

项目名称：超大吨位深海油气开采平台井口智能成套装备设计与制造技术

项目简介：

深海油气是能源结构和“蓝色经济”的关键组成部分，我国是贫油国家，深海开发刻不容缓，国家已将深海能源开发提高到事关国家安全的战略高度。目前深海资源开发装备和能力，但与之相关的配套设备存在平台适应性低、承载力小、可操作性差、一体化服务能力和智能化程度弱等问题，导致我国油气开发仍主要集中在水深500米以内的近海海域，深海油气开发能力尚未获得有效突破。项目围绕深海油气开采平台井口智能成套装备进行设计与制造技术的研发，主要科技内容与创新点：

1.发明了阶梯卸载结构、接触式机械锁扣和自调整旋转结构，突破传统结构承载力低和安全性低的瓶颈；研制具有国际先进水平的系列化吊卡、卡瓦、卡盘、动力钳、铁钻工、动力运管和小修机器人等关键技术和装置，替代了进口配套设备和辅助装置；融合视觉实时监测、液压智能化控制，健康监控技术，实现了与钻井平台主系统的无缝集成和井口装备的智能化无人作业；自主开发出液压动力钳疲劳试验系统、吊环极限拉伸试验和井口装备组合试验系统，为井口装备提供安全保障。

2.采用超纯冶炼、微合金化和热处理为核心的复合调控技术获得了硬质相弥散分布于贝氏体基体的复相精细组织，开发了抗拉强度达930MPa的高强韧海洋装备用钢，满足了耐低温、耐腐蚀、高韧性和抗交变载荷的性能要求，在卡瓦体、吊卡和内衬件上推广应用。

3.针对井口装备关键部件的摩擦和密封特性，进行了表面形貌优化设计；发明了首台激光表面宏/微织构主动设计制造方法和装备，实现了模具表面织构形貌的可控制造和强化；在泥浆阀密封环端面实现了零泄露密封。

授权发明专利44件，实用新型专利29件，发表论文20篇，制订企业标准项15项。研究成果03年以来在加拿大、里海、美国及中东国家等第五代、第六代钻井平台上的井口成套装备中应用，并成功应用于我国981深海钻井平台，也在陆地（中原、川庆等油田）和近海油气平台上应用，显著提高了我国油气开采配套装备的国产化进程和自动化水平，标志着我国深海油气开采成套装备设计制造水平的重大突破。2010年以来进行了系列化研发与推广，国际市场占有率达于15%，国内市场占有率达50%，整体技术水平居于国际先进水平。

客观评价：

1、国内外同类产品技术参数的比较和权威检测机构评价：

国家油气田井口设备质量监督检验中心对井口设备（液压吊卡、液压卡瓦、铁钻工）的设计性能指标和系统可靠性进行了严格检测，所有检测项目均符合国际标准要求。通过与国内外井口装备技术参数对比，产品的承载力，管径范围，扭矩，智能化程度等方面明显优于国内产品，指标达到国外同类产品的先进水平，性价比最高。与国内外同类产品相比，由于公司掌握核心技术和自主研发知识产权，产品

具有结构可靠性好，智能化运行程度高，操作性能好等特点，具有明显的竞争优势，具有不受国外产品限制。

2、技术评价证明

2013年11月，中国工程院院士苏义脑任鉴定委员会主任对“井口智能成套装备”及核心产品液压吊卡、液动卡瓦和铁钻工进行了科技成果鉴定。认为：采用液缸驱动开合吊卡和声光提示安全装置，可以实现远程控制，操作简单、方便，并提高了吊卡主体的利用率；置于转盘内部的套管液动卡瓦可以提供 $50\text{KN}\cdot\text{m}$ ($35000\text{ft}\cdot\text{lbs}$)的反扭矩，省去了背钳，实现一吊一卡起下钻作业模式，作业效率高；研发的集手动大钳、气动旋扣钳、液压猫头功能为一体的井口机械化操作工具采用模块化结构，通过内嵌式液缸、螺旋滚子结构、上扣扭矩保护装置，既可实现无级变径，也可实现钳子旋扣及紧扣模式的切换和位置记忆；小修井口自动作业装置集机械结构、液压传动、PLC控制于一体，具备动力吊卡、动力卡瓦、动力钳、动力猫道、机械手等油田油水井自动起下油管作业装备的功能，并实现了系统集成，作业过程可远程控制，在更换内衬实现油管对中和接箍高度检测等方面有重要创新。

