

# 陕西省科学技术进步奖提名书

(2026年度)

## 一、项目基本情况

|        |                                                                             |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 项目名称   | 致密气田完井采气一体化关键技术及规模应用                                                        |
| 主要完成人  | 白博峰、田伟、赵昆鹏、王宪文、汪雄雄、贾友亮、余晗、唐永槐、杨旭东、赵峥延、杨亚聪、龚航飞、李丽、李旭日、郑学波                    |
| 主要完成单位 | 西安交通大学<br>中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院<br>陕西延长石油（集团）有限责任公司<br>中国石油集团宝石管业有限公司 |
| 申报等级   | 科技进步一等奖                                                                     |

## 二、提名意见（适用于部门、机构提名）

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |      |                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 提 名 者                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 陕西省知识产权局 | 提名等级 | <input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上 <input type="checkbox"/> 三等奖及以上 |
| <p>提名意见：</p> <p>提升天然气产量是保障国家能源安全的重大战略任务，致密气作为我国储量和产量最大、开发井数最多的非常规天然气，80%产自中石油长庆和陕西延长气田，是我国提高天然气采收率的主战场。我国致密气田平均采收率不足 38%，大量已探明储量因开采成本过高、不具备经济性而暂未动用。该项目历时十余年，首创提出了“致密气井初期井下节流控压、后期气举柱塞排液、完井采气一体化”的低成本采气路线，解决了气井高低压生产阶段采气措施切换周期长、衔接难、成本高的技术难题。制定行业标准 1 项，授权专利 46 项、软著 1 项，出版专著 3 部，发表学术论文 70 余篇。获全国发明展览会金奖 2 项，中国石油集团公司自主创新重要产品名录、陕西省特支计划三秦英才创全国一流团队。项目成果已规模应用超 12000 口气井，约占我国致密气井总数的 40%，为保障我国能源供应安全发挥了重要作用。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p> |          |      |                                                                                                         |

### 三、项目简介

天然气作为清洁低碳能源，加快其产业发展是建设现代能源体系的战略选择。我国天然气消费量近 20 年年均增速达 13%，但对外依存度长期超过 40%，提升天然气产量是保障国家能源安全的重大战略任务。致密气作为我国储量和产量最大、开发井数最多的非常规天然气，是我国提高天然气采收率的主战场。然而，我国致密气田平均采收率不足 38%，大量已探明储量因开采成本过高而暂未动用。

该项目历时十余年，首创提出了“致密气井初期井下节流控压、后期气举柱塞排液、完井采气一体化”的低成本采气路线，该路线无需额外赋能，但核心难点在于：1) 致密气井内气液两相流动特性未知，直接观测难；2) 初期井下节流控压技术与后期气举柱塞排液技术须满足致密气井高液气比、井身结构复杂等特殊特性；3) 气井内节流气嘴阻碍柱塞自由运行，完井采气一体化无前车之鉴。

针对基础理论、关键技术及系统装备层面的难点，该项目主要科技创新如下：

1. 构建了考虑储层产能变化和沿程能量转化的致密气井气液两相流动时空演化模型，发明了井口 V 锥气液两相流量高精度实时在线测量技术及装备，为气嘴和柱塞的设计、装配及切换等技术开发奠定了核心理论基础。

2. 发明了气嘴结构自动调节与脱落的免打捞井下节流技术及装置，实现了井口不加热、不注醇、管线不保温、节流器无需打捞的低成本采气；发明了适用于水平井的气举柱塞排液采气技术及装备，实现了利用地层自身能量、无需额外赋能的水平井高效低成本排液。

3. 构建了“初期井下节流、后期柱塞气举”的高效低成本采气一体化装置，实现了井下节流气嘴、气举柱塞等低成本装置的一体安装和自主切换，解决了气井高低压生产阶段采气措施切换周期长、衔接难、成本高的技术难题。

该项目制定行业标准 1 项，授权专利 46 项（其中发明专利 43 项、实用新型专利 3 项）、软著 1 项，出版专著 3 部，发表学术论文 70 余篇（他引 1000 余次）。获全国发明展览会金奖 2 项，入选中国石油和化工行业人工智能技术十大科技进展、中国石油集团公司自主创新重要产品名录、陕西省特支计划三秦英才创全国一流团队。项目成果已规模应用超 12000 口气井，为保障我国能源供应安全发挥了重要作用。

