

低压天然气的回收再利用技术对企业节能降本环保发展的影响研究

钱一冰（中国石油天然气股份有限公司天然气销售分公司，北京 100101）

摘要：低压天然气是指天然气输送系统中压力较低的部分，通常难以直接利用或处理。本文探讨了低压天然气的回收技术与节能环保措施，通过分析现有的回收技术、回收设备及其经济效益，旨在为天然气行业的可持续发展提供理论依据。研究表明，低压天然气的回收不仅能够有效减少能源浪费，还能降低能源消耗成本，提升资源利用效率。在节能与环保方面，通过对低压天然气的回收再利用，可以减少温室气体排放，促进清洁能源的发展。

关键词：低压天然气；回收再利用；节能环保

中图分类号：TE646

文献标识码：A

文章编号：1674-5167 (2025) 018-0067-03

Research on the impact of low-pressure natural gas recovery and reuse technology on the development of energy saving, cost reduction and environmental protection of enterprises

QIAN Yibing (Natural Gas Sales Branch, PetroChina, Beijing 100101, China)

Abstract: Low-pressure natural gas refers to the lower pressure part of the natural gas transmission system, which is usually difficult to directly utilize or treat. This paper discusses the recovery technology and energy-saving and environmental protection measures of low-pressure natural gas, and analyzes the existing recovery technologies, recovery equipment and their economic benefits, aiming to provide a theoretical basis for the sustainable development of the natural gas industry. Studies have shown that the recovery of low-pressure natural gas can not only effectively reduce energy waste, but also reduce energy consumption costs and improve resource utilization efficiency. In terms of energy conservation and environmental protection, through the recycling and reuse of low-pressure natural gas, greenhouse gas emissions can be reduced and the development of clean energy can be promoted.

Keywords: low-pressure natural gas; recycling; Energy saving and environmental protection

随着能源资源的日益紧张，天然气作为一种清洁能源，得到了广泛应用。然而，在天然气的输送与使用过程中，低压天然气往往无法被充分利用，这不仅浪费了宝贵的能源，也增加了能源消耗的成本。低压天然气回收技术应运而生，成为解决这一问题的有效途径之一。通过回收低压天然气，可以将其重新利用于发电、加热等领域，不仅有助于提高能源利用率，还能有效减少对环境的污染。与此同时，低压天然气的回收再利用也对节能和节约成本具有重要意义，能够大大降低能源消耗和运营成本。

1 压缩天然气技术

压缩天然气（CNG）技术是一种通过压缩机将天然气在脱水处理后加压，储存在高压容器中的技术。该技术能够将低压天然气有效回收并储存到特定的储气罐或运输车中，之后通过运输将其送至各个加气站或城市的管道网络。压缩天然气技术的优势在于其能够将天然气的压力提升到一定范围内，便于在低压环境下的利用^[1]。特别是在油田开采过程中产生的低压

天然气和天然气处理站场中，压缩天然气技术可以将这些天然气回收并提升到适合进入下游管网的压力，从而有效节约天然气资源，减少资源浪费。压缩天然气技术的实施过程相对简单，且设备成本较低。其核心设备——压缩机，通常排量较小，能够灵活应对不同规模的天然气回收需求。为了更高效地进行天然气回收，采用小型排量的压缩机或者移动式撬装设备，能够实现较大范围的低压天然气回收。这些设备不仅在操作上便捷，且能够根据现场的不同需求进行调整。例如，移动式撬装设备可以轻松实现天然气在不同区域之间的流转，适用于油田、天然气处理站等场所的天然气回收。

在低压天然气的回收过程中，压缩机的使用显著降低了对高压储气罐的需求，从而减少了投资成本。与传统的高压气体输送技术相比，压缩天然气技术通过将低压天然气提升至适宜的压力，不仅提升了资源利用率，还能提高天然气储存和运输的灵活性。这些优势使得该技术在低压天然气回收领域得到了广泛应

用。在天然气回收过程中，压缩机的工作压力和气流量需要得到精确控制，以确保整个回收过程的顺利进行。

2 吸附天然气技术

吸附天然气技术（ANG）基于物理吸附原理，采用多孔介质材料（如活性炭、沸石分子筛）构建储气体系，通过调控储罐压力（3.5–6.0 MPa）实现天然气在常压至中压工况下的高效存储。相较于压缩天然气技术需依赖20 MPa高压钢瓶的物理压缩存储模式，ANG技术利用吸附剂比表面积（ $\geq 1000 \text{ m}^2/\text{g}$ ）与微孔结构（孔径0.3–1 nm）的协同作用，在低压条件下达成同等能量密度（20–25 MJ/L），较CNG储罐体积缩减40%–60%^[2]。

