1. **项目名称:**

钢制气瓶安全评定关键技术及工业化应用

**二、提名意见**

钢制气瓶是一种用于储存和运输压缩气体或者液化气体的容器，广泛应用于工业、医疗和居民生活等领域。截止2022年年底，我国气瓶数量达到2.35亿支，气瓶流动性强、监管难度大，不当使用可能导致气体泄漏、爆炸和压力失控等风险。近年来气瓶安全事故频发，不仅民众生命财产安全遭受损失，而且危害公共安全和影响社会稳定。目前我国的气瓶管理主要以定期检验方式为主，气瓶安全使用和风险管控面临严峻挑战。

该项目针对钢制气瓶安全评定关键技术难题，突破了气瓶动态损伤与致灾后果分析预测、燃爆实物试验、缺陷适用性评价、全生命周期数据库开发等关键技术，取得了四项创新成果：（1）创建气瓶损伤断裂与燃爆致灾后果多场耦合预测技术，实现了气瓶事故灾变全过程分析与后果的精准预测评估；（2）首创多场景、全尺寸气瓶燃爆实物试验及测试分析技术，为气瓶燃爆致灾评估模型与事故调查分析提供了核心数据支撑；（3）建立含缺陷气瓶极限承载压力预测方法并开发评价软件，实现了含缺陷气瓶适用性与安全性的快速有效评定；（4）开发气瓶全生命周期管理数据库，实现了新疆全域内气瓶从设计到报废阶段的数字化管理。。

项目获授权发明专利3件、实用新型专利3件；登记软件著作权6项；制订国家标准1项、新疆维吾尔自治区地方标准2项；发表论文16篇，其中SCI收录4篇。项目研究成果在国内多家气瓶生产、检验企业推广应用，近三年直接新增销售额约2.13亿元，新增利润约0.43亿元。同时，研究成果的推广应为气瓶安全评定和应急管理等提供技术保障，推动了安全工程技术进步，社会效益更加显著。

同意提名该项目为新疆维吾尔自治区科技进步三等奖。

**三、项目简介**

钢制气瓶是一种用于储存和运输压缩气体或者液化气体的容器，广泛应用于工业、医疗和居民生活等领域。截止2022年年底，我国气瓶数量达到2.35亿支，气瓶流动性强、监管难度大，不当使用可能导致气体泄漏、爆炸和压力失控等风险。近年来气瓶安全事故频发，2023年银川“6.21”特别重大事故因液化石油气瓶泄漏引发爆炸导致38人伤亡，不仅民众生命财产安全遭受损失，而且危害公共安全和影响社会稳定。目前我国的气瓶管理主要以定期检验方式为主，气瓶安全使用和风险管控面临严峻挑战：一是气瓶灾变过程机理不明确，缺陷动态扩展和致灾后果缺乏分析预测手段；二是气瓶介质易燃易爆压力高，全尺寸燃爆试验和毁伤效应测试难度大，安全距离设计和应急方案缺乏实物试验数据支撑；三是目前的压力容器安全评定方法不能完全适用于气瓶，评价精度和效率低；四是气瓶种类多、数量大且分布广泛，从设计到报废全生命周期海量数据亟需数字化管理手段。

本项目在国家重点研发计划、国家自然科学基金和自治区质量技术监督局科研项目持续支持下，历经多年科研攻关和工程应用，突破了气瓶动态损伤与致灾后果分析预测、燃爆实物试验、缺陷适用性评价、全生命周期数据库开发等关键技术，取得了四项创新成果。

**（1）创建气瓶损伤断裂与燃爆致灾后果多场耦合预测技术，实现了气瓶事故灾变全过程分析与后果的精准预测评估。**

建立了基于高应变率下材料失效机理与流固耦合的气瓶筒体爆炸动态断裂行为预测模型及方法，实现了裂纹动态扩展过程在微秒时间尺度的解析，断裂形貌预测精度由现有公开研究的72%提升至86%。开发了气瓶筒体燃爆致灾后果多物理场耦合分析预测技术，实现了气瓶动态断裂与冲击波时空演化的耦合模拟，明确了气瓶燃爆事故致灾动力学过程，冲击波超压预测精度提升至91%。

