

提高海上油田放空天然气回收利用率的装备方案研究

杨俊杰（中海石油（中国）有限公司天津分公司，天津 300459）

摘要：天然气的主要成分是甲烷，而甲烷的增温效应与逃逸排放，可能会抵消天然气的低碳效果，削弱其清洁属性。快速和持续减少甲烷排放是限制近期全球变暖和实现全球气候目标的关键。为积极响应碳达峰、碳中和“双目标”，进一步推进海上油田绿色低碳生产，提高天然气利用率，减少火炬放空给环境带来的危害，放空气回收利用相关技术也逐步在海上油田得到应用。本文根据海上某油田放空气的条件和回收瓶颈问题进行探讨，对放空气的进一步回收利用进行了方案研究，对后续类似工况的方案设计提供借鉴。

关键词：天然气；回收利用；脱重烃设备；海上油田

1 引言

海上某油田包括两座采油平台，天然气产出主要以油井伴生气为主，经生产工艺流程处理和用户使用后，多余气体进入平台火炬放空系统。为更大程度提高该油田多余伴生气的回收利用率，减少放空气量，现结合当前工况及瓶颈因素分析，开展配套工艺装备的方案研究。

2 研究基础

2.1 放空气来源

油田各油井伴生气经一、二级生产分离器分离，部分供给相关用户使用后，其余气体作为放空气放空。一级分离器平均产气量约 $2.32 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ ，供燃气主机、热介质锅炉使用，多余气体进入放空气系统，日放空量约为 $1.29 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ ；二级分离器分离出的低压气日放空量为 $0.29 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ ，总计日放空量约为 $1.58 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ 。

2.2 伴生气用途

油田无物流依托及外输海管，所产伴生气除用户自消耗外，均作放空处理。目前除作为部分容器的覆盖气外，自用气主要用户为燃气发电机组、热介质锅炉。油田电力采用自发电模式，主电站包括两台原油主机和三台燃气主机。其中原油主机单台额定功率 7760kW，一台运行、一台备用；燃气主机单台额定功率 3300kW，目前实际运行一台，功率保持在 1500kW 左右，此工况下供气压力 310kPa，日耗气量为 $13000 \text{Sm}^3/\text{d}$ 。油田包括两台热介质锅炉，当前根据热负荷需求实际运行一台，单台运行的耗气量为 $3600 \text{Sm}^3/\text{d}$ ，供气压力 200kPa。

2.3 伴生气利用制约因素

随着油田采出程度的增加，伴生气量逐年降低。同时，燃气主机受伴生气组分质量影响较大，目前存

在当负荷超过 1500kW 时出现高温报警进而限制主机提高负荷、即负荷抑制的情况。燃气主机机前配置有重烃脱除装置，在重烃脱除装置投运时，主机负荷可达到 1700~1800kW 后出现类似高温报警、负荷抑制的情形。此外，因油田两采油平台间混输海管较长，混输介质段塞流情况较突出，导致用户前的气量波动较大。受上述伴生气产能、组分、气量波动对燃气主机出力限制的叠加影响，平台伴生气用户仅满足一台燃气主机在部分负荷下和一台热介质锅炉的正常运行。

由此可见，天然气量波动幅度大、重烃组分含量高，是当前制约天然气发电机组带载率的主要瓶颈因素。据此，通过采取措施降低伴生气系统流量波动、并进一步实现重烃组分的深度脱除，可有效提高燃气主机带载能力、工作效率和稳定性，降低原油主机功率，也是降低放空气量的突破口。根据实际运行情况，原油主机负荷最低可降低至 3000kW，现全年运行功率范围 3500~4900kW，预计有 500~1900kW 可以由燃气主机替代。

3 系统分析

燃气主机工况分析：平台现有三台燃气主机，单机理论功率：1400~3300kW，单台耗气量约：11440~28600 Sm^3/d 。根据现阶段伴生气气质条件，机组连续稳定运行在 1800kW 以下，日耗气量约 13000 Sm^3/d 。燃气主机入口甲烷值及对主机性能的影响见下表，其中甲烷值为燃气主机厂家根据机组特性的校核数据（如表 1）。

