

## 关于农村水污染控制新型技术的应用研究与发展趋势

胡 啸<sup>1</sup> 王 军<sup>1,2</sup> 宋 菲<sup>3</sup> 周广礼<sup>1</sup>

(1. 青岛理工大学 山东 青岛 266033; 2. 青岛市科学技术协会 山东 青岛 266071;  
3. 中国海洋大学 山东 青岛 266003)

**摘 要** 农村水环境污染问题亟待解决,本文在分析农村水污染现状和污水主要特点的基础上,将国内外农村水污染控制技术划分为源头控制技术、过程控制技术及终端控制技术,并重点分析了几种新技术的特点及应用,同时提出了水污染控制技术的发展趋势,以期在农村水污染控制的技术研发与应用提供参考。

**关键词** 农村水污染 国内外 新技术 发展趋势

### 1 我国农村水污染现状

近年来,随着社会主义新农村建设和生态文明建设的开展,农村水污染控制问题受到的关注持续提升,但由于技术研究和治理工作起步较晚,以及污水处理要求的不断提升,农村地区的污水处理依然面临巨大挑战。据测算,全国农村每年产生生活污水约 90 多亿吨,人粪尿年产生量约为 2.6 亿吨,而绝大多数的农村生活污水都未经任何处理就直接排入水体,不仅加重了水体的面源污染问题,加剧了淡水资源危机,更对农村饮用水安全构成了直接威胁。另外,环保部 2012 年环境状况公报指出全国废水排放总量为 684.6 亿吨,其中农业污染源就占到废水中 COD、氨氮排放量的 47.6% 和 31.8%,分别是城市污染源的 3.4 和 3.1 倍。我国作为一个农业大国,农村地区面积占全国的近 90%,农村人口更是高达 6.74 亿,占总人口的 50.32%,严峻的水污染形势不仅影响了农村生活水平的提高,还制约了农村经济的发展,因此,改善农村水环境具有重要的现实意义。

### 2 我国农村污水的主要特点

我国农村生活污水主要来源为洗涤污水、厨房用水、冲厕废水、牲畜用水及窝棚洗刷水等,不同地区的农村生活污水排放量和水质特点也不尽相同。农村污水的主要特点有:

(1) 水质特点:水体中 N、P 等营养成分含量高,基本上不含重金属和有毒有害物质,可生化性好;含有大量的营养盐、细菌、病毒和寄生虫卵等,成分复杂;不同时段的水质成分不同,波动性大。

(2) 排放特点:人均污水排放量小且不均匀,水量日变化和季变化幅度大,随机性强;排放源面广且分散,收集难度大;

(3) 处理特点:约有 96% 的村庄没有污水收集和处理设施,污水处理率低;农村人口分布分散,不适合大面积建立污水收集管网和集中污水处理设施。

### 3 农村水污染控制新技术

针对我国农村的经济发展状况与管理水平、污水水量水质特点、地形地势条件等特点,采用符合农村实际情况的处理技术是农村水污染控制的关键。目前国内外农村水污染控制的新技术从水污染控制的流程考虑,主要可分为源头控制技术、过程控制技术和终端控制技术。

### 3.1 源头控制技术

农村地区缺少污水收集和处理设施,从生活污水的排放、农业生产及养殖业粪便的分离等多方位的源头开始控制,有利于实现污水的资源化,以及减少污水后续处理的能耗。

#### 3.1.1 日本生态厕所技术

日本生态厕所技术是一种新型干厕技术,其主体设施是座便器下方建造的一个填充木屑的长方形池,主要原理是,通过池中有氧微生物的放热发酵,将粪便转化为无臭味的水、二氧化碳和较干燥的有机肥。整个过程不需水冲,产物还可以作为有机肥加以回用,与传统厕所相比,它既不浪费水资源,也不需要下水道系统,同时有机肥的回用也在一定程度上解决了过量使用化肥的问题。

