2018年国家技术发明奖提名公示内容

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 基于高效复合塔板的大规模蒸馏过程强化关键新技术及工业化应用 |
| 提名者 | 中国石油和化学工业联合会 |
| 提名意见 |
| 该项目针对大型化蒸馏设备和过程难以满足十三五化工行业节能降耗和产业升级的更高要求等突出问题，历经二十多年的蒸馏过程强化研究与实践，从设备硬件和工艺软件两方面强化入手，创建以“塔板和填料体系高效耦合方法”、“气液相分散传质调控强化方法”和“微纳尺度气液表面更新传质模型”为基础的复合塔板微纳尺度传质理论，通过相分散与界面更新调控，发明了国际首创的系列高效复合塔板、配套塔内件及以其为基础的新分离耦合工艺，从理论和工业实践上解决了蒸馏塔的高效、高通量、高操作弹性、低压降和大型化难题以及反应分离耦合工艺的多相气液热质传递与反应协同及强化难题，达到了增效、节能、减排、降耗和节省投资的效果，为我国化工、环保、医药等行业旧装置扩能提质、节能降耗改造和新建高效塔器低成本大型化树立了行业标杆，为产业升级提供了支撑，大幅度提升了我国蒸馏技术的核心竞争力，为促进我国化工过程强化技术的跨越式进步做出了贡献，促进了蒸馏学科发展，原创性高，整体技术达到国际领先水平。项目授权发明专利56项、实用新型28项；出版著作3部，发表论文156篇，SCI/EI收录86篇。已被中石化SEI、中石油CEI和中海油ENPAL等多家设计院推荐和采用，已在中石化、中石油和中海油等企业420座不同类型塔器中应用，仅5家典型应用单位近三年新增产值64.5亿元，实现利润10.8亿元，节能1.5亿元。经审查，推荐书及附件材料真实有效，相关栏目填写符合国家科技奖励要求，候选人、候选单位、知识产权和应用单位经公示无异议。推荐该项目为国家技术发明奖二等奖。 |
| 项目简介 |
| 蒸馏能耗占化工能耗50%以上，现有大型化蒸馏设备和过程难以满足十三五化工行业节能降耗和产业升级的更高要求。作为当今化学工程领域的研究热点和重点，过程强化技术是解决传统化工高能耗、高物耗和高污染的有效手段。尽管超重力和微化工等精细强化技术方兴未艾，但复合塔板克服了塔板和填料的缺点，优势互补，是21世纪大规模蒸馏设备获取跨越式突破的希望，成功板型却寥寥无几。经过20多年持续攻关，通过气液相界面调控与强化，发明了系列高效复合塔板、配套塔内件及以其为基础的新分离耦合工艺，经420座塔器应用，在节能降耗和提质增效方面取得显著成效。金涌、费维扬院士等鉴定认为项目总体达到国际领先水平。1.创建以“塔板和填料体系高效耦合方法”、“气液相分散传质调控强化方法”和“微纳尺度气液表面更新传质模型”为基础的复合塔板微纳尺度传质理论；通过相分散与界面更新调控，发明系列复合塔板及塔内配件，气液传质由毫米尺度提升到微纳尺度，传质面积、时间和更新速率提高2-3个数量级，从理论和实践上解决了蒸馏塔高效、高通量、高弹性、低压降和大型化难题,实现蒸馏设备强化。①通过倾斜长条立体塔板与规整填料耦合，发明NS并流复合塔板技术，实现界面更新调控，解决了填料多级并流传质和塔板高效高通量高弹性低压降性能匹配的难题。与业界公认的F1高效浮阀塔板相比，最大开孔率提高≥2倍，效率提高≥30%，压降降低≥35%，操作弹性≥5倍，通量提高≥4倍，是国际上首例标志塔板操作上限的“空塔动能因子”参数突破6.0的塔板。②通过H型双层错排复合穿流筛板与规整填料耦合，发明了国际上首例适合大型塔器的全混级、高效、低压降、大通量的NS穿流复合塔板技术，实现界面分散调控，解决了塔板大型化结构和安装难题。