文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4740 /（中图刊号）：715GL012

煤制气酚氨回收技术进展、流程优化及应用

穆应鹏
云南解化清洁能源开发有限公司解化化工分公司
DOI:10.12238/eep.v8i3.2589

[摘　要] 随着煤炭资源高效清洁利用的日益紧迫,煤制气过程中副产含酚、含氨气体的回收技术不断发展升级。近年来,针对煤制气过程中酚、氨的捕集与提纯技术不仅在装备上有所改进,也在工艺路线、操作参数优化及配套单元设备改造上持续取得进展。本研究以煤制气酚氨回收技术为对象,从流程优化、装置改造、关键设备升级、配套系统完善等多方面进行深入阐述和分析,以期为工业应用中实现更高经济效益和环保绩效提供新思路。
[关键词] 煤制气；酚氨回收；工艺流程；技术改造
中图分类号：X784　文献标识码：A

Technical progress, process optimization and application of phenol and ammonia recovery from coal-to-gas production

Yingpeng Mu
Yunnan Jiehua Clean Energy Development Co.,Ltd.Jiehua Chemical Branch

[Abstract] With the increasing urgency of efficient and clean utilization of coal resources, the recovery technology of phenol-containing and ammonia-containing gases produced by-products in the coal-to-gas process continues to develop and upgrade. In recent years, the capture and purification technology of phenol and ammonia in the coal-to-gas process has not only improved the equipment, but also continued to make progress in the optimization of process routes, operating parameters and the transformation of supporting unit equipment. This study takes the coal-to-gas phenol ammonia recovery technology as the object, and makes in-depth elaboration and analysis from aspects such as process optimization, device transformation, key equipment upgrading, and supporting system improvement, in order to provide new ideas for achieving higher economic benefits and environmental performance in industrial applications.
[Key words] coal-to-gas; Phenolic ammonia recovery; Process flow; Technical transformation

引言

随着国家能源结构的调整和煤炭清洁高效利用,煤制气得到了迅速发展。截至2021年底,国内煤制气产能达到2413.9万t/a,同比增长43.3%。随着煤制气的规模化和高密度开发,煤制天然气的碳资源回收问题日益突出。通过对煤制气中酚氨含量的分析,确定了主要工艺路线:以水煤浆为气化介质的气化工艺及以甲醇为原料的甲醇合成工艺。酚氨回收装置是煤制气生产中不可或缺的核心单元,目前酚氨回收主要有2种技术路线：甲醇合成尾气直接进行酚氨回收、水煤浆气化尾气经甲醇合成后的部分或全部进入酚氨回收系统。

1 煤气化酚氨回收技术进展

在煤炭清洁利用方向上,煤制气技术一直是工业界关注的焦点。传统煤气化过程中,高温、高压条件下的含碳原料分解生成合成气,同时伴生一定量含氨、含酚组分。这些杂质若不加以回收与处理,不仅会对下游装置造成腐蚀、结垢、催化剂中毒等问题,也会导致尾气排放不达标,从而增加企业环保压力与经济负担。因而,酚氨回收工艺日渐成为煤制气系统中的关键环节。

早期的酚氨回收技术主要依赖于物理吸收和简单化学吸收手段,通过冷凝、洗涤或部分加压减压处理去除水溶性或弱酸性组分。然而,由于传统溶剂选择有限、操作条件较为苛刻、能耗偏高,且杂质组分分离不彻底,导致分离效率不足,成为制约煤制气工厂全面提升经济性和洁净化水平的关键难题。

针对这些不足,近年来工业界和科研单位开展了系统化技术攻关。一方面,通过优化溶剂配方,研发低挥发性、低腐蚀性、对酚和氨有较高选择性的溶剂,使得溶剂再生更便捷、回收率更高、单元操作能量利用率有所提升;另一方面,对传统的吸收塔、萃取塔、蒸馏塔等关键设备进行结构改良,着眼于塔内液相分布均匀性、传质效率提升,以及流体湍动程度控制,实现精确分离

与提纯。同时,多元化分离技术手段相继应用,如利用吸附材料、离子液体、功能膜技术以及微通道反应器等,为酚氨回收体系的集成化、模块化和智能化提供新思路。

在催化剂及功能性材料方面的进步亦不容忽视。某些特定结构的离子液体可通过氢键作用及配位作用与酚、氨分子发生选择性相互作用,从而提高酚氨组分的溶解度并降低能耗。此外,功能性吸附介质与新型膜材料的研发,使酚与氨可在较低压差下实现分级富集,从而减少后续精馏或再生环节的处理量。随着产业链上下游联动加深,煤制气企业开始关注酚氨资源化利用,将回收的酚氨组分进一步转化为下游精细化学品或作为肥料生产原料。这一趋势推动着传统的污染物处理单元转向更高价值链条的资源利用系统。