**（2）首创多场景、全尺寸气瓶燃爆实物试验及测试分析技术，为气瓶燃爆致灾评估模型与事故调查分析提供了核心数据支撑。**

以阀门密封完整性失效、运输过程中撞击失效和池火灾下失效等事故场景为研究对象，首次完成了密闭和开放空间下泄漏、冲击破裂和连续加热工况的液化石油气瓶全尺寸燃爆试验，测试并评估了燃爆毁伤效应，形成了液化石油气瓶燃爆试验能力。建立了液化石油气钢瓶的燃爆事故后果影响评估工程模型，模拟评估值与实测值最大偏差为7.7%。

**（3）建立含缺陷气瓶极限承载压力预测方法并开发评价软件，实现了含缺陷气瓶适用性与安全性的快速有效评定。**

针对传统经验公式法对含缺陷气瓶极限承载压力适用性差、预测精度低的瓶颈难题，基于弹塑性本构关系与弧长迭代法构建了含缺陷气瓶极限承载压力数值分析与预测模型，对不同缺陷气瓶极限承载压力的预测精度≥92%。针对气瓶中的裂纹、外表面凹坑、气孔或夹渣等主要缺陷，建立了平面型缺陷和体积型缺陷的评价方法并开发软件。

**（4）开发气瓶全生命周期管理数据库，实现了新疆全域内气瓶从设计到报废阶段的数字化管理。**

根据气瓶的结构类型、制造工艺、材料特性、缺陷类型、失效模式及灾害特点，开发了气瓶的全生命周期数据库，实现对气瓶在设计、制造、检验、使用、报废五个阶段全生命周期的信息数据集中管理。

本项目获授权发明专利3件、实用新型专利3件；登记软件著作权6项；制订国家标准1项、新疆维吾尔自治区地方标准2项；发表论文16篇，其中SCI收录4篇。项目研究成果在国内气瓶生产、检验企业推广应用，近三年直接新增销售额约2.13亿元，新增利润约0.43亿元，同时，研究成果的推广应用有效防止气瓶事故危害，为气瓶安全评定和应急管理等提供技术保障，推动了安全工程技术进步，社会效益更加显著。

**四、推广应用情况**

2020年-2022年项目研究成果在国内多家气瓶生产、检验企业推广应用，近三年直接新增销售额约2.13亿元，新增利润约0.43亿元。其中：

“全尺寸气瓶燃爆实物试验”、“全生命周期管理数据库”和“含缺陷适用性评价方法及软件”研究成果全面应用于新疆正合通安检测技术服务有限公司气瓶检验和试验研究过程，近三年累计检测气瓶15万只，销售气瓶管理和评价软件30套，开展气瓶全尺寸试验5次，累计新增销售额1960万元，新增利润392万元。

“全生命周期管理数据库”和“含缺陷适用性评价方法及软件”研究成果全面应用于新疆丰隆皓燃气设备有限公司公司气瓶销售及服务，近三年累计销售气瓶2500只、代理销售气瓶管理和评价软件25套，累计新增销售额1300万元，新增利润260万元。

“全生命周期管理数据库”和“含缺陷适用性评价方法及软件”全面应用于气瓶生产公司气瓶生产制造和管理过程，衡阳金华高压容器股份有限公司近三年销售气瓶6万余只，新增销售额11050万元，新增利润2210万元；陕西安嘉安压力容器有限公司近三年销售气瓶58万余只，新增销售额11050万元，新增利润2210万元。

