

降低煤制乙二醇合成系统阻力的优化技改及经济优势

郑善龙 关 侠（新疆中昆新材料有限公司，新疆 库尔勒 841000）

摘要：本文旨在探讨降低煤制乙二醇合成系统阻力的优化技改措施及其经济优势。研究首先分析煤制乙二醇合成系统阻力大的原因，进而提出优化技改方法，包括强化原料气深度净化以减少杂质沉积、优化催化剂装填结构与床层设计以提升气流分布均匀性、改造设备与管道系统以消除局部阻力瓶颈、优化操作控制策略以实现动态阻力管理。通过实施这些技改措施，能够有效降低系统阻力，提升生产效率与稳定性。优化技改后系统运行更顺畅，可减少能源消耗与设备维护成本，延长设备及催化剂使用寿命，进而显著降低生产成本，增强企业市场竞争力，带来可观的经济效益。

关键词：煤制乙二醇；合成系统；经济优势

中图分类号：TQ223.16 文献标识码：A

文章编号：1674-5167(2025)034-0070-03

Optimization and technological transformation for reducing resistance in the coal-to-ethylene glycol synthesis system and its economic advantages

Zheng Shanlong, Guan Xia (Xinjiang Zhongkun New Materials Co., LTD., Korla City Xinjiang 841000, China)

Abstract: This paper aims to explore the optimization and technical transformation measures for reducing the resistance of the coal-to-ethylene glycol synthesis system and their economic advantages. The research first analyzed the reasons for the high resistance in the coal-to-ethylene glycol synthesis system, and then proposed optimization and technical transformation methods, including strengthening the deep purification of raw gas to reduce impurity deposition, optimizing the catalyst loading structure and bed design to improve the uniformity of gas flow distribution, transforming the equipment and pipeline system to eliminate local resistance bottlenecks, and optimizing the operation control strategy to achieve dynamic resistance management. By implementing these technological transformation measures, system resistance can be effectively reduced, and production efficiency and stability can be enhanced. After the technological transformation and optimization, the system operates more smoothly, which can reduce energy consumption and equipment maintenance costs, extend the service life of equipment and catalysts, thereby significantly lowering production costs, enhancing the market competitiveness of enterprises, and bringing considerable economic benefits.

Key words: Coal-based ethylene glycol; Synthetic system; Economic advantage

煤制乙二醇作为化工生产中一条关键的路线，其合成系统可高效且稳定地运行有极为关键的意义，然而当下合成系统普遍出现阻力较大的状况，这种情况对生产效率产生影响，还使得能源消耗以及设备维护成本有所增加，对企业的经济效益与发展形成了制约，对系统阻力大的成因展开深入分析，并探寻切实可行的优化技改措施已经成为当务之急。本文将围绕这一主题，详细阐述阻力产生的原因、针对性技改策略，以及由此带来的显著经济优势，为煤制乙二醇产业优化升级提供参考。

1 煤制乙二醇合成系统阻力大的原因分析

催化剂床层积碳或结焦是常见诱因。在反应过程中，副反应产生的高分子聚合物或焦油类物质会在催化剂表面沉积，导致床层孔隙堵塞，气体流通受阻，系统压降升高。原料气当中存在的杂质，像硫化物、氯化物以及粉尘等，要是没有被完全脱除干净，一旦进入反应器，就会和催化剂产生不可逆的反应，使得催化剂失去活性，并且形成固体沉积物，这会加大流

动阻力^[1]。

设备内部结构若设计的不合理，或者在长期运行之后出现内构件变形以及填料塌陷等状况，同样会致使局部气流分布不均匀，甚至出现“死区”，使得压降加剧，操作参数若控制不当，如空速过高、温度波动剧烈等情况，有可能造成催化剂颗粒破碎或者粉化，细粉会随着气流迁移并堆积在床层下部或者出口管线处，最终形成堵塞。

