

油气回收行业制冷机组设计优化与性能提升研究

文 / 邝俊锋 广东申菱环境系统股份有限公司

摘要：随着全球能源紧缺和环保意识的增强，油气回收行业在减少挥发性有机化合物（VOCs）排放和能源浪费方面扮演着重要角色。制冷机组作为油气回收系统的核心设备，其性能直接影响回收效率和运行成本。然而，传统制冷机组在能效、稳定性和环保性能方面存在诸多不足。因此，通过设计优化与性能提升，开发高效、智能、环保的制冷机组，成为行业发展的迫切需求。本文探索制冷机组的关键优化技术，为油气回收行业提供更高效、更经济的解决方案。

关键词：油气回收；制冷机组；工作原理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.099

引言

油气回收行业制冷机组的设计优化与性能提升是推动行业技术进步和可持续发展的重要方向，当前，油气回收制冷机组面临能效低、运行不稳定、排放超标等问题，难以满足日益严格的环保法规 and 市场需求。通过引入智能控制系统、变频技术、热回收技术以及环保制冷剂，可以显著提升机组的性能和适应性。本文深入分析制冷机组的设计优化方法和性能提升技术，结合实际案例，为行业提供切实可行的技术路径和应用方案。

一、油气回收行业制冷机组的工作原理与设计基础

（一）油气回收工艺概述

油气回收是指从石油化工、储运、加油站等环节中，

将挥发性有机化合物（VOCs）进行有效收集和处理的工艺过程。这些挥发性有机化合物不仅对环境造成污染，还可能对人体健康产生危害，同时也会造成能源的浪费。

油气回收工艺的核心目标是通过物理或化学方法，将VOCs从气体中分离出来，并进行回收或无害化处理。常见的油气回收技术包括吸附法、吸收法、冷凝法和膜分离法等。其中，冷凝法因其高效、环保、操作简便等优点，被广泛应用于油气回收领域。冷凝法通过降低气体温度，使VOCs从气态转变为液态，从而实现分离和回收。制冷机组作为冷凝法的核心设备，其性能直接影响油气回收的效率和经济性。