## 四、客观评价

### 一、项目技术水平和先进性的评价：

（1）中国石油和化学工业联合会组织的鉴定委员会评价：“创新形成了高密封柱塞系统，较常规柱塞工艺费用下降 18%；节流器+柱塞一体化完井技术采气综合成本可降低 11.1%；处于国际领先水平，经济社会效益显著，推广应用前景广阔。”

（2）中石油长庆油田油气工艺研究院出具的应用证明中评价：“井下节流技术有力保障了我国最大致密气田--长庆气田的规模化开发及稳产，技术成本下降了 61.4%，经济社会效益十分显著。”

### 二、项目成熟度与转化应用效果评价：

（1）该项目成果已规模应用超 12000 口气井，约占我国致密气井总数的 40%，覆盖我国致密气主产区。

（2）该项目成果入选 2016 年中国石油集团公司自主创新重要产品名录、入选 2023 年中国石油和化工行业人工智能技术十大科技进展、入选 2023 年陕西省特支计划三秦英才创全国一流团队，井下节流与柱塞气举技术分别获得 2019 年和 2024 年的全国发明展览会金奖。

## 五、应用情况

项目成果已规模应用超 12000 口气井，约占我国致密气井总数的 40%，覆盖我国致密气主产区。自主研发的采气系列装备与产品进行了全国范围的大规模销售。项目成果为长庆油田年产油气当量突破 6000 万吨、 发展为中国最大、世界前十的天然气田做出了极其重要的贡献，为我国天然气供应安全提供了强有力的支撑。

## 六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

| 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   | 多相湿气流流量与相含率在线测量方法及装置        | 中国     | ZL201410461930.7 | 2018-04-17 | 2886431 | 西安交通大学        | 白博峰, 贺登辉                                                     |
| 2  | 发明专利   | 基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置及方法 | 中国     | ZL201710977759.9 | 2019-12-24 | 3641374 | 西安交通大学        | 白博峰, 郑学波                                                     |
| 3  | 发明专利   | 一种气井全生命周期井下节流生产装置及其使用方法     | 中国     | ZL201911312797.8 | 2024-01-30 | 6657674 | 中国石油天然气股份有限公司 | 肖述琴, 桂捷, 杨旭东, 刘双全, 卫亚明, 陈勇, 赵峥延, 徐文龙, 田伟, 汪雄雄                |
| 4  | 发明专利   | 一种免投捞井下节流装置及施工方法            | 中国     | ZL202111333775.7 | 2024-08-30 | 7336788 | 中国石油天然气股份有限公司 | 卫亚明, 杨旭东, 肖述琴, 汪雄雄, 田伟, 解永刚, 赵峥延, 陈勇, 王忠博, 李辰, 冯朋鑫           |
| 5  | 发明专利   | 预置式井下节流器、井下节流工艺管柱及采气管柱      | 中国     | ZL202010135016.9 | 2023-05-26 | 5995826 | 中国石油天然气股份有限公司 | 杨旭东, 刘双全, 白晓弘, 肖述琴, 卫亚明, 陈勇, 姜勇                              |
| 6  | 发明专利   | 一种水平井柱塞井下定位装置及其定位方法         | 中国     | ZL201910621411.5 | 2022-06-03 | 5205670 | 中国石油天然气股份有限公司 | 韩强辉, 田伟, 李耀德, 刘双全, 白晓弘, 杨亚聪, 杨旭东                             |
| 7  | 发明专利   | 一种接有多功能工作筒的一体化工艺管柱及其作业方法    | 中国     | ZL202111326261.9 | 2024-08-30 | 7334145 | 中国石油天然气股份有限公司 | 王忠博, 田伟, 解永刚, 汪雄雄, 刘毅, 贾友亮, 赵峥延, 杨旭东, 肖述琴, 卫亚明, 陈勇, 沈志昊, 王亦璇 |
| 8  | 发明专利   | 一种连续速度管柱及其制造方法              | 中国     | ZL201610313230.2 | 2018-04-27 | 2902797 | 宝鸡石油钢管有限责任公司  | 毕宗岳, 张晓峰, 余晗, 张锦刚, 鲜林云, 李鸿斌, 汪海涛, 晁利宁, 王维亮,                  |

