

高含硫天然气脱硫工艺研究进展

王祥宇

中原油田普光分公司 四川 达州 635000

摘要: 本文围绕高含硫天然气脱硫工艺研究进展。介绍了物理、化学、生物脱硫技术现状, 阐述各技术原理、特点与应用场景。探讨了脱硫工艺优化, 涵盖工艺参数、设备改进及工艺组合优化。分析了脱硫技术发展趋势, 包括绿色环保、高效脱硫及智能化控制技术。为高含硫天然气脱硫提供理论参考, 推动该领域技术进步, 助力天然气资源高效、环保开发利用。

关键词: 高含硫天然气; 脱硫技术; 工艺优化; 发展趋势

引言: 高含硫天然气在能源领域地位重要, 但其含硫特性带来诸多问题, 脱硫处理必不可少。目前, 高含硫天然气脱硫技术多样, 各有优劣。为满足日益严格的环保要求和提高脱硫效率、降低成本的需求, 对脱硫工艺进行深入研究及优化成为关键。本文将系统探讨高含硫天然气脱硫技术现状、工艺优化研究及未来发展趋势, 为该领域的技术进步和实际应用提供有益思路。

1 高含硫天然气脱硫技术现状

1.1 物理脱硫技术

物理脱硫技术中的吸附法, 凭借其独特机制在天然气脱硫领域占据重要地位。该技术通过吸附剂与硫化物之间的物理作用实现脱硫目标, 其核心在于吸附剂对硫化物分子的选择性捕获。活性炭作为典型吸附剂, 凭借多孔结构形成巨大的比表面积, 硫化物分子在孔隙内壁发生范德华力吸附, 从而被有效截留。分子筛则通过晶体结构的分子筛分效应, 利用孔道尺寸与硫化物分子动力学直径的匹配性, 实现精准选择性吸附, 在天然气净化中展现出卓越的分子级分离能力。膜分离技术作为物理脱硫的另一重要分支, 依托膜材料的选择性透过特性实现硫化物分离。该技术通过调控膜孔径与分子尺寸的匹配关系, 使硫化物分子在浓度梯度驱动下定向迁移, 在天然气脱硫中形成独特的分离机制。其工艺流程简洁高效, 无需复杂预处理设备, 显著降低操作故障风险; 低能耗特性使其在大规模天然气处理中具备经济优势, 尤其适用于对脱硫精度要求适中、处理规模适中的天然气气源净化场景。

1.2 化学脱硫技术

醇胺法是化学脱硫技术里较为常见的方法。在该方法中, 常用的醇胺类溶剂包括一乙醇胺、二乙醇胺等。其脱硫反应原理是醇胺类溶剂中的胺基与天然气中的硫化氢等硫化物发生化学反应, 形成稳定的化合物, 从而

将硫化物从天然气中脱除。醇胺法具有一定的特点, 它对硫化氢有较好的脱除效果, 并且在工业应用中具有成熟的工艺和操作经验。砒胺法与醇胺法相比, 具有明显的优势。在脱硫效果方面, 砒胺法能够更高效地脱除天然气中的硫化物, 包括一些较难处理的有机硫化物^[1]。在溶剂稳定性上, 砒胺法使用的溶剂稳定性更强, 在长期的脱硫操作过程中, 溶剂的损耗相对较小, 不需要频繁更换溶剂, 降低了运行成本。这使得砒胺法在对脱硫要求较高、含硫成分复杂的高含硫天然气处理中得到广泛应用。除了醇胺法和砒胺法, 还有其他化学脱硫方法。热钾碱法是利用热的碳酸钾溶液与硫化氢等酸性气体发生反应, 生成相应的盐类, 从而实现脱硫。该方法适用于一些对二氧化碳和硫化氢同时有脱除需求的天然气处理场景。络合铁法的原理是利用络合铁离子的氧化还原特性, 将硫化氢氧化为单质硫, 从而达到脱硫目的。络合铁法在处理高浓度硫化氢的天然气时具有优势, 且其反应产物单质硫易于分离回收。

1.3 生物脱硫技术

生物脱硫技术依托微生物或酶的催化功能, 对天然气中的硫化物进行转化处理。微生物在适宜的生存环境中, 会主动将硫化物识别为可利用的营养物质, 开启自身的代谢机制。在代谢进程中, 一系列复杂的生物化学反应有序展开, 如同精密的生物工厂运作, 将硫化物逐步转化为硫酸盐、单质硫等无害或低害物质。这一技术展现出卓越的环保性。传统化学脱硫方法往往依赖大量化学药剂, 在脱硫过程中不仅消耗资源, 还会产生废液、废气等污染物, 对环境造成潜在威胁。而生物脱硫技术巧妙地规避了这些问题, 它无需使用化学药剂, 从源头上减少了污染物的产生和排放, 为环境保护做出了积极贡献。生物脱硫技术具备强大的可持续性。微生物具有自我繁殖的能力, 只要为其提供适宜的温度、酸碱

