

## 项目一

项目名称	黄河流域（陕西段）村镇生活污水处理关键技术研究与示范		
提名者	陕西省生态环境厅	提名等级	省科学技术进步奖二等奖
提名意见	<p>本成果针对我国北方地区农村生活污水的处理难题，按照生活污水就地就近资源化回用原则，提出了农村生活污水处理技术和处理标准，并进行示范应用。该技术具有投资少、方便管理、运营费用低、处理效果好等特点，实现了农村生活污水资源化再利用，已推广至关中地区多个乡镇示范应用，并被《陕西省农村生活污水处理设施水污染物排放标准(DB61/1227-2018)》《陕西省 2012—2014 年农村环境连片整治示范工作方案》和《渭河水污染防治巩固提高三年行动方案（2015-2017）》等所采纳，形成标准、方案，逐年实施，有力地支撑了黄河流域（陕西段）村镇生活污水处理工作。支撑了全省 1200 余项村镇生活污水处理工程建设运行，COD、氨氮削减量占黄河流域(陕西段)生活源总削减量 16.4%、6%，助力渭河水质持续改善。有关成果被陕西省环境科学学会评为 2017 年度陕西省环境保护科学技术一等奖。</p>		
项目简介	<p>本项目属于水污染防治工程领域</p> <p>黄河是中华民族的母亲河，“十一五”末以来，黄河中上游流域污水处理设施建设提速，但流域内村镇仍有大量未经处理的生活污水直接排入河流，成为流域水污染的重要来源，严重威胁生活生产用水安全。导致这一问题的原因，一是缺乏合适的处理模式和标准；二是缺乏低成本处理工艺；三是冬季低温导致处理效果差。针对村镇污水处理存在的上述问题，项目组按照生活污水就地就近资源化回用原则，在国家和省级多个科技项目的支持下，“产学研”联合，历时近 10 年科技攻关和工程实践，创建了村镇污水分类分质处理排放理论及标准体系，构建了村镇污水低成本全过程控制关键技术体系，突破了冬春季污水无能耗保温增效关键技术，并成功应用于黄河流域（陕西段）多个村镇污水处理工程，为水环境改善做出了突出贡献。主要创新如下：</p> <p>（1）创建了村镇污水分类分质处理排放理论及标准体系。</p> <p>针对村镇污水处理规模变化大、没有适用技术等问题，加强顶层设计，分类指导，因地制宜选用处理模式和工艺，提出以处理规模作为工艺选择的约束条件，结合当地自然地理状况选用合适处理工艺，形成镇村联合集中处理、村落集中连片处理、单户庭院分散处理等 3 种处理模式，确立了村镇污水分类处理的技术方法和体系；将村镇的污水处理与修复废弃的水塘、沟渠等相结合，以人工湿地、氧化塘等作为污水生化处理的辅助和补充手段，同时作为存储场所，缺水</p>		

季节进行资源化利用；以生活污水就地就近资源化回用为原则，结合污水处理后去向，弱化氮磷去除，实现污水及其中氮磷等营养元素的充分资源化利用，创建了分类分质排放理论体系，并形成标准。

#### (2) 构建了村镇污水低成本全过程控制关键技术体系。

按照“处理每一滴水，节约每一度电，用好每一分地，省下每一个人”的理念，立足村镇生活污水处理实际，研发形成村镇污水低成本全过程（设计、建设和运行）处理技术体系。在设计方面，针对不同规模污水处理需求，研发了适用于单户的卫生旱厕技术和针对多户的生物生态复合处理装置，实现了污水资源化利用，解决了工艺选型问题；针对较大规模镇级污水处理，开发了“生物处理+湿地”污染负荷优化分配技术，提升湿地处理效率，降低生物处理段能耗。在建设方面，应用低成本建设模式代替传统的钢筋混凝土构筑物，减少建设成本；研发了污泥植物床，充分利用植物根系对污泥中水的吸收和运输能力，提升污泥处理效率，降低污泥处理费用。在运行方面，针对乡镇水量变化大的特点，构建间歇曝气处理模型，在确保污水处理效率的同时采用间歇曝气模式降低能耗；研发了太阳能耕水机和风能曝气机等两项关键设备，利用自然能源进一步降低污水处理能耗需求，破解村镇污水厂运行的技术瓶颈；开发远程监控系统，可以远程对污水设施进行实时调控，实现了乡镇污水处理厂无人值守。

#### (3) 突破了冬春季污水无能耗保温增效关键技术。

针对黄河流域（陕西段）冬季及初春低温影响污水处理效率，特别是微小规模污水处理受影响较大的问题，通过研究土壤地温分布规律和水温与处理效果关系，研发了冬春季污水无能耗保温增效关键技术，通过充分利用自然地温，提高厌氧反应器核心生化反应区温度约 1 摄氏度，可提高反应效率约 10%；研发了农村（社区）污水泥液无动力混合、抗低温生化处理装置，该反应器在无新增能源消耗、动力消耗的情况下，解决了污水中漂浮物堵塞、水泥混合不充分问题，并利用地温保障了具有较高活性污泥浓度的主要厌氧反应区的温度，提高反应效率。

#### (4) 关键技术的工程应用。

针对黄河流域（陕西段）村镇污水处理中存在的缺乏合适工艺、建设运行成本高、资源化利用不足、冬季处理效率较低等问题，开展了一系列工程应用：技术应用于眉县槐芽镇 2000t/d 污水处理工程，降低建设成本 70%、运行成本 66%，实现污水厂无人值守和污水资源化利用，年节约处理费用 30.7 万元，减排 COD109.5 吨、氨氮 11.0 吨，有效破解了当地污水处理效率及费用的难题；技术应用于社区 40t/d 污水处理工程，冬季 COD 处理效率可达到 50%，解决了制约冬春季污水处理效率的技术瓶颈；相关技术已直接应用于黄河流域（陕西段）31 个村镇，年削减 COD1829.82 吨，氨氮 172.53