系统停车检修不彻底，残留物料在再次开车时受热分解或聚合，也可能引发阻力异常上升。因此，需从原料净化、催化剂管理、设备维护及工艺操作等多方面综合排查和优化，以降低系统阻力，保障装置长周期稳定运行^[2]。

2 降低煤制乙二醇合成系统阻力的优化技改措施

2.1 强化原料气深度净化，从源头减少杂质沉积

原料气当中主要包含 CO、H₂ 及少量 CO₂，其中的微量杂质乃是致使合成系统阻力升高的关键因素之一，硫化物中含 H₂S、COS，氯化物中含 HCl、有机氯，

以及氨、水分以及粉尘等这类杂质，如果没有被有效脱除，一旦进入合成反应器，就很容易和催化剂活性组分发生不可逆反应，生成金属硫化物、氯化物或者盐类沉积物，将催化剂孔道或者床层间隙堵塞。另外部分高沸点有机物在低温段冷凝之后附着在管道内壁或者换热器表面，也会逐渐累积形成阻力源，要对原料气净化系统进行深度优化，工作人员需要升级脱硫脱氯单元，采用双级或者多级串联吸附工艺，例如前置氧化锌脱硫加上后置分子筛深度脱氯组合，以此保证总硫含量控制在 0.1ppm 以下，氯含量低于 10ppb。在合成气进入反应器之前增设高效过滤器，像是烧结金属滤芯或者陶瓷膜过滤器，可有效地拦截粒径 $\geq 1 \mu\text{m}$ 的固体颗粒，优化低温甲醇洗或者变压吸附也就是 PSA 单元的操作参数，保证 CO 产品气中水分和 CO₂ 含量达标，水分 $\leq 1\text{ppm}$ ，CO₂ $\leq 50\text{ppm}$ ，防止碳酸盐或者水合物在低温部位析出。并且定期对净化系统进行再生以及性能评估，建立杂质在线监测体系，达成杂质“早发现、早处理”，从源头上杜绝杂质进入合成系统，降低因沉积物引发的流动阻力^[3]。

2.2 优化催化剂装填结构与床层设计，提升气流分布均匀性

在化工合成反应中，催化剂床层作为核心区域，其结构设计的优劣对气体流动状态和压降水平起着决定性作用。传统固定床反应器存在诸多弊端，若采用单一粒径催化剂，且缺乏合理的分布器与支撑结构，极易引发气流偏流、沟流以及局部堆积等问题，导致床层压差异常升高，严重影响反应效率和设备寿命^[4]。

要解决这些问题，需要在催化剂选型、装填方式以及内构件设计这三个关键方面开展技术改进工作，在催化剂选型环节，应当选用有高强度、低粉尘以及高比表面积特点的专用草酸酯加氢催化剂，要严格控制催化剂颗粒的粒径分布，建议采用双峰分布模式，利用大颗粒构建主骨架，小颗粒填充空隙，这样做可保证反应活性，又可以维持床层良好的通透性。装填方式方面，采用分级装填技术是很有必要的，在床层上部装填大孔径、低阻力的惰性瓷球或者开孔环作为气体分布层，可有效缓冲气流的冲击，让气流流速均匀分布，下部则是主催化剂层，以此保证反应充分进行，内构件设计时引入高效气体分布器，比如多孔板式、导流锥式或者旋流式分布器，配合底部筛板与防漏网结构，可以防止催化剂颗粒迁移以及粉化物流失，优化气流分布。另外在反应器内部增设在线压差监测点，实时监测床层各段压降变化，可及时对堵塞风险发出预警，保障系统稳定运行，对于已经运行多年的装置，在检修期间对床层进行“松动—筛分—回填”

