分级分质利用下煤气净化系统的多污染物协同控制路径

王 炯 王 鹏
伊吾纳东环保科技有限公司 新疆 哈密 839300

摘 要：针对伊吾纳东环保科技有限公司制氢装置煤气净化系统中多污染物共存且相互耦合的复杂问题，本文从气源组成与热值差异出发，确立分级分质利用的梯级加工逻辑。通过溯源解析硫、氮、卤素及粉尘的释放迁移行为，揭示污染物间的协同与竞争作用机制。在此基础上构建气源匹配型协同脱除、单元串联及副产物同步处置三类工艺路径，并引入工况参数耦合调控、物料动态调配与介质匹配优化策略。

关键词：煤气分级分质利用；多污染物协同控制；净化系统耦合；效能评价；参数调控

引言：煤气化或热解过程中产生的粗煤气含有硫化物、氮化物、卤素化合物及颗粒物等多种有害组分，其净化水平直接制约后续化工合成与燃烧利用的清洁程度。不同来源煤气的有效组分与惰性组分比例差异显著，且各污染物在温度、压力及气氛变化下易发生形态转化与二次聚合，致使单一脱除手段难以兼顾效率与经济性。净化单元间的排列顺序、操作窗口匹配程度以及副产物即时处置能力，均影响整个系统的污染物削减效果。

1 煤气分级分质利用与多污染物生成基础

1.1 煤气分级分质利用的内在特征

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，煤气分级分质利用的核心逻辑在于气源组成与热值差异实施差异化加工路径。不同来源的煤气其有效组分与惰性组分比例存在显著区别，这就决定了不能采用统一的处理模式。分级处理的出发点是将高品位煤气用于对热值要求严格的化工合成或深加工环节，而低品位煤气则可通过简单燃烧释放热能，以此实现能源品级与终端需求的合理匹配。分质利用则强调对煤气中硫、氯、重金属等杂质含量的预先识别，并根据这些杂质分布情况选择合适的净化强度。这种梯级利用方式能够有效降低整体加工能耗，同时减少不必要的精制步骤，从而在源头上控制污染物生成总量。以荒煤气为原料时，因其CO含量较低、变换反应放热量不大，故可采用三段绝热变换工艺，绝热床结构简单且故障率低，这与低品位煤气适配中等强度处理路径的定位相吻合。原料气经气柜缓冲后，先由横管冷却器降温至40℃再进入电捕焦油器，可有效控制温度波动对后续设备的影响，为分级利用创造稳定的入口条件。

1.2 煤气净化系统污染物溯源解析

伊吾纳东环保科技有限公司制氢装置中煤气净化系统承担着脱除有害物质的核心任务，而实现高效净化的首要环节在于准确掌握各类污染物的来源与迁移路径。溯源解析工作从煤炭的原生组成入手，考察硫分、氮分以及灰分中伴生重金属在气化或热解过程中的释放行为，明确哪些组分倾向于进入气相主体，哪些则滞留于固相残渣之中。净化系统各单元对特定污染物的脱除效率存在差异，这就需要在全流程尺度上追踪污染物的形态转化与相间转移，以识别出各主要排放节点的贡献程度[1]。实际装置中，原料气经气柜缓冲后先进入横管冷却器降温至40℃，再经电捕焦油器除去大部分焦油，随后通过离心鼓风机增压、冷却分液，再经无油湿式螺杆压缩机加压至0.6MPa(G)后进入洗氨单元。水洗塔设置两段独立循环系统，上段使用新鲜水洗涤，部分洗涤水排入下段水箱作为下段用水，两段采用不同循环比，在保证洗氨效果的同时减少用水量，最终将NH_3含量控制在100ppm以下，为后续TSA预处理提供明确的负荷分配依据。

1.3 多污染物间相互作用机制

煤气中的硫化物、氮化物、卤素化合物以及粉尘颗粒在实际净化过程中并非孤立存在，它们之间通过化学反应与物理吸附等方式产生复杂的交互影响。这种相互作用既可能表现为协同促进效应，例如某些气态组分共同参与反应路径而改变脱除效率，也可能表现为竞争抑制现象，即一种组分占据活性位点后降低另一种组分的去除率。此外，多种污染物在温度梯度或压力变化条件下容易发生聚合或凝聚行为，生成更难处理的二次产物，这无疑增加了净化难度。深入理解这些相互作用的内在规律，对于合理设置净化单元顺序以及调控操作条件具有现实意义。只有将多组分耦合效应纳入考量范畴，才能准确评估净化系统的综合性能并制定相应的调控策略。

