

极端环境重大承压设备设计与维护 产业技术创新战略联盟

2014 年工作总结和 2015 年工作要点

联盟秘书长: 

2015 年 6 月 23 日

极端环境重大承压设备设计制造与维护产业技术创新战略联盟

2014 年工作总结和 2015 年工作要点

极端环境重大承压设备设计制造与维护产业技术创新战略联盟由合肥通用机械研究院联合 20 家企事业单位，于 2011 年 1 月在合肥成立，2013 年 10 月入选第三批国家产业技术创新战略试点联盟(国科发体[2013]632 号)。目前联盟共有 21 家单位，其中高校 8 家，企业 13 家。首届理事长单位由合肥通用机械研究院担任，副理事长单位由华东理工大学、中国特检院、浙江大学担任，联盟秘书处依托单位为合肥通用机械研究院。联盟面向国民经济及国防军工领域共性技术需求，专注“极端环境重大承压设备设计制造与维护”主题，围绕“国家重大工程建设与国防军工关键装备首台套国产化”、“石化、燃气等重要过程工业装置长周期运行安全保障”两大领域，重点开展基于风险与寿命的极端承压设备设计制造与维护、超大型压力容器轻量化的可靠性设计制造、页岩气开发利用及 LNG 工厂关键承压设备设计制造与维护、海洋工程承压设备设计制造与维护、过程工业装置在役长周期安全保障、基于物联网与大数据技术的极端条件承压设备设计制造与维护公共服务平台等创新研究任务，研发新材料、新装备、新技术、新方法，解决关键技术难题，引领行业技术进步。

一、2014 年度工作总结

2014 年度，联盟各项建设工作稳步开展，2014 年 5 月召开了联盟理事会，围绕联盟的运行机制、组织机构、技术路线图、“十三五”技术预测等进行了深入研讨和交流，明确了争取承压设备用户单位加盟、设立信息资源交流平台、技术成果或技术需求交流等近期工作内容，切实推进各项技术创新工作。联盟成员单位开展“产学研用”联合攻关，2014 年共同承担了 863、973 项目、国家科技支撑计划、安徽省科技攻关等国家及省部级课题 20 余项；在国家重大工程建设与国防军工关键装备首台套国产化领域，建立了以全寿命风险识别、预测与控制为基准的设计制造技术体系，指导了石化球罐、LNG 储罐、环氧乙烷反应器、镍基合金设备、冶金系统废热锅炉等 20 多种重要承压设备的设计制造；攻克了材料许用强度调整、高强钢应用、结构优化设计、应变强化工艺等关键技术，实现了大型加氢反应器、缠绕管换热器、低温乙烯球罐、原油储罐、海

军舰船用承压设备等重型关键压力容器轻量化的国产化；在石化、燃气等重要过程工业装置长周期运行安全保障领域，建立了一套较为完善的石化装置系统风险评估与控制技术体系(RBI、RCM、SIL、IOWs、设备检修开盖率、备品备件优化等)、灾害条件(火灾、台风等)和复杂服役环境(腐蚀、高温、超期服役等)承压设备的失效分析与完整性评定、海底管道悬跨偏移检测与安全评价等技术方法；2014年联盟技术成果获国家和省部级奖励6项，其中国家科技进步一等奖1项，国家技术发明奖二等奖1项，省部级一等奖2项，二等奖2项；获与联盟目标任务密切相关的授权发明专利60余项。

1. 联盟组织机构活动进展

2014年度联盟召开理事会议、专家委员会咨询会议共计10余次，邀请成员单位技术骨干、压力容器行业知名专家学者共同商讨联盟运行机制、技术发展方向与重点项目、“十三五”技术预测、以及联盟承担的国家863、科技支撑、重大仪器专项等重要项目的论证、监督与评审等，保证了技术创新方向、课题实施方案与研究成果的先进性和科学性。

1.1 联盟理事会

2014年度，联盟理事会就联盟技术发展方向、近期的重点工作任务、吸收新成员单位加盟等事宜开展了一系列工作，并与5月4日在合肥召开了2014年度联盟理事会，联盟理事长、副理事长及来自全国各地的20余家企业、高校、科研院所等联盟成员单位的代表与会。与会代表围绕联盟的运行机制、组织机构、技术路线图、“十三五”技术预测等进行了深入研讨和交流。会议讨论细化了联盟的中长期发展规划，在重大承压设备设计制造方面，主要讨论了包括海洋工程装备(海上石油平台、海底管道、大潜深核潜艇、深海探测器等)，新型能源装备(LNG、液氢、液氦、核聚变、CO₂捕集等)，载人航天，压力容器绿色制造、节能与轻量化，信息化、智能化与压力容器设计制造的结合等领域今后拟开展的工作；在重大承压设备运行维护方面，主要讨论了包括系统对单体设备风险分析的影响，人因可靠性和风险的关系，极端条件下的设备完整性技术，信息化和物联网技术在运行维护中的应用等议题。同时理事会一致同意争取承压设备用户单位加盟，设立信息资源交流平台以便于成员单位技术优势共享，技术成果或技术需求交流，促进产业的发展。

1.2 联盟专家(技术)委员会工作

2014 年度，专家技术委员会作为联盟的技术决策咨询机构，为联盟的技术发展方向及重点研发项目提供技术咨询，为联盟承担的国家 863、973、科技支撑、重大仪器专项等重要项目提供技术支持，为联盟的技术发展方向的制定提出了宝贵的意见和建议。2014 年度联盟累计不定期召开技术委员会会议 12 次，保证了联盟自设的科研项目、加盟单位联合承担的科研项目的顺利实施。如探讨了某石化厂制氢转化炉炉管开裂原因，为炉管内壁减薄机理的深入研究提供了技术指导，提出了避免同类炉管失效现象再次发生的改进建议和措施；如就海底管道的悬跨研究、海底管道的横向偏移研究提出了宝贵意见，为海底管道检测及完整性评价技术的开发提供了技术支撑；如就 2011-1578T-JB《含缺陷高温压力管道和阀门安全评定方法》标准的制定提供了技术咨询；同时专家技术委员会亦就新常态下我国的经济发展和极端环境重大承压设备设计制造与维护、节能减排、我国部分压力容器材料(包括钢板、钢管和钢锻件)进入美国 ASME 锅炉压力容器规范等给出了一系列的意见和建议。

