

推荐国家科技进步奖项目公示

项目名称	膜集成城镇污水深度净化技术与工程应用
推荐单位	教育部
<p>推荐单位意见：</p> <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>该项目研发了高强度的中空纤维微滤膜和低压纳滤膜材料、低能耗膜组器，解决了国产膜产品性能低、能耗高问题；开发了强化内源反硝化 3A-MBR 脱氮除磷技术，解决了低碳源污水脱氮差的难题；研发了基于氨氮-溶解氧串级反馈控制 MBR 曝气技术和优化的膜污染清洗技术，实现 MBR 工程节能降耗并稳定运行；通过低压纳滤膜和 MBR 的结合，构建了微滤/纳滤双膜组合技术，实现低成本制备高品质再生水。</p> <p>项目成果广泛应用于全国 16 个省市的 56 个城镇污水处理与回用项目，近 8 年累计应用规模超过 580 万 m³/d，有力地推动了膜集成城镇污水深度净化技术的发展和工程应用。工程应用后极大地减少了污染物的排放并增加了可利用的水资源量，每年可节约水费 12 多亿元。膜组器和膜系统应用累计带来新增销售额 57.2 亿元，新增利润 21.8 亿元。项目产生了明显的环境、社会以及经济效益。</p> <p>项目发表 SCI 论文 45 篇，授权专利 16 项、软件著作权 1 项，撰写专著 2 部、部级标准 2 项。</p> <p>对照国家科学技术进步奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家科学技术进步奖一等奖。</p>	

项目简介:

快速发展的经济发展使我国面临日益严峻的水污染和水资源短缺，城镇污水是主要的污染来源，开发高效的城镇污水处理与回用技术对于同时解决水污染和水资源短缺具有重要意义。以膜生物反应器（MBR）为代表的膜法水处理技术因其出水优异、运行稳定、占地紧凑等特点受到广泛关注，但能耗较高、膜污染等问题制约其应用，该项目围绕进一步稳定提高出水水质、节能降耗等展开研究，其工程应用中涉及的关键技术包括：针对不同水质需求的高性能膜材料和低能耗膜组器制备、新型膜法组合工艺、膜污染控制和节能降耗等。围绕这些关键技术，项目从基础研究-技术创新-工程应用全产业链开展了系统研究，取得的主要创新性成果如下：

1. 面向 MBR 工艺，攻克了湿式带衬法中基衬和膜层之间难以紧密结合的难题，研发出高强度中空纤维聚偏氟乙烯微滤膜，跻身国际三大高强度中空纤维膜材料行列，解决了国产中空纤维膜材料在应用过程中易断丝的难题，并发明了下开放式耦合高低交替曝气膜组器，解决了传统穿孔曝气管中污泥的淤堵，曝气强度低于常规 30%；面向二级出水超滤膜深度净化工艺，通过对运行模式的优化消除了水锤现象，避免了对组器连接部件和密封性的严重损坏，研发出高稳定性中空纤维超滤膜组器；面向高品质再生水制备，研发出了基于复合单体界面聚合法的低压纳滤膜，实现了有机物去除率 70-90%，且运行压力明显低于传统纳滤膜系统 30%左右。

2. 针对污水厂普遍存在的低碳源污水氮、磷同步去除率低的难题，基于 MBR 中高污泥浓度特征，通过设置后缺氧段，形成 A/A/O/A 耦合 MBR（3A-MBR）技术，充分利用污泥内部碳源促进内源反硝化，实现在无外加碳源条件下低碳源污水的稳定高效脱氮除磷，TN 浓度较传统 AAO-MBR 降低 20%-40%，解决了低碳源污水脱氮差的共性技术难题，同时改善了混合液膜过滤性，降低了膜污染潜势。

3. 针对 MBR 工艺能耗较高和运行稳定性有待提高的问题，首次开发出基于氨氮-溶解氧串级反馈控制 MBR 曝气技术，在稳定出水水质的前提下实现对好氧池曝气量的实时动态控制，运行能耗与技术应用前相比降低 10%-20%；提出优化的酸-碱组合和/或结合辅助助剂的高效膜清洗策略，与常规清洗策略相比，成本相当但清洗效果显著提升 20%以上，膜系统运行稳定性得到提高。

