

**项目名称：高钢级大口径管道安全关键技术与规模应用**

**提名者：新疆维吾尔自治区**

**提名意见：**

项目针对高压力 (12MPa)、大口径 (1219mm)、高钢级 (X80) 管网安全运行面临的技术挑战，2006 年以来，根据国家能源战略需求，在国家和中石油重大科技专项支持下，取得四项重大技术创新成果：创建了世界第三座管道全尺寸爆破试验平台，成功实施 4 次高钢级、大口径管道爆破试验，拓展了 BTC 止裂韧性预测范围；创新了管道本质安全技术，形成了震动峰值 0.4g 以上走滑断层和逆断层、滑坡、泥石流等灾害地区管道安全防护技术，首次建立 100%SMYS 高强度水压试验方法；国际首次采用轴向和周向励磁复合形式开发出 OD1219 全方位超高清漏磁内检测器，国际首创弱磁应力内检测设备，自主创新研制了天然气管道微泄漏次声监测系统；创新建立了高钢级管道定量风险评估技术，首次提出天然气管道个体风险、社会风险、经济风险可接受指标和分级管控方法。专家评价：技术成果整体达到国际先进水平，其中管道全尺寸爆破试验及止裂等关键技术达到国际领先水平。项目成果授权发明专利 28 件、实用新型专利 13 件、技术秘密 4 项，制定标准 7 部，获省部级科技奖励一等奖 4 项，在我国重大油气管道工程推广应用 5 万公里，显著降低了西部油气能源战略通道失效率，仅为 0.03 次/千公里·年，零伤亡，远低于国际和国内平均水平 0.15 次/千公里·年，近 3 年直接经济效益 30.39 亿元，累计安全输送油气 7.85 亿吨，保障了国家“一带一路”能源安全。

经审查，推荐材料真实有效，填写符合要求，按照规定内容进行了公示。

提名该项目为国家科学技术进步二等奖。

## 项目简介：

我国油气消费量和进口量快速增长，油气管网规模不断扩大，2017年我国已建成油气长输管道12万千米，其中以西气东输为代表的高钢级大口径管道4万千米。管道口径大、压力高，一旦失效将是灾难性后果，安全运行面临严峻挑战：一是缺少全尺寸试验平台，无法准确预测大输量管道止裂韧性；二是复杂载荷条件下管道安全防控技术存在瓶颈，无法满足本质安全设计需求；三是焊缝缺陷内检测精度低，缺乏应力连续内检测装备；四是高钢级大口径管道失效机理和灾害后果认识不足，运行风险管控难度大。

2006年以来，在国家和中石油重大科技专项支持下，取得4项重大技术创新成果，保障了西部油气管道风险受控，失效率仅为0.03次/千公里·年，远低于国内外平均水平0.15次/千公里·年。

1. 创建了世界第三座管道全尺寸爆破试验平台，拓展了BTC止裂韧性预测范围。攻克了试验平台安全布局、储气调气等建设难题，研制了裂纹起裂、止裂和裂纹扩展高速测量装置，形成了减压波高速采集和裂纹扩展精准控制试验技术，建成具有自主知识产权、功能齐全的管道全尺寸爆破试验平台；开展了两种压力（12MPa，13.3MPa），四种管型（OD1422 X80 直缝和螺旋，OD1219 X90 直缝和螺旋），两种介质（天然气、空气）的全尺寸爆破试验，修正了BTC模型中能量释放率以及流变应力两个关键参数，将X80管道止裂韧性预测范围从OD1219mm/12MPa拓展到OD1422mm/13.3MPa；首次首次提出12MPa OD1219 X90管道、13.3MPa OD1422 X80管道以及12MPa OD1219 X80管道止裂韧性参数，国际首次证明X90管道自行止裂，成果已应用于中俄东线，将管道口径由1219提高到1422，增加输量150亿/年。

