

油煤共炼中高分减压系统的升级及改造经济效益

张兴伟 杨晓飞 (陕西延长石油(集团)有限责任公司榆林炼油厂, 陕西 榆林 718500)

摘要: 煤油共炼试验示范项目的加氢裂化装置系统具有温度高、压力大的特点, 其流体介质为油煤气混合组分, 固含量高且磨损严重, 同时处于临氢状态。高压减压系统 Letdown 阀前后压差高达 19MPa, 高压窜低压的风险极高, 一旦发生泄漏, 着火爆炸的风险极大。装置运行初期, 采用“两位式”控制的减压阀时常出现阀芯、阀体磨穿泄漏着火的情况, 对装置的安全运行构成了极大威胁。通过技术改造, 将控制系统改为线性控制, 可显著延长其使用时间, 为装置的长周期平稳运行提供可靠保障。

关键词: 煤油共炼; 热高分; 降压短节; 减压阀; 经济效益

中图分类号: TE96 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 003-0068-03

The economic benefits of upgrading and transforming the high separation pressure reduction system in oil-coal co-refining

Zhang Xingwei, Yang Xiaofei (Yulin Refinery of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd, Yulin Shaanxi 718500, China)

Abstract: The hydrocracking unit system of the kerosene co-refining experimental demonstration project is characterized by high temperature and high pressure. Its fluid medium is a mixture of oil and gas, with high solid content and severe wear, and it is also in a hydrogen-adjacent state. The pressure difference before and after the Letdown valve in the high-pressure pressure reducing system can reach up to 19MPa, posing a very high risk of high pressure flowing into low pressure. Once a leakage occurs, the risk of fire and explosion is extremely high. During the initial operation of the device, the pressure reducing valve controlled by the “two-position” system often experienced leakage and fire due to wear through the valve core and valve body, posing a significant threat to the safe operation of the device. Through technological transformation, the control system is changed to linear control, which can significantly extend its service life and provide a reliable guarantee for the long-term stable operation of the device.

Key words: Kerosene co-refining; High thermal score; Blood pressure reduction short section; Pressure reducing valve; Economic benefits

1 油煤共炼的工艺探险

油煤共炼作为实现煤炭高效清洁转化的关键技术, 其核心是在高温、高压、临氢环境下, 使煤与重油等原料发生协同转化反应, 显著提升油产率并降低氢耗量。在典型的油煤共炼工艺流程中, 原料经加压、混氢、换热及加热升温后进入反应器, 反应产物需依次进入热高压分离器与热低压分离器进行气液分离。这一分离过程利用混相反应物不同组分汽化压力的差异, 在固定分离压力下实现精准分离: 气相产物从热高压分离器顶部分离后进入固定床进一步反应, 液/渣则从热低压分离器底部排出, 进入减压系统进一步分离残渣。

高压耐磨角阀 (Letdown 阀) 是连接热高压分离器与热低压分离器的核心枢纽, 其安装位置直接决定了减压系统的运行效率与安全性。该阀门需在入口温度最高 450℃、压力最高 20MPa, 出口压力仅 0.5~0.7MPa 的极端工况下工作, 压差最高可达 19.0MPa, 且需处理含高固含量、强磨损性的油煤气混合介质。正如在悬浮床加氢裂化工艺中所强调的, 此类高压差降压阀

门的运行稳定性直接关系到整个装置的连续运行能力, 其寿命周期往往成为装置检修间隔的制约因素。

2 改造前的困境漩涡

2.1 阀门控制的“定时炸弹”

改造前, 高压耐磨角阀采用“两位式”脉冲控制模式, 阀门每 45~60s 即完成一次全行程开关动作。这种频繁的机械运动与高固含量介质的冲刷形成叠加效应, 导致阀芯与阀座磨损速率急剧加快。迷宫式降压阀的设计理论表明, 阀芯阀座的反复碰撞会破坏流体流动的稳定性的, 进一步加剧磨损与汽蚀现象, 这使得改造前阀芯阀座最短仅 7 天就需更换。

同时, 频繁动作导致填料与阀杆间的密封性能持续衰减。尽管将原矩形填料升级为密封性能更优的 V 型填料, 延长了外漏周期, 但仍无法满足装置长周期运行需求。在临氢环境下, 填料密封失效带来的介质泄漏风险, 成为装置安全运行的重大隐患。

2.2 经济与安全的双重警报

“两位式”控制带来的设备损耗直接转化为高昂的经济成本。原方案中, 最长每 17 天需更换 1 套单

价 22.5 万元的国产阀内件，仅此项维护成本每年就高达数百万元。更严重的是安全风险：阀芯阀座磨损、填料外漏导致的高压介质泄漏，在临氢环境下极易引发着火爆炸事故，装置运行期间已多次出现泄漏着火情况，对人员与设备安全构成严重威胁。

