

连续重整装置加热炉热效率节能优化与效益分析

密群翔（中海石油中捷石化有限公司，河北 黄骅 061100）

摘要：针对某石化企业 60 万 t/a 连续重整装置的节能需求，介绍了重整装置中加热炉热效率提升技术应用实践。为了践行绿色发展节能降碳的理念，团队大胆创新，与上海浩用工业炉有限公司合作，对现有重整装置加热炉进行加热炉热效率优化技术应用改造。本项目于 2022 年 10 月开工建设，并于 2023 年 7 月投产使用，运行至今，取得了优秀的节能增效效果。

关键词：连续重整装置；加热炉；节能改造；减排增效；腐蚀防控

中图分类号：TQ089.2 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 020-0082-03

Energy saving optimization and benefit analysis of heating furnace thermal efficiency in continuous reforming unit

Mi Qunxiang (CNOOC Zhongjie Petrochemical Co., Ltd., Huanghua Hebei 061100, China)

Abstract: In response to the energy-saving needs of a 600000 ton/year continuous reforming unit in a petrochemical enterprise, this article introduces the practical application of heating furnace thermal efficiency improvement technology in the reforming unit. In order to implement the concept of green development, energy conservation and carbon reduction, the team boldly innovated and cooperated with Shanghai Haoyong Industrial Furnace Co., Ltd. to carry out the application and transformation of heating furnace thermal efficiency optimization technology for the existing reforming unit heating furnace. This project started construction in October 2022 and was put into operation in July 2023. Since its operation, it has achieved excellent energy-saving and efficiency improvement effects.

Keywords: Continuous Catalytic Reforming Unit; Heating Furnace; Energy-saving Retrofit; Emission Reduction and Efficiency Enhancement; Corrosion Prevention and Control

加热炉作为石化企业的主要耗能设备，加热炉的能效水平直接影响装置的整体经济效益。传统的加热炉余热回收系统已难以满足现代化生产的需求^[1]。通过本次改造，采用燃料气精制脱硫技术，结合热空气辅助燃烧，并强化烟气余热回收方案。改造后可大幅降低燃料气消耗，并减少烟气排放量，在经济效益及环保效益方面提升装置竞争力。

1 项目概况

1.1 装置基本情况

本项目 60 万 t/a 连续重整装置主要由预加氢单元、重整单元组成。其中预加氢单元设有 2 台圆筒炉，重整单元设有 1 台四合一箱式加热炉和 1 台圆筒加热炉，装置七台加热炉共计热负荷 55.942MW，设计排烟温度大于 120℃；原设计加热炉设计热效率为 92%。

1.2 项目简述

本项目突破常规，创造性从源头解决问题，采用复合阻蚀技术对燃料进行深度净化处理，实现洁净燃烧，从源头上避免低排烟温度烟气露点腐蚀情况的发生，同时实现了污染物 SO₂ 近零排放，不需额外增加专门烟气处理设备；同时采用燃料空气双预热，可以保证燃料在低过剩空气系数的情况下充分燃烧，进一步降低了 NO_x 及颗粒物的生成；采用两段式预热技术，

控制排烟温度在 85℃ 左右，保证余热回收效果，同时也保证了风机的长期稳定运行。

1.3 主要技术参数

系统利用装置现有 DCS 系统进行自动化控制，并设置有独立的紧急停车及安全联锁系统（SIS），配备变频调速的鼓风机和引风机，可实现精确的流量调节。项目操作弹性：60% ~ 110%，年开工时数按 8400h 计算。

2 工艺技术路线及工艺技术特点

2.1 工艺技术路线

近些年，为进一步提高加热炉热效率，行业内均从防止露点腐蚀方面出发，出现铸铁板空气预热器、玻璃板空气预热器及蓄热式空气预热器等耐腐蚀新型预热器，但由于换热冷源介质腐蚀问题及风机无法稳定运行问题，排烟温度极难低于 120℃，热效率无法突破 93%。

本项目燃料气从分液罐出来后，进入热水加热器（利用热水加热燃料气，在低负荷下使用），燃料气被预热至 80~100℃，再经过燃料气烟气换热器加热至约 200~250℃，再进入阻蚀系统精制器进行深度精制处理，处理后的燃料气进入加热炉燃烧器进行洁净燃烧；同步耦合燃料气及空气双预热技术，通过冷空气

及燃料气进一步回收烟气余热，可以保证加热炉排烟温度达到85℃，加热炉热效率≥95%，大大高于行业水平，是行业加热炉余热回收突破性的技术。

2.2 工艺技术特点

①预热及精制处理后的燃料气在参与燃烧的过程中，所产生的烟气SO₂和颗粒物实现近零排放，空气预热器低温表面不发生硫酸露点腐蚀，也不易结垢。能有效实现空气预热器长周期稳定运行，热效率不降低。②因燃料气已经阻蚀处理，烟气可以通过冷空气及燃料气进一步回收烟气余热，排烟温度降低至85℃，热效率提可高到95%左右，同时有效的避免了设备的露点腐蚀。

