

《基于数字孪生模型的石化化工企业大型复杂蒸汽管网 保温工程总体评价方法》 团体标准

组 织 单 位：中国化工企业管理协会

起 草 单 位：北京化工大学经济管理学院

技术支持单位：北京清大五环节能技术有限公司

立项背景

政策背景

- 《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》——石化化工企业绿色低碳高质量发展
- 数字化转型——数字经济与实体经济的结合，“以信息化培育新动能，用新动能推动新发展”
- 以科技创新、管理创新促进石化化工企业节能降碳、高质量发展

行业背景

- 2023年石化化工行业能耗总量8.05亿吨标煤，占全国能耗的14.1%，碳排放量16.3亿吨，约占全国排放总量的13%，蒸汽动力系统运行的稳定性、高效性直接关系到石化化工企业的生产效益、成本控制以及环保水平，**节能降碳优化是重点**。
- 蒸汽动力系统各子系统之间**缺乏**有效的**协同与优化**，能源利用效率低，局部浪费严重；
- 设计过程分专业分区域，难以做到系统最优化，**实际工况与设计工况**往往**差别较大**，带来一系列的问题；
- 为应对政策影响，石化化工行业**调整产业结构、改变能源供给结构**，给企业带来了一系列新的挑战；
- 公用工程系统越来越庞大和复杂，出现的问题已经无法靠传统的经验和简单的计算解决，急需更加科学的手段和管理方法。**数字化技术是重要的解决方案**。

团标简介

🔥 名称：《基于数字孪生模型的石化化工企业大型复杂蒸汽管网保温工程总体评价方法》

🔥 组织单位：中国化工企业管理协会

🔥 团标起草人：

➤ 辛春林教授 北京化工大学经济管理学院副院长，中国工业碳中和研究院副院长

➤ 曹雁青 北京清大五环节能技术有限公司 董事长 首席科学家

🔥 技术支持单位：北京清大五环节能技术有限公司

参标单位及专家标准编制组人员名单（包括但不限于以下人员）

- 北京清大五环节能技术有限公司（董事长/正高级工程师 曹雁青，副总经理 魏云鹏）
- 中煤陕西能源化工集团有限公司（煤化工事业部副总经理/高级工程师 孟宪鑫，高级工程师 张福海）
- 湖北宜化集团有限责任公司（数智部部长/高级工程师 黄乐观）
- 宁夏宝丰能源集团股份有限公司（副总 荣健宾，应用管理工程师 杨亮）
- 中煤鄂尔多斯能源化工有限公司（技术环保部副经理 焦仲青，科技工程师 尹艳卫）
- 中科润资科技股份有限公司（保温材料供应商：气凝胶）（董事长 白元宇）
- 天津爱波瑞科技发展有限公司（事业部总经理 冯志华）
- 山东鲁泰热电有限公司（党总支书记，总经理 李继鹏）
- 北京化工大学经济管理学院（副院长、教授 辛春林）
- （个人参标专家）河北中捷石化集团有限公司 总工程师 李金马
- （个人参标专家）中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司 生产部副经理 梅光伟
- （个人参标专家）中韩（武汉）石油化工有限公司 区域副经理 王浩

参标单位和专家持续征集中 联系人：中国化工企业管理协会 张文杰 13521168168

传统保温工程评价方法的局限性

大型复杂蒸汽管网保温工程的质量和效果评估一直是个难题。传统的评价方法往往依赖于现场检测、经验判断以及局部的计算分析，存在以下不足：

🔥 数据获取局限性

现场检测只能获取有限的点数据，无法全面反映整个管网的保温状态。对于大型复杂管网，要获取全面准确的数据需要耗费大量的人力、物力和时间，而且可能因为检测点的选择不合理而遗漏关键信息；

🔥 缺乏动态性

蒸汽管网的运行工况是动态变化的，如蒸汽流量、温度、压力等参数的波动会影响保温效果，环境参数如气温、阴晴雨雪等天气状况也影响保温的效果，但现有评价方法无法反映这些变化带来的影响；

🔥 整体性评估困难

大型复杂蒸汽管网由众多管道、管件、阀门等组成，它们之间相互关联且结构复杂。传统方法难以考虑各个部分之间的相互作用和影响，容易出现片面性评价，无法准确找出影响整体保温性能的关键环节。