这一风险在高压差阀门运行中具有普遍性，正如在神华沸腾床加氢裂化工艺的 Letdown 模块设计中所警示的，当阀门压差超过 1000psi 且介质含氢时，泄漏不仅可能引发燃烧爆炸，高浓度氢气还存在窒息风险。

2.3 分离效果的恶化危机

除阀门本身缺陷外，控制系统问题还引发了悬浮床一级热高压分离器 (V-103) 分离效果的连锁恶化。在某次装置运行中，热高压分离器液相密度持续降至 405kg/m^3 ，液位同步降至 26.5%，表明底部排液量减少，高分底部反应深度异常增加。正常情况热高压分离器液相密度 1404kg/m^3 ，液位在 40%–60%。这一异常直接导致下游设备连锁故障：悬浮床二级热高压分离器 (V110) 排液温度升至 291.4℃ ，固含量增加且颜色变深，减压角阀在运行 4h 时后手阀磨穿泄露；热低压分离器液位下降，冷后温度飙升至 103.1℃ ，远超 40℃ – 60℃ 的正常范围。

更为严重的是，Letdown 阀组最长关闭时间达 10 分 23s，远超 3min 的设计上限，导致热高压分离器底部发生高温热解，稠环芳烃缩合结焦。结焦不仅减少了有效分离空间，进一步恶化分离效果，还可能引发设备堵塞，迫使装置非计划停车。



图 1 磨损阀芯与新阀芯对比

3 技术改造的曙光

3.1 控制方式的改造思路

针对“两位式”控制的固有缺陷将其优化为线性控制模式。增加一路线性控制系统，通过平滑调节阀开度替代频繁的全关全开动作，从根本上改变了阀门的运行特性：一方面大幅减少阀门动作频次，降低阀芯阀座的碰撞与摩擦磨损；另一方面减轻填料与阀杆的相对动作，延长填料密封使用时间，降低高温物料外漏风险。通过控制方式的优化，相比迷宫式调节

阀通过稳定流场减少磨损的设计理念高度契合，均通过改善运行稳定性提升设备寿命。

3.2 阀座结构的优化升级

在整体结构优化方面，将原单阀芯阀座角阀后的管线升级为多级降压短节。借鉴迷宫式调节阀多级降压的设计原理，通过分级降压分散压差，使压力和速度曲线平稳过渡，有效缓解高压差下的固、油、汽三相流闪蒸效果，减少介质对阀芯阀座的冲刷磨损。直接实现“热高压分离器至热低压分离器”的降压流程简化，即大幅度提升了降压效率同时又保证磨损泄露率的下降。

3.3 辅助系统的协同优化

为保障所改工艺线路优化效果的作用充分发挥，还配套实施了三项辅助改造措施：①安装四通换向阀电液执行机构，提升各线路阀门切换动作的精度与稳定性，确保线性控制线路的精准实现；②对后降压短接文丘里短节采用碳化钨喷涂处理，利用碳化钨的高耐磨性增强管线抗冲刷能力；③优化热高压分离器直接冷氢与间接冷氢控制策略，通过精准控制悬浮床热高压分离器底部温度避免底部超温发生结焦，从源头上减少分离系统故障原因。

4 改造后的经济效益

4.1 阀门寿命的飞跃提升

2021 年装置试车运行数据显示，改造后的高压减压角阀系列阀门从未发生阀芯阀座内漏与填料外泄问题。使用寿命实现质的飞跃：改造前最长使用时长仅 17 天，改造后连续运行 52 天无故障，且不同工况下阀芯运行时间均大幅增加（见表 1）。这一成果远超传统高压差阀门的寿命预期，验证了控制方式与结构优化的协同效应。

改造后一直投运 Letdown 阀 D 路，运行最长时间达到 52 天（装置计划停工，未达到使用寿命）。

4.2 经济成本的大幅跳水

改造带来的经济效益十分显著。按长周期运行计算，改造后每年可减少至 8 套阀内件和 8 根工艺短节的更换需求，直接节约成本 518.5 万元（见表 2）。同时，避免了因设备故障导致的非计划停产损失，间接经济效益更为可观。这一成本优化效果，印证了专业制造商提供定制化降压模块所带来的价值回报。

4.3 系统运行的稳定保障

改造后，整个减压系统及关联设备运行稳定性显著提升：①热高压分离器液位与密度恢复稳定，底部结焦堵塞问题彻底解决，分离效果明显改善；②下游设备运行参数回归正常，二级热高压分离器排液温度、热低分空冷冷后温度均控制在设计范围之内，固定床

表 1 改造前某年 12 月份 Letdown 阀 A 路阀芯运行时间统计

工况	阀芯类别	投用时间	切除时间	运行时间 (h)
添加剂工况	大阀芯	12 月 4 日 4 点	12 月 7 日 11 点	79
添加剂工况	大阀芯	12 月 11 日 13 点	12 月 11 日 20 点 50 分	7.83
投煤工况	小阀芯	12 月 16 日 17 点 20 分	12 月 20 日 23 点 20 分	102
投煤工况	大阀芯	12 月 7 日 11 点	12 月 7 日 17 点 37 分	6.62
投煤工况	大阀芯	12 月 11 日 20 点 50 分	12 月 16 日 13 点 30 分	112.67

