

情况简介（省科技进步奖）

1、项目名称

油气集输用耐蚀合金复合管开发工业应用

2、主要完成人

吴泽，李发根，张燕飞，赵新伟，任艳辉，杨专钊，晁萌，曾德智，李华军，于阳

3、提名单位

西安市人民政府

4、提名意见

在安全环保新形势要求下，油气管道安全受到前所未有的关注和重视，据统计腐蚀是我国油气集输管道失效的第一大致因、严重威胁着管道的安全运行。该项目主要针对集输管网防腐用耐蚀合金复合管试用过程中暴露的性能不稳定和焊接施工技术不成熟的问题，经过十余年产学研用一体化协同攻关，取得了四方面创新成果：1）发明了耐蚀合金复合管新型管材结构并创建了复合成型模型和计算方法，丰富了管材结构设计和成型理论体系；2）研制了耐蚀合金复合管系列成型装备和工艺，确保了管材高效生产和性能可控；3）建立了质量控制关键技术指标和适用性评估技术体系，促进了耐蚀合金复合管标准发展；4）开发了环焊缝新型焊接工艺和工艺评定方法，提升了耐蚀合金复合管道焊接施工质量和效率。项目获得专利授权 91 项（其中中国发明专利 46 项、国际发明专利 2 项），制定国家行业标准 5 项，发表论文 75 篇（其中 SCI/EI 收录 30 篇），编写专著 2 部。项目形成了系统的自主知识产权，整体技术具有创新性，填补了多项国内外技术空白，大量应用于工程实际。开发的耐蚀合金复合管获得国内外多项行业权威认证并被评为国家战略性创新产品，建设的工程获得国家优质工程奖，有效提升了管道本质安全水平。

鉴于此，提名该项目为陕西省科学技术进步奖 二等奖。

5、项目简介

随着油气勘探开发目标向“深、海、低、非”转变，油气集输管道面临的腐蚀环境日益复杂苛刻，管道腐蚀安全风险不断增加，据统计油田地面管道平均失效率 300 次/千公里/年，其中腐蚀失效占比约 89.24%。管道腐蚀泄露不但会产生巨大的经济损失，而且会因环境污染而造成严重的社会影响，集输管道的腐蚀控制直接关系油气安全生产。耐蚀合金复合管是以薄壁耐蚀合金管作为内管与腐蚀介质接触、以碳钢或低合金钢作为外层基管承受压力，一直被石油工业领域看作是油气集输管道防腐的一种经济安全的措施。不过，在我国早期试用耐蚀合金复合管过程中暴露了产品性能不稳定和焊接施工技术不可靠等问题，突出表现为复合成型缺乏成熟的结构设计和理论体系、管材制造缺乏性能可控的复合装备和工艺、复合管应用缺乏系统可靠的产品质量控制标准和适用性评价技术、管道施工缺乏可靠的焊接工艺和评定技术。耐蚀合金复合管组成和结构特性决定了耐蚀合金复合管的成型理论、制造工艺、评价技术和焊接施工技术难度远高于纯材。

本项目从复杂工况油气集输管道防腐技术需求入手，通过十余年多学科联合

攻关，突破了耐蚀合金复合管制造和工业化应用的一系列关键技术，取得了四方面创新成果。

6、客观评价

项目形成了系统的自主知识产权，填补了多项国内外技术空白，整体具有创新性，双金属复合管开发及工业化应用达到了国际先进水平，其中制造装备与制造工艺、管材质量标准体系处于国际领先水平。掌握了薄壁耐蚀合金制管、双层管道水下爆燃复合、端部后处理、船上全自动焊接等关键技术，制备出合格的产品，取得了良好的经济效益和社会效益，具有广阔的发展前景。

7、应用情况

本项目制造工艺研究成果在耐蚀合金复合管制造企业西安向阳航天材料股份有限公司得到全部转化，开发的产品广泛应用于各大油气田，包括：中石油大庆油田、长庆油田、塔里木油田、吉林油田、西南油气田、海外土库曼斯坦区块，中石化西北油气田、西南油田和中海油崖城、番禺、流花和东方等区块，同时开发的技术也在中国石油集团工程材料研究院有限公司等单位得到了推广应用。