1.3 联盟秘书处工作

联盟秘书处目前设在合肥通用机械研究院，秘书处日常经费由挂靠单位合肥通用机械研究院提供，目前，秘书处共有常驻人员 9 名，联盟秘书长由合肥通用机械研究院王冰副院长担任。秘书处作为联盟理事会和技术委员会的常设办事机构，负责联盟日常事务和项目的协调、管理工作，在理事会闭会期间代行其管理职能并保持与政府管理部门之间的联系及沟通。

1) 负责联盟的日常运行工作

2014 年，联盟秘书处筹办了“极端环境重大承压设备设计制造与维护技术创新战略联盟”2014 年理事会，同时就联盟的日常事务、联盟自筹项目的协调、日常管理工作中不定期召开秘书处工作会议，全年累计召开 9 次，确保了联盟日常工作的有序开展，如讨论了广东省工业技术研究院等单位的加盟事宜，并将相关资料审核后提请理事会。

2) 协助联盟成员单位开展重大科研课题申报工作

2014 年，联盟秘书处协助加盟单位开展科研项目的申报工作，由合肥通用机械研究院，北京化工大学共同承担的 863 计划课题“基于物联网的石化工业风

险识别与安全应急系统研发及示范应用”正式启动；由合肥通用机械研究院，浙江大学等共同申报的 973 计划项目“高压氢系统大型承载件设计制造的基础研究”通过评审顺利出库。在海洋装备研发方面也取得了新的进展，由合肥通用机械研究院、南京工业大学、合肥通用特种材料设备有限公司联合申报的 2014 年海洋工程装备科研项目“海水混合冷剂换热器”获批立项。

3) 协助联盟成员单位开展重大科研课题阶段研究及结题验收准备工作

2014 年是“十二五”项目执行的关键一年，秘书处协助各加盟单位开展各项课题的结题验收工作，各加盟单位联合承担的 863 计划课题“超大型压力容器轻量化的可靠性设计制造研究”、国家科技支撑计划课题“基于全寿命过程失效模式的重要承压设备设计制造技术研究”、“危化品储运压力容器防灾减灾关键技术”、“基于风险的石化过程装置完整性管理关键技术研究与集成示范”等课题先后通过结题验收；联合承担的国家重大仪器设备开发专项“极端环境承压设备安全性能测试仪研发、应用与产业化”完成了样机的研发。

2. 联盟协同创新活动

联盟以项目合作为切入点，面向千万吨炼油、百万吨乙烯、大型煤化工、战略油储备等国家重大工程建设对长寿命、高可靠性、节能环保重大装备的迫切需求，积极申报国家和省部级重大技术创新任务，制修订国家及行业标准 13 项，切实推进各项技术创新工作，联盟 2014 年度开展的合作创新项目见表 1。

2.1 联合开展国家和省部级重大技术创新任务

2.1.1 基于风险与寿命的极端承压设备设计制造与维护关键技术研究

由合肥通用机械研究院，中国特种设备检测研究院、北京化工大学、浙江工业大学、华东理工大学、浙江大学、北京工业大学等加盟单位共同承担的国家“十二五”科技支撑计划“基于全寿命过程失效模式的重要承压设备设计制造技术研究(2011BAK06B02)”于 2015 年 4 月 26 日在北京通过了由国家质量监督检验检疫总局组织的验收。课题以“特种设备事故预防”为目标，开展了承压设备全寿命服役过程的失效演化规律与风险识别、结构设计改进、制造工艺优化、缺陷检测与分级、在役风险控制等方面研究，取得如下五方面成果：

表 1 联盟 2014 年度开展的合作创新项目

序号	项目类型	项目名称	立项编号	联盟成员单位	立项时间	完成情况
1.	863 重点课题	超大型压力容器轻量化的可靠性设计制造研究	2012AA040103	合肥通用机械研究院、华东理工大学、浙江大学、中国特种设备检测研究院、中石化洛阳工程有限公司、兰州兰石重装公司、中国第一重型机械集团公司、中石化南京化机厂等	2012.01	2015 年 3 月结题
2.	863 计划课题	基于物联网的石化工业风险识别与安全应急系统研发及示范应用	2014AA041806	合肥通用机械研究院、北京化工大学等	2014.02	按计划实施
3.	973 计划课题	高压氢系统大型承载件设计制造的基础研究	2015CB057600	浙江大学、合肥通用机械研究院、华东理工大学等	2014.09	开始实施
4.	国家重大仪器设备开发专项	极端环境承压设备安全性能测试仪研发、应用与产业化	2012YQ220233	合肥通用机械研究院、华东理工大学等	2012.10	按计划实施
5.	国家科技支撑计划课题	基于全寿命过程失效模式的重要承压设备设计制造技术研究	2011BAK06B02	合肥通用机械研究院、中国特种设备检测研究院、北京化工大学、浙江工业大学、华东理工大学、浙江大学等	2011.01	2015 年 4 月结题
6.	国家科技支撑计划课题	危化品储运压力容器防灾减灾关键技术	2012BAK03B03	合肥通用机械研究院、华东理工大学等	2012.01	2015 年 5 月结题
7.	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集成示范	2012BAK13B03	合肥通用机械研究院、南京工业大学等	2012.01	2015 年 4 月结题
8.	国家科技支撑计划课题	成套装置承压设备预知检测及动态风险管理技术研究	2011BAK06B03	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院、浙江工业大学	2011.01	2015 年 4 月结题
9.	海洋工程装备科研项目	海水混合冷剂换热器	工信部联装[2014]505 号	合肥通用机械研究院、南京工业大学、合肥通用特种材料设备有限公司	2015.01	开始实施
10.	工信部物联网发展专项资金项目	基于物联网的石化工业智能安全应急系统研制	1-1 智能工业领域	合肥通用机械研究院、北京化工大学等	2013.03	按计划实施
11.	国家重大科技成果转化项目	大型石化装置重大承压设备基于风险的设计制造技术成果转化	财企[2012]130 号	合肥通用机械研究院、合肥通用特种材料设备有限公司、浙江大学等	2012.05	准备结题

