

反冲膨胀式波制冷机制冷特性

刘学武 邹久朋 朱 彻 李志义 胡大鹏

(大连理工大学流体与粉体工程研究设计所)

刘学武等.反冲膨胀式波制冷机制冷特性.天然气工业,2005;25(2):176~178

摘 要 为有效改善现有气波制冷机接受管开口端的流动状况、提高等熵效率,对气体分配器结构进行了改型,融入了透平膨胀机做功制冷机理,设计出一种新型的制冷机——反冲膨胀式波制冷机。该实验机具有利用渐缩喷嘴射流反冲膨胀做功的特点,能有效降低射流速度从而改善入口端流动状况,气体总焓下降,起到了很好的预冷作用,制冷机的等熵效率随之提高。通过对模型机的实验研究可知:气体分配器转速变化时,等熵效率出现多个峰值点,由实验可确定最佳转速;分配器转速提高,分配器进出口的温降以二次曲线的形式上升;利用管长与转速的匹配关系曲线图可估算定管长的最佳转速,或估算设计转速对应的最佳管长;提高气体分配器入口压力及膨胀比,射流温降相应增加。

主题词 反冲 膨胀式 透平式膨胀机 制冷 效率 射流

回收的轻烃既是优质燃料,也是宝贵的化工原料,具有很高的经济价值。轻烃的综合利用及其深加工是天然气工业提高经济收益的一条有效途径,已引起国内外天然气生产企业的高度重视^[1]。

对天然气中轻烃的回收主要是采用冷凝分离工艺,该工艺是利用原料气中各组分冷凝温度的不同,在逐步降温的过程中依次将较高沸点的组分冷凝出来,这就需要对回收气提供较低温度的冷量以使其降温。该工艺具有流程简单、运行操作方便、回收效率较高等优点,因而被广泛采用。提供冷量的装置主要采用的技术是利用带压气体膨胀做功制冷及利用压力波做功制冷实现的,后者本身固有的优点在于结构简单、运行维护容易及核心部分无运动部件,因而价格便宜且具有较强的抵抗两相流侵蚀的能力^[2,3]。然而现有的利用热分离器机理制冷进行轻烃回收的装置,还存在着一系列的问题:热分离机的等熵效率低、制冷效果差、热分离机出口含有一定的液烃不能回收等,限制了其在油气田的广泛使用。为此,笔者对气波制冷机分配器结构进行改型,设计出了新型的模型机——反冲膨胀式波制冷机^[3]。

一、反冲膨胀式波制冷机方案的提出

1. 热分离器的结构和工作过程

热分离器的结构比较简单,主要零部件有:进气

管、空心转轴、旋转喷嘴盘(喷嘴、一般为2个)、接受管束(接受管进口与旋转喷嘴有相同的轴向位置,发射状均布于外壳的整个圆周)等,气体分配器与接受管的基本构造如图1所示。

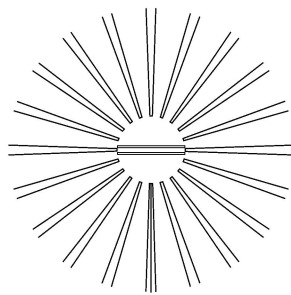


图1 热分离器结构示意图

压缩气体(实验中用空气)在气体分配器流道内膨胀,气体的压力能和内能部分转化为动能,在喷嘴出口形成具有一定压力的高速射流。

气体分配器的作用是实现对每根接受管的周期性射流,以一根接受管为例,当喷嘴与管口对齐,高速射流突然射入管内,入射气体与原有气体之间形成一个接触面。该接触面可以被看作为一个没有质量的“活塞”,它从管口向前推进的过程中,不断地压缩前面的气体,射流在向右行进的过程中较快地降速,由于对接触面前面的气体作压缩功。因此射流

