

一、项目名称

地上石油储库完整性关键技术及规模应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省科学技术厅

提名意见：我国已建成近 7000 座大型油气储库，单罐容积最高达 20 万方，作为国家石油储备体系的核心基础设施，其安全运行事关能源供给安全与战略全局。本项目针对我国大型储罐安全运行中存在的缺陷检测手段不足、在线监测手段缺失、多灾种预警应急能力薄弱、信息化管理滞后等关键技术难题，通过多年攻关，突破了储罐底板与壁板缺陷在线检测、沉降与泄漏分布式光纤在线监测、多灾种预警与智能应急、储库安全保障大数据一体化平台等完整性关键技术，取得了四项创新成果：一是创建了储罐底板与壁板缺陷在线检测技术，实现了储罐由定期检验维护向基于风险的检测评估转变；二是研制了基于分布式光纤传感的储罐泄漏与沉降在线监测系统，实现了泄漏与位移多参量实时监测预警；三是建立了储罐多灾种预警与智能应急技术体系，实现了储罐火灾、溢油与雷电风险的预警与快速响应；四是构建了储库安全保障大数据一体化平台，实现了地上石油储库全生命周期完整性管理。经专家鉴定，研究成果整体达到国际先进水平。研究成果在中石油新疆油田、国家管网西部管道、国家管网北方管道等企业 90 余座万方以上大型原油储罐应用，近三年取得直接经济效益 4.05 亿元。成果推广应用显著降低了储罐泄漏风险与事故发生率，进一步完善了储罐设施失效控制与原油储库完整性管理技术体系，推动了我国能源储备安全领域的技术进步，社会效益显著。

推荐该项目为陕西省科技进步一等奖。

三、项目简介

我国已建成近 7000 座大型油气储库，单罐容积最高达 20 万方，作为国家石油储备体系的核心基础设施，其安全运行事关能源供给安全与战略全局。近年来，储罐事故频发，造成重大生命财产损失；加之储库多临江沿海，环境敏感、人口密集，事故极易演变为跨区域生态灾难与公共安全危机。当前，罐区正向“超大容量、复杂环境、多品混存”演进，缺陷检测难、风险控制难、公共安全管控难“三难”问题突出，传统技术体系难以为继。攻克大型储库本质安全关键技术，已成为保障国家能源安全、支撑行业高质量发展的紧迫战略需求。自 2016 年以来，在国家重点研发计划及多项企业科研项目持续支持下，通过近十年多学科联合攻关与工程实践，突破了储罐底板与壁板缺陷在线检测、沉降与泄漏分布式光纤在线监测、多灾种预警与智能应急、储库安全保障大数据一体化平台等完整性关键技术，构建了覆盖检测、监测、预

警与管理的储库完整性技术体系，取得四项创新成果：

（1）创建了储罐底板与壁板缺陷在线检测技术，实现了储罐由定期检验维护向基于风险的检测评估转变。

（2）研制了基于分布式光纤传感的储罐泄漏与沉降在线监测系统，实现了泄漏与位移多参量实时监测预警。

（3）建立了储罐多灾种预警与智能应急技术体系，实现了储罐火灾、溢油与雷电风险的预警与快速响应。

（4）构建了储库安全保障大数据一体化平台，实现了地上石油储库全生命周期完整性管理。

本项目获授权发明专利 38 件，标准 5 部（国家标准 1 部），发表论文 60 篇（SCI/EI 27 篇）。成果在中石油新疆油田、国家管网西部管道、国家管网北方管道等企业 90 余座万方以上大型原油储罐应用，近三年取得直接经济效益 4.05 亿元，有效降低储罐泄漏风险与事故率，为国家能源安全发展战略提供了重要技术支撑和保障。

四、客观评价

1、专家评审意见

（1）成果鉴定结论

2023 年 5 月 21 日，中国石油化学工业联合会在北京组织专家，对中国石油大学（北京）牵头、中国石油集团工程材料研究院有限公司（课题牵头）等单位参加完成的“石油天然气储（备）库安全保障关键技术与装备及应用”进行了科技成果鉴定。黄维和院士、彭苏萍院士、张来斌院士、路保平、钱建华、黄辉、卜文平、崔红升、王文中共 9 位专家组成鉴定委员会，听取了成果汇报，审阅了相关技术资料，经质询和讨论，认为：项目成果整体达到国际先进水平。