2. 创新了复杂载荷条件下管道本质安全技术。提出了高钢级管道应变能力评估方法，建立了不同类型发震断裂带基岩位错与震级之间的大数据关系模型，发明了震动峰值 0.4g 以上走滑断层及逆断层管道应变计算方法；基于泥沙运动力学理论和大比例尺野外场景实验，构建了泥石流侵蚀区管道安全埋深计算方法，发明了滑坡区抗滑支承、变形调节等应变防护方法；基于试压前后变形、缺陷、应力集中的检测及评价，建立管道高强度水压试验方法，试压强度由 79%SMYS 提高至 100%SMYS，已纳入 GB50251，管道运行压力提高 11%。

3. 自主创新研制管道全方位超高清漏磁、弱磁内检测装备和高精度泄漏监测系统。研发了周向励磁浮动轭铁结构，建立了周向和轴向信号同步识别和处理方法，首次开发出系列全方位超高清漏磁内检测器，管体缺陷和焊缝缺陷检测精度分别达到 20%t 和 25%t；基于固体能带理论建立磁力学耦合模型，提出了信号处理补偿算法和应力等级判别方法，研制了管道弱磁应力内检测器，实现应力集中区连续在线内检测，定位精度 0.1m；发明次声压电换能与 PID 调理滤波一体化次声传感器，构建了管道工艺噪声、异常信号和泄漏信号频谱特性模型库，研制了天然气管道微泄漏次声监测定位系统，可监测最小泄漏率为 0.1%，定位误差 $\leq 30m$ 。

4. 创新形成高钢级管道定量风险评估技术。建立了油气管道失效数据库，提出了基于失效数据的危害因素分类，量化了各类危害因素对失效概率的影响，构建了含 6 项一级指标和 38 项二级指标的修正因子指标体系，形成了油气管道失效概率定量评估方法；构建包含周边建筑物和土壤层的管道事故场景全三维模型，量化事故演化规律和影响范围，综合考虑灾害后果、事故维修、损失介质、输送中断等建立管道失效后果的定量估算模型；首次提出天然气管道个体风险、社会风险和经济风险可接受指标，建立了管道定量风险评估和分级管控方法，识别

和评估高风险点 3036 处，保障了西部油气战略通道风险受控。授权发明专利 28 件、实用新型专利 13 件、技术秘密 4 项、软件著作权 12 项，制定标准 9 部（国标 1 部、行标 4 部），出版专著 6 部，发表论文 74 篇。管道失效率降低 80%，累计安全输送油气 7.85 亿吨，近 3 年直接经济效益 30.39 亿元。

## 客观评价：

### 1. 科技成果鉴定

（1）2019 年中石油集团公司科技管理部对“高钢级大口径管道安全关键技术与规模应用”鉴定，黄维和院士、陈学东院士、柯伟院士、曹耀峰院士、高德利院士、郭万林院士及五位行业专家认为：该成果整体技术达到国际先进水平，管道全尺寸爆破试验及止裂等关键技术达到国际领先水平。

（2）2015 年中石油集团公司科技管理部对“输气管道泄漏检测与定位技术”鉴定（中油科鉴字[2015]第 18 号），胡通年、权忠舆等专家认为：“该成果总体处于国际先进水平，推广应用前景广阔”。创新成果包括：1) 创新研制出一种次声压电换能器和调理 PID 滤波控制一体化的输气管道次声泄漏传感器；2) 研发出一套输气管道泄漏次声数据采集系统；3) 开发了非高斯噪声背景下的输气管道次声信号自适应检测技术，能有效提取非高斯背景下噪声中的泄漏信号，攻克了输气管道泄漏次声数据采集、频谱特征检测识别定位等关键技术；4) 建立了泄漏、异常、噪声信号频谱模型库，国内首次开发了广域分布式泄漏次声监测系统，可监测最低泄漏率 0.1%。

（3）2018 年中国石油和化学工业联合会对“管道弱磁应力内检测系统”鉴定（中石化联鉴字[2018]第 162 号）：中国特检院研究员胡斌、陈金忠等专家认为：该成果总体达到国际先进水平，其中管道应力集中区域弱磁内检测设备达到国际领先水平。创

新成果包括：1) 国际首创 $\Phi 1219\text{mm}$ 、 $\Phi 457\text{mm}$ 、 $\Phi 273\text{mm}$ 等弱磁应力内检测系列设备，拥有了不同口径油气管道应力集中的内检测技术能力；2) 提出了一整套弱磁信号的检测方法、弱磁信号处理补偿算法、应力等级判别方法等；3) 自主研发出高灵敏度、高稳定性传感器，检测分辨率 1nT，可有效实现弱磁信号在外界干扰因素下的重复检测。