鉴定委员会认为项目成果填补了国内空白，整体性能达到国外同类产品的先进水平。

3、质量标准

连续12年入选“中国石油石化装备制造企业五十强”，本项目产品评为“中国石油石化装备制造企业名牌产品”，并获美国API认证资质及保有API会标使用资格，通过德国劳氏船级社、英国劳氏船级社认证、ISO9001:2008质量管理体系认证、ISO10012:2003测量管理体系、ISO14001:2004环境管理体系认证以及标准化良好行为AAAA级认证。

3、客户评价

项目产品在海洋石油“981”深水半潜式钻井平台使用，连续进行2500多米的9-5/9套管作业(套管立柱)，实现远程控制，操作方便，安全可靠，性能稳定可靠。本项目实施单位韩通公司成功应用井口设备于SEVAN FPSO 300 (NO.4)，并在巴西里约热内卢实施钻井作业。其他钻井和油田应用单位评价：液压吊卡配有保险装置、压力反馈、卡持确认等可视提示设置，确保吊卡卡持管柱安全可靠；控制开关即可实现吊卡扣合管柱、打开吊卡，同时配有吊卡翻转机构，可以在前后90度范围内任意角度翻转，卡持管柱，提高了工作效率。液压卡瓦使用时安装在转盘内部，与转盘上平面持平，方便动力钳工作，大大节约了钻井平台的作业空间；控制操作手柄即可实现卡瓦体的升降，并且卡瓦上下运动平稳、夹紧可靠，并可以提供反转扭矩，无需要再使用备钳，安全方便，减轻了操作工人的劳动强度，提高了安全性和工作效率。

项目产品RT-100铁钻工经中原石油勘探局钻井一公司40451队在胡39-27井使用，用户认为该设备整机结构紧凑，更适用于50LDB以上钻机使用；液压驱动，夹紧可靠，无需悬挂尾绳固定，即可进行上卸扣作业，安全性能强；无需更换钳头，钳牙更换频率小，卡持管径范围广；自动化作业程度高，减轻工人劳动强

度，提高钻井作业效率。

推广应用情况：

项目成果 2003 年以来应用于 981 平台，中原、川庆等油田，里海、美国及中东国家等钻井平台上，显著提高了我国油气开采配套装备的国产化进程和自动化水平。

公司将适应未来油气生产区域的调整，研发和生产扩大新产品的种类和销售市场；适应石油钻采设备自动化、智能化的发展趋势，进一步提升高附加值的自动化产品在公司产品中的比例，持续优化产品结构。公司力争在两到三年内进一步提升石油钻采提升设备、卡持设备和旋扣设备的研发、生产能力，持续优化产品结构，实现主要产品年营业收入 5 至 5.5 亿元。

后期自 2013 年开始研发的井口装备并非原来项目的简单复制，而在结构、材料、控制等主体方面有了较大幅度的优化和完善，以满足深海、沙漠、极地等特殊地质条件和深井、超深井等特殊使用条件，实现了系列化的研发与推广应用，项目对带动整个油气开采装备产业链的发展具有重大促进作用，对国家深海资源开发战略和自主开发南海油气有着深远的影响。

项目的整体应用技术已经应用到海工、船舶、油气开采部件的模具、工装、密封件。项目相关的优化设计、材料、成形工艺和设备模块集成技术应用到了各种油气开采产品中，承建产品几乎覆盖了海洋工程装备的所有领域，国际市场占有率达于 15%，国内市场占有率达 50%。

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	发明专利有效状态
发明专利	无阀液压伺服系统及其控制方法	中国	ZL201410072472.8	2014. 2. 28	1901600	南通大学	吴国庆 曹阳 吴树谦, 茅靖峰, 周井玲, 朱维南, 张旭东, 邱锴文	有效
发明专利	一种密封面具有泵送槽的机械密封环加工方法	中国	ZL201410414001.0	2017. 6. 27	2533836	江苏大学	符永宏; 康正阳; 刘黎明; 符昊; 华希俊	有效
发明专利	带报警装置的对开式液压吊卡	中国	ZL201310307261.3	2014.8.20	1465180	江苏如通石油机械股份有限公司	何云华、许波兵、陈世龙、陆永进	有效
发明专利	一种液压动力钳疲劳试验系统	中国	ZL201310398338.2	2016.8.31	2217799	南通大学	周井玲、成浩、吴国庆、徐勋倩, 朱伟南、曹阳、茅靖峰, 何云华、高亚杰	有效

