



中国石化
SINOPEC

炼化生产过程节能降碳技术与实践

—— 提供炼化资源一体化优化服务，助力企业提质增效

汇报人：董叶伟

中石化石油化工科学研究院有限公司

资源优化与工业智能研究中心

石油化工低碳经济研究中心

Contents

目录

一、石科院优智中心介绍

二、炼化节能：存量发展降本增效

- 1) 炼化装置能效评价体系方法
- 2) 换热网络集成优化技术
- 3) 蒸汽动力系统集成优化技术
- 4) 低温余热高效利用技术
- 5) 氢气资源高效利用技术
- 6) 瓦斯系统平衡优化技术
- 7) 全流程综合节能降碳技术

建设世界一流的 绿色低碳能源化工科学研究院

中石化石油化工科学研究院有限公司（以下简称石科院）是中国石化直属的综合性科学技术研究开发机构，创建于1956年，在国际上拥有较高的知名度和影响力。研发领域以石油炼制技术开发为主，注重油化结合，兼顾相关石油化工技术研发，并有重点地向新型替代燃料和新能源领域延伸。

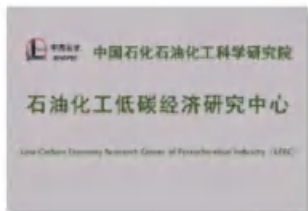


人工智能技术赋能石化行业智能化发展

资源优化与工业智能研究中心

石油化工低碳经济研究中心

中国石油学会碳中和专业委员会



根植石科院雄厚技术实力

优智中心/低碳中心的业务开展依托于石科院所具备的**炼化生产成套技术**，开发实力突出，软/硬资源兼具，可供灵活统筹。

打造专业化精英团队

团队专业人员涉及的核心技术领域包括**炼厂总流程优化、装置运行优化、智能化模型开发、节能降碳优化、炼油工艺技术及服务**等，涉及领域广泛且专业知识扎实、工程经验丰富。

实现一体化技术服务目标

“以客户为中心、以问题为导向，瞄准企业最关心、最迫切的需求”基于有针对性的高效合作，实现**一体化、协同化、平台化**运营，为客户提供全面、优质、高效技术服务。

明确使命、勇于开拓、深化改革

投身新时代、顺应新潮流，服务发展大局、把握行业大势，开放合作、开放创新，建设世界一流的**石化领域资源优化解决方案供应中心**，为成为最值得用户信赖的技术及服务提供商而砥砺前行。

面向存量市场竞争下的高质量发展：打造炼厂资源一体化优化支撑平台

物质流

物质流是炼油总流程工作永恒的话题，是实现原油资源高效利用与高端产品生产的根基。

能量流

能量流是充分优化系统用能，需要充分满足能耗双控以及能耗双控向碳排放双控转变的要求。

碳流

碳流优化是在碳排放双控要求及碳足迹要求下对行业的发展提出的新要求。

“三流”合一的整体管控与优化，是新质生产力提出的新要求，迫切需要高效的工具、先进的技术支撑。

一、石科院优智中心介绍

二、炼化节能：存量发展降本增效

- 1) 炼化装置能效评价体系方法
- 2) 换热网络集成优化技术
- 3) 蒸汽动力系统集成优化技术
- 4) 低温余热高效利用技术
- 5) 氢气资源高效利用技术
- 6) 瓦斯系统平衡优化技术
- 7) 全流程综合节能降碳技术

双碳技术领域-节能降碳技术体系

- 石科院结合炼油工艺机理模型和人工智能技术，耦合装置严格模拟与公用工程集成优化，开发全流程节能降碳技术平台。



双碳技术领域-炼油装置能效评价体系

国内外能效评价体系

能源密度指数 (EII)

- 美国所罗门公司提出
- 反映炼化企业整体能耗水平，考虑不同工况下的装置能耗
- 大多数国际石油公司使用 (BP等)

最佳指数 (BT)

- 由KBC公司开发
- 建立能量使用效率的评估标准，考虑影响能耗的主要工艺参数，如：加热炉效率、
机泵效率
- BT值越高表示能耗越高

炼油综合能耗

- 反映炼化企业单位原油的能源消耗
- 有利于炼化企业之间对比
- 无法评价单元装置的真实用能水平

单因能耗

- 能效领跑企业评价的关键指标
- 采用实际能耗比较能量因数作为能效高低的评判
- 无法用于单装置的能效评价与分析

炼油装置能效评价体系

- 国内首套基于用能机理的炼油装置能效评价体系
- 完成重点炼油装置的能效评价体系开发工作，共设计能效评价指标367项，设计装置能效指数5套。

双碳技术领域-炼油装置能效评价体系

□ 技术路线

- 装置能效评价**技术需求分析**
- 装置用能**机理模型研究与开发**
- 装置能效**关键指标筛选与设计**
- 能效指标**优化与提升数值研究**
- 装置能效评价体系**验证与应用**