## 2. 项目成果获奖情况

(1) “管道全尺寸爆破试验场建设及试验关键技术”获 2017 年中国石油天然气集团公司科技进步一等奖；

(2) “油气管道本质安全关键技术及应用”获 2017 年新疆自治区科技进步一等奖；

(3) “ $\phi 1219$  输气管道两轴三维轴向励磁高清晰漏磁内检测系统研究”获 2014 年新疆自治区科技进步一等奖；

(4) “油气管道风险评估与完整性评价技术研究及应用”获 2013 年中国职业安全健康协会科学技术一等奖；

## 3. 同行评议

(1) 美国专家 J. Malcolm Gray 认为：中国建成的全尺寸气体爆破试验场具有世界先进水平。

## 4. 其他

(1) 2018 年 11 月 20 日，中国船级社对中石油管道有限责任公司西部分公司与沈阳工业大学联合研制的  $\phi 1219$  管道全方位超高清漏磁内检测器进行了型式试验认可，检测精度优 NACE Publication 35100-2017-SG In-Line Inspection 标准要求。

(2) 2018 年 12 月 11 日，中国船级社对沈阳工业大学研制的油气管道弱磁应力内检测设备进行了型式试验认可，母材、焊缝局部应力集中区域检测率和焊缝检测概率均达到 100%，管道应力集中程度符合《油气管道弱磁应力集中内检测技术规范》附录 D 要求。

## 应用情况：

项目成果在西气东输一线、二线、三线等 5 万多千米管道得到成功应用，近 3 年直接经济效益 30.39 亿元。西部管道累计输送天然气 5366 亿方、原油成品油 2.52 亿吨。消除管道重大安全隐患 232 次，有效避免重大灾害事故，显著降低了管道失效频率，实现了西部油气能源战略通道安全平稳运行，保障了国家能源安全，为社会经济发展和民生保障做出贡献。

## 主要知识产权和标准规范等目录：

知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	用于管道止裂韧性测量的装置及其测量方法	中国	ZL201310479358.2	2016.8.10	2159437	中国石油天然气集团公司	李洋;张伟卫;王鹏;李鹤;吉玲康;池强;霍春勇;冯耀荣	有效
发明专利	一种钢套筒柔性止裂器	中国	ZL201510867551.2	2017.10.17	2658939	中国石油天然气集团公司;中国石油天然气集团公司管材研究所	李鹤;胡美娟;池强;闵希华;李炎华;王鹏;王海涛;黄呈帅;霍春勇;杨放	有效
发明专利	一种新建油气管道的检测方法	中国	ZL201210071593.1	2016.4.6	2016191	中国石油天然气股份有限公司	闵希华;杨理践;陈勇;伍奕;杨洲;饶心;徐春燕;邱姝娟;吴建成;林小飞;耿丽媛	有效
发明专利	一种能够控制断裂行为的天然气管线及其延性断裂控制方法	中国	ZL201410643967.1	2017.5.10	2479472	中国石油天然气集团公司;中国石油天然气集团公司管材研究所	杨坤;李鹤;霍春勇;吉玲康;李炎华;马秋荣	有效
发明专利	管道通过震动峰值为 0.4g 以上的走滑断层的设计方法	中国	ZL201310594862.7	2016.06.15	2115507	中国石油集团工程设计有限责任公司	李巧;谌贵宇;王棠昱	有效

