低温截止阀6,利用液甲烷槽车1压力驱动液甲烷由入口a进入氧-甲烷换热芯4,与常压液氧储罐16内饱和液氧进行换热降温后,由氧-甲烷换热芯4的出口b流出并注入箭上甲烷贮箱7;加注过程中,根据第一压力传感器9数据控制第一电磁比例调节阀8开度,控制箭上甲烷贮箱7保持微正压状态;当液甲烷加注至指定液位后,关闭第一低温流量调节阀2和第一低温截止阀6,完成液甲烷深度过冷加注;当加注过程中第一液位计22显示常压液氧储罐16内液氧液位过低时,需要暂停第四步,重复第一步进行液氧补加后再进行上述液甲烷过冷加注过程;

[0020] 第五步:液氧深度过冷加注:打开低温液体循环泵47和第十三低温截止阀48,液氧过冷加注过程与液甲烷过冷加注过程同时或单独进行;当与液甲烷过冷同时进行,打开第二电磁比例调节阀24,打开第二低温流量调节阀18,在低温液体循环泵47的驱动下,氧气由第二氧气排放口h排出,常压液氧储罐16内液氧由液氧排放口f排出;气路与液路由三通混合阀26合并后由入口i进入常压氧-氮换热芯27,温度较高的气液混合流体经常压氧-氮换热芯27与常压液氮储罐28内低温液氮进行换热降温,并全部转化为液相氧;离开常压氧-氮换热芯27出口l后,初步降温的液氧由入口m进入负压氧-氮换热芯37,与负压液氮储罐38接近三相点温度的液氮进行换热后由出口q离开负压氧-氮换热芯37;被过冷至目标深度过冷温度后的液氧经低温液体循环泵47泵入箭上液氧贮箱49;加注过程中,根据第五压力传感器51数据控制第三电磁比例调节阀50开度,即调节增压气体流量,控制箭上液氧贮箱49保持微正压状态;当液氧加注至指定液位后,关闭低温液体循环泵47、第二电磁比例调节阀24、第二低温流量调节阀18和第十三低温截止阀48,完成液氧深度过冷加注;当液氧过冷加注与液甲烷过冷独立进行时,关闭第二电磁比例调节阀24,仅进行液氧传输过冷;当第一液位计22显示常压液氧储罐16内液氧不足时,关闭第二低温流量调节阀18,打开第三低温截止阀13和第五低温截止阀17,直接由液氧槽车12供给待过冷的饱和液氧。

[0021] 本发明的有益效果:

[0022] 1.利用常压饱和液氧温度(90.2K)十分接近甲烷三相点温度(90.7K)的热力学特点,提出了基于液氧冷量的甲烷深度过冷方案。相比于传统基于液氮冷量的甲烷过冷方案,一方面,考虑换热温差、贮箱微正压环境等因素,基于液氧冷量的过冷能够有效规避液甲烷冻结风险,不需要进行严格的防冻结/冻结消除措施;另一方面,由于饱和液氧与甲烷三相点温度的温差很小,能够在不进行严格温度调控的前提下实现液甲烷逼近三相点状态的深度过冷;

[0023] 2.采用三通混合阀配合止回阀的设计,对甲烷过冷过程液氧受热蒸发产生的气态氧进行回收,并通过换热器冷却对其进行再液化和深度过冷,间接将甲烷过冷冷量转换为液氮的消耗,减少了所需低温推进剂的消耗;

[0024] 3.通过在液氧储罐内布置换热芯,将液氧和液甲烷的过冷加注流程进行了有机结合,在满足液氧/液甲烷综合过冷的同时实现了系统精简。相对于传统的液氧、液甲烷独立过冷方案,本发明只需要一套集成于液氧过冷的液氮系统,简化了甲烷过冷所需的独立的液氮浴式换热器及其配套部件(液氮槽车、液氮管路及阀件等)。

## 附图说明

[0025] 图1是本发明实施例系统的结构示意图。

## 具体实施方式

[0026] 下面结合附图和实施例来进一步说明本发明的技术方案。

[0027] 参照图1,一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统,包括液甲烷槽车1、液氧槽车12、液氮槽车32、常压液氧储罐16、常压液氮储罐28、负压液氮储罐38,箭上甲烷贮箱7、箭上液氧贮箱49以及氧-甲烷换热芯4、常压氧-氮换热芯27、负压氧-氮换热芯37和抽真空设备45;