3 工艺流程简述

3.1 烟气部分

为控制项目投资，本项目对装置原有设备实现全部利旧，同时对四合一炉新增余热回收系统，对圆筒炉部分增加烟气-燃料气预热器，在进一步降低排烟温度的同时，大幅提高了燃料气温度。

3.2 空气部分

重整单元四合一炉由原自然通风改造为强制通风，新增一套空气预热器及鼓、引风机。

3.3 燃料气部分

燃料气经与高温烟气换热，升温至230℃后，进入一级精制器进行精制处理，处理后的燃料气送至二级精制器进行吸附处理。经过处理的燃料气送入各加热炉系统进行洁净燃烧。

3.4 设备部分

新增燃料气一级精制器（V-101）一台，规格为Φ1800×4000（T-T）立式。壳体材质Q245R；新增燃料气二级精制器（V-102A/B）两台，规格为

Φ2000×4000（T-T）立式。壳体材质Q245R。新增燃料气烟气换热器和低温空气预热器各一台，同时根据介质的不同，高温空气预热器采用管式结构，管路材料为20#，低温空气预热器采用板式结构，材料为ND钢。（详见图1）

4 应用效果分析

4.1 热效率分析

装置运行数据显示，系统在正常生产期间表现优异：实际排烟温度稳定在85–90℃，烟气排放物中SO_x排放量平均约2–5mg/m³；混合空气温度可达230℃以上，通过反平衡法计算，加热炉平均热效率达到95.47%，超过设计值92.5%。

与企业内部其他装置对比，本系统热效率具有明显优势。通过反平衡法计算，较其他常规余热回收系统的柴油加氢装置和重交沥青装置装置分别高出01.52–2.08个百分点。这主要得益于本次加热炉热效率优化项目在降低排烟温度的基础上，将燃料气经过阻蚀系统深度处理，使设备结垢问题和烟气露点腐蚀问题从源头上得以解决，实现生产装置长周期稳定运行确保装置在各种工况下都能维持较高的热效率水平。

4.2 环保效益

通过对烟气中主要污染物的长期监测数据分析表明，加热炉烟气中的烟尘颗粒物、SO₂和NO_x等污染物质量浓度均明显低于国家环保排放标准限值。其中，烟尘排放浓度稳定控制在15mg/m³以下，SO₂排放浓度接近于0mg/m³，NO_x排放浓度则维持在80mg/m³以下，各项指标均优于环保要求的排放限值。这种优异的环保表现主要得益于两个方面：首先，由于系统同时采用燃料、空气双预热设计，保证燃料在低过剩空气系数下完全燃烧，热效率的显著提升，燃料消耗量

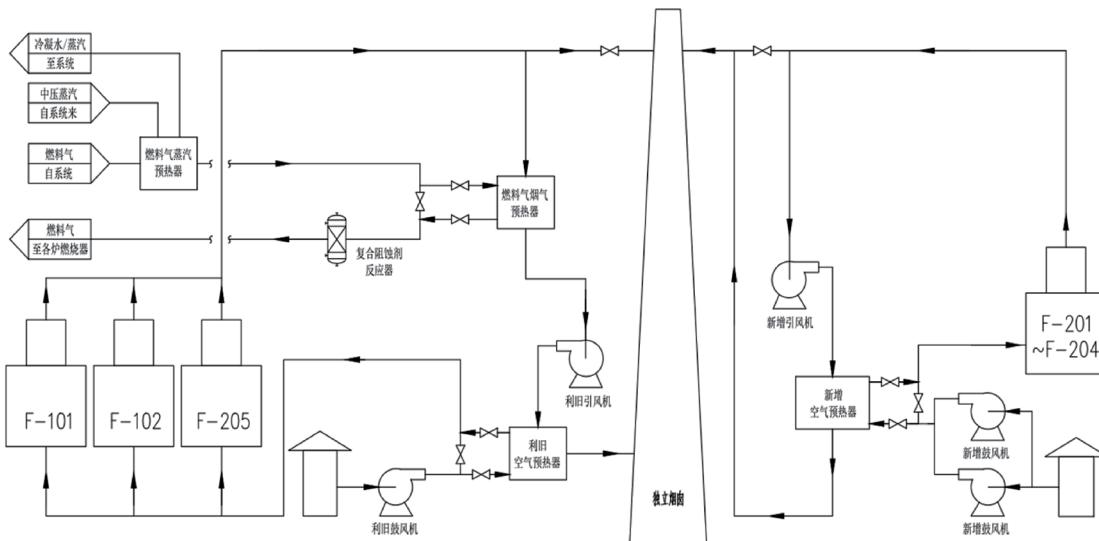


图1 简要流程图

相应减少，烟气排放总量随之降低；其次，通过将原有燃料气经过阻蚀处理，达到了清洁燃烧的效果，在避免低温腐蚀的基础上，进一步降低了各类污染物的产生。

4.3 经济效益评估

通过对运行数据统计和经济性分析表明，连续重整装置加热炉效率优化技术改造项目在2023年7月投产以来，根据运行实际情况，装置加热炉热效率提升至92.5%至95.47%，月平均燃料气使用降低至2702.5t，平均节约燃料气306kg/h。同时减少了污染物的排放，解决了预热器低温区的露点腐蚀问题，建设标杆绿色加热炉。燃料气按单价3.11元/m³计算，全年节约燃料气成本约为2740.78万元，极大的降低了装置的生产成本。

