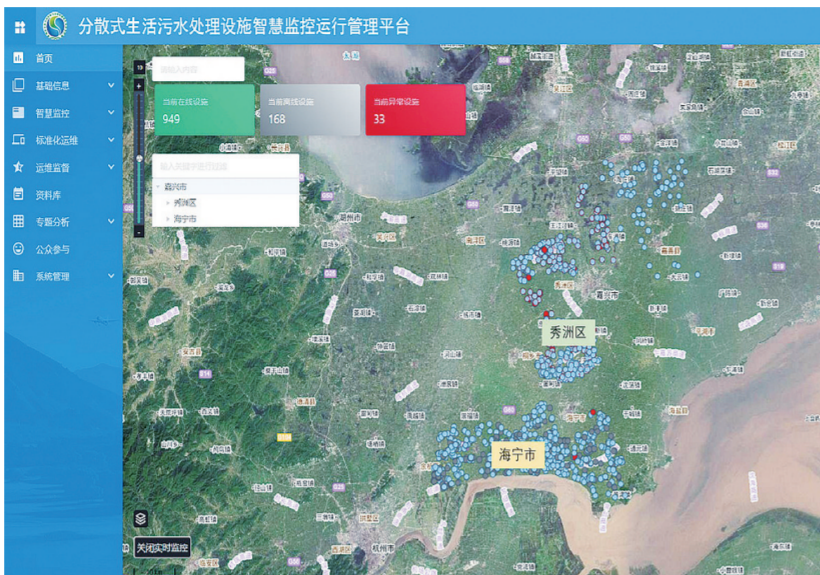


# 以信息化手段支撑农村生活污水处理设施的智慧化监管

## 课题背景

农村污水治理是改善农村人居环境的重要途径。由浙江清华长三角研究院承担的国家水体污染控制与治理科技重大专项“嘉兴市污水协调控制与水源地质量改善”项目之“分散生活污水处理设施智慧监测控制系统设备与平台”课题,针对农村生活污水处理设施数量庞大、规模较小、位置分散、运维费用高昂的难题,致力于研究开发低造价耐用的水量和水质监测设备、设施运行异常在线识别与反馈控制技术以及智慧监管平台,力求通过设施信息化、设备运行智能化、维护管理互联网+专业化,形成农村生活污水处理设施智慧运维监管成套技术,提高设施的运行与监管效率。课题组自成立以来,嘉兴市住房和城乡建设局积极参与、大力支持,并与课题组签署框架合作协议。日前,双方协同将上述成套技术应用于构建嘉兴市农村生活污水处理设施的智慧运维监管新模式,给农村生活污水处理设施的运行监管注入了强大的“智慧基因”。



## 关注一

### 农村污水处理设施量大面广,运维监管令人头痛

近年我国对农村污水治理的要求不断提高,全国各地不断加大农村污水处理设施的建设力度。截至2018年年底,全国已建成50.8万座农村生活污水处理设施,其中浙江省超过9.5万座,村覆盖率和户覆盖率均位居全国前列。大量农村污水处理设施的建成对于整治农村人居环境发挥了重要作用,浙江省“千村示范、万村整治”工程荣获2018年度联合国“地球卫士奖”。

农村污水处理设施由于数量庞大、分布分散、规模小且技术模式多样,因此运维和监管费用昂贵、存在很大难度。特别是在以嘉兴市为代表的太湖流域平原河网地区,土地资源紧张,环境排放要求高,各地为减少占地并满足较高排放标准,使用有动力设施

的比例较高。有动力设施的稳定运行依赖于设备正常运转和运行状态的及时优化调整,对专业化运维要求高,因此运维和监管难度更大。“十三五”期间如何对上述设施开展长效运维和高效监管,最大限度地发挥其污染治理作用?需求极为紧迫。

基于信息化手段开展农村生活污水处理设施运行的远程智慧监管,有望大幅度提高运维效率、降低运维成本。但是目前存在技术瓶颈,主要表现在:

(1)硬件方面:智慧监管系统做得好不好,能不能在农村普及,首要因素就在于相关水质和运行状态数据能否准确、快速、廉价地取得。由于市面上缺少低价耐用的传感器,导致水质和运行状态等

关键数据普遍不能在线取得,因此农村污水处理设施运行很难实现信息化。

(2)软件方面:农村生活污水处理设施数量庞大,针对常见运行异常如果能够及时判别、预警并干预,有望大幅度降低设备故障率。但是目前缺少高智慧度判别设施运行状态的技术方法,也缺少相应的控制技术。如何从有限的设施运行信息中发现运行异常,是其中最大的难点。

