

# 海上采油平台工艺管路设计分析

张 虎

中海石油(中国)有限公司深圳分公司 广东 深圳 518000

**摘要:** 本文聚焦海上采油平台工艺管路设计。首先阐述设计基础,包括生产工艺需求、介质特性、海上作业环境。接着介绍核心设计内容,涵盖介质适配、管路参数确定、材料选型。随后探讨关键设计要点,如管路布局、密封、防腐设计。最后提出设计优化措施,涉及管路参数、布局、防护措施优化。旨在为海上采油平台工艺管路设计提供全面指导,保障其安全高效运行。

**关键词:** 海上采油平台; 工艺管路; 管路设计; 介质传输; 安全设计

引言: 海上采油平台作为海洋油气开发的关键设施,其工艺管路设计至关重要。它不仅关乎平台的高效生产,更直接影响着运行安全与经济性。海上环境复杂恶劣,生产流程涵盖多环节,介质种类繁多且特性各异。在此背景下,工艺管路设计需综合考虑多方面因素,从基础设计要素到核心设计内容,再到关键设计要点,每个环节都紧密相连、相互影响。合理的设计能确保介质安全、稳定输送,降低故障发生概率,延长管路使用寿命。因此,深入探究海上采油平台工艺管路设计,对于提升平台整体性能、保障海洋油气开发顺利进行具有重大意义。

## 1 海上采油平台工艺管路设计基础

海上采油平台工艺管路设计是保障平台高效、安全运行的关键环节,其设计基础需围绕多方面核心要素展开。(1) 平台生产工艺需求是工艺管路设计的根本出发点。不同海上采油平台的生产流程存在差异,涵盖原油开采、处理、储存及外输等多个环节。设计前必须全面且细致地梳理整个生产流程,明确各环节所涉及的介质类型,如原油、天然气、水等,以及不同介质在流量、压力、温度等方面的输送要求。只有精准把握这些工艺需求,才能确保管路设计满足实际生产操作。(2) 介质特性对管路设计有着直接影响。不同介质具有不同的物理和化学性质,例如原油的黏度、腐蚀性,天然气的易燃易爆性等。设计时要根据介质特性选择合适的管材,以保证管路在长期运行过程中不被介质腐蚀,避免发生泄漏等安全事故。(3) 海上作业环境是工艺管路设计不可忽视的重要因素。海上环境复杂多变,存在强风、巨浪、海流、盐雾腐蚀等恶劣条件。这些环境因素会对管路的强度、稳定性及耐久性提出更高要求。设计时需充分考虑海上环境的影响,合理规划管路布局,采取有效的防腐、防振、抗风浪等措施,规避环境因素引发的设计隐患,确保管路在恶劣的海洋环境中能够安全可靠地运行,使设计

方案兼具实用性与安全性<sup>[1]</sup>。

## 2 海上采油平台工艺管路核心设计内容

### 2.1 介质适配设计

海上采油平台工艺管路介质适配设计,是确保介质安全传输的关键。因传输介质种类复杂、特性差异大,需根据其特性针对性设计管路结构与防护措施。

常见介质分四类:(1) 油气介质,如原油、天然气,易燃易爆、易挥发,部分含硫化氢等腐蚀成分,要着重密封与抗腐蚀设计;(2) 水介质,像海水、地层水、处理后污水,海水盐分高易致电化学腐蚀,地层水与污水含杂质和腐蚀物,需强化防腐与过滤;(3) 药剂介质,包括破乳剂、缓蚀剂等,腐蚀性和粘度差异大,要依特性选适配管材与密封方式,防药剂变质和管路腐蚀;(4) 辅助介质,如蒸汽、压缩空气,用于生产辅助,需按温度、压力设计管路壁厚与保温。介质适配设计要明确各类介质关键特性参数,如密度、粘度、腐蚀性、易燃易爆性、温度范围等,结合输送流量要求,确定管路基本设计方向,保证管路与介质特性匹配,从源头上避免介质引发管路故障<sup>[1]</sup>。

### 2.2 管路参数确定

管路参数是海上采油平台工艺管路设计的核心依据,关乎输送效率、运行安全与经济性。核心参数有管径、壁厚、工作压力、工作温度,需结合介质特性、输送需求和环境条件精准确定,防止参数不合理引发隐患。(1) 管径确定以介质输送流量为核心,参考介质流速要求计算。流速过高会使管路磨损、压力损失大,增加能耗;流速过低则易致介质沉积、管路堵塞,含杂质的油气与污水介质更需控制合理流速范围。(2) 壁厚确定要综合考虑工作压力、介质腐蚀性、环境载荷。工作压力高,壁厚需求大;介质腐蚀性强,要预留充足腐蚀裕量。同时结合海上风浪、振动等环境载荷,保证管路强度与

