

天然气处理厂天然气净化工艺技术优化

任小明 程 槟 魏 宏 李运录 林 洁

中国石油化工股份有限公司西南油气分公司采气一厂 四川 德阳 618000

摘要：本文概述了天然气净化工艺技术的优化策略，包括工艺改进、设备升级及自动化与智能化控制等方面。通过简化流程、采用新型材料、选用高效节能设备以及建立智能优化系统，旨在提升净化效率、降低能耗与成本，并促进环境友好型发展。这些策略的实施有望推动天然气净化技术的持续进步与广泛应用。

关键词：天然气净化；工艺技术优化；智能化控制

引言：随着能源需求的增长和环保意识的提升，天然气作为清洁能源的重要性日益凸显。天然气中常含有硫化物、二氧化碳等杂质，需通过净化处理以确保其安全高效利用。本文旨在探讨天然气净化工艺技术的优化策略，以提升净化效率、降低能耗与成本，促进天然气产业的可持续发展。

1 天然气净化工艺

1.1 常见的天然气净化方法

1.1.1 脱硫

脱硫是天然气净化中最关键的一环，因为硫化物（如 H_2S 、 SO_2 ）对管道和设备的腐蚀性强，且燃烧后会产生二氧化硫等有害气体。脱硫方法主要分为物理吸附、化学吸收和氧化还原三大类。（1）物理吸附：利用固体吸附剂（如氧化锌、活性炭、分子筛等）的多孔结构，通过物理吸附作用将硫化物从天然气中分离出来。这种方法操作简便，但吸附容量有限，需要定期更换吸附剂。（2）化学吸收：采用碱性溶液（如单乙醇胺MEA、二乙醇胺DEA等）作为吸收剂，与天然气中的硫化物发生化学反应，生成可溶性的硫化物盐类。随后，通过加热或其他方式使吸收剂再生，同时回收硫化物。湿法脱硫效率高，但能耗较大，且废液处理复杂。

（3）氧化还原：利用氧化剂（如空气、过氧化氢等）将硫化物氧化为硫酸盐或硫单质，再通过固液分离的方式去除。这种方法适用于高含硫天然气的处理，但成本较高，且可能产生二次污染。

1.1.2 脱碳

脱碳主要是去除天然气中的二氧化碳，以减少温室气体排放并提升天然气热值。常用的脱碳方法包括物理吸收和膜分离技术。（1）物理吸收：利用二氧化碳在特定溶剂中的高溶解度，通过加压使二氧化碳溶解于溶剂中，再减压解吸实现分离。MEA、DEA等溶液也可用于脱碳，但其主要作用是脱硫^[1]。专门的脱碳溶剂如N-甲基

吡咯烷酮（NMP）等具有更高的选择性和效率。（2）膜分离技术：利用高分子膜的选择透过性，使天然气中的二氧化碳与其他组分分离。膜分离技术具有能耗低、无化学污染等优点，但膜材料的选择和成本是制约其广泛应用的关键因素。

1.1.3 脱水

脱水是防止天然气在输送过程中形成水合物的重要措施。水合物形成会堵塞管道，影响输气安全。常用的脱水方法包括三甘醇（TEG）吸收法和分子筛吸附法。

（1）三甘醇吸收法：利用TEG等脱水剂对天然气中的水分进行物理吸收，再通过加热使脱水剂再生。这种方法操作简单，脱水效率高，但再生能耗较大。（2）分子筛吸附法：利用分子筛的多孔结构，通过物理吸附作用去除天然气中的微量水分。分子筛吸附法具有脱水深度高、再生能耗低等优点，但设备投资较大。

1.2 现有工艺的原理与流程

以湿法脱硫为例，其基本原理是利用碱性溶液（如MEA溶液）与天然气中的硫化物（主要是 H_2S ）发生化学反应，生成可溶性的硫化物盐类（如硫氢酸盐）。反应过程中，天然气首先进入吸收塔底部，与从塔顶喷淋而下的MEA溶液逆流接触，硫化物被吸收到溶液中。随后，含有硫化物的溶液进入再生塔，通过加热或减压等方式使硫化物解吸出来，同时MEA溶液得到再生并循环使用。解吸出的硫化物气体经过进一步处理（如焚烧、硫回收等）后排放或回收利用。整个工艺流程包括吸收、再生、硫回收等环节，形成一个闭环系统。湿法脱硫工艺具有净化效率高、适用范围广等优点，但也存在能耗大、废液处理复杂等问题。在实际应用中需要根据具体情况选择合适的脱硫工艺和设备，并不断优化工艺参数和操作条件，以提高净化效率和经济效益。