□ 技术优势

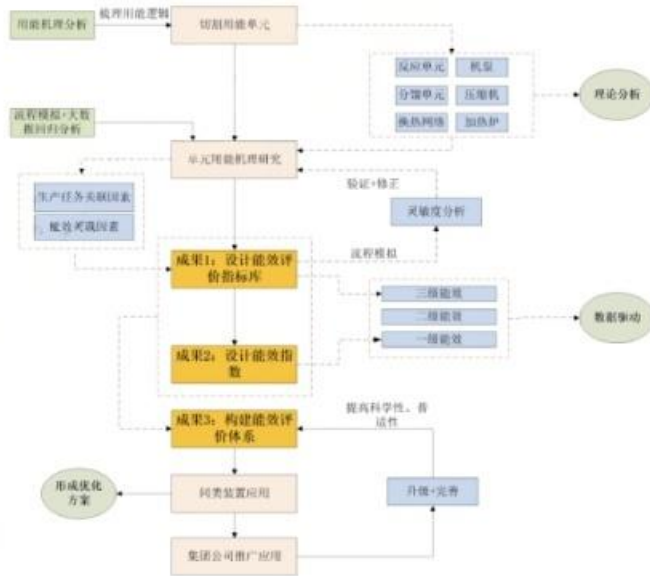


开发“机理模型+人工智能”新技术路线

- 升级优化模型计算精度及效率
- 全面、快速的设计能效指标

开发“机理+焓值”双权重能效指数新方法

- 实现常规简易评价方法向自主评价方法转变
- 实现黑箱模型向过程评价模型转变
- 实现相关装置用能瓶颈的快速定位



双碳技术领域-炼油装置能效评价体系

□ 应用案例

- 炼油装置能效评价体系已在**扬子石化、中科炼化、广州石化**完成试点应用。
- 覆盖 **常减压蒸馏、催化裂化、加氢裂化、渣油加氢、S Zorb** 等装置。
- 共计**367项**指标的**建模计算、指标验证、能效评价工作**，应用效果良好。

□ 节能效果

- 顺应国家“**双碳**”目标发展战略，满足石化企业**节能降本**需求。
- **快速、全面、标准**评价炼油装置能效水平，**精准定位**能效瓶颈。
- 基于上述3家企业应用，结合指标数据，提出**节能方案53项**。
- 共计**节能量6万吨标油/年**。



