

天然气集输及净化处理工艺技术研究

聂广彬（山东海科化工有限公司，山东 东营 257000）

金鑫（新疆油田公司准东采油厂海外事业部，新疆 乌鲁木齐 830000）

杨松（东营联合石化有限责任公司，山东 东营 257000）

摘要：天然气作为清洁能源的重要代表，其有效集输和高效净化处理对能源安全和环境保护至关重要。天然气的集输技术包括先进的压缩机和管道设计、气液两相流模型优化以及远程监控系统的应用，这些技术措施旨在提高能源利用效率和运输安全性，天然气的净化处理工艺涉及吸收剂循环喷淋脱硫、CO₂捕集和甲烷回收等技术，目的是降低气体排放、提升天然气的质量和可持续利用性。本文旨在深入探讨这些关键技术的应用与发展，为天然气资源的高效利用和环境友好型能源系统的建设提供理论支持和实际指导。

关键词：天然气；集输技术；净化处理

0 引言

在全球能源结构调整的背景下，天然气作为清洁能源的地位日益突出，其集输和净化处理技术成为能源行业关注的焦点。天然气的高效集输技术不仅涉及到压缩机、管道设计等基础设施的优化，还需要应对复杂的气液两相流问题和运行状态监测的挑战，以确保能源运输的安全和稳定。深入研究和应用天然气集输及净化处理工艺技术，对于推动清洁能源的发展，实现经济、社会和环境的可持续发展具有重要意义。

1 天然气集输技术

1.1 采用先进的压缩机和管道设计，最大限度提高压缩站效率

压缩机作为天然气集输系统的核心设备，其性能直接影响到整个系统的运行效率和能源利用率，采用先进的压缩机技术，例如离心式压缩机、螺杆式压缩机等，能够实现更高的压缩比和更低的能耗。这些先进的压缩机具有更高的压缩效率和更广的工作范围，能够满足不同压力和流量要求，同时具备更好的稳定性和可靠性。

此外，优化管道设计也是提高压缩站效率的重要手段，合理选择管道材料、管道直径和布局方式，减少管道摩擦阻力和泄漏损失，最大限度地降低能源消耗和运输成本。采用流体动力学模拟和优化设计算法，可以对管道系统进行精确的分析和优化，确保天然气在管道内的流动稳定和能量传输效率^[1]。

天然气在管道内常常伴随着液态成分，如水蒸气或液态碳酸氢盐等，这些液态成分会对气体的流动特

性和管道的传热传质过程产生影响，采用先进的气液两相流模型，如VOF模型、Eulerian-Eulerian模型等，能够更准确地描述气液两相流的流动行为和相互作用规律，为管道设计和压缩站运行提供科学依据。

1.2 应用先进的气液两相流模型和管道设计，优化气体输送过程

对于天然气集输技术，应用先进的气液两相流模型和管道设计是提高系统运行效率和安全性的关键因素，气液两相流模型在天然气输送过程中具有重要作用，能够准确描述气体与液态成分（如水蒸气、液态碳酸氢盐等）在管道内的流动行为和相互作用，为系统优化提供科学依据。

在管道设计方面，采用先进的气液两相流模型可以有效优化管道的尺寸、布局和操作参数。例如，通过VOF模型（Volume of Fluid）或Eulerian-Eulerian模型，可以精确模拟气液两相流的界面形态和相对运动，进而预测出现气液分离、液滴输送等问题的可能性，并指导设计合理的防护措施，结合CFD（Computational Fluid Dynamics）数值模拟技术，可以实现对气液两相流动的实时动态监测和分析，精确评估管道内的流体流动特性和能量传输效率^[2]。

优化气体输送过程需要考虑多种因素，包括管道内流体的压力、温度、流速等参数，以及管道的材料选择和防腐蚀措施。先进的管道设计不仅要保证系统的运行安全性和稳定性，还要最大限度地提高能源利用效率，减少能量损失和环境影响，采用先进的气液两相流模型和管道设计技术，能够有效优化天然气集输系统的运行参数，提高系统的整体效率和可靠性。

1.3 选择耐高压、耐腐蚀的管道材料，延长管道使用寿命

天然气输送过程中，管道需要承受高压和长期运行的环境，因此管道材料的耐压性能至关重要。常见的耐高压管道材料包括碳钢、合金钢、不锈钢等。碳钢管道具有较高的强度和刚度，能够承受较大的压力，适用于一般压力等级的天然气输送。而合金钢和不锈钢管道则具有更高的耐腐蚀性能，适用于海底、高温、高压等特殊环境下的天然气输送。除了耐高压外，管道材料还需要具备良好的耐腐蚀性能，以延长管道的使用寿命，天然气中常含有少量的酸性物质和硫化物等腐蚀性成分，对管道材料会造成腐蚀和损伤。

