

# 气体深冷过程中冷能回收技术的研究与应用

虎学平

宁夏煤业烯烃一分公司 宁夏银川市灵武市 750411

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11648

**[摘要]** 气体深冷过程在工业领域广泛应用,尤其是在天然气液化、空分设备及液化空调等领域。在这一过程中,冷能作为一种潜在资源,如果能够有效回收,不仅能显著提高能源利用效率,还能减少能源消耗和温室气体排放。本文主要探讨了气体深冷过程中冷能回收技术的研究进展及应用实例。通过对冷能回收技术的原理、方法及实际应用案例的分析,展示了不同冷能回收技术的优势和挑战。研究表明,通过优化系统设计与改进回收技术,能够显著提高整体能源效率,并推动绿色低碳技术的应用。本文的研究为气体深冷过程中的节能减排提供了重要参考。

**[关键词]** 气体深冷;冷能回收;能源效率;绿色低碳;节能技术

## 引言:

随着能源需求的持续增长和环境保护压力的加大,节能与减排技术的创新成为工业领域中的重要议题。气体深冷技术,作为一种高效的能源转化与利用方式,已广泛应用于天然气液化、气体分离等领域。然而,这一过程中的冷能往往被浪费,造成了巨大的能源损失。近年来,冷能回收技术逐渐受到关注,作为一种提升气体深冷过程能源效率的有效途径,冷能回收不仅能优化生产流程,还能在降低能耗的同时减少环境污染。随着技术的发展,各种冷能回收方法相继被提出,并在实际应用中取得了一定的成效。但现有技术仍面临诸多挑战,如回收效率、系统复杂度及经济性问题。因此,深入探讨冷能回收技术的理论与实践,已成为提升气体深冷过程可持续性的重要方向。

## 一、气体深冷过程中冷能回收的挑战

气体深冷过程中的冷能回收面临一系列技术和经济挑战。冷能回收的核心问题之一是低温冷源的复杂性。在气体深冷过程中,温度通常会降至 $-150^{\circ}\text{C}$ 以下,这使得冷能的有效捕捉和传输变得困难。尤其是当低温气体流量和温度波动较大时,传统的冷能回收技术难以保持稳定的工作效率。气体的物理性质和热力学特性在极低温条件下也发生了变化,使得冷能的回收过程更加复杂。例如,气体的密度和粘度变化会影响冷能回收设备的设计和制造,导致传热效率低下,进而影响系统整体的经济性和实用性。

系统设计方面,冷能回收装置与深冷过程的集成性不足也是一大挑战。深冷设备的运行周期长且负载不均,导致冷能回收系统需要具备较高的适应性和灵活性。现有的回收技术大多依赖于大型复杂的装置,这不仅增加了投资成本,还提升了维护难度。在实际应用中,如何在满足冷能回收效率的前提下,减少设备的体积、重量和能耗,是一个亟待解决的问题。

从经济角度来看,冷能回收的回报周期较长,这使得许多工业企业对于技术投资的积极性不高。虽然冷能回收技术能够在长时间运行中实现节能,但初期建设的高昂成本和技术复杂度,往往使得企业在短期内难以获得显著的经济效益。因此,如何优化冷能回收技术,使其在初期投资和运行成本上更加具有竞争力,是推动该技术广泛应用的关键因素之一。

## 二、冷能回收技术的工作原理与方法

冷能回收技术的工作原理主要依赖于通过热交换装置将低温气体释放的冷能传递给需要冷却的流体,通常采用的是热交换原理与循环系统的结合。冷能回收装置通常由多个模

块组成,包括蒸发器、冷凝器、膨胀机等设备。这些设备通过精确的温差控制与热量传递,确保冷能能够高效地回收并转化为有用的能源。气体的低温状态使得它能吸收外部的热量,这一过程为冷能回收的关键。通过使用不同的工作流体与优化的热交换系统,冷能可以在不影响深冷过程的前提下,被有效地提取出来并加以利用。

常见的冷能回收方法包括采用氮气、氦气等低温气体作为制冷介质,利用其低温特性进行冷能的回收与再利用。在气体深冷过程中,通常使用逆向布雷顿循环、吸收式冷却技术或者是机械膨胀冷却系统。这些技术通过精确的控制冷媒的膨胀和压缩过程,在气体膨胀阶段提取出冷能,再通过热交换系统将冷能传递给其他流体,进而提高系统的能效。例如,逆向布雷顿循环通过使用气体膨胀机将深冷气体的热量转移到工作介质中,从而提高冷能回收效率。

