

因地制宜 高效实用 推广性强

国家“十二五”水专项成果助力农村生活污水治理

导语

生活污水收集难、处理效果差是长期以来农村地区环境治理面临的问题。资料显示,2016年年末我国城市共有污水处理厂2039座,年污水处理总量448.8亿立方米,处理率为93.44%,但在农村,对生活污水进行处理的行政村比例仅为20%。部分乡村污水处理设备因缺乏资金和专业化管护人才,未能正常运行。而大多数农村污水仍就地排放,黑水漫流现象屡见不鲜,水环境遭到明显破坏,农村地区发展受到制约。

农村生活污水处理面临的问题迟迟得不到解决,其中一个重要的原因就是缺乏可行的技术支持。近年来,随着公民环境意识逐步增强,农村生活污水处理问题逐步走入了公众视野,而现有技术大多关注的是城镇污水处理工艺和管理技术,移植到农村则容易出现“水土不服”。与城镇污水相比,农村生活污水排放分散,基础设施落后,技术储备匮乏。同时,农村生活污水处理工艺不仅要保证稳定高效,还要做到“低投资、易管理”,才能真正具备可行性。

由东南大学牵头的“竺山湾农村分散式生活污水处理技术集成研究与工程示范课题(2012ZX07101-005)”是聚焦农村生活污水处理技术的国家“十二五”“水体污染控制与治理”科技重大专项课题。针对小型分散式农村生活污水处理、村落(保留村)生活污水相对集中处理和村落无序排放污水处理3种排放类型,课题组创新地提出了生物生态组合工艺,形成了“工艺简单,操作管理方便,氮磷资源化,整体景观化、园林化”的“污染净化型农业”农村生活污水处理体系。同时,课题组选取了太湖流域这一典型区域进行研究,紧密联系“三农”,建成了一批具有示范意义的项目,为太湖流域的水污染防治工作提供了科技支撑。

无序排放污水,多级拦截显成效

不同于城市相对完善的污水管网体系,农村的基础设施建设,尤其是管网建设较为落后,不具备城市雨污分离的处理条件,降雨和无序排放的生活污水自然混合,或者溶解农田面源污染物,形成无序排放污水,进入当地水环境中。吕锡武教授介绍,无序排放污水一般都富含氮磷,直接排入河道会对水环境产生不利的影响,完全可以通过种植蔬菜、水生植物变为宝,发展污水净化型农业,不给处理留尾巴。

为了解决这个问题,课题组以“拦截、净化、利用”为研究理念,以改进的O-A-O水生蔬菜型人工湿地为核心技术,成功研发出“村落无序排放污水收集处理及氮磷资源化利用技术”。这项技术充分利用农村的地形地势及地域特征,构建包含地表径流生态拦截沟、生态净化塘、水生蔬菜型人工湿地等组成的多级拦截系统,通过生物及生态的多重作用,在有效削减村落无序排放污水有机物及氮磷等污染负荷的同时,实现部分氮磷的资源化利用。

这一方案的诞生得益于课题组的扎实调研和灵活思路。课题组发现,在农村的田间地头常见到水渠,纵横交错,用于农田灌溉,于是巧妙利用既有水渠,改造成生态沟渠,拦截汇聚降雨初期径流,作为第一级拦截。生态沟渠沿程拦截技术采用生态护坡,重建植物群落,恢复水生植物的生物多样性,利用生物、生态作用实现水质的净化。流出生态拦截沟渠的污水进入生态净化塘进一步拦截处理。生态净化塘中包括挺水植物、生态浮床和沉水植物,层次丰富,能有效调蓄和预处理雨水。生物单元作为第三级拦截装置,可以通过设置“好氧/厌氧/好氧三段式基质型水生蔬菜人工湿地(简称O-A-O水生蔬菜湿地)”,一方面利用蔬菜来吸收水中的氮磷,另一方面也为蔬菜提供了所需的营养物质。

根据课题组的示范工程数据,整体来看,无序排放生活污水及降雨初期径流经收集和生物生态处理后,COD、TP、TN去除率达到62%左右。O-A-O水生蔬菜湿地这一处理环节在水力负荷为0.3 m³/(m²·d)时,对COD、TN、TP的去除率分别可达51%、69%、76%。