序号	项目类型	项目名称	立项编号	联盟成员单位	立项时间	完成情况
12.	国家质检公益科研专项	压力容器分析设计标准钢材性能数值化研究	201410248	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院	2014.01	按计划实施
13.	战略新兴产业高端装备专项	冶金系统大型废热锅炉研发与产业化项目	发改办产业[2013]1377号	合肥通用机械研究院、合肥通用特种材料设备有限公司	2012.01	准备结题
14.	国家火炬计划产业化项目	锆及镍基合金等特种材料承压设备制造技术	2012GH031233	合肥通用机械研究院、合肥通用特种材料设备有限公司	2012.01	2014年结题
15.	国家质检公益科研专项	在用承压设备检测评价标准体系研究及重要标准研制	201110054	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院	2011.07.	2014年结题
16.	国家质检公益科研专项	压力容器用钢最低设计温度确定方法研究	201010027	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院	2011.07.	2014年结题
17.	省科技攻关计划	典型材料双管板换热器制造工艺研究	1301zc02032	合肥通用特种材料设备有限公司、合肥通用机械研究院	2014.01	按计划实施
18.	中石化技术开发项目	大型 3.5%Ni 钢低温球罐国产化开发	W13010	合肥通用机械研究院、中石化洛阳工程有限公司等	2013.01	按计划实施
19.	中石化技术开发项目	中国石化煤化工装置设计选材导则编制	313069	合肥通用机械研究院、中石化洛阳工程有限公司等	2013.01	按计划实施
20.	中石化技术开发项目	超厚 2.25Cr1Mo 钢板工程技术开发	w12006	合肥通用机械研究院、中石化洛阳工程有限公司、兰石重型装备股份有限公司、舞阳钢铁有限责任公司、中国石化工程建设有限公司等	2012.06	按计划实施
21.	中石化技术开发项目	国产 HIC 厚钢板高压容器研制	W12002	合肥通用机械研究院、中石化洛阳工程有限公司、舞阳钢铁股份有限公司、兰州兰石重型装备股份有限公司等	2012.05	按计划实施
22.	联盟自筹项目	承压设备失效溯源及合于使用评价技术研究与应用		合肥通用机械研究院、中国特种设备检测研究院、华东理工大学、浙江工业大学、南京工业大学、浙江大学等	2011.12	具备结题验收条件

1) 在全寿命失效演化规律与风险识别方面,研究了我国典型承压设备事故生成演化规律,找出了主导失效机理及关键影响因素;分析了美国 API 581 标准存在的不足,建立了复杂腐蚀环境承压设备失效概率计算方法、设计制造阶段风险控制参量的表征方法,编制了基于失效模式的重要承压设备全寿命过程风险影响因素数据库;

2) 在结构设计环节,在引进消化吸收国外技术基础上,建立了高温承压设备蠕变疲劳裂纹萌生寿命评估、应变强化深冷容器疲劳分析和安定性设计等方法,探索了大型储罐地震激励下的响应规律,为今后球形储罐的抗震设计提供了有效手段;

3) 在制造检验环节,建立了基于缺陷评定理论的无损检测缺陷分级技术方法,编制了《基于断裂力学的无损检测缺陷分级方法》标准草案;验证了微磁信号用于评价焊后残余应力消除效果的可行性,提出了碳钢低合金钢焊后残余应力消除效果的微磁评价方法;

4) 在基于全寿命失效模式的设计制造方面,研究了承压设备全寿命动态服役过程中的主导失效模式与设计制造检验的关联规律,针对储存、反应、换热、分离等 22 种典型承压设备,建立了基于全寿命失效模式的设计制造综合技术方法,并进行了工程示范应用;

5) 在运行维护环节,针对承压设备服役过程中可能存在的剩余风险,开展了承压系统泄压关键技术、承压系统与非承压系统协同分析的在役风险评估技术研究,建立了多安全阀泄压的安全完整性评估、高等级压力保护系统完整性评估等技术方法,开发了风险分析与优化软件。

课题的研究成果指导了 LPG 球罐、加氢反应器、丁辛醇换热器、高温缠绕管式换热器、应变强化型深冷容器、镍基合金反应设备、脱硫装置废热锅炉等 20 多种重要承压设备的设计制造,取得了显著的经济和社会效益。提出的承压系统 RBI/SIL 相结合的剩余风险控制技术,指导了多套典型炼油装置及化工装置的设计与评估,发现了部分联锁系统存在的问题,保障了装置长周期安全运行。

2.1.2 超大型压力容器轻量化的可靠性设计制造关键技术

由合肥通用机械研究院、华东理工大学、浙江大学、中国特种设备检测研究

院、中石化洛阳工程公司、兰州兰石重型装备股份有限公司、中国一重、中石化南化公司化工机械厂等加盟单位共同承担的 863 重点课题“超大型压力容器轻量化的可靠性设计制造研究(2012AA040103)”于 2015 年 3 月 20 日在合肥通过了国家科技部高技术研究中心组织的验收。

课题在超大型压力容器轻量化的国际大背景下，遵循安全与资源节约并重的理念，围绕千万吨炼油、大型煤化工、战略原油储备等国家重大工程建设，以大型加氢反应器、超大容积原油储罐、超大型换热器等典型高耗材重型装备为突破口，开展了全寿命过程风险识别、损伤评估与寿命预测、材料性能控制、结构优化设计、制造工艺优化、在役检维修策略等方面研究。识别了典型超大型反应容器、存储容器、换热容器全寿命周期潜在的失效模式与损伤机理，建立了相应的风险评估与寿命预测技术方法，以及材料许用强度系数调整后基于风险与寿命的设计制造与检验共性技术方法；攻克了大型加氢反应器蠕变疲劳损伤评估、基于寿命的高温强度设计、预防冷裂纹/再热裂纹的焊接热处理工艺，超大容积原油储罐预防罐壁屈曲和罐顶失稳的结构设计、大线能量高效焊接工艺，超大型换热器基于寿命的整体结构设计、管板锻件/锻环/换热管等零部件的轻量化设计、管板与管壳程筒体的柔性连接、管板与大直径薄壁换热管的胀接/焊接等关键技术；在确保超大型压力容器“本质安全”的同时，实现了大型加氢反应器(设计温度 454℃，设计压力 21.6MPa，直径 5500mm)、超大容积原油储罐(容积 15 万 m³，直径 100m)、超大型换热器(设备直径 DN4900mm，换热管直径 DN88.9mm，换热管数量 1551 根)轻量化的国产化，同比节材 5~20%。