|    |    |           |    |                           |            |         |               |                |
|----|----|-----------|----|---------------------------|------------|---------|---------------|----------------|
|    |    |           |    |                           |            |         |               | 付宏强，王璟丽        |
| 9  | 专著 | 井下节流技术与实践 | 中国 | ISBN<br>978-7-5183-6174-8 | 2024-04-01 | 石油工业出版社 | 中国石油天然气股份有限公司 | 刘双全，田伟，杨旭东，肖述琴 |
| 10 | 专著 | 柱塞气举技术与实践 | 中国 | ISBN<br>978-7-5183-6175-5 | 2024-04-01 | 石油工业出版社 | 中国石油天然气股份有限公司 | 陆红军，田伟，王宪文，李旭日 |

## 七、主要完成人情况表

|                                                                           |            |     |   |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|-----|---|
| 姓 名                                                                       | 白博峰        | 排 名 | 1 |
| 行政职务                                                                      | 全国重点实验室副主任 |     |   |
| 技术职称                                                                      | 教授         |     |   |
| 工作单位                                                                      | 西安交通大学     |     |   |
| 完成单位                                                                      | 西安交通大学     |     |   |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目负责人，学术思想与技术路线的主要提出者，对科技创新点 1、2、3 均有重要贡献，指导制定了项目方案及实施策略。 |            |     |   |

|                                                                   |                             |     |   |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----|---|
| 姓 名                                                               | 田伟                          | 排 名 | 2 |
| 行政职务                                                              | 一级工程师                       |     |   |
| 技术职称                                                              | 高级工程师                       |     |   |
| 工作单位                                                              | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |
| 完成单位                                                              | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要负责人，对科技创新点 1、2、3 均有重要贡献，统筹负责项目研发、应用、推广及效益等工作； |                             |     |   |

|      |        |     |   |
|------|--------|-----|---|
| 姓 名  | 赵昆鹏    | 排 名 | 3 |
| 行政职务 | 无      |     |   |
| 技术职称 | 副教授    |     |   |
| 工作单位 | 西安交通大学 |     |   |
| 完成单位 | 西安交通大学 |     |   |

对本项目主要学术贡献：

该项目主要完成人，对科技创新点 1、2 均有重要贡献，构建了致密气井气液两相流动时空演化模型，提出了适用于水平井的气举柱塞排液采气技术；

|      |                             |     |   |
|------|-----------------------------|-----|---|
| 姓 名  | 王宪文                         | 排 名 | 4 |
| 行政职务 | 副院长                         |     |   |
| 技术职称 | 高级工程师                       |     |   |
| 工作单位 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |
| 完成单位 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |

对本项目主要学术贡献：

该项目主要完成人，对科技创新点 2、3 均有重要贡献，重点参与了致密气井井下节流与气举柱塞一体化低成本采气技术的规模应用工作。

|      |                             |     |   |
|------|-----------------------------|-----|---|
| 姓 名  | 汪雄雄                         | 排 名 | 5 |
| 行政职务 | 所长                          |     |   |
| 技术职称 | 高级工程师                       |     |   |
| 工作单位 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |
| 完成单位 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |

对本项目主要学术贡献：

该项目主要完成人，对科技创新点 2、3 均有重要贡献，重点参与了致密气井井下节流与气举柱塞一体化低成本采气技术的研发工作。

|      |       |     |   |
|------|-------|-----|---|
| 姓 名  | 贾友亮   | 排 名 | 6 |
| 行政职务 | 书记    |     |   |
| 技术职称 | 高级工程师 |     |   |

|                                                                                      |                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 工作单位                                                                                 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |
| 完成单位                                                                                 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>该项目主要完成人，对科技创新点 3 有重要贡献，重点参与了致密气井井下节流与气举柱塞一体化低成本采气技术的研发工作。</p> |                             |

|                                                              |                |     |   |
|--------------------------------------------------------------|----------------|-----|---|
| 姓 名                                                          | 余晗             | 排 名 | 7 |
| 行政职务                                                         | 副总工程师          |     |   |
| 技术职称                                                         | 高级工程师          |     |   |
| 工作单位                                                         | 中国石油集团宝石管业有限公司 |     |   |
| 完成单位                                                         | 中国石油集团宝石管业有限公司 |     |   |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 3 有重要贡献，重点负责了一体化采气装置的选材及制造工作。 |                |     |   |