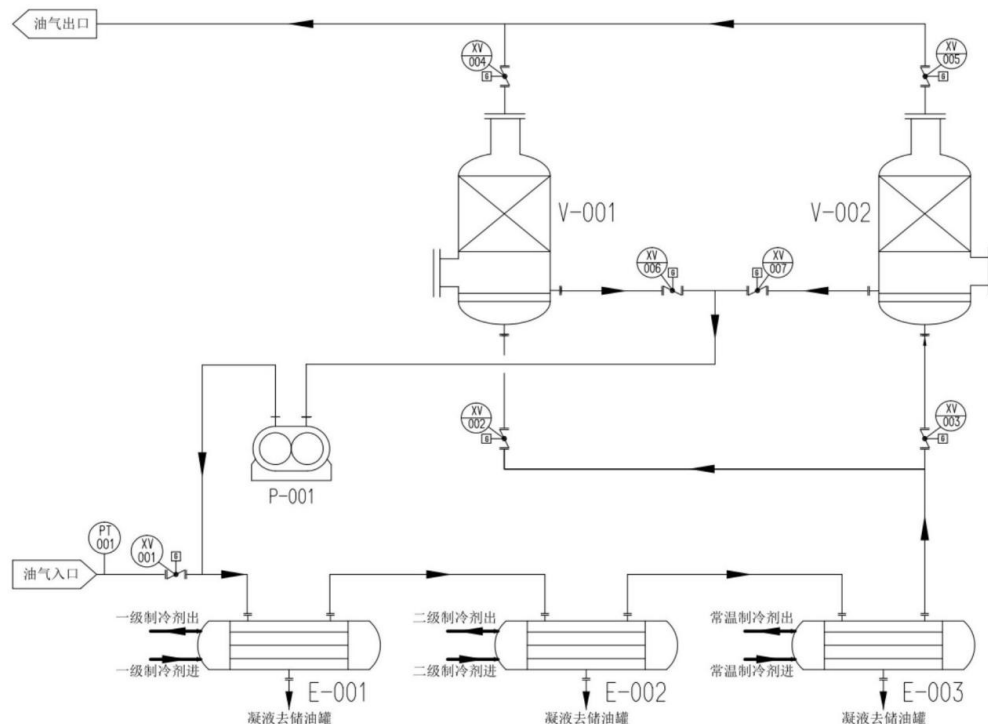


图1 油气回收装置流程

（二）制冷机组的工作原理

制冷机组是油气回收系统中用于降低气体温度的关键设备，其工作原理基于热力学中的制冷循环。制冷剂

通常采用压缩式制冷循环，主要包括压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器四个主要部件。制冷剂在压缩机中被压缩成高温高压气体，随后进入冷凝器，通过冷却介质（如

空气或水)的冷却,制冷剂由气态转变为液态。液态制冷剂经过膨胀阀减压后,进入蒸发器,在蒸发器中吸收油气中的热量,使油气温度降低,VOCs 冷凝成液态。制冷剂再次进入压缩机,完成一个循环。通过不断重复这一过程,制冷机组能够持续降低油气温度,实现 VOCs 的高效回收。

(三) 制冷机组设计的基本要求

在设计油气回收用制冷机组时,需考虑制冷机组的制冷量必须与油气回收系统的处理能力相匹配,确保在规定的工况下能够达到所需的冷凝温度。制冷机组的能效比(COP)应尽可能高,以降低运行成本,减少能源消耗。制冷机组的可靠性至关重要,需选择高质量的压缩机和关键部件,确保设备在长时间运行中稳定可靠。此外,制冷机组的设计还需考虑环境适应性,能够在不同的环境温度和湿度条件下正常工作。制冷机组的维护和操作应简便易行,便于日常维护和故障排除,延长设备的使用寿命。通过合理的设计和选型,制冷机组能够在油气回收系统中发挥最佳性能,实现高效、环保的油气回收。

二、油气回收行业制冷机组设计优化

(一) 油气回收制冷机组设计优化目标

针对油气回收行业的制冷机组设计优化,我们的核心目标集中在以下几个关键方面。首要任务是提升能效,这是通过优化制冷循环系统和部件设计来实现的,旨在降低能耗并提升制冷机组的性能系数(COP),从而达到节能减排的目的。其次,降低成本是设计优化不可或缺的一环,这包括降低设备制造成本、运行成本以及维护成本,以提高整体经济效益。增强可靠性是确保制冷机组长期稳定运行的关键所在,我们致力于通过优化设备结构和化霜流程,来减少故障发生,延长设备使用寿命。同时,环保性能的优化也是我们的一个重要目标,我们积极采用环保制冷剂,并优化排放控制系统,以最大限度地减少对环境的不良影响。最后,设计优化还需充分考虑设备的灵活性和适应性,确保其能够在各种工况和需求下高效稳定运行,从而提升系统的整体性能和竞争力。

(二) 关键优化技术

在制冷机组的设计优化中,关键优化技术包括制冷循环优化、热交换器优化、压缩机优化和控制系统优化。制冷循环优化通过改进循环流程和参数设置,提高制冷效率和能效比。例如,采用多级压缩或复叠式制冷循环,可以在不同温度区间实现高效制冷。热交换器优化通过改进换热器的设计和材料,提高换热效率,减少热损失。例如,采用高效翅片管或微通道换热器,可以显著提高换热性能。压缩机优化通过改进压缩机的结构和控制策略,提高压缩效率和可靠性。例如,采用变频压缩机可以根据负荷变化调整运行频率,降低能耗。控制系统优化通过引入先进的控制算法和智能化技术,实现制冷机组的精确控制和优化运行。