(3)此外,运维体制政策和标准不完善限制了农村生活污水处理设施远程智慧监管的发展。例如,设施和电控系统的设计建设不规范,基础信息资料不健全,都给设施运行的物联网建设与软件开发带来很大难度。

## 关注二

### 研发关键设备与技术,为运维监管安装“明亮的眼睛”

针对上述技术瓶颈,课题组首先着手开展关键设备和技术研发,为处理设施的运行监管装上“明亮的眼睛”。现在,课题组已经研发出3套低价耐用的关键设备,加强了农村污水处理设施在有限投入下运行的信息化水平;研发出农村生活污水处理设施运行状态的在线判别与智慧控制技术,加强了对大量农村污水处理设施运行异常的批量识别能力和反馈控制水平。

说起关键设备和技术研发,还有一段过程曲折却极有意思的经历。本课题最大的难点,就是如何在较低的投入下实现设施运行状态和水质的信息化。按照研究计划,课题组协同攻关,开发出了3套关键设备:(1)适合农村生活污水处理设施的新型流量监测设备,低价耐用抗污堵,可在在线监测污水的瞬时流量和累计流量,监测误差小,价格只有电磁流量计的一半;(2)多参数水质在线监测设备,对COD、氨氮、总磷检测误差均小于20%,模块成本较市面上产品大幅度降低;(3)小型移动式巡视监测设备,可在30分钟内现场速测6个水质指标(COD、氨氮、总磷、pH、溶解氧、浊度),实现了农村污水处理设施进水的现场快速检测。

上述设备在试用中得到了好评,可是地方上还是反映不够“解渴”,因为要想远程智慧监管,设施运行的信息化还是不能从根本上破题:即便是水质在线监测设备的费用已经降低了很多,但是动辄十几万的费用还是让广大经济薄弱的农村望而生畏。怎样才能获得大量设施的实时运行信息又不花很多钱呢?在很长的一段时间内,

这个难题让整个课题组一筹莫展。

在一个偶然的机会里,课题负责人忽然想到:在同一区域,大家的生活习惯较为一致,生活污水的成分也应该较为相近。那么,生活污水中碳氮磷浓度之间是不是会有关联关系?是不是可以找到什么指标来综合表征水中污染物的浓度呢?毕竟,在线监测一个指标,与在线逐一监测COD、氨氮、总磷等几个指标,成本造价可能是完全不同的。于是,课题负责人在浙江地区采集了上千组水样,测试考察各种水质指标的相关关系。终于有一天,大家惊喜地发现:在很多地区,未经二级生物处理的农村生活污水中,电导率、氨氮、总氮、总磷之间似乎存在着“亲戚关系”,各指标浓度之间相关性很好;而经二级生物处理后,这种相关关系遭到了破坏,进水和出水电导率的差异能反映这种相关关系的破坏程度,从而反映污水处理设施的污染物去除效率。

由此,课题组“顺藤摸瓜”,创新开发出用电导率综合指示农村生活污水处理设施进水电导率的技术,以及基于进水电导率和机器学习算法的设施运行异常在线监测与判别技术。电导率指标的使用,颠覆性地降低了设施运行在线监测的成本,使单个设施新增硬件成本小于2万元,即可实时判别设施运行状态及出水达标情况。目前这项技术已授权国家发明专利4项,正在申请国际发明专利。

课题组将“基于电导率的设施运行异常在线监测与判别技术”应用于关键技术研发。针对农村污水处理设施配备简陋、

可获得的设施运行信息数据有限、设施运行异常识别困难的问题,深度挖掘设施各设备电信号、流量信号、电导率信号之间的关联关系,构建了包括水量异常、水质异常、设备异常和运行效果异常四大类及23小类的异常识别模式,全面支撑设施运行问题诊断;同时与设施反馈控制技术联动,增强了设施稳定运行的自动调整功能。



▲ 关键设备—多水质自动在线监测仪  
▶ 农村生活污水处理设施关键设备安装

## 关注三

### 研发智慧监控运行管理平台,为运维监管武装“聪明的大脑”

大量设施的运维监管,不仅需要“明亮的眼睛”去收集信息,更需要聪明敏捷的大脑对信息进行快速分析和多维度解读。课题组研发出农村生活污水处理设施智慧监管运行管理平台,集成了关键设备、关键技术的研发成果,结合了污水处理设施运行信息的实时采集传输与数据管理技术,包含了基础信息、智慧监管、标准化运维、运维监管、资料库、专题分析、公众参与、系统管理八大功能模块。平台对基础档案信息(处理工艺、设计规模等)、设施运行信息(设备、水质、水量、用电等实时数据)、设施运维信息(巡检/维修记录、按月自检水质数据等)