操作压降仅为普通塔板的1/6、通量提高≥2倍，效率≥95%，操作弹性≥5倍，适用于减压、常压和加压不同工况；并建立基于点效率的非平衡级模型，解决了塔器理论计算难题。③针对不同操作工况与工艺需求，发明了国际上首例高效提馏专用塔板、填料化浮阀塔板、高效抗堵塞脱过热专用塔板、入口液体可控分布的新型降液管、开孔率大于50%的低压降液体收集器等配套塔内件，从整塔结构上保证了系列复合塔板高性能的实现。2.以高效复合塔板为基础，发明工艺设备一体化的系列高效节能降耗新分离耦合工艺，解决多相气液热质传递与反应协同及强化难题，实现蒸馏过程强化。①将复合塔板及配件与工艺调控耦合，发明了基于清晰切割的常减压深拔新技术，柴油和蜡油收率均提高≥3个百分点，降低能耗≥10%。②将高效复合塔板与反应过程耦合，发明了用于混合碳四反应精馏制仲丁醇、炼厂干气塔式悬浮床络合回收乙烯等系列高效节能降耗新反应分离工艺，降低能耗≥40%，降低投资≥50%。该项目授权发明56项，论文156篇，著作3部，培养博硕士65名，已在420座不同类型塔器中应用，仅5家典型应用单位近三年新增产值64.5亿元、利税10.8亿元，节能1.5亿元，提升了我国化工过程强化技术核心竞争力。 |
| 客观评价 |
| 一、鉴定与验收评价(附件2.1.1-2.1.6)① 2009年11月19日，由中国工程院院士、清华大学金涌教授主持的 “基于相界面调控的大型化高效立体复合塔板的研制与工业应用”成果鉴定认为：“从界面更新调控和相界面积调控两方面着手，针对不同的生产体系、生产规模和生产要求，提出了瞬时相界面最大化调控的理论。通过界面更新调控，利用梯形垂直长条帽罩结构的特殊设计和与高效规整填料复合，开发了一种超大处理能力、高效率的NS倾斜长条立体复合塔板，处理能力提高一倍以上的同时塔板传质效率提高25%以上。通过相界面积调控，利用双层复合穿流筛板与规整填料的复合，板式塔和填料塔优势互补，充分利用塔内空间，开发出系列适合于塔器大型化的“全混级”、高效率、低压降、大通量NS穿流立体复合塔板，处理能力提高70%以上，传质效率高达95%以上，解决了现有精馏计算模型准确性差的难题。专家鉴定委员会一致认为该成果达到国际领先水平”。见附件2.1.1。②2013年1月26日，由中国科学院院士、清华大学费维扬教授主持的“高性能系列NS倾斜长条立体复合塔板技术研发与工业评价”成果鉴定认为：“开发了一种高效高通量高弹性的NS倾斜长条立体复合塔板，采用梯形长条帽罩与高效规整填料耦合。与F1浮阀相比，压降降低30%以上、操作上限提高1倍以上；通过在环氧乙烷精制的七年工业应用，表明该塔板提高通量2倍以上同时提高效率和操作弹性，节能效果显著，为原装置低成本翻番扩能改造和节能降耗提供技术支撑。专家鉴定委员会一致认为该技术思路新颖，创新性强，在通量、效率和操作弹性等塔器重要指标上取得显著进展，在环氧乙烷精制应用方面达到国际领先水平”。见附件2.1.2。③ 2008年12月24日北京市教委组织专家组对“相控制蒸馏新技术”课题进行了验收认为：揭示了蒸馏塔内气液相分散/相分离的矛盾决定了处理能力和传质效率之间的关系，关键变量为相界面积。藉此，提出了相控制设计技术，开发了一个具有普适性和实用价值的相控制设计方程，从理论上实现了精馏塔相控制。以控制气液相界面作为塔板开发的设计依据，综合设计相界面积的理念和塔板上添加填料可以提高传质效率的研究结果，结合浮阀塔板基础实验研究，提出浮阀填料化构思，形成了一套高性能复合塔板新技术。项目整体技术处于国际先进水平。见附件2.1.3④ 2000年7月22日由冯成武教授等组成的专家鉴定委员会对“NS导向提馏专用塔板的研究开发及工业应用”项目进行了科技成果鉴定，认为：“ NS导向提馏专用塔板是针对提馏段大液量、小气量、易堵塞和不同于精馏段的分离要求所研制开发的适合提馏（汽提）段操作的国内首例高效提馏专用塔板,具有高的提馏效率，较低的能耗，低的压降，简单的结构，抗堵塞和操作弹性适中等特点。