(三) 材料与工艺优化

在制冷机组的设计优化中,材料与工艺优化是提高设备性能和可靠性的重要手段。材料优化通过选择高性能的材料,提高设备的耐腐蚀性、耐磨性和热传导性能。例如,采用不锈钢或钛合金材料,可以提高热交换器的耐腐蚀性和使用寿命。工艺优化通过改进制造工艺,提高设备的加工精度和装配质量。例如,采用精密铸造或数控加工技术,可以提高关键部件的加工精度和一致性。表面处理技术通过改进材料的表面性能,提高设备的耐磨性和耐腐蚀性。例如,采用电镀或喷涂技术,可以在材料表面形成保护层,延长设备寿命。此外,焊接工艺优化通过改进焊接方法和参数,提高焊接接头的强度和密封性。例如,采用激光焊接或氩弧焊接技术,可以提高焊接质量和效率。通过材料与工艺的优化,可以显著提高制冷机组的性能和可靠性。

(四) 系统集成优化

在制冷机组的设计优化中,系统集成优化是提高整体性能的重要手段。系统集成优化通过优化各部件的匹配和协调,提高系统的整体效率和稳定性。例如,通过优化压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器的匹配,可以提高制冷循环的效率。系统集成优化通过引入先进的集成技术,提高系统的智能化和自动化水平。例如,采用智能控制系统和传感器技术,可以实现制冷机组的实时监控和自动调节。系统集成优化通过优化系统的布局 and 结构,提高设备的紧凑性和可维护性。例如,采用模块化设计和紧凑型布局,可以减少设备的占地面积和安装难度。此外,系统集成优化还需考虑系统的兼容性和扩展性,使其能够适应不同的应用场景和需求。例如,通过设计可扩展的接口和模块,可以方便地增加或替换系统组件。通过系统集成优化,可以显著提高制冷机组的整体性能和适应性。

三、油气回收行业制冷机组性能提升研究

(一) 性能评价指标

1. 制冷量、能效比、运行稳定性

在油气回收行业制冷机组的性能评价中,制冷量、能效比(COP)和运行稳定性是核心指标。制冷量指制冷机组在单位时间内能够从油气中移除的热量,通常以千瓦(kW)或冷吨(RT)为单位。制冷量的大小直接决定了机组的处理能力,需根据油气回收系统的规模和要求进行匹配。能效比(COP)指制冷机组的制冷量与输入功率的比值,反映了机组的能量利用效率。COP越高,表明机组在相同制冷量下消耗的能源越少,运行成本越低。运行稳定性指机组在长时间运行中的可靠性和一致性。稳定性高的机组能够减少故障率,降低维护成本,并确保油气回收系统的连续高效运行。

2. 环保性能(碳排放、制冷剂选择)

环保性能是评价制冷机组的重要指标,主要体现在碳排放和制冷剂选择两方面。制冷机组的运行能耗直接关联到碳排放量。通过提高能效比和优化运行策

略,可以有效降低碳排放,减少对环境的影响。传统制冷剂如R22和R134a对臭氧层和温室效应有较大影响。现代制冷机组倾向于采用环保制冷剂,如R507A,R407C或天然制冷剂(如氨和二氧化碳),以减少对环境的危害。

(二) 性能提升技术

1. 智能控制系统的应用

智能控制系统在制冷机组中的应用,是现代技术进步的显著体现。该系统通过集成先进的控制算法,如模糊控制和神经网络控制,结合高精度传感器技术,实现了对制冷机组的精准控制。传感器实时采集运行数据,如制冷量、温度、压力等,为系统提供了全面的监控。智能算法根据负荷变化,自动调节压缩机、膨胀阀等关键部件的运行参数,确保机组在最优状态下运行,显著提高了能效比和运行稳定性。

2. 变频技术的引入

变频技术在制冷机组中的应用,为能源效率的提升开辟了新的途径。该技术通过调节压缩机的运行频率,实现了制冷量的动态调整,完美适应了不同的负荷需求。在部分负荷工况下,变频压缩机能够显著降低运行频率,从而减少能耗,提高能效比。更重要的是,变频技术有效避免了压缩机的频繁启停,显著减少了机械磨损,延长了设备的使用寿命。通过精确调制冷量,变频技术能够更好地满足油气回收系统的实际需求,实现了整体效率的大幅提升。

