

# 拟提名 2018 年度国家技术发明奖项目公示材料

## 一、项目名称

工业集聚区污水深度净化关键技术及应用

## 二、提名者及提名意见

提名者：中国环境科学学会

### 提名意见：

该项目围绕着我国工业集聚区集中污水处理厂和工业园区污水处理系统提标增效的迫切需求，以污水深度净化及资源化为目标，以典型污染物深度消减为突破口，开展了持续系统的理论突破、技术创新和工程实践。在有机污染物定向脱毒转化、重金属靶向吸附资源化和外碳源减量化低成本深度控氮三个方面发展了新原理和新方法，发明了高效、经济、稳定的污水处理关键技术，自主研发了相应的工艺设备及产品，并通过技术集成与工程实践，形成了面向差异化需求的系列优化组合工艺系统，实现了特征污染物和常规污染物的协同消减，为污水深度净化再生利用提供了重要的技术途径。项目成果在技术创造性、新颖性、实用性等方面取得了重要突破，部分研究成果曾获环境保护科学技术奖一等奖、高校科研成果自然科学奖一等奖、中国产学研合作创新奖、第十届发明创业奖特等奖；1项技术成果入选《国家鼓励发展的环境保护技术目录》、2项技术成果入选《国家重点环境保护实用技术及示范工程名录》；授权发明专利 36 项，发表 SCI 收录论文 188 篇。

通过与企业合作，该项目在全国 16 个省市 70 余项污水处理工程中实现了大规模技术示范及应用，保障了制药、印染、精细化工等典型行业多家工业园区经济的稳定增长，为松花江、淮河、海河等重点流域污染物控制和我国典型工业行业的可持续发展做出了积极贡献，社会效益和环境效益显著。

经认真审阅，该项目推荐材料真实可靠，候选单位、候选人具备获奖条件，提交资料齐全，符合要求，不存在知识产权纠纷或项目完成单位、完成人员排序争议。提名该项目为国家技术发明奖二等奖。

## 三、项目简介

该项目属于水污染防治工程科学技术领域。目前，工业集聚区集中污水处理厂和工业园区污水处理系统普遍面临着提标增效至一级 A 标准甚至超净排放的要求，水中污染物深度消减需求迫切。但是，工业源尾水引入的毒害性污染物往往导致水质可生化性差、污水碳氮比失衡，生物处理效能受限，深度控氮过度依赖

外碳源投加，运行成本高昂。该项目围绕着污水毒性减排和低成本深度控氮减碳亟待突破的难点问题，在生物激活增效处理、污水毒性减排耦合资源回收和外碳源减量化深度脱氮等方面发展了新原理与新方法，发明了相应的核心技术，自主研发了实用化工艺设备及产品，并通过技术集成与工程实践，形成了面向工业集聚区差异化需求的系列优化组合工艺系统，出水稳定达标，为污水深度净化再生利用提供了重要技术途径。主要发明点如下：

**【1】**针对工业源尾水引入的毒害性有机物，提出了厌氧水解酸化与厌氧还原协同脱毒技术原理，建立了激活微生物厌氧呼吸通路加速污染物定向脱毒转化的调控方法，发明了与厌氧水解酸化系统灵活匹配的污水增效处理加速器件，自主研发了系列复合厌氧水解酸化工艺及装置，有效改善了复杂源污水的可生化性（提高30%以上）以及脱毒、脱色、脱卤性能。提出了资源化主导的重金属毒性减排思路，定向设计了专属空腔捕获水中不同类别重金属的靶向吸附剂，发明了系列高选择性磁性重金属吸附材料，实现了多种重金属共存条件下特异性吸附及产品化回收，重金属转化产品率超过95%。**【2】**针对污水碳氮比失衡、深度控氮成本高昂的问题，发明了污水厂剩余污泥短程发酵/共发酵快速制取短链脂肪酸为生物脱氮系统提供碳载电子供体的技术方法，发明了硫载-铁载电子自驱动、酸碱自平衡的污水深度脱氮技术方法，自主研发了新型反硝化工艺装置，构建了碳载-硫载-铁载电子供体协同驱动的两级反硝化深度控氮技术体系，脱氮成本运行成本降低40%以上。**【3】**针对污水深度净化，定向设计了专性截留水中微量有机物的疏松纳滤膜，发明了定向分离膜过滤-原位分解矿化微量污染物的技术方法，优化了核心工艺单元的匹配模式及组合方式，构建了针对性强的系列组合工艺系统，克服了污水深度净化运行成本高昂的问题。