发明专利	一种基于液态支撑的纠偏钻头	中国	ZL201210579672.3	2015.3.4	1597937	江苏大学	王匀;许桢英;甘斐;殷苏民;王雪鹏;范苏湘;蒋素琴;陈万荣	有效
发明专利	模锻锤的智能控制方法及其根据该方法生产的智能模锻锤	中国	ZL200310124181.0	2006.5.24	266080	江苏如通石油机械股份有限公司	吴国庆、周井玲、任雨松、廖萍、吴晓	已转化,有效
发明专利	气动卡瓦式吊卡卡盘	中国	ZL201410489491.0	2016.3.20	1970539	江苏如通石油机械股份有限公司	曹彩红、何云华、陈世龙、许波兵、冒亚飞、顾雪亮、徐银凤	有效
发明专利	一种半潜平台机器处所供气排气系统	中国	ZL201510177067.7	2017.5.31		江苏韩通船舶重工有限公司	孟勋、孟成君、何建军、张华、钱旗、黄春艳、吴婷婷、许春花	有效
发明专利	动力运管装置	中国	ZL201310476642.4	2014.4.2	3496828	江苏如通石油机械股份有限公司	曹彩红 许波兵 何云华 陈世龙 陆维松	有效
发明专利	一种筒状工件内加工夹具及其使用方法	中国	ZL201410367374.	2017.1.18	2351272	南通理工学院	孙健华、顾海、王贵成、曾兵、郭爱云	有效

主要完成人情况表

主要完成人情况						
姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
吴国庆	1	所长	教授	南通大学	南通大学	项目总负责人。确定总体技术方案,提出项目总体技术路线,制定并组织实施总体方案。对井口装备研制过程中关键问题的解决进行技术指导、同时进行了试验设计、安全性能分析;与课题组成员一起创新性对井口装置实现模块化设计,实现了与钻井平台主系统的无缝集成和井口装备的智能化无人作业,远程控制系统可使各模块协调工作,实现井口作业装置的模块化、集成化和自动化。并模锻工艺创新,提高了深海石油钻井平台井口装备的卡身、内衬、主体及颚板等关键零部件的强度和刚度。主要贡献体现在技术创新点 1, 3。

符永宏	2	主任	教授	江苏大学	江苏大学	对井口装备关键部件不同功效表面进行形貌优化设计, 提出“单脉冲同点间隔多次”激光加工工艺, 联合发明了激光表面宏/微织构主动设计制造方法和装备, 实现了密封环端面零泄露。主要贡献体现在技术创新点 3。
周井玲	3	无	教授	南通大学	南通大学	构建井口装备工作部件系统模型, 研究工作状态下的各类接触面压力分布及其接触参数非线性分布规律, 建立工作部件结合面的力学演变行为和系统分析方法, 实现结合部耦合关系的系统承载力预测, 提高井口传统装备整机性能分析与设计的准确性。主要贡献体现在技术创新点 1, 3。
王匀	4	副所长	教授	江苏大学	江苏大学	设计出动力钳轻量化稳性结构, 分析了动力钳齿轮传动系统动态载荷, 实现了井口装备的数字化建模, 协助提出激光表面宏/微织构主动设计制造方法, 并进行了吊环锻模设计和激光强化研究。主要贡献体现在技术创新点 1、3。
吴树谦	5	无	工程师	江苏大学	江苏大学	对井口装备进行动载荷分析, 在使用过程中, 吊卡要多次承受钻柱的重力, 即吊卡承受疲劳载荷, 同时吊卡每次从转盘上提或落下都要受一定的冲击载荷; 在交变载荷作用下, 吊卡构件的薄弱部位极易疲劳、萌生裂纹, 进而导致断裂失效, 应用有限元理论, 进行吊卡的三维应力分析, 为结构优化提供了理论依据; 并对关键承载零部件进行了强度分析, 验证了关键受力部件的可靠性。主要贡献体现在技术创新点 1, 3。
许波兵	6	总经理	高级工程师	江苏如通石油机械股份有限公司	江苏如通石油机械股份有限公司	设计出吊卡卡盘、液压吊卡和动力运管装置的轻量化稳性结构, 井口装备的液压智能化控制系统设计及调试, 海工用钢的组分优化和性能分析, 协助进行了激光复合织构在牙板模具上的应用。主要贡献体现在技术创新点 1、2。
曹彩红	7	董事长	高级工程师	江苏如通石油机械股份有限公司	江苏如通石油机械股份有限公司	重点组织开展井口成套装备和新材料的研发, 将产学研单位的关键技术和设备应用到井口装备各种关键部件的设计和成形上。主要贡献体现在技术创新点 1、2。研究过程中授权国家发明专利 2 件

