

浅谈天然气处理厂天然气净化工艺技术优化

谢汶良

新疆新捷能源有限公司 新疆 克拉玛依 834000

摘要: 本文探讨了天然气处理厂天然气净化工艺技术优化。针对现有脱硫脱碳、脱水及硫磺回收与尾气处理工艺中存在的问题,如吸收剂性能不足、脱水深度不够、硫磺回收率偏低及智能化管控水平不足等,提出了具体优化措施。包括采用新型吸收剂、优化工艺参数、升级设备材质、引入智能监测与控制系统等,旨在提高净化效率、降低能耗、减少排放,实现天然气净化工艺的高效、环保与智能化运行。

关键词: 天然气处理厂; 天然气净化; 工艺技术优化

引言: 随着天然气工业的快速发展,天然气净化工艺作为保障天然气质量、满足管输及使用要求的关键环节,其重要性日益凸显。然而,当前天然气处理厂在净化过程中仍面临诸多挑战,如净化效率不稳定、能耗较高、环保排放压力大等。因此,本文聚焦于天然气净化工艺的技术优化,通过分析现有工艺存在的问题与瓶颈,提出针对性的优化方案,以期推动天然气净化技术的进步与产业升级。

1 天然气处理厂天然气净化工艺基础理论与现状

1.1 天然气净化工艺核心原理

(1) 脱硫脱碳原理: 核心是脱除天然气中 H_2S 、 CO_2 及有机硫等酸性组分。化学吸收是碱性溶液与酸性气体可逆反应脱除,再生释放酸气循环用;物理吸收靠酸性气体在溶剂中溶解度差异分离,无需反应、能耗低;联合吸收结合两者优势,高酸气分压用物理溶解、低分压靠化学反应,适配复杂工况。(2) 脱水原理: 核心是降低天然气水含量,满足管输和使用要求,防低温结冰或水合物堵管。三甘醇(TEG)脱水靠TEG吸收水分,加热再生循环;吸附法(如分子筛)用吸附剂吸水,饱和后升温解吸再生,露点控制在输送压力下最低环境温度以下。(3) 硫磺回收与尾气处理原理: 克劳斯工艺使 H_2S 与氧气不完全燃烧生成硫磺,催化转化提升回收率;斯科特工艺将尾气残余硫氢化为 H_2S ,再用胺液吸收回收,确保达标排放。

1.2 天然气净化主流工艺及应用

(1) 脱硫脱碳工艺: 醇胺法是主流,核心设备为吸收塔、再生塔,工艺流程简单、成本较低,适配中低含硫天然气;砒胺法兼具物理与化学吸收特性,核心设备与醇胺法类似,净化能力强,可脱除有机硫,适配高含硫、高有机硫天然气处理。(2) 脱水工艺: TEG脱水法工艺成熟、能耗低,适配大规模天然气处理,关键参数

为TEG浓度、吸收温度;分子筛吸附法脱水深度高,适配高精度要求场景,关键参数为吸附温度、压力及再生周期,两者互补应用于不同工况。(3) 硫磺回收与尾气处理工艺: 克劳斯组合工艺由燃烧炉、催化反应器等组成,实现 H_2S 高效转化为硫磺,回收资源;斯科特工艺通过氢化、吸收等流程,处理克劳斯尾气,确保 SO_2 排放达标,兼顾资源回收与环保要求^[1]。

1.3 天然气处理厂净化工艺应用现状调研

(1) 调研概况: 调研涵盖不同规模天然气处理厂,处理规模从数十万到数百万立方米/日不等,原料气多含 H_2S 、 CO_2 ,部分含微量有机硫;现有工艺以醇胺法脱硫脱碳、TEG脱水、克劳斯组合工艺为主,部分高要求厂家配套斯科特尾气处理及分子筛深度脱水工艺。(2) 现状分析: 当前工艺净化效率可达99%以上,能满足国标要求;能耗控制存在差异,部分老厂能耗偏高;环保排放基本达标,但少数老装置尾气处理存在短板。设备运行整体稳定,常规问题包括胺液降解、吸附剂老化、设备腐蚀等,影响工艺稳定性和经济性。

2 天然气处理厂天然气净化工艺现存问题及瓶颈分析

2.1 脱硫脱碳工艺存在的问题

(1) 吸收剂性能不足: 传统醇胺溶剂吸收速率慢,致吸收塔处理负荷受限,难满足高含硫天然气快速处理需求;再生能耗高,推高生产成本;抗污染性差,易因原料气杂质降解,降低吸收效率;且有机硫脱除效果欠佳,难以契合严苛净化标准,残留组分易引发设备腐蚀与环境污染。(2) 工艺参数不合理: 吸收塔气液比、再生温度等关键参数匹配度欠佳,部分厂家片面提升气液比,造成气液接触不充分,净化效率波动、酸性组分超标;再生温度控制失当,过高加速吸收剂降解,过低致再生不彻底,既引发吸收剂性能衰减,又造成能耗浪费与运行成本攀升。(3) 设备腐蚀严重: 天然气中 H_2S 、 CO_2 等酸性

