

一、项目名称

油气输送钢管全尺寸断裂试验技术与应用

二、二、提名意见

提名者：陕西省科学技术厅

提名意见：该项目依托我国西气东输管线等重大油气管道建设与安全运行需要，针对高压输送钢管在内压与外载耦合作用下的断裂失效防控及服役安全保障难题，围绕轴向载荷作用钢管全尺寸断裂与评估、内压工况下含缺陷钢管全尺寸爆破、钢管断裂行为高精度原位表征等开展研究。项目阐明了管道裂纹尖端几何约束效应量化机制，自主研发了紧凑拉伸试样连接结构、管道断裂行为高精度监测、含轴向表面型及穿透型裂纹钢管全尺寸爆破试验等一系列新装置与新技术，攻克了含缺陷管道实物断裂参数直接测试的技术瓶颈，首次获得内压载荷下全尺寸钢管断裂阻力曲线，建立了先漏后破准则评估图，填补了国内该领域的技术空白，相关技术要求已纳入多项管道工程企业技术标准，显著提升了我国油气输送钢管实物性能表征能力与安全保障水平，为高压输气管道的设计建设与安全保障提供了核心技术支撑，创造了显著的经济与社会效益。

推荐该项目为陕西省科技进步三等奖。

三、三、项目简介

油气长输管道是国家能源战略的重要通道，为满足苛刻服役工况管道安全防护与稳定运行需求，本项目依托中石油集团科研课题，经过多年攻关研究，在轴向拉伸工况含缺陷钢管断裂行为精准评价、内压载荷下裂纹扩展阻力定量表征、基于电势差与数字图像相关的断裂行为高精度原位监测等方面取得创新成果，填补国内多项空白，授权发明专利 8 件，形成标准 6 项，发表论文 12 篇。主要创新成果如下：

- （1）攻克了轴向拉伸载荷下含缺陷钢管断裂行为评价技术。提出了裂纹尖端几何约束效应量化方法，发明了紧凑拉伸试样连接结构，建立了全尺寸钢管拉伸试验方法，实现了轴向拉伸载荷下含缺陷钢管断裂行为的准确评价；
- （2）攻关形成了内压工况下管道裂纹扩展阻力表征技术，实现了内压工况下管道裂纹扩展阻力的定量表征。首创了含轴向表面型及穿透型裂纹钢管全尺寸爆破试验方法，建立了钢管断裂阻力曲线与先漏后破准则评估图，相关成果纳入高钢级管道技术标准，解决了高钢级大口径管道在我国应用的瓶颈问题；
- （3）发展了基于电势差与数字图像相关的钢管断裂行为高精度监测技术。拓展了电势差法在管道几何中的适用性，并结合数字图像相关全场变形监测技术，实

现了裂纹扩展长度与尖端变形场的原位定量同步测量，为全尺寸断裂试验提供了高精度监测手段。

四、四、客观评价

中国石油天然气集团有限公司科技管理部组织专家对相关内容进行了验收。验收委员会听取了课题组的汇报，审查了提交的验收资料，经过答疑讨论，认为项目形成了油气管道全尺寸轴向加载断裂测试技术、轴向载荷/内压条件下实物钢管断裂行为试验方法等管道断裂试验技术与方法，完成了计划任务书规定的全部研究内容，达到了考核指标要求，同意通过验收。

教育部科技查新工作站(L29)出具编号为 201936000L290047 的查新报告认为：经过检索并对相关文献分析对比结果表明：本项目提出的含缺陷管道环焊缝拉伸变形与断裂的全尺寸测试技术，除该委托项目组发表的文献外，国内外均未见与该查新点相同的文献报道。

五、五、应用情况和效益

1. 应用情况

项目成果已经在国内油田现场及装备制造企业进行应用。具体情况如下表所示。

主要应用单位情况表					
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	巨龙钢管有限公司	管道全尺寸拉伸试验与测试技术	油气输送钢管生产企业，新增销售额 6.03 亿元	2023 年至今	安晓军 18232703116
2	山东胜利钢管有限公司	管道全尺寸断裂试验技术	油气输送钢管生产企业，新增销售额 3.55 亿元	2023 年至今	任波 18615150201
3	中国石油集团工程材料研究院有限公司	管道断裂评价与安全防护技术	油气管道科研与服务企业，注册资金 6.8 亿元	2023 年至今	谢文江 02981887701

2. 经济效益和社会效益

（一）经济效益：

项目建立的全尺寸断裂试验技术体系和标准有效优化了高钢级钢管的选材设计，缩短了钢管产品的研发和验收周期，为钢管制造企业及管道建设运营单位带来了显著的经济效益。

（二）社会效益：

项目研究成果在我国油气管道建设、钢管制造及检测评价领域推广应用，填补了国内外全尺寸钢管断裂试验标准空白，大幅提升了我国油气输送钢管实物性能表征能力和断裂防控技术水平，满足了高钢级大口径高压输气管道的安全设计需求，有力支撑了中俄东线、西气东输四线等国家能源战略通道的建设与安全运行，对保障我国能源供应安全、推动油气管道行业技术进步具有重要意义，创造了显著的社会效益。

