

化工行业加热炉节能降耗技术研究及效益分析

袁 城 (国能新疆化工有限公司, 新疆 乌鲁木齐 831400)

摘要: 本文聚焦化工行业加热炉节能降耗需求, 以某公司碳四乙烯装置 F3301 加热炉为研究对象, 深入探究其能耗偏高问题及解决路径。通过运行数据分析发现, F3301 炉膛温度达 680.23°C , 逼近设计上限, 辐射室热效率低是燃料气耗量偏高 ($300\text{m}^3/\text{h}$) 的核心原因, 针对性布置方形、椭圆形和 H 形元件以提升辐射传热效率。改造后, F3301 燃料气流量降至 $242.5\text{m}^3/\text{h}$, 单耗从 $0.095\text{m}^3/(\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 降至 $0.078\text{m}^3/(\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})$, 年节约燃料气 46 万 m^3 , 效益达 92 万元, 节标煤 413t。实践表明, 强化辐射元件技术可有效提高加热炉热效率, 具有投资少、施工简、稳定性强的特点, 为化工加热炉节能改造提供了可行方案。

关键词: 化工加热炉; 节能降耗; 效益分析

中图分类号: TQ054 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 029-0049-03

Research on Energy-saving and Consumption-reduction Technologies for Heating Furnaces in the Chemical Industry and Analysis of Benefits

Yuan Cheng (CHN Energy Xinjiang Chemical Co., Ltd., Urumqi Xinjiang 831400, China)

Abstract: This article focuses on the energy-saving and consumption reducing needs of heating furnaces in the chemical industry. Taking the F3301 heating furnace of a certain company's carbon tetraethylene plant as the research object, it deeply explores the problem of high energy consumption and the solution path. Through analysis of operational data, it was found that the furnace temperature of F3301 reached 680.23°C , approaching the design upper limit. The low thermal efficiency of the radiation chamber was the core reason for the high fuel gas consumption ($300\text{m}^3/\text{h}$). Square, elliptical, and H-shaped components were arranged specifically to improve the radiation heat transfer efficiency. After the renovation, the fuel gas flow rate of F3301 decreased to $242.5\text{m}^3/\text{h}$, and the unit consumption decreased from $0.095\text{m}^3/(\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})$ to $0.078\text{m}^3/(\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})$, saving 460000 m^3 of fuel gas annually, with a benefit of 920000 yuan and saving 413 tons of standard coal. Practice has shown that strengthening radiation element technology can effectively improve the thermal efficiency of heating furnaces, with the characteristics of low investment, simple construction, and strong stability, providing a feasible solution for energy-saving renovation of chemical heating furnaces.

Keywords: chemical heating furnace; energy-saving and consumption reduction; enhanced radiation components

加热炉是化工生产中的重要热能供给转换装置, 主要用于给反应提供热量, 加热炉热效率的高低直接影响到化工企业的生产成本与能耗、节能减排表现。能源短缺、日趋严厉的节能减排要求和日益严苛的污染物排放标准使加热炉的节能变得尤为重要, 加热炉高效操作不仅可以为化工企业创造节能降耗的价值, 还可减少污染物的排放, 推进企业绿色低碳化进程。本文通过对 A 公司碳四乙烯装置加热炉进行分析, 找出该加热炉高能耗原因, 进而寻找对应的节能方法, 并对该加热炉的节能措施进行效率评价, 以期为化工企业加热炉节能改造提供一定借鉴。

