

提名国家科技进步奖项目公示

项目名称	城市污水处理过程控制关键技术及应用
提名单位	教育部
提名单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，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>按照要求，我单位和项目完成单位都已对该项目的拟提名情况进行了公示，目前无异议。</p> <p>该项目【科学发现】【技术创新】，【技术水平】，【客观评价】，【应用情况】，【取得效益】，对照国家科学技术进步奖授奖条件，提名该项目申报2018年度国家科学技术进步奖二等奖。</p>	

项目简介：

项目任务来源于水体污染控制与治理国家科技重大专项、国家自然科学基金重点项目和国家 863 计划等，属于流程工业过程控制领域。

我国是全球人均水资源最贫乏的 13 个国家之一，水资源短缺、水污染严重、水环境恶化等问题一直是制约我国社会经济发展的主要瓶颈。提高城市污水处理能力与水平的主要困难和技术瓶颈在于：(1)污染物种类多且难以在线检测；(2)进水水质、水量波动大，时变、不确定性是本质特性；(3)影响生化反应过程的因素多，但可实施控制的参量少；(4)出水水质参数无法在线测量，难以实现过程动态优化和全流程闭环控制。围绕上述城市污水处理过程的技术难题，项目完成单位经过产学研联合攻关和工程实践，取得了如下技术创新与重大突破：

1. 主要技术内容

(1) 提出了基于数据的关键水质指标智能特征测量原创理论与方法：首次设计完成了关键水质参数自组织测量模型和在线提取算法，突破了水质参数在线测量的理论难题；率先研发了基于数据的总磷参数智能测量装置，解决了关键水质指标在线测量的瓶颈，测量精度高达 93.6%，远高于当前业界公认的美国哈希公司 PhosphaxSigma 总磷监测仪和德国 WTW 公司 MTEG9600 总磷分析仪。

(2) 率先研发出了自组织模糊控制技术：率先建立了基于互信息强度的规则自适应模糊控制技术，克服了传统基于模型控制方法的困扰，解决了溶解氧、硝态氮等关键水质参数高精度控制难题；经国际权威的 BSM 平台测试，本技术控制精度高于国际上已公开的最好方法，并已成功应用于 30 余家城市污水处理厂，溶解氧控制误差小于 ±0.25mg/L，优于且替代了德国 WTW 溶解氧控制技术。

(3) 自主研发出了城市污水处理过程动态优化控制系统：率先建立了包含出水水质、

设备参数和系统性能指标等在内的能耗评价模型，设计完成了多目标动态智能优化算法和关键操作变量动态优化设定技术；首次自主研发出了城市污水处理过程动态优化控制系统，与国际著名控制系统相比，控制精度最高且能耗最低，吨水处理能耗降低 5%以上，实现了污水处理过程低成本稳定运行。

2. 授权专利情况与知识产权

共获得 33 项国家发明专利授权，发表论文 100 余篇(SCI 检索 30 余篇)，出版 5 本专著，获 1 项全国优秀博士学位论文提名奖，3 项省部级科技进步一等奖。

3. 技术经济指标

(1) 出水水质稳定达标：通过应用本项目技术，出水 TN 小于 15mg/L，TP 小于 0.5mg/L，提高了出水品质，实现了高品质再生水的稳定生产。

(2) 节能降耗：相关应用单位运行电耗平均减少 10%，药耗降低 20%。

4. 应用推广与效益情况

(1) 应用推广：成果鉴定专家组认为：城市污水处理过程智能优化控制技术处于国际先进水平，关键水质指标智能特征测量技术达到国际领先水平。本技术已在华北、东北、华东和华南等地区 50 余家不同工艺的城市污水处理厂得到应用，部分技术已被国外城市污水处理厂借鉴。

(2) 直接经济效益：本项目技术的应用单位累计新增销售 10 余亿元，近三年累计新增销售 6.5 亿元(污水处理量近 600 万吨/天)，累计新增利润 1.4 亿元。

(3) 间接经济效益：应用本项目成果后，大大提高了污水处理厂的运行能力，近三年新增运营能力约 300 万吨/天；采用先进的控制技术，污水处理厂近三年节约运行费约 2 亿元，取得了重大社会和环境效益。