基于数学模型的保温工程总体评价的优点

- 🔥 数学模型全面详实准备地反映企业蒸汽动力系统的真实情况；
- 🔥 充分了解蒸汽动力系统管网保温的总体情况，结合现场仪表数据，迅速计算出所有管道保温合格程度、表面温度、散热损失等数据；
- 🔥 能够充分了解各种生产工况下、各种天气气温下，系统管网保温对蒸汽动力系统的影响
- 🔥 能够迅速了解特定保温情况下，管网中蒸汽和水的温度、压力、流向、流速等参数，了解是否有凝水产生，保障生产工艺稳定，消除水击隐患；
- 🔥 能够迅速了解不同保温材料、包覆方式在不同工况下对蒸汽动力系统全局的影响；
- 🔥 辅助制定蒸汽动力系统保温更换策略：评价哪些管道保温合格、哪些不合格；更换保温是否能够解决工艺问题；迅速了解保温方案对于蒸汽动力系统运行成本的影响；了解更换保温是否合算；在特殊情况下如何包覆保温等。

精确建立公用工程系统数学机理模型

- 以《清大五环能量系统模拟优化软件（简称：能源宝软件，SMART）》（计算机软件著作权登记号：2023SR0908597），建立集产汽、用汽、蒸汽管网、发电、脱盐水、除氧水、凝水回收、全厂伴热、循环冷却水管网、热媒水、氮气、仪表风等系统为一体的全厂公用工程系统数学模型，实现了多维度、多场景、可视化建模，可以快速离线模拟，也可以实时监测和在线优化，为企业公用工程系统的规划、设计、管理、调度、诊断、评估、节能降碳等方面提供全链条优化管理手段和科学决策依据。
- 模型构建涵盖物理、流体力学、热力学等多学科原理，全面反映系统运行状态。模型参数包含设备规格（如锅炉蒸发量、汽轮机功率、管线结构参数）、运行条件（温度、压力、流量）等多维度数据，确保对系统复杂运行过程的精准描述；
- 建模过程不需要新增任何仪表和传感器，基本不影响企业公用工程系统的正常运行；
- 模型数据来自图纸、仪表、DCS系统、现场实地采集，从设计阶段就可以开始建模，对于大型复杂系统，建模周期一般为1-3个月
- 除了公用工程系统本身的各项参数，数学模型还引入了天气气温等变量，真实详实地反映了实际情况

蒸汽动力系统数学模型实例



数学模型应用业绩

炼油石化	 中国石化 SINOPEC	中石化镇海炼化、燕山分公司、天津分公司、中韩石化武汉乙烯、中原油田普光分公司、 扬子石化分公司、安庆分公司、茂名分公司、广州分公司、中原乙烯分公司、 金陵分公司、石家庄炼化、沧州分公司、济南分公司
	 中国石油	中石油四川分公司、锦州分公司、宁夏分公司、独山子分公司、辽阳分公司、 大连分公司、兰州分公司、 华北石化
	其它	中国兵器集团北方华锦化学、中国化工正和石化、 金诚石化
煤化工	 中煤集团	中煤陕西榆林能源化工有限公司、中煤鄂尔多斯能源化工有限公司、 中煤蒙大新能源化工有限公司
	 国家能源集团 CHN ENERGY	国能神华新疆化工公司、（国能神华榆林化工公司）
	其它	江苏索普集团
氯碱化工		陕西金泰氯碱、（陕西北元集团）
其它		中国兵器集团泸州北方化学、山东济南圣泉化工

清大五环节能简介

- 北京清大五环节能技术有限公司，中关村高新技术企业，中国化工企业管理协会理事单位
- 入选石化联合会《中国石油和化工行业合格供应商、可信服务商名单（第32批）（首批数字化类）》
- “清大五环能量系统模拟优化软件”入选中国设备管理协会《2025年度能源化工行业技术装备国产化创新产品推荐目录》
- “基于数学模型的石化化工企业公用工程关键系统深度优化技术”近期通过石化联合会组织的科技成果鉴定，鉴定委员会认为该成果总体技术达到国际先进水平，部分方面处于国际领先水平
- 团队成员主要来自清华大学、北京化工大学、中国石油大学，长期致力于石油化工、化工、煤化工、热力等行业的节能减排工作，拥有丰富的现场工程和工艺经验，参与过多项国家863计划重大课题，获得过**国家技术发明二等奖**一项，中国石油和化学工业协会技术发明一等奖一项，北京市科技进步二等奖一项，中石化科技进步三等奖一项。