农村污水不可放任自流

“疏影横斜水清浅,暗香浮动月黄昏。”翻开古典诗词,水是文人墨客笔下自然之美的集中体现,既有小桥流水幽静闲适,也不乏大江奔流波涛汹涌。

水是生命之源,生态之基。纵观当下,水村山郭里常见生活污水横流,黑臭水体滋生,湖泊、水库富营养化,污水问题已经成为美丽乡村的一道伤疤。

要想美,先治水。农村生活污水处理难的重要原因在于排放分散、水质水量日均变化大。我国农村地区房屋多为自建房屋,缺乏建筑布局规划,随意性大,造成居民生活污水排放方式各异,有的就地泼洒,使其自然蒸发或渗入土壤,有的就近排放,通

过明沟或暗渠进入溪流、江河及湖泊。而从成分上来说,除了村民的家庭生活污水外,污水中还常常混有垃圾堆放产生的渗滤液和高强度雨水径流等,水质成分复杂。

同时,不同地区农村生活污水水质也存在较大差别,要求处理技术具备灵活性。十里不同风,百里不同俗,不同地区农村居民的生活习惯和经济条件也各不相同,导致生活污水中氮、磷等污染物浓度也存在差异。例如在肉类蛋白类食物消费比例高的地区,生活污水中的氨氮浓度较高,而在大量使用洗涤剂的地区,生活污水中磷浓度偏高。

除了各地实际情况千差万别之外,我国乡村污水基数大,处理技术要求高,也给处理带来了困

难。资料显示,我国有近60万个行政村和260多万个自然村,每年产生污水90多亿吨,相当于近5000个昆明湖的水量。

反观处理技术,由于大部分农村污水处理设施主要由村民管理,因而要求处理技术在高效之外还要具备稳定性和便捷性,但目前污水处理设施“建好不用、只晒太阳”的现象普遍存在,不是不想用,而是不会用。同时,由于经济条件限制,建设和运维成本过高的设施在农村无法长期运行。

善治城者先治水,治水之要在治污。眼下,我国农村生活污水处理任重而道远。只有按下污水治理“快进键”,才能终结“垃圾靠风刮、污水靠蒸发”的现状,还子孙后代真正的绿水长流。

评论

高效脱氮除磷,村落集中处理

随着太湖流域城市化水平的提高和撤乡并镇进程的加快,类似城镇的村落、保留村等集中居住社区迅速发展,但其生活污水收集和处理率较低。而现有的城镇污水处理工艺和管理技术不适应村落、保留村等农村社区的发展需求,主要原因是城镇污水处理厂工艺复杂,需要专业化管理,无法照搬应用于农村生活污水的治理中。

课题组在充分调研的基础上,准确识别了当地村落(保留村)生活污水相对集中处理的需求,有针对性地研发了“功能强化型生化处理+阶式生物生态氧化塘村落污水组合处理技术”,有效融合了生物处理和生态处理技术,采用“农村污水-格栅-初沉调节池-生物处理-阶式功能强化型生物生态氧化塘”工艺流程,利用功能强化型的生物处理单元去除有机物及部分氮

磷,出水紧接着进入功能强化型阶式生物生态氧化塘,在微生物硝化反硝化及植物的作用下进一步削减氮、磷等污染物。

虽然都是生物和生态手段相结合,但这个技术与农村小型分散式生活污水处理技术有一定的区别。本技术的生物处理单元采用改良型A²/O一体化活性污泥工艺或改进型氧化沟工艺,改良型A²/O一体化工艺耦合同步硝化反硝化与反硝化除磷技术,能够实现“一碳两用”,有效降低污水处理的能耗;改进型氧化沟工艺则是在一体化氧化沟的基础上,通过控制溶解氧浓度在装置中形成“厌氧-低氧-缺氧-好氧”等不同条件下的反应区域,进而提高脱氮除磷效率,工艺流程短,不必设立初沉池、污泥消化池和二沉池,节省占地,节约投资。生态处理单元

