

一、h 项目名称

大型储罐完整性关键技术与规模应用

二、提名意见

本项目针对大型储罐安全运行与风险管控中存在的评估方法难以有效指导维检修、在线监测手段缺失、安全评价因素单一且准确性低、信息化管理程度不足等技术难题，突破了储罐定量风险评估、沉降与泄漏在线监测、多因素耦合安全评价及一体化管控平台等完整性关键技术，取得了四项创新成果。经专家鉴定，研究成果达到国际先进水平。项目共获得国家专利 12 件（其中发明专利 10 件），软件著作权 6 项，标准 3 项（国家标准 1 项），发表论文 30 篇（其中 SCI/EI 收录 15 篇）。项目成果已在中国石油新疆油田、国家管网西部管道、北方管道等企业的 80 余座万立方米以上大型原油储罐中得到应用，实现直接经济效益 2.87 亿元。同时，成果的推广应用显著降低了储罐泄漏风险与事故发生率，有力保障了大型储罐服役安全与平稳运行，社会效益尤为显著。本研究进一步丰富和完善了储罐设施失效控制与完整性评价技术体系，推动了安全工程领域的技术进步。

推荐该项目为陕西省科技进步一等奖。

三、项目简介

我国是全球最大的能源生产和消费国，确保能源安全可靠供应事关经济社会健康、可持续发展。储罐作为接收、储存、输送石油化工产品常压容器，是保障国家油气资源和物料储备的重大基础性关键设备。截至目前我国已有近 7000 座大型原油、成品油储罐，单罐容最高达 15 万方。原油、成品油储罐一般具有大型化、集中化、介质易燃易爆、有毒等特点，安全事故时有发生，造成财产损失、环境污染、人员伤亡等一系列灾害性后果。目前我国的大型储罐主要以定期检验和维护维修的管理方式为主，正逐步向数字化、信息化程度更高的完整性管理模式发展，安全运行和风险管控面临严峻挑战：一是部分储罐存在超期服役问题，现有风险评估方法不能有效指导储罐维检修；二是储罐底板泄漏和沉降在线监测手段缺失；三是储罐安全评价方法未考虑缺陷、沉降、附加载荷等多因素耦合作用，评价因素单一且准确度差；四是尚未建立多源数据驱动的一体化管控平台，不满足储罐数字化、智能化管理发展趋势。本项目在国家重点研发计划、企业重点科研项目持续支持下，历经多年科研攻关和工程应用，取得了四项创新成果。

（1）建立了储罐定量风险评估方法，修正管理因子计算方法，开发了国产储罐 RBI 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。

（2）研制了储罐泄漏与沉降在线检测系统，采用罐底“S”型分布式光纤铺设方案和双环感知网络技术，实现了储罐泄漏温差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 工况下的高精度可靠监测，定位精度 1 米；发明了玄武岩长标距光纤传感器，建立了罐底、边缘和罐壁立体协同监测方案，实现沉降监测精度小于 3mm。

（3）提出基于数值模拟和实物试验技术的不均匀沉降评估改进方法；建立高钢级储罐材料 12MnNiVR 失效评估图，首次建立了基于材料-缺陷-载荷储罐多因素安全评价方法。

（4）建立了基于资源、交通量、道路、地形等关键因素的储库应急救援路线优化和应急决策支持模型，开发了全生命周期数据库，以及安全保障一体化管控平台，解决了储库重大事故的预测、应急资源科学调配等难题。

本项目获国家专利 12 件（发明专利 10 件），软件著作权 6 项，标准 3 项（国家标准 1 项），论文 30 篇（SCI/EI 15 篇）。项目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 80 余座万方以上大型原油储罐应用，直接经济效益 2.87 亿元，有效降低了储罐泄漏风险和事故率，为国家能源发展战略提供安全保障和技术支撑。

四、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	一种基于 R 语言的金属拉伸试验方法	中国	ZL2017107205203	2020.01.07	3657816	中国石油天然气集团有限公司;中国石油天然气集团公司管材研究所	张庶鑫;李娜;梁明华;张华;张华佳;任继承
2	发明专利	阀门压力性能测试系统及方法	中国	ZL2018115319215	2022.03.29	5036642	中国石油天然气集团有限公司	张庶鑫;李丽锋;罗金恒;武刚;李亚军
3	发明专利	一种用于超声应力测量法的零应力试样及其制备方法	中国	ZL2020101086433	2024.05.28	7044028	中国石油天然气集团有限公司;中国石油天然气集团公司管材研究所	李丽锋;罗金恒;武刚;王珂;朱丽霞;吴锦强;邹斌;徐春燕
4	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
5	发明专利	一种光纤横向应力探测器	中国	ZL2020113483265	2024.12.27	7632355	唐山市智明电子科技有限公司	丁志国;董绍华;周同;张召;高峰;李向猛;刘大智;盛志勇;龚占龙;张君;张运涛;刘康琳