该项目研究成果获授权发明专利36项，发表SCI收录论文188篇，在全国16个省(市)70余项污水处理工程中实现了大规模技术示范及应用，积极推进了工业园区污水深度净化再生利用技术的发展，保障了制药、印染、精细化工等典型行业16家工业园区经济的稳定增长，社会效益和环境效益显著。

#### 四、客观评价

##### 1. 技术与应用评价

中国科学院文献情报中心根据该项目重要创新点完成的科技查新报告（编号：2017-705）表明，“针对工业集聚区污水差异化水质及差异化水处理目标需求，通过集成定向脱毒水质调理技术...等自主研发的关键技术，...污水深度净化耦合资源回收系列集成化技术”的查新点，在国内外公开文献中未见相同报道。”

2017年12月25日，中国环境科学学会对该项目成果组织技术鉴定，鉴定委

员会认为“...复合厌氧水解酸化工艺，有效改善了复杂源污水的可生化性，填补了生物厌氧强化去除有毒有害有机物技术领域的空白”。“...在生物激活增效处理、低成本深度脱氮和污水深度净化耦合资源回收三个方面发展了新原理和新方法，自主研发了...，形成了面向差异化水质特征和不同水质目标的系列集成技术和优化组合工艺系统。...深度脱氮技术运行成本降低 40%以上，脱氮稳定率超过 98%，解决了污水碳氮比失衡，深度控氮成本高昂的技术难题...已在制药、印染、煤化工、电子等工业集聚区污水处理厂大规模应用...总体上达到国际领先水平。”

## 2. 学术评价与影响力

该项目成果发表相关 SCI 收录论文 188 篇，其中 129 篇发表在环境科学与工程学科 Top Journal 上（基于中科院期刊分区在线平台数据），包括 Environ. Sci. Technol. 论文 12 篇、Water Res. 论文 12 篇；4 篇论文入选 ESI 全球高被引论文（前 1%）。

该项目组在生物激活强化有机物脱毒转化方面发表 SCI 收录论文 42 篇，Web of Science 数据库分析表明，项目负责人是此方面国内外发表论文数量最高的学者。其中，多篇文章被国内外学者长文引用，例如，综述杂志 Renew. Sust. Energ. Rev. (2015, 47: 23-33) 以一节的篇幅引用评价了项目组发表的 3 篇论文，指出“...在废水处理中有重要应用价值”；美国工程院院士 Bruce E. Rittmann 在 Chem. Eng. J. (2017, 317: 882-889) 中连续引用项目组发表的 4 篇论文，指出其建立的芳香烃微氧生物降解途径“...有利于解除毒物对微生物产酸发酵和呼吸代谢造成的抑制作用”；著名综述杂志 Biotechnol. Adv. (IF: 10.597; 2015, 33: 317-334) 引用了项目组发表的 3 篇有机污染脱毒转化研究成果，指出其“...建立了 4-氯酚脱氯和矿化新方法”。

国内外学者高度评价了该项目组在污水深度净化耦合资源回收方面的成果。例如，著名综述杂志 Curr. Opin. Microbiol. (2016, 33:140-146) 高亮了项目组建立的硫循环介导氮硫污染物协同去除数学模型，指出“...为进一步完善水处理模型提供了重要参数”；J. Mater. Chem. A (2015, 3: 13598-13627) 高度评价了项目组靶向吸附水中重金属实现资源回收的研究成果，指出“采用冠醚合成的 Pb(II) 离子印迹材料对实际环境水体中 Pb(II) 离子具有高的吸附容量与选择性”；著名杂志 Carbon (2017, 116: 240-245) 引用了项目组定向分离膜实现污水深度净化的成果，指出“氧化石墨烯在水质净化过程中展现出巨大的应用潜力”。