发明专利	输油气管道穿越表土层滑坡区的抗滑支撑应变防护方法	中国	ZL201310273915.5	2015.6.10	1693951	中国石油集团工程设计有限责任公司	李强; 谌贵宇; 刘玉峰; 陈凤; 李巧; 王棠昱; 程江; 杨英; 肖静; 刘雪梅; 杨文川; 苏然云	有效
发明专利	一种一级地区高钢级输气管道高强度水压试验方法	中国	ZL201310110999.0	2015.5.6	1656491	中国石油天然气集团公司	闵希华; 罗金恒; 黄忠胜; 杨锋平; 王琴	有效
发明专利	一种获取一级地区油气输送管试压压力的方法及装置	中国	ZL201310028000.8	2016.6.8	2100663	中国石油天然气集团公司; 中国石油天然气集团公司管材研究所	杨锋平; 罗金恒; 赵新伟; 张广利; 李丽锋; 张良	有效
发明专利	一种输气管道泄露检测的次声传感器	中国	ZL201511026875.X	2018.7.13	2997120	中国石油天然气股份有限公司	闵希华; 赵敏; 伍奕; 肖连; 杨永和; 饶心; 田野; 慕进良; 江玉友; 李坤; 冯伟; 许光达; 王晓航	有效
发明专利	一种输气管道完整性评价周期的计算方法及系统	中国	ZL201410115438.4	2017.02.01	2364584	中国石油天然气集团公司; 中国石油天然气集团公司管材研究所	王珂; 罗金恒; 张广利; 谌贵宇; 李丽锋; 张良	有效

## 主要完成人情况：

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	对本项目主要学术贡献
闵希华	1	总经理	教授级高工	中石油管道有限责任公司西部分公司	中石油管道有限责任公司西部分公司	项目总主持人，提出了项目研究目标和思路，确定了技术路线和总体研究方案，主持了项目实施、现场试验和成果应用，是创新成果一、二、三的主要贡献者：提出了全尺寸爆破试验平台建设方案，组织试验场建设并完成四次全尺寸爆破试验。提出了管道高强度试压技术方案，主持伊宁-霍尔果斯煤制气管道高强度水压试验，构建了新建管道“22112”检验评价体系。针对管道轴向裂纹缺陷无法内检测难题，主持研发轴向周向励磁全方位漏磁检测器。提出管道应力内检测设想，主持开发弱磁内检测器并成功应用。主持开展输气管道次声泄漏监测技术研发和工业性应用。
霍春勇	2	副院长	教授级高工	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	是创新成果一管道全尺寸爆破试验平台创建及高压输气管道止裂韧性计算的主要贡献者。组织研制了裂纹起裂、止裂和裂纹扩展速度测量装置，建立了减压波高速采集和裂纹扩展精准控制试验技术；修正了BTC模型中能量释放率以及流变应力两个关键参数，形成了X80高压输气管道断裂控制方案，成功应用于中俄东线等重大管道工程项目。
杨理践	3	学术委员会主任	教授	沈阳工业大学	沈阳工业大学	对创新成果三全方位漏磁检测设备和弱磁应力检测设备研制做出突出贡献。项目的主要负责人，全方位和弱磁内检测系统的总体设计者，提出了项目的总体发展思路和优化方案。完成了项目总体的技术难题攻关，开发出了系列全方位超高清漏磁内检测器和管道弱磁应力内检测器，实现了任意角度缺陷、焊缝缺陷的全覆盖、高精度检测和管道应力集中区域的连续在线检测。
韩景宽	4	院长	教授级高工	中国石油天然气股份有限公司规划总院	中国石油天然气股份有限公司规划总院	是创新成果一管道全尺寸爆破试验平台创建的主要贡献者。主持试验平台建设总体方案的制定、审查及核准，负责组织技术攻关及各项工作的协调实施，参与并指导基于该试验平台的历次全尺寸爆破试验。