组分,在高温高压工况下与设备材质反应,引发电化学与化学腐蚀,严重损害吸收塔、换热器、管道等核心设备。腐蚀易致设备泄漏、停机检修,破坏工艺连续稳定,同时缩短设备寿命,大幅增加维护与更换成本。

2.2 脱水工艺存在的问题

(1) 脱水深度不足:部分现有脱水工艺难以满足高端用气场景需求,如LNG生产对天然气露点要求极高,传统TEG脱水工艺无法将露点降至规定标准,导致天然气中残留水分在低温高压下易形成水合物,堵塞管道和设备,影响生产安全;同时水分残留还会加剧后续设备腐蚀,降低产品质量。(2) 能耗与损耗偏高:三甘醇脱水工艺中,TEG再生需加热至较高温度,再生能耗占整个脱水工艺能耗的60%以上,且运行过程中溶剂易挥发、降解,损耗量较大,增加补充成本;吸附法脱水虽脱水深度高,但吸附剂再生频繁,再生过程能耗较高,且吸附剂使用寿命有限,更换成本高,长期运行经济性不佳^[2]。(3) 工艺衔接不畅:脱水工艺与前后工序(脱硫脱碳、管道输送)的参数匹配不合理,脱硫脱碳后天然气的温度、压力未达到脱水工艺要求,导致脱水效率下降;脱水后天然气露点与输送工况不匹配,易在输送过程中因温度降低形成冷凝水,不仅影响输送效率,还会引发管道腐蚀,降低整体工艺的运行效率。

2.3 硫磺回收与尾气处理工艺瓶颈

(1) 硫磺回收率偏低:传统克劳斯工艺受反应平衡限制,硫回收率难以达到99%以上,且对原料气中有机硫的转化不彻底,部分有机硫无法转化为硫磺,造成资源浪费;同时反应过程中易出现副反应,生成惰性物质,进一步降低硫磺回收率,增加原料气损耗。(2) 尾气排放达标压力大:随着环保标准不断收紧,部分处理厂现有尾气处理设备老化,工艺落后,难以将尾气中SO₂、H₂S浓度稳定控制在最新国标范围内,存在超标排放风险;尤其在原料气气质波动较大时,尾气处理效果不稳定,易引发环保处罚,影响企业正常生产。(3) 设备运维成本高:硫磺回收反应器、尾气吸收塔等核心设备在运行过程中,易因反应产物沉积出现结垢、积碳现象,导致设备换热效率下降、阻力增大,需频繁停机清理维护,增加运维工作量;同时结垢、积碳还会加剧设备腐蚀,缩短设备使用寿命,进一步提升运维成本。

2.4 工艺管控与智能化水平不足

(1) 人工操作依赖度高:当前多数天然气处理厂的净化工艺参数调节仍依赖操作人员的经验,缺乏精准的自动控制机制,操作人员对工况变化的判断存在滞后性,参数调节偏差较大,导致工艺运行稳定性差,易出现净

化效率波动、能耗上升等问题,且人工操作误差还可能引发安全隐患。(2) 智能化监测缺失:核心工艺参数的在线监测体系不完善,如吸收剂浓度、尾气组分、吸附剂饱和程度等关键参数缺乏实时监测手段,无法及时发现工艺异常;部分监测设备精度不足,数据偏差较大,导致操作人员无法准确把握工艺运行状态,难以提前预判和处理故障,延误检修时机,影响工艺连续运行。

3 天然气处理厂天然气净化工艺技术优化方案

3.1 脱硫脱碳工艺优化

(1) 吸收剂优化:针对传统醇胺溶剂性能短板,选用活化型MDEA溶液为核心吸收剂,添加哌嗪等促进剂,加快对H₂S、CO₂的吸收速率,破解吸收塔处理负荷瓶颈,适配高含硫天然气快速处理需求。同步引入离子液体等绿色溶剂,依托其强稳定性、低再生能耗特性,降低再生热能消耗与生产成本,增强抗污染能力,减少原料气杂质对溶剂的降解,优化有机硫脱除效果,满足严苛净化标准,规避后续设备腐蚀与环境污染风险。(2) 工艺参数优化:结合处理厂气质与生产负荷,经多工况试验模拟,确定吸收塔气液比、再生温度及溶液循环量最优值,避免参数不匹配引发的净化效率波动与能耗浪费。应用贫富液高效换热技术,回收富液余热用于贫液预热,减少再生热损耗,提升工艺经济性;构建参数动态调节机制,依据原料气气质变化实时调整参数,保障净化效率稳定^[3]。(3) 设备防护优化:从源头防控腐蚀,核心设备选用奥氏体不锈钢、哈氏合金等耐腐材质;对老旧设备实施表面防腐涂层、衬里等处理,强化抗腐性能;搭建在线腐蚀监测系统,实时监控腐蚀速率与状态,及时预警,助力提前开展维护,避免设备泄漏、停机检修,保障工艺连续稳定运行,延长设备使用寿命。

