

# 压力容器设计技术创新对炼油产业经济效益的影响

程志平 (安徽实华工程技术股份有限公司, 安徽 合肥 230041)

**摘要:** 炼油产业中, 压力容器设计技术创新对经济效益影响重大。先进理论奠定设计根基, 材料创新推出新型耐高温高压材料, 降低成本、提升质量。结构创新从多方面提升生产效率与效益, 制造工艺创新借助数字化手段提高精度与效率、降低维护成本。本研究揭示了这些创新与经济效益的内在联系, 为产业与设计协同发展提供理论支撑, 助力探索未来走向。

**关键词:** 压力容器; 设计技术创新; 炼油产业; 经济效益

中图分类号: TE96

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 020-0046-03

## The Impact of Pressure Vessel Design Technology Innovation on the Economic Benefits of the Refining Industry

Cheng Zhiping (Anhui Shihua Engineering Technology Co., Ltd., Hefei Anhui 230041, China)

**Abstract:** In the refining industry, innovation in pressure vessel design technology has a significant impact on economic benefits. Advanced theories lay the foundation for design, and material innovation introduces new high-temperature and high-pressure resistant materials to reduce costs and improve quality. Structural innovation improves production efficiency and benefits from multiple aspects, while manufacturing process innovation utilizes digital means to enhance accuracy and efficiency, and reduce maintenance costs. This study reveals the intrinsic connection between these innovations and economic benefits, providing theoretical support for the coordinated development of industry and design, and helping to explore future directions.

**Keywords:** Pressure vessel; Design technological innovation; Refining industry; Economic benefits

在全球能源需求持续增长的大背景下, 炼油产业作为能源供应的关键环节, 正不断寻求突破与升级。压力容器作为炼油生产中的核心设备, 承担着物料储存、反应、换热等关键任务, 其性能直接关乎炼油效率与产品质量。随着科技迅猛发展, 技术创新已成为驱动各产业变革的核心动力, 炼油产业也不例外。压力容器设计技术的创新, 不仅是适应炼油工艺不断革新的必然要求, 更是提升产业竞争力、实现可持续发展的关键路径。

本研究旨在深入剖析压力容器设计技术创新在先进理论运用、材料革新、结构优化以及制造工艺改进等方面的具体表现, 探讨其对炼油产业经济效益的多维度影响, 为炼油产业与压力容器设计的协同发展提供有价值的参考, 助力炼油产业在技术创新中迈向新高度。

### 1 压力容器设计技术的理论创新基石

#### 1.1 先进力学理论在设计中的应用

在压力容器设计里, 先进力学理论的运用至关重要。传统设计往往依赖经验公式, 在复杂工况下难以保障设备安全与性能。而当下, 弹塑性力学、断裂力学等先进理论为设计提供了更精准的分析方法。比如弹塑性力学能深入分析容器在承受压力时材料从弹性变形到塑性变形的全过程, 让设计师知晓容器在不同

压力阶段的状态, 从而优化结构, 防止因过度变形导致失效。

断裂力学则聚焦容器可能出现的裂纹问题, 通过计算裂纹扩展速率和临界尺寸, 帮助确定检查周期和维修策略, 预防灾难性破裂事故。这些理论的应用, 使压力容器设计从经验走向科学, 大幅提升设计可靠性与安全性, 满足炼油产业对设备日益严苛的要求。

#### 1.2 基于计算流体力学的设计优化

计算流体力学 (CFD) 在压力容器设计优化中发挥着关键作用。在炼油过程中, 容器内流体的流动状态复杂, 影响着反应效率、传热传质效果等。CFD 技术借助计算机模拟, 能直观呈现流体在容器内的流速、压力分布和温度场变化。例如在设计蒸馏塔这类压力容器时, 利用 CFD 模拟不同塔板结构和进料方式下的气液两相流, 设计师可据此调整塔板间距、溢流堰高度等参数, 优化塔内气液接触, 提高分离效率, 降低能耗。而且通过模拟还能提前发现流体流动死角, 避免局部过热或腐蚀, 延长设备使用寿命。此外, CFD 还可用于模拟反应器内催化剂颗粒的分布状态, 分析搅拌桨叶对混合效果的影响, 为搅拌式压力容器的桨叶形状与转速优化提供数据支撑, 进一步拓展其在炼油设备设计中的应用维度。CFD 让设计不再盲目, 基于精准模拟结果进行优化, 有效提升了压力容器在炼

油工艺中的运行性能和经济效益。

### 1.3 可靠性设计理论的新发展

可靠性设计理论在压力容器领域有了新突破, 为保障设备长期稳定运行提供有力支持。传统设计侧重强度计算, 新发展的可靠性设计理论则综合考虑材料性能分散性、载荷不确定性以及制造误差等多种因素。通过概率统计方法, 对这些不确定因素进行量化分析, 评估压力容器在整个生命周期内的失效概率。例如在设计大型原油储罐时, 考虑到材料性能随时间变化、环境载荷的随机性, 运用可靠性设计理论确定合理的壁厚和安全系数, 确保储罐在几十年的使用期内可靠运行。此外, 该理论还可结合实时监测数据动态更新失效概率模型, 为压力容器的维护策略优化提供科学依据, 进一步提升炼油设备的可靠性管理水平。同时, 这一理论还能根据不同部件的重要程度和失效后果, 合理分配可靠性指标, 在保证整体安全的前提下降低制造成本, 使压力容器设计兼顾安全性与经济性, 更好地服务于炼油产业。

