高含尘富油煤煤气净化设备的长周期运行瓶颈与解决途径

王 炯 王 鹏

伊吾纳东环保科技有限公司 新疆 哈密 839300

摘 要：伊吾纳东环保科技有限公司高含尘富油煤气化产出的粗煤气具备粉尘含量高、重质油组分复杂、介质腐蚀性强的特点，在煤气净化生产过程中，极易引发设备堵塞结垢、介质耦合腐蚀、构件磨损老化等各类问题，严重制约净化设备的连续稳定运行。本文系统梳理伊吾纳东环保科技有限公司高含尘富油煤煤气净化系统的运行现状，深入剖析净化设备运行过程中的核心瓶颈及产生机理。结合现场实际运行特性，从原料预处理优化、设备内部结构改造、工艺参数工况调控、多维度设备优化助力煤气净化长周期运行等方面，提出适配复杂煤气工况的系统性解决路径。

关键词：高含尘富油煤；煤气净化设备；长周期运行；瓶颈；解决途径

引言

常规煤气净化设备多适配洁净煤气工况，在高粉尘、高油质的复杂介质环境中，极易出现各类运行故障，无法实现长期连续运行。在实际生产运行中，粉尘堆积堵塞、重质油结垢结焦、油气耦合腐蚀磨损等问题反复出现，不仅大幅缩短设备检修周期，增加设备运维成本与人工成本，还会造成净化系统工况波动，影响整套煤化工装置的生产连续性。现阶段针对高含尘富油煤特殊煤气工况的设备适配优化研究相对有限，多数生产单位仍沿用传统净化工艺与设备配置，无法针对性解决复杂介质带来的设备运行瓶颈。

1 高含尘富油煤煤气净化设备长周期运行瓶颈分析

1.1 粉尘富集造成的设备堵塞瓶颈

（1）伊吾纳东环保科技有限公司高含尘富油煤在气化反应过程中会产生大量细微固态粉尘颗粒，这类粉尘粒径普遍偏小，整体分散程度较高，能够随煤气气流持续进入后端净化设备内部，对整套净化系统的持续运行造成持续性负面影响。与常规煤气粉尘相比，该类粉尘具备质量轻、吸附性强的特点，不会在短时间内发生自然沉降，会跟随气流流经净化设备的管道、滤芯、塔内填料及节流结构等关键部位。（2）在设备长期运行的过程中，细微粉尘会不断附着堆积在设备内壁和流通构件表面。初期仅为薄层附着堆积，不会对设备通气效率造成明显影响[1]。随着运行时长不断增加，粉尘堆积厚度持续提升，会逐步缩小煤气流通通道的有效截面积。设备内部气流阻力会随之不断增大，系统整体压差出现明显上升，直接降低煤气净化的处理效率。（3）粉尘长期富集堆积还会引发持续性的堆积压实现象，形成质地致密的粉尘层，常规气流冲刷无法实现自主清理。堆积的粉尘会持续干扰设备内部的气液交换过程，造成净化工序无法正常发挥作用。严重时还会造成局部通道完全堵塞，引发设备通气不畅、系统负荷异常波动等问题。这类堵塞问题具备累积性和不可逆的特点，会大幅缩短净化设备的连续运行时长，是限制设备长周期稳定运行的核心瓶颈之一。

1.2 重质油黏附引发的结垢、结焦瓶颈

伊吾纳东环保科技有限公司高含尘富油煤气化生成的粗煤气中，含有大量成分复杂的重质油组分。这类油品黏度普遍较高，凝固特性较强，在煤气输送和净化处理的全过程中，极易依附在各类净化设备的内壁、填料表层以及气流通道结构表面，形成持续性的黏附堆积问题，严重制约设备长周期稳定运行。（1）粗煤气在净化设备内部流动换热的过程中，工况温度会出现小幅变化。温度波动会降低重质油的流动性能，让原本处于流动状态的油质成分逐步凝滞附着在设备构件表面。长时间的层层堆积会形成厚度不均的油垢层，这类油垢质地黏稠，能够牢牢贴合设备表面，普通的气流冲刷难以实现自主清除，会持续附着累积。（2）随着设备运行时间不断延长，表层黏附的重质油会长期处于高温缺氧的设备内部环境中。油品会逐步发生热聚合和热缩合反应，原本松软的油垢会慢慢硬化固化，最终形成结构致密的焦质层。结垢结焦现象出现后，会持续缩小设备内部的通气流通截面，增大系统运行阻力，直接降低煤气净化处理的整体效率。（3）固化的焦层结构稳定性强，会长期附着在设备构件和填料缝隙中，不仅会干扰气液传质

交换的正常进行，还会加速设备老化损耗。这类问题具备极强的累积性，一旦大面积结焦成型，只能通过停工检修的方式人工清理，大幅缩短设备连续运行周期，是阻碍净化设备长周期运行的关键瓶颈。