目前,国内外已经开发出多种生态厕所技术,如太阳能厕所、免水冲洗厕所、循环水冲洗厕所。其中,在北京展览路口使用的太阳能公厕,在零下 15℃ 时,室内温度仍能达到 10℃ 以上。

#### 3.1.2 美国湿地蓄水地下灌溉系统

美国俄亥俄州立大学研究开发的湿地蓄水地下灌溉系统 (WRSIS),是由人工湿地、蓄水池、地下灌溉兼控制排水系统所组成的污水处理系统。主要原理是,将农场地下排水与地表坡地漫流导引到构建的人工湿地,利用人工湿地的物理、化学、生物作用进行污水净化处理。出水存于蓄水池中,可用来进行农田的地下灌溉,不仅从源头解决了农田面源污染问题,还具备污水资源化利用的功能。

武汉市汉阳区采用类似处理系统,将境内 6 个湖泊以沟渠联通,沟渠中种植水生植物并设置隔离膜等设施,结果显示,总磷去除率达 10% ~ 20%,总氮去除率达 30%,SS 去除率为 30%。

#### 3.1.3 地埋式无动力厌氧处理技术

国内研发的地埋式无动力厌氧处理技术 (UUAR),采用内充固定空心球状填料的地下厌氧管道式或折流式反应装置作为唯一的处理设备,是应用厌氧生物膜技术及推流原理设计出的新型农村污水处理技术。主要原理是,利用附着于填料内外表面或悬浮的,并且经过专门驯化的专性厌氧或兼氧微生物去除污水中的有机污染物、病原菌和部分氮、磷等。地埋式无动力厌氧处理技术无需能源动力,工艺流程简单,占用地表土地少,出水水质稳定,而通过优化设计,还可以将出水水质达到国家一级排放标准。

杭州市对地埋式无动力厌氧处理技术进行过一年多的小试、中试,结果显示,总磷去除率达 33% ~ 35.2%,总氮去除率达 18% ~ 23.0%,COD、BOD<sub>5</sub>、SS 的去除率分别为 66% ~ 68.3%、70% ~ 76.8%、80% ~ 90.2%。

### 3.2 过程控制技术

缺少经济技术支持,无法保障从源头控制污水排放的农村地区,利用生态滤池、土壤渗滤等处理技术对农村排放的污水进行拦截,并在排入水体的过程中进行净化处理,可以有效防止水污染的扩散。

#### 3.2.1 澳大利亚“FILTER”污水处理系统

“FILTER”污水处理系统的全称是“过滤、土地处理与暗管排水相结合的污水再利用系统”,是由澳大利亚科学家和工业组织的专家设计的一种污水再利用系统,该工艺被称为“非尔脱”高效、持续性污水灌溉新技术。主要原理是,先将要处理的生活、生产污水用于农作物的灌溉,通过土壤过滤、土地处理后,再利用埋于地下的暗管将其汇集和排出,系统设有的污水提升泵还可以调控处理后的污水排放量。“FILTER”污水处理系统在满足农作物灌溉需求、减少种植成本的同时,也使出水达到了污水排放标准,具有良好的资源化效益。

天津市武清县建立的实验区利用该工艺,引取北京市初级处理后的污水以及沿程汇集的乡镇生活污水来灌溉小麦。结果显示,总磷去除率达 97% ~ 99%,总氮去除率达 82% ~ 86%,COD、

BOD<sub>5</sub> 的去除率分别为 75% ~ 86%、93%。

### 3.2.2 法国蚯蚓生态滤池处理技术

蚯蚓分泌的酶类对土壤中的绝大多数有机废物有较强的分解作用,根据蚯蚓具有的可提高土壤通气透水性能、促进有机物分解等功能,法国和智利专家设计出一种低能耗、高效益的农村污水处理技术。主要原理是,利用滤床中的蚯蚓和微生物分解转化污水中的污染物质,使污水得到净化。同时,蚯蚓在滤床的穿梭可疏通堵塞物,对含氮物质的消化与反硝化也有促进作用。蚯蚓生态滤池不需要外排污泥、污泥产率远低于普通活性污泥法,并且整合初沉池、曝气池、二沉池、污泥回流设施以及供氧设备为一体,简化了污水处理流程,大幅降低了剩余污泥处理和处置费用。