2 多污染物协同控制工艺路径构建

2.1 气源分级匹配型协同脱除路径

气源分级匹配型协同脱除路径的核心在于根据煤气中有效成分与杂质的初始含量来划分处理等级，不同等级的气源搭配不同强度的净化方案。高品级煤气由于后续利用对纯度要求较高，需选用活性较强且选择性较好的脱除试剂，同时适当延长反应接触时间；低品级煤气则可使用常规试剂和较短流程，只要满足基本利用需求即可。这种分级处理的根本目的在于避免对所有气源采用同一套高标准工艺，从而减少不必要的试剂消耗与能源投入[2]。在此基础上，针对同一气源内硫、氮、尘等多种污染物共存的现实，选用具有广谱脱除能力的共性试剂，使单次操作能够同时作用于多个污染组分，进而提高单位操作的有效产出。分级匹配不仅考虑了气源差异，还兼顾了后续利用方式的不同约束，从而在保障净化效果的前提下优化整体运行成本。

2.2 单元耦合串联协同控制路径

伊吾纳东环保科技有限公司单元耦合串联协同控制路径强调净化系统内部各功能单元的排列次序与操作参数之间的协调配合，通过合理设置脱尘单元、脱硫单元和脱氯单元的相对位置来实现逐级削减与相互增益。前单元应优先去除对后续催化剂或吸附剂有害的粉尘和焦油类物质，防止这些组分堵塞孔道或覆盖活性表面；中段单元承担主要脱除任务，利用适宜的温度窗口和反应气氛去除大宗气态污染物；末段单元则针对残存的微量组分进行精细脱除。各单元间的温度、压力和气流速度需要保持良好衔接，以减少过渡段的热量损失和压力波动，同时避免因参数突变导致已脱除组分重新释放。这种串联模式不是简单地把几个单元拼在一起，而是充分利用每个单元的最佳工作区间，使得整个流程在有限长度内实现多种污染物的同步削减。

2.3 副产物同步处置协同路径

副产物同步处置协同路径着眼于净化过程中产生的含硫废渣、含氯废液以及富集粉尘等二次产物的现场即时处理，力求在主净化流程运行的同时完成对这些副产物的稳定化与初步转化。该路径将副产物收集和反应装置直接嵌入到净化系统内部，使副产物一经生成便立即进入下一工序，无须经历中间存放和长距离转运，从而有效规避二次泄漏和组分挥发风险。利用主流程中的余热资源对副产物进行加热分解或固化处理，可显著降低外部供热需求，同时借助系统中尚未耗尽的活性物质对副产物中的有害成分进行原位中和或吸附固定[3]。经过初步处理后的副产物若含有可回收的有用元素，则将其重新引入净化前段作为补充试剂，实现物质的部分循环利用。这种同步模式将控制范围从气相延伸至固相和液相，真正做到全过程全覆盖式管理。

3 系统运行参数协同调控策略

3.1 工况参数多变量耦合调控

伊吾纳东环保科技有限公司制氢单元工况参数多变量耦合调控的核心在于承认温度、压力、空速以及入口污染物浓度等操作变量之间并非彼此独立，而是通过反应动力学和相平衡关系紧密关联。温度升高通常会加快脱除反应速率，但同时可能降低吸附容量或促进副反应发生；压力调整则直接影响气相传质系数和平衡转化方向；空速变化会改变气固接触时间，进而影响单位时间内可处理的污染物总量。因此，调控工作不能孤立地调整某一参数，而必须综合考虑各变量对脱除效率和运行稳定性的联合作用。实际操作中，需要依据气源波动情况，同步调节多个参数使其保持在合理区间内，使系统始终处于协同最优的工作状态[4]。这种耦合调控模式强调实时监测与快速响应，通过参数间的相互补偿来抵消单一因素变化带来的负面影响，从而保证净化效果的整体稳定性。针对荒煤气压力低且含水饱和的特点，采用四级压缩：鼓风机增压至0.07兆帕（表压），冷却后螺杆压缩机增压至0.6兆帕（表压），再经离心压缩机升至1.6兆帕（表压）后进入变换及VPSA，产品氢气最后经往复压缩机加压至2.15兆帕（表压）送出。这种分级升压避免了直接压缩至高压造成的大量无用功消耗。

3.2 物料分配与负荷动态调配

物料分配与负荷动态调配着眼于净化系统在不同运行阶段面临的气量、浓度及成分波动，通过灵活调整各单元间的物料分流比例和试剂投加速率来维持整体处理效率的均衡性。当入口污染物浓度突然升高时，可适当增大前段单元的吸收剂循环量或延长停留时间，同时将部分气流分流至备用通道以降低主通道负荷；当某些单元因再生或检修需要降负荷运行时，则需提前调配其他单元的物料供给以弥补脱除能力的缺口。动态调配的核心依据是实时监测数据与预设阈值之间的比对，以此决定各阀门开度和给料频率的调节幅度。