（2）项目验收评价

2021 年 9 月 19 日，国家重点研发计划“公共安全风险防控与应急技术装备”重点专项“国家石油及天然气储备库安全保障技术与装备研发”项目在北京组织专家，对中国石油集团工程材料研究院有限公司牵头完成的“原油天然气储罐及附属管道、辅助设施安全评定与风险评价预警研究”进行了课题综合绩效评价。彭苏萍院士、孙丽丽院士、张来斌院士、李爱民、钱建华、钱新明、祝保利、黄辉、王文中、束学道共 9 位专家组成鉴定委员会。课题完成了任务书规定的研究内容，指标达到考核要求，实现预期研究目标，材料完整规范，建立了相关的管理制度，过程管理和质量控制良好，符合绩效评价要求。课题针对原油天然气储罐及附属管道、辅助设施安全评定与风险评价预警方法开展研究，提出了多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法、形成了基于多因素耦合作用的原油储罐安全评价软件；研制了应变监测装置及沉降监测装置；构造了原油储罐风险评价管理数据库、形成了完善的

原油储罐定量风险评价技术；建立了原油储罐各类典型事故风险分级预警模型；研制了罐体泄漏在线监测系统。课题的成果为“国家石油及天然气储备库安全保障技术与装备研发”项目提供理论基础和技术支撑。随后，中国 21 世纪议程管理中心对中国石油大学（北京）牵头、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司（课题牵头）、中国石油集团工程材料研究院有限公司（课题牵头）等单位参加完成的“石油天然气储（备）库安全保障关键技术与装备及应用”进行项目验收，认为项目组织管理规范，人才培养、专利、论文、软著达到了任务书的要求；项目完成了任务书所规定的各项研究内容和考核指标。

2、查新结果

教育部科技查新工作站编号为 20233600SH010015 的科技查新报告的查新结论：本项目提出的基于大数据的战略储（备）库全生命周期数据库技术，国内外公开发表的相关文献中未见报道。陕西省科学技术情报研究院编号为 CX20211102095 的科技查新报告的查新结论：本项目提出的耦合不均匀沉降、残余应力因素的储罐裂纹和腐蚀缺陷安全评价方法以及储罐风险评估和大修周期优化技术，国内外公开发表的相关文献中未见报道。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

本项目形成了技术成果已在中石油、国家管网多家管道企业形成规模应用。具体情况如下表所示。

序号	单位名称	应用技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	国家管网集团 联合管道有限公司西部 分公司	多因素耦合作用 下原油储罐安全 评价方法、原油 储罐定量风险评 价技术	鄯善国家储备库 28 座万方以上储 罐风险评估及大修 周期优化、不均匀 沉降安全评价	2023 年- 2025 年	梁柯/13139662056

2	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法、原油储罐定量风险评价技术	塔里木油田 12 座储罐 应力腐蚀敏感性试验、储罐风险评估及大修周期优化	2023 年-2025 年	黄明基 /15899005192
3	唐山市神州科贸有限公司	储罐沉降与泄漏监测系统	2 座 2 万方新建储罐搭建储罐沉降与泄漏监测系统	2023 年-2025 年	李静/13931502650
4	中科智宇（寿光）安全技术有限公司	全生命周期数据库、安全保障一体化管控平台	储罐信息化管理技术服务项目 10 余项	2023 年-2025 年	桂香/18753641256
5	北京奥蓝仕技术有限公司	原油储罐定量风险评价技术	储罐风险评级技术服务项目	2023 年-2025 年	周俊/15689886372
6	北京东方嘉力信息科技有限公司	储罐安全保障一体化管控平台	储罐信息化管理技术推广	2023 年-2025 年	刘立南 /19558502208
7	中国石油集团工程材料研究院有限公司	多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法、原油储罐定量风险评价技术	储罐在线检测及评价技术服务项目 18 项，其中成果转化合同 10 项	2017 年-2025 年	李波/13700225236

2. 经济效益和社会效益

（一）经济效益：

本成果采用边开发、边应用的模式，研究成果已在国家管网西部管道、塔里木油田、唐山市神州科贸有限公司、中科智宇（寿光）安全技术有限公司、北京奥蓝仕技

术有限公司和北京东方嘉力信息科技有限公司规模应用，近3年累计经济效益4.05亿元，经济效益显著。

1) 国家管网集团联合管道有限责任公司西部分公司

2023年至2025年，采用原油储罐定量风险评价方法实现了储罐大修科学排序与检修周期的安全延长，多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法实现快速准确判定不均匀沉降储罐安全级别。完成了鄯善储备库28座储罐全面风险评估工作，沉降评价、风险评估均可先于开罐检测实施，通过主动预防手段，累计可为企业节省费用约4293万元。