气体的总焓下降,而且能量是通过压缩波的形式传递的,故射流在此过程中是等熵的。当喷嘴后缘暂时封挡管口,则管内射流气体仍要继续压缩气体做功,射流气体的总焓再次降低。气体分配器转动,接受管与排气腔连通,在管外压差的推动下,已被制冷的射流气体缓缓地排到管外。在这个过程中,熵要增加,而增加的幅度主要与接受管入口的射流速度有关,因此如何能够有效降低射流速度来减小过程的熵增,从而达到提高制冷效率的目的,这正是笔者研究的根本出发点。当入口滞止温度一定时,喷嘴出流速度是定值。因此只能从考虑射入接受管的气体速度着手。在分析了透平膨胀制冷机机理的基础上,提出了解决方案。

2. 透平膨胀机简介

透平膨胀机的主要工作部件为一组固定的喷嘴和旋转的工作叶轮,其制冷过程可简单归纳如下:带压气体在静喷嘴环流道内降压提速,射入动叶栅流道再流出,出入口动量矩的改变使气流对叶栅做功,气流的动能降低,滞止焓下降,达到制冷的目的,详见文献[4,5]。

3. 热分离器与透平膨胀机的结合

从透平膨胀机制冷机理的分析中得到启发,若将喷嘴出流的部分动能转化为轴功输出,可以降低接受管入口射流速度,减小射流摩擦、换热损失和接受管内的热负荷。因此,对现用的气波制冷机的气体分配器进行了改型,加大喷嘴出口的气流偏角,在不增加零部件的基础上,让气流反冲膨胀做功,降低流速后射入接受管。这样,首先取得了一定的制冷量,然后再使接受管入口端损失随流速下降而较少。而使出口气流绝对速度降低有3种途径:增大偏角、增大气体分配器直径、提高分配器的转速。前2种方法是改变气体分配器结构参数,后1种是改变运行参数,但因为热分离器的优点之一就是低转速下制冷,如果增加转速将丧失热分离器的优势,又达不到透平膨胀机的高效率。因此笔者设定的转速较低。

由以上的分析可知,基于热分离器的原理和结构,融入透平膨胀机的定常膨胀做轴功焓降的原理,实现结构上的协调,制成新型的机种——反冲膨胀式波制冷机可以达到提高油气田现用气波制冷机制冷效率的目的。

4. 结构方案的确定

反冲膨胀式波制冷模型机是在热分离器的基础上改型的,因此在总体结构型式的确定上更多地参

考了热分离器的特点。实验装置可以设计成多管式的,也可以设计成单管式的。多管式结构是在旋转喷嘴周围呈放射状均匀分布多根接受管,从喷嘴出来的高速射流依次间歇地射入各接受管,具体结构可以参见文献[2]。这种结构型式射流气体与排出冷气不易掺混,因而制冷效率一般较高,但由于其工作管数目多,在进行单因素(尤其与结构有关的单因素)实验研究时,存在实验部件更换不便、耗气量大等缺点;单管式实验机是在喷嘴和接受管固定的情况下,依靠中间的气体分配盘旋转来形成间歇射流,这种结构实验部件更换方便,便于单因素实验研究。模型实验机从射流做功角度要求喷嘴转动,以实现射流做功产生焓降,这样射入接受管的气流速度就要降低。综合考虑耗气量、实验条件和对比性实验的要求,提出的实验机结构如图2所示。

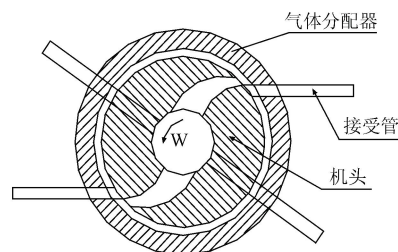


图2 旋转式实验机结构示意图

这样在同一实验机和同一射流分配器上实现直喷嘴(模拟热分离器)模型实验和斜喷嘴模型实验。用分别封堵不同流道口的方法,可在同一几何尺寸、同等泄露、边界条件下进行对比实验,比较旋射流制冷是否存在优越性。