## 2 材料创新对炼油产业的经济效益贡献

### 2.1 新型耐高温高压材料的性能优势

炼油产业工况严苛, 新型耐高温高压材料应运而生, 展现出卓越性能优势。像镍基合金, 凭借独特的晶体结构与合金元素配比, 具备出色的高温强度和抗氧化性。在催化裂化装置这类需承受超高温、高压的压力容器中, 镍基合金制成的反应管, 能在 800°C 以上高温和数十兆帕压力下稳定服役, 不易发生蠕变和热疲劳, 相比传统碳钢反应管, 服役寿命大幅延长。

陶瓷基复合材料也崭露头角, 其高硬度、低膨胀系数的特性, 使容器在急剧温度变化时仍能保持结构稳定, 有效抵御热冲击。这不仅保障了设备在极端工况下的安全运行, 还减少了因频繁更换部件带来的停机损失, 为炼油生产的连续性和高效性奠定基础。

### 2.2 材料创新降低设备全生命周期成本

材料创新从多方面降低设备全生命周期成本。前期采购时, 新型材料虽单价可能较高, 但综合性能出色, 可减少材料用量。例如高强度、低密度的钛合金用于制造换热器, 因其优异强度, 在满足换热需求前提下, 可采用更薄的板材, 总体材料成本并未大幅增加。

使用阶段, 新型材料耐腐蚀性强, 能有效减少腐蚀防护措施与维护成本。以含钼不锈钢用于储存腐蚀性油品的容器为例, 相比普通碳钢, 它能极大延缓腐蚀进程, 降低定期防腐涂层维护频次, 减少停工检修时间, 降低人力和物料投入。

设备报废后, 部分新型材料可回收再利用, 进一

步降低资源浪费和处置成本, 从全流程降低设备成本, 提升炼油产业经济效益。

### 2.3 材料革新助力产品质量提升与经济效益增长

材料革新对炼油产品质量提升作用显著, 进而促进经济效益增长。在加氢反应器中, 采用新型抗氢脆材料, 能有效抑制氢原子渗入引发的材料脆化现象, 确保反应稳定进行, 提高加氢深度。这使油品中的硫、氮等杂质脱除更彻底, 生产出的清洁燃油符合更严格的环保标准, 在市场上更具竞争力, 可获取更高利润。

同时, 新型材料有助于开发高附加值新产品。如采用特殊合金制造的反应容器, 能在特定条件下催化生产高性能润滑油基础油, 满足高端机械润滑需求, 开拓新市场, 为企业带来新的盈利增长点, 推动炼油产业向高端化、效益化方向发展。

## 3 结构创新提升炼油生产效率与效益

### 3.1 优化结构增强设备稳定性与安全性

优化压力容器结构是提升稳定性与安全性的关键。在炼油产业中, 卧式储罐常采用鞍式支座, 通过合理设计鞍座的数量、位置和结构形式, 能有效分散罐体重量, 降低局部应力集中。例如, 精确计算鞍座间距, 避免罐体因自重产生过大的弯曲应力, 防止罐体变形甚至破裂, 确保在储存大量油品时的稳定与安全。

对于塔式压力容器, 增设加强圈可以显著增强筒体的抗失稳能力。在承受内部高压和外部风载荷时, 加强圈能够约束筒体的变形, 防止出现局部屈曲现象, 保障塔器在复杂工况下长期稳定运行, 减少安全隐患, 为炼油生产的平稳运行提供坚实保障。

### 3.2 独特结构设计促进工艺改进与产能提高

独特的结构设计能有效促进炼油工艺改进和产能提高。例如, 在板式塔的塔板设计中, 采用新型导向浮阀塔板, 这种塔板通过特殊的导向孔设计, 引导气液两相更均匀地接触和传质, 减少了雾沫夹带和漏液现象, 使精馏效率大幅提升。相比传统塔板, 在相同塔径和塔板数的情况下, 新型导向浮阀塔板可使处理量提高 20% - 30%, 显著增加了炼油装置的产能。

再如, 在管式加热炉的辐射段炉管排列结构上, 采用螺旋盘管结构, 相比传统的直排管, 螺旋盘管能使炉管受热更均匀, 强化传热效果, 提高燃料利用率, 进而提升加热炉的热效率, 促进整个炼油工艺的优化, 为产能提升创造有利条件。

### 3.3 结构创新降低能耗对经济效益的正向影响

结构创新带来的能耗降低对炼油产业经济效益有着显著的正向影响。以换热器为例, 采用新型折流杆结构替代传统的弓形折流板, 减少了壳程流体的流动

阻力,降低了泵功率消耗。实验数据表明,使用折流杆换热器,可使壳程压降降低30%~50%,从而降低了整个换热系统的能耗。在气体压缩机的气缸结构设计中,采用新型的多级压缩与中间冷却结构,优化了气体压缩过程,减少了压缩功的消耗,降低了压缩机的能耗。

