

推荐国家科技进步奖项目公示

项目名称	乙烯装置高附加值产品最大化的优化控制技术
推荐单位	教育部
推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>乙烯工业是石油化学工业的核心和发展标志，面临国内现有乙烯生产原料多变、运行水平低以及工艺路线复杂等带来的蒸汽裂解制乙烯工业国际竞争力挑战，提高石油烃资源的综合利用率及降低能耗对乙烯工业发展具有重要意义。该项目围绕乙烯工业高附加值产品价值最大化需求，综合多学科交叉的理论方法和技术，研究开发了裂解炉炉膛与炉管耦合数值建模与模拟、裂解炉群原料及其负荷优化配置、裂解深度实时优化与控制等关键技术和软件，形成了系列自主知识产权的运行优化技术，其中裂解炉群原料与负荷优化配置等技术达到国际领先水平，裂解深度控制和优化技术已在中国石化乙烯行业中推广应用，查新结果显示多项技术未见国内外系统报道。研发成果已形成 14 项国家发明专利（授权 4 项，公开 10 项），登记 13 项国家计算机软件著作权，并已在上海石化、镇海炼化、扬子石化等多套百万吨级大型乙烯装置上成功应用示范，近三年累计创造新增利税 9.26 亿元。摆脱了我国乙烯装置先进控制与优化技术依赖国外引进的局面，提高了乙烯工业乃至石油化工过程生产运行技术水平和企业竞争力。</p> <p>对照国家科技进步奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家科技进步奖一等奖。</p>	

项目简介:

石油和化学工业是国民经济的支柱产业,其 75%的化工产品源于乙烯生产,作为石油化工产业的龙头和核心,乙烯工业标志着一个国家石油化工发展水平。由于乙烯生产原料复杂,且生产流程涵盖高温、深冷等复杂工艺,是化工过程中流程最长、工艺特性最复杂的制造过程,其优化控制一直是国际关注焦点。虽然现有乙烯装置工艺包与装备等核心技术大多是国外引进,但国外专利商不提供乙烯装置的生产机理和优化控制技术,这导致国内乙烯装置产品收率与能耗等与世界先进水平存在明显的差距。为实现乙烯装置运行过程的高附加值产品最大化,本项目重点研发实施了以下技术:

(1) 提出并实现了乙烯裂解炉炉膛内流动、燃烧、辐射传热与炉管内自由基裂解反应过程的逐点耦合建模技术,获得了不同炉型裂解炉炉膛内详细的烟气温度、速度、浓度和热通量分布,以及炉管外壁温度、炉管内油气温度、速度、压力和产物收率分布的详细信息,实现了裂解炉全周期运行特性的表征和预测。为中国石油大庆石化 15 万吨/年大型裂解炉的自主设计制造提供了技术支撑。

(2) 提出并实施了乙烯装置裂解炉炉群多种原料及其负荷的优化配置技术,达到国际领先水平。建立了不同裂解炉在不同裂解原料、不同操作条件下的各关键产品收率模型、燃料气消耗模型以及以废锅出口温度表征的运行周期模型,实现了裂解炉运行效率的在线评测;以高附加值产品最大化为目标,实现了对裂解炉炉群原料和负荷配置的 MINLP 问题在线求解与优化操作。在有效提高双烯收率的同时,降低了燃料气消耗。

(3) 研发了裂解炉裂解深度实时优化控制技术,并在中国石化推广应用。采用油品属性聚类分析和神经网络技术,建立了不同油品属性的裂解产物全组分收率在线预测模型,利用滚动优化实现了裂解深度的实时优化,同时研发并实施了裂解深度智能控制技术,有效提高了高附加值产品产量。

项目已形成 14 项国家发明专利,登记 13 项国家计算机软件著作权。发表的相关学术论文有 41 篇被 SCI、34 篇被 EI 收录。上述技术实施后,主要技术指标达到或超过了同类装置国际先进水平。其中:上海石化双烯收率平均提高 1.37~1.73%,每年减少燃料气消耗 4000 吨以上。扬子石化裂解深度控制技术实施后,双烯收率增加 0.33% 以上;镇海石化裂解深度控制和优化技术实施后,总高附产品收率提高了 0.28~1.17%,每年减少能耗 1.9 万吨;并进一步推广到天津石化、吉林石化、大庆石化、齐鲁石化等企业的乙烯装置。

