



国家“水专项”研究课题——

华东河网地区县镇 饮用水安全保障技术与示范

□ 同济大学 邓慧萍

华东河网地区，如太湖流域，由于河流等水系交错密布，污染物易积留在河网中难以排出，供水长期面临水质性缺水的困境。“水专项”课题《华东河网地区县镇饮用水安全保障技术与示范》为华东地区老水厂的升级改造与小规模自来水管网的达标运行提供了充分的技术支持。

《华东河网地区县镇饮用水安全保障技术与示范》(2008ZX07425-007)是“水专项”“饮用水安全保障技术与示范”主题中《典型村镇饮用水安全保障适用技术与示范》(2008ZX07425)项目下的课题。课题承担单位为同济大学、上虞市自来水公司和浙江省建设厅。

本课题从华东河网地区县镇饮用水安全保障技术体系研究和示范的实际需求和战略发展高度出发，通过调查研究，掌握华东河网地区水源的污染物来源、特征、分布规律及发展趋势，并针对水源水质特征，进行水源污染控制、水体修复、高效处理技术以及县镇饮用水安全输配的全流程饮用水安全保障技术研究。依照水的输送流程，以组织建设示范工程为主线。主要包括微污染水体的水源保护和人工原位修复技术、基于生化作用的气浮/生物

沸石/活性炭除污染组合工艺关键技术研究 and 以膜技术为主体的膜组合工艺关键技术、适合小流量停留时间长的供水系统的安全输配技术和二次供水安全技术等相关研究内容。

理论创新与技术突破

1、上虞市水资源承载力系统动力学仿真模型

根据上虞水资源、经济社会和生态环境系统的特点，初步将其划分为四个子模块：供水子模块、需水子模块、人口子模块、经济子模块。其中，供水子模块中包括本地水资源量、引水量和污水回用量；需水子模块中包括生活需水、农业需水、工业需水、第三产业需水、环境需水；人口子模块包括城镇人口和农村

人口；经济子模块包括农业总产值、工业总产值和第三产业总产值；各模块变量之间相互作用形成的因果关系反馈回路构成了模型的基本结构。模型设定六个状态变量：总人口、农业总产值、工业总产值、第三产业总产值、绿地面积和道路面积。通过仿真模型可以对上虞市水资源的承载能力进行预测，以合理规划和分配水资源，具有理论和实用价值。

2、适用于华东的 A_2 NSBR生活污水处理技术

A_2 NSBR系统是一种典型的双污泥系统。调节进水C/N比，通过对比各反应阶段营养盐(磷，TN，硝态氮，亚硝态氮)的变化特征和DO、pH及ORP的在线监测数据，研究了进水水质波动情况下， A_2 NSBR系统的响应能力。重点考察了进水水质负荷变化时，系统中微生物胞内物质的变化规律，获得了不同的进水C/N对 A_2 NSBR系统除污的内在影响机制。当进水COD/N到7.27时， A_2 NSBR系统出水 $PO_4^{3-}P$ 和TN的平均浓度分别为0.81 mg P/L和2.99mg N/L，除磷率和脱氮率分别达94.7%和93.5%(平均值)，并可长期稳定运行。当进水C/N高于该值(如COD/N=9.30)时，可获得更好的脱氮除磷效果。在实验过程中，采集了各个运行阶段污泥样品，对样品进行分子生物学检测，揭示了 A_2 NSBR技术的分子生物学机理。

3、处理微污染原水的生化集成(混凝沉淀-ZBAF-GAC)技术

研究了生物沸石滤池处理低浓度氨氮的挂膜阶段性能：试验结果表明挂膜过程中根据氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮浓度的变化可以分为三个阶段：初期沸石发挥本身对铵离子的吸附交换性能，去除率达88%以上；中期开始出现生物硝化作用，亚硝酸盐氮积累明显，硝酸盐出水浓度不稳定，氨氮去除率稳定，但下降至65%左右；后期硝化反应稳定进行，亚硝酸盐氮迅速转化为硝酸盐，氨氮去除率稳定在60%以上。生物沸石滤池挂膜时应考察亚硝酸盐氮、硝酸盐氮浓度变化，在出水亚硝酸盐氮明显积累后又稳定降低且硝酸盐氮稳定积累时方可认为挂膜成功。进出水pH变化可以指示硝化反应的进行程度和生物膜形成阶段。