1 化工加热炉能耗现状及问题分析

1.1 化工加热炉能耗概述

加热炉是化工生产的主要耗能设备, 我国化工行业的加热炉热效率总体水平较低, 其中的老旧加热炉热效率甚至低于我国目前化工行业平均的热效率水平, 潜力较大^[1]。

1.2 某公司碳四乙烯装置加热炉实例背景

企业碳四乙烯装置建设于 2015 年, 工艺介质为

管式加热, 反应加热必须借助加热炉将原料温度提前提高。此装置加热炉分为 2 台, 单台运行, 分别为加热炉 F3301 和加热炉 F3302。2 台加热炉的设计为分体式, 辐射加热部分彼此相互独立, 炉子内部安装有特殊的隔断墙, 彼此分割, 仅用一台对流换热器, 生产负荷下碳四与乙烯的混合原料分别在各自的辐射室内加热升温。对流段系统配备了余热锅炉, 利用烟气中余热能够有效产出低压蒸汽, 整个加热系统自然排风, 设计使排烟温度稳定控制在 135°C 。

1.3 F3301 加热炉能耗偏高问题

该公司的碳四乙烯装置共 2 台加热炉, 其中 F3301 加热炉燃料气耗量偏高。燃料气耗量达到 $300\text{m}^3/\text{h}$, 已超出设计值 $260\text{m}^3/\text{h}$ 近 $40\text{m}^3/\text{h}$, 造成企业能耗增加, 需要采取有效措施改善。

2 F3301 加热炉能耗高的原因分析

2.1 运行数据初步分析

从表 1 数据可知, F3301 加热炉炉膛温度达 680.23°C , 接近设计上限。在辐射室运行中, 烟气释放的热量未被炉管介质充分吸收, 导致大量高温烟气

直接流入对流室。尽管排烟温度处于理想范围,但这一现象反映出辐射室热效率偏低的问题。高温烟气携带的热量未在辐射段有效利用,既浪费能源,也增加了后续对流室的热负荷压力。这种热量吸收不充分的情况,需从炉管布置、燃烧效率或辐射传热优化等方面改进,以提升辐射室热能利用率。

表 1 F3301 加热炉运行数据

项目	数据
进料介质	碳四和乙烯
进料量 / (t · h ⁻¹)	50
出口压力 / MPa	2.78
出口温度 / °C	255
进出口温差 / °C	82.5
燃料气流量 / (m ³ · h ⁻¹)	300
燃料气压力 / MPa	0.15
炉膛温度 / °C	680.23

2.2 辐射传热原理分析

辐射传热占炉管吸热量的 70%~80%,涵盖燃料直接辐射与炉墙反射热。但该炉辐射室炉墙采用轻质黏土砖和陶瓷纤维板,黑度系数仅 0.5~0.6,吸热反射能力弱,热量滞留难以利用。

2.3 炉墙结构对传热的影响

辐射室炉墙内壁表面状况会影响传热效果,由于内壁表面不够光滑,热射线照射到墙面后,会出现大面积的漫反射,从而会有一部分热射线不能够准确地射到炉管表面,不会被炉管中的介质吸收利用,未能有效利用的大量热射线,其主要部分最终还是随着烟气带走进入到了对流室,造成了热能的浪费^[2]。

3 节能降耗技术措施

3.1 强化辐射元件技术介绍

在碳四乙烯装置的节能改造工作中,用于碳四乙烯装置 F3301 加氢加热炉燃料气节能的部分,所加装的强化辐射元件安装于加热炉辐射室炉墙内侧表面,根据换热要求的不同其结构有所不同,有方形、椭圆形及 H 形等多种类型,其规格上元件的长度在 105mm 左右,宽度在 60mm 左右。这样的结构参数在保证满足元件换热面积的同时,不会过多占据炉内空间。所加装的强化辐射元件材料所表现出的黑度系数高达 0.85,远高于传统炉墙隔热材料,因此对热辐射具有更强的吸收和反射作用。此外,该强化辐射元件具有良好的耐高温稳定性和抗高温腐蚀的能力,不因长时