该技术研究和应用在国内首创领先，达到国际先进水平”。见附件2.1.5。⑤ 2013 年1 月6 日，中石化齐鲁石化乙烯厂对“丙烯精馏塔全采聚合级丙烯改造方案研究”验收认为：“不改变冷凝器、再沸器及回流泵等配套设备，仅更换NS 并流复合塔板，两塔均可实现全产聚合级丙烯，塔底丙烯损失3%以下，且产能提高15%以上，回流比降低12.5%以上，节能效果显著”。见附件2.1.4。⑥ 2009年12月16日中国石油天然气集团公司科技部组织专家组对“气液传质过程放大效应的机制及其增效技术研究”课题进行了结题验收认为：蒸馏塔放大效应的原因是源自塔板上鼓泡造成无序、随机、强度非均匀的动态压力波动场而引起塔板持液不均匀分布，并将塔板压力波动10mmH2O推荐为界定放大效应的准则。开发了放大效应小强制提升和自然进液MED复合塔板系列，自然进液MED复合塔板的处理能力较F1浮阀塔板越高70％，塔板压降不超过120mmH2O。该项目在大型蒸馏塔上成功应用，解决了放大效应引起的重大工程问题。见附件2.1.6。 |
| 推广应用情况 |
| 系列复合塔板及其配套塔内件已在中石化、中石油、中海油、地方炼化、新能源和化工公司等企业420座不同类型塔器上设计和应用，取得显著的节能降耗和提质增效降投资效果，最长已超过20年。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 典型应用单位名称 | 应用技术 | 应用起止时间 | 联系人/电话 | 应用情况 |
| 中国石油化工集团公司茂名分公司 | 并流复合塔板及配件用于100万吨/年乙烯改扩建工程 | 2005.10-至今 | 陈观志15820193339 | 产量提高6倍以上；回流比下降3倍以上；产品质量由不合格提升为国优品；节能69%以上，年增利税1.0亿元左右，年节省能耗2600万元以上。 |
| 山东恒源石化集团有限公司 | 系列复合塔板及配件用于100万吨常减压-催化裂化系统改造工程 | 1996.11-至今 | 高传成13705349661 | φ2400塔径满足了φ3200塔径的处理要求，处理量提高1倍以上，回流比下降，直接降低设备更新费用300万元。 |
| 山东石大胜华股份有限公司 | 导向提馏塔板及其配件用于100万吨/年常压塔改造工程 | 1996.10-至今 | 卢水根05468395128 | 在常压塔底注汽1%，常底360℃以前馏分含量小于1.5%，轻柴油总收率提高了4个百分点以上。 |
| 中国石油克拉玛依石化公司 | 填料化浮阀塔板用于气分装置改造 | 2006.5－至今 | 王 伟/13899579308 | 改造后加工量增加33%，C8-增加48%，收率增加11%；电量单耗降低16.3%，循环水单耗降低39.3%；丙烷纯度由>85%提高到>95%，产量增加了1.9倍，每年增加利税2700.79万元。 |
| 独山子石化分公司 | 填料化浮阀塔板用于23万吨/年乙烯脱甲烷塔、20万吨/年气分装置丙烯塔、60万吨/年加氢裂化装置脱丁烷塔 | 2002．8-至今 | 邱 波/13809922009 | 脱甲烷塔塔顶乙烯由2-5%降到0.05%，乙烯损失降低495kg/h，回收乙烯产生效益2772万元/年；丙烯塔加工能力提高了60%，丙烯纯度由98%（不合格）提高到99.6%，处理量增加和丙烯纯度提高产生的差价带来效益2361.6万元/年；脱丁烷塔回流量从16t/h下降至13t/h，再沸器负荷降低20%，由此带来的效益为243.3万元/年。 |
