

浙江省拟提名 2018 年度国家技术发明奖项目公示内容

项目名称	石化设备流动腐蚀预测与主动防控技术
提名者	浙江省科学技术厅
提名意见： <p>我单位认真审阅了项目提名书及附件材料，了解项目科技创新性、先进性、应用效果、促进行业科技进步作用和完成人情况。按照提名要求，我单位和项目完成单位对该项目拟提名情况进行了公示，无异议。</p> <p>石化设备是一种承压类特种设备，工况苛刻，安全风险大。我国大量进口中东低价、腐蚀性强的原油，原油劣质化、多变化形成的腐蚀机理不清，缺少针对性的设计方法和防控技术，流动腐蚀失效事故频发。因此，发展石化设备流动腐蚀预测与主动防控技术，已成为压力容器制造业突破现有技术瓶颈、提升安全防控水平的必然选择。</p> <p>该项目通过国家 863 计划等课题支持，集中了产学研用 10 多家单位、近百名人员联合攻关，从原始创新入手，揭示了局部、动态、突发性的流动腐蚀失效机理，建立了多场耦合流动腐蚀预测理论，发明了耐流动腐蚀设计方法和在役流动腐蚀预防调控技术，研发并实施了流动腐蚀专家诊断监管系统及智能防控平台，并在国内压力容器设计制造单位，中石化、中石油、中海油集团等多家石化企业以及舰艇装备中广泛应用，有效遏制了流动腐蚀引发的火灾、爆炸等重大安全事故。项目获授权发明专利 25 项、软件著作权 5 项，制定送审报批行业标准 4 项，总体技术处于国际先进水平。项目成果奠定了流动腐蚀理论基础，提高了我国耐流动腐蚀石化设备的国际竞争力，促进了质量工程、安全工程的技术进步，推动了我国石化工业安全防控水平迈入先进国家行列，取得了突出的经济社会效益。</p> <p>提名该项目为国家技术发明奖 <u>二</u> 等奖。</p>	

项目简介：

石化设备运行工况苛刻，安全风险大。我国是原油进口第一大国，大量加工低价腐蚀性原油，空冷器、换热器及压力管道流动腐蚀引发的火灾爆炸事故较为普遍。国际上采用标准化选材等传统防腐技术，无法解决原油劣质化、多变化引发的局部、动态的流动腐蚀失效。流动腐蚀失效模式的机理不清，缺少针对性的设计校核方法和运行防控技术，是石化设备本质安全亟待突破的关键技术。因此，流动腐蚀预测及主动防控技术已成为石化高风险设备保安全、延寿命、降成本的社会亟需。项目在国家 863 等课题支持下，通过“产、学、研、用”协同创新，开展了基础理论、设计方法及预防调控技术研究，在流动腐蚀预测方法和主动防控技术方面取得了突破性进展，解决了石化领域的战略应用急需，主要发明如下：

(1)创立了多场耦合的流动腐蚀预测理论。揭示了流动、传热、相变、腐蚀等关联过程铵盐结晶腐蚀和多相流冲刷腐蚀机理，提出了流动场、温度场、浓度场等多场耦合的流动腐蚀表征模型；通过模拟实验和工程验证，建立了流动腐蚀临界特性和腐蚀速率数据库，形成了能精确预测流动腐蚀时空演变特性的铵盐结晶与多相流冲刷预测理论，国际上首次解决了流动腐蚀位置与速率定量预测的技术难题，为耐流动腐蚀设计和预防调控奠定理论基础。

(2)发明了石化设备耐流动腐蚀设计方法。针对流动腐蚀失效模式，依据流动腐蚀预测理论，构建流动腐蚀设计校核准则，发明了流动腐蚀特性控制、设备系统相态平衡、铵盐结晶智能传感、安全运行区域拓展等设计方法，开发了碳钢复合衬管空冷器、多相流平衡配管、旋流注水器、静态混合器等设计制造成套技术，使得流动腐蚀高风险设备全面实现国产化，如采用本方法设计的碳钢加氢空冷器解决了流动腐蚀失效的难题，与国际标准推荐的 Incoloy 825 相比，成本降低 80%。