	<p>吨，年节约处理费用约 300 万元，有效提升了区域内污水处理水平，改善当地的水生态环境。</p> <p>项目授权国家发明专利 6 项，制定标准 2 项，制定政策方案 3 项，在权威期刊发表论文 20 余篇，项目成果在 2017 年度获陕西省环境保护科学技术一等奖。技术成果直接应用于黄河流域（陕西段）31 个村镇，并被《陕西省农村生活污水处理设施水污染物排放标准 (DB61/1227-2018)》《陕西省黄河流域污水综合排放标准 (DB61/224-2018)》《陕西省 2012—2014 年农村环境连片整治示范工作方案》《陕西省水污染防治工作方案（陕政发〔2015〕60 号）》和《渭河水污染防治巩固提高三年行动方案（2015-2017）》等所采纳，形成标准、方案，逐年实施，支撑了黄河流域（陕西段）600 余项村镇生活污水处理工程建设运行，COD、氨氮削减量占黄河流域（陕西段）生活源总削减量 16.4%、6%，助力水质持续改善。</p>
客观评价	<p>1、获奖情况</p> <p>“乡村分散型污水低成本处理与资源化利用技术研究”获 2017 年度陕西省环境保护科学技术一等奖。</p> <p>2、技术检测报告</p> <p>眉县环境监测站对项目示范工程“槐芽镇污水处理厂”进行了验收，经检测认定项目处理后出水达到《黄河流域（陕西段）污水综合排放标准》（DB 61/224-2011）一级标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准，湿地实际出水五日平均值 COD 为 13mg/L，氨氮达到 0.54mg/L，两项指标达到地表水 III 类水质标准。</p> <p>3、主要验收意见</p> <p>（1）陕西省科技统筹创新工程计划项目子课题“以乡镇为单元的分散型污水低成本全过程控制整装成套技术研发集成示范”2016 年通过了结题验收，主要意见为：“子课题以“处理每一滴水、节约每一度电、用好每一分地、省下每一个人”为研究理念，形成乡镇污水低成本全过程控制技术体系。研究成果重点解决了乡镇污水中 COD、氨氮低成本处理问题，集成关键技术和关键设备，对渭河流域关中段水污染物减排和水生态环境改善具有重要意义。”（见附件）</p> <p>（2）陕西省科技统筹创新工程计划项目子课题“乡村分散型污水低成本处理与资源化利用技术研究”2016 年通过了结题验收，主要意见为：“子课题从总体上布局农村污水处理，分析提出了 3 种处理模式，同时控制集中排放和分散排放的污水。研究成果解决了农村污水处理的技术瓶颈问题，并选择代表性社区、乡村进行了应用示范，为农村污水处理提供了技术支持。”</p> <p>（3）陕西省科学技术厅于 2017 年对陕西省环境科学研究院承担的科技统筹创新工程计划项目“渭河关中段农业(村)</p>

水污染物污染减排技术研究集成示范”进行验收，主要意见为：“针对渭河关中段乡镇（村）生活污染源，开发了乡镇污水厂污泥减量化稳定化的污泥植物床技术、乡镇污水处理技术集成及资源化利用技术和新型生态塘构建技术，研制了太阳能耕水机、风能曝气机、生活污水泥液无动力混合新型厌氧反应器等 5 项关键设备，完成了槐芽镇污水处理厂等 3 项示范工程。编制了《渭河水污染防治巩固提高三年行动方案（2015-2017）》等技术政策及规范 3 份，授权发明专利 7 项，达到了预期指标”。

#### 4、用户评价

（1）针对项目技术在政策、标准及示范推广方面应用，陕西省生态环境厅评价：“项目根据国家和省上需求，开展黄河流域（陕西段）村镇生活污分类分质处理排放理论及标准、低成本处理与资源化利用技术、冬春季污水保温关键技术研究及示范，已被《陕西省黄河流域污水综合排放标准(DB61/224-2018)》《陕西省农村生活污水处理设施水污染物排放标准(DB61/1227-2018)》《陕西省 2012—2014 年农村环境连片整治示范工作方案》《陕西省水污染防治工作方案（陕政发〔2015〕60 号）》和《渭河水污染防治巩固提高三年行动方案（2015-2017）》等所采纳，形成标准、方案，并推广至我省村镇广泛示范应用，逐年实施，支撑了全省 1200 余项（其中黄河流域（陕西段）600 余项）村镇生活污水处理工程建设运行，有力促进了我省农村污水处理工作，为水环境持续改善提供了技术支撑。”

（2）针对示范工程“槐芽镇污水处理厂”对于项目整体技术的应用，槐芽镇人民政府评价：“示范工程将村镇的污水处理与修复废弃的水塘、沟渠等相结合，以人工湿地作为污水生化处理的辅助和补充手段，并示范应用了项目的低成本全过程控制成套技术，具体包括低成本建设模式、“生物处理+湿地”技术、处理工艺优化分配技术、污泥植物床技术、新型生态塘技术、远程监控系统、间歇曝气技术、太阳能耕水机和风能曝气机、污水无能耗保温技术等，实现了污水低成本处理和资源化利用，保障了我镇水生态环境不断改善，并依托湿地建成湿地公园，提升居民生活水平。”

