1. **项目名称**

城市污水处理过程控制关键技术及应用

1. **主要完成单位（含顺序号）**

北京工业大学

北京城市排水集团有限责任公司

中国科学院沈阳自动化研究所

安徽国祯环保节能科技股份有限公司

1. **主要完成人（含顺序号）**

1. 乔俊飞，2. 郑江，3. 韩红桂，4. 苑明哲，5. 杨庆，6. 蒋勇，

7. 于广平，8. 李文静，9. 侯红勋，10. 杨翠丽，11. 阜崴，12. 常江，

13. 武利，14. 张会清，15. 王景杨

1. **项目简介**

我国淡水资源短缺且污染严重，城市及主要经济带水生态恶化问题十分突出，已成为制约经济社会可持续发展的瓶颈问题。城市污水是稳定的淡水资源，处理后循环利用既可以缓减对淡水资源的需求，又可以减少对水环境的再次污染，因此，实施城市污水处理已经成为我国淡水资源综合利用的战略举措。当前，我国城市污水处理厂存在的主要问题是运行成本高，排放超标现象严重。城市污水处理过程智能优化控制关键技术属于控制科学与工程研究领域，旨在通过研发和应用智能优化控制技术，保证出水水质稳定达标，降低污水处理运行成本，实现淡水资源持续利用，缓减和保护短缺的淡水环境。

城市污水处理过程不确定性严重，关键水质指标(生化需氧量BOD、化学需氧量COD等)不能实时测量，用于有机物降解的生化反应过程缓慢且具有大惯性特点，致使污水处理系统经常运行于非平稳状态，因此，实施优化运行控制异常困难。项目组围绕我国城市污水处理的特点和优化控制过程中的瓶颈问题，展开了卓有成效的研究；通过产学研深度融合，共同承担国家863计划项目和国家自然科学基金重点项目等，进行了长达10余年的城市污水处理智能优化控制关键技术研究和攻关，打破了国外技术垄断，取得了系列创新成果。

主要成果包括：1、针对污水信息分析所涉及的时变不确定性问题，在理论上，提出并获得了结构自组织控制器设计方法，提高了处理时变不确定性信息的能力，发展了智能控制理论和方法。2、提出了基于数据的智能多目标优化方法，有效解决了非平稳系统的动态优化问题。在技术上，获得了基于特征参量的关键水质指标的智能自组织测量模型，突破了城市污水处理关键水质指标无法在线测量的技术难题；3、率先提出了规则自适应模糊控制实用技术，解决了污水处理过程中溶解氧、硝态氮等关键过程变量的精准控制问题。4、建立了基于出水水质的城市污水处理过程多目标智能优化技术，降低了吨水处理能耗，实现了污水处理厂低成本运行。5、研发出具有自主知识产权的城市污水处理智能优化控制系统，已经在全国不同地区、不同工艺的城市污水处理厂得到实际应用，取得了显著的经济效益和社会效益。

成果研发期间共获得授权专利43项(发明/实用新型34/9)，获得软件著作权32项；在IEEE Transactions on Industrial Electronics等国际权威期刊和会议上发表学术论文112篇(SCI/EI 收录39/1112)，撰写相关著作5部；研究成果已在华北、东北、华东和华南等地区32家不同工艺的城市污水处理厂应用，吨水处理电耗平均降低5%左右，累计处理污水497090万吨，经济效益达6.5亿元(近三年3.2亿元)。教育部组织的成果鉴定专家组认为：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，关键水质指标智能特征测量技术达到国际领先水平。研究成果已获2011年教育部高等学校科学研究优秀成果奖科学技术进步一等奖、2016年吴文俊人工智能科学技术进步一等奖。