在管道材料选择方面，除了考虑其耐压和耐腐蚀性能外，还需要考虑成本、加工性能、环境友好性等因素，合理选择管道材料，可以有效降低天然气集输系统的运行成本和维护成本，提高系统的可靠性和安全性，结合新型的防腐蚀涂层和防腐蚀技术，如阴极保护、阳极保护等，能够进一步提升管道的耐腐蚀性能，保障管道系统的长期运行稳定性。选择耐高压、耐腐蚀的管道材料是保障天然气集输系统运行安全和延长管道使用寿命的重要措施，通过合理选择管道材料，并采用有效的防腐蚀措施，可以有效降低管道系统的运行风险，提高系统的整体效率和可靠性^[3]。

1.4 建立远程监控系统和智能调度平台，实现对管道运行状态的实时监测

远程监控系统通过传感器、数据采集设备和通信技术，实现对天然气集输管道运行状态的实时监测和远程控制。其中，传感器可以监测管道内流体的压力、温度、流速等参数，实现对管道运行状态的全面监测。数据采集设备负责将传感器采集的数据传输至监控中心，并对数据进行处理和分析。通过网络通信技术，监控中心可以实时接收管道运行数据，并及时响应异常情况，采取相应的应对措施，保障管道运行的安全稳定。智能调度平台通过对管道运行数据进行分析和挖掘，实现对管道运行状态的预测和优化调度。基于大数据分析技术，智能调度平台可以实时监测管道运行的各项指标，并通过数据模型和算法对管道运行状态进行预测和评估。

1.5 采用先进的泄漏检测装置，确保管道运行安全

泄漏检测装置通过高精度传感器和数据处理系统，实时监测管道系统内的压力、流量和液位等参数，以便及时发现并定位任何可能的泄漏点。这些装置能

够识别管道系统中的微小变化，并通过数据分析来判断是否存在泄漏风险，从而保障管道运行的安全性。高精度传感器是泄漏检测装置的核心部件之一，能够实时监测管道系统内的压力、温度和流量等关键参数。这些传感器通常采用微机电系统（MEMS）技术，具有高灵敏度和快速响应的特点，能够检测到微小的压力和流量变化。数据处理系统负责收集、处理和分析传感器采集的数据，通过算法识别和定位可能的泄漏点，包括基于统计模型的异常检测、基于机器学习的泄漏预测和定位算法，能够快速响应泄漏事件，减少泄漏对管道系统的影响。

除了泄漏检测装置本身的技术特点，其部署和集成也是确保管道运行安全的关键因素。泄漏检测装置通常与管道系统的远程监控系统和智能调度平台集成，实现对管道运行状态的实时监测和智能化管理，远程监控系统可以接收和分析泄漏检测装置的数据，及时发出警报并通知运维人员进行处理，智能调度平台基于实时数据和预测模型，能够优化管道运行参数，降低泄漏风险，提高管道系统的整体安全性和稳定性。

2 天然气净化处理工艺技术

2.1 采用吸收剂循环喷淋脱硫工艺，提高脱硫效率

在天然气净化处理工艺中，采用吸收剂循环喷淋脱硫工艺基于化学吸收原理，通过将含硫气体与吸收剂接触并吸收其中的硫化物，从而实现天然气中硫化氢等有害成分的去除。吸收剂循环喷淋脱硫工艺的关键是选择合适的吸收剂和喷淋系统，以及合理设计反应器结构，从而提高脱硫效率和降低能耗。常用的吸收剂包括氢氧化钠（NaOH）、氨水（NH₃）、氨氧化液（MEA）、乙醇胺（MEA）等。这些吸收剂具有良好的化学反应性和吸收性能，能够有效吸收硫化氢等有害气体，并形成稳定的硫化物化合物。在选择吸收剂时，需要考虑其吸收性能、再生能力、成本和环境友好性等因素，以确保脱硫效率和经济性的平衡。喷淋系统通常由喷嘴、喷淋器、循环泵和控制系统等组成，用于将吸收剂均匀喷淋至气体流中，实现气液接触和反应。合理设计喷淋系统可以实现吸收剂的充分利用和均匀分布，提高脱硫效率，采用先进的喷淋技术，如雾化喷淋技术、旋涡喷淋技术等，能够进一步提高喷淋效果，降低能耗和吸收剂的消耗^[4]。