客观评价：

1 知识产权

[1] 获得国家发明专利授权 33 项、实用新型专利 10 项、软件著作权 32 项。

[2] 发表学术论文 111 篇 (SCI 收录 32 篇, EI 收录 107 篇); 撰写专著 5 本。

2 项目验收评价

[1] 水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07314-008): 3、课题的研究成果在再生水规模化生产示范工程中得到了应用, 取得了良好的经济效益和环境效益。4、课题完成了规定的研究任务, 达到了课题目标和考核指标的要求, 对项目、主题和专项目标的实现起到了重要支撑作用, 课题组织管理严谨、队伍稳定。

[2] 国家自然科学基金(60304012): 完成了课题的研究任务, 达到了预期目标, 结题评价为“优”。

[3] 国家 863 计划项目(2009AA04Z155)和(2007AA04Z160): “建立的软测量模型为污水处理中的 BOD 和 COD 测量提供了一种新方法, 开发的仿真软件获得了实际应用”; “课题在基于特征信息的污水处理过程特征建模, 自组织控制技术, 动态多 AO 工艺等方面具有特色及创新”。

[4] 北京市自然科学基金重点项目(KZ201010005005): “专家组一致认为: 所提出的城市污水处理过程智能建模与智能优化控制技术处于国内领先、国际先进水平”。

3 技术成果鉴定

[1] 教育部于 2016 年 6 月 25 日主持召开了“城市污水处理过程智能优化控制关键技术及应用”成果鉴定会, 鉴定会专家组给出的结论如下: “该成果对于提高城市污水处理技术水平, 保护水环境和实现水资源循环利用具有重要意义, 所提出的城市污水处理过程智能优化控制技术处于国际先进水平, 关键水质参数智能特征测量技术达到国际

领先水平”。

[2] 2012 年 2 月获教育部科学技术进步一等奖。

[3] 2016 年 11 月获吴文俊人工智能科学技术进步一等奖。

[4] 2016 年 11 月获中国产学研合作创新成果一等奖。

4 技术应用评价

[1] 安徽国祯环保节能科技股份有限公司：“先后应用于国内 32 家城市污水处理工程中，涉及的总运营水量达 150 余万 m^3/d ，包括：合肥朱砖井污水处理厂（全国城镇污水处理厂节能降耗绩效十佳达标单位）等，通过溶解氧优化控制运行电耗减少 10%以上，药耗降低 20%。”

[2] 光大水务（济南）有限公司一厂：“通过溶解氧浓度的优化设定控制，污水处理鼓风机能耗降低 9%；通过污泥浓度的优化控制，污泥泵能耗降低 6%，剩余污泥产量降低 6%；化学除磷经优化后，药耗降低 22%。”

[3] 北京城市排水集团有限责任公司：“基于数据驱动的智能特征测量技术和智能控制技术，实现了溶解氧稳定控制，波动幅度小于 $\pm 0.15mg/L$ ；通过溶解氧的优化设定控制，实现了曝气系统的按需供气，污水处理鼓风机能耗降低 10%以上；运行费用减少 10%以上。”

5 国内外同行在重要学术刊物公开发表的学术性评价

[1] 美国俄亥俄州立大学的 Adeli 教授 (AAAS Fellow, ASCE Fellow)等利用项目的技术(Journal of Neural Transmission, 2010, 117(9): 1099-1109)：利用(Junfei and Honggui 2010)提出的 RBFNN，分类效果能达到 97.75%。

[2] 美国爱达荷州立大学的学者 Suri (AIMBE Fellow)等利用项目的技术(International Journal of Neural Systems, 2011, 21(5): 403-414)：应用了(Junfei and Honggui

2010)提出的 RBFNN 能够取得 96.6%的分类精度,而同样数据样本利用多层尖峰神经网络仅仅能够取得 90.7%~94.8%的分类精度。

[3] 伊朗库尔德斯坦爱国联盟大学 Bagheri 教授等将项目的技术应用于伊朗埃克巴坦污水处理厂(Process Safety and Environmental Protection, 2015, 95(1): 12-25): 进水 TN 和进水 COD 参数对 BOD 和 COD 的影响已在 Han and Qiao (2012)中指出; 训练与测试结果显示:使用 RBFANN-GA 和 MLPANN-GA 对 SVI 建模的结果与(Han and Qiao, 2012)的研究结果有很好的 consistency。