此外，项目完成人长期从事厌氧过程主导的污水处理技术研究，2013 年倡导成立了国际水协会厌氧专业委员会并担任主任和副主席，2017 年作为共同主席组织了世界厌氧大会；项目组 2 人获国家杰出青年基金、1 人入选中组部“万人计划”

科技领军人才、2人入选教育部长江学者奖励计划特聘教授；1人获何梁何利科技进步奖。该项目部分成果获得2017年环境保护科学技术奖一等奖和2013年高校科研成果自然科学奖一等奖。

### 3. 对行业发展与社会的影响

该项目应用推广也得到国家和地方的高度认可。1项技术成果入选《国家鼓励发展的环境保护技术目录》、2项技术成果入选《国家重点环境保护实用技术及示范工程名录》。基于项目技术成果，编制和修订2项行业标准。该项目技术的应用推广，有力地支撑了10余家环保企业和水务公司的发展，显著提升了企业在行业中的竞争力。项目完成人获得了2017年全国创新争先奖，2017年中国发明协会“发明创业奖人物奖”特等奖，2015年中国产学研合作创新奖等重要学术荣誉。

同时，该项目技术应用对工业集聚区重污染行业环保达标、可持续发展也起到重要的支撑作用。例如，基于该项目成果建设的“溢达水质净化中心工程”出水水质达到《纺织染整工业污染物排放标准》最新直排标准及广东地方标准。2015年6月2日，《华尔街日报》在一篇名为“中国服装制造商面临如何减少水污染的压力”的报道中，以“溢达水质净化中心”作为污水处理的先进案例，对其在污水处理方面的努力和成果给予了高度赞扬，并表示“这让世界看到了中国纺织工业的发展方向”。

## 五、推广应用情况

项目核心技术、核心产品及设备在全国16个省（市）70余项污水处理系统的升级改造、新（扩）建工程中实现了大规模技术示范及应用。已经投产的工程运行情况良好，支撑了相应的工业集聚区集中污水处理厂、工业园区污水处理厂及相关企业污水处理系统的达标减排与节能降耗，推进了工业集聚区污水深度净化再生利用技术的发展，促进了松花江、淮河、海河等重点流域的污染物控制与水环境质量提升。同时，该项目技术成果推广应用，有力支撑了10余家环保企业和水务公司的发展，显著提升了企业在行业中的竞争力和行业影响力，保障了制药、印染、精细化工等典型行业10余家工业园区经济的稳定增长，为我国典型工业行业的可持续发展做出了积极贡献。环境效益和社会效益显著。

## 六、主要知识产权目录

本项目主要知识产权目录见表2。

表 2 主要知识产权目录

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	专利有效状态
发明专利	生物催化电解-厌氧水解酸化耦合强化难降解废水处理装置	中国	ZL201210056821.8	2013-08-07	1248281	哈尔滨工业大学	王爱杰, 程浩毅, 崔丹, 郭宇琦, 任南琪	有效专利
发明专利	一种升流式厌氧-生物催化电解耦合强化难降解废水处理装置的应用	中国	ZL201410610189.6	2016-05-04	2054349	哈尔滨工业大学	王爱杰, 崔敏华, 崔丹, 程浩毅	有效专利
发明专利	反硝化深床滤池碳源智能精密投加系统	中国	ZL201410140512.8	2015-08-05	1742238	中持水务股份有限公司	蔡文, 孙召强, 寇长江, 张阳, 王忠民, 祁淑敏, 王玥, 李冬馨	有效专利
发明专利	应用有机废水处理套筒型分相厌氧反应器处理含硫含氮废水的调控方法	中国	ZL201510736760.3	2017-06-20	2524431	哈尔滨工业大学, 华北制药集团有限责任公司	王爱杰, 任立人, 赵友康, 赵秀梅, 吕建伟, 陈帆, 萧泛舟, 远野, 杨永会, 周崇晖	有效专利
发明专利	一种同步去除硫、氮和碳并回收单质硫的污水处理设备	中国	ZL201010102439.7	2011-11-16	865719	哈尔滨工业大学	王爱杰, 陈川, 任南琪, 周旭, 张莉, 徐熙俊, 卢秀清, 刘充, 高灵芳, 许继飞, 李笃中	有效专利
发明专利	以大环多醚类烯烃作为功能单体表面聚合法制备磁性锂离子印迹微球的方法	中国	ZL201310572937.1	2016-01-13	1917996	南昌航空大学	罗旭彪, 郭斌, 邓芳, 罗胜联	有效专利
发明专利	还原氧化石墨烯-胸腺嘧啶复合物的制备方法及用途	中国	ZL201410002197.2	2016-05-04	2053576	变更前:南昌航空大学变更后:	罗旭彪, 邓芳, 刘玲玲, 罗胜联	有效专利, 权利转移

