2017 年国家技术发明奖推荐项目公示

一、 **项目名称：**多功能复合材料与生物修复协同的水环境改善关键技术及应用

二、 **推荐单位意见：** 湖北省科技厅

我国水环境问题依然严峻，污水深度处理和退化水生态系统重建遇到技术瓶颈，该项目以水质净化、健康生态系统重建和水环境美化为目标，在国家重大科技专项、国家科技支撑计划、国家自然科学基金、湖北省科技攻关计划等科研项目的支持下，开展了基于多功能复合材料与生物修复协同的水环境改善关键技术研发，并成功进行大规模工程应用，形成了具有创新性、科学性、实用性的系统技术成果。

该项目主要发明点如下：（1）创制了兼具有净化活性高和环境友好特点的生物基非金属矿物基水处理天然改性材料，引领了活性碳纤维材料在水处理领域的技术研发和大规模应用；（2）发明了物化-生物-生态多元协同的污水处理、深度净化和再生回用技术，有效解决传统深度生物脱氮时碳源不足、能耗与碳源成本过高与人工湿地基质表层堵塞等问题；（3）形成了复合改性材料-净水生物技术协同的水生态系统重建方法，突破了沉水植物定植、扩繁和稳定恢复等难题，使水环境显著改善。

该成果创新性强，总体达到国际先进水平。项目已获发明专利 42 项，其中国际发明专利 2 项；在国际权威刊物 WATER RES.、ENVIRON. POLLUT. 等发表 SCI 收录论文 88 篇，出版专著 2 部，主编标准规范 5 部。获得湖北省技术发明一等奖（2011）、科技进步一等奖（2013）、成果推广一等奖（2015），第十六届（2014）和第十八届（2016）中国专利优秀奖等奖励。项目成果已在湖北、广东、浙江等 22 个省市自治区成功推广应用，为节能减排、提升区域人居环境质量作出了重要贡献，具有显著的生态和社会效益。

推荐该项目申报 2017 年度国家技术发明奖一等奖。

三、 **项目简介**

该项目属于环境领域水污染治理与生态保护学科。

我国水环境问题依然严峻，污水深度处理和退化水生态系统重建遇到技术瓶颈，该项目以水质净化、健康生态系统重建和水环境美化为目标，创制了生物基非金属矿物基水处理天然改性材料，发明了物化-生物-生态多元协同的污水深度净化和再生回用技术、天然改性材料-水生生物联合修复技术等，形成了多功能复合材料与生物修复协同的水环境改善关键技术。主要技术发明点如下：

(1) 研制了生物基非金属矿物基水处理天然改性材料。针对人工合成纤维生物活性低、成本高、难以大规模应用等难题，首次利用天然网状结构的植物纤维作为制备活性碳纤维的前驱体，采用碱化学纤维素改性方法，发明了“一步法”炭化-活化天然植物活性碳纤维制备技术，研制了天然植物活性碳纤维柱等 4 种水处理生物基材料，采用溶胶-凝胶法、浸渍-提拉法，研制了可见光响应型纳米复合光催化滤球等 3 种非金属矿物质人工湿地基质新材料。

（2）发明了物化-生物-生态多元协同的污水深度净化和再生回用技术。针对低碳高氮磷污水单一生物处理效率低、效果差的技术瓶颈，发明了碳氧靶向调控方法、创制新型光催化和生物表面活性剂抗堵塞和高效脱氮基质。采用天然中空植物纤维基活性碳纤维微孔网等新型材料，研发了物化/好（厌）氧生物反应器/人工湿地/微生物燃料电池交互式工艺，初步实现污水的再生回用以及沼气、电能的同步回收。

（3）形成改性材料与净水生物一体化的水生态系统重建方法。针对污染水体水生态系统

自我修复能力弱等难题，发明了掺杂碱土负载纳米半导体光催化薄膜改性材料-沉水植物联合修复技术、改性粘土矿物吸附-生物联合原位修复富营养化湖泊沉积物磷技术、底栖动物-水生植物修复技术、特殊底质生态基底改良技术、环境友好型蓝藻水华抑制技术等，实现了水质与底质原位改善、水华防治、沉水植物恢复等技术突破，在杭州西湖等地成功应用。

项目共获授权专利 70 项，其中发明专利 42 项（含美国专利 2 项）、实用新型 26 项、外观设计 2 项。在国际权威刊物 Water Research、Environmental Pollution、Scientific Reports 等发表 SCI 收录论文 88 篇，出版专著 2 部，主编国家/行业标准 5 项。获得湖北省技术发明一等奖（2011）、科技进步一等奖（2013）、成果推广奖（2015），第十六届（2014）和第十八届（2016）中国专利优秀奖等。