以及运维监管信息(第三方水质抽检数据)进行分类分项管理,并通过数据可视化平台和多维数据自助式分析,实现对处理设施的处理过程监控、水质监控、设施运行状态评估、时域和区域的汇总统计与趋势性分析,并对运行异常进行及时统计和报警。目前,平台数据包括全市所有农村生活污水处理设施的基本信息;海宁市和秀洲区1000多座处理设施的运行信息(每日140万条)和运维信息;以及第三方抽检水质数据(近万条)。

平台在嘉兴市秀洲区建设局、海宁市建设局的支持下,被应用于对嘉兴市秀洲区和海宁市农村污水处理设施进行远

程集中监管,服务农户5.6万户,年处理规模1000万吨。平台通过及时发现设施运行异常并报警,促进了设施的正常运转,提高了运维效率,为防止设施“晒太阳”,促使设施“管得好、用得上”提供了有效监管工具。2020年新冠肺炎疫情暴发以来,浙江省建设厅迅速发布了《关于做好新型冠状病毒疫情期间农村生活污水处理设施运维工作的通知》,要求做到既要保障处理设施正常运行,又要确保运维人员自身安全。在此情况下,秀洲区通过远程智慧监管平台及时发现设施运行异常情况,快速予以解决,减少了现场作业,降低了运维人员感染风险。

## 关注四

### 构建成套技术,创新管理模式,为运维监管实践提供技术支撑

农村生活污水处理设施的智慧运维监管,不仅需要解决技术问题,还需要解决管理问题,更需要强有力的经济和法制保障。课题负责人刘锐研究员作为全国人大代表,结合课题研究体会不断总结经验,积极向国家和地方建言献策。2019年向第十三届全国人大二次会议提交了《关于加强农村污水治理顶层设计与体制机制建设的建议》,建议里的部分内容在2020年3月国家六部委联合发文“推进农村人居环境整治,加强农村生活垃圾、污水治理和畜禽粪污资源化利用”中得到回应。

浙江省高度重视农村污水治理工作,2019年发布了《浙江省农村生活污水处理设施管理条例》(下称《条例》),自2020年1月1日起施行。《条例》作为国内关于农村污水管理的首部立法,明确了各级主体责任与法律责任,规定了资金来源及用途,从法律层面保障了农村生活污水处理设施安全正常运行。

这样的社会大环境,为课题组研究农村生活污水处理设施的智慧运维监管成套技术,并促进其落地实施提供了有利条件。课题组各单位紧抓历史发展机遇,秉承水专项“边产出边服务”的精神,踊跃参与浙江省和嘉兴市内各项农村污水治理相关工作,构建产学研合作共同体,建设技术和管理标准化和规范化体系,技术支撑地方农村污水专项规划的编制和培训教育体系的完善,研究创建智慧运维监管新模式。主要进展如下:

#### 深入调研,精准把脉开药方——

农村污水处理设施普遍运行效果不理想,影响因素非常复杂,既可能与污水收集和管网输送环节的建设、运维问题有关,又可能与污水处理站的设计建设与运维问题有关。要想在有限的财力下对已建设设施进行提升整改或在线监管,摸清家底、精准把脉、有的放矢方显成效。

本课题启动初期,浙江省相关运维工作刚刚开始,家底不清、信息不全,给研究带来了很大的困扰。课题组投入了大量时间和精力用于调研和排查,收集完善并校核了嘉兴全市2658座农村分散污水集中处理设施的设计和建设基础信息,现场抽检了1000余座设施的进出水水质,最终提炼形成《嘉兴市农村生活污水处理设施运维问题诊断与提升需求分析报告》。此部报告从建设、管理、运维三个方面评价并分析了全市农村污水处理设施的现状与问题,根据嘉兴五县两区各自的特点,分别开出了问题清单。同时,对全市典型处理设施进行了性能评价和技术经济比选,从提升处理设施、改进运维行为、完善体制机制、加强政府监管四个维度给出了全市的提升改造对策方案。

现在,这个报告成为嘉兴全市农村生活污水处理工作的重要参考资料,研究成果直接为秀洲区、海宁市和平湖市的2020年~2035年农村污水治理专项规划编制提供了技术支撑,也为嘉兴其他县区的农村污水治理专项规划编制提供了重要参考。课题组根据报告成果,累计向地方提出整改或提升改造建议700多条,技术支撑了海宁、海盐等多个县对农村污水处理设施进行问题查找、整改、标准化运维和改造提升。课题组的参与,为地方的监督管理注入了科技活力,使工作方向更有针对性。

#### 精心谋划,有钱用在刀刃上——

农村污水处理设施规模小,经济承受能力有限,要想实现设施运维的智慧化监管,不可能像城市污水处理厂一样,安装大量的在线监测设备。那么,如何能把最需要的钱用在刀刃上,用有限的硬件资金投入获取最大化的监管成效呢?