谌贵宇	5	副总工程师	高级工程师	中国石油工程建设有限公司	中国石油工程建设有限公司西南分公司	是创新点二的主要贡献者。提出了强震、滑坡、泥石流等灾害区管道防护技术研究的目标和思路，确定了技术路线和总体研究方案，获发明专利。是“输气管道提高强度设计系数关键技术研究及工程应用”的主要完成者，参与和见证了现场高强度水压试验，并将高强度水压试验方法修订纳入国家标准 GB 50251 中。
刘 剑	6	主任	高级工程师	中石油管道有限责任公司西部分公司	中石油管道有限责任公司西部分公司	是创新成果一、二、三的主要贡献者。组织完成四次高钢级大口径管道全尺寸爆破试验。组织伊宁-霍尔果斯煤制气管道高强度水压方案研究和现场试验。组织全方位超高清漏磁内检测和弱磁应力内检测装备研制及应用、输气管道次声泄漏监测技术工业试验及推广应用。
赵新伟	7	副院长	教授级高工	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	是创新成果二、四的主要贡献者。首次提出了国内输气管道 100%SMYS 高强度水压方法及风险控制措施；在国内首次系统建立了管道定量风险评估技术，提出了天然气管道风险可接受指标。
陈 勇	8	/	高级工程师	沈阳工业大学	沈阳工业大学	是创新成果三的主要贡献者。参与了全方位和漏磁检测器研制的技术攻关，同时组织、制定了全方位和弱磁项目的拖拉实验和现场工程应用方案，主要负责全方位项目和弱磁项目的方案论证、结果评价及工程应用的开展和验证工作。
赵 敏	9	总工程师	高级工程师	北京声创新技术发展有限责任公司	北京声创新技术发展有限责任公司	是创新成果三的主要贡献者。输气管道泄漏次声检测定位系统和技术的主要设计者；发明了输气管道泄漏检测的次声传感器；提出了输气管道微泄漏次声信号自适应白化处理算法和检测技术。
帅 健	10	系主任	教授	中国石油大学（北京）	中国石油大学（北京）	是创新成果二、四的主要贡献者，负责对高钢级管道基于应变的断裂评估技术研究，是高钢级管道应变能力评估方法的主要贡献者。负责国内外油气管道事故数据收集、管道风险定量评价方法研究，是油气管道失效数据库、失效概率定量评价与事故后果模型的贡献者。

## 主要完成单位及创新推广贡献：

排名	完 成 单 位	详细地址	主要贡献
1	中石油管道有限责任公司西部分公司	新疆乌鲁木齐高新技术产业开发区（新市区）天津北路西五巷 99 号	<p>作为第一完成单位，负责项目顶层设计与具体实施，主持全尺寸爆破试验平台建设方案研究、新建管道高强度水压试验、管道全方位漏磁和弱磁内检测装备研发，以及项目成果的推广应用，对创新成果一、二、三有重大贡献。</p> <p>1. 牵头建成我国第一座高钢级大口径输气管道全尺寸爆破试验场，成功实施四次全尺寸爆破试验，为大输量管道延性断裂止裂控制研究提供了试验依据，为我国大口径天然气管道建设提供了技术支持。</p> <p>2. 提出新建管道高强度试验方法，依托伊宁-霍尔果斯煤制气工程完成高钢级大口径管道高强度水压试验，建立了新建油气管道工程检测技术标准。</p> <p>3. 组织开展 <math>\Phi 1219</math> 输气管道三轴三维周向励磁超清晰漏磁内检测系统研究，联合开发出系列全方位超清晰漏磁内检测器，实现了焊缝缺陷定量检测，在西部油气管网成功应用。</p> <p>4. 组织开展 <math>\Phi 273</math>、<math>\Phi 457</math>、<math>\Phi 1219</math> 油气管道弱磁应力内检测装备研发，国际首次实现了管道应力集中区连续在线内检测。</p> <p>5. 组织开展天然气管道微泄漏次声监测系统研发，在西二线玛纳斯-乌鲁木齐段、涩宁兰输气管道成功应用，保障了管道泄漏有效监控。</p>
2	中国石油天然气集团公司管材研究所	陕西省西安市锦业二路 89 号	<p>作为第二完成单位，研制了裂纹起裂、止裂和裂纹扩展高速测量装置，形成了减压波高速采集和裂纹扩展精准控制试验技术，为世界第三座功能齐全的全尺寸爆破试验平台建设提供关键技术支持；开展了两种压力（12MPa，13.3MPa），四种管型（OD1422 X80 直缝和螺旋，OD1219 X90 直缝和螺旋），两种介质（天然气、空气）的全尺寸爆破试验，修正了 BTC 模型中能量释放率以及流变应力两个关键参数，管道止裂韧性预测范围从 OD1219mm/12MPa 拓展到 OD1422mm/13.3MPa；首次提出 12MPa OD1219 X90 管道，13.3MPa OD1422 X80 管道以及 12MPa OD1219 X80 管道止裂韧性参数，国际首次证明 X90 管道自行止裂，成果已应用于中俄东线，将管道口径由 1219 提高到 1422，增加输量 150 亿/年。创新成果 4：初步探明了高钢级管道失效机理，建立了焊缝复合缺陷断裂力学模型和失效评估图，基于失效案例数据统计方法和结构可靠性理论形成系统的管道失效概率定量评估方法；首创天然气管道定量风险可接受推荐准则，建立全生命周期管道定量风险评估和分级管控方法，识别和评估高风险点 3036 处，保障了西部油气战略通道风险受控。创新成果 2：创新了油气管道本质安全设计技术，基于管材屈服强度分布规律和管道应力状态建立了天然气管道强度试压压力估算模型，研制了管道现场试压实时监测装置，提出了高强度试压管道变形和环焊缝缺陷扩展的合格评判准则。</p>