上海市对蚯蚓生态滤池进行的中试结果显示,总磷去除率达 35% ~ 65%,氨氮去除率达 55% ~ 65%,COD、BOD<sub>5</sub>、SS 的去除率分别为 83% ~ 88%、91% ~ 96%、85% ~ 92%,而污泥总产率仅为 0 ~ 2 mg/L。

### 3.2.3 毛细管润湿式污水处理技术

国内研发的毛细管润湿式污水处理技术,集环保、生态、资源化利用为一体,是一种人工强化的污水生态处理技术。主要原理是,利用土壤的过滤截留、物理和化学吸附以及生物的分解、氧化、微生物的摄取等,将污水中的有机物转化为 CO<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、硝酸盐和磷酸盐等。与传统活性污泥处理工艺相比,毛细管润湿式污水处理技术占用有效土地少、操作管理简单、基建投资及运行费用均较低,并且可同时实现污水的净化和水资源的循环利用,达到污水的处理与资源化利用相结合的目的。

青岛市农村社区采用厌氧生物滤池与毛细管润湿式污水处理技术的组合工艺处理污水,处理效果显示,磷酸盐去除率达 63% ~ 70%,氨氮去除率达 64% ~ 70%,COD、BOD<sub>5</sub>、SS 的去除率分别为 84% ~ 90%、83% ~ 89%、89% ~ 95%。

## 3.3 终端控制技术

对于水环境已经遭到破坏或已经发生水体富营养化的农村地区,可利用稳定塘、人工湿地等技术对生态环境进行修复,通过合理的设计与管理,还可达到污水治理与景观美化相结合的目的。

### 3.3.1 美国高效藻类塘处理技术

美国加州大学伯克利分校的专家对传统稳定塘进行工艺改进,并提出了有效利用菌藻共生关系的高效藻类塘处理技术。主要原理是,利用好氧细菌分解污水中的有机物,产生的二氧化碳、氨氮、磷酸盐供给藻类进行光合作用,藻类以阳光为能源,释放出的氧气又可供细菌分解有机物,从而达到菌藻共同去除污染物的目的。高效藻类塘具有更丰富的生物相,对污水中的有机物、氮、磷均有良好的处理效果,且无需污泥处理就可实现污水的资源化,运行及维护费用均较低。

宜兴市洋渚村利用高效藻类塘系统进行污水处理试验,试验结果显示,总磷去除率达 35.7%,氨氮去除率达 90.4%,COD 去除率为 61.7%。

### 3.3.2 韩国人工湿地处理系统

人工湿地对有机物有较强的降解能力,韩国农村居民的污水处理采取的是一种改进型人工湿地处理系统。主要原理是,利用人工湿地中的基质、植物和微生物组成的共生系统,将污水中的有机物经过过滤后进行吸附,或分解转化为无害物质。韩国人工湿地处理系统实质上是一种土地-植物系统,通过一系列优化组合的物理、化学、生物过程实现污水的净化处理,具有能耗低、费用省的特点。

中韩合作对韩国南部一复合型人工湿地进行过氮素去除能力的研究,结果显示,氨氮、硝酸

盐氮、凯式氮和总氮的平均去除率分别为 13%、29%、35.3 和 26%。浙江省桐庐县君山村于 2011 年引进了韩国 SNR 工艺（自然通风型好氧人工湿地高效污水处理技术）对村中污水进行处理，污水日处理量达 80 吨，受益人口约为 1030 人。