6	发明专利	一种长距离传感光纤保护装置及保护方法	中国	ZL20211101664 7X	2024.05. 31	7048662	唐山市智明电子科技有限公司	丁志国;刘增良;高峰;周同;丁志通;李贺春;张紫婷;孙贺权;刘大智;盛志勇;龚占龙;张君;张运涛
7	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	ZL20211152460 76	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;姜方宇;刘宇;陈胜军
8	发明专利	一种储油罐罐壁腐蚀检测方法及系统	中国	ZL20211146283 93	2024.04. 05	6863219	国家石油天然气管网集团有限公司;国家管网集团北方管道有限责任公司	王维斌;杨玉锋;张强;林明春;高晞光;刘硕;许琛琛;王春明;张希祥
9	发明专利	一种储油罐罐壁腐蚀检测异常信号恢复方法及系统	中国	ZL20211146397 88	2022.12. 27	5665768	国家石油天然气管网集团有限公司;国家管网集团北方管道有限责任公司	王维斌;杨玉锋;张强;张希祥;高晞光;林明春;王春明;许琛琛;刘硕
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	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

							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	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
--	--	--	--	--	--	--	---	---

							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	
--	--	--	--	--	--	--	--	--

五、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	担任项目组长，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。
王维斌	2	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。
董绍华	3	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	4	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. 3 做出贡献

丁志国	5	总经理	高级工程师	唐山市智能电子科技有限公司	唐山市智能电子科技有限公司	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 3 做出贡献。
王春明	7	处长	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技术研究并负责在北方管道 5 家分公司推广应用, 对创新点 1.4 做出贡献。
亢春	8	首席专家	高级工程师	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	参与多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法研究, 并负责在塔里木油田推广应用, 对创新点 3.4 做出贡献。
杨玉锋	9	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。

张庶鑫	10	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 1.3 做出贡献。
周会萍	11	科长	高级工程师	国家管网集团西部管道有限责任公司	国家管网集团西部管道有限责任公司	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。
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 3 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 3、4 做出贡献。
徐鲁帅	15	无	无	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。

八、主要完成单位及创新推广贡献

序	主要完成单位	创新推广贡献
---	--------	--------

号		
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，取得四项创新成果：（1）首创多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法并开发软件；（2）建立原油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原油储罐沉降与泄漏监测系统开发与搭建。
2	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，参与了原油储罐定量风险评价及大修周期优化技术的推广应用。
3	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，参与了原油储罐安全评价方法并开发软件，开发了全生命周期数据库，以及安全保障一体化管控平台。
4	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、样机元器件选型及器件性能基础测试、系统研制和现场实施工作。
5	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	协助第 1 完成单位完成相关技术的研发及推广应用，参与了多因素耦合作用下原油储罐安全评价方法研究和试验工作。
6	国家管网集团西部管道有限责任公司	协助第 1 完成单位完成相关技术的研发及推广应用，参与原油储罐定量风险评价及分级预警技术研究，并负责在鄯善储备库 28 座储罐全面应用。

六、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

2017 年至 2021 年，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，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共同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参研单位。董绍华、罗金恒、武刚、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”。

2020 年至 2023 年，中国石油集团工程材料研究院有限公司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共同立项并完成“储罐在线检测及 RBI 风险评估（基于风险的开罐策略）”项目研究及应用。王维斌、杨玉锋和王春明等人员开展储罐风险评估技术研究及应用，并申请“一种储油罐罐壁腐蚀检测方法及系统”和“一种储油罐罐壁腐蚀检测异常信号恢复方法及系统”等 2 项发明专利。

2019 年至 2022 年，中国石油集团工程材料研究院有限公司和国家石油天然气管网集团西北联合管道有限责任公司共同立项并完成“原油储罐安全评价和风险监测预警”项目研究及应用。武刚、罗金恒、周会萍、张庶鑫、谢书懿、王维斌、杨玉锋、李丽锋和朱丽霞等人共同制定了团体标准“T/CPSI 01306—2024 原油储罐风险评估和分级预警方法”。

2020 年至 2023 年，中国石油集团工程材料研究院有限公司武刚、张庶鑫和唐山市神州科贸有限公司丁志国共同立项并完成原油储罐分布式光纤罐体沉降与泄漏在线监测系统项目研究并在新疆油田现场应用。

2024 年，中国石油集团工程材料研究院有限公司张庶鑫、武刚和中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司亢春共同立项并完成“储罐裂纹型缺陷机理及检测技术研究”项目研究及应用。