首席科学家

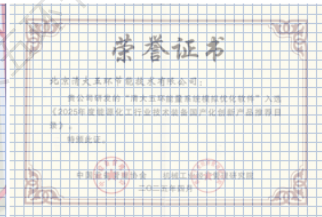
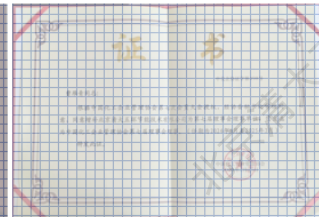
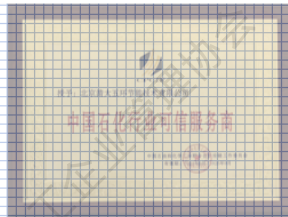
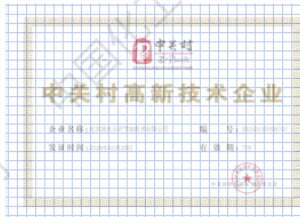
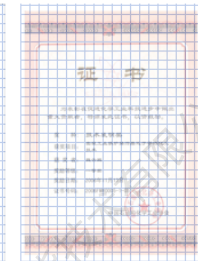
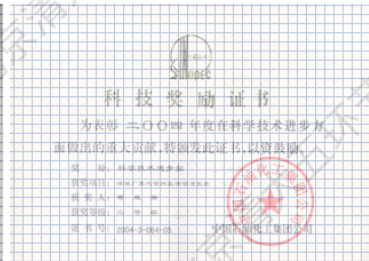
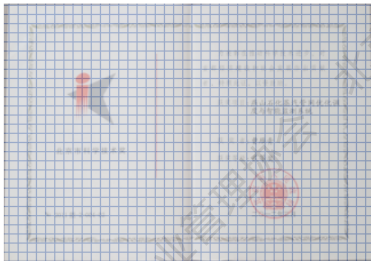


曹雁青

北京清大五环节能技术有限公司总经理

- 清华大学化学工程系学士、硕士
- 教授级高级工程师，中关村高端领军人才
- 中国电子节能技术协会系统节能技术研究院院长，低碳经济专业委员会低碳智库专家
- 中国化工企业管理协会理事，石油和化工设备专业委员会委员
- 中煤集团陕西公司煤化工技术研发中心学术委员会委员
- 公用工程系统资深专家，系统优化平台核心算法开发者
- 从事工业公用工程系统的模拟计算、节能降碳和系统优化工作二十多年，其成果在炼化、化工、煤化工等石化化工企业得到了广泛应用，节能降碳效果突出，并为企业解决了大量的疑难问题，取得了巨大的经济效益和社会效益
- 获得北京市科技进步二等奖一项，中石化科技进步三等奖一项

奖励证书和资质



科技成果鉴定

鉴定意见

2025年6月25日,中国石化和化学工业联合会组织北京召开了由北京清大五环节能技术有限公司等7家单位联合完成的“基于数字孪生的石化化工企业公用工程关键系统协同优化技术”科技成果鉴定会,鉴定委员会听取了成果汇报,观看了相关技术资料,经质询、讨论,形成如下鉴定意见:

一、该技术资料齐全、完整,符合鉴定要求。

二、主要取得了以下创新:

1.首次提出了公用工程关键系统协同优化算法,创新采用双层迭代法和拓扑路径规划算法,采用遗传算法和机器学习策略解决了大型复杂公用工程关键系统求解难、不收敛的问题,计算效率提升。

2.开发了公用工程关键系统协同优化软件,用于大型复杂油气动力和循环水等公用工程系统,实现了多能源、多场景、多优化目标,快速计算速度快,准确度高;可快速实现系统协同、实时监测和在线优化,为企业公用工程系统的规划、设计、调优、诊断、评估、故障诊断等方面提供技术支持。

3.研制了基于数字孪生的大型复杂公用工程关键系统协同优化软件,实现了基于数字孪生的公用工程关键系统协同优化技术,可用于运行诊断和节能优化,保障生产系统稳定、稳、长、满、优运行。

三、该成果已获授权软件著作权10项,申请国内专利6项(发明专利4项),其中3项授权发明专利、实用新型专利2项。

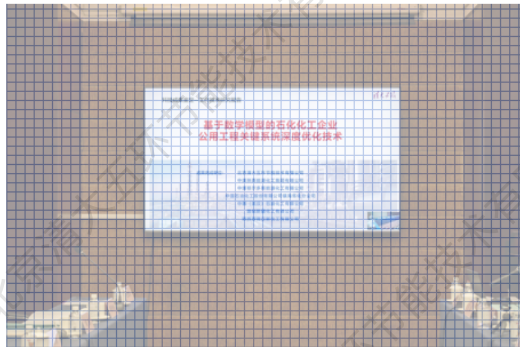
四、该成果成功应用于中国石化镇海炼化有限公司、中石化镇海炼化分公司等19家石化、炼化企业,取得节能降耗的节能量约为26万吨标准油,减排效益约为3亿元/年,同时提升了企业公用工程运行管理水平,减少了碳排放,降低环境和社会效益显著。