当前行业面临的主要挑战在于,工艺条件与装置参数匹配仍需进一步摸索,如溶剂循环率、塔操作压力与温度梯度、填料选择与更换周期等,需要在大规模工业实践中不断优化。此外,虽然已有一定的技术储备,但在实现规模放大与稳定运行方面,工艺参数波动对产品质量、生产节拍及下游装置负荷的影响仍待深入研究。针对这些问题,未来在理论研究、设备模拟、数值仿真与示范工程建设领域将持续投入,以期获得更加精确可控的工艺窗口。展望未来,在煤制气工厂运行管理领域,自动化、智能化将是核心,集中监控、远程操控与自适应优化将是发展方向。针对酚氨回收装置的安全生产问题,相关研究还需着重加强。目前,关于煤制气中氨的毒性分析与控制标准尚未形成体系,而酚氨回收工艺的操作条件苛刻、能耗较高,更需建立一套完整的评估与控制体系。此外,鉴于煤制气中含酚和氨物质组分复杂,产品纯度及品质难以保证,未来针对含酚组分的分离方法还需进一步研究。从长远看,对煤制气中的含氨和含酚物质进行回收与无害化处理,对于煤制气企业可持续发展具有重要意义。

2 煤制气酚氨回收工艺流程对比

2.1单塔脱氨脱酸工艺流程简述

单塔工艺作为一种相对传统的操作模式,主要通过一座多功能萃取塔实现含酚氨气体的脱酸与脱氨处理。气体通常从塔底或侧线引入,溶剂则自塔顶喷淋下行,两者在塔内充分接触并发生传质作用,酚、氨及其他可溶性酸性组分被溶剂吸收。净化后的气体从塔顶排出,吸收后的溶剂则进入后续再生环节。

该工艺在设计上追求设备简化与占地优化,但由于脱酸与脱氨过程在同一塔段内完成,易受酚、氨等组分吸收特性差异的影响,导致吸收效率与选择性降低。此外,溶剂流量与气体负荷之间的匹配程度对整体运行效果至关重要,若控制不当,可能引发操作条件的不稳定性。

为克服这些问题,单塔工艺常采用规整填料或高效气液接触器,以强化气液传质效率,减小局部气阻与液泛风险。通过精准调控溶剂的浓度、温度以及再生环节的参数设置,溶剂损耗与能耗可得到有效控制。尽管如此,该工艺在高负荷或多组分气体条件下,仍需进一步优化设计,以提升整体吸收效果。与其他单塔脱氨工艺相比,该工艺的优势在于能够实现含氨气的有效处理,从而减少后续脱氨脱酸过程的能耗。然而,其也存在一些不足之处:(1)气相压力较低,存在液泛风险;(2)吸收液循环效果受运行条件影响较大;(3)操作控制难度大,尤其是在高负荷或多组分气体条件下。

针对上述问题,可通过增设辅助吸收塔或增设脱氨塔来强化吸收效果。目前,多数煤制气企业通常采用在第二级吸收塔设置脱氨塔的方案,以提高精馏段的单位塔板数,并确保最终产品组分达到国家排放标准。若采用第一级吸收塔则需适当降低第二级吸收塔塔板高度,以提高物料利用率。

2.2双塔脱酸、脱氨工艺流程简述

与单塔方案相比,双塔工艺通过将脱酸与脱氨工序划分为两个独立的塔器模块,分别处理酸性组分和氨类物质。例如,含酸性气的煤气水首先进入酸性组分吸收塔,通过高效溶剂与气流接触,去除二氧化碳、硫化氢等酸性气体;随后,气相部分再进入专门处理氨组分的脱氨塔,进一步捕集氨及其他挥发性碱性组分。这种分离式工艺设计可以实现针对性吸收操作,显著提高组分选择性与产品纯度。

双塔流程通常结合高效的溶剂再生单元,利用减压、汽提或加热等方法,分离溶剂中的吸附组分,使酚和氨浓缩至独立的馏分中。同时,再生后的溶剂循环使用,大幅减少溶剂消耗与分解损失。在工艺参数方面,双塔设计允许独立优化压力、温度和液泛率等参数,从而实现脱酸、脱氨过程的精确控制。

借助传质强化器件与特定规整填料,双塔工艺能够在能耗较低的情况下达到较高的分离效率,更适用于对产物质量和过程稳定性要求较高的煤制气装置场景。尽管其设备配置复杂、运行成本略高,但凭借在酸性气脱除和氨气浓缩方面的卓越表现,双塔工艺已在实际生产中得到更为广泛的应用。随着环保要求的提高,煤制气中CO2含量超标的情况日趋严重,这迫使许多煤制气企业将CO2捕集与利用作为未来发展的主要方向。例如,位于陕西神木的一套200kt/a煤制天然气项目,采用双塔流程进行CO2捕集,并将其用于生产甲醇,实现了CO2的资源化利用。

煤制气装置中的酸性气脱除与氨气浓缩通常是独立进行的,但它们之间存在相互影响,如酸性气中硫化氢含量增加将导致氨气浓度降低、吸收剂再生效率下降、氨在碱性条件下易分解等。因此,除采用双塔流程以外,还可采用其他处理方式,如采用多塔流程等。