1.3 油气粉尘耦合腐蚀造成设备损耗瓶颈

（1）单纯的粉尘颗粒会在高速气流带动下持续冲刷设备内壁、填料构件及管路接口，形成轻微的机械磨损。而附着在设备表面的重质油层会牢牢包裹堆积的粉尘，让粉尘无法随气流正常排出，持续固定在设备金属表面。这一状态会在设备内壁形成长期覆盖的介质堆积层，为腐蚀反应提供稳定的附着环境。（2）煤气中含有的微量酸性组分，会逐步溶解于重质油附着层中，在金属表面形成弱腐蚀环境[2]。长时间的渗透反应会慢慢破坏设备金属表层结构，产生均匀腐蚀或局部点蚀问题。同时，粉尘与油垢的堆积覆盖会造成设备表面散热不均，局部温度长期偏高，进一步加速腐蚀反应速率。（3）机械磨损与化学腐蚀的双向叠加，会持续破坏设备构件完整性，造成管壁变薄、填料破损、构件性能衰减等问题。设备整体结构强度与运行稳定性持续下降，极易出现局部泄漏、构件失效等故障。这类耦合损伤具备隐蔽性和持续性的特点，日常运行中难以快速察觉，长期积累会大幅缩短设备使用寿命，迫使设备频繁停机检修，成为制约净化系统长效稳定运行的重要瓶颈。

2 高含尘富油煤煤气净化设备长周期运行解决途径

2.1 优化原料预处理工艺，降低入口粉尘与重质油负荷

伊吾纳东环保科技有限公司富油煤分级分质利用煤气净化关键技术研发与应用项目中预处理工序作为煤气净化的前置环节，整体运行质量直接决定后续设备的结垢、堵塞以及腐蚀程度，也是保障整套系统长周期稳定运行的核心前提。（1）针对粗煤气含尘量偏高的问题，需要对现有预处理除尘工艺进行系统性优化升级。结合高含尘富油煤气的粉尘粒径特性，适配多级梯度除尘作业模式，依托初级除尘结构完成大颗粒粉尘的快速分离处理。针对难以沉降的细微粉尘，优化气流分布状态，调整预处理设备的内部流场结构，提升细微粉尘的拦截捕捉效率。通过分级除尘的方式，大幅降低煤气中的固态粉尘含量，减少粉尘进入后端净化设备的总量，从源头规避粉尘富集堆积引发的设备堵塞问题。（2）在重质油管控方面，根据重质油的冷凝特性，合理调控预处理阶段的温度参数，让煤气中大部分重质油组分在前置工序中完成冷凝析出与分离[3]。持续优化喷淋洗涤工艺，调整洗涤介质的用量与喷淋状态，提升对气态重质油、油雾的吸附捕捉能力，最大限度脱除粗煤气中的黏稠油组分。有效减少重质油随气流进入深度净化设备，弱化油品黏附堆积带来的结垢结焦隐患。（3）通过全方位优化原料预处理工艺，能够显著降低煤气入口端的粉尘与重质油负荷，减轻后续净化设备的介质处理压力。有效缓解油气粉尘耦合堆积、腐蚀磨损等各类设备损耗问题，减少设备内部污垢堆积速率，延长设备稳定运行周期。同时可以降低设备日常清理与检修频次，为净化系统长期连续、稳定安全运行提供基础工艺保障。

2.2 改造设备内部结构，提升防堵防结垢性能

装置长期运行过程中容易出现气流死角、介质堆积、油尘滞留等问题，间接加速堵塞与结焦进程。通过结构优化改造，可以从设备本体层面适配恶劣工况，切实改善运行短板。（1）可以对设备内部气流通道结构进行优化调整。原有流道布局容易造成局部气流流速偏低，让粉尘和油雾在低速区域持续滞留沉积。通过调整内部导流构件的结构形态，优化气流走向，能够消除设备内部的气流死角。均匀稳定的高速气流可以对设备内壁和构件表面形成持续吹扫效果，减少细微粉尘与轻质油雾的附着停留时间，有效抑制介质逐层堆积，降低垢层形成的基础条件。（2）需要对塔内填料及内件结构进行升级改造。传统密集型填料结构比表面积较大，传质效果较好，但缝隙狭小，极易被油气粉尘混合物堵塞。可以更换适配高污染煤气工况的大孔径、高通量新型填料，在保证基础净化效果的前提下，提升介质流通能力[4]。同时简化局部复杂结构，减少凹凸滞留面，降低重质油黏附堆积的概率，避免填料缝隙出现压实堵塞和固化结焦现象。（3）可增设内部自清污辅助结构，强化设备自主防垢能力。结合设备内部介质沉积规律，增设导流冲洗和积污导流结构，让少量洗涤介质可以覆盖设备内壁全部区域。持续弱化重质油固化结焦的条件，减少顽固焦质层的生成。结构改造完成后，设备整体防堵防结垢性能可以得到显著提升，有效减少介质堆积带来的设备故障，大幅提升整套净化设备的连续稳定运行能力。

