

**项目名称：**管道缺陷检测和安全评估技术

**提名单位意见：**管道缺陷检测和安全评估技术是在役管道安全运行的基础和核心技术。该项目研究成果不仅进一步完善和扩展了我国压力管道安全评估技术，而且具有重要的工程应用价值。目前，我国在役管道数量巨大，为保证管线安全有效使用，必须开展管道的检测和安全评估工作，为其安全运行和改造提供决策依据。因此，该项目具有广阔的应用前景，且具有一定的现实意义。

经审查，材料真实有效，填写符合要求，按照规定内容进行了成果登记。提名该项目为自治区科学技术进步二等奖。

**项目简介：**该项目技术内容涉及材料科学、无损检测、油气储运及安全工程等多个学科，研究成果适用于在役管道腐蚀检测和焊缝缺陷检测及安全评估。项目针对在役管道腐蚀和焊缝缺陷检测及安全评估，将消化吸收和自主创新相结合，进行了系统性的理论探索、技术开发和现场应用研究。针对高温管道，发明了基于 L 型、T 型波导结构的高温管道超声导波在线检测装置，实现高温管线在役检验，提升检修效率；针对埋地管道外腐蚀，结合新疆当地实际，建立包括土壤腐蚀性、外防腐层、杂散电流干扰、阴极保护有效性等管道腐蚀检测系统；在国内首次建立了系统的在役管道复合焊缝缺陷定量检测和安全评估方法，包括复合焊缝缺陷定量检测及表征方法、剩余强度评价方法和剩余寿命预测方法。在焊缝缺陷检测方面，通过充分调研分析管道焊缝缺陷类型和失效形式，基于缺陷端点超声波衍射技术和回波幅度对比技术(ACT)建立了在役管道焊缝缺陷检测评价方法，设计和制备了专用窄脉冲宽频探头和试块，形成了一套专用焊缝缺陷检测的超声定量无损检测装置，缺陷深度测量误差小于 1mm，可分辨的最小缺陷深度小于 0.5mm。在

焊缝缺陷剩余强度评价方面，开展了常用管材焊缝失效评估图技术研究，建立了环焊缝表面半椭圆裂纹、环焊缝 360 度裂纹、直焊缝表面半椭圆裂纹以及螺旋焊缝表面半椭圆裂纹和错边/噉嘴组成的复合缺陷的剩余强度评价方法，并采用有限元和全尺寸钢管水压试验方法进行了验证和分析。在焊缝缺陷剩余寿命预测方面，建立了焊缝腐蚀的可靠性剩余寿命预测方法和基于焊缝失效评估图的复合焊缝疲劳寿命预测方法。项目取得的创新性研究成果包括：高温管道导波检测技术；土壤腐蚀性、外防腐层、杂散电流干扰、阴极保护有效性等管道腐蚀检测系统；复合焊缝缺陷专用探头、试块及定量超声检测设备的研制；在役管道常用管材焊缝材料失效评估图的建立；基于应力叠加原理建立的焊缝裂纹型缺陷和错边/噉嘴组成的复合焊缝缺陷断裂力学模型；系统的复合焊缝缺陷管道剩余强度评价和剩余寿命预测方法。

**推广应用情况：**项目采用边研究、边应用的模式，为在役管道的完整性管理提供了重要技术支撑，而且促进了我国油气管道安全技术的进步。研究成果在新疆鑫泰燃气、新疆燃气、昊通百圣、中石油塔里木油田等单位长输管道外腐蚀检验，西气东输一线、二线管道内检测环焊缝异常点及哈密、精河、轮南、张掖、柳园、酒泉、乌鲁木齐和王家沟等压气站法兰焊缝检测及安全评价、克乌成品油管道复线全线焊缝检测及安全评价等项目中得到应用，节省了管道公司的管理成本，降低了管道事故的发生率，带来了显著的经济效益和社会效益。本项目授权国家专利 8 项（发明 5 项，实用新型 3 项），软件著作权 3 项，发表论文 10 余篇。本项目研究成果进一步完善了管道完整性检测技术体系，为安全工程学科的发展做出了贡献。