						江西智汇环境技术有限公司		
发明专利	一种滤料截留高强度反洗排水槽	中国	ZL201410053375.4	2015-11-25	1854421	中持水务股份有限公司	蔡文, 寇长江, 张阳, 孙召强, 王忠民, 祁淑敏, 王玥, 李冬馨	有效专利
发明专利	一株同步代谢硫化物和硝酸盐的兼性化能异养细菌	中国	ZL201310551914.2	2016-05-18	2079867	哈尔滨工业大学	王爱杰, 谭文勃, 陈川, 远野, 黄聪	有效专利
发明专利	一种细菌复合厌氧矿化 2,4,6-三溴苯酚的方法	中国	ZL201410317146.9	2017-02-01	2365077	哈尔滨工业大学	李智灵, 王爱杰, 孙凯, 南军, 程浩毅, 梁斌, 林小秋	有效专利

## 七、主要完成人情况

本项目主要完成人情况见表 3。

表 3 主要完成人及对项目技术的贡献

姓名	排名	工作单位	完成单位	对项目技术的创造性贡献
王爱杰	1	中国科学院生态环境研究中心	哈尔滨工业大学	项目总负责人, 主持了项目技术原理、技术研发与推广应用的总体工作, 对发明点 1、2、3 均有创造性贡献。布局了项目的总体思路与研发过程, 提出了核心技术的研发路线与技术应用策略; 提出了厌氧水解酸化与厌氧还原协同脱毒技术原理, 发明了污水增效处理加速器件, 自主研发了复合厌氧水解酸化工艺; 发明了硫自养过程主导的反硝化深度脱氮技术, 发明了外碳源减量化污水深度脱氮技术; 提出了满足差异化需求的技术集成与工艺系统优化组合技术模式, 制定了关键技术产品的标准化设计与应用推广模式。
任南琪	2	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学	项目主要负责人, 并作为技术顾问全面指导了项目发明点 1、2、3 的相关技术研发工作, 对工艺设计、优化集成以及成果转化均有创造性贡献。提出了厌氧技术应用于工业集聚区污水处理的总体思路与技术模式; 提出了复合水解酸化工艺技术原型, 完成了行业

				标准 1 部；与企业合作推进技术成果在制药、印染等工业园区污水处理厂进行技术示范和推广应用。
程浩毅	3	中国科学院生态环境研究中心	中国科学院生态环境研究中心	项目协助负责人，对发明点 1、2、3 均做出重要贡献。提出了电刺激强化污水中难降解污染物（硝基芳香烃，偶氮化合物等）脱毒转化的技术原理，开发出系列复合水解酸化工艺原型；优化设计了微生物厌氧呼吸加速器件，完成了加速器件的产品化和工程化应用工作；提出了“硫-铁-碳”三元电子供体协同驱动的两级深度脱氮技术；参与开发了石墨烯疏松纳滤膜及其原位耦合高级氧化废水深度净化技术。完成了技术示范研究，参与了工程化推广。
梁斌	4	中国科学院生态环境研究中心	中国科学院生态环境研究中心	项目主要完成人员，对发明点 1 和 3 均作出重要贡献。发现了电刺激定向还原和破坏多种抗生素/抗菌剂官能团效价，建立了定向强化微生物胞外电子转移及电催化活性的生物激活策略，为加速抗生素的脱毒转化与深度矿化，阻断抗性基因的环境传播提供了新的技术途径。
邓芳	5	南昌航空大学	南昌航空大学	项目主要完成人员，对发明点 1 和 3 均作出重要贡献。创新性设计了含有氨基、巯基和环状三类与重金属有强相互作用的功能单体；自主研发了系列选择性吸附材料，创建了规模化生产线，突破了水中重金属分离回收难题，实现了废水重金属资源化回收。发明了系列高效光催化剂，参与研制了定向分离膜截留-原位分解矿化微量污染物的技术方法与装备。
孙召强	6	中持水务股份有限公司	中持水务股份有限公司	项目主要完成人员，对发明点 2 做出重要贡献，针对外碳源减量化污水深度脱氮技术及其装备，发明了碳源智能精密投加系统以及滤料截留高强度反洗排水设备；作为技术二次研发的主要负责人，参与了项目发明点 1、2、3 主要技术的工程应用研究，合作攻克了技术从原型到工程化应用的系列关键问题；参与编制行业标准 1 部。

