

天然气处理站工艺设备橇装化设计中的配管布局优化

胡昊越 (中石化中原石油工程设计有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 当前天然气处理站规模持续扩大, 工艺要求日益复杂, 石油天然气工程领域亟需提升天然气处理站工艺设备设计效率。橇装化设计则是一种集成化、模块化设计方式, 经橇装化设计后便于运输及安装维护, 在天然气处理站中的应用愈发广泛。本研究将充分结合冷箱外部配管工艺特点, 深入探究橇装化设计中配管布局优化策略。基于对天然气处理站现场勘查数据、工艺参数收集分析, 提出了基于空间规划及工艺需求的配管布局优化方案, 确保布局方案合理性、可行性, 拟以此为天然气处理站工程设计提供参考。

关键词: 天然气处理站; 橇装化设计; 配管布局; 工艺设备

中图分类号: TE974

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 012-0103-03

Optimization of piping layout in the sled design of process equipment for natural gas processing stations

Hu Haoyue (Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: The scale of natural gas processing stations continues to expand, and the process requirements are becoming increasingly complex. The field of petroleum and natural gas engineering urgently needs to improve the efficiency of process equipment design for natural gas processing stations. Skid mounted design is an integrated and modular design approach that facilitates transportation, installation, and maintenance. Its application in natural gas processing stations is becoming increasingly widespread. This study will fully combine the characteristics of the external piping process of the cold box and explore in depth the optimization strategy of piping layout in sled mounted design. Based on the on-site investigation data and process parameter collection and analysis of natural gas processing stations, a piping layout optimization plan based on spatial planning and process requirements is proposed to ensure the rationality and feasibility of the layout plan. This plan is intended to provide reference for the design of natural gas processing station projects.

Keywords: natural gas processing station; Skid mounted design; Piping layout; process equipment

作为天然气采收、处理、输送过程中的关键设施, 天然气处理站工艺设备设计直接影响系统安全性及其整体运行效率。近年来天然气需求持续增长, 相应的处理站规模逐步扩大, 复杂工艺要求下也对相关设备布置、配管设计等提出了更高的要求。橇装化设计则是集成化、模块化设计理念, 在天然气处理站中的有效应用可显著提高项目建设灵活性, 减少施工周期成本。然而在橇装化设计过程中, 配管布局优化依然面临诸多挑战。尤其是针对冷箱外部配管设计, 受空间、工艺流程、特殊工况多重制约, 暴露出布局不合理、工艺不匹配等诸多问题。下述将结合现有设计规范、标准, 进一步优化天然气处理站配管布局方案。

1 天然气处理站工艺设备橇装化设计基础

1.1 橇装化设计理念剖析

所谓橇装化设计, 指的是将原本分散的工艺设备、管道、仪表等, 集成于一个或多个结构紧凑的橇块上, 如同搭建积木一般, 各橇块将于工厂预制完成后, 运输至现场实现快速组装。这一设计理念可有效打破传统现场分散式安装模式。

在天然气处理站中, 引入橇装化设计方案优势显著。从施工角度看, 大部分安装工作将于工厂内完成,

受现场环境因素制约小, 可显著缩短建设周期。同时预制化生产模式下安装质量更易把控。从后期运维角度, 橇装化设备布局紧凑且功能相对独立, 便于故障排查与设备维护, 提升运维效率。

1.2 天然气处理站工艺设备橇装化现状

目前天然气处理站工艺设备橇装化应用愈发广泛。在原料气过滤分离环节, 过滤分离器往往集成于独立橇块, 可实现高效过滤, 减少杂质对后续设备造成的损害。在制冷、分离等关键工艺中, 冷箱及配套设备亦多采用橇装化设计方案, 从而保障制冷循环稳定运行。需要注意的是, 天然气处理站工艺设备橇装化设计现存诸多问题。部分早期设计橇块在空间利用方面并不合理, 导致设备维护空间狭窄。且不同橇块间接口标准化程度不足, 在组合更换时极易出现适配问题。

2 天然气处理站冷箱外部配管特性及现有布局问题

2.1 冷箱工作原理与外部配管关联

在天然气处理站内, 冷箱是实现深度制冷、组分分离的关键设备, 其基本工作原理为低温精馏。参照常见的日处理量达 300 万立方米的天然气处理装置案例, 原料天然气经预处理后, 进入冷箱内多级换热器,

利用节流效应及不同组分沸点差异,逐步实现降温分离。在此过程中,冷箱外部配管主要承担物料输送任务。即经初步脱水、脱酸气原料气,通过直径 250mm 的管道源源不断输入冷箱,参与制冷循环过程;而分离出的干气、液化石油气(LPG)、稳定轻烃等产品,则由不同管径、材质管道输出。这些外部配管如同冷箱“脉络”,可精准把控物料进出,确保冷箱内复杂制冷、分离反应有序进行,一旦某处配管不畅或故障,都可能直接影响天然气处理站整个工艺处理流程。