期的高温运行而发生粉化、掉落失效等现象。元件内部及外部表面均有小的圆形孔,这一孔洞结构一方面保证了元件外表面能有效吸收炉内热量的同时,还可实现元件内外壁两面的热量同步辐射,在元件仅占据了较少的炉墙空间,而其多孔的结构使有效辐射表面扩展了成倍的辐射面积,更多的热射线能辐射投射到炉管表面,使得炉管表面的热量吸收能力提高,降低能源的损耗,从而通过强化炉管辐射换热的过程为提高该加氢加热炉的节能运行提供有力保障。

3.2 F3301 加热炉强化辐射元件布置方案

F3301 辐射室隔断墙采用轻质黏土砖隔热,两侧人孔端墙为陶瓷纤维板材质,两种材质的隔热性能与耐高温特性为元件布置提供了基础条件。炉底设置 2 排火嘴,分布于炉管与隔断墙之间,火焰高度控制在 500 ~ 600mm,形成稳定的燃烧区域。结合炉墙材质特性、燃烧区域分布规律及模拟计算结果,确定元件布局、选型与数量方案。其中隔断墙 0.8 ~ 4.5m 区间为核心布置区,选用方形元件,水平间距设定为 230mm,垂直间距为 130mm。该区间因处于火焰主要辐射范围及高温烟气流动路径上,元件辐射面积达到最大,可高效吸收火焰辐射热与烟气显热,提升辐射室热利用效率。

适配轻质黏土砖承重,抗烟气冲击不易脱落。人孔侧端墙 0.8 ~ 4.8m 范围装椭圆形元件,横竖间距 155mm,辐射面积稍小但质轻抗冲击弱,适配陶瓷纤维板保护炉衬。炉管间火嘴处设 0.8m 高“X”形辐射墙,迎火侧装 H 形元件,开口指向炉管,强化对炉管的定向辐射传热^[3]。

4 节能措施实施效果及效益分析

4.1 改造前后运行数据对比

在碳四和乙烯的加热反应中,由于该反应为放热反应,新更换催化剂活性较高,导致反应过程中的吸热量升高。这一变化直接导致未改造 F3302 加热炉出入口温差增大,进而导致了该加热炉使用燃料气量有略微增长的情况。而经改造后的 F3301 加热炉使用燃料气量变化十分明显, F3301 加热炉原来燃料气每小时流速 300m³,经改造后下降到 242.5m³;燃料气单位消耗为改造前的 0.095m³ / (t °C) 和 0.078m³ / (t °C)。经燃料气流量和燃料气单耗的对比分析表明,在 F3301 加热炉辐射室设置强化辐射元件后,炉辐射室热交换率得到了提升。由于两加热炉共用一个对流换热系统,加热炉使用燃料气量上升,导致 F3302 加热炉炉膛温度略微升高,从而引起该反应炉烟气温度略有上浮。

因此,改造后将导致整套系统余热锅炉蒸汽量有

所上升。除此之外,经改造后的排烟温度基本没有太大变化。由此可看出, F3301 加热炉改造, 其本身热效率得到提升, 燃料气体耗减少。同时该改造对共用系统虽有一定的影响, 但共用系统整体运行状况基本不变。如表 2 所示。

表 2 改造前后 2 台加热炉的运行数据

项目	改造前	改造后
进料量 / (t · h ⁻¹)	50.00	51.20
F3301 进出口温差 / °C	82.5	83.1
F3301 燃料气流量 / (m ³ · h ⁻¹)	300.00	242.50
F3301 燃料气单耗 / (m ³ /t · °C)	0.095	0.078
F3301 炉膛温度 / °C	680.23	652.45
F3302 进出口温差 / °C	78.3	85.6
F3302 燃料气流量 / (m ³ · h ⁻¹)	255.00	288.30
F3302 燃料气单耗 / (m ³ /t · °C)	0.082	0.086
F3302 炉膛温度 / °C	655.17	672.33
排烟温度 / °C	135.20	136.80
余热锅炉产汽量 / (t · h ⁻¹)	5.8	6.5