双碳技术领域-换热网络集成优化技术

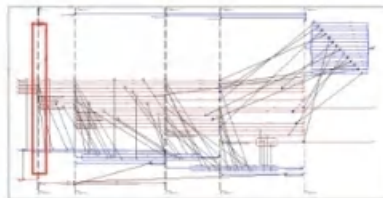
□ 行业痛点

节能降碳 需求迫切

在政策法规约束、经济成本压力与社会环保需求的多重驱动下，炼厂亟需节能降碳，**换热网络**是重要的能量回收过程。

换热网络 结构缺陷

现有换热网络存在大量**换热匹配不合理**、**跨夹点传热**等情况，传热效率远低于理论水平。



跨夹点传热

□ 技术痛点

与装置 集成不足

目前换热网络优化技术侧重于换热网络本身，忽略装置与换热网络间的相互影响，导致**实际工况**与**设计工况**存在差距。

多目标 优化冲突

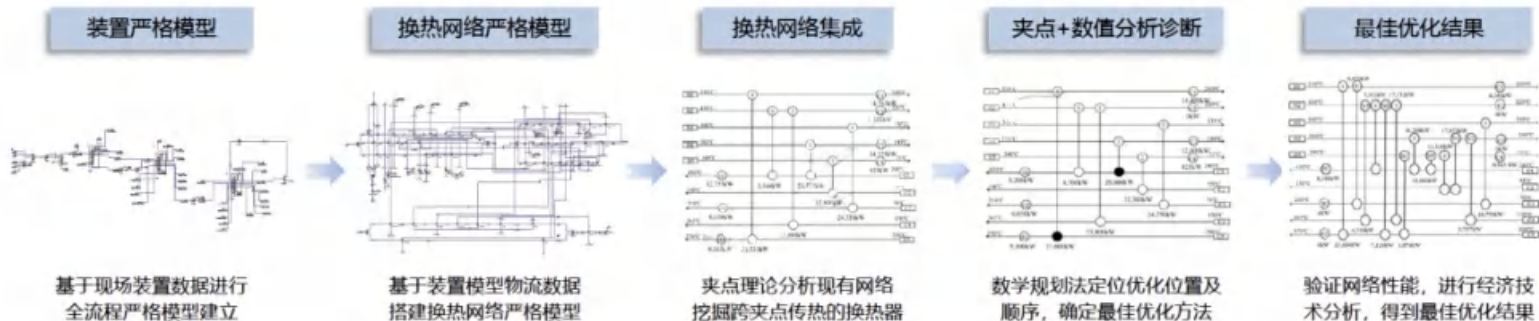
换热网络涉及降低能耗、质量要求、增加收益、系统稳定等**多目标优化**，各目标存在冲突，**难以获得多方利益最优解**。



双碳技术领域-换热网络集成优化技术

□ 技术路线

现场数据采集 → 装置严格模型 → 换热网络严格模型 → 用能诊断与弹性分析 → 设计优化方案



□ 技术优势

- 实际工况严格模拟: **实际工况严格跟踪**, 优化方案高度贴合装置真实运行状态。
- 理论与算法双重支撑: 定位最小理论能耗目标, 对复杂多变量问题进行全局寻优。
- 多目标优化: 实现**产品收率优化**, **换热终温预测**, **装置操作节能**, **节能改造优化**。

1. 夹点理论

2. 数值规划

3. 混合方法

确定性方法

- 非线性规划 (NLP)
- 混合整数线性规划 (MILP)
- 混合整数非线性规划 (MINLP)

随机方法

- 模拟退火 (SA)
- 集成开发环境 (IDE)
- 遗传算法 (GA)

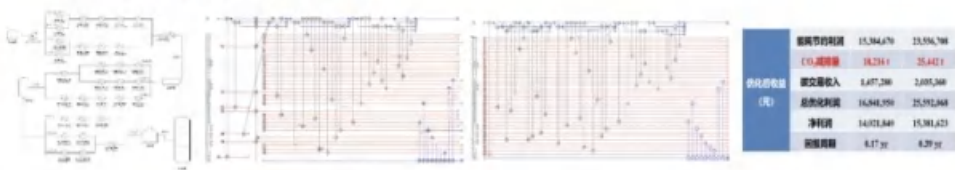
双碳技术领域-换热网络集成优化技术

应用案例

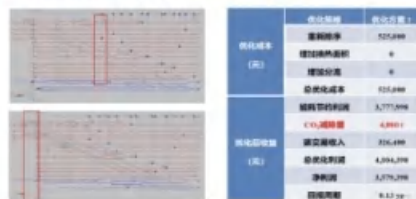
换热器能效评估及诊断 F石化



换热网络集成优化 H炼化



换热网络集成优化 Q石化



基于实际工况严格模拟的换热网络优化技术 S石化延迟焦化装置



降低两台蒸汽发生器产蒸汽量，提升中段循环油及焦化蜡油与焦化原料的换热量；
优化后换热终温提升约 20℃，降低装置能耗 4kgoe/t原料。

节能效果

- 对于千万吨级常减压装置，通过换热网络集成优化可减少碳排放2~5万吨/年，装置能耗下降0.5~1.5千克标油/吨，增效1500~3000万元/年。

双碳技术领域-蒸汽动力系统集成优化技术

□ 行业痛点

系统特点

蒸汽动力系统具有多等级参数、多燃料来源、多产（汽）供（汽）需求和多周期条件等特点，容易受到工艺装置、其他公用工程、辅助和附属生产系统的影响。

顶层设计

炼化企业生产规模滚动式发展，蒸汽系统惯用“填平补齐”的粗放式改扩建方式，缺少统一的规划和合理的配置。

科学手段

电站、管网和装置分别由不同部门管理，彼此协调不够，加之系统的复杂性和缺少必要的参数监测，操作人员多通过自身经验加以判断，缺少科学的手段及方法。

□ 蒸汽动力系统集成优化技术



① 优化供给
优化炉机负荷分配
优化热、电比



② 优化输送
消除系统瓶颈
降低散热损失



③ 优化用汽
按需用汽
降低不合理用能



④ 促进回收
提高凝结水回收率
提高低温热利用率

- 应用蒸汽动力系统集成优化技术，每节省1吨蒸汽，可实现碳减排 0.25~0.40吨。
- 对于千万吨级炼厂，通过开展蒸汽动力系统优化，可实现节能1.4~2.3万吨标油/年，减少碳排放4~8万吨/年。