3	沈阳工业大学	辽宁省沈阳市经济技术开发区沈辽西路111号	作为第三完成单位，负责全方位漏磁检测装备和弱磁检测装备的关键技术研究和攻关，对创新成果三有重大贡献，为项目的顺利完成发挥了重要作用。1、组织并制定了全方位和弱磁项目的总体发展思路和优化方案2、创新形成了周向励磁浮动轭铁结构，克服了管壁磁化不均匀、磁极附近背底磁场强的局限性；3、研发出具有自主知识产权的全方位三轴三维超清晰漏磁内检测系统和管道弱磁应力内检测系统，突破了原有设备得限制，实现了任意角度缺陷、焊缝缺陷的全覆盖、高精度、定量检测；4、基于固体能带理论建立了磁力学耦合模型，提出了弱磁信号处理补偿算法和应力等级判别方法，国际首创管道弱磁应力内检测系统，实现了管道应力集中区域的连续在线内检测；5、组织并开展了大量的实验验证和工程应用工作，验证了设备的有效性，研究成果填补了国内管道内检测领域的技术空白，为管道检测提供了新的技术手段，达到了国际领先水平。
4	中国石油工程建设有限公司西南分公司	四川省成都市高新区升华路6号	作为第四完成单位，主要负责复杂载荷条件下管道本质安全防护技术与国家标准修订，对创新成果二有重要贡献。1.组织开展了大量的地质灾害现场调研、地震地灾数据收集、国内外规范比对、大比例物理模型试验、数值模拟试验、机理建模、理论计算分析，基于不同地质复杂载荷条件下的破坏机理，开展了强震、滑坡、泥石流等灾害地段管道的应变设计和工程措施研究，形成了以国家专利、专有技术为核心的管道成套防护技术。2.参与和见证了现场高强度水压试验，并将高强度水压试验方法修订增加纳入国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251-2015中。
5	中国石油天然气股份有限公司规划总院	北京市海淀区志新西路3号	作为第五完成单位，主要负责管道全尺寸爆破试验平台的建设研究，攻克了多项建设难题，对创新成果一作出重要贡献，为建成我国具有自主知识产权的管道全尺寸爆破试验平台发挥了重要作用。1.对多工况下天然气管道爆破产生的热辐射、冲击波造成的影响范围开展定量评价，解决了试验平台安全布局无设计规范的建设难题。2.开展试验平台储气管受大推力载荷攻关研究，解决了1219mm/1422mm大口径试验储气管重复利用问题。3.开发研制了大压差及压力大幅波动条件下的自动供气装置，解决了试验平台供气调气难题。4.研究设计了应用于减压波、裂纹扩展速度等参数的专用多通道高速数据采集系统，数据有效率达90%以上，为试验数据的完整、精确采集提供了保障。