首先,课题组发现,目前对农村污水处理设施运行维护也好,政府监管也好,基本上都是对所

有设施的要求一视同仁,最多是根据运维规模不同有所差别。然而,经济学和管理学的帕累托法则(又称二八定律、不重要多数法则)显示,在任何一项事件中,都在原因和结果、投入和产出、努力和回报之间存在不平衡关系:80%的多数,只能造成少许的影响;而20%少数,造成主要的、重大的影响。嘉兴市农村污水处理设施的污染物排放量,同样遵循着这一法则:20%的设施承担着70%~80%的污染物处理量。因此,课题组基于产排强度核算与环境敏感性分析,研究形成了《嘉兴市秀洲区和海宁市农村生活污水处理设施运行监控方案》,把设施监控划分为低、中、高3个级别,提出对重点区域的重点设施进行重点监测,不同监测等级的设施使用不同的在线监测配置和异常识别模式。

其次,课题组研究结果表明,尽管农村污水处理设施存在的问题多种多样,但进水量异常和泵、风机等动力设备运行异常往往是影响处理设施正常运行的最常见原因,进水水质异常和氧化还原电位控制不精细是造成设施出水不达标的最常见因素。进水量和动力设备运转状态的在线监测成本低,比较容易实现,因此将其作为设施在线监管的最低等级要求。在此基础上,联合应用课题研究的重点设备与关键技术,即可形成更高等级的监管配置。由此,精心筛选重点监测设施的数量,并精简各监测等级的在线监控指标,达到抓住监管最主要矛盾的目的。

#### 研究标准,反复沟通求共识——

我国的农村污水治理尚处于初级阶段,相关标准和规范尚不健全。为了形成可复制的智慧运维监管成套技术模式,课题组以浙江省生态环境科学设计研究院、浙江大学、浙江清华长三角研究院3个参加单位为主,紧密围绕在浙江省住建厅和生态环境厅周围,积极参与全省各项标准规范与导则的编制。目前,与省内外兄弟单位密切合作,完成了浙江省《农村生活污水户内处理设备水污染物排放要求》《农村生活污水集中处理设施水污染物排放标准》《农村生活污水集中处理设施水排入标准》《农村生活污水设施建设和改造技术规程》等省级标准4项、农村生活污水治理设施运维相关导则13项。课题组编制的《嘉兴市农村分散生活污水处理设施运行管理技术指南(征求意见稿)》,获得了嘉兴市标准立项。

2019年,为推动运维管理的标准化和规范化,浙江省实施了标准化运维行动,并将其作为政府十大民生实事工程。课题组发挥科技与人才优势,对嘉兴全市100多个标准化运维点提供技术指导。同时,协助全市和各县区,对各运维企业和政府监管人员开展培训16场次(次),培训2500余人(次);面向全省和省内其他地市举办多次讲座。培训的开展,促进了管理人员对运维监管工作的理解,提升了运维企业的专业服务能力;同时,培训也成为课题研究与工程实践进行互动、互联、互通的重要渠道,既让课题组越来越了解基层问题,又让课题组成员把科学运维、智慧化运维监管的理念慢慢植入到每一位运维和监管人员的心中。

#### 智慧管理,创新模式谋发展——

2020年初,农村生活污水处理设施智慧监管运行工程示范在嘉兴市建设完成。嘉兴市住房和城乡建设局以此为抓手,尝试构建农村生活污水处理设施的智慧运维监管新模式。智慧监管平台对各设施的在线信息、巡检水质数据和人工监测水质数据进行自动分析和统计,对设施异常进行报警。运维企业根据课题组编制的《嘉兴市农村生活污水处理设施运行管理技术指南》和《嘉兴市农村生活污水处理设施运维管理技术指导手册》要求,对设施异常进行整改,并将整改结果及时报送平台。收到设施异常报警却久无整改的,由建设局村镇处主管人员发文督促,限期整改。智慧运维监管平台会对各乡镇的整改情况自动统计,定期公布运维评价结果,为运维工作的绩效考核提供数据支持。基于设施信息化和平台监管开展智慧运维监管新模式的实践,对于探索我国农村污水处理设施的长效运维有效途径具有重要意义。

刘晓明 宋小燕 盛晓琳



▶ 标准化运维与远程智慧监管相结合的嘉兴农村污水处理设施