根据数据对比，在重烃脱除装置投用后，机前伴生气气质条件有所改善，但仍然不满能满足机组正常最大负荷工作条件。需要使甲烷值不小于 70，设备达到最大正常工作负荷。因油田产出的伴生气气质条件或存在波动，故应确保甲烷值高于理论需求指标，才能

确保主机工作稳定。

重烃脱除装置工况分析：根据原设计文件校核，原重烃脱除装置可以提供约 41kW 制冷负荷，原设备设计压力较低，不能满足高压气体直接冷却，但制冷系统、冷却液循环系统可利旧，通过更换为耐高压换热器脱除高压气体中重烃组分。

流程工况分析：天然气用户流程中稳压装置容量不足，稳压稳流效果不佳，无法有效降低气量波动的影响，采取在流程中增加稳压环节措施，同步在方案研究中重点分析解决。

表 1

甲烷值	61.9	63.3	67	69.4
主机理论最大负荷	94%	96%	98.80%	99.76%
建议负荷 (kW)	2791	2851	2934	2970

表 2

	一级分离器	二级分离器
操作压力	650kPa	40~100kPa
伴生气产量	$\approx 2.32 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$	$\approx 3000 \text{Sm}^3/\text{d}$

燃气主机日消耗量	$\approx 1.32 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$	—
热介质锅炉消耗量	$3600 \text{Sm}^3/\text{d}$	—
放空量	$\approx 12900 \text{Sm}^3/\text{d}$	$\approx 3000 \text{Sm}^3/\text{d}$
完全回收后可提高燃气主机功率	$\approx 1400 \text{kW}$	

4 方案研究

4.1 方案研究的原则

根据现有放空气量及油藏预测，采取安全可靠的技术设计一套回收利用系统与装备，向燃气主机提供可靠燃料气并提高带载率。重点围绕两个主线：增加缓冲装置和稳压设备，解决流程气量波动；优化脱重烃设备，进一步脱除天然气重烃组分。

4.2 伴生气主要分离设备及回收

根据放空气数据分析，以及一、二级分离器操作压力的不同，故采取分别回收、两级压缩方案。压缩方案选择适用的压缩机设备。通过现场生产数据分析，增压后的高压气体应能够满足生产系统伴生气气量波动范围。根据监测数据，现场调节阀波动周期为 6~8min，考虑安全余量，设计在压缩机后、用户前的燃气缓冲罐应满足至少 10min 波动能力。根据二级分离器产气能力情况调整压缩机去向，优先将低压气增压送至热介质锅炉入口，当气量高于热介质锅炉使用情况时，将多余气体再送至一级分离器（如表 2）。

4.3 天然气脱烃设备

脱除天然气中重烃组分的方法较多，常用的有吸附法和制冷法，而制冷法又分为间接制冷法、直接制冷法等。现需要提高平台燃料气压力至缓冲罐进行高

压存储,降低伴生气产能及气量波动对燃气主机平稳运行的影响。结合平台已经安装的一套 R404 低温脱除重烃设备,故本次推荐采用压力能、间接制冷法相结合的脱除重烃的方法。处理工艺见如下示意图 1:

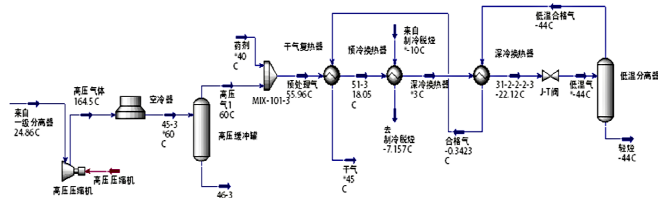


图 1

关于组分的论证。脱重烃设备出口理论组份 i-Pentane 为 0.0011 (摩尔分率,下同), n-Pentane 为 0.0003,而对应机组理论最低要求分别为 0.2500、0.0900,即脱重烃设备出口理论组份高于满负荷工作甲烷值对应理论组分最低要求。故高压气体经过重烃脱除装置、J-T 阀制冷后理论满足燃气主机满负荷工作要求。