4. 通过低压纳滤膜和 MBR 的结合，构建了微滤/纳滤双膜组合技术。通过中试和示范工程研究，优化了该双膜组合工艺运行条件，出水 COD、氨氮、TP 指标达到地表水 II 类标准；系统运行压力较传统纳滤膜系统降低 30%-50%，实现低成本制备高品质再生水。

成果广泛应用于城镇污水处理与回用，8 年来累计处理规模 583.3 万 m³/d（含中标和建设中项目），遍及 16 个省市 56 个项目，极大地减少了污染物的排放并增加了可利用水量；按项目当地自来水价，每年总计可节约水费 12.62 亿元。膜组器和膜系统应用累计带来新增销售额 57.2 亿元，新增利润 21.8 亿元，项目产生的环境、社会以及经济效益显著。发表 SCI 论文 45 篇，授权专利 16 项、软件著作权 1 项，撰写专著 2 部、部级标准 2 项。相关成果获 2016 年教育部科技进步奖一等奖。

客观评价:

1. 验收与鉴定意见

(1) 2013年3月,项目组承担的“863计划”重点课题“新型膜材料及膜组器的制备和应用关键技术与工程示范(编号:2009AA062901)”通过验收,专家组评价:

“课题研制了高强度、高通量、抗污染的**新型PVDF膜材料**,并形成规模化的生产能力;研制了低能耗、防堵塞、易于维护管理的**高效膜组器**,并形成系列产品和规模化生产;……形成了一支高水平的研发团队,所取得的成果具有很好的社会、经济和环境效益”。

(2) 2015年11月,项目组承担的“十二五”水专项课题“MBR污水处理膜材料和膜分离成套装备开发及产业化(编号:2011ZX07317-002)”通过验收,专家组评价:

“课题开展了膜材料、膜组件和膜单元系列化研发生产以及优化运行系统自控设备和研发,……(1)研制出了具有自主知识产权的PVDF中空纤维膜,使用寿命可达5年以上;……(4)根据示范工程现场考察及运行统计,MBR稳定运行通量平均为21.7 L/(m² h),**MBR系统吨水能耗平均为0.41 kWh/m³**,比立项时(2010年前后)能耗降低20%以上;……”。

(3) 2011年10月,项目组承担的“十一五”水专项课题“快速城市化新区水环境综合保护技术研究及示范”子课题“MBR强化脱磷及污水回用技术与示范(编号:2008ZX07313-004-01)”通过验收。专家组评价:

“针对无锡地区城市污水特征以及脱氮除磷和污水回用的需求,研发了**城市污水MBR强化脱氮除磷新工艺**、国产MBR膜组器、膜污染清洗模式等关键技术,在无锡硕放污水处理厂建立了MBR强化脱氮除磷示范工程,示范规模和效果达到任务书要求,并在城北污水处理厂等地进行了推广应用”。

(4) 2014年12月,项目组承担的“十二五”水专项课题“污水处理系统区域优化运行及城市面源削减技术与示范(编号:2011ZX07301-002)”通过中期评估。

评估专家组评价:“课题开展了**MBR及氧化沟工艺的优化运行与节能降耗**……。建立了无锡梅村污水处理厂和城北污水处理厂MBR优化运行与节能示范工程……。课题研究成果……对太湖流域水污染控制和水环境综合整治具有支撑作用”。

(5) 2016年5月10日,教育部组织的鉴定会专家认为:“该成果整体上达到国际先进水平,在**低能耗膜组器研制、MBR工程应用规模以及基于氨氮-溶解氧串级反馈控制的MBR曝气节能降耗技术**等方面达到了国际领先水平”。

2. 权威机构的技术检测

国家环保产品质量监督检验中心于2012年4月对研发的高强度中空纤维微滤膜材料进行了检测:单丝断裂拉伸力为523N,纯水通量为1680L/(m²h)(25°C,0.05MPa)。

3. 标准制订

(1) 膜生物法污水处理工程技术规范,HJ2010-2011,2012,国家环境保护部科技标准司

(2) 环境保护产品技术要求-中空纤维膜生物反应器组器,HJ2528-2012,2012,国家环境保护部科技标准司

4. 科技查新

教育部科技查新工作站 L11 于 2015 年 10 月对所研发的“超低压选择性纳滤膜元件”进行了查新：国内未见相同内容的公开中文文献报道；2016 年 4 月对“下开发式耦合高低交替曝气抗堵塞低能耗 MBR 膜组器”、“强化内源反硝化 3A-MBR 工艺”、“基于氨氮-溶解氧串级反馈控制 MBR 曝气的节能降耗技术”进行了查新：国内外未见相同内容的公开文献报道。