[0028] 液甲烷槽车1出口通过第一低温流量调节阀2、第一过滤器3与氧-甲烷换热芯4的入口a相连接,氧-甲烷换热芯4的出口b通过第一低温液体流量计5、第一低温截止阀6与箭上甲烷贮箱7入口相连接;箭上甲烷贮箱7顶部设有第一增压气体端口c、第一压力传感器9、第一安全阀10、甲烷排气口d,第一增压气体端口c通过第一电磁比例调节阀8与增压气源相连接,甲烷排气口d通过第二低温截止阀11与甲烷安全排放系统相连接;

[0029] 氧-甲烷换热芯4安装于常压液氧储罐16内;常压液氧储罐16的液氧加注口e通过第四低温截止阀15、第二过滤器14、第三低温截止阀13与液氧槽车12出口相连接;常压液氧储罐16的液氧排放口f通过第二低温流量调节阀18与液氧加注管路止回阀19入口相连接,液氧加注管路止回阀19入口通过第五低温截止阀17与第二过滤器14出口相连接;常压液氧储罐16顶部设有第一氧气排放口g、第二氧气排放口h、第二安全阀21、第一液位计22和第二压力传感器23,第一氧气排放口g通过第六低温截止阀20与大气环境相连接,第二氧气排放口h通过第二电磁比例调节阀24与气氧加注管路止回阀25入口相连接;液氧加注管路止回阀19出口和气氧加注管路止回阀25出口通过三通混合阀26连接于常压氧-氮换热芯27的入口i;

[0030] 常压氧-氮换热芯27安装于常压液氮储罐28内,常压液氮储罐28的第一液氮加注口j通过第七低温截止阀29、第三过滤器30、第八低温截止阀31与液氮槽车32出口相连接;

常压液氮储罐28顶部设有第二液位计33、第一氮气排放口k、第三安全阀35和第三压力传感器36,第一氮气排放口k通过第九低温截止阀34与大气环境相连接,常压氧-氮换热芯27的出口l与负压氧-氮换热芯37的入口m相连接;

[0031] 负压氧-氮换热芯37安装于负压液氮储罐38内,负压液氮储罐38的第二液氮加注口n通过第十低温截止阀39与第三过滤器30出口相连接;负压液氮储罐38顶部设有第三液位计40、第二氮气排放口o、第四压力传感器42、第四安全阀43和第三氮气排放口p,第二氮气排放口o依次通过第十一低温截止阀41、抽真空设备45与大气环境相连接;第三氮气排放口p通过第十二低温截止阀44与大气环境相连接;负压氧-氮换热芯37的出口q通过第二低温液体流量计46、低温液体循环泵47、第十三低温截止阀48与箭上液氧贮箱49相连接;箭上液氧贮箱49顶部设有第二增压气体端口r、第五压力传感器51、第五安全阀52和第三氧气排放口s,第二增压气体端口r通过第三电磁比例调节阀50与增压气源相连接,第三氧气排放口s通过第十四低温截止阀53与大气环境相连接。

[0032] 所述的低温贮箱和连接管道均采用高真空多层绝热、包裹绝热或堆积绝热等形式进行热防护处理。

[0033] 所述的氧-甲烷换热芯4、常压氧-氮换热芯27和负压氧-氮换热芯37采用板翅式换热结构,或采用管壳式管热结构。

[0034] 所述的抽真空设备45采用多级压缩机、引射器、水环真空泵等设备,抽空减压操作可以直接应用于低温气体,或采用复温器对低温气体进行复温后进行。

[0035] 所述的第一安全阀10、第二安全阀21、第三安全阀35、第四安全阀43、第五安全阀52均为低温安全角阀,当箭上甲烷贮箱7、常压液氧储罐16、常压液氮储罐28、负压液氮储罐38或箭上液氧贮箱49超过安全压力上限后,对应安全阀开启。

[0036] 一种基于液氧冷量的液氧/液甲烷综合过冷系统的使用方法,包括以下步骤:

[0037] 第一步:液氧系统预冷与换热器加注:完成加注系统的气密性检查、吹扫和气体置换后,关闭所有阀门;打开第三低温截止阀13、第四低温截止阀15,利用液氧槽车12压力驱动液氧由液氧加注口e进入常压液氧储罐16;液氧对常压液氧储罐16进行预冷并逐渐积累;当第二压力传感器23监测到常压液氧储罐16气枕压力超过设定值(保持常压液氧储罐16处于微正压环境)时,控制打开第二电磁比例调节阀24进行氧气排放,同时打开第十三低温截止阀48;排放氧气流经常压氧-氮换热芯27和负压氧-氮换热芯37后进入箭上液氧贮箱49,对氧系统进行预冷;当第五压力传感器51监测箭上液氧贮箱49气枕压力超过设定值时,打开第十四低温截止阀53进行氧气排放泄压;当第一液位计22监测到液氧液位达到设定值后,关闭第三低温截止阀13和第四低温截止阀15,完成常压液氧储罐16的液氧加注;

