

# 液环压缩机在海上油田低压伴生气回收中可行性分析

金本领（中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司，天津 300452）

张 浩（天津分公司渤南作业公司，天津 300452）

陈首挺（广东肯富来泵业股份有限公司，广东 佛山 528000）

**摘 要：**油田伴生气，即油田在开采的过程中伴随出现或产生的低压天然气。在以往的油田生产开发中，流程处理出来后多余的低压伴生气，大多数使用传统火炬燃烧处理或者通过冷放空直接排放，这种处理方式无疑会造成环境污染和能源浪费。随着国家节能减排计划的逐步实施，企业也逐步开拓创新，制定节能减排计划，综合运用新技术，对伴生气进行回收再利用。液环压缩机在伴生气、煤层气、VOCS 等领域有较多的应用，笔者以液环压缩机实际工作原理为出发点，结合油田伴生气油藏特点，分析液环压缩机在海上油田低压伴生气回收中应用可行性。

**关键词：**伴生气；排放；回收再利用；液环压缩机

## 1 引言

近年来国内的研究机构或油田开采单位对伴生气回收工艺流程的研究很多，总体思路是进行增压输送至各级用户使用，如何根据现场工况选择合适的伴生气增压设备，成为一个重要的研究课题。

## 2 海上油田伴生气的特点

### 2.1 海上油田油气处理流程简介

海上油气田开发过程中，有着很丰富的伴生气，且伴随原油开采而产生一种气态型混合物。主要成分是甲烷、乙烷等低分子烷烃，还含有相当数量的丙烷、丁烷、戊烷等。伴生气通过海上工艺处理设备流程进行分离处理，分离出的大部分气体经过一级生产分离器进行处理。一级生产分离器处理后的气体首先供给各级用户使用或者通过海管进行混输，剩余部分仍需要通过火炬进行燃烧处理；一级生产分离器处理后的水相进入生产水处理系统再次处理；一级生产分离器处理后的油相混合液进入外输海管进行外输，分支一部分合格混合液进入二级生产分离。二级生产分离出的气体通过火炬燃烧处理或者冷放空排放；二级生产分离器处理后的水相进入生产水处理系统再次处理；二级生产分离器处理后的油相混合液进入燃料油系统再次进行处理，处理合格的原油为原油主机发电提供动力原料（图 1 为原油处理流程简图）。

除此，经过一级生产分离器和二级生产分离器处理后产生的生产水夹杂着少量油气，再次经过斜板除油器、气体浮选机、核桃壳过滤器等设备，过程中多次进行气液分离后产生的气体对空排放。该气体在不

含硫化氢油田一般就地安全排放，含硫化氢气体油田一般通过冷放空管网高点排放。

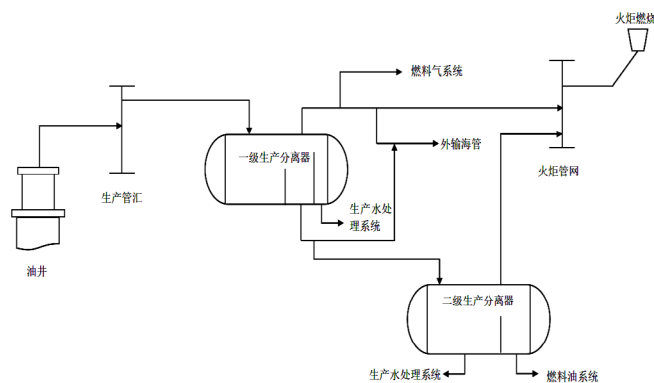


图 1 海上油田原油处理流程简图

### 2.2 海上油田产生的伴生气特点

海上油田产生的伴生气一般有以下特点：①气压不稳定，气体压力略高于大气压，通常在 10~100kPa (G) 左右；②气量小且气量变化范围较大，通常为 100~200Nm<sup>3</sup>/h 左右；③温度较高，通常在 60~70℃ 左右；④伴生气在管道中产生较多液体（主要是部分重烃和水）；⑤可能伴有硫化氢等腐蚀气体。

## 3 海上油田伴生气回收前景

通过相关数据收集了解到，除了一级生产分离器产生大量气体去往火炬直接燃烧排放，还存在部分低压气通过斜板以及污油罐去往火炬进行燃烧放空，且放空量大于 1 万方/天，这些气体的回收利用也成为了近年来伴生气回收再利用的研究课题。

为贯彻执行集团公司关于积极构建绿色低碳发展

体系,全面实现“碳达峰、碳中和”目标,海上油气田一般会结合油藏进行未来几年气量预测,再根据油田现场实际情况,逐步开展伴生气回收利用项目,实现本地最大化回收放空气。

随着环保意识的加强、国家环保政策的日益完善,伴生气回收工艺的应用前景越来越广阔。另外,伴生气回收技术的不断发展和完善,其成本逐渐降低,规模逐渐扩大,将成为化工、石化等行业的必备环保技术之一。因此,未来节能减排的路上,伴生气回收再利用的价值还是很大,企业不仅可以回收有用气体,还能降低能耗成本,减少有害气体的排放,保护生态环境,实现资源的回收和再利用,提高企业的经济效益。