本改造项目实施后，每年实现CO₂减排量8279t/a，并且通过燃料气精制技术，有效地脱除了燃料气中的含硫杂质，不仅提高了加热炉的热效率，减少了燃料气的消耗量；而且使烟气排放量大幅度降低，从而使得烟气中的SO₂、NO_x、颗粒物等污染物大大减少。在国家提出了碳达峰和碳中和的远景规划和日趋严格的环保标准的社会大背景下，本项目助力60万t/a连续重整装置加热炉节能增效，降低污染物的排放量，为实现碳减排和碳中和创造了有利条件。

5 存在问题及改进措施

5.1 低排烟温度下的水-氧腐蚀

本项目通过大幅降低排烟温度，实现的加热炉热效率的提高，但是低排烟温度的情况下，烟气中的水蒸汽在低温部位出现大量冷凝的情况，虽然本项目的燃料气已经过阻蚀系统进行脱硫，冷凝水的pH值在7左右，但是由于烟气中有过剩氧的存在，同时由于预热器本体的密封不严，在低温部位的水氧腐蚀仍然对设备存在一定的腐蚀风险。

针对这些问题，建议采取以下系统性改进措施：首先，在设备材质方面，在低温部位尽可能避免采用普通碳钢材质，降低腐蚀风险。其次，在设备管理方面，强化空气预热器及烟道连接部位的密封管理，确保设备密封效果良好，降低空气被负压吸入的可能性。此外，要紧密跟踪燃料气阻蚀系统的运行状况，按照分析检验计划，严格跟踪燃料气硫含量及冷凝水的pH值，一旦出现异常后及时调整排烟温度，避免后路腐蚀。

6 直接经济效益分析

6.1 经济效益

本项目连续重整装置四合一加热炉设计热负荷约为42MW，三台圆筒炉设计热负荷为13.9MW。目前运行负荷约为设计负荷的80%。加热炉效率优化技

术改造项目在2023年7月投产以来，根据运行实际情况，连续重整装置加热炉热效率提升至95.23%至95.47%，月平均燃料气使用降低至2702.5t，平均节约燃料气306kg/h。同时减少了污染物的排放，解决了预热器低温区的露点腐蚀问题，建设标杆绿色加热炉。燃料气按单价3.11元/立方米计算，工业电单价1.35元/度，每小时增加电量189.5°/h，节约成本=节约燃气费用-增加电力消耗费用。

2023年7月至12月节约成本为(306÷0.7×3.11-189.5×1.35)×24×182=4820896元，合计482.09万元。

2024年1月至5月节省燃料气费用为(306÷0.7×3.11-189.5×1.35)×24×136=3602429元，合计360.24万元。

6.2 减排效益

目前加热炉余热回收技术均为考虑降低排烟温度进行提高加热炉热效率，未对污染物排放等有相关考虑。本项目采用“95+高效超净工业炉技术”污染物排放均满足国标GB31570的要求，且较投用前有明显降低，SO₂基本近零排放。CO₂排放减少约8279t/a。

7 结束语

某石化企业在连续重整装置中所采用的“95+高效超净工业炉技术”可以保证加热炉热效率达到95%的同时减少大气污染物的排放，其中SO₂基本实现零排放，一次性实现节能、环保、减排、增效目标，同时具有巨大的经济效益及环保效益，是同类技术远远无法达到的。本项目流程简易，与常规技术类似，操作方面，且主要换热设备采用板式结构，相比于铸铁板预热器、玻璃板预热器等型式投资较低，具有明显的价格优势。所以“95+高效超净工业炉技术”具有巨大的市场竞争力。

参考文献：

- [1] 王海鼎.燃煤机组空气预热器堵塞问题解决方法及建议[J].电气技术与经济,2022(4):106-108,117.
- [2] 张海燕.石油化工加热炉设计手册[M].北京:中国石化出版社,2023.
- [3] 章志平,程才智.重交沥青装置节能与优化改造[J].石油与天然气化工,2024,53(2):139-144.
- [4] 刘巍.重交沥青装置加热炉能效提升改造[J].炼油与化工,2023,34(5):49-51.
- [5] 练波,练泽平,刘剑,等.连续重整加热炉改造温度场数值模拟研究及优化[J].炼油技术与工程,2022,52(3):37-42

作者简介：

密群翔(1989-)，男，汉族，山东省聊城市人，学士学位，炼油与化工专业工程师，研究方向为石油化工。