何云华	8	副总经理	高级工程师	江苏如通石油机械股份有限公司	江苏如通石油机械股份有限公司	对井口设备关键部件的成形工艺和质量控制进行了分析,协助高校搭建了井口装备各类试验装置,并进行了调试和测试,和应用单位的钻井平台主系统进行无缝集成和对接;参与了新型海工用钢的全周期的研发和质量跟踪,完成了材料的试制和性能测试。主要贡献体现在技术创新点 1 和 2。
张华	9	副总经理	高级工程师	江苏韩通船舶重工有限公司	江苏韩通船舶重工有限公司	重点开展井口成套装备在钻井平台上的应用,实现高性能海工用钢在卡瓦、吊卡及内衬件上的试用和应用,深入各类海工装备和衍生产品进行推广应用,为如通和高校的关键技术和设备的提供了有力的技术支持。主要贡献体现在技术创新点 1、2。研究过程中授权国家发明专利 2 件,制定企业标准 5 件。
顾海	10	副院长	副教授	南通理工学院	南通理工学院	完成了激光冲击强化和激光复合织构的工艺优化,对井口装备关键部件的生产工艺流程进行了优化,设计了各类工装。主要贡献体现在技术创新点 1、3。研究过程中授权国家发明专利 1 件,发表论文 1 篇。

主要完成单位及创新推广贡献:

单位名称	排名	对本项目科技创新和推广应用情况的贡献
南通大学	1	<p>(1)井口成套装备建模和结构优化分析:针对井口成套装备复杂的系统,子系统和零部件繁多,根据功能要求,运用机构拓扑结构学对井口装备进行解耦,建立各子系统数字化模型并分析子系统之间的空间关联尺寸链误差,应用尺寸链的理论与方法对装配误差的扩散与控制进行研究,提高装配精度,完成模型到空间的映射构造和优化;进行运动学和动力学分析,研究整体和配套设备的动态建模和多阶模态规律,实现井口成套装备动态性能评价。</p> <p>(2)井口成套装备及关键部件性能测试系统:井口装备关键部件的承载力、韧性和强度是保证其系统安全作业的保障。通过构建井口装备工作部件系统模型,研究工作状态下的各类接触面压力分布及其接触参数非线性分布规律,建立工作部件结合面的力学演变行为和系统分析方法,实现结合部耦合关系的系统承载力预测,提高井口传统装备整机性能分析与设计的准确性。</p> <p>(3)井口成套装备控制系统设计:建立液压缸-油路-节流阀系统的动力学模型,将视觉实时监测、液压智能化控制,健康监控、故障报警技术应用于井口装备,实现了井口装备的智能化。采用在线检测技术和主动容错技术,将永磁容错电机应用于监控系统中,提高系统的故障容错能力,增加驱动系统的稳定性。</p>
江苏如通石油机械股份有限公司	2	<p>(1)成功设计双活门闭合对开式液压吊卡,通过新设计的内置连杆机构、接触式机械锁扣和触发机构,实现自动安全开合、顶驱起吊,钻具输送和姿态调整动作,重量降低 10%,解决了轻量化和承载力之间的矛盾</p> <p>(2)创新设计的阶梯卸荷结构,使得卡瓦分级承载,从结构上保证了液压卡瓦 750T 的承载力,突破了最大额定载荷 500T 液压卡瓦的极限;研发的多片式卡瓦结构</p>