项目成果自 2008 年 1 月开始陆续在中国石化扬子石化、上海石化、镇海炼化等百万吨级大型乙烯装置上成功应用,近三年累计实现新增利税 **9.26 亿元**。本项技术有效解决了乙烯生产运行中的关键瓶颈问题,已应用到我国 6 套百万吨级大型乙烯装置的 76 台裂解炉,有效推动了乙烯行业乃至石化工业的技术进步。

客观评价：

(1). 在学术评价方面：本项目中有关裂解炉耦合建模的研究工作，先后发表在化工及过程系统工程领域 TOP 期刊 AICHE Journal、Chemical Engineering Journal、Chemical Engineering Science、Industrial & Engineering Chemistry Research 等，论文近两年已被 AICHE Journal、Chemical Engineering Science 等期刊引用 30 余次，认为本项目研究是裂解炉耦合模拟的代表性工作；并以 SL-II 型（10 万吨/年）、CBL-III 型（10 万吨/年）、GK-VI 型（6 万吨/年）以及华锦 USC 型（13 万吨/年）不同炉型的裂解炉为应用对象进行了对比验证，关键参数指标与工业实际误差仅在 3% 以内；在国家重点工程—中国石油大庆石化 120 万吨乙烯改扩建工程中，为 15 万吨/年大型裂解炉的自主设计制造提供了技术支撑。

(2). 在技术水平评价方面：本项目研究工作“裂解炉炉群负荷优化分配技术”通过了中国石油化工股份有限公司组织的鉴定，与会同行专家一致认定：研究结果具有创新性和良好的推广应用前景，整体技术达到了国际领先水平；目前已推广至扬子石化、吉林石化应用。

(3). 知识产权评价：本项目研发的多项技术和软件是国内首创，在裂解炉耦合模拟、裂解过程性能预测、裂解深度控制以及炉群运行优化等方面形成了 14 项国家发明专利（4 项授权，10 项公开）、13 项计算机软件著作权登记。此外，在基于烃类裂解反应动力学、裂解结焦机理、燃料燃烧机理、炉膛内热传递与流体流动特性等工艺机理研究，以及基于神经网络的建模与控制、多目标多约束新型智能优化等技术的工程应用研究方面，已发表相关论文 90 篇，其中 41 篇被 SCI、34 篇被 EI 收录。(4). 科技查新结论：教育部科技查新工作站（L06）对本项成果的国内外相关研究进行国际联机检索查新的结果表明：所涉及的适用不同裂解炉裂解过程传热与反应的耦合模型，油品属性聚类分析与高附加值裂解产品收率预测模型、废热锅炉(TLE)出口温度预测模型、乙烯装置多种原料的负荷优化配置，裂解深度实时优化与控制等技术，经检索除查新委托人及其合作单位发表的文献外，未见相同文献报道，具有国内外新颖性”。

推广应用情况：

本项目研发技术自 2008 年起开始在中国石化扬子石油化工有限公司 70 万吨/年乙烯装置上陆续应用实施，实现了其 11 台裂解炉的裂解深度控制，以及 5 台裂解炉（的裂解深度实时优化，使得裂解深度控制在 ± 0.02 范围内，裂解炉出口丙烯和乙烯浓度在线估计误差小于 3%，SL-II 型轻质裂解炉的“双烯”收率同比上升 0.28%、SL-II 型重质炉的“双烯”收率同比提高 0.9%、GK-VI 型裂解炉同比提高 0.78%、SRT-IV 裂解炉同比提高 0.46%。裂解深度实时优化技术实施后，裂解石脑油时双烯收率增加 0.333%、裂解加氢尾油时双烯收率增加 0.374%；2011 年开始裂解深度控制与优化技术在国内乙烯装置全面推广应用，其中天津石化双烯收率平均提高 0.29%，吉林石化双烯收率提高 0.205%，齐鲁石化双烯收率提高 0.20%，在基本不增加设备投资的情况下，充分发挥了现有生产装置的运行潜力，有效实现了增效目标。