(3)发明了服役石化设备流动腐蚀预防调控技术。发明了“防止结晶-控制冲蚀”的主动防控策略，针对复杂多变工况，建立了石化设备流动腐蚀状态监测模型；基于流动腐蚀理论，发明多场耦合流动腐蚀特性参数群的智能调控技术，开发了专家诊断监管系统及信息化智能防控平台，实现了流动腐蚀临界失效条件自解除的预防性精准工艺防护，彻底改变了流动腐蚀失效事故频发的被动局面。

成果已在中石化、中石油、中海油集团等多家石化企业及舰艇装备中推广应用，实现新增销售额 8 亿元。项目授权发明专利 25 项，软件著作权 5 项，制定送审报批行业标准 4 项，获浙江省技术发明一等奖、国家安监总局科技成果一等奖、中国腐蚀与防护学会技术发明一等奖各 1 项。经中国机械工业联合会专家鉴定为“整体技术处于国际先进水平”。项目成果奠定了流动腐蚀理论基础，推动了我国流动腐蚀预测防控进入国际领先水平，确保了我国原油劣质化高风险石化设备的长周期安全运行。

客观评价：

1. 2014年8月24日，中国机械工业联合会组织以中国工程院杨华勇院士为主任的鉴定意见为：首创了多场耦合铵盐结晶沉积和多相流冲蚀预测方法，研制的动态监测多种流动腐蚀事故特征的在线诊断监测系统，填补了该领域的空白，项目整体技术处于国际先进水平。

2. 2015年5月22日，中国石油化工有限公司组织的科技鉴定意见为：建立了加氢空冷器用材的冲蚀临界特性数据库；首次研发了基于碳钢管束的流动腐蚀预测的加氢 REAC 智能化系统，形成了流动腐蚀预测及防控体系，开发了实时专家诊断监管系统。该技术为碳钢高压空冷器提供了有效的动态监测和腐蚀防控，整体技术达到国际先进水平。

3. 2012年7月10日，科技部高技术中心对863计划项目课题“复杂流动腐蚀环境下重要炼油设备系统安全诊断及监控技术研究（2009AA04Z422）”的验收意见：同意该课题通过验收。

4. 2015年4月9日，国家安监总局规划科技司对国家科技支撑计划课题“基于风险的石化过程装置完整性管理关键技术研究及集成示范（2012BAK13B03）”的验收意见：提出了空冷器流动腐蚀预测及风险评估方法、基于风险的石化装置腐蚀检查方法及腐蚀评估策略，构建了石化装置重要设备失效案例库，圆满完成了任务书规定的各项任务 and 考核指标，研究成果具有创新性和推广应用价值。

5. 技术检测报告：浙江省特种设备检验研究院对该项目成果“基于流动腐蚀预测的冲蚀测厚布点方案”进行了定点测厚验证，壁厚数值与预测结果吻合一致，预测定位准确率 $\geq 87.8\%$ ；基于流动腐蚀预测的测厚定位布点可减少工程量80%。

6. 获奖情况：

- (1) 《石化设备系统流动腐蚀预测与防控技术及工程应用》获2014年度浙江省技术发明一等奖；
- (2) 《原油劣质炼化系统流动腐蚀失效事故预测防控成套技术及应用》获2014年度国家安全生产监督管理局第六届安全生产科技成果一等奖；
- (3) 《劣质油加工石化管道系统流动腐蚀预测防控成套技术及工业示范》获2015年度中国腐蚀与防护学会技术发明一等奖。

推广应用情况：

项目成果已在合肥通用机械研究院特种设备检验站有限公司、中石化洛阳工程公司等研究、设计院；扬子石化、镇海炼化、高桥石化等用户企业；镇海国家石油储备基地；哈尔滨空调股份有限公司、无锡鼎邦换热设备有限公司、抚顺机械设备制造有限公司等制造企业得到广泛应用，为我国高硫、高氮、高酸、含氯、重质等典型劣质原油的加工，中石化、中石油、中海油等劣质原油加工基地的高风险石化设备系统长周期安全运行提供了重要技术支撑。近三年累计新增销售额 8 亿元。