利用本课题成果研制的大型加氢反应器、超大容积原油储罐、超大型换热器等轻量化产品已在千万吨炼油、战略油储备、大型煤化工等国家重大工程建设十余家企业 50 多台套超大型压力容器的建造工作中得到应用，取得了显著的经济和社会效益。本课题超大型压力容器轻量化设计制造与安全服役若干关键技术的研发突破，提高了我国压力容器设计制造企业高端产品的国际竞争力，推动了我国压力容器行业绿色设计、绿色制造的技术进步。

2.1.3 页岩气开发利用装置、LNG 工厂关键承压设备设计制造与维护技术

在我国天然气需求不断增长，大力建设页岩气勘探开发以实现页岩气规模化生产的背景下，联盟理事长单位合肥通用机械研究院牵头开展了页岩气开发

利用、LNG 工厂关键承压设备设计制造关键技术研究，拟解决上下游开采液化和集输过程中关键承压设备设计制造技术难题，实现 1~3 万 m³ 深冷 LNG 储罐、小型撬装式天然气液化装置、大型 LNG 高效气化关键设备、350 万吨/年天然气液化管壳式蒸发器、大型管壳式蒸发器等关键承压设备的国产化，从而为我国 LNG 清洁能源大规模开发利用打下坚实基础。

截止 2014 年 12 月，已完成 5 万 Nm³/d 的小型撬装式天然气液化装置的设计；完成了 1750m³LNG 子母罐、2500m³LNG 球罐、4500m³LNG 常压罐、5000m³LNG 常压罐、10000m³LNG 常压罐及 30000m³LNG 常压罐的设计制造；完成了中间流体型气化器传热机理及结构布局研究，同一空间蒸发-冷凝试件系统(初始样机)的设计计算和试验验证，研制出了中间流体型气化器(IFV)样机。

目前 4500m³LNG 常压罐已成功应用于合肥市川气东送天然气利用工程城市配套项目中，已顺利投产；10000m³~30000m³LNG 常压罐已成功应用于延长气田天然气液化厂工程、克拉玛依新捷液化天然气有限公司天然气综合利用项目、吉林吉港 50 万吨/年天然气液化厂工程、西安交通燃气有限责任公司引镇 LNG 应急储备站工程及延川 20 万吨/年 LNG 项目中，在保证装置安全长期运行的同时，降低了项目投资，提高了项目的经济效益。同时高压管线用中间流体型气化器(IFV) 已成功运用于天津 LNG 项目中，单台重组份 LNG 气化能力达 192t/h。

2.1.4 海洋工程(海洋石油平台、深海军事及探测)承压设备设计制造与维护技术

自上世纪末世界范围内兴起了浮式液化天然气(FLNG)技术用于海上天然气开发，其中集液化天然气的生产、储存与卸载于一身的浮式液化天然气生产储卸装置(LNG-FPSO)，具有低投资、快投产、高效益、便于迁移等优点，能显著简化海上气田的开发过程，为深海(300m 以上)大型气田和海上边际气田的开发提供新的装备，天然气液化工艺是 LNG-FPSO 的关键环节，直接影响到整个装置运行的合理性和适用性。

据此，合肥通用机械研究院、南京工业大学、合肥通用特种材料设备有限公司等加盟单位围绕国家海洋开发战略的规划，联合开展与天然气液化工艺配套的海水-混合冷剂换热器的研制，拟攻克混合冷剂部分冷凝与全部冷凝的过程和机理、可靠性高效换热元件国产化、运行过程中管束振动破坏的预防、船舶

晃荡工况下换热器工作性能的保持等技术难点，从而获得海水-混合冷剂换热器设计、制造、检验等关键技术，完成样机研制和工程应用研究，实现海水-混合冷剂换热器国产化，为我国南海大型气田开发建设所需的年产量 200~300 万吨 LNG-FPSO 装置的工程化建设奠定基础，提升我国海洋工程装备自主创新能力。

通过本项目的工作，可加深对 LNG-FPSO 装置混合冷剂循环液化工工艺用关键设备的结构优化设计、复杂相变计算分析等技术的理解，丰富我国高端换热器产品设计、制造、检验等技术储备，形成自主知识产权，打破国外技术垄断，引领我国海洋工程装备行业国产化技术的进步。

2.1.5 过程工业(石化、冶金、电力、核电、煤化工)装置在役长周期安全保障技术

2014 年度，通过各加盟单位的产学研用联合攻关，先后完成了“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)”，“危化品储运压力容器防灾减灾关键技术(2012BAK03B02)”，“成套装置承压设备预知检测及动态风险管理技术研究(2011BAK06B03)”等国家科技支撑计划课题的结题验收。建立了一套较为完善的石化装置系统风险评估与控制技术体系(RBI、RCM、SIL、IOWs、设备检修开盖率、备品备件优化等)、灾害条件(火灾、台风等)和复杂服役环境(腐蚀、高温、超期服役等)承压设备的失效分析与完整性评定技术方法。同时借助于国家重大仪器设备开发专项“极端环境承压设备安全性能测试仪研发、应用与产业化(2012YQ220233)”，研制出了多气氛(氢气、水蒸气、真空、大气)超高温(~1500℃)蠕变疲劳性能测试仪，并在此基础上申请了 973 计划项目“高压氢系统大型承载件设计制造的基础研究(2015CB057600)”，已通过评审顺利出库。

1) 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

由合肥通用机械研究院、南京工业大学等加盟单位共同承担的“十二五”国家科技支撑课题“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”于 2015 年 4 月 9 日在北京通过了国家安全生产监督管理局组织的验收。

课题针对石化过程装置安全运行的突出问题，以风险管理为主线，围绕石化过程装置设备安全管理，从环境、装置、人因三个方面开展了典型石化装置复杂环境失效模式及影响因素、基于风险的腐蚀与检维修一体化管理技术、基