长期运行下来,这些结构创新带来的能耗降低,可显著减少企业的能源成本支出,增加利润空间。在当前能源价格波动频繁、环保要求日益严格的背景下,能耗的降低不仅让企业在成本控制上更具优势,还能更好地满足节能减排的政策要求,增强企业的可持续发展能力,进一步提高炼油产业的经济效益和市场竞争力。

#### 4 制造工艺创新在炼油产业的经济价值

##### 4.1 数字化制造工艺提高生产精度与效率

在当今炼油产业中,数字化制造工艺对压力容器生产意义非凡。计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)技术的融合,构建起设计与生产的精准桥梁。以压力容器筒体卷制来说,传统手工操作依赖工人经验,圆度误差较大,易造成尺寸偏差。而数字化控制的卷板机,依据CAD模型数据,能智能调整辊轮间距与转速,将圆度误差控制在极小范围,精度较传统方式提升数倍,大大降低了返工率,保证产品质量。

数控加工中心同样优势明显,它能一次性完成封头的切削、钻孔、坡口等多工序加工。工序间无需人工频繁装夹定位,避免了人为操作带来的误差,加工效率比传统机床提高2~3倍。再加上生产过程监控系统,能实时跟踪加工进度与设备状态,及时预警并解决潜在问题,确保生产流程无缝衔接,让压力容器制造又快又好,有力推动炼油产业的高效发展。

##### 4.2 新工艺减少制造过程中的资源浪费

制造工艺的革新在减少资源浪费方面效果突出。传统的焊条电弧焊用于压力容器焊接时,不仅焊条消耗量大,产生的焊渣也多,而且焊接质量易受工人操作水平影响。新型搅拌摩擦焊工艺则截然不同,它利用高速旋转的搅拌头,使焊件材料在固态下融合,全程无需添加焊接材料,从根源上杜绝了焊条消耗和焊渣产生,材料利用率近乎100%,极大降低了生产成本。

材料切割环节的变革同样显著。火焰切割厚壁压力容器板材时,切口宽度通常在5~8mm,会造成大量材料浪费。而激光切割凭借高能量密度的激光束,切口宽度可精准控制在1~2mm。在炼油产业庞大的生产规模下,每年大量的切割任务通过激光切割能节省可观的原材料,有效减少资源损耗,助力炼油产业迈向

绿色制造之路,践行可持续发展理念。

##### 4.3 工艺创新带来的设备维护成本降低

工艺创新为降低设备维护成本开辟了新路径。在表面处理上,热喷涂陶瓷涂层技术取代传统油漆防腐,展现出巨大优势。陶瓷涂层硬度高、化学稳定性强,面对炼油介质的腐蚀与冲蚀,防护性能远超传统油漆。例如常减压蒸馏装置的塔盘,喷涂陶瓷涂层后,使用寿命从原来的2~3年大幅延长至5~8年,设备定期检修更换塔盘的次数显著减少,节省了大量人力、物力以及时间成本。

自动化焊接工艺在保障压力容器焊缝质量上作用明显。手工焊接的焊缝易出现缺陷,导致焊缝泄漏等问题,增加维修频次。而自动化焊接工艺制造的压力容器,焊缝质量稳定,缺陷率经定期无损检测发现比手工焊接降低70%以上。这大大减少了维修工作量与费用,保障设备长周期稳定运行,提升了炼油产业经济效益,为企业在激烈市场竞争中赢得更大优势。

#### 5 结语

本研究系统梳理了压力容器设计技术创新在理论、材料、结构及制造工艺等层面的变革,揭示了其对炼油产业经济效益的显著提升作用。先进理论为设计提供科学依据,材料创新降本提质,结构创新优化生产,制造工艺创新提高效率并降低成本。展望未来,炼油产业与压力容器设计应紧密协同发展。一方面,压力容器设计需持续创新,紧跟炼油工艺新需求;另一方面,炼油产业要积极应用创新成果,实现效益最大化。研究虽取得一定成果,但受限于研究样本和时间,在一些复杂工况和新兴技术应用上探讨不足。未来可扩大研究范围,深入分析特殊场景下的设计创新,探索人工智能、新型复合材料等前沿技术在压力容器设计中的应用,为炼油产业发展注入新活力。

#### 参考文献:

- [1] 崔益涛.浅析化工压力容器的设计和选材技术[J].化工管理,2018(22):131.
- [2] 姚莉,罗曼海,肖君,等.天然气产业技术经济评价体系及指标设计[J].天然气技术与经济,2019,13(01):71-74+84.
- [3] 董富荣.浅析压力容器分析设计的塑性措施[J].低碳世界,2016(07):218-219.
- [4] 蒋小文,杜侠鸣,齐一华.浅谈我国压力容器技术发展及其趋势[J].化工设备与管道,2022,59(01):8-15.
- [5] 张如君,叱蕊鸽,郭宗同.化工压力容器设计及不安全因素的研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(05):40-43.