2.2 应用物理吸附剂或化学吸附剂，实现CO₂的高效捕集和回收

物理吸附剂通常是多孔吸附材料，如活性炭、分

子筛等,其具有高比表面积和孔隙结构,能够吸附CO₂分子。化学吸附剂则是一种具有特定化学反应性的材料,如胺类化合物(如MEA、DEA等),能够与CO₂发生化学反应并形成稳定的化合物。这些吸附剂通过吸附或化学反应的方式,将天然气中的CO₂分离出来,并实现高效捕集和回收。物理吸附剂具有高比表面积和孔隙结构的特点,能够提供充分的吸附位置,并实现CO₂的快速吸附和释放。化学吸附剂则具有特定的化学反应性,能够与CO₂发生化学吸附反应,形成稳定的化合物,并实现CO₂的高效分离和回收。在选择吸附剂时,需要考虑其吸附容量、再生能力、耐久性和成本等因素,以确保CO₂的高效捕集和回收。吸附装置通常包括吸附柱、吸附床、再生装置等组件,用于将天然气中的CO₂吸附至吸附剂表面,并通过适当的再生操作将CO₂从吸附剂中解吸出来。合理设计吸附装置和工艺流程可以实现吸附剂的充分利用和CO₂的高效捕集和回收,同时降低能耗和操作成本。

2.3 采用膜分离或吸附分离技术,实现甲烷的高效回收

对于天然气净化处理工艺技术中的膜分离或吸附分离技术,它们被广泛应用于实现甲烷的高效回收。膜分离技术利用不同透过性的膜材料,如聚合物膜、陶瓷膜等,通过渗透和扩散作用将甲烷与其他组分分离开来。而吸附分离技术则依赖于吸附剂对甲烷的吸附能力,通过控制吸附条件实现甲烷的选择性分离和回收。这些技术在天然气净化处理中,对提高甲烷回收率和产品纯度具有重要意义。

膜分离过程基于不同的渗透性和选择性,将甲烷从天然气中分离出来。聚合物膜通常是最常见的选择,其具有较高的选择性和渗透性能,可以有效地将甲烷与其他组分分离开来。陶瓷膜由于其良好的热稳定性和化学稳定性,通常用于高温或腐蚀性气体的分离,能够提供更高的分离效率和更长的使用寿命。膜分离技术的优势在于操作简单、能耗低、占地面积小,并且可以实现连续操作,适用于不同规模 and 要求的甲烷回收工艺。吸附分离过程依赖于吸附剂对甲烷的选择性吸附能力,通过调节吸附条件(如压力、温度)和选择合适的吸附剂(如分子筛、活性炭等),实现甲烷与其他组分的有效分离。吸附分离技术具有选择性高、操作灵活、处理能力强等优点,适用于处理复杂天然气组分和提高产品纯度的需求。

2.4 采用冷却结晶技术,实现烃类物质的分离

冷却结晶技术在天然气净化处理中是一种重要的物质分离方法,其原理基于溶解度随温度变化而变化

的特性。在天然气中,烃类物质通常以溶解的形式存在于气相中。通过降低气体温度,可以使溶解在气体中的烃类物质达到饱和状态,进而在晶体的形式下析出,这种分离过程是通过在适当的温度和压力条件下,调控溶解度来实现的,利用冷却设备,如换热器或冷凝器,将天然气中的温度降低到预定的结晶温度以下。

结晶器件的设计是关键,它通常包括一个冷却室或冷却塔,其中通过控制温度和压力来促使溶解在气相中的物质结晶析出。结晶器件的设计需要考虑到操作的稳定性、晶体的生长速率以及晶体尺寸的控制。在结晶过程中,还需使用适当的结晶剂或添加剂来影响晶体的形成和生长。这些添加剂通常用于调节晶体的生长速率和晶体尺寸,从而控制最终产品的纯度和质量。结晶过程完成后,通过物理分离方法将晶体从气流中分离出来,并进一步进行处理和回收,过滤或离心分离等步骤。冷却结晶技术的优势包括操作简单、易于控制、能耗低、不需要添加大量化学品,对环境友好等特点,在天然气处理中,它可以有效地实现烃类物质的高效分离和回收,提高产品的纯度和市场竞争力。

3 结语

本文通过探讨天然气集输及净化处理工艺技术的研究和应用,深入分析了其在能源安全和环境保护方面的重要性和现实意义。天然气作为清洁能源,在全球范围内的使用呈现增长态势,有效的集输和高效的净化处理技术对其可持续发展起到关键作用。通过采用先进的压缩机和管道设计、气液两相流模型优化、以及脱硫、CO₂捕集等工艺技术,可以显著提高天然气的利用效率和环境友好性。未来的研究可以进一步探索和开发新型的技术手段,以应对能源资源的有限性和环境保护的持续需求,推动天然气行业向更加智能化、高效化和可持续化方向发展。

参考文献:

- [1] 黄希.含硫天然气集输过程颗粒沉积机理与控制[J].内蒙古石油化工,2024,50(02):50-53.
- [2] 黄成于,郭留杰,黄潇贤,等.高含硫天然气集输管道CRA复合管AUT检测研究与应用[J].中国特种设备安全,2023,39(12):74-80.
- [3] 何海洋,王钰文,陈林燕,等.基于试验的天然气集输管道失效性机理分析[J].科学技术与工程,2023,23(35):15044-15051.
- [4] 赵小军,张勇,段奇磊.天然气集输管道损害因素分析及治理措施[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(22):21-23.