鉴定委员会认为:该成果总体技术达到国际先进水平,其关键技术指标达到国内和循环水等系统的性能计算方面处于国际领先水平, 有效性通过验证。

建议:加快该成果的推广应用。

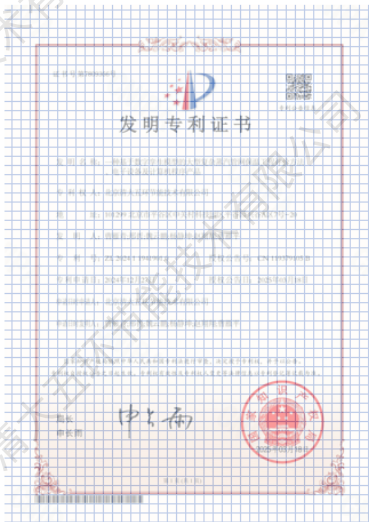
鉴定委员会主席:

2025年6月25日



鉴定委员会名单					
序号	鉴定会职务	姓名	工作单位	所学专业	从事专业
1	首席专家	曹维彬	清华大学	化学工程	化学工程
2	专家	陈大川	中国石化镇海炼化分公司	机械工程	机械工程
3	专家	陈立	中国石化镇海炼化分公司	化学工程	化学工程
4	专家	高国臣	中国石化镇海炼化分公司	化学工程	化学工程
5	专家	陈维彬	中国石化镇海炼化分公司	化学工程	化学工程
6	专家	陈维彬	中国石化镇海炼化分公司	化学工程	化学工程
7	专家	陈维彬	中国石化镇海炼化分公司	化学工程	化学工程
8	专家	陈维彬	中国石化镇海炼化分公司	化学工程	化学工程
9	专家	陈维彬	中国石化镇海炼化分公司	化学工程	化学工程

知识产权证明



涉及蒸汽动力系统保温工程总体评价方法的部分知识产权证明

全面详实的公用工程系统建模



- 相对于传统公用工程系统概念，我们深入到设备内部研究汽、水、热的平衡和交换；
- 建模和计算精确到伴热管线、导淋管线、采样器、机泵冷却器等被人忽视的细节，全面深入发掘系统节能降碳潜力；
- 软件自带燃料数据库、保温材料数据库及各类物性数据库；
- 全面详实的建模细节，保证了对公用工程系统的精准描述，保证了模拟计算结果的真实准确；
- 相比国外类似软件，客户反映功能更加完善全面，效果更好，更适合技术人员使用习惯；
- 可能是目前国内外所知最全面详实涵盖公用工程系统模拟计算分析的软件工具

高效准确计算平台

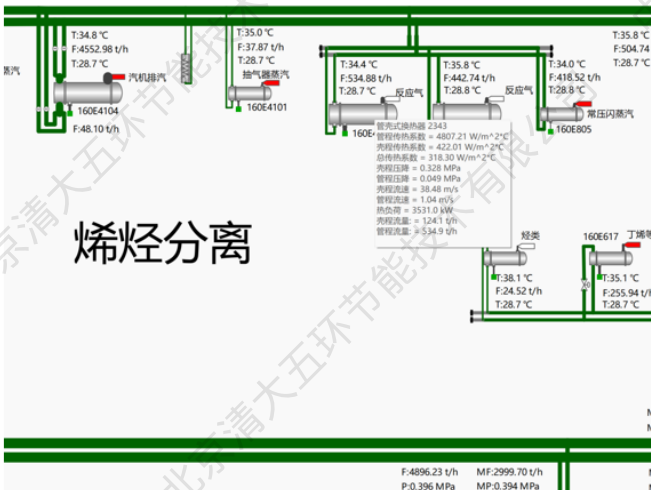
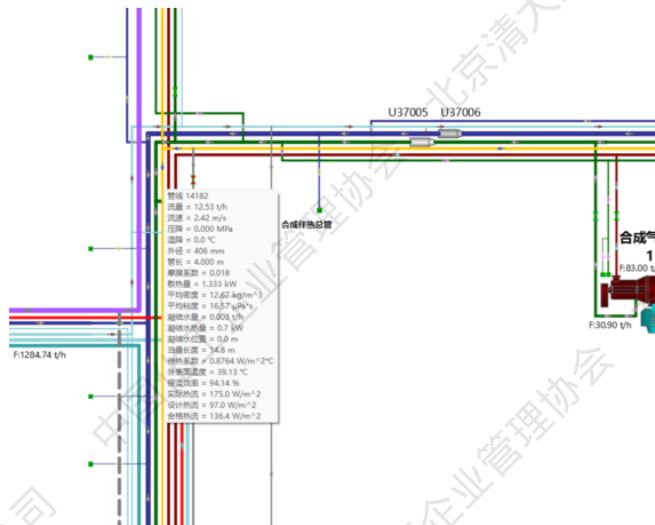
🔥 高效构造建模算法：