| 中国石油化工集团北京东方石油化工有限公司 | 并流复合塔板用于SD环氧乙烷/乙二醇大型化扩量改造工程 | 2007.10-2012.6（搬迁） | 陈家雄01061564901 | 产量提高1倍以上；回流比下降3倍以上；节能40%以上，年增利税5000万元，年节省能耗1600万元以上。 |
| 山东玉皇化工有限公司 | 穿流复合塔板及配件用于MTBE装置翻番扩量改造工程 | 2010.8-至今 | 姜勇13355306229 | 塔板数和板间距减少一半，回流比降低1.8倍，产量提高了2.5倍，产品质量达到设计要求，节能50%以上。 |
| 山东东明石化集团 | 复合并流塔板及配件用于MTBE装置翻番扩量改造工程 | 2007.5-至今 | 张云杉13355309567 | 改造后MTBE共沸塔处理量由1.8万t/a提高到4万 t/a，产品质量达到塔底组分中C4含量 ≯0.5%wt、甲醇含量 ≯0.5%wt，塔顶组分满足要求。 |

 |
| 主要完成人情况 |
| 第1完成人 | 姓名 | 田原宇 | 行政职务/技术职称 | 教授 |
| 完成单位 | 中国石油大学（华东） | 工作单位 | 中国石油大学（华东） |
| 对本项目主要学术贡献：对发明点1、2做出了突出贡献，其中，对发明点1的贡献是：创建以“塔板和填料体系高效耦合方法”、“气液相分散传质调控强化方法”和“微纳尺度气液表面更新传质模型”为基础的复合塔板微纳尺度传质理论，通过相分散与界面更新调控，发明了系列复合塔板及塔内配件，并进行了生产和推广应用，支撑材料为：核心发明专利、专著、论文和第三方评价报告，见附件1.1.1、1.1.2、2.1.1、2.1.3、2.1.5、2.1.11、2.2.1、2.2.2、2.3.1、2.3.4、2.3.5；对发明点2的贡献是：以高效复合塔板为基础，发明了工艺设备一体化的系列高效节能降耗新分离耦合工艺，支撑材料为：发明专利、论文和科技奖励，见附件1.1.3、2.1.15、2.1.16、2.2.6-2.2.8、2.3.7-2.3.11。 |
| 第2完成人 | 姓名 | 乔英云 | 行政职务/技术职称 | 教授 |
| 完成单位 | 山东科技大学 | 工作单位 | 中国石油大学（华东） |
| 对本项目主要学术贡献： 对发明点1、2做出了突出贡献，其中，对发明点1的贡献是：进行以“塔板和填料体系高效耦合方法”、“气液相分散传质调控强化方法”和“微纳尺度气液表面更新传质模型”为基础的复合塔板微纳尺度传质理论研究，通过相分散与界面更新调控，发明了系列复合塔板及塔内配件，并进行了实验室研究和工业应用，支撑材料为：发明专利、专著、论文和第三方评价报告，见附件1.1.1、1.1.2、2.1.1、2.1.3、2.1.5、2.1.11、2.2.1、2.2.2、2.3.1、2.3.4、2.3.5；对发明点2的贡献是：以高效复合塔板为基础，发明了工艺设备一体化的系列高效节能降耗新分离耦合工艺，支撑材料为：发明专利、论文和科技奖励，见附件1.1.3、2.1.15、2.1.16、2.2.6-2.2.8、2.3.7-2.3.10。 |
| 第3完成人 | 姓名 | 刘艳升 | 行政职务/技术职称 | 教授 |
| 完成单位 | 中国石油大学（北京） | 工作单位 | 中国石油大学（北京） |
| 对本项目主要学术贡献：对发明点1做出了突出贡献，其中，对发明点1的贡献是： 进行了“气液相界面传质调控强化方法”的理论研究和实践，发明了无放大效应的汽液传质方法、填料化浮阀塔板及配件，并进行了工业生产和推广应用，支撑材料为：发明专利、专著和论文，见附件2.2.3、2.2.4、2.3.2、2.3.6、2.3.10；对发明点2的贡献是：发明了一种油品分馏塔的多次汽化进料方法，用于基于清晰切割的常减压深拔新技术，实现了工业应用，支撑材料为：发明专利、专著和成果鉴定，见附件2.1.5、2.2.5、2.3.3。 |