（3）针对示范工程“社区 40t/d 污水处理工程”对农村（社区）污水泥液无动力混合、抗低温生化处理装置的应用，西安韵岚物业管理有限公司评价：“小区应用农村（社区）污水泥液无动力混合、抗低温生化处理装置后，污水处理效果良好，解决了小区原来存在的冬季处理效率较低，污水管道经常堵塞，污水横流等问题，且运行维护简便、费用低，大大减轻了我们的管理成本，提高污水处理效率。”

应用情况

1. 应用情况

项目成果应用于我省指导我省农村污水处理，并直接应用于西安市、宝鸡市、渭南市和韩城市等三个市区的村镇污水处理工程，应用领域主要为村镇污水处理和资源化利用，具体应用情况如下：

(1) 技术应用于省生态环境厅 2 项标准和 3 项政策、方案，推广至我省村镇广泛示范应用，支撑了全省 1200 余项（其中黄河流域（陕西段）600 余项）村镇生活污水处理工程建设运行，有力促进了我省农村污水处理工作。

(2) 技术应用于项目示范工程“眉县槐芽镇污水处理厂”，日处理规模 2000t，实现了污水低成本处理及资源化回用，在保证出水效果的情况下大幅降低污水厂运行费用。

(3) 技术应用于示范工程“社区污水处理工程”，日处理规模 40t，解决了堵塞问题及制约冬春季污水处理效率的技术瓶颈。

(4) 技术直接应用于黄河流域（陕西段）31 个村镇，日处理规模总计 18440t，有效提升了区域内污水处理水平，改善当地的水生态环境。

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	应用起止时间	单位联系人/电话
1	陕西省生态环境厅	村镇生活污水分类分质处理排放理论及标准、低成本处理与资源化利用技术、冬春季污水保温关键技术研究及示范	全省村镇污水处理	2012.01-2018.05	康兰军/15902930304
2	槐芽镇人民政府	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 2000t/d 槐芽镇污水处理厂	2013.03 至今	薛辉/13992765568
3	西安韵岚物业管理有限公司	农村（社区）污水泥液无动力混合、抗低温生化处理装置	应用于 40t/d 社区污水处理站	2014.01 至今	张庚/13468614486
4	宝鸡市生态环境局眉县分局	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 100t/d 眉县汤峪镇闫家堡村生态污水处理站	2015.06 至今	胡永锋/15319201916
5	宝鸡市生态环境局眉县分局	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 250t/d 眉县金渠镇金渠村生态污水处理站	2014.05 至今	杨会琴/13992725965

	6	渭南市生态环境局临渭分局	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 300t/d 临渭区龙背镇生活污水处理厂	2013.06 至今	侯向军/13759671777
	7	渭南市生态环境局临渭分局	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 300t/d 临渭区下邽镇生活污水处理厂	2014.07 至今	杨中祥/13992399328
	8	渭南市生态环境局合阳分局	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 300t/d 合阳县甘井镇生活污水处理厂	2015.03 至今	房朝伟/13759630811
	9	韩城市生态环境局	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 1000t/d 韩城市西庄镇污水处理厂	2014.05 至今	吉伟/15829191523
	10	韩城市生态环境局	乡镇污水低成本全过程控制技术	应用于 2000t/d 韩城市芝川镇污水处理厂	2015.03 至今	孙林柯/13279159900
主要知识产权目录和标准规范等目录	<p>(1) 发明专利；农村(社区)污水泥液无动力混合、抗低温生化处理装置；授权号：ZL 2014 1 0196124.1；授权日期：2015.9.2；证书编号：1773369；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：李英杰、张振文、孙长顺、张蓓、薛旭东、杨晨曦、林启才、王佳。</p> <p>(2) 发明专利；一种用于农村污水处理的生物生态复合处理装置；授权号：ZL 2015 1 0337196.8；授权日期：2017.7.14；证书编号：2552304；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：李英杰、张振文、王佩、白小满、杨林、张倩、马琪、孙长顺、王西锋。</p> <p>(3) 发明专利；一种立式风能曝气充氧机；授权号：ZL 2014 1 0465151.4；授权日期：2016.6.22；证书编号：2117427；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：薛旭东、王西锋、张振文、孙长顺、李英杰。</p> <p>(4) 发明专利；一种太阳能污水深层扰动、表面耕水式增氧机；授权号：ZL 2014 1 0465571.2；授权日期：2016.8.24；证书编号：2204743；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：薛旭东、王西锋、王丽香、张振文、孙长顺、董雯。</p> <p>(5) 发明专利；双室交替使用单向排气粪尿分离旱厕；授权号：ZL 2014 1 0196123.7；授权日期：2016.5.11；证书编号：2061120；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：李英杰、张振文、杨晨曦、张蓓、孙长顺、薛旭东、林启才、王西锋。</p> <p>(6) 发明专利；一种风能深水曝气太阳能表面耕水式增氧的装置；授权号：ZL 2014 1 0464940.6；授权日期：2016.3.23；证书编号：1997502；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：孙长顺、薛旭东、王西锋、张振文、董雯、</p>					

