

LNG 接收站工艺优化中的冷能回收利用研究

李德凯（中海石油气电集团有限责任公司，北京 100028）

摘要：LNG 接收站是全球能源供应的重要环节，其在接收、储存和气化过程中会产生大量低温冷能。冷能回收不仅可以提高能源利用效率，减少能源浪费，还能降低环境负荷。随着技术的发展，冷能回收利用已成为 LNG 接收站工艺优化中的关键技术之一。通过改进系统设计、优化工艺流程、加强热交换和能量管理等措施，冷能回收可以实现能源的有效利用，带来显著的经济和环境效益。冷能回收技术的应用不仅对提升 LNG 接收站的整体运营效率具有重要意义，也对推动能源产业可持续发展起到了积极的促进作用。

关键词：LNG 接收站；冷能回收；能源利用；工艺优化；可持续发展

0 引言

在全球能源结构调整的背景下，LNG 接收站作为重要的能源枢纽，承担着液化天然气的接收、储存和气化任务。由于 LNG 气化过程需要释放大量的冷能，如何有效回收和利用这些冷能，成为提升 LNG 接收站整体能效的关键技术之一。冷能回收不仅有助于降低系统能耗，提高经济效益，还有助于减少对环境的负面影响。近年来，随着节能环保需求的增加，冷能回收的技术逐步得到广泛关注和应用。

1 LNG 接收站冷能回收的现状与挑战

LNG 接收站作为液化天然气的重要转运和气化设施，其在气化过程中产生的低温冷能具有较大的回收潜力。目前，LNG 接收站冷能回收技术的应用已取得一定进展，但仍面临许多挑战。在传统的 LNG 接收站工艺中，冷能常常以低温海水的形式直接排放，造成了能源的巨大浪费。随着能源紧缺和环保要求的日益提高，冷能回收的研究和应用逐渐得到重视。冷能回收技术不仅能够提高接收站的能效，还能减少能源消耗和降低温室气体的排放，具有显著的经济和环境效益。

尽管冷能回收在 LNG 接收站的应用前景广阔，仍面临诸多技术和经济上的挑战。LNG 接收站的气化过程具有较高的能源需求，而冷能回收技术的引入需要额外的设施和系统，这对设备投资和运行维护成本提出了较高要求。冷能回收系统的效率往往受到气候、操作条件和设备老化等因素的影响，导致回收效果的不稳定。由于冷能的低温特性，回收过程中需要采用高效的热交换技术，现有的热交换设备往往在低温下运行性能较差，造成热交换效率的下降。

在技术实现方面，LNG 接收站的冷能回收通常依赖于液氮或氨等介质的循环使用，但这种回收方式存

在一定的操作复杂性和安全隐患。因此，如何进一步提高回收系统的稳定性、可靠性以及回收效率，成为当前冷能回收技术面临的主要问题。在经济效益方面，冷能回收技术需要与 LNG 接收站的整体运营协调，确保技术应用能够带来长期的经济回报。随着研究的深入以及冷能回收技术的不断完善，LNG 接收站的冷能回收仍具有较大的优化空间，未来可通过加强设备研发、改进工艺设计等途径，不断推动冷能回收技术的应用。

2 冷能回收技术在 LNG 接收站中的应用分析

冷能回收技术在 LNG 接收站中的应用是提升整体能效、减少能源浪费的关键环节。在 LNG 接收站的气化过程中，大量低温冷能未能得到充分利用，往往以低温海水的形式直接排放。冷能回收技术的引入，可以将这些低温能量转化为有用的热能或者机械能，从而显著提高 LNG 接收站的能源利用率。当前，冷能回收技术主要体现在气化过程中的冷却系统、热交换装置以及备用能源的利用等方面。

液氮循环系统和氨回热系统是目前应用较为广泛的冷能回收方式。液氮循环系统通过将 LNG 液体气化过程中产生的低温能量转化为液氮，利用液氮的蒸发吸热特性回收低温能量，再通过压缩和扩展过程将液氮加热回收为有用的热能。此系统能够有效减少冷气流的排放，并在液氮回收的同时为 LNG 接收站提供一定的备用能源。氨回热系统通过氨的制冷特性对低温冷能进行回收，经过多级热交换后，氨被压缩并再次释放能量，应用于系统其他部分的加热需求。通过这种方式，LNG 接收站不仅能够回收低温冷能，还能将这些能量用于促进气化过程的优化和提升热效率。