- 对于大型复杂系统，在常规配置PC上计算时间<10秒，即可计算出系统任意位置任何参数，收敛性好；
- 以沿海地区某大型炼化企业老区蒸汽动力系统模型为例。该模型有5226个节点、5247根管线、234个设备，5226个节点中内节点有4107个，实测该模型计算时间为5秒（PC配置Intel Core i5 2.40GHz，RAM 16.0G）；
- 以某煤化工企业第三循环水系统模型为例。该模型有2179个节点、1935根管线、299个设备，2179个节点中内节点有1274个。实测该模型计算时间为15秒。

🔥 计算结果精确：数学模型计算数据和现场实测数据的偏差 $<\pm 3\%$ ，精确反映了现场工况；

🔥 强大的建模计算工具，为技术人员提供科学的理论依据。

高效准确计算



烯烃分离

不需要新增任何传感器和仪表，高效准确计算得到公用工程系统任意位置任何参数

数学模型功能

🔥 强大的离线模拟功能：

- 可以在模型上随意离线模拟各种操作，包括启停设备、调节参数、加装设备管件等，迅速了解局部操作对系统整体的影响，制定各种操作预案；
- 可以在模型上进行任意模拟改造，通过计算迅速了解改造后的结果，准确把握局部技改对系统全局的影响；
- 基于现实工况建立的模型与基于图纸建立的模型相结合，通过离线模拟运行功能，可以提供强大的预测优化能力；

🔥 强大的分析工具：流速分析、凝水分析、热损评价等；

🔥 可定制的在线监测优化系统，充分满足实际需求；

🔥 “模型+数据+经验”的优化方法和管理手段，让企业技术人员“**深刻了解自身公用工程系统的本质**”，助力企业绿色低碳高质量发展

典型评价流程

基础数据调研与收集

- (1) 收集蒸汽管网系统流程图、管线结构参数。
- (2) 蒸汽管网运行产汽点、用汽点的蒸汽压力、流量和温度等运行参数，其它仪表的测量参数以及涉及到的锅炉、汽轮机、减温减压器的设计参数和运行参数，包括流量、压力、温压减温水量、发电量等参数。
- (3) 采集评价工况日的环境温度；用红外测温仪测量蒸汽管网关键位置保温层外表面温度。须剔除光照、反光、外表面材质等因素的影响，确保测量温度准确。

建立蒸汽管网系统模型及模型校验

以蒸汽动力系统智能模拟优化软件为平台，建立蒸汽管网系统模型，能准确模拟显示全厂蒸汽管网系统运行参数（温度、压力、流量、流速、压降、温降、凝结水量、产生凝结水的位置、散热损失、热流密度、保温层外表面温度等参数）。

模型建立以后，对收集的流程结构数据、模型本身和仪表测量数据进行校验。最终使实测参数与计算参数的相对误差控制在 $\pm 3\%$ ，完成蒸汽管网模型的确认，实现模型的高保真度，确保模型与实际管网的一致性。

评价指标计算和结果输出

- (1) 根据的数字孪生模型，按照保温工程评价指标体系计算各项评价指标的值。
- (2) 根据计算得到的各项评价指标值，采用层次分析法、模糊综合评价法等多因素评价方法对保温工程进行综合评价。将评价结果分为优秀、良好、合格、不合格等不同等级，并输出详细的评价报告，包括各项指标值、评价等级、存在的问题以及改进建议。

基于数学模型的保温工程总体评价的意义

- 结合工况和天气因素全面评价，减少散热损失，强化节能降碳效果；
- 满足各种工况下的工艺要求，保障稳定生产；
- 强化安全，预防水击等安全隐患，改善工作环境，防止烫伤；
- 充分了解局部状态对系统全局的影响；
- 辅助保温设计，模拟保温安装、更换效果，提高技改决策效率和精准度，降低成本；确定最佳保温安装、更换方案；
- 特殊场景下的保温设计指导方法。