通过以上技术发明，形成了工程设计、建设与运营管理的生态工程产业技术创新链和产业集群，发起并成功举办了七届海峡两岸人工湿地研讨会等，累计参会两千余人。带动了我国水生态工程技术、水生态修复产业的发展，已在湖北、广东、浙江等 22 个省市自治区规模化应用，仅项目组就规划、设计、建设工程 300 余项，保障了区域用水安全，提升了水生态环境质量，促进了社会经济可持续发展。

四、客观评价

1、专家验收、鉴定

（1）2013 年 3 月，国家水专项办对项目组承担的“十一五”国家水专项“典型南方城市景观湖泊水质改善与水生植被构建技术”课题进行了验收，结论：“形成了西湖水质改善和水生植被构建集成技术，在西湖综合治理等工程中得到有效应用，可为典型南方城市景观湖泊治理提供技术借鉴”。

（2）2010 年 6 月，湖北省科学技术厅组织金鉴明院士、茆智院士等专家对项目组承担的“十一五”重大科技攻关项目“湖泊污染控制与水体修复关键技术研究”进行了验收，专家组一致认为：“项目针对当前富营养化湖泊水体存在的普遍性问题，开展以湖滨带人工湿地生态工程、底泥修复和水生植被重建为重点的系列技术研究，并进行系统集成，达到水环境质量改善和功能恢复的目的”。

（3）2010 年 4 月，由魏复盛院士、茆智院士等专家组成的鉴定委员会对项目组承担的“武汉新区六湖连通水体系统稳定技术与综合示范”课题进行了科技成果鉴定。一致认为：“课题研发了湖滨强化复合垂直流人工湿地等技术，对于水质改善、生态系统重建与功能恢复具有重要指导意义，研究成果总体上达到国际先进水平”。

2、科技奖励

1）基于不同水质目标的人工湿地生态工程技术研究及应用，湖北省技术发明一等奖，2011；
2）含重金属多组份渣泥能质耦合全周期低碳资源化利用技术及工程应用，湖北省科技进步一等奖， 2013；
3）水污染治理与水体修复生态工程关键技术研发与推广，湖北省成果推广一等奖，2015；
4）一种污水处理方法及装置，第十六届中国专利优秀奖，2014；
5）一种用于污水净化与回用的生物生态组合的方法及装置，第十八届中国专利优秀奖，2016；
6）富营养化水体修复机制与水生植被重建生态学研究，湖北省自然科学二等奖，2014；
7）水生态系统修复与水质净化关键技术研发和工程应用，环保部环保科技二等奖，2014。

3、国际同行专家对技术结果的引用与评价

项目成果在国际刊物 *Water Research*、*Environmental Pollution*、*Scientific Reports* 等发表 SCI 论文 88 篇，出版专著 2 部。

国际水协会（IWA）“水污染控制湿地系统”专业委员会主席 J. Vymazal 教授在环境领域权威杂志 *ES&T*（2011）上发表综述，总结过去五十年全球人工湿地处理污水的成功经验，充分肯定本项目组在人工湿地微生物群落组成方面的研究工作，有助于揭示过去一直被看作“黑箱”的人工湿地净化机理。《Ecological Engineering》编委 J. García 教授和西班牙环境评估与水研究

所资深教授 J.M. Bayona 等先后在环境领域的综述期刊 *Crit. Rev. Env. Sci. Tec.*（2010）和 *ES&T*（2005, 2006）发表论文，多次引用项目组人工湿地植物有效去除水体重金属和外源生物活性物质等污染物的研究成果。

4、用户对技术效果的评价

（1）杭州市西湖水域管理处评价："该技术成果在西湖实施工程中为西湖 2011 年正式列入《世界遗产名录》做出了重要贡献，也为 2016 年杭州成功召开 G20 峰会的水环境保障和水景观美化做出了贡献，具有显著的社会和环境效益"。

（2）2012 年 8 月 12 日，CCTV 新闻联播"科学发展成就辉煌"专题报道海南省人工湿地让乡村污水变清流"的应用成果："经过湿地处理，就直接灌溉到槟榔地里面，既节约了灌溉用水，也产生了经济效益，这也美化了村庄环境"。海南省环境科学研究院评价"这些技术适合在我省村镇综合污水处理和微污染水体水质净化工程项目中推广"。

（3）广东省东莞生态园管理委员会评价："对东莞生态园中央水系的水质保障起到了重要作用，取得了显著的社会、环境等效益"。

五、 推广应用情况

主要发明技术等已规模化应用于湖北、广东、浙江等 22 个省市自治区生产实践，规划、设计、建设工程 300 余项，累计水处理规模 154.7 万吨/天，削减 COD 4.4 万吨/年，TN 8976 吨/年，TP 1325 吨/年，有效改善了区域水生态环境质量，提升了人居环境质量，保障了居民用水安全和身体健康，实现了污水资源化，促进了区域社会经济可持续发展。