2) 中国石油股份有限公司塔里木油田分公司

2023年至2025年，针对轮南储运中心储罐裂纹型缺陷问题，完成了12座储罐全面风险评估工作，依据评估结果可以有效制定合理的开罐检修顺序，并对无法按时大修的储罐延期大修提供评估依据，为企业节省各类维护、维修费用和避免安全事故费用合计3800万元。

3) 唐山市神州科贸有限公司

2023年至2025年，采用本项目研制储罐沉降与泄漏监测系统，针对原油储罐底板腐蚀、沉降风险高，尚无有效监测手段难题，在新疆油田2座2万方新建储罐搭建储罐沉降与泄漏监测系统（国内首次），系统投用以来，运行稳定。获得服务收入，包括工程设计、产品销售、工程安装、维护保养等5000万元，避免安全事故节省费用2000万元，总计7000万元。

4) 中科智宇（寿光）安全技术有限公司

2023年至2025年，采用本项目研制大型储罐全生命周期数据库以及安全保障一体化管控平台，先后应用于公司多项技术服务项目中，整体应用效果良好。经测算近三年，为公司新增销售额8166万元。

5) 北京奥蓝仕技术有限公司

2023年至2025年，采用本项目研发的国产储罐风险评估软件，针对储罐超期服役问题，创新性地将在线检测、风险评价、飞检结果结合，实现储罐风险管理、大修科学排序、合理延长检修周期，先后应用于公司多项技术服务项目中，近三年来新增销售额8456万元。

6) 北京东方嘉力信息科技有限公司

2023年至2025年，采用本项目研发储罐安全保障一体化管控平台油品储罐推广应用，解决了储库重大事故的预测、应急资源科学调配等难题。近三年来新增销售额6868万元。

7) 中国石油集团工程材料研究院有限公司

2017 年至 2025 年,中国石油集团工程材料研究院采用本项目开发的储罐风险评估和安全评价软件为储罐大修周期制定和完整性管理提供决策支持,支撑储罐数字化管理发展,保障储罐运行安全。近三年来与外部单位签订技术服务合同 18 份,合同总金额 1917 万元。2022 年“原油储罐风险评估及安全评价技术”通过中国石油集团对外技术许可,列入集团“科改企业”可推广技术目录。至今已签订转化合同 10 份,实现了科研成果转化与应用。

(二) 社会效益:

本项目形成的储罐多因素耦合安全评价方法、定量风险评价技术、沉降与泄漏在线监测系统及安全保障一体化管控平台,为我国石油储罐风险防控与精细化管理提供了关键技术支撑,推动了安全工程技术进步与发展。

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

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	基于条件自编码器的储油罐罐壁缺失信号恢复方法及装置	中国	ZL2021116060619	2025. 8. 12	8151020	中国石油集团工程材料研究院有限公司	罗金恒;武刚;张庶鑫;李丽锋;谢书懿;朱丽霞
2	发明专利	储油罐罐壁腐蚀检测方法、装置、设备及可读存储介质	中国	ZL2021116060572	2025. 11. 14	8441042	中国石油集团工程材料研究院有限公司	武刚;张庶鑫;罗金恒;李丽锋;朱丽霞;谢书懿
3	发明专利	带保温层储罐的三维激光扫描变形检测装置及方法	中国	ZL2018105470571	2020. 04. 10	3749542	中国石油天然气股份有限公司 中国石油集团安全环保技术研究院有限公司	刘文才;郝笑笑;王其华;赵永涛;孙秉才;吴祚祥;罗方伟;张雪;李佳宜
4	发明专利	一种储罐检测装置及方法	中国	ZL201710346386. 5	2019. 08. 06	3480528	中国石油天然气集团公司 中国石油集团安全环保技术研究院	刘文才;王其华; 罗方伟;李墨松; 赵永涛;孙秉才; 胡家顺;杨光福; 魏振强; 张雪; 李佳宜
5	发明专利	一种罐体沉降监测装置及监测方法	中国	ZL2020110166422	2024. 11. 22	7549005	唐山市神州科贸有限公司	丁志国; 高峰; 董绍华; 杨智伟; 王有力; 刘大智; 盛志勇; 龚占龙; 张君; 张运涛; 杨峥
6	发明专利	一种光纤传感探头及其使用方法	中国	ZL2016103435926	2019. 01. 11	3213520	中国石油大学（北京）	董绍华;宋晓波;王有利;王东营; 高峰; 刘康琳
7	发明专利	用于外浮顶原油储罐的压缩空气泡沫智能消防装置	中国	ZL2018104358945	2020. 05. 22	3807928	中国石油大学（北京）	张行;董绍华;卢娜;张仕民;朱霄霄
8	发明专利	一种储油罐溢油预警方法及预警终端	中国	ZL201911279369X	2022. 03. 08	4981199	中国石油天然气股份有限公司	阎红巧;冒亚明;吴顺成;余飞;王顺义;赵刚;田琨;王伟;李剑