于风险的完整性操作窗口关键技术、石化装置承压设备人因风险控制技术研究，建立了适合我国国情的以风险管理为核心的智能化大型石化过程装置设备完整性管理方法体系。技术成果已在中石化茂名分公司、镇海炼化分公司、青岛炼化有限责任公司、福建联合石化公司进行了示范应用，在确保装置安全的前提下大大降低了装置的检维修费用。

2) 危化品储运压力容器防灾减灾关键技术

由合肥通用机械研究院、华东理工大学等加盟单位共同承担的“十二五”国家科技支撑课题“危化品储运压力容器防灾减灾关键技术”于2015年5月7日在青岛通过了由国家安全生产监督管理总局组织的验收。

课题针对危化品储运设施重要压力容器，开展了台风、火灾典型灾害环境和运输环节设备破坏的灾前预防与灾后控制关键技术研究，攻克了失效模式与损伤机制再现、灾前优化设计与安全监测、灾后损伤快速检测与安全评价等关键技术，建立了高耸塔类压力容器台风条件下的灾前预防技术方法、危化品运输槽罐安全实时监测技术方法、危化品存储压力容器火灾发生后的合于使用评价技术方法，研制出了液化气体危化品运输槽罐安全实时监测系统、液态危化品运输槽罐安全实时监测系统，编制出了灾害环境下危化品储运压力容器的损伤数据库。研究成果已在福建炼化、上海石化、河北任丘华源石油、大庆石化、广州石化、福建腾龙等10多家大型企业中进行了示范应用，显著提高了我国危化品储运设施重要压力容器抵御灾害和灾后快速恢复重建的能力，达到了既能避免设计制造早期阶段因灾害预防不足引起的失效，又能在灾后降低破坏后果并迅速恢复重建的目标。

3) 极端环境承压设备安全性能测试仪研发、应用与产业化

面向石油化工、煤化工、航空航天、电力、核能等国家重要领域，围绕承压设备所处的高温、腐蚀等极端环境，合肥通用机械研究院、华东理工大学等加盟单位开展了多种气氛环境高温蠕变疲劳性能测试仪的研发，攻克了稳定可靠的加热元件选择、超高温夹持结构设计、超高温变形测量、自定义加载路径控制、拉压疲劳机械间隙消除、电子信号动态实时校准等关键技术。首次研制出了四台套由结构独特的机电伺服加载机构、超高温与多种气氛环境装置(氢气、氩气、水蒸气、真空)组成的蠕变疲劳性能测试仪(600℃氢气环境高温高压

蠕变持久试验装置、超高温大气环境蠕变疲劳试验装置、1500℃真空(充气)环境蠕变疲劳试验装置、700℃过热水蒸气环境蠕变疲劳试验装置), 填补了国内空白, 达到了发达国家同期水平, 提升了我国极端环境承压设备的设计与制造能力, 同时为相关理论模型的试验验证、极端服役环境(高温、超高温、复杂气氛环境)下失效机理的研究、材料性能数据库的建立乃至新材料的开发提供了不可或缺的工具。

依托研发的 600℃氢气环境高温高压蠕变持久试验装置, 合肥通用机械研究院, 浙江大学等加盟单位联合申报了 973 计划项目“高压氢系统大型承载件设计制造的基础研究(2015CB057600)”, 并于 2014 年通过评审顺利出库。现已全面启动各项工作, 2015 年 5 月 5 日在杭州召开了项目实施研讨会, 2015 年 6 月 15 日在合肥召开了课题“基于高压氢系统承载件失效模式的设计制造理论及方法(2015CB057603)”、“高压常温氢气环境下承载件损伤的演化机制(2015CB057601)”技术研讨会。该项目面向氢能发展和化石能源高效清洁利用的国家需求, 聚焦高压常温及高压高温氢系统, 揭示高压氢系统承载件制造工艺-残余影响-服役性能三者间的关联机制, 形成性能创成与调控方法, 构建基于高压氢系统承载件失效模式的设计制造理论及方法, 建立具有国际影响力的创新研究基地和团队, 提升我国高压氢系统大型承载件的核心竞争力。

2.1.6 基于物联网、大数据技术的极端条件承压设备设计制造与维护公共服务平台

2014 年, 由合肥通用机械研究院, 北京化工大学等加盟单位共同承担的 863 计划课题“基于物联网的石化工业风险识别与安全应急系统研发及示范应用(2014AA041806)”已全面启动, 于 9 月 18 日~19 日在合肥召开了课题启动会, 并赴安庆石化(课题应用示范现场)进行了现场考察。该课题面向石化复杂流程工业多环节协同优化、长周期运行和安全生产的重大需求, 针对复杂生产系统难以细粒度监控和整体优化、风险管控水平薄弱、重大生产事故频出等问题, 突破多态无线监控网络的共性关键技术, 解决多态物联测控网络共存、互联互通、数据融合的技术瓶颈; 攻克石化典型流程工业风险在线监测与评估技术、设备诊断与优化控制技术和应急资源调度策略等关键技术, 搭建具有行业通用特征的风险在线运行管控平台, 开发完成具有自主知识产权的风险监测、评估

及优化控制软件与系统；攻克石化危险源智能识别、风险评估、安全应急资源管理及大规模组网等关键技术，实现生产过程风险及重大危险源全面、准确的监控预警。

2.2 建立产学研用联合攻关公共技术研究平台，探索组织模式和运行机制

在前期建立的极端条件下重大承压设备设计制造与维护技术创新团队、安徽省压力容器与管道安全保障技术创新服务平台、合肥通用机械研究院-合肥工业大学博士研究生联合培养点等产学研用联合攻关公共技术研究平台的基础上，进一步探索公共技术研究平台产学研用相结合的组织模式和运行机制。2014年，各平台各项工作有序开展，同时在联盟的支持下，合肥通用机械研究院筹建了复合材料技术省级重点实验室，研究解决复合材料失效机理与损伤评价、结构强度设计、制造工艺、在役检测监测等关键技术难题，提升我国复合材料压力容器的自主研发能力。

2.3 探索联盟技术创新成果的技术转移和扩散机制

1) 通过工程承包、委托设计、委托监理、委托工艺优化、风险评估、检验检测监测、缺陷评定、安全评估等途径，将本联盟技术创新成果在实践中应用，加速成果的辐射、扩散和转化；