主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	专利有效状态
发明专利	一种加氢反应流出物系统失效控制参数的建模方法	中国	ZL200710160373.5	2011年03月23日	749909	浙江理工大学	偶国富,郑智剑,王艳萍,曹海彬,金浩哲	有效
发明专利	一种应用于碳钢-水热管的长效表面涂层的形成方法	中国	ZL201210276969.2	2016年03月02日	1973276	中国石油化工股份有限公司, 中国石化扬子石油化工有限公司	夏翔鸣,谭金龙,王建文,张莉,王元华,侯峰	有效
发明专利	一种加氢反应流出物空冷器系统注水的优化方法	中国	ZL200910101294.6	2011年01月12日	726986	浙江理工大学	偶国富,郑智剑,曹晶,洪慧芬	有效
发明专利	多种失效机制共存环境下设备损伤因子的确定方法及其应用	中国	ZL201010206433.4	2015年07月01日	1709222	合肥通用机械研究院	陈学东,艾志斌,胡久韶,杨铁成,关卫和,梁春雷,高俊峰	有效
发明专利	控制管道流动腐蚀失效的工艺注剂装置	中国	ZL201510356394.9	2016年08月24日	2210248	浙江理工大学	金浩哲,偶国富,贾剑鹏	有效
发明专利	防止 NH ₄ HS 冲刷的加氢反应流出物空冷器系统优化方法	中国	ZL200910102149.X	2011年05月	782493	浙江理工大学	偶国富,郑智剑,曹晶,洪慧芬	有效

				18 日				
发明专利	环道式多相流光电图像监测冲蚀试验装置	中国	ZL201010140130.7	2012年06月06日	968444	浙江理工大学	偶国富,黄军辉,金浩哲,郑智剑,陆戴	有效
发明专利	三入口加氢反应流出物空冷器系统管配结构	中国	ZL201310137429.0	2015年02月25日	1591803	浙江理工大学	金浩哲,偶国富,王宽心,张文彪,任海燕,刘慧慧	有效
发明专利	防止铵盐结晶沉积堵塞的工艺注水喷嘴	中国	ZL201510204572.6	2017年11月07日	2687923	浙江理工大学	金浩哲,陈小平,偶国富,贾剑鹏	有效
发明专利	高温管道壁厚在线监测装置	中国	ZL201210440317.8	2015年05月20日	1666297	浙江理工大学	偶国富,肖定浩,李伟正,秦良杰,张文彪	有效

主要完成人情况

姓 名	偶国富	排 名	1	行政职务	无
技术职称	教授	完成单位	浙江理工大学	工作单位	浙江理工大学
<p>对本项目技术创造性贡献</p> <p>负责项目整体设计与实施，对技术发明点 1、2、3 项均作出了创造性贡献。旁证材料：中国发明专利：一种加氢反应流出物系统失效控制参数的建模方法（ZL200710160373.5）；一种加氢反应流出物空冷器系统注水的优化方法（ZL200910101294.6）；科学技术成果鉴定证书：石化设备系统流动腐蚀预测与防控技术及工程应用，JK 鉴字[2014]第 2065 号；基于流动腐蚀预测的加氢空冷器关键技术研究，中国石化鉴字[2015]020 号</p>					

姓 名	金浩哲	排 名	2	行政职务	无
技术职称	副教授	完成单位	浙江理工大学	工作单位	浙江理工大学
<p>对本项目技术创造性贡献</p> <p>主要负责铵盐沉积腐蚀数理模型构建、预测评估方法研究及流动腐蚀状态监测系统开发，对技术发明点 1、2、3 项均作出了创造性贡献。旁证材料：中国发明专利：一种加氢反应流出物系统失效控制参数的建模方法（ZL200710160373.5）；三入口加氢反应流出物空冷器系统管配结构（ZL201310137429.0）。科技成果鉴定证书：石化设备系统流动腐蚀预测与防控技术及工程应用，JK 鉴字[2014]第 2065 号。</p>					