1. **主要成果目录**
2. **代表性学术论文**
3. Qiao Junfei, Li Fanjun, Han Honggui, Li Wenjing. Growing echo-state network with multiple subreservoirs. ***IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems***, 2017, 28(2): 391-404. (SCI, EI, IF=4.854)
4. Qiao Junfei, Han Honggui. Identification and modeling of nonlinear dynamical systems using a novel self-organizing RBF-based approach. ***Automatica***, 2012, 48(8): 1729-1734. (SCI, EI, IF=3.635)
5. Qiao Junfei, Zhang Zhaozhao, Bo Yingchun. An online self-adaptive modular neural network for time-varying systems. ***Neurocomputing***, 2014, 125(2): 7-16. (SCI, EI, IF=2.392)
6. Qiao Junfei, Han Honggui. A repair algorithm for radial basis function neural network and its application to chemical oxygen demand modeling. ***International Journal of Neural Systems***, 2010, 20(1): 63-74. (SCI, EI, IF=6.085)
7. Han Honggui, Zhang Lu, Hou Ying, Qiao Junfei. Nonlinear model predictive control based on a self-organizing recurrent neural network. ***IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems***, 2016, 27(2): 402-415. (SCI, EI, IF=4.854)
8. Han Honggui, Qiao Junfei. Nonlinear model-predictive control for industrial processes: An application to wastewater treatment process. ***IEEE Transactions on Industrial Electronics***, 2014, 61(4): 1970-1982. (SCI, EI, IF=6.383)
9. Han Honggui, Qiao Junfei. Hierarchical neural network modeling approach to predict sludge volume index of wastewater treatment process. ***IEEE Transactions on Control Systems Technology***, 2013, 21(6): 2423-2431. (SCI, EI, IF=2.818)
10. Han Honggui, Wu Xiaolong, Qiao Junfei. Real-time model predictive control using a self-organizing neural network. ***IEEE Tansactions on Neural Networks and Learning Systems***, 2013. 24(9): 1425-1436. (SCI, EI, IF=4.854)
11. Han Honggui, Qiao Junfei. Adaptive computation algorithm for RBF neural network. ***IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems***, 2012, 23(2): 342-347. (SCI, EI, IF=4.854)
12. Han Honggui, Qiao Junfei. A self-organizing fuzzy neural network based on a growing-and-pruning algorithm. ***IEEE Transactions on Fuzzy Systems***, 2010, 18(6): 1129-1143. (SCI, EI, IF=6.701)
13. **授权专利和登记软件著作权**
14. 乔俊飞, 任东红, 韩红桂. 一种基于集成神经网络的污水处理软测量方法. ***ZL201210343011.0***.
15. 乔俊飞, 陈启丽, 韩红桂. 基于递归神经网络模型的溶解氧自适应控制方法. ***ZL201110440029.8***.
16. 乔俊飞, 史雄伟, 韩红桂. 前置反硝化污水处理过程的优化控制方法. ***ZL201110046590.8***.
17. 乔俊飞, 张米娜. 一种污水处理生化需氧量软测量方法. ***ZL201110140371.6***.
18. 乔俊飞, 韩红桂, 郭迎春. 基于动态径向基神经网络的溶解氧的控制方法. ***ZL200910086991.9***.
19. 乔俊飞, 李淼. COD软测量的方法. ***ZL200810118052.3***.
20. 乔俊飞, 韩红桂. 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. ***ZL201010252670.4***.
21. 韩红桂, 钱湖海, 李颖, 乔俊飞. 一种污水处理过程自组织控制方法. ***ZL201310456956.8***.
22. 韩红桂, 伍小龙, 王丽丹, 乔俊飞. 基于非线性模型预测的污水处理过程多目标控制方法. ***ZL201310059053.6***.
23. 韩红桂, 伍小龙, 王丽丹, 乔俊飞. 基于自组织径向基神经网络的溶解氧模型预测控制方法. ***ZL201310000516.1***.
24. **经济效益**

经过项目组近10年的研究与攻关，研制出了成套的污水处理智能优化控制技术与系统。目前已经华南、华中、华北和东北32家城市污水处理厂(处理工艺包括A2/O、A/O、CAST等)得以应用，特别是在北京排水集团高碑店再生水厂、北京排水集团清河再生水厂光大水务(济南)有限公司污水处理厂等创造了巨大的社会经济效益，累计处理污水134940万吨，经济效益达到6.5亿元(近三年1.2亿元)。

**六、完成人合作关系说明**

本项成果的主要完成人具有长期合作关系，包括共同承担科研项目、发表学术论文、联合申请专利等。