[0038] 第二步:液氮系统预冷与换热器加注:打开第七低温截止阀29、第八低温截止阀31和第十低温截止阀39,利用液氮槽车32压力驱动液氮由第一液氮加注口j、第二液氮加注口n分别进入常压液氮储罐28、负压液氮储罐38内;液氮对换热器进行预冷并逐渐积累,蒸发的氮气将引起换热器压力升高;当第三压力传感器36监测到常压液氮储罐28气枕压力超过设定值时,打开第九低温截止阀34进行氮气排放泄压,保持常压液氮储罐28处于微正压环境;当第四压力传感器42监测到负压液氮储罐38气枕压力超过设定值时,打开第十二低温截止阀44进行氮气排放泄压,保持负压液氮储罐38处于微正压环境;当第二液位计33和第三液位计40分别监测到液氮液位达到设定值后,对应关闭第七低温截止阀29和第十低温截

止阀39后,关闭第八低温截止阀31,完成常压液氮储罐28和负压液氮储罐38的液氮加注;

[0039] 第三步,建立负压液氮浴环境:关闭第十二低温截止阀44,打开第十一低温截止阀41,开启抽真空设备45对负压液氮储罐38气枕进行抽空减压;根据第四压力传感器42监测负压液氮储罐38的压力水平,若降压速度过慢,可适当增大抽真空设备45运行功率;当第四压力传感器42达到并稳定于目标负压值后,完成负压液氮储罐38的负压环境建立;如果第三液位计40数据显示负压液氮储罐38内液氮液位过低,需关闭第十一低温截止阀41和开启抽真空设备45,重新进行第二步完成液氮补加后,再按第三步操作进行抽空减压;

[0040] 第四步,液甲烷深度过冷加注:打开第一低温流量调节阀2和第一低温截止阀6,利用液甲烷槽车1压力驱动液甲烷由入口a进入氧-甲烷换热芯4,与常压液氧储罐16内饱和液氧进行换热降温后,由氧-甲烷换热芯4的出口b流出并注入箭上甲烷贮箱7;加注过程中,根据第一压力传感器9数据控制第一电磁比例调节阀8开度,即调节增压气体(氦气)流量,控制箭上甲烷贮箱7保持微正压状态,避免因负压引起的杂质泄漏;当液甲烷加注至指定液位后,关闭第一低温流量调节阀2和第一低温截止阀6,完成液甲烷深度过冷加注;当加注过程中第一液位计22显示常压液氧储罐16内液氧液位过低时,需要暂停第四步,重复第一步进行液氧补加后再进行上述液甲烷过冷加注过程;需要说明的是,这一步也可以在第一步完成常压液氧储罐16后开始,液甲烷过冷加注过程能够与液氮系统预冷加注及液氧过冷加注过程相对独立;当液甲烷系统单独进行过冷加注时,可以关闭第二电磁比例调节阀24,打开第六低温截止阀20,通过直接排放氧气控制常压液氧储罐16的压力;

[0041] 第五步:液氧深度过冷加注:打开低温液体循环泵47和第十三低温截止阀48,液氧过冷加注过程与液甲烷过冷加注过程同时或单独进行;当与液甲烷过冷同时进行时,常压液氧储罐16内液氧蒸发量较大,打开第二电磁比例调节阀24,打开第二低温流量调节阀18,在低温液体循环泵47的驱动下,氧气由第二氧气排放口h排出,常压液氧储罐16内液氧由液氧排放口f排出;气路与液路由三通混合阀26合并后由入口i进入常压氧-氮换热芯27,温度较高的气液混合流体经常压氧-氮换热芯27与常压液氮储罐28内低温液氮进行换热降温,并全部转化为液相氧;三通混合阀26前设有液氧加注管路止回阀19和气氧加注管路止回阀25,防止系统内流体回流;离开常压氧-氮换热芯27出口1后,初步降温的液氧由入口m进入负压氧-氮换热芯37,与负压液氮储罐38接近三相点温度的液氮进行换热后由出口q离开负压氧-氮换热芯37;被过冷至目标深度过冷温度后的液氧经低温液体循环泵47泵入箭上液氧贮箱49;加注过程中,根据第五压力传感器51数据控制第三电磁比例调节阀50开度,即调节增压气体(氦气)流量,控制箭上液氧贮箱49保持微正压状态,避免因负压引起的杂质泄漏;当液氧加注至指定液位后,关闭低温液体循环泵47、第二电磁比例调节阀24、第二低温流量调节阀18和第十三低温截止阀48,完成液氧深度过冷加注;当液氧过冷加注与液甲烷过冷独立进行时,不存在常压液氧储罐16的显著蒸发,在上述步骤中可以关闭第二电磁比例调节阀24,仅进行液氧传输过冷;另外,因不需要对液甲烷进行换热过冷,当第一液位计22显示常压液氧储罐16内液氧不足时,也可以直接关闭第二低温流量调节阀18,打开第三低温截止阀13和第五低温截止阀17,直接由液氧槽车12供给待过冷的饱和液氧。