研究了水力停留时间、进水氨氮浓度、曝气时间、pH对生物沸石滤柱去除饮用水低浓度氨氮效果的影响：结果表明，水力停留时间越长，对氨氮的去除效果越好，水力停留时间为24min时，较为经济合理；随着进水氨氮浓度的降低，氨氮去除率下降，进水氨氮浓度低于2mg/L时，生物沸石柱出现氨氮解吸现象；采用间歇曝气方式，既不影响硝化作用又节约能耗；进水pH升高，氨氮去除率增加，但在pH7.7-8.5之间，氨氮去除率增幅不大，反应最佳pH7.2-7.4。

完成了颗粒活性炭的选炭实验：以 COD_{Mn} 、 UV_{254} 和氨氮为指标，考察所选几种颗粒炭的吸附容量和吸附速率，并结合经济上的考虑从中选出一种合适的颗粒炭，用于上虞水厂中试生物处理流程的炭滤池。

根据实际工程应用与所查文献，选取颗粒粒径在1mm~4mm

之间的四种饮用水处理中常用的颗粒活性炭(GKA粗果壳炭、YKA-1椰壳炭、 ϕ 1.5煤质柱状炭、8×30目煤质破碎炭，以下分别简称为果壳炭、椰壳炭、柱状炭、破碎炭)。从吸附速率上看，四种炭对氨氮几乎没有吸附，对 COD_{Mn} 和 UV_{254} 的吸附量：破碎炭>柱状炭>果壳炭>椰壳炭，四种炭的价格如下：果壳炭400元/25kg；椰壳炭350元/25kg；柱状炭12元/kg；破碎炭12元/kg。参考所查文献资料，水厂生物活性炭滤池常用 ϕ 1.5煤质柱状炭和8×30目煤质破碎炭作为填料，因此建议采用8×30目煤质破碎炭用于此次中试生物处理流程的炭滤池。

4、浸没式膜组合集成技术

天然有机物是饮用水中嗅和味的主要来源，是细菌生长的主要基质，是消毒副产物的主要组成部分。因而，在饮用水处理过程中如何去除天然有机物是一个亟待解决的问题。通过混凝能够降低水中的污染物，避免这些物质进入膜孔内部，改善沉积在膜表面滤饼层的过滤性能和水中颗粒、胶体的迁移性能，提高过膜通量。投加粉末活性炭(PAC)吸附溶解性有机物，利用超滤膜(UF)截留粉末炭，可以达到提高出水水质的目的，还能防止膜污染。

使用一体式混凝-粉末活性炭PAC-超滤膜UF组合工艺处理原水，通过对比UF直接过滤工艺与混凝-PAC-UF工艺，分析了混凝和PAC对改善过膜通量，降低膜污染阻力，提高水中有机物的去除效果中所起的作用。

混凝去除有机物主要依靠电性中和作用，因此吸附时间较短，它能够使细小的胶体颗粒絮凝成较大的矾花，矾花进一步吸附水中有机物；PAC能够较好地吸附水中的有机物，改善膜通量，降低膜阻力。混凝-PAC-UF工艺，对水中有机物有较好的去除效果， UV_{254} 、 UV_{410} 、TOC的平均去除率分别为92%、95%、84%，而未投加PAC时，相应的去除率仅为20%、30%、10%。这一组合工艺，集吸附-生物氧化-膜分离于一体，性能稳定，具有很好的除污染效果。

微污染河网水处理设备的研发

针对微污染河网水，我们研发了两套工艺技术系统，生化集成微污染水处理系统和浸没式膜组合工艺系统，通过小试和中试确定了二组工艺系统的运行条件和参数，研究表明，二种组合工艺可以将微污染源处理到符合现行的《生活饮用水水质标准》。

1、生化集成微污染水处理系统

在混凝沉淀、ZBAF和GAC的协同作用下，组合工艺对浊度、氨氮、亚硝酸盐氮、 COD_{Mn} 、 UV_{254} 、铁、锰等有较稳定的处理效果，出水常规指标优于《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)。其中：对浊度的去除率为99%，主要依靠混凝沉淀去除，在沉淀池进水负荷过大时，沸石和活性炭可以保证出水浊度