推广应用情况：

项目所研发的面向 MBR 工艺的高强度中空纤维微滤膜及低能耗膜组器 (I)、面向二级出水深度过滤的超滤膜组器 (II)、强化内源反硝化 MBR 脱氮除磷技术 (III)、基于氨氮-溶解氧串级反馈控制的 MBR 曝气节能降耗技术 (IV)、面向高品质再生水制备的 MBR-NF 双膜组合技术 (V)，在全国 16 个省、自治区和直辖市的 56 个污水处理、再生水处理及工业水处理项目中应用，累计应用规模达到 **583.3 万 m³/d** (含中标和建设中的项目)。工程应用后减少了污染物的排放，大大改善了水环境质量，获得了显著的社会效益，同时节省了水资源，经济效益显著。主要的应用单位如下表。

表 主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
北京碧水源科技股份有限公司	I+II+V	2014 年~至今	温卫民 13381182215	推广应用于 41 个污水处理、再生水处理及工业水处理项目，规模合计 461.3 万 m ³ /d，新增销售额 39.5 亿元，新增利润 12.8 亿元
无锡市排水有限公司	III+IV	2010 年 1 月~至今	叶亮 18921280311	5 万 m ³ /d。提标改造，能耗由 0.64 降至 0.54kWh/m ³ ，冬季低温，低 BOD/TN
无锡市高新水务有限公司	I+III+IV	2009 年 4 月~至今	聂新宇 15190229061	2 项工程应用，累计规模 7 万 m ³ /d。能耗由 0.63 降至 0.44kWh/m ³ ，冬季低温，低 BOD/TN
北京碧海环境科技有限公司	I+III+V	2014 年 9 月~至今	孙云浩 18515836820	0.7 万 m ³ /d。提标改造，冬季低温，低 BOD/TN，产高品质再生水 730 万 m ³ /年
北京格润美云环境治理有限公司	I	2013 年 10 月~至今	王博 13910013972	2 项工程应用，累计规模 9.5 万 m ³ /d。每年可产生高品质再生水 3467 万 m ³
北京久安建设投资集团有限公司	I	2013 年 11 月~至今	李万意 13439648918	5 万 m ³ /d。可产生高品质再生水 1825 万 m ³ /年
内蒙古东源水务科技发展有限公司	I+II	2013 年 7 月~至今	赵景 0477-8103009	3 项工程应用，累计规模 16.6 万 m ³ /d。每年可产生高品质再生水 6059 万 m ³
广东海源环保科技有限公司	I+II	2015 年 8 月~至今	邹园琦 15820594235	3 项工程应用，累计规模 22 万 m ³ /d。每年可产生高品质再生水 8030 万 m ³
吉林市七家子污水处理有限责任公司	I	2014 年 7 月~至今	王漫江 15044260977	2 项工程应用，累计规模 35 万 m ³ /d。每年可产生高品质再生水 12600 万 m ³
十堰京水环境科技有限公司	I	2014 年 12 月~至今	曹明浩 13387150202	14 万 m ³ /d。每年可产生高品质再生水 5110 万 m ³
太原碧水源水务有限公司	I	2015 年 12 月~至今	李建宏 13834566464	12 万 m ³ /d。每年可产高品质再生水 4380 万 m ³
北京格润美顺环境科技有限公司	I	中标	王金玉 15810314415	2 万 m ³ /d。每年可产高品质再生水 730 万 m ³
北京恒泽美顺环境科技有限公司	I	中标	王金玉 15810314415	1 万 m ³ /d。每年可产高品质再生水 365 万 m ³

主要知识产权证明目录:

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	专利有效状态
发明专利	强化内源反硝化的膜-生物反应器脱氮除磷工艺及装置	中国	ZL200810097427.2	2010.4.14	608050	清华大学;北京碧水源科技股份有限公司	黄霞,文剑平,俞开昌,薛涛,文湘华,汪诚文,梁辉	有效
发明专利	一种带衬型中空纤维复合膜的制备方法及其产品	中国	ZL201110347880.6	2013.7.17	1236423	北京碧水源科技股份有限公司	文剑平、李锁定、陈亦力、吴强、林勇	有效
软件著作权	城市污水处理膜生物反应器工艺生化池曝气自动控制系系统 V1.0	中国	2016SR037361	2015.6.1	1215978	清华大学;江苏碧水源环境科技有限责任公司	黄霞,孙剑宇,夏俊林,梁鹏,邱勇,文湘华,俞开昌,刘建军,	有效
发明专利	一种控制由膜生物反应器混合液造成的严重膜污染的方法	中国	ZL200910243475.2	2011.8.17	825919	清华大学;北京碧水源科技股份有限公司	黄霞,文剑平,关晶,席海燕,文湘华,俞开昌,陈春生	有效
实用新型专利	一种两级A/O-MBR脱氮除磷装置	中国	201220273902.9	2012.11.29	2708256	清华大学;北京碧水源科技股份有限公司	黄霞,文剑平,夏俊林,文湘华,梁辉,俞开昌	有效
实用新型专利	一种用于膜组器高低强度结合曝气的装置	中国	ZL201120450934.7	2012.7.11	230019	北京碧水源膜科技有限公司	陈亦力,于东江,刘明轩,文剑平,吴强	有效
发明专利	一种超低压荷电纳滤膜的动态制备方法	中国	ZL201310041057.1	2015.8.19	1761730	北京碧水源膜科技有限公司	陈亦力,孟莎莎,李锁定,文剑平,吴强	有效
发明专利	一种荷电纳滤膜及其制备方法	中国	ZL201310178589.X	2015.4.15	1635606	北京碧水源膜科技有限公司	陈亦力,李锁定,彭鹏,赵福生,孟莎莎,郭振清	有效
实用新型专利	一种可离线循环清洗MBR膜组器的装置	中国	ZL201220659649.0	2013.5.15	2914298	北京碧水源环境科技有限公司	陈春生,刘纪成,文剑平,戴日成,俞开昌,刘新宇	有效
标准	膜生物法污水处理工程技术规范	中国						有效

主要完成人情况：

1. 黄霞，排名 1，主任，教授，工作单位：清华大学，完成单位：清华大学，是该项目负责人，对创新点 1、2、3 均有重要贡献，主持优化了低能耗 MBR 组器，发明了强化内源反硝化的 3A-MBR 技术，主持制订了 MBR 节能降耗技术的整体方案并研发了基于氨氮-溶解氧串级反馈控制 MBR 曝气技术和膜污染清洗技术，并开展了上述研究成果的工程示范和推广应用。

2. 文剑平，排名 2，董事长，高级，工作单位：北京碧水源科技股份有限公司，完成单位：北京碧水源科技股份有限公司，是该项目主要负责人，对创新点 1、2 做出了贡献。主持了创新点 1 中的高性能中空纤维膜材料、组件及组器开发；开发了创新点 2 中的强化内源反硝化工艺 MBR 膜系统稳定运行技术。

3. 文湘华，排名 3，无，教授，工作单位：清华大学，完成单位：清华大学，是该项目主要完成人，对创新点 1、2、3 做出了突出贡献。开发了强化内源反硝化的 3A-MBR 技术，并完成示范工程及推广应用；研发了 MBR 节能降耗技术的整体方案，并完成示范工程。

4. 俞开昌，排名 4，总工，教授级高工，工作单位：北京碧水源科技股份有限公司，完成单位：北京碧水源科技股份有限公司，是该项目主要完成人，对创新点 1、2 做出了贡献。建立了创新点 1 中低能耗 MBR 膜组器的运行通量与能耗的评价方法；开发了创新点 2 中的强化内源反硝化工艺稳定运行技术。

5. 梁鹏，排名 5，无，副教授，工作单位：清华大学，完成单位：清华大学，是该项目主要完成人，对创新点 1、2、3 做出了突出贡献。参与创新点 2 强化内源反硝化的 3A-MBR 技术的开发与实施；参与研发了 MBR 节能降耗技术与实施。

6. 陈亦力，排名 6，总工，教授级高工，工作单位：北京碧水源科技股份有限公司，完成单位：北京碧水源科技股份有限公司，是该项目主要完成人，对创新点 1、2 做出了贡献。开发了创新点 1 中的低压纳滤膜材料制备方法；建立了创新点 2 中的中空纤维膜材料性能测试评价方法。