### 3.3.3 人工复合生态床处理系统

国内研发的人工复合生态床处理系统，是在人工湿地的基础上，提出的一种新型湿地处理系统。主要原理是，利用床体内部填充的多孔、比表面积大的介质沉积和过滤有机物，并通过微生物的降解以及水生植物的吸收来完成污染物质的去除。人工复合生态床处理系统具有工艺简单、运行管理方便、生态环境效益显著、投资少等优点。

人工复合生态床处理滇池流域农村污水的试验结果显示，总磷的去除率达 55% ~ 66%，总氮的去除率达 50.4% ~ 60.6%，氨氮的去除率为 70.8% ~ 83.0%，COD 的去除率为 59.6% ~ 70.6%。

## 4 技术发展趋势

上述新型技术相比传统污水处理技术均具有较多优势，而目前我国已建成的农村水污染控制设施大多设计理念落后，控制技术仍沿用与大、中型城市污水处理类似的传统技术工艺，这些技术的局限性和不足之处主要表现在两方面：一是污水处理设施占地面积较大，基建费用高，管理维护复杂，二是运行易出现故障，运行费用高，无法保障运行的有效长久。所以，我国水污染控制的理论与技术研究需要朝多方面、深层次的方向进一步的发展。

### 4.1 科学、规范

我国城市的污水排放标准和污水处理厂建设技术规范，并不完全适合农村的实际情况，农村水污染控制技术应科学化、规范化，其处理设施也必须满足经过科学制定的农村污水处理设施建设规划，以及农村污水处理工程技术规范。

### 4.2 创新、实用

我国城市污水处理技术发展迅速，农村地区的相关研究却相对薄弱，完全照搬国外已有的技术并不一定适用于国内。农村水污染控制技术应以创新为突破点，确保实用性、稳定性，能够实现污水处理的规模化、标准化，如“生物+生态”处理工艺、多系统组合处理技术等。

### 4.3 高效、低耗

我国农村数量多、集聚散、地形杂，水污染控制技术的应用又易受各地不同情况的影响，不可能按照统一的处理技术对污水进行处理。从农村实际条件出发，水污染控制技术应具有占地面积较小、管理维护简单、污水处理效率高、投资运行耗费低的特点，如可实现农村污水治理的生态化、园林景观化、氮磷资源化的处理工艺。

## 5 展望

我国农村水污染问题总体上仍在进一步加深，但是随着国家对农村环境保护工作的重视，有针对性、实用性强的水污染控制技术将得到更大的应用和发展，如人工湿地、土地渗滤等。农村地区对于各种污水处理技术的选择，也应酌情考量，因地制宜，科学合理，使农村水污染治理工作进入良性发展轨道，实现农村地区经济与环境的持续、健康、和谐发展。

## 参考文献

- [1] 李长源, 汤大伟. 关于农村生活污水处理技术的研究 [J]. 西南给排水, 2009, 31 (2): 15 - 18
- [2] 王军, 王淑燕, 郑飞, 翟帆. 关于我国农村生活污水治理对策的研究 [A]. 2010 中国环境科学学会学术年

会论文集（第三卷）.2010: 2798 -2801

- [3] 刘保森,王军,汤大伟.新农村建设中生活污水零排放战略的思考 [C]. 青岛市第七届学术年会论文集.2008: 166 -168
- [4] 蒋克彬,彭松,张小海,等.农村生活污水分散式处理技术及应用 [M]. 中国建筑工业出版社,2009
- [5] 王宝贞、王琳.水污染治理新技术:新概念、新工艺、新理论 [M]. 科学出版社,2004
- [6] 黄翔峰,何少林,陈广,李旭东,等.高效藻类塘系统处理农村污水脱氮除磷及其强化研究 [J]. 环境工程,2008,26 (1): 7 -10
- [7] 于海霞,于江华,徐礼强,金永喆.复合型人工湿地脱氮效能及其水力负荷影响规律[J]. 环境工程学报,2013,7 (9): 3357 -3362
- [8] 刘超翔,胡洪营,张健,等.人工复合生态床处理低浓度农村污水 [J]. 中国给水排水,2002 ,18 (7): 1 -4