#### 4 伴生气压缩设备对比分析

海上油田在正常生产过程中,设备完好率是一项重要指标。伴生气压缩设备的适用性最终会体现在设备故障率及维护成本上。通常情况下,海上油田会根据平台伴生气组分化验数据,结合平台现有设备、工艺流程压力、温度等参数,选用合适的伴生气回收增压设备。据市场调查了解,现有可用于油田伴生气压缩输送的设备通常有:往复式压缩机、滑片式压缩机、鼓式涡旋式压缩机、离心式压缩机、螺杆式压缩机和液环式压缩机等,其中螺杆式压缩机分单螺杆和双螺杆,冷却方式上分有油和无油。通过相关文献和实际应用总结,归纳对比以上压缩机,如表1所示。

从表1中的对比可知目前可用于油田伴生气压缩输送的多种压缩机中,压缩机种类多,且各有优势,可根据使用方不同需求,选择适用于不同场景下的压缩机。

与其他类型的压缩机不同,液环压缩机以送入壳体内的封液为工作介质,所以是一种变容性压缩机,叶轮的叶片将离心力传递给封液,使之产生类似于活塞的抽吸和压缩动力。其主要特征如下:①气体和液体可以混合输送。吸入的气体中携带的部分液体对压缩机的正常运行不会产生不良影响;②气体进出口管线配置简单,便于操作管理;③在封液温度得到适当控制的情况下,被处理气体在抽吸和压缩排放过程中温升小,排气温度低,无需增设复杂的气体冷却系统;④液环压缩机结构简单,只有一个旋转部件,无金属接触,故障少,维修方便;⑤由于此种压缩机高速旋转连续抽吸压缩气体,其出口压力及流量不会产生明显波动;⑥液环压缩机尤其适合处理高温下易于分解

的气体、易燃易爆气体、不含固体颗粒及不溶或微溶于封液的气体以及腐蚀性气体等。

#### 5 液环压缩机工艺原理

液环压缩机是一种容积式压缩机。叶轮偏心地配置在气缸内,在泵体中装有适量的水作为工作液。在气缸两侧的端盖上相应地开设有吸、排气口,叶轮偏心地配置在气缸内,并在气缸内引进一定量的水或其他液体,叶轮旋转在气缸内表面形成液环,叶轮与液环之间形成小室,每个小室的容积随叶轮的转动周期性地扩大和缩小。叶轮(转子)旋转且达到一定转速时,由于离心力的作用,水形成了一个决定于泵腔形状的近似于等厚度的封闭圆环。水环的上部分内表面恰好与叶轮轮毂相切,水环的下部内表面刚好与叶片顶端接触(实际上叶片在水环内有一定的插入深度)。如果以叶轮的上部 $0^{\circ}$ 为起点,那么叶轮在旋转前 $180^{\circ}$ 时小腔的容积由小变大,且与端面上的吸气口相通,此时气体被吸入,当吸气终了时小腔则与吸气口隔绝;当叶轮继续旋转时,小腔由大变小,使气体被压缩;当小腔与排气口相通时,气体便被排出泵外。

这样,叶轮旋转一周,就能在每一基元容积内实现吸气、压缩、排气和可能存在的膨胀过程。气体排出会带出一部分液体,所以必须在吸气口补充一定量的新液体。

#### 6 液环压缩机在低压伴生气回收项目应用适用性

液环压缩机通常计算等温效率,不算发热量,而其他压缩机在计算效率时会把发热量也算为有用功,通常算的是绝热效率。在实际的使用情况中,如果按照单位输送气量消耗功率来比较,液环压缩机与其他压缩机差异并不是很大。

通常设计的伴生气回收方案中,低压伴生气在进入压缩机前,需要经过海水冷却或者风冷处理,在达到压缩机入口温度条件后,再通过压缩机压缩升压,升压后的气体会不同高低的出现升温。升温后的气体再经海水冷却器或者风冷进行降温处理,达到下一级用户使用的操作温度。按照基本的流程设计,伴生气压缩机的前后端均需设置了冷却装置,设备成本相对增加。

根据之前描述的液环压缩机特点,液环压缩机与其他压缩机最大的不同之处,是它的工作过程接近等温压缩。如此,如果在增加入口冷却装置后,即满足入口操作温度的同时,经过等温压缩后,又能满足出口操作温度,那么可以考虑使用液环压缩机后,在后

端不考虑增加冷却装置。这样的配置方案，不但节省了建设投资成本，也能省去冷凝器工作所需要能耗。

如图 2 所示，国内某海上油田平台低压天然气回收系统使用的液环压缩机系统流程设计简图。该液环压缩机系统后端没有设置冷凝器，前端设置了水冷冷凝器和喷淋辅助冷却器，这种设计方案充分利用了液环压缩机不怕进水的特点。借助喷淋辅助冷却，根据进气温度的变化控制喷淋水量，可以降气体冷凝器的正常装机量，可以按平均输气量选型，而无需按极限最大值来选型。