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	轴向表面型裂纹钢管爆破试验装置及其断裂阻力评价方法	中国	ZL202011168072.9	2023 年 1 月 10 日	5687559	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	封辉;李鹤;池强;陈宏远
2	发明专利	一种穿透型裂纹钢管爆破试验方法	中国	ZL202010469880.2	2023 年 4 月 25 日	5910826	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	李鹤;封辉;陈宏远;池强;杨扬
3	发明专利	一种紧凑拉伸试样的连接结构及基于其的工作方法	中国	ZL202011331370.5	2024 年 05 月 28 日	7033899	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	封辉;李鹤;马秋荣;池强
4	发明专利	一种基于数字图像相关法的真应力-真应变曲线测试计算方法	中国	ZL202110069989.1	2024 年 09 月 27 日	7406349	中国石油天然气集团有限公司;中国石油集团工程材料研究院有限公司;北京隆盛泰科石油管科技有限公司	高雄雄;杨坤;王磊;王俊;陈宏远;何小东

5	行业标准	油气输送管特殊性能试验方法 第6部分：全尺寸拉伸试验	中国	SY/T 7318.6-2023	2023年10月11日	国家能源局	中国石油集团石油管工程技术研究院、陕西省天然气股份有限公司、中石油北京天然气管道有限公司、西安交通大学、宝山钢铁股份有限公司	封辉、陈宏远、李鹤、刘宇、王俊、池强、等
6	企业标准	油气管道线路工程无缝钢管技术规格书	中国	DEC-OGP-S-PL-025-2022	2022年06月30日	国家石油天然气管网集团有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司、中国石油天然气管道科学研究院有限公司	封辉、王鹏、刘宇、陈越峰、张洪、齐丽华、李为卫、池强等
7	企业标准	西气东输四线天然气管道工程用X80级直缝埋弧焊管技术条件	中国	Q/SY XG 0120.4-2019	2020年09月10日	中国石油西部管道公司	中国石油集团石油管工程技术研究院、西部管道分公司	张伟卫、池强、黄磊、李炎华、杨坤、李鹤、王鹏、李为卫、高雄雄、王磊

8	论文	Weld Crack Detection in Spiral-Welded Pipes by Direct Current Potential Drop method and Backpropagation Neural Network	中国	2025, 136, 104817	2025 年 2 月 11 日	Theoretical and Applied Fracture Mechanics	西安交通大学、中国石油集团工程材料研究院有限公司、意大利米兰理工大学、陕西煤化技术研究院有限公司	孙德鑫、陈玉洁、张臻杰、李群、李鹤、赵悦、侯俊玲
9	论文	Calibrating Johnson' s Formula for Applying DCPD Method to an Axial Through-Wall Crack in a Pipe	中国	2021, 242, 107461	2021 年 3 月 05 日	Engineering Fracture Mechanics	西安交通大学、中国石油集团工程材料研究院有限公司	孙德鑫、李鹤、封辉、李勇、李群
10	论文	Failure Assessment of the Gas Pipeline by Considering the Geometric Constraint Effect	中国	2018, 51869	2018 年 9 月 28 日	International Pipeline Conference	中国石油集团工程材料研究院有限公司、西安交通大学	封辉、霍春勇、池强、吕俊男、李群

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
封辉	1	无	教授级高工	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	负责项目的设计和实施
高雄雄	2	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	负责数字图像相关技术研发，参与钢管全尺寸拉伸技术研究
陈越峰	3	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	参与含缺陷钢管裂纹检测与钢管全尺寸拉伸试验
胡美娟	4	无	教授级高工	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	负责贯穿型裂纹钢管全尺寸断裂试验研究
齐丽华	5	无	教授级高工	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	参与含缺陷钢管裂纹检测与安全评价研究
池强	6	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	负责贯穿型裂纹钢管全尺寸断裂试验研究

孙德鑫	7	无	助理研究 员	中国科学院西安光 学精密机械研究所	西安交通大学	负责基于电势差方法的钢管断裂行为表 征，参与钢管全尺度断裂试验
-----	---	---	-----------	----------------------	--------	------------------------------------

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	负责项目的设计和实施，主要负责全尺寸气体断裂试验应用技术研发与推广应用，创新点 1-3 的主要完成单位。
2	西安交通大学	主要负责基于电势差方法的钢管断裂行为表征，创新点 3 的参与完成单位。

九、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

本项目研究团队由材料工程和机械设计制造等相关专业技术人员共同组成。第一、三、五、六完成人共同围绕含缺陷钢管断裂行为评价技术和推广应用进行合作；第一、二、三完成人共同围绕管道断裂评价与安全防护技术进行合作；第一、二、四、六完成人共同围绕钢管全尺寸拉伸试验及标准制定进行合作；第一、四、七完成人共同围绕基于电势差方法的钢管断裂行为表征及推广应用进行合作。项目成果是研究团队合作协同攻关的结果，项目完成人协同合作共同立项，并开展了系统性的科研攻关工作。在项目研究过程中，项目组成员共同发表了论文、申报专利、制定标准规范，并将项目研究成果进行了推广应用。