保温评价经典案例

- 🔥 经典案例一：兵器集团某化学保温总体评价，全年散热损失分析与降雨加权计算；
- 🔥 经典案例二：公用工程系统连通优化——沿海地区某大型炼化120万吨/年乙烯装置扩建预测优化
- 🔥 经典案例三：沿海地区某大型炼化极端天气热损优化；
- 🔥 经典案例四：保温虽然不合格，但不是造成工艺问题的根本原因——中石化某石化案例；
- 🔥 经典案例五：长距离输送方案——中石化某石化案例

附录1：实际解决的问题

一、节能降碳与工艺诊疗

- 从全局角度出发，从根本上分析和发现问题，充分发掘节能降碳潜力；
- 复杂公用工程系统诊疗专家，解决各类疑难杂症，解决“带病运行，能用就行”的问题；
- 充分满足工艺条件和考虑各种工况的节能降碳优化，以运营成本为核心指标，全面的解决方案

二、针对企业新建扩建改建的设计校核与预测优化

- 炼化“减油增化”以及碳达峰政策下，石化化工企业的大量新建扩建，给企业的生产运营管理带来了新的挑战
- 从设计阶段入手，弥补设计院工艺设计与企业实际运营之间缺失的环节，消除安全隐患，提高系统能效，制定开车/试车、生产调度预案；
- 充分了解局部对全局的影响，制定优化公用工程系统连通方案（管径、保温、接入位置等）；
- 复杂系统多工况的生产调度辅助，灵活应对市场环境和政策影响

附录1：实际解决的问题

三、能源结构变化的影响

- 降低供电标煤耗，提升设备能效水平；
- 外购蒸汽/电力与自备电厂的合理调配，降低企业综合成本；解决外购蒸汽给企业蒸汽管网整体带来的影响；
- 多能互补体系支持，同时支持多种能源掺烧计算；
- 支持新能源以及新能源与化工的耦合计算，包括绿氢绿电、生物质、核电、氨燃料掺烧等，降低企业在减碳上的综合成本

四、大修技改与设备更新决策支持

- 局部的技改和设备更新，应充分考虑对全局的影响，充分考虑对各种工况（天气气温）的影响；
- 基于数学模型的评价方法，为管件、设备、保温的更新和评价提供有力的支持
- 优化设备在各种工况下的运行参数

附录2.1：节能降碳典型案例—某煤化工企业

- 🔥 一期蒸汽系统优化项目，通过建立全厂蒸汽动力系统数学模型，节能诊断，提交节能优化方案
 - 通过指导用户调节工艺运行参数，无需新增投资，年节约蒸汽(9.8MPa、535℃) 8.75万吨，约合节能效益1050万/年(9.8MPa蒸汽成本价按120元/吨计算)；年减少碳排放量约3.7万吨，碳资产价值约280万元（按市场碳价75元/吨计算）；
 - 提出节能工程改造方案，以获得更好的节能效果，年可节约蒸汽(9.8MPa、535℃)约30万吨，约合节能效益3600万/年，投资回收期约1年；年减少碳排放量约12.8万吨，碳资产价值约960万元。
- 🔥 二期全厂循环水系统瓶颈诊断与节能优化项目，于2023年12月验收，根据建立的全厂循环水数学模型，进行离线模拟运行，对循环水系统进行了分析优化，并形成了瓶颈诊断和节能优化评估报告
 - 根据节能优化评估报告进行了性能考核，通过对热电中心(第一循环水场)、甲醇中心(第二循环水场)中温升较低和备开状态的循环水换热器回水阀门进行调整，共减少循环水量约1300t/h；
 - 根据节能优化评估报告，对第三循环水场MTO装置换热器和聚乙烯装置进行了运行优化，改造后可缓解MTO换热器结垢问题和聚乙烯装置夏季工况冷却效果差的问题

附录2.2：预测优化典型案例—沿海某大型炼化

- 企业使用我方早期技术进行蒸汽管网优化，节约蒸汽约70-80吨/小时，综合节约蒸汽约200吨/小时，综合评估后，采用该技术的节能效益约8000万/年；厂方通过使用该技术制定生产调度预案，生产当日结合天气（是否下雨）和气温进行计算，进一步优化生产方案；
- 利用全厂蒸汽动力系统模型，对扩建项目一期23种工况进行了模拟计算，对低流速管线进行设计优化，消除低流速安全隐患（消除水击隐患），同时优化缩径蒸汽管线约1150米，设计修改后减少钢材重量约125.2吨、保温层体积117.3立方米，同时管径缩小后，总散热损失减少148.4kW；
- 风氮系统优化：利用建立的扩建项目一期全厂风氮管网系统模型，对正常工况、最大工况进行了模拟运行。优化流速过低的风系统管线管径，同时减少钢材重量219.6吨；优化流速普遍较低的氮气管网管线管径，设计修改后减少钢材重量约273吨；
- 利用数学模型对开工后的运行工况进行预测诊断，各压力等级到0.35MPa管网的7台减温减压器会造成约30t/h低压蒸汽放空，存在能量浪费。针对预测结果，清大五环提出增设一条供往老区低压蒸汽管线，可以将放空蒸汽供给炼油老区，解决放空问题。扩建项目投产后，实际运行工况与预测工况相符，避免了蒸汽放空；企业的蒸汽成本价格较高，以低压蒸汽成本200元/t，年8000小时计算，此措施可降低运行成本4800万元/年，提高了设备能效水平；