液环压缩机的进气端和排气端均设有压力变送器，当低压伴生气气压和气量发生变化时，可以首先通过变频来控制液环压缩机的转速来调节抽气量，稳定系统压力。如果变频不能满足变化需求时，可以通过调节排出气体的回流量来稳定系统压力，这样可以最大化降低液环压缩机系统的能耗。

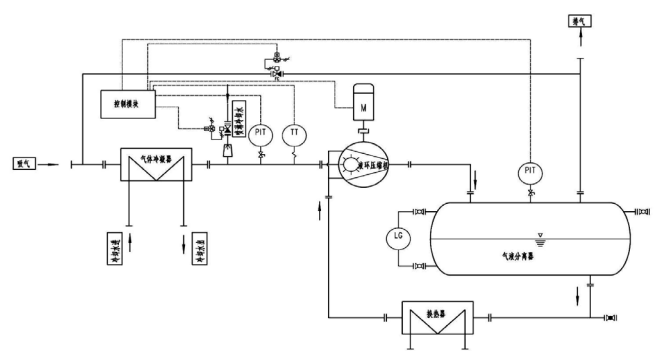


图 2 某油田液环压缩机设计简图

7 结束语

液环压缩机作为一种液环真空压缩机几乎无处不在，尤其是用于回收气体和蒸汽。其在氯气或氢气压缩以及氯乙烯单体，生物柴油或乙醇的生产以及其他酯交换工艺应用广泛，液环压缩机为炼厂应用提供了可靠的解决方案。液环压缩机也非常适合于特殊应用，预计未来应用速度增长空间很大。本文结合目前海上油田低压伴生气回收项目总结的经验，对各类压缩机种类进行了分析，并借鉴历史参考文献，综合分析了液环压缩机的工作原理和使用特性。低压伴生气在海上油田回收再利用的空间很大，每个油矿平台的生产参数及油藏物性不尽相同，在进行低压伴生气回收压缩机选型的考虑上可根据综合分析来评判压缩机的选型。

参考文献：

[1] 吴剑峰. 新液环压缩机回流气体的降温方法 [J]. 通用机械, 2005, 36(2): 45-48.  
[2] 马源, 杨炎锋. 液环式压缩机的特点及性能对比 [J]. 河南化工, 2006, 12(9): 67-69.  
[3] 李良平, 杨晓通, 王东昌. 液环压缩机系统在中东高含硫油田的应用 [J]. 石油化工设备, 2021, 9(02): 98-100.  
[4] 王涛, 戴磊, 彭宇, 潘妍, 邢天健. 液环压缩机在海洋平台闪蒸气回收中的应用 [J]. 石油和化工设备, 2022, 4(06): 34-37.

表 1 海上油田伴生气压缩设备对比表

| 设备类型  | 特点                                                                                                                                                  |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 往复式   | 往复式压缩机的压力范围广，热效率较高，压缩比也高，适应性较强。<br>其缺点就是体积和重量都比较大，易损件较多，维修工作量及维护成本相对较大。                                                                             |
| 滑片式   | 滑片压缩机是回转式压缩机的一种，结构相对简单，维修较为方便，故障率较低。<br>其缺点是最高压力 < 1.2MPaG，润滑油会随天然气排出，有一定的消耗（比往复式要少 2/3）。                                                           |
| 鼓式涡旋式 | 涡旋式压缩机的压缩部分由动涡旋盘和静涡旋组成，依靠动静涡旋相对运动，<br>形成了容积变化，实现气体增压目的，效率较高，结构相对简单、运行平稳且噪音低。<br>但其排量相对较小，适用场景排量 < 200Sm <sup>3</sup> /h，压力 < 1.4MPaG。其缺点是对输送气体要求较高。 |
| 离心式   | 离心压缩机结构简单且体积小，处理量相对较大（900-40000Sm <sup>3</sup> /h），<br>流量稳定且无周期性脉动。但压缩比较低，叶轮加工的难度大，效率相对较低，噪音较大，<br>适用于大流量、长距离管道输送体系。垂直分段式离心压缩机适用于大排量，水平分段式适用于小排量。   |
| 螺杆式   | 相较于往复压缩机，螺杆式压缩机结构简单、易损件较少，<br>双击单螺杆压力可达 4MPaG。螺杆压缩机从结构分为单螺杆和双螺杆，从润滑冷却方式分为有油和无油型。在天然气增压领域，天然气中附带了一部分重组分会对润滑油造成污染，导致滑油劣化。                             |
| 液环式   | 液环式压缩机依靠偏心蜗壳内的叶轮带动液体回转，<br>形成蜗壳内部容积变化实现气体的增压，原理与滑片机相同。由于工作液的混合介入，压缩温度可以看作等温压缩。但其效率较低，单级压力 < 0.8MPaG，两级压缩也要 < 1.4MPaG，液环的形成需要一定转速限制。                 |