| 第4完成人 | 姓名 | 谢克昌 | 行政职务/技术职称 | 院士、教授 |
| 完成单位 | 太原理工大学 | 工作单位 | 太原理工大学 |
| 对本项目主要学术贡献：对发明点1做出了突出贡献，其中，对发明点1的贡献是：提出以“塔板和填料体系高效耦合方法”、“气液相分散传质调控强化方法”和“微纳尺度气液表面更新传质模型”为基础的复合塔板微纳尺度传质理论以及NS并流复合塔板和NS穿流复合塔板的研发思路，指导了系列复合塔板的工业示范和推广应用，支撑材料为：论文、成果鉴定和科技奖励，见附件2.1.1、2.1.2、2.1.11、2.3.4、2.3.5。 |
| 第5完成人 | 姓名 | 梁治国 | 行政职务/技术职称 | 高级实验师 |
| 完成单位 | 中国石油大学（华东） | 工作单位 | 中国石油大学（华东） |
| 对本项目主要学术贡献：对发明点1做出了突出贡献，其中，对发明点2的贡献是：进行了“气液相界面传质调控强化方法” 的理论研究和高效提馏专用塔板、高效抗堵塞脱过热专用塔板、入口液体可控分布的新型降液管、开孔率大于50%的低压降液体收集器等配套塔内件的开发，支撑材料为：论文、成果鉴定和科技奖励，见附件2.1.5、2.1.11、2.3.11。 |
| 第6完成人 | 姓名 | 田 斌 | 行政职务/技术职称 | 讲师 |
| 完成单位 | 北京石大圣铭科技有限公司 | 工作单位 | 西北大学 |
| 对本项目主要学术贡献：对发明点1、2做出了突出贡献，其中，对发明点1的贡献是：进行了系列复合塔板及塔内配件的实验室研究和工业应用，支撑材料为：论文和科技奖励，见附件2.3.10、2.1.11。对发明点2的贡献是：发明了基于清晰切割的常减压深拔新技术及关键配套设备，进行了实验室研究和工业应用，支撑材料为：专利，见附件2.2.8。 |

## 主要知识产权证明目录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家 | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 有效状态 |
| 1 | 发明专利 | 一种倾斜长条立体帽罩与规整填料块耦合的复合塔板 | 中国 | ZL201210404809.1 | 2014.1.15 | 1334716 | 中国石油大学（华东） | 田原宇，乔英云 | 有效 |
| 2 | 发明专利 | 一种穿流式复合塔板 | 中国 | ZL200810000614.4 | 2013.5.15 | 1196512 | 山东科技大学 | 田原宇，乔英云，盖希坤 | 有效 |
| 3 | 发明专利 | 大型复合穿流塔板 | 中国 | ZL201210405659.6 | 2014.1.15 | 1334773 | 中国石油大学（华东） | 田原宇，乔英云 | 有效 |
| 4 | 发明专利 | 锯齿形倾斜长条帽罩与规整填料块耦合的复合塔板 | 中国 | ZL201210404536.0 | 2014.1.15 | 1334814 | 中国石油大学（华东） | 田原宇，乔英云 | 有效 |
| 5 | 发明专利 | 复合穿流塔板与纤维束填料耦合的组合式塔板 | 中国 | ZL201210404804.9 | 2014.1.15 | 1334940 | 中国石油大学（华东） | 乔英云，田原宇 | 有效 |