附录2.2：预测优化典型案例—沿海某大型炼化

- 通过模型模拟各工况运行，发现部分减温减压器设置不合理，某些工况下会造成管网极低流速和蒸汽反向，影响乙烯装置安全稳定运行，通过修改E0EG装置K201联锁减温减压器和POX界区减温减压器等方案消除了隐患；
- 根据设计阶段废液焚烧装置设计选址位置，通过模型对各方案进行了模拟，根据模型模拟结果，选择了最优化的选址方案，且在不影响生产的情况下投资最小，保证了特殊工况下所有装置都可稳定运行；
- 对开工工况等23个特殊工况进行了模拟，辅助制定应急预案，辅助120万吨/年乙烯装置开工，强化安全，提高开车试车效率；
- 24年11月的台风天气影响下，全厂蒸汽消耗比通常多了400t/h以上，而且对生产的稳定也造成了一定的影响，清大五环以部署的数学模型进行计算分析，快速发现应对的方法

项目应用情况：

北京清大五环节能技术有限公司为“基于数学模型的炼化行业工业能效提升与碳排放管理”项目于2024年11月-2024年12月提供技术支持。项目团队在项目实施过程中，发现部分减温减压器设置不合理，某些工况下会造成管网极低流速和蒸汽反向，影响乙烯装置安全稳定运行，通过修改E0EG装置K201联锁减温减压器和POX界区减温减压器等方案消除了隐患；

1. 根据设计阶段废液焚烧装置设计选址位置，通过模型对各方案进行了模拟，根据模型模拟结果，选择了最优化的选址方案，且在不影响生产的情况下投资最小，保证了特殊工况下所有装置都可稳定运行；

2. 对开工工况等23个特殊工况进行了模拟，辅助制定应急预案，辅助120万吨/年乙烯装置开工，强化安全，提高开车试车效率；

3. 24年11月的台风天气影响下，全厂蒸汽消耗比通常多了400t/h以上，而且对生产的稳定也造成了一定的影响，清大五环以部署的数学模型进行计算分析，快速发现应对的方法

4. 根据设计阶段废液焚烧装置设计选址位置，通过模型对各方案进行了模拟，根据模型模拟结果，选择了最优化的选址方案，且在不影响生产的情况下投资最小，保证了特殊工况下所有装置都可稳定运行；

5. 对开工工况等23个特殊工况进行了模拟，辅助制定应急预案，辅助120万吨/年乙烯装置开工，强化安全，提高开车试车效率；

6. 24年11月的台风天气影响下，全厂蒸汽消耗比通常多了400t/h以上，而且对生产的稳定也造成了一定的影响，清大五环以部署的数学模型进行计算分析，快速发现应对的方法

应用单位：XX

应用单位：XX

R025 3月5日

R025 3月5日

附录2.3：循环水系统诊疗与优化典型案例

- 🔥 某炼化企业用户基本情况：某循环水场，循环水量约15000t/h，主要用水装置有常减压蒸馏装置、加氢、制氢等十几套装置，冷却塔4台，机泵4开2备，系统复杂，存在夏天冷却能力不足，存在结垢的问题。
- 🔥 用户诉求：要增加CCUS装置一套，预计需要3000t/h循环水，希望在不新建冷却塔或者循环水场的前提下解决；同时希望解决夏天冷却能力不足的问题。
- 🔥 清大五环经过精确建模和分析对系统进行诊疗后，提交解决方案如下：
 - （一）凝结水站优化
 - 除盐水换热器更换为端差更小的高效板式换热器，凝液温度可以降为74℃。进除氧器前，除盐水温度从68.9℃提高到95.2℃，多取热量4275kW，可以节约蒸汽约5.5t/h（该地区以天然气为燃料，蒸汽成本约300元/吨，折合节能效益约1000万元/年）；
 - 凝液温度降到74℃后，只需要1台凝液冷却器就可以完成冷却任务，可以减少循环水167t/h。