则优化组合多种技术,构建兼氧塘、好氧塘、水生植物塘等功能明确的阶式功能强化型生物生态氧化塘,达到深度去除氮磷的目的。

本技术在环保性、成本控制和处理效果方面表现也颇为亮眼。相比传统生化工艺,本技术运行中无需投加化学药剂,基本无需排泥,更加安全环保。处理成本主要为生态塘内动力设备能耗费用,平均吨水处理成本为0.104元。成本更低的同时,处理效果并没有打折扣。当水力停留时间为两天时,平均出水COD、TN、TP去除率相对于生物处理的尾水分别为30%、40%、37%左右,出水至少8个月可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准,其余时间达到一级B标准,能够较好地实现污水净化及节能降耗的目标。

生物生态结合,构建污染净化型农业

课题组取得的标志性成果之一就是成功研发了“厌氧-好氧-湿地生物生态组合技术”,为解决农村分散式生活污水处理问题提供了思路。

课题负责人吕锡武教授介绍,太湖流域村落星罗棋布,农村地区人口分散,相对城市而言,污水不宜集中收集处理,统称分散式生活污水。随着人口增加,用水量增大,大量分散式生活污水直排,造成流域污染负荷不断增加,加快了流域水环境恶化,污水中的氮磷等物质加剧了湖泊水体富营养化,对流域水环境质量造成了巨大影响。因此,有效处理农村分散式生活污水势在必行。

面对农村生活污水处理问题的不止中国,放眼国际社会,不乏技术成熟的国家和地区,但其技术均有局限性。国际上的技术主要分为生物处理和生态处理两大类。生物技术以日本的净化槽为代表,是一种大型污水处理工艺的小型集约化应用技术,但是建设及运行成本高,对管理人员专业素质要求也较高,且不具备除磷功能,在现阶段我国广大农村地区难以大规模推广应用。生态处理技术由于所需占地较大,

处理效果受季节影响明显,主要在澳大利亚、美国等土地资源丰富、环境容量大的地区使用,而我国有相当一部分农村地区受土地资源和地理位置的双重制约,不具备应用条件。

课题组充分结合我国国情,本着“因地制宜、高技术、低投资与运行成本、资源化利用”的可持续发展原则,另辟蹊径,研发了可以规避国外方案弊端的新技术。在保证出水稳定达标的基础上,规模化城市污水处理厂需要专业化管理,不适用于农村分散式污水,针对此问题,课题组秉承“生物单元重点处理有机污染物,生态单元资源化利用氮磷”的理念,采用“农村污水-格栅-厌氧-缺氧-好氧-经济型人工湿地”的工艺流程,生物单元不设计除磷脱氮功能,充分发挥其简易高效降解有机物的特点,同时以跌水曝气替代传统鼓风机曝气方式,实现节能和工艺简化;生态单元通过开发具有较高氮磷吸收能力和适于在人工湿地内种植的经济型作物,实现氮、磷资源化,构建污染净化型农业。

这一方案各单元分工明确,工艺可以灵活调整,既能较好地解决农村地区社会、经济、环境等基本情况复杂、污水处理技术需求差异较

大的问题,又能在控制成本的条件下达到良好的处理效果,还能带来一定的经济效益,具备较高的性价比。

经测算,农村小型分散式生活污水经过“厌氧-好氧-湿地生物生态组合技术”工艺处理后,COD去除率大于85%,BOD₅去除率大于90%,SS去除率大于90%,NH₄⁺-N去除率大于95%,TN去除率大于80%,TP去除率大于85%,处理效果显著。而处理成本主要包括建设、处理和运行三方面,建设成本低于1万元/吨;直接水处理成本小于0.15元/吨;整个工艺系统全程仅需1个水泵自控运行,不需要混合液回流与污泥回流,不需要机械曝气,较传统生活污水处理工艺(以A/A/O工艺为例)节能50%以上,污水处理装置可节地20%以上。如利用地形条件,甚至可免去水泵,进一步降低直接运行费用。

“经济效益则主要由种植的植物决定,以空心菜和水芹菜轮种为例,每年空心菜产量可达8000斤/亩,水芹菜1000斤/亩,可产生的经济收益不低于1万元/亩。”课题负责人吕锡武教授介绍。