推广应用情况：

该成果于 2007 年起在广大水务(济南)有限公司一厂实施应用,迄今已在华北、东北、华东和华南等不同地区、多种工艺的 50 余家城市污水处理厂成功应用,污水处理量近 600 万吨/天,溶解氧精准控制等技术打破了国外著名公司的垄断,有效地提升了城市污水处理厂自动化和智能化水平。

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	基于递归神经网络模型的溶解氧自适应控制方法	中国	ZL201110440029.8	2013年7月10日	1231250	北京工业大学	乔俊飞, 陈启丽, 韩红桂	有效专利
发明	前置反硝化污水处理过程的优化控制方法	中国	ZL201110046590.8	2012年9月5日	1036946	北京工业大学	乔俊飞, 史雄伟, 韩红桂	有效专利
发明	一种污水处理生化需氧量软测量方法	中国	ZL201110140371.6	2014年5月21日	1406604	北京工业大学	乔俊飞, 张米娜	有效专利
发明	一种基于弹性径向基神经网络的生化需氧量 BOD 软测量方法	中国	ZL201010252670.4	2013年7月10日	1231236	北京工业大学	乔俊飞, 韩红桂	有效专利
发明	一种污水处理过程自组织控制方法	中国	ZL201310456956.8	2016年4月6日	2011963	北京工业大学	韩红桂, 钱湖海, 李颖, 乔俊飞	有效专利
发明	基于非线性模型预测的污水处理过程多目标控制方法	中国	ZL201310059053.6	2015年6月17日	1702338	北京工业大学	韩红桂, 伍小龙, 王丽丹, 乔俊飞	有效专利
发明	基于自组织径向基神经网络的溶解氧模型预测控制方法	中国	ZL201310000516.1	2015年6月17日	1702448	北京工业大学	韩红桂, 伍小龙, 王丽丹, 乔俊飞	有效专利
发明	一种污泥沉降体积指数 SVI 的软测量方法	中国	ZL201110318552.3	2013年7月10日	1231286	北京工业大学	韩红桂, 乔俊飞, 袁喜春	有效专利
发明	污水生化处理过程回路控制方法	中国	ZL200910013441.4	2012年8月29日	1032968	中国科学院沈阳自动化研究所	于广平, 刘坚, 苑明哲, 何王金, 岳秀等	有效专利
发明	农村污水深度处理生化过滤一体化装置及运行方法	中国	ZL201410168224.3	2016年3月9日	1979288	北京城市排水集团有限责任公司	刘秀红, 甘一萍, 常江, 冯红利, 柏永生, 阜崴	有效专利

主要完成人情况:

1. 乔俊飞, 排名 1

行政职务: 副校长

技术职称: 教授

工作单位: 北京工业大学

完成单位: 北京工业大学

对本项目贡献: 该项目的总负责人, 主持该项目总体研究和实施, 对创新点 1、2、3 均有重要贡献, 具体为提出了城市污水处理过程智能优化控制关键技术及应用的总体研究方案, 制定技术路线, 负责国家 863 课题、国家自然科学基金重点课题等, 提出了污水处理过程特征建模, 获得了自组织智能特征模型; 提出了基于出水水质的智能优化控制方法, 解决了污水处理过程多变量参数的优化问题; 在攻克关键技术难点、开展工程应用和推广方面做出了重要贡献。

2. 郑江, 排名 2

行政职务: 总经理

技术职称: 高级工程师

工作单位: 北京城市排水集团有限责任公司

完成单位: 北京城市排水集团有限责任公司

对本项目贡献: 参与项目总体策划, 对创新点 1、2、3 均有重要贡献, 具体为设计了城市污水处理过程控制关键技术及应用的具体示范方案, 提出了城市污水处理过程数据采集与监控系统(SCADA)架构, 结合污水处理企业远程过程监控的要求, 采用小巧灵活的 B/S 结构建立了远程监控与诊断系统, 实现了污水处理厂实时监控, 参加完成了城市污水处理过程优化控制系统应用及推广研究。