	<p>王丽香、王晓涛、李英杰。</p> <p>(7) 标准；陕西省黄河流域污水综合排放标准；授权号：(DB61/224-2018)；授权日期：2018.12.29；证书编号：/；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：郭巍、王青、张振文、孙长顺、胡龙刚、王晓涛、王浩、高敏、杨晨曦。</p> <p>(8) 标准；农村(社区)污水泥液无动力混合、抗低温生化处理装置；授权号：DB61/1227-2018；授权日期：2018.12.29；证书编号：/；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：王蜀一、王浩、王睿、马岩、吕亚鹏。</p> <p>(9) 方案；陕西省水污染防治工作方案；授权号：陕政发〔2015〕60号；授权日期：2015.12.30；证书编号：/；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：孙长顺。</p> <p>(10) 方案；渭河水污染防治巩固提高三年行动方案(2015-2017)；授权号：陕政办发[2015]38号；授权日期：2015.5.17；证书编号：/；权利人：陕西省环境科学研究院；发明人：孙长顺。</p>								
主要完成人情况	姓名	薛旭东	排名	1	行政职务	环境规划所所长	技术职称	高级工程师	
	工作单位	陕西省环境科学研究院			完成单位	陕西省环境科学研究院			
	对本项目贡献	为以村镇为单元的分散型污水低成本全过程控制成套技术研究负责人，参与项目总体方案研究和实施计划的制定，在本项目的科研及实施过程中，进行组织及关键技术的决策。							
	姓名	李英杰	排名	2	行政职务	生态所所长	技术职称	高级工程师	
	工作单位	陕西省环境科学研究院			完成单位	陕西省环境科学研究院			
	对本项目贡献	参与课题研究内容设计、研究思路制定等，为村镇污水低成本全过程控制技术体系及关中地区冬春季污水无能耗保温关键技术研究负责人，在项目的科研及实施过程中，进行组织及关键技术的决策。							
	姓名	邓宴邺	排名	3	行政职务	副院长	技术职称	工程师	
	工作单位	陕西省环境科学研究院			完成单位	陕西省环境科学研究院			
	对本项目贡献	参与整体项目的设计，重点负责项目综合管理及关键技术的决策，协调合作单位的研究进展和应用。							

姓名	孙长顺	排名	4	行政职务	水环境研究所所长	技术职称	正高级工程师
工作单位		陕西省环境科学研究院		完成单位		陕西省环境科学研究院	
对本项目贡献		负责项目村镇生活污水低成本处理成套关键技术研究，在项目实施的过程中进行组织协调及关键技术的决策，负责针对技术难点和创新点进行技术攻关。					
姓名	王西锋	排名	5	行政职务	/	技术职称	工程师
工作单位		陕西省环境科学研究院		完成单位		陕西省环境科学研究院	
对本项目贡献		主要参与村镇生活污水低成本处理成套关键技术研究。					
姓名	郭巍	排名	6	行政职务	综合室主任	技术职称	正高级工程师
工作单位		陕西省环境科学研究院		完成单位		陕西省环境科学研究院	
对本项目贡献		主要参与村镇生活污水低成本处理成套关键技术研究。					
姓名	王蜀一	排名	7	行政职务	农环所所长	技术职称	高级工程师
工作单位		陕西省环境科学研究院		完成单位		陕西省环境科学研究院	
对本项目贡献		主要参与村镇生活污水处理模式研究内容。					
姓名	曹筱晗	排名	8	行政职务	/	技术职称	工程师
工作单位		陕西省环境科学研究院		完成单位		陕西省环境科学研究院	
对本项目贡献		参与项目管理及村镇污水低成本全过程控制技术体系部分研究内容。					
姓名	袁家根	排名	9	行政职务	/	技术职称	工程师
工作单位		陕西省环境科学研究院		完成单位		陕西省环境科学研究院	
对本项目贡献		参与项目管理及关中地区冬春季污水无能耗保温关键技术研究					

主要完成单位及创新推广贡献	单位名称	陕西省环境科学研究院	排名	1
	对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	<p>陕西省环境科学研究院负责总体技术方案制定、技术内容分析、技术路线确定，优化技术等，项目形成了以下主要成果。一是形成了村、镇污水处理必须强化顶层设计的思想，指出政府应从整体上规范布局村、镇污水治理模式、治理技术和运行管理方式，为关中乃至全省村、镇污水处理指明了道路。二是以村镇为单元的分散型污水低成本全过程控制成套技术，为乡村生活污水低成本处理及资源化利用提供了技术支持。三是完成关中地区浅层地温分布规律、温度对污水生化处理效果影响研究，突破冬春季污水无能耗保温关键技术。各项研究成果对渭河水污染防治及水环境质量改善具有重大意义，同时，通过5年研究，突破了5项关键技术，研制6套关键设备，建成示范工程2项，申请发明专利6项，均已授权，形成技术政策、规范5份，培养1支科研团队（专业技术人员13名，其中硕士研究生4名）。</p>		
完成人合作关系说明	<p>项目完成人薛旭东、李英杰、邓宴邴、孙长顺、王西锋、郭巍、王蜀一、曹筱晗、袁家根、陈宣均为黄河流域（陕西段）村镇生活污水处理关键技术研究及示范项目主要完成人，均为陕西省环境科学研究院科研人员。</p> <p>完成人薛旭东为以村镇为单元的分散型污水低成本全过程控制成套技术研究负责人项目负责人；完成人李英杰为村镇污水低成本全过程控制技术体系及关中地区冬春季污水无能耗保温关键技术研究负责人；完成人邓宴邴参与整体项目的设计，重点负责项目综合管理及关键技术的决策，协调合作单位的研究进展和应用；完成人孙长顺负责项目整体协调工作及以乡镇为单元的分散型污水低成本全过程控制整装成套技术研发集成示范子课题研究工作。</p> <p>完成人王西锋、郭巍、王蜀一、曹筱晗、袁家根、陈宣均为技术骨干，其中，王西锋、郭巍、陈宣、曹筱晗参与子课题以乡镇为单元的分散型污水低成本全过程控制整装成套技术研发集成与示范的项目管理及研究；完成人王蜀一、袁家根参与村镇生活污水处理模式及关中地区冬春季污水无能耗保温关键技术研究。</p>			

