



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110715173 A  
(43)申请公布日 2020.01.21

(21)申请号 201910932702.6

(22)申请日 2019.09.29

(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 黄晓宁 夏斯琦 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.

F17D 1/08(2006.01)

F17D 3/01(2006.01)

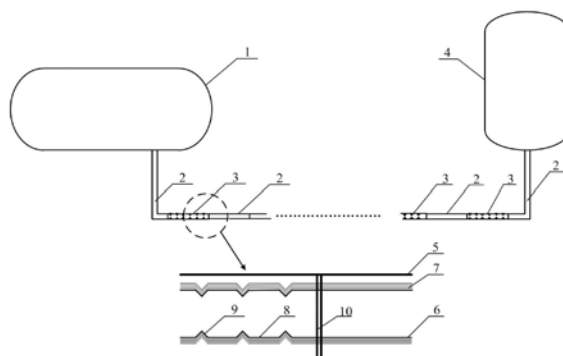
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

## (54)发明名称

一种低温推进剂快速预冷传输管路结构

## (57)摘要

一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,包括地面储罐,地面储罐的低温液体出口和低温传输管路的入口连接,低温传输管路的出口和箭上贮箱的推进剂加注口连接,低温传输管路包括内微肋真空管和真空直管;真空直管由内直管与外管组成环形腔体,对环形腔体抽真空,内直管外侧包裹多层绝热层;内微肋真空管由微肋内管与外管组成环形腔体,对环形腔体抽真空,微肋内管外侧包裹多层绝热层,微肋内管的微肋凸起通过机械加工予以成型;本发明采用内微肋真空管与真空直管相结合的布局形式,充分利用内微肋真空管强化膜态沸腾向过渡沸腾转化的优势实现快速预冷,同时利用真空直管阻力小的优势,降低整个低温传输管路的流动阻力,加速预冷进程。



1. 一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,包括地面储罐(1),地面储罐(1)的低温液体出口和低温传输管路的入口连接,低温传输管路的出口和箭上贮箱(4)的推进剂加注口连接,其特征在于:所述的低温传输管路包括内微肋真空管(3)和真空直管(2);

所述的真空直管(2)由内直管(6)与外管(5)组成环形腔体,对环形腔体抽真空,内直管(6)外侧包裹多层绝热层(7);

所述的内微肋真空管(3)由微肋内管(8)与外管(5)组成环形腔体,对环形腔体抽真空,微肋内管(8)外侧包裹多层绝热层(7),微肋内管(8)的微肋凸起(9)通过机械加工予以成型。

2. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:实际中根据工况要求设置不同的微肋真空管(3)与真空直管(2)布置方式:若低温传输管短于30m,低温传输管全部采用微肋真空管(3),或在靠近低温传输管入口段采用微肋真空管(3),而在靠近低温传输管出口段采用真空直管(2);若低温传输管长于30m,低温传输管采用微肋真空管(3)与真空直管(2)相间布置的形式。

3. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:所述的地面储罐(1)材料为不锈钢,绝热方式为真空粉末或真空纤维绝热,储罐形式为卧式或立式,低温液体出口位于地面储罐(1)的底部,地面储罐(1)内存储液氢、液氧、液甲烷或液氮。

4. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:所述的箭上贮箱(4)壁面材料为铝合金、不锈钢或聚合物基复合材料,贮箱形式为球状或柱状,壁厚为1~5mm,推进剂加注口位于箭上贮箱(4)的底部或顶部,箭上贮箱(4)表面绝热采用发泡、多层绝热材料或发泡+多层绝热材料;箭上贮箱(4)内存储液氢、液氧、液甲烷或液氮。

5. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:所述的内直管(6)、外管(5)管材均为不锈钢,内直管(6)与外管(5)组成环形腔体真空度优于 $10^{-2}$ Pa,内直管(6)沿长度方向间隔设置波纹管波补偿。

6. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:所述的微肋内管(8)管材均为不锈钢,微肋内管(8)与外管(5)组成环形腔体真空度优于 $10^{-2}$ Pa。

7. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:所述的多层绝热层(7)采用金属反射屏与非金属间隔物相间构成,层密度为10~20层/cm,金属反射屏采用铝箔或镀铝聚氨酯薄膜,非金属间隔物采用涤纶或丝网。

8. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:所述的微肋凸起(9)采用采用液压成型、机械膨胀型或打波制造机器成型;微肋凸起(9)的肋高在mm级、肋间距大于cm级;微肋凸起(9)的截面形状采用矩形或锯齿形;微肋凸起(9)采用轴对称环带、螺旋线带或非规则向内凸起的结构形式。

9. 根据权利要求1所述的一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,其特征在于:所述的内微肋真空管(3)与真空直管(2)采用法兰连接或焊接。