|                                                                      |                  |     |   |
|----------------------------------------------------------------------|------------------|-----|---|
| 姓 名                                                                  | 唐永槐              | 排 名 | 8 |
| 行政职务                                                                 | 采气工艺室主任          |     |   |
| 技术职称                                                                 | 高级工程师            |     |   |
| 工作单位                                                                 | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 |     |   |
| 完成单位                                                                 | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 |     |   |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 3 有重要贡献，重点负责了致密气低成本采气技术在延长气田的应用及推广工作。 |                  |     |   |

|                                                                       |                             |     |   |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----|---|
| 姓 名                                                                   | 杨旭东                         | 排 名 | 9 |
| 行政职务                                                                  | 无                           |     |   |
| 技术职称                                                                  | 高级工程师                       |     |   |
| 工作单位                                                                  | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |
| 完成单位                                                                  | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |   |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 2 有重要贡献，参与发明了气嘴结构自动调节与脱落的免打捞井下节流技术及装置。 |                             |     |   |

|                                                                       |                             |     |    |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----|----|
| 姓 名                                                                   | 赵峥延                         | 排 名 | 10 |
| 行政职务                                                                  | 无                           |     |    |
| 技术职称                                                                  | 高级工程师                       |     |    |
| 工作单位                                                                  | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |
| 完成单位                                                                  | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 2 有重要贡献，参与发明了气嘴结构自动调节与脱落的免打捞井下节流技术及装置。 |                             |     |    |

|      |                             |     |    |
|------|-----------------------------|-----|----|
| 姓 名  | 杨亚聪                         | 排 名 | 11 |
| 行政职务 | 无                           |     |    |
| 技术职称 | 高级工程师                       |     |    |
| 工作单位 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |
| 完成单位 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |

|                                                               |
|---------------------------------------------------------------|
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 2 有重要贡献，参与发明了水平井气举柱塞排液采气技术及装置。 |
|---------------------------------------------------------------|

|                                                               |                             |     |    |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----|----|
| 姓 名                                                           | 龚航飞                         | 排 名 | 12 |
| 行政职务                                                          | 无                           |     |    |
| 技术职称                                                          | 高级工程师                       |     |    |
| 工作单位                                                          | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |
| 完成单位                                                          | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 2 有重要贡献，参与发明了水平井气举柱塞排液采气技术及装置。 |                             |     |    |

|                                                                       |                             |     |    |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----|----|
| 姓 名                                                                   | 李丽                          | 排 名 | 13 |
| 行政职务                                                                  | 无                           |     |    |
| 技术职称                                                                  | 高级工程师                       |     |    |
| 工作单位                                                                  | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |
| 完成单位                                                                  | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 2 有重要贡献，参与发明了气嘴结构自动调节与脱落的免打捞井下节流技术及装置。 |                             |     |    |

|      |                             |     |    |
|------|-----------------------------|-----|----|
| 姓 名  | 李旭日                         | 排 名 | 14 |
| 行政职务 | 无                           |     |    |
| 技术职称 | 高级工程师                       |     |    |
| 工作单位 | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |     |    |

|                                                                          |                             |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 完成单位                                                                     | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>该项目主要完成人，对科技创新点 2 有重要贡献，参与发明了水平井气举柱塞排液采气技术及装置。</p> |                             |

|                                                                         |        |     |    |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|-----|----|
| 姓 名                                                                     | 郑学波    | 排 名 | 15 |
| 行政职务                                                                    | 无      |     |    |
| 技术职称                                                                    | 讲师     |     |    |
| 工作单位                                                                    | 长安大学   |     |    |
| 完成单位                                                                    | 西安交通大学 |     |    |
| 对本项目主要学术贡献：<br>该项目主要完成人，对科技创新点 1 有重要贡献，参与发明了井口 V 锥气液两相流量高精度实时在线测量技术及装备。 |        |     |    |