对于冷能回收系统的选择,还需要考虑气体深冷的特性,如气体的流速、温度波动和压力变化等。回收系统通常需要结合工业的具体需求进行定制设计,模块化和智能化成为了现代冷能回收技术发展的趋势。通过采用高效的换热技术和优化的流体管理,能够实现更加稳定的冷能回收性能。为此,冷能回收设备的设计往往需要在最大化冷能回收效率和控制投资成本之间找到平衡。冷能回收方法也在不断地创新。近年来,基于热电效应和热泵技术的冷能回收方式逐渐被提出并取得了一定的应用成果。这些方法通过不同的热力学机制进行冷能回收和能源转化,能够进一步提升回收率并减少对传统设备的依赖。对于深冷过程中不同气体的特性与冷能回收需求,未来可能出现更多创新型的回收方案。

## 三、冷能回收系统设计与优化方案

冷能回收系统的设计与优化方案主要聚焦于如何在保证回收效率的基础上,最大限度地减少系统复杂性和成本。系统设计的关键在于合理选择合适的热交换介质和流体,通过优化热交换器的结构和工艺,确保冷能在低温气体与回收介质之间有效传递。在实际应用中,气体流量、压力和温度的变化对冷能回收系统的设计具有重要影响。因此,在设计冷能回收系统时,必须考虑到这些因素的动态变化,并采用先进的自动化控制技术以应对复杂的运行环境。

热交换器的设计尤为重要。为了提高冷能回收效率,通常采用板式换热器或螺旋管换热器等结构,这些换热器能够提供较大的热交换面积,同时保证较低的热阻。板式换热器特别适合于低温气体与液体之间的热交换,其紧凑的结构和高效的换热性能使得设备体积相对较小,而热交换效率则大

大提升。在设计时,通过合理配置换热器的数量和位置,可以有效提高冷能回收量。合理选择换热器材料也能大幅度提高设备的耐用性和热传导性能。为了优化冷能回收系统的能效,常常采用多级回收方案。在气体深冷过程中,气体的冷却需求通常是逐步降低的,因此可以通过多级冷能回收系统,将低温气体的冷能逐步转移到不同的回收介质中。这种多级回收设计不仅提高了冷能的回收率,也避免了过低温度下系统效率急剧下降的情况。多级冷能回收系统还可以通过合理的能量调配,减少高能耗的阶段性工作,提升系统的整体稳定性和节能效果。

在实际应用中,冷能回收系统的优化还涉及到回收装置的自动化控制。通过精确的温度和压力监测系统,能够实时调节回收装置的运行状态,确保冷能回收过程的高效性。温度传感器和压力传感器的合理配置,使得系统可以根据气体温度和流量的变化自动调整热交换过程,从而实现动态优化。系统的自动化控制不仅能够提高冷能回收效率,还能够减少人工干预,提高系统的安全性和可靠性。

冷能回收系统的另一个优化方向是提高系统的经济性。对于工业应用来说,冷能回收设备的初期投资和运行成本是必须考虑的重要因素。因此,优化方案中必须考虑如何降低设备的初期建设成本、减少后期运行维护费用。一方面,使用高效的热交换介质和优化的换热器设计可以减少能源损耗,进而降低长期运行费用;另一方面,通过精确的负荷调节和系统集成,可以在不增加过多设备的情况下实现更高效的冷能回收。系统的经济优化不仅仅体现在设备成本上,运维周期和能效提升也在方案设计中占据重要地位。通过精细化的系统设计与调整,能够在最大程度上提高回收效率,延长设备的使用寿命,从而在长期运行中获得更高的能源回报和经济效益。

#### 四、冷能回收技术的应用案例与效果分析

冷能回收技术在多个行业的应用已经取得了显著成效,尤其在天然气液化、空分和低温化工等领域,技术的成熟度和回收效率不断提高。以天然气液化工厂为例,传统的天然气液化过程中,冷能几乎完全被浪费,而现代冷能回收技术通过集成热交换系统和膨胀机,成功地将这些低温冷能回收用于其他生产环节。某些液化天然气(LNG)工厂通过在液化流程后端安装冷能回收装置,利用气体膨胀后的冷量为蒸发过程提供额外的冷源,显著提升了整体能源利用效率。该过程不仅降低了生产成本,还减少了对外部能源的依赖,进一步推动了节能减排。