3. 韩红桂, 排名 3

行政职务: 副院长

技术职称: 教授

工作单位: 北京工业大学

完成单位: 北京工业大学

对本项目贡献: 负责项目的技术开发, 对创新点 1、2、3 均有重要贡献, 具体为负责国家自然科学基金课题和北京市科技计划课题等, 设计了自组织模糊神经网络控制器, 实现了溶解氧浓度在线控制; 提出了基于任务驱动的神经网络自组织控制器, 实现了控制器结构自组织和参数自适应, 提高了控制器的自学习能力和鲁棒性。

4. 苑明哲, 排名 4

行政职务：无

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院沈阳自动化研究所

完成单位：中国科学院沈阳自动化研究所

对本项目贡献：负责项目的技术开发，对创新点 2、3 均有重要贡献，具体为负责国家 863 课题和多项污水处理自动化工程项目，建立了污水处理过程综合控制系统，参加完成了城市污水处理过程智能优化控制系统研究；设计开发了污水处理过程全流程在线监测系统，实现了污水处理过程全流程在线监控与优化运行。

5. 杨庆，排名 5

行政职务：副院长

技术职称：副教授

工作单位：北京工业大学

完成单位：北京工业大学

对本项目贡献：负责项目的技术开发，对创新点 1、2 均有重要贡献，具体为负责国家自然科学基金课题和北京市自然科学基金课题等，参与研究了分段进水脱氮除磷工艺的优化运行条件，并就 A/O 工艺污水处理厂的深度脱氮和节能处理进行了大量理论分析和试验验证；协助开发了多目标过程控制系统，并成功应用于传统 A/O 连续流工艺中，建立了污泥浓度回路控制系统，实现了污水处理过程污泥浓度的稳定控制。

6. 阜 崑，排名 6

行政职务：主任

技术职称：教授级高工

工作单位：北京城市排水集团有限责任公司

完成单位：北京城市排水集团有限责任公司

对本项目贡献：负责项目的系统设计与产业化对接，对创新点 2、3 均有重要贡献，具体为协助开发了 SBR 模糊控制软硬件系统，并负责在国内污水处理厂推广应用；提出了智能优化控制关键设备的系统集成方案，并推广应用至示范工程；负责了智能检测在小镇污水处理中的应用，提出了工艺优化运行的关键参数。

7. 于广平，排名 7

行政职务：无

技术职称：研究员

工作单位：中国科学院沈阳自动化研究所

完成单位：中国科学院沈阳自动化研究所

对本项目贡献：负责项目的技术开发，对创新点 2、3 均有重要贡献，具体为负责国家自然科学基金课题和多项污水处理自动化工程项目，参加完成了城市污水处理过程智能优化控制系统研究，创新性开发工业毒水诊断与应对技术，并研发了基于生物系统 DO 值的在线污泥活性和污水可生化性分析检测仪。

8. 李文静，排名 8

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：北京工业大学

完成单位：北京工业大学

对本项目贡献：负责项目的技术开发，对创新点 1、2 均有重要贡献，具体为负责国家自然科学基金课题和北京市自然科学基金课题等，参加完成了城市污水处理过程机理分析和智能特征模型研究，基于城市污水处理过程运行数据获得了水质参数的特征信息，提出了关键水质指标智能特征参数建模方法。

9. 杨翠丽，排名 9

行政职务：无

技术职称：讲师

工作单位：北京工业大学

完成单位：北京工业大学

对本项目贡献：负责项目的技术研发，对创新点 1、3 均有重要贡献，具体为负责国家自然科学基金和北京市教委科技项目，提出了基于出水水质达标排放的污水处理过程能耗评价模型，实现了过程控制变量与运行目标之间的定量描述，协助完成了实际应用运行调试，以及后期数据整理分析。