4.2 经济效益分析

根据年运行 8000h 计算, F3301 加热炉在改造前燃料气流量为 300m³/h, 改造后流量为 242.5m³/h, 则每小时节约燃料气: 300-242.5=57.5m³/h。年节约燃料气量: 57.5 × 8000=460000m³, 约等于 46 万 m³/a。依据相关数据计算, 年效益为 92 万元。就该改造项目投资的回报率而言, 该改造项目投入较少, 仅通过加装强化辐射元件实现较好的节能效果, 经济效益可观。对于化工企业来说, 此类低投入、短回报的节能项目能有效促进企业资金周转, 为企业发展提供资金保障^[4]。

4.3 节能及环保效益分析

可年节燃料气 46 万 m³, 按燃料气与标煤的折算比例折算节标煤 413t, 以目前的能源紧张环境, 节约大量燃料气和标煤资源, 缓解能源供需紧张的局面。燃料气的节约燃烧, 相应减少了污染物排放, 其中二氧化碳为重要温室气体, 排放量降低有利于降低全球变暖趋势; 二氧化硫的减少排放能减少酸雨等环境问题发生的几率, 对改善环境质量具有积极影响, 符合绿色低碳发展需求。随着环保法规不断收紧, 企业环保负担持续加大, 该项目节能改造能实现节能降耗的同时减少污染物排放, 有利于企业更好地满足企业环

保要求, 避免面临环保处罚而进行的罚款、停业等风险。

4.4 技术可行性及稳定性分析

短期的施工周期对企业正常生产影响不大, 最大程度上减轻了因改造带来的生产中断损失, 该节能技术有着较高的可行性和稳定性, 长期运行中具有较好的节能量。并且降低炉膛温度有利于加热炉长周期安稳运行, 降低了因高温而对炉体设备的损耗。高温状态下, 炉体各种各样材质会出现老化、变形等情况, 降低炉膛温度有利于这些现象推迟发生, 延长设备的使用寿命, 降低设备维护成本。对于化工企业来说, 设备长周期稳定运行才是保证生产连续性、保证产品质量的关键, 此技术对这方面也有一定作用^[5]。

5 结论

通过对 F3301 加热炉的节能改造实施, 证明强化辐射元件技术是化工加热炉节能降耗的有力措施, 化工行业节能降耗、环保要求日益增多, 该类型节能技术有着更广阔的应用空间, 因此化工企业今后要加大对加热炉节能技术的研究与应用, 并结合本企业设备情况进行合适节能技术的选择来进行改造, 同时化工行业内加大交流与合作, 多推广有效节能经验与技术, 一起努力进一步提升化工行业中加热炉节能水平。也可探索智能化技术的加入对加热炉运行参数的监控, 使其节能运行, 实现更高热效率、更好的高效节能降耗, 或者结合自身设备使用情况, 将智能控制技术与加热炉节能技术融合为一体, 通过对加热炉运行参数的实时采集、控制优化、针对加热炉的供热方式, 再联合研发智能化加热炉节能技术, 通过对加热炉受、辐射、排换热量的实际值的参数采集、分析、控制, 做到进一步提升加热炉热效率的智能高效节能降耗, 同时在能源结构转型的趋势下, 研发适用新能源燃料的加热炉, 减少燃煤等传统化石能源的应用, 促进化工行业的发展。

参考文献:

- [1] 姚冬. 化工行业中 E 部加热炉热风阀积碳问题的技术解决策略 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(03):165-167.
- [2] 张明, 方俊明. 相变换热技术在石油化工加热炉中的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2022(10):193-195.
- [3] 殷庆微, 徐金文, 阚春明, 等. 加热炉系统运行节能优化探讨 [J]. 山东化工, 2020, 49(07):144+149.
- [4] 张燕均. 化工工艺节能降耗措施及技术优化分析 [J]. 石油石化物资采购, 2022(22):87-89.
- [5] 刘露. 乙酸乙烯精馏工艺的节能与优化 [J]. 化工管理, 2017, (31):122-122.