姓 名	谭金龙	排 名	3	行政职务	厂长
-----	-----	-----	---	------	----

技术职称	高级 工程师	完成单位	中国石化 扬子石油 化工有限 公司	工作单位	中国石化 扬子石油 化工有限 公司
<p>对本项目技术创造性贡献</p> <p>主要负责加氢空冷系统的流动腐蚀失效分析、现场高压铵盐结晶沉积实验装置设计搭建与测试、流动腐蚀工艺防护措施的研究，并组织实施了流动腐蚀预测与主动防控技术成果，对技术发明点 2、3 作出了创造性贡献。与项目第一完成人合作完成国家 863 计划课题“复杂流动腐蚀环境下重要炼油设备系统安全诊断及监控技术研究”。旁证材料：中国发明专利：一种应用于碳钢-水热管的长效表面涂层的形成方法（ZL201210276969.2），论文：“Analysis on the under deposit corrosion of air cooler tubes: Thermodynamic, numerical and experimental study”。</p>					

姓 名	艾志斌	排 名	4	行政职务	无
技术职称	教授级 高工	完成单位	合肥通用 机械研究 院有限公 司	工作单位	合肥通用 机械研究 院有限公 司
<p>对本项目技术创造性贡献</p> <p>主要负责项目基于流动腐蚀预测的风险检验、安全评定及应用推广，对技术发明点 1、2、3 项均作出了创造性贡献。旁证材料：中国发明专利：多种失效机制共存环境下设备损伤因子的确定方法及其应用（ZL201010206433.4）；科学技术成果鉴定证书：石化设备系统流动腐蚀预测与防控技术及工程应用，JK 鉴字[2014]第 2065 号。</p>					

姓 名	张国信	排 名	5	行政职务	副总 工程师
技术职称	教授级 高工	完成单位	中石化洛 阳工程有 限公司	工作单位	中石化洛 阳工程有 限公司
<p>对本项目技术创造性贡献</p> <p>与本项目负责人共同完成了“加氢裂化装置高压空冷器系统腐蚀情况”的全国性调研，主要负责变工况条件下加氢高压空冷器、换热器系统的流动腐蚀风险评估和寿命预测，创新提出了流动腐蚀设计校核准则，为石化设备耐流动腐蚀设计提供基础依据。对技术发明点 1、2 项均作出了创造性贡献。旁证材料：论文“基于偏最小二乘法的加氢换热器 NH_4Cl 结晶温度预测模型”；行业标准“SHT 3129-2012 高酸原油加工装置设备和管道设计选材导则”和“SHT 3096-2012 高硫原油加工装置设备和管道设计选材导则”。</p>					

姓 名	李海涛	排 名	6	行政职务	无
技术职称	高级 工程师	完成单位	海军工程 大学	工作单位	海军工程 大学
<p>对本项目技术创造性贡献</p> <p>主要负责海水多相流冲蚀数据库的构建、海军舰艇装备空气冷却器与预埋管路的流动腐蚀失效分析，完成了海军舰艇装备流动腐蚀关键设备的剩余寿命预测研究，实现了该项目研究成果在海军舰艇装备中的应用推广，为石化设备系统流动腐蚀预测防控成套技术成果在潜艇装备领域的拓展应用做出了贡献，对技术发明点 2、3 作出了创造性贡献。旁证材料：论文：“炼油工艺中的铵盐结晶沉积腐蚀与智能防控技术”。</p>					

完成人合作关系说明

“石化设备流动腐蚀预测与主动防控技术”作为提名项目参加 2018 年度国家技术发明奖评审，项目完成人浙江理工大学偶国富、金浩哲，中国石化扬子石油化工有限公司谭金龙，合肥通用机械研究院有限公司（更名前：合肥通用机械研究院）艾志斌，中石化洛阳工程有限公司张国信，海军工程大学李海涛等组成技术团队，长期合作，联合攻关，共同完成该项目。

第一完成人偶国富与第二完成人金浩哲，属于浙江理工大学同一课题组，共同完成复杂流动腐蚀环境下重要炼油设备系统的安全诊断及监控技术攻关；共同获得 2014 年度浙江省技术发明一等奖“石化设备系统流动腐蚀预测与防控技术及工程应用”，2014 年度国家安全生产监督管理局科技成果一等奖“原油劣质炼化系统流动腐蚀失效事故预测防控成套技术及应用”；合作授权多项发明专利。