本项目实施单位——上海石化、扬子石化、镇海炼化等均为百万吨级大型乙烯装置，并已在中国石油吉林石化 70 万吨/年乙烯装置、大庆石化 120 万吨/年乙烯装置以及中国石化齐鲁石化 80 万吨/年乙烯装置上推广应用实施。

主要知识产权证明目录:

1. 授权国家发明专利 4 项

- ✓ 乙烯装置中裂解炉裂解深度的智能控制方法 专利号: ZL 2005 1 0025043.6
- ✓ 工业乙烯裂解炉裂解深度的在线优化方法 专利号: ZL 2009 1 0056294.9
- ✓ 工业装置二氯乙烷裂解炉耦合建模方法及应用 专利号: ZL 2012 1 0191180.7
- ✓ 工业二氯乙烷裂解炉炉膛燃烧及炉管内裂解反应的耦合数值建模方法 专利号: ZL 20130072372.0

2. 公开国家发明专利 10 项

- ✓ 乙烯裂解炉 TLE 出口温度和运行周期预测方法 公开号: CN101260037A
- ✓ 液化石油气裂解关键产品收率预测及原料优化方法 公开号: CN103473460A
- ✓ 用于工业乙烯蒸汽裂解炉设计验证和优化的耦合建模方法 公开号: CN103310123A
- ✓ 工业蒸汽裂解炉的管排优化设计方法 公开号: CN103678759A
- ✓ 工业蒸汽裂解炉辐射段的耦合模拟方法 公开号: CN103440390A
- ✓ 基于 CFD 的工业蒸汽裂解炉炉膛烟气组成分布的预测方法 公开号: CN103440433A
- ✓ 基于区域法的工业蒸汽裂解炉炉膛实时性能预测方法 公开号: CN103455684A
- ✓ 基于代理模型的工业乙烯裂解炉全周期动态优化方法 公开号: CN103605325A
- ✓ 乙烯裂解炉群负荷分配优化方法 公开号: CN103605821A
- ✓ 基于自适应优选模糊核聚类的石脑油属性聚类方法 公开号: CN101704742A

3. 登记国家计算机软件著作权 13 项

- ✓ 裂解炉裂解深度智能控制软件 登记号: 2006SR17593
- ✓ 乙烯装置分离系统流程模拟软件 登记号: 2012SR113591
- ✓ 乙烯装置压缩系统动态流程模拟软件 登记号: 2012SR113534
- ✓ 乙烯装置急冷系统动态流程模拟软件 登记号: 2012SR113529
- ✓ 乙烯装置急冷和压缩系统稳态流程模拟软件 登记号: 2012SR113522
- ✓ C3 加氢反应流程模拟软件 登记号: 2012SR113517
- ✓ C2 加氢反应过程流程模拟软件 登记号: 2012SR113513
- ✓ 乙烯生产过程裂解炉群负荷分配优化软件 登记号: 2014SR035994
- ✓ 乙烯装置裂解炉运行优化软件 登记号: 2014SR035990
- ✓ 工业蒸汽裂解炉炉膛模拟软件 登记号: 2014SR035997
- ✓ 乙烯裂解炉炉膛 CFD 模拟软件 登记号: 2015SR083733
- ✓ 乙烯装置前脱丙烷流程全流程稳态模拟软件 登记号: 2015SR029035
- ✓ 乙烯装置顺序分离流程全流程稳态模拟软件 登记号: 2015SR029030

主要完成人情况：

杜文莉，排名第一，院长，教授，工作单位：华东理工大学，是该项目主要负责人，对创新点 1、2、3 做出了创造性贡献，具体工作包括：研究开发了裂解过程耦合建模与模拟技术，实现了对裂解炉群负荷分配 MINLP 优化问题的求解及其工业实施。

钱锋，排名第二，副校长，教授，工作单位：华东理工大学，是该项目主要负责人，负责乙烯装置优化运行关键技术研发与工业实施。对创新点 1、2、3 做出了创造性贡献，具体工作包括：主持研发了乙烯裂解反应与传热过程耦合建模技术、裂解炉群原料与负荷优化配置技术以及裂解深度先进控制与实时优化技术。