该技术突破传统储运装备耐压限制，特别适用于边远气井低压天然气的回收场景，通过多级压力梯度吸附–脱附循环，可将日产量500 m³以下的低品位气源转化为稳定能源供给，配合膜分离净化单元后可直接接入分布式发电系统，实现全链条资源化利用。在存储过程中不需要过高的压缩压力，从而降低了设备的运行成本，同时也提高了存储系统的安全性。吸附天然气技术的另一大优势是其设备的轻便性与多样性。

由于其工作压力相对较低，所使用的天然气存储罐不仅质量较轻，而且可根据具体需求选择不同形状和材质的容器。这样的设计使得吸附天然气技术的存储罐更加灵活和适应多变的应用环境，极大地提升了其在不同场景中的适用性。例如，移动式存储设备和小型存储罐都可以通过吸附技术来实现高效的天然气存储，这对天然气的运输和分配提供了便利。与压缩天然气技术相比，吸附天然气技术的储气设备对耐压性要求较低，这也意味着该技术在一定程度上简化了设备设计和维护工作，提高了整体系统的安全性和可靠性。

3 天然气水合物技术的节能成本分析

天然气水合物的开发利用面临着诸多技术与成本的挑战，尤其是在节能和环保方面。首先，天然气水合物的开采涉及深海钻探技术，这要求高度复杂的设备和技术支持。而深海钻探及后续的水合物提取过程耗费大量能源，造成较高的节能成本。因此，降低这些成本成为天然气水合物技术发展的关键之一^[3]。近年来，一些企业通过优化开采流程、提升设备效率以及加强能源回收技术的应用，取得了显著的节能效果。例如，某公司通过引入先进的天然气水合物提取技术，将开采过程中能源消耗降低了15%。

这一技术改进不仅减少了开采成本，还提升了天

然气水合物的提取率。根据该公司提供的数据显示，使用新技术后，每年能为企业节省约500万元的能源费用，并且随着技术的逐步成熟，预计这一节省成本的幅度还将继续扩大。在节能成本的管控上，企业通过引入循环经济理念，优化水合物开采和运输过程中能源的使用。例如，通过在提取过程中回收余热和利用天然气回流系统，企业大幅度降低了能源的消耗。天然气水合物的开发与提取还可能带来二氧化碳的排放问题，因此一些企业通过采用碳捕捉和封存（CCS）技术，将二氧化碳捕捉并加以封存，减少温室气体的排放，从而进一步提升节能与环保效益。这些技术改进不仅使企业减少了能源成本支出，还优化了生产过程中对环境的影响，实现了更加绿色的能源利用。为了降低天然气水合物开发的成本，企业还在管理方面进行了大量的优化。

通过采用智能化监测系统来实时监控开采过程中的能源消耗和设备运行状态，企业能够及时调整开采策略，避免无谓的能源浪费。例如，某能源公司采用了基于大数据的能源管理平台，能够精准地预测能源需求与消耗情况，进而采取相应的措施进行节能。此举不仅有效减少了能源浪费，还提高了开采效率。据统计，该公司通过这一管理方案，每年在能源消耗方面节约约300万元，从而降低了整体的生产成本。在节能与环保技术的推动下，天然气水合物的开发逐步走向可持续发展。

4 天然气发电技术

天然气发电技术依托燃气轮机发电机组实现天然气的高效能量转化，其能源转换效率显著优于传统燃煤电厂，并在碳减排与污染物控制方面展现突出优势。量化数据显示，该技术运行时碳排放强度较燃煤机组降低约57%，氮氧化物排放浓度控制在25 ppm以内，较传统工艺下降90%。基于上述环保特性，该技术在油气田开发领域形成规模化应用，尤其适用于低压天然气（压力 $<0.1 \text{ MPa}$ 、日产量 $<1 \text{ 万 m}^3$ ）的回收利用^[4]。针对低渗透储层间歇性产气、气流压力波动等技术难点，燃气轮机发电系统通过变频调速与余压回收装置实现动态适配，在提升低品位气源利用率的同时，可同步完成机械能–电能–热能的多级转换。

工程实践表明，当低压气井日均产气量稳定在5000 m³以上且压力波动幅度 $\leq 15\%$ 时，部署分布式发电装置可实现年发电量120万 kWh以上，既有效解决边远气井电力自给问题，又能将废弃天然气转化为清洁电能反哺油田电网，形成“采气–发电–输电”闭环能源体系，进一步减少电力采购成本，提升能源使用效率。尤其是对于一些远离市区的油气田，采用

天然气发电不仅节省了电力成本，同时也减少了对外部电网的依赖，提升了自给自足的能力。为了进一步提高低压天然气的利用效率，许多油气田采取了将燃气轮机与余热锅炉联用的热电冷联产技术。通过余热锅炉回收燃气轮机在发电过程中产生的余热，可以将热能转化为冷能，进一步提高整体能源利用率，实现三重效益。