处理，清除粉化催化剂和积碳块，恢复床层孔隙率，同样有意义。

2.3 改造设备与管道系统，消除局部阻力瓶颈

在煤制乙二醇合成系统里，除了核心反应器之外，换热器、分离器、循环管线以及各类阀门等辅助设备也是系统阻力升高的关键所在区域，在长期运行的进程中，这些部位很容易因为结垢、积液、颗粒沉积或者结构设计不够合理形成局部的“阻力瓶颈”，这会增加压缩机的负荷，提高能耗，而且还可能引发气流分布不均匀、液泛甚至出现非计划停车的情况，严重地影响装置的稳定性和经济性。要对整个工艺流程中的设备与管道系统开展系统的梳理以及针对性的技改，彻底消除阻力隐患。

高压循环气换热器属于高风险节点，需要对其材质与结构进行双重升级，传统列管式换热器内部存在较多死角，流道较为狭窄，容易致使副产物比如草酸酯聚合物、金属盐类出现沉积以及结焦现象，使得传热效率降低，压降升高，可以采用波纹管换热器或者螺旋板式换热器来替代，它们的连续流道设计可有效减少死区，提升湍流程度，在强化传热的同时降低流动阻力。另外要建立定期清洗机制，将化学清洗例如螯合剂加缓蚀剂配方与物理清洗比如高压水射流相结合，以此保证换热表面长期保持洁净^[5]。

在管道系统当中，需要对布局给予优化，尽可能地减少那些不必要的弯头、变径、缩径以及直角转向情况，在从反应器出口到高压分离罐这样的气液两相流区域，如果液体在冷凝之后滞留在低点或者小曲率弯头的地方，就很容易形成“液塞”，造成瞬时压差急剧上升，针对这种情况，应当采用大曲率半径弯头，并且在低点合理地设置排液导淋以及自动疏水器，以此实现冷凝液可及时排出。另外关键控制阀门同样是阻力集中的地方，老旧阀门大多时候会因为内漏、阀芯磨损或者流通面积不够而产生比较严重的节流效应，应该优先选用全通径、低流阻的高性能球阀或者 V 型调节阀，并且配套智能定位器以及定期维护计划，保证阀门动作精准、密封良好，对于运行多年的老旧装置，建议引入 CFD 或者 Aspen Plus 等流程模拟工具，对整个系统进行压降建模以及仿真分析，精确识别高阻力节点，制定“一点一策”的改造方案。

2.4 优化操作控制策略，实现动态阻力管理

在煤制乙二醇合成系统运行期间，操作控制策略的科学与精细程度直接关联着系统阻力的稳定与可控状况，实践证明，不少阻力异常并非出自设备或催化剂自身问题，而是由操作参数波动引发的人为因素造成，比如空速过高会大幅提升气体借助催化剂床层的

线速度，致使床层压降迅速上升，甚至引发催化剂颗粒磨损、粉化，堵塞下游管道，反应温度控制不合适，局部超温，会加剧副反应，生成大量高沸点副产物，这些物质在低温区域冷凝沉积，逐渐形成顽固性积垢，抬高系统阻力，而系统压力频繁波动容易造成气流扰动，使夹带的液滴或固体颗粒迁移到换热器、分离器或阀门处，形成局部堵塞。要构建一套以“预防为主、动态调控、智能协同”为核心的精细化操作控制体系^[6]。

工作人员需要合理设定并且动态优化空速，在保证草酸酯转化率以及乙二醇选择性的情况下，把操作负荷控制在设计值的100%内，防止长期处于超负荷运行状态，还要依据催化剂活性衰减曲线定期调整进料速率，达成负荷与催化性能的匹配，实行多段精准控温策略，借助反应器轴向与径向温度监测，结合夹套或者内置换热结构，有效抑制热点形成，防止出现积碳和结焦现象，精细调控氢酯比，使其稳定在最佳工艺窗口，以此最大限度抑制副反应，从源头减少高沸物生成。

另外应当建立基于DCS历史数据的系统压降趋势分析模型，运用大数据与机器学习算法对关键节点的压差变化进行实时监控与异常预警，一旦发觉压降呈现持续上升趋势，立刻启动分级响应机制——轻的情况是切换备用过滤器、微调操作参数，重的情况是安排计划性检修，避免小问题变成大故障。