附录2.3：循环水系统诊疗与优化典型案例

🔥 清大五环经过精确建模和分析对系统进行诊疗后，提交解决方案如下：

➤ （二）制氢装置优化

- 当前工况下，制氢装置循环水量为1570t/h，温升仅有0.8℃；CCUS装置开工后，制氢装置循环水量降为1432t/h，温升0.9℃。
- 制氢两条系列一开一备，备用的系列循环水仍然在运行。将备用系列的循环水关闭，则可以大量节约循环水消耗。
- 通过模型模拟计算，制氢装置循环水量降为603t/h，温升提高到2.5℃。节约循环水829t/h。

➤ （三）硫磺联合装置优化

- 硫磺联合装置3套预洗涤塔开两开一备，每个塔的预洗涤塔冷却器循环水用量为450~550t/h。将备用预洗涤塔冷却器循环水侧关闭，也可以节约循环水用量约300t/h。

附录2.3：循环水系统诊疗与优化典型案例

🔥 清大五环经过精确建模和分析对系统进行诊疗后，提交解决方案如下：

➤ （四）CCUS优化

- CCUS各换热器循环水量设计总和为1800t/h。通过模型模拟计算，预测CCUS开工后循环水用量为1287t/h。实际运行达不到设计工况。
- 冷剂冷凝器设计循环水量为588t/h，预测循环水量为250t/h，差别较大。该换热器为翅片管，换热面积较大，预测循环水温升为14.7℃，存在冷却不足的风险。
- 建议将进出口170米（单线85米）DN450的管线换为DN600的管线，冷剂冷凝器的入口管线由DN250换为DN350。
- CCUS的二氧化碳压缩机两台一开一备。备用换热器的循环水侧可以关闭，以节约循环水量。

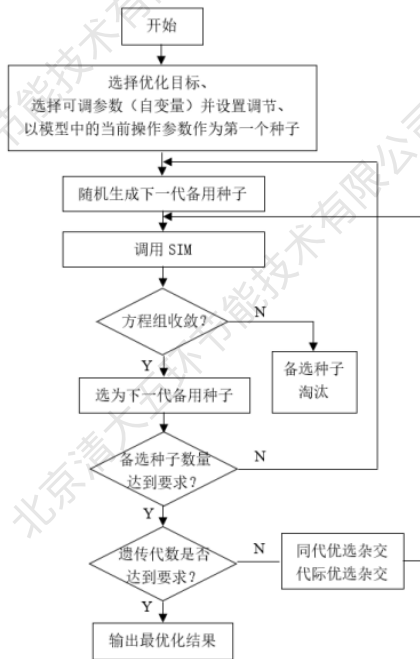
🔥 以上4条优化方案，在满足CCUS开工的情况下，可以再减少至少1000t/h循环水。总用量从15000t/h减少到14000t/h，可以开启3台大泵和1台小泵。

🔥 优化后，冷却负荷仅降低1.3%，循环水温升从5.5℃增加到5.7℃。相同天气情况下，循环水供水温度可以下降0.2~0.4℃，有利于冷却换热。

附录3：AI发展—遗传算法实现自动优化

🔥 模拟与遗传算法相结合，实现多目标自动优化

- 采用数学规划法（MP），计算量巨大，很难收敛，而且出现不收敛问题，人力几乎无法解决。
- 本技术采用了模拟与遗传算法相结合的算法（Simulation Genetic Algorithm, SIMGA），以实现多目标自动优化。如经济指标最优（如运行成本最低）、能耗指标最优（总能耗最低）、碳排放指标最优（碳排放最低）、技术指标最优（如供电标煤耗最低、发电水耗最低等）等。



附录3：AI发展—遗传优化算法示例

优化中.....

优化目标：
总成本

参数选择：

参数	原始值	当前最优值	最小值	最大值
3297号设备:发电负荷	10000	2425	1000	20000
3296号设备:发电负荷	10000	3314	2000	20000

约束条件：

参数	原始值	当前最优值	最小值	最大值
3346号设备:购电量	11104	11104	0	20000

原始数值: 154978.49 当前最优: 154910.01

搜索次数: 42 报错次数: 0

选中次数: 5/10 淘汰次数: 0

搜索代数: 4/30

☐ 深度优化 开始优化 停止优化 保存新工况 关闭

附录3：AI技术结合研发方向

- 🔥 扩展现有遗传算法功能
- 🔥 化工大模型与清大五环公用工程系统数学模型的结合
- 🔥 大语言模型（LLM）方向：
- 🔥 AIGC方向
- 🔥 探索AI技术与自动优化的进一步应用

谢谢

- 数智赋能 节能降耗
- 精益管理 减碳增效