3.2 脱水工艺优化

(1) 工艺选型优化:结合不同用气场景的露点要求,采用“TEG脱水+分子筛深度脱水”组合工艺,实现分级脱水,兼顾效率与深度。对于常规管输天然气,采用TEG脱水工艺满足基础露点要求;对于LNG生产等高端用气场景,在TEG脱水基础上增加分子筛深度脱水环节,将天然气露点降至规定标准,彻底解决水分残留导致的水合物堵塞和设备腐蚀问题,提升产品质量。(2) 能耗优化:引入变压吸附脱水技术,替代部分传统吸附工艺,利用低品位余热实现吸附剂再生,大幅降低再生能耗,相比传统吸附法节能30%以上;优化三甘醇再生工艺,改进再生塔结构,采用高效再生技术,减少TEG溶剂的挥发和降解,降低溶剂损耗量,减少补充成本;同时优化换热流程,回收再生过程中的余热,实现能源循环利用,

进一步提升工艺经济性。(3) 设备升级优化: 对脱水塔进行升级改造, 采用新型规整填料替代传统填料, 提升气液接触面积和传质效率, 降低塔内阻力, 提高脱水效率; 改进吸附塔切换流程, 采用多塔联动切换模式, 实现吸附、再生连续化运行, 避免因切换停机导致的工艺中断, 提升脱水工艺的稳定性 and 处理效率; 同时升级溶剂过滤系统, 减少杂质对设备的堵塞和磨损, 降低设备维护成本^[4]。

3.3 硫磺回收与尾气处理工艺优化

(1) 硫磺回收工艺优化: 摒弃传统克劳斯工艺, 采用超级克劳斯+斯科特组合工艺, 通过优化燃烧炉配风比例, 确保H₂S充分燃烧, 减少副反应发生; 精准控制反应器温度、压力等参数, 提升有机硫转化效率, 将硫回收率提升至99.9%以上, 最大限度减少硫资源浪费; 同时改进催化反应体系, 选用高效催化剂, 降低反应活化能, 进一步提升硫磺回收效果, 降低原料气损耗。(2) 尾气处理工艺优化: 针对尾气排放达标压力大的问题, 优化DS溶液吸收参数, 调整吸收温度、溶液浓度等, 提升对尾气中SO₂、H₂S的吸收效果; 引入选择性氧化技术, 将尾气中残余的低价硫组分氧化为易吸收的高价硫, 实现尾气SO₂浓度稳定控制在最新国标范围内; 完善尾气联锁控制逻辑, 设置气质波动、设备异常等预警机制, 及时调整工艺参数, 避免尾气异常超标, 降低环保处罚风险^[5]。(3) 资源回收优化: 采用黑火药液氧化法对回收的硫磺进行提纯处理, 去除硫磺中的杂质, 提升硫磺产品纯度, 使其达到工业级标准, 实现硫资源的高效利用, 增加企业附加收益; 同时对硫磺回收过程中产生的副产物进行综合利用, 减少废弃物排放, 实现环保与经济效益双赢。

3.4 工艺智能化管控优化

(1) 智能监测系统搭建: 全面部署物联网监测设备, 覆盖脱硫脱碳、脱水、硫磺回收等全流程, 实现工艺参数(如吸收剂浓度、气液比、露点等)、设备状态(如腐

蚀速率、运行温度等)的实时采集和传输; 构建立体监控网络, 整合在线监测数据, 通过可视化平台直观展示工艺运行状态, 实现异常数据自动报警, 便于操作人员及时发现工艺异常, 为参数调整和故障处理提供数据支撑。(2) 智能控制系统引入: 采用机器学习算法, 结合历史运行数据和工艺参数优化模型, 实现工艺参数的自动调节, 替代传统人工经验操作, 减少参数调节偏差, 提升工艺运行稳定性, 降低能耗和净化效率波动; 集成故障诊断系统, 通过大数据分析设备运行数据, 提前预判设备故障和工艺异常, 给出针对性处理建议, 降低非计划停工概率, 减少停机损失, 进一步提升工艺管控水平和生产效率。

结束语

天然气净化工艺的技术优化是提高天然气处理效率、降低运行成本、实现绿色生产的重要途径。本文提出的优化方案涵盖了吸收剂改进、工艺参数优化、设备升级及智能化管控等多个方面, 旨在全面提升天然气净化工艺的性能与稳定性。未来, 随着技术的不断进步与应用的深化, 天然气净化工艺将更加高效、环保与智能化, 为天然气工业的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]杜健,张帆.对天然气处理厂天然气净化工艺技术优化的探讨[J].2021,10(8):41-46.
- [2]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,2021,5(21):99-100.
- [3]张项博.天然气处理厂中天然气净化工艺技术的优化研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(19):180-182.
- [4]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(6):150-152.
- [5]罗杰.天然气处理厂中天然气净化工艺技术的优化策略[J].建筑设计及理论,2023,9(11):175-178.