2 现有天然气净化工艺存在的问题

2.1 技术层面的问题

2.1.1 净化效率不高

部分传统天然气净化工艺在面对高含硫、高含碳或复杂组分的天然气时，往往难以达到预期的净化效果。这主要是由于这些工艺在设计上存在一定的局限性，如吸附剂的吸附容量有限、吸收剂的选择性不高、反应动力学条件不佳等。随着天然气开采向深海、极地等极端环境发展，天然气中的杂质种类和含量也变得更加复杂多变，这对净化工艺提出了更高的要求。现有工艺在应对这些挑战时显得力不从心，导致净化效率难以提升。

2.1.2 能耗较大

能耗大是现有天然气净化工艺普遍存在的问题之一。以湿法脱硫为例，该工艺需要维持较高的反应温度以促进硫化物与吸收剂之间的化学反应。这通常需要消耗大量的热能，不仅增加了运行成本，还加剧了能源消耗和碳排放问题。此外，在脱水、脱碳等其他净化环节中，也存在类似的能耗问题。例如，在TEG脱水过程中，为了保持脱水剂的活性，需要定期对其进行加热再生，这也增加了能耗。

2.1.3 设备腐蚀与磨损

天然气净化过程中产生的酸性环境对设备造成了严重的腐蚀和磨损问题。在脱硫环节，硫化物与吸收剂反应生成的酸性物质会腐蚀管道、阀门和泵等设备；在脱水环节，含有酸性气体的天然气也会加速设备的腐蚀。高速流动的天然气还会对设备造成冲刷磨损，进一步缩短设备的使用寿命。设备腐蚀与磨损不仅增加了维修和更换成本，还可能引发安全事故，对生产安全构成威胁。

2.2 经济层面的问题

2.2.1 投资成本高

新型高效净化设备和技术虽然具有更高的净化效率和更低的能耗，但其研发投入大、制造成本高，导致初期投资成本显著增加。对于许多天然气生产企业来说，高昂的投资成本成为了采用新技术和新设备的重要障碍^[2]。新技术的推广和应用还需要配套的基础设施和人员培训等方面的投入，这也增加了企业的经济负担。

2.2.2 运行维护费用昂贵

除了初期投资成本高外，现有天然气净化工艺的运行维护费用也相对较高。这主要体现在以下几个方面：一是设备维护费用高。由于设备长期处于恶劣的工作环境中，容易受到腐蚀和磨损的影响，需要定期进行检修和维护；二是吸附剂或溶剂更换费用高。在脱硫、脱水等环节中，吸附剂或溶剂的消耗量大且价格昂贵，需要定期更换以保证净化效果；三是能耗费用高。如前所述，现有工艺在能耗方面存在较大的浪费现象，增加了

企业的运营成本。

2.3 环境层面的问题

2.3.1 废弃物处理难度大

天然气净化过程中产生的废液、废渣等废弃物处理难度大是现有工艺面临的又一重要问题。在脱硫环节，湿法脱硫工艺产生的废液中含有大量的硫化物和其他有害物质；在脱碳环节，物理吸收法产生的废液则含有高浓度的二氧化碳。这些废弃物如果处理不当，不仅会对环境造成严重的污染，还可能引发安全事故。由于废弃物成分复杂、处理难度大且成本高昂，许多企业往往难以做到妥善处理。

2.3.2 潜在的环境风险

除了废弃物处理难度大外，现有天然气净化工艺还存在潜在的环境风险。一方面，由于设备腐蚀和磨损等问题可能导致天然气泄漏等安全事故的发生；另一方面，废弃物处理不当也可能引发环境污染事件。这些环境风险不仅会对企业的声誉和形象造成损害，还可能对周边居民的生命财产安全构成威胁。加强环境管理和风险控制是现有天然气净化工艺必须面对的重要课题。

3 天然气净化工艺技术优化的策略

3.1 工艺改进

3.1.1 优化工艺流程

优化工艺流程是提升天然气净化效率和经济性的首要任务。传统的净化工艺往往包含多个独立的步骤，这些步骤之间可能存在重复或不必要的能耗和物料损失。通过优化工艺流程，简化步骤，减少能耗和物料损失，是提高整体净化效率的关键。一种有效的优化方法是采用集成化设计，将多个净化步骤合并为一个单元操作。例如，在脱硫和脱碳过程中，可以设计一种集成化的吸收塔，同时处理硫化物和二氧化碳。这种设计不仅减少了设备数量和占地面积，还降低了管道连接和能量传输的损耗。

3.1.2 采用新型的吸附剂或溶剂

吸附剂和溶剂是天然气净化工艺中的核心材料，其性能直接影响净化效率和经济性。传统的吸附剂或溶剂往往存在吸附容量有限、再生能耗高、选择性差等问题。开发高效、低能耗、易再生的新型吸附剂或溶剂是提升净化工艺性能的重要途径。新型吸附剂的研究方向包括纳米材料、金属有机框架（MOFs）、多孔碳材料等。这些材料具有比表面积大、孔隙结构可调、吸附能力强等优点，能够显著提高吸附效率和选择性。通过表面改性或功能化修饰，还可以进一步改善其再生性能和稳定性。在溶剂方面，研究重点在于开发低挥发性、高