6	北京声 创新技 术发展 有限责 任公司	北京市海淀区 北四环西路 21 号	<p>作为第六完成单位，负责输气管道次声泄漏检测定位关键技术研究，对创新成果三有重大贡献；承担技术攻关，对创新成果技术应用做出贡献，为该项目的顺利完成发挥了重要作用。1.发明了次声压电换能与 PID 调理滤波控制一体化的输气管道泄漏检测次声传感器，实现了输气管道不同管径、不同压力和不同工况干扰下泄漏检测的高灵敏度，最远管道泄漏检测距离达到 50~80km，防止输气管道发生重特大事故。2.构建了管道工艺噪声、异常信号和泄漏信号频谱特性模型库，建立了输气管道泄漏次声传播衰减关系模型，解决了输气工艺干扰下泄漏检测识别的技术难题，减少了误报率，提高了可靠性和实用性。3.提出了输气管道微泄漏次声信号自适应白化处理算法和检测技术，有效提高了信噪比 6dB，可精确检测淹没在非高斯噪声中的微泄漏信号，检测的最低泄漏率达到 0.1%输量，为防微杜渐提供了保障。4.研发了由 n 个次声下位机、北斗卫星时统、数据通信系统和次声监测中心构成的输气管道泄漏检测技术与装备，管道泄漏定位误差≤30m，实现了自主知识产权和国产化。</p>
7	中国石 油大学 (北 京)	北京市昌平区 府学路 18 号	<p>作为第七完成单位，本单位负责高钢级管道基于应变的断裂评估技术研究，对创新成果二有重大贡献；负责国内外油气管道事故数据收集、管道风险定量评价方法研究，对创新成果四有重大贡献，为项目顺利实施发挥了重要作用：1.研究提出了高钢级管道基于应变的断裂评价方法，定量了管道应变能力，为基于应变的管道设计与评估提供了理论依据。2.收集了国内外油气管道事故及其影响因素的数据，建立了管道失效数据库；3.综合分析了腐蚀、第三方损伤、自然灾害、建造质量、误操作等因素的影响，建立了管道失效概率评价的修正因子指标体系，研发了管道定量风险评价方法。4.建立了输气管道事故火灾热辐射与蒸气云爆炸的全三维场景模型，揭示了管道风险演化规律，对油气管道安全运行及风险管控发挥了重要作用。</p>

## 完成人合作关系说明：

本项目由中石油管道有限责任公司西部分公司牵头组织，由中国石油天然气集团公司管材研究所、沈阳工业大学、中国石油工程建设有限公司西南分公司、中国石油天然气股份有限公司规划总院、北京声创新技术发展有限责任公司、中国石油大学（北京）共七家单位合作完成，取得了4项重大技术创新成果，完成人合作关系说明如下：

1. 闵希华、霍春勇、韩景宽、刘剑等人，针对高钢级大口径管道缺少全尺寸爆破试验平台，无法准确预测大输量管道止裂韧性的难题，由中石油管道有限责任公司西部分公司牵头实施我国首座管道全尺寸爆破试验场设计和建设，研发管道全尺寸爆破试验减压波高速采集和裂纹扩展精准控制等试验技术。成功实施了4次高钢级大口径管道全尺寸爆破试验，修正了BTC模型中能量释放率等关键参数。合作时间为2013年1月至2015年12月。

2. 闵希华、赵新伟、谌贵宇等人，针对高钢级、大口径、高设计系数输气管道安全可行性问题，由中石油管道有限责任公司西部分公司牵头开展了输气管道提高强度设计系数工业性应用研究，建立了输气管道从原最高79%SMYS提高至100%SMYS的高强度水压方法，成果在伊霍线和西气东输三线西段0.8设计系数段成功应用，修订国家标准GB 50251。合作时间为2012年7月至2014年6月。

3. 闵希华、杨理践、陈勇、帅健等人，针对管道缺陷检测精度不高、焊缝缺陷无法定量内检测的难题，由中石油管道有限责任公司西部分公司组织立项，主导输气管道三轴三维周向励磁超清晰漏磁内检测系统、管道应力内检测系统及相关配套设备、数据分析软件的研发与应用。合作时间为2009年1月至2014年7月。

4. 闵希华、赵敏等人，针对天然气管道泄漏监测精度不高、泄漏信号远距离传播过程中不确定性大、响应速度慢等技术难题，自主研制了次声压电换能和 PID 调理滤波一体化次声传感器，研发了大口径天然气管道微泄漏监测系统，并在西二线玛纳斯-乌鲁木齐段、涩宁兰管道进行应用，合作时间为 2009 年 9 月至 2015 年 12 月。