2) 依托通过挂靠在联盟理事长单位的中国机械工程学会压力容器分会、中国钢结构协会容器管道分会，积极宣传、推介本联盟技术创新成果。

截止 2014 年，重大承压设备基于风险与寿命的设计制造与维护、超大型压力容器轻量化的可靠性设计制造、过程工业装置和国防军工装备在役长周期安全保障等技术方法、专业软件、数据库、国家/行业标准、新产品等，已在石油化工、煤化工、燃气、化肥、军工等行业得到推广应用，保障了重大工程建设的顺利进行，延长了装置的运行周期，降低了检维修费用。

2.4 制修订国家或行业标准，发挥行业技术的引领和带动作用

依托通过挂靠在联盟理事长单位的全国锅炉压力容器标准化技术委员会容器分会、全国阀门标准化技术委员会、全国机械密封标准化技术委员会、全国安全泄压装置标准化技术委员会等标委会，适时将联盟技术创新成果转化为标准规范。2014 年，共制修订国家及行业标准 13 项，引领和带动了行业的技术

进步。

表 2 联盟 2014 年组织制修订技术标准(规范)

序号	标准号/ 计划号	名称	制定时间 (年月)	批准时间 (年月)	批准机构	完成单位
1.	GB/T26610.2-2014	承压设备系统基于风险的检验实施导则 第 2 部分 基于风险的检验策略		2014.05	国家质检总局、国家标准化管理委员会	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院等
2.	GB/T26610.3-2014	承压设备系统基于风险的检验实施导则 第 3 部分 风险的定性分析方法		2014.05	国家质检总局、国家标准化管理委员会	合肥通用机械研究院、中国特种设备检测研究院等
3.	GB/T26610.4-2014	承压设备系统基于风险的检验实施导则 第 4 部分 失效可能性定量分析方法		2014.05	国家质检总局、国家标准化管理委员会	合肥通用机械研究院、中国特种设备检测研究院等
4.	GB/T26610.5-2014	承压设备系统基于风险的检验实施导则 第 5 部分 失效后果定量评价方法		2014.05	国家质检总局、国家标准化管理委员会	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院、南京工业大学等
5.	GB/T 30578-2014	常压储罐基于风险的检验及评价		2014.05	国家质检总局、国家标准化管理委员会	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院等
6.	GB/T 30579-2014	承压设备损伤模式识别		2014.05	国家质检总局、国家标准化管理委员会	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院、华东理工大学等
7.	GB/T 30583-2014	承压设备焊后热处理规程		2014.05	国家质检总局、国家标准化管理委员会	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院、中石化南化公司化工机械厂等
8.	GB 12337-2014	钢制球形储罐		2014.09	国家质检总局、国家标准化管理委员会	中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院等
9.	TSG 21-2015	固定式压力容器安全技术监察规程	2014.09			中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院等
10.	20130192-T-469	承压设备合于使用评价	2014.06			中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院等
11.	GB/T18442.7-XXXX	固定式真空绝热深冷压力容器 第 7 部分: 奥氏体不锈钢应变强化技术	2014.06			中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院等
12.	2011-1578T-JB	含缺陷高温压力管道和阀门安全评定方法	2014.09		工业和信息化部	合肥通用机械研究院、华东理工大学、南京工业大学、浙江工业大学
13.	NB/T 47013.3-2015	承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测	2014.09	2015.4	国家发展和改革委员会	合肥通用机械研究院、中国特种设备检测研究院等

2.5 利用联盟内部资源优势，培养行业优秀技术人才

1) 利用高校资源优势，与浙江大学、合肥工业大学、浙江工业大学、中国石油大学等高校共建博士点、硕士点和研究生工作站，联合培养博士生和硕士生，2014 年度为行业培养研究生等高级人才 36 人，组织科研人员到企业兼职 14 人次。

2) 利用联盟理事长单位设有的自主招生的博士后科研工作站，结合联盟成员单位和行业需求，各联盟成员单位选派技术创新优秀人才进站工作，2014 年度，新进站博士后 3 名。

3) 通过与国际知名研究机构开展广泛的交流与合作，采用走出去、引进来等方式，培养技术创新高端人才。2014 年联盟理事长单位引进千人计划 1 名，从海外引进博士等高层次人才 5 名。

4) 通过举办培训班、技术讲座的形式，为中石化、中石油等大型企业集团培训压力容器与管道安全工程技术专门人才。2014 年全年累计举行各类学术报告或讲座 50 余场，为中石化、中石油等企业、压力容器检验机构培训技术人才 3200 人次。

2.6 整合联盟资源，构建技术创新服务平台，为中小企业服务

联盟理事长单位合肥通用机械研究院联合华东理工大学，整合设在合肥通用机械研究院的国家压力容器与管道安全工程技术研究中心、国家泵阀质量监督检验中心、国家密封件质量监督检验中心、机械工业压力容器与管道寿命及其可靠性重点实验室等，以及设在华东理工大学的承压系统安全科学教育部重点实验室等科研与检测基地的技术创新资源，成立了压力容器与管道安全保障技术创新服务平台。平台瞄准中小企业技术创新的共性需求，坚持以市场需求为导向和为行业服务为宗旨，改善服务手段和功能，完善共享服务机制。

平台的主要服务对象为承压设备生产企业(如化工机械厂、压力容器厂、管件厂、阀门厂、压力管道施工企业等)、石化与钢铁企业(如炼油厂、化工厂、油气储运厂、钢铁厂、锻件厂、焊材厂等)、军事部门(如总装备部、海军装备部等)和相关政府部门(如主管压力容器与管道安全监察的各级质量技术监督部门)等。

平台的重要任务，一是解决国家重大工程建设与国防军工重大承压设备国

产化研制的寿命与可靠性问题，在设计制造早期预测并控制其运行风险，为我国装备制造企业技术升级与提增效益服务；二是解决过程工业(石化、冶金、燃气、电力)重要承压设备运行安全性与经济性矛盾突出的问题，为石化与钢铁企业工业装置长周期安全运行提供技术与装备支持，为我国石化与钢铁企业提高其产品的国际竞争力服务。