度、营养物质等生存条件,它们就能持续不断地进行脱硫反应。这意味着,一旦建立起稳定的生物脱硫系统,就可以长期、稳定地对高含硫天然气进行处理,无需频繁更换或补充脱硫材料,大大降低了运行成本和维护难度。生物脱硫技术为高含硫天然气的绿色处理开辟了一条新道路,有望在未来得到更广泛的应用和推广。

2 高含硫天然气脱硫工艺优化研究

2.1 工艺参数优化

在高含硫天然气脱硫工艺里,吸收塔参数极大地左右着脱硫效果。吸收塔压力升高,气体分子间距变小,硫化物与吸收剂接触几率增加,利于脱硫反应。压力过高,设备耐压要求提升,运行成本也随之上升,所以要合理调控。吸收塔温度也极为关键,低温利于硫化物在吸收剂中溶解,提升吸收效果;可温度过低,吸收剂黏度增大,流动性变差,反倒阻碍吸收,需找到适宜温度区间,平衡溶解与流动性。液气比,即吸收剂液体流量和天然气气体流量的比值,增大它能使单位时间内参与反应的吸收剂增多,更充分吸收硫化物,提高脱硫效率。不过,液气比过大则会浪费吸收剂,增加后续再生成本^[2]。经精确计算与实际调试,优化吸收塔压力、温度、液气比等参数,能在保证脱硫效率时,合理控制经济成本。再生塔参数对溶剂再生意义重大。再生塔温度是溶剂再生效果的关键因素,升温可加速溶剂中已吸收硫化物分解,实现溶剂再生。但温度过高,溶剂易热降解,缩短使用寿命,增加运行成本,所以要精准调控。再生塔压力同样需合理控制,适当降压有助于硫化物从溶剂中逸出,推动再生。蒸汽用量和再生塔温度紧密相关,足够蒸汽量为硫化物分解供能,但用量过多会造成能源浪费。通过优化蒸汽用量,在满足再生需求的同时,实现能源高效利用。对再生塔温度、压力、蒸汽用量等参数进行精细优化,可有效提高溶剂再生效果,降低运行成本。

2.2 设备改进

吸收塔内部结构的改进是提高吸收效率的重要途径。增加塔板数能够为气液传质提供更多的接触界面。每增加一块塔板,就相当于增加了一次天然气与吸收剂充分接触反应的机会,使得硫化物能够更彻底地被吸收。不同类型的填料对吸收效率也有不同影响。优化填料类型,选择比表面积大、孔隙率合适且具有良好润湿性的填料,能极大地增加气液接触面积,强化传质效果。例如,一些新型的规整填料,其特殊的结构设计能够引导气液均匀分布,减少气体短路和液体偏流现象,从而显著提高吸收效率。再生塔设备的优化对于降低能

耗意义重大。改进加热方式是一个重要方向,传统的加热方式可能存在加热不均匀、热损失大等问题。采用新型的加热技术,如高效的热传导加热或更精准的温度控制加热方式,能够使再生塔内的溶剂均匀受热,提高加热效率,减少能源浪费。增加换热面积可以更充分地回收利用再生过程中的余热。在再生塔的相关部位增加换热装置,将高温的再生溶剂与低温的待再生溶剂或其他需要预热的物流进行换热,回收热量,降低整体的能源消耗,提高能源利用效率。

2.3 工艺组合优化

物理化学组合工艺具有显著的可行性和优势。先采用吸附法预脱硫,利用吸附剂对硫化物的吸附特性,初步去除天然气中的大部分硫化物。吸附法操作相对简单,能够快速有效地降低天然气中的硫含量。随后再用化学法深度脱硫,化学脱硫方法对硫化物的脱除精度高,能够将吸附法处理后残留的少量硫化物进一步脱除,实现天然气的深度净化。这种组合工艺充分发挥了物理脱硫技术的快速初步处理优势和化学脱硫技术的高精度深度处理优势,在提高脱硫效果的同时,还能降低化学脱硫剂的用量,减少运行成本。生物化学组合工艺同样具有独特优势。生物脱硫技术利用微生物或酶的催化作用将硫化物转化为无害物质,具有环保性和可持续性。在生物脱硫过程中,微生物能够将大部分易处理的硫化物转化,从而降低天然气中硫化物的含量^[3]。在此基础上,再采用化学脱硫技术,由于生物脱硫已经降低了硫化物浓度,此时化学脱硫剂的用量可以相应减少。这不仅降低了化学药剂的使用成本,还减少了化学药剂使用过程中对环境的潜在影响,实现了高含硫天然气脱硫工艺的高效、环保和经济的综合优化。

3 高含硫天然气脱硫技术发展趋势

3.1 绿色环保技术

在全球生态环境保护意识不断提升的当下,高含硫天然气脱硫技术向绿色环保方向迈进已成必然。致力于开发低能耗、低污染的脱硫工艺,是这一发展方向的核心诉求。传统脱硫工艺普遍存在能耗高的问题,以部分化学脱硫方法为例,在反应进程中,需耗费大量热能来驱动反应,这不仅使能源成本大幅攀升,还因能源消耗增加,间接导致更多碳排放,与绿色环保理念背道而驰。部分工艺所使用的化学药剂具有毒性或腐蚀性,在生产、储存及使用的各个环节,均存在泄漏风险,一旦发生泄漏,土壤、水体等周边环境将遭受严重污染。为有效解决这些难题,科研人员全力投入新型绿色环保脱硫工艺的研发。基于物理吸附原理的脱硫技术便是其中