张利军，排名第三，副经理，高级工程师，工作单位：中国石化上海石油化工股份有限公司，对创新点 2 做出了创造性贡献，对创新点 3 做出了贡献。具体工作包括：研发了上海石化裂解炉群原料与负荷优化配置系统的总体方案，提出了裂解炉群运行效率的综合性能评测技术，参与裂解深度控制技术的研发并负责工业实施。

智茂轩，排名第四，副主任，高级工程师，工作单位：中国石化镇海炼化分公司烯烃部，对创新点 1、3 做出了贡献。具体工作包括：研发了镇海炼化裂解炉实时优化系统的总体实施方案，参与不同裂解原料下裂解产物的全组分预测与评测，参与裂解深度控制技术的研发并负责工业实施。

卫达，排名第五，厂长，工作单位：中国石化扬子石油化工有限公司烯烃厂，对创新点 3 做出了创造性贡献，对创新点 1 做出了贡献。具体工作包括：研发了扬子石化裂解炉实时优化系统的总体方案，参与裂解深度控制技术的研发并负责工业实施。

王振雷，排名第六，教授，工作单位：华东理工大学，对创新点 2、3 做出了贡献，参与研发了裂解深度控制技术，参与工业装置现场调试与系统投用工作。

田亮，排名第七，副主任，高级工程师，工作单位：中国石化上海石油化工股份有限公司，对创新点 2、3 做出了贡献。参与研发了裂解炉群原料与负荷优化配置系统的总体方案设计，参与裂解深度控制技术的研发并进行工业实施。

蒋明敬，排名第八，总工，教授级高工，对创新点 1、3 做出了贡献。参与乙烯裂解反应与传热工程耦合建模技术的功能评估、工业现场测试验证，参与裂解深度先进控制和实时优化技术的方案设计、测试与验证工作。

许岩峰，排名第九，副厂长，高级工程师，工作单位：中国石化扬子石油化工有限公司烯烃厂，对创新点 3 做出了贡献。参与研发了裂解炉实时优化系统实现方案，参与建立不同原料下裂解产物全组分预测模型，参与裂解深度控制技术的研发并负责工业实施。

胡贵华，排名第十，讲师，工作单位：华东理工大学，对创新点 1 做出了贡献，为主开展了裂解炉炉膛 CFD 与区域法建模与模拟，参与研发了裂解炉耦合建模与模拟技术，及多套工业裂解炉的模拟验证工作。

赵亮，排名第十一，讲师，工作单位：华东理工大学，对创新点 2、3 做出了贡

献。参与裂解炉群原料负荷优化配置模型建立与求解，建立负荷优化配置实时监控和优化系统软件；参与研发了裂解深度控制技术、裂解深度实时优化技术，工业装置现场调试与系统投用工作。

代淼，排名第十二，副处长，高级工程师，工作单位：中国石化上海石油化工股份有限公司，对创新点 2、3 做出了贡献。参与研发了裂解炉群原料与负荷优化配置系统的总体方案。

张孝明，排名第十三，副书记，高级工程师，。对创新点 1、3 做出了贡献。为主研发了裂解炉实施优化系统的总体方案，参与不同裂解原料下裂解产物的全组分预测，参与裂解深度控制技术的研发并负责工业实施。

赵军，排名第十四，科长，高级工程师，工作单位：中国石化扬子石油化工有限公司烯烃厂，对创新点 3 做出了贡献。参与研发了裂解炉实时优化系统实现方案，参与建立不同原料下裂解产物全组分预测模型，参与裂解深度控制技术的研发并负责工业实施。

李进龙，排名第十五，副教授，工作单位：华东理工大学，对创新点 2 做出了贡献，参与建立裂解炉关键属性的建模，参与裂解炉炉群负荷优化分配技术的开发和现场实施。

主要完成单位及创新推广贡献:

华东理工大学，排名第一，主要负责乙烯装置优化运行中的关键共性技术研发及其工业应用。建立了裂解炉群运行效率的综合性能评测模型，包括不同裂解原料对应的各关键产品收率模型、裂解炉用能效率模型、以及废锅（TLE）出口温度预测模型等；实现了对裂解炉群负荷分配 MINLP 优化问题的求解及其工业实施。提出了基于油品聚类分析的裂解产物全组分收率预测模型，利用全局优化和滚动优化结合实现裂解深度的在线优化，实现了裂解深度先进控制系统。全面负责乙烯裂解过程优化控制系统在工业生产装置上的实时调试、投运与实施，指导上述研发的优化技术在工业装置上进行应用与实施。