							中国石油集团安全环保技术研究院有限公司	颖;厉彦柏;栗玉华;袁立凡
9	发明专利	一种地基沉降情况下的储罐安全评价方法和装置	中国	ZL2021115246076	2024. 12. 13	7595622	中国石油大学（北京）	陈严飞;倪恒;董绍华;阎宇峰;马尚;娄方宇;刘宇;陈胜军
10	标准	地上石油储（备）库完整性管理规范	中国	GB/T 42097-2022	2022. 12. 30	国家市场监督管理总局 国家标准化管理委员会	国家石油储备中心、中国石油大学（北京）、国家石油天然气管网集团有限公司、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、中国石化工程建设有限公司、中国石油集团工程材料研究院有限公司、中油龙慧自动化工程有限公司、管网集团（徐州）管道检验检测有限公司、国家管网集团（福建）应急维修有限责任公司、安科工程技术研究院（北京）有限公司、中化兴中石油转运（舟山）有限公司、国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司、国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司、中国石油天然气管道工程有限公司、中国石化销售股份有限公司华南分公司、中科智宇（寿光）安全技术有限公	董绍华、马端祝、李浩、郭静波、罗金恒、王建国、卢成钢、王振声、吴世勤、田中山、谢书懿、李凤、武刚、戴丽平、杨志华、徐洪涛、李庆、马聪、刘保余、吉立东、侯磊、张行、徐叶新、王修云、张文伟、王维斌、吴锦强、孙伟栋、刘胜、杨永和、谢成、朱喜平、余东亮、程万洲、王晓霖、何明俊、李丽锋、朱丽霞、李明、苏军、韩烨、张彤翼、李伟、李玉星、李国选、汪月勇、孙玄、彭东华、武志德、樊建春、胡瑾秋、黄启玉、温凯、高富民、魏昊天、王成、傅全乐、张雷、尤泽广、马剑

							司、九江中船长安消防设备有限公司、清华大学、东北石油大学、中国石油大学（华东）、国家管网集团西部管道有限责任公司、中国石油化工股份有限公司大连石油化工研究院、国家管网集团西南管道有限责任公司	
--	--	--	--	--	--	--	---	--

七、主要完成人情况表

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
罗金恒	1	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	负责项目的总体方案制定及具体实施，对创新点 1. 2. 3. 4 均做出贡献。建立了多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法并开发软件；建立原油储罐定量风险评价及分级预警技术并推广应用；组织开展国内首次完成新建原油储罐沉降与泄漏监测系统开发与搭建。
董绍华	2	主任	教授	中国石油大学（北京）	中国石油大学（北京）	负责全生命周期数据库和储库安全保障一体化管控平台开发，参与了储罐沉降安全评价方法的研究，对创新点 3. 4 做出贡献。
武刚	3	无	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	负责多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法并开发软件，组织开展国内首次完成新建原油储罐沉降与泄漏监测系统开发，对创新点 1. 2. 4 做出贡献
王维斌	4	所长	正高级工程师	国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司	国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司	负责原油储罐定量风险评价及大修周期优化技术的推广应用，建立了储罐多源数据管理系统，对创新点 1. 4 做出贡献。
丁志国	5	总经理	高级工程师	唐山市智明电子科技有限公司	唐山市智明电子科技有限公司	参与储罐沉降与泄漏监测系统开发与搭建工作，包括分布式光纤传感技术方案设计、样机元器件选型及器件性能基础测试、系统研制和现场实施工作，对创新点 2 做出贡献。

李丽锋	6	副所长	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	参与多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法并开发软件，建立了储罐材料失效评估曲线，对创新点 4 做出贡献。
刘文才	7	副主任	高级工程师	中国石油集团安全环保技术研究院有限公司	中国石油集团安全环保技术研究院有限公司	负责储罐底板与壁板缺陷在线检测技术研究，对创新点 1 做出贡献。
周会萍	8	科长	高级工程师	国家管网集团联合管道有限责任公司西部分公司	国家管网集团联合管道有限责任公司西部分公司	参与原油储罐定量风险评价技术研究并负责在鄯善国家储备库推广应用，对创新点 1 做出贡献。
张庶鑫	9	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	负责原油储罐定量风险评价技术研究，在国家管网、中石油储罐推广应用，参与了多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法相关研究和试验工作，对创新点 1.4 做出贡献。
杨玉锋	10	无	高级工程师	国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司	国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司	参与原油储罐定量风险评价及大修周期优化技术的推广应用，建立了储罐多源数据管理系统，对创新点 1.4 做出贡献。
张行	11	无	教授	中国石油大学（北京）	中国石油大学（北京）	负责压缩空气泡沫智能消防系统研制，参与全生命周期数据库和储库安全保障一体化管控平台开发，对创新点 3、4 做出贡献。
谢书懿	12	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	参与多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法并开发软件，开展了储罐焊缝残余应力测试和分析工作，对创新点 4 做出贡献。
朱丽霞	13	无	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	参与储罐失效案例库建立和原油储罐定量风险评价技术研究，对创新点 1 做出贡献。