3 煤制气酚氨回收工艺改造与技术提升

3.1萃取塔技术改造

萃取塔作为酚氨回收系统的核心设备,其内部结构和操作参数直接影响传质效率与设备运行稳定性。传统填料设计存在液泛、气液分布不均等问题,导致传质效果不理想,萃取效率与实际运行指标存在明显偏差。为提高分离效果与设备负荷,改造措施主要围绕以下几个方面展开:

3.1.1塔内填料结构优化与气液接触改良。通过更换传统填料,新填料选用FG型高效格栅填料,分段设计为六段堆叠,以提升分散性能与两相接触的均匀性。新填料具有更大的比表面积

和更强的抗油性能,克服了原有填料在高油含量煤气水条件下分散效果差的缺陷。此外,通过对溶剂进口和安全阀口的位置进行互换,以及优化出料口位置(下移至塔釜),减少了气液再分布不均和局部回流现象,进一步提高了传质效率和系统稳定性。结合两相流动与气液接触特性,对原有填料进行结构优化和气液接触改良,采用新型高强度波纹填料,以提高两相流动与传质性能。通过增设板式溢流管、波纹导流板、优化流体力学参数等手段,将原有填料改造为多级波纹填料。通过对比试验,在保证料液分布均匀的前提下,新填料的分离效率提高了30%~40%。

此外,为提高系统负荷,针对原萃取塔塔顶蒸汽系统进行优化设计,将塔顶蒸汽由原来的一套改为两套,并在原有蒸汽外购基础上新增蒸汽再循环泵和循环泵,以降低煤制气中酚氨回收系统操作压力;同时新增两个冷凝水罐和循环水调节罐,以满足酚氨回收系统高负荷运行需求。

3.1.2传质级数提升与设备负荷增加。改造后的萃取塔运行负荷由270t/h提升至300t/h,萃取比从1:4.0优化至1:6.0,理论萃取级数从2.0增加至3.5。这些改进使气液接触面积与传质界面得到充分扩展,有效提高了萃取效果。在原料煤气水指标为总酚5000～6000mg/L、COD20000～24000mg/L的情况下,稀酚水出水指标得到显著改善,总酚平均降至586.1mg/L,COD平均可达到3197.5mg/L,达到理想的分离效果。

3.1.3抗油与抗堵塞能力增强。通过填料结构和流程优化,萃取塔在原料煤气水油含量较高的条件下表现出更强的抗油能力,避免了设备超负荷运行和管线堵塞问题。二异丙基醚的消耗得到有效控制,操作费用显著降低,系统运行更加稳定。

3.2酸性气技术改造

煤制气处理过程中,酸性气(如CO_2、H_2S)与酚氨回收环节相互影响,若控制不当易导致设备堵塞、溶剂循环效率下降,尤其在高氨氮含量条件下,碳铵结晶问题更为突出。为优化酸性气处理效果,提高系统运行稳定性,近年来技术改造主要集中在以下方面:

3.2.1酸性气洗涤与吸收工艺的优化。传统工艺中,酸性气未经充分预处理直接进入回收塔,导致溶剂负荷增加,酸性气中氨含量偏高,容易形成碳铵结晶。针对这一问题,采用脱氨水作为酸性气的喷淋吸收水,将喷淋管线设置于脱酸塔顶部冷凝器入口后侧,通过喷头使水雾均匀分布在酸性气管道内,与酸性气充分接触后进入分液罐进行气液分离。未被吸收的酸性气外送掺烧,洗涤水则回流至上游装置循环利用。改造后,酸性气浓度由85.87%提高至92.82%,有效降低了碳铵结晶的发生概率,设备管线运行更加稳定。

3.2.2喷淋水系统与关键操作参数精细化控制。为提升吸收效率与系统平衡,工艺改造通过精确调控喷淋水的流量、压力及分布状态,确保酸性气与水雾在管道内充分混合接触。此外,在线传感器与控制系统可实时监测酸性气中氨含量与温度变化,动态调整喷淋水参数,实现气液分离过程的精准控制,减少对后续设备的扰动。

4 结语

煤制气酚氨回收技术的持续进步,不仅在于对单体工艺环节的改造与升级,更在于实现全流程的协同优化,从溶剂配方、填料设计到下游产品协同利用的系统化构建。本研究全面展示了煤制气酚氨回收领域近年来的技术进展与流程改良思路,通过对单塔与双塔工艺的比较、对萃取塔与酸性气处理环节的改造、对新材料和智能化控制的应用探讨,为今后产业实践提供了一点参考。

[参考文献]

[1]薛慧峰,李星明,姚田.煤气化废水酚氨回收装置中脱酸脱氨塔的操作优化[J].山西化工,2021,41(04):93-95.

[2]王洪坤,王锋,黄浩,等.煤制气酚回收装置脱氨水冷却器管程清洗技术改进[J].清洗世界,2023,39(10):13-15.

[3]杜江.煤制气液化分离工艺技术研究[J].石化技术,2018(02):1.

作者简介：

穆应鹏(1987--),男,汉族,云南保山昌宁县人,中级工程师,大学本科,主要从事煤制合成氨企业工艺技术管理工作。