## 一种低温推进剂快速预冷传输管路结构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及航天低温推进剂地面加注技术领域,具体涉及一种低温推进剂快速预冷传输管路结构。

### 背景技术

[0002] 低温推进剂已成为航天首选推进剂,但低温推进剂低沸点、易蒸发的特性造成其在地面加注中将经历复杂的两相流难题。如:低温液体大规模转注前,必须将传输管降温至低温液体温区。管路系统由室温降至低温区的过程称为“预冷”,而预冷持续时间会影响推进剂转注进程。

[0003] 未来的航天任务要求实现运载火箭快速发射,因此必须加快预冷进程。当前,我国航天发射用低温管路预冷耗时约1小时。强化流体与管壁间换热有利于加快预冷进程,通过提高液体注入速率加快预冷的方法会造成流动阻力增大,甚至发生流动滞止。

[0004] 低温液体快速注入室温管路时,流体与固壁间的大温差换热造成“气膜包裹液柱”的两相流分布形态,该阶段换热称为“反环状流膜态沸腾”,气膜层会隔绝液体与金属壁接触,造成换热速率偏低。若破坏反环状流的气膜,促进液体尽早接触金属壁,则有利于加快预冷进程。

[0005] 预冷实验发现,液氧、液氮、液体甲烷预冷时,管壁降温主要由反环状流膜态沸腾支配,预冷耗时较长;而液氢预冷却发现,管内换热主要为过渡沸腾与核态沸腾,未见膜态沸腾。因此,液氢预冷时,管壁可在极短时间内达到液氢温区,完成预冷目标。液氢预冷与其他流体预冷的差异性是因为氢预冷中管流Re数更高,流动惯性力较大;氢表面张力较小,气液界面稳定性较差。因此,氢预冷所形成的反环状流极易受到破坏,反环状流膜态沸腾更早向过渡沸腾、核态沸腾转变。

[0006] 提高液氮、液氧、液态甲烷等大分子低温流体预冷速率的关键在于促进反环状流膜态沸腾向过渡沸腾、膜态沸腾的更早转变。已有学者提出,可在金属管内表面喷涂低导热涂层或生成纳米微结构来提高膜态沸腾向过渡沸腾的转换壁温、缩短膜态沸腾作用区间,并初步证明了相关方案的有效性。

[0007] 波纹管预冷实验发现,在波纹管降温中,膜态沸腾与过渡沸腾、核态沸腾的换热效率相近,这与直管预冷现象迥异。该特殊现象可解释如下:在膜态沸腾区,波纹管亚结构造成气膜层内存在明显的径向速度分量,可对气膜层产生扰动,促进液体与壁面更早接触;但波纹管内翅结构也造成整个沸腾区的气膜层厚度增大,影响整体的换热效果。

### 发明内容

[0008] 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低温推进剂快速预冷传输管路结构,利用金属内壁微肋结构破坏反环状流气膜稳定性,加速膜态沸腾向过渡沸腾、核态沸腾转变,从而加速预冷进程。

[0009] 为了达到上述目的,本发明采取的技术方案为:

[0010] 一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,包括地面储罐1,地面储罐1的低温液体出口和低温传输管路的入口连接,低温传输管路的出口和箭上贮箱4的推进剂加注口连接;所述的低温传输管路包括内微肋真空管3和真空直管2;

[0011] 所述的真空直管2由内直管6与外管5组成环形腔体,对环形腔体抽真空,内直管6外侧包裹多层绝热层7;

[0012] 所述的内微肋真空管3由微肋内管8与外管5组成环形腔体,对环形腔体抽真空,微肋内管8外侧包裹多层绝热层7,微肋内管8的微肋凸起9通过机械加工予以成型。

[0013] 实际中根据工况要求设置不同的微肋真空管3与真空直管2布置方式:若低温传输管路长度短于30m,低温传输管全部采用微肋真空管3,或在靠近低温传输管入口段采用微肋真空管3,而在靠近低温传输管出口段采用真空直管2;若低温传输管长于30m,低温传输管采用微肋真空管3与真空直管2相间布置的形式。

[0014] 所述的地面储罐1材料为不锈钢,绝热方式为真空粉末或真空纤维绝热,储罐形式为卧式或立式,低温液体出口位于地面储罐1的底部,地面储罐1内存储液氢、液氧、液甲烷或液氮。

[0015] 所述的箭上贮箱4壁面材料为铝合金、不锈钢或聚合物基复合材料,贮箱形式为球状或柱状,壁厚为1~5mm,推进剂加注口位于箭上贮箱4的底部或顶部,箭上贮箱4表面绝热采用发泡、多层绝热材料或发泡+多层绝热材料;箭上贮箱4内存储液氢、液氧、液甲烷或液氮。