## 八、主要完成单位情况表

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                                                                                          | 西安交通大学 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>该项目的主要负责单位，具体制定了项目方案及实施策略，统筹负责项目的核心理论突破及关键技术创新工作。构建了考虑储层产能变化和沿程能量转化的致密气井气液两相流动时空演化模型，实现了全尺寸真实气井内气液相分布、速度场、压力场、温度场等多物理场时空演化特性的定量预测；发明了井口 V 锥气液两相流量高精度实时在线测量技术及装备，解决了气井全周期瞬时产气量和产液量的同步在线计量难题；发明了适用于水平井的气举柱塞排液采气技术及装备，解决了后期低压生产阶段气井内积液排出率低、排液成本高的技术难题。</p> |        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>该项目的完成单位，负责项目的核心装备研发及系列技术推广应用工作。发明了气嘴结构自动调节与脱落的免打捞井下节流技术及装置，实现了井口不加热、不注醇、管线不保温、节流器无需打捞的低成本采气；构建了“初期井下节流、后期柱塞气举”的高效低成本采气一体化装置，实现了井下节流气嘴、气举柱塞等低成本装置的一体安装和自主切换，解决了气井高低压生产阶段采气措施切换周期长、衔接难、成本高的技术难题。作为我国规模最大的天然气生产基地和致密气开发主体，在“致密气田完井采气一体化关键技术及规模应用”项目中发挥了核心攻关与规模验证的决定性作用，为项目提供了不可或缺的理论验证场景、技术迭代平台和规模化工业应用场景。</p> |                             |

|                                                                                                                                                                                                                |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                           | 陕西延长石油（集团）有限责任公司 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>该项目的完成单位，负责项目核心装备与技术的推广应用工作。陕西延长石油（集团）有限责任公司作为我国鄂尔多斯盆地南部致密气开发的主力军和延安万亿方特大型致密气田的发现者与建设者，为项目技术体系在复杂地质条件下的适应性优化与规模化应用提供了不可或缺的理论场景、试验平台和工程载体，有力支撑了陕北革命老区天然气产业的高质量发展与鄂尔多斯盆地“满盆产气”崭新格局的开创。</p> |                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 中国石油集团宝石管业有限公司 |
| <p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>该项目的完成单位，负责项目核心装备的选材及制造加工工作。聚焦油田完井管柱国产化应用需求，统筹项目技术攻关、工艺优化、批量生产与现场推广工作。依托专业管材研发制造平台，组建专项技术团队，完成系列连续油管专用材料开发、制造工艺创新，搭建适配油田完井工况的成套国产化技术体系。攻克进口完井管柱成本高、供货受限的痛点，实现管材规模化、标准化量产。深度对接油田现场生产需求，开展产品工况适配试验与应用工艺优化，完善完井管柱配套应用方案，大力推进产品规模化落地应用，有效提升油田完井作业稳定性与经济性。同时系统凝练项目技术成果，完成成果梳理与奖项申报，推动长庆油田完井管柱核心管材国产化自主可控，为油气田完井管材国产化推广提供重要示范。</p> |                |

## 九、完成人合作关系说明

本项目“致密气田完井采气一体化关键技术及规模应用”历时十余年，完成了基础理论构建、关键技术开发、装备集成应用的全链条研究及推广工作，具体合作关系如下：

基础理论层面，由西安交通大学牵头，中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院和陕西延长石油(集团)有限责任公司参与，自主构建了考虑储层产能变化和沿程能量转化的致密气井气液两相流动时空演化反演理论，实现了全尺寸真实气井内气液相分布、速度场、压力场、温度场等多物理场时空演化特性的定量预测，为技术开发奠定了核心理论基础。

关键技术层面，由中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院和西安交通大学共同牵头，陕西延长石油(集团)有限责任公司参与，发明了气嘴结构自动调节与脱落的免打捞井下节流技术及装置，实现了井口不加热、不注醇、管线不保温、节流器无需打捞的低成本采气；发明了适用于水平井的气举柱塞排液采气技术及装备，实现了利用地层自身能量、无需额外赋能的高效低成本排液。

装备集成应用层面，中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院负责完井采气装备一体化设计，中国石油集团宝石管业有限公司（原宝鸡石油钢管有限责任公司）负责装备选材及加工制造，中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院与陕西延长石油(集团)有限责任公司共同开展技术装备的规模化推广应用。