3. 热回收技术的集成

热回收技术的集成,为制冷机组运行过程中的能源利用带来了革命性的变化。该技术通过回收机组运行中产生的废热或尾气余冷,实现了能源的再利用。将冷凝器排出的热量用于加热水或空气,不仅减少了能源的浪费,还满足了其他制冷系统增焓工艺或生活用热的需求。热回收技术与制冷机组的集成,形成了多联供系统,进一步提高了整体能效。

四、油气回收行业制冷机组设计优化与性能提升的应用前景

(一) 行业发展趋势

油气回收行业制冷机组的设计优化与性能提升正朝着高效化、智能化和环保化的方向发展,随着全球能源紧缺和环保法规的日益严格,高效节能成为行业发展的核心趋势。制冷机组的设计优化将更加注重能效比的提升,通过采用先进技术(如变频技术、余冷余热)和优化制冷循环,降低能耗和运行成本。智能化是行业发展的重要方向,智能控制系统的应用将更加广泛,通过实时监控、自适应调节和故障预警,提高机组的运行稳定性和管理效率。环保化是行业发展的必然趋势。环保制冷剂(如R32、天然制冷剂)的推广使用,以及碳排放控制技术的应用,将显著减少制冷机组对环境的影响。

(二) 应用前景分析

油气回收行业制冷机组的设计优化与性能提升具有广阔的应用前景,在石油化工、储运和加油站等领域,高效节能的制冷机组将显著降低能源消耗和运行成本,提高油气回收的经济效益。在环保要求严格的地区,采用环保制冷剂和低排放技术的制冷机组将更具市场竞争力,满足环保法规的要求。随着智能化技术的普及,配备智能控制系统的制冷机组将受到更多用户的青睐,通过实时监控和优化运行,提高系统的整体性能。此外,在分布式能源系统和多联供系统中,集成热回收技术的制冷机组将发挥更大的作用,提高能源利用效率,减少能源浪费。

(三) 面临的挑战与对策

在油气回收行业制冷机组的设计优化与性能提升过程中,仍面临一些挑战。技术研发的难度较大,特别是在高效制冷循环、智能控制和环保制冷剂方面,需要投入大量资源和时间进行研究和试验。对策是加强产学研合作,推动技术创新和成果转化。成本控制是一个重要挑战,优化后的制冷机组可能面临较高的制造成本和初期投资。对策是通过规模化生产和优化供应链,降低制造成本,同时通过提高能效和延长设备寿命,降低用户的总体拥有成本。市场接受度可能受到传统观念和初期投资的影响。对策是加强市场推广和用户教育,通过成功案例和经济效益分析,提高用户对优化后机组的认可度。此外,环保法规的不断变化也可能对行业发展带来不确定性。对策是密切关注政策动态,提前布局,确保产品符合最新的环保要求。通过积极应对这些挑战,油气回收行业制冷机组的设计优化与性能提升将迎来更广阔的发展空间。

结语

优化后的制冷机组在能效、稳定性和环保性能方面均取得了显著提升,为行业提供了重要的技术支持和实践参考。随着技术的不断进步和市场需求的不断增长,优化后的制冷机组将在油气回收领域发挥更大的作用,推动行业向高效、绿色、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1] 于博. 油气储运系统中的油气回收技术[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(24): 187-189.
- [2] 李科. 油气储运中油气回收技术的应用研究[J]. 中国储运, 2023, (10): 99-100.
- [3] 陈尧四. 油气回收装置中的冷凝技术对油气吸附效率的影响和改善建议[J]. 石油库与加油站, 2023, 32(03): 18-21+4.
- [4] 郭霆, 武思晨, 莫仁春, 等. 船舶油舱油气冷凝回收系统流程模拟与能耗优化[J]. 石油与天然气化工, 2023, 52(02): 55-64.
- [5] 武思晨. 船用VOCs冷凝回收实验平台的控制系统设计与研究[D]. 江苏科技大学, 2023.