双碳技术领域-氢气资源高效利用技术

□ 技术路线

氢夹点分析技术

诊断炼厂氢气系统运行状况，挖掘系统用氢瓶颈，分析节氢潜力及优化方向，提供氢气流股匹配规则

临氢装置严格模拟 加氢装置节氢管理

实现氢气网络与用氢装置协同优化，集成优化氢气分配网络和加氢装置最佳操作条件

自主开发加氢反应机理模型

超结构数学规划模型

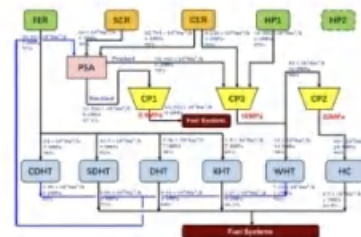
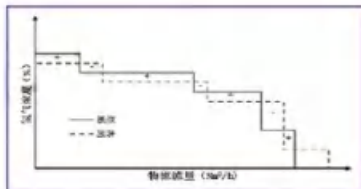
在实际约束限制下优化设计氢气网络拓扑结构

氢气管网系统集成

结合炼厂总图布置，考虑管网压力、区域加氢装置氢气消耗特点，权衡工程投资成本和操作运行成本，充分依托现有氢管网进行优化改造

□ 技术优势

- 氢夹点分析与氢气网络数学规划模型相结合的全新建模方法
- 耦合临氢装置严格模拟，实现氢气网络与临氢装置协同优化
- 自主开发氢气系统柔性智能优化决策技术，实现氢气网络柔性调度



双碳技术领域-瓦斯系统平衡优化技术

□ 行业痛点

➢ 热值波动与供需不平衡

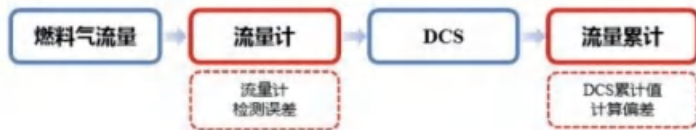
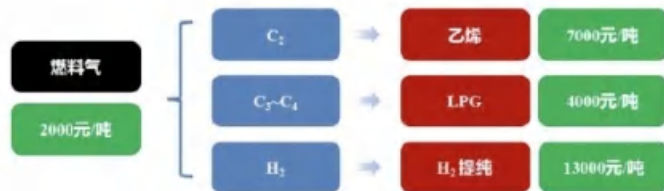
- 燃料气组分复杂（含甲烷、乙烷、氢气等），不同气源的甲烷、乙烷、氢气等**组分比例差异显著**，导致混合后**热值波动大**。
- **夏季高温时燃料气管网压力偏高**，或通过电站消耗**富余燃料气**；**冬季低温时管网压力不足**，或**补充液态烃/天然气**。
- 工艺装置（如：乙苯-苯乙烯装置）投产后可能**打破原瓦斯系统平衡**，例如：催化干气中**乙烯被提取后**，打破供需平衡。

➢ 高价值资源利用率低下

- 高附加值组分（如：乙烷、丙烷、氢气，LPG组分）未被有效分离回收，直接作为燃料烧掉，造成经济效益损失。

➢ 计量误差与成本核算困难

- 传统节流式差压流量计在变组分气体中计量误差大，尤其是小流量时误差显著，影响能耗统计和成本控制。



双碳技术领域-瓦斯系统平衡优化技术

□ 技术路线

回收燃料气中的氢气

通过富氢气体回收，减少全厂燃料气富氢量，减少外购氢气。
(氢气-瓦斯系统协同优化)