达标；自养菌硝化菌和亚硝化菌受低温抑制作用不明显，在冬季也能保持较高的活性，组合工艺整体对氨氮的去除率维持在80%以上；组合工艺对 COD_{Mn} 和 UV_{254} 的去除率分别达到70%和80%左右，主要依靠混凝沉淀和活性炭柱内的吸附作用和生物作用，沸石柱对两者的去除效果很小；组合工艺出水铁含量较少，运行40天后对锰的去除率维持在80%以上，出水浓度在0.1mg/L以下。



图1 集成微污染水处理系统 图2 浸没式膜组合工艺系统

2、浸没式膜组合工艺系统

浸没式膜组合工艺（PAC-MBR）系统对浊度有着极佳的去除效果，去除率在90%以上。沉淀池出水的浊度基本在25NTU以下，在超滤膜的高效截留作用下，出水浊度远远到达《生活饮用水卫生标准》中0.5NTU以下的要求。超滤膜几乎不受水质变化、水温、PAC投加和微生物活性的影响，保证了膜出水具有良好的感官形状，使其中的生物学指标将至较低的水平，有利于后续的消毒灭菌。PAC-MBR有较好的 COD_{Mn} 去除效果，出水均能保证在3mg/L以下。运行稳定的中后期，PAC/MBR系统有接近100%的氨氮去除率，且比MBR系统处理效果稳定，充分体现了投加PAC的优势之处，既能促进以附着态存在的硝化菌的生长，又能够吸

附一些影响硝化反应正常进行的有毒物质，提高生物的活性以及稳定性。

技术应用与示范工程

根据上虞市近远期城市的供水要求，规划确定中心城区不再新建净水厂，中远期对第二水厂和第三水厂进行扩建，本课题以第二水厂（现更名为上源闸水厂）的改扩建工程为依托示范工程。上源闸水厂原设计规模15万吨/日，以上官渠水为水源，水源水质良好，经常规处理工艺处理后可以满足饮用水卫生标准。但目前上官渠水量已经不足以应对水量增长的需求，需要启用微污染的总干渠水作为该水厂的水源，本课题的示范的任务是将原水厂的一组工艺（3万吨/日）进行改造，使沉淀池和滤池能在引用现在微污染的总干渠原水，使出水能满足《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）。

系统采用混凝、沉淀、生物粉末活性炭接触氧化和超滤工艺。改造范围在原上源闸水厂一期工程的絮凝-平流沉淀池，380V电源由临近配电间引出，混凝剂投加沿用原系统。改造工程尽量利用原有水池和可利用设备，尽可能减少池外用地，在改造过程中尽可能减少对水厂运行的影响。

本示范工程以现场中试成果为基础，结合上源闸水厂的实际情况设计的，项目建成后，不仅为上虞增加新的可用水源，而且对类似水源水厂的升级改造具有很好的示范作用。该工程实施后，能进一步保障上虞市自来水供水安全和水质提高，对华东地区老水厂的升级改造具有很好的示范作用，适合在县镇供水等小规模的水厂推广应用。

中国可持续生态卫生（排水）发展国际论坛在京召开

2010年12月3日，由生态卫生中国节点办公室主办的2010中国可持续生态卫生（排水）发展国际论坛在京召开。

可持续生态卫生排水中国节点，是由瑞典国际发展合作署（SIDA）提供支持，由瑞典斯德哥尔摩国际环境研究院（SEI）负责，在中国开展可持续生态卫生排水的技术研究推广和大众传播的节点项目。可持续生态卫生中国节点办公室（CNSS）成立于2008年，由北京科技大学环境工程系和北京清水同盟共同组成。

2010年，可持续生态卫生排水中国节点的两年项目计划即将完成，因而举办了2010中国可持续生态卫生排水发展国际论坛，邀请来自瑞典国际合作发展署、斯德哥尔摩环境研究院等国外机构代表，以及国内多家研究机构的权威专家



和NGO代表，对中国可持续生态卫生排水的发展历程、现状和未来，以及其它国家的生态卫生节点工作进行探讨。