除了液氮和氨回热系统，热电发电技术作为一种创新的冷能回收应用，在 LNG 接收站中展现了巨大的

潜力。热电发电系统通过热电材料的热电效应，将气化过程中的温差转化为电能，从而有效回收冷能。这些回收的电能不仅可供接收站内部设备使用，还可售电至电网，减少对外部电力的依赖，并显著降低运营成本。热电发电技术通过利用废弃的低温冷能，进一步优化能源结构，增强 LNG 接收站的能源自给能力。冷能回收技术在实际应用中仍面临诸多挑战，尤其是在设备与工艺的优化、系统能效的稳定性以及经济性的平衡方面。虽然冷能回收具有显著的节能和环境效益，但设备投入和后期维护成本较高，这对接收站的资金压力和投资回报提出了较高要求。

此外，回收系统的运行稳定性直接影响到接收站的生产效率，系统效率不稳定或技术不成熟可能导致回收效果不佳，进而影响整体运行效益。如何提高回收技术的可靠性，优化技术设计，确保系统在长期运行中的稳定性和经济性，仍是冷能回收技术发展中的关键问题。

3 优化 LNG 接收站冷能回收工艺的关键因素

优化 LNG 接收站冷能回收工艺的关键因素主要体现在冷能回收系统的设计、热交换效率、工艺流程的整合以及系统的运行管理等多个方面。为了实现高效的冷能回收，接收站需要在各个环节中找到合适的技术方案和工艺路径，从而最大限度地提高能效。冷能回收系统的设计是优化工艺的核心之一。设计时需要充分考虑 LNG 气化过程中产生的冷能特性，包括温度范围、冷量大小以及冷气流的流向等因素。通过合理配置热交换器和冷能回收设备，可以有效提高能量转化效率。例如，在设计中选择具有高效热交换能力的换热器，并结合低温冷能的流动特性进行布局优化，能够确保最大程度的冷能回收。选择适合的冷媒如液氮或氨作为热交换介质，可以进一步提升冷能回收的效率。

热交换效率的提升是优化冷能回收工艺的另一个关键因素。冷能回收系统中的热交换器直接影响着系统的整体性能，因此在选择和优化热交换器时，要注重其换热能力和工作稳定性。高效的热交换技术能够加速热量的传递，减少能量损失。与此同时，为了提升热交换器的换热效率，应关注冷媒的流动方式、传热介质的优化以及传热表面材料的选择，以提高换热器的性能。

工艺流程的整合也是提高冷能回收效率的重要途径。将冷能回收与 LNG 接收站的其他工艺流程进行优

化整合，能够使不同环节的能量得到有效利用。通过合理调度工艺过程中的热能流动，实现冷热量的平衡，进一步提升整体能效。例如，通过精确控制冷能回收的启动与停止时机，可以避免冷能回收过程中不必要的浪费，同时确保系统的高效运作。

优化 LNG 接收站冷能回收工艺的关键在于有效的系统运行管理。通过实时监控系统的运行状态，可以及时调整冷能回收设备的工作参数，确保其高效稳定地运行。建立完善的能效管理体系，结合大数据分析、人工智能和智能优化算法，能够精准预测和调度系统的能源需求与供给，自动调整回收策略。这种智能化管理方式可以最大限度地提高冷能回收效率，避免能源的浪费，并确保设备在最佳状态下运行。通过数据分析，不仅可以实时监控冷能回收的效果，还能针对系统中出现的潜在问题进行预警和优化调整，从而减少设备故障的发生。这些优化措施将显著提升 LNG 接收站的能源利用效率，降低运营成本，为推动能源的高效利用和可持续发展提供有力支持。

4 冷能回收技术与能源管理的协同作用

冷能回收技术与能源管理在 LNG 接收站中的协同作用，体现了两者在提升能源利用效率和优化系统运行中的重要角色。冷能回收技术通过将 LNG 气化过程中的低温冷能转化为有用能量，不仅降低了系统的能源消耗，也有效减少了能源浪费。仅有高效的冷能回收技术还不足以实现理想的能源效益，必须依托完善的能源管理系统，以确保冷能回收过程的最大化利用和系统整体性能的稳定性。能源管理系统在 LNG 接收站中的主要作用是对接收站的整体能源流进行监控、调度和优化。

通过实时监控系统的能源需求和供给情况，能源管理系统能够有效协调冷能回收设备与其他生产设施的运行，确保能源在各个环节之间的合理分配。在冷能回收过程中，能源管理系统通过数据分析与预测，能够提前调整设备运行模式和工艺参数，从而提高冷能回收效率并降低设备的能耗。

冷能回收技术与能源管理的协同作用，尤其体现在冷能回收的时机选择和回收量的优化控制上。在 LNG 接收站的运行中，冷能回收并非在所有时间段都能达到最优效果，因此必须通过能源管理系统根据实时数据和外部环境变化，调整冷能回收的启动和关闭时机。通过这种方式，能够确保冷能回收过程的最大效益。例如，在接收站气化负荷较低或气候条件较为