真金不怕火炼,成果应用广泛

太湖流域农村生活污水入湖污染负荷高、收集和处理率较低。据统计,太湖流域水环境治理区内农村污水排放量占所有排放源排放量的比例分别为:COD占23%,氨氮占38%,TN占40%,TP占38%,且呈现逐年升高的趋势。

课题组选取太湖流域这一典型区域进行研究,围绕有效削减农村生活污水污染负荷,建成了一批示范工程,为太湖流域乃至全国农村生活污水处理提供技术支持。

课题示范工程按照“污染物排放特征-氮磷削减-资源化利用-优化集成-技术与装置标准化-管理机制保障”的总体思路,分别针对小型分散式生活污水、相对集中的村落污水以及无序排放污水等不同排放类型的污水,建立了节能高效治理的技术体系。

据了解,在太湖流域建成的小型分散式农村生活污水处理示范工程已近272座,总规模5230m³/d。其中,常州市武进区建设生物生态组合处理设施30套,总规模892m³/d;南京市高淳区建设生物生态组合处理设施216套,总规模3715m³/d;无锡江阴市建成小型分散式农村生活污水处理设施4套,规模155 m³/d;无锡宜兴市建成小型分散式农村生活污水处理设施22套,规模468m³/d;

针对小型分散式生活污水,课题组选取常州市绿色建筑博览馆的未来屋建设了生活污水

处理工程,解决未来屋中10名住户的生活污水问题。课题组根据单户居民生活污水时间分布不均的特点(污水主要产生于一日三餐时间,且晚间用水量较大),提出了“高效折板厌氧反应器-调节池-水车跌水充氧接触氧化-景观型人工湿地”的组合式污水处理工艺,每天的处理能力为2.2 m³,处理出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级A标准,可回用于厕所便器冲洗、小区绿化、水景观用水等。同时,污水中的碳源产生沼气,氮磷用作肥料,构建生态景观,使多种污染物均得到充分资源化利用。

不同于小型分散式生活污水,村落污水相对集中处理的技术工艺更加复杂,课题组目前已建成27座示范工程,总规模3066m³/d,位于常州市武进区、南京市高淳区等地,服务人口近4万人。其中,常州市武进区横山桥镇新安社区生活污水处理工程于2014年11月30日竣工,处理单元处理规模为480m³/d。自建成后,新安社区及周边村庄1300余户村民约5000人受益,改善了百姓居住环境,增强了百姓的幸福感。

同时,课题组结合太湖流域村落无序排放污水的情况,选取了宜兴市周铁镇、昆山市巴城镇等地建成了3套示范工程,集成了生态拦截沟、生态净化塘、水生蔬菜型人工

湿地、泵房、计量槽等多项技术,形成具有节能、节地、高效、低维护、景观化、园林化特征的可选工艺组合流程,不仅能有效削减村落面源流入太湖的氮磷负荷,改善径流水质,还能种植空心菜和多种水生植物,经济效益和景观效果明显。昆山市小桥湾村的村民就实实在在地享受到了无序排放污水示范工程带来的好处。课题组因地制宜,针对目前农村污水处理技术无法有效收集拦截村落无序排放污水、净化效果不高和氮磷资源损失等缺点,集成了自主设计的生态沟渠和新型水生蔬菜湿地,污染物拦截效率高、净化效果好,实现了污水中的氮磷资源化利用,氮磷资源化利用率高、建设成本低,适于在农村地区推广建设运行。

从“十五”到“十二五”,课题组开展了长达十几年的持续研究与工程应用,已申请发明专利50余项(获授权30项),已获授权实用新型5项;在全国范围内共建成工程568处,设计处理水量14630吨/天,可实现污染物年削减COD1869.0吨,TN160.2吨,TP18.7吨。在低建设、低运行成本、易维护的前提下,课题实现了污水处理生态化、景观化、园林化和氮磷资源化,为太湖流域水质改善乃至全国农村生活污水治理提供了技术支持。

李玲玉 童克辉



阶式功能强化型生物生态氧化塘



水生蔬菜人工湿地



小桥湾生态沟渠