陈严飞	14	无	教授	中国石油大学（北京）	中国石油大学（北京）	参与全生命周期数据库和储库安全保障一体化管控平台开发，对创新点 4 做出贡献。
阎红巧	15	无	高级工程师	中国石油集团安全环保技术研究院有限公司	中国石油集团安全环保技术研究院有限公司	参与储库多灾种预警与智能应急技术体系研究，对创新点 3 做出贡献。

八、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	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牵头单位，负责项目的顶层设计、技术论证和组织协调，围绕大型储罐完整性关键技术需求，取得三项创新成果：（1）建立多因素耦合作用下储罐安全评价方法并开发软件；（2）建立储罐定量风险评价及分级预警技术并推广应用；（3）组织开展国内首次完成新建储罐沉降与泄漏监测系统开发与搭建。
2	中国石油大学（北京）	协助第1完成单位完成相关技术的研发及推广应用，参与了储罐安全评价方法研究并开发软件，负责开发了全生命周期数据库以及安全保障一体化管控平台，研制了固定式压缩空气泡沫智能消防系统，牵头制定了国家标准《地上石油储（备）库完整性管理规范》。
3	国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司	协助第1完成单位完成相关技术的研发及推广应用，参与了储罐底板与壁板缺陷在线检测技术的研究，提出了基于多源数据融合的储油罐溢油风险预警方法。
4	中国石油集团安全环保技术研究院有限公司	协助第1完成单位完成相关技术的研发及推广应用，参与了储罐安全评价方法研究并开发软件，
5	唐山市智明电子科技有限公司	协助第1完成单位完成相关技术的研发及推广应用，参与了储罐沉降与泄漏监测系统开发与搭建工作，包括分布式光纤传感技术方案设计、样机元器件选型及元器件性能基础测试、系统研制和现场实施工作。
6	国家管网集团联合管道有限责任公司西部分公司	协助第1完成单位完成相关技术的研发及推广应用，负责完成了鄯善储备库28座储罐全面风险评估工作，采用储罐定量风险评价方法实现了储罐大修科学排序与检修周期的安全延长，采用多因素耦合作用下储罐安全评价方法实现不均匀沉降储罐安全级别的快速准确判定。

九、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

共同参与制定标准规范：2017 年 7 月起至 2022 年 12 月，中国石油集团工程材料研究院有限公司罗金恒、武刚、李丽锋、朱丽霞，中国石油大学(北京)董绍华、谢书懿，唐山市智明电子科技有限公司丁志国和国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司王维斌、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司刘文才共同参与承担了国家重点研发计划《国家石油及天然气储备库安全保障技术与装备研发》，其中中国石油大学北京为项目牵头单位，中国石油集团安全环保技术研究院有限公司为课题一牵头单位，中国石油集团工程材料研究院有限公司为课题四牵头单位，唐山市智明电子科技有限公司为课题四参研单位。董绍华、罗金恒、武刚、张行、谢书懿、朱丽霞、李丽锋、王维斌等人共同制定了国家标准“GB/T42097-2022 地上石油储（备）库完整性管理规范”。

共同知识产权：2020 年 9 月起至 2024 年 11 月，丁志国和董绍华共同申报并授权发明专利“一种罐体沉降监测装置及监测方法”。

共同知识产权：2021 年 12 月起至 2024 年 4 月，王维斌和杨玉锋共同申报并授权发明专利“一种储油罐罐壁腐蚀检测方法及系统”。

共同知识产权：2021 年 12 月起至 2024 年 12 月，陈严飞和董绍华共同申报并授权发明专利“一种地基沉降情况下的储罐安全评价方法和装置”。

共同知识产权：2021 年 12 月起至 2025 年 11 月，武刚和张庶鑫共同申报并授权发明专利“储油罐罐壁腐蚀检测方法、装置、设备及可读存储介质”。

产业合作：2022 年 1 月起至 2024 年 12 月，罗金恒、武刚和周会萍在在国家管网西部管道鄯善储备库开展储罐风险评估、安全评价等方面产业合作和技术推广应用。