全面推行“平稳操作”理念，严格限制非必要的开停车、大幅负荷升降或者组分突变，减少热应力和机械冲击对设备与催化剂的损害，在此基础上，积极引入先进过程控制系统，依靠多变量预测控制技术，实现对温度、压力、空速、氢酯比等关键参数的自动协同优化，在保障产品质量的时候，将系统阻力维持在最低且稳定的水平^[7]。

3 降低煤制乙二醇合成系统阻力的经济优势分析

降低煤制乙二醇合成系统的阻力有着十分突出的经济优势，在煤制乙二醇的整个生产流程里，要是系统阻力过高，就会引发一连串的连锁反应，使得生产成本加重，一方面，系统阻力大说明设备要耗费更多能量去克服阻力以推动物料流动，这直接致使能源过度消耗，而能源成本在煤制乙二醇生产中占比较大，能源浪费必然会大幅提高整体成本。另一方面，高阻力会加重设备负担，加快设备磨损，缩短设备使用寿命，增加设备维修及更换频率，产生额外的设备维护成本。

相反要是降低系统阻力，那么就能切实减少能源消耗，让能源实现更高效的利用，还可以直接削减生产成本，设备运行的环境会得到改善，磨损程度也会

减轻，如此便可延长设备的使用寿命，减少在设备维护和更换方面的投入，而且系统阻力降低以后，生产流程会变得更加顺畅，生产效率也能得到提升，单位时间内的产量会增加，在市场价格相对稳定的情形下，可带来更多的经济效益。

从长远以及综合的角度去看，降低煤制乙二醇合成系统阻力是提升企业经济效益、提高市场竞争力的关键举措。降低系统阻力可对减少生产过程里的安全隐患起到帮助作用，系统运行状态更为平稳，如此一来可以降低由于阻力过大而引发的设备故障以及泄漏等风险，保障生产安全，这一情况避免了因为安全事故所造成的经济损失，而且还可提升企业的形象，总的来说，这一举措对于企业的可持续发展有着重大意义，是企业实现长远稳健发展的必然选择。

4 结束语

综上所述，通过对煤制乙二醇合成系统进行强化原料气净化、优化催化剂结构、改造设备管道以及优化操作控制等系列优化技改措施，能够有效降低系统阻力。这不仅提升了系统的运行稳定性与生产效率，更带来了显著的经济优势，如降低能源消耗、减少设备维护成本、延长设备使用寿命等。企业应积极推行这些技改举措，以增强自身市场竞争力，推动煤制乙二醇产业实现可持续发展。

参考文献：

- [1] 徐爱军,高毅,桑良玉.200 kt/a 煤制乙二醇装置DMO合成催化剂甲醇清洗再生小结[J].中氮肥,2025(05):70-73.
- [2] 陈帅.煤制乙二醇装置硝酸还原系统运行分析及优化[J].中氮肥,2025(02):74-77.
- [3] 任献涛.煤制乙二醇合成系统气相回路降阻改造[J].河南化工,2024,41(10):37-39.
- [4] 李国君,陈松领,徐恒恒.煤制乙二醇DMO合成系统气相组分影响因素研究[J].化肥设计,2024,62(04):16-19+50.
- [5] 李银岭,包世龙,祝静惠,等.煤制乙二醇装置影响负荷提升的问题及优化改进[J].中氮肥,2023(06):62-65.
- [6] 郭志强.影响煤制乙二醇合成系统尾气量的因素探究[J].氮肥与合成气,2022,50(11):1-3.
- [7] 邹善军,陈帅.200kt/a 煤制乙二醇装置技改优化及运行效果[J].煤化工,2022,50(04):83-87.

作者简介：

邹善军(1990.10—)，男，汉族，山东东平县人，本科，工程师，研究方向：化工工艺。