## 项目二

项目名称	多元耦合一体化臭氧气浮关键技术装备与应用		
提名者	陕西省生态环境厅	提名等级	省技术发明奖一等奖
提名意见	<p>本成果针对水与废水中难降解有机物强化处理造成的处理效率低、工艺冗长、能耗高、适应性差等问题，项目组以生化难降解有机物的高效低耗去除为目的，突破工艺单元的技术界限，首创了多元耦合一体化臭氧气浮反应体系，开发了多元耦合一体化臭氧气浮短流程处理工艺系统，发明了多元耦合一体化臭氧气浮系列关键技术，研发了不同规格与类型的系列技术装备，完成了一系列关键技术的工程应用。</p> <p>成果形成了多项理论、技术与应用示范，授权国家发明专利 22 项，发表科研论文 50 余篇，开发技术装备 100 余套，应用于我国 34 个企业生产单位，为工业废水的再生利用提供了技术支持。项目研发的专利技术曾获 2 项中国专利优秀奖，相关成果荣获中国循环经济协会科学技术一等奖、中国产学研合作创新成果优秀奖。</p> <p>该项目技术上有创新，工艺合理，实用性强，有广阔的应用前景和推广价值。提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。</p>		

## 项目简介

本项目属于水污染防治工程领域。水与废水处理过程通常为污染物转化、富集、分离等单元工艺的组合。对于生化难降解有机物，传统处理流程往往包括一系列化学和物化单元，如氧化、混凝和沉淀（对于重质絮体）或气浮（对于轻质絮体）设施，以及强化分离效率的其他附加装置，导致处理流程长，耗能高，工艺适应性差。导致这一问题的原因，一是在于各单元处理的目标确定不准确，二是在于各单元间的协同性差，三是在于末端分离功效低（在采用气浮分离的情况下尤为突出）。针对传统处理流程的上述缺陷，项目组以生化难降解有机物的高效低耗去除为目的，在充分研究各类有机分子结构特征和定向转化机制、溶解性有机物富集强化和凝聚性改善原理、絮体形态调控和分离强化路径的基础上，历时近 20 年，创新了污染物转化-富集-分离过程耦合原理，建立了多元耦合一体化臭氧气浮新工艺体系，实现了技术装备化，并成功应用于油气田污水处理与资源化、印染废水处理与循环利用、城镇雨污水深度处理等一系列工程，完成了技术集成创新。

针对难降解有机物的强效去除，打破传统工艺单元的技术界限，首创了多元耦合一体化臭氧气浮反应原理。以有机物凝聚性改善为主要目标，研究判明了低浓度臭氧投加促使难降解有机物官能团定向转化和改性修饰的反应路径和控制条件；研究发现了金属盐混凝剂与臭氧的“混凝-氧化”互促效应，确立了臭氧化与混凝融合的技术路线和调控方法；结合臭氧投加形成臭氧微气泡，营造以气载絮体为核心的固-气-液微界面反应体系，判明了局部高浓度臭氧微环境下的多元界面反应强化机理；利用气载絮体自身的重力分离特性，构建了动态反应与快速分离相辅相成的新型反应工程单元，揭示了其多过程交互作用和动力学特性；研究了多元耦合一体化臭氧气浮的理论设计方法和控制原理，为新技术体系的形成奠定了理论基础。

（2）发明了多元耦合一体化臭氧气浮系列专利技术。

针对传统臭氧化-混凝-沉淀组合工艺冗长问题，开发了多元耦合一体化臭氧气浮短流程处理工艺系统，发明了一个处理单元内臭氧氧化、混凝、气浮分离等有机融合的技术方法，大幅度缩减了工艺占地面积与处理设施体积，与传统工艺相比，缩减占地面积 70%，能耗减少 25%；依据污染物的臭氧转化-富集-分离过程耦合与互促增效原理，充分激发单元间效能，发明了多元耦合一体化单级、多级以及复合式臭氧气浮系列关键技术，实现了不同污染负荷与水质要求的污水深度处理与资源化利用；以优质再生水生产和低耗能为目标，充分利用系统势能以及臭氧微环境多相氧化特性，结合膜分离与电催化优点，发明了低能耗膜臭氧气浮和电诱导臭氧气浮等多元耦合强化技术，显著提升了体系的定向氧化与富集分离能力，实现了处理系统零加药与无人值守；针对臭氧气体溶解困难与系统分区易于引起压力失稳、密闭反应装

置内排渣与自动清洗需求、以及气载絮体尺度调控与局部高浓度臭氧微环境保障等问题，发明了多元耦合一体化臭氧气浮工艺强化与调控系列技术，实现了臭氧气浮工艺的稳定运行。

(3) 研发了多元耦合一体化臭氧气浮系列关键技术装备。

针对城镇建设和工业发展的实际用水需求，完成了专利技术的工程转化，研发了多元耦合一体化臭氧气浮系列关键技术装备：针对油气田生产特点、作业特征以及区域环境条件，研发了以臭氧气浮为核心的模块化组合设施，通过车载移动化集成装备，实现了特殊工业环境下的污染物控制与再利用；以常规公路运输为约束条件，突破了单机处理能力达50m<sup>3</sup>/h的成套整装处理装备研发。结合模块化组合与装配式理念，研发了集中式处理站现场组装式大型臭氧气浮关键技术装备，实现了污水规模化处理需求；围绕多元耦合一体化臭氧气浮关键技术装备研发，开发了气载絮体成像观测与分析系统、自动排渣与清洗装置、低消耗新型电极材料等附属设备，完善了臭氧气浮处理系统。项目共研发不同规格与类型的臭氧气浮一体化处理装备100余套。