2.2 冷箱外部配管的工艺参数与特殊工况

在工艺参数方面,可依据对多个天然气处理站监测数据统计,冷箱外部配管通常需承受 3.5~7MPa 的工作压力,其工作温度区间跨度较大,最低可降至 -160℃ 左右。在某地处高海拔且冬季严寒的天然气处理站,冬季运行时冷箱外部配管长期处于超低温环境,部分碳钢材质管道因低温而发生脆化现象,导致配管韧性显著降低。在特殊工况下,例如天然气处理站装置开停车期间,其配管面临温度剧烈波动,温度变化速率可达 60℃/h。这就对天然气处理站管道材料热稳定性提出了极高要求,同时考验其管道连接部位密封性能。

2.3 现有冷箱外部配管布局问题

现有天然气处理站中冷箱外部配管布局存在诸多不合理之处。一方面,配管走向设计缺乏规划,往往出现管道交叉、迂回等现象。在多股物料并行输送时,为迁就有限空间,部分管道被迫弯折,这就导致流体在管内流动路径复杂、局部阻力增大,由此将直接影响物料输送效率。还可能因压力异常降低,造成压缩机等设备能耗增加。例如在多种介质同时进出冷箱区域,不同管径管道尚未合理规划,发生交叉干扰导致流体流动紊乱。另一方面,天然气处理站现有冷箱外部配管空间利用不合理问题较为突出。在布局设计时,尚未充分考虑冷箱外部配管与周边设备的空间关系,导致维修空间较为局促。当需要检修阀门、仪表等部件时,周边配管阻挡严重,维修工具无法有效施展,增加了设备停机风险。且在有限空间内管道密集布置,未预留足够热胀冷缩空间,温度变化时易引发管道变形甚至破裂。

3 天然气处理站工艺设备橇装化设计中配管布局优化方案

3.1 冷箱外部配管布局优化前的资料收集与现场勘查

对于一处长 22.1m、宽度 6.5m,共分 7 个橇块的天然气处理站项目,其广泛涵盖过滤分离器橇、汇气管橇等多种功能橇块。针对该处理站冷箱外部配管布局优化前,首要任务是开展全面资料收集、现场勘查

工作。

在资料收集方面,可获取原有设计图纸,具体包含橇块平面布置图(如图 1 所示),基于设计图纸明确了天然气处理站冷箱及各橇块在整个工艺区位置,以及原有配管在各橇块间的走向、连接方式。同时深度收集天然气处理站工艺设备实时运行数据,以了解这些设备高峰运行期间,冷箱外部配管需输送大量经过滤分离的天然气,流量波动较大。

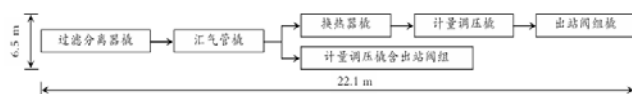


图 1 天然气处理站橇平面布置图

现场勘查时,技术人员依据橇块布置图,针对各个橇块进行实地测量。发现过滤分离器橇与冷箱间的配管因空间限制,布置较为杂乱,且部分管道出现磨损迹象。在汇气管橇附近,由于管道连接不合理,导致气体流动阻力增加。结合三维立体图,进一步确认了配管与周边设备的相对位置,如换热器橇上的配管与设备间距过小,不利于日常维护和检修。通过与操作人员沟通,得知在以往的运行中,曾因配管布局问题造成多次输送效率降低、设备故障,为后续优化提供关键信息。

3.2 基于空间规划与工艺需求的配管布局初步设计

基于前期资料及相应的勘查结果,针对该天然气处理站进行配管布局初步设计。参考橇块平面布置、三维立体结构,在空间规划层面,可充分利用橇块间有限空间。例如重新规划冷箱与过滤分离器橇间配管,按照气体流向,以直线方式布置大管径主输送管道,减少弯头数量、降低流体阻力。同时依据橇块尺寸及其具体功能,在汇气管橇与冷箱间预留足够操作空间,方便工作人员后期检查维护。

从工艺需求的角度出发,则可充分结合天然气处理站工艺设备各橇块功能特点设计相应的配管布局。对于从过滤分离器橇输出至冷箱的天然气,可根据其流量、压力要求,选用合适管径管道,确保管道密封性、耐压性。针对换热器橇与冷箱连接配管设计中,考虑到热交换过程中温度变化,应合理安排管道走向及伸缩补偿装置,避免因温度应力造成管道损坏。

3.3 冷箱外部配管连接节点与支撑结构的详细设计

在该天然气处理站项目中,配管连接节点、支撑结构设计至关重要。依据橇块平面布置图,在不同橇块间配管连接节点处,可采用高质量法兰连接方式,并根据管道压力、温度等级选择合适的密封垫片。例如在冷箱与计量调压橇的连接节点,考虑到气体压力较高且温度较低,可尝试选用金属缠绕垫片,确保其