中国石化上海石油化工股份有限公司，排名第二，主要负责乙烯装置裂解深度控制技术、裂解炉群原料与负荷优化配置技术总体方案的确定以及组织工业应用实施、评估。具体技术开发和应用的主要贡献为：参与裂解炉群原料与负荷优化配置系统的总体方案设计，提出了裂解炉群运行效率的综合性能评测模型的范围与相关工艺变量，建立了裂解炉群的实时监控系統，实现对其中每台裂解炉的进行负荷、气烃比、稀释蒸汽阀门开度、废热锅炉出口温度、炉膛温度以及热效率等过程变量进行实时监控。在工业装置上成功实施上述优化运行技术，负责工业装置现场仪表与控制系统、设备等的检定、调试和确认，负责上述技术在工业生产装置上的实时调试、投运和长期运行。

中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司，排名第三，主要负责乙烯装置裂解过程模拟与离线优化实施；参与乙烯装置裂解深度控制技术、裂解深度实时优化技术总体方案的确定以及组织工业应用实施、评估。具体技术开发和应用贡献为：基于裂解过程耦合模型，对 10 万吨大型裂解炉特性进行了工业对比与验证；采用裂解炉模拟技术对乙烯装置的裂解过程进行模拟和离线优化操作，使操作的裂解温度显著降低。对裂解原料分析仪、裂解气分析仪以及常规控制仪表进行标定、维护，以保证优化控制系统的投运运行。在工业装置上成功实施上述优化运行技术，负责工业装置现场仪表与控制系统、设备等的检定、调试和确认，负责上述技术在工业生产装置上的实时调试、投运和长期运行。

中国石化扬子石油化工有限公司，排名第四，主要负责乙烯装置裂解深度控制技术、裂解深度实时优化技术总体方案的确定以及组织工业应用实施、评估。具体技术开发和应用贡献为：针对裂解过程耦合模型，对 SL-II 型裂解炉特性进行了工业对比与验证。对裂解原料分析仪、裂解气分析仪以及常规控制仪表进行标定、维护，以保证优化控制系统的投运运行。在工业装置上成功实施上述优化运行技术，负责工业装置现场仪表与控制系统、设备等的检定、调试和确认，负责上述技术在工业生产装置上的实时调试、投运和长期运行。

完成人合作关系说明：

序号	合作方式	合作者	合作成果	证明材料
1	共同知识 产权	钱锋、李进龙、杜文莉、 王振雷、叶贞成	基于代理模型的工业乙烯裂解 炉全周期动态优化方法	附件-发明专利
2	共同知识 产权	钱锋，李进龙，杜文莉， 叶贞成，王振雷	乙烯裂解炉群负荷分配优化方 法	附件-发明专利
3	共同知识 产权	钱锋，王振雷，梅华， 赵亮	基于自适应优选模糊核聚类的 石脑油属性聚类方法	附件-发明专利
4	共同立项 科技开发	杜文莉、钱锋、张利军、 王振雷、赵亮、代淼、 李进龙	裂解炉炉群负荷优化分配技术	附件-鉴定证书
5	共同立项 科技开发	杜文莉、钱锋、卫达、 王振雷、许岩峰、叶贞 成、赵军、赵亮、胡天 生、赵焜	乙烯裂解装置效益优化运行系 统开发	附件-验收证书
6	共同立项 科技开发	杜文莉、钱锋、智茂轩、 张孝明、王振雷、蒋明 敬、赵亮、吴剑、陆向 东、顾华海、傅泽宏	乙烯裂解炉深度控制和实时优 化项目	附件-验收证书
7	论文著作	张浩、王振雷、王昕、 智茂轩、蒋明敬	基于模糊 smith 控制的智能阀 门定位器研究	附件-发表论文
8	论文合著	田亮、蒋达、钱锋	催化剂失活条件下的碳二加氢 反应器模拟与优化	附件-发表论文