主要应用单位情况如下表：

主要应用单位情况表					
序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模(MW)	应用起止时间	单位联系人/电话
1	西安向阳航天材料股份有限公司	耐蚀合金复合管开发	中石油、中石化、中海油多家单位应用 200余千米	2018年01月01日-2023年12月30日	高飞/ 13991283678
2	大庆油田有限责任公司	耐蚀合金复合管开发及应用	大庆油田徐深气田单井集输管线和集输干线应用 135千米	2018年01月01日-2023年12月30日	王刚/ 18945915266
3	长庆工程设计有限公司	耐蚀合金复合管开发及应用	长庆油田气田62条单井集输	2018年01月01日-2023年12月	万小红/ 029-86593705

			管线应用135千米	30日	
4	塔里木油田分公司工程技术研究院	耐蚀合金复合管焊接工艺及评定方法	塔里木油田库车山前地区焊接管道181.54千米	2014年01月01日-2023年12月30日	毛学强/ 0996-2173486
5	西安泰普特种焊接技术有限公司	耐蚀合金复合管全自动焊接技术	为中海油焊接耐蚀合金复合管102千米	2018年01月01日-2023年12月30日	屈波/ 13909235865
6	四川凌耘建科技有限公司	耐蚀合金复合管开发及应用	四川境内元坝、川西区块耐蚀合金复合管使用135千米	2018年01月01日-2023年12月30日	刘长燕/ 18708163001
7	中国石油集团石油管工程技术研究院	耐蚀合金复合管开发及应用	各大耐蚀合金复合管制造企业、油田使用单位	2021年01月01日-2023年12月30日	任泓/ 029-81887900

8、主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
----	--------	----------	--------	-----	------	------	-----	-----

1	发明专利	一种全管体均匀变形的双金属复合管的制造方法	中国	ZL201610279829.9	2018.11.09	证书号第3141295号	西安向阳航天材料股份有限公司	梁国栋、魏帆、袁江龙、吴泽、郭霖、梁国萍、王剑、李缘、赵欣、王斌、赵东、宗友刚
2	发明专利	一种双金属复合管及其制造工艺	中国	ZL201410417650.6	2016.07.20	证书号第2148122号	西安向阳航天材料股份有限公司	吴泽、李奇、张燕飞、王斌、刘振锋、傅海
3	发明专利	Verfahren zur Bewertung der Bindungsfestigkeit für ein mechanisches Kompositrohr (一种机械复合管结合强度的评价方法)	德国	Patents Nr.112011105860	2016.07.28	G01N3/12	西安向阳航天材料股份有限公司	张燕飞、魏帆、郭崇晓、王永芳、王小艳
4	发明专利	一种双金属复合管端部处理结构的制造方法	中国	ZL201811289460.5	2021.04.30	证书号第1911741号	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	李发根、常泽亮、李为卫、赵新伟、李先明、冯泉
5	发明专利	双金属复合热煨弯管的制造设备及制造方法	中国	ZL201210143257.3	2014.04.09	证书号第1381065号	西安向阳航天材料股份有限公司	郭崇晓、张燕飞、李华军
6	发明专利	一种双金属复合管弯曲试验装置	中国	ZL201510233445.9	2017.08.08	证书号第2578871号	西安向阳航天材料股份有限公司	李华军、朱加强、郭崇晓、张燕飞、郭霖、吴泽、傅海、王小艳
7	发明专利	一种海洋环境和油气介质协	中国	ZL201710322	2019.07.0	证书号第	中国石油天然气集	李发根、徐秀清、尹成

		同作用下腐蚀模拟系统		170.5	5	3443281号	团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	先、蔡锐、张娟涛
8	发明专利	一种考虑多因素的 CO ₂ 腐蚀预测图版建立方法	中国	ZL202010028987.3	2022.02.22	证书号第 4952973 号	西南石油大学	曾德智、韩雪、喻智明、董宝军、于晓雨、张新、杨建起、蔡乐乐
9	发明专利	一种双金属复合管的管端全自动根焊方法	中国	ZL2015106811480	2018.02.16	证书号第 2819558 号	西安向阳航天材料股份有限公司	冯毅敏、吴泽、王剑、薛培婧、韩立峰、徐超凡、边天军、徐驰、于阳
10	发明专利	一种双金属复合管全自动对接焊工艺	中国	ZL201310641717.X	2015.08.05	证书号第 1749200 号	西安向阳航天材料股份有限公司	梁国栋、梁国萍、张燕飞、郭霖