研究成果的推广应用有效防止气瓶事故危害，为气瓶安全评定和应急管理等提供技术保障，推动了安全工程技术进步，社会效益更加显著。

**五、主要知识产权证明目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **知识产权类别** | **具体名称** | **国家** | **授权号（标准编号、论文年卷页）** | **授权日期** | **证书编号（标准批准发布部门、期刊名）** | **权利人（标准起草单位、论文发表单位）** | **发明人（标准起草人、论文作者）** |
| 1 | 发明专利 | 阀门压力性能测试系统及方法 | 中国 | ZL201811531921.5 | 2022-03-29 | 5036642 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司 | 张庶鑫；李丽锋；罗金恒；武刚；李亚军 |
| 2 | 发明专利 | 基于小波变换融合盲源分离算法的泄漏声波特征提取方法 | 中国 | ZL202210027822.3 | 2023-05-16 | 5979409 | 中国石油大学（华东） | 杜洋；刘元琦；夏明川；张倩；蒋文春；王炳英；付成建；白江坤 |
| 3 | 发明专利 | 一种根据管道裂纹渐进扩展距离计算内部爆炸载荷速率的方法 | 中国 | ZL201910662005.3 | 2020-04-17 | 3759662 | 中国石油大学（华东） | 杜洋；周凡；胡炜；郑立博 |
| 4 | 实用新型 | 一种液化石油气瓶水压爆破试验瓶体注水排气装置 | 中国 | ZL202020915449.1 | 2020-03-30 | 12799082 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司 | 吉楠；**罗金恒；**李丽锋；**李保绪** |
| 5 | 国家标准 | 汽车用压缩天然气金属内胆纤维环缠绕气瓶定期检验与评定 | 中国 | GB/T24162-2022 | 2022-07-11 | 国家市场监督管理总局国家标准化管理委员会 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 杨明高；韩冰；李强；**李保绪**；李辉；李斌；杨树军；赵云峰；戴行涛 |
| 6 | 地区标准 | 焊接绝热气瓶定期检验与评定 | 中国 | DB65/T3903-2016 | 2016-07-01 | 新疆维吾尔自治区质量技术监督局 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | **李保绪；**孙建成；马寅昌；李莎；阿里玛斯·阿里木；**王亮**；高萍；朱光艺；马丽娟；**高超；王琨博；**苏来曼·牙库甫；罗卫亮；王潇；郭疆；李鹏；张红霞；陈江；白学科；金晓明；周飞；李嘉楠；赵振虎 |
| 7 | 计算机软件著作权 | 气瓶检测数据采集处理系统 V1.0 | 中国 | 2016SR133368 | 2016-06-06 | 01067733 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | **王亮；李保绪；**孙建成；张荣华；张文华 |
| 8 | 论文 | Prediction of residual burst strength for composite pressure vessels after low velocity impact | 英国 | 2020年第45卷 | 2020-04-01 | International Journal of Hydrogen Energy | 中国石油大学（华东） | Binbin Liao；**Yang Du**；Jinyang Zheng；Dongliang Wang；Yuan Lin；Ran Tao；Chilou Zhou |
| 9 | 论文 | Coupled simulation of explosion-driven fracture of cylindrical shell using SPH-FEM method | 英国 | 2016年第139卷 | 2016-03-11 | International Journal of Pressure Vessels & Piping | 中国石油大学（华东） | **Yang Du**；Li Ma；Jinyang Zheng；Fan Zhang；Anda Zhang |
| 10 | 论文 | CNG储气瓶物理爆炸裂纹动态扩展特性 | 中国 | 2019年第41卷 | 2019-07-01 | 油气储运 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司中国石油大学（华东） | 李丽锋；**罗金恒**；张超；**杜洋；**吉楠 |

**六、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **完成人** | **排名** | **行政职务** | **技术职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对本项目贡献** |
| 1 | 李保绪 | 院长助理 | 正高级工程师 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 1、担任课题负责人，主持课题顶层设计、负责课题主要研究工作，协调解决课题研究中关键问题2、对1、2、3、4项创新内容作出贡献 |
| 2 | 罗金恒 | 副总工程师、所长 | 正高级工程师 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司 | 1、主要完成人2、创新点2、3、4有重要贡献，负责设计全尺寸气瓶燃爆实物试验，建立含缺陷气瓶极限承载压力预测方法，完成了气瓶全生命周期管理数据库顶层设计 |
| 3 | 武 刚 | 无 | 高级工程师 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司 | 1、项目主要完成人2、创新点2、3有重要贡献，开展气瓶燃爆实物试验及测试分析，开发气瓶缺陷适用性评价软件 |
| 4 | 王 亮 | 副院长 | 提高待遇高级工程师 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 1、项目主要完成人2、创新点3、4有重要贡献，负责气瓶缺陷适用性评价技术和全生命周期管理数据库工业化应用 |
| 5 | 杜 洋 | 无 | 副教授/博导 | 中国石油大学（华东） | 中国石油大学（华东） | 1、项目主要完成人2、创新点1、3有重要贡献，负责开发基于高应变率下材料失效机理与流固耦合的气瓶筒体爆炸动态断裂行为预测技术；负责开发气瓶筒体燃爆致灾后果多物理场耦合分析预测技术 |
| 6 | 王琨博 | 所长 | 高级工程师 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 1、项目主要完成人2、创新点4有重要贡献，负责研制全生命周期管理数据库 |
| 7 | 高 超 | 副所长 | 高级工程师 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 1、项目主要完成人2、创新点3、4有重要贡献，参与气瓶缺陷适用性评价全生命周期管理数据库开发 |