[0042] 以上实施例只是阐述了本发明的基本原理和特性,本发明不受上述事例限制,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还有各种变化和改变,本领域的普通技术人员能从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形,均应认为是本发明的保护范围。

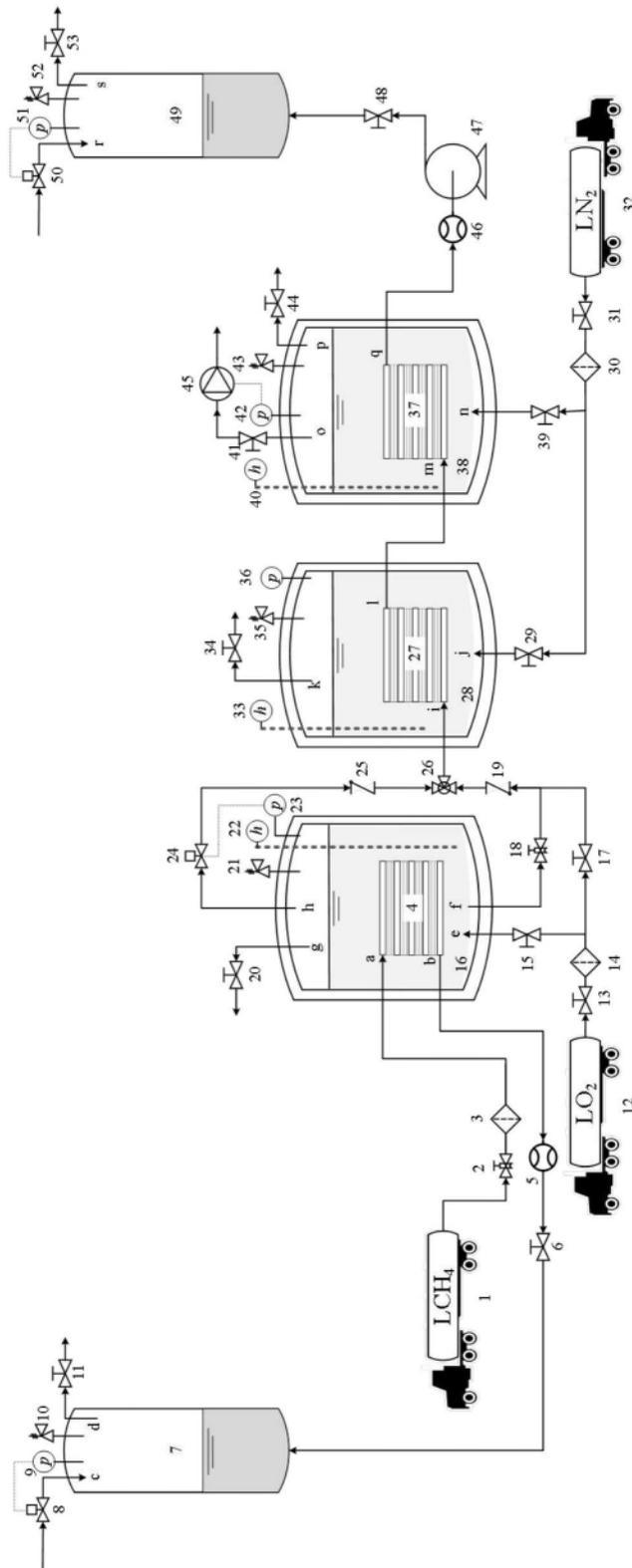


图1