7. 李锁定，排名 7，总工，高级，工作单位：北京碧水源科技股份有限公司，完成单位：北京碧水源科技股份有限公司，是该项目主要完成人，对创新点 1、2 做出了贡献。建立了创新点 1 中低压纳滤膜的表面特性和分离性能评价方法；开发了创新点 2 中的中空纤维膜制备和性能优化方法。

8. 薛涛，排名 8，经理，高级，工作单位：北京碧水源科技股份有限公司，完成单位：北京碧水源科技股份有限公司，是该项目主要完成人，对创新点 2 做出了贡献。建立了创新点 2 中的强化内源反硝化工艺脱氮除磷效能评价和参数优化方法。

9. 肖康，排名 9，无，中级，工作单位：清华大学，完成单位：清华大学，是该项目主要完成人，对创新点 2、3 做出了突出贡献。参与创新点 2 强化内源反硝化的 3A-MBR 技术的开发与实施；参与研发了 MBR 节能降耗技术与实施。

10. 陈春生，排名 10，副总经理，高级，工作单位：北京碧水源科技股份有限公司，完成单位：北京碧水源科技股份有限公司，是该项目主要完成人，对创新点 1 做出了贡献。参与创新点 1 中的低能耗膜组器及 MBR 工艺应用效果评价与推广。

主要完成单位及创新推广贡献：

清华大学作为项目第一完成单位，负责项目整体方案设计，提出研究的主体思路 and 核心技术路线，取得了一系列创新性成果。研发了强化内源反硝化的脱氮除磷工艺，实现了在无外加碳源条件下的低碳源城镇污水稳定高效脱氮除磷，具有很好的普适性，解决了本领域低碳源污水处理的共性技术难题，工艺简单且控制灵活，出水水质优于一级 A 标准；开发了基于氨氮-溶解氧串级反馈控制的 MBR 好氧池曝气控制系统、膜污染的强化清洗策略等，在保证系统正常运行的前提下，达到节能降耗和稳定运行的目的。

北京碧水源科技股份有限公司作为项目第二完成单位，以膜材料研制和膜组器制备等为主开展了关键技术的攻关，取得了一系列创新性研究成果，并将研究成果推广应用到城镇污水深度净化的实际工程中。开发了针对城镇污水深度净化的系列高性能微、超滤和纳滤膜材料以及低能耗组器；研究了 MBR-NF 双膜工艺技术研究，参与了强化内源反硝化 MBR 工艺技术研究，开展了研究成果的推广应用。以上技术成果在全国 16 个省级行政区得到应用，为我国污染物总量减排、水环境质量改善以及水资源节约发挥了重要作用。

完成人合作关系说明：

清华大学与北京碧水源科技股份有限公司自 2009 年以来一直成立有“环境膜联合研发中心”，双方长期保持良好合作关系。

1.合作项目

清华大学与北京碧水源科技股份有限公司合作完成该申报项目 3 个依托课题：

(1) 重大水专项课题“快速城市化新区水环境综合保护技术与示范”
(2008ZX07313-004)

(2) 重大水专项课题“污水处理系统区域优化运行及城市面源削减技术研究及示范”
(2011ZX07301-002)

(3) 重大水专项课题“MBR 污水处理膜材料和膜分离成套设备开发及产业化”
(2011ZX07317-002)

2.合作知识产权

(1) 专利：ZL200810097427.2，强化内源反硝化的膜-生物反应器脱氮除磷工艺及装置，黄霞、文剑平、俞开昌、薛涛、文湘华、汪诚文、梁辉；

(2) 专利：ZL201110347880.6，一种带衬型中空纤维复合膜的制备方法及其产品，文剑平、李锁定、陈亦力、吴强、林勇；

(3) 专利：ZL2000910243475.2，一种控制由膜生物反应器混合液造成的严重膜污染的方法，黄霞、文剑平、关晶、席海燕、文湘华、俞开昌、陈春生；

(4) 软件著作权：2016SR037361，城市污水处理膜生物反应器工艺生化池曝气自动控制系统 V1.0，黄霞、孙剑宇、夏俊林、梁鹏、邱勇、文湘华、俞开昌、刘建军、郝金光、王晓林；

(5) 论文：严晓旭、肖康、梁帅、雷霆、梁鹏、薛涛、俞开昌、关晶、黄霞：Hydraulic optimization of membrane bioreactor via baffle modification using computational fluid dynamics, Bioresource Technology, 2015,175:633-637.