平台开展的主要服务内容包括：基于寿命与风险的重大承压设备研发及设计，在用重要承压设备安全诊断与爆炸预防、材料与产品检测与试验、标准化与行业技术交流、人才培养。

2014 年度平台服务企业数量 300 余次，通过对外技术服务，使联盟在重要承压设备的寿命与可靠性分析、过程工业装置安全保障技术服务水平、重大装备事故原因分析等方面的创新能力，以及对外索赔和救灾减灾等服务政府相关部门的能力得以提升，得到了国家科技部、国家质检总局、行业协会学会、军方、企业用户等的高度评价和认可。

3. 联盟行业辐射活动

2014 年度，联盟开展了一系列行业辐射活动，提供展览服务 1 次，召开学术会议及论坛 7 次(见表 3)，广泛宣传了联盟技术创新成果，通过学术交流与研讨了解了最新技术发展动向，为承压设备用户和相关研发单位提供了权威的技术培训。

表 3 联盟 2014 年组织重大展览和学术会议活动清单

序号	名称	举办时间 (年月)	参加单位 数量	参加 人数
	一、承压设备学术研讨会			
1.	2014 全国特种设备安全与节能大型学术会议	2014.11		600
2.	欧洲结构完整性技术报告会	2014.10	8	70
3.	ASME BPV II 中国国际工作组第 6 次工作会议	2014.10	28	45
4.	第 9 届全国压力容器设计学术会议	2014.11		463
5.	压力管道等承压设备安全运行及检测评价技术学术交流会	2014.10	126	260
	二、承压设备技术培训会			
6.	上海石化静设备专业技术人员高级研修班	2014.07	2	20
7.	第 1 期石油化工检修单位 QHSE 体系管理师培训班	2014.09	40	67
	三、承压设备成果展览会			
8.	2014 年大型特种设备科技成果和仪器展	2014.11	70	600

4. 联盟宣传交流活动

目前联盟的网站正在建设中，并定期出版联盟工作简报使各参与单位适时了解联盟运行情况以及行业的最新技术发展动向，同时与绿色制造产业技术创新联盟、中国结构完整性联盟等就联盟的运行，各项制度的完善、联盟自筹科研项目的管理等内容开展交流活动，吸取其他联盟的经验。

5. 2014 年度联盟工作突出成就

5.1 极端条件下重要压力容器的设计、制造与维护

压力容器等承压类特种设备广泛用于石化、化工、电力、冶金、燃气及国防军工领域，直接影响国民经济建设和国防安全。近年来伴随世界经济形势变化、资源品质劣化和能源结构调整，压力容器逐渐向高温、深冷、复杂介质腐蚀等极端服役条件和超大直径、超大壁厚、超大容积等极端尺度方向发展，传统设计制造与维护技术面临严峻挑战。本项目围绕这一难题，历时近十年攻关，取得四个方面创新：

1) 揭示了极端条件压力容器的失效模式和失效机理，拓展了我国压力容器设计边界，适应高温、深冷、超高压等苛刻服役条件和多种复杂腐蚀环境，成果被 TSG R0004《固定式压力容器安全技术监察规程》、TSG R0002《超高压容器安全技术监察规程》等国家安全技术规范采纳。

2) 建立和完善了我国极端条件压力容器低温防脆断设计、复杂腐蚀环境材料适应性评价与选材设计、超高压弹塑性设计、高温蠕变疲劳交互作用强度设计、超大直径稳定性设计等方法，成果为 GB 150.1~4《压力容器》等国家和行业技术标准采纳。

3) 探明了极端条件压力容器设计制造与全寿命周期服役风险演化的内在联系，建立了基于全寿命周期风险预测和控制的压力容器设计制造与维护共性技术方法，开发了行业共享应用工具软件和数据库，形成 GB/T 26610.1~5《承压设备系统基于风险的检验实施导则》系列国家标准。

4) 攻克了高韧性材料开发、特殊结构优化、传热传质分析、焊接热处理工艺筛选等多项难题，完成了 50 万吨/年醋酸工程大型镍基合金 B-3 容器、煤化工和炼油装置大型缠绕管式换热器、化工装置大直径超厚锻件管板环氧乙烷反应器等 6 类重要压力容器的首台套国产化研制。

项目成果在全国 30 多个省市自治区石油化工、煤化工、燃气、化肥、军工等领域成功应用，打破了发达国家技术垄断，保障了国家重大工程建设顺利进行，为我国大型工业装置和国防军工重要压力容器长周期安全保障发挥了重要作用，取得了显著的经济和社会效益。

项目荣获 2014 年度国家科技进步一等奖。

5.2 重型压力容器的轻量化设计制造技术

压力容器是一种高耗材特种设备，其轻量化是实现节能减排、绿色设计制造的重要途径，是节省资源、提高产品国际竞争力的重要举措。但我国重大工程建设中一些大型关键压力容器自主创新能力不强、产品寿命低、可靠性差等严峻问题长期未得到解决，轻量化关键技术更是不能系统地掌握，也缺乏研究，导致我国的压力容器不仅尺寸大、耗材多，而且爆炸和失效事故也时有发生。

合肥通用机械研究院、华东理工大学、浙江大学、中国特检院、中石化洛阳工程有限公司、一重、兰州兰石等加盟单位，以高耗材重型压力容器为突破口，遵循安全与资源节约并重的发展理念，在国内率先开展了轻量化设计制造关键技术研究。引进消化吸收了发达国家许用强度系数调整、焊接残余应力评价、应变强化工艺等先进技术。通过产学研联合开发，突破了压力容器全寿命动态服役过程中的失效模式与机理识别，高强钢材料开发应用、高强度钢及配套锻件强韧性匹配、焊接冷裂纹与再热裂纹生成机理及控制、应变强化非线性行为与工艺控制、传热与流动特性分析、蠕变疲劳损伤及寿命评估、基于寿命的结构设计、基于风险的焊接/胀接/热处理制造工艺等多项轻量化设计制造关键技术，建立了重型压力容器基于全寿命风险识别与控制的轻量化设计制造技术方法，实现了大型低温乙烯球罐(2000~3000m³)、大型原油储罐(15 万 m³)、应变强化深冷储运容器(150~350m³)、大型加氢反应器、超大型换热器等重要大型压力容器轻量化的国产化。