[0016] 所述的内直管6、外管5管材均为不锈钢,内直管6与外管5组成环形腔体真空度优于 $10^{-2}$ Pa,内直管6沿长度方向间隔设置波纹管波补偿。

[0017] 所述的微肋内管8管材均为不锈钢,微肋内管8与外管5组成环形腔体真空度优于 $10^{-2}$ Pa。

[0018] 所述的多层绝热层7采用金属反射屏与非金属间隔物相间构成,层密度为10~20层/cm,金属反射屏采用铝箔或镀铝聚氨酯薄膜,非金属间隔物采用涤纶或丝网。

[0019] 所述的微肋凸起9采用采用液压成型、机械膨胀型或打波制造机器成型;微肋凸起9的肋高在mm级、肋间距大于cm级;微肋凸起9的截面形状采用矩形或锯齿形;微肋凸起9采用轴对称环带、螺旋线带或非规则向内凸起的结构形式。

[0020] 所述的内微肋真空管3与真空直管2采用法兰连接或焊接。

[0021] 本发明的有益效果:

[0022] 本发明低温传输管路采用内微肋真空管3与真空直管2相结合的布局形式。其中,微肋内管8的微肋凸起9可在预冷过程中使流体产生沿径向的速度分量,当低温液体注入内微肋真空管3段时,在低温液体与微肋内管8大温差作用下,极易发生反环状流膜态沸腾,使得换热效率较低,预冷速度偏慢。微肋凸起9的引入可造成气膜内流速的径向分量,会对气液相界面产生冲击,促使反环状流液柱更早地被撕裂而引起液体与微肋内管8的接触,实现膜态沸腾向过渡沸腾的更早转化,最终有利于加快预冷进程。此外,与波纹管不同,本发明提出的内微肋真空管3的微肋凸起9间距较大,可有限避免微肋之间形成流动死区与气膜层增厚,确保在整个预冷降温过程中换热效率均处于较高水平;微肋凸起9的间距较大也可降低流动阻力损失。

[0023] 本发明采用内微肋真空管3与真空直管2相结合的布局形式,一方面,可充分利用

内微肋真空管3强化膜态沸腾向过渡沸腾转化的优势实现快速预冷,另一方面,也可利用真空直管2阻力小的优势,降低整个低温传输管路的流动阻力。

## 附图说明

[0024] 图1是本发明的结构示意图。

## 具体实施方式

[0025] 下面结合附图对本发明做详细描述。

[0026] 如图1所示,一种低温推进剂快速预冷传输管路结构,包括地面储罐1,地面储罐1的低温液体出口和低温传输管路的入口连接,低温传输管路的出口和箭上贮箱4的推进剂加注口连接,地面储罐1内低温液体注入低温传输管路并对其降温预冷;

[0027] 所述的低温传输管路包括内微肋真空管3和真空直管2;所述的真空直管2由内直管6与外管5组成环形腔体,对环形腔体抽真空以降低从外管5向内直管6的传热量,内直管6外侧包裹多层绝热层7,多层绝热层7降低由外管5向内直管6的辐射传热量;所述的内微肋真空管3由微肋内管8与外管5组成环形腔体,对环形腔体抽真空以降低从外管5向微肋内管8的传热量,微肋内管8外侧包裹多层绝热层7,多层绝热层7降低由外管5向微肋内管8的辐射传热量,微肋内管8的微肋凸起9通过机械加工予以成型。

[0028] 实际中根据工况要求设置不同的微肋真空管3与真空直管2布置方式:若低温传输管短于30m,低温传输管全部采用微肋真空管3或在靠近低温传输管入口段采用微肋真空管3,而在靠近低温传输管出口段采用真空直管2;若低温传输管长于30m,低温传输管采用微肋真空管3与真空直管2相间布置的形式,微肋真空管3与真空直管2采用焊接或法兰连接。

[0029] 所述的地面储罐1材料为不锈钢,绝热方式为真空粉末或真空纤维绝热,储罐形式为卧式或立式,低温液体出口位于地面储罐1的底部,地面储罐1内存储液氢、液氧、液甲烷或液氮等。

[0030] 所述的箭上贮箱4壁面材料为铝合金、不锈钢或聚合物基复合材料,贮箱形式为球状或柱状,壁厚为1~5mm,推进剂加注口位于箭上贮箱4的底部或顶部,箭上贮箱4表面绝热采用发泡、多层绝热材料或发泡+多层绝热材料;箭上贮箱4内存储液氢、液氧、液甲烷或液氮等。