## 八、完成人合作关系说明

王爱杰、任南琪、程浩毅、梁斌、邓芳和孙召强等人合作完成本项目的理论研究、技术研发、技术示范及推广应用。

王爱杰师从任南琪，博士毕业后与任南琪合作开展研究多年。共同发表文章多篇，共同发明专利多项。任南琪作为该提名项目的技术顾问指导了厌氧水解酸化脱毒、硫自养反硝化等技术研发工作。针对该项目成果，王爱杰与任南琪共同完成发明点**1**、**2**和**3**中厌氧水解酸化脱毒、硫自养反硝化等关键技术创新、工艺研发和技术推广。

程浩毅和梁斌均师从王爱杰，博士毕业后就职于中国科学院生态环境研究中心。目前，王爱杰、程浩毅和梁斌在一个研究组工作，王爱杰是研究组长。三人均是中科院环境生物技术重点实验室和高浓度难降解废水国家工程实验室的主要学术骨干，王爱杰任国家工程实验室副主任和中科院重点实验室主任。程浩毅和梁斌作为核心成员共同参与完成王爱杰主持的国家杰出青年科学基金、国家重大水专项、中国科学院**STS**项目等课题；王爱杰、程浩毅、梁斌共同获得**2017**年环境保护科学技术奖一等奖，共同发表文章多篇，共同发明专利多项。针对该项目，王爱杰和程浩毅共同完成发明点**1**和**2**中有机污染物定向脱毒转化、污水增效处理加速器、外碳源减量化深度控氮等关键技术创新、成套设备研发和推广应用；王爱杰和梁斌共同完成该项目发明点**1**和**3**中有机污染物定向脱毒转化、生物激活增效处理、微量污染物深度矿化等理论突破与技术创新。

王爱杰是邓芳所在的南昌航空大学环境与化学工程学院柔性引进的兼职教授，职责是为“江西省持久性污染物控制与资源循环利用重点实验室”和环境学科建设培养优秀青年教师**1-2**名。邓芳是王爱杰协助指导的两名优秀青年教师之一。王爱杰协助指导的博士生杨利明在中国科学院生态环境研究中心完成部分论文研究工作，**2017**年已博士毕业后，并留在南昌航空大学邓芳所在的课题组工作。针对本项目，王爱杰和邓芳共同完成该项目发明点**1**和**3**中重金属靶向吸附固定床工艺、膜定向分离-原位光催化实现微量污染物深度分解/矿化等关键技术创新和规模化设备，共同发表文章，并在江西上饶、赣州等地共同开展技术应用推广研究。

王爱杰与孙召强及其所在的中持水务公司自**2009**年起合作开展课题研究。**2009-2013**年完成国家**863**计划重点项目课题**1**项。**2014-2016**年，王爱杰与孙召强共同完成了中国科学院科技服务网络计划（**STS**计划）项目（课题号：**KFJ-EW-STS-102**）及工业园区污水深度净化可持续利用集成技术示范。针对该项目，王爱杰和孙召强共同完成发明点**1**和**2**中复合水解酸化技术、强化脱氮技术等核心技术的工程化与技术示范，并在河北、辽宁、山东、浙江、江苏、江西等地开展推广应用研究。