**七、主要完成单位及创新推广贡献**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 主要完成单位 | 创新推广贡献 |
| 1 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院作为本项目的牵头单位，负责项目的顶层设计、技术论证和组织协调，围绕钢制气瓶安全评定技术需求，取得四项创新成果：（1）突破复杂条件下气瓶动态损伤断裂与燃爆致灾后果分析预测技术；（2）首创多场景、全尺寸气瓶燃爆实物试验及测试分析技术；（3）建立含缺陷气瓶极限承载压力预测方法并开发评价软件；（4）创建移动式气瓶全生命周期数据库，并实现工业化应用。 |
| 2 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司 | 中国石油集团工程材料研究院有限公司作为本项目的主要完成单位，围绕钢制气瓶安全评定技术需求，持续开展科研攻关，为本项目做出以下贡献：（1）设计完成了密闭和开放空间下泄漏、冲击破裂和连续加热工况的液化石油气瓶全尺寸燃爆试验，测试并评估了燃爆毁伤效应；（2）建立含缺陷气瓶极限承载压力预测方法，针对气瓶中的裂纹、外表面凹坑、气孔或夹渣等主要缺陷，建立了评价方法并开发软件；（3）完成气瓶全生命周期数据库顶层设计。 |
| 3 | 中国石油大学（华东） | 中国石油大学（华东）作为本项目的主要完成单位，长期、持续开展移动式压力容器及气瓶极限承载能力、失效行为及后果预测与评估研究，为本项目做出以下贡献：（1）研发了气瓶筒体爆炸裂纹动态扩展及分叉行为预测技术，实现了气瓶断裂破坏形貌的有效预测；（2）开发了气瓶爆炸冲击波超压多物理场耦合预测技术，突破了气瓶爆炸后果与致灾效应精准评估难题。 |

1. **完成人合作关系说明**

1、专利合作：2016年起-2022年8月，李保绪、罗金恒、武刚等开展气瓶燃爆试验研究工作，合作申报并授权“阀门压力性能测试系统及方法”发明专利1项；李保绪、罗金恒合作申报并授权“一种液化石油气瓶水压爆破试验瓶体注水排气装置”实用新型专利1项；

2、论文合作：2016年起-2022年8月，李保绪、罗金恒、武刚、杜洋、高超等开气瓶安全评定方法研究工作，罗金恒、杜洋合作发表“CNG储气瓶物理爆炸裂纹动态扩展特性”论文，李保绪、高超、罗金恒合作发表“液化石油气钢瓶残余应力测试分析”和“移动式气瓶本质安全研究进展”论文等，完成人共计合作发表5篇；

3、标准合著：2016年起-2022年8月，李保绪、王亮、高超、王琨博等开展气瓶检测及评定研究工作，李保绪、王亮、高超、王琨博合作发布标准“DB65/T3903-2016 焊接绝热气瓶定期检验与评定”1项，李保绪、王亮、合作发布标准“DB65/T 3767—2015 汽车用液化天然气（LNG）气瓶定期检验与评定”1项；

4、项目合作：2018年至2019年，新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院和中国石油集团工程材料研究院有限公司合作完成《液化石油气气瓶安全评价及致灾影响范围研究》技术开发项目；2019年至2020年，中国石油集团工程材料研究院有限公司和中国石油大学（华东）合作完成《局部减薄油气储罐爆破压力预测与爆炸后果分析评估》技术服务项目。

项目成果是研究团队共同合作协同攻关的结果，通过在气瓶生产、检测单位推广应用，结合现场应用反馈情况，项目成员不断深化研究内容、形成新的成果，并继续进行现场推广应用和效果分析，制定多项标准，发表了大量科研论文，本项的成果是所有完成人共同努力的结果。

**九、知情同意证明**