(4) 多元耦合一体化臭氧气浮技术的工程应用。

针对我国黄土塬区和毛乌素沙漠两大生态脆弱区油气开发过程中的环境治理与水再生利用，以及西北缺水地区的城镇建设和工业发展中的供水保障问题，完成了一系列关键技术的工程应用：技术应用于北方4座城市住宅开发，完成了450万m<sup>2</sup>建筑面积的雨污水再生处理工程，及2座城镇污水深度处理与再生利用工程，实现了短流程高效低耗雨污水资源化利用，有效缓解了城市供水压力；技术应用于中石油、中石化以及陕西延长油田等我国5省区31家油田生产单位共计5000多个井场的钻采废液处理工程，解决了制约油气开发水资源保障困难的技术瓶颈问题，为中国第一大油田-中石油长庆油田的持续稳产建立了牢固的环保屏障；技术应用于浙江省3家印染企业的废水循环利用工程（总处理规模近10000m<sup>3</sup>/d），实现了印染企业污染物排放的“总量控制”，提升了印染企业的产能，有效改善了当地的水环境质量。

项目授权国家发明专利22项，制定技术规范3项，在国内外权威期刊发表论文50余篇，出版专著2部，项目成果先后获得中国专利优秀奖2项、中国循环经济协会科学技术一等奖、中国产学研合作创新成果优秀奖。技术成果推广应用于我国6省区34个企业生产单位，解决了极度缺水地区工业发展的瓶颈问题，缓解了城镇发展的供水矛盾，有力促进了我国黄土塬区和毛乌素沙漠两大生态脆弱区的污染治理和环境改善。与此同时带来了企业生产规模的扩大和产值的提升，直接经济效益达29.7亿元（近3年19.26亿元）。

客观评价

1. 获奖情况以多元耦合一体化臭氧气浮为核心技术的相关成果先后荣获中国专利优秀奖 2 项、中国循环经济协会科学技术一等奖及中国产学研合作创新成果优秀奖。

2. 主要验收意见：（1）依托国家自然科学基金重点和面上等 3 项基金项目，开展了臭氧气浮基础理论研究，分别于 2005、2011、2018 年通过结题，专家组对项目组完成的国家自然科学基金重点项目评价为 A。

（2）福建省科技厅于 2018 年 4 月对国家支撑计划课题“印染工业园区废水循环利用与示范”进行验收，主要意见为：“课题组构建了印染工业园区废水分质处理与按循序多记回用的新模式，研发的微气泡臭氧气浮一体化关键技术，有效控制了印染废水高比例循环过程中有机物的富集问题，实现了印染废水循环利用系统的稳定运行”。

（3）陕西省科技厅于对西安建筑科技大学承担的“13115”科技创新工程“陕西省污水处理与资源化工程技术研究中心”项目进行验收，主要意见为：“研究开发出的臭氧气浮等污水处理设备为我国污水处理和资源化技术研究、设备开发、污水再生利用等行业提供了新技术、新方法和新工具、为行业的发展提供了有力的技术支撑”。

（4）中石油重大科技专项“中国石油低碳关键技术研究”2015 年通过了结题验收，主要意见为：“提出了以微界面凝聚控制为基本单元，离子掩蔽、高级氧化和膜分离为终端保障的井场措施废液模块化处理技术，实现了废水的循环利用，为中石油低渗透油田节能减排提供技术支撑”。

（5）陕西省科技统筹重点项目“油田井场废水模块化处理设备研发与应用”于 2016 年通过了结题验收，主要意见为：“研制的油田井场废水处理设备可针对不同废水水质和处理水归宿进行优化组合，处理水达到了达标排放或回注驱油、道路浇洒及配制压裂液等多途径再生利用的目的”。

3. 技术检测报告：（1）项目组研发的多级臭氧气浮水处理技术与设备应用于中石油长庆油田作业废水、钻井泥浆分离水处理，经检测认定装置处理水达到了《压裂液通用技术条件》（SY/T 6376-2008）、《钻井液技术规范》（SY/T 8129-2005）、《碎屑岩油注水水质推荐指标》（SY/T 5329-2012）水质要求，满足再次配制钻井工作液、回注地层驱油的水质要求，处理装备占地面积分别小于  $0.75 \text{ m}^2/\text{m}^3$  和  $2.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。

（2）以多元耦合一体化臭氧气浮为核心的撬装式作业废水处理装置应用于中石油长庆油田作业废水处理与就地回用，经检测处理水达到了《压裂液通用技术条件》（SY/T 6376-2008）、《钻井液技术规范》（SY/T 8129-2005）、《碎屑岩油注水水质推荐指标》（SY/T 5329-2012）水质要求，满足再次配制钻井工作液及回注地层驱油的水质要求。

（3）采用多级臭氧气浮一体化工艺作为苏里格气田钻井岩屑/压裂返排液集中处理厂的深度处理核心工艺，处理水

优于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的 V 类水体,达到了油田行业《压裂液通用技术条件》(SY/T 6376-2008)、《钻井液技术规范》(SY/T 8129-2005)的要求。

(4) 采用复合式臭氧气浮一体化技术作为浙江丰林染整有限公司印染废水循环利用工程核心工艺,出水稳定达到且优于《纺织染整工业回用水水质标准》(FZ/T01107-2011)的限值要求。

(5) 采用臭氧气浮处理技术作为西安阎良航空技术产业基地污水再生利用工程主体工艺,经西安市环境监测站检测,处理水质满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》和《城市污水再生利用工业用水水质》(GB/T18920-2002)标准。

(6) 采用臭氧气浮处理技术作为西安陕鼓动力股份有限公司污水处理及回用工程主体工艺,经西安市环境监测站检测,处理水质满足《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T 18921-2002)标准。

#### 4. 用户评价

针对项目技术在长庆油田位于陕、甘、宁、内蒙 4 省区 18 个油田生产单位的推广应用,中石油长庆油田油气工艺研究院评价:“项目技术为长庆油田年 5000 万吨油气持续稳产建立了牢固的环保屏障,提供了水资源保障的解决途径,有力地促进了油田绿色和谐发展”。