表 1 天然气处理站工艺设备橇装化设计效果分析

指标	优化前（传统布局）	优化后（橇装化布局）
占地面积	522.4 m ²	143.65 m ²
设备重复利用率	不适用	≥ 60%
施工工期	20 天	7 天
设备投资增加	不适用	约 30% 增加
整体总投资增加	不适用	约 20% 增加
压力降	不适用	降低约 12%
流量分配均匀性	不适用	更加均匀

密封性能。同时针对焊接节点实现严格工艺控制，保证焊接质量、防止泄漏。

支撑结构设计则充分结合橇块结构、配管走向。在过滤分离器橇和汇气管橇间的水平管道上，每隔一定距离设置滑动支架，允许管道在温度变化时存在一定的伸缩空间，支架材质则选用耐低温、腐蚀合金材料。对于垂直管道，可于冷箱出口处设置相应的固定支架，以较好地承受管道重量、应力。基于对橇块三维立体图的深度分析，合理安排支撑结构位置，确保配管系统在运行过程中整体稳定性，避免因振动或外力作用破坏管道。

3.4 配管布局设计完成后的全面校验与优化调整

配管布局设计完成后，针对天然气处理站工艺设备橇装化设计方案全面校验。工艺校验方面，主要依据设计配管布局，模拟天然气在各橇块间流动过程，结合前期所收集的运行数据、工艺要求，检查管道压力降、流量分配等参数是否符合标准。若发现换热器橇与冷箱间部分配管在高流量工况下压力降超预期，则可调整管道管径、走向，重新模拟后达到理想效果。

安全校验方面，主要针对配管连接节点密封性能开展压力测试，按照高于实际运行压力的标准进行检验，确保无泄漏情况。针对支撑结构进行力学性能测试，模拟运行过程中振动、极端工况，如地震等。根据三维立体图检查支撑结构是否对设备操作和维护产生影响，如有冲突则及时进行优化调整，最终形成完善且可行的配管布局优化方案。

3.5 天然气处理站工艺设备橇装化设计配管布局效果分析

在该长 22.1m、宽 6.5m 且由 7 个橇块组成的天然气处理站项目中，工艺设备橇装化设计配管布局优化后，于多方面呈现显著效果。

从占地面积来看，优化后橇装化配管布局极大地提升了空间利用率。整个工艺区占地面积仅为 143.65 m²，相较于传统分散式布局，占地减少约 73%。基于该紧凑合理布局方案，在节省土地资源的同时，使得天然气处理站空间规划更加规整有序，为后续可能进

行的设备升级或扩建操作预留空间。与此同时，天然气处理站工艺设备重复利用率亦有所提高。由于橇装化设计将设备、管道集成于橇块上，橇块间采用法兰连接方式，可整体进行拆除、移动。据统计，该处理站橇装设备在不同项目中重复利用率达 60% 以上，这就很大程度上避免了大量设备重复投资。

在现场施工工期方面，橇装化配管布局优势明显。传统安装方式下，工艺管道、设备现场连接、检验等工作需 20 天才能完成，而引入橇装化设计方案后，现场仅需 7 天即可完成橇座与基础固定，以及橇块进出口管线与管网连接等相关工作，其施工工期缩短近 65%。虽然橇装化安装较传统安装方案设备投资增加近 30%，但从综合成本来看，由于现场施工费用大幅降低，整体总投资增加仅 20%。且在长期运行维护过程中，橇装化配管布局可使设备检修、故障排查工作更为便捷有效。优化后配管布局可减少管道磨损、阻力，天然气输送过程中压力降平均降低 12%，流量分配更加均匀，为天然气处理站创造更多价值（见表 1）。

4 结论

综上所述，本文重点围绕天然气处理站工艺设备橇装化设计展开研究。拟通过剖析橇装化设计基础，结合冷箱外部配管特性、布局问题，提出涵盖资料收集、初步设计、详细设计、校验调整这一较为完善的优化设计方案。且经实际项目验证，优化后的配管布局于空间利用、设备重复利用等方面效果显著，很大程度上可推动石油天然气工程领域橇装化设计的发展完善。

参考文献：

[1] 杨树鑫. 海上平台用橇装化天然气离心压缩机组的开发研制 [J]. 风机技术, 2023, 65(S1): 31-34+46.
[2] 马强, 谢超, 王新超, 等. 清管器发球筒橇装化设计及橇座应力分析 [J]. 化工设备与管道, 2022, 59(03): 31-36.

作者简介：

胡昊越（1988-），男，汉族，河南郑州人，本科，工程师，研究方向：油气田地面工程三维配管。