刚度,避免破裂。(3)工作压力与温度依平台生产工艺要求确定,要考虑介质输送中的压力损失与温度变化,合理设定设计压力与设计温度。设计压力要高于最大工作压力,设计温度要覆盖介质输送的最高与最低温度范围,确保极端工况下稳定运行。此外,还需计算压力损失,优化管路布置以减少局部阻力,满足生产要求。

### 2.3 管路材料选型

海上采油平台工艺管路材料选型要遵循适配、耐腐蚀、高强度、易施工原则,结合介质特性、工作参数和海上环境,选性价比合理的材料,保证性能达标、延长寿命。管路材料涵盖管材与管件,需匹配选用,防止因材料不兼容出现连接失效或腐蚀问题。(1)管材选型依介质腐蚀性与工作压力分类。腐蚀性强的介质,如含硫化氢油气、海水,优先选耐腐蚀合金材料,像22Cr双相钢、13Cr不锈钢、铜镍合金等,它们抗电化学腐蚀与应力腐蚀性能良好;腐蚀性弱的介质,如普通油气、蒸汽,可选用碳钢材料并做防腐涂层处理;药剂介质则根据其特性选耐腐材料,避免化学反应。(2)管件是管路连接核心部件,材料要与管材一致或兼容,常用管件有弯头、三通等,连接方式有对焊、承插焊等,需按管径与工作压力选合适连接方式与规格。(3)选型要考虑海上施工条件,选重量轻、易焊接、易维护的材料,方便平台狭小空间安装与后期检修,还要保证材料抗疲劳性能好,适应海上风浪、平台振动带来的周期性载荷冲击<sup>[2]</sup>。

## 3 海上采油平台工艺管路关键设计要点

### 3.1 管路布局设计

海上采油平台空间有限,且各类设备、管线密集,管路布局设计需遵循紧凑合理、便于操作、安全可靠的原则,在满足生产工艺要求的前提下,优化管路路径,减少管路长度与弯头数量,降低压力损失与施工难度,同时避免管路之间、管路与设备之间发生干涉。(1)布局设计需优先考虑介质输送的合理性,油气输送管路需尽量缩短路径,减少局部阻力,同时避免管路出现死弯、积液段,防止介质沉积与腐蚀;海水冷却管路与药剂注入管路需靠近使用设备布置,减少输送延迟,确保辅助系统高效运行。管路布置需远离平台逃生通道、操作区域及电气设备,对于易燃易爆介质管路,需避免布置在高温区域,防止介质受热挥发引发安全风险;对于腐蚀性介质管路,需布置在便于检修与防护的区域,避免腐蚀泄漏对其他设备与管路造成影响。(2)管路布局还需考虑平台振动与风浪的影响,管路走向需尽量与平台结构受力方向一致,减少振动对管路连接部位的冲击,同时合理设置管支架,确保管路固定牢固,避免管路因振动

发生疲劳损坏;对于露天布置的管路,需考虑风雨侵蚀与日照影响,优化布置角度,减少雨水积聚与紫外线照射对管路的损害。

### 3.2 管路密封设计

密封设计是海上采油平台工艺管路设计的关键环节,核心目的是防止介质泄漏,尤其对于易燃易爆、腐蚀性介质,密封失效会引发严重的安全事故与环境风险,因此需根据介质特性、工作压力与温度,选择合适的密封方式与密封材料,确保密封性能可靠。(1)密封设计主要针对管路连接部位,包括管件连接、阀门连接、设备接口连接等,不同连接部位的密封方式需针对性选择:对焊连接部位需采用优质焊接工艺,确保焊缝饱满、无缺陷,实现焊接密封,焊接后需进行探伤检测,排查焊接隐患;螺纹连接与承插焊连接部位,需选用适配的密封垫片或密封填料,密封垫片与填料的材料需与介质特性相匹配,具有良好的耐腐蚀性、耐高温性与耐压性,避免因介质腐蚀、温度变化导致密封件老化、失效。(2)对于高压、高温管路,需采用双重密封设计,提升密封可靠性,同时需考虑管路的热胀冷缩影响,在密封部位设置补偿装置,避免温度变化导致管路变形,破坏密封性能。

### 3.3 管路防腐设计

海上采油平台作业环境具有高盐雾、高湿度、强腐蚀性特点,管路腐蚀是影响管路使用寿命与运行安全的主要因素之一,腐蚀会导致管路壁厚减薄、强度下降,最终引发管路破裂、介质泄漏,因此需构建全方位的防腐设计体系,从材料防护、涂层防护、电化学防护等多个方面,降低管路腐蚀风险。(1)材料防护是防腐设计的基础,即通过合理选择耐腐蚀材料,从源头减少腐蚀发生,如前文所述,根据介质腐蚀性选择适配的管材与管件,避免材料与介质发生电化学腐蚀或化学腐蚀。涂层防护是应用最广泛的防腐措施,主要用于碳钢等腐蚀性较弱的管材,通过在管路内外壁涂抹防腐涂层,隔绝介质、海水、空气等腐蚀介质与管路表面的接触,从而达到防腐目的,常用的防腐涂层包括环氧树脂涂层、聚氨酯涂层等,涂层施工需确保均匀、无破损,避免涂层缺陷导致局部腐蚀。(2)电化学防护主要用于海水接触的管路与露天布置的管路,包括阴极保护与阳极保护两种方式,阴极保护通过向管路施加阴极电流,使管路成为阴极,避免阳极腐蚀,常用的阴极保护方式包括牺牲阳极保护与强制电流阴极保护;阳极保护则适用于特定腐蚀性介质管路,通过施加阳极电流,使管路表面形成钝化膜,抵御腐蚀介质的侵蚀<sup>[3]</sup>。