六、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	发明专利有效状态
发明专利	一种用于污水净化和回用的生物生态组合的方法及装置	中国	ZL 200810197242.9	2011 年 2 月 2 日	735883	中国科学院水生生物研究所	吴振斌、肖恩荣、贺锋、成水平	有效
发明专利	一种光催化还原和沉水植物联合处理沉积物磷的方法	中国	ZL 201110221158.8	2012 年 12 月 12 日	1100808	中国科学院水生生物研究所	吴振斌、贺锋、张义、夏世斌、周巧红、徐栋	有效
发明专利	一种生物质基阴离子交换纤维的制备方法	中国	ZL 201310106082.3	2014 年 10 月 1 日	1489381	武汉理工大学	夏世斌、陈卓	有效
发明专利	一种补充复合垂直流人工湿地碳源的方法及装置	中国	ZL 200810246308.9	2012 年 02 月 01 日	905146	中国科学院水生生物研究所	吴振斌、贺锋、佘丽华、徐栋	有效
发明专利	一种硬底质富营养化湖泊的生态修复方法	中国	ZL 201410013861.3	2015 年 8 月 12 日	1750929	中国科学院水生生物研究所	吴振斌、张义、贺锋、夏世斌、徐栋、周巧红、张垚	有效

							磊	
发明专利	复合垂直流人工湿地增氧系统	中国	ZL 200810197811.X	2010年10月06日	685365	中国科学院水生生物研究所	吴振斌、贺锋、陶敏、徐栋	有效
发明专利	一种用于污水净化并同步持续产电的方法及装置	中国	ZL 201310454037.7	2014年12月03日	1533221	中国科学院水生生物研究所	吴振斌、肖恩荣、贺锋、徐栋、周巧红	有效
发明专利	一种利用人工湿地进行污水处理方法中使用的湿地填料	中国	ZL 200810141960.4	2011年05月18日	780727	深圳市环境科学研究院、深圳市碧园环保技术有限公司	杨立君、彭立新、王永秀、雷志洪、谷理明、刘志刚、陆武	有效
发明专利	同步脱氮除磷过滤方法和装置	中国	ZL 200910062191.3	2011年5月11日	778514	中国市政工程中南设计研究院	李树苑、陈才高、刘海燕、付乐、张怀宇、朱建国	有效
发明专利	Methods of detecting and controlling mucoid pseudomonas biofilm production	美国	US 7781166 B2	2010年8月24日		Marshall University Research Corporation, Huntington, WV (US)	Hongwei D. Yu、Dongru Qiu	有效

七、主要完成人情况表

姓名	排名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获国家科技奖励情况
吴振斌	1	研究员	中国科学院水生生物研究所	中国科学院水生生物研究所	对第1、2、3项技术发明点做出了重要贡献	2009年国家科技进步奖二等奖
贺　锋	2	研究员	中国科学院水生生物研究所	中国科学院水生生物研究所	对第1、3项技术发明点做出了重要贡献	2009年国家科技进步奖二等奖
夏世斌	3	教　授	武汉理工大学	武汉理工大学	对第1、2项技术发明点做出了重要贡献	无
邱东茹	4	研究员	中国科学院水生生物研究所	中国科学院水生生物研究所，Marshall	对第2、3项技术发明点做出了重要贡献	无

				University Research Corporation, Huntington, WV (US)		
雷志洪	5	教授级高工	深圳市碧园环保技术有限公司	深圳市碧园环保技术有限公司	对第 3 项技术发明点做出了重要贡献	2009 年国家科技进步奖二等奖
李树苑	6	教授级高工	中国市政工程中南设计研究总院有限公司	中国市政工程中南设计研究总院有限公司	对第 2 项技术发明点做出了重要贡献	2009 年国家科技进步奖二等奖

八、完成人合作关系说明

第二完成人贺锋研究员与第一完成人吴振斌研究员从 1996 年初至今，一直在同一个科研团队工作，共同参加了主要科研项目申请立项实施、技术研发、工程应用推广等。

第三完成人夏世斌教授 2006 年至 2009 年在水生所从事博士后研究，合作导师即第一完成人吴振斌研究员，此后一直参加吴振斌主持的十一五、十二五水专项等科研项目，共同进行技术研发及推广应用。

第四完成人邱东茹研究员与第一完成人吴振斌研究员从 1992 年开始在同一个科研团队工作，共同参加了主要科研项目申请、立项实施、技术研发、工程应用推广等。

第五完成人雷志洪教授级高级工程师与第一完成人吴振斌研究员从1986年至1994年同在水生所第六研究室工作，此后，共同实施国内外科研项目、技术研发及推广应用，共同获第十六届中国专利优秀奖等。

第六完成人李树苑教授级高级工程师从 1990 年代起与第一完成人吴振斌研究员合作研究，参加了吴振斌为主任的武汉市水环境工程技术研究中心的工作，协助第一完成人进行技术研发和工程应用，共同获湖北省成果推广奖等奖励。