## 主要知识产权证明目录:

- [1] 一种基于 L 型波导结构的高温管道超声导波在线检测装置 ( 专利号 : ZL201610900060.8 )
- [2] 一种基于 T 型波导结构的高温管道超声导波在线检测装置 ( 专利号 : ZL201610900182.7 )
- [3] 天然气场站压力设备常用材质焊缝缺陷制作及检测方法 ( 专利号 : ZL201510982025.0 )
- [4] 一种薄壁内覆耐蚀合金复合管的晶间腐蚀试验方法 ( 专利号 : ZL201410003399.9 )
- [5] 一种输气管道完整性评价周期的计算方法及系统 ( 专利号 : ZL201410115438.4 )
- [6] 一种燃气管道管壁缺陷检测装置 ( 专利号 : ZL201821345734.3 )
- [7] 一种燃气管道气密性检测装置 ( 专利号 : ZL201821345722.0 )
- [8] 一种燃气管道压力监测装置 ( 专利号 : ZL201821345782.2 )
- [9] 埋地管道防腐安全使用状态上传系统 V1.0 ( 登记号 : 2017SR672014 )
- [10] 埋地管道探测检验跟踪分析检测系统 V1.0 ( 登记号 : 2017SR672988 )
- [11] 管线资源管理系统 V1.0 ( 登记号 : 2017SR216428 )
- [12] 基于半法定长输天然气管道风险评估的实例剖析

[13] 一起长输管道外腐蚀检测

[14] DM2 管道防腐层检测仪在埋地管道检测中测量电流时的注意事项

[15] A 字架在管道防腐层检测中的作用

[16] Electrochemical corrosion behaviors of the X90 linepipe steel in NS4 solution

[17] The influence of microstructures on the corrosion properties of X80 pipeline steel in near neutral pH soil

[18] SRB 作用下 X100 管线钢在酸性土壤环境中的应力腐蚀开裂行为

[19] X80 管线钢近中性 pH 土壤应力腐蚀开裂敏感性试验

[20] X90 管道钢在 NS4 溶液中的电化学腐蚀行为

[21] 在役输气管道分层缺陷无损检测及安全评价

[22] 油气管道环焊缝内检测异常验证检测和安全评价

[23] 外加电位对 X80 管线钢近中性 pH 土壤应力腐蚀开裂行为的影响

### 主要完成人情况：

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对成果创造性贡献
张小垒	1	/	中级	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	负责环焊缝缺陷检测和失效评估图等研究工作
王珂	2	/	副高	中国石油天然气集团公司管材研究所	中国石油天然气集团公司管材研究所	负责环焊缝缺陷检测和失效评估图等研究工作
罗金恒	3	主任	正高	中国石油天然气集团公司管材研究所	中国石油天然气集团公司管材研究所	参与管道焊缝缺陷安全评估技术研究及裂纹型缺陷等工作
李军	4	副院长	中级	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	参与缺陷检测探头和仿缺陷试块的开发
赵新伟	5	首席专家	正高	中国石油天然气集团公司管材研究所	中国石油天然气集团公司管材研究所	参与管道焊缝缺陷安全评估技术研究及裂纹型缺陷等工作
金晓明	6	部长	中级	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	参与缺陷检测探头和仿缺陷试块的开发
马卫锋	7	/	副高	中国石油天然气集团公司管材研究所	中国石油天然气集团公司管材研究所	参与缺陷检测探头和仿缺陷试块的开发
毛民·阿斯哈尔	8	副部长	副高	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	参与缺陷检测探头和仿缺陷试块的开发
姜秀海	9	主任工程师	副高	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	参与缺陷检测探头和仿缺陷试块的开发
朱丽霞	10	/	副高	中国石油天然气集团公司管材研究所	中国石油天然气集团公司管材研究所	参与缺陷检测探头和仿缺陷试块的开发