回收燃料气中的轻烃

通过回收燃料气中的轻烃，使得轻烃资源高价值利用，避免直接燃烧产汽效益低下。

瓦斯系统平衡

- 夏季工况
- 冬季工况

燃料气高效利用途径：

◀ 减量化处理
高效利用 ▶

装置增设燃料气炉

增设燃气炉直接利用提高效率，避免送入热电掺烧后发生蒸汽、汽轮机抽汽、输送、加热等多环节的损失，降低装置能耗，适应季节性调整。

增设内燃机发电机组

增设内燃机发电机组，内燃机发电效率高于产汽后利用汽轮机发电的效率，且内燃机高温烟气送入加热炉可以进一步加热物料。

□ 技术优势

- 氢气 - 瓦斯 - 轻烃三元协同优化技术

双碳技术领域-全流程综合节能降碳技术平台

- 基于“装置 + 系统”耦合模式，形成全流程综合节能降碳技术平台，开展多系统协同优化
- 为石化企业提供“一站式，全系统，节能降碳，降本增效”技术咨询服务



- 炼厂基础数据收集与规范化处理
- 重点装置能量产用模型建设
- 装置内部热集成模型建设
- 装置间热集成模型建设
- 全厂氢气系统集成模型建设
- 全厂瓦斯系统模型建设
- 全厂公用工程系统模型建设
- 根据炼厂短/中/长周期规划
- 量身定制节能升级发展规划方案

双碳技术领域-全流程综合节能降碳技术平台

□ Z 炼化全厂节能降碳项目

- 根据企业装置配置条件和用能特点为企业量身定制了**60项**切实可行的节能优化措施。
- 若优化方案全部付诸实施，预计可为企业创效**近2亿元/年**，为Z炼化综合提升全厂能源和资源利用效率奠定了坚实的基础。

- Z炼化在2025年实现单因能耗稳定控制在**7.0千克标油/吨**因数以下，成为能效领跑标杆企业。

□ Y 炼化全厂节能降碳项目

节能潜力分析

- 装置能效、消耗量、热效率
 - 装置能效：热效率平均，不足30%，装置能效大于30%
 - 能耗数据：能耗数据较为准确，提高能效，降低消耗量以提高能效
 - 140项优化：提高能效消耗量，降低消耗量
 - 通过数据：优化数据质量，提高能效消耗量
 - 分析：利用一半消耗量数据，提高能效消耗量
- 能效提升措施
 - 通过能效提升措施降低消耗量
 - 能效提升：能效提升措施，降低消耗量
 - 能效提升：能效提升措施，降低消耗量

- 基于装置与系统实际生产情况，梳理**49项**节能优化措施。
- 预计可降低企业炼油能耗**6.29 kgoe/t**。

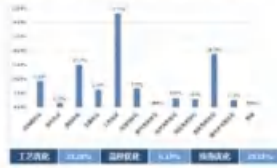
□ J 炼化全厂节能降碳项目

- 从**管理经营、流程优化、工艺技术、设备运行、操作优化、公用工程系统优化**等多角度、全方位帮助J炼化深入挖掘用能瓶颈。
- 为企业提出**96项**优化措施。
- 若优化方案全部付诸实施，预计可降低全厂炼油能耗**8.0 kgoe/t**，为企业创效**1.67亿元/年**。



□ S 炼化全厂节能降碳项目

- 本方案研究形成优化方案**共75项**。
- 预计方案全部实施后，降低全厂能耗**8.272 kgoe/t**，经济效益约为**1.3亿元/年**。



➤ 围绕炼化资源一体化优化，构建了覆盖“装置-系统-全流程”的节能降碳技术体系，基于七大关键技术方向：

- 装置能效评价体系 —— 实现从黑箱模型向过程评价转变。
- 换热网络集成优化 —— 提升热回收效率，降低能耗与碳排放。
- 蒸汽动力系统优化 —— 实现多压力等级蒸汽高效利用。
- 低温高效余热利用 —— 遵循“温度对口、梯级利用”，提升低品质热量回收率。
- 氢气资源高效利用 —— 通过夹点分析与智能调度实现节氢减排。
- 瓦斯系统平衡优化 —— 实现轻烃资源高效回收与系统平衡。
- 全流程综合节能降碳 —— 多系统耦合，实现节能降碳与经济效益双提升。

✓ 目前已为数十家企业开展节能降碳技术咨询与服务项目，平均降低全厂炼油能耗约**5.4kgoe/t**，累计降低二氧化碳碳排放约**160.55万吨/年**，累计创效约**10.8亿元/年**。

感谢您的聆听

www.sinopec.com



中国石化石科院

石科院优智中心
资源优化，工业智能
与优秀为伍，与智者同行



中国石化
SINOPEC