选择性、易回收的溶剂体系。例如，离子液体作为一种新型的绿色溶剂，具有热稳定性好、不易挥发、可设计性强等优点，在天然气净化领域具有广阔的应用前景。

3.2 设备升级

3.2.1 选用高效节能的设备

设备是天然气净化工艺的重要组成部分，其性能直接影响整个工艺的能耗和效率。选用高效节能的设备是降低能耗、提高经济性的重要手段^[3]。在设备选型时，应优先考虑具有高效能转换和能量回收功能的设备。例如，在脱硫和脱水过程中，可以采用热回收系统来回收吸收剂再生过程中释放的热量，用于预热进入吸收塔的天然气的加热其他需要加热的介质。这样不仅可以降低能耗，还可以提高系统的整体热效率。变频调速技术也是实现设备节能的有效手段之一。通过调节电机的转速来改变设备的运行功率和流量，以适应不同的工艺需求。这种技术可以根据实际工况自动调整设备的运行状态，避免不必要的能耗浪费。

3.2.2 加强设备的防腐与耐磨处理

天然气净化过程中产生的酸性环境对设备造成了严重的腐蚀和磨损问题。为了延长设备的使用寿命并降低维护成本，必须加强设备的防腐与耐磨处理。在材料选择方面，应优先考虑具有优异耐腐蚀性能的材料。例如，不锈钢、合金钢、钛合金等金属材料以及陶瓷、玻璃等非金属材料都具有良好的耐腐蚀性能。还可以采用涂层技术来提高设备的耐腐蚀性能。通过在设备表面涂覆一层耐腐蚀涂层，可以有效地隔绝腐蚀介质与设备基材的接触，从而延长设备的使用寿命。在耐磨处理方面，可以采用耐磨涂层、硬质合金等技术来提高设备的耐磨性能。这些技术可以在设备表面形成一层坚硬的保护层，防止高速流动的天然气对设备造成冲刷磨损。还可以通过优化设备结构和流道设计来减少流体对设备的冲刷作用，进一步降低磨损程度。

3.3 自动化与智能化控制

3.3.1 实时监测与调控工艺参数

自动化控制是实现天然气净化工艺稳定运行和高效运行的重要手段之一。通过实时监测和调控工艺参数，可以确保工艺在最佳状态下运行，从而提高净化效率和产品质量。为了实现实时监测和调控工艺参数的目标，需要采用传感器、PLC（可编程逻辑控制器）、DCS（分

散控制系统）等自动化控制设备。这些设备可以实时采集工艺过程中的温度、压力、流量、浓度等参数信息，并将其传输到控制系统中进行处理和分析。控制系统根据预设的工艺参数范围和控制策略自动调整操作条件如温度、压力、流量等以确保工艺稳定运行并达到预期的净化效果。

3.3.2 建立智能优化系统

随着大数据、人工智能等技术的快速发展和应用推广，建立智能优化系统已成为提升天然气净化工艺性能的重要趋势之一。智能优化系统可以通过对工艺数据进行深度挖掘和分析来发现潜在的问题和规律，并据此优化工艺参数设置以提高净化效率和产品质量。智能优化系统的建立需要依托于先进的数据采集、存储和处理技术。通过构建完善的数据采集网络和数据仓库系统可以实现对工艺数据的全面采集和存储；通过采用数据挖掘和机器学习等算法可以对工艺数据进行深度分析和挖掘以发现潜在的问题和规律；通过构建智能决策支持系统可以根据分析结果自动调整工艺参数设置以实现优化控制。智能优化系统还可以与远程监控和故障诊断系统相结合形成完整的智能化管理体系。通过远程监控可以实时掌握工艺运行状态和设备健康状况；通过故障诊断可以及时发现并处理设备故障以避免生产中断和事故的发生；通过智能优化可以不断提升工艺性能和经济性以实现可持续发展目标。

结束语：在深入探讨天然气净化工艺技术的优化策略后，我们深感技术创新与持续改进的重要性。从工艺改进到设备升级，再到自动化与智能化控制，每一步都凝聚着智慧与努力。愿这些策略能为行业带来实质性的进步，提升净化效率，降低能耗与成本，同时守护环境。期待未来，天然气净化技术更加辉煌，为社会贡献更多绿色能源。

参考文献

- [1]王赢.天然气处理厂中天然气净化工艺技术的优化策略[J].化工设计通讯,2023,49(06):150-152.
- [2]高宏宏.液化天然气装置净化与液化工艺关键技术研究[J].化工管理,2022(28):152-154.
- [3]庞净兮.天然气处理厂中优化天然气净化工艺技术的思考[J].化工管理,2021(21):99-100.