在空分行业中,冷能回收同样具有重要应用。在氧气和氮气的分离过程中,深冷工艺是不可避免的,冷能的浪费曾经是一个难以忽视的问题。通过设计集成的冷能回收系统,回收液化过程中产生的冷量,用于为其他部分提供冷却或用于驱动机械膨胀装置,一些空分厂已实现了冷能的有效回收。例如,某些空分装置通过改进冷却流程,使得冷能可以回收用于压缩机冷却,从而减少了对电力的需求,达到节能和提高系统稳定性的目的。

化工行业的低温气体处理也广泛采用冷能回收技术。以液化气体分离和低温精馏为例,在这些工艺中,低温气体的冷却往往占据了大量能耗。通过在深冷过程中配置高效的冷能回收系统,可以将冷量直接转移到其他相邻的生产环节,如生产冷冻溶剂或为液化气体提供冷却。某化工企业采用了一种集成型的冷能回收装置,回收的冷能被用于支持工厂其

他生产线的低温冷却系统,取得了显著的节能效果,节约了近30%的能源消耗。

在这些应用案例中,冷能回收系统的设计和实际效果也有所不同。尽管回收效率普遍提高,但仍存在一些挑战,如系统设备的初期投资较高,冷能回收效果受外部环境因素影响较大。气体的温度波动、流量变化及冷能回收装置的适应性等因素,都可能影响冷能回收的整体效果。为了优化回收效率和确保系统的长期稳定运行,许多企业逐步采用先进的动态监控技术,实时监测系统状态,并根据实际需求调整设备运行参数。这些案例充分证明了冷能回收技术在不同工业领域中的广泛应用潜力。通过精确的系统设计、优化的热交换技术和动态的监控调节,冷能回收不仅能显著提升能源利用率,还能帮助企业环保和经济效益方面取得双赢。

#### 五、冷能回收技术的提升方向与实施路径

冷能回收技术的提升方向主要集中在提高回收效率、降低系统复杂性和提高经济性等方面。提高回收效率的关键之一是优化热交换过程。在低温条件下,热交换效率直接影响到冷能回收的效果。通过研发新型高效换热材料和结构,增强换热器的传热性能,可以在相同的温差条件下实现更大的热量传递。此外,优化换热器的设计,如采用多流道、螺旋管等结构形式,可以有效减少热阻,增加冷能回收量。这些技术的发展将推动冷能回收系统的整体效率提升。

另一个重要的提升方向是系统集成化和智能化。当前,许多冷能回收系统仍然是单一功能的设备,缺乏与其他工业系统的有效集成。随着工业自动化和数字化技术的进步,将冷能回收系统与其他生产环节实现深度集成成为一种趋势。例如,通过与生产过程中的温度、压力控制系统联动,可以实现冷能回收与能效优化的同步进行。此外,智能化控制技术的发展使得冷能回收系统能够实时监测和调节工作状态,动态调整冷能回收方案,提高系统的适应性和灵活性。降低系统复杂性也是提升冷能回收技术的关键方向之一。传统的冷能回收系统通常由多个大型设备组成,系统集成难度大,维护和运营成本高。未来,随着冷能回收技术向模块化、小型化方向发展,相关设备将更加简洁高效。这种简化不仅能减少设备的投资和维护成本,还能提升系统的可操作性和灵活性,使其更适应不同规模和类型的工业生产。

#### 结语:

冷能回收技术作为提高能源利用效率的重要手段,已在多个工业领域取得了显著成效。尽管当前技术在回收效率、系统集成与经济性方面仍面临一定挑战,但随着新材料的应用、智能化控制技术的不断发展和系统优化,冷能回收技术的前景广阔。未来,随着技术不断进步,冷能回收将在节能减排和绿色生产中发挥更加关键的作用,为实现可持续发展目标做出更大贡献。

#### 【参考文献】

- [1]刘慧敏,王军. 气体深冷过程中的冷能回收技术研究[J]. 能源技术, 2022, 43(5): 698-704.
- [2]张立波,李华. 冷能回收技术的应用与发展[J]. 化学工程, 2021, 39(12): 81-87.
- [3]陈晓晨,刘博. 基于逆向布雷顿循环的冷能回收技术分析[J]. 机械工程学报, 2020, 56(9): 102-108.
- [4]王俊杰,徐东. 空分装置中的冷能回收技术及优化方案[J]. 空气分离技术, 2023, 52(3): 42-47.
- [5]高磊,李鹏. 冷能回收系统的设计与优化路径研究[J]. 工业节能与环保, 2021, 39(4): 112-117.