第三完成人谭金龙，与项目完成人偶国富、金浩哲、艾志斌共同完成了 863 计划课题“复杂流动腐蚀环境下重要炼油设备系统安全诊断及监控技术研究”，以中国石化扬子石油化工有限公司为依托，建立了流动腐蚀预测和主动防控的工程示范平台；合作发表了论文。

第四完成人艾志斌，与项目完成人偶国富共同完成了国家科技支撑计划课题“基于风险的石化过程装置完整性管理关键技术研究及集成示范”，构建了空冷器流动腐蚀预测及风险评估方法，并实现了成果的示范应用；共同获得 2014 年度浙江省技术发明一等奖“石化设备系统流动腐蚀预测与防控技术及工程应用”。

第五完成人张国信，与项目完成人偶国富共同参与了中国石油化工有限公司组织的“加氢裂化装置高压空冷器系统腐蚀情况”的全国性调研，合作开展了石化设备的流动腐蚀失效分析与工艺防护方法研究，与偶国富、金浩哲共同发表论文；与项目完成人艾志斌联合开展了国产 HIC 厚钢板高压容器的研制开发，并应用于高压加氢装置。

第六完成人李海涛，与项目完成人艾志斌合作开展了潜艇海水、液压油、高压气体等设备管道内外腐蚀机理研究及失效分析，以及高压气瓶的剩余寿命预测技术研究；与项目完成人偶国富合作开展了海水冷却器、预埋管道、冲蚀和污损物沉积腐蚀的设计优化和防控工作，将该项目技术成果成功拓展应用于海军舰艇装备；与项目完成人偶国富、金浩哲合作发表了论文。

承诺：本人作为项目第一完成人，对项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同立项	偶国富 (1) 艾志斌 (2) 谭金龙 (8) 金浩哲 (14)	2008 年至 2012 年	复杂流动腐蚀环境下重要炼油设备系统安全诊断及监控技术研究	附件 5.3	项目合作单位：浙江理工大学、合肥通用机械研究院、中国石化扬子石油化工有限公司
2	共同立项	艾志斌 (4) 偶国富 (28) 金浩哲 (31)	2012 年至 2015 年	基于风险的石化过程装置完整性管理关键技术研究集成示范	附件 5.4	合肥通用机械研究院、浙江理工大学
3	共同立项	张国信 (7) 艾志斌 (14)	2012 年至 2014 年	国产 HIC 厚钢板高压容器研制	附件 8.3	项目合作单位：中石化洛阳工程有限公司、合肥通用机械研究院
4	共同获奖	偶国富 (1) 艾志斌 (2) 金浩哲 (3)	2014 年	石化设备系统流动腐蚀预测与防控技术及工程应用	附件 5.8	浙江理工大学、合肥通用机械研究院
5	共同获奖	偶国富 (1) 金浩哲 (3)	2014 年	原油劣质炼化系统流动腐蚀失效事故预测防控成套技术及应用	附件 5.9	浙江理工大学、中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司

6	共 同 知 识 产 权	偶国富 (1) 金浩哲 (5)	2007 年	一种加氢反应流出物系统失效控制参数的建模方法	附件 1.1	浙江理工大学
7	共 同 知 识 产 权	偶国富 (1) 金浩哲 (3)	2010 年	环道式多相流光电图像监测冲蚀试验装置	附件 6.1	浙江理工大学
8	共 同 知 识 产 权	金浩哲 (1) 偶国富 (2)	2015 年	控制管道流动腐蚀失效的工艺注剂装置	附件 9.1(2)	浙江理工大学
9	论 文 合 著	金浩哲 (1) 偶国富 (3) 张国信 (5)	2017 年	基于偏最小二乘法的加氢换热器的NH ₄ Cl 结晶温度预测模型	附件 8.4	浙江理工大学、中石化广州工程有限公司
10	论 文 合 著	偶国富 (2) 谭金龙 (4) 金浩哲 (5)	2017 年	Analysis on the under deposit corrosion of air cooler tubes: Thermodynamic, numerical and experimental study	附件 8.5	浙江理工大学、中国石化扬子石油化工有限公司
11	论 文 合 著	偶国富 / 1 李海涛 / 3	2017 年	炼油工艺中的铵盐结晶沉积腐蚀与智能防控技术	附件 8.6	浙江理工大学、海军工程大学