9、主要完成人情况

排序号	完成人	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1.	吴泽	总工	研究员	西安向阳航天材料股份有限公司	西安向阳航天材料股份有限公司	项目负责人，负责项目顶层设计、技术论证和组织协调，创新点 1、2 的主要贡献者，创新点 3、4 的主要参与者。负责创建了水下爆燃和液压成型模型和计算方法、发明了全管体均匀变形方法和研制了装备、发明了管端堆焊工艺、研制了弯曲试验装置，参与制定了流体输送用复合技术标准体系。授权专利 18 项，制定流体输送用复合管国家标准 1 项，编制专著 1 部，发表论文 6 篇。
2.	李发根	/	正高级工	中国石油集团工程	中国石油集团工程材料	耐蚀合金复合管质量控制指标及焊接开发主要负责人，参与复合管端部处理结构

			工程师	材料研究院有限公司	研究院有限公司	设计,建立了系列管材质量和入场检验标准体系和环焊缝焊接工艺评定方法,开发了环境适应性评估方法和环焊缝手工氩电联焊焊接工艺。授权专利 13 项,制定行业标准 4 项,编写专著 1 部,发表论文 15 篇。
3.	张燕飞	/	研究员	西安向阳航天材料股份有限公司	西安向阳航天材料股份有限公司	耐蚀合金复合管成型理论及产品开发技术负责人,创新点 1、2 的主要贡献者,创新点 4 的主要参与者。参与创建了水下爆燃成型模型和计算方法、发明了结合强度模态评价方法、研制了热煨弯管的制造设备和弯曲试验装置。授权专利 28 项,发表论文 8 篇。
4.	赵新伟	总经理	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	耐蚀合金复合管关键技术指标及焊接技术主要技术负责人,参与建立了管材质量标准体系和高腐蚀环境适应性评估方法,开发了环焊缝新型焊接工艺。授权专利 6 项,制定行业标准 2 项,发表论文 5 篇。
5.	任艳辉	副经理	高级工程师	中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司	中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司	在耐蚀合金复合管现场焊接工艺研究及腐蚀控制做出重要贡献,建立了焊接数值模拟模型,发表论文 2 篇。
6.	杨专钊	/	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	耐蚀合金复合管油田质量管控主要完成人,创新点 3 的主要贡献者,创新点 2 的参与者。参与建立了耐蚀合金复合管技术指标和海洋环境腐蚀评估方法等,负责产品制造全过程的质量检验和控制。授权专利 6 项,制定行业标准 2 项,发表论文 8 篇,编写专著 1 部。
7.	晁萌	采气分公司总工	高级工程师	大庆油田有限责任公司	大庆油田有限责任公司	耐蚀合金复合管油田应用推广主要负责人,主导了技术成果现场应用推广,参与建立了耐蚀合金复合管质量控制标准体系、开发了高腐蚀环境适应性评估技术。发表论文 2 篇。
8.	曾德智	/	教授	西南石油大学	西南石油大学	耐蚀合金复合管液压成型理论和腐蚀评估装备研制主要完成人,建立了耐蚀合金复合管液压复合模型和计算方法,参与开

						发了腐蚀评估方法和装备。授权专利9项，编制专著1部，发表论文12篇。
9.	李华军	工程技术中心副主任	高级工程师	西安向阳航天材料股份有限公司	西安向阳航天材料股份有限公司	耐蚀合金管材复合及评价装备研制主要完成人，参与研制了复合弯管热煨弯制设备，复合管件成型装置和复合管弯曲装置。授权专利14项，发表论文5篇。
10.	于阳	技术质量部副经理	工程师	西安向阳航天材料股份有限公司	西安向阳航天材料股份有限公司	耐蚀合金复合管质量管控主要完成人，管端全自动根焊方法理论和自动化焊接工艺负责人，参与建立了复合管管端全自动根焊方法环焊缝焊接工艺。授权专利2项。