项目成果应用于我国陕西、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、浙江六省区，应用领域包括城镇雨污水深度处理与再生利用、油气田污水处理与资源化以及印染废水处理与循环利用，具体应用情况如下：（1）技术应用于技术应用于北方 4 座城市住宅开发 450 万 m<sup>3</sup> 建筑面积的雨污水再生处理工程及城市尾水深度处理工艺，实现了再生水回用于市政绿化、道路浇洒、工地降尘等，大幅降低了企业的运行成本。（2）技术应用于中石油、中石化等 34 油田生产单位共计 5000 多个井场的污染治理，实现了作业废水回注驱油、配制工作液以及井场绿化浇洒等，大幅降低了油气开发的用水成本，有力的促进了油田的绿色和谐发展。（3）技术应用于浙江 3 家印染企业近 10000 m<sup>3</sup>/d 处理规模的废水循环利用工程，出水水质满足回用标准回用于生产，保证企业再生水 35%以上的回用率，有效提高了各企业的经济效益。

应用情况  
和效益

序号	应用单位	应用对象及规模	应用的起止时间	单位联系人/电话
1	西安陕鼓动力股份有限公司	集团雨污水处理与再生回用工程	2017.03~2019.12	晏欣茹/13669188496
2	西安阎良国家航空高技术产业基地投资发展有限公司	西安阎良污水处理与回用示范工程的深度处理	2015.03~2019.12	任武昂/13319251601
3	绿地集团西安置业有限公司	已应用于 3 个中心商务区和 8 个住宅区雨污水再生利用	2017.01~2019.12	张衍/18681833920
4	中石油长庆油田分公司	长庆油田陕、甘、宁、内蒙 4 省区 18 个油田生产单位	2010.01~2019.12	蒋继辉/15319745465
5	内蒙古恒盛环保科技工程有限公司	应用于集中厂处理再生回用压裂返排液 194×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	2016.01~2019.12	李彦平/13904778033
6	西安柯宇能源技术有限公司	山西等地德油气田作业区块进行了废水处理项目	2014.12~2019.12	王云龙/15829477380
7	北京中科润金环保工程股份有限公司	长庆油田陕、甘、宁、内蒙 12 个采油厂作业废水处理及再生回用	2010.01~2019.12	陈荣/13911872319
8	浙江丰林染整有限公司	应用于 3000 m <sup>3</sup> /d 印染废水回收利用工程	2014.06~2019.12	顾万涛/13586347758

9	桐乡市鸿企纺织有限公司	应用于 3000 m <sup>3</sup> /d 的印染废水循环利用技术与示范项目	2016. 12~2019. 12	徐月萍/18057383813
10	桐乡荣翔染整有限公司	应用于 2800 m <sup>3</sup> /d 印染污水处理厂和中水回用站	2016. 12~2019. 12	陈瑞仙/0573-88866123

近三年经济效益

单位：万元人民币

自然年	完成单位		其他应用单位	
	新增销售额	新增利润	新增销售额	新增利润
2017	43500	13050	17075	4127
2018	44500	13350	19450	4711
2019	45500	13550	22625	5628
累计	133500	39950	59150	14466

社会效益：本技术产生的社会效益主要体现在以下五个方面：（1）项目技术强化雨污水再生利用，缩短商住项目开发周期，新增行业产值。（2）项目技术解决了长期以来我国生态脆弱区低渗透油气田长距离罐车输水带来的瓶颈问题，为中国第一大油田-长庆油田实现年 5000 万吨油气持续稳产提供了可靠的水资源支持，建立了牢固的环保屏障。（3）项目有效控制了印染废水高比例循环利用过程中污染物的富集问题，大幅提升印染废水循环利用率，提升了因供水总量限额被制约的企业产能，有效提高了印染行业的经济效益。（4）项目有效治理了我国西北地区油气开发中的环境问题，保护了西北广大地区的生态环境，特别是黄土塬区和毛乌素沙漠两大生态脆弱区。（5）项目促进了“国家非传统水资源开发利用国际科技合作基地”、“教育部西北城镇水资源再生利用与水质安全保障创新团队”、“西北水资源与环境生态教育部重点实验室”、“陕西省污水处理与资源化重点科技创新团队”、“陕西省污水处理与资源化工程技术研究中心”、“西部环境教育部重点实验室”等一批科研创新群体和平台的建设，并通过西安建筑科技大学和中国石油长庆油田分公司的产学研合作，加速了技术成果的工程转化，从而促进了科学技术的发展，为企业培养了环境科技人才，提升了企业的技术水平。

主要知识 产权目录	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	一种复合式臭氧气浮一体化装置	中国	ZL201710573796.3	20190607	3404458	西安建筑科技大学	金鹏康、金鑫、王锐
	2	发明专利	一种低浓度有机物的核晶凝聚方法	中国	ZL201310690137.X	20150408	1625639	西安建筑科技大学	金鹏康、王晓昌、任武昂、金鑫
	3	发明专利	一种低能耗膜臭氧气浮一体化装置	中国	ZL201510512288.5	20170801	2570611	西安建筑科技大学	金鹏康、金鑫、韩冬
	4	发明专利	一种径向结合多级臭氧气浮装置	中国	ZL201610903008.8	20190326	3307565	西安建筑科技大学	金鹏康、金鑫、韩冬、王帅
	5	发明专利	可改变微气泡臭氧-混凝-气浮工艺中臭氧投加顺序的方法及装置	中国	ZL201210381905.9	20150819	1760593	西安建筑科技大学	金鹏康、金鑫、任武昂、王先宝、韩冬、孔茜
	6	发明专利	电诱导凝聚臭氧气浮-催化氧化多元耦合水处理系统与amp;方法	中国	ZL201611110857.4	20200107	3656386	西安建筑科技大学	金鹏康、任武昂、金鑫、石烜
	7	发明专利	一种臭氧强化催化材料的制备及应用方法	中国	ZL201710725934.5	20191206	3624037	西安建筑科技大学	金鹏康、王锐、许路、王丹、蒋丹丹
	8	发明专利	一种气浮微气泡动态观测及调控系统	中国	ZL201610905619.6	20190709	3448155	西安建筑科技大学	金鹏康、金鑫、刘颖、韩冬
	9	发明专利	一种低能耗自动清洗器壁的气浮结构	中国	ZL201610137171.8	20180525	2936490	西安建筑科技大学	金鹏康、金鑫、韩冬、王帅
10	发明专利	一种低能耗浮力推进式刮渣装置	中国	ZL201610136804.3	20180227	2830631	西安建筑科技大学	金鹏康、金鑫、韩冬、侯瑞、张伟、张琼华	