技术成果已在茂名石化、武汉石化、安庆石化、云南石化、华北石化、天津渤海化工、山东蓝帆化工、中煤榆林、中集圣达因等企业千万吨炼油、百万吨乙烯、战略油储备、大型煤化工、液化天然气集输等国家重大工程建设的 50 多台套超大型压力容器建造中得到应用，因节材而取得经济效益近 6 亿元，节省了大量设备直接投资，受到了企业的普遍欢迎。该成果显著提升了我国压力

容器企业高端产品的国际竞争力，有力推动了我国压力容器设计制造企业向安全与资源节约协调方向发展、绿色设计、绿色制造的技术进步。

项目已申报 2015 年安徽省科技进步奖

5.3 危化品储运压力容器防灾减灾关键技术

危化品储运压力容器广泛应用于石化、电力、燃气等国民经济支柱领域，用于储存和运输易燃易爆、腐蚀、有毒、有害等特殊介质，一旦发生泄漏或爆炸，往往并发火灾、爆炸、人员伤亡、中毒、环境污染等灾难性事故。

合肥通用机械研究院、华东理工大学、中国特种设备检测研究院、浙江工业大学、浙江大学等加盟单位联合安徽大学、中国科学技术大学，针对危化品储运容器，围绕台风、火灾等灾害环境和运输环节，开展了灾前预防与灾后控制关键技术研究，取得了如下研究成果：

1) 针对高耸塔类容器，开展了台风条件下的灾前预防关键技术研究，建立了诱发振动弯矩的估算方法、基于风速风向分布的疲劳寿命分析方法、免于疲劳分析的判定方法以及基于疲劳寿命的防风抗振优化设计方法，构建了台风条件下高耸塔器失效模式及机理数据库，编制了选材导则和优化制造技术指南，为高耸类压力容器的防风抗振设计、安全评估等提供了有效的技术支撑；

2) 针对危化品运输槽罐，开发了光纤微振动传感器、阀门开度传感器，建立了液化气体/液态危化品槽罐车泄漏监测技术方法，研制出了危化品运输槽罐液化气体/液态危化品运输槽罐安全状况实时监测系统，实现了危化品运输槽罐安全状态的实时分析、事故产生初期的自动预警、事故发生后事故等级的智能分类；

3) 针对大型危化品存储设施重要压力容器，通过理论分析和实验研究，建立了火灾发生时危化品储罐辐射强度分布及温度分布的估算模型，形成了火灾条件下危化品存储压力容器典型材料基础性能数据库；综合分析了美国 API 579 标准存在的不足，建立了适合我国国情的火灾过烧后压力容器安全评定技术方法，编制出了国家技术标准草案(20130192-T-469, 承压设备合于使用评价 第 13 章 过火设备合于使用评价)，为合理判定火灾后危化品存储压力容器的安全状况等级、避免不必要的设备报废、企业及时恢复生产提供了有效的技术手段。

课题研究成果已在福建炼化、上海石化、任丘华源石油等 10 多家企业进

行应用，提高了各企业危化品储运设施重要压力容器抵御灾害和灾后快速恢复重建的能力。

二、试点联盟 2015 年工作要点

2015 年，联盟将继续专注“极端环境重大承压设备设计制造与维护”主题，围绕“国家重大工程建设与国防军工关键装备首台套国产化”、“石化、燃气等重要过程工业装置长周期运行安全保障”两大领域，持续推进技术创新各项工作：

1) 争取承压设备用户单位加盟，进一步增加联盟的行业影响力

积极争取承压设备用户单位加盟，一方面可为联盟技术创新活动提供良好的应用示范基地，另外一方面可通过用户企业将承压设备实际使用中存在的问题反馈给研发及设计单位，促进行业的进步；

2) 组织协调产业链中关键共性技术研究，促进联盟技术创新成果的转化与推广

继续征集各加盟单位技术创新能力与需求，促进各加盟单位之间的合作，依托联盟技术委员会，解决行业共性技术难题，同时组织联盟技术创新成果的转化与推广，促进行业的转型升级；

3) 拓宽联盟的创新研究方向、联合承担国家和省部级重大技术创新任务

目前，国际上承压设备的设计制造与维护技术正朝着安全与资源节约并重、信息化、智能化的方向发展。集中多专业综合优势的技术创新战略联盟是贯彻国家科技创新发展战略、解决多学科技术难题的首选。未来联盟将继续围绕“国家重大工程建设与国防军工关键装备首台套国产化”、“石化、燃气等重要过程工业装置长周期运行安全保障”两大领域，深入开展石油化工、煤化工等传统能源工业以及 LNG 存储、海洋资源勘探开发等新兴能源工业领域重要承压设备的绿色化、智能化、信息化设计制造与维护技术研究，组织各加盟单位积极申报国家和省部级重大技术创新任务；

4) 积极参加标准的制修订，引领行业动向，实时推进联盟标准的制修订

依托通过挂靠在联盟理事长单位的全国锅炉压力容器标准化技术委员会容器分会、全国阀门标准化技术委员会、全国机械密封标准化技术委员会、全国安全泄压装置标准化技术委员会等标委会，适时将联盟技术创新成果转化为标准规范；利用挂靠在联盟理事长单位的 ASME 第 VIII 卷中国工作组，积极参与国

际标准的制修订，提高联盟的影响力；同时适时组织推进联盟标准的立项、审批与发布，引领行业的进步；

5) 积极组织各加盟单位参加学术会议及行业技术交流，加大联盟的行业影响力

秘书处积极组织各加盟单位参加行业内学术技术交流研讨、国内及国际学术会议，把握学术技术前沿动态，展示联盟最新科研成果，提升联盟的影响力。同时邀请国内外知名专家同联盟内广大技术人员进行学术交流，围绕“极端环境重大承压设备设计制造与维护”进行相关技术培训及讲座，提升广大技术人员的综合创新能力；“第14届国际压力容器学术会议(ICPVT-14)”由联盟理事长单位合肥通用机械研究院，副理事长单位华东理工大学、浙江大学等加盟单位承办。联盟秘书处将协助会议主办方，提供全方位保障，使之成为各加盟单位科技工作者与国内外同行扩大交流、拓宽合作、加深友谊、共谋发展的桥梁和纽带。

6) 做好联盟工作总结，迎接联盟的运行评估。

2015年将迎来联盟的试点工作总结验收，联盟秘书处做好联盟各项工作的总结工作，确保运行评估工作的顺利开展。