## 4 海上采油平台工艺管路设计优化措施

#### 4.1 管路参数优化

管路参数优化主要针对管径、壁厚、流速等核心参数，通过精准计算与仿真分析，优化参数取值，实现输送效率与经济性的平衡。管径优化需结合介质流量与流速，采用经济流速法，确定最优管径，既要避免流速过高导致的能耗增加与管路磨损，也要避免流速过低导致的介质沉积与堵塞，同时减少管路投资成本；壁厚优化需结合工作压力、腐蚀裕量与环境载荷，通过强度计算与应力分析，确定合理的壁厚，避免壁厚过厚增加投资与重量，或壁厚过薄影响管路强度。此外，还需优化管路的压力损失设计，通过减少管路弯头、阀门等局部阻力部件的数量，优化管路走向，降低介质输送过程中的压力损失，减少输送泵的能耗，提升输送效率；同时合理设定管路的设计压力与温度，避免参数冗余导致的设计浪费，确保参数取值既满足运行要求，又具备经济性<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 管路布局优化

管路布局优化需结合平台空间布局与生产工艺需求，采用三维建模技术，模拟管路布置方案，排查管路干涉问题，优化管路路径。针对平台空间狭小的问题，可采用集约化布局方式，将功能相近的管路集中布置，减少管路占用空间，同时便于管路的集中维护与检修；对于长距离输送管路，可优化管路走向，缩短管路长度，减少压力损失与材料消耗。布局优化还需考虑管路的检修空间，在管路布置过程中，预留足够的检修通道与操作空间，便于后期管路的检修、维护与更换，避免因空间受限导致检修困难；同时优化管支架的布置，根据管路的重量、长度与振动情况，合理设定管支架的间距与类型，确保管路固定牢固，减少振动对管路的影响，延长管路使用寿命。此外，还需优化露天管路的布置，避免管路长期暴露在强日照、强风浪区域，减少环境因素对管路的损害。

#### 4.3 防护措施优化

防护措施优化主要围绕密封防护与防腐防护展开，提升管路的防护性能，减少故障发生。密封防护优化需根据介质特性与工作工况，优化密封方式与密封材料，

对于高压、高温、腐蚀性强的介质管路，采用高性能密封件与双重密封结构，提升密封可靠性；同时定期对密封部位进行检测，及时更换老化、损坏的密封件，避免密封失效。防腐防护优化需构建多层次的防腐体系，结合材料防护、涂层防护、电化学防护的优势，针对性采取防护措施，对于不同环境、不同介质的管路，优化防腐方案，如露天管路可增加涂层厚度，同时采用阴极保护措施，提升防腐效果；海水接触管路可选用耐腐蚀更强的材料，同时优化涂层与电化学防护的配合，减少腐蚀风险。此外，还需优化管路的防振动、防冲击措施，在管路易振动部位设置减震装置，减少平台振动与风浪冲击对管路的影响，避免管路因疲劳损坏引发故障<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

海上采油平台工艺管路设计是一项复杂且系统的工程，涉及多学科知识与众多影响因素。从设计基础的精准把握，到核心内容的精心规划，再到关键要点的细致考量，以及优化措施的有效实施，每一步都关乎着管路系统的性能与平台的整体运行。随着海洋油气开发向更深、更远海域拓展，对工艺管路设计提出了更高要求。未来，需不断探索创新，引入先进技术与理念，进一步提升设计水平。通过持续优化设计，降低建设与运营成本，提高管路系统的可靠性与安全性，为海上采油平台的稳定生产提供坚实保障，推动海洋油气产业持续健康发展。

#### 参考文献

- [1]郑玉贵,姚治华,柯伟.海洋环境中金属材料的腐蚀与防护[J].金属学报,2020,56(2):145-160.
- [2]王忠波.提高海上油田设施电站供电可靠性探讨[J].资源节约与环保,2020(2):3-8.
- [3]黄细霞,张贤杰,冯耀荣等.海洋工程用高性能管线钢的研究进展[J].材料导报,2021,35(15):15128-15134.
- [4]王芃然.海上采油平台组块建造技术研究[J].化工设计通讯,2023,49(02):48-50+68.
- [5]李雅君.海上油田采油工艺新技术现状及发展方向[J].石化技术,2023,30(7):110-112.