的典型代表。通过对吸附材料结构与性能的深入研究，研发出具备特殊结构与性能的吸附材料。这类材料在实现高效脱硫的同时，对能源的依赖程度大幅降低。其能够在相对温和的条件下，对硫化物进行吸附操作，无需高温高压等严苛的环境条件，从而极大地减少了能源消耗。在减少污染方面，生物脱硫技术展现出极大的潜力。该技术借助微生物或酶的催化作用，将硫化物转化为无害物质，整个过程摒弃了有毒有害化学药剂的使用，从根源上降低了对环境的污染风险。随着生物技术的持续进步，生物脱硫工艺在未来有望得到更为广泛的应用与发展，成为高含硫天然气脱硫领域的关键技术之一。

3.2 高效脱硫技术

提升脱硫效率与选择性，始终是脱硫技术发展进程中的关键任务。新型吸附剂的研发，是达成这一目标的重要路径。传统吸附剂在脱硫性能方面存在诸多局限，例如吸附容量有限，难以满足高含硫天然气大规模脱硫的需求；对某些特定硫化物的选择性欠佳，无法精准实现不同类型硫化物的脱除。科研人员凭借对材料结构与性能的深入探究，成功开发出一系列新型吸附剂。这些新型吸附剂拥有更大的比表面积和更为丰富的孔隙结构，能够提供更多的吸附位点，显著提升对硫化物的吸附容量。通过对吸附剂表面实施特殊修饰或功能化处理，可使其对特定硫化物具备更高的选择性，进而实现对不同类型硫化物的精准脱除。催化剂在脱硫过程中同样发挥着举足轻重的作用。新型催化剂的研发聚焦于提升催化活性与稳定性，以推动脱硫反应更为高效地进行。一些运用纳米技术制备的催化剂，因纳米级尺寸效应，具备更高的催化活性，能够在较低的温度和压力条件下，加速脱硫反应的速率^[4]。通过改良催化剂的载体材料和制备工艺，能够有效提高催化剂的稳定性，延长其使用寿命，减少催化剂的更换频次，降低运行成本。随着材料科学与催化技术的不断创新，高效脱硫技术将持续取得突破，为高含硫天然气的净化工作提供更为坚实有力的技术支撑。

3.3 智能化控制技术

随着信息技术的飞速发展，智能化控制在脱硫工艺中的应用趋势愈发明显。利用人工智能技术，能够

对脱硫过程中的各种参数进行实时分析和预测。通过建立脱硫过程的数学模型，并结合大量的实际运行数据进行训练，人工智能系统可以准确地预测不同工况下的脱硫效果和设备运行状态。例如，当天然气中硫含量发生变化时，人工智能系统能够迅速根据模型预测结果，自动调整脱硫工艺参数，如吸收剂的流量、反应温度和压力等，以保证脱硫效率始终处于最佳状态。大数据技术在脱硫工艺中的应用也具有重要意义。通过收集和分析大量的脱硫过程数据，包括设备运行参数、原料气组成、产品质量等信息，可以挖掘出数据背后隐藏的规律和趋势。这些规律和趋势能够为工艺优化提供依据，帮助操作人员及时发现潜在的问题和风险，并采取相应的措施进行预防和处理。大数据技术还可以实现对脱硫设备的远程监控和管理，操作人员可以通过网络随时随地获取设备的运行状况，对设备进行远程操作和维护，提高生产效率和管理水平。智能化控制技术的应用将使高含硫天然气脱硫工艺更加高效、稳定和可靠，提升整个行业的自动化水平和竞争力。

结束语

高含硫天然气脱硫工艺研究对于保障天然气资源高效开发利用、降低环境污染具有重要意义。当前，物理、化学、生物脱硫技术各有进展，工艺优化也取得一定成果。未来，绿色环保、高效脱硫及智能化控制技术将成为发展方向。通过持续的技术创新与优化，有望实现高含硫天然气脱硫过程的高效、环保与智能化，推动天然气行业可持续发展，为能源供应和环境保护做出更大贡献。

参考文献

- [1] 崔吉宏. 采用羧基硫水解工艺优化高含硫天然气脱硫操作模拟研究[J]. 能源化工, 2021, 42(02): 28-34.
- [2] 张红. 高含硫天然气净化中的催化剂选择与应用[J]. 化学工程, 2022, 40(2): 45-52.
- [3] 赵书林, 刘国栋. 催化剂技术在高硫燃料气体净化中的应用研究[J]. 化工进展, 2023, 39(4): 67-74.
- [4] 钱多利. 催化剂技术在天然气净化中的应用现状与展望[J]. 石油化工进展, 2024, 41(6): 102-110.