4.4 高压缓冲罐规格核算

根据模拟计算获得压缩机需要将伴生气增压至 3.5MPa,且根据缓冲时间 10min、日产气量为 3 万方核算。根据数据核算出高压气缓冲总容积不能小于 7.2m³。进而核算压缩机出口气液分离器、换热器高压侧的容积,确定缓冲罐规格如下:直径 1600mm,筒体长度 2600mm,直边高度 25mm,封头深度 400mm,液面高度 400mm。计算结果为:全容积 6.40m³,液体容积 1.34m³。

4.5 稳压压缩机的设计选型

4.5.1 一级低压压缩机

对水环压缩机、螺杆压缩机做对比选型分析。首先明确选型基本参数条件:入口体积流量为 208m³/h,入口压力 50kPa.G,排压 700kPa.G,进气温度 90℃,出口温度 60℃,直联传动。在同样运行参数下,水环压缩机配套电机 2 级 75kW、价格预估 375 万元,而螺杆压缩机分别为 30kW、97 万元,故综合可靠性、经济性与能耗,推荐采用螺杆压缩机方案。

4.5.2 二级增压压缩机

对二级增压压缩机进行选型,鉴于进气 600kPa、排气 3600kPa 的压力范围等参数,本次选用对称平衡型往复式压缩机。主要选型参数如下:二级压缩,进气压力 600kPa,排气压力 3600kPa,排气量 1250Nm³/h,轴功率 94.1kW,主电机功率 132kW,冷却方式为工艺

气采用风冷强制冷却、气缸自然冷却、机身润滑油采用循环水强制冷却。

4.5.3 新增设备撬装流程

通过上述分析与选型,进一步对一级低压压缩机、二级增压压缩机等新增设备撬装流程进行设计,形成系统可行的装备工艺方案,工艺模拟流程图 2 如下:

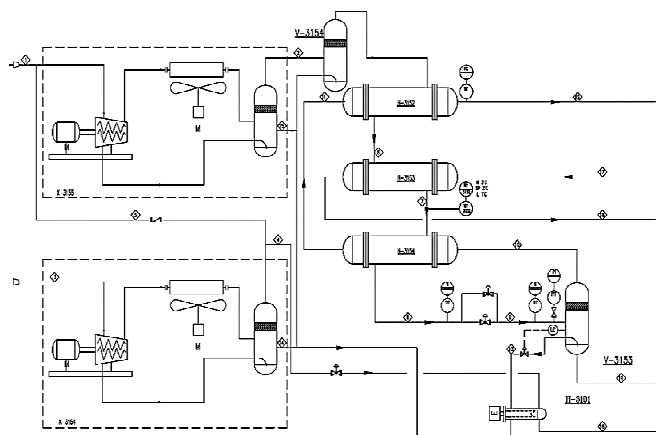


图 2

5 目标效果

根据本方案研究,油田生产流程中一级分离器、二级分离器放空气全部回收,燃气主机运行功率可提升至 2000~3300kW,其余负荷约 3000kW 由原油主机承担。以冬季预测,放空气利用量 136 × 10⁴Sm³/季度,节省原油消耗量约 567m³/季度;年均可实现减少二氧化碳排放量约 392.3t。

参考文献:

- [1] 米立军,刘强,刘丽芳,纪钦洪.科技引领中国海油碳中和应用之路[J].中国海上油气,2022(04).
- [2] 赵国山,汪清,宋世伟,仇性启.气体组分变化对瓦斯压缩机工作性能的影响[J].压缩机技术,2006(02).
- [3] 高国强,马强,王建丰.某天然气平台干气压缩机选型技术研究[J].新技术新工艺,2013(06).
- [4] 戴磊,王涛,严雪莲,李洁,高荣俊.渤海油田放空气的综合治理方案研究[J].石油化工安全环保技术,2022(03).
- [5] 张艳华,孙鑫,马长.海上油气田温室气体排放管理措施及技术应用[J].石油石化节能,2022(08).

作者简介:

杨俊杰(1985-),男,工程师,大学本科、工学学士,目前从事海洋石油装备的技术与管理工作。