2.3 优化运行工艺参数，稳定系统工况条件

常规固定化运行参数无法适配富油含尘煤气的复杂介质特性，容易造成介质析出不均、附着加剧和反应失衡等问题。持续细化并优化整套净化系统的工艺参数，能够有效稳定设备运行工况，从动态运行层面减少各类故障的发生，延长设备长周期运行时效。（1）温度是影响重质油析出与结焦反应的关键参数。工况温度过高，会加快重质油组分的热聚合反应速度，促使油质物质快速固化结焦。工况温度过低，又会造成部分重质油大量

冷凝黏附在设备内壁和填料表面，加厚油垢堆积层。工作人员需要结合煤气组分特性，锁定合理的温度运行区间，保持系统温度的平稳过渡。减少温度大幅波动带来的介质异常析出问题，弱化油尘堆积和固化结焦的基础条件。（2）系统压力的稳定管控同样至关重要，净化系统压力频繁波动会打乱内部气流的运行秩序，造成局部气流流速忽快忽慢。压力不稳会让粉尘和油雾在低压滞留区域持续沉积，逐步积累形成污垢堵塞点位。日常运行中需要规范系统压力的升降节奏，严控压力波动幅度，保持设备内部流场长期处于均衡稳定的状态，有效降低介质沉积概率。（3）需要合理调控洗涤液流量、循环频次以及煤气处理负荷等配套参数。参数匹配失衡容易造成气液接触状态紊乱，出现洗涤净化不充分、局部介质残留堆积等问题。通过建立标准化的参数调控机制，根据实际运行状态动态微调各项工艺指标，能够让整套净化系统始终处于最优运行工况。持续稳定的运行环境可以大幅降低设备损耗速率，减少非计划停机次数，为净化设备长周期、高效率、低故障运行提供可靠的工艺保障。

2.4 多维度设备优化助力煤气净化长周期运行

伊吾纳东环保科技有限公司制氢装置在吸附剂选型与应用方面，装置搭载多款自主研发的专用吸附剂，综合吸附、再生、耐用性能表现优异。（1）其中 CDHX-4101 吸附剂对水、二氧化碳具备极强的吸附能力，且再生操作简便，能够有效缩减装置运行死空间，提升氢气回收率。CDHX-5301 吸附剂通过优化酸洗工序与活化工艺，大幅降低灰分占比，构建发达的微孔结构，对甲烷等烃类物质吸附容量大、解吸效果好，长期运行性能稳定。CDHX-6302 型分子筛吸附剂采用无粘接剂多交多焙先进工艺，吸附容量、机械强度、堆比重等核心指标远超国标优等品标准，多项性能优于同类进口产品，达到世界领先水平。（2）在控制系统方面，装置配备成熟先进的 PSA 专用控制软件，智能化与可靠性突出。系统可在单吸附塔故障时实现无扰动自动切塔，支持设备在线检修，有效提升装置连续运行稳定性。针对升降压核心工序，采用智能自适应调节模式，让压力变化贴合理想曲线，保障吸附、解吸工序平稳运行，同时降低管道气流噪音。系统可自主优化吸附时间，在保障氢气产品质量合格的前提下，最大化提升氢气回收率。（3）在核心设备设计上，装置吸附塔采用自研新型结构，具备死空间小、气体分布均匀的优势，相关大尺寸吸附塔应用技术国内领先。设备顶部配置专属压紧结构，从根源上杜绝吸附剂粉化问题，实现本质安全设计。同时装置管阀架区增设防雨棚，有效降低设备运行噪音，减少外界环境对设备的腐蚀损耗，进一步延长设备使用寿命，保障装置长期高效平稳运行。

结语

综上所述，伊吾纳东环保科技有限公司富油煤分级分质利用煤气净化关键技术研发与应用项目中通过优化原料预处理工艺降低入口介质负荷，改造设备内部结构提升防堵防垢能力，精细调控工艺参数稳定系统工况，搭配新型耐磨防腐材料与防护技术强化设备防护，形成一套适配高含尘富油煤煤气工况的完整运维优化体系。各项措施可以从根本上弱化复杂介质对净化设备的损害作用，有效减少设备堵塞、结焦、腐蚀磨损等故障问题，显著延长设备长周期运行时长。随着煤化工行业精细化、长效化生产要求不断提升，煤气净化设备的稳定运行价值愈发凸显。后续生产与研究过程中，还需要结合实际工况变化持续优化工艺参数与设备结构，不断完善设备运维保障体系，推动高含尘富油煤煤气净化工艺向低故障、长周期、低成本的方向持续发展，为煤化工装置安全高效生产提供坚实保障。

参考文献

[1] 董丽丽, 王力川. 焦炉煤气净化工艺的研究进展 [J]. 山东化工,2021(12):08.

[2] 刘丽丽. 焦炉煤气净化工艺研究现状及发展趋势 [J]. 山东化工,2021(04):23.

[3] 聂金喜. 转炉新型净化煤气回收系统用水优化研究 [J]. 建筑技术科学,2025,6(S2):807-809.

[4] 王双明, 王虹, 任世华, 等. 西部地区富油煤开发利用潜力分析和技术体系构想 [J]. 中国工程科学,2022,24(3):49-57.