严苛时，能源管理系统能够降低冷能回收的负担，避免因过度回收导致设备的额外负荷。能源管理系统与冷能回收技术的结合，能够实现能源供应的多元化。在冷能回收过程中，不仅可以将冷能转化为热能，也可以为接收站提供一定的电力支持。通过对回收的冷能进行多重转化，能源管理系统可以在满足气化需求的同时，为系统内部其他设备提供必要的能源支持，进一步减少对外部能源的依赖。这种协同作用促进了能源的高效循环使用，为接收站的可持续发展提供了保障。

随着智能化技术的不断发展，能源管理系统将更加精准地进行能源调度，并与冷能回收技术实现深度整合。通过引入大数据分析、物联网技术和人工智能算法，能源管理系统能够实时预测系统能效的变化趋势，从而提前调整运行策略，以最大程度提高冷能回收技术的利用效率。这一协同作用不仅优化了 LNG 接收站的整体能效，还在降低运营成本、减少环境影响方面发挥了积极作用。冷能回收技术与能源管理系统的协同作用，对于提升 LNG 接收站的运行效率、节约能源和促进绿色发展具有至关重要的意义。

5 冷能回收技术的经济效益与环境影响

冷能回收技术在 LNG 接收站中的应用，不仅能够提高能源利用效率，还能带来显著的经济效益和环境影响。LNG 接收站作为能源基础设施，其气化过程常常伴随着大量低温冷能的浪费，采用冷能回收技术后，这部分冷能可以转化为有用的热能或电能，为接收站的其他工艺环节提供支持，减少外部能源的需求，降低能源采购成本，进而为运营商带来直接的经济回报。

在经济效益方面，冷能回收技术通过提高 LNG 接收站的能源利用率，显著降低了系统的整体能耗。这一技术的应用能够有效减少能源消耗，降低气化过程中的能源采购需求，尤其是在能源价格波动较大的情况下，能为接收站提供稳定的能源供给来源。冷能回收技术可以优化热能管理，减少高温废气的排放，降低因温控不当而导致的设备故障风险，从而延长设备的使用寿命，减少维护成本。

通过这种方式，接收站在实现冷能回收的同时，不仅能提高生产效率，还能显著降低长期运营成本，带来可观的经济效益。冷能回收技术对环境的影响同样不容忽视。LNG 接收站在气化过程中产生的大量冷能通常被直接排放到大气中，这不仅是能源浪费，还可能对环境产生负面影响。冷能回收技术的应用可以

有效减少冷气流的排放，降低对环境的热污染，并减少对空气质量的影响。在减少温室气体排放方面，冷能回收通过降低能耗，间接减少了传统能源的使用，从而减少了二氧化碳等温室气体的排放。这种减少排放的效益，符合全球范围内对可持续发展和绿色能源的要求。

冷能回收技术通过提升 LNG 接收站的能效，有助于推动低碳经济的发展。由于冷能回收能够有效减少对外部能源的依赖，进而降低传统能源消耗，这为全球减少温室气体排放、实现碳中和目标提供了有力的支持。随着环保政策的不断收紧，能源密集型产业面临着更加严格的排放标准，采用冷能回收技术的 LNG 接收站可以在减少碳排放的同时，满足日益增长的环保要求，从而在市场中保持竞争力。冷能回收技术在 LNG 接收站中的应用，不仅具有明显的经济效益，帮助企业减少能源成本、提高运营效率，还对环境产生积极影响，推动可持续能源发展。随着技术的不断进步和全球绿色低碳发展目标的推进，冷能回收技术的普及和应用将成为能源领域转型的关键之一。

6 结语

冷能回收技术在 LNG 接收站中的应用，极大提升了能源利用效率，减少了能源浪费，带来了显著的经济效益和环境影响。通过优化冷能回收工艺、提高热交换效率以及加强能源管理的协同作用，LNG 接收站能够实现能源的高效回收和合理利用，降低运营成本，促进低碳环保。随着技术的发展和应用的深入，冷能回收将在能源产业的可持续发展中发挥更加重要的作用，为全球能源转型和绿色发展做出贡献。

参考文献：

- [1] 王雨 .LNG 接收站冷能发电制氢技术研究 [D]. 中国石油大学 (北京),2022.
- [2] 张琳 .LNG 冷能用于发电与冷冻干燥耦合工艺设计及优化 [D]. 华南理工大学 ,2022.
- [3] 龚美茹 .LNG 接收站冷能用于发电与制冰工艺研究及优化 [D]. 华南理工大学 ,2018.
- [4] 王雨帆 .LNG 接收站冷能应用技术研究 [D]. 中国石油大学 (华东),2015.
- [5] 孙磊 . 提高 LNG 接收站冷能综合利用效率分析 [D]. 西南石油大学 ,2014.
- [6] 邢迎明 .LNG 气化过程中的冷能回收及利用 [J]. 能源研究与利用 ,2010(3):4.