10. 常江，排名 10

行政职务：副主任

技术职称：教授级高工

工作单位：北京城市排水集团有限责任公司

完成单位：北京城市排水集团有限责任公司

对本项目贡献：负责项目的产业化对接，对创新点 2、3 均有重要贡献，具体为参与了智能自组织控制系统，提出了智能优化控制关键设备的系统集成方案，并推广应用至示范工程。

主要完成单位及创新推广贡献：

北京工业大学：全面负责项目的策划、研究方案设计、技术路线制订，以及具体研究任务实施完成；在城市污水处理过程智能特征建模技术、城市污水处理过程智能自组织控制技术、多目标智能优化技术方面取得创新性成果；设计了城市污水处理过程控制仿真平台，完成了城市污水处理过程智能优化控制系统设计，形成了成套的综合自动化技术；城市污水处理过程优化控制关键技术方面取得了具有完全知识产权的研究成果，并且在技术推广应用中发挥了重要作用。

北京城市排水集团有限责任公司：协助负责项目的策划，优化与精确控制技术在北京市排水集团有限责任公司清河再生水厂、小红门再生水厂等大型城市污水处理厂推广应用；高效脱氮除磷精确控制已通过工艺设计在集团新建的四座再生水厂中实现了落地转化，为新建再生水厂的稳定运行和节能降耗提供了技术措施，为污水厂升级改造提供了技术保障等；形成城市污水处理控制系统，在软件功能模块化设计、污水处理厂化验室数据管理系统、远程监控与诊断系统开发及城市污水处理厂自动化示范推广方面发挥了重要作用。

中国科学院沈阳自动化研究所：完成了污泥浓度前馈—串级优化控制系统和工业毒水诊断与应对系统；设计开发了城市污水处理过程在线监测系统，实现了污水处理过程全流程在线监控；完成了城市污水处理过程溶解氧浓度、污泥浓度等优化控制技术研发；实现了污水处理过程全流程优化运行；在城市污水处理优化控制技术开发和系统集成方面发挥了重要作用。

完成人合作关系说明：

该项目主要由乔俊飞，郑江，韩红桂，苑明哲，杨庆，阜崴，于广平，李文静，杨翠丽，常江完成。乔俊飞，韩红桂，苑明哲，杨庆，于广平，李文静，杨翠丽共同承担了国家自然科学基金重点项目“城市污水处理过程优化控制理论及关键技术研究(61034008)”，863计划项目“污水处理过程智能化控制关键技术及系统集成(2009AA04Z155)”等；乔俊飞，郑江，韩红桂，杨庆，阜崴，李文静，杨翠丽，常江共同承担了北京市教育委员会科技计划重点项目“基于数据驱动的污水处理优化运行控制研究(KZ201410005002)”等。具体贡献如下：乔俊飞为第一完成人，主持该项目总体研究和实施，对创新点1-3有主要贡献，是代表性发明专利1-8的完成人；郑江为第二完成人，对创新点1-3有主要贡献，是项目推广应用的负责人，是论文102-103的完成人；韩红桂为第三完成人，对创新点1-3有主要贡献，是代表性发明专利1-3、4-8的完成人；苑明哲为第四完成人，对创新点2-3有主要贡献，是代表性发明专利9的完成人；杨庆为第五完成人，对创新点1-2有主要贡献，是论文29-32的完成人；阜崴为第六完成人，对创新点2-3有主要贡献，是代表性发明专利10的完成人；于广平为第七完成人，对创新点2-3有主要贡献，是代表性发明专利9的完成人；李文静为第八完成人，对创新点1-2有主要贡献，参与了“城市污水处理过程优化控制理论及关键技术研究(61034008)”等项目的研发工作；杨翠丽为第九完成人，对创新点1和3有主要贡献，参与了“基于数据驱动的污水处理优化运行控制研究(KZ201410005002)”等项目的研发工作；常江为第十完成人，对创新点2-3有主要贡献，是代表性发明专利10的完成人。乔俊飞，韩红桂，苑明哲，杨庆，于广平，李文静，杨翠丽，常江共同获得2016年吴文俊人工智能科学技术进步一等奖，乔俊飞，韩红桂，杨庆，阜崴，杨翠丽，常江共同获得2016年中国产学研合作创新成果一等奖。