## 主要完成单位及创新推广贡献：

新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院：针对高温管道，发明了基于 L 型、T 型波导结构的高温管道超声导波在线检测装置，实现高温管线在役检验，提升检修效率；针对埋地管道外腐蚀，结合新疆当地实际，建立包括土壤腐蚀性、外防腐层、杂散电流干扰、阴极保护有效性等管道腐蚀检测系统。在焊缝缺陷剩余强度评价方面，开展了环焊缝表面半椭圆裂纹、环焊缝 360 度裂纹、直焊缝表面半椭圆裂纹以及螺旋焊缝表面半椭圆裂纹和错边/噉嘴组成的复合缺陷的剩余强度评价方法的推广应用。在焊缝缺陷剩余寿命预测方面，开展了焊缝腐蚀的可靠性剩余寿命预测方法和基于焊缝失效评估图的复合焊缝疲劳寿命预测方法的推广应用。

中国石油天然气集团公司管材研究所：在国内首次建立了系统的在役管道复合焊缝缺陷定量检测和安全评估方法，包括复合焊缝缺陷定量检测及表征方法、剩余强度评价方法和剩余寿命预测方法。在焊缝缺陷检测方面，通过充分调研分析管道焊缝缺陷类型和失效形式，基于缺陷端点超声波衍射技术和回波幅度对比技术(ACT)建立了在役管道焊缝缺陷检测评价方法，设计和制备了专用窄脉冲宽频探头和试块，形成了一套专用焊缝缺陷检测的超声定量无损检测装置，缺陷深度测量误差小于 1mm，可分辨的最小缺陷深度小于 0.5mm。在焊缝缺陷剩余强度评价方面，开展了常用管材焊缝失效评估图技术研究，建立了环焊缝表面半椭圆裂纹、环焊缝 360 度裂纹、直焊缝表面半椭圆裂纹以及螺旋焊缝表面半椭圆裂纹和错边/噉嘴组成的复合缺陷的剩余强度评价方法，并采用有限元和全尺寸钢管水压试验方法进行了验证和分析。在焊缝缺陷剩余寿命预测方面，建立了

焊缝腐蚀的可靠性剩余寿命预测方法和基于焊缝失效评估图的复合焊缝疲劳寿命预测方法。

### 完成人合作关系说明：

本项目由新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院与中国石油天然气集团公司管材研究所两家单位合作完成，取得了 5 项重大技术创新 成果，完成人合作关系说明如下：

1. 张小垒、王珂、罗金恒、毛民·阿斯哈尔等人，针对高温管道，研究了高温管道导波在线检测技术，实现了高温管道的不停机在线检测。

2. 张小垒、金晓明、李军、马卫峰、姜秀海、朱丽霞等人，针对埋地管道外腐蚀，结合新疆当地实际，建立包括土壤腐蚀性、外防腐层、杂散电流干扰、阴极保护有效性等管道腐蚀检测系统。

3. 张小垒、王珂、罗金恒、李军、赵新伟等人，针对复合缺陷，研究了复合焊缝缺陷专用探头、试块及定量超声检测设备的研制；开发了系统的复合焊缝缺陷管道剩余强度评价和剩余寿命预测方法。

4. 张小垒、王珂、罗金恒、毛民·阿斯哈尔、马卫峰、姜秀海等人，针对在役管道，完成了在役管道常用管材焊缝材料失效评估图的建立。

5. 张小垒、王珂、罗金恒、毛赵新伟、马卫峰、姜秀海等人，针对焊缝裂纹型缺陷，建立了基于应力叠加原理建立的焊缝裂纹型缺陷和错边/噉嘴组成的复合焊缝缺陷断裂力学模型。