主要完成人情况	姓名	金鹏康	排名	1	行政职务	副院长	技术职称	教授	
	工作单位		西安建筑科技大学		完成单位	西安建筑科技大学			
	对本项目贡献		项目负责人，全面负责技术路线制定项目总体规划与实施。完成了项目第一、第二项科技创新，以及第三项的部分科技创新，完成了项目多元耦合一体化臭氧气浮关键技术装备与应用研发，主持研发了臭氧气浮一体化处理、电诱导臭氧气浮处理、膜臭氧气浮处理等系列技术，促使技术发明的装备化，推动了相关技术的工程应用。						
	姓名	王晓昌	排名	2	行政职务	无	技术职称	教授	
	工作单位		西安建筑科技大学		完成单位	西安建筑科技大学			
	对本项目贡献		在本项目中完成了第一和第二项主要科技创新中的部分内容，负责完成了臭氧气载絮体特性研究、有机物定向氧化改性原理创新和理论研究工作，协助完成项目技术总体路线制定与实施，开发了臭氧混凝互促相关处理技术。						
	姓名	金鑫	排名	3	行政职务	无	技术职称	副教授	
	工作单位		西安建筑科技大学		完成单位	西安建筑科技大学			
	对本项目贡献		在本项目中参与完成了第一项科技创新中的部分内容和第二项科技创新的主要内容，负责完成了多元耦合一体化臭氧气浮关键技术的工程转化及现场应用与服务，合作完成了“一种复合式臭氧气浮一体化装置”等多项专利技术的研发及推广应用。						
主要完成单位情况	单位名称		西安建筑科技大学				排名	1	
	对本项目科技创新和推广应用情况的贡献		西安建筑科技大学是一所以土木建筑、环境市政、材料冶金及其相关学科为特色，以工程技术和学科为主体的多科性大学，主要完成人所在的环境工程专业为国家重点学科，拥有国家城市非传统水资源开发利用国际科技合作基地、西部建筑科技国家重点实验室培育基地、西北水资源与环境生态教育部重点实验室、陕西省环境工程重点实验室、陕西省污水处理与资源化工程技术研究中心、陕西省污水处理与资源化重点科技创新团队等高水平科研平台，为项目的实施和应用推广提供了坚						

		<p>定的基础。</p> <p>作为项目完成单位，全面负责项目的组织实施、理论分析以及技术路线的确定，并充分考虑人员组成，合理协调具有很强实力的理论分析、工艺设计、化学分析、实验技术、计算解析的中青年教师和技术人员完成项目的技术与工程实施。并通过产学研合作，与中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司共同完成了技术研发与推广应用。</p>																									
<p>完成人合作关系说明</p>	<p>该项目由西安建筑科技大学独立完成。完成人中金鹏康与王晓昌长期以来致力于多元耦合一体化臭氧气浮原理与技术开发，合作出版了《水中胶体物的混凝原理和应用》专著。金鹏康积极拓展产学研合作途径，其与金鑫合作完成的多项专利成果获奖，共同发表了与本技术相关的多篇研究论文，并合作出版专著《臭氧混凝互促增效机制及其应用》。</p> <p>在项目实施过程中，金鹏康负责完成了项目研发的多元耦合一体化臭氧气浮关键技术装备化、现场应用与服务；王晓昌负责项目组研发的多元耦合一体化臭氧气浮技术的资源化工程模式研究；金鑫负责技术推广与应用、技术经济与环境效益分析、实施效果评价等；具体合作关系情况见完成人合作关系情况汇总表。</p> <p style="text-align: center;"><b>完成人合作关系情况汇总表</b></p> <table border="1" data-bbox="394 863 2045 1125"> <thead> <tr> <th>序号</th> <th>合作方式</th> <th>合作者/项目排名</th> <th>合作起始时间</th> <th>合作完成时间</th> <th>合作成果</th> <th>证明材料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>专著合著</td> <td>1, 2, 3</td> <td>2017</td> <td>2018</td> <td>臭氧混凝互促增效机制及应用</td> <td>附件 42</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>专著合著</td> <td>1, 2</td> <td>2015</td> <td>2018</td> <td>水中胶体物的混凝原理和应用</td> <td>附件 42</td> </tr> </tbody> </table>						序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料	1	专著合著	1, 2, 3	2017	2018	臭氧混凝互促增效机制及应用	附件 42	2	专著合著	1, 2	2015	2018	水中胶体物的混凝原理和应用	附件 42
序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料																					
1	专著合著	1, 2, 3	2017	2018	臭氧混凝互促增效机制及应用	附件 42																					
2	专著合著	1, 2	2015	2018	水中胶体物的混凝原理和应用	附件 42																					