3.3 净化介质匹配优化

净化介质匹配优化强调根据不同气源的杂质组成和工况条件，选择或调整净化介质的类型、规格及使用方式，以实现最佳脱除效果与最低消耗。不同介质对硫、氯、氮等组分的亲和能力和选择性各异，且其活性受温度、湿度及共存气体影响较大，因此必须按照实际气源特性进行针对性选配。介质匹配不仅涉及初始选型，还包括运行过程中的粒度级配、再生频率和更换周期等后续参数优化。对于多污染物共存的体系，有时采用单一

介质难以兼顾所有脱除目标，此时需组合使用两种或多种介质，并合理安排它们在流程中的先后次序，避免因介质间相互干扰而降低综合效率。匹配优化的最终目标是在满足净化要求的前提下，尽可能延长介质使用寿命并减少废介质产生量，从而提升整个工艺的经济性和可持续性。

4 协同控制系统效能评估与过程优化

4.1 多维度效能评价指标体系

协同控制系统的效能评估不能仅依靠单一指标作出判断，而应从净化效率、运行稳定性、资源消耗和副产物可控性等维度构建完整的评价框架。净化效率方面既要测定各污染组分的单独脱除率，也要评估多组分同步削减的综合效果，以此反映系统对不同类型污染物的整体脱除水平。运行稳定性维度主要考察系统在气源流量和成分波动条件下各单元出口参数的波动幅度与恢复速度，体现系统抵抗外部干扰并维持平稳运行的能力。资源消耗方面需系统核算试剂用量、能源消耗及水的使用水平，同时考虑净化介质的更换频率与使用寿命，为工艺经济性分析提供基础数据支撑。副产物可控性维度则关注净化过程产生的废渣废液数量及其有害成分含量，评估后续处理和处置的难易程度。各维度间通常存在相互制约的关系，需要通过合理的赋权方法和综合评价手段寻求平衡，确保指标体系既能用于工艺验收又能指导日常运行管理。

4.2 系统内部影响因素敏感性分析

敏感性分析的核心任务是定量评估各操作参数和气源条件对净化效果的作用强度，从而明确运行过程中需要重点监控的关键变量。具体实施时以基准工况为参照，依次改变温度、压力、空速及入口污染物浓度等单一参数并保持其余条件恒定，测定出口污染物浓度与系统压降等响应指标随参数变化的幅度，据此判断各因素的敏感程度。敏感度较高的参数意味着较小的波动即可引起净化性能的明显变化，这类变量必须配备精度足够的检测仪表和反应迅速的调节装置，确保其始终处于设定范围内。敏感度较低的参数对净化效果的影响相对有限，可在较宽区间内浮动，适当放宽控制要求有助于减少操作频次和降低劳动强度。

4.3 系统迭代优化方向

根据伊吾纳东环保科技有限公司效能评估与敏感性分析结论，可梳理出协同控制体系的迭代优化方向。首要着力点是对敏感度高的参数实施优先管控，提升测量精度和调节速度，同时放宽低敏感参数的控制范围以释放操作灵活性。针对评价指标反映的薄弱环节制定改进措施，若副产物管理评分偏低，则强化前段脱除或增设在线稳定化单元；若资源消耗超标，则重新评估介质选型或调整再生方案。优化还需从全流程审视物料与能量的匹配关系，利用系统余热对副产物进行初步分解或干燥，将可回收组分返回前段重复使用。每次调整后必须回到效能评估环节验证改进效果。正是基于对解吸气波动问题的反馈而做出的改进，未来还可根据解吸气组成变化进一步调整再生加热温度和时间，使系统性能在实际条件下不断趋近最优运行状态。

结束语：煤气净化系统的协同控制绝非各单元独立优化的简单叠加，而应立足于气源分级、污染物耦合脱除与操作参数联合调节的系统性思路。通过合理划分处理等级、串联功能单元并嵌入副产物同步处置模块，能够有效削减硫、氯、氮及粉尘等多组分负荷，同时利用余热资源降低外部能耗。效能评价与敏感性分析为识别薄弱环节、精准定位调控重点提供了量化依据，而基于实测数据的参数补偿与物料再循环则持续改善整体运行经济性。

参考文献

[1]王峰.天安化工煤气净化系统安全风险管控技术探讨[J].石油石化物资采购,2026,(2):94-96.

[2]胡泽华.煤气化渣活化过硫酸盐氧化焦化废水污染物过程研究[J].石油和化工设备,2026,29(7):259-261.

[3]李进国.高炉煤气净化系统提升优化[J].冶金动力,2025,(3):69-72.

[4]范华兵.煤气精制净化系统技术改造研究[J].现代工程科技,2025,4(16):93-96.