		<p>可以实现卡瓦的快速对心，瓦片快速更换机构通过锁定销与连杆机构相连，快速进行卡瓦瓦片更换，适应不同管柱，比传统手工相比，更换效率提高了 5-8 倍。</p> <p>(3)设计了适合不同材质和不同管径的卡瓦牙板无损式表面形貌模型，解决了原来牙板对套管外壁损伤或者打滑的难题，并能确保卡瓦承载部件的强度和刚度，以及与其它井口装备的协调工作，保证井口装备稳定运行，提高井口装备的可靠性。</p>
江苏大学	3	<p>(1)为超大吨位深海油气开采平台井口智能成套装备设计与制造项目的技术创新提供了必要科研环境、基础试验设备，在人力和物力上给予了极大限度的支持。</p> <p>(2)开展了井口智能成套装备稳性结构设计、数字化建模、强度分析、有限元计算、新材料性能分析、模具复合造型和强化工艺、全功能智能集成等方面研究，取得了丰硕成果。</p> <p>(3)经过多年的理论和技术攻关，申请发明专利 15 件，已经授权发明专利 14 件。发表论文 7 篇。对项目的成功实施和技术创新发挥了重要作用。</p>
江苏韩通船舶重工有限公司	4	<p>南通大学和江苏大学是江苏韩通船舶重工有限公司海工装备自主研发的主要产学研合作单位，也是江苏如通石油机械股份有限公司和合作伙伴。2008 年以来校企联合开展了油气开采平台井口智能成套装备的关键技术及应用开发，在我公司及其多家零部件供应企业推广实施。我公司研发团队对本项目贡献主要体现在：</p> <p>(1)井口装备及相关零部件直接应用于深海钻井平台 SEVAN FPSO 300 (NO.4)、5600 吨风机安装船和自升式风电安装平台等海工装备上，以及散货轮 (HT388-211) 和自卸船 (HT68-219) 等船舶的建造中，对于我公司提高海工和船舶建造水平，提升国际竞争力做出了重要贡献。</p> <p>(2)推动供应商在密封件、高性能船板、阀体等产品上推广应用，取得了供应商零部件质量一致性和稳定性大大改善的效果。</p> <p>(3)激光宏微织构技术和强化技术进一步向集团内的其他产品推广。</p>
南通理工学院	5	<p>南通理工学院自成立以来，一直注重为地方经济服务和人才培养的理念，以南通海工和船舶产业集聚的优势，开展以地方和区域产业结构优化及发展需要为导向的产学研协同创新。本单位研究团队对项目的贡献主要体现在：</p> <p>(1)围绕深海油气开采平台井口智能成套装备的关键共性技术问题，进行了井口装备关键部件的工艺优化和工装设计等技术研究，并得到成功应用。</p> <p>(2)联合江苏大学和南通大学，研究了激光冲击强化机理和激光复合织构工艺，在功效表面实现了主动设计与制造，为井口装备的安全可靠运行提供了技术支持。</p> <p>(3)学校与江苏如通石油机械有限公司及江苏韩通船舶重工有限公司建立了 2 个产学研基地，为本土企业培养了大批技术人才。</p>

完成人合作关系说明：

完成人吴国庆、周井玲为南通大学教师，是南通大学石油天然气井口装备研发团队核心成员，长期与江苏如通石油机械股份有限公司及江苏韩通船舶重工有限公司进行产学研合作。吴国庆为本项目负责人，是本项目发明专利无阀液压伺服系统及其控制方法、一种液压动力钳疲劳试验系统、模锻锤的智能控制方法及其根据该方法生产的智能模锻锤 3 项专利的主要发明人。周井玲为本项目骨干成员，是本项目发明专利一种液压动力钳疲劳试验系统、无阀液压伺服系统及其控制方法等 3 项

发明专利的主要发明人。

完成人符永宏和王匀是本项目合作单位江苏大学老师，是江苏大学表界面科学与技术研究所的核心成员。符永宏为本项目骨干成员，是国家重大科技成果转化基金“高效节能低摩擦零部件表面激光微织构关键技术的研发与产业化”和国家自然科学基金“金属塑性成形模具表面微观织构的主动设计制造及其摩擦和成形机理研究”的项目负责人，也是本项目发明专利一种密封面具有泵送槽的机械密封环加工方法等 9 项专利的主要发明人。王匀为本项目骨干成员，参与了本项目若干子课题的结构设计和建模，并参与了激光表面宏/微织构主动设计制造、吊环锻模设计和激光强化研究，是本项目发明专利一种基于液态支撑的纠偏钻头等 5 项专利的主要发明人。吴树谦为本项目骨干成员，参与了本项目若干子课题的实验研究和理论分析。

完成人许波兵、何云华、曹彩红分别是本项目合作单位江苏如通石油机械股份有限公司的负责人，与高校科研团队长期合作，联合攻关，共同负责南通大学、江苏大学和南通理工学院成果在所在公司的转化应用，负责所在企业在产业化过程中的创新研究，企业建有研究生工作站。带报警装置的对开式液压吊卡、气动卡瓦式吊卡卡盘等 4 项发明专利的主要发明人，也是主要完成人。

完成人张华是江苏韩通船舶重工有限公司副总经理，高级工程师，与高校科研团队长期合作，联合攻关，负责南通大学和江苏大学成果在所在公司的转化应用，也是本项目发明专利一种半潜平台机器处所供气排气系统等 3 项专利的主要发明人，并对井口装备吊环和吊装工艺进行了创新设计。

完成人顾海是南通理工学院机械工程学院副院长，与南通大学、江苏大学、江苏如通石油机械股份有限公司以及江苏韩通船舶重工有限公司长期合作，也是本项目发明专利一种筒状工件内加工夹具及其使用方法专利的主要发明人，在关键零部件加工工艺和夹具设计方面做了贡献。