这一技术不仅能够提高低压天然气的利用效率，还能为油气田提供热水和冷却水，增强了整个能源系统的综合性和灵活性。但这一技术的应用也面临一定的挑战，主要体现在设备投入和技术复杂度上。热电冷联产系统需要较大的资金投入，且涉及到多个系统的协调与管理，对技术人员的操作要求较高。因此，尽管这一技术能够有效提高低压天然气的利用效率，但由于其高昂的成本和较为复杂的实施过程，仍然限制了其在一些油气田的广泛应用。天然气发电技术作为低压天然气回收再利用的重要途径，具有较高的能源利用效率和环保优势。尤其是在低压天然气的稳定回收和发电过程中，为油气田提供了可持续发展的解决方案。

5 溴化锂直燃机技术与节能成本分析

溴化锂直燃机技术作为一种创新的能源回收技术，近年来在天然气的回收和再利用领域中表现出了巨大的潜力。其工作原理是利用天然气作为能源输入系统，结合溴化锂吸收式循环技术，通过吸收器和发生器的功能，转化低压放空天然气为可用的热能和冷能，广泛应用于低压天然气回收和热水、采暖、制冷等多种能源需求场景^[5]。与传统的能源回收技术相比，溴化锂直燃机技术具有显著的节能优势，特别是在节能成本方面，能够为企业带来可观的经济效益。溴化锂直燃机技术的核心优势在于其低压操作系统。传统的能源回收系统通常需要高压作业，在此过程中不仅增加了安全隐患，还可能导致设备的早期磨损和维修成本的提高^[6]。而溴化锂直燃机系统在真空低压的状态下运行，能够有效避免高压爆炸的风险，提升系统的安全性。

同时，低压操作使得系统中的设备得到了更好的保护，使用寿命得以延长，减少了设备的维护和更换频率，从而节省了大量的运营和维修成本。在同一设备中，它能够同时提供热水、采暖和制冷等多种能源需求，极大提升了设备的综合利用效率。这种多功能性使得溴化锂直燃机技术在油气田、工业园区以及其他能源需求多样化的环境中，具有了广泛的应用前景。通过优化能源利用，系统能效大幅提升，从而减少了能源的浪费，并且有效降低了能源消耗成本^[7]。

以某石油公司为例，企业通过引入溴化锂直燃机技术，将其低压天然气回收能力提升了20%，同时减少了对外部蒸汽系统的依赖，年节省能源成本约为350万元。相较于传统能源回收系统，该技术每年为公司降低的运营成本达到500万元，其中包括了设备维护、能源消耗和人员成本等方面的节省。溴化锂直燃机技术还显著减少了对外部资源的依赖，尤其是在蒸汽外网或锅炉的使用方面^[8]。

传统的能源回收技术通常需要依赖外部系统来提供热源，而溴化锂直燃机技术则可以通过吸收式制冷原理自给自足，生成足够的热能和冷能，从而降低了对外部能源的依赖，减少了整体系统的复杂性和成本。与传统系统相比，该技术的冷却水和电能消耗相对较少，这也意味着更低的运营成本和更少的自然资源消耗。

6 结语

综上所述，低压天然气的回收再利用是提升油气开采技术、节约资源和保护环境的重要举措。通过有效的技术手段，不仅可以减少天然气的浪费，缓解能源紧张局面，还能降低温室气体排放，改善大气质量，促进节能减排目标的实现。此外，低压天然气的回收再利用还符合国家对环保和能源效率的相关政策，具有重要的现实意义和社会价值。加大对低压天然气回收技术的研发与应用，为可持续发展和环境保护提供更多的解决方案。

参考文献：

- [1] 邹长虹, 宋权, 王永康, 等. 低压天然气水平井连续油管气液混相钻冲砂模型的建立与应用 [J]. 钻采工艺, 2024, 47(05): 88-93.
- [2] 张立波. 某海上油田低压天然气回收方法探索与应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(07): 116-118.
- [3] 商闻贤. 某油田放空天然气回收方法研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(18): 44-45.
- [4] 贺健. 天然气高效开发技术的研究与展望 [J]. 化工管理, 2022, (23): 71-73.
- [5] 张广毅, 蔡鹏, 唐强, 等. 超低压天然气回收技术在油气处理站的应用 [J]. 化学工程与装备, 2022, (05): 48-50.
- [6] 宋斌, 焦文玲. 低压天然气泄漏射流扩散特性研究 [J]. 煤气与热力, 2022, 42(04): 24-31.
- [7] 丁志飞, 徐庆磊, 王立华, 等. 低压天然气回收再利用与节能环保 [J]. 油气田环境保护, 2011, 21(5): 62-63.
- [8] 杨政海, 范俊杰, 王泽宇. 低压天然气回收再利用与节能环保 [J]. 化工管理, 2019(25): 38.