| 6 | 发明专利 | 一种填料化浮阀塔板 | 中国 | ZL200710065187.3 | 2011.5.11 | 775870 | 中国石油大学（北京） | 刘艳升，曹睿，刘拥军 | 有效 |
| 7 | 发明专利 | 无放大效应的汽液传质方法 | 中国 | ZL200510127803.4 | 2008.10.29 | 438543 | 中国石油大学（北京） | 刘艳升，曹睿，刘拥军 | 有效 |
| 8 | 发明专利 | 一种油品分馏塔的多次汽化进料方法 | 中国 | ZL200910242077.9 | 2012.10.17 | 538342 | 中国石油大学（北京） | 刘艳升, 曹睿, 严超宇，刘拥军. | 有效 |
| 9 | 发明专利 | 稀乙烯悬浮床络合回收工艺 | 中国 | ZL200910009122.6 | 2012.12.19 | 1104268 | 山东科技大学 | 田原宇，李涛江，乔英云，盖希坤，梁鹏 | 有效 |
| 10 | 发明专利 | 混合碳四反应精馏法制取仲丁醇的生产工艺 | 中国 | ZL200810000618.2 | 2013.5.1 | 1189325 | 山东科技大学 | 田原宇，乔英云，盖希坤 | 有效 |

**完成人合作关系说明**

1. 2003年6月–2016年1月，田原宇、乔英云合作相继开展NS并流复合塔板、NS穿流复合塔板及高效抗堵塞脱过热段专用塔板、系列专用液体分布器、开孔率大于50%的低压降液体收集器等配套塔内件的研发，同时通过将复合塔板与工艺结合，进行了基于清晰切割的节能型常减压深拔新技术、混合碳四反应精馏制仲丁醇、炼厂干气塔式悬浮床络合回收乙烯等系列高效节能降耗新反应分离工艺的研究和推广应用，佐证材料为专利、论文、专著、鉴定和获奖，见附件1.1.1、1.1.2、1.1.3、2.1.1、2.1.3、2.1.5、2.1.11、2.1.15、2.1.16、2.2.1、2.2.2、2.2.6-2.2.8、2.3.1、2.3.4、2.3.5、2.3.7-2.3.10。

2. 1995年6月–2016年1月，田原宇和刘艳升提出了多因素调控的塔板设计方法和原则，进行了NS高效提馏段专用塔板、NS并流复合塔板和NS穿流复合塔板的研发或推广应用，佐证材料为鉴定和论文，见附件2.1.5、2.3.10。

3. 2006年9月–2016年12月，谢克昌、田原宇和乔英云共同完成973计划课题，开展NS并流复合塔板和NS穿流复合塔板的研究和推广应用工作，并提出了"塔板和规整填料两体系高效耦合方法"、"纳微尺度气液表面更新传质模型"和"气液相界面传质调控强化方法"3个核心理论，佐证材料见论文、获奖和鉴定，见附件2.3.4、2.3.5、2.1.11、2.1.1、2.1.2。

4. 1996年3月--2016年1月，田原宇、梁治国合作相继开展NS高效提馏段专用塔板、高效抗堵塞脱过热段专用塔板、塔板入口液体可控分布的新型导向降液管、系列专用液体分布器、开孔率大于50%的低压降液体收集器等配套塔内件，同时通过工艺设备一体化研发了基于清晰切割的节能型常减压深拔新技术，并进行了推广应用，佐证材料为论文、获奖和鉴定，见附件2.1.5、2.1.11、2.3.11。

5. 2007年6月–2016年1月，田原宇、乔英云、田斌合作相继开展NS并流复合塔板、NS穿流复合塔板及高效抗堵塞脱过热段专用塔板、系列专用液体分布器、开孔率大于50%的低压降液体收集器等配套塔内件的研发，同时通过工艺设备一体化进行了基于清晰切割的节能型常减压深拔新技术的研发，佐证材料为专利、论文和获奖，见附件2.1.11、2.2.8、2.3.10。