二、反冲膨胀式波制冷模型机特性

该模型机融合了涡轮轴功焓降制冷和激波能量转换制冷2种方式,其制冷特性与透平膨胀机、热分离器存在较大差异,因而笔者在模型机上进行了较深入的实验研究。实验中,改变膨胀比、转速、管长等因素,测算实验机的等熵制冷效率及流量等参数;分析实验结果、研究实验机的制冷特性;分析各因素之间的定性匹配关系。实验用的流体介质为空气,其流动参数可按完全气体处理。

1. 等熵效率随转速的变化

笔者对接受管管长4.2 m、膨胀比2.5、分配器转速在0~2500 r/min之间的变化情况进行了实验研究。结果如图3所示。

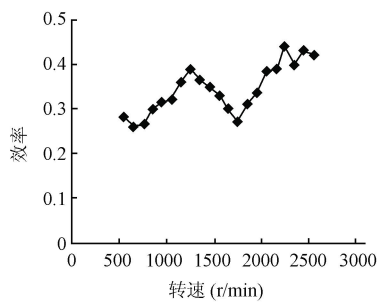


图 3 等熵效率随转速的变化曲线图

等熵效率出现 2 个峰值,且在第 2 高效点时,效率受转速变化影响较小,高效区间较大。这些特点与热分离器相似^[6],但反冲膨胀式波制冷形式可以将一部分动能转化为涡轮功输出。

2. 接受管的管长对最佳转速的影响

管长主要程度上决定了从射流开始到反射波到达开口端的时间,因此要掌握射流气体在接受管内的运动状态,必须了解管长与最佳转速之间的对应关系。低膨胀比时,膨胀比对管长与转速的匹配关系影响不大,最佳转速与管长基本上呈线性关系。高膨胀比时,需要通过实验来确定二者之间的对应关系。

3. 旋射流温降与转速的关系

模型实验机的气体分配器上加工了偏角较大的喷嘴,从射流做功角度要求喷嘴转动,这是为了将射流的一部分动能转化为轴功输出,实现射流做功从而产生焓降,起制冷作用。为验证旋射流做功的制冷效应,实验测定了旋射流做功后的温降(图 4)。

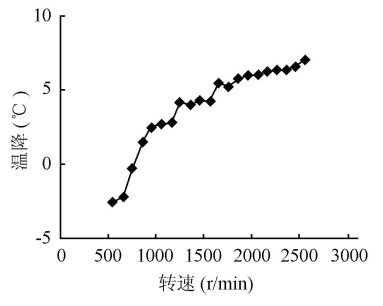


图 4 旋射流温降与转速的关系曲线图

从实验结果可知,随着转速的提高,温降呈二次曲线形式上升。提高入口压力 p_0 及膨胀比 ϵ ,射流温降相应要增加。这主要是因为 p_0 增大所引起的节流效应增强,使出口射流温降也增大。因此设计气波制冷机时可适当增加气体分配器的转速。

三、结 论

通过对反冲膨胀式波制冷模型机的实验研究,可得出如下结论:①转速变化时,等熵效率会出现 2 个峰值,且在第 2 高效点时,效率受转速变化影响较小,高效区间较大,此现象与接受管内波系之间的相互作用有关;②利用匹配关系式及曲线图可估算定管长下的最佳转速,或者估算设计转速下的最佳管长;③气体分配器转速提高,分配器入口和出口处测得的射流温降呈二次曲线形式上升,提高入口压力及膨胀比,温降相应增加。

参 考 文 献

- 1 蒋洪,朱聪.轻烃回收技术的现状及发展方向.石油规划设计,2000;(2):15~16
- 2 胡大鹏.静止式热分离机的研究.大连理工大学硕士论文,1989
- 3 刘学武,金良安,李志义等.气波管内波系影响因素的实验研究与数值模拟.化工学报,2004;55(2):362~366
- 4 孔珑.可压缩流体动力学.北京:水利电力出版社,1991
- 5 光华等.透平膨胀机.北京:机械工业出版社,1988
- 6 袁修干.天然气涡轮膨胀机.北京:石油工业出版社,1989

(修改回稿日期 2004-12-08 编辑 居维清)