[0031] 所述的内直管6、外管5管材均为不锈钢,内直管6与外管5组成环形腔体真空度优于 $10^{-2}$ Pa,内直管6沿长度方向间隔设置波纹管波补偿。

[0032] 所述的微肋内管8管材均为不锈钢,微肋内管8与外管5组成环形腔体真空度优于 $10^{-2}$ Pa。

[0033] 所述的多层绝热层7采用金属反射屏与非金属间隔物相间构成,层密度为10~20层/cm,金属反射屏采用铝箔或镀铝聚氨酯薄膜,非金属间隔物采用涤纶或丝网等。

[0034] 所述的微肋凸起9采用采用液压成型、机械膨胀型或打波制造机器成型,微肋凸起9的肋高在mm级、肋间距大于cm级,微肋凸起9的截面形状采用矩形或锯齿形等;微肋凸起9采用轴对称环带、螺旋线带或非规则向内凸起的结构形式。

[0035] 本发明的工作原理是:

[0036] 低温推进剂大流量加注前,首先由来自地面储罐1的低温液体对低温传输管路开

展预冷操作;当低温液体注入室温的低温管路时,在真空管内壁与低温液体大温差作用下,形成反环状流型分布,即气膜层将液柱包裹,造成液体无法接触热壁面,换热效率偏低,管壁温降速率偏慢。在反环状流膜态沸腾阶段,气膜层与液柱逐渐向下游推进,并维持相对稳定的相界面形状。若采用内微肋真空管3作为低温传输管路或其部分段,则当内微肋真空管3内发生反环状流膜态沸腾时,由于微肋凸起9产生气膜层径向流速冲击,对相界面的稳定性产生影响,可引起相界面的波动,甚至发生界面波动接触金属壁、或液体自液柱撕裂而与壁面接触,则反环状流膜态沸腾更早进入换热效率更高的过渡沸腾,使得管壁温降速率加快,预冷目标在更短时间内实现。整体来看,内微肋真空管3的引入可缩短预冷过程中膜态沸腾作用温区与作用时间,而过渡沸腾、核态沸腾作用温区增大,故而可加快预冷进程。采用内微肋真空管3与真空直管2相结合的布置方式,可在强化预冷速率的同时,有效降低整个低温传输管路的流动阻力压力。

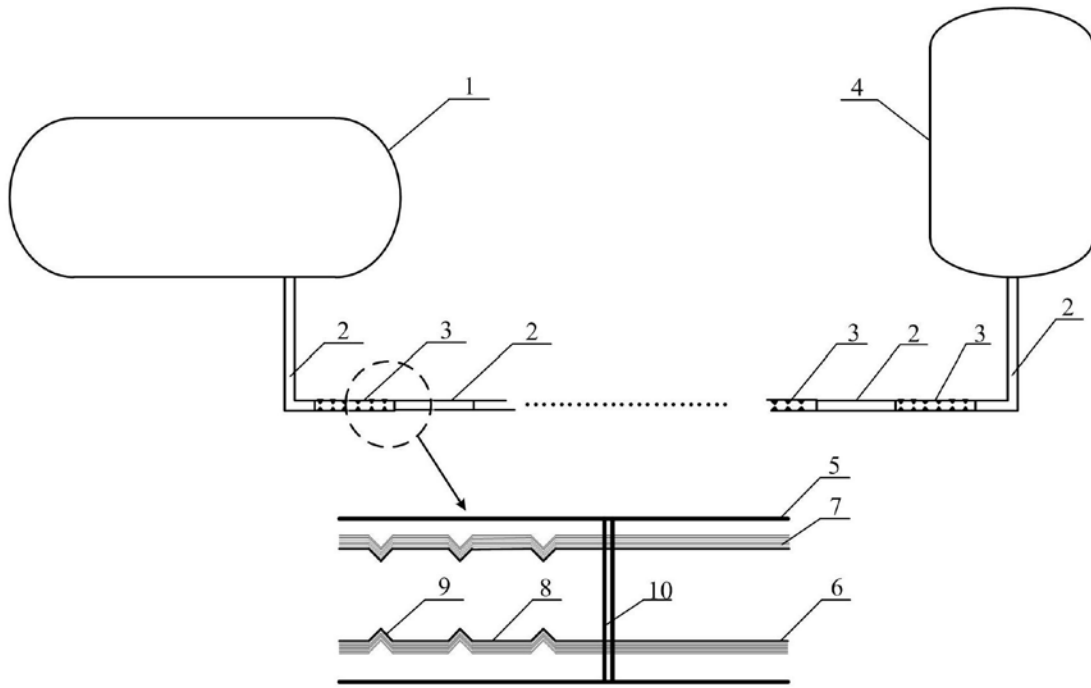


图1