表 2 改造前后年维护成本对比

对比项目	改造前 (万元/年)	改造后 (万元/年)	年节约成本 (万元)
国产阀内件更换	$22.5 \times (365 \div 17) \approx 483.0$	$22.6 \times 8 = 180.0$	303
工艺短节更换及安装费用	$16 \times (365 \div 17) \approx 343.5$	$16 \times 8 = 128.0$	215.5
合计	≈ 826.5	308	≈ 518.5

注: 改造前按最短更换周期 17 天计算, 改造后按年更换 8 套/根计算

表 3 改造前后关键运行指标对比

指标类别	改造前状态	改造后状态
阀门控制方式	“两位式”脉冲控制, 全行程频繁动作	线性控制, 平滑调节开度
阀座结构	单座角阀, 单级降压	多级降压角阀, 分级分散压差
最长无故障运行时间	17 天	52 天 (连续运行)
阀组最长关闭时间	10min23s	—
热低分冷后温度	最高 103.1℃	稳定在 40℃ -60℃ 设计范围
年维护成本	≈ 826.5 万元	308 万元
安全风险	频繁出现泄漏着火, 高压窜低压风险高	无泄漏着火, 消除高压窜低压风险

一床层压降稳定, 无异常上升; ③线性控制使高压减压角阀开关时间严格控制在一定的开度内, 每 8h 开大让底部沉积物料彻底排放一次防止底部堆积, 从根本上避免了热高压分离器底部高温结焦风险。

4.4 改造前后关键指标对比

为直观展现改造成效, 对改造前后的核心运行指标进行对比 (见表 3)。

5 总结与展望

5.1 改造成果的全面肯定

改造技术有效性方面, 将 Letdown 阀的“两位脉冲式”控制改为线性控制, 并采用多级级降压短节, 从根本上解决了阀芯磨损、填料外漏问题, 与迷宫式调节阀通过流场优化提升寿命的技术逻辑形成有效呼应, 充分验证了改造方案的科学性与有效性。

经济价值方面, 改造后每年可直接节约维护成本约 518.0 万元 (甚至更多, 验证标定运行时间为 52 天), 同时避免因设备故障导致的停产损失, 经济效益十分显著。这一成果与专业 Letdown 模块带来的成本优化效应一致, 体现了技术改造的经济合理性。

安全保障方面, 通过控制方式与结构优化的双重作用, 大大消除了高压窜低压引发的着火爆炸风险, 解决了悬浮床热高压分离器结焦堵塞难题, 为装置安全长周期运行提供了可靠保障。

5.2 未来发展的方向

当前装置产能为 45 万 t/a, 随着减压系统稳定性的提升, 未来可围绕以下方向进一步挖掘装置潜力:

①扩大装置产能方面, 基于改造后关键设备的长周期

运行能力, 结合油煤共炼工艺对原料适应性强的特点, 探索将产能提升至 50-60 万 t/a 的可行性, 实现规模效益最大化; ②操作参数优化方面, 结合线性控制特性, 进一步细化温度、压力、流量等操作参数与反应效率的关联, 参考不同工况的油煤浆浓度的最优反应条件, 提升反应效率与产品质量; ③设备材质升级方面, 针对高固含量介质的磨损特性, 可借鉴迷宫式调节阀的材料选择经验, 研究更优质的阀芯、阀座材质 (如堆焊司太莱合金、陶瓷或高级耐磨合金等), 进一步延长设备使用寿命, 为装置超长期运行提供支撑; ④将 Letdown 的 A 路和 B 路改为线性控制早日实现长周期稳定运行; ⑤探索多元化原料加工, 重质油、劣质油、高温煤焦油、渣油、葱油等进料配备的可行性。

参考文献:

- [1] 郑晓东, 杜大喜, 王建强, 等. 一种减压系统的工艺方法与流程: 中国, CN201810934118.X [P]. 2019-01-11.
- [2] 王磊, 张健, 李明. 沸腾床加氢装置用球阀的优化设计及应用 [J]. 阀门, 2025(2):45-49.
- [3] 张宏, 李强, 王军. 煤液化热高压分离器煤粉漂移特性数值模拟与优化 [J]. 煤炭学报, 2016, 41(4):1028-1034.
- [4] 刘峰, 赵亮, 陈晓峰. 高压差耐磨阀门在煤直接液化装置中的应用与改进 [J]. 阀门, 2023(5):36-40.
- [5] 王明远, 李娜, 张伟. 加氢装置高压分离器减压系统优化及长周期运行实践 [J]. 石油炼制与化工, 2022, 53(8):98-103.