10、主要完成单位及创新推广贡献

排序	完成单位	对本项目的贡献
1	西安向阳航天材料股份有限公司	<p>1) 负责耐蚀合金复合管制备工艺攻关和产业化。</p> <p>2) 参与发明了新型耐蚀合金复合管结构，首创了水下爆燃成型工艺及计算方法，丰富了管材结构设计和成型理论体系；开发了全管体均匀变形方法和装备、结合强度评价方法和设备、管端堆焊工艺及尺寸精度控制方法，实现了耐蚀合金复合管全管体性能可控和高效生产；研制了复合弯管热煨弯制设备和5轴全自动复合弯头堆焊设备，实现了复合弯管和管件的高效生产；开发了环焊缝全自动焊工艺及设备，解决了环焊缝焊接效率问题；</p> <p>3) 授权专利50项，制定国家标准1项，编制专著1部，发表论文20篇。</p>
2	中国石油集团工程材料研究院有限公司	<p>1) 负责耐蚀复合管材结构设计、技术指标、适用性评估和焊接技术的攻关。</p> <p>2) 参与发明了新型耐蚀合金复合管结构，丰富了管材结构设计；建立了耐蚀合金复合管技术指标及入场检验规范，编制了系列质量控制行业标准；揭示了腐蚀失效机制和发展规律，建立了腐蚀评估和剩余寿命预测方法，形成了高腐蚀环境下精准防腐选材和应用评估技术；建立了耐蚀合金复合管海洋铺设施工适应性评估方法，形成了海洋环境铺管安装及运行评估技术；揭示了环焊缝失效机制和主控因素，建立了环焊缝焊接工艺评定方法；开发了环焊缝手工氩电联焊焊接工艺，大幅度提升了焊接质量；</p> <p>3) 授权专利25项，制定各类标准4项，编写专著2部，发表论文38篇（其中SCI/EI收录21篇）。</p>
3	大庆油田有限责任公司	<p>1) 负责耐蚀合金复合管油田推广和参与应用技术攻关；</p> <p>2) 主导了技术成果现场应用推广，参与建立了耐蚀合金复合管质量控制标准体系和环焊缝工艺评定方法、开发了高腐蚀环境适应性评估技术；</p> <p>3) 授权专利2项，发表论文5篇。</p>
4	中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司	<p>1) 负责耐蚀合金复合管在高含硫化氢油田推广和参与应用技术攻关；</p>

		<p>2) 主导了技术成果现场应用推广, 参与建立了耐蚀合金复合管质量控制标准体系和环焊缝工艺评定方法、开发了高腐蚀环境适应性评估技术;</p> <p>3) 发表论文 2 篇。</p>
5	西南石油大学	<p>1) 负责耐蚀合金复合管制造理论技术攻关。</p> <p>2) 建立了耐蚀合金复合管液压复合模型和计算方法, 参与开发了腐蚀评估方法和装备;</p> <p>3) 授权专利 14 项, 发表论文 12 篇 (其中 SCI/EI 收录 9 篇)。</p>

11、完成人合作关系说明

本项目是产学研用一体化协作的典范, 西安向阳航天材料股份有限公司作为研制单位 (完成人员代表: 吴泽、张燕飞、李华军、于阳) 主要负责耐蚀合金复合管结构设计、成型工艺开发和装备研制, 实现管材产业化; 中国石油集团工程材料研究院有限公司 (完成人员代表: 李发根、赵新伟和杨专钊) 负责耐蚀合金复合管结构设计、质量控制标准体系和适用性评估方法建立以及现场焊接施工技术攻关, 同时负责制造全过程产品性能评估和控制, 解决管材生产和应用技术保障问题; 大庆油田有限责任公司作为应用单位 (完成人员代表: 晁萌) 主要负责耐蚀合金复合管及其应用技术在油气田推广应用, 解决现场应用问题。中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司作为应用单位 (完成人员代表: 任艳辉) 主要负责耐蚀合金复合管及其应用技术在高含硫化氢油气田推广应用, 解决现场管道对接焊施工问题。西南石油大学作为优势高校 (完